

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**DISEÑO PRELIMINAR DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE UN  
DESODORANTE EN LOCIÓN PARA LA EMPRESA  
NATURAVEN, C.A.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Pulido V., Oscar M.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Químico

Caracas, 2015

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO PRELIMINAR DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE UN DESODORANTE EN LOCIÓN PARA LA EMPRESA NATURAVEN, C.A**

TUTOR ACADÉMICO: Profa. María Rodríguez  
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Jorge Gómez

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Pulido V., Oscar M.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Químico

Caracas, 2015

Caracas, Abril de 2015

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller Oscar Pulido, titulado:

**“DISEÑO PRELIMINAR DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE UN  
DESODORANTE EN LOCIÓN PARA LA EMPRESA NATURAVEN, C.A”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al título de Ingeniero Químico, y sin que esto signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran **APROBADO**

  
Prof. Anubis Pérez  
Jurado

  
Prof. Jaime Hernández  
Jurado

  
Prof. María Rodríguez  
Tutor Académico

  
Ing. Jorge Gómez  
Tutor Industrial



## DEDICATORIA

A la vida y al universo, a su creatividad cósmica creadora de partículas subatómicas, elementos, leyes, compuestos y sistemas que los hicieron posible.

A la muerte, que no es más que la manifestación de la entropía y por lo tanto, otro paso indispensable de la vida y el flujo continuo del ciclo de transformación y conservación de masa a energía.

Al arte por permitir expresar e inmortalizar nuestra realidad y espiritualidad, de la manera más libre y bella que conozco: con una armonía de elementos contagiosos y maravillosos, como lo son las notas y los colores.

A la ciencia, por permitirme cuantificar, demostrar y comunicar mis pensamientos con indicadores sólidos y reproducibles y por mostrarme destellos de lo complejo que es este mundo. Destellos que iluminan la oscuridad que intentaba llenar con imaginación, siempre corroborando que por mucho que consigamos abrir huecos para esos destellos la mayoría del espacio estará ocupado por una oscuridad mística inexplicable.

Finalmente le dedico este trabajo a Venezuela, porque aunque sé que las fronteras no son más que límites imaginarios autoimpuestos, cómo no sentirse patriótico habiendo conocido tu gente, tus playas, tus selvas, tus suelos, tu egoísmo, tu solidaridad, tu felicidad y tu tristeza.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres, abuelos, tíos, primos, hermanos y amigos, todos familia, por los vínculos de amor tan particulares que formamos. Son mi mundo y siempre será un placer compartir, crecer y aprender con ustedes.

A las personas que lograron trascender la naturaleza "pecadora" de nuestra raza y han llevado una vida llena de convicción hacia la compasión. Motor que contribuye a construir y fortalecer continuamente la difícil e interminable lucha por la igualdad y libertad de entidades, que considero como misión de vida. Este agradecimiento va dedicado a los héroes y chamanes de mi vida; tanto del pasado lejano y del presente, como a esas generaciones futuras que cargan en sus hombros todos nuestros errores y esperanzas.

A las mujeres de mi vida. Que son mucho más que simples nombres pero transcribo algunos de ellos para que al menos una parte de su ser quede plasmado en este trabajo: Isis Vivas, Miguelina Márquez, Mamagorda, Andrea Pulido, Margarita García, Yolanda, Elvia y Mariamelia Delgado.

Gracias a la Ilustre Universidad Central de Venezuela por sus enseñanzas, a las específicas, que me permitieron convertirme en un profesional y a las integrales que me transformaron, aún sin querer, en una mejor persona. Gracias por haberme brindado infraestructura, belleza, cultura, alegría, tristeza, hermanos y mentores; todas las características del hogar ideal.

Especialmente a María Rodríguez, Carolina Vivas y a Italia Chinappi por haberme ayudado y orientado en todo momento durante la realización de este proyecto. Por su tiempo, disposición, dedicación y sus consejos.

Pulido V., Oscar M.

**DISEÑO PRELIMINAR DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE UN  
DESODORANTE EN LOCION PARA LA EMPRESA NATURAVEN, C.A**

**Tutor académico:** Profa. María Rodríguez. **Tutor industrial:** Ing. Jorge Gómez  
**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.**  
**2015, 190 pp.**

**Palabras claves:** Desodorantes, emulsión O/W, *Aloe Barbadensis Miller*,  
antitranspirante, diseño de planta, métodos de inversión de fases.

**Resumen.** En el presente Trabajo Especial de Grado se elaboró el diseño preliminar de la línea de producción de un desodorante en loción con *Aloe Barbadensis Miller* entre sus ingredientes, con el fin de brindarle a la empresa Naturaven, C.A la oportunidad de evaluar las implicaciones asociadas a la ejecución de éste proyecto. En la realización de dicho diseño se corroboró que la formulación en forma de emulsión O/W que se quiere producir cumpliera con los parámetros recomendados por diversos estudios relacionados a la industria cosmética y se conceptualizó un procedimiento para su producción, que satisficiera los requerimientos del producto según las exigencias de la empresa. Dicho proceso se diseñó para que permitiera la aplicación de lo método de inversión catastrófico transicional para lograr obtener un producto estable con un requerimiento energético reducido; en comparación a otros métodos de resultado similares. Los parámetros de operación del proceso se definieron al relacionar una serie de resultados obtenidos en ensayos experimentales del análisis de las propiedades de un prototipo del producto elaborado en una réplica del proceso a escala de laboratorio. Se estimó que la técnica de preparación diseñada resulta adecuada para garantizar la calidad del producto, al determinar que dicho prototipo presentara un comportamiento pseudoplástico y un tamaño de gotas de la fase interna de 15,00  $\mu\text{m}$ , un pH de 5,63, una conductividad térmica de aproximadamente 0,53 (W/m·K), un calor específico correspondiente a los 4,11 (kJ/kg·K) y una viscosidad a temperatura ambiente de 8.000,00 cP con una densidad respectiva de 0,93 (g/ml). Una vez definidos los parámetros de operación requeridos en el proceso se especificaron los equipos y las estrategias de control responsables de reproducirlo para seguidamente representar la planta preliminar diseñada en el Diagrama de Flujo de Proceso y el Diagrama de tuberías e Instrumentación.

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	
Introducción.....	1
Capítulo I.....	1
Fundamentos de la investigación.....	2
Planteamiento del problema.....	2
Antecedentes .....	4
Objetivos .....	5
Capítulo II.....	7
Marco teórico.....	7
Producto desodorante .....	7
Proceso productivo.....	15
Equipos de la línea de producción .....	21
Parámetros de operación de la planta.....	25
Sistema de control.....	28
Capítulo III .....	30
Marco metodológico.....	30
Diseño de la técnica de preparación del desodorante.....	33
Especificación de los parámetros de diseño y operación de la planta a nivel industrial.....	38
Diseño de los sistemas de control .....	42
Diagrama de flujo y diagrama de tuberías e instrumentación del proceso.....	42
Capítulo VI.....	44
Resultados y discusión de resultados .....	44
Etapa exploratoria .....	44
Proceso de producción conceptualizado .....	46
Definición de las condiciones de operación del proceso .....	48
Especificación de las condiciones de operación y diseño del proceso productivo.....	56
Diseño preliminar de la línea de producción.....	66
Capítulo V .....	77
Conclusiones.....	77
Recomendaciones .....	79

Bibliografía.....	81
Apéndices .....	95
Apéndice A. Cálculos tipo .....	95
Apéndice B. Criterios de evaluación de la formulación .....	123
Apéndice C. Características del estado Falcón .....	128
Apéndice D. Ministerio del Poder popular para las Industrias (MPPI), beneficios y ventajas de la Zona Franca.....	130
Apéndice E. Criterios de diseño del proceso y selección de sus parámetros de operación .....	132
Apéndice F. Criterios utilizados para la definición del proceso productivo y la selección de los equipos que lo constituyen.....	137
Apéndice G. Normas y códigos aplicables .....	147
Apéndice H. Similitudes .....	149
Apéndice I. Valores de algunas constantes a y C, se la correlación para determinar el número de Nusselt, según el tipo de agitador .....	150
Apéndice J. Usos del Aloe Vera .....	151
Apéndice K. Evaluación del comportamiento reológico del fluido.....	152
Apéndice L. Curvas de viscosidad de los fluidos tiempo independientes .....	153
Apéndice M. Propiedades del material de los equipos en contacto con la emulsión .....	154
Anexos.....	156
Anexo A. Diagramas de un proceso de inversión de fases catastrófico, de una emulsión O/W .....	156
Anexo B. Patrones de flujo de un impulsor radial y uno axial .....	157
Anexo C. Diagrama de Moody .....	158
Anexo D. Equipos de laboratorio empleados en las prácticas del trabajo .....	159
Anexo E. Configuración del sistema de bombeo evaluada.....	164
Anexo F. Especificaciones del gel de Aloe Barbadensis Miller .....	165
Anexo G. Representación de la distribución de la línea de producción.....	166
Anexo I. Curva característica de la bomba seleccionada CP 600/M .....	167
Anexo J. Símbolos empleados en la elaboración del DFP y DTI de la planta.....	168



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática de varios procesos de desestabilización de emulsiones.....	11
Figura 2. Molécula de un surfactante.....	13
Figura 3. Diagramas de Winsor.....	14
Figura 4. Orientación del surfactante en la interfaz.....	15
Figura 5. Temperatura de operación vs diámetro medio de gotas ( $\mu\text{m}$ ) en la formación de una emulsión O/W.....	19
Figura 6. Configuración de sistemas agitados con dos impulsores.....	22
Figura 7. Fondos comunes de tanques agitados.....	23
Figura 8. Ejemplo de un gráfico del número de potencia en función del número de Reynolds para un impulsor de turbina de hojas inclinadas .....	27
Figura 9. Diagrama de bloques de un esquema de retroalimentación simple.....	29
Figura 10. Algoritmo del diseño de un proceso a escala industrial.....	31
Figura 11. Fotografía de la réplica del proceso construida a escala laboratorio.....	34
Figura 12. Fotografía del montaje de equipos utilizado para determinar la viscosidad del producto. ....	37
Figura 13. Conductividad eléctrica de la preparación en función de la fracción de volumen de agua añadida.....	49
Figura 14. Determinación del PIT de los surfactantes .....	50

Figura 15. Curvas características de la viscosidad del producto a distintas velocidades de corte.....	51
Figura 16. Curvas características de la viscosidad del producto a temperaturas variables.....	52
Figura 17. Fotografías microscópicas del producto elaborado a escala laboratorio.....	53
Figura 18. Distribución del tamaño de gotas del producto.....	54
Figura 19. Representación gráfica de la evolución de la temperatura en el tiempo del tanque enchaquetado .....	59
Figura 20. Balance de masa del proceso.....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aplicación de surfactantes según su valor HLB.....	13
Tabla 2. Formulación desodorante propuesta.....	32
Tabla 3. Formulación desodorante definitiva.....	56
Tabla 4. Parámetros de operación requeridos en el proceso.....	57
Tabla 5. Especificación del tanque enchaquetado.....	61
Tabla 6. Especificación del sistema de agitación.....	62
Tabla 7. Especificación del sistema de tuberías.....	63
Tabla 8. Especificación de la bomba.....	64
Tabla 9. Especificación del sistema de calentamiento-almacenamiento de agua.....	65
Tabla 10. Balance de masa del proceso.....	70
Tabla 11. Lista de válvulas del proceso.....	75
Tabla 12. Lista de instrumentos del proceso.....	75
Tabla 13. Lista de controladores del proceso.....	76

## GLOSARIO

Aditamentos:	Cosa que se añade a otra para complementarla.
Analgesia:	Falta o supresión de sensación dolorosa, sin pérdida de los restantes modos de la sensibilidad.
Anfótero:	Se dice de las moléculas que pueden reaccionar como ácido o como base.
Anión:	Ion con carga negativa.
Antiprurítico:	Efecto de disminución de la picazón.
Anular:	De forma de anillo.
Aspa:	Brazos de un aparato que forman un Conjunto de maderos o palos atravesados el uno sobre el otro.
Astringir:	Apretar, estrechar, contraer los tejidos orgánicos.
Caloría:	Cantidad de energía calorífica que hay que suministrar a un gramo de agua para elevarle la temperatura 1 °C, a una presión de una atmósfera.
Catástrofe:	Suceso infausto que altera gravemente el orden regular de las cosas.
Caudal:	Cantidad de un líquido o un gas que fluye en un determinado lugar por unidad de tiempo.
Cinética:	Perteneiente o relativo al movimiento.
Coficiente:	Factor constante que multiplica una expresión.
Cohesión:	Acción y efecto de reunirse o adherirse las cosas entre sí o la materia de que están formadas.
Conductividad:	Propiedad que tienen los cuerpos de transmitir el calor o la electricidad.
Consistencia:	Coherencia entre las partículas de una masa o los elementos de un conjunto.
Correlación:	Medida de la dependencia existente entre variantes aleatorias.

Corrosión:	Dstrucción paulatina de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma.
Cosmético:	Que se utiliza para la higiene o belleza del cuerpo.
Densidad:	Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.
Dispersión:	Fluido en cuya masa está contenido uniformemente un cuerpo en suspensión o en estado coloidal.
Diagrama ternario:	Es un diagrama baricéntrico que se emplea para representar tres variables que suman un valor constante dado.
Emoliente:	Que sirve para ablandar una dureza o un tumor.
Empírico:	Perteneiente o relativo a la experiencia.
Endocrino:	Perteneiente o relativo a las hormonas o secreciones internas.
Entropía:	Medida del desorden de un sistema.
Entalpía:	Magnitud termodinámica de un cuerpo, igual a la suma de su energía interna más el producto de su volumen por la presión exterior.
Espesor:	Grosor de un sólido.
Estética:	Perteneiente o relativo a la percepción o apreciación de la belleza.
-fília:	Afición o simpatía.
Gradientes:	Razón entre la variación del valor de una magnitud en dos puntos próximos y la distancia que los separa.
Geometría:	Estudio de las propiedades y de las medidas de las figuras en el plano o en el espacio.
Glándula:	Órgano cuya función es producir una secreción que puede verterse a través de la piel o de las mucosas
Gravedad:	Fuerza que sobre todos los cuerpos ejerce la Tierra hacia su centro.
Hidro-:	Agua.

Interfaz:	Conexión física y funcional entre dos aparatos o sistemas independientes.
Inercia:	Propiedad de los cuerpos de no modificar su estado de reposo o movimiento si no es por la acción de una fuerza.
Ión:	Átomo o agrupación de átomos que por pérdida o ganancia de uno o más electrones adquiere carga eléctrica.
Inhibir:	Impedir o reprimir el ejercicio de facultades o hábitos.
Legislación:	Conjunto o cuerpo de leyes por las cuales se gobierna un Estado, o una materia determinada.
Lipo-:	Lípido' o 'grasa.
Longitud:	Magnitud física que expresa la distancia entre dos puntos.
Manométricas:	Perteneiente o relativo a un instrumento que mide la presión.
Manufacturar:	Fabricar con medios mecánicos.
Miscibles:	Mezclable o con buena capacidad de disolución (solubilidad)
Molécula:	Unidad mínima de una sustancia que conserva sus propiedades químicas.
Móvil:	Cuerpo en movimiento.
Ocluir:	Cerrar un conducto.
Orgánico(compuesto):	Sustancia que tiene como componente constante el carbono, en combinación con otros elementos, principalmente hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.
Parámetros:	Dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación.
Parénquima:	Tejido vegetal constituido por células de forma aproximadamente esférica o cúbica y con espacios de separación.
pH:	Índice que indica la concentración de iones de hidrógeno en una disolución.

Polar:	Perteneiente o relativo a los puntos opuestos de un cuerpo, en los cuales se acumula en mayor cantidad la energía de un agente físico.
Polímero:	Compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.
Potencia:	Cantidad de energía producida o consumida por unidad de tiempo.
Potencial:	Función matemática que permite determinar la intensidad de un campo de fuerzas en un punto dado.
Prototipo:	Ejemplar original o primer molde en que se fabrica una figura u otra cosa.
Presión:	Magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie.
Punto de fusión:	Temperatura a la cual una materia que se encontraba en estado sólido pasa a estar en estado líquido.
Rugoso:	Que tiene arrugas.
Roce:	Acción y efecto de rozar.
Sábila:	Planta del aloe.
Sebo:	Grasa sólida y dura que proveniente de los animales.
Secreción:	Liberar o verter al exterior sustancias.
Sensor:	Dispositivo que detecta una determinada acción externa y la transmite adecuadamente.
Tensión:	Estado de un cuerpo sometido a la acción de fuerzas opuestas que lo atraen.
Terapéutica:	Parte de la medicina que enseña los preceptos y remedios para el tratamiento de las enfermedades.
Termodinámica:	Parte de la física en que se estudian las relaciones entre el calor y las restantes formas de energía.

Turbina:	Máquina destinada a transformar en movimiento giratorio de una rueda de paletas la fuerza viva o la presión de un fluido.
Turbulencia:	Cualidad en el movimiento de un fluido en el que la presión y la velocidad en cada punto fluctúan muy irregularmente, con la consiguiente formación de remolinos.

### LISTA DE ABREVIATURAS

AISI-304:	Acero Inoxidable autentico de tipo 304, según la clasificación de la American Iron and Steel Institute.
Adim.:	Adimensional.
Cetareth:	Alcohol cetílico/estearílico (cetearílico).
DBP:	Diagrama de bloques del proceso.
DFP:	Diagrama de flujo del proceso.
DTI:	Diagrama de tuberías e instrumentación.
RPM:	Revoluciones por minuto.
EIP:	Punto de inversión de fase, del método de inversión de fase catastrófico.
PIT:	Temperatura de inversión de fase, del método de inversión de fase transicional.
P:	Controlador proporcional.
PI:	Controlador proporcional integral.
PID:	Controlador proporcional integral derivativo.

### LISTA DE SÍMBOLOS

$\Delta G_f$ (J):	Energía libre de Gibbs
$\sigma$ (dina/cm):	Tensión interfacial
A ( $m^2$ ):	Superficie total de las gotas



$TL(K)$ :	Temperatura de la preparación
$\Delta S_f (J/K)$ :	Entropía de formación
$\tau \left( \frac{kg}{m \cdot s^2} \right)$ :	Esfuerzo de corte
$\mu \left( \frac{kg \cdot m}{s} \right)$ :	Viscosidad
$\gamma (s^{-1})$ :	Velocidad de deformación
$z_i (m)$ :	Altura de la columna de fluido
$v_i \left( \frac{m}{s} \right)$ :	Velocidad del fluido
$P_i \left( \frac{N}{m^2} \right)$ :	Presión del fluido
$g \left( \frac{m}{s^2} \right)$ :	Aceleración de gravedad
$\rho \left( \frac{kg}{m^3} \right)$ :	Densidad del fluido
Hb (m):	Cabezal de la bomba
Hr (m):	Cabezal de fricción
f (m):	Coefficiente de fricción (adim.)
$D_i (m)$ :	Diámetro característico (m)
$L_i (m)$ :	Longitud característica (m)
$J_e (J/cal)$ :	Equivalente eléctrico
t (s):	Tiempo
Volt (W/A):	Potencial eléctrico
$T_i (K)$ :	Temperatura del sistema
I (A):	Corriente eléctrica
$m_{agua}(kg)$ :	Masa de agua
$C_{p_{agua}} \left( \frac{J}{kg \cdot K} \right)$ :	Calor específico del agua
$m_e(kg)$ :	Masa de la emulsión
$C_{p_e} \left( \frac{J}{kg \cdot K} \right)$ :	Calor específico de la emulsión
Re (adim.):	Número de Reynolds
N (1/s):	Velocidad del impulsor

D (m):	Diámetro de los impulsores
Dt (m):	Diámetro exterior del tanque
$Q_e$ (m <sup>3</sup> /s):	Carga impartida por el impulsor
NQ (adim.):	Número de flujo
$P \left( \frac{kJ}{s \cdot kg} \right)$ :	Consumo de potencia específica
Np (adim.):	Número de potencia
M (kg):	Masa preparada
t <sub>m</sub> (s):	Tiempo de mezclado
z (adim.):	Cantidad de circulaciones por el patrón de flujo
Vo <sub>t</sub> (l):	Volumen de operación
Q (kWt):	Carga térmica
$\dot{m}_J \left( \frac{kg}{s} \right)$ :	Flujo másico del fluido caloportador
$C_{pj} \left( \frac{J}{kg \cdot K} \right)$ :	Calor específico del fluido caloportador
Tj0 (K):	Temperatura del fluido al entrar a la chaqueta
Tjf (K):	Temperatura del fluido al salir de la chaqueta
A <sub>t</sub> (m <sup>2</sup> ):	Área de transferencia de calor
$h_o \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$ :	Coefficiente de convección individual interno
$h_j \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$ :	Coefficiente individual de transferencia de calor externo
$k_w \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$ :	Conductividad térmica del material de la pared
$U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$ :	Coefficiente global de transferencia de calor
$C_{pe} \left( \frac{J}{kg \cdot K} \right)$ :	Calor específico de la preparación
Nu (adim.):	Número de Nusselt
Pr (adim.):	Número de Prandtl
L <sub>f</sub> (m):	Radio de corona
r <sub>f</sub> (m):	Radio rebordeo mínimo
m <sub>0</sub> (kg):	Masa inicial

$m_1$ (kg):	Masa final
$V_0$ ( $m^3$ ):	Volumen del picnómetro
$\rho_c$ ( $\frac{kg}{m^3}$ ):	Densidad de la fase continua
$\rho_d$ ( $\frac{kg}{m^3}$ ):	Densidad de la fase discontinua
$v_d$ ( $\frac{kg}{s}$ ):	Velocidad de cremado
$V_t$ (l):	Volumen del tanque
$V_{o_t}$ (l):	Volumen de operación del tanque
$T_o$ ( $^{\circ}C$ ):	Temperatura de operación
$T$ ( $^{\circ}C$ ):	Temperatura de diseño del tanque
$P_0$ ( $\frac{Kg}{cm^2}$ ):	Presión de operación del tanque
$P_t$ ( $\frac{Kg}{cm^2}$ ):	Presión de diseño del tanque
$F$ ( $m^{-1}$ ):	Factor de diseño del tanque
$t_{ci}$ (cm):	Espesor del cuerpo cilíndrico del tanque
$V_f$ (L):	Volumen del fondo y techo del tanque.
$f_m$ (adim.):	Factor de relación entre los radios que conforman una tapa toriesférica
$t_{fi}$ (cm):	Espesor de fondos y techos toriesféricos
$H_{fi}$ (m):	Altura del fondo y techo del tanque
$H_o$ (m):	Altura de operación del tanque
$H_c$ (m):	Altura del cuerpo cilíndrico del tanque
$H_t$ (m):	Altura total del tanque
$M_t$ (kg):	Masa del tanque
$W_b$ (m):	Ancho de los deflectores
$W_p$ (m):	Separación de los deflectores de la pared
$H_{b0}$ (m):	Altura inferior de los deflectores
$H_{bf}$ (m):	Altura superior de los deflectores
$H_j$ (m):	Altura de la chaqueta
$D_j$ (m):	Diámetro externo de la chaqueta

$V_j$ (L):	Volumen disponible en la chaqueta
$D_{eq}$ (m):	Diámetro equivalente de la chaqueta
$A_j$ ( $m^2$ ):	Área de flujo del agua en la chaqueta
$W$ (m):	Ancho de los impulsores
$D_r$ (m):	Diámetro del disco del impulsor radial
$L_r$ (m):	Largo de las paletas del impulsor radial
$H_r$ (m):	Altura del impulsor radial
$H_a$ (m):	Altura del impulsor axial
$P$ ( $\frac{N \cdot m}{s}$ ):	Potencia requerida al emulsionar
$M_T$ (N · mm):	Momento equivalente torsional.
$M_m$ (N · mm):	Momento de mezclado
$M_e$ (Kg · mm):	Movimiento equivalente de mezclado
$D_{eje}$ (mm):	Diámetro del eje de agitación
$v_j$ ( $\frac{m}{s}$ ):	Velocidad promedio del agua en la chaqueta
$d_{oi}$ (m):	Diámetro de tubería
$Q_i$ ( $\frac{m^3}{s}$ ):	Caudal de operación
$e$ (adim.):	Coefficiente de rugosidad relativa
$f_i$ (adim.):	Coefficiente de fricción
$D_i$ (m):	Diámetro característico
$L_i$ (m):	Longitud característica
$z_i$ (m):	Altura del fluido
$H_b$ (m):	Cabezal de la bomba
$H_r$ (m):	Cabezal de fricción
$P_1$ (kW):	Potencia
$V_{co}$ (l):	Volumen de agua agregada hasta el punto de inversión de fase
$H_{co}$ :	Altura de la columna del fluido en el punto de inversión de fase
$FS$ (%):	Factor de servicio

## INTRODUCCIÓN

La comercialización de los productos cosméticos utilizados para inhibir los olores axilares ha crecido de tal manera, que hoy en día ocupan una de las cuotas más grandes en el mercado de la industria de belleza y salud. En la actualidad es común el desarrollo de productos de acción cosmética con propiedades beneficiosas para la piel. La planta de la sábila presenta propiedades antimicrobianas, fisiológicas y terapéuticas que hacen de ella una materia prima ideal de productos cosméticos desodorantes.

La necesidad de la empresa Naturaven, C.A de evaluar un proyecto de diversificación y expansión de sus productos, presenta la posibilidad de adquirir técnicas de análisis e interpretación al soportarse en información disponible en varias fuentes incluyendo publicaciones, operación de procesos existentes en plantas y datos de ensayos, que permitan cumplir con este proyecto así como con futuras responsabilidades como profesional.

Este proyecto realiza especial énfasis en determinar los principales factores que dominan la evaluación de una formulación, para realizar el diseño del proceso productivo y la planta de producción (principales responsabilidades de un ingeniero químico), correspondiente a un desodorante en forma de loción que contenga sábila (*Aloe Barbadensis Miller*) entre sus ingredientes; planta con una extensas propiedades conocidas beneficiosas en la piel.

El presente Trabajo Especial de Grado consta de cinco capítulos. En el capítulo I se esboza el planteamiento, los objetivos y los antecedentes que determinan la investigación. El capítulo II consiste en el marco teórico bajo el cual está fundamentada la investigación. En el capítulo III, se presenta el marco metodológico donde se desglosan las etapas a llevar a cabo en la especificación de la formulación del producto y el diseño preliminar de su línea de producción. En el capítulo IV se muestran y discuten los resultados obtenidos. Finalmente el capítulo V contiene las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

## CAPÍTULO I

### FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se muestra el planteamiento, la justificación, los antecedentes del problema y los objetivos propuestos para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

#### **Planteamiento del problema**

En las bóvedas axilares del cuerpo humano se generan olores fuertes causados por la descomposición de algunas secreciones de las glándulas endocrinas y por bacterias en la piel. La naturaleza de los seres humanos a eliminar, atenuar y/o enmascarar dichos olores, ha traído como consecuencia que se hayan desarrollado y comercializado, una gran cantidad de productos destinados fundamentalmente a resolver los problemas derivados de la sudoración.

“Para marzo del año 2014, el país presentó una escasez de un 29,5% en artículos de cuidado personal, según reporte del Banco Central de Venezuela (BCV). Estas cifras revelan que la escasez en estos productos se agudizó luego de que el Gobierno regulara los precios correspondientes en el 2011” (FIVENCA, 2014).

Larrazábal (2013) determinó que entre los años 1998 y 2012 los ingresos de la República Bolivariana de Venezuela por exportaciones petroleras sumaron cerca de 697.510 millones de US\$; cifra significativamente mayor a los 348.980 millones de US\$ que se exportaron durante los 40 años anteriores. En el mismo período la representación del PIB de la industria manufacturera decreció de 17,4% a 13,9%.

El modelo rentista dependiente del petróleo y la disminución de la capacidad del sector manufacturero presente en el país ha causado una dependencia del mercado cosmético venezolano a productos y/o materias primas importadas que, en combinación con la

regulación de precios de los desodorantes, ha causado que el costo de producción de estos rubros esté desfasado (Yapur, 2014).

Lo comentado anteriormente demuestra que existe una demanda insatisfecha (escasez) en el mercado cosmético a productos que inhiban los olores corporales sin afectar la actividad de las glándulas endocrinas, orientados hacia los consumidores que no deseen o requieran inhibir la sudoración corporal.

Naturaven, C.A, es una empresa ubicada en la ciudad de Punto Fijo, que actualmente produce y comercializa extractos y otros derivados de *Aloe Barbadensis Miller*, además de bebidas terapéuticas a partir de ésta materia prima. Este proyecto surge de la necesidad por parte de dicha empresa, de evaluar un proyecto de expansión de sus productos con el diseño preliminar de una línea de producción de desodorantes en sus instalaciones; que incluya entre sus ingredientes materia prima extraída de la sábila producida por dicha empresa.

Falcón, es uno de los principales estados productores de sábila a nivel nacional (Piña, 2005). Los productores de sábila venezolanos cultivan principalmente Aloe del tipo *Barbadensis Miller*; ya que según Naturaven, C.A (2003) “esta especie en el país presenta un rendimiento en la obtención de sus extractos, que sobrepasa los estándares mundiales.”

La zona del estado Falcón donde estará localizada la planta, se rige bajo legislaciones especiales y por lo tanto, presenta una serie de beneficios fiscales, aduaneros y administrativos a la empresa en comparación a otras regiones del país. Dichos beneficios reducen los costos de producción y a su vez aumentan la rentabilidad del proyecto.

Otro factor por el que se despierta interés en el proyecto, a nivel de rentabilidad, es la autorización en la Gaceta Oficial N° 40.473 (12 de agosto de 2014) de un aumento en los precios regulados de varios artículos de higiene y cuidado personal, entre los que están incluidos los desodorantes. (Yapur, 2014).

