



**ALTERNATIVA DE MEJORA PARA LA ETAPA DE
DISPERSIÓN EN LA PLANTA DE EMULSIÓN DE SOLINTEX DE
VENEZUELA S.A., POR MEDIO DEL DISEÑO DE UN PROTOTIPO
A ESCALA DEL EQUIPO DE DISPERSIÓN**

Prof. Carmen G. de Flores
Tutor Académico

Autor:
Br. Sarah Flores

Rómulo Gonzáles
Tutor Industrial

Valencia, Noviembre de 2007



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**ALTERNATIVA DE MEJORA PARA LA ETAPA DE
DISPERSIÓN EN LA PLANTA DE EMULSIÓN DE
SOLINTEX DE VENEZUELA S.A., POR MEDIO DEL DISEÑO
DE UN PROTOTIPO A ESCALA DEL EQUIPO DE
DISPERSIÓN**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO COMO REQUISITO
PARA OPTAR EL TITULO DE

INGENIERO QUÍMICO

Prof. Carmen G. de Flores
Tutor Académico

Autor:
Sarah Flores

Valencia, Diciembre de 2007



A todas aquellas personas que luchan con constancia, honestidad y Dedicación haciendo de sus ilusiones una realidad tangible y así lograr que el mundo sea un lugar mejor para vivir.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designados para estudiar en Trabajo Especial de Grado Titulado: "**ALTERNATIVA DE MEJORA PARA LA ETAPA DE DISPERSIÓN EN LA PLANTA DE EMULSIÓN DE SOLINTEX DE VENEZUELA S.A., POR MEDIO DEL DISEÑO DE UN PROTOTIPO A ESCALA DEL EQUIPO DE DISPERSIÓN**", realizado por la bachiller Flores G. Sarah M., C.I. 17.042.448, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

Prof. Carmen G. de Flores

Presidente

Prof. Angelina Correia

Jurado

Prof. Tony Espinoza

Jurado

Valencia, Enero de 2008.

Sarah M. Flores G.



SUMARIO

El objetivo principal de este trabajo especial de grado es proponer una alternativa de mejora para la etapa dispersión de la línea de plástica profesional en la planta de emulsión de SOLINTEX de Venezuela S.A., por medio del desarrollo de un prototipo a escala del equipo de dispersión que incremente la calidad del producto.

La generación de alternativas que mejoren el proceso de fabricación de pintura emulsionada se basa en los parámetros y variables de diseño teórico de los equipos de alta dispersión. Por su parte, la elaboración del equipo prototipo de laboratorio se apoya en la teoría de escalado expuesta y en la información de campo obtenida de los equipos a nivel industrial seleccionados.

Seguidamente, la metodología usada para alcanzar los objetivos propuestos consistió en la identificación y análisis de las variables más influyentes dentro del proceso de dispersión mediante la elaboración de un diagrama causa - efecto, así como también en la verificación de dimensiones y condiciones de operación de los equipos empleados para la elaboración del producto. Igualmente, se desarrolló un prototipo de la unidad de dispersión a escala de laboratorio que facilitó la generación de alternativas de mejora para el proceso, para así poder seleccionar la propuesta más viable y evaluar su relación costo – beneficio con respecto al proceso actual.

Con el desarrollo de este trabajo especial de grado se logró proponer el ajuste de las condiciones de operación para la elaboración de pinturas emulsionadas a base de látex, al diseño y características de los equipos existentes en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.; así como también la posibilidad de implantar de un equipo a escala de laboratorio capaz de reproducir el comportamiento y los resultados obtenidos del producto a nivel industrial.



Finalmente, se concluye que las condiciones actuales de operación para la fabricación de pintura emulsionada no se ajustan al diseño de los equipos existentes en planta, por lo que se requiere la modificación de estas condiciones, que asegurará la disminución de reajustes durante el proceso y reprocesamiento de lotes defectuosos.

Se recomienda de este modo, ajustar las condiciones de operación y formulación de producto a las características actuales del proceso y equipos, así como implantar el equipo para elaboración de pintura emulsionada a escala piloto diseñado en el laboratorio de investigación y desarrollo de la empresa.



SUMMARY

The main objective of this special degree work is to propose an improvement alternative for dispersion stage in the plastic professional line in SOLINTEX ok Venezuela S.A. emulsion plant, through a scale prototype development from the dispersion equipment that increases product quality.

Alternatives generation, which improve the emulsified paint manufacturing process, are based on theoretical design parameters and variables from high dispersion equipments. On the other hand, the laboratory prototype equipment manufacturing lies in the exposed scaled theory and information field obtained from the selected industrial level equipments.

Afterwards, the methodology used to reach the proposed objectives consisted on the variables identification and analysis within the dispersion process by means of a manufactured cause – effect diagram, and also dimensions and operation conditions checking of the equipment used for the product manufacturing. Likewise, a prototype of a scale dispersion unit from the laboratory was developed that made the improvement alternatives generation easier for the process, and in this way, select the appropriate proposal and evaluate its cost – benefit relationship related with the current process.

Through this special degree work developing an operation conditions adjustment was proposed for the emulsified paint manufacturing with latex basis, the design and equipment characteristics in the emulsion plant of SOLINTEX de Venezuela enterprises, also the possibility to introduce a laboratory scale equipment able to reproduce the behaviour and results obtained from the product in industrial level.



Finally, a conclusion, the current operation conditions for the emulsionated paint manufacturing does not adjust to the equipments design in plant, so a modification of these conditions is required, that will assure the readjustment decrease during the faulty lot process and reprocess.

It's recommended to adjust the operation conditions and product formulation to that process and equipment, current characteristics as well to insert the equipment for pilot scale emulsionated paint manufacturing designed by the research and development laboratory of the plant.



ÍNDICE GENERAL

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.2.1 Situación actual.....	6
1.2.2 Situación deseada.....	7
1.3 OBJETIVOS.....	7
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	8
1.5 LIMITACIONES.....	9
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 ANTECEDENTES.....	10
2.2 BASES TEÓRICAS.....	13
2.2.1 Comportamiento de los fluidos en recipientes mezcladores.....	14
2.2.2 Fundamentos básicos sobre pintura emulsionada.....	16
2.2.3 Etapa de dispersión en la fabricación de pintura emulsionada.....	21
2.2.4 Descripción del equipo de alta dispersión empleado en la fabricación de pintura emulsionada. (HSD).....	27
2.2.5 Principios de operación del equipo de alta velocidad (HSD) empleado en la fabricación de pintura emulsionada.....	37
2.2.6 Proceso actual de fabricación de pintura emulsionada a base de látex a nivel industrial en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	38
2.2.7 Proceso de fabricación de pintura emulsionada a base de látex a nivel de laboratorio empleado en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	42



	Página
2.2.8 Plantas pilotos y modelos.....	44
2.2.9 Principios fundamentales para el escalado ascendente y descendente en procesos físicos y químicos.....	46
CAPÍTULO III	
3. MARCO METODOLÓGICO.....	51
3.1 NIVEL Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
3.2 IDENTIFICACIÓN DE CADA UNA DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA ETAPA DE DISPERSIÓN PARA ESTIMAR LA INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO.....	51
3.2.1 Revisión bibliográfica sobre los principios básicos en la elaboración de pintura emulsionada.....	52
3.2.2 Observación directa del proceso de dispersión a nivel industrial y de laboratorio.....	52
3.2.3 Entrevistas al personal de producción y laboratorio.....	56
3.3 ANALIZAR VARIABLES EN LA ETAPA DE DISPERSIÓN A FIN DE IDENTIFICAR CUÁLES SON LAS MÁS INFLUYENTES.....	56
3.3.1 Análisis cualitativo de cada una de las variables involucradas.....	56
3.3.2 Realización de un diagrama causa – efecto.....	58
3.3.3 Verificación de parámetros de diseño de los equipos.....	58
3.3.4 Selección de las variables respuesta a considerar.....	61
3.4 DESARROLLAR UN PROTOTIPO A ESCALA DEL EQUIPO DE DISPERSIÓN CON LA FINALIDAD DE DETERMINAR LAS CONDICIONES OPERATIVAS ADECUADAS PARA MEJORAR ESTA ETAPA DEL PROCESO.....	63
3.4.1 Elaboración del escalamiento del equipo por medio de ecuaciones y cálculos.....	64
3.4.2 Verificación del equipo a fin de garantizar que cumple con las especificaciones planteadas para el mismo.....	66



	Página
3.5 PRESENTAR ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA ETAPA DE DISPERSIÓN TENIENDO EN CUENTA LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE CADA UNA, LAS CUALES GARANTICEN QUE SE CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO ELABORADO.....	67
3.6 SELECCIONAR LA ALTERNATIVA MÁS ADECUADA, A FIN DE SATISFACER LOS REQUERIMIENTOS DE ESTA INVESTIGACIÓN Y DE LA EMPRESA.....	69
3.6.1 Análisis y evaluación de alternativas planteadas.....	69
3.7 REALIZAR UNA EVALUACIÓN ECONÓMICA QUE INVOLUCRE COSTOS Y BENEFICIOS AL MEJORAR LA DISPERSIÓN, A FIN DE ESTABLECER COMPARACIONES ENTRE EL PROCESO ACTUAL Y EL MEJORADO.....	71
3.7.1 Realización de un análisis económico mediante la estimación de costos y beneficios extra obtenidos en la mejora.....	71
CAPÍTULO IV	
4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES....	73
4.1 IDENTIFICAR CADA UNA DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA ETAPA DE DISPERSIÓN, PARA ESTIMAR LA INFLUENCIA DE CADA UNA EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO.....	73
4.1.1 Revisión bibliográfica sobre los principios básicos en la elaboración de pintura emulsionada.....	73
4.1.2 Observación directa del proceso de dispersión a nivel industrial y de laboratorio.....	75
4.1.3 Entrevistas al personal de producción y laboratorio.....	79
4.2 ANALIZAR VARIABLES EN LA ETAPA DE DISPERSIÓN A FIN DE IDENTIFICAR CUÁLES SON LAS MÁS INFLUYENTES.....	81



	Página
4.2.1 Análisis cualitativo de cada una de las variables involucradas.....	81
4.2.2 Realización de un diagrama causa – efecto.....	89
4.2.3 Verificación de parámetros de diseño de los equipos.....	91
4.2.4 Selección de las variables respuesta a considerar.....	96
4.3 DESARROLLAR UN PROTOTIPO A ESCALA DEL EQUIPO DE DISPERSIÓN CON LA FINALIDAD DE DETERMINAR LAS CONDICIONES OPERATIVAS ADECUADAS PARA MEJORAR ESTA ETAPA DEL PROCESO.....	99
4.3.1 Elaboración del escalamiento del equipo por medio de ecuaciones y cálculos.....	99
4.3.2 Verificación del equipo a fin de garantizar que cumple con las especificaciones planteadas para el mismo.....	103
4.4 PRESENTAR ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA ETAPA DE DISPERSIÓN TENIENDO EN CUENTA LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE CADA UNA, LAS CUALES GARANTICEN QUE SE CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO ELABORADO.....	105
Alternativa 1.....	106
Alternativa 2.....	109
4.5 SELECCIONAR LA ALTERNATIVA MÁS ADECUADA, A FIN DE SATISFACER LOS REQUERIMIENTOS DE ESTA INVESTIGACIÓN Y DE LA EMPRESA.....	113
4.5.1 Análisis y evaluación de las alternativas planteadas.....	114
4.6 REALIZAR UNA EVALUACIÓN ECONÓMICA QUE INVOLUCRE COSTOS Y BENEFICIOS AL MEJORAR LA DISPERSIÓN, A FIN DE ESTABLECER COMPARACIONES ENTRE EL PROCESO ACTUAL Y EL MEJORADO.....	115
4.6.1 Realización de un análisis económico mediante la estimación de costos y beneficios extra obtenidos en la mejora.....	115



	Página
CONCLUSIONES.....	118
RECOMENDACIONES.....	120
APÉNDICES.....	121
Apéndice A.....	122
Apéndice B.....	127
Apéndice C.....	140
LISTA DE SÍMBOLOS.....	142
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145



ÍNDICE DE TABLAS

	Página
3.2.1 Parámetros de calidad evaluados en la elaboración de pintura emulsionada en la empresa SOLINTEX DE Venezuela S.A., línea plástica profesional.....	53
3.2.2 Especificaciones técnicas de equipos en planta.....	54
3.2.3 Variables operacionales de los equipos de dispersión.....	55
3.3.1 Subdivisiones utilizadas como método de construcción para el diagrama de las 6m.....	57
3.3.2 Verificación de la velocidad en los equipos de dispersión a nivel industrial y de laboratorio.....	59
3.3.3 Verificación del nivel de líquido en el tanque durante la fase de dispersión en las unidades ubicadas en la planta de emulsión.....	60
3.3.4 Verificación del diámetro del tanque en los equipos de dispersión.....	60
3.3.5 Verificación de la distancia existente entre el fondo del tanque y el disco de agitación en los equipos de dispersión.....	61
3.3.6 Variables evaluadas en el diagrama causa – efecto.....	62
3.4.1 Caracterización del equipo de dispersión diseñado para el laboratorio de investigación y desarrollo de la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	65
3.4.2 Verificación del equipo y evaluación de variables respuesta.....	67
3.5.1 Valores propuestos para el rediseño de la geometría de los equipos de alta dispersión ubicados en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	68
3.6.1 Ponderaciones asignadas a cada uno de los criterios de evaluación de las alternativas de solución propuestas.....	



	Página
4.1.1 Variables operacionales para los equipos de dispersión 1, 2 y 3 ubicados en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	76
4.1.2 Variables operacionales para los equipos de dispersión 4, 5 y 6 ubicados en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	77
4.1.3 Variables operacionales para el equipo de dispersión ubicado en el laboratorio de investigación y desarrollo de la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	78
4.2.1 Verificación de la velocidad de dispersión a nivel industrial y de laboratorio en los equipos presentes en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	91
4.2.2 Verificación del nivel de líquido en el tanque durante la fase de dispersión en las unidades ubicadas en planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	93
4.2.3 Verificación del diámetro del impulsor en los equipos de dispersión a nivel industrial y de laboratorio ubicados en planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	94
4.2.4 Verificación de la distancia existente entre el fondo del tanque y el disco de agitación en los equipos de dispersión ubicados en planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	95
4.2.5 Datos de frecuencia de las variables evaluadas en el diagrama causa – efecto.....	97
4.3.1 Caracterización del equipo de dispersión diseñado para el laboratorio de investigación y desarrollo de la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	100



	Página
4.3.2 Variables operacionales para el equipo de dispersión diseñado para el laboratorio de investigación y desarrollo de la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	102
4.3.3 Verificación del equipo de dispersión diseñado para el laboratorio de investigación y desarrollo de la empresa y evaluación de variables propuestas.....	104
4.4.1 Valores propuestos para el rediseño de la geometría de los equipos de alta dispersión ubicados en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	107
4.4.2 Inversión inicial para estandarizar todos los equipos existentes en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A., a los parámetros de diseño teóricos de un dispersor de alta velocidad.....	109
4.4.3 Valores propuestos para el reajuste de lotes de producción y condiciones de operación en los equipos 1, 2 y 3 situados en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	111
4.4.4 Valores propuestos para el reajuste de lotes de producción y condiciones de operación en los equipos 4, 5 y 6 situados en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	112
4.5.1 Matriz de selección para la alternativa que mejore la etapa dispersión en la planta de emulsión de SOLINTEX de Venezuela S.A.....	114
4.6.1 Relación costo beneficio para el proceso actual de producción de pintura emulsionada en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	116
4.6.2 Relación costo beneficio para el proceso sugerido de producción de pintura emulsionada en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	116
4.6.3 Comparación del costo anual de producción entre el proceso actual y el sugerido para la producción de pintura emulsionada en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.....	117





ÍNDICE DE ECUACIONES

	Página
2.2.1 Numero de Reynolds del impulsor.....	14
2.2.2 Velocidad periférica del impulsor.....	28
2.2.3 Tamaño de la propela.....	33
2.2.4 Posición de la propela.....	33
2.2.5 Nivel de producto dentro del tanque.....	34
2.2.6 Relación para la potencia del motor impulsor.....	35
3.3.1 Frecuencia porcentual de variables.....	61
3.4.1 Razón de escala aplicada a los parámetros de diseño del equipo de alta dispersión.....	64



INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo del presente trabajo especial de grado, se propone mejorar la etapa de dispersión en el proceso de elaboración de pinturas emulsionadas a través de la verificación de sus parámetros de diseño y por medio de la elaboración de un prototipo a escala que permita la reproducción del comportamiento y los cambios en las condiciones de operación durante la fabricación del producto. De esta manera se tiene que el área de aplicación de este trabajo compete a la producción de pintura emulsionada a base de látex a nivel industrial y de laboratorio.

Para el logro de los objetivos planteados, se sigue una metodología que consistió en la identificación de variables involucradas en la etapa de dispersión, a través de la observación directa al proceso, y la identificación de sus variables operacionales y de diseño, además del resultado obtenido de las entrevistas aplicadas al personal involucrado. Seguidamente se analizaron cualitativamente cada una de estas variables para la posterior realización de un diagrama causa – efecto y verificación de parámetros de diseño que ayudaron a la selección de variables respuesta a considerar.

A continuación, se procedió al desarrollo de un prototipo de la unidad de dispersión por medio de la aplicación de ecuaciones para el escalamiento de procesos y equipos. Una vez elaborado el equipo y a través de la verificación del mismo, se generaron alternativas para la mejora del proceso de dispersión. Estas alternativas fueron redactadas bajo dos principios, uno que sugiere el rediseño y adquisición de equipos para el proceso y otro que propone la modificación de la metodología de trabajo, a fin de ajustar el proceso a la realidad de los equipos existentes en planta.

Finalmente, se eligió la alternativa más viable para la mejora de las dispersiones mediante la elaboración de una matriz de selección que permita la evaluación de cada



uno de los criterios escogidos y así poder elaborar una relación costo – beneficio con el fin de establecer comparaciones entre el proceso actual y el mejorado.

Este trabajo especial de grado se encuentra estructurado de la siguiente manera: Capitulo I. Planteamiento del problema, donde se define el problema a trabajar, situación actual y deseada, objetivos, justificación y limitaciones. Capitulo II, en el cual se presentan los antecedentes que sustentan la investigación junto con las bases teóricas necesarias para comprender el proceso que se estudia. En el capitulo III se describe la metodología aplicada, actividades y procedimientos realizados para el logro de cada uno de los objetivos propuestos.

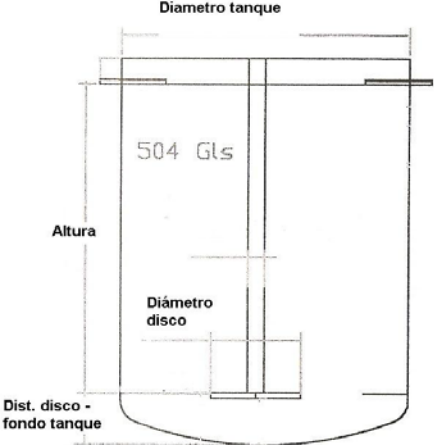
Por ultimo, el capitulo IV contiene los resultados experimentales obtenidos de las evaluaciones realizadas al proceso de fabricación de pintura emulsionada a base de látex, con su consecuente análisis, para finalmente presentar conclusiones y recomendaciones. Para concluir, este trabajo especial de grado permite a la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A. disponer de una alternativa de mejora para la etapa de dispersión en el proceso de elaboración de pintura emulsionada y al tesista llevar los conocimientos adquiridos a lo largo de su escolaridad, de una fase teórica a una fase practica, permitiendo así la adquisición de experiencia para la posterior incorporación al campo laboral.



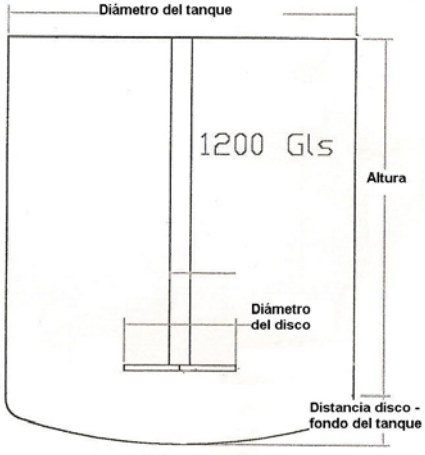
Apéndice A

Especificaciones técnicas de equipos

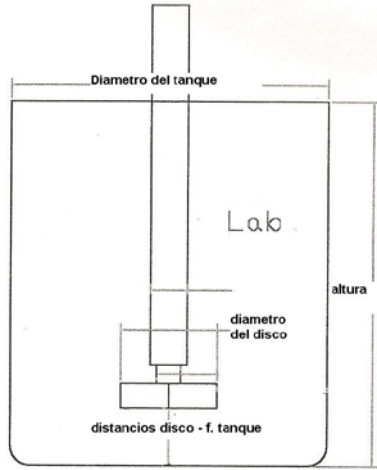


CÓDIGO: equipo 1, 2 y 3.	
NOMBRE: Dispensor de alta velocidad (HSD)	
FUNCIÓN: incorporar y desagregar aglomerados en un vehiculo liquido y humectar las partículas secas para producir una dispersión estable y uniforme con un tamaño de partícula lo mas fino posible.	
CARACTERISTICAS DE DISEÑO: Capacidad nominal (GAL): 504 Material de construcción: Acero inoxidable Cat. 304 Fluido de trabajo: Pintura látex a base de agua.	DIMENSIONES TANQUE: Diámetro (mm): 1301 Altura (mm): 1629 Altura cilindro (mm): 1358 Capacidad real (GAL): 572,06 Espesor de la pared (mm): 4
SISTEMA MOTOR – DISPERSOR: Marca: WEG – Brasilia MB Modelo: 200L Potencia(Hp): 54 Velocidad máxima (rpm): 1770 Voltaje (v): 200-380-440 Amperaje (A): 120-69-60 Diámetro del eje (pulg.): 3	DIMENSIONES PROPELA: Material: Polypeller Diámetro del disco (pulg.): 16 Espesor del disco (pulg.): 1 Numero de hendiduras: 20 Longitud de la hendidura (pulg.): 2 Espesor de la hendidura (pulg.): ¾ Distancia propela / fondo tanque (mm): 210
UNIDADES REQUERIDAS EN EL PROCESO: 1	
UBICACIÓN EN EL PROCESO: primer y único equipo dentro del proceso de producción. Le sigue un tanque de almacenamiento de la misma capacidad para almacenar el producto ya elaborado, antes de ser envasado.	

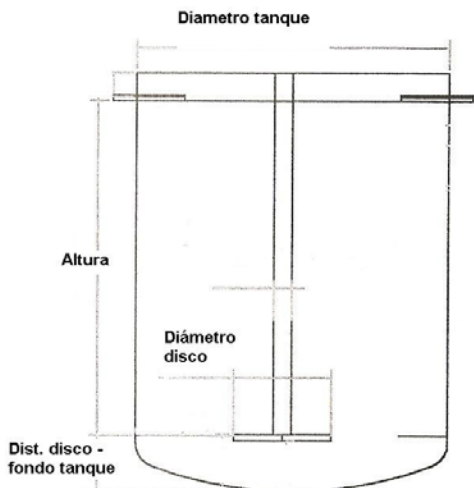


CÓDIGO: equipo 4, 5 y 6.	
NOMBRE: Dispensador de alta velocidad	
FUNCIÓN: incorporar y desagregar aglomerados en un vehiculo liquido y humectar las partículas secas para producir una dispersión estable y uniforme con un tamaño de partícula lo mas fino posible.	
CARACTERISTICAS DE DISEÑO: Capacidad nominal (GAL): 1200 Material de construcción: Acero inoxidable Cat. 304 Fluido de trabajo: Pintura látex a base de agua.	DIMENSIONES TANQUE: Diámetro (mm): 1738 Altura (mm): 2062 Altura cilindro (mm): 1772 Capacidad real (GAL): 1292,33 Espesor de la pared (mm): 4
SISTEMA MOTOR – DISPERSOR: Marca: BALDOR - Cowles Disolver MOREHOUSE Modelo: 445TC - TV-40-100 Potencia(Hp): 100 Velocidad máxima (rpm): 1780 Voltaje (v): 230-460 Amperaje (A): 230-115 Diámetro del eje (pulg.): 3 15/16	DIMENSIONES PROPELA: Material: Polypeller Diámetro del disco (pulg.): 22 Espesor del disco (pulg.): 1 Numero de hendiduras: 24 Longitud de la hendidura (pulg.): 2 Espesor de la hendidura (pulg.): 3/4 Distancia propela / fondo tanque (mm): 370
UNIDADES REQUERIDAS EN EL PROCESO: 1	
UBICACIÓN EN EL PROCESO: primer y único equipo dentro del proceso de producción. Le sigue un tanque de almacenamiento de la misma capacidad para almacenar el producto ya elaborado, antes de ser envasado.	



CÓDIGO: equipo LAB 1	
NOMBRE: Dispensador de alta velocidad (HSD)	
FUNCIÓN: incorporar y desagregar aglomerados en un vehiculo liquido y humectar las partículas secas para producir una dispersión estable y uniforme con un tamaño de partícula lo mas fino posible.	
CARACTERISTICAS DE DISEÑO: Capacidad nominal (GAL): 1 Material de construcción: plástico Fluido de trabajo: Pintura látex a base de agua.	DIMENSIONES TANQUE: Diámetro (mm): 165,1 Altura (mm): 190,5 Altura cilindro (mm): 190,5 Capacidad real (GAL): 1,077 Espesor de la pared (mm): 1,85
SISTEMA MOTOR – DISPERSOR: Marca: EMCO Modelo: CM100 Potencia(Hp): 1 Velocidad máxima (rpm): 10.000 Voltaje (v): 115 Amperaje (A): 10 Diámetro del eje (pulg.): 3/4	DIMENSIONES PROPELA: Material: Polypeller Diámetro del disco (pulg.): 2 Espesor del disco (pulg.): 1 Numero de hendiduras: 4 Longitud de la hendidura (pulg.): 1/2 Espesor de la hendidura (pulg.): 1/4 Distancia propela / fondo tanque (mm): 25
UNIDADES REQUERIDAS EN EL PROCESO: 1	
UBICACIÓN EN EL PROCESO: primer y único equipo dentro del proceso de elaboración de pintura y formulación en el laboratorio de investigación y desarrollo.	



CÓDIGO: equipo LAB 2 (diseñado)	
NOMBRE: Dispensador de alta velocidad (HSD)	
FUNCIÓN: incorporar y desagregar aglomerados en un vehiculo liquido y humectar las partículas secas para producir una dispersión estable y uniforme con un tamaño de partícula lo mas fino posible.	
CARACTERISTICAS DE DISEÑO: Capacidad nominal (GAL): 1 Material de construcción: Acero inoxidable Cat. 304 Fluido de trabajo: Pintura látex a base de agua.	DIMENSIONES TANQUE: Diámetro (mm): 165 Altura (mm): 207 Altura cilindro (pulg.): 180 Capacidad real (GAL): 1,17 Espesor de la pared (mm): 2,2
SISTEMA MOTOR – DISPERSOR: Marca: EMCO Modelo: CM100 Potencia(Hp): 1 Velocidad máxima (rpm): 10.000 Voltaje (v): 115 Amperaje (A): 10 Diámetro del eje (pulg.): 3/4	DIMENSIONES PROPELA: Material: Polypeller Diámetro del disco (mm): 50,8 Espesor del disco (mm): 4 Numero de hendiduras: 20 Longitud de la hendidura (mm): 6,25 Espesor de la hendidura (mm): 2 Distancia propela / fondo tanque (mm): 63,5
UNIDADES REQUERIDAS EN EL PROCESO: 1	
UBICACIÓN EN EL PROCESO: primer y único equipo dentro del proceso de elaboración de pintura y formulación en el laboratorio de investigación y desarrollo.	





Apéndice B

Cálculos típicos y ecuaciones geométricas.



VERIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DEL EQUIPO DE ALTA DISPERSIÓN UBICADOS EN LA PLANTA DE EMULSIÓN DE LA EMPRESA SOLINTEX DE VENEZUELA S.A.

a) Verificación de la velocidad periférica del conjunto eje – propela.

$$fpm = RPM * dp * 0,262 \quad (I) \text{ (Manual Morehouse – COWLES, 2003)}$$

Donde:

Fpm: velocidad periférica del impulsor

RPM: revoluciones por minuto de impulsor

dp: diámetro de la propela (pulgadas)

Para los tanques 1, 2 y 3, sustituyendo los datos del apéndice A y la tabla 4.1.1:

$$RPM = 1770$$

$$dp = 16 \text{ pulg.}$$

$$fpm = (1770) * (16) * (0,262)$$

$$fpm = 7419,8$$

NOTA: Este mismo cálculo fue realizado para los equipos 4, 5, 6 y de laboratorio, sustituyendo los datos respectivos de cada unidad.



b) Desviación porcentual del valor calculado con respecto al valor teórico establecido.

$$D(\%) = \frac{|V_T - V_C|}{V_T} \quad (II) \text{ (Propia, 2007)}$$

Donde:

D (%): Desviación porcentual del valor calculado con respecto al valor teórico.

V_T : Valor teórico

V_C : Valor calculado

Para el caso de la velocidad, utilizando los datos de la tabla 4.1.1 (equipos 1, 2 y 3), y lo establecido en el capítulo II:

$V_T = 6000$ fpm (Entre los límites de velocidad establecidos, se toma el valor más cercano a la velocidad calculada).

$V_C = 7419,8$

$$D(\%) = \frac{|6000 - 7419,8|}{6000}$$

$$D(\%) = 23,6\%$$

NOTA: La desviación porcentual fue calculada para cada uno de los parámetros de diseño de los equipos ubicados en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.



c) Verificación del diámetro del impulsor en los equipos de dispersión a nivel industrial y de laboratorio.

$$dp = \frac{1}{3} * DT \quad \text{(III) (Manual Morehouse – COWLES, 2003)}$$

Donde:

dp: diámetro de la propela (mm)

DT: diámetro del tanque (mm).

Tomando los datos de las hojas de especificaciones técnicas de los equipos en el apéndice A, para los equipos 1, 2 y 3:

DT= 1301mm

$$dp = \frac{1}{3} * (1301)$$

$$dp = 433,7mm$$

NOTA: Para efectos de la deducción de la desviación porcentual, el valor teórico es representado por el diámetro del impulsor calculado, y el valor calculado por el diámetro real del impulsor. Este mismo cálculo fue realizado para los equipos 4, 5, 6 y de laboratorio, sustituyendo los datos respectivos de cada unidad.



d) Verificación de la distancia entre el fondo del tanque y el impulsor en los equipos de dispersión a nivel industrial y de laboratorio.

$$DTp = (0,5) * dp \quad (IV) \text{ (Manual Morehouse – COWLES, 2003)}$$

Donde:

DTp: Distancia entre la propela y fondo del tanque (mm).

Tomando los datos del apéndice A para los equipo 1, 2 y 3:

$$dp(mm) = dp * 25,4 = 406,4mm$$

$$DTp = (0,5) * 406,4$$

$$DTp = 203,2mm$$

NOTA: Para efectos de la deducción de la desviación porcentual, el valor teórico es representado por la distancia calculada, y el valor calculado por la distancia real entre el fondo del tanque - impulsor. Este mismo cálculo fue realizado para los equipos 4, 5, 6 y de laboratorio, sustituyendo los datos respectivos de cada unidad.

e) Verificación del nivel de producto dentro del tanque para la etapa de dispersión en los equipos de dispersión a nivel industrial y de laboratorio.

$$NLD = (1 - 2) * Dp \quad (V) \text{ (Manual Morehouse – COWLES, 2003)}$$

Donde:

NLD: Nivel de liquido en el tanque durante la etapa de dispersión.



Tomando los datos del apéndice A para los equipo 1, 2 y 3:

$$NLD = (1 - 2) * 406,4$$

$$NLD = 406,4 - 812,8mm$$

NOTA: Entre los límites de velocidad establecidos, se toma el valor más cercano a la velocidad calculada para efectos de la desviación porcentual. El valor teórico es representado por el nivel de producto calculada, y el valor calculado por el nivel real entre el fondo del tanque - impulsor. Este mismo cálculo fue realizado para los equipos 4, 5, 6 y de laboratorio, sustituyendo los datos respectivos de cada unidad.

f) Frecuencia porcentual de variables aportadas por las entrevistas realizadas al personal para la elaboración del diagrama de barras de la figura 4.2.2.

$$F(\%) = \frac{fr}{Nv} * 100 \quad (VI) \text{ (Propia, 2007)}$$

Donde:

F (%): frecuencia porcentual de las variables.

fr: frecuencia de variables

Nv: numero total de frecuencias.

Tomando los datos de la tabla 4.2.5 para la frecuencia de la variable calidad:

fr=8

Nv=52



$$F(\%) = \frac{8}{52} * 100$$

$$F(\%) = 15,4\%$$

NOTA: Se realizó el mismo cálculo para el resto de las variables aportadas por la tormenta de ideas (tabla 4.2.5).

g) Escalamiento descendente del equipo de alta dispersión ubicado en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.

Al realizar el escalado de cualquier equipo en un proceso determinado, se sugiere el seguimiento de estos pasos: (se define como tanque 1 al tanque a escala de producción y tanque 2 al de escala de laboratorio).

1. Definir las dimensiones y características de operación conocidas del equipo a escala de producción 1, equipos 1,2 y 3 (apéndice A):
 - a. Diámetro del tanque del equipo de alta dispersión, $DT = 1301$ mm.
 - b. Altura del tanque del equipo de alta dispersión, $HT = 1629$ mm.
 - c. Profundidad de la zona redondeada del tanque del equipo de alta dispersión, $p = 23$ cm.
 - d. Diámetro de la propela del equipo de alta dispersión, $dp = 406,4$ mm.
 - e. Espesor de la propela del equipo de alta dispersión, $Ep = 25,4$ mm.
 - f. Numero de hendiduras del equipo de alta dispersión, $Nh = 20$.
 - g. Longitud de hendiduras del equipo de alta dispersión, $Lh = 50,8$ mm.
 - h. Profundidad de las hendiduras del equipo de alta dispersión,
 $Ph = 1,905$ mm.
 - i. Ancho de la hendidura del equipo de alta dispersión, $Ah = 19,058$ mm.



2. definir las dimensiones o características de operación que se requieren del equipo a escala de laboratorio 2.

a. Diámetro del tanque, $DT' = 165 \text{ mm}$.

3. Definir lo criterios de escalado a emplear.

De acuerdo con los principios de similaridad geométrica y recomendación de expertos en el área, se establecen los siguientes criterios de escalado para este equipo de agitación. Se establece como criterio la **similaridad geométrica**.

i Determinación de la altura del tanque.

$$\left(\frac{DT}{HT}\right) = \left(\frac{DT'}{HT'}\right) \quad \text{(VII) (Johnstone y Wooldridge, 2003).}$$

Donde se despeja la altura del tanque a escala de laboratorio:

$$HT' = DT' * \left(\frac{DT}{HT}\right) \quad \text{(VIII) (Johnstone y Wooldridge, 2003).}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación anterior, se obtiene el valor de la altura del tanque de agitación a escala 2:

$$HT' = 207,0\text{mm} \cong 8,15''$$



ii Determinación del diámetro de la propela.

$$\left(\frac{DT}{Dp}\right) = \left(\frac{DT'}{Dp'}\right) \quad \text{(IX) (Johnstone y Wooldridge, 2003).}$$

Despejando la variable de interés y sustituyendo los datos, se obtiene el valor del diámetro de la propela.

$$Dp' = 5,16\text{cm} \cong 2''$$

iii Determinación de la Zona redondeada del tanque.

$$\left(\frac{DT}{p}\right) = \left(\frac{DT'}{p'}\right) \quad \text{(X) (Johnstone y Wooldridge, 2003).}$$

Despejando la variable de interés y sustituyendo los datos, se obtiene el valor de la zona redondeada del tanque.

$$p' = 2.92\text{cm.}$$

iv Determinación del espesor de la propela.

$$\left(\frac{DT}{Ep}\right) = \left(\frac{DT'}{Ep'}\right) \quad \text{(XI) (Johnstone y Wooldridge, 2003).}$$

Despejando la variable de interés y sustituyendo los datos, se obtiene el valor del espesor de la propela.

$$Ep' = 0,3226\text{cm} \cong 3/16''$$



v Determinación de la longitud de la hendidura

$$\left(\frac{DT}{Lh}\right) = \left(\frac{DT'}{Lh'}\right) \quad \text{(XII) (Johnstone y Wooldridge, 2003).}$$

Despejando la variable de interés y sustituyendo los datos, se obtiene el valor de la longitud de la hendidura de la propela.

$$Lh' = 0,645\text{cm} \cong 1/4''$$

vi Determinación del espesor de la hendidura

$$\left(\frac{DT}{Eh}\right) = \left(\frac{DT'}{Eh'}\right) \quad \text{(XIII) (Johnstone y Wooldridge, 2003).}$$

Despejando la variable de interés y sustituyendo los datos, se obtiene el valor de la longitud de la hendidura de la propela.

$$Eh' = 0,2419\text{cm}$$

vii Determinación del ancho de la hendidura.

$$\left(\frac{DT}{Ah}\right) = \left(\frac{DT'}{Ah'}\right) \quad \text{(XIV) (Johnstone y Wooldridge, 2003).}$$

Despejando la variable de interés y sustituyendo los datos, se obtiene el valor del ancho de la hendidura de la propela.



$$Ah' = 0,2419cm$$

Finalmente el equipo a escala de laboratorio tiene las siguientes dimensiones y características de operación:

- a. Diámetro del tanque del equipo de alta dispersión, $DT' = 165$ mm.
- b. Altura del tanque del equipo de alta dispersión, $HT' = 207$ mm.
- c. Profundidad de la zona redondeada del tanque del del equipo de alta dispersión, $p' = 29$ mm.
- d. Diámetro de la propela del equipo de alta dispersión, $dp' = 51,6$ mm.
- e. Espesor de la propela del equipo de alta dispersión, $Ep' = 3,226$ mm.
- f. Numero de hendiduras del equipo de alta dispersión, $Nh' = 20$.
- g. Longitud de hendiduras del equipo de alta dispersión, $Lh' = 6,45$ mm.
- h. Profundidad de las hendiduras del equipo de alta dispersión, $Ph' = 2,419$ mm.
- i. Ancho de la hendidura del equipo de alta dispersión, $Ah' = 2,419$ mm.

h) Velocidad del impulsor en el equipo de alta dispersión prototipo diseñado

$$V_{ip} = \frac{fpm}{dp * 0,262} \quad (XV) \text{ ((Manual Morehouse – COWLES, 2003)}$$

Donde:

Vip: Velocidad del impulsor en el equipo prototipo diseñado (RPM)



Para una velocidad periférica de 4000 fpm y los datos de la tabla 4.3.1

fpm= 4000fpm

dp= 2pulg.

$$V_{ip} = \frac{4000}{2 * 0,262}$$

$$V_{ip} = 7633,5RPM$$

i) **Nivel de producto en el tanque durante la etapa de dispersión en el prototipo de alta dispersión diseñado**

Obedeciendo a la ecuación V y con los datos de la tabla 4.3.1, establece que el nivel tiene un rango permitido entre:

$$NLD' = 50,8 - 101,6 \text{ mm}$$

j) **Volumen de producto en el tanque durante la etapa de dispersión en el prototipo de alta dispersión diseñado**

$$VOL = \pi * r^2 * h \quad (VXI) \text{ (Navarro, 1996)}$$

Donde:

VOL= Volumen de un cilindro (mm³)

r= Radio del cilindro (mm)

h= Altura del cilindro (mm)



Suponiendo el tanque del equipo diseñado como un cilindro hueco perfecto, despreciando la zona redondeada del tanque y sabiendo que:

$$r = \frac{DT}{2}$$

h = NLD'; tomando los datos de la tabla 4.3.1 y lo calculado anteriormente, sustituyo:

$$VOL = \pi * \left(\frac{165}{2}\right)^2 * 50,8$$

$$VOL = 1764053,3mm^3 = 1764cm^3$$

$$VOL = 1764cm - 2172,5cm^3$$



Apéndice C

Cuestionario aplicado para la generación de la tormenta de ideas



Villa de cura, Febrero 2007

Nombre: _____

Departamento: _____

Cargo: _____

1. ¿Cuáles cree usted que son las variables que afectan la etapa de dispersión en el proceso de producción de pinturas en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.?

2. ¿Cuál cree usted que es la variable más influyente en la mala dispersión observada en el proceso de producción de pinturas en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.?

3. Plantee soluciones para esta situación



Apéndices

En esta sección se muestran las ecuaciones y cálculos más representativos para el logro de cada objetivo, así como las especificaciones técnicas de los equipos y análisis económico de la propuesta.



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección se dará a conocer el problema de estudio, especificando su propósito, situación actual, situación deseada, objetivo general y objetivos específicos a cumplir para el desarrollo de esta investigación. También se presenta la justificación, limitaciones, antecedentes y alcance de la misma.

1.1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Debido a la gran demanda de calidad y economía que existe actualmente en el mercado venezolano de pinturas arquitectónicas emulsionadas, hay un gran número de pequeñas, medianas y grandes empresas dedicadas a satisfacer estas necesidades. Es por esto que se deriva una gran competencia, donde es necesario ser cada vez más eficiente en la elaboración de pinturas que posean estas características.

SOLINTEX de Venezuela S.A., es una de las empresas dedicadas a la elaboración de este tipo de pinturas y la misma fue fundada el 27 de Febrero de 1973, en Ocumare del Tuy, Estado Miranda. Debido al crecimiento acelerado de su carta de clientes y productos, se vieron en la necesidad de mudar sus instalaciones a un terreno más amplio, de manera que se pudiera aumentar la producción y es por esto que actualmente se encuentran ubicados en la Urbanización Industrial Los Tanques, Villa de Cura, Estado Aragua. En esta empresa se desarrollan, producen y comercializan productos tales como pinturas arquitectónicas emulsionadas (plástica profesional y súper acrílica), esmaltes (óleo) y recubrimientos industriales (pasta profesional).



La función principal de esta empresa fabricante de pinturas es aumentar los niveles de rendimiento y eficiencia en la manufactura del producto, utilizando para ello materia prima calificada, la cual es aprobada en un estricto ensayo de control de calidad, procesos de producción altamente eficientes y mano de obra capacitada. De esta forma se busca un pacto con los clientes y proveedores, manteniendo una rentabilidad razonable y sostenida.

Dentro del área de pinturas arquitectónicas existen las de tipo emulsionadas, las cuales utilizan agua como solvente. El proceso de producción de pinturas emulsionadas comprende tres etapas básicas antes del envasado que son: dispersión, espesamiento y adición del plastificante. La primera etapa consiste en la desaglomeración del pigmento, el cual está formado principalmente por dióxido de titanio, a través de una agitación mecánica, separándolo en partículas individuales y estabilizándose con el vehículo; en esta etapa también se añaden previamente componentes tales como espesantes, dispersantes, humectantes, cargas, entre otros, para ajustar algunas propiedades hasta alcanzar las características que debe poseer la mezcla en esta etapa. Luego sigue el espesamiento, el cual consiste en adicionar a la mezcla espesantes, coalescentes y solventes que le den el cuerpo buscado a la pintura. Por último se tiene la adición del plastificante o resina y como su mismo nombre lo dice consiste en adicionar a la mezcla la resina encargada de la adhesión de la pintura a las superficies, así como también antiespumantes, biocidas y tintas para darle la tonalidad al color buscado. (Ver figura 1.1.1).



Figura 1.1.1 Etapas básicas dentro proceso de producción de pinturas emulsionadas en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.

Fuente: propia, 2007.

En la actualidad las formulaciones de pinturas son desarrolladas a nivel de laboratorio, pero al ser utilizadas a escala industrial, se observó que, algunas veces la dispersión no se lleva a cabo con éxito. Por lo antes mencionado la empresa requiere de esta investigación experimental, que le permita conocer las mejores condiciones de operación en esta etapa, a través del desarrollo de un prototipo a escala de laboratorio que ofrezca la posibilidad de mejoras, así como también la disminución de costos operativos, tiempo de producción y un aumento en la calidad del producto.



1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, SOLINTEX de Venezuela S.A. desarrolla la formulación de sus pinturas en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la planta de emulsión, haciéndose esto necesario debido a la rotación constante de la materia prima y proveedores, todo esto se realiza con la finalidad de no variar la calidad de la pintura elaborada, adaptándose a las nuevas tendencias.

Tomando en cuenta esta situación, se planteó la posibilidad de elaborar un prototipo a escala del dispersor de alta velocidad, que ayude a mejorar la producción en la etapa de dispersión.

1.2.1 Situación actual

La empresa SOLINTEX de Venezuela S.A., específicamente en la planta destinada a la elaboración de pinturas emulsionadas arquitectónicas dispone de 6 dispersores de alta velocidad adaptados a 6 tanques, donde los primeros 3 poseen una capacidad de 1200 galones y los 3 restantes una capacidad de 504 galones.

La formulación de las pinturas es elaborada con éxito en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la planta, en un prototipo del equipo de alta dispersión que este laboratorio posee; pero al ser llevada esta fórmula a producción, los resultados que se obtienen en algunas oportunidades no son los esperados, pues se observa la retención de partículas sólidas. Los baches de pinturas que no cumplen con las especificaciones requeridas son reprocesados, generando a la empresa pérdidas por hora – hombre de trabajo, servicios industriales, entre otros.



1.2.2 Situación Deseada

Una formulación de pinturas que se desarrolle a nivel de laboratorio y se aplique a escala industrial con éxito, sin necesidad de reajustes durante el proceso, contando con una etapa de dispersión ajustada a los fundamentos teóricos. Esto trae como consecuencia unos niveles de costos operativos de gran beneficio para la empresa, tomando en cuenta, que hay un aprovechamiento óptimo de la materia prima, una disminución del tiempo de producción, así como también del número de lotes reprocesados, servicios industriales y costos hora – hombre de trabajo.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo General

Proponer una alternativa de mejora para la etapa dispersión de la línea de plástica profesional en la planta de emulsión de SOLINTEX de Venezuela S.A., por medio del desarrollo de un prototipo a escala del equipo de dispersión que incremente la calidad del producto.

Objetivos Específicos

1. Identificar cada una de las variables involucradas en la etapa de dispersión, para estimar la influencia de cada una en las características del producto.
2. Analizar variables en la etapa de dispersión a fin de identificar cuales son las más influyentes.



3. Desarrollar un prototipo a escala del equipo de dispersión con la finalidad de determinar las condiciones operativas adecuadas para mejorar esta etapa del proceso.
4. Presentar alternativas para mejorar la etapa de dispersión teniendo en cuenta la evaluación técnica de cada una, las cuales garanticen que se cumple con las especificaciones del producto elaborado.
5. Seleccionar la alternativa más adecuada, a fin de satisfacer los requerimientos de esta investigación y de la empresa.
6. Realizar una evaluación económica que involucre costos y beneficios al mejorar la dispersión, a fin de establecer comparaciones entre el proceso actual y el mejorado.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El planteamiento de las mejores condiciones de operación en la etapa de dispersión, se considera necesario en el proceso de producción, ya que al implementarlas en un futuro se mejorará la calidad de las pinturas emulsionadas arquitectónicas, asegurando la permanencia de esta empresa en el mercado.

La empresa SOLINTEX de Venezuela, S.A. estará en la capacidad de diferenciar las condiciones bajo las cuales se ha venido elaborando este tipo de pinturas con las condiciones planteadas, de manera que las mismas puedan ser implantadas a futuro aumentando la calidad en el proceso de producción. En otro sentido, la realización de la presente investigación ayudará a la disminución de costos de producción; además de resolver situaciones prácticas en la elaboración de otros productos dentro de la misma empresa.



Por otra parte, la realización de este tipo de trabajos de grado, además de fortalecer los vínculos Empresa – Universidad, permite conocer el perfil del egresado que realizó su escolaridad en la Facultad de Ingeniería, en la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Carabobo, de manera de colaborar con el ajuste de las exigencias curriculares del pensum, aparte de dar respuestas a problemas industriales con soluciones científicas y avances tecnológicos de vanguardia.

1.5 LIMITACIONES

Para la realización de este trabajo especial de grado es necesario tener en cuenta las limitaciones que existen en cuanto a la ejecución de ensayos, pues los mismos deben ser diseñados en base a la disponibilidad de materia prima, instalaciones y equipos existentes en el laboratorio de investigación y desarrollo de dicha empresa, para el desarrollo experimental de este tema.

También el prototipo a escala de laboratorio será desarrollado en base al presupuesto asignado por la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A. para el desarrollo de esta investigación.



CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

A continuación se hace una breve explicación acerca de los antecedentes que sustentan la presente investigación, así como también se describen los términos, procesos, teorías, y demás conceptos necesarios para el desarrollo de este trabajo especial de grado.

2.1 ANTECEDENTES

En esta sección se presenta un resumen de investigaciones realizadas con anterioridad relacionadas con el ámbito de estudio, que de alguna manera u otra servirán de base para el desarrollo de este trabajo especial de grado.

1. Rodrigues Pinto, E; Ponce de León, A. (2006). **Modelaje conjunto de la media y dispersión de Nelder y Lee como alternativa a los métodos de Taguchi**. Pesquisa Operacional v.26 n.2 Río de Janeiro.

En los últimos años, una colección de técnicas para mejorar la calidad fue desarrollada, en Japón, por Genichi Taguchi para el planteamiento, evolución y fabricación de productos industrializados. Esta revolución despertó interés en el campo de la calidad a nivel mundial, ya que varios ingenieros y estadísticos, han propuesto varios métodos alternativos, más claros y eficientes que aquellos propuestos por Taguchi. Nelder y Lee observaron que la metodología de Taguchi conduce a un modelaje conjunto de la media y dispersión, usando modelos lineares generalizados. El objetivo de este artículo es hacer una síntesis del modelaje conjunto de la media y dispersión, propuesta por Nelder y Lee, explicando, de una forma concisa los puntos de la teoría.



El presente artículo científico tiene una similitud principal con la investigación a desarrollar que es la de estudiar las dispersiones en la elaboración de productos industrializados. La diferencia radica en que se aplica una metodología alternativa a la metodología de Taguchi, siendo esta última considerada para el desarrollo de los objetivos de esta investigación.

2. Campara, M; Crespo, R. (2002). **Mejoramiento de las etapas de dispersión y mezclado en el proceso de elaboración de pinturas emulsionadas.** Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

Esta investigación tuvo como objetivo principal determinar las mejores condiciones de operación de los procesos de dispersión y mezclado para la elaboración de pinturas emulsionadas arquitectónicas. Esta investigación arrojó como resultado que el punto de fluidez y la viscosidad son factores determinantes para asegurar el buen desarrollo del proceso en la etapa de dispersión y mezclado. En la etapa de dispersión es necesaria la adición de espesantes, mientras que en la etapa de mezclado es necesario sustituir los discos dentados que posee el tanque de reducción por turbinas de polos cortos y colocar deflectores en los mismos.