Esta investigación incluye la aplicación de conocimientos adquiridos durante el estudio de la carrera de Ingeniería Química, en el desarrollo de un proyecto que potencialmente motiva un crecimiento de la empresa Naturaven, C.A., aumentando la gama (cantidad y variedad) de productos desodorantes en el mercado venezolano promoviendo la actividad manufacturera y agroproductiva del país.

### **Antecedentes**

Los artículos y trabajos de investigación que dan guía y soporte al presente trabajo, se presentan a continuación:

- Kleplak y Walkey (2000) determinaron que para el año 2000 nada más en Estados Unidos y el Reino Unido, las ventas de productos destinados a reducir los olores corporales superaron los 2,7 billones de dólares y expone algunos ingredientes activos desodorantes comúnmente utilizados.
- Sharapin (2000) estudió la frecuencia en el mercado cosmético de los productos desodorantes en forma loción, con efectos estéticos y terapéuticos.
- Allan y otros (2004) diseñaron el proceso productivo de una emulsión desodorante para la empresa Unilever. Siendo lo más resaltante las técnicas (y su justificación) de preparación de emulsiones, a nivel de parámetros de operación y orden de adición de los componentes empleados.
- Hernández (2004) refiere un método fisicoquímico comúnmente empleado en la industria, para obtener emulsiones estables más fácilmente (a nivel de tiempo y energía requerida en reducir el tamaño de gotas dispersas). Dicho método fue desarrollado por Shinoda en el año 1969 e involucra el uso del fenómeno de transición de fase utilizando la temperatura de inversión de fase; variable también llamada PIT, por su abreviación en el idioma inglés.



- Camero y Orejanegra, (2008) recopilaron información y criterios de los ingredientes más utilizados en fórmulas en loción tópica cosméticas y farmacéuticas.
- Cueva y Flores (2008) determinaron que entre tres distintas alternativas de sistemas de llenado, la más deseable es la que aprovecha la gravedad para el llenado de los envases comerciales.
- Mujica y colaboradores (2010) definieron distintos métodos y criterios en la preparación de emulsiones con ingredientes terapéuticos y/o cosméticos e investigaron sobre los surfactantes y conservantes utilizados en la industria, los cuales son tomados como guía en la formulación del producto propuesto en este proyecto.
- Romero (2010) elaboró una hoja de cálculo para el diseño básico de recipientes sometidos a presión, considerando recipientes horizontales y verticales con diferentes tipos de cabezales, basados en el Código ASME, lo cual sirvió como guía en la selección de las tapas y el estudio de los esfuerzos que las afectan.
- Fisher (1991) realizó pruebas para demostrar si el gel del Aloe Vera presentaba poder antibacterial en colonias de distinta cepas de bacterias.

## **Objetivos**

En función de lo establecido anteriormente, este Trabajo Especial de Grado, establece los siguientes objetivos.

### Objetivo General:

Diseñar la línea de producción preliminar para la elaboración de un desodorante que contenga *Aloe Barbadensis Miller*, en la empresa Naturaven, C.A.

Objetivos Específicos:

- (a) Conceptualizar y evaluar el proceso productivo de un desodorante en forma de loción.
- (b) Definir los parámetros de operación asociados a la producción del desodorante.
- (c) Especificar las condiciones de operación y diseño requeridas en los equipos del proceso productivo.
- (d) Definición de los sistemas de control necesarios en el proceso productivo.
- (e) Elaborar el Diagrama de Flujo del Proceso y el Diagrama de Tuberías e Instrumentación, preliminares, de la línea de producción.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

El presente Trabajo Especial de Grado busca definir el diseño preliminar de la línea de producción para una formulación desodorante propuesta.

A continuación se exponen las bases teóricas de los elementos considerados como esenciales a fin de comprender el proyecto:

#### **Producto desodorante**

Los olores fuertes característicos de la piel humana se originan debido a sustancias que se encuentran en el sudor y sebo corporal secretado por glándulas pertenecientes al sistema endocrino. Estas sustancias son estériles e inodoras, al momento de afluir hacia la superficie de la piel, pero su descomposición por parte de bacterias en la piel genera los compuestos fétidos característicos de la piel humana (Wilkinson y Moore, 1990).

Las secreciones de las glándulas endocrinas son un mecanismo natural del cuerpo para regular su temperatura corporal, eliminar toxinas y proteger la piel contra la sequedad. Existen tres tipos de glándulas responsables de dichas secreciones: las sebáceas y las sudoríparas ecrinas y sudoríparas apocrinas (Bloom y Fawcett, 1995).

“Las sustancias de fuerte olor se producen fundamentalmente debido al sudor apocrino, ya que éste es rico en sustancias orgánicas y por lo tanto un sustrato idóneo para el crecimiento y proliferación de las bacterias residentes en la piel (...). Sin embargo, la humedad procedente de las glándulas ecrinas (unas 25.000 se encuentran ubicadas en cada una de las bóvedas axilares) favorece la dispersión del sudor apocrino en una superficie más extensa y húmeda.” (Wilkinson y Moore, 1990)

Por la gran concentración de glándulas apocrinas que se encuentran en las bóvedas axilares del cuerpo humano, a lo largo de los años se han desarrollado una serie de productos e ingredientes activos responsables de inhibir los olores corporales en estas áreas, asociados a una visión de la sociedad de carácter estético e higiénico. Las normas COVENIN 2079-1998 definen los siguientes productos:

- Desodorantes: Preparaciones cosméticas con uno o más ingredientes activos que tienen por objetivo reducir, eliminar o prevenir olores desagradables en algunas áreas del cuerpo.
- Antitranspirantes: Son preparaciones cosméticas que inhiben o disminuyen la transpiración y por ende olores desagradables
- Desodorantes antitranspirantes: Son preparaciones que combinan las acciones de lo definido en los primeros dos puntos.
- Ingrediente activo desodorante: Es aquella sustancia que actúa destruyendo o inhibiendo el crecimiento de los microorganismos causantes de olores desagradables.
- Ingrediente activo antitranspirante: Es aquella sustancia que inhibe o disminuye la transpiración.

Los ingredientes activos desodorantes, son los compuestos que inhiben el crecimiento de aquellos microorganismos que descomponen las secreciones del cuerpo y por ende su mecanismo de acción, al contrario de los ingredientes antitranspirantes, no alteran la fisiología natural del cuerpo humano ni causan efectos adversos en el mismo (Kleplak y Walkey, 2000).

Sharapin (2000) afirma que los productos desodorantes en la actualidad tienden a ir más allá de la acción estética o preventiva de los productos meramente cosméticos y pretenden lograr además efectos beneficiosos sobre las capas de la piel, que la protegen y mantienen saludable.

Las lociones están entre las formulaciones cosméticas más utilizadas, ya que la película formada después de la evaporación del agua del producto, presenta una mayor

concentración de ingredientes activos, con menos efectos irritantes y mayor facilidad de remover de la piel y de la ropa, que preparaciones cosméticas como cremas y pomadas (Sharapin, 2000). Las lociones pueden ser de tipo suspensión (sólido en líquido) y emulsión (líquido en líquido).

Una emulsión es un sistema que se prepara combinando dos líquidos inmiscibles, uno de los cuales está uniformemente disperso en otro; generalmente se trabaja un fluido orgánico y otro inorgánico, denominados fase oleosa y fase acuosa respectivamente. El líquido que se dispersa en forma de glóbulos o pequeñas gotas se conoce con el nombre de fase dispersa, interna o discontinua. El otro líquido es el medio de dispersión, la fase externa o continua (Valladares, 2005).

Las lociones en forma de emulsión de uso cosmético, presentan varias ventajas prácticas importantes como:

- Se aumenta la capacidad de dispersión de los componentes, incrementando a su vez la acción del producto.
- Pueden liberar tanto materias hidrosolubles como liposolubles a la piel.
- La absorción y la penetración a la piel de los componentes de la sábila, se controlan más fácilmente.
- La acción es más prolongada que la observada en otras preparaciones.
- El agua es un diluyente de bajo costo y un solvente adecuado para muchos agentes incorporados en el producto.

Las emulsiones se suelen clasificar según la distribución de sus fases. Si la fase dispersa es un material oleaginoso y la fase continua es una solución acuosa, el sistema se designa con el nombre de emulsión de aceite en agua (O/W); en el caso inverso se designa la emulsión con el nombre de agua en aceite (W/O) (Valladares, 2005).

El tipo de emulsión se puede determinar por medición de la conductividad eléctrica, la cual es proporcional a la conductividad de la fase continua o externa y al porcentaje de

dicha fase en la emulsión, debido a que la conductividad eléctrica de la fase oleosa es varias veces (superior a 100) menor que la fase acuosa (Plaza, 2007).

En las moléculas de la zona superficial entre dos líquidos inmiscibles existe un desbalance en las fuerzas cohesivas, debido a que éstas no están rodeadas completamente por otras moléculas del mismo líquido y por lo tanto, presentan una fuerza neta hacia el seno del líquido (normal a la superficie), denominada tensión superficial (Arias, 2008).

Por el desbalance que presentan los sistemas emulsionados, en su estudio es fundamental el uso de un potencial termodinámico relacionado a condiciones de equilibrio de un sistema conocido como la energía libre superficial o energía libre de Gibbs (Aranberri, Binks, Clint y Fletcher, 2006). Dicho potencial se puede expresar, en términos simples, mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta G_f = \sigma \cdot A - TL \cdot \Delta S_f \quad (1)$$

Donde:

$\Delta G_f$  (J): Energía libre de Gibbs

$\sigma$  (dina/cm): Tensión interfacial

A (m<sup>2</sup>): Superficie total de las gotas

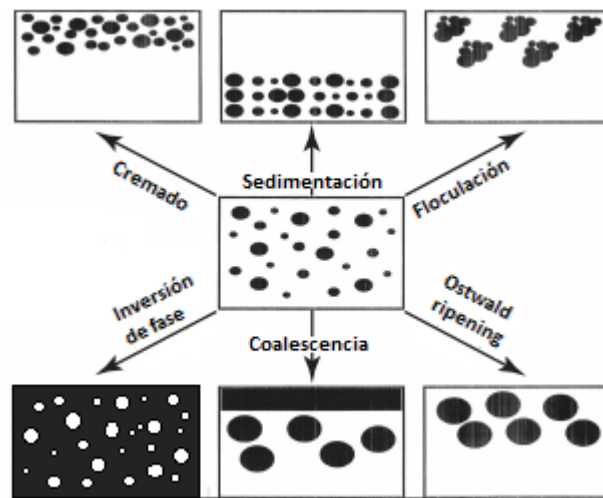
TL(K): Temperatura del líquido

$\Delta S_f$  (J/K): Entropía de formación

La energía libre de Gibbs o superficial ( $\Delta G_f$ ) en emulsiones normalmente resulta en un valor mayor que cero (entropía de formación relativamente pequeña en comparación a la tensión interfacial, según Valladares (2005)) y por lo tanto, dado que la formación de una emulsión no es un proceso espontáneo, se requiere de energía externa para lograr estirar, romper y así dispersar las gotas de un líquido en el otro. (Reyes y Di Scipio, 2012).

Como todo sistema termodinámico las emulsiones tienden energéticamente al equilibrio, el cual se encuentra cuando el sistema está en un estado de mínima energía. Por esta razón un sistema de líquidos inmiscibles va a tender a minimizar el área de contacto entre sus moléculas para reducir la energía libre superficial, mediante la separación de fase o sinéresis (Gennaro y otros, 1995).

La desestabilización de una emulsión afecta las propiedades del producto y disminuye su calidad. Ésta puede ocurrir mediante procesos como el cremado y la sedimentación, donde se forman gradientes de concentración debido a fuerzas gravitatorias y diferencias de densidades entre las fases que hacen que las gotas se desplacen al tope o fondo del recipiente, respectivamente. La floculación es la agregación de gotas debido a las fuerzas de atracción de Van der Waals. El proceso de maduración Ostwald Ripening, se da cuando las gotas pequeñas se difunden, por diferencia entre su presión interna y la de las gotas grandes y se depositan en las mismas. La coalescencia ocurre cuando se perturba la película entre dos gotas y estas se fusionan (Rocha, 2013). En la Figura 1 se muestra una representación de estos procesos.



**Figura 1.** Representación esquemática de los procesos de desestabilización de emulsiones.  
(Hernández, 2004)

El mecanismo de separación de una emulsión ocurre en tres pasos principales: primero, la aproximación a larga distancia entre gotas o entre gota e interfaz plana, luego el drenaje de la película entre gotas, y por último la coalescencia de las gotas; esto indica que si se evita la reducción de la distancia entre gotas, o entre gota e interfaz plana, se puede aumentar en gran medida la estabilidad de la emulsión (Hernández, 2004).

Las emulsiones también se pueden clasificar de acuerdo a su estabilidad y el tamaño de gota de la fase interna en nanoemulsiones, microemulsiones y macroemulsiones; estas últimas comúnmente denominadas emulsiones. La formación de emulsiones presentan mayor facilidad, en cuanto a métodos, energía y cantidad de surfactantes aplicados para su formación, en comparación a las nanoemulsiones (Tadros, 2004).

Las nanoemulsiones y macroemulsiones, al contrario de las microemulsiones, no son termodinámicamente estables, no se forman de manera espontánea y por lo tanto, el tamaño de gota tiende a aumentar antes de la separación de fases. Sin embargo, la obtención de tamaños de gotas pequeños (menores a  $100\mu\text{m}$ ) en la preparación inicial de las emulsiones repercute en una estabilidad física por un largo período de tiempo y por lo tanto se les clasifica como estables cinéticamente (Tadros, 2004).

Los tensioactivos o surfactantes son sustancias que promueven la estabilidad de las emulsiones. Las moléculas de surfactante, por su carácter anfifílico (dualidad de afinidad polar-apolar), se alojan en la zona superficial de los líquidos inmiscibles; lo que provoca una disminución de la tensión interfacial de los líquidos. Este efecto reduce la energía requerida para la emulsionar las fases (Di Scipio, Escalona, Quijada, y Millán, 2008) y retrasa el drenado de la película de las gotas, paso esencial del proceso de coalescencia (Preziosi, Perazzo, Caserta, Tomaiuolo y Guido, 2013).

Los surfactantes, se pueden clasificar según su estructura química (aniónicos, catiónicos, anfóteros, no iónicos, poliméricos, entre otros) o por el valor de su balance hidrofílico-lipofílico (HLB), el cual es una medida (expresión numérica) de la afinidad relativa de un surfactante hacia las fases acuosa y oleosa propuesto por Griffin (citado por Salager (1998)).

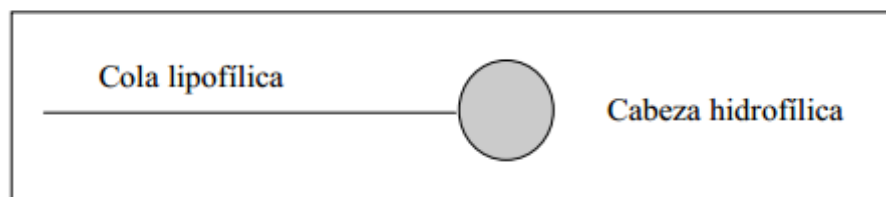


La aplicación de un surfactante o una mezcla de éstos en emulsiones, se puede determinar según la Regla de Bancroft, que indica que esta sustancia tiende a promover la dispersión de la fase donde son menos solubles (Quintero, 2012). En la Tabla 1 se especifican dichas aplicaciones.

**Tabla 1.** Aplicación de surfactantes según su valor HLB. (Harnby y otros, 2001.)

HLB	Aplicación	Miscibilidad en agua
1-4	Mezclado de aceites	Ninguna
3-6	Emulsión W/O	Pobre
7-9	Humectante	Dispersión lechosa con agitación
8-15	Emulsión O/W	Dispersión lechosa estable
13-15	Detergentes	Translucido
>15	Solubilizadores	Transparente

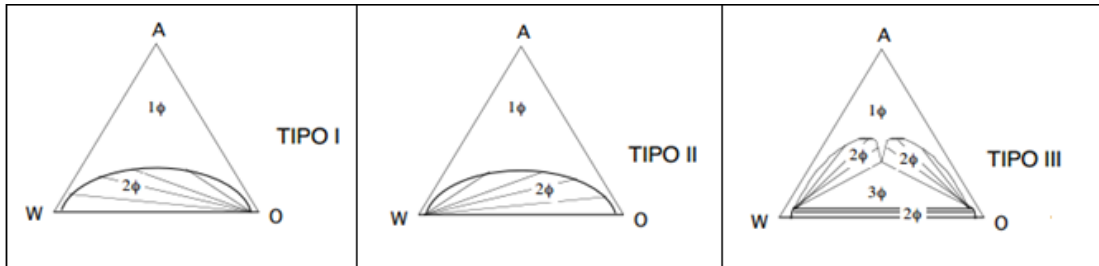
Las moléculas del surfactante adsorbidas, se orientan en la interfaz de manera que las moléculas lipofílicas apuntan hacia la fase oleosa y las hidrofílica hacia la fase acuosa (Aranberri y colaboradores, 2006). En la representación gráfica de un tensoactivo, como se muestra en la Figura 2, la "cabeza" hidrofílica de la molécula del surfactante simboliza al grupo polar, mientras que la "cola" lipofílica representa al grupo no polar.



**Figura 2.** Molécula de un surfactante. (Hernández, 2004)

El comportamiento de una emulsión en función de la cantidad de surfactante, fase acuosa y fase oleosa empleada, se puede representar (a temperatura y presión

constantes) sobre tres diagramas ternarios denominados diagramas de Winsor; representados en la Figura 3. (Salager y Anton, 1991).



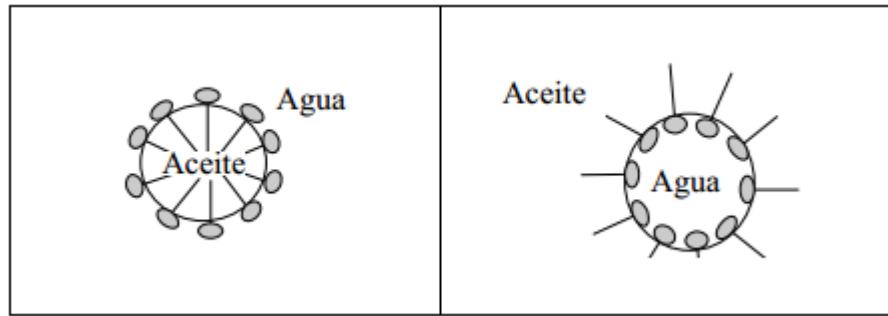
**Figura 3.** Diagramas de Winsor. (Salager y Anton, 1991)

En estos diagramas, la letra "W" corresponde a la fase acuosa, la letra "O" a la fase oleosa y la letra "A" a los componentes de carácter anfífilo. La zona bifásica ( $2\phi$ ), donde los líquidos presentan inmiscibilidad, corresponde a una baja concentración en anfífilo y en otra zona monofásica ( $1\phi$ ) el anfífilo asegura la miscibilidad entre el agua y el aceite. La región trifásica, donde las interacciones del surfactante con ambas fases son iguales, corresponde a una separación de la mezcla en una fase rica en anfífilo, una acuosa y una oleosa (Salager y Anton, 1991).

La pendiente de las líneas de reparto en el diagrama de Winsor tipo 1 indican una mayor concentración de anfífilo (afinidad) en la fase acuosa. Por el contrario, la pendiente de líneas de reparto en diagrama de Winsor tipo 2, indican que predominan las interacciones del surfactante con la fase oleosa (Salager y Anton, 1991).

Por encima de cierta concentración de surfactante se forman gotas de interfaz ocupadas completamente (saturadas) por moléculas de agentes tensoactivos; las cuales son llamadas micelas y favorecen a la estabilidad de la emulsión. Dicha concentración se denomina concentración micelar crítica (CMC) y depende de la estructura química molecular del surfactante y del medio fisicoquímico donde está inmerso (Arias, 2008) y corresponde a un valor superior a las líneas de solubilidad de los diagramas de Winsor (Salager y Anton, 1991).

En los sistemas de líquidos inmiscibles se escogen los tensoactivos que estimulen la formación de gotas de aceite o agua, según la fase interna que se quiera trabajar; la representación gráfica de estas estructuras se puede diferenciar en la Figura 4 (Hernández, 2004).



**Figura 4.** Orientación del surfactante en la interfaz de la gota en emulsiones. (Hernández, 2004)

La reología es la rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos sometidos a diferentes tipos de esfuerzos. Los estudios reológicos se utilizan para caracterizar el comportamiento de las propiedades de la preparación mediante ensayos prácticos a distintos estados fluidodinámicos y termodinámicos. Una de las variables involucradas en la caracterización de los fluidos es la viscosidad. Ésta es definida básicamente como la resistencia a la deformación que presenta un fluido sometido a un esfuerzo cortante y permite obtener información acerca de la organización estructural y las interacciones entre los constituyentes que forman la emulsión (Rocha, 2013).

Los fluidos, de acuerdo a tipos de viscosidad-deformación, se pueden clasificar como Newtonianos o no-Newtonianos (Rojas, Briceño y Avedaño, 2012). El valor de viscosidad de un líquido Newtoniano, a una presión y temperatura dada, es único para cualquier velocidad de corte e independiente del tiempo de aplicación de la misma (Rocha, 2013). Ésta se suele expresar en forma de viscosidad dinámica y es un coeficiente de proporcionalidad que describe la relación entre el esfuerzo de corte ( $\tau$ ) y la velocidad de corte o de deformación ( $\gamma$ ) (a una temperatura y presión dada), mediante la siguiente ecuación lineal a partir del origen:

$$\tau = -\mu \cdot \frac{dv_x}{dz} = \mu \cdot \gamma \quad (2)$$

Donde:

$\tau$   $\left(\frac{kg}{m \cdot s^2}\right)$ : Esfuerzo de corte

$\mu$   $\left(\frac{kg \cdot m}{s}\right)$ : Viscosidad (o media aparente para fluidos no Newtonianos)

$\gamma$  ( $s^{-1}$ ): Velocidad de deformación

$v_x$   $\left(\frac{m}{s}\right)$ : Velocidad horizontal del fluido

Los fluidos que no obedecen a la ecuación anterior, son denominados no-Newtonianos. En estos fluidos la viscosidad ( $\mu$ ) depende del régimen de velocidades del fluido y por lo tanto se le denomina viscosidad aparente (Martínez, Sánchez, Osorio, López y Hernández, 2011).

Los líquidos no-Newtonianos a su vez se clasifican según su comportamiento en: independientes del tiempo (pseudoplásticos, dilatantes, plástico de Bingham o Herschel-Bulkley), dependientes del tiempo (tixotrópicos y reopéticos) y viscoelásticos (Rocha, 2013).

### **Proceso productivo**

El diseño de un proyecto, según su profundidad y detalle, se puede clasificar en: diseño preliminar, diseño con estimaciones al detalle y diseño de procesos detallados. Los diseños preliminares o de rápida estimación, normalmente no requieren mayor detalle y minimizan cálculos detallados al basarse en métodos, criterios y datos aproximados, con diversas estimaciones asociadas (Peters and Timmerhaus, 1991).

El diseño de la línea de producción, requiere de una previa evaluación de las propiedades del producto a lo largo del mismo. Valladares (2005) indica que las propiedades esenciales del producto, como la acción, estabilidad y consistencia, se evalúan mediante el estudio de tres tipos de variables principales:

- (a) Las variables de formulación: corresponden a la naturaleza fisicoquímica (propiedades intensivas) de cada uno de los componentes.
- (b) Las variables de composición: definen las fracciones o porcentajes (peso, mol o volumen) de la materia prima (propiedades extensivas) que compone al sistema.
- (c) Las variables físicas o externas: están asociadas al proceso productivo para la preparación del producto.

Un producto cosmético se compone de cuatro grupos principales de ingredientes que se seleccionan en función de la acción deseada: (a) los *principios activos*, sustancias que definen las funciones y efectos esenciales (específicos) del producto; (b) *el vehículo*, constituido por compuestos que sirven para dar la forma al producto cosmético e incorporar la parte activa del mismo para favorecer su aplicación (tacto y textura) y penetración; (c) Los *correctores* son el grupo de sustancias que mejoran las características del cosmético, “corrigiendo defectos”, en cuanto a las propiedades de sus componentes y a su aplicación, así como respecto a la calidad del cosmético; (d) *los aditivos* son las sustancias que se añaden al producto a fin de evitar su deterioro y mejorar su aspecto (Amparo y García, 2012).

El cremado es el primer paso y por lo tanto el principal, que desencadena el mecanismo de separación de una emulsión O/W cosmética (Sagitani, 1981). De acuerdo con la ley de Stokes, la velocidad de cremado de las gotas es proporcional al cuadrado del diámetro de partícula, la diferencia de densidad de los líquidos e inversamente proporcional a la viscosidad de la fase externa (Rodríguez, 2004).

Para aumentar la viscosidad de la fase continua se agregan a las emulsiones O/W sustancias de estructuras complejas conocidas como agentes espesantes. Éstas permiten controlar en parte la estabilidad de la emulsión y la consistencia de la misma (Pérez y García, 2010).

La acción, estabilidad y consistencia del producto es dependiente del tamaño de las micelas y tanto el tipo, como las respectivas concentraciones de ingredientes lo conforman (Sharapin, 2000).

La técnica ingenieril utilizada para preparar el producto es un factor de suma importancia para la obtención de un producto en forma de emulsión, que cumpla con la consistencia y estabilidad adecuada. Además ocasionalmente, al emulsionar las preparaciones, ocurre que la emulsión presente una apariencia traslucida oleosa. Este fenómeno se denomina “ruptura de la emulsión” y es un proceso irreversible, que ocurre debido a que la adición de los ingredientes no fue la adecuada, la preparación estuvo expuesta a cambios extremos de temperatura/pH o porque el surfactante es incompatible con otros ingredientes; debido a su naturaleza original o a que éste fue descompuesto por microorganismos (Vivas, 2014).

Existen tres clases de operaciones que se pueden emplear para emulsionar un sistema: La primera clase abarca las operaciones que consisten en producir una inestabilidad, bajo el efecto meramente de las fuerzas inerciales. La segunda clase corresponde a un proceso que consiste en colocar gotas de la fase interna en el seno de la fase externa, mediante un proceso esencialmente físico. La tercera clase junta los diferentes mecanismos de generación de la inestabilidad de tipo fisicoquímico, sin ningún tipo de aporte mecánico externo (Márquez, 2006).

Generalmente se emplean dos categorías de métodos para obtener el producto requerido: El método de dispersión, que consiste en aplicar fuerza bruta (alta energía) mediante el uso de solo operaciones de la primera clase. Otro, llamado método de “persuasión” (baja energía), que se caracteriza por involucrar además, algunos métodos fisicoquímicos, es decir, operaciones de primera y tercera clase (Rodríguez, 2004).

La fuerza de inercia requerida al formar la emulsión, generalmente se imparte por un sistema agitado. La agitación es la operación unitaria que pretende un movimiento del fluido con patrones de flujo y turbulencia específicos, (Bohórquez, 2011).

En los sistemas agitados, una gota se estira de manera más pronunciada al someterse a una mayor turbulencia. Dicho estiramiento puede producir una ruptura de ésta en dos o más gotas, dependiendo tanto de la intensidad y duración del corte, como de la tensión interfacial que la afecta (Márquez, 2006).

En la industria, los métodos fisicoquímicos asociados a la transición de fase han demostrado alta eficiencia en cuando a la relación entre el diámetro de gota obtenido y la reducción tanto de la cantidad de energía como de la duración de la agitación requerida al emulsionar el sistema (Shinoda y Saito, 1969). El método fisicoquímico en el que se obtiene un mejor rendimiento en relación al tamaño de micela obtenido y la energía requerida para producirlo, según una varias fuentes industriales, es el método de inversión de fase *catastrófico transicional* (Forgiarini, 2011).

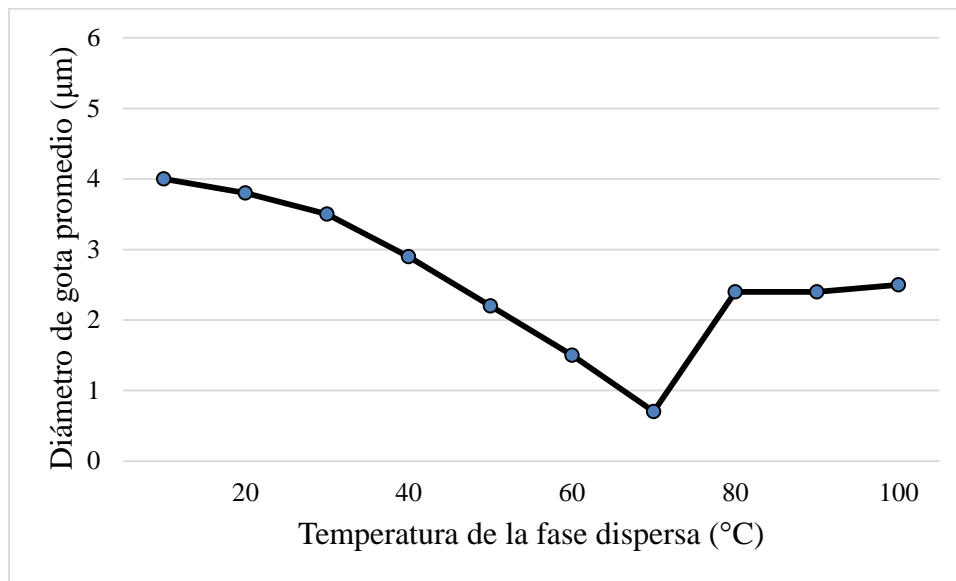
Por un lado el método de transición de fase *catastrófica* o inversión física forzada, consiste en incrementar gradualmente la fracción volumétrica de la fase que se quiere como medio de dispersión en la segunda fase. Para alcanzar la emulsión deseada, primero se pasa por una emulsión contraria y eventualmente se llega a el punto de inversión de fase, también llamado EIP por sus siglas en inglés; el cual correspondiente a un diagrama de Winsor tipo III. En este punto los cambios que ocurren en las interacciones (a nivel de transferencia de masa) dentro de sistema que se pueden considerar como bruscos, en comparación a otros estados (Forgiarini, 2011). Un esquema de este método se presenta en el Anexo A.