La semejanza que presenta esta investigación con el trabajo especial de grado a desarrollar, es en la metodología para la mejora de la etapa de dispersión en el proceso de producción. Y la diferencia básica radica en que solo se llevará a cabo el estudio de una sola etapa, además de desarrollar un prototipo a escala piloto

3. García, M.; Jardine, G. (2002). **Mejoramiento del proceso de producción de dispersiones en la línea 10 para el acabado automotriz de DUPONT C.A.** Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

Esta investigación tuvo como objetivo fundamental el mejoramiento del proceso de producción de las dispersiones de la línea 10 de acabado automotriz empleados en la



preparación de las tintas Mastertint, especialmente las dispersiones blancas, verdes y azul, mediante la determinación de las mejores condiciones del proceso empleando un diseño experimental bajo la metodología de Taguchi. Tal investigación permitió concluir que bajo el nuevo esquema de proceso planteado para la dispersión blanca se redujo el tiempo de procesamiento en 4,88h, aumentando el rendimiento del mismo en un 2,02%, mejorando el FPF – QY en un 43% y obteniéndose un beneficio estimado anual de \$ 11.786. Para la dispersión verde se redujo el tiempo de proceso en 26,66h, aumentando el rendimiento en el 6,66% y mejorando el FPF – QY 80% con un beneficio estimado total anual de \$ 96.509.

La similitud con el trabajo en desarrollo radica en que ambos tratan de dar una metodología para la mejora de las dispersiones en una planta productora de pinturas emulsionadas. La diferencia con esta nueva investigación está en el desarrollo de un prototipo a escala que involucra las mejoras en el proceso de producción.

4. Martínez, Z. (2002). **Diseño de un sistema a escala piloto para la fabricación de pintura emulsionada a base de látex**. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

Este trabajo especial de grado tuvo como objetivo principal el diseño de un sistema de fabricación de pintura emulsionada a base de látex a escala piloto, en el que se pueda simular el comportamiento de los lotes de producción. En base a los resultados obtenidos se concluye que empleando un sistema de fabricación de pintura emulsionada que se dispone actualmente a nivel piloto, no es posible obtener resultados comparativos a los obtenidos a nivel industrial, por lo que se requiere instalar un sistema de fabricación de pintura a nivel piloto homólogo al empleado en planta.

Este antecedente presenta una similitud con la investigación que se va a llevar a cabo, en la metodología para el desarrollo del modelo piloto. La diferencia básica es que en este trabajo sólo se planteará la mejora de la etapa de dispersión a través del



desarrollo del prototipo a escala y no para varias etapas en el proceso de elaboración de pinturas emulsionadas como el descrito en el trabajo especial de grado mencionado.

5. Salager, J; Andérez, J; Briceño, M; Pérez de Sánchez, M; Ramírez de Gouveia, M. (2002). **Rendimiento de emulsión en función de la formulación, de la composición y de la energía de agitación.** Universidad de los Andes. Escuela de Ingeniería Química. Laboratorio FIRP.

La siguiente investigación persigue el objetivo de estudiar el rendimiento de emulsión, que se puede estimar por la disminución del tamaño de gota al agitar un sistema surfactante – agua y aceite que esté regido por: 1) Las variables de formulación físico – químicas que dependen de la naturaleza del agua, del aceite y del emulsionante, 2) Las variables de composición (concentración de surfactante y relación agua – aceite), 3) Las variables que caracterizan las condiciones de agitación. Después de describir las tendencias generales encontradas en investigaciones recientes, se especifican las condiciones para lograr el mínimo tamaño de gota en el espacio tridimensional formulación – agua – aceite.

La investigación resumida anteriormente se diferencia de la actual, en que ésta estudia todo el proceso de emulsión como tal y no sólo una parte, haciendo énfasis en la formulación físico – química de la mezcla, composición de la misma y la energía de agitación necesaria para que este proceso se lleve a cabo de forma óptima. La misma ayudará a abrir el campo de estudio al investigador, ya que hace referencia a otros factores aparte de la energía de agitación, que es lo que se pretende desarrollar en esta investigación.

2.2 BASES TEÓRICAS

En esta sección se presentan una descripción más amplia sobre los fundamentos, procesos, teorías, variables y parámetros entre otros que caracterizan e influyen en el



proceso de dispersión, así como también las técnicas y bases para la elaboración de equipos pilotos y demás aspectos importantes para el desarrollo de la investigación.

2.2.1 Comportamiento de los fluidos en recipientes mezcladores

A continuación se explica el comportamiento de cierto fluido en un recipiente, determinando si éste se encuentra en régimen laminar o turbulento, dando los detalles sobre el movimiento laminar del fluido, que es el que compete para esta investigación.

Numero de Reynolds del impulsor. La presencia o ausencia de turbulencia en un recipiente agitado mediante un impulsor, se puede correlacionar con el número de Reynolds del impulsor, que se define como sigue: (Perry, 1992)

$$N_{Re} = D_a^2 * \frac{\rho}{\mu} \quad (2.2.1)$$

Donde:

N_{Re} = Velocidad de rotación (r/s).

D_a = Diámetro del impulsor (m).

ρ = densidad del fluido (Kg. /m³).

μ = Viscosidad (Pa. s).

El flujo en el tanque es turbulento cuando $N_{Re} > 10000$. Entre número de Reynolds de 10000, y aproximadamente 10, hay un intervalo de transición en el cual el flujo es turbulento en el impulsor y laminar en las partes alejadas del recipiente; cuando $N_{Re} < 10$, el flujo solo será laminar. Es importante destacar que la viscosidad por si sola, no es un indicador valido del tipo de flujo que se puede esperar dentro del tanque.

No solo se relaciona con el numero de Reynolds del impulsor este tipo de flujo, sino también algunas características del rendimiento del proceso, como el tipo de mezclado, el índice de bombeo del impulsor, el consumo de energía del impulsor y los coeficientes de transferencia de calor, que se pueden correlacionar con ese grupo adimensional.



Movimiento laminar del fluido en los recipientes. Cuando el número de Reynolds del impulsor es menor a 10, el flujo inducido por él es laminar. En estas condiciones, el impulsor arrastra fluido en un patrón predominante circular. Si las aspas del impulsor tienen una curva hacia atrás, habrá un flujo viscoso de arrastre hacia las puntas de esas aspas. En condiciones de viscosidad moderada y flujo laminar, la fuerza centrífuga actúa sobre la capa de líquido arrastrada en una trayectoria circular por el impulsor giratorio, y el fluido se desplazará en dirección radial. Este efecto centrífugo hace que cualquier gas acumulado tras un aspa giratoria se desplace hacia el eje de rotación del impulsor. Estos componentes de velocidad radial son pequeños, en relación con la velocidad tangencial. (Perry, 1992)

Figura 2.2.1 Patrón usual de flujo laminar para impulsores de flujo axial o radial para tanques sin desviadores.

Fuente: Perry, 1992.

Para la agitación vigorosa de suspensiones se instalan desviadores (o baffles) en los tanques, que son bandas planas verticales colocadas radialmente a lo largo de la pared del tanque. Casi siempre son adecuados para tanques de agitación radial, aunque la anchura de los desviadores es es de $1/10$ del diámetro del tanque (dimensiones radiales). Para agitar lechadas, los desviadores se sitúan con frecuencia a una mitad de su anchura de la pared del recipiente, con el fin de minimizar la acumulación de sólidos sobre ellos o tras ellos. La utilización de desviadores da como resultado una gran circulación de la parte superior al fondo, sin que se formen remolinos ni se ejerzan fuerzas muy desequilibradas del fluido sobre el eje impulsor.



2.2.2 Fundamentos básicos sobre pintura emulsionada

Las pinturas emulsionadas consisten, como su nombre lo indica, en una emulsión de dos fases: agua y ligante (polímeros o copolímeros vinil acrílicos, acrílicos, estireno acrílicos, etc.). Al aplicar una película fina de este tipo de pinturas sobre una superficie, la emulsión se rompe debido a la eliminación del agua por secado, y las partículas de resinas se unen para formar una cubierta continua, homogénea y de buena resistencia. Se utilizan habitualmente en el pintado de mampostería o de madera. (Kirk y Othmer, 2005).

Este tipo de pinturas es un combinado de componentes con diferentes propiedades que cumplen una función única dentro del proceso. A continuación se mencionan las características más importantes de estos compuestos:

Pigmentos y extendedores. Son los encargados de darle el color y opacidad, al igual que resaltan la resistencia a la corrosión del recubrimiento, su dureza, la apariencia de su superficie, y el refuerzo estructural de la película. Los pigmentos deben ser capaces de ser dispersados en el recubrimiento, pero no soluble en el vehículo o solvente utilizado. Hay pigmentos tanto orgánicos como inorgánicos que se usan en los recubrimientos y, por lo general, los inorgánicos son mucho más baratos y se usan en mayor volumen que los pigmentos orgánicos.

Los pigmentos blancos y los extendedores son inorgánicos, pero hay también un buen número de pigmentos inorgánicos de color (figura 2.2.2). Los pigmentos orgánicos (figura 2.2.3) se utilizan para ampliar el intervalo de colores disponibles y tienen típicamente mayor fuerza de color y son más brillantes. (Brandau, 1997).

Pigmentos
Inorgánicos

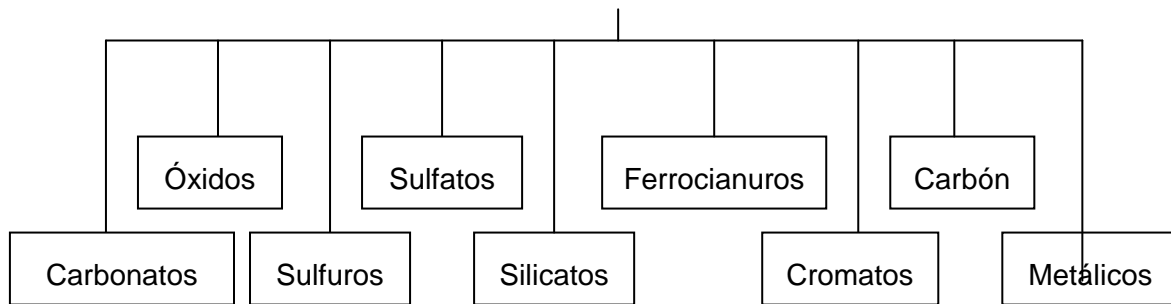
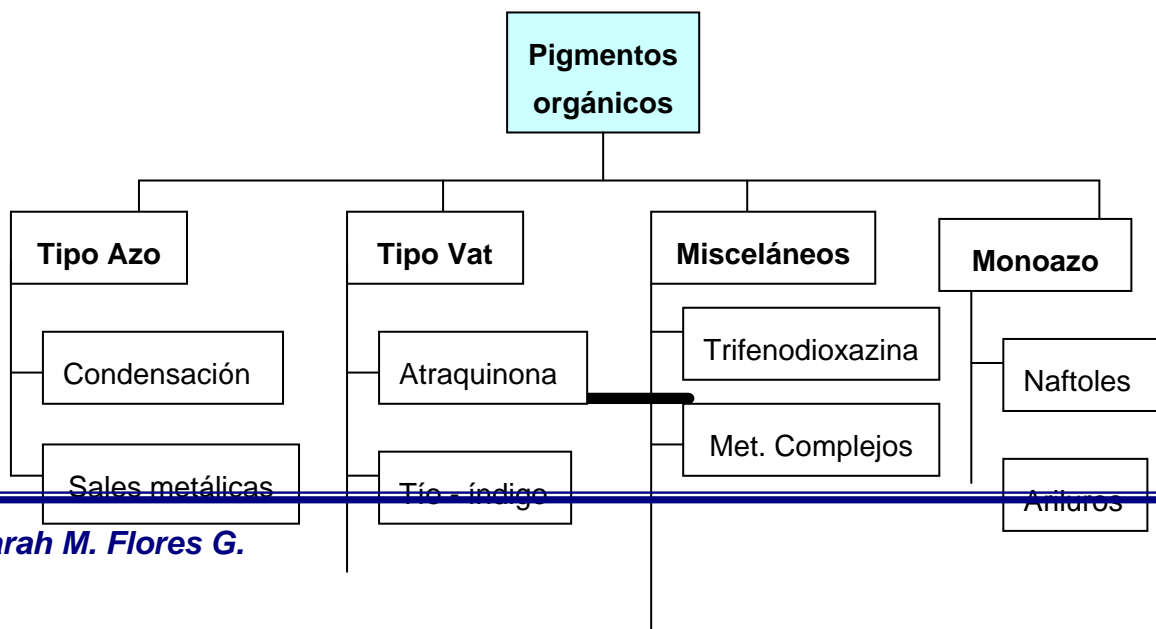


Figura 2.2.2 Pigmentos Inorgánicos comunes.

Fuente: Brandau, 1997

Agentes Coalescentes. Los solventes de alto punto de ebullición se usan como agentes coalescentes para ayudar a la formación de película en las formulaciones de emulsión. Estos agentes coalescentes mejoran el brillo, adhesión y resistencia al frote. Ejemplo de estos aditivos incluyen: carbitol®, Acetato de carbitol®, acetato de butil celosolve, acetato de butil carbitol® y glicol hexileno. (Brandau, 1997).



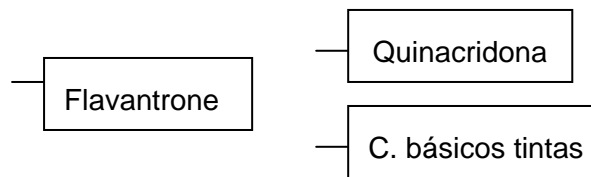


Figura 2.2.3 Pigmentos orgánicos comunes.

Fuente: Brandau, 1997

Resinas. La elección de una resina para usar en la elaboración de pinturas emulsionadas está sujeta al costo, disponibilidad y requerimientos de funcionamiento y en base a esto es posible emulsificar casi cualquier tipo de resina. En general, las resinas son utilizadas sin solventes orgánicos para evitar olores desagradables y riesgos de incendio. Dan protección a la mezcla, ya que ellas son las encargadas de la flexibilidad y adherencia del cubrimiento a la superficie, además de evitar que la película se agriete ante bruscos y continuos cambios de temperatura. (Kirk y Othmer, 1947). Existen varios tipos de resinas, tales como las acrílicas, las vinílicas, las vinil – acrílicas, entre otras. Las vinil – acrílicas se caracterizan por ser componentes unitarios que van a formar la cadena del polímero a dispersar. Fue el primer homopolímero utilizado en emulsión acuosa para la fabricación de pinturas, son polímeros duros que necesitan el agregado de plastificante externo, en la actualidad se usan como copolímeros con monómeros más blandos para lograr las características de flexibilidad y resistencia deseadas. La temperatura de transición vítrea del homopolimerizado es de 30°C y es la que determina la temperatura de formación de la película, y a la vez determinará las características finales del recubrimiento en cuanto a dureza, resistencia al rayado, etc.

Agentes dispersantes y emulsificantes. Un agente emulsificante es un material usado para producir mezclas mas o menos estables de líquidos inmiscibles, tales como el aceite y el agua, ya que reduce su tensión interfacial. Considerando que un agente humectante reduce la tensión interfacial entre un líquido y un sólido, un emulsificante la disminuye entre un líquido y un líquido. Estos agentes se utilizan para resolver problemas inherentes a largos tiempos de dispersión, pigmentos que no humectan bien,



pobre cubrimiento, pobre desarrollo del color, o pobre brillantez, además de mejorar la estabilidad dentro del envase. Ejemplos de estos agentes son: surfactantes catiónicos, aniónicos y poliméricos, aceite de ricino no iónico altamente etoxilado, entre otros. La elección de un agente activo en superficie es un factor importante en la formulación de pinturas emulsionadas y la misma depende del tipo de pigmento a utilizar y del vehículo a ser incorporado. (Kirk y Othmer, 2005).

Preservantes o biocidas. Los recubrimientos acuosos están sujetos al crecimiento de microorganismos que pueden causar problemas severos de olor y el deterioro del recubrimiento. Biocidas orgánicos no metálicos se usan actualmente para controlar este problema. Estos biocidas son hechos de derivados de la bencilisoxolinona, sustituyendo oxaxolidinas y heterociclos, con y sin agentes liberadores de formaldehído. Además de los biocidas usados para prevenir el deterioro de los recubrimientos líquidos acuosos mencionados, los biocidas también son formulados dentro del recubrimiento terminado para inhibir el crecimiento del moho que causa manchas negras y verdes en el sustrato terminado. (Brandau, 1997).

Desespumantes y Antiespumantes. Los supresores de espuma son necesarios para la manufactura de recubrimientos acuosos y algunos no acuosos para prevenir la formación excesiva de espuma durante la agitación y también durante la aplicación de los recubrimientos, dependiendo de la técnica usada. La espuma crea problemas tales como latas mal llenadas o cráteres en la superficie final del recubrimiento. Estos aditivos deben ser efectivos a bajas concentraciones y no pueden afectar adversamente las características del recubrimiento. Los desespumantes reducen la tensión superficial y permiten que la espuma se rompa tan rápido como se forma.

Típicamente cerca de tres libras de despumante se utilizan por cada 100 galones de recubrimiento. La composición de los desespumantes típicos incluye sílica orgánica, silicio emulsionado, poliglicol, y ciertos ácidos grasos. Alcoholes minerales, aceite de



pino, y alcoholes mayores como el alcohol octílico también se usan. (Brandau, 1997).

Solventes. Los solventes se usan en los recubrimientos para adelgazar la capa de pintura para efecto de aplicación, flujo y uniformidad final de la película sobre el sustrato. Es inusual que un solvente proporcione exitosamente todas las propiedades deseables necesarias para el recubrimiento, así que las mezclas de solventes son frecuentemente usadas para satisfacer todos los requisitos. El solvente o la mezcla, debe ser compatible con el vehículo y deben tener propiedades químicas que no afecten adversamente al recubrimiento ni dañen al sustrato. Además de esto deben considerarse la toxicidad, seguridad, olor, velocidad de evaporación, solvencia, viscosidad, puntos de inflamabilidad y de encendido, y desde luego, el costo. Los solventes más usados son hidrocarburos alifáticos, aromáticos, y compuestos oxigenados, tal como se muestra en la figura 2.2.4. (Brandau, 1997).

Figura 2.2.4 Clasificación de solventes orgánicos.

Fuente: Brandau, 1997.

2.2.3 Etapa de dispersión en la fabricación de pintura emulsionada.

La dispersión consta de varias etapas importantes las cuales se explican y amplían a continuación:

Dispersión. Incorporación del pigmento en un vehículo. Esto se logra mediante un



proceso de rompimiento de las partes que componen un aglomerado, que en este caso es el pigmento, para incorporarlo al vehículo. Es en este proceso de separación con poca o ninguna reducción en el tamaño de la partícula base; donde se intenta remover la capa de aire que rodea a la partícula e incorporarlo en el líquido usado como vehículo. Para que un líquido se difunda espontáneamente sobre la superficie de un sólido, la tensión superficial del líquido debe ser igual o menor que la tensión superficial del sólido. En las de tipo emulsionadas, el vehículo presente es el agua y esta sustancia, por poseer una alta tensión superficial, a menudo dificulta el proceso de mojar la superficie de un sólido.

Teoría de la dispersión. Consiste en el aceleramiento de una partícula tanto de un aglomerado como un agregado a través de un medio viscoso. La interacción de las partículas entre ellas mismas, así como también con el medio que la rodea, ejerce suficiente energía para causar la separación de las partículas en la masa. Lo anterior asume que el sistema en el cual se lleva a cabo esta interacción, es diseñado para generar los niveles de energía requeridos. La continuación de este proceso permite la encapsulación de las partículas libres en el medio líquido, previniendo la reaglomeración y dando una formulación química estable.

Algunos factores involucrados para determinar una formulación con respecto al proceso de dispersión son:

1. Proporción del adhesivo y pigmento.
2. Formulación viscosidad.
3. Sólidos totales.
4. Densidad de la formulación.

Establecer sólidos y proporciones de pigmentos – dispersantes o el vehículo asegura que haya suficiente líquido disponible para encapsular la superficie de las partículas generadas durante el proceso de dispersión. Para obtener los máximos



beneficios de un pigmento, es necesario obtener la mayor reducción posible al tamaño de la partícula primaria; mayormente se requiere usar la menor cantidad de pigmento. Una buena dispersión consiste principalmente en partículas primarias, con solo un mínimo número de agregados y aglomerados. En la mayoría de los casos, la separación de la partícula hasta su estado primario, está determinada por la naturaleza del pigmento y por el sistema de dispersión.

Según la Teoría de Patton, el proceso de dispersión de pigmentos envuelve un número de etapas las cuales pueden ocurrir simultáneamente, que incluyen el fracturamiento de grandes grupos de pigmentos en pequeños grupos o en partículas individuales incorporándolas en el vehículo por el desplazamiento de aire o impurezas, seguido por la penetración del vehículo en el pigmento aglomerado. (Figura 2.2.5).

Reduciendo la tensión superficial de la mezcla con tensoactivos, se puede reducir la energía requerida para hacer que el vehículo moje el pigmento, ahorrando tiempo y dinero. En casos extremos puede ser físicamente imposible obtener una dispersión razonable de una combinación vehículo – pigmento sin el uso de tensoactivos. Estos tensoactivos pueden estabilizar la dispersión de un pigmento neutralizando las cargas de la superficie del pigmento y previendo la atracción pigmento a pigmento que da como resultado la floculación. (Martínez, 1984).





Figura 2.2.5. Varias etapas en la preparación de una dispersión de pigmento adaptada según la Teoría de Patton.

Fuente: Martínez, 1984.

En general, es reconocido que el proceso de dispersión consiste en tres etapas:

1. Humectación del pigmento.
2. Desagregación y desaglomeración.
3. Estabilización.

Humectación del pigmento

La humectación del pigmento involucra remover de la superficie de éste el aire, líquidos o cualquier otro tipo de material para reemplazarlo por moléculas de vehículo. La eficiencia de este paso depende de la tensión superficial del pigmento y del vehículo, así como también de la viscosidad de la mezcla resultante.

Desagregación y desaglomeración

Después de la humectación, es necesario desagregar y desaglomerar las partículas del pigmento, lo cual es elaborado generalmente por una acción mecánica. Como la partículas de pigmento son llevadas a partículas individuales, mayores áreas de superficie empiezan a ser expuestas al vehículo. Durante esta etapa la cantidad de vehículo libre disminuye, por lo tanto, la viscosidad de la dispersión aumenta. A altas velocidades el esfuerzo cortante es mayor y la separación de partículas se vuelve más eficiente.

Este proceso de dispersión requiere de energía. Algunos pigmentos han sido desarrollados para ayudar en la reducción de energía; tales pigmentos son elaborados



con un tratamiento en la superficie, con el propósito de reducir o inhibir la aglomeración. La mayoría son específicamente para tintas, pinturas, recubrimientos o plásticos.

Estabilización de la dispersión

La tercera etapa es de gran importancia en el proceso de dispersión, pues es la encargada de la estabilización del pigmento. Esto asegura que la completa humectación y separación de partículas ha sido alcanzada, y también que las partículas de pigmento son homogéneamente distribuidas en el medio.

Si la dispersión no ha sido estabilizada, la floculación puede ocurrir como resultado de la aglutinación de partículas de pigmento. La floculación es generalmente un proceso reversible y la misma se puede reducir o eliminar mediante el uso de resinas; cuando aun así persiste, se puede usar surfactantes o dispersantes poliméricos. Estos aditivos se pueden agregar directamente en la manufactura del pigmento o se pueden incorporar en el vehículo. Las dispersiones se pueden estabilizar mediante dos mecanismos aceptados que son la estabilización por carga y la estabilización esférica.

La estabilización por carga se debe a la repulsión de fuerzas eléctricas, que es el resultado de cargar eléctricamente una doble capa alrededor de la partícula como se muestra en la figura 2.2.6. La doble capa de cargas eléctricas desarrollada alrededor de las partículas se alargan en el medio, y como las partículas están rodeadas por la misma carga que puede ser positiva o negativa, se repelen unas con otras cuando se acercan, lo cual permite que la partícula este dispersa en el medio.

En cambio, la estabilización esférica es el impedimento esférico resultante de absorber el agente dispersante. Por lo general, esto involucra que se agregue polímeros



al sistema, absorbiéndose éste en la superficie de la partícula e impidiendo que otras partículas se acerquen. Si suficientes cadenas de polímeros son absorbidas por la partícula, forman un recubrimiento grueso que mantiene las partículas separadas por repulsiones esféricas. Este tipo de estabilización esférica es también representada en la figura 2.2.7. (Martínez, 1984).

Figura 2.2.6. Estabilización por carga.

Fuente: Martínez, 1984.

Figura 2.2.7. Estabilización esférica.

Fuente: Martínez, 1984.

2.2.4 Descripción del equipo de alta dispersión empleado en la fabricación de pintura emulsionada. (HSD).

En la preparación de una mezcla, la porción sólida es típicamente agregada al solvente en algunos equipos de dispersión de alta velocidad. Un dispersor de alta velocidad, o HSD por sus siglas en inglés (High - speed disperser), es una herramienta básica usada en la industria de las pinturas, tintas, plásticos y adhesivos que se puede encontrar en la mayoría de las plantas (figura 2.2.8). Por lo general, en las aplicaciones industriales se sigue usando un dispersor de alta velocidad como dispersor primario, tales como las pinturas de látex para casas, las cuales necesitan de molienda. Estas dispersiones requieren partículas muy pequeñas. Su función principal es incorporar y



desagregar aglomerados en un vehículo líquido y humectar las partículas secas para producir una dispersión estable y uniforme con un tamaño de partícula lo más fino posible.

Figura 2.2.8. Partes principales que conforman el equipo dispersor de alta velocidad.

Fuente: Manual Morehouse – COWLES, 2003.

Un lote es iniciado con bajo nivel o volumen de fluido y el pigmento sin humectar. El nivel de fluido debe ser 50% menos del lote final. La propela es colocada típicamente en el centro y operada a baja velocidad. La baja velocidad debe producir un vórtice profundo donde el pigmento seco es introducido, siendo éste rápidamente absorbido por el líquido. Para evitar formar grandes masas secas, no se debe cargar demasiado volumen de pigmento. Se debe incrementar la velocidad para mantener el vórtice mientras aumenta la viscosidad. En este momento se puede agregar otros ingredientes húmedos o líquidos. Reducir el vórtice también reducirá la cantidad de aire que se incorpora en el lote, lo cual es particularmente importante para los productos basados en agua.

Es en este momento del proceso donde ya se puede dar inicio a las dispersiones a una velocidad periférica de 4000 a 6000 fpm por un periodo aproximado de 20 minutos. El dispersor se puede levantar y bajar para eliminar estratificación o una posible capa dentro del lote. Después de 20 minutos, una muestra del lote puede ser analizada para la finura de la molienda. Mantener el dispersor de alta velocidad por un periodo mayor a 20 minutos no producirá mejores resultados, por el contrario, la temperatura del lote incrementará, lo cual puede no ser bueno para la fórmula, debido a que se pueden evaporar solventes, agentes humectantes o cualquier otro componente volátil que puede dañar el producto final e incrementar el porcentaje de sólidos. (Martínez, 1984).

Funcionamiento del impulsor. Describe el desempeño de la propela a través de la



velocidad que ésta imparte, patrones de flujo, entre otros aspectos.

1. A velocidades de dispersión entre 4000 y 6000 fpm la propela imparte alta velocidad al material, (figura 2.2.9). (Morehouse – COWLES, 2003).

$$V_p = V * 0,262 * dp \quad (2.2.2)$$

Donde:

V_p : velocidad periférica de la propela (fpm).

V : Velocidad tangencial de la propela (rpm)

dp : diámetro del impulsor (pulgadas)



Figura 2.2.9. Patrón de velocidad que imparte la propela al material.

Fuente: Manual Morehouse – COWLES, 2003

2. La alta velocidad crea una zona turbulenta de flujo intenso. El rápido agotamiento hidráulico se logra en esta zona utilizando energía del esquileo y de impacto. Esta zona turbulenta está normalmente dentro de 1 a 2 pulgadas del diámetro de la propela, y del 75% de la energía cinética se aplica dentro de esta zona. El vórtice debe terminar donde el eje se una con la propela. (Figura 2.2.10).

Figura 2.2.10. Patrón de la zona turbulenta generada por alta velocidad de la propela.

Fuente: Manual Morehouse – COWLES, 2003.



3. Más allá de la zona turbulenta, el movimiento llega a ser laminar. Este flujo se divide en la pared del recipiente, asegurando la circulación completa del bache entero. La turbulencia no interrumpe el patrón del flujo. El flujo laminar es el que causa el vórtice visto en el proceso. (figura 2.2.11).

Figura 2.2.11. Flujo laminar del movimiento total dentro del tanque.

Fuente: Manual Morehouse – COWLES, 2003.

Tipos de diseño propelas.

La viscosidad del producto, tamaño del tanque y forma, potencia, baffles, y el material de la propela influye en el diseño óptimo de la propela para los requerimientos de cierta aplicación. A continuación se muestran las propelas mas usadas:

1. Propela de alto esquileo: son los piñones más usados en los últimos 40 años y los más apropiados para aplicaciones de mezcla y dispersión. Debido a su borde, es la configuración más eficiente de corte para dispersiones buenas y rápidas, (figura 2.2.12).

Figura 2.2.12. Propela de alto esquileo.



Fuente: *Manual Morehouse – COWLES, 2003.*

2. Polypeller: es una de las pocas propelas no – metálicas en el mercado actual. Diseñada para dispersiones de materiales abrasivos. Este propela puede ser instalado con cualquiera de sus lados hacia arriba. (figura 2.2.13).

Figura 2.2.13. Propela Polypeller.

Fuente: *Manual Morehouse – COWLES, 2003.*

3. Propela alta o láminas de bombeo: el borde del piñón tiene salientes más largos que las propelas de alto esquileo. Esto permite que el producto se mueva más con menos esquileo, perfecto para usos de mezclado. Esta propela es una excelente opción para el rango intermedio entre dispersiones de baja velocidad y de alta velocidad. (figura 2.2.14).

Figura 2.2.14. Propela alta o propela de bombeo.

Fuente: *Manual Morehouse – COWLES, 2003.*

4. Propelas de selección: Son diseñadas para tajar, cortar o romper grandes pedazos o aglomerados. Típicamente, estas láminas son muy resistentes para ciertas aplicaciones y están cubiertas de cromo plateado y carburo de tungsteno, ver figura 2.2.15. (Manual Morehouse – COWLES, 2003).

Figura 2.2.15. Propela de selección.

Fuente: *Manual Morehouse – COWLES, 2003.*



Tamaño de la propela.

El diámetro de la propela debe ser igual a 1/3 del diámetro del tanque para asegurar un buen flujo laminar, y para obtener una dispersión lo mas eficiente posible del equipo. (Manual Morehouse COWLES, 2003)

$$dp = \frac{1}{3} * DT \quad (2.2.3)$$

Donde:

dp: diámetro de la propela (mm)

DT: diámetro del tanque (mm).

- *Si es muy pequeña* para el tanque, provoca un mal movimiento del producto y asentamiento de sólidos en el fondo del tanque, además de largos tiempos de dispersión.
- *Si es muy grande* para el tanque, producirá mal movimiento del producto y hará que entre aire dentro del mismo.

Posición de la propela.

La propela debe estar de 0,5 veces del diámetro de su tamaño, desde el fondo del tanque. (figura 2.2.16). (Manual Morehouse COWLES, 2003) :

$$DTp = (0,5) * dp \quad (2.2.4)$$

Donde:

DTp: Distancia entre la propela y fondo del tanque (mm).



- Si esta muy abajo, el flujo del producto decrece en el tanque y crea puntos muertos que no son dispersados.
- Si esta muy arriba en el tanque, causa decrecimiento del flujo en el fondo del tanque y asentamiento de sólidos que luego no son dispersados. También puede entrar aire a la mezcla.
- Si esta fuera del centro y el tanque es muy grande para el dispersor, es difícil obtener una buena dispersión.

Velocidad de la propela.

Esta variable indica que la misma debe encontrarse entre los parámetros de velocidad descrito en secciones anteriores.

- *Velocidad baja:* Una propela que gira muy lentamente puede dar como resultado largos tiempos de dispersión y la posibilidad de que se asiente el material en el fondo. Una buena velocidad de dispersión esta entre 4000 – 6000 fpm.
- *Velocidad alta:* Una propela que gira rápidamente produce la aparición de aire en el producto, exceso de calor generado y baja calidad de dispersión.

Nivel de producto en el tanque. Parámetro de diseño en el cual se establece que el nivel de producto puede ser equivalente de 1 a 2 veces el diámetro de la propela. Ver figura 2.2.16. (Manual Morehouse COWLES, 2003):

$$NLD = (1 - 2) * Dp \quad (2.2.5)$$

Donde:

NLD: Nivel de liquido en el tanque durante la etapa de dispersión (mm).



Figura 2.2.16. Parámetros de diseño para un dispersor de alta velocidad

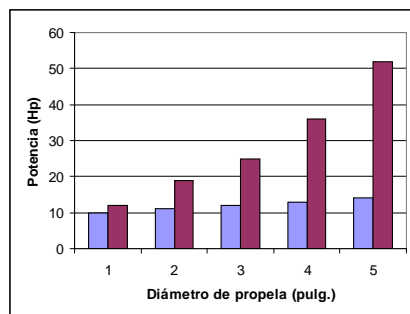
Fuente: Morehouse – COWLES, 2003.

Potencia del motor. Parámetro de diseño donde se muestra que el estándar para los caballos de fuerza es hp 10 que cada 100 galones de producto. (Manual Morehouse COWLES, 2003):

$$100GALdeproducto = 10hp \quad (2.2.6)$$

Esto es un buen número a utilizar para los materiales por debajo de 20000cps. La figura 2.2.18 es un dispersor de 25 hp con un tanque diseñado para una lámina del 12".

La velocidad del eje es 1460 RPM y el producto es 10000 cps, y $1.2g/cc^2$. Los caballos de fuerza son afectados por el tamaño de la propela como se muestra en la figura 2.2.17. El requerimiento de potencia disminuye cuando el diámetro de la propela va de 10 a 11 pulgadas, y va aumentando cuando el diámetro del disco varia de 13 a 14 pulgadas, creando así una mayor demanda que la disponible. Reducir los RPM también reduciría la velocidad periférica por debajo de 4000, dando como resultado un tiempo más largo de dispersión. La figura 2.2.17 muestra que los fpm fluctúan a medida que el diámetro del disco cambia.



	1	2	3	4	5
Diámetro propela (pulg.)	10	11	12	13	14
Potencia (Hp)	12	19	25	36	52



Figura 2.2.17. Relación entre la potencia y el diámetro de propela en un motor de dispersor de 25 hp.

Fuente: Manual Morehouse – COWLES, 2003.

Vórtice. Variable que permite identificar visualmente si la dispersión que se esta llevando a cabo dará buenos o malos resultados.

- *Mal vórtice:* Puede ser producido por la mala posición de la propela, baja velocidad, o por añadir materiales secos muy rápido.

- *Buen Vórtice:* Casi permite la observación del eje al disco, observandose el efecto dona que se muestra en la figura 2.2.18. (Manual Morehouse – COWLES, 2003).

Figura 2.2.18. Visualización de un buen vórtice dentro del tanque.

Fuente: propia,2007.

2.2.5 Principios de operación del equipo de alta velocidad (HSD) empleado en la fabricación de pintura emulsionada

Para conocer y dar buen uso al equipo de alta dispersión empleado en la elaboración



de pinturas emulsionadas, es necesario conocer que existen principios de operación que optimizan el uso del equipo y la producción, los cuales se indican a continuación:

La rotación de la propela es a la derecha. En la mayoría de los casos, el piñón tendrá un "borde principal definido" que entre en contacto primero con el producto en una rotación a la derecha. La mayoría de las propelas tendrán una flecha de rotación en ellas que puede ser vista desde la tapa del tanque.

Mantenga la máquina apagada hasta que la propela este por debajo del nivel líquido. El dispersor debe permanecer apagado mientras que se agrega el líquido inicial hasta que el disco este por debajo del nivel líquido. Si la propela está dando vueltas mientras que el líquido se vierte encima de la lámina, vibrará y dañará posiblemente el disco, el eje o los cojinetes.

Comience y pare siempre a la velocidad baja. Además de ser un buen hábito de seguridad, éste alargará la vida útil de correas y cojinetes.

Aumente la velocidad a medida que aumente el nivel de líquido y la viscosidad. Una vez que el nivel esta por encima de la propela, y el dispersor esta operando a baja velocidad, la velocidad puede ser incrementada lentamente a medida que la materia prima es añadida o mientras se alcanzan las RPM deseadas. (Manual Morehouse – COWLES, 2003).

2.2.6 Proceso actual de fabricación de pintura emulsionada a base de látex a nivel industrial en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.

Actualmente en la empresa SOLINTEX S.A. de Venezuela, se siguen una serie de pasos para llevar a cabo la producción de pintura emulsionada. Aquí se chequea desde la recepción de materia prima, hasta el envasado y despacho del producto. A

continuación se hace mención de estos pasos, explicando detalladamente cada uno de ellos. (Ver figura 2.2.19 y 2.2.20).

Recepción de materia prima. Toda la materia prima empleada en la elaboración del producto pasa por un riguroso control de calidad antes de ser admitida en almacén. Esto es, a todo material que llega a la empresa ya bien sea a través camión cisterna, gandola, container, etc., se le toman muestras, las cuales son llevadas a laboratorio para su posterior aprobación o rechazo. La cantidad de muestras tomadas se rigen bajo un método estadístico aplicado en la empresa para esta actividad y dependen directamente de su naturaleza química y origen.

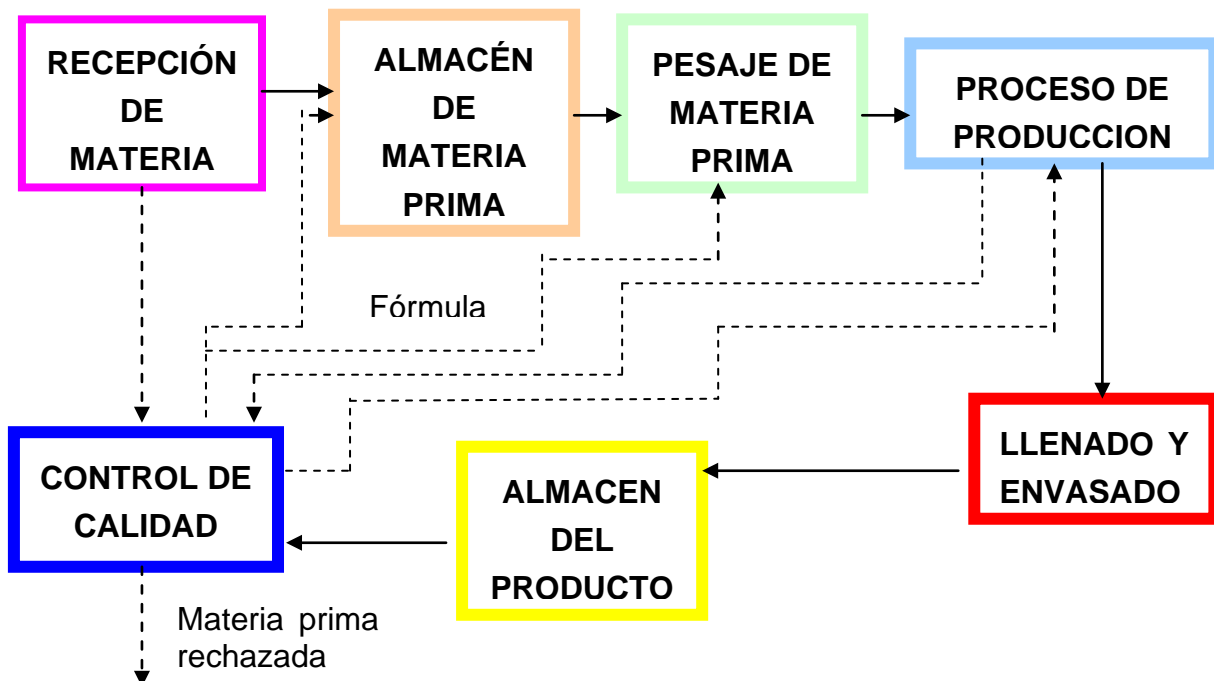
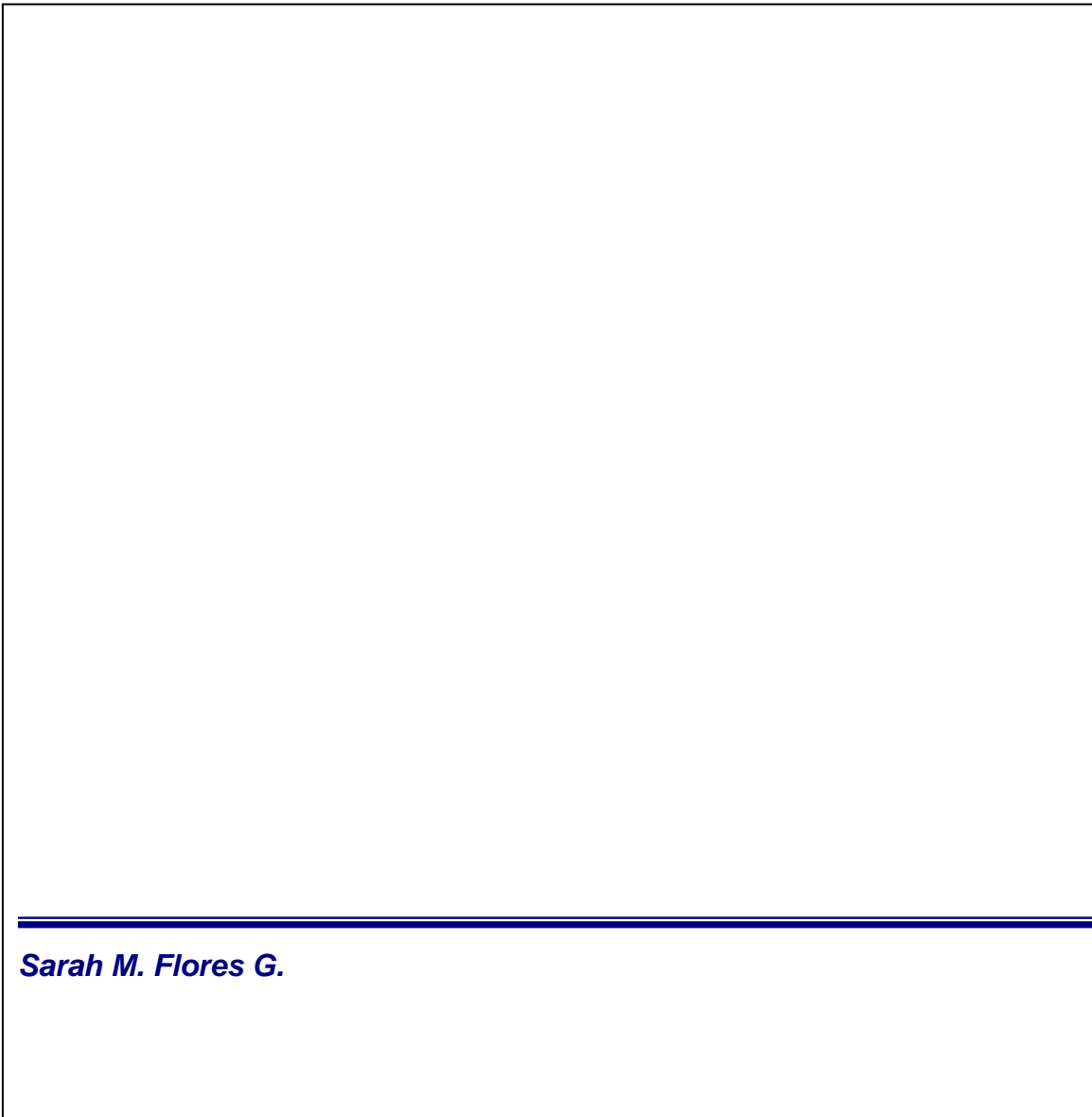


Figura 2.2.19. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de pintura emulsionada en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.

Fuente: propia, 2007.



Control de calidad y almacén de materia prima. Una vez que las muestras llegan al laboratorio, se someten a varias pruebas dependiendo si el material se encuentra en estado sólido o líquido. Generalmente, a los materiales sólidos se les verifica color y la retención de partículas en mallas de diferentes tamaños, dependiendo del material. En cambio, si la materia prima se encuentra en estado líquido, se chequea el porcentaje de sólidos mediante un analizador de humedad, viscosidad, peso por galón, pH y si es necesario la prueba de aplicación sobre vidrio. Si la muestra supera todas las pruebas aplicadas y se encuentra dentro de los estándares de calidad de la empresa, se dicta la orden para que sea llevada a almacén, de lo contrario el material es rechazado y devuelto al proveedor. El material es almacenado en galpones aireados y tanques (según sea su naturaleza) que protegen al mismo de la intemperie.





Pesaje de materia prima. Debido a que la pintura esta compuesta por muchas sustancias diferentes, la pesada de estas varía según su estado de agregación y cantidad. Las cargas y extenderes son pesados en almacén según la fórmula de color a realizar. Una vez pesadas, las mismas son llevadas a una tolva de dosificación, que luego, por medio de un elevador de cangilones, es agregada al tanque. El resto de materiales sólidos, como pigmentos, al igual que las materias primas liquidas y tintas, son pesados por los operarios en planta con equipos calibrados y destinados únicamente para este propósito, pues se manejan cantidades menores de material.

Proceso de producción. Para comenzar un lote, se vacía la pintura elaborada con anterioridad en otro tanque para su posterior envasado. Una vez dada la orden que el tanque en donde se realiza la mezcla ha sido vaciado, se procede a lavarlo dándole velocidad a la propela para facilitar su limpieza. El agua de limpieza del tanque es reutilizada para el próximo lote. (Solo aplica si se va a elaborar una pintura del mismo color o un tono mas oscuro, de resto el agua no es reciclada y se lava el tanque bien)

Primera etapa: Cuando el agua esta a nivel de la propela, se aumenta la velocidad de ésta y se agregan los agentes dispersantes y espesantes por el tope del tanque, se cierra y se da la orden de agregar las cargas que se encuentran en la tolva de dosificación. Si la base de la formula a realizar es coloreada, el pigmento se debe agregar antes de agregar las cargas. Se añade el resto del agua que hace falta para completar esta etapa, agentes humectantes y se disminuye la velocidad de la propela. El tiempo de dispersión es de 25 minutos

Figura 2.2.20. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de pintura emulsionada según la inspección realizada en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A, 2007.



aproximadamente y antes de pasar a la segunda etapa se chequea viscosidad, peso por galón, dispersión (malla 140) y pH.

Segunda etapa: En esta etapa están presente los agentes espesantes, coalescentes y solventes, con un tiempo de duración de 15 minutos contados a partir de la adición de agua predeterminada para esta fase. Aquí se chequea apariencia, viscosidad y pH.

Tercera etapa: En esta etapa se lleva la velocidad a un mínimo de rpm para agregar las resinas y biocidas. Luego se va aumentando las revoluciones poco a poco hasta llegar a la velocidad deseada. También en esta etapa se agregan los agentes antiespumantes y los operarios coloristas se encargan de ajustar el color. Al finalizar esta fase, se chequea viscosidad y peso por galón final del producto, pH, cubrimiento y color.

Llenado y envasado. Una vez dada la orden de terminación del lote, la mezcla es transferida a otro recipiente, el cual posee un dispositivo automatizado que dosifica la cantidad justa a envasar, ya bien sea en recipientes de 1, 4 o 5 galones, según sea el pedido. Luego se tapa y se sella para luego ser almacenado junto a otros de su tipo.

2.2.7 Proceso de fabricación de pintura emulsionada a base de látex a nivel de laboratorio empleado en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.

El sistema de dispersión que actualmente se dispone a nivel de laboratorio, consta de un tanque de material plástico con una capacidad de un galón, un agitador con motor de 1hp y velocidad máxima de 10.000 rpm. El agitador tiene adaptado un eje con disco de polipropileno, el cual es fácilmente intercambiable por otros tipos de propelas.

El proceso de preparación de un piloto comienza con la formulación del lote, que es la misma utilizada en producción pero se le es aplicado un ajuste en cantidad (debido al



escalamiento) de 1.000 unidades. También se toman en cuenta aspectos importantes como la disponibilidad de materia prima y el material a probar, los requerimientos de calidad de la pintura, así como las especificaciones técnicas que se exijan para este producto.

Luego se procede a seleccionar el tipo de agitador (mayormente utilizado el disco de polipropileno), se ajusta al sistema motor – dilusor, y se ubican los elementos antes mencionadas en posición correcta para dar inicio a la carga de materias primas. Se pesan las cantidades de materias primas para la primera etapa y aplicando el ajuste antes señalado, se carga el agua inicial al envase donde se prepara la muestra y se adicionan a baja velocidad de agitación los aditivos y materias primas según el orden que indique la fórmula.

Agregados estos primeros componentes, se continúa modificando convenientemente la velocidad de giro del eje de agitación, a fin de ajustar la reología de la base de molienda, una vez que se ha incorporado la totalidad de materias primas sólidas. Alcanzando este efecto, se dispersan los componentes de la pintura hasta obtener el grado de dispersión mínimo que se requiere para la muestra que se prepara.

Finalizado el proceso de dispersión, continúa la etapa de espesamiento del producto incorporando, en el mismo envase donde se realiza la dispersión, los aditivos correspondientes a la segunda etapa. En esta etapa se disminuye la velocidad de giro del eje, manteniendo la reología visualizada en la dispersión. Ya en la tercera etapa se agregan las resinas, biocidas y antiespumantes con una velocidad menor a la de la etapa anterior durante 8 minutos mas y dependiendo, si se elabora una base o una pintura coloreada, se agregan o no tintas que den la tonalidad de color esperada.

Por ultimo, el analista enfría la muestra y realiza las evaluaciones de calidad de la pintura obtenida, midiendo viscosidad, pH, color, cubrimiento, entre otras,



determinándose si el piloto preparado cumple con las especificaciones técnicas establecidas. Según los resultados obtenidos, se proceden a realizar los ajustes necesarios, determinados por el objetivo de la preparación de la muestra. Para entender mejor lo antes explicado, a continuación se presenta un diagrama de bloques donde se simplifica dicha actividad:

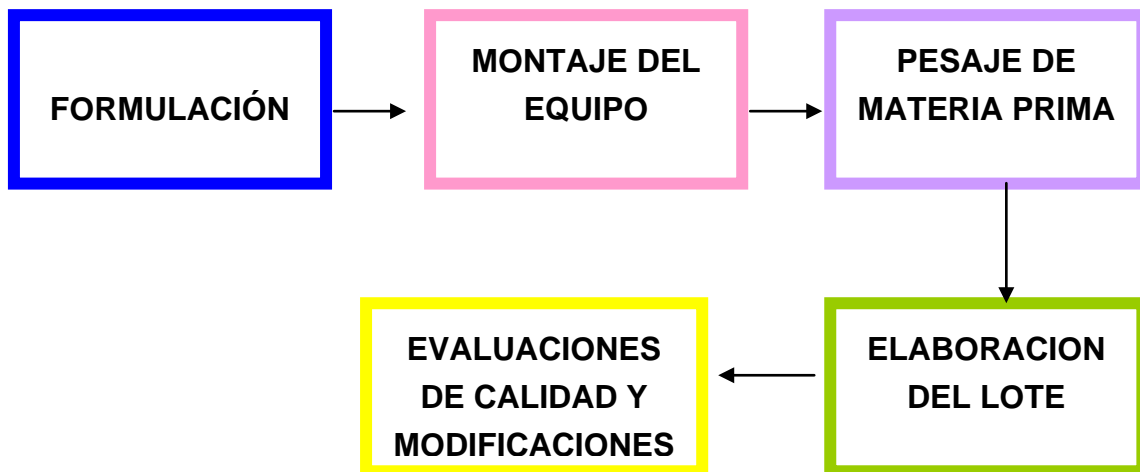


Figura 2.2.21. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de pintura emulsionada a base de látex a nivel de laboratorio empleado en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.