Por su parte el método de inversión de fase *transicional* consiste en calentar el sistema para mantener la composición fundida, disminuir su viscosidad y variar la afinidad de los surfactantes no iónicos, hasta una temperatura cercana al PIT), durante la preparación de la emulsión (Hernández, 2004).

La temperatura de inversión de fase (PIT) está definida como la temperatura a la cual un(os) surfactante(s) no iónico(s) cambia la afinidad predominante del agua al aceite; producto de la deshidratación de la cadena poli-óxido de etileno (Valladares, 2005). Esto hace que exista mayor inestabilidad fisicoquímica a nivel de la transferencia de

masa, durante la colisión de las gotas, reduciendo su tamaño y contribuyendo a su difusión (Busto y Zamora, 2002).

En la Figura 5 se muestra un ejemplo del efecto de la temperatura de operación en la formación de una emulsión O/W sobre el diámetro medio de gotas.



**Figura 5.** Temperatura de operación vs diámetro medio de gotas ( $\mu m$ ) en la formación de una emulsión O/W. (Shinoda y Saito, 1969)

### Equipos de la línea de producción

Una vez conceptualizada la técnica procedimental requerida para producir el desodorante propuesto, se deben seleccionar los equipos y respectivas dimensiones para su reproducción (Harnby y otros, 2001).

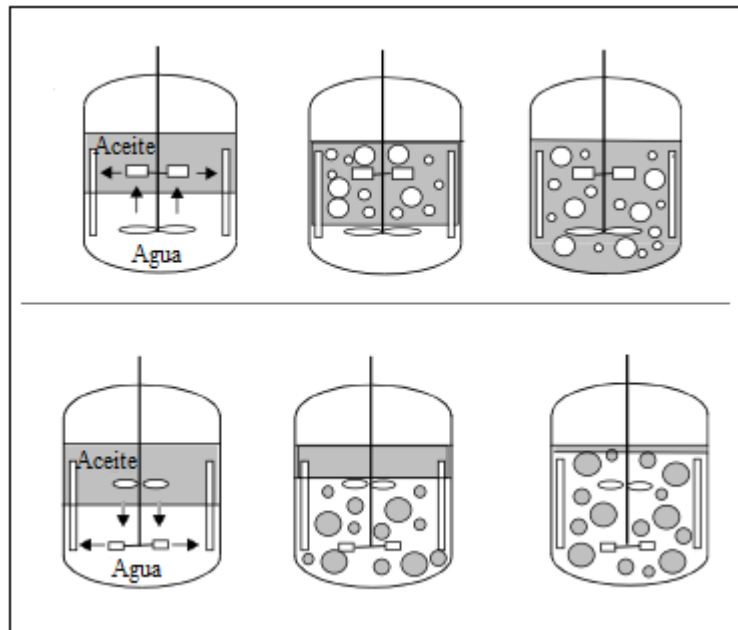
El accesorio mecánico que proporciona al fluido la carga (flujo volumétrico) y corte (cizallamiento) necesario para la formación de la emulsión, se denomina impulsor. Los impulsores se encuentran unidos a un eje de agitación que los soporta y les proporciona energía de agitación en el grado deseado a la mezcla transmitida por un motor.

Existen dos tipos básicos de impulsores: axiales, los cuales generan flujos verticales localizados en la parte superior e inferior de las aspas, y radiales los cuales producen



una descarga del fluido en dirección horizontal a las aspás y contra las paredes laterales del tanque donde la corriente se divide produciendo dos corrientes de circulación separadas; una parte fluye hacia arriba y otra hacia el fondo, retornando ambas al impulsor. Normalmente se producen corrientes radiales cuando las paletas del impulsor son verticales y axiales cuando son inclinadas (Bohórquez, 2011). La comparación de ambos patrones de flujo se puede apreciar en el Anexo B.

Si la fase acuosa va a ser dispersada en la oleosa, el impulsor axial debe ubicarse en la parte baja del contenido para bombear el flujo “hacia arriba”. Cuando la fase oleosa va a ser dispersada en la fase acuosa, se recomienda el arreglo donde el flujo del impulsor axial bombee el fluido “hacia abajo”; dichas configuraciones se pueden apreciar en la Figura 6.



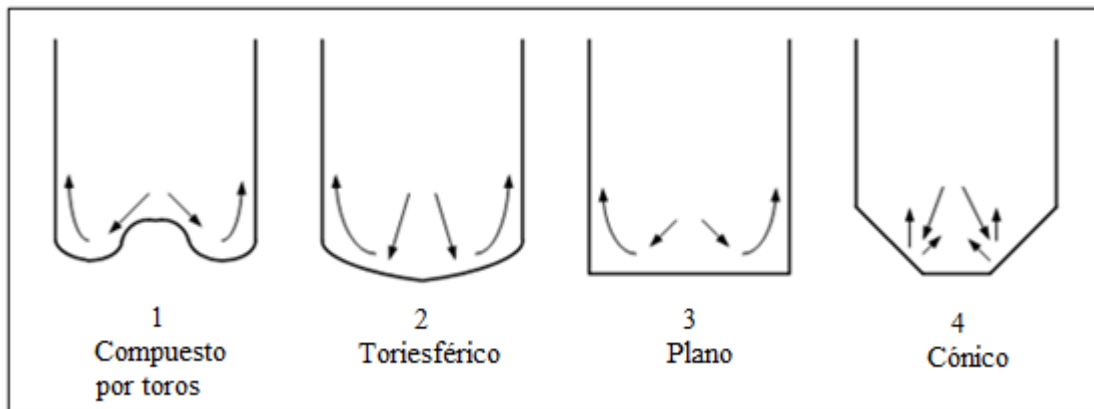
**Figura 6.** Configuración de sistemas agitados con dos impulsores. (Paul y otros, 2004)

Los impulsores trabajan dentro de un equipo denominado recipiente o tanque, utilizado en la industria con el objeto de aprovechar su capacidad de contener fluidos. Éstos se pueden clasificar según su uso, forma o geometría y están constituidos normalmente por las siguientes partes metálicas: una envolvente (cuerpo del recipiente, carcasa o

cubierta), la tapa y fondo, los dispositivos de sujeción o apoyo del propio equipo, conexiones por las que entran y salen los fluidos y accesorios en el interior y exterior del recipiente (Romero, 2010).

En los tanques agitados, los líquidos tienden a arremolinarse y producir vórtices, lo cual es inadecuado para el proceso de dispersión. Con motivo de evitar el efecto anterior, en la industria es común el montaje de aditamentos físicos llamados deflectores en las paredes del tanque de agitación que disminuyen la velocidad tangencial del fluido. Esto aumenta los gradientes de velocidad (o velocidad relativa) entre el fluido y el móvil favoreciendo así los patrones de flujo y turbulencia requeridos en el sistema (Couper, Penney y Fair, 2005).

Otro factor importante en los patrones de flujo de la agitación y el sistema de vaciado del tanque, son los fondos de éste, ya que tienen la misión de desdoblar y dirigir los flujos de líquido impulsados por el impulsor (Romero, 2010). Algunos de los fondos que existen en la industria se representan en la Figura 7.



**Figura 7.** Fondos comunes de tanques agitados. (Agitadores G&G, 2011)

El suministro de energía requerido en los procesos cosméticos que trabajan por lotes, se satisface mediante intercambiadores de calor de convección externa de encamisado o chaqueta. Estos equipos consisten básicamente en recubrir el recipiente a calentar o enfriar con un segundo tanque externo (chaqueta) que provee una región anular al

tanque interno por la cual se hace fluir un líquido caloportador (portador de entalpía), para mediante la diferencia de temperatura entre dos o más corrientes de un proceso, controlar las entalpías de los fluidos del sistema (Sócrates, 2011).

Un factor vital en el diseño de los equipos de la planta, es la selección de un material de ente varios tipos como los: metálicos, materiales inorgánicos no metálicos y polímeros. En los procesos cosméticos industriales destacan los materiales metálicos de distintos aceros inoxidable entre los cuales a su vez pueden ser de tipo martensíticos, ferríticos, austeníticos, endurecibles por precipitación o dúplex (Armenta y Rodríguez, 2004).

El flujo de un líquido a través del interior de un conducto (recipiente, tuberías y arreglos), viene acompañado por una pérdida de energía, denominada también pérdida de carga, debido a la fricción viscosa del fluido y contra las paredes rugosas. Dichas pérdidas, normalmente son evidenciadas por cambios de presión, altura y/o de velocidad en el sistema (Llumiquinga, 2012).

La ecuación de Bernoulli describe la movilidad del flujo mediante la evaluación de la energía total (potencial, cinética y de presión) en dos secciones definidas del conducto; al basarse en la ley de la conservación de energía. Esta ecuación permite determinar la cantidad de energía “perdida” (o altura) de un fluido (incompresible, sin variación de su energía interna) en vencer dichas resistencias y se expresa mediante la ecuación:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + Hb = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + Hr \quad (3)$$

Donde:

$z_i$  (m): Altura de la columna de fluido

$v_i$   $\left(\frac{m}{s}\right)$ : Velocidad del fluido

$P_i$   $\left(\frac{N}{m^2}\right)$ : Presión del fluido

$g \left( \frac{m}{s^2} \right)$ : Aceleración de gravedad

$\rho \left( \frac{kg}{m^3} \right)$ : Densidad

Hb (m): Cabezal de la bomba

Hr (m): Cabezal de fricción

Cada sistema de transporte de líquidos presenta un valor de cabezal de fricción (pérdida de carga total del fluido en un conducto) “Hr” directamente asociado a sus arreglos y a los datos reológicos del fluido. La pérdida de carga total se puede estimar mediante la ecuación de Darcy-Weisbach (4) y normalmente se suele dividir en pérdidas de cargas mayores, las cuales son causadas por el rozamiento del flujo al pasar por segmentos de la tubería y pérdidas menores, causadas por la presencia de accesorios y cambios de área transversales en el sistema (Arias, 2008).

$$Hr = \sum \frac{f_i \cdot L_i \cdot v_i^2}{2 \cdot g \cdot D_i} \quad (4)$$

Donde:

f (m): Coeficiente de fricción (adim.)

$D_i$  (m): Diámetro característico (m)

$L_i$  (m): Longitud característica (m)

$v_i$  (m/s): Velocidad media del fluido

$g \left( \frac{m}{s^2} \right)$ : Constante de gravedad

Donde el coeficiente de fricción se determina a partir del Reynolds del fluido y el material del conducto, utilizando el diagrama de Moody; adjunto en el Anexo C.

Se aplica energía al fluido mediante el uso de bombas para vencer dichas pérdidas y generar los flujos requeridos en las corrientes del proceso mediante la conversión de energía mecánica a energía cinética. Éstas se pueden clasificar en dos grandes grupos, las bombas dinámicas (centrífugas, periféricas y especiales) y las de desplazamiento positivo (rotatorias y reciprocantes) (Guerrero, 2009).

## **Parámetros de operación de la planta**

Una vez que se conocen las características del producto y cómo se comporta éste a lo largo del proceso productivo, se determinan los parámetros de operación requeridos en cada etapa de la línea de producción, mediante el estudio de la relación de las variables externas más importantes y el funcionamiento de los equipos que las reproducen.

Entre las variables físicas que protagonizan los procesos fluidodinámicos involucrados en la agitación, Villar y otros (2007) remarcan los siguientes grupos:

- Variables referidas a la geometría y el material del tanque como las dimensiones del tanque, número y el ancho de los deflectores.
- Variables que definen el tipo de impulsor, como: el diámetro, la altura y longitud de las aspas, el número de aspas y su forma.
- El material y las condiciones dinámicas del sistema, como: la velocidad de rotación y potencia consumida por el impulsor.
- Características globales del sistema de agitación, como: el tiempo de mezclado, la posición del impulsor en el tanque, la altura del impulsor respecto al fondo del tanque y la altura del líquido respecto al fondo del tanque.

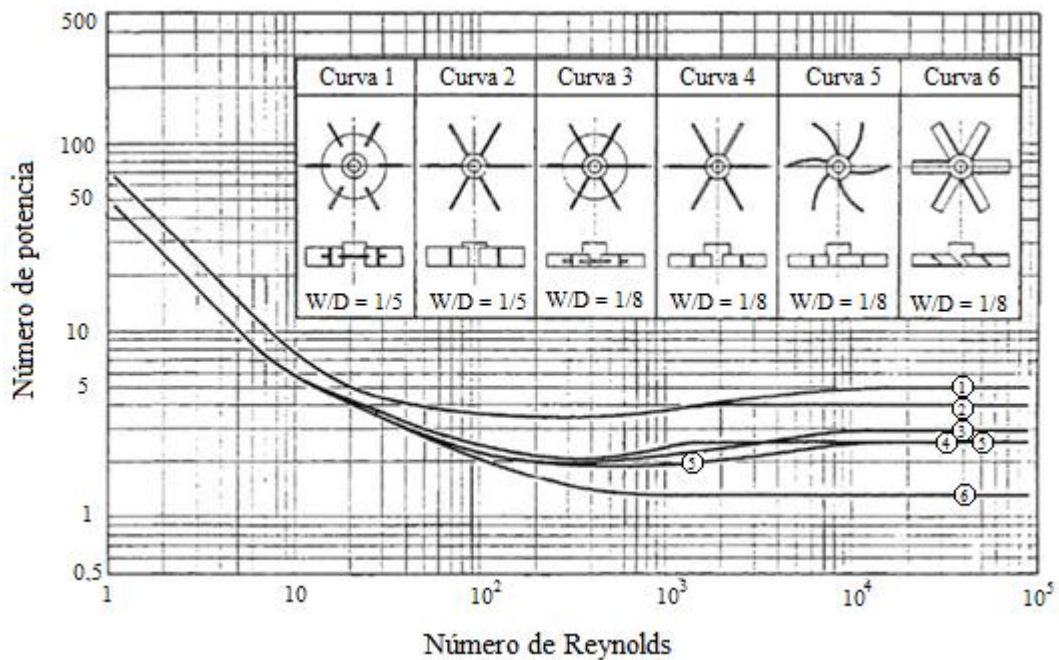
Para reducir el número de variables involucradas en los fenómenos asociados al proceso a un conjunto más pequeño, se emplean diversas ecuaciones independientes conocidas como los números adimensionales. Entre algunos muy comunes en el estudio de sistemas agitados se encuentran:

- El número de Reynolds describe el movimiento característico del líquido en el tanque de agitación al relacionar las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas del mismo (Cossío, 2009).
- El número de Froude y número de Weber relacionan las fuerzas de inercia con las fuerzas de gravedad y tensión superficial en el fluido, respectivamente (Harnby y otros, 2001).

- El número de potencia representa la razón de las fuerzas externas implicadas en la agitación y las de inercia impartidas al fluido (Harnby y otros, 2001).
- El número de flujo ( $N_Q$ ) permite estimar la capacidad del impulsor a bombear o disipar una cierta carga en una turbulencia (Harnby y otros, 2001).
- El número de Nusselt ( $Nu$ ) mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre (transferencia de calor por convección), comparada con la transferencia de calor si ésta ocurriera solamente por conducción (Kern, 1995).
- El número de Prandtl es proporcional al cociente entre la difusividad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica (Kern, 1995).

En estos sistemas cuanto más se dispersa la mezcla, más se dificulta la reducción del tamaño de las gotas que componen la fase interna de la preparación. Se utilizan condiciones de diseño y operación que funcionen a alta turbulencia, impartiendo la tasa de corte requerida para la formación de la emulsión y disminuir su tiempo de aplicación. Romero (2014) indica que los flujos, según su turbulencia, se pueden clasificar por el número de Reynolds en: régimen laminar (Si  $Re \leq 2000$ ), régimen de transición (Si  $2000 < Re < 4000$ ) y en régimen turbulento (Si  $Re \geq 4000$ ).

A los regímenes turbulentos requeridos en la formación de emulsiones, varios números adimensionales tienden a valores numéricos límite (constantes) y se facilita así, el estudio de la relación entre las variables involucradas en el proceso y la selección de los equipos correspondientes (Couper y otros, 2005). En la Figura 8 se puede apreciar un ejemplo del comportamiento de los números adimensionales en función de la turbulencia del sistema y el tipo de impulsor.



**Figura 8.** Ejemplo de un gráfico del número de potencia en función del número de Reynolds para un impulsor de turbina de hojas inclinadas. (Couper y otros, 2005)

### Sistema de control

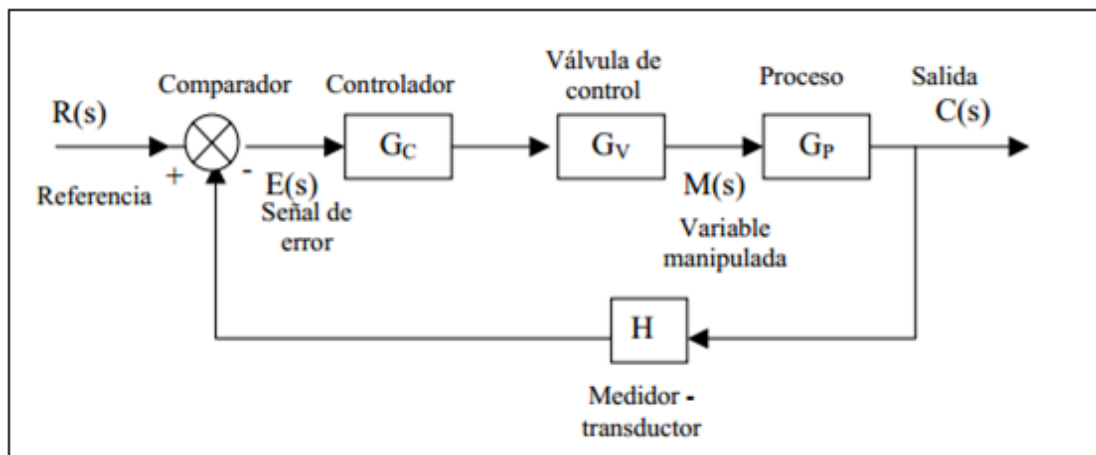
Los procesos de formación de emulsiones, poseen una serie de variables críticas que pueden ocasionar diversos problemas en la calidad del producto y la operabilidad del el proceso; incluyendo una ruptura o separación irreversible de las fases del producto (Pérez, 2006). Mediante el control automático, se puede ajustar un proceso para que trabaje a condiciones específicas y donde al ocurrir desviaciones, se detecten y se corrijan.

Cualquier variable que ocasiona que la variable de control se desvíe del punto de control se define como *perturbación*. Sabiendo esto un sistema de control automático de proceso utiliza una variable manipulada para mantener una variable controlada en un punto de control deseable, a pesar de las perturbaciones. En los procesos por lotes, típicamente el punto de control puede cambiar en función del tiempo y en consecuencia, la variable controlada debe ajustarse a un nuevo punto de control (Aguilera y Rodríguez, 2013).

Para esto se definen unas estrategias de control donde se determinan los lazos de control necesarios para efectuar ciertas tareas y en algún orden, mediante la distribución de tres equipos básicos: el sensor-transmisor, el controlador y el elemento final de control (De Rocco, 2005).

Los tipos de controles pueden ser a lazo abierto o a lazo cerrado. Se dice que un control está a lazo abierto cuando las entradas no son afectadas o modificadas por los valores en las salidas de la planta, es decir, la acción efectuada por el controlador no afecta la medición. Un control a lazo cerrado, empleado en procesos con perturbaciones, se caracteriza porque existe una realimentación (feedback) de los sensores hacia el sistema, que hace que la toma de decisiones del controlador no dependa sólo de la entrada sino también de la salida del proceso (Aguilera y Rodríguez, 2013).

La realimentación de los lazos de control cerrados, representada en el diagrama de la Figura 9, permite conocer si las acciones ordenadas a los elementos finales de control se han realizado correctamente sobre el proceso. El controlador ( $G_C$ ) compara un valor de la variable controlada del proceso  $C(s)$ , medida y transmitida por el sensor ( $H$ ), con un valor set-point ( $R(s)$ ) de referencia. La diferencia o la señal de “error” ( $E(s)$ ) se utiliza para ajustar a un nuevo valor una variable manipulable ( $M(s)$ ), mediante un elemento final de control ( $G_V$ ), que devuelva el valor medido a su set-point deseado



**Figura 9.** Diagrama de bloques de un esquema de retroalimentación simple. (De Rocco, 2005)



El lazo puede contar con un controlador de tipo: un parámetro o tipo proporcional (P), dos parámetros llamado proporcional integral (PI) o tres parámetros denominado proporcional integral derivativo (PID); la ganancia, tiempo de acción integral y derivativo respectivamente. Generalmente, para controles de nivel se utilizan controladores P, para controlar los caudales y la presión se recomiendan los PI, y por último para la temperatura y concentración (consideradas como variables lentas) se utilizan controladores PID (García, 2006).

En ocasiones el esquema de control por realimentación simple debe ser modificado para enfrentar condiciones especiales. Dichas modificaciones dan lugar a otras estrategias de control clasificadas por García (2006) como avanzadas, estas son: el control por relación, rango dividido, selectivo, en cascada por sobreposición o por acción precalculada (feedforward).

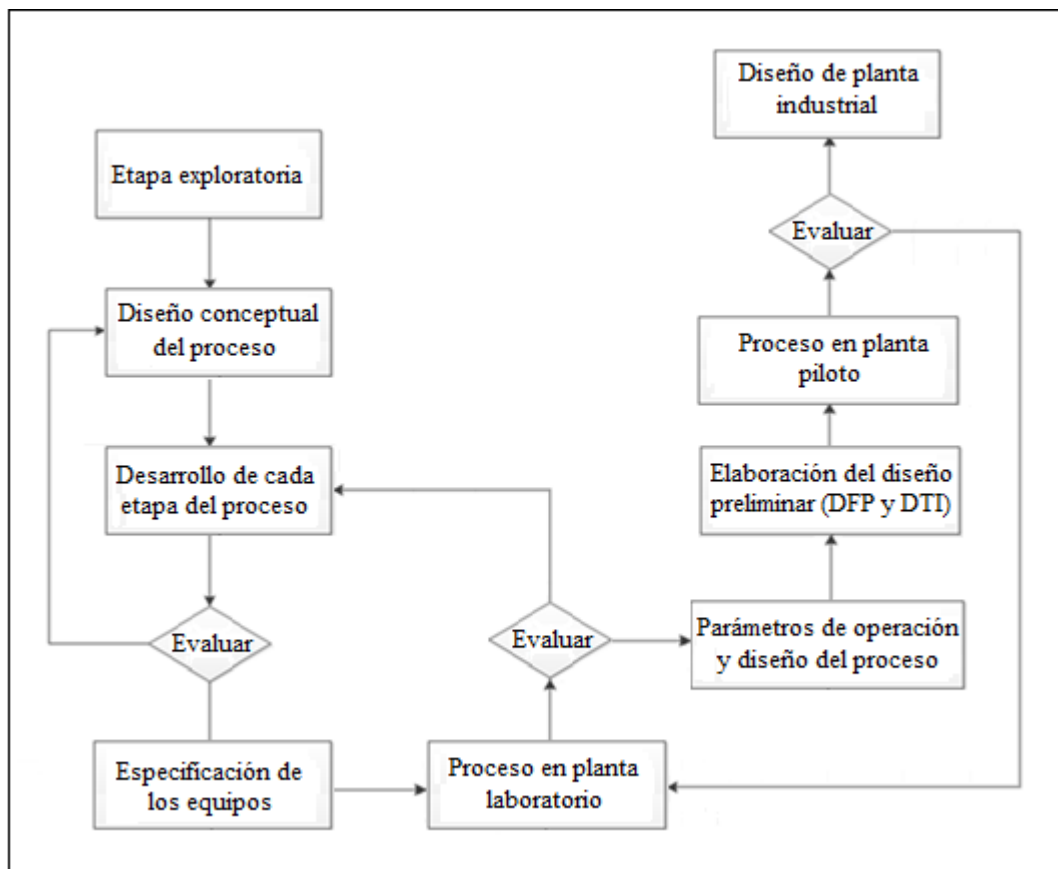
### **CAPÍTULO III**

#### **MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se establecen los métodos empleados para el alcance de los objetivos propuestos en este Trabajo Especial de Grado.

La metodología consistió de varias etapas referidas a la definición de las técnicas y criterios involucrados en el diseño de la línea de producción de un desodorante. La fase exploratoria es una etapa de investigación y análisis de datos bibliográficos obtenidos de diversas fuentes; aplicados al estudio de la formulación propuesta y a los requerimientos conceptuales de un proceso productivo adecuado para la misma. Posteriormente se eligieron y especificaron los equipos de la línea de producción, según los requerimientos de la empresa Naturaven, C.A. Seguidamente se realizó una evaluación experimental del proceso a escala de laboratorio, para así finalmente definir tanto los parámetros de operación y diseño del proceso productivo industrial, como los sistemas de control involucrados en el mismo.

En la Figura 10 se presenta un diagrama que describe la metodología empleada y muestra el orden de las etapas que la componen. El alcance propuesto para este proyecto es de realizar el diseño preliminar de la línea de producción de una determinada formulación desodorante; por lo que la ejecución de los últimos tres pasos nombrados en el diagrama de la metodología quedan a la disposición de la empresa, de querer continuar con el desarrollo del mismo.



**Figura 10.** Algoritmo del diseño de un proceso a escala industrial. (Elaboración propia)

En una primera etapa del trabajo se evaluó la formulación propuesta por la farmacéutico Vivas (2014) descrita en la Tabla 2, para determinar si ésta cumplía con diversos criterios empíricos, descriptivos, cuantitativos y bibliográficos investigados; los cuales se encuentran expuestos más detalladamente en el Apéndice B. Con dichos criterios seguidamente se procedió a estimar si los tipos de ingredientes utilizados en la formulación, sus concentraciones y si su uso en emulsiones requiriere de un valor de HLB específico para determinar si la formulación propuesta presenta coherencia con el producto cosmético en forma de loción a preparar y los estándares utilizados en la industria.

**Tabla 2.** Formulación desodorante propuesta.

<b>Ingredientes</b>	<b>Nombres</b>	<b>%(p/p)</b>	<b>Justificación</b>
Activo	Cloruro de Benzalconio (g)	0,3	Bactericida/ Bacteriostático
Corrector	Alcohol cetílico (g)	5,0	Espesante
	Emulgín B1 (Cetareth-12)(g)	0,75	Emulsificante
	Emulgín B2 (Cetareth-20)(g)	0,75	Emulsificante
Aditivo	Gel Extracto Aloe vera (g)	4	Astringente/ Humectante
Excipiente	Propilenglicol (g)	5,7	Solubilizante
	Agua desmineralizada (ml)	73,0	Solubilizante
	Miristato de isopropilo (g)	4,5	Solubilizante
	Aceite Mineral (parafina líquida) (g)	6,0	Emoliente

Fuente: Vivas (2014).

Además debido a que la ejecución del proyecto se llevaría a cabo en la ciudad de Punto Fijo del estado Falcón, también se evaluaron las características locales, mostradas en el Apéndice C y los beneficios productivos de su Zona Franca; los cuales se encuentran en el Apéndice D.

A su vez se seleccionaron una serie de parámetros de operación requeridos a lo largo de la línea de producción en función de los requerimientos de la empresa y a una serie de métodos teóricos, analíticos y prácticos recomendados por investigadores especialistas en la disciplina; los cuales se puntualizan en el Apéndice E. Entre estos parámetros se encuentran tanto las temperaturas de operación, cantidades, caudales y

orden de adición de los ingredientes; como la turbulencia, el corte, flujo y tiempo requerido durante el proceso de agitación del producto.

Finalmente se investigó el tipo, la ubicación, las dimensiones y una serie de criterios de diseño asociados a los equipos que podrían conformar la línea de producción; los criterios investigados son apreciables en el Apéndice F. A su vez se seleccionaron las normas y estándares empleados en la industria en el diseño de cada equipo; las cuales se encuentran descritas en el Apéndice G.

### **Evaluación la técnica de preparación del desodorante**

Una vez verificado que la formulación propuesta y la localización de la planta cumplen con los requerimientos de la empresa, se conceptualizó la técnica de preparación del desodorante, mediante el diseño de las distintas etapas encargadas de transformar la materia prima del producto a lo largo la línea de producción; siguiendo los criterios y parámetros investigados en la fase exploratoria.

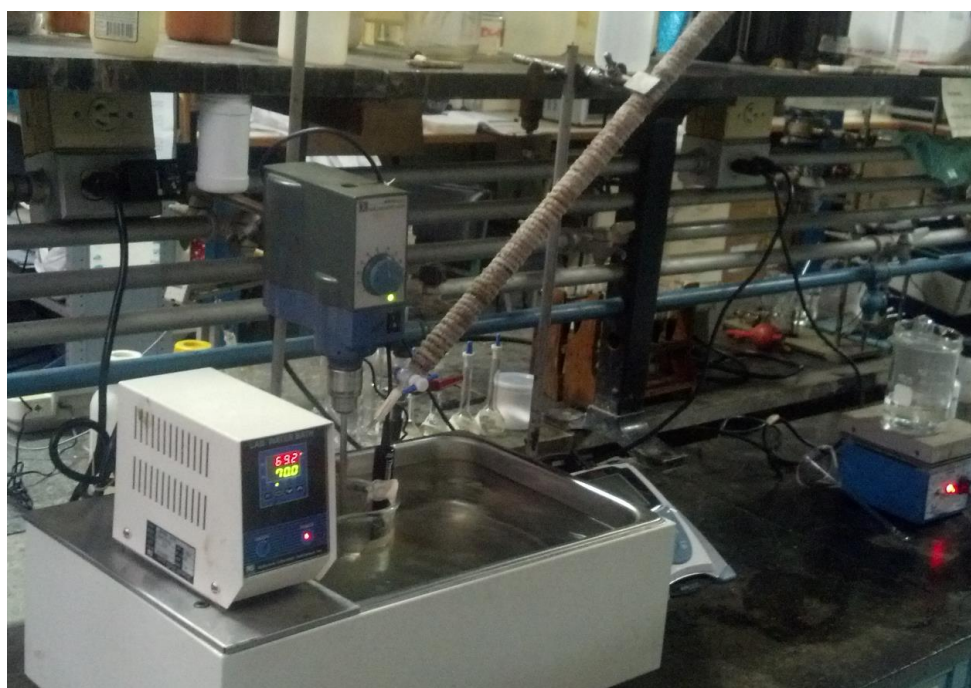
Para completar la definición del proceso se determinaron experimentalmente los factores protagónicos de una réplica del proceso a escala de laboratorio que garantizaran que el producto cumpla con las características necesarias para su funcionamiento, tanto a nivel de consistencia como de estabilidad.