Fuente: propia, 2007.

2.2.8 Plantas pilotos y modelos.

Para el diseño de los equipos utilizados en un proceso a nivel industrial, se expone que, en la práctica común, se obtienen las características del mismo mediante la experimentación del producto indicado en un equipo de tamaño reducido. Esto, para pronosticar de algún modo el comportamiento del producto una vez que sea preparado a nivel industrial.

Solo en casos excepcionales es posible hacer uso a gran escala equipos similares a



los empleados en los laboratorios de experimentación, puesto que no siempre es posible precisar o estimar a partir de estas condiciones de operación inherentes a equipos industriales. Tal caso es el consumo energético de un equipo industrial que dé una idea del costo de operación cuando el proceso se lleve a cabo en un nivel mayor de capacidad.

El paso de la investigación de laboratorio a la operación a gran escala en planta, es grande. Siendo así, un proyecto muy arriesgado puesto que involucra grandes pérdidas en tiempo y dinero y no se puede garantizar la reproducibilidad del comportamiento del producto cuando se elabora en mayor cantidad, basándose sólo en el éxito obtenido a partir de experimentaciones realizadas en laboratorio. (Johnstone y Wolldridge, 2003).

De este modo, se introduce el concepto de plantas pilotos, que no son más que el diseño y puesta en marcha de equipos similares a los empleados en el laboratorio en niveles intermedio entre este último y la planta. En éstos se reproducen cada paso del proceso de producción realizado en el laboratorio, siendo esta la forma más rápida y confiable de obtener la información requerida para el diseño a nivel industrial, en cuanto al funcionamiento de los equipos involucrados en el proceso y comportamiento del material cuando se trabaja en equipos de mayor capacidad. (Perry, 1992).

En este sentido, las plantas a pequeña escala se emplean para lograr información que no puede ser obtenida mediante ningún método rápido y económico. Por lo tanto los objetivos de estos equipos a escala son:

1. Estudiar el funcionamiento de una planta industrial existente, mediante su reproducción en equipos de menor tamaño designados como equipos modelos, los cuales tienen como función exhibir los efectos de cambios en las condiciones de operación en la fabricación de un producto, de manera rápida y económica.



Pronosticar el comportamiento de un producto en un proceso de producción en una planta industrial que no ha sido construida, siendo designados estos equipos a pequeña escala como *planta piloto*, los cuales tienen como función proveer datos de diseño para la fabricación de equipos a gran escala, atendiendo además la producción en pequeñas cantidades de productos nuevos o ya existentes. (Johnstone y Woldridge, 2003).

En resumen, las funciones de una planta piloto abarcan el desarrollo del proceso y las del modelo abarcan el estudio del mismo. Sin embargo, a este último puede dársele una interpretación puramente geométrica respecto a los equipos a gran escala ya que en general, es conveniente que la planta piloto y el modelo estén diseñados con algunas particularidades propias del prototipo a gran escala, tales como proporciones y forma. De tal manera que una planta piloto puede ser considerada a su vez como el modelo de un prototipo.

2.2.9 Principios fundamentales para el escalado ascendente y descendente en procesos físicos y químicos.

Cuando se propone realizar el escalado de un equipo, es necesario tener en cuenta que, tanto el equipo principal como el que se desea diseñar a escala, sean sistemas homólogos, es decir que:

1. El modelo correspondiente a los miembros sólidos o superficies sólidas que confinan la masa, sean geoméricamente similares.
2. La composición y propiedades físico – químicas de la masa que confinan correspondan punto a punto, es decir, que los efectos que se produzcan en el proceso sean iguales.

Los principios de similaridad están basados en la relación que existe entre los



sistemas físicos o químicos de diferentes tamaños, siendo en consecuencia los principios fundamentales para el escalado ascendente o descendente en procesos físicos y químicos. Estos principios de similaridad han sido definidos como, grupos adimensionales, concebidos de la relación entre proporciones geométricas o de otras variables que describen las diferentes condiciones entre dos sistemas de diferente tamaño, tales como: Longitudes, fuerzas, temperaturas o velocidades. (Johnstone y Wooldridge, 2003).

Los principios de similaridad empleados actualmente en ingeniería química, están expresados en función de las variables señaladas en el párrafo anterior y definidas en cuatro diferentes condiciones de similaridad como se nombra a continuación (Perry, 1992):

1. Similaridad Geométrica. Se basa en la relación de correspondencia entre los puntos geométricos del equipo prototipo y el equipo modelo, estableciendo proporcionalidad entre sus dimensiones (Johnstone y Wooldridge, 2003). De este modo se señala que dos cuerpos son geoméricamente similares cuando todos los puntos de un cuerpo se corresponden de un punto a punto con el otro cuerpo. Razón por la cual un cuerpo puede tener una o más características de escala. Así mismo, se recomienda que se relacionen longitudes típicas del equipo prototipo a fin de obtener las relaciones de escala características para el diseño del equipo modelo. (Suris, 2001).

2. Similaridad Mecánica. El principio de similaridad mecánica comprende las siguientes condiciones: estática, cinemática y dinámica, siendo cada una considerada como una extensión del concepto de similaridad geométrica para sistemas estacionarios o en movimiento sujetos a la acción de diferentes fuerzas. (Johnstone y Wooldridge, 2003).

a) *Similaridad Estática:* Se refiere a cuerpos o estructuras sólidas que se



encuentran sometidas a constante estrés. Un cuerpo se deforma bajo estrés cuando se evidencia que ciertas partes del mismo comienzan a desplazarse hasta encontrar el ó los puntos de desestrés. Es decir, dos cuerpos geoméricamente similares son estáticamente similares cuando estando bajo constante estrés, sus deformaciones relativas son semejantes. (Johnstone y Wooldridge, 2003).

b) *Similaridad Cinemática*: Abarca a los sistemas fluidos o sólidos en movimiento, considerando previa similaridad geométrica entre los recipientes que confinan el fluido. Siendo esta condición de similaridad definida como dos sistemas en movimiento, son cinéticamente similares cuando teniendo similaridad geométrica, el trazado de las partículas siguen un camino similar en sus correspondientes intervalos de tiempo.

Figura 2.2.22. Trazado de partículas sólidas en sistemas geoméricamente similares a intervalos de tiempo correspondientes.

Fuente: Johnstone y Wooldridge, 2003.

c) *Similaridad Dinámica*: Comprende la similaridad entre fuerzas que aceleran o retardan el movimiento de la masa en los sistemas dinámicos, condición esta que se encuentra relacionada directamente con la condición de similaridad cinemática. Esta condición se define como dos sistemas en movimiento, geoméricamente similares. Son dinámicamente similares cuando la relación entre sus correspondientes fuerzas es igual.

3. Similaridad Térmica. Se refiere a los sistemas en los cuales existe un flujo de calor. En estos se maneja la relación de temperatura entre los cuerpos geoméricamente similares, además de una relación entre las longitudes, fuerzas y tiempos. Este calor que fluye de un punto a otro lo hace mediante radiación,



conducción, convección o por acción continua del movimiento de un volumen de materia. En los tres primeros procesos es necesario que exista una diferencia de temperatura para que este calor fluya, mientras que el último proceso depende directamente del movimiento de la masa del fluido. (Perry, 1992).

Dos cuerpos geoméricamente similares son térmicamente similares cuando las diferencias de temperatura mantienen una razón constante entre uno y otro cuerpo, siendo similares cinéticamente. (Johnstone y Wooldridge, 2003).

4. Similaridad Química. Se refiere a la condición de similaridad que debe existir entre sistemas con reacción química que se comparan, en los cuales las condiciones varían punto a punto en función del tiempo en procesos por lotes o continuos. En este caso, uno o más parámetros de concentración dependen de un número independiente de variables químicas bajo las cuales se establece la similaridad química. Así mismo, las composiciones químicas entre dos sistemas no necesariamente deben ser iguales, sino que pueden ser establecidas a partir del seguimiento de uno de sus componentes. (Perry, 1992).

Los sistemas con similaridad geométrica y térmica son químicamente similares si existe una razón constante entre las diferencias de concentración correspondiente entre un cuerpo y otro y cuando los sistemas en movimiento son similares cinemáticamente. La relación entre las diferencias de concentración en los intervalos correspondientes a un par de puntos en un sistema y los correspondientes al otro sistema se denomina concentración de correspondencia.

Para lograr una similitud química completa, se requiere que los sistemas sean geométrica, mecánica y térmicamente similares para que luego se pueda establecer la similitud química entre ellos. Además, se expone que en la práctica, aproximaciones en estas condiciones de similaridad son aceptables, puesto que existen factores como la



rugosidad del material de construcción de los equipos, el modelo de flujo del producto entre otros, que no pueden ser controlados en su totalidad al realizar un cambio de escala. (Johnstone y Wooldridge, 2003).

Sin embargo, existen factores que no pueden ser considerados como despreciables, por lo que es necesario incluir en las razones de escala factores de corrección hallados mediante la experimentación, los cuales permitan conocer con exactitud cual es la desviación que puede obtenerse respecto al resultado en el equipo prototipo. En este sentido, las razones de escala son los grupos entre sistemas de diferentes tamaños que se comparan, las cuales son definidas como factores comparativos de estos sistemas. (Suris, 2001).



CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el siguiente capítulo se describe la metodología empleada, incluyendo la consecución de actividades para el logro de cada uno de los objetivos específicos planteados y de esta manera cumplir con el objetivo general de la investigación.

3.1 NIVEL Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Entendiéndose como nivel al grado de profundidad con que se va a abordar el fenómeno o cambio y diseño de investigación a la estrategia utilizada por el investigador para responder al problema, se puede decir que la presente investigación cumple con un diseño experimental o proyecto factible.

El diseño experimental consiste en someter un objeto o proceso a determinadas condiciones (variables independientes) para observar los efectos producidos (variables dependientes). Es por ello que se dice que es de tipo explicativa ya que se busca el por qué de los hechos mediante una relación causa – efecto. (Arias, 2006)

3.2 IDENTIFICACIÓN DE CADA UNA DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA ETAPA DE DISPERSIÓN, PARA ESTIMAR LA INFLUENCIA EN CADA UNA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

A través de la observación directa del proceso, equipos, etapas, materia prima, variables y con la realización de entrevistas al personal de planta, se visualiza y relaciona las causas y efectos que influyen directamente en las características del producto final.



3.2.1 Revisión bibliográfica sobre los principios básicos en la elaboración de pintura emulsionada.

Se buscó en literatura adecuada (manuales, libros, folletos, páginas Web, indagaciones antes realizadas, etc.), la información relacionada con el tema abarcando tópicos afines como el comportamiento de los fluidos, componentes y elaboración de pintura emulsionada, equipos empleados en el proceso, método de producción, entre otros aspectos importantes.

3.2.2 Observación directa del proceso de dispersión a nivel industrial y de laboratorio.

Primeramente para conocer el proceso dispersión tanto a nivel industrial como a escala de laboratorio se inspeccionó el proceso de elaboración de pinturas a base de agua, identificando en él las zonas de producción y departamentos involucrados.

En el laboratorio también se observó el proceso de elaboración, ubicando (de igual manera que a escala industrial) los equipos y materiales empleados en el proceso a nivel piloto. Seguidamente por medio de entrevistas al personal de laboratorio acerca de la elaboración de lotes muestra y formulaciones de laboratorio, y por medio de la observación directa a esta actividad se conoció el método de trabajo y funcionamiento del equipo a esta escala.

También se Identificaron los parámetros de calidad que permiten caracterizar las propiedades del producto en la etapa de dispersión (Viscosidad stormer, peso por galón, viscosidad Brookfield, presencia de sólidos, etc.), con la finalidad de conocer el método de evaluación utilizado y así tener un patrón de comparación para la realización



de experimentos que manipularán algunas de las características en la formulación de pintura. Para fines de este trabajo especial de grado, se seleccionó trabajar con una pintura a base de agua de calidad económica (plástica profesional) color blanco, debido a que esta es la línea de mayor producción y posee una formulación sencilla fácil de manipular y adaptar a experimentos a escala de laboratorio. (Ver tabla 3.2.1).

TABLA 3.2.1
PARÁMETROS DE CALIDAD EVALUADOS EN LA ELABORACIÓN DE PINTURA
EMULSIONADA EN LA EMPRESA SOLINTEX DE VENEZUELA S.A., LÍNEA
PLÁSTICA PROFESIONAL, COLOR BLANCO.

Parámetro	Valor estándar
Viscosidad stormer (KU)	93 – 98
pH	8 – 9
Brillo α 85°	1 – 5
Peso x galón (g/l)	5,29
Opacidad	98,84

Fuente: SOLINTEX de Venezuela S.A., 2007

Se recibió entrenamiento técnico por parte del personal de laboratorio acerca de las pruebas de control de calidad de materia prima y producto terminado dentro del proceso de producción. Luego toda la información de interés recabada durante las inspecciones a nivel industrial y de laboratorio fue seleccionada, haciendo nota de observaciones realizadas sobre variables y parámetros de diseño del equipo en ambos niveles.

Estas variables y parámetros de diseño presentes en el proceso de producción en ambos niveles fueron evaluados y tabulados de manera de organizar la información para una posterior verificación de valores con los sugeridos en la teoría. (Tabla 3.2.2)



TABLA 3.2.2
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS EN PLANTA.

CÓDIGO DEL EQUIPO	(imagen del equipo)
NOMBRE:	
FUNCIÓN:	
CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO: Capacidad nominal (GAL): Material de construcción: Fluido de trabajo:	DIMENSIONES TANQUE: Diámetro (mm): Altura (mm): Altura cilindro (mm): Capacidad real (GAL): Espesor de la pared (mm):
SISTEMA MOTOR – DISPERSOR: Marca: Modelo: Potencia(Hp): Velocidad máxima (rpm): Voltaje (v): Amperaje (A): Diámetro del eje (pulg.):	DIMENSIONES PROPELA: Material: Diámetro del disco (pulg.): Espesor del disco (pulg.): Numero de hendiduras: Longitud de la hendidura (pulg.): Espesor de la hendidura (pulg.): Distancia propela / fondo tanque (mm):
UNIDADES REQUERIDAS EN EL PROCESO:	
UBICACIÓN EN EL PROCESO:	

Fuente: propia,2007.



Asimismo se efectuó la medición de variables determinantes en el proceso como tiempos de operación, revoluciones por minuto del disco requeridos en la etapa de dispersión, espesamiento y coloración del proceso y la medición del nivel del producto dentro del tanque para cada una de las etapas antes mencionadas. (Tabla 3.2.3)

TABLA 3.2.3
VARIABLES OPERACIONALES DE LOS EQUIPOS DE DISPERSIÓN.

Variables	Descripción
1º ETAPA: DISPERSIÓN	
Nivel del liquido dentro del tanque (mm)	
Velocidad (rpm)	
Tiempo (min.)	
2º ETAPA: ESPESAMIENTO	
Nivel del liquido dentro del tanque (mm)	
Velocidad (rpm)	
Tiempo (min.)	
3º ETAPA: ADICIÓN DEL PLASTIFICANTE - COLORACIÓN	
Nivel del liquido dentro del tanque (mm)	
Velocidad (rpm)	
Tiempo (min.)	
Mínima cantidad de agua para iniciar un lote (Kg.)	

Fuente: propia, 2007.



3.2.3 Entrevistas al personal de producción y laboratorio.

Se realizaron entrevistas al personal sobre las variables que influyen en la mala dispersión, aplicando el instrumento mostrado en el apéndice C. Dentro del personal entrevistado (aproximadamente 20 personas) se tomó en cuenta trabajadores del laboratorio de investigación y desarrollo, laboratorio de control de calidad, supervisores, operadores, jefes de planta, y todo aquel relacionado con el proceso. Todos los equipos y materiales (objeto de escalado) empleados en el proceso de producción de la pintura emulsionada a nivel industrial, fueron identificados por medio de dicha entrevista, y de esta manera se conoció la metodología de trabajo y funcionamiento del equipo.

3.3 ANALIZAR VARIABLES EN LA ETAPA DE DISPERSIÓN A FIN DE IDENTIFICAR CUALES SON LAS MÁS INFLUYENTES.

Con la realización de un diagrama causa – efecto se detectaron todos los posibles factores que causan deficiencia en el proceso de dispersión.

3.3.1 Análisis cualitativo de cada una de las variables involucradas.

Se clasificaron cada una de las causas o factores ubicados dentro del proceso según su naturaleza, estimando la influencia de cada factor en cada etapa del proceso por medio de la observación directa y datos teóricos.

Esta clasificación consistió en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales: métodos de trabajo, mano de obra, medición, maquinaria, materiales y medio ambiente, pues estos elementos definen de manera global todo el proceso y cada uno de ellos individualmente influye sobre la calidad final del producto.



A continuación se presentan las posibles subdivisiones que ayudaron a la clasificación de los factores. (Piedrahita, 2007).

TABLA 3.3.1
SUBDIVISIONES UTILIZADAS COMO MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN PARA EL
DIAGRAMA DE LAS 6M

Mano de obra	<ul style="list-style-type: none">▪ Conocimiento (¿la gente conoce su trabajo?)▪ Entrenamiento (¿Están entrenados los operadores?)▪ Habilidad (¿Los operadores demuestran habilidad en la actividad que realizan?)▪ Capacidad (¿Se espera que cada operador lleve de manera eficiente su trabajo?)
Medio ambiente	<ul style="list-style-type: none">▪ Ciclos (¿Existen patrones que en el proceso que dependen del medio ambiente?)▪ Temperatura (¿La temperatura ambiente influye en el proceso?)
Método de trabajo	<ul style="list-style-type: none">▪ Estandarización (¿los procedimientos de trabajo están definidos claramente?)▪ Excepciones (¿Existe un procedimiento alternativo claramente definido?)▪ Definición de operaciones (¿Están definidas?)
Maquinaria	<ul style="list-style-type: none">▪ Capacidad (¿Son las máquinas capaces?)▪ ¿Hay grandes diferencias entre maquinarias, equipos, etc.?)▪ ¿Los cambios en herramientas se hacen frecuentemente?)▪ (¿Los criterios para ajustar las máquinas son claros?)▪ (¿Existen programas de mantenimiento preventivo? ¿funcionan?)
Materiales	<ul style="list-style-type: none">▪ Variabilidad (¿Existe variabilidad en las características importantes?)▪ Cambios (¿En lotes procedencia?)▪ Proveedores (¿Como influye la existencia de múltiples proveedores? ¿Influencia de cada material?)
Medición	<ul style="list-style-type: none">▪ Disponibilidad (¿Se dispone de las mediciones requeridas?)▪ Definiciones (¿Están definidas operacionalmente las características medibles?)▪ Tamaño de la muestra▪ Calibración

Fuente: Piedrahita, 2007.



3.3.2 Realización de un diagrama causa – efecto

Una vez agrupada todas las causas y variables que generan una mala dispersión en el proceso de producción de pintura emulsionada, se elaboró un diagrama causa-efecto siguiendo la configuración establecida para este tipo de diagramas.

Figura 3.3.1 Configuración básica de un diagrama causa – efecto.

Fuente: Piedrahita, 2007.

3.3.3 Verificación de parámetros de diseño de los equipos.

Se verificaron los parámetros de diseños de los equipos como parte de la evaluación de variables a fin de poder identificar las características en cuanto a diseño geométrico del equipo, que influyen en la mala dispersión observadas en las unidades de alta dispersión ubicadas en planta. Dichos parámetros fueron descritos en el capítulo II y a continuación hace mención de ellos:

- Velocidad de dispersión.

Para la verificación de velocidades de los equipos de alta dispersión ubicados en planta, se utilizó la ecuación 2.2.2 presentada en el capítulo II y los resultados fueron presentados como se muestra en la tabla 3.3.2.

TABLA 3.3.2

VERIFICACIÓN DE LA VELOCIDAD EN LOS EQUIPOS DE DISPERSIÓN A NIVEL



INDUSTRIAL Y DE LABORATORIO.

Equipos	Revoluciones por minuto del impulsor (RPM)	Velocidad periférica teórica (fpm)	Velocidad periférica real (fpm)	Desviación porcentual con respecto al valor más cercano (%)
		4000 - 6000		

Fuente: propia, 2007.

- Nivel de producto dentro del tanque y potencia del motor.

El valor del nivel de líquido dentro del tanque (ecuación 2.2.5) y la potencia del motor (ecuación 2.2.6) fue comprobado a través de la revisión de las relaciones presentadas en el capítulo anterior. Estos datos fueron presentados en formatos de cuadros como se muestra en la tabla 3.3.3.

TABLA 3.3.3
VERIFICACIÓN DEL NIVEL DE LÍQUIDO EN EL TANQUE DURANTE LA FASE DE DISPERSIÓN EN LAS UNIDADES UBICADAS EN LA PLANTA DE EMULSIÓN.

Equipos	Nivel de liquido en el tanque actual	Nivel de líquido en el tanque sugerido teóricamente.	Desviación porcentual con respecto al valor más cercano (%)
		1Dp – 2Dp	



Fuente: propia,2007.

- Relación entre diámetro del tanque y diámetro de la propela.

Los datos obtenidos en la verificación de la relación entre diámetros propela – tanque, se presentan en tablas como las mostrada a continuación (tabla 3.3.4). Para ello se utilizó la ecuación 2.2.3, cumpliendo con lo expuesto en el capítulo II sobre este ítem.

TABLA 3.3.4
VERIFICACIÓN DEL DIÁMETRO DE LA PROPELA EN LOS EQUIPOS DE
DISPERSIÓN.

Equipos	Diámetro de la propela actual	Diámetro de la propela sugerido	Desviación porcentual (%)
		$1/3 DT = 0,33 DT$	

Fuente: propia,2007.

- Distancia entre el fondo del tanque y propela.

La distancia entre la propela y el fondo del tanque fue otra de las variables que se verificó durante el desarrollo de la investigación. Esto se llevó a cabo cumpliendo con lo expuesto en el capítulo II sobre este tema y por medio del uso de la ecuación 2.2.4. Todos los resultados son mostrados en tablas que siguen el formato de la tabla 3.3.5.

TABLA 3.3.5



VERIFICACIÓN DE LA DISTANCIA EXISTENTE ENTRE EL FONDO DEL TANQUE Y LA PROPELA DE AGITACIÓN EN LOS EQUIPOS DE DISPERSIÓN.

Equipos	Distancia actual	Distancia sugerida	Desviación porcentual (%)
		0,50dp	

Fuente: propia, 2007.

3.3.4 Selección de las variables respuesta a considerar

Se elaboró una tabla (3.3.6) con todas las variables extraídas del diagrama causa – efecto, y por medio de las encuestas realizadas en el objetivo 1, se determinó la frecuencia de cada una de ellas y de aquí se partió para la selección de las más influyentes. La frecuencia de las variables para la construcción del diagrama de barras se calculó con la ecuación descrita a continuación: (Piedrahita, 2007).

$$F(\%) = \frac{fr}{Nv} * 100 \quad (3.3.1)$$

Donde:

F (%): frecuencia porcentual de las variables.

fr: frecuencia de variables

Nv: numero total de frecuencias.

A partir de los datos resultantes se procedió a la elaboración de un diagrama de barras como el mostrado en la figura 3.3.2.



TABLA 3.3.6.
VARIABLES EVALUADAS EN EL DIAGRAMA CAUSA – EFECTO

Var.	Descripción de la variable	Frec.	Frec. (%)
	MATERIALES		
	MANO DE OBRA		
	MEDIO AMBIENTE		
	MAQUINARIA		
	METODO DE TRABAJO		
	TOTAL		

Fuente: propia,2007.

Figura 3.3.2. Formato de diagrama de barras construido para la frecuencia de variables que influyen en la mala dispersión.

Fuente: propia,2007.

Una vez analizadas y seleccionadas las causas potenciales del diagrama causa efecto según su frecuencia, se comprobó por medio de la observación directa en planta, la influencia que tiene cada una de ellas en la aprobación de un lote en producción.



3.4 DESARROLLAR UN PROTOTIPO A ESCALA DEL EQUIPO DE DISPERSIÓN CON LA FINALIDAD DE DETERMINAR LAS CONDICIONES OPERATIVAS ADECUADAS PARA MEJORAR ESTA ETAPA DEL PROCESO.

Se elaboró un prototipo a escala de laboratorio del equipo de dispersión de alta velocidad a través de ecuaciones de diseño del equipo y modelos matemáticos que faciliten el escalamiento, esto se logro por medio del seguimiento de los siguientes pasos:

3.4.1 Elaboración del escalamiento del equipo por medio de ecuaciones y cálculos.

Primeramente se partió de una revisión bibliográfica sobre técnicas de escalamiento del equipo y elaboración de prototipos, de aquí se determinó la posibilidad de aprovechamiento de los equipos de dispersión actualmente disponibles en el laboratorio de investigación y desarrollo de la empresa, para una posterior aplicación de la teoría de escalado consultada con respecto al diseño de equipos a escala piloto, homólogos a los existentes en planta. Para el escalamiento se cumplió con cuatro principios básicos de similitud entre el proceso a escalar y el escalado: similitud geométrica, similitud mecánica, similitud térmica y similitud química.

Primeramente se presentó el principio de similitud geométrica donde se planteó la proporción de dimensiones entre el prototipo y el modelo, aquí los datos de los equipos en planta fueron analizados y evaluados en ecuaciones, primero comprobando la proporción entre los dos modelos de equipo presentes en planta y luego utilizando este mismo procedimiento para la proporción en laboratorio. A continuación se muestra la



razón de escala aplicado a todos los parámetros de diseño del equipo de alta dispersión seleccionado para el escalamiento: (Jonhstone y Wooldridge, 2003).

$$V = \frac{v'}{v} \tag{3.4.1}$$

Donde:

V= Razón de escala de velocidades periféricas, adim.

v'= Ecuación o valor de la velocidad periférica en el equipo prototipo (m/s).

v= Ecuación o valor de la velocidad periférica en el equipo modelo (m/s).

La similitud mecánica se plantea en la verificación de la velocidad periférica, es decir, se calculó la velocidad recomendada en la etapa de dispersión para el equipo diseñado, utilizando la ecuación 2.2.2 y las dimensiones del equipo calculadas en el diseño. Con respecto a los otros principios de similaridad expuestos en la teoría, la similitud térmica y química se consideraron derivaciones de las dos analogías anteriores. Una vez hecho todos los cálculos, se elaboró la caracterización del equipo diseñado a escala de laboratorio. (Tabla 4.3.1.).

TABLA 3.4.1
CARACTERIZACIÓN DEL EQUIPO DE DISPERSIÓN PROTOTIPO DISEÑADO

Características	Descripción
TANQUE	
Diámetro (mm)	
Altura (mm)	
Altura cilindro (mm)	
Capacidad nominal (GAL)	
Capacidad real (GAL)	
Espesor de la pared (mm)	
Material	



MOTOR -DISPERSOR	
Marca	
Modelo	
Potencia (Hp / Hz)	
Velocidad (rpm)	
Voltaje (v)	
Amperaje (A)	
Temperatura máxima de resistencia	
Diámetro del eje (pulg.)	
PROPELA	
Material	
Diámetro del disco (mm)	
Espesor del disco (mm)	
Número de hendiduras	
Longitud de la hendidura (mm)	
Espesor de la hendidura (mm)	
Distancia propela / fondo tanque (mm)	

Fuente: *propia,2007.*

De igual forma se evaluaron las variables internas y externas que intervienen en el proceso de producción en la planta de emulsión (Método, condiciones climáticas, supervisión, etc.), con la finalidad de imitar estas características en el laboratorio. Esta evaluación consistió en seleccionar las características presentes en el proceso a escala industrial que pueden ser imitadas a nivel de laboratorio, determinando las necesidades de acondicionamiento del equipo empleado actualmente en la fabricación de pintura a nivel de laboratorio para un mayor control de procesos, las mismas fueron tabuladas bajo el formato mostrado en la tabla 3.2.2, que fue empleado para el resto de los equipos.

3.4.2 Verificación del equipo a fin de garantizar que cumple con las especificaciones planteadas para el mismo.

La selección de variables a evaluar en el equipo se realizó con la ayuda del personal de laboratorio de investigación y desarrollo de la planta (velocidad, congruencia geométrica, potencia del motor, tiempo, etc.) y de aquí se partió para la ejecución de



experimentos de verificación. Estos consistieron en la elaboración de lotes de pintura color blanco, ya que este fue el color escogido como base para la comprobación. Seguidamente se manipularon las variables seleccionados en el objetivo 2, a fin de verificar que cada de las características tomadas como parámetros de calidad en la empresa sigan cumpliendo con los valores preestablecidos. (tabla 3.4.2).

TABLA 3.4.2
RESULTADOS OBTENIDOS EN LA VERIFICACIÓN DEL EQUIPO Y EVALUACIÓN
DE VARIABLES RESPUESTA.

Variables		Valor propuesto
Tiempo ($t \pm 0,01$) min.		
Velocidad ($V \pm 0,1$) rpm		
Nivel de producto dentro del tanque ($N \pm 0,05$) mm		
1º etapa: dispersión		
Parámetro de calidad	Valor esperado	Valor obtenido
Viscosidad stormer (KU)		
pH		
Temperatura (°C)		
Porcentaje de sólidos retenidos en una malla de 200 Mesh		
Porcentaje de sólidos retenidos en una malla de 400 Mesh		
Secado		

Fuente: propia,2007.



3.5 PRESENTAR ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA ETAPA DE DISPERSIÓN TENIENDO EN CUENTA LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE CADA UNA, LAS CUALES GARANTICEN QUE SE CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO ELABORADO.

Las alternativas fueron generadas a partir de la verificación de los parámetros de diseño del equipo y de los resultados en la verificación del equipo diseñado es decir, todas estas características fueron verificadas con respecto a lo expuesto en los fundamentos teóricos teniendo como punto de partida las causas potenciales dadas por el diagrama de las 6 M elaborado.

La propuesta de alternativas se efectuó bajo dos razonamientos principales:

- a. Alternativa 1: Sugiere el cambio de diseño de los equipos y adquisición de nuevas unidades.
- b. Alternativa 2: Propone el rediseño de la metodología de trabajo para la producción del producto.

Con el fin de presentar las características propuestas para las condiciones de operación de los equipos, los mismos se muestran a continuación en los formatos de tabla mostrados: (Ver tabla 3.5.1)

TABLA 3.5.1
VALORES PROPUESTOS PARA EL REAJUSTE DE LOTES DE PRODUCCIÓN Y
CONDICIONES DE OPERACIÓN EN LOS EQUIPOS SITUADOS EN LA PLANTA DE
EMULSIÓN DE LA EMPRESA SOLINTEX DE VENEZUELA S.A.



Parámetro de diseño	Valor actual	Valor propuesto teòricamente
Nivel de producto en la fase de dispersión (mm)		
Volumen de producto en la fase de dispersión (GAL)		
Revoluciones por minuto del sistema motor – eje – propela (RPM)		
Tiempo (minutos)		

Fuente: propia,2007.

A continuación se describieron cada una de las alternativas propuestas bajo criterios principales tales como: flexibilidad del proceso, capacitación del personal, modificación del proceso, tiempo de ejecución de la medida, reducción de costos de operación y método de fabricación entre otros.

3.6 SELECCIONAR LA ALTERNATIVA MÁS ADECUADA, A FIN DE SATISFACER LOS REQUERIMIENTOS DE ESTA INVESTIGACIÓN Y DE LA EMPRESA.

Por medio de la realización de una matriz de selección, se optó por la alternativa más viable que proporcione una solución al problema planteado.

3.6.1 Análisis y evaluación de alternativas planteadas.

Mediante el establecimiento de criterios de evaluación y de la ponderación para cada uno de éstos, se seleccionó la alternativa más adecuada para la mejora de la etapa de dispersión en el proceso. Los criterios de evaluación están basados en las posibilidades



de implantación de la medida propuesta en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A., y las ponderaciones, por su parte, están fundadas en la importancia de los criterios propuestos y en la factibilidad del proyecto dentro del proceso de producción en planta. Estas fueron designadas a través de la consulta a personal experto en la materia de la empresa y de la revisión bibliográfica. (Ver tabla 3.6.1).

TABLA 3.6.1
PONDERACIONES ASIGNADAS A CADA UNO DE LOS CRITERIOS DE
EVALUACION DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PROPUESTAS.

Criterios	Ponderación (%)
Flexibilidad del proceso	15
Método de fabricación	25
Tiempo de implantación de la alternativa.	30
Costos de la medida.	30

Fuente: propia,2007.

Por medio de una escala del 1 al 5, donde 1 representa el menor puntaje y 5 la calificación máxima, se evaluaron cada uno de los criterios a las opciones planteadas. Por ejemplo, para el primer criterio (flexibilidad del proceso) el 1 significa un proceso menos flexible mientras que el 5 un proceso más flexible. Para el caso del método de fabricación el mayor puntaje representa un método más flexible y más adaptado a las

necesidades del proceso. En cuanto al tiempo y a los costos de la medida, los 5 puntos refieren a que se obtiene un ahorro mayor con respecto a estos parámetros, mientras que el puntaje de 1 muestra un proceso muy costoso y con mucho tiempo para su ejecución.

La alternativa que presentó mayor ponderación dentro de la matriz de selección fue la seleccionada para una posterior especificación de la etapa de dispersión con dicha propuesta.

PROBLEMAS	CRITERIOS DE PRIORIZACION				PRIORIDAD
	FRECUENCIA	IMPORTANCIA	VULNERABILIDAD	MAGNITUD	
1. XXXX					
2. XXXX					
3. XXXX					
4. XXXX					

Figura 3.6.1 Ejemplo de la matriz de selección para la elección de alternativas.

Fuente: Piedrahita, 2007.

3.7 REALIZAR UNA EVALUACIÓN ECONÓMICA QUE INVOLUCRE COSTOS Y BENEFICIOS AL MEJORAR LA DISPERSIÓN, A FIN DE ESTABLECER COMPARACIONES ENTRE EL PROCESO ACTUAL Y EL MEJORADO.



Se estimaron las variables económicas consideradas en la reevaluación de costos y beneficio del proceso actual y propuesto.

3.7.1 Realización de un análisis económico mediante la estimación de costos y beneficios extra obtenidos en la mejora.

Se realizó un cálculo de los indicadores de calidad e indicadores económicos seleccionados para el análisis del proceso actual y el análisis del proceso si es implantada la mejora propuesta, de manera de introducir una comparación entre el proceso actual y el proceso sugerido, estableciendo el margen de ahorro percibido si se implanta la mejora.



CAPITULO IV

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES.

En el presente capítulo se muestran los resultados experimentales obtenidos luego de procesar los datos recolectados en las experiencias prácticas, así como también se aprecia el análisis de los resultados obtenidos, justificando su comportamiento y tendencia, para el logro de los objetivos planteados.

4.1 IDENTIFICAR CADA UNA DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA ETAPA DE DISPERSIÓN, PARA ESTIMAR LA INFLUENCIA DE CADA UNA EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO.

4.1.1 Revisión bibliográfica sobre los principios básicos en la elaboración de pintura emulsionada.

El proceso de elaboración de pinturas emulsionadas a base de agua en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A. comprende tres (3) etapas: dispersión, espesamiento y adición de la resina – coloración, pero se considera el proceso de dispersión la etapa crítica del proceso, debido a su inestabilidad como fenómeno físico, pues el mismo, comprende la incorporación de partícula sólidas (cargas y pigmentos) en un solvente líquido (agua) por medio del rompimiento de un aglomerado en partes mas pequeñas (sólidos).

Para que dicho proceso se lleve a cabo es necesario el aceleramiento de partículas sólidas en el medio líquido, y la misma interacción que existe entre ellas y el medio, proporciona la energía necesaria para el choque y separación de las partículas sólidas, haciéndose necesario el diseño de un sistema que cumpla las exigencias de energía.



Generar el nivel de energía adecuado da como resultado el control de las tres (3) etapas que comprenden al proceso de dispersión: humectación, desagregación – desaglomeración y estabilización. Con la humectación se asegura la sustitución de moléculas de aire y otras moléculas que envuelven a la partícula de pigmento por moléculas de vehículo, dando paso a la segunda etapa que consiste en desagregar y desaglomerar las partículas de pigmento, esto se logra por medio de una acción mecánica (agitación) a altas velocidades para proporcionar un esfuerzo cortante mayor. Durante esta etapa, la separación de partículas se vuelve mas eficiente por lo antes descrito, dando pie a la disminución de la cantidad de vehiculo libre y aumentando así su viscosidad.

Por último en la etapa de estabilización, se asegura la completa humectación del pigmento, separación y distribución de partículas en la mezcla de una manera homogénea. Si esta etapa no ha sido alcanzada con éxito, la floculación es una de sus consecuencias debido al aglutinamiento de partículas de pigmento, aunque este efecto es reversible por medio del uso de resinas, surfactantes y dispersantes. La estabilización de dispersiones puede ocurrir por dos vías: esférica, que se debe al impedimento esférico resultante a causa de absorber el agente dispersante; y por carga, que es debida a la repulsión de fuerzas eléctricas.

Este tipo de estabilización es la que se presenta en la producción de pinturas en la empresa y consiste en agregar dispersantes iónicos que cargan positiva o negativamente los exténderes y pigmentos, ocasionando (a nivel molecular) una repulsión entre partículas que impiden la aglomeración y floculación de éstas.



4.1.2 Observación directa del proceso de dispersión a nivel industrial y de laboratorio.

En el proceso de elaboración de este tipo de pinturas se realizó una inspección y caracterización de los equipos (6) empleados a nivel industrial y el equipo de laboratorio, dichos datos se muestran en el apéndice A. Se identificó que los equipos cumplen con un grupo de características que corresponden a un dispersor de alta velocidad, el cual es utilizado para las tres (3) etapas en la elaboración de pinturas emulsionadas a base de agua. El dispersor de alta velocidad o HSD incorpora y desagrega aglomerados en un solvente líquido, humectando así las partículas secas para producir una dispersión estable y uniforme con un tamaño de partícula lo más fino posible. Este dispersor cuenta con una propela no metálica, que es la encargada de transmitir el movimiento al producto, un sistema motor dispersor – eje acoplado a dicha propela y un tanque que es el encargado de almacenar la mezcla durante la producción, todo esto bajo relaciones de diseño propuestas para el funcionamiento óptimo de dicha unidad.

De igual manera, se identificaron variables operacionales dentro del proceso que determinan el buen desempeño del equipo y que son manipuladas directamente por el personal. Dichas variables (establecidas por medio la revisión bibliografía sobre el proceso y la observación directa) son: el nivel de producto en el tanque, tiempo y velocidad, y las mismas se muestran a continuación en las tablas 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3; junto a los valores correspondientes para cada equipo. (Ver figura 2.2.21).



TABLA 4.1.1
VARIABLES OPERACIONALES PARA LOS EQUIPOS DE DISPERSIÓN 1, 2 Y 3
UBICADOS EN LA PLANTA DE EMULSIÓN DE LA EMPRESA SOLINTEX DE
VENEZUELA S.A.

Fuente: propia, 2007.

TABLA 4.1.2
VARIABLES OPERACIONALES PARA LOS EQUIPOS DE DISPERSIÓN 4, 5 Y 6
UBICADOS EN LA PLANTA DE EMULSIÓN DE LA EMPRESA SOLINTEX DE
VENEZUELA S.A.

Variables	Descripción
1º ETAPA: DISPERSIÓN	
Nivel del líquido dentro del tanque ($N \pm 0,5$) mm.	1630,0
Velocidad ($V \pm 0,1$)rpm	1400,0
Tiempo ($t \pm 0.01$) min.	25,00
2º ETAPA: ESPESAMIENTO	
Nivel del líquido dentro del tanque ($N \pm 0,5$) mm.	1700,0
Velocidad ($V \pm 0,1$)rpm	1260,0
Tiempo ($t \pm 0.01$) min.	25,00
3º ETAPA: ADICIÓN DEL PLASTIFICANTE - COLORACIÓN	



Nivel del líquido dentro del tanque ($N \pm 0,5$) mm.	1950,0
Velocidad ($V \pm 0,1$)rpm	880,0
Tiempo ($t \pm 0.01$) min.	10,00
Mínima cantidad de agua para iniciar un lote ($Mc \pm 0,01$) Kg.	1370,00

Fuente: propia,2007.

Para la etapa de dispersión (que es la de interés en la investigación), se tiene que el valor del nivel de producto dentro del tanque para los equipos a escala industrial, (que debe ser de una a dos veces el valor del diámetro de la propela), al igual que los valores de velocidad de la propela, se encuentra por encima de los parámetros teóricos establecidos. Dichos puntos se resaltan mas adelante durante el desarrollo del capitulo.

TABLA 4.1.3
VARIABLES OPERACIONALES PARA EL EQUIPO DE DISPERSIÓN UBICADO EN EL LABORATORIO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO DE LA PLANTA DE EMULSION DE LA EMPRESA SOLINTEX DE VENEZUELA S.A.

Variables	Descripción
1º ETAPA: DISPERSIÓN	
Nivel del líquido dentro del tanque ($N \pm 0,5$) mm.	53,0
Velocidad ($V \pm 0,1$)rpm	7000,0
Tiempo ($t \pm 0.01$) min.	25,00
2º ETAPA: ESPESAMIENTO	
Nivel del líquido dentro del tanque ($N \pm 0,5$) mm.	64,0
Velocidad ($V \pm 0,1$)rpm	3000,0



Tiempo ($t \pm 0.01$) min.	25,00
3º ETAPA: ADICIÓN DEL PLASTIFICANTE - COLORACIÓN	
Nivel del líquido dentro del tanque ($N \pm 0,5$) mm.	72,0
Velocidad ($V \pm 0,1$)rpm	2000,0
Tiempo ($t \pm 0.01$) min.	10,00
Mínima cantidad de agua para iniciar un lote ($Mc \pm 0,01$) Kg.	1,370

Fuente: propia,2007.

Por su parte, la unidad actual de dispersión ubicada en el laboratorio, trabaja con un nivel de producto adecuado para el desarrollo de una buena etapa de dispersión de pigmentos, aunque la velocidad fijada para esta fase se encuentre por debajo de lo establecido teóricamente.

Por último, el tiempo preestablecido para esta fase es de 25 minutos, el cual excede al tiempo de dispersión teórico que va de 15 a 20 minutos máximos (Ver Capítulo II), generando pérdidas en los tiempos de producción. Es importante destacar que este periodo de tiempo establecido para la fase de dispersión es alargado con frecuencia, debido a la necesidad de aplicación de reajustes, para llevar el producto a los parámetros de calidad establecidos.

4.1.3 Entrevistas al personal de producción y laboratorio.

Por medio de la utilización del instrumento presentado en el apéndice C, se pudo conocer las variables reales que influyen en el proceso de dispersión consideradas por el personal relacionado con la producción, al igual que todos los factores que originan una mala dispersión y posibles soluciones, tomando en cuenta los resultados de la entrevista y lo expuesto en el marco teórico de esta investigación. Dichos resultados se



muestran a continuación:

Variables que afectan el proceso de dispersión:

- Calidad de materia prima.
- Formulación.
- Condiciones de almacenamiento de materia prima.
- Pesaje de materia prima según formulación.
- Geometría del equipo.
- Condiciones de operación.
- Razón de escala entre el equipo – producción y equipo – laboratorio.
- Razón de escala entre condiciones de operación de producción y laboratorio.
- Razón de escala entre pesaje de materia prima en producción y laboratorio.
- Pruebas de control de calidad para materia prima.

- Procedimiento y método de trabajo empleado en la fabricación de pintura emulsionada en dicha empresa.
- Pruebas de calidad a materia prima no ajustadas a la realidad del proceso.
- Mala formulación o mal cumplimiento de la misma por parte de los operarios.
- Condiciones de almacén no adecuadas para la conservación de materia prima.
- Mal diseño de equipos.
- Condiciones de operación no acordes a la realidad del proceso, ni ajustadas al valor teórico recomendado.
- Mal escalamiento del equipo de laboratorio y como consecuencia mala reproducción de resultados.
- Método de trabajo no ajustado a la realidad del proceso.

Todas estas variables influyen en la etapa de dispersión, afectando directamente a la disminución de la eficiencia en la separación aglomerados de partículas sólidas



(cargas y pigmentos), a partir de este razonamiento se procedió al planteamiento de soluciones para la situación observada en planta.

Posibles soluciones:

- Implantar de un sistema de control de calidad de materia prima representativo y acorde a las necesidades reales del proceso.
- Realizar una formulación donde se tome en cuenta las características de la materia prima, equipo y metodología de trabajo.
- Coordinar el almacenaje de la materia prima bajo condiciones idóneas de conservación.
- Rediseñar los equipos existentes ajustándolos a la geometría recomendada teóricamente y adquisición de unidades nuevas.
- Reajustar las condiciones de operación a las características de los equipos existentes.
- Desarrollar un equipo a escala piloto bajo ciertas características que permita reproducir en el laboratorio los mismos resultados encontrados a nivel industrial.

4.2 ANALIZAR VARIABLES EN LA ETAPA DE DISPERSIÓN A FIN DE IDENTIFICAR CUALES SON LAS MÁS INFLUYENTES.

A continuación las variables obtenidas en las entrevistas realizadas se agrupan para visualizar los aspectos importantes a estudiar y evaluar en la investigación. El criterio para la evaluación cualitativa de cada una de las variables se basó en la naturaleza de las mismas y en los aspectos que señalados en el capítulo III.

4.2.1 Análisis cualitativo de cada una de las variables involucradas.



Basándose en los criterios de selección expuestos en el capítulo III en tabla 3.3.1, las variables que influyen en el proceso de dispersión se clasificaron de la siguiente manera:

Materiales: aquí se agruparon las diferentes variables relacionadas con la selección, manipulación y almacenaje de todo compuesto necesario para la elaboración de pinturas emulsionadas:

- Materia prima: Se cuenta con un control de calidad donde se evalúan diferentes características dependiendo del producto. Los aditivos líquidos tales como dispersantes, antiespumantes, biocidas, tintas, etc., se evalúan por medio de la realización de un lote muestra en el laboratorio y a ésta se le evalúan características tales como peso por galón, viscosidad, pH y color en caso de que se verifique un pigmento. Estos componentes líquidos, la mayoría de las veces cumplen con los parámetros establecidos y los ensayos son realizados únicamente cuando se cambia de proveedor o presentan problemas durante el proceso de producción.

Por el contrario, a los componentes sólidos (los cuales están presentes en una gran proporción dentro de la mezcla), se les evalúa el color por medio de la comparación con un estándar o patrón, así como también la cantidad de sólidos retenido en mallas de tamizado de sólidos de diferentes tamaños. Para seleccionar la cantidad a evaluar se toman pequeñas porciones de compuesto por cada dos sacos contenidos en una paleta (sabiendo que cada paleta contiene 30 sacos aproximadamente), lo que da como resultado que el método de muestreo falle en algunas ocasiones afectando directamente la dispersión y la presencia de impurezas en el producto, debido a que la cantidad de materia prima evaluada no representa una muestra confiable para aprobación del lote total (Norma COVENIN 1202 - 82). Por último, el chequeo de resinas consiste en comprobar que valores tales como: pH,



viscosidad, peso por galón, porcentaje de sólidos, etc., estén dentro de los parámetros establecidos. Pocas veces es rechazado este material.

- **Formulación:** Es parte fundamental en la elaboración de pinturas emulsionadas, pues la misma contiene todos los pasos, etapas, compuestos, aditivos, etc., que debe contener cada lote a elaborar. Aquí se debe comprobar que la materia prima utilizada en el laboratorio de investigación y desarrollo de la planta para la realización de la fórmula de cierta pintura, sea la misma materia prima con que se encuentra en el almacén para la realización del lote. En este laboratorio no se cuenta con una rotación periódica de material en el laboratorio, ni tampoco con una formulación específica para esta escala, lo que suscita que el resultado obtenido a este nivel no sea el mismo obtenido a escala industrial, y esto se debe a que las condiciones de trabajo (clima, método, personal, equipos, etc.) no son similares en ambas zonas.

Mano de obra: En este grupo se incluyen características del proceso tales como método empleado, actitud, perfil y supervisión de los operadores, en fin, todo lo relacionado con la fuerza intelectual y humana necesaria para la producción:

- **Supervisión:** Dentro del mismo personal operario se cuenta con un supervisor que vigila que el resto de los trabajadores cumplan con la fórmula. Además de esto, existen jefes tanto en laboratorio como en planta, que aseguran que la calidad del producto sea óptima y que el nivel de producción se mantenga de acuerdo a lo previsto.

- **Actitud:** Se vigila que ésta sea dirigida a la excelencia, mediante la búsqueda de identificar a los trabajadores con la empresa, es decir, que los mismos tengan sentido de pertenencia con la empresa y con el producto que elaboran.

- **Capacitación:** Todo personal contratado es entrenado de manera que conozcan con claridad el proceso y los fenómenos químicos y físicos que ocurren en el (personal



de laboratorio), De esta manera se cuenta con una fuerza trabajadora capacitada y nivelada para manejar el proceso.

- Disposición al cambio: Debido a la capacitación y sentido de pertenencia inculcado a los trabajadores de SOLINTEX de Venezuela S.A., ellos presentan una gran disposición al cambio, ofreciéndose para cualquier tarea nueva donde sea requerida su ayuda.

- Flexibilidad del proceso: el proceso presenta flexibilidad en cuanto a el método de trabajo empleado y en la formulación, ya que constantemente esta modificada debido a cambios en materia prima antes explicados.

Medio ambiente: a continuación se reúnen las características presentes en el medio ambiente de trabajo, actividades en el laboratorio y producción, además de aspectos importante tales como temperatura en el almacén de materia prima, clima, temperatura de materiales en la elaboración, entre otros.

- Temperatura: Según las entrevistas realizadas y lo encontrado en la revisión bibliográfica, no se considera factor clave en el proceso de elaboración de pintura emulsionada, pues la mayoría de los compuestos son sólidos (sus propiedades físicas y químicas no varían sustancialmente con la temperatura), el calor generado por el dispersor de alta velocidad debe ser controlado para evitar la evaporación de solventes y/o otros componentes volátiles del producto. En la planta de emulsión de dicha empresa las temperaturas generadas por los dispersores de alta velocidad no se consideran extremas, pero es recomendable la instalación de dispositivos industriales en estas unidades que registren cambios de temperatura en el producto durante la etapa de dispersión, a fin de tener un mayor control de procesos. Tampoco se controla la temperatura de materia prima empleada, pues este factor no se considera revelante



debido a que los componentes, al entrar en contacto con el resto de la mezcla y al ser agitados por el sistema eje – propela, ajustan rápidamente su temperatura a la de la mezcla.

- Almacén: Se cuida que estos almacenes y/o galpones posean condiciones óptimas para acopiar toda la materia prima, pues así se asegura que todos los materiales conserven temperaturas similares al momento de ser procesados. En el caso de pigmentos y cargas, el almacenamiento es seco y limpio, evitando la humidificación de los mismos y/o contaminación. El resto de los componentes por ser líquidos se encuentran en tanques que aseguran su resguardo del medio exterior. El producto terminado, una vez envasado y sellado, es llevado a almacenes y/o galpones que cumplen con estrictas normas de control de riesgos, bajo condiciones apropiadas para la seguridad del mismo.