El tipo, las dimensiones y los materiales de construcción de los equipos principales requeridos en la línea de producción se seleccionaron en función del proceso conceptualizado y los requerimientos de producción de la empresa inversionista.

La réplica elaborada para evaluar el proceso productivo a escala de laboratorio fue construida utilizando un baño térmico con agua calentado por una resistencia de la marca Digisystem, un homogeneizador básico IKA RW16, un beaker de 500 ml, una bureta de 50 ml recubierta por un aislante y un sólo impulsor radial; este último debido a las altas tasas de turbulencia a las que opera el sistema a escala de laboratorio.

Ésta réplica se erigió manteniendo ciertas constantes de proporcionalidad como: factores de escala, tiempo de agitación, las mismas proporciones (caudal) y orden de adición de los ingredientes de la preparación, que permiten trabajar con similitudes geométricas, dinámicas y cinéticas. Esto se logra siguiendo ciertos criterios descritos detalladamente en el Apéndice H.

El arreglo de los equipos utilizados en el ensayo experimental se puede apreciar en la Figura 11.



**Figura 11.** Fotografía de la réplica del proceso construida a escala laboratorio.

En los próximos párrafos se describe con detalle el ensayo experimental realizado para determinar los siguientes factores asociados a los fenómenos fluidodinámicos, termodinámicos y a los métodos fisicoquímicos de inversión de fase involucrados en el proceso:

- (a) Se determinó el punto de inversión (EIP) a partir de la diferencia de la conductividad eléctrica de ambas fases, empleando un conductímetro Thermo

Orion 3-Star, durante la aplicación del método de inversión de fase catastrófica al preparar la emulsión.

- (b) Se determinó la temperatura de inversión de fase (PIT) de la mezcla de surfactantes utilizada. Para esto, se disolvieron los surfactantes en agua con el fin de formar una solución acuosa, la cual se calentó hasta llegar a un punto de turbidez correspondiente a un valor aproximado del PIT. En este punto se detectó la formación de un sistema bifásico compuesto de una solución acuosa pobre en surfactante y una fase surfactante pobre en agua.
- (c) Mediante el uso de un pHmetro METTLER TOLEDO MP220, se verificó si el pH del producto elaborado se encontraba dentro del rango 4,5 – 8,5; siendo preferiblemente los valores entre 5,4 – 5,9. El tipo de loción empleada suele presentar valores ácidos, por lo que también se determinó la cantidad base que se agregará a la formulación para compensar el pH del producto de modo que se encuentre dentro del rango estipulado.
- (d) Para determinar el calor específico del desodorante, primero se determinó el equivalente eléctrico de calor ( $J_e$ ) en un recipiente adiabático (calorímetro); utilizando un método sugerido por Ariel (2007), un calorímetro de vaso de Dewar y un amperímetro UT-201. El equivalente eléctrico de calor representa la cantidad de Joules requeridos para producir una caloría de energía. Esto se logra agregando al calorímetro una cantidad determinada de desodorante y empleando la siguiente expresión:

$$C_{p_e} = \frac{Volt \cdot I \cdot t}{(T_f - T_o)(m_e J_e)} \quad (5)$$

Donde el procedimiento para determinar el equivalente eléctrico ( $J_e$ ) en el calorímetro consistió en medir el peso del calorímetro antes y luego de agregar una cantidad determinada de un fluido de capacidad calorífica conocida (agua destilada). Para luego, mediante un calentamiento del sistema con una ligera agitación (para homogeneizar el calor generado por una resistencia), medir cada 30 segundos en un tiempo determinado, la temperatura y la energía eléctrica

generada (voltaje y amperios) en el agua destilada; usando un termómetro, un amperímetro, un cronómetro. Seguidamente se aplica la siguiente ecuación:

$$J_e = \frac{\text{Volt} \cdot I \cdot t}{(T_f - T_o)(m_{\text{agua}} C_{p_{\text{agua}}})} \quad (6)$$

Los términos utilizados en las ecuaciones anteriores corresponden a las siguientes unidades:

$J_e$  (J/cal): Equivalente eléctrico

t (s): Tiempo

Volt (W/A): Voltios

$T_i$  (K): Temperatura del sistema

I (A): Corriente eléctrica

$m_{\text{agua}}$  (kg): Masa de agua

$C_{p_{\text{agua}}}$  ( $\frac{J}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ): Calor específico del agua

$m_e$  (kg): Masa de la emulsión

$C_{p_e}$  ( $\frac{J}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ): Calor específico de la emulsión

- (e) Se estudiaron los factores reológicos característicos del producto preparado, asociados a los fenómenos de transporte y a los estados termodinámicos del fluido durante el proceso productivo, al medir la viscosidad de ésta tanto a distintas velocidades de corte, como a distintas temperaturas.

En la realización de la curva de viscosidad se midió la viscosidad de la preparación desde la velocidad más baja (del viscosímetro seleccionado), hasta la velocidad más alta en dos corridas para graficar la “curva hacia arriba”; con un intervalo entre ambas corridas de cinco (5) minutos. Luego se esperaron unos diez (10) minutos para, mediante una tercera corrida desde la velocidad más alta hasta la velocidad más baja, realizar las mediciones para graficar la “curva hacia abajo”.



Se midió el valor de la viscosidad del producto, a la menor velocidad de rotación del husillo permisible por el viscosímetro, a distintas temperaturas. Con estos valores se elaboró la curva de la dependencia de la viscosidad en relación a la temperatura y se verificó que la viscosidad a temperatura ambiente estuviera entre el rango recomendado para lociones de uso tópico.

Para la medición de la viscosidad de la loción a distintas velocidades de corte y temperaturas, se empleó el viscosímetro de tipo rotacional digital Brookfield serie DV I+ y para variar la temperatura del sistema, un baño térmico por recirculación de agua mostrados en la Figura 12. El viscosímetro determina la viscosidad de la preparación al medir el torque requerido para que un husillo inmerso en el fluido, rote a determinadas velocidades. Dicho husillo se selecciona dependiendo del intervalo de medición de viscosidad del fluido en estudio.



**Figura 12** Fotografía del montaje de equipos utilizado para determinar la viscosidad del producto.

- (f) Se determinó la densidad del producto y sus respectivas fases, mediante el uso de un picnómetro de  $9,95\text{ml}$ .
- (g) Por último se estimó el tamaño promedio de las gotas de la fase dispersa del producto a partir de su distribución, determinada por tecnología de difracción láser utilizando el Mastersizer 2000 y su apariencia en fotos microscópicas del microscopio óptico Nikon ECLIPSE ME600.

Cada uno de los equipos de laboratorio empleados en los ensayos experimentales realizados en este trabajo se muestran y describen en el Anexo D.

### **Especificación de los parámetros de diseño y operación de la planta a nivel industrial**

El estudio de mercado realizado por la empresa Naturaven, C.A. establece que es necesaria la evaluación del diseño preliminar de un proyecto que pueda producir aproximadamente 5.000 unidades de desodorantes diariamente.

Una vez definido el proceso y evaluadas las características obtenidas a escala laboratorio de su producto, se determinaron los parámetros de diseño y de operación preliminares del proceso que minimizaran el diámetro de gota del producto obtenido, la potencia consumida y los tiempo vinculados a la preparación del producto a nivel industrial; a partir de la capacidad de producción estipulada de la planta. Esto se logró mediante el uso de las siguientes ecuaciones:

- Número de Reynolds de la preparación en el tanque de agitación mecánica:

$$Re = \frac{\rho \cdot N \cdot D^2}{\mu} \quad (7)$$

Donde “Re” corresponde al término del número de Reynolds adimensional, “N” a la velocidad del impulsor ( $s^{-1}$ ) y “D” es el diámetro del impulsor (m).

- Carga impartida por el motor y los impulsores:

$$Q_e = N_Q \cdot N \cdot D^3 \quad (8)$$

Donde “ $Q_e$ ” es la capacidad de bombeo del impulsor ( $m^3/s$ ) y “ $N_Q$ ” el número de flujo adimensional; el cual a un Reynolds turbulento, para un agitador de paletas planas verticales e inclinadas con una relación diámetro del impulsor y diámetro del tanque ( $D/D_t$ ) de 0,3, presenta un valor entre 0,7 y 0,79, según la tabla mostrada en el Apéndice F.

- Potencia demandada por el motor por unidad de masa del fluido:

$$P = \frac{N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5}{M} \quad (9)$$

Donde “P” es el consumo de potencia específica  $\left(\frac{kJ}{s \cdot kg}\right)$  “M” el contenido en el tanque (kg), Además “Np” es el número de potencia adimensional y presenta un valor, a regímenes altamente turbulentos para impulsores de paletas planas verticales e inclinadas con una relación D/Dt de 0,3, entre 5 y 1,4; según la tabla del Apéndice F.

El tiempo “t<sub>m</sub>” requerido (s) del proceso de agitación se estimó a partir del “Vo<sub>t</sub>” volumen total de producto preparado (l), la tasa de carga de los impulsores y la tasa de circulación del fluido; según la expresión (10) y bajo la suposición de que el contenido en el tanque se vuelve homogéneo, una vez ha sido recirculado unas “z” veces por el circuito del patrón de flujo provocado por la agitación.

$$t_m = z \cdot \frac{Vo_t}{Q_e} \quad (10)$$

El modelo matemático utilizado para describir el sistema de transferencia de calor de la chaqueta responsable de suministrar el requerimiento energético del contenido del tanque en el de cada etapa del proceso productivo, se constituyó por tres balances de energía descritos a continuación:

El balance de energía en el fluido de caloportador:

$$Q = -\dot{m}_j \cdot C_{pj} \cdot (T_{jf} - T_{j0}) \quad (11)$$

Donde “Q” es la carga térmica requerida (kWt), “ $\dot{m}_j$ ” es el flujo másico del fluido  $\left(\frac{kg}{s}\right)$  que entra a la chaqueta, “C<sub>pj</sub>” el calor específico del fluido caloportador  $\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$ , “T<sub>j0</sub>” y “T<sub>jf</sub>” la temperatura (K) de entrada y salida respectivamente. La transferencia de calor al recipiente se calculó mediante un balance externo:

$$Q = U \cdot A_j \cdot (T_{jf} - TL) \quad (12)$$

Donde “ $A_t$ ” es el área de transferencia de calor ( $m^2$ ), “TL” la temperatura en el tanque (K) y U es el coeficiente global de transferencia de calor ( $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ); éste último se describió por resistencias térmicas del sistema, a partir del espesor de la pared “dxw” (m), la conductividad térmica del material del tanque “kw” ( $\frac{W}{m \cdot K}$ ) y los coeficientes de calor individuales tanto interno “ $h_o$ ” como externo “ $h_j$ ”, respectivamente en ( $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ).

Los coeficientes de transferencia de calor individuales del lado interno y externo del recipiente se determinaron a través del uso del número de Nusselt; para lo cual fue necesario estimar la conductividad térmica de la emulsión. La determinación de los coeficientes individuales externo e interno del sistema se realizó a partir de distintos métodos que involucran el uso del número de Nusselt.

Para el caso del coeficiente individual externo se empleó el método gráfico desarrollado por Armenta y Rodríguez (2004). A su vez el coeficiente individual interno se determinó mediante el empleo de la correlación (13) desarrollada por Sócrates (2011), respectivamente; dicho método y los valores de los coeficientes “a”, “b” y “m” se encuentran expresados en el Apéndice I.

$$Nu = a \cdot Re^b \cdot Pr^{-\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-m} \quad (13)$$

El término “Nu” y “Pr” corresponden al Número de Nusselt y Prandtl adimensional, respectivamente y  $\mu_w$  la viscosidad a la temperatura de la pared del tanque (cP).

Por otro lado el balance de energía en el contenido del tanque, se describió mediante la siguiente expresión:

$$Q = M \cdot C_{p_e} \cdot \frac{dT_L}{dt} \quad (14)$$

Donde “M” es la masa (kg) de preparación contenida en el tanque y “ $C_{p_e}$ ” su calor específico. Debido a que las variables “Tjf” y “TL”, en las ecuaciones mencionadas

anteriormente, varían en función del tiempo “t”. Se expresó una en función de la otra mediante las ecuaciones (11) y (12) y así se obtuvo la siguiente ecuación:

$$T_{jf} = \frac{\dot{m}_j \cdot C_{pj} \cdot T_{j0} + U \cdot A_t \cdot T_L}{m_j \cdot C_{pj} + U \cdot A_t} \quad (15)$$

Al sustituir (15) en (11) y combinar con (14) se consiguió una ecuación diferencial ordinaria de dos variables. Al separarse e integrar la ecuación, se origina la expresión (16) que describe la variación de la temperatura del líquido contenido en el recipiente “TL” en función del tiempo.

$$\frac{T_{j0} - T_L}{T_{j0} - T_{L0}} = e^{\frac{-\dot{m}_j \cdot C_{pj} \cdot U \cdot A_t}{M \cdot C_{pv} (\dot{m}_j \cdot C_{pj} + U \cdot A_t)} t} \quad (16)$$

Se determinó la potencia de operación requerida por la bomba hidráulica a partir del caudal y velocidad de operación del proceso y las pérdidas por fricción en los conductos de transporte del fluido; éstas últimas a su vez fueron estimadas utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach. En el Anexo E, se puede apreciar la configuración de los equipos utilizada para determinar este parámetro.

Además se estableció el factor de servicio de la planta, mediante la relación entre el tiempo requerido para arranques, paradas y otras situaciones inesperadas que no permitan la operación del proceso y la cantidad de días anuales.

Los modelos se simplificaron mediante algunas consideraciones como:

- Se supone que la agitación es perfecta, por tanto la concentración, presión, y temperatura son iguales en cualquier punto del tanque, así como en la corriente de salida.
- Se supone que no hay pérdidas de calor hacia el ambiente
- Se supone que la temperatura de los materiales en el interior del tanque es igual a la del producto que está saliendo de este.

## **Diseño de los sistema de control**

Por lo la cantidad de variables críticas que presenta el proceso de emulsión de las fases, fue necesario plantear distintos lazos de control automáticos en el proceso a fin de reducir la desviación de dichas variables.

Se determinó que se debería controlar el caudal de adición de agua al tanque durante el proceso de aplicación del método de inversión catastrófico, específicamente antes del punto de inversión de fase, ya que esta variable influye directamente sobre el tamaño de gota obtenido y es la operación que presenta mayor riesgo de rompimiento de la emulsión del producto, según Salager (1998) y Plaza (2007).

Por otra parte la temperatura del contenido en el tanque resultó ser una variable esencial para la aplicación del método de inversión de fase transicional durante la preparación de la emulsión en el proceso diseñado. Dicha variable está asociada a fenómenos como la reducción de la energía necesaria para dispersar las gotas, afinidad del surfactante y la viscosidad de la preparación.

Para garantizar que cada producto cumpla con la cantidad estipulada de la presentación del artículo comercial a producir, se emplearon algunas estrategias que controlan variables como la temperatura, nivel y peso al momento que se dispensa la preparación en el llenado de los envases comerciales.

## **Diagrama de Flujo y Diagrama de Tuberías e Instrumentación del Proceso**

El proceso industrial se representa en un diagrama de flujo (DFP), que a su vez sirve como guía para el diseño de los mecanismos de control empleados para los diferentes equipos involucrados en la planta y la elaboración del Diagrama de instrumentación y tuberías (DTI) de la misma.

El Manual de Ingeniería de Diseño PDVSA, Preparación de Diagramas de Procesos (L-TP 1.1), define a los DFP como “una representación esquemática del proceso industrial con información acerca de los parámetros de operación correspondientes a

los equipos y arreglos de la planta, y de su control básico”. Además indica que un DTI es “un diagrama que muestra el proceso principal con los detalles mecánicos de equipos, tuberías y válvulas, así como también los lazos de control para garantizar una operación segura en la unidad”.

Para la elaboración del DFP y DTI de la línea de producción se emplearon como guía los Manuales de Ingeniería de Diseño PDVSA: Preparación de Diagramas de Procesos (L-TP 1.1), Simbología para Planos de Proceso (L-TP 1.2) e Identificación y Numeración de Tuberías (L-TP 1.3).

El programa informático Microsoft Visio presentó una base de datos útil, para la representación de dichos diagramas.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan y discuten cada uno de los resultados obtenidos para el cumplimiento de los objetivos propuestos en el Trabajo Especial de Grado.

#### **Etapa exploratoria**

En esta etapa investigativa inicial se determinó que la formulación de la loción desodorante propuesta por la farmacéutica Vivas (2014) presenta coherencia con el producto que se quiere desarrollar, según los requerimientos de la empresa y las características de la materia prima a nivel de:

- (a) La acción del producto: fue verificada al comparar los tipos y concentraciones de los ingredientes activos, excipientes, correctores y conservantes de la formulación con una serie de criterios asociados al producto, previamente investigados en diversas fuentes de expertos en cosmética.

Por un lado las emulsiones O/W estimulan la acción de los químicos activos al absorberse y extenderse rápidamente en la piel. A la vez producen un efecto refrescante a través de la evaporación de la fase acuosa, hidratando la piel, sin dejar el brillo y sensación oclusiva característica de las emulsiones W/O.

Por otro lado el cloruro de benzalconio, a las concentraciones respectivas empleadas en la formulación, confiere la acción bactericida requerida en un producto cosmético de aplicación tópica. Asimismo por los más de 75 compuestos químicos que presenta el gel de Extracto de Aloe Vera Glicolado, con aproximadamente 40% de gel de sábila, se seleccionó este ingrediente entre los productos de Naturaven, C.A como la materia prima adecuada para conferir a productos con objetivos cosmetológicos en forma de loción, la acción protectora y terapéutica en la piel; según la tabla que se encuentra en el



Apéndice J. Además en el Anexo F, se pueden apreciar las especificaciones del mismo.

Entre los principales efectos de este ingrediente en el producto, nombrados por diversas investigaciones, están las siguientes:

- Presenta compuestos astringentes, antiirritantes y antipruríticos que favorecen el cuidado de la piel humana.
- La acción antibiótica, germicida, bactericida y fungicida de componentes del *Aloe Barbadosis Miller* contribuyen a la fuerza de acción de la propiedad principal del producto desodorante.
- Es un surfactante (tensoactivo) natural y como tal contribuye con la estabilidad del producto y a la asimilación del mismo en la piel.
- Contribuye al efecto humectante, hidratante, suavizante y emoliente del producto, hidrata la piel al restituir los líquidos perdidos en la misma, además de dar una sensación de suavidad y frescura.
- Se disuelve fácilmente en agua, lo que facilita la incorporación del ingrediente al producto, sin dejar residuos en la piel.
- De las más de 300 especies conocidas de sábila, el *Aloe Barbadosis Miller*, además de presentar numerosas propiedades beneficiosas en la piel, destaca en cuanto poder antibacterial, antimicrobial y antifungal.

(b) La consistencia del producto: está relacionada a propiedades importantes del producto como la adherencia a la piel y la fluidez, a nivel del proceso productivo y del envase a comercializar. En el producto formulado esta propiedad se determina como adecuada para las lociones cosméticas, al presentar entre los constituyentes de la formulación el alcohol cetílico como agente espesante, a las concentraciones empleadas.

(c) La estabilidad del producto: se estima que satisface los requerimientos de producción al contener una mezcla de dos agentes tensoactivos no iónicos etoxilados que presenta un buen desempeño en cuanto a la capacidad de estabilizar el producto con baja irritación de los usuarios de las lociones tópicas

y a que éstos permiten la aplicación del método HLB-Temperatura, para la aplicación de la inversión de fase transicional; lo cual disminuye la energía requerida por el proceso productivo.

El agua desmineralizada y el propilenglicol también poseen excelentes características para formar el vehículo o excipiente en la preparación. Además la parafina líquida, el miristato de isopropilo, son componentes lubricantes y emolientes en el producto; a las concentraciones empleadas.

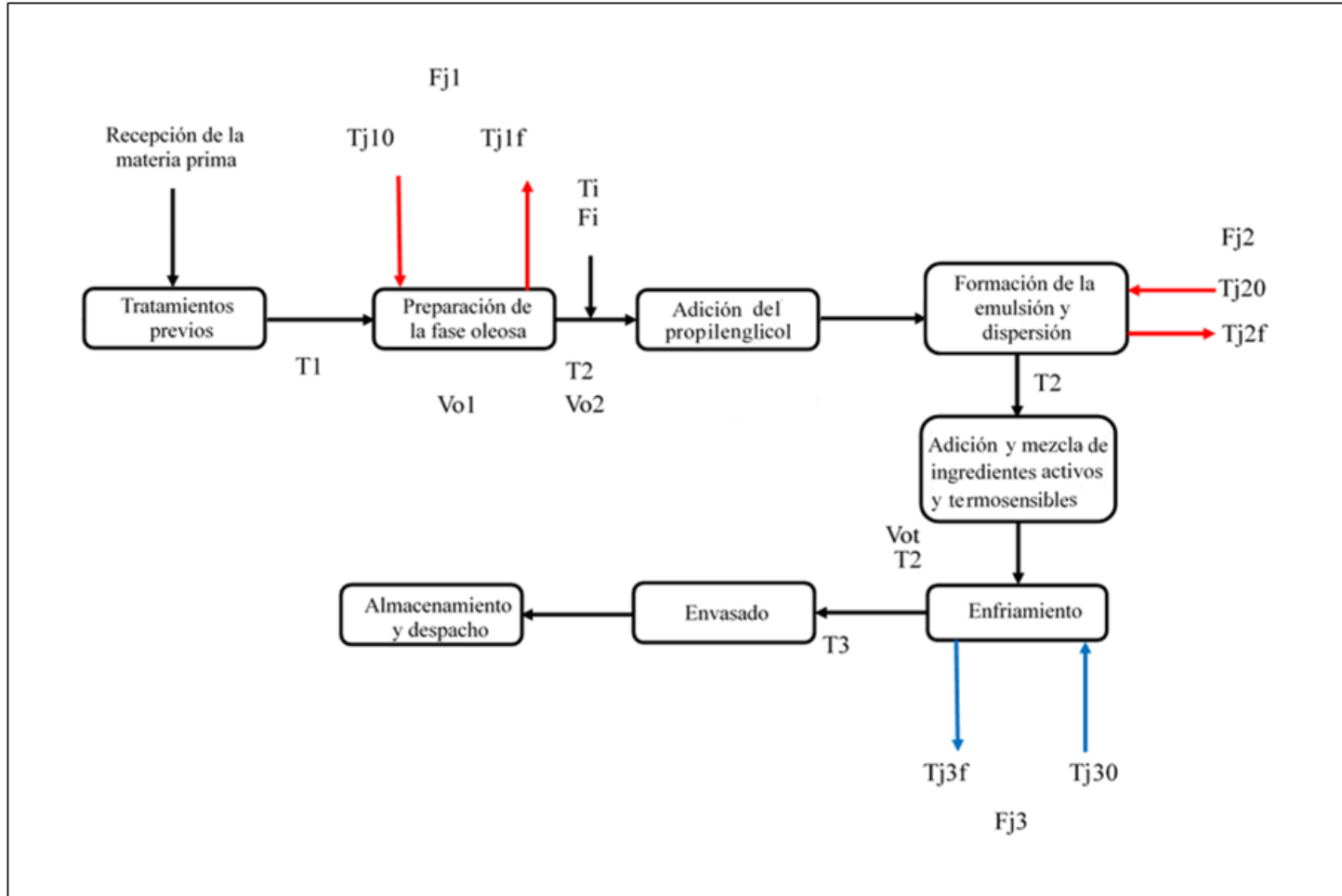
Además en esta etapa se pudo apreciar que la ciudad de Punto Fijo presenta una serie de características geográficas y una Zona Franca con diversos beneficios fiscales, aduaneros y administrativos, que la hacen una excelente locación para el desarrollo industrial diseñado en este proyecto.

### **Proceso de producción conceptualizado**

La línea de producción determinada como adecuada para la preparación del desodorante propuesto consiste en un proceso discontinuo o por lotes que comienza con el tratamiento de la materia prima, continúa con la formación de la emulsión y termina con el llenado de los envases a comercializar. De estos pasos, la formación de la emulsión es de suma importancia para garantizar que el producto cuente con los requerimientos de calidad estipulados.

El proceso cuenta con una excelente flexibilidad que permite producir una cantidad de artículos en una secuencia específica y limitada, minimizando los requerimientos energéticos de la planta industrial al aplicar el método de “persuasión” de inversión *catastrófico transicional* junto con un sistema agitado, para que el sistema pase por un punto de inversión y opere a un temperatura cercana al PIT de los surfactantes, durante la dispersión de la fase interna del producto; lo cual a su vez permite operar con ingredientes fundidos y una preparación menos viscosa.

Las distintas fases de la línea de producción se representan en el diagrama de bloques de proceso (DBP), presentado a continuación:



NOTAS:	DIBUJADO:	OSCAR PULIDO	FECHA:	13/03/15	TÍTULO: DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROCESO		PROYECTO: DISEÑO PRELIMINAR DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE UN DESODORANTE EN LOCIÓN PARA LA EMPRESA NATURAVEN C.A
	REVISADO:	MARÍA RODRÍGUEZ	FECHA:	23/03/15	DISÑO: 1	FECHA: 13/03/2015	
	APROBADO:	MARÍA RODRÍGUEZ	FECHA:	23/03/15	ESCALA: N/A	PROYECTO NO.: 1	
				HOJA: 1/1	DOCUMENTO NO.: DFP-01	REV.: A	UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



Luego de la recepción y tratamiento de la materia prima del proceso, se comienza a aplicar el método de inversión de fase catastrófico transicional. Dicho método como su nombre lo indica combina la aplicación de los métodos de inversión de fase catastrófico y transicional, para dispersar la fase interna del producto.

En el proceso se da primero la inversión catastrófica, partiendo de cierto volumen de un sistema surfactante en fase oleosa ( $Vo_1$ ) al cual se le calienta utilizando un intercambio de calor con agua como fluido caloportador en la chaqueta a un determinado caudal de entrada ( $Fj_1$ ) y la mayor temperatura operativa en el proceso ( $Tj_10$ ). Después se agrega agua caliente gradualmente ( $Fi$ ) al sistema, aumentando el caudal de adición del agua de alimentación al sobrepasar el EIP, hasta que el contenido del tanque alcanza un volumen ( $Vo_2$ ) específico. En toda la etapa que abarca el emulsionar las fases, se emplea agitación y el método de inversión de fase transicional, es decir, se mantiene la temperatura ( $T_2$ ) del sistema constante cercana al PIT hasta que se termina de formar la emulsión, para una dispersión y reducción del diámetro de gota con un mejor rendimiento energético; utilizando como fluido en la chaqueta agua caliente a una cierta temperatura ( $Tj_20$ ) y caudal ( $Fj_2$ ).

Para reducir el tiempo de procesamiento de los ingredientes desodorantes y terapéuticos del producto, estos se agregan en la última etapa de la preparación del producto; totalizando el volumen del lote ( $Vo_t$ ). Finalmente se enfría el lote preparado hasta la temperatura de llenado, utilizando agua a una cierta temperatura ( $Tj_30$ ); donde ya la tasa de coalescencia es mucho más lenta.

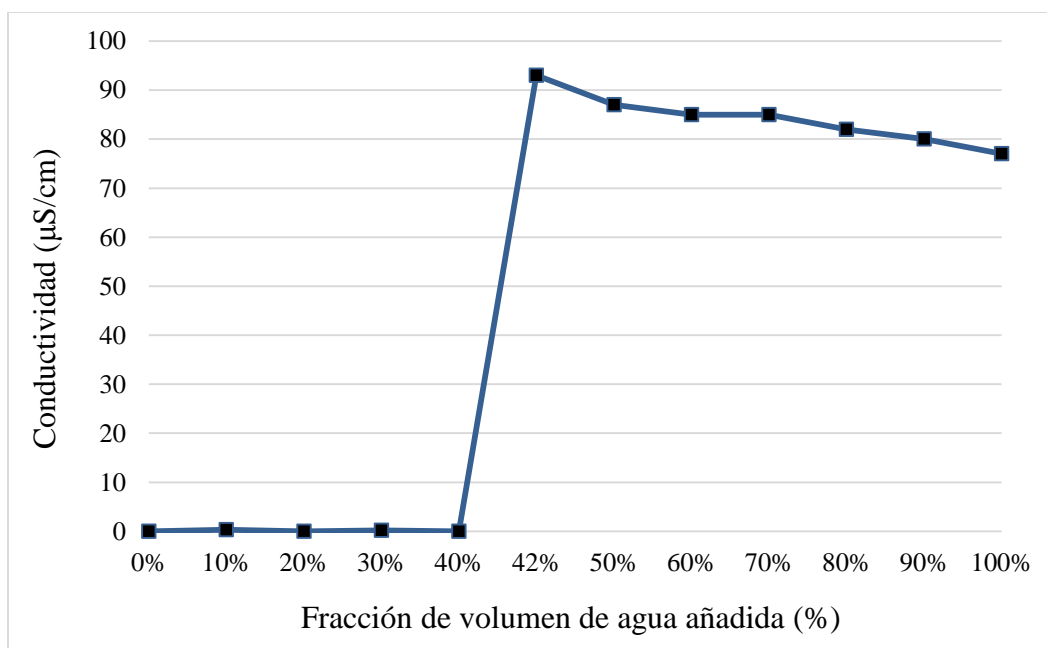
### **Definición de las condiciones de operación del proceso**

Las condiciones de operación del proceso productivo requerido por la empresa, se definieron mediante la evaluación de las características de un prototipo del producto fabricado en una réplica de la planta, a escala laboratorio, siguiendo los pasos descritos en el desarrollo experimental. En éste, se determinaron los siguientes factores:

#### Punto de inversión de fase

En la práctica experimental se determinó que el punto de inversión de fase (EIP) correspondió al instante en que se ha adicionado alrededor del 40% del agua total del producto a la fase

oleosa contenida en el tanque. Este valor se determinó mediante la detección del cambio brusco de la conductividad eléctrica, al aplicar el método de inversión de fase catastrófico; mostrado en la figura 13.

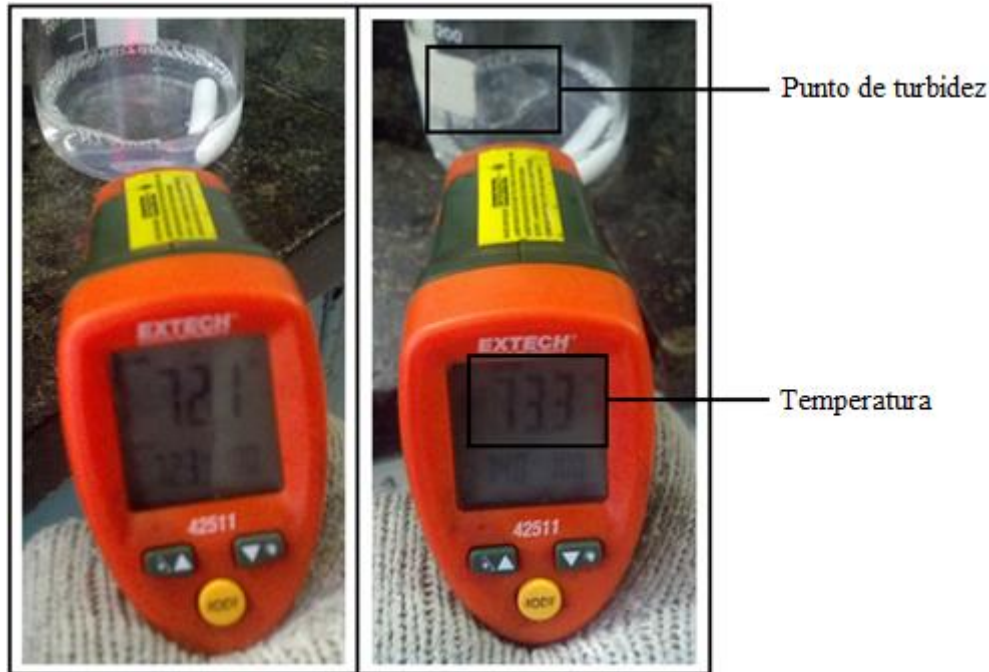


**Figura 13.** Conductividad eléctrica de la preparación en función de la fracción de volumen de agua añadida (elaboración propia)

Siguiendo el gráfico anterior se estimó que luego de la adición del 42% del agua total del lote de producción a la fase oleosa contenida en el tanque, el sistema presenta características de emulsión O/W; por lo que se podría proceder a aumentar el caudal de adición de agua.

#### Temperatura de inversión de fase

Se determinó que la temperatura de inversión de fase (PIT por sus siglas en inglés), asociada al punto de turbidez observable en la Figura 14, coincide a un valor aproximado de los 73°C.



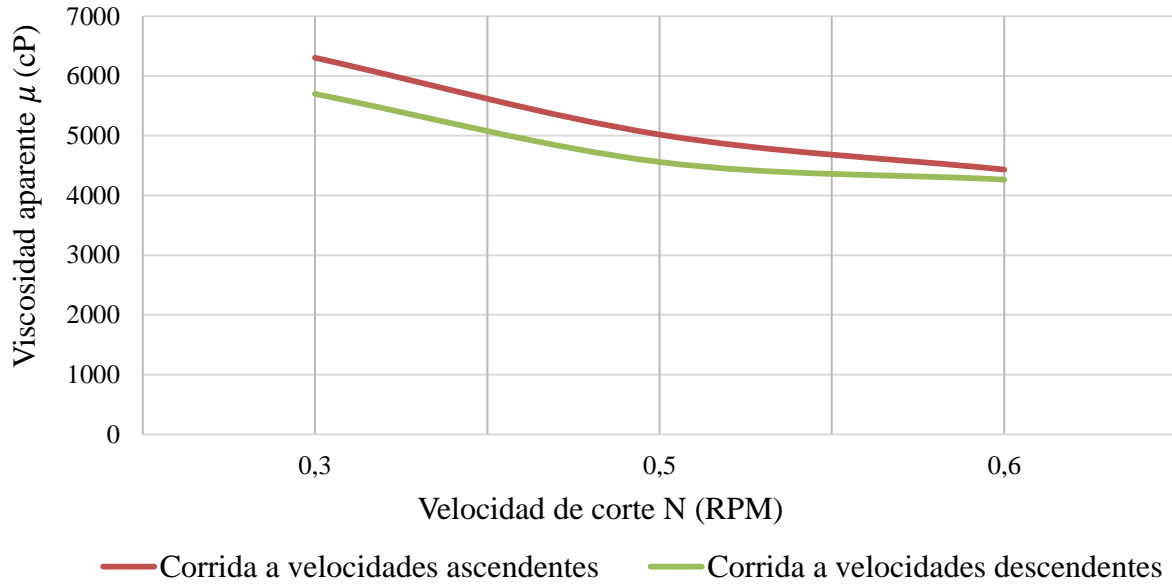
**Figura 14.** Determinación del PIT de los surfactantes.

Fue necesario identificar el tipo de fluido (desde el punto de vista reológico) que mejor se ajusta al comportamiento de la emulsión, a fin de escoger la técnica adecuada y aplicar los modelos matemáticos/correlaciones asociados al proceso productivo y sus respectivos parámetros de diseño y condiciones de operación.

#### Comportamiento reológico del fluido a diferentes velocidades de corte

Las emulsiones O/W debido a que generalmente contienen agentes espesantes, a menudo presentan características de tipo pseudoplásticas; ya que las moléculas de estos ingredientes en estado de reposo se encuentran desordenadas, pero a medida que se aplica sobre ella una fuerza, se alinean en dirección del sentido de dicha fuerza y pierden resistencia a fluir.

Para verificar el comportamiento reológico del producto se elaboró su curva de la viscosidad en función de la velocidad de corte, al medir la viscosidad de la emulsión al aplicar tres velocidades distintas de rotación; específicamente 0,3; 0,5 y 0,6 RPM. A partir de los valores obtenidos (registrados en la tabla del Apéndice K) se logra elaborar la curva de la gráfica mostrada en la Figura 15.

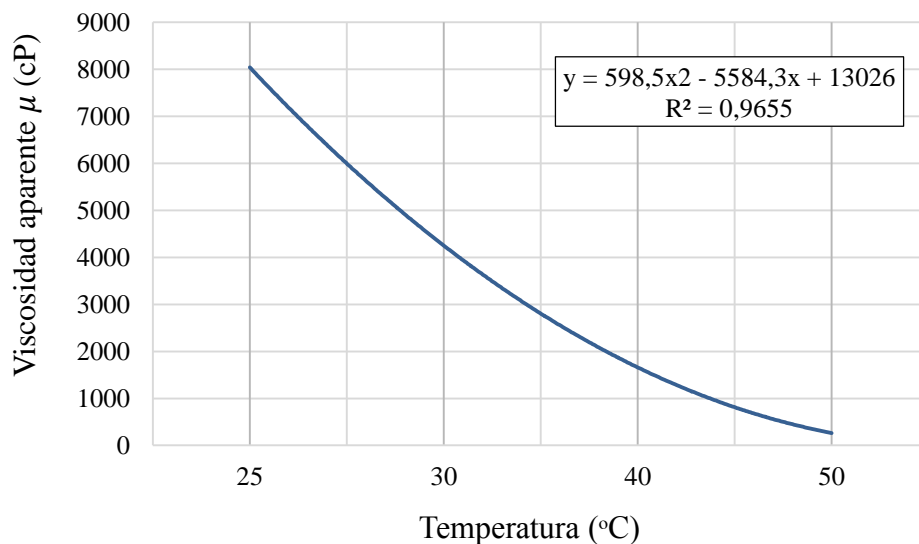


**Figura 15.** Curvas características de la viscosidad del producto a distintas velocidades de corte (elaboración propia).

Por la forma de las curvas, según lo indicado en el Apéndice L y por coincidir las corridas de mediciones realizadas a velocidades ascendentes y descendentes, en intervalos de tiempo distintos, se determina que la preparación en estudio presenta un comportamiento No-Newtoniano independiente del tiempo, de tipo pseudoplástico; categoría teórica esperada de las emulsiones.

#### Comportamiento reológico del fluido a diferentes temperaturas

Se pudo estimar la dependencia de la viscosidad del producto a la temperatura, al medir la viscosidad del mismo al variar la temperatura del sistema, a una determinada velocidad de rotación en el viscosímetro. A partir de los valores obtenidos (registrados en la tabla del Apéndice K) se logra elaborar la curva de viscosidad-temperatura de la gráfica mostrada en la Figura 16.



**Figura 16.** Curvas características de la viscosidad del producto a temperaturas variables (elaboración propia).

Se comprobó que la formulación propuesta del producto, a temperatura ambiente, presentara un valor de viscosidad de alrededor de los 8.000,00 cP y por lo tanto, al estar dicho valor dentro del rango (5.000 y los 9.000 cP) recomendado para las lociones cosméticas corporales, se estimó que el producto cumple con la consistencia adecuada para satisfacer los requerimientos de fluidez, tanto durante el proceso productivo, como en la dosificación al envase comercial y su respectiva aplicación en la piel del consumidor.

#### Calor específico de la loción

Por otro lado el calor específico del desodorante presentó un valor de 4,11 (kJ/kg · K). Dicho valor se puede considerar como alto, en comparación con otros tipos de preparaciones cosméticas y se debe a la presencia de enlaces de hidrógeno en el agua de la fase continua, la cual posee un calor específico a la temperatura de operación correspondiente a los 4,18 (kJ/kg · K); lo que resulta beneficioso para el proceso productivo, al permitir que la preparación se caliente en un tiempo satisfactorio, disminuyendo así el tiempo requerido por ciclo (lote).

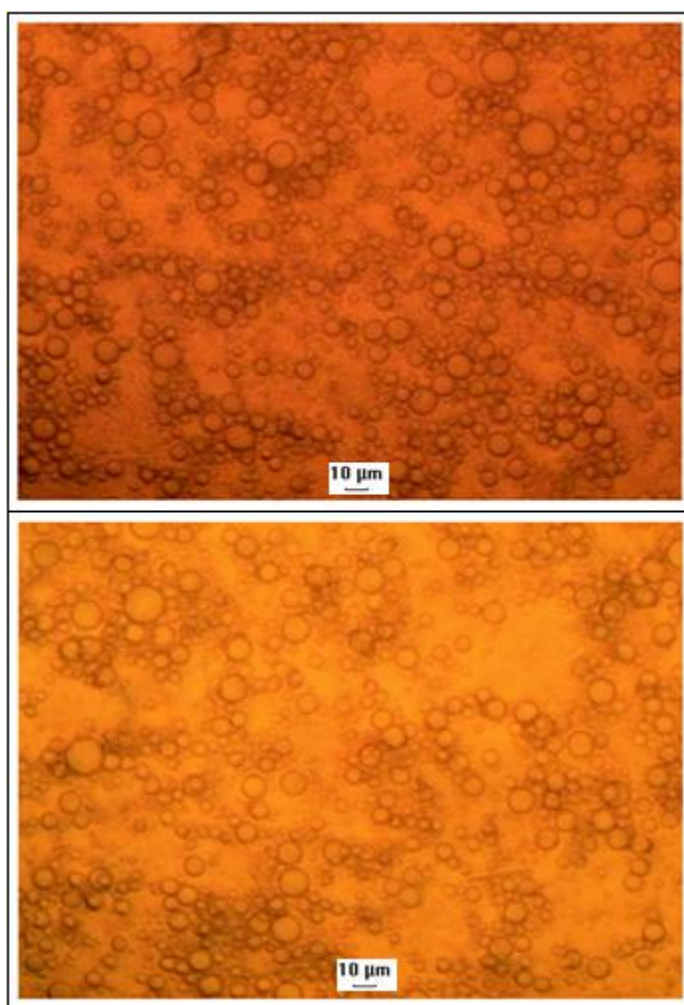
#### Densidad de la loción



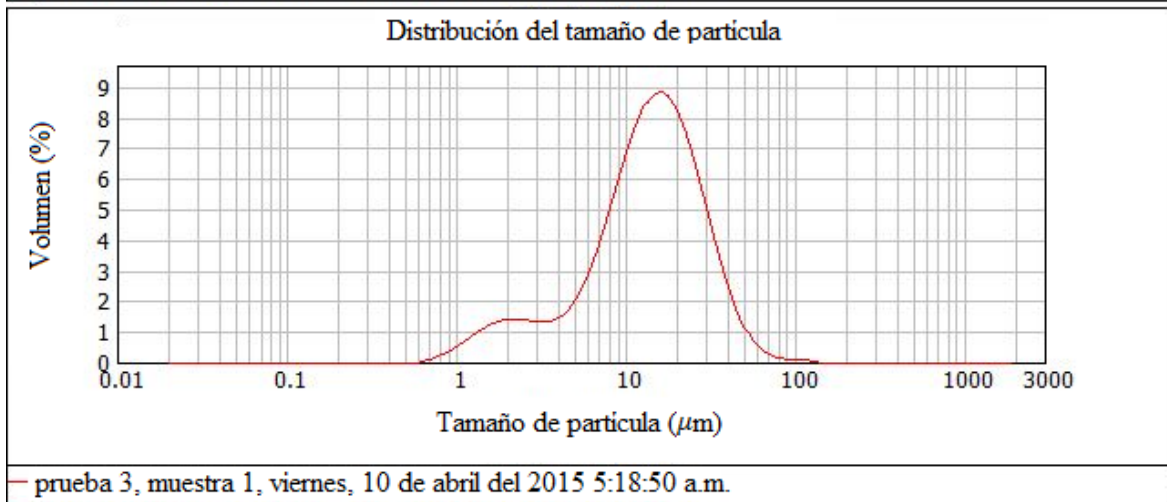
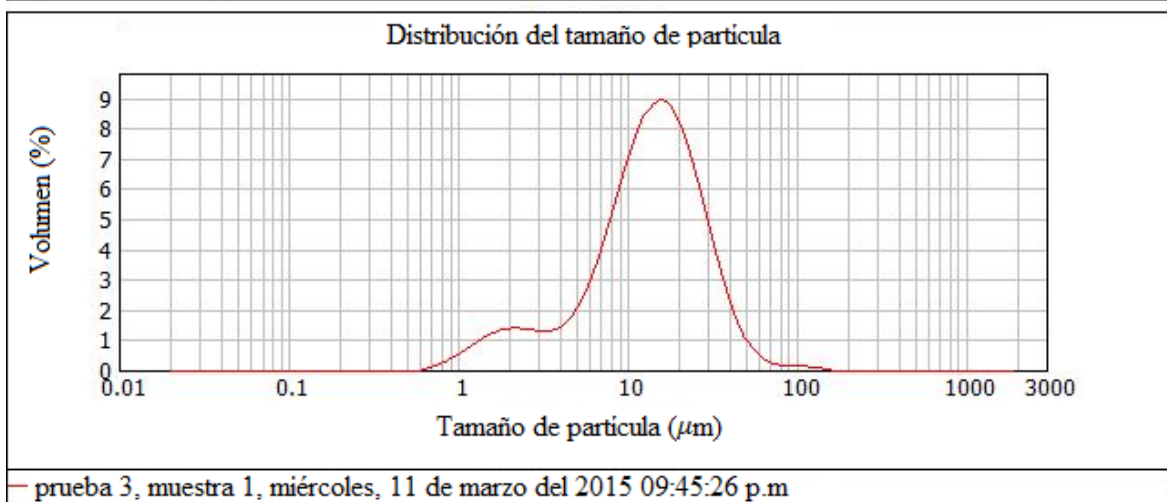
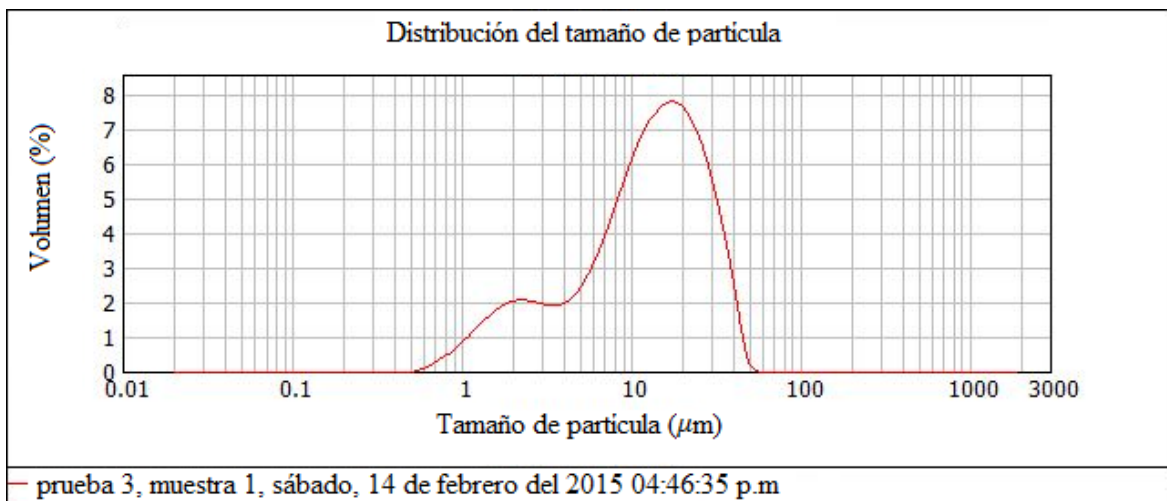
La densidad del producto presentó un valor a temperatura ambiente de 0,93 (*g/ml*). Además su fase interna y externa presentaron valores de densidad de 0,82 y 0,97 (*g/ml*) respectivamente; valores que también fueron medidos a temperatura ambiente.

#### Tamaño de gota de la fase interna de la loción

Por último se evaluó el tamaño promedio de las gotas de la fase interna de la emulsión y la tendencia de este valor a variar en el tiempo. En las fotografías microscópicas mostradas en Figura 17 y en las gráficas mostradas en la Figura 18 se puede apreciar la apariencia las gotas del producto, examinadas a veinte veces su escala (20X) y la distribución del tamaño de las mismas, respectivamente.



**Figura 17.** Fotografías microscópicas del producto elaborado a escala laboratorio (elaboración propia).



**Figura 18.** Distribución del tamaño de gotas del producto (elaboración propia).

En las pruebas realizadas se determinó que la emulsión preparada en el laboratorio presenta un diámetro de gota de alrededor de 15  $\mu\text{m}$  y además que este valor se mantuvo prácticamente constante a lo largo del tiempo, principalmente debido al valor correspondiente a la velocidad de cremado de la emulsión; el cual resultó en función de la ley de Stokes en un valor de  $1,21 \cdot 10^{-8}$  m/s. A partir de esta característica se intuye que el proceso diseñado resulta adecuado para satisfacer las necesidades de la empresa Naturaven, C.A.

En este análisis se determinó que para alcanzar la estabilidad requerida del producto, los factores protagonistas del proceso fueron tanto el caudal y la temperatura de alimentación de agua al tanque de agitación, como la temperatura, las fuerzas inerciales y su tiempo de aplicación en dicho equipo.

#### Conductividad térmica de la loción

Se estimó que la conductividad térmica del producto a nivel experimental, corresponde a un valor aproximado de 0,53 W/(m · K), este valor se determinó a partir de las conductividades de ambas fases; mediante el empleo de un método teórico y al aproximar la conductividad de la fase oleosa a un promedio del valor de distintos aceites utilizados a nivel industrial.

#### pH de la loción

El pH de la formulación propuesta presentó un valor de 4,70. Si bien esta propiedad está dentro del rango aceptable para los productos cosméticos de uso tópico, se agregó un 0,16% en masa de trietanolamina al producto para aumentar su pH a un 5,63 cumpliendo el producto con los parámetros óptimos recomendados en la industria.

Finalmente la formulación definitiva del desodorante corresponde a la descrita en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Formulación desodorante definitiva.

Ingredientes	Nombres	%(p/p)	Justificación
Activo	Cloruro de Benzalconio (g)	0,3	Bactericida/ Bacteriostático
Corrector	Alcohol cetílico (g)	5,0	Espesante
	Emulgín B1 (Cetareth-12)(g)	0,75	Emulsificante
	Trietanolamina	0,16	Base
	Emulgín B2 (Cetareth-20)(g)	0,75	Emulsificante
Aditivo	Gel Extracto Aloe vera (g)	4	Astringente/ Humectante
Excipiente	Propilenglicol (g)	5,54	Solubilizante
	Agua desmineralizada (ml)	73,0	Solubilizante
	Miristato de isopropilo (g)	4,5	Solubilizante
	Aceite Mineral (parafina líquida) (g)	6,0	Emoliente

Fuente: Elaboración propia.

### **Especificación de las condiciones de operación y diseño del proceso productivo**

De la caracterización del proceso a escala de laboratorio se pudo apreciar que los métodos fisicoquímicos de inversión de fase resultaron ser efectivos y adecuados para el mismo; entre los indicadores considerados se encuentran: (a) el tamaño de gota obtenido, (b) la relativa baja velocidad de cremado, (c) la prácticamente nula tendencia al aumento de las gotas de la fase interna en el tiempo, (d) el pH y (e) el comportamiento reológico del producto.

Por un lado el método de inversión catastrófico resultó ser práctico, a nivel de facilidad y requerimiento energético. Por otra parte el método de inversión transicional se ajustó perfectamente al proceso por facilitar la turbulencia y el movimiento de las preparación requerido, al disminuir la viscosidad de la mezcla; cumpliendo con características básicas del

proceso como el estar limitado al uso de surfactantes no iónicos y al rango de temperatura donde existe bajo riesgo de evaporación de las corrientes de agua en el proceso.

Una vez definido el proceso que garantizará la calidad del producto deseado a escala de laboratorio se procedió a especificar (dentro de la permisería aplicada al nivel industrial correspondiente) las condiciones de operación y los equipos preliminares para reproducir el mismo a escala industrial. Los parámetros de operación se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Parámetros de operación requeridos en el proceso.

Parámetro	Valor
Volumen de operación del tanque (L)	179,00
Temperatura de operación al emulsionar (°C)	63,00
Temperatura de operación al drenar el producto en el tanque (°C)	40,00
Temperatura del agua alimentada al tanque (°C)	66,00
Altura de líquido de operación del tanque (m)	1,17
Presión de operación en el tanque (KPa)	321,65
Altura ocupada en el tanque por la fase oleosa (m)	0,23
Velocidad de agitación (RPM)	530,00
Potencia requerida por el sistema de agitación (kW)	0,31
Flujo impartido por el impulsor (L/s)	44,40
Tiempo de agitación requerido al emulsionar (min)	20,16
Temperatura del agua de calentamiento en la chaqueta (°C)	79
Temperatura del agua de enfriamiento en la chaqueta (°C)	25
Coeficiente de convección externo ( $W/m^2 \cdot K$ )	1045,78
Coeficiente de convección interno ( $W/m^2 \cdot K$ )	171,01
Flujo de agua en la chaqueta (kg/s)	17,60
Carga térmica de calentamiento (kWt)	3,52
Tiempo de calentamiento (min)	16,01
Carga térmica de enfriamiento (kWt)	6,26
Tiempo de enfriamiento (min)	41,89
Potencia de la bomba para el agua de servicio (kW)	1,05

Presión de salida de la bomba (Kpa)	460,91
Caudal de entrada de agua hasta la inversión de fase (L/min)	1,30
Tiempo hasta la inversión de fase (min)	42,00
Altura de fluido en el tanque en el punto de inversión de fase (m)	0,58
Presentación del artículo comercial (ml)	75
Factor de servicio (%)	91,80

Fuente: Elaboración propia.

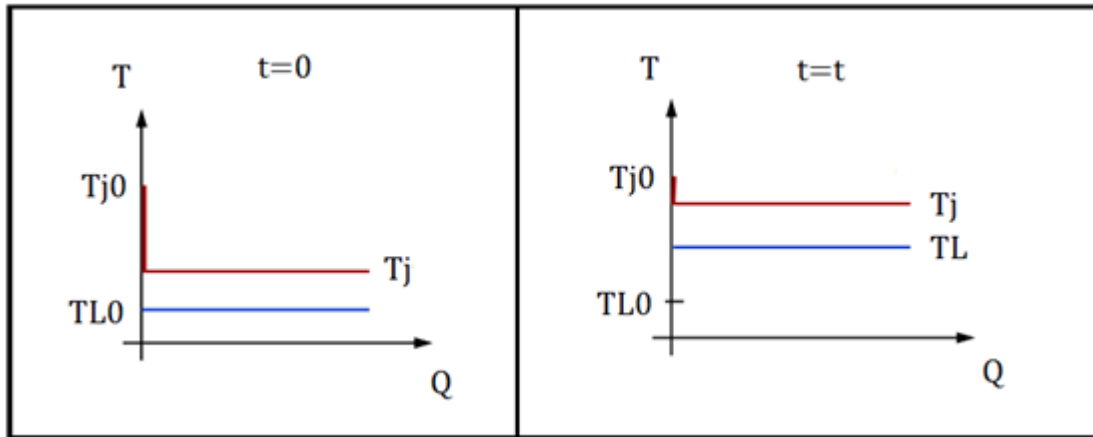
Para reproducir los parámetros de operación determinados, la línea de producción consta de un tanque cilíndrico vertical con cuatro deflectores instalados, una chaqueta que asegure una zona de intercambio de calor en todo el volumen de trabajo del equipo (chaqueta de tipo 2, según la clasificación del Apéndice F) y un motor que haga rotar un eje que cuente a su vez con dos impulsores de turbina; uno radial de disco y paletas planas verticales y otro axial de paletas inclinadas. Se contará además con dos calderas eléctricas de almacenamiento de agua con calefactores resistivos inmersos en el fluido para el calentamiento directo del agua caliente requerida y con una máquina de llenado de los envases comerciales que opere por efecto de la gravedad.

Se determinó además que tanto para la operación los equipos de la planta, la adecuación de la temperatura del producto necesaria en distintas etapas del proceso y el funcionamiento de sus lazos de control, serán necesarios los servicios industriales de energía eléctrica y agua como fluido caloportador

La potencia requerida por el motor, la bomba y las tuberías del proceso se determinaron en función de la velocidad periférica requerida por en los impulsores y los caudales de operación de las distintas corrientes de transporte de insumos.

Como se puede apreciar en la Figura 19, la temperatura de salida del fluido caloportador en la chaqueta tardará un tiempo “t” en estabilizarse y alcanzar la temperatura requerida en el tanque. Además se puede observar que en sistema de intercambio de calor se necesita una temperatura de entrada del fluido caloportador con una ligera diferencia en comparación a la requerida en el tanque de agitación, principalmente debido a resistencias térmicas y pérdidas

de calor al ambiente. Dicha diferencia de temperatura, en un sistema aislado, tanto en el calentamiento como en el enfriamiento de la preparación corresponde a unos dieciséis grados centígrados, como se puede apreciar en la Tabla 4.



**Figura 19.** Representación gráfica de la evolución de la temperatura en el tiempo del tanque enchaquetado (elaboración propia).

Las dimensiones de los equipos involucrados en la línea de producción se especificaron a partir de las condiciones de operación determinadas y las exigencias de producción de la empresa, utilizando las normas correspondientes y los siguientes criterios de diseño:

- Se mantienen ciertas similitudes en las variables geométricas, cinéticas y dinámicas del diseño industrial, al preparar el producto a escala de laboratorio.
- La capacidad instalada de la línea de producción será de 2 lotes diarios.
- El radio de la corona " $L_f$ " del fondo y techo del tanque es igual a su diámetro y el radio interior de rebordeo " $r_f$ " igual al 6% del diámetro del tanque.
- Se desprecian los factores de ensuciamiento en los conductos.
- La relación de tanto el diámetro de los impulsores como la altura del tanque del sistema de agitación con el diámetro del mismo, son los factores responsables de generar el corte requerido en el proceso.
- El caudal del agua alimentada al tanque se puede aumentar de cinco hasta nueve veces su valor, luego de alcanzar el EIP. Esto en función de que ya se ha sobre pasado la etapa crítica correspondiente a la presencia de un sistema inverso (W/O) en el tanque.
- La temperatura de entrada del agua de servicio se mantiene constante (sin perturbaciones).

- El coeficiente global de transferencia de calor se mantendrá constante durante todo el proceso y a lo largo de toda la superficie.
- La temperatura del contenido del tanque es uniforme.
- No existen pérdidas de calor al ambiente.
- Es necesario realizar especial énfasis en la fuerza de inercia del sistema, para determinar la cantidad de energía que se debe aplicar al sistema para alcanzar la inestabilidad física que genere el grado de dispersión requerido.
- Se alcanza la mezcla perfecta del fluido en el tanque y en la chaqueta.
- No es necesario especificar las etapas de tratamientos previos al proceso, correspondientes a las corrientes de insumos y servicios.
- Se apartan 30 días no operativos al año, para el mantenimiento de la planta.
- El área de los tanques son suficientemente grandes, con respecto al de las tuberías, como para despreciar la velocidad de vaciado de ellos en el cálculo del cabezal.