- Clima: La diferencia del medio ambiente entre planta y laboratorio es otro factor estudiado en la elaboración de pinturas de látex a base de agua, pues el laboratorio de investigación y desarrollo de la planta cuenta con un sistema de aire acondicionado y por ende, una temperatura mucho mas baja que la de producción, afectando la temperatura de materia prima y las condiciones de operación, pero para fines de esta investigación este factor no fue tomado en cuenta.

Maquinaria: Categoría que agrupa todo lo referente al diseño y mantenimiento de los equipos empleados en este proceso, condiciones y variables de operación.

- Tanques de dispersión: La línea de producción de la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A. consta actualmente con seis dispersores de alta velocidad. Los tres primeros tanques tienen una capacidad nominal de 504GAL, y 1200GAL para los tres restantes. El sistema de control de velocidad del agitador para los equipos 1, 2 y 3 es manejado manualmente, lo cual hace que el proceso sea más



vulnerable a modificaciones y errores de método en estas unidades, además de contar con unos tacómetros descalibrados y dañados, lo cual imposibilita al personal controlar la velocidad del eje en el proceso. Los otros tres tanques (1200 GAL) cuentan con un sistema digital de manipulación de las revoluciones del eje y con tacómetros ajustados a la realidad del proceso, repercutiendo en un mejor control de procesos para estos tres equipos. (Figura 2.2.20).

- Condiciones de operación: Existen diferentes condiciones para que el proceso de dispersión se lleve a cabo con éxito. Características tales como coloración, viscosidad (numero de Reynolds) y efecto Dona, dependen del método y materia prima utilizada. Para lograr que estas características conserven valores que estén dentro del rango de calidad del producto, se deben controlar aspectos en el proceso tales como: cumplimiento de la formulación, control de calidad y manipulación de la materia prima entre otros.

En las tablas 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3 se muestran los tiempos estipulados para la etapa de dispersión, los cuales corresponden a un total de 25 minutos; este tiempo supone un caso de idealidad, pues el proceso puede tardar hasta 120 minutos en la etapa de dispersión debido al mal desarrollo de esta fase, trayendo como consecuencia la necesidad de ejecutar reajustes en la formulación para llevar ciertas características a de la mezcla a los estándares de calidad de la empresa.

Como se describió en el capítulo II, teóricamente se establece un lapso de tiempo óptimo para el fenómeno de dispersión de 15 a 20 minutos, pues en este tiempo las partículas presentes en la mezcla han alcanzado su máximo grado de desaglomeración. Es por ello que el tiempo dado para la fase dispersión en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A. se excede de los patrones teóricos generando largos tiempos de producción y pérdidas para la empresa en cuanto a servicios industriales y



mano de obra. Por esta misma razón se plantea la reducción del tiempo a 20 minutos en la fase de dispersión a fin de obtener la mejor relación costo – beneficio en esta etapa y minimizar los tiempos de producción.

Para el buen funcionamiento de la propela, la velocidad periférica de dispersión debe estar entre 4000 y 6000 fpm, siendo este valor calculado a través de la ecuación presentada en el capítulo II. (Ecuación 2.2.2). Los equipos 1, 2 y 3 registran una velocidad en el eje de 1770 RPM para la etapa de dispersión, correspondiendo a una velocidad periférica de 7419,8 fpm. Las unidades 4, 5 y 6 muestran una velocidad de 1400 RPM, lo que es igual a 8069,6 fpm de velocidad periférica. Por último, el equipo de laboratorio es trabajado a una velocidad de 6000 RPM, representado un valor periférico de 3668 fpm. El valor de la velocidad periférica para los equipos a escala industrial (1, 2, 3, 4, 5 y 6) excede al límite superior del rango teórico establecido para esta variable, a diferencia del equipo de laboratorio que se encuentra por debajo del límite inferior de este rango. Aunque son comportamientos diferentes, ambos traen como consecuencia el asentamiento de partículas sólidas en el fondo del tanque y por ende el desarrollo de una mala dispersión en el proceso.

Otra condición de operación establece teóricamente, que el nivel de líquido o producto dentro del tanque para el proceso de dispersión, debe ser de 1 a 2 veces el diámetro del impulsor del equipo. La formulación aplicada en el proceso de fabricación de pinturas en dicha empresa (según lo mostrado en las tablas 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3), corresponde a un valor de nivel que excede a lo establecido teóricamente. Esto se explica detalladamente mas adelante en la verificación de variables y parámetros de diseño.

- Diseño: como parámetro de diseño del equipo, la potencia se verificó en los equipos presentes en planta, sabiendo que la norma de diseño indica que debe existir 10 Hp de potencia en el motor por cada 100 galones de producto (Ver capítulo II,



sección 2.2.4). A su vez, se comprobó la configuración geométrica del equipo, la cual depende principalmente de las dimensiones de la propela, tanque y de la cantidad de producto a elaborar. Se conoce que para tanques con una capacidad mayor a 500 GAL, es recomendable la configuración de un recipiente con fondo curvado, regla que se cumple en los equipos a escala industrial. (Ver capítulo II, sección 2.2.4).

Método: el método aplicado para el mantenimiento de los tanques, tiempos de operación, control de calidad y cumplimiento de la formulación son los tópicos importantes a desarrollar.

- Limpieza de tanques: Después de la realización de cada lote de producción, el vaciado del producto en el tanque se realiza por medio de un lavado con agua, donde los restos de pintura en las paredes del tanque, propela y demás zonas, son removidos. Esta misma agua de lavado, es reutilizada para la elaboración del próximo lote sólo si se va a realizar la fórmula del mismo color o un color más claro. En caso de que la próxima fórmula a realizar sea más oscura, se procede a lavar el tanque con agua y una solución única para este fin. La reutilización del agua de lavado no influye en las características físicas, ni de coloración en el lote nuevo a preparar, así que este método no se considera de relevancia en esta investigación.

- Tiempo de operación: el tiempo estipulado para el proceso de elaboración del lote completo antes del envasado es de 30 minutos para la carga de materias primas y de 50 a 60 minutos para el proceso de producción (en condición de idealidad). Aunque la mayoría de la veces, a causa de la ejecución de reajustes necesarios para que la mezcla cumpla con las características fijadas y aprobar el producto, este lapso de tiempo sufre retrasos de 5 a 90 minutos dependiendo de la fórmula que se este realizando.



- Control de calidad: El método empleado en el laboratorio para el control de calidad del producto, consiste en la verificación de la viscosidad, temperatura y dispersión para la primera etapa, viscosidad y temperatura para la fase de espesamiento y por último viscosidad, peso por galón, pH y color para la tercera fase. Poner en práctica estas pruebas requiere de agilidad y orden para evitar sumar minutos al tiempo preestablecido de producción, y es por esto que el personal de laboratorio esta altamente calificado y entrenado para el desarrollo de estas actividades con destreza, además de tener la potestad para ordenar reajustes y modificar la formulación cuando el proceso lo requiere.

- Cumplimiento de la formulación: Cada formulación generada posee las reglas y pasos a seguir para lograr la realización del lote de producto con éxito. El cumplimiento de la fórmula depende de la actitud del personal y de la supervisión del mismo, que cotidianamente no presentan problema dentro del proceso.

Para completar el método de las 6M, faltaría por mencionar el conjunto de medición, el cual para esta investigación no se considera apreciable pues solo se toman en cuenta las variables que interfieren directamente en la etapa de dispersión y no las relacionas con la medición de parámetros y características en el control de calidad, pues de esta forma se enfocaría el tema hacia otro ángulo que no es el buscado.

4.2.2 Realización de un diagrama causa – efecto

Con la información plasmada en la sección anterior, se procedió a la elaboración del diagrama causa – efecto de la figura 4.2.1.



4.2.3 Verificación de parámetros de diseño de los equipos.

En este punto se comprobaron los cinco (05) parámetros principales de diseño descritos en la teoría que determinan el buen funcionamiento del equipo, los cuales se mencionan a continuación:

- Velocidad de dispersión:

Con los datos obtenidos anteriormente y por medio del uso de las ecuaciones mostrada en el capítulo II, se procedió a la verificación de la velocidad periférica de la propela en los equipos.

TABLA 4.2.1

VERIFICACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DISPERSIÓN A NIVEL INDUSTRIAL Y DE LABORATORIO EN LOS EQUIPOS PRESENTES EN LA PLANTA DE EMULSIÓN DE LA EMPRESA SOLINTEX DE VENEZUELA S.A.

Equipos	Revoluciones por minuto del impulsor ($V \pm 0,1$)rpm	Velocidad periférica teórica (fpm)	Velocidad periférica real ($V_p \pm 24$)fpm	Desviación porcentual con respecto al valor más cercano (%)
1,2 y 3	1770,0	4000 - 6000	7420	24



4 ,5 y 6	1400,0		8070	35
Laboratorio	7000,0		3668	-8

Fuente: propia,2007.

Los equipos 1, 2 y 3 trabajan a una velocidad de dispersión de 1770 rpm, lo cual se traduce en una velocidad periférica que excede al máximo del rango establecido teóricamente para este parámetro (Ver capítulo II, sección 2.2.4), presentando una desviación porcentual de 24%. Este exceso de velocidad repercute en la eficiencia de esta fase, provocando el aireamiento del producto y aumento de la temperatura, o lo que es igual, la presencia de moléculas de aire dentro la mezcla dificultando así la sustitución de estas partículas por moléculas de solvente. En adición, estas unidades no poseen ningún dispositivo que mida la velocidad del impulsor o tacómetro, que facilite la lectura de las revoluciones del eje. De esta manera los operadores controlan de manera intuitiva este parámetro, siendo esto no recomendado para el proceso, pues se manejan fenómenos de poca estabilidad (dispersión).

Los equipos 4, 5 y 6 presentan una desviación porcentual con respecto al valor teórico de 34, 5%. Esto, como se explicó anteriormente, es una de las causas de mala dispersión existente en el proceso de elaboración de pinturas emulsionadas en dicha empresa; pues, trabajar con una velocidad mayor a la preestablecida, no indica un mejor desenvolvimiento de la mezcla para esta etapa, por el contrario, estimula el aumento de la temperatura en la mezcla y por ende la evaporación de componentes volátiles. (Ver capítulo II, sección 2.2.4). Además este exceso de velocidad no proporciona las condiciones necesarias para el desarrollo de flujo laminar, que es el que asegura la circulación total del lote dentro del tanque.



El equipo de dispersión que se encuentra en el laboratorio de investigación y desarrollo de la empresa, presenta una desviación porcentual en cuanto a su velocidad periférica del eje de -8,3% con respecto al valor teórico, lo cual se deduce directamente en la poca circulación del producto dentro del tanque y en el bajo grado de dispersión de las partículas de pigmento y exténderes presentes en la mezcla. Con todo lo anteriormente dicho, se tiene que la velocidad de dispersión para todas las unidades HSD tanto a escala industrial como a escala de laboratorio, se encuentra fuera del rango de valores teóricos establecidos para esta variable, repercutiendo en la mala dispersión de cargas y pigmentos presenciada en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.

- Nivel de líquido en el tanque:

La verificación de este parámetro de diseño arrojó los siguientes resultados.

TABLA 4.2.2
VERIFICACIÓN DEL NIVEL DE LÍQUIDO EN EL TANQUE DURANTE LA FASE DE DISPERSIÓN EN LAS UNIDADES UBICADAS EN PLANTA DE EMULSIÓN DE LA EMPRESA SOLINTEX DE VENEZUELA S.A.

Equipos	Nivel de liquido en el tanque actual	Nivel de liquido en el tanque teórico	Desviación porcentual con respecto al valor más cercano (%)
1,2 y 3	2,7dp	1dp – 2dp	37
4, 5 y 6	2,9dp		46
Laboratorio	1dp		0

Fuente: propia,2007.

En la tabla 4.2.2 se muestra que todas las unidades de dispersión presentes en la



planta de emulsión de dicha empresa, trabajan con volúmenes de producto superiores a los recomendados para esta fase, trayendo como consecuencia la elaboración de una formulación del producto no acorde a las características de operación de los equipos y por ende al mal desempeño de estas unidades durante la etapa de dispersión.

- Potencia del motor:

De acuerdo a lo establecido en el capítulo II (ecuación 2.2.6) deben existir 10 hp de potencia del motor por cada 100 galones de producto elaborado. En los equipos 1, 2 y 3, que poseen un motor de 54 hp se comprobó que este parámetro cumple a cabalidad con la norma, pues el motor posee suficiente potencia hasta para un tanque de 540 GAL. El mismo caso se presenta para el equipo de laboratorio, el cual posee un motor de potencia 1 Hp, indicando que puede trabajar hasta con tanques de capacidad de 10 GAL. Por el contrario, los equipo 4, 5 y 6 poseen un motor de 100Hp, lo cual revela que solo poseen una capacidad de trabajo de 1000 GAL de producto, mostrándose insuficiente para tanques de capacidad de 1200 GAL, que son los actualmente existentes en planta.

- Relación entre diámetros tanque – propela:

Se obtuvo por medio del uso de la comprobación de este parámetro de diseño presentada en el capítulo II, y la utilización de los datos técnicos de los equipos.

TABLA 4.2.3
VERIFICACIÓN DEL DIAMETRO DE LA PROPELA EN LOS EQUIPOS DE
DISPERSIÓN A NIVEL INDUSTRIAL Y DE LABORATORIO

Equipos	Diámetro de la	Diámetro propela	Desviación
---------	----------------	------------------	------------



	propela actual	sugerido	porcentual (%)
1,2 y3	0,28 DT	1/3 DT – ½ DT	-6
4, 5 y 6	0,34 DT		4
Laboratorio	0,36 DT		9

Fuente: propia,2007.

Como primer parámetro de diseño geométrico del recipiente de la unidad de dispersión, se tiene que la propela debe poseer un diámetro igual a un tercio (1/3) del diámetro del tanque (ver capítulo II, sección 2.2.4). En la tabla 4.2.3 se presenta la verificación de esta variable, donde la configuración actual de los equipos 1,2 y 3 presentan una desviación porcentual del 6,3%, los equipos 4, 5 y 6 del 3,5% y el equipo de laboratorio de un 8,8 %. Esta desviación no se considera significativa debido a la magnitud de los tanques de dispersión ubicados en la planta de emulsión, y por lo tanto se considera que los equipos cumplen con este parámetro de diseño.

- Distancia entre el fondo del tanque y la propela:

La propela debe estar colocada a 0,5 veces su diámetro desde el fondo del tanque. La tabla 4.2.4 muestra los valores de distancia que existen actualmente en las unidades de planta, y la misma establece que para los equipos 1, 2 y 3 existe una desviación porcentual con respecto al valor teórico 3,2%, considerándose este valor no significativo debido a las dimensiones de estos tanques.

TABLA 4.2.4

VERIFICACIÓN DE LA DISTANCIA EXISTENTE ENTRE EL FONDO DEL TANQUE Y LA PROPELA EN LOS EQUIPOS DE DISPERSIÓN UBICADOS EN PLANTA DE EMULSIÓN DE LA EMPRESA SOLINTEX DE VENEZUELA S.A.

Equipos	Distancia actual	Distancia sugerida	Desviación porcentual (%)
----------------	-------------------------	---------------------------	----------------------------------



1,2 y3	0,52dp	0,50dp	3
4, 5 y 6	0,67dp		25
Laboratorio	0,59dp		15

Fuente: propia,2007.

Para los equipos con una capacidad nominal de 1200GAL (unidades 4, 5, y 6) y para el equipo de laboratorio, la desviación porcentual es de 24,5% y 15,3% respectivamente. Aquí el valor de la desviación si se considera significativo, pues el mal diseño con respecto a este parámetro (en este caso, una propela muy separada del fondo del tanque) origina la acumulación de partículas sólidas en el fondo del recipiente debido a que el flujo en esta zona decrece, además de introducir aire dentro de la mezcla. Es decir estos equipos mencionados no cumplen con este con los valores establecidos teóricamente para este parámetro.

4.2.4 Selección de las variables respuesta a considerar

Con la ayuda del diagrama de barras (figura 4.2.12) presentado a continuación y en base a la frecuencia de las variables indicada en el mismo, se seleccionaron las características a evaluar en la comprobación del equipo diseñado. Se observa que (según la encuesta realizada), la mayoría del personal de planta coincide que las pruebas de control de calidad realizadas en el laboratorio de investigación y desarrollo no son suficientes para evaluar la materia prima, debido a que no se cuenta con un método estadístico, el que emplee una muestra representativa de la cantidad total de materia prima.

También el método de elaboración del producto y el seguimiento de la formulación planteada se presenta como una variable que origina la mala dispersión, pues la formulación realizada en el laboratorio de investigación y desarrollo de la planta no se



ajusta a las características del proceso a nivel industrial. De esta misma forma, parámetros como el tiempo y nivel de producto establecido para la etapa de dispersión son tomados como características importantes a evaluar, pues el tiempo dispuesto para dicha actividad no se ajusta a los fundamentos teóricos del proceso, al igual que los volúmenes de producto manejados en esta etapa, sobrepasan a lo establecido en la teoría. El resto de las variables plasmadas en el diagrama causa – efecto presentan un porcentaje de frecuencia relativamente bajo y constante, por consecuencia no se tomaron en cuenta para ser evaluadas. Los datos de frecuencia de variables necesarios para la realización de este diagrama de barras se presentan en la tabla 4.2.5.

TABLA 4.2.5
VARIABLES EVALUADAS EN EL DIAGRAMA CAUSA – EFECTO

Nº	Variabl e	Descripción de la variable	Frecuencia	Frec. (%)
MATERIALES				
1	NC	Estado de agregación	1	1,9
2	FP	Formulación de la pintura.	2	3,8
3	RP	Relación pesada producción – laboratorio.	3	5,8
4	PCC	Calidad Materia prima	8	15,4
MANO DE OBRA				
5	OC	Orden de carga según formula	5	9,6
6	CF	Cantidad a agregar en formula	2	3,8
7	P	Pesada de componentes sólidos presentes.	1	1,9
MEDIO AMBIENTE				
8	T	Temperatura materia prima	1	1,9
9	AMP	Almacenaje de materia prima	1	1,9
10	CP	Condiciones de producción.	1	1,9
11	CL	Condiciones de laboratorio.	1	1,9
MAQUINARIA				
12	FMI	Fuerza del motor impulsor.	1	1,9
13	VD	Velocidad de dispersión.	1	1,9
14	DP	Dimensiones tanque – propela producción.	2	3,8
15	DL	Dimensiones tanque – propela laboratorio.	2	3,8
16	NPP	Nivel de producto tanques a nivel industrial	6	11,5
17	NPL	Nivel de producto tanque de laboratorio	5	9,6
MÉTODO				



18	ME	Método estadístico en el control de calidad.	3	5,8
19	TD	Tiempo de dispersión.	3	5,8
20	PUF	Procedimientos en la fabricación de pintura.	3	5,8
TOTAL			52	100

Fuente: propia, 2007.

4.3 DESARROLLAR UN PROTOTIPO A ESCALA DEL EQUIPO DE DISPERSIÓN CON LA FINALIDAD DE DETERMINAR LAS CONDICIONES OPERATIVAS ADECUADAS PARA MEJORAR ESTA ETAPA DEL PROCESO.

4.3.1 Elaboración del escalamiento del equipo por medio de ecuaciones y cálculos.

Para la elaboración del equipo a escala de laboratorio en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A., se evaluaron uno a uno los cuatro principios de similitud establecidos en el capítulo II, los mismos se mencionan a continuación:

- Similitud geométrica:

Para su fácil manejo y ubicación dentro del laboratorio, se diseñó un prototipo con capacidad de un galón tomando como referencia el diámetro de un envase de pintura de esta misma capacidad; donde, a partir de este dato evaluado en las ecuaciones de escalamiento y comparando con las relaciones de proporción de los equipos en planta se generaron las dimensiones y características geométricas del prototipo.

Se tomaron todos los datos geométricos del equipo de dispersión 1 ubicado en la planta de emulsión (ver figura 2.2.20), pues por medio de la comprobación de los parámetros teóricos de diseño del equipo y la consulta a expertos en planta, se estableció que esta unidad es la que posee las mejores características de diseño con respecto a las unidades restantes. A estos datos se le fueron aplicadas las ecuaciones



presentadas en el capítulo III y de esta manera se realizó la tabla que se muestra a continuación con los resultados obtenidos de estos cálculos (apéndice B).

TABLA 4.3.1
CARACTERIZACIÓN DEL EQUIPO DE DISPERSIÓN DISEÑADO PARA EL
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA PLANTA DE
EMULSIÓN DE LA EMPRESA SOLINTEX DE VENEZUELA S.A.

Características	Descripción
TANQUE	
Diámetro (mm)	165
Altura (mm)	207
Altura cilindro (mm)	180
Capacidad nominal (GAL)	1
Capacidad real (GAL)	1,17
Espesor de la pared (mm)	2,2
Material	Acero inoxidable Cat. 304
MOTOR - DISPERSOR	
Marca	EMCO
Modelo	CM100
Potencia (Hp / Hz)	1 / 50 - 60
Velocidad (rpm)	10.000
Voltaje (v)	115
Amperaje (A)	10
Temperatura máxima de resistencia	80 °C
Diámetro del eje (pulg.)	3/4
PROPELA	
Material	Polypeller
Diámetro del disco (mm)	50,8
Espesor del disco (mm)	4
Numero de hendiduras	20
Longitud de la hendidura (mm)	6,35
Espesor de la hendidura (mm)	2
Distancia propela / fondo tanque (mm)	63,5

Fuente: propia,2007.



- Similitud mecánica:

La establece tres condiciones: estática, dinámica y cinemática. La similitud estática indica que dos equipos similares deben estar sometidos a las mismas fuerzas y cargas, con el fin de que sus deformaciones sean relativamente parecidas. Esto se logró utilizando materiales de construcción para la elaboración del prototipo, iguales al material de construcción de los equipos en planta, asegurando que el estrés y las cargas que originan el desgaste en los equipos, sean similares. Para lograr la similitud cinemática se buscó que las partículas en movimiento cumplieran el mismo recorrido en un mismo intervalo de tiempo, estando sometidas a fuerzas correspondientes (similitud dinámica) con el proceso a nivel industrial, es decir, se dedujo una velocidad para el equipo de laboratorio que correspondiera con la velocidad recomendada teóricamente (4000 – 6000 fpm), de manera que se observara el mismo efecto que ocurre en planta, asimismo establecer un tiempo de 20 minutos para la etapa de dispersión, de acuerdo a lo presentado en el capítulo II, debido a que es el periodo recomendado teóricamente para que el proceso de dicha acción sea altamente eficiente, y así poder generar una solución que disminuya el tiempo de producción obteniendo mejores resultados. (tabla 4.3.2).

- Similitud térmica:

La similitud térmica establece que dos cuerpos para que tengan el mismo flujo de calor de un punto a otro, deben ser similares cinéticamente, es decir, si las velocidades periféricas de ambos equipos (prototipo y modelo) están dentro de un mismo rango, generan el mismo flujo de calor dentro del cuerpo y como no existe ningún flujo de calor externo, se logra la similitud térmica buscada. Se estableció una velocidad mínima de 7650 RPM para la etapa de dispersión en el prototipo diseñado, de manera que ésta esté dentro del rango teórico establecido, aunque no corresponda a las velocidades de



los equipos en planta, esto así para proporcionar una alternativa de mejora que sea factible en planta, que minimice costos operativos en cuanto a servicios industriales y tiempo de producción.

TABLA 4.3.2
VARIABLES OPERACIONALES PARA EL EQUIPO DE DISPERSIÓN DISEÑADO PARA EL LABORATORIO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO DE LA PLANTA DE EMULSION DE LA EMPRESA SOLINTEX DE VENEZUELA S.A.

Variables	Descripción
1º ETAPA: DISPERSIÓN	
Nivel del líquido dentro del tanque (N \pm 0,5) mm.	57,0
Velocidad (V \pm 0,1)rpm	7650,0
Tiempo (t \pm 0.01) min.	20,00
2º ETAPA: ESPESAMIENTO	
Nivel del líquido dentro del tanque (N \pm 0,5) mm.	
Velocidad (V \pm 0,1)rpm	3000,0
Tiempo (t \pm 0.01) min.	15,00
3º ETAPA: ADICIÓN DEL PLASTIFICANTE - COLORACIÓN	
Nivel del líquido dentro del tanque (N \pm 0,5) mm.	
Velocidad (V \pm 0,1)rpm	2000,0
Tiempo (t \pm 0.01) min.	10,00

Fuente: propia,2007.

- Similitud química:



Una vez que se cumplen estas tres similitudes descritas anteriormente se da paso a una última similitud, la cual ordena que si dos sistemas son similares geométrica, térmica y mecánicamente, son similares químicamente mientras exista una razón constante entre las diferencias de concentración correspondiente entre un cuerpo y otro, es decir, si la formulación de planta guarda correspondencia con la utilizada en laboratorio en cuanto a cantidades y concentraciones de compuestos, el sistema se considera químicamente afín. La formula para la producción en planta es la misma utilizada en laboratorio bajo una relación 1:1000 por componente presente en la mezcla, afirmando que el sistema a escala de laboratorio sea equivalente al sistema de producción.

4.3.2 Verificación del equipo a fin de garantizar que cumple con las especificaciones planteadas para el mismo.

Con el fin de verificar que todo lo plasmado anteriormente en cuanto a las similitudes entre los sistemas de producción y prototipo, al equipo elaborado se le realizó una prueba que constató que todo lo anteriormente dicho se cumple.

Este experimento consistió en la elaboración de una pintura de color blanco puro tipo económica, utilizando la formulación existente para la fabricación de lotes en el laboratorio de investigación y desarrollo. Se evaluaron parámetros y variables recomendados en esta investigación de manera de ser planteados como posible alternativa de mejora en el proceso de dispersión de dicha planta.