Las especificaciones del tanque enchaquetado, el sistema de agitación y las tuberías involucrados en la producción de la loción desodorante se encuentran expresadas en las Tablas 5, 6 y 7 presentadas en esta sección, respectivamente. Estas especificaciones se determinaron principalmente a partir de los parámetros de diseño definidos en base a los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio.



**Tabla 5.** Especificación del tanque enchaquetado.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		<b>ESPECIFICACIÓN DEL TANQUE ENCHAQUETADO</b>		PROYECTO: NATURAVEN C.A	HOJA No.: 1
IDENTIFICACIÓN:	MD-101	PLANTA:	NATURAVEN		
SERVICIO:	TANQUE	No. REQUERIDO:	1		
DESCRIPCIÓN:	TANQUE CON UN SISTEMA DE CHAQUETA DE INTERCAMBIO DE CALOR CON AGUA				
DATOS DE DISEÑO/MECÁNICOS					
Volumen de diseño del tanque, L	233,00				
Altura del tanque, m	1,55				
Temperatura de diseño, °C	93,00				
Presión de diseño, Kpa	386,38				
Diámetro exterior del tanque, m	0,45				
Margen de corrosión, cm	0,33				
Espesor del cuerpo cilíndrico del tanque, cm	0,42				
Masa del tanque de acero, kg	36,32				
Altura de la chaqueta, m	1,27				
Diámetro exterior de la chaqueta, m	0,50				
Diámetro equiv. de la chaqueta, m	0,11				
Espesor del cuerpo cilíndrico de la chaqueta, cm	0,35				
Volumen disponible en la chaqueta, L	19,00				
Material tanque/chaqueta	AISI 304				
Tipo de tapas (fondos y techos)	Toriesférico				
Volumen fondo/techo del tanque, L	9,11				
Altura del fondo/techo del tanque, cm	10,23 / 9,95				
Radio de corona, cm	45,00				
Radio interior de rebordeo, cm	2,70				
Presión de diseño fondo/tope, Kpa	386,38 / 101,01				
Material fondo/techo	AISI 304				
Espesor del fondo/techo del tanque, cm	0,46 / 0,36				
Espesor el fondo de la chaqueta, cm	0,39				

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.** Especificación del sistema de agitación.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		<b>ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE AGITACIÓN</b>		PROYECTO: NATURAVEN C.A	HOJA No.: 1
IDENTIFICACIÓN:	MD-101	PLANTA:	NATURAVEN		
SERVICIO:	AGITACIÓN	No. REQUERIDO:	1		
DESCRIPCIÓN:	SISTEMA DE AGITACIÓN CON CUATRO DEFLECTORES, UN IMPULSOR RADIAL Y UN IMPULSOR AXIAL				
DATOS DE DISEÑO/MECÁNICOS					
Ancho de los deflectores, m	0,04				
Separación de los deflectores de la pared del tanque, m	0,01				
Altura inferior de los deflectores, m	0,32				
Altura superior de los deflectores, m	1,16				
Altura total de los deflectores, m	0,84				
Material de los deflectores	AISI 304				
Altura del impulsor radial, m	0,19				
Altura del impulsor axial, m	0,78				
Material de los impulsores	AISI 304				
Diámetro del eje de agitación, cm	3,15				
Material del eje de agitación	AISI 304				
Tipo de impulsor radial	De disco con 6 paletas planas verticales	<u>IMPULSOR RADIAL</u>		<u>IMPULSOR AXIAL</u>	
Tipo de impulsor axial	Con 4 paletas planas horizontales				
Diámetro de los impulsores, m	0,15				
Ancho de los impulsores, m	0,03				
Diámetro del disco del impulsor radial, m	0,10				
Largo de las paletas (impulsor radial), m	0,04				
Inclinación de paletas (impulsor axial)	45°				

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.** Especificación del sistema de tuberías.

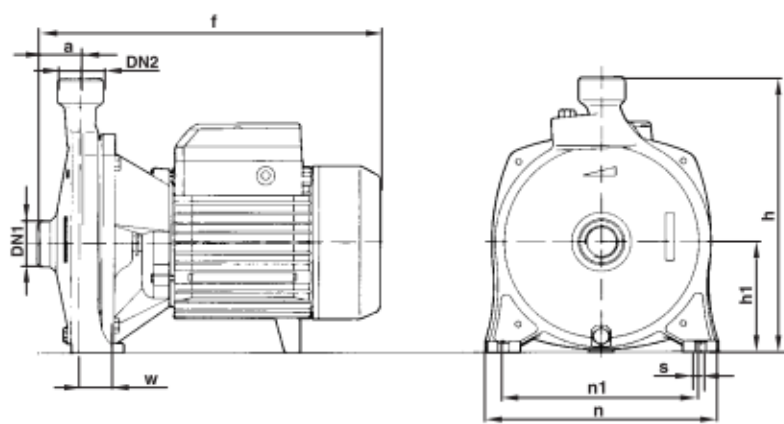
Servicio de tubería	Piping	Material	Caudal de diseño (m/s)	Diámetro interior (cm)	Diámetro exterior (cm)	Espesor de corrosión (mm)
Agua de alimentación al proceso (PW)	AK1-HC	AISI 304 con recubrimiento térmico	0,30	3,01	3,34	0,25
Suministro de agua de calentamiento antes de la bomba (HW)	HA2-HC	Acero al carbono con recubrimiento térmico	0,90	4,50	4,83	1,59
Retorno agua caliente (IW)	HA2-HC	Acero al carbono con recubrimiento térmico	0,30	8,47	88,90	1,59
Suministro de agua de enfriamiento antes de la bomba (SW)	AA1	Acero al carbono	0,90	4,50	4,83	1,59
Suministro de agua después de la bomba (W)	HA2-HC	Acero al carbono con recubrimiento térmico	2,10	3,01	3,34	1,59
Retorno de agua de enfriamiento (RW)	AA1	Acero al carbono	0,30	8,47	88,90	1,59

Fuente: Elaboración propia.

Las tuberías del diseño fueron dimensionadas y codificadas de acuerdo al caudal de operación y tipo de fluido que transportarán, bajo los parámetros establecidos en el Manual de PDVSA H-221 y luego se especificaron seleccionando entre las opciones disponibles en el mercado.

Ubicar el tanque de suministro de agua de alimentación al proceso en una plataforma por encima del tanque de agitación, como se representa en el Anexo G, permitió diseñar una línea de producción que operara con una sola bomba centrífuga; la cual se encuentra especificada en la Tabla 8.

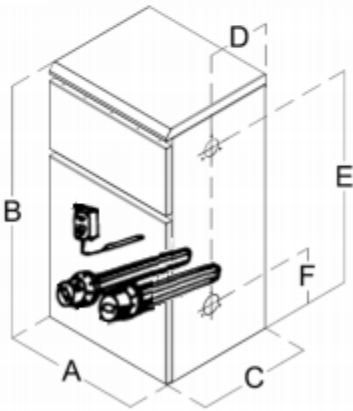
**Tabla 8.** Especificación de la bomba.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		<b>ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO</b>		PROYECTO: <b>NATURA VEN C.A</b>	HOJA No.: <b>1</b>				
IDENTIFICACIÓN: P -101		PLANTA:		NATURA VEN					
SERVICIO: Bomba centrífuga		No. REQUERIDO: 1							
DESCRIPCIÓN: Bomba de agua eléctrica centrífuga CP 660/M									
<b>DATOS DE DISEÑO / MECÁNICOS</b>									
Eficiencia		85%							
Potencia, Kpa		1,50							
Caudal máximo, L/min		160,00							
Altura de succión manométrica máxima, m		7,00							
Máxima temperatura del líquido, °C		75,00							
<b>DIBUJO</b>									
									
<b>DIMENSIONES EN mm</b>									
<b>DN1</b>	<b>DN2</b>	<b>a</b>	<b>f</b>	<b>h</b>	<b>h1</b>	<b>n</b>	<b>n1</b>	<b>w</b>	<b>s</b>
31,75	25,40	51,00	341,00	260,00	110,00	206,00	165,00	44,50	11,00

Fuente: Elaboración propia.

La curva característica de la bomba seleccionada se muestra en el Anexo H. Además se contará con tres tanques de almacenamiento de agua con el calentamiento directo, cuya especificación se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Especificación del sistema de calentamiento y almacenamiento de agua.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		<b>SISTEMA DE CALENTAMIENTO- ALMACENAMIENTO DE AGUA</b>		PROYECTO: <b>NATURAVEN C.A</b>	HOJA No.: <b>1</b>				
IDENTIFICACIÓN: T-XXX		PLANTA:		NATURAVEN					
SERVICIO: Calentamiento-almacenamiento de agua		No. REQUERIDO: 1							
DESCRIPCIÓN: Tanque de almacenamiento de agua con el calentamiento directo FE-W27C/8									
<b>DATOS DE DISEÑO/MECÁNICOS</b>									
Eficiencia		98 %							
Capacidad, kWt		8,00							
Caldera		Calefactores resistivos eléctricos							
Material		Acero inoxidable AISI 304							
Sistema de seguridad y control de temperatura		Si							
<b>DIBUJO</b>									
									
<b>DIMENSIONES EN mm</b>									
A	B	C	D	E	F				
400	750	343	221	645	64				

Fuente: Elaboración propia.

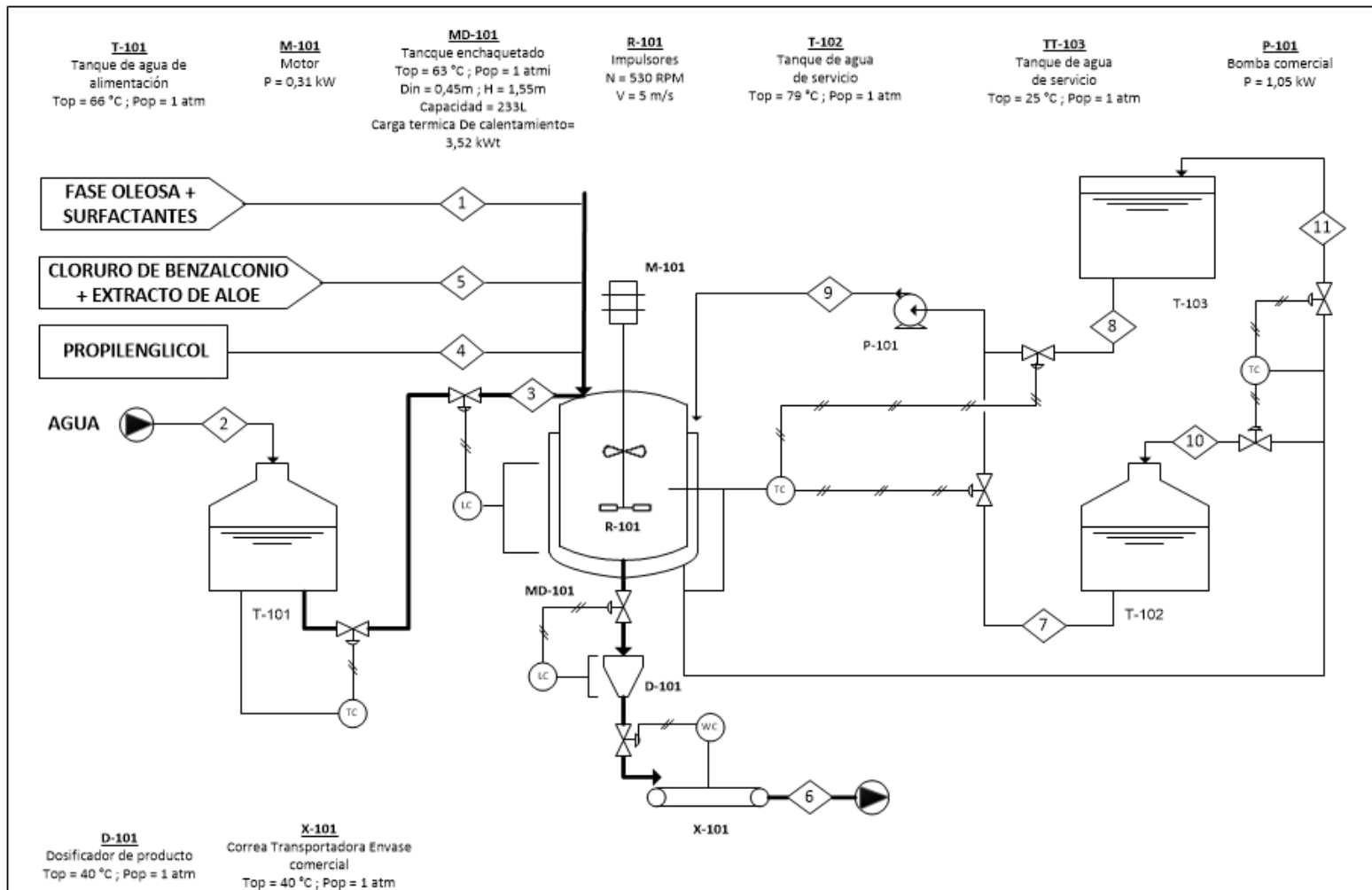
Se determinó el acero inoxidable de tipo AISI 304 como el material adecuado de construcción de los principales equipos del proceso ya que, a pesar que tener un mayor costo y una menor conductividad térmica en comparación a los aceros al carbono, presenta los requerimientos corrosivos, mecánicos, de soldado y sanitarios requeridos en el proceso. Las especificaciones de los materiales utilizados en los cálculos involucrados en este trabajo se pueden apreciar en el Apéndice M.

Es importante resaltar que estas especificaciones se utilizan para la elaboración de un diseño de la línea de producción de carácter preliminar, esto es, sólo evaluado a escala de laboratorio y por ende las especificaciones de los respectivos equipos de la planta deberán ser ajustadas una vez determinadas las características del producto elaborado a escala piloto e industrial, así como el tiempo real asociado a los lotes a ambas escalas. Por otro lado, las tuberías de agua de servicio se prefieren de acero por no requerir mayores especificaciones a nivel sanitario y de esfuerzos.

### **Diseño preliminar de la línea de producción**

#### Diagrama de flujo preliminar de la línea de producción

En esta siguiente sección se presenta el Diagrama de Flujo del Proceso (DFP) preliminar de la línea de producción:



NOTAS:	DIBUJADO:	OSCAR PULIDO	FECHA:	13/03/15	TÍTULO: DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO		REV.: A	PROYECTO: DISEÑO PRELIMINAR DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE UN DESODORANTE EN LIOCIÓN PARA LA EMPRESA NATURAVEN C.A  UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
	REVISADO:	MARÍA RODRÍGUEZ	FECHA:	23/03/15	DISEÑO: 1 ESCALA: N/A	FECHA: 13/03/2015 PROYECTO NO.: 1		
	APROBADO:	MARÍA RODRÍGUEZ	FECHA:	23/03/15	HOJA: 1/1	DOCUMENTO NO.: DFP-01		

Los símbolos y figuras empleados en la elaboración de dicho diagrama se adjuntan en el Anexo I. A continuación se describe la línea de producción de la loción desodorante, elaborada a partir de las técnicas investigadas y los parámetros determinados:

- (a) Primero se pesan los componentes a ser alimentados al proceso para formar la cantidad de producto a preparar en el lote. Luego se agrupan de acuerdo con sus solubilidades, es decir si el componente es hidrosoluble, liposoluble o surfactante.
- (b) Después se agrega, funde y disuelve un sistema de fase oleosa y surfactantes en el tanque MD-101 mediante la aplicación de una agitación moderada (100 RPM) de dos agitadores R-101 sujetos a un motor M-101 y la ejecución de un intercambio de calor entre el sistema y el agua caliente en la chaqueta. En esta etapa se forma un volumen ( $Vo_1$ ) de aproximadamente 28,30 Kg, correspondiente a la corriente 1 constituida por: por 6,40L de miristato de isopropilo, 8,32 Kg de alcohol cetílico, 2,50 Kg de los emulgin y 8,69 L de aceite mineral.
- (c) Por otro lado el agua caliente de entrada a la chaqueta corresponde a la corriente 9, que es a su vez transportada de la corriente 7 por la bomba P-101, proveniente del tanque con calentamiento T-102.
- (d) Luego de preparar la fase oleosa y alcanzar los 63°C en la misma, de los 121,52 L (mínimos para alcanzar el EIP) cargados por la corriente 2 de agua en el tanque T-101, se empieza a introducir una corriente 3 de agua al tanque con agitación a una temperatura de 66°C a un caudal de 1,3 L/min, mediante el uso de la gravedad; esto hasta que se han agregado alrededor de 55,00 L de agua, correspondiente al EIP del método catastrófico. Después se puede aumentar el caudal de adición de agua al tanque, mediante la manipulación de la válvula LCV-102, hasta alcanzar un volumen ( $Vo_2$ ) de aprox. 150L en el tanque; valor que indica que se ha añadido la cantidad de agua requerida para la formación de la loción deseada.
- (e) Después se agregan 9,187 L del propilenglicol, correspondientes a la corriente 4 y se empieza el proceso de preparación de la emulsión en blanco. Dicho proceso consiste en agitar la preparación de manera intermitente a 530 RPM por 20 minutos; es decir disminuyendo la velocidad de agitación a 50 RPM cada 3 minutos, por un período de 1 minuto; a una temperatura de 63°C durante todo el proceso, mediante un intercambio de calor con agua de calentamiento en la chaqueta, cuando sea necesario.



- (f) Posteriormente se agregan el Cloruro de Benzalconio y el extracto de Aloe vera asociados a la corriente 5, para totalizar los 179L del lote de producción y se termina de formar la loción mediante agitación por dos minutos más.
- (g) Se enfría el producto hasta aproximadamente 40°C, mediante agitación moderada (100 RPM) y un intercambio del contenido con el agua de enfriamiento en la chaqueta; esta última corresponde a la corriente 9 que es a su vez transportada de una corriente 8 por la bomba P-101, proveniente de un tanque T-103 a 33°C.
- (h) Finalmente se trasporta el producto final hacia la máquina de llenado, por acción de la gravedad y se procede a la limpieza que puedan requerir los equipos de la planta.

El balance de masa detallado de la línea por corrientes del proceso, se aprecia en la Tabla 10. Además se presentan las características más importantes en cuanto a la corriente, entre ellas temperatura, presión, fase de la corriente, la velocidad recomendada para el flujo en tuberías, el caudal, la carga total y su densidad.

La velocidad de las corrientes se consideró tomando las recomendaciones para el dimensionamiento de tuberías, según los componentes que se tratan en cada corriente y la función de ésta, es decir, si es una corriente de succión o descarga de bomba o de columna por gravedad y el caudal respectivo requerido por el proceso. A su vez, cabe destacar que las corrientes sin tuberías especificadas corresponden a ingredientes adicionados en forma de sólidos.

**Tabla 10.** Balance de masa del proceso

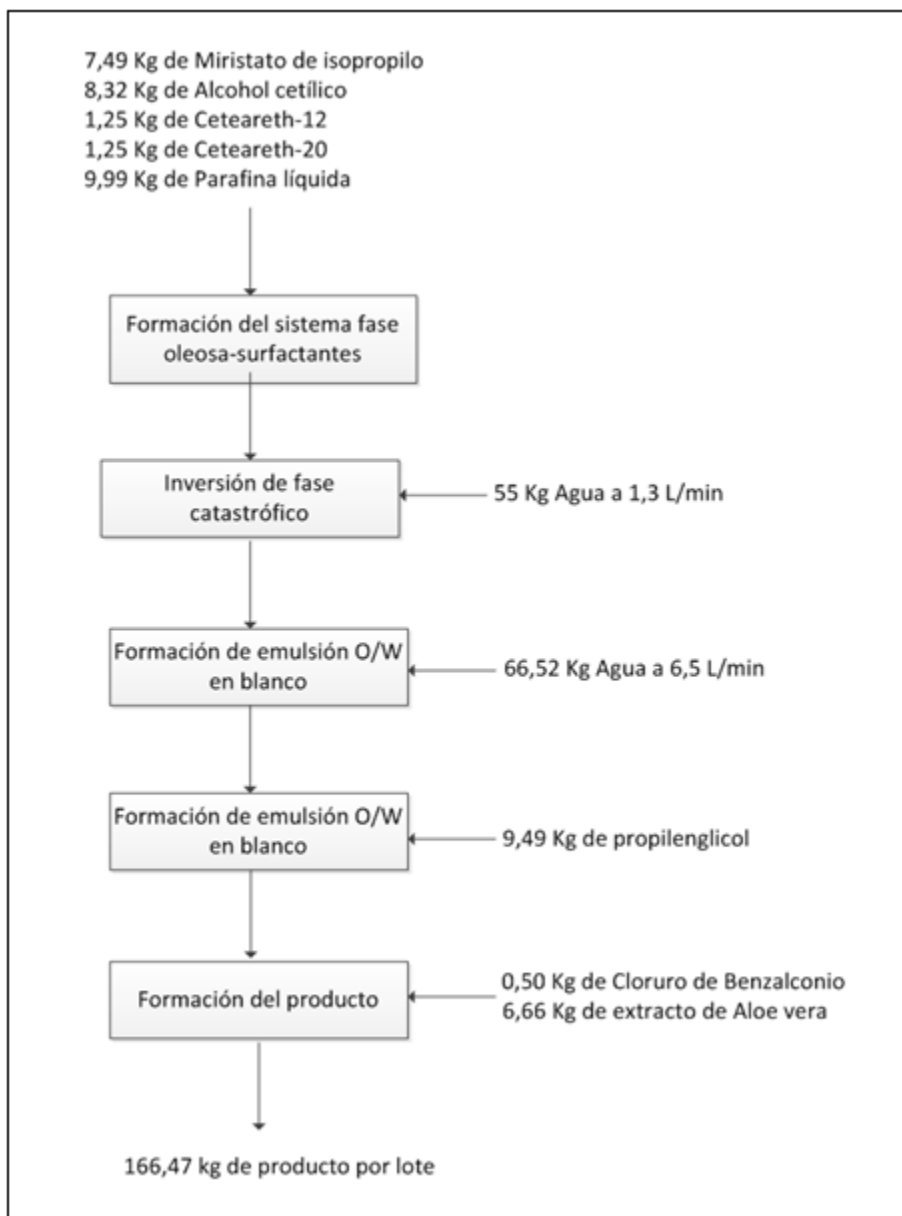
Variable	Corriente										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Presión (atm)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Temperatura (°C)	25,00	25,00	66,00	63,00	25,00	40,00	79,00	25,00	79,00 / 25,00	79,00	25,00
Estado	Sólido y Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Sólido y Líquido	Sólido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Velocidad (m/s)	por carga	por carga	0,30	por carga	por carga	por carga	0,90	0,90	2,10	0,30	0,30
Caudal (L/min)	-	-	1,30 / 6,50	-	-	-	66,00	66,00	66,00	66,00	66,00
Carga Total (Kg)	28,30	121,50	55,00 / 66,52	9,49	7,16	166,47	-	-	-	-	-
Densidad (g/ml)	0,82	0,98	0,98	1,04	1,03	0,93	0,98	0,99	0,98 / 0,99	0,98	0,99

Fuente: Elaboración propia.

Las distintas corrientes involucradas en el proceso, corresponden a los siguientes componentes:

- Corriente 1: Fase oleosa + surfactante
- Corriente 2: Agua de alimentación
- Corriente 3: Agua de alimentación
- Corriente 4: Propilenglicol
- Corriente 5: Ingredientes desodorantes/terapéuticos
- Corriente 6: Loción en envase comercial
- Corriente 7: Suministro de agua de calentamiento
- Corriente 8: Suministro de agua de enfriamiento
- Corriente 9: Suministro de agua de calentamiento/enfriamiento
- Corriente 10: Retorno de agua de calentamiento
- Corriente 11: Retorno de agua de enfriamiento

En la tabla presentada anteriormente se puede apreciar que los caudales de entrada y salida del agua de servicio empleada, presentan el mismo valor y que por lo tanto, la conservación de la materia de las corrientes de la línea de producción se expresa por los kilogramos de carga total, según lo mostrado en la Figura 20.



**Figura 20.** Balance de masa del proceso (elaboración propia).

Se utilizó el control automático del proceso como herramienta para mantener las variables deseadas en un punto de control determinado y así contrarrestar posibles perturbaciones y desviaciones de las variables críticas del proceso.

De esta manera se definen las siguientes estrategias de control para garantizar la seguridad del proceso y el cumplimiento de las especificaciones de los productos a comercializar:

1. Un lazo de control por acción precalculada (*feedforward*) simple, con el controlador TC-01 asegura que el agua que se alimenta al tanque con agitación esté a la misma temperatura que el contenido del mismo.
2. Un lazo de control de nivel por retroalimentación (*feedback*) simple con el controlador LC-101 indica los caudales de adición de agua a la fase oleosa requeridos en las respectivas etapas de la formación de la emulsión, según la altura de operación del tanque.
3. Se emplea un lazo de control en cascada con rango dividido como una estrategia adecuada para fijar la temperatura del fluido en el tanque cerca de la PIT del surfactante requerida durante el proceso de formación de la emulsión y además, para enfriar rápidamente la preparación hasta la temperatura de llenado.

El lazo de control en cascada controla la temperatura del producto (TL) mediante un control principal (o maestro), donde el primer controlador maestro TC-102 actúa en función del valor medido de temperatura en el tanque y al setpoint deseado en el mismo. Al mismo tiempo un control secundario (o esclavo) hace que un segundo controlador FC-101 compare el flujo de salida la chaqueta (Fj) con el setpoint remoto que relaciona ambas variables e incide directamente en la acción final del control, mediante la manipulación de las válvulas de control TCV-102 y TCV-103 del agua de calentamiento y de enfriamiento respectivamente según se requiera; por medio de otra estrategia de control llamada rango dividido.

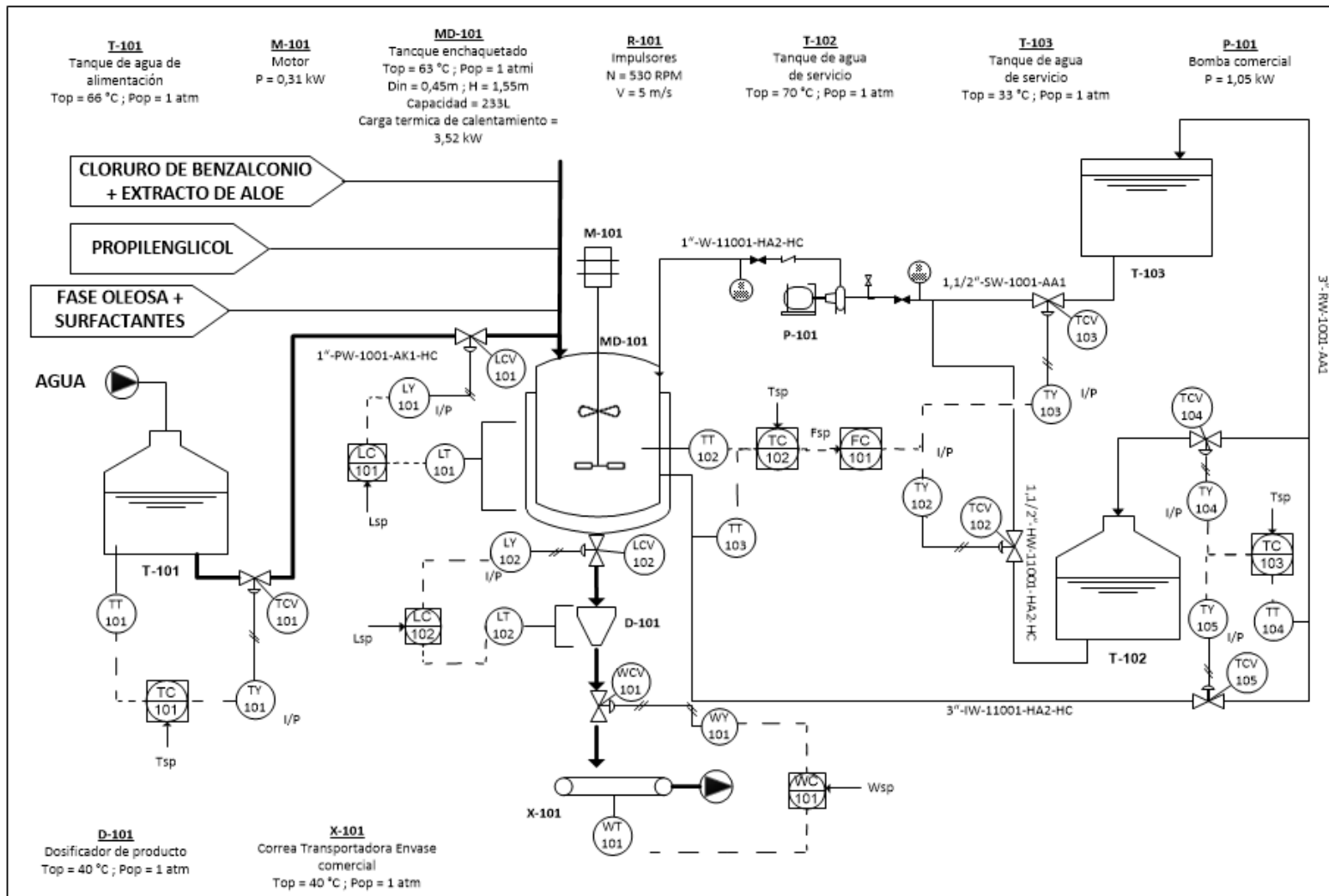
En el control rango dividido, cuando la señal del controlador es igual al 50%, la válvula de control tanto del agua fría como del agua caliente están cerradas. Si la señal de la variable controlada esclava varía a un valor mayor al 50%, se abrirá la válvula del agua caliente en un rango de apertura de 0-100% manteniendo la válvula del agua

de enfriamiento cerrada y al variar debajo de 50% se abrirá la válvula de agua de enfriamiento; de este modo nunca se abrirán ambas válvulas al mismo tiempo.

4. Otro control de rango dividido indica, por el controlador TC-103, si se debe retornar el agua utilizada en el intercambio de calor al tanque de suministro de agua de calentamiento o al tanque de suministro de agua de enfriamiento, según la temperatura que presente el fluido a la salida de la chaqueta.
5. Finalmente para garantizar el proceso de llenado del envase aplicativo por gravimetría, se definen dos lazos de control. Un primer controlador LC-102 hace que el dosificador sólo contenga cierta cantidad de producto y un segundo controlador WC-101 asegura que sólo se dispense al envase la cantidad de preparación justa de su presentación comercial; al cerrar la válvula de flujo de producto que proviene del dosificador cuando el envase alcanza cierto peso.

#### Diagrama de tuberías e instrumentación preliminar de la línea de producción

A continuación se presenta el Diagrama de Tuberías e Instrumentación del Proceso (DTI):



NOTAS:	DIBUJADO:	OSCAR PULIDO	FECHA:	13/03/15	TÍTULO: DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN		PROYECTO: DISEÑO PRELIMINAR DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE UN DESODORANTE EN LIOCIÓN PARA LA EMPRESA NATURAVEN C.A	
	REVISADO:	MARÍA RODRÍGUEZ	FECHA:	23/03/15	DISEÑO: 1 ESCALA: N/A	FECHA: 13/03/2015 PROYECTO NO.: 1		REV.: A UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
	APROBADO:	MARÍA RODRÍGUEZ	FECHA:	23/03/15	HOJA: 1/1	DOCUMENTO NO.: DTI-01		

Los símbolos empleados en la elaboración de dicho diagrama se adjunta en el Anexo I. Las válvulas de control se clasifican según su función en el proceso, como se indica en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Lista de válvulas del proceso y justificación del tipo de falla.

Válvula	Plano	Falla	Justificación
TCV-101	1	FC	Mantener la relación necesaria entre la temperatura del agua alimentada al tanque y la del contenido del mismo.
LCV-101	1	FC	Mantener el flujo adición de agua al tanque requerido
TCV-102	1	FO	Evitar el enfriamiento prematuro del producto
TCV-103	1	FC	Evitar el enfriamiento prematuro del producto
TCV-104	1	FC	Evitar en enfriamiento del contenido en el tanque T-102
TCV-105	1	FO	Evitar la acumulación de fluido caloportador en la chaqueta
LCV-102	1	FC	Evitar el desborde de fluido del dosificador
WCV-101	1	FC	Evitar el desborde de fluido del envase comercial

En la Tabla 12 presentada a continuación, se muestra la lista de transmisores que detalla su ubicación en el diagrama de tuberías e instrumentación, así como también su rango y su etiqueta.

**Tabla 12.** Lista de instrumentos del proceso

Etiqueta	Plano	Instrumento	Rango
TT-101	1	Sensor de Temperatura	4-20 mA
LT-101	1	Sensor de Nivel	4-20 mA
TT-102	1	Sensor de Temperatura	4-20 mA
TT-103	1	Sensor de Flujo	4-20 mA
TT-104	1	Sensor de Temperatura	4-20 mA
LT-101	1	Sensor de Nivel	4-20 mA
WT-101	1	Sensor de Peso	3-15 psi

Se utilizaron dos indicadores de presión asociados a la bomba hidráulica para monitorear las condiciones de entrada y salida de la misma en todo momento. Las señales de salida de los transmisores y controladores utilizados en el proceso fueron de tipo eléctrico, comprendidas en el rango de 4-20 mA y para las válvulas de tipo neumáticas comprendidas en rangos de 3-15 psig.

Se seleccionó el tipo de controlador y la respectiva acción adecuada para el lazo del proceso, según el tipo de variable a controlar y el requerimiento del proceso. En la Tabla 13 se presenta la lista de dichos controladores detallando su ubicación en el diagrama de tuberías e instrumentación, así como también su variable controlada, estrategia de control, tipo y acción.

**Tabla 13.** Lista de controladores del proceso

Controlador	Plano	Variable Controlada	Estrategia	Tipo	Acción
TC-101	1	Temperatura de agua alimentada a MD-101	Feedforward	PID	Inversa
LC-101	1	Flujo de agua de entrada a MD-101	Feedback	P	Inversa
TC-102	1	Temperatura de entrada de agua a la chaqueta	Cascada (maestro) + rango dividido	PID	Directa
FC-101	1	Flujo de entrada de agua a la chaqueta	Cascada (esclavo) + rango dividido	P	Inversa
TC-103	1	Temperatura de entrada a T-102 y/o T 103	Rango dividido	PID	Directa
LC-102	1	Altura de la columna de fluido en D-101	Feedback	P	Inversa
WC-101	1	Peso de los envases comerciales en X-101	Feedback	PI	Inversa



## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES**

A continuación se presentan las conclusiones establecidas de acuerdo a los resultados obtenidos en el desarrollo del Trabajo Especial de Grado:

- Al analizar las características de la loción propuesta, se estimó que ésta presenta coherencia con el producto que se quiere desarrollar.
- Se identificó que la formación de la emulsión es la etapa crítica para alcanzar la estabilidad requerida del producto, siendo los factores protagonistas de la misma el flujo, la temperatura, las fuerzas inerciales que generan la turbulencia y el corte en el contenido del tanque.
- Se determinó que la aplicación del método de inversión de fase catastrófico transicional permite la formación del producto propuesto y garantiza que el mismo cumpla con los parámetros de estabilidad requeridos por la empresa Naturaven C.A.
- En definitiva se determinaron las condiciones de operación preliminares del proceso. La temperatura de inversión de fase (PIT) de la mezcla de surfactantes de la formulación correspondió a un valor aproximado de 73°C. A su vez el punto de inversión de fase (EIP) correspondió al instante en que se ha adicionado alrededor del 40% del agua total de la preparación a la fase oleosa.
- Se determinaron y analizaron mediante diversos ensayos experimentales y semiteóricos la conductividad térmica, calor específico, pH, densidad, viscosidad, tamaño de las gotas de fase interna del producto desodorante. Por los valores obtenidos y su prácticamente nula tendencia a variar en el tiempo, se estimó que el proceso productivo diseñado resulta adecuado para satisfacer las necesidades de la empresa Naturaven, C.A.

- Se corroboró el comportamiento refluidizante esperado del producto al estimar la variación de la viscosidad del producto a ser sometido a diferentes temperaturas y velocidades de corte.
- Las tuberías de agua de servicio, al no requerir mayores especificaciones a nivel sanitarios y de esfuerzos, se prefieren de acero al carbono.
- Fue necesario emplear tanto estrategias básicas, de *feedback* y *feedforward*, como estrategias avanzadas de rango dividido y cascada para el control automático de las variables críticas del proceso; debido a lo delicado que resultó ser la formación de la emulsión deseada.
- Los equipos de la planta industrial se diseñan para que trabajen a diferentes niveles de altura y por lo tanto se aproveche el efecto de la gravedad para reducir los requerimientos energéticos operacionales del proceso y los equipos, como tuberías y bombas, involucrados en el mismo.

## RECOMENDACIONES

Con el fin de obtener un buen resultado en una posible continuación del tema fundamentado en este Trabajo Especial de Grado se proponen las siguientes recomendaciones:

- Los parámetros del proceso diseñado, por su carácter “preliminar”, deberán ser ajustados una vez determinadas y analizadas las características del producto elaborado a escala piloto e industrial.
- Se recomienda a la empresa Naturaven, CA comenzar el desarrollo para la puesta en marcha de la planta de producción de desodorantes diseñada en el presente trabajo de investigación, una vez realizado el estudio de mercado para determinar la factibilidad económica del proyecto.
- Se recomienda estudiar el poder antibacterial del desodorante, mediante la determinación de la acción del mismo sobre alguna(s) cepa(s) bacteriana(s) responsable(s) de la generación de los olores desagradables del cuerpo humano.
- Un laboratorio de control de calidad *in situ*, permitiría un monitoreo constante de la línea de producción y el producto de la misma; tanto de su materia prima, como de productos intermedios y finales.
- Se deberá evaluar y ajustar el proceso en una planta piloto, antes de escalar el mismo a escala industrial.
- Es recomendable la realización de un análisis de riesgos de operabilidad (Hazop), para el funcionamiento adecuado de los componentes de la planta industrial.
- De ser necesaria alguna tubería de drenaje del líquido del tanque con agitación a la máquina de llenado o al recipiente aplicativo comercial, se sugiere emplear el material AISI 304 con recubrimiento térmico (AK1-HC).

- Se recomienda seleccionar un envase comercial de forma semicilíndrica de plástico, para la aplicación adecuada del producto, por parte del usuario. En estos envases la loción se desliza fácilmente hacia el extremo superior cuando se somete a presión, pero cuando se detiene la presión, se deslizan muy lentamente; lo que ocasiona que se mantenga en la parte superior del envase.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACERIND S.C. (s.f). Soldadura de los aceros inoxidable, para los ingenieros de materiales, sección 2. Recuperado el 10 de octubre del año 2014 de: <http://www.cientificosaficionados.com/libros/solinox2.pdf>
- Agitadores G&G (2011). Blog de la empresa Ingenieros G&G. Bilbao, España. Recuperado el 12 de Septiembre del año 2014 de: <http://www.agitador.es/blog/wp-content/uploads/2011/09/fondos-depositos-agitacion.png>
- Aguilera, A. y Rodriguez, M. (2013). Sistemas y transformada de Laplace. Universidad Simon Bolívar. Recuperado del 26 de enero del año 2015 de: [http://prof.usb.ve/mirodriguez/control/Sistemas\\_y\\_transformada\\_de\\_laplace/transformada\\_de\\_Laplace.pdf](http://prof.usb.ve/mirodriguez/control/Sistemas_y_transformada_de_laplace/transformada_de_Laplace.pdf).
- Allan, P., Browne, M., Langeveld, E., Lloyd, P., Manley, R., Rennie, P., Stocker, F., Tavedri, K. y Thorpe, J. (2004). Procedimiento para la producción de un producto desodorante o antitranspirante. Titular, Unilever N.V. Patente europea de número de publicación: ES 2 213 698 T3. Rotterdam, Holanda. Recuperado el 15 de septiembre del año 2014 de: [http://www.espatentes.com/pdf/2213698\\_t3.pdf](http://www.espatentes.com/pdf/2213698_t3.pdf)
- Aranberri I, Binks B.P., Clint J.H. y Fletcher P.D (2006). Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polimeros y agentes tensoactivos. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 7(3), 211-231. The University of Hull, Reino Unido.
- Armenta, E. y Rodríguez, C. (2004). Diseño y construcción de dos bio-reactores para una planta a escala piloto destinada a la producción de jarabes de glucosa. Proyecto de Grado. Inédito. Universidad de Santander, Facultad de Ingenierías Físicomecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, Colombia.
- Amparo, M. y García, E. (2012) *Cosmetología aplicada a la estética decorativa*, ED 1, p. 1-63. ISBN: 8497321014. Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A.

- Arias, Ysrael. (Septiembre 2008). Influencia de la formulación fisicoquímica en las propiedades de flujo de emulsiones a través de tuberías y lechos empacados. Proyecto de Grano no publicado. Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Simón Bolívar. Caracas.
- Ariel (2007). Equivalente eléctrico del calor, 2do Cuatrimestre 2006. Laboratorio Física 2 B&G, Universidad de Buenos Aires. Recuperado el primero de enero del año 2015 de:  
[http://users.df.uba.ar/ariel/materias/F2ByG\\_2007/labo\\_files/8equeleccolor.pdf](http://users.df.uba.ar/ariel/materias/F2ByG_2007/labo_files/8equeleccolor.pdf)
- Bailey, Alton E. (1984). Aceites y grasas industriales, Ed(1). ISBN – 84 – 291 – 7901 – 1. España: Editorial Reverté S.A
- Batton, C., Chen, T. y Towery, C. (1998). Corrosion inhibitor. United States Patent and Trademark Office. US 5849220 A. Recuperado el 11 de septiembre del año 2014 de:  
<http://www.google.com/patents/US5849220>
- Bayas M.A. y Nuñez, C.F. (2011). Diseño y construcción de un reactor continuo de mezcla completa. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad DE Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba, Ecuador.
- Bernice, E., Green, M. y Normington, D. 2008. Composiciones Líquidas Poliméricas en Dispersión, su preparación y uso. US 20080275138 A1. West Yorshire. Reino unido. Recuperado el 30 de enero del año 2015 de:  
<https://www.google.com/patents/US20080275138>
- Betancourt, Paulino J. (2014). Curso de escalamiento de plantas piloto. Curso presentado en la Jornada de Investigación Encuentro Académico Industrial, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Blaak, J., Wohlfart, R., Schurer, N. (2011). Treatment of Aged Skin with a pH 4 Skin Care Product Normalizes Increased Skin Surface pH and Improves Barrier Function: Results of a Pilot Study. Journal od cosmetics, Dermatological Sciences and Applications, (1), pg 50-58.

- Bloom, W. y Fawcett, D.W. (Ed.12). (1995). Tratado de Histología (pp.231-278). ISBN 9788448601072. Madrid, España: Interamericana Mc Graw Hill.
- Bohórquez, Hernando (2011). Maquinaria y equipos de alimentos, lección 20 - manejo de fluidos. Escuela de Ciencias Básicas de Tecnología e Ingeniería, Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bogotá, Colombia.
- Briceño M.I. y Cobos, S. (2005). Escalamiento del proceso de mezclado de emulsiones O/W concentradas. *Revista Ciencia e ingeniería*, 25(3), pp.125-134. Laboratorio FIRP, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Mérida.
- Busto, T. y Zamora, O (2002). Evaluación del sistema de manejo de fluidos en superficie para el área mayor de Socororo. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Petróleo, U.C.V. Caracas.
- Camero, L. y Orejanegra, L. (2008). Formulación magistral en la práctica profesional. Profesoras Universidad Central de Venezuela. ISBN: 980-6604-21-0. Caracas: Gráficas Lauki.
- Cárdenas, R.R. y Fuentes, E.F. (2011). Efecto de la agitación sobre el proceso de producción de biogás a partir del bagazo de fique a diferentes escalas. Proyecto de grado no publicado. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga, Colombia.
- Cavazza, Paolo (1990) Soap-free, brushless non-lathering shaving cream. United States Patent and Trademark Office. Patente: US 4892729 A. Recuperado el 7 de septiembre del año 2014 de: <http://www.google.com/patents/US4892729>
- Colonval, Joel (2011) Process for the preparation of oil in water emulsions. Canadá. Patente: CA 2801982 A1. Recuperado el 1 de octubre del año 2014 de: <http://www.google.com/patents/CA2801982A1?hl=es&cl=en>
- Cossío, Horacio (2009). Estimación de parámetros de escalamiento del proceso de lavado de suelo contaminado por plaguicida 2,4-D con la ayuda de

surfactante SDS, mediante un impulsor de tipo axial en un vaso de agitación, 55-110. Tesis de pregrado. Inédito. Universidad de las Américas Puebla, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Méjico. Recuperada el 16 de septiembre del año 2014 de: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/cossio\\_c\\_hj/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/cossio_c_hj/)

- Couper, J., Penney, R. y Fair, J. (Ed.2). (2005). Chemical process equipment, selection and design. (p. 287). ISBN: 0123725062. Massachusetts, Estados Unidos de America: Gulf Professional Publishing.
- COVENIN 2079 (1998). Norma Venezolana. Requisitos de desodorantes, antitranspirantes y desodorantes antitranspirantes. ISBN 980-06-2081-8. Recuperado el 15 de julio del año 2014, de la página: [www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2079-98.pdf](http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2079-98.pdf)
- COVENIN 2245-90. Norma Venezolana. Escaleras, rampas y pasarelas. Requisitos de seguridad. ISBN 980-6019-00-8. Recuperado el 15 de julio del año 2014, de la página: [www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2245-90.pdf](http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2245-90.pdf)
- Cueva, C. y Flores C. (2008). Diseño de una mezcladora dosificadora de cremas cosméticas. Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela politécnica nacional. Quito, Ecuador.
- De Rocco, R. (2005). Curso: Esquemas de control. Universidad Simón Bolívar, Departamento de Procesos y Sistemas, Sección de Sistemas de Control. Recuperado el 20 de septiembre del año 2014 de: <http://prof.usb.ve/lamanna/cursos/Esquemas-de-control.pdf>
- Devi, D.L., Srinivas, B. y Narasinga, B.R. (2012). An evaluation antimicrobial activity of Aloe barbadensis Miller (Aloe Vera) gel extract. Journal of pharmaceutical and biomedical sciences, 21 (03). ISSN NO- 2230 – 7885. India.
- Diseño del sistema de tuberías y cálculo de las bombas (s.f). Universidad de Granada. Recuperado el 21 de noviembre del año 2014 de:



<http://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf>

- Dutt, Bharvi. (2002). A study of patenting activity in Aloe Vera. Journal of Intellectual Property Rights, Vol 7, pp 330-341. National Institute of Science Technology and Development Studies.
- El-Hefian, E., Mahmoud, M., Hamid, A. y Atta, R. (2010). Preparation and characterization of chitosan/agar blends: rheological and thermal studies. Journal of the Chilean Chemical Society, 55(1), 130-136. ISSN 0717-9707. Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Malaya. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Faagau, Gary (2011). Training plant staff about energy efficiency. Chemical Processing, Pickheaters. Recuperado el 10 de noviembre del año 2014 de: [http://www.chemicalprocessing.com/assets/wp\\_downloads/pdf/CP1107\\_EnergyEfficiency\\_9.pdf](http://www.chemicalprocessing.com/assets/wp_downloads/pdf/CP1107_EnergyEfficiency_9.pdf)
- FIVENCA (2014). InfoFivenca reporte semanal. FIVENCA casa de bolsa. Caracas, Venezuela. Recuperado el 4 de septiembre del año 2014 de: [http://www.fivenca.com/uploads/reporte\\_semanal\\_fivenca\\_28-03.pdf](http://www.fivenca.com/uploads/reporte_semanal_fivenca_28-03.pdf)
- Forgiarini, Ana. (2011). Emulsión por persuasión. Presentación del laboratorio FIRP, S246X. Formación de nanoemulsiones. Universidad de los Andes. Mérida. Recuperado el 10 de diciembre del año 2014 de: <http://www.redvnano.org/enano2011/contenido/Forgiarini2.pdf>
- Fundación Centro Nacional de Innovación Tecnológica CENIT, (sf). Falcón, Venezuela. Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Innovación. Recuperado el 18 de septiembre el año 2014 de: <http://www.mcti.gob.ve/>
- Gaceta oficial N° 40.473, Decreto N° 1.174. Superintendencia Nacional Para la Defensa de los Derechos Socio Económicos. Recuperado el 29 de Septiembre del año 2014 de: <http://www.superintendenciadepreciosjustos.gob.ve/sites/default/files/Providencia%20Administrativa%20N%C2%BA%20043-2014%20->

[%20Adecuacio%CC%81n%20de%20Precios%20Justos%20-%20Toallas%20Sanitarias,%20Desodorantes%20y%20Ma%CC%81quinas%20de%20Afeitarsechables.pdf](#)

- García, L. (2006) Implementación de un sistema de control distribuido para el flujo y la temperatura en un reactor de polimerización en emulsión a nivel de planta industrial. Trabajo especial de grado. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Michoacán, Méjico. Recuperado el 26 de enero del año 2015 de: <http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/123456789/5485/1/TESIS%20DE%20GILBERTO%20GARCIA%20BOLA%20C3%91OS.PROTEGIDA.pdf>
- Gennaro, A., Chase, G., Marderosian, A., Hanson, G., Hussar, D., Medwick, T., Rippie, E., Schwartz, J., Whati, S. y Zink, G. (Ed.19). (1995). Remington farmacia, Tomo II (pp.2277-2291). ISBN 84-7903-426-2. Buenos Aires, Argentina: Editorial Médica Panamericana, S.A.
- Guerrero, J.A. (2009). Manual de prácticas para el equipo de bombas con fluidos de distintas viscosidades del laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Veracruzana campus Coatzacoalcos. Trabajo práctico educativo. Inédito. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana.
- Guzmán, Luis (2006). Diseño mecánico de recipientes a presión bajo el código ASME sección VIII, división 1. Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Simón Bolívar. Caracas.
- Haq, Z y Gardener, I.L (1993). Cosmetic composition. Registro europeo de patentes. Solicitante, Unilever N.V. Patente europea de número de publicación: EP 0541347 A2. Recuperado el 15 de septiembre del año 2014 de: [www.google.com/patents/EP0541347A2?cl=en](http://www.google.com/patents/EP0541347A2?cl=en)
- Harnby, N., Edwards, M.F.y Nienow, A.W. (Ed.2). (2001). Mixing in the Process Industries, 309-346. ISBN 0750637609. Oxford, Reino Unido: Butterworth-Heinenmann.

- Hernández, Carolina. (2004). Formación de nanoemulsiones O/W mediante el cambio en la composición-formulación por dilución con agua de sistemas próximos a la formulación óptima. Trabajo Especial de Grado. No publicado. Escuela de ingeniería Química, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Himmelsbach, Houlton, Keller y Lovallo (2006). Mixing systems: design and scale up. Etako corporation. Alemania: Dorothy Lozowski. Recuperado el 18 de julio del año 2014 de: [http://www.ekato.com/fileadmin/user\\_upload/Documents/PresseCenter/2006\\_04\\_CoverStory.pdf](http://www.ekato.com/fileadmin/user_upload/Documents/PresseCenter/2006_04_CoverStory.pdf)
- Hurtado, A (2004). Caracterización de juntas soldadas del acero inoxidable AISI/SAE 304 por gmaw-p. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de los materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caravacas, Venezuela.
- Kaur, Jaideep A. (2009). Effect of formulation and ph on rheological properties, particle size distribution, and stability of oil-in-water beverage emulsions. A thesis for the degree of Masters of Science. Department of Food Science and Agricultural Chemistry Macdonald Campus of McGill University. Montreal, Canada.
- KERN, Donald Q. (1995). Procesos de transferencia de calor (Ed.1) (pp.234-288). ISBN 968-26-1040-0. México, Compañía Editorial Continental S.A.
- Kleplak, P. y Walkey, J. (2000). Antiperspirants and deodorants. Recuperado el 16 de octubre del año 2014, de la página del profesor de química analítica de la universidad de Gaza, Monzir, A.L: <http://www.monzir-pal.net/Industrial/Deodrants.pdf>
- Larrazábal, Carlos. (2013, 18 de junio). La industria venezolana: presente y futuro. Congreso CONINDUSTRIA, p. 2-3. Caracas. Recuperado el 27 de Julio del año 2014 de: [www.conindustria.org/uploads/media/CarlosLarrazabal\\_Palabras.pdf](http://www.conindustria.org/uploads/media/CarlosLarrazabal_Palabras.pdf)

- Lowe, Belle. (1937). Experimental Cookery From The Chemical And Physical Standpoint, Ed (2), pp. 183-186. Foods and Nutrition Iowa State College With A Laboratory Outline. United States of America: John Wiley & Sons.
- Llumiquinga, Jenny, E. (2012). Estudio de las viscosidades medias en tuberías de sistemas de distribución de fluido no newtonianos tipo barbotina en la empresa FV para propósitos de aumento de la eficiencia en procesos de producción. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero mecánico. Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. (p.153).
- Manrique, Jim, A. (2011). Diseño de un recipiente a presión con un sistema de agitación para el procesamiento de biodiesel de 3 m<sup>3</sup> de capacidad. Tesis profesional. Inédito. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Mecánica. Lima, Perú.
- Manual de Ingeniería de Diseño de Petróleos de Venezuela S.A. (2005). Preparación de diagramas de procesos (L-TP 1.1), simbología para planos de proceso (L-TP 1.2) e identificación materiales para tuberías (H-221) , Volumen 13 y numeración de tuberías (L-TP 1.3), Volumen 15, especificación de ingeniería. Venezuela. Recuperados de:  
<http://www.pdvsa.com/>
- Marín, Egly (2014) Rafael González Estaba. Biografías Egly Colina Marín Primera Recuperado el 23 de Septiembre del año 2014 de:  
<http://eglycolinamarinprimera.blogspot.com/2014/03/rafael-gonzalez-estaba-primer-cronista.html>
- Marquez, R., Forgiarini, A. y Bullon J. (2007). Emulsiones parentales. Cuaderno FIRPS485-A (versión #1), Módulo de Enseñanza en Fenómenos Interfaciales. Laboratorio FIRP, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Martínez, A., Sánchez, I., Osorio, A., López, L., Sánchez, L.A., Hernández, E. (Junio 2011). Caracterización reológica de soluciones azucaradas para el proceso de evaporación-cristalización. Nexa revista científica, Vol. 24, No. 1,

pp. 61-71. ISSN-L 1818-6742. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Veracruz, México.

- Mixing of fluids (s.f). University of Babylon. Irak. Recuperado el 18 de noviembre del año 2014 de:  
[http://www.uobabylon.edu.iq/uobColeges/ad\\_downloads/5\\_4801\\_857.pdf](http://www.uobabylon.edu.iq/uobColeges/ad_downloads/5_4801_857.pdf)
- Mujica, V., Delgado, M., Ramírez, M., Velásquez, I., Pérez, C. y Rodriguez, M. (Abril 2010). Formulación de un producto cosmético con propiedades antiarrugas a partir del aceite de semilla de merey. Revista de la Facultad de Ingeniería UCV. Vol 25 (2), p. 119-131. Departamento de Física, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
- National Programme on Technology Enhanced Learning – NTPL. (S.F=). Design of Transmission Shafts and Drafting Rollers. Mechanics of Tectile Machinery. Ministry of HRD, Government of India. Recuperado el 9 de febrero del año 2015 de:  
<http://www.nptel.ac.in/courses/116102012/94>
- Normas ISA - Setting the Standanrd of Automation (s.f). Estándares, certificados, entrenamientos, libros y artículos técnicos recuperados el 24 de enero del año 2015 de:  
[www.isa.org/](http://www.isa.org/)
- Nowrey, J., Woodams, E. & Longree, K. (1968). Thermal conductivity of a vegetable oil-in-water emulsion. J. Chemical Engineering Data, 13(3), pp. 297-301. DOI: 10.1021/je60038a001. Department of Dairy and Food Sciaence, Cornell University. USA.
- Obreque, Javier G. (2008). Mecánica de Fluidos. Bombas centrifugas, IUT RC/PQ/CCF. Instituto universitario de tecnología “Dr. Federico Rivero Palacio”. Departamento de Procesos Químicos. Caracas. Recuperado el 19 de enero del año 2015 de:  
<http://es.scribd.com/doc/220208911/Tema-5-Bombas-centrifugas#scribd>

- Olsson, Par (2005). Analysis and modelling of a batch cooling process for cosmetics. Tesis de post-grado. Instituto de Tecnología Lund, Departamento de Ingeniería Química, Univesidad Lund. Suecia.
- Pareja, Betty (2006). Antiperspirantes desodorantes. Revista Ciencia e investigation, 9(2), (pp. 95-97). Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de San Marcos. ISSN 1561-0861. Lima, Perú.
- Paul, E., Antiem-Oheng, V. y Kresta, Z.(2004). Handbook of Industrial Mixing. ISBN 0-4712-6919-0. New Jersey, Estado Unidos de América: John Wiley and Sons, Inc. Recuperado el 15 de diciembre del año 2014 de: <http://books.google.co.ve/books?id=s4SsrmvEc7QC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- PDVSA (1991), Manual de Ingeniería de Diseño. Seguridad en el diseño de plantas. Diseño antisísmico de instalaciones industriales, PDVSA JA-221. Especialidad 18. Caracas, Venezuela. Recuperado del 17 de noviembre del año 2014 de: [http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/normas/PDVSA\\_JA\\_221/PDVSA\\_ja\\_221.pdf](http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/normas/PDVSA_JA_221/PDVSA_ja_221.pdf) -
- Pérez, Carlos (2006). Los problemas de emulsión y como afectan la productividad en un campo productor. Trabajo de Grado Modalidad Práctica Empresarial. Campo Jiba – occidental de Colombia. Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingeniería físico-químicas, Escuela de ingeniería de petróleos. Bucaramanga, Colombia: OCCIDENTAL DE COLOMBIA, Inv.
- Pérez, E. y García, R. (2010). Reología, Unidad N°2, Tema N°23. Tecnología farmacéutica II, Departamento de Tecnología Farmacéutica. Facultad de Farmacia, Universidad Central de Venezuela.
- Perry, R. (2001). Manuel del Ingeniero Químico, Ed(6), tomo1. México: Mc Graw Hill.
- Peters, M.S. y Timmerhaus K.D. (1991). Plante design and economics for chemical engineers. Ed. 4. ISBN 0-07-049613-7. University of Colorado. Estados Unidos de America: McGraw-Hill Ind.

- Piña, Herry (Abril 2005). Perfil preliminar del mercado de la sábila (Aloe Vera) en el estado Falcón, Venezuela. *Bioagro*, 17(2). ISSN 1316 3361. Dpto. de Desarrollo y Producción Agrícola, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, Venezuela.
- Plaza, Alibeth, D. (2007). Caracterización de emulsiones obtenidas por inversiones catastróficas y transicional dinámicas en un sistema SOW aniónico. Proyecto de grado. Inédito. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Mérida.
- Preziosi, V., Perazzo, A., Caserta, S., Tomaiuolo, G. y Guido, S. (2013). Phase Inversion Emulsification. *chemical engineering transactions*, Vol. 32, (pp.1585-1590). Asociación italiana de ingenieros química, Universidad Federico II. ISBN 978-88-95608-23-5. Napoli, Italia: AIDIC
- Productos Naturales Venezolanos (Naturaven), C. A. (2003). Nuestros Recursos, Plantaciones. Productos, Gel Premium. Documento en línea de los inversionistas. Disponible en:  
[www.naturaven.com](http://www.naturaven.com)
- Quintero, Ingemar. (Mayo 2012). Desestabilización electrostática de material de fosas de producción empleando medios coalescedores. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Rocha, Pamela, C. (2010). Caracterización reológica de emulsiones O/W estabilizadas con aislado de proteína de soya y coloreadas en base a luteína y enocianina, para el desarrollo de un colorante con características funcionales. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Ingeniería de Alimentos. Santiago de Chile, Chile.
- Rodríguez, Jimmy (2004). formulación de una emulsión submicrométrica cosmética para el tratamiento de la celulitis. Informe Técnico FIRP No 0407. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Laboratorio de Espectroscopia Molecular.