TABLA 4.3.3
VERIFICACIÓN DEL EQUIPO DE DISPERSIÓN DISEÑADO PARA EL
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA EMPRESA Y
EVALUACIÓN DE VARIABLES PROPUESTAS

Variables		Valor propuesto		
Tiempo ($t \pm 0,01$) min.		20,00		
Velocidad ($V \pm 0,1$) rpm		7650,0		
Nivel de producto dentro del tanque ($N \pm 0.05$) mm		57,00		
1º etapa: dispersión				
Parámetro de calidad	Valor esperado	Valor obtenido		
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Viscosidad stormer (KU)	74 - 78	76	77	76
pH ($pH \pm 0,01$)	8,00 – 9,00	8,20	8,20	8,40
Temperatura ($T \pm 0,1$) °C	35,0 – 38,0	35,0	35,0	35,0
Porcentaje de sólidos retenidos en una malla de 200 Mesh	STD	Igual al STD	Igual al STD	Igual al STD
Porcentaje de sólidos retenidos en una malla de 400 Mesh	STD	Igual al STD	Igual al STD	Igual al STD
Secado	STD	Igual al STD	Igual al STD	Igual al STD

Fuente: propia.



La realización de este experimento indica que un dispersor de alta velocidad que presente características de diseño acorde a lo establecido teóricamente y que trabaje a una velocidad de 4000 fpm (7630 RPM), a lo largo de un tiempo de 20 minutos y cuente con un nivel de producto dentro del tanque de 57 cm. (que a su vez corresponde al valor del diámetro de la propela del equipo a escala), genera las condiciones necesarias para la elaboración de una mezcla que cumple con los parámetros de calidad determinados por la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A. Es decir, para las características cuantitativas tales como temperatura, viscosidad y pH, los valores arrojados en la experiencia corresponden al rango de calidad indicado en la tabla y asimismo para características cualitativas como la prueba de aplicación sobre vidrio, no se observó la presencia de partículas sin dispersar, ni tampoco se distinguieron aglomerados. No se tiene un rango concreto para la aprobación o rechazo de lotes en las pruebas de retención de sólidos en mallas de 200 y 400 Mesh, así que el análisis del resultado es hecho por el analista, en este caso, se expresa que la dispersión fue llevada a cabo con éxito, pues el resultado indica que el porcentaje de partículas sólidas sin dispersar presentes en la mezcla es mínima y se considera despreciable.

4.4 PRESENTAR ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA ETAPA DE DISPERSIÓN TENIENDO EN CUENTA LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE CADA UNA, LAS CUALES GARANTICEN QUE SE CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO ELABORADO.

La verificación del equipo elaborado en el capítulo anterior, contribuyó a la generación de alternativas para las dispersiones en el proceso de elaboración de pinturas emulsionadas en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A. , con respecto a la modificación de parámetros de diseño geométricos, condiciones de operación y método de trabajo. Dichas alternativas se mencionan a continuación.



Alternativa 1:

Rediseñar y estandarizar los equipos de dispersión ubicados en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A., basándose en los parámetros de diseño teóricos de un dispersor de alta velocidad.

a) Finalidad:

Remodelación de los equipos existentes en planta y adquisición de dispositivos necesarios para la elaboración de pinturas emulsionadas en dicha empresa, ajustándose a los parámetros y variables de diseño determinados teóricamente para los dispersores de alta velocidad.

b) Descripción:

El rediseño de los equipos que se disponen actualmente en planta y la verificación de los parámetros geométricos de los mismos originan el planteamiento de la presente alternativa. Como se muestra en la tabla 4.2.6, la distancia entre el fondo del tanque y la propela presenta una desviación con respecto al valor predeterminado teóricamente. Es por esto que se propone el rediseño de la geometría del diámetro de las propelas y la modificación de la altura de las mismas con respecto al fondo de los tanques donde se encuentran dispuestos los dispersores de alta velocidad. Los valores propuestos se muestran a la tabla 4.4.1.



TABLA 4.4.1
VALORES PROPUESTOS EN EL REDISEÑO DE LA DISTANCIA EXISTENTE
ENTRE EL FONDO DEL TANQUE Y LA PROPELA EN LOS EQUIPOS DE
DISPERSIÓN

Parámetros de diseño	Valor actual	Valor propuesto
Distancia fondo tanque – propela para los equipos 4, 5 y 6 (mm)	370 = 0,67 dp	280 = 0,50 dp

Fuente: propia

Los dispersores de alta velocidad 1, 2 y 3 ubicados en planta carecen de dispositivos que midan las revoluciones por minuto de la propela, así como también todos los equipos carecen de unidades que registren cambios de temperatura durante el proceso. Es por ello que se propone la adquisición de 6 termocuplas industriales para cada uno de los equipos de alta dispersión ubicados en planta, al igual que la adquisición de 3 tacómetros que registren las RPM de los equipos 1, 2 y 3.

c) Flexibilidad y modificación del proceso:

Esta propuesta tiene como finalidad no alterar el proceso ni el método de trabajo empleado hasta el momento, por lo tanto no se requiere de la modificación de las condiciones de operación ni de lotes de producción, ya que se busca dar continuidad a la metodología de fabricación de pinturas emulsionadas establecida en dicha empresa.



d) Capacitación del personal y método de fabricación:

Por lo mencionado en el ítem anterior, se establece que el personal se encuentra altamente capacitado para el cambio propuesto, pues no se contempla que su método de trabajo sea alterado.

e) Tiempo de ejecución:

El tiempo requerido para la ejecución de la medida dependerá de cuanto se tarde el taller contratista en elaborar los ejes con la geometría propuesta, así como también el lapso que tome la instalación de los equipos.

- Elaboración del eje con la geometría propuesta..... de 4 a 24 semanas
- Instalación de tacómetros y termocuplas..... de 2 a 4 semanas
- Instalación de eje diseñados.....de 4 a 8 semanas.

f) Evaluación de costos:

- Inversión inicial: Costo asociado al reemplazo de ejes de los dispersores de alta velocidad y la adquisición de tacómetros y termocuplas para las unidades ubicadas en planta. (tabla 4.4.2).



TABLA 4.4.2
INVERSIÓN INICIAL PARA EL REDISEÑO DE EQUIPOS EN LA PLANTA DE EMULSIÓN DE LA EMPRESA SOLINTEX DE VENEZUELA S.A.

Concepto	Cantidad	Precio unidad (Bs.)	Costo total (Bs.)
Eje de dispersión	1	1.250.000,00	1.250.000,00
Tacómetro	3	765.000,00	2.295.000,00
Termocupla tipo K. Clase 2. Rango 0 – 900 °C	6	400.000,00	2.400.000,00
COSTO FÍSICO(Bs.)		5.945.000,00	
Impuesto al valor agregado (9%) (Bs.)		535.050,00	
Imprevistos (15% costo físico) (Bs.)		891.750,00	
Costo de instalación (Bs.)		1.150.000,00	
INVERSIÓN INICIAL		8.521.800,00	

Fuente: Suministros y servicios industriales Venezuela S.A., 2007.

- Costos operacionales: asociado al mantenimiento de los equipos instalados (20% del costo de tacómetros y termómetros y 1% del costo de ejes).

$$\text{Costos de operación} = (4.695.000,00 \cdot 0,2) + (1.250.000,00 \cdot 0,01)$$

$$\text{Costos de operación} = 951.500,00$$

4.4.2 Alternativa 2:



Revisar y ajustar las condiciones de operación para la elaboración de pinturas emulsionadas a base látex, al diseño y características de los equipos existentes en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.

a) Finalidad:

Modificar condiciones de operación y lotes de producción ajustados a las características físicas actuales de los equipos de alta dispersión ubicados en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.

b) Descripción:

Partiendo de la estandarización de los equipos, se busca ajustar los lotes de producción y condiciones de operación de cada uno de los equipos, verificando las variables de diseño relacionadas con el nivel óptimo de producto, velocidad recomendada y tiempo ideal para la fase de dispersión en el proceso de elaboración de pinturas. En las tablas 4.2.4 y 4.2.7 se presenta la revisión de dos de estas variables observando que presentan desviación con los valores teóricos establecidos en el capítulo II, de aquí se origina la propuesta para la modificación de estas medidas. (Ver tabla 4.4.3)

Con la modificación de estas variables de diseño a los valores mostrados anteriormente se busca ajustar al proceso a las condiciones geométricas de los equipos de alta dispersión situados en planta. Aunque estos cambios muestren una reducción significativa en la rata producción del producto en cuestión, a su vez representan un ahorro en cuanto a la disminución de la duración del proceso total, pues esta medida propone disminuir los tiempos de producción y los excedentes originados por los reajustes hechos durante la producción en la fase de dispersión.



TABLA 4.4.3
VALORES PROPUESTOS PARA EL REAJUSTE DE LOTES DE PRODUCCIÓN Y
CONDICIONES DE OPERACIÓN EN LOS EQUIPOS 1, 2 Y 3 SITUADOS EN LA
PLANTA DE EMULSIÓN DE LA EMPRESA SOLINTEX DE VENEZUELA S.A.

Parámetro de diseño	Valor actual	Valor propuesto
Nivel de producto en la fase de dispersión ($N \pm 0,5$)mm	1110,0	813,0
Volumen de producto en la fase de dispersión ($V \pm 1$) GAL	390	285
Revoluciones por minuto del sistema motor – eje – impulsor ($V \pm 0,1$) rpm	1770,0	1430,0
Tiempo ($t \pm 0,01$)min.	25,00	20,00

Fuente: propia,2007.



TABLA 4.4.4
VALORES PROPUESTOS PARA EL REAJUSTE DE LOTES DE PRODUCCIÓN Y
CONDICIONES DE OPERACIÓN EN LOS EQUIPOS 4, 5 y 6 SITUADOS EN LA
PLANTA DE EMULSIÓN DE LA EMPRESA SOLINTEX DE VENEZUELA S.A.

Parámetro de diseño	Valor actual	Valor propuesto
Nivel de producto en la fase de dispersión ($N \pm 0,5$)mm	1630,0	1118,0
Volumen de producto en la fase de dispersión ($V \pm 1$) GAL	1022	700
Revoluciones por minuto del sistema motor – eje – impulsor ($V \pm 0,1$) rpm	1400,0	1040,0
Tiempo ($t \pm 0,01$)min.	25,00	20,00

Fuente: propia,2007.

c) Flexibilidad y modificación del proceso:

Esta alternativa trae como consecuencia las modificación de la fórmula utilizada en la elaboración de pinturas emulsionadas en dicha empresa, así como también la rectificación de la metodología de trabajo tanto para los operadores que laboran en planta, como para los analistas en el laboratorio de control de calidad y de investigación y desarrollo.



d) Capacitación del personal y método de fabricación:

La capacitación del personal se hace inminente en la implantación de esta medida, ya que al disponer de menos tiempo para la producción, es necesario el trabajo organizado y sincronizado entre los trabajadores de planta, los trabajadores de laboratorio y todo aquel personal involucrado con la producción.

e) Tiempo de ejecución:

Como esta alternativa no contempla la adquisición ni cambio de equipos de planta, el tiempo propuesto para la ejecución de esta medida dependerá de los analistas encargados en la obtención de nuevas formulas que contemplen las características del proceso planteadas, así como también el tiempo necesario para la capacitación del personal relacionado con la elaboración de pinturas emulsionadas en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A. Este tiempo es considerado despreciable, ya que es posible implantar la medida sin necesidad de parar la producción, es decir, es posible implantarla paralelamente al proceso.

f) Evaluación de costos:

- Inversión inicial y costos operacionales: asociada a la elaboración de nuevas formulaciones ajustadas a los lotes de producción propuestos y a la capacitación del personal para el nuevo proceso. Estas actividades pueden ser llevadas a cabo en las horas de trabajo regulares, con excepciones según lo amerite el caso.



4.5 SELECCIONAR LA ALTERNATIVA MÁS ADECUADA, A FIN DE SATISFACER LOS REQUERIMIENTOS DE ESTA INVESTIGACIÓN Y DE LA EMPRESA.

4.5.1 Análisis y evaluación de las alternativas planteadas

TABLA 4.5.1
MATRIZ DE SELECCIÓN PARA LA ALTERNATIVA QUE MEJORE LA ETAPA DISPERSIÓN EN LA PLANTA DE EMULSIÓN DE SOLINTEX DE VENEZUELA S.A.

	CRITERIOS DE SELECCIÓN				TOTAL
	Flexibilidad del proceso (15%)	Método de fabricación (25%)	Tiempo de implantación (30%)	Costos de la medida. (30%)	
Alternativa 1	4	4	2	1	11
Ponderación (%)	0,6	1	0,6	0,3	2,5
Alternativa 2	2	3	4	4	13
Ponderación (%)	0,45	0,75	1,2	1,2	3,6

Fuente: propia.

De acuerdo a los resultados exhibidos en la tabla anterior, la alternativa 2 se presenta como la opción más viable para el mejoramiento de las dispersiones en el proceso de producción de dicha empresa. Esta alternativa presenta ventaja con respecto al tiempo de implantación de la medida, pues solo requiere de la modificación de variables operacionales tales como velocidad y tiempo de dispersión, y la modificación de la formulación para ajustar los niveles de producto a lo establecido. Ninguna de las características mencionadas anteriormente requieren de largos tiempos para su implantación.



El costo de la medida, de igual forma, constituye una ventaja para la alternativa 2, pues no se pretende la adquisición de equipos nuevos, ni la modificación de los existentes, sino más bien la elaboración de una formulación de producto en base a las características del diseño de los equipos con que cuenta la planta de emulsión de dicha empresa.

Por su parte, tanto el método de fabricación como la flexibilidad del proceso si se ven en desventaja con respecto a la otra alternativa, puesto que se propone alterar el método de trabajo que los operadores han venido utilizando durante mucho tiempo, originando menos flexibilidad al proceso que de por si, ya tiene.

A pesar de lo expuesto en el párrafo anterior y retomando los discutido anteriormente, se expone que la alternativa (2) es la mas viable para el mejoramiento de la etapa de dispersión en el proceso de producción de pinturas emulsionadas en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A.

4.6 REALIZAR UNA EVALUACIÓN ECONÓMICA QUE INVOLUCRE COSTOS Y BENEFICIOS AL MEJORAR LA DISPERSIÓN, A FIN DE ESTABLECER COMPARACIONES ENTRE EL PROCESO ACTUAL Y EL MEJORADO.

4.6.1 Realización de un análisis económico mediante la estimación de costos y beneficios extra obtenidos en la mejora.

Para sentar un precedente entre los dos procesos (actual y sugerido) es necesaria la elaboración de una relación de costos representativa que permita establecer diferencias entre ambos sistemas. A continuación se presentan dos tablas que muestran dicha relación, basada en el precio del producto en el mercado (Costo comercial promedio por galón: 35.000 Bs. ⁽¹⁾).



TABLA 4.6.1
RELACIÓN COSTO BENEFICIO PARA EL PROCESO ACTUAL DE
PRODUCCIÓN DE PINTURA EMULSIONADA EN LA EMPRESA SOLINTEX DE
VENEZUELA S.A.

Unidades de producción	Capacidad de producción por lote (GAL)	Producción de lotes aproximados por día	Producción diaria (GAL/día)	Ganancia diaria (Bs./ día)
1, 2 Y 3	504	5	2520	88200000
4, 5 y 6	1200	5	6000	210000000
TOTAL	-	-	8520	298200000

Fuente: SOLINTEX de Venezuela S.A., 2007.

(1) Se hace referencia al valor comercial, debido a que por convenios de confidencialidad con la empresa, no se revela el costo neto por galón de producto elaborado.

TABLA 4.6.2
RELACIÓN COSTO BENEFICIO PARA EL PROCESO SUGERIDO DE
PRODUCCIÓN DE PINTURA EMULSIONADA EN LA EMPRESA SOLINTEX DE
VENEZUELA S.A.

Unidades de producción	Capacidad de producción por lote (GAL)	Producción de lotes aproximados por día	Producción diaria (GAL/día)	Ganancia diaria (Bs./ día)
1, 2 Y 3	368	8	2944	103040000
4, 5 y 6	840	8	6720	235200000



TOTAL	-	-	9664	338240000
--------------	---	---	-------------	------------------

Fuente: SOLINTEX de Venezuela S.A., 2007.

Una vez descritos los dos procesos, sigue la comparación de ambos representado por el costo anual de producción.

TABLA 4.6.3
COMPARACIÓN DEL COSTO ANUAL DE PRODUCCIÓN ENTRE EL PROCESO ACTUAL Y EL SUGERIDO PARA LA PRODUCCIÓN DE PINTURA EMULSIONADA EN LA EMPRESA SOLINTEX DE VENEZUELA S.A.

	Producción diaria (GAL)	Costo de producción diario (Bs.)	Producción anual (GAL)	Ganancia anual (Bs.)
Proceso actual	8520	298200000	3067200	107352000000
Proceso sugerido	9664	338240000	3479040	121766400000

Fuente: Propia, 2007.

La propuesta se presenta como viable para la empresa, porque a parte de mejorar las ganancias y la producción anual en un 13%, dicha relación costo - beneficio contempla además la disminución o casi desaparición de reajustes durante el proceso y el reproceso de lotes de producto y como consecuencia la disminución de tiempos de producción, costos de materia y servicios industriales (agua, electricidad, entre otros).



CONCLUSIONES

De acuerdo a la evaluación realizada al proceso de fabricación de pintura emulsionada en la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A., y en especial su etapa de dispersión tanto a nivel industrial como de laboratorio, se presentan a continuación las siguientes conclusiones:

1. La etapa de dispersión del proceso de elaboración de pinturas emulsionadas de dicha empresa, involucra cinco variables responsables de la calidad del producto, y las mismas se mencionan a continuación: calidad de materia prima empleada, formulación, procedimiento, condiciones de operación y geometría del equipo.
2. La velocidad y el tiempo de dispersión, la relación entre las dimensiones propela – tanque, la distancia entre el fondo del tanque y la propela y el nivel de producto dentro del tanque durante la etapa de dispersión son las variables que determinan el proceso, y de ellas depende el desarrollo de una buena fase de dispersión.
3. El equipo a escala de laboratorio diseñado, posee las características necesarias para reproducir en el laboratorio de investigación y desarrollo de la empresa los mismos resultados que se obtienen a nivel producción, siempre y cuando la formulación y la materia prima correspondan a la razón de escala de los equipos.
4. Las alternativas que proponen tanto el rediseño de la geometría de los equipos existentes y la adquisición de equipos nuevos, así como también el reajuste de condiciones de operación para el proceso utilizando los equipos ya existentes; garantizan que el producto cumple con las especificaciones de calidad establecidas.



5. La alternativa de ajustar las condiciones de operación para la elaboración de pinturas emulsionadas a base látex, al diseño y características de los equipos existentes en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A., es la mas viable para la mejora de las dispersión en el proceso de producción.

6. Ajustar las condiciones de operación para la elaboración de pinturas emulsionadas a base látex, al diseño y características de los equipos existentes en la planta de emulsión de la empresa SOLINTEX de Venezuela S.A. representa un aumento en la producción anual en un 13%, lo que expresa una ganancia de Bs. 121.766.400.000,00 anual para la empresa solo en el área de pintura emulsionada.



LISTA DE SÍMBOLOS

ρ = Densidad del fluido, Kg. /m³

μ = Viscosidad del fluido, Pa*s

Ah= Ancho de la hendidura del impulsor del equipo de alta dispersión a escalar, mm

Ah'= Ancho de la hendidura del impulsor del equipo de alta dispersión escalado, mm

D (%)= Desviación porcentual del valor calculado con respecto al valor teórico, %

Da= Diámetro del impulsor, m

dp= Diámetro del impulsor del equipo de alta dispersión a escalar, pulg.

dp'= Diámetro del impulsor del equipo de alta dispersión escalado, mm

DT=Diámetro del tanque del equipo de alta dispersión a escalar, mm

DT'= Diámetro del tanque del equipo de alta dispersión escalado, mm

DTp= Distancia entre el impulsor y el fondo del tanque del equipo de alta dispersión, mm

Ep= Espesor de la propela del equipo de alta dispersión a escalar, mm

Ep'= Espesor de la propela del equipo de alta dispersión escalado, mm

F= Frecuencia porcentual de las variables dadas por la tormenta de ideas (%)

fpm= Velocidad periférica del impulsor, fpm

fr= Frecuencia de las variables dadas por la tormenta de ideas (adimensional)

h= altura de un cilindro hueco, mm

HT= Altura del tanque del equipo de alta dispersión a escalar, mm



HT'= Altura del tanque del equipo de alta dispersión escalado, mm

Lh= Longitud de hendiduras del impulsor del equipo de alta dispersión a escalar, mm

Lh'= Longitud de hendiduras del impulsor del equipo de alta dispersión escalado, mm

Nh= Numero de hendiduras del impulsor del equipo de alta dispersión a escalar, mm

Nh'= Numero de hendiduras del impulsor del equipo de alta dispersión escalado, mm

NLD= Nivel de liquido en el tanque durante la etapa de dispersión del equipo de alta dispersión a escalar, mm

NLD'= Nivel de liquido en el tanque durante la etapa de dispersión del equipo prototipo de alta dispersión diseñado, mm

N_{RE} = Velocidad de rotación, r/s

N_v = Numero de variables total generadas por la tormenta de ideas (adimensional)

p= Profundidad de la zona redondeada del tanque del equipo de alta dispersión a escalar, mm

p'= Profundidad de la zona redondeada del tanque del equipo de alta dispersión escalado, mm

Ph= Profundidad de las hendiduras del impulsor del equipo de alta dispersión a escalar, mm

Ph'= Profundidad de las hendiduras del impulsor del equipo de alta dispersión escalado, mm

r= Radio de un cilindro hueco, mm

rpm= Revoluciones por minuto del impulsor del equipo de alta dispersión, rpm



V = Razón de escala de velocidades periféricas (adimensional)

v = Ecuación o valor de velocidad periférica en el equipo a escalar, rpm

v' = Ecuación o valor de velocidad periférica en el equipo escalado, rpm

V_c = Valor calculado parámetro

V_{ip} = Velocidad del impulsor del prototipo de alta dispersión diseñado, rpm

VOL = volumen de producto en el tanque durante la etapa de dispersión en el prototipo de alta dispersión diseñado, mm^3

V_T = Valor teórico parámetro



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Editorial Episteme. Páginas: 21 – 33. Caracas, Venezuela.
- Brandau, A. (1997). *Introducción a la Tecnología de Recubrimientos*. Consolidated Research, Inc. Mt. Prospect. Instituto Mexicano de Técnicos en pinturas y tintas. Federación de Sociedades para la Tecnología en Recubrimientos. Páginas: 7 – 14.
Traducido por: Rosa E. Garcia, Air products y Chemicals, Inc.
Revisado por: Dr. Gerardo del Río Castillo, GBW Productos Gráficos, S.A. de C.V. Illinois, USA.
- Campara, M; Crespo, R. (2002). *Mejoramiento de las etapas de dispersión y mezclado en el proceso de elaboración de pinturas emulsionadas*. Tesis de pregrado sin publicación. Universidad de Carabobo. Facultad de ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Valencia, Venezuela.
- Di Marco, W; Elizalde, G; Faid, Y; Pravata, R & Rojas, E. (2006). *Industria de la Pintura*. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ingeniería. Cátedra de Industrias y Servicios. Mendoza, Argentina. Disponible en: <http://fing.uncu.edu.ar>.
- García, M. & Jardine, G. (2002). *Mejoramiento del proceso de producción de dispersiones en la línea 10 para el reacabado automotriz de DUPONT C.A.* Tesis de pregrado sin publicación. Universidad de Carabobo. Facultad de ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Valencia, Venezuela.



Johnstone y Wooldridge. (2003). Pilot plant, models and scale – up methods in chemical engineering. Editorial McGraw Hill Book company. USA.

Kirk – Othmer. (2005). *Enciclopedia de Tecnología Química*. . The Interscience encyclopedia, Inc. Tomo 9, páginas: 795 – 802.

Título Original: *Encyclopedia of Chemical Technology*. New York, USA.

Manual Morehouse – COWLES (2003). *Tecnologías en Dispersión Moderna*.

Disponible en: www.morehousecowles.com.

Título original: *Modern Dispersión Technology*. California, USA.

Martínez, A. (1984). *Nueva formulación de dispersiones acuosas*. CAVENPI. Caracas, Venezuela.

Martínez, Z. (2002). *Diseño de un sistema a escala piloto para la fabricación de pintura emulsionada a base de látex*. Tesis de pregrado sin publicación. Universidad de Carabobo. Facultad de ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Valencia, Venezuela.

Perry, R. (1992). *Manual del Ingeniero Químico*. (6^o Edición). Editorial McGRAW – HILL. Tomo 4, paginas: 19-9 – 19-15.

Título Original: *Perry's Chemical Engineers's Handbook*. México.

Piedrahita, G. *Tecnologías de información y comunicaciones para la enseñanza básica y media*. (2007).

Disponible en: <http://www.eduteka.org>



-
- Rodrigues Pinto, E. & Ponce de León, A. (2006). *Modelaje conjunto de la media y dispersión de Nelder y Lee como alternativa a los métodos de Taguchi*. Pesquisa Operacional v.26 n.2 Río de Janeiro. Brasil. Disponible en: <http://www.scielo.br>.
- Salager, J; Andérez, J; Briceño, M; Pérez, M & Ramírez, M. (2002). *Rendimiento de emulsiónación en función de la formulación, de la composición y de la energía de agitación*. Universidad de los Andes. Escuela de Ingeniería Química. Laboratorio FIRP. Publicado por Revista técnica de la facultad de ingeniería de la Universidad del Zulia. Vol. 25, Nº 3, páginas: 129 – 139. Maracaibo, Venezuela.
- Suris, G. (2001). Importancia y aplicación del escalado en las ingenierías químicas y bioquímicas. Congreso.
- Tamayo y Tamayo, M. (2005). *Metodología formal de la investigación científica*. Universidad de Santo Tomás. Editorial Limusa. Grupo Noriega editores. Bogotá, Colombia.