- Rojas O., Briceño M. y Avedaño J. (2012) Fundamentos de la reología. Cuaderno FIRPS521-C (versión #3), Módulo de Enseñanza en Fenómenos Interfaciales. Laboratorio FIRP, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Romero Belkis, E. (2010). Evaluación de los criterios de diseño y configuración estructural de recipientes a presión. Universidad De Oriente, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Inédito. Anzoátegui, Venezuela.
- Romero Henry, P. (2014). Visualización de regímenes de flujo. Curso de mecánica de fluidos. Laboratorio de Mecánica de los Fluidos, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Manolo. Perú.
- Sagitani, Hiromichi (1981). Making homogeneous and fine droplet O/W emulsions using nonionic surfactants. *Journal of the American Oil Chemists Society*, Vol. 58, issue 6, pp.738-743). Pola R&D laboratorios. Yokohama, Japon: JAOCS.
- Salager, J.L (1998). Formulación HLB, PIT, R de Winsor. Cuaderno FIRP S210A, versión #2. Módulo de enseñanza en fenómenos interfaciales. Laboratorio de formulación, interfases reología y procesos. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida.
- Salager, J.L (1999). Formulación, Composición y Fabricación de Emulsiones para obtener las Propiedades deseadas. Estado del Arte, Parte B. Propiedades de las Emulsiones y su Medición. CUADERNO FIRP S747-B. Laboratorio de formulación, interfases reología y procesos. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida.
- Salager, J.L. y Anton, R. (1991) Comportamiento de fase de los sistemas surfactante-agua-aceite, diagramas y barridos. Cuaderno FIRPS220-A (versión #1), Módulo de Enseñanza en Fenómenos Interfaciales. Laboratorio FIRP, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Sharapin, Nikolai. (2000). Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos. (Ed. 1), p. 120-131. Área de Ciencia y Tecnología del



Convenio Andrés Bello & Red Iberoamericana de Productos fitoterapéuticos (RIPROFITO) del Subprograma X del CYTED. Bogotá, Colombia: Roberto Pinzón S.

- Shinoda, K. y Saito, H. (Junio 1969). The Stability of O/W Type Emulsions as Functions of Temperature and the HLB of Emulsifiers: The Emulsification by PIT- method. *Journal of Colloid and Interface Science*, 30(2), 258-263. Departamento de Química, Universidad nacional de Yokohama. Japón.
- Smits, J., Senti, B., y Herbst, N. (2012). Eficiente activo desodorante y antibarterial natural. *Cosmetic Science Technology 2012*. Cosmetochem International AG. Suiza: usNeoTM. Recuperado el 10 de Octubre del año 2014 de:  
<http://www.cosmeticsciencetechnology.com/articles/samples/2631.pdf>
- Sócrates, Arturo (2011). Evaluación y adecuación de un tanque con agitador y chaqueta de vapor de 0.9 m<sup>3</sup> para la pasteurización de 880 kg de pulpa de fruta. Tesis de post-grado. Inédita. Facultad de Ingeniería Mecánica en Ciencias de la Producción, Escuela superior politécnica del litoral (ESPOL). Guayaquil, Ecuador.
- Tadros, Tharwat F. (2004). *Emulsion Formation and Stability*, First Edition. ISBN: 978-3-527-31991-6. USA: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Tamarkin, D., Gazal, E., Hazot., Schuz D. y Papiashvili, I. (2013) Compositions, gels and foams with rheology modulators and uses thereof. Patente: US 8618081 B2. Recuperado el 4 de septiembre del año 2014 de:  
<http://www.google.com/patents/US8618081>
- Tong, X., Wang, H., Yu, L., Chen, L. y Shi, Y. (2012). Preparation method of drug loaded emulsion. Registro europeo de patentes EP 2438909 A1. Shanghai, China. Recuperado el 12 de octubre del año 2014 de:  
<http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=EP&NR=2438909A1&KC=A1&FT=D>

- Vivas, Carolina (2014). Entrevista no formal, con la profesora farmacéutica. Laboratorio de análisis instrumental. Facultad de Farmacia, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Wang, R. y Knudsen, G. (1958). Thermal conductivity of Liquid-Liquid Emulsions, 50 (11), pp 1667–1670. **DOI:** 10.1021/ie50587a042. Department of Chemical Engineering, Oregon State College. Estados Unidos de America.
- Wilkinson, J.B. y Moore, R.J. (Ed.7). (1990). Cosmetología de Harry (pp.139-155). ISBN 84-87189-38-5. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Yapur, Nicolle (2014, 16 de septiembre) Aumentos no resolverán escasez de productos de higiene y limpieza. Economía. Caracas, Venezuela: C.A Editora El Nacional. Recuperado el 18 de septiembre del año 2014 de:  
[www.el-nacional.com/economia/Aumentos-resolveran-escasez-productos-limpieza\\_0\\_483551746.html](http://www.el-nacional.com/economia/Aumentos-resolveran-escasez-productos-limpieza_0_483551746.html)

## APÉNDICES

### APÉNDICE A: Cálculos tipo.

A continuación se presentan las ecuaciones empleadas para determinar los valores de los parámetros calculados en esta investigación:

#### Densidad del fluido

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{V_0}$$
$$\rho = \frac{(37,20 - 27,90)g}{9,948ml}$$
$$\rho = 0,93 \frac{g}{ml}$$

Donde:

$\rho \left( \frac{kg}{m^3} \right)$ : Densidad del fluido.

$m_1$  (Kg): Masa final.

$m_0$  (Kg): Masa inicial.

$V_0$  ( $m^3$ ): Volumen del picnómetro.

#### Densidad de la fase acuosa

$$\rho_c = \frac{\rho - \rho_d \cdot x_d}{x_c}$$
$$\rho_c = \frac{0,93 \frac{g}{ml} - 0,82 \frac{g}{ml} \cdot 0,27}{0,73}$$
$$\rho_c = 0,97 \frac{g}{ml}$$

Donde:

$\rho_c \left( \frac{kg}{m^3} \right)$ : Densidad de la fase continua.

$\rho_d \left( \frac{kg}{m^3} \right)$ : Densidad de la fase discontinua.

$\rho \left( \frac{kg}{m^3} \right)$ : Densidad del fluido.

$x_d$  (adim.): Fracción volumétrica de la fase discontinua.

$x_c$  (adim.): Fracción volumétrica de la fase continua.

### Velocidad de cremado

$$v_d = \frac{2 \cdot r_e^2 (\rho_d - \rho_c) \cdot g}{9 \cdot \mu_c}$$
$$v_d = \frac{2 \cdot (15 \cdot 10^{-6} \text{ m})^2 \left(0,82 \frac{\text{kg}}{\text{l}} - 0,97 \frac{\text{kg}}{\text{l}}\right) \cdot \frac{\text{l}}{0,001 \text{ m}^3} 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{9 \cdot 6,10 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$
$$v_d = 1,21 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Donde:

$v_d \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$ : Velocidad de cremado.

$r$  (m): radio promedio de las gotas.

$g \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$ : constante de gravedad.

$\mu_c \left(\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}\right)$ : Viscosidad de la fase continua.

### Volumen de operación de los lotes

$$Vo_t = \frac{\text{Unidades mensuales}}{\text{dias habiles al mes}} \cdot \frac{Vu}{\frac{1000 \text{ ml}}{\text{l}}} \cdot \frac{1}{Ld}$$
$$Vo_t = \frac{100.000}{21} \cdot \frac{75}{1000} \cdot \frac{1}{2} \text{ l}$$
$$Vo_t = 179 \text{ l}$$

Donde:

$Vo_t$  (l): Volumen de operación del tanque.

$Vu$  (ml): Volumen de la unidad del desodorante en la presentación a comercializar.

$Ld$  ( $\text{dia}^{-1}$ ): Lotes de operación diarios.

### **Volumen de diseño del tanque**

$$V_t = V_{o_t} + 0,3 \cdot V_{o_t}$$

$$V_t = 233 \text{ l}$$

Donde:

$V_t$  (l): Volumen del tanque.

$V_{o_t}$  (l): Volumen de operación del tanque.

### **Temperatura de operación del tanque al emulsionar**

$$T_o = PIT - 10^\circ C$$

$$T_o = 73^\circ C - 10^\circ C$$

$$T_o = 63^\circ C = 336 \text{ K}$$

Donde:

$PIT$  ( $^\circ C$ ): Temperatura de inversión de fase.

$T_o$  ( $^\circ C$ ): Temperatura de operación al aplicar el método de inversión transicional.

### **Temperatura de diseño del tanque**

$$T = T_o + 30^\circ C$$

$$T = 93^\circ C = 356 \text{ K}$$

Donde:

$T$  ( $^\circ C$ ): Temperatura de diseño del tanque.

### **Presión de operación**

$$P_0 = P_{atm} + P_H + 2,11 \frac{Kg}{cm^2}$$

Por iteración para una altura de la columna del producto de 135 cm de líquido, se tiene que:

$$P_0 = 1,03 \frac{Kg}{cm^2} + 0,14 \frac{Kg}{cm^2} + 2,11 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$P_0 = 3,28 \frac{Kg}{cm^2} = 321,65 Kpa$$

Donde:

$P_0 \left( \frac{Kg}{cm^2} \right)$ : Presión de operación del tanque.

$P_{atm} \left( \frac{Kg}{cm^2} \right)$ : Presión atmosférica.

$P_H \left( \frac{Kg}{cm^2} \right)$ : Presión hidrostática sobre el fondo del tanque.

### Presión de diseño

$$P_t = P_0 + P_0 \cdot 0,20$$

$$P_t = 3,94 \frac{Kg}{cm^2} = 386,38 Kpa$$

Donde:

$P_t \left( \frac{Kg}{cm^2} \right)$ : Presión de diseño del tanque.

$P_0 \left( \frac{Kg}{cm^2} \right)$ : Presión de operación del tanque.

### Factor para el dimensionamiento del diámetro exterior del tanque

$$F = \frac{P_t}{C \cdot S \cdot E}$$

$$F = \frac{56,04 \frac{Lb}{pulg^2}}{0,13pulg \cdot 16.700,00 \frac{Lb}{pulg^2} \cdot 0,85}$$

$$F = 0,03$$

Finalmente con el valor de “F” y la gráfica del Apéndice G, se determina el diámetro interior ( $D_t$ ) del recipiente.

$$D_t = 0,45 \text{ m}$$

Donde:

F ( $m^{-1}$ ): Factor de diseño del tanque.

$P_t \left( \frac{Lb}{pulg^2} \right)$ : Presión del sistema.

C ( $pulg$ ): Margen de corrosión.

S  $\left( \frac{Lb}{pulg^2} \right)$ : Esfuerzo del material.

E (adim): Eficiencia de la junta.

**Espesor del cuerpo cilíndrico del tanque y chaqueta (por presión interna según el esfuerzo circunferencial)**

$$t_{ci} = \frac{P_i \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_i} + C$$

$$t_{c1} = \frac{3,94 \frac{Kg}{cm^2} \cdot 22,5 \text{ cm}}{1174,13 \frac{Kg}{cm^2} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 3,94 \frac{Kg}{cm^2}} + 0,33 \text{ cm}$$

$$t_{c1} = 0,42 \text{ cm}$$

Donde:

$t_{ci}$  (cm): Espesor del cuerpo cilíndrico del tanque.

$P_i \left( \frac{Kg}{cm^2} \right)$ : Presión (local) del sistema.

E (adim): Eficiencia de la junta.

C (m): Margen de corrosión.

S  $\left( \frac{kg}{cm^2} \right)$ : Esfuerzo del material.

### Volumen del fondo y techo toriesférico

$$V_f = 0,1 \cdot D_t^3$$

$$V_f = 9,11 \text{ l}$$

Donde:

$V_f (L)$ : Volumen del fondo y techo del tanque.

$D_t (m)$ : Diámetro exterior del tanque.

### Factor de relación entre los radios de las tapas toriesféricas

$$f_m = \frac{1}{4} \cdot \left( 3 + \sqrt{\frac{L_f}{r_f}} \right)$$

$$f_m = \frac{1}{4} \cdot \left( 3 + \sqrt{\frac{0,45m}{0,03}} \right)$$

$$f_m = 1,72$$

Donde:

$f_m$  (adim.): Factor de relación entre los radios que conforman una tapa toriesférica.

$L_f(m)$ : radio de corona.

$r_f (m)$ : radio rebordeo mínimo.

### Espesor de fondos y techos toriesféricos

$$t_{fi} = \frac{P_i \cdot L_f \cdot f_m}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P_i} + C$$

$$t_{f1} = \frac{1,03 \frac{Kg}{cm^2} \cdot 45,00 \text{ cm} \cdot 1,72}{2 \cdot 1174,13 \frac{Kg}{cm^2} \cdot 1 - 0,2 \cdot 3,94 \frac{Kg}{cm^2}} + 0,33 \text{ cm}$$

$$t_{f1} = 0,36 \text{ cm}$$



Donde:

$t_{fi}$  (cm): Espesor de fondos y techos toriesféricos.

$f_m$  (adim.): Factor de relación entre los radios que conforman una tapa toriesférica.

$L_f$  (m): radio de corona.

$P_i$  ( $\frac{Kg}{cm^2}$ ): Presión (local) del sistema.

E (adim): Eficiencia de la junta.

C (m): Margen de corrosión.

S ( $\frac{kg}{cm^2}$ ): Esfuerzo del material.

### Altura del techo toriesférico del tanque

$$H_{fi} = 0,193 \cdot D_t + 3,5 \cdot t_{fi}$$

$$H_{f1} = 9,95 \text{ cm}$$

Donde:

$H_{fi}$  (m): Altura del fondo y techo del tanque.

$D_t$  (m): Diámetro exterior del tanque.

$t_{fi}$  (cm): Espesor de fondos y techos toriesféricos.

### Altura de operación del tanque

$$H_o = \frac{(V_{o_t} - V_f) \cdot 4}{\pi \cdot D_t^2} + H_{f2}$$

$$H_o = \frac{(0,179m^3 - 0,0091m^3) \cdot 4}{3,14 \cdot (0,45m)^2} + 0,10m$$

$$H_o = 1,17m$$

Donde:

$H_o$  (m): Altura de operación del tanque.

$H_{f2}$  (m): Altura del fondo del tanque.

$D_t$  (m): Diámetro exterior del tanque.

$V_f$  (L): Volumen del fondo y techo del tanque.

$V_{o_t}$  (l): Volumen de operación del tanque.

### Altura del cuerpo cilíndrico del tanque

$$H_c = \frac{(V_t - 2 \cdot V_f) \cdot 4}{\pi \cdot D_t^2}$$
$$H_c = 1,35 \text{ m}$$

Donde:

$H_c$  (m): Altura del cuerpo cilíndrico del tanque.

$V_f$  (L): Volumen del fondo y techo del tanque.

$V_t$  (l): Volumen del tanque.

$D_t$  (m): Diámetro exterior del tanque.

### Altura total del tanque

$$H_t = H_c + H_{f1} + H_{f2}$$
$$H = 1,55 \text{ m}$$

Donde:

$H_t$  (m): Altura total del tanque.

$H_c$  (m): Altura del cuerpo cilíndrico del tanque.

$H_{f1}$  (m): Altura del techo del tanque.

### Masa del tanque de acero

$$M_t = \frac{\pi \cdot H_t \cdot (D_t^2 - (D_t - t_{c1})^2) \cdot \rho_{ac}}{4}$$
$$M_t = \frac{\pi \cdot 155,00 \text{ cm} \cdot (45,00 \text{ cm}^2 - (45,00 - 0,42 \text{ cm})^2) \cdot 7,93 \text{ g/cm}^3}{4}$$

$$M_t = 36,32 \text{ kg}$$

Donde:

$M_t$  (kg): Masa del tanque.

$\rho_{ac}$  ( $\frac{kg}{m^3}$ ): Densidad del acero.

### **Ancho de los deflectores**

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

$$W_b = 0,04 \text{ m}$$

Donde:

$W_b$  (m): Ancho de los deflectores.

$D_t$  (m): Diámetro exterior del tanque.

### **Separación de los deflectores de la pared**

$$W_p = \frac{W_d}{6}$$

$$W_p = \frac{0,04 \text{ m}}{6}$$

$$W_p = 0,01 \text{ m}$$

Donde:

$W_p$  (m): Separación de los deflectores de la pared.

### **Altura inferior de los deflectores**

$$H_{b0} = H_{f2} + \frac{D_t}{2}$$

$$H_{b0} = 0,32 \text{ m}$$

Donde:

$H_{b0}$  (m): Altura inferior de los deflectores.

### **Altura superior de los deflectores**

$$H_{bf} = H_o - \frac{W_b}{6}$$
$$H_{bf} = 1,17 \text{ m} - 0,01 \text{ m}$$
$$H_{bf} = 1,16 \text{ m}$$

Donde:

$H_{bf}$  (m): Altura superior de los deflectores.

### **Altura total de los deflectores**

$$H_b = H_{bf} - H_{b0}$$
$$H_b = 1,16 \text{ m} - 0,32 \text{ m}$$
$$H_b = 0,84 \text{ m}$$

Donde:

$H_b$  (m): Altura total de los deflectores.

### **Altura de la chaqueta**

$$H_j = H_o + H_{f2}$$
$$H_j = 1,27 \text{ m}$$

Donde:

$H_j$  (m): Altura de la chaqueta.

### **Diámetro de la chaqueta**

$$D_j = D_t + 5 \text{ cm}$$
$$D_j = 0,50 \text{ m}$$

Donde:

$D_j$  (m): Diámetro externo de la chaqueta.

### Volumen disponible en la chaqueta

$$V_j = \frac{\pi \cdot (D_j - t_{c2})^2}{4} H_j - V_t$$
$$V_j = \frac{3,14 \cdot (0,50 \text{ m})^2}{4} 1,27 \text{ m} - 0,23 \text{ m}^3$$
$$V_j = 0,19 \text{ m}^3 = 19,00 \text{ l}$$

Donde:

$V_j$  (L): Volumen disponible en la chaqueta.

$t_{c2}$  (m): Espesor del cuerpo cilíndrico de la chaqueta.

### Diámetro equivalente de la chaqueta

$$D_{eq} = \frac{D_j^2 - D_t^2}{D_t}$$
$$D_{eq} = \frac{0,25 \text{ m}^2 - 0,20 \text{ m}^2}{0,45}$$
$$D_{eq} = 0,11 \text{ m}$$

Donde:

$D_{eq}$  (m): Diámetro equivalente de la chaqueta.

### Área de flujo del agua en la chaqueta

$$A_j = \frac{\pi \cdot (D_{eq} \cdot H_j)}{4}$$

$$A_j = \frac{3,14 \cdot 0,11m \cdot 1,27 m}{4}$$

$$A_j = 0,11 m^2$$

Donde:

$A_j$  ( $m^2$ ): Área de flujo del agua en la chaqueta.

$D_{eq}$  (m): Diámetro equivalente de la chaqueta.

### **Diámetro de los impulsores**

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

$$D = 0,15 m$$

Donde:

D (m): Diámetro de los impulsores.

### **Ancho de los impulsores**

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

$$W = 0,03 m$$

Donde:

W (m): Ancho de los impulsores.

### **Diámetro del disco del impulsor radial**

$$D_r = \frac{2 \cdot D}{3}$$

$$D_r = 0,10 m$$

Donde:

$D_r$  (m): Diámetro del disco del impulsor radial.

### **Largo de las paletas del impulsor radial**

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

$$L_r = 0,04 \text{ m}$$

Donde:

$L_r$  (m): Largo de las paletas del impulsor radial.

### **Altura del impulsor radial**

$$H_r = H_o - \frac{5 \cdot H_o}{6}$$

$$H_r = 1,17\text{m} - \frac{5 \cdot 1,17 \text{ m}}{6}$$

$$H_r = 0,19 \text{ m}$$

Donde:

$H_r$  (m): Altura del impulsor radial.

### **Altura del impulsor axial**

$$H_a = H_o - \frac{H_o}{3}$$

$$H_a = 1,17\text{m} - \frac{1,17 \text{ m}}{3}$$

$$H_a = 0,78 \text{ m}$$

Donde:

$H_a$  (m): Altura del impulsor axial.

### Velocidad de agitación

$$N = \frac{v \cdot 60 \left( \frac{s}{\min} \right)}{\pi \cdot D}$$
$$N = \frac{5 \text{ m/s} \cdot 60 \text{ (s/min)}}{\pi \cdot 0,15 \text{ m}}$$
$$N = 530,00 \text{ rpm}$$

Donde

N (RPM): Velocidad de agitación.

v (m/s): Velocidad periférica de los impulsor.

### Número de Reynolds en el impulsor

$$Re = \frac{\rho \cdot N \cdot D^2}{\mu}$$
$$Re = \frac{930,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 8,83 \text{ s}^{-1} \cdot (0,15 \text{ m})^2}{0,01 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$
$$Re = 18476,78$$

Donde:

Re (adim.): Número de Reynolds del fluido.

N ( $\text{s}^{-1}$ ): Velocidad de agitación.

$\mu \left( \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right)$ : Viscosidad del fluido a la temperatura y velocidad de agitación.

### Potencia requerida en la fase de agitación del proceso productivo

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5$$
$$P = (5,00 + 1,40) \cdot 930,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (8,83 \text{ s}^{-1})^3 \cdot (0,15 \text{ m})^5$$
$$P = 0,31 \text{ kW}$$

Donde:



$P \left( \frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\text{s}} \right)$ : Potencia requerida al emulsionar.

$N_p$  (adim.): Número de potencia.

$M$  (kg): Masa de preparación contenida en el tanque.

$\rho \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$ : Densidad de preparación contenida en el tanque.

### **Carga requerida en la fase de agitación del proceso productivo**

$$Q_e = N_Q \cdot N \cdot D^3$$

$$Q_e = (0,79 + 0,70) \cdot 8,83\text{s}^{-1} \cdot (0,15\text{m})^3$$

$$Q_e = 44,40 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Donde:

$Q_e \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$ : Carga requerida para la formación de la emulsión.

$N_Q$  (adim.): Número de flujo.

### **Tiempo de agitación requerido en el proceso productivo**

$$t_m = z \cdot \frac{V_{o_t}}{Q_e}$$

$$t_m = 300 \cdot \frac{179,00 \text{ l}}{3.600,00 \frac{\text{l}}{\text{min}}}$$

$$t_m = 20,16 \text{ minutos}$$

Donde:

$t_m$  (s): Tiempo de agitación.

$V_{o_t}$  (m): Volumen de operación del tanque.

$z$  (adim.): Recirculaciones por el circuito del patrón de flujo necesarios para emulsionar el producto.

$Q_e \left(\frac{m^3}{s}\right)$ : Carga requerida para la formación de la emulsión.

### Momento equivalente torsional del eje de agitación

$$M_T = \frac{60 \cdot P \cdot 10^6}{2\pi N}$$

$$M_T = 10.810,50 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Donde:

$M_T$  (N · mm): Momento equivalente torsional.

$P \left(\frac{N \cdot m}{s}\right)$ : Potencia requerida en la fase de agitación.

### Momento de mezclado

$$M_m = \left[ (T_1 + T_2) - \frac{M_T \cdot \tan(\alpha) \cdot 2}{D_p} \right] \cdot D_p + M_T \cdot \tan(\alpha) \cdot 2$$

$$(T_1 - T_2) = \frac{T}{215 \text{ mm}}$$

$$(T_1 - T_2) = 50,28 \text{ N}$$

$$T_1 = 3 \cdot T_2$$

$$T_2 = 25,14 \text{ N}$$

$$T_1 = 75,42 \text{ N}$$

$$M_m = \left[ 100,56 \text{ N} - \frac{10.810,50 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot \tan(20) \cdot 2}{300 \text{ mm}} \right] \cdot 300 \text{ mm} + 10.810,50 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot \tan(20) \cdot 2$$

$$M_m = 47263,9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Donde:

$M_m$  (N · mm): Momento de mezclado.

$T_i$  (N): Torque transmitido por el eje.

$M_T$  (N · mm): Momento equivalente torsional.

$D_p$  (mm): Diámetro máximo del mecanismo.

### Movimiento equivalente de mezclado

$$Me = \frac{\left[ M + \sqrt{M^2 + M_T^2} \right]}{2} \cdot \frac{s^2}{m}$$
$$Me = \frac{\left[ 47.263,9N * mm + \sqrt{47.263,9N * mm^2 + 10.810,50 N * mm^2} \right]}{2} \frac{s^2}{m}$$

$$Me = 47.874,12 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

Donde:

$Me$  (Kg · mm): Movimiento equivalente de mezclado.

### Diámetro del eje de agitación

$$D_{eje} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot Me \cdot K_s}{\pi \cdot (S \cdot 0,57 \cdot 0,18)}}$$
$$D_{eje} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 47.874,12 \text{ kg} \cdot \text{mm} \cdot 2}{\pi \cdot 100 \left( 11,74 \frac{Kg}{mm^2} * 0,57 * 0,18 \right)}}$$

$$D_{eje} = 15,94 \text{ mm}$$

Donde:

$D_{eje}$  (mm): Diámetro del eje de agitación.

$K_s$  (adim.): Factor de multiplicación para el momento de mezclado.

$S$   $\left( \frac{Kg}{mm^2} \right)$ : Esfuerzo del material.

### Velocidad de agua en la chaqueta

$$v_j = \frac{Re \cdot \mu}{\rho \cdot D_{eq}}$$
$$v_j = \frac{4.000,00 \cdot 0,36 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}{977,60 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,11 \text{ m}}$$
$$v_j = 0,01 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Donde:

$v_j \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$ : Velocidad promedio del agua en la chaqueta.

### Flujo de agua en la chaqueta

$$\dot{m}_j = \rho_j \cdot v_j \cdot A_j$$
$$\dot{m}_j = 977,60 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,01 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,80 \text{ m}^2$$
$$\dot{m} = 17,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Donde:

$\dot{m}_j \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$ : Flujo másico de agua en la chaqueta.

$v_j \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$ : Velocidad promedio del agua en la chaqueta.

$\rho_j \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$ : Densidad del agua a la temperatura de operación.

$A_j \left( \text{m}^2 \right)$ : Área de flujo en la chaqueta.

### Coefficiente de convección externo

$$h_j = \frac{J \cdot k}{D_{eq} \cdot (Pr)^{-\frac{1}{3}}}$$

$$h_j = \frac{150 \cdot 0,58 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})}{0,11 \text{ m} \cdot \left( \frac{4190,00 \left( \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \cdot 0,32 \cdot 10^{-3} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right)}{0,58 \frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-\frac{1}{3}}}$$

$$h_j = 1045,78 \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$$

Donde:

$h_j \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$ : Coeficiente individual de convección externo.

J (adim.): Factor adimensional.

$D_{eq}$  (m): Diámetro equivalente de la chaqueta.

$k \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right)$ : Conductividad térmica del fluido.

Pr (adim.): Número de Prandtl.

### Conductividad térmica del desodorante

$$k_e = k_c \cdot \left[ \frac{2 \cdot k_c + k_d - 2x_d \cdot (k_c - k_d)}{2 \cdot k_c + k_d - x_d \cdot (k_c - k_d)} \right]$$

$$k_e = 0,58 \cdot \left[ \frac{2 \cdot 0,58 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) + 0,19 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) - 2 \cdot 0,27 \cdot (0,58 - 0,19) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})}{2 \cdot 0,58 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) + 0,19 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) - 0,27 \cdot (0,58 - 0,19) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})} \right]$$

$$k_e = 0,53 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Donde:

$k_e \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right)$ : Conductividad térmica de la loción.

$k_c \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right)$ : Conductividad térmica de la fase continua.

$k_d \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$ : Conductividad térmica de la fase discontinua.

$x_d$  (amid.): Fracción volumétrica de la fase discontinua.

### Equivalente eléctrico en el calorímetro

$$J_e = \frac{V \cdot I \cdot t}{(T_2 - T_1)(m_{agua} \cdot C_{p_{agua}})}$$
$$J_e = \frac{121,21 \text{ voltio} \cdot 0,79 \text{ ampere} \cdot 207,00 \text{ s}}{(318,00 \text{ K} - 299,60 \text{ K}) \cdot (0,25 \text{ kg} \cdot 4,19 \left( \frac{J}{\text{kg} \cdot K} \right))}$$
$$J_e = 1,03 \text{ J/cal}$$

Donde:

$J_e$  (J/cal): Equivalente eléctrico en el calorímetro.

$V$  (voltios): Potencial eléctrico.

$I$  (Amperios): Corriente eléctrica.

$t$  (s): Tiempo.

$m_{agua}$  (kg): Masa de agua contenida en el calorímetro.

$C_{p_{agua}} \left( \frac{J}{\text{kg} \cdot K} \right)$ : Calor específico del agua.

$T_i$  (K): Temperatura del fluido.

### Calor específico del desodorante

$$C_{pe} = \frac{V \cdot I \cdot t}{(T_4 - T_3)(m_{solución} \cdot J_e)}$$
$$C_{pe} = \frac{120,30 \text{ voltio} \cdot 0,51 \text{ ampere} \cdot 210,00 \text{ s}}{(333,00 \text{ K} - 318,00 \text{ K})(0,20 \text{ Kg} \cdot 1,03)}$$
$$C_{pe} = 4,11 \left( \frac{J}{\text{kg} \cdot K} \right)$$

Donde:

$C_{pe} \left( \frac{J}{\text{kg} \cdot K} \right)$ : Calor específico de la preparación.

$J_e$ : Equivalente eléctrico en el calorímetro.

V (voltios): Potencial eléctrico.

$m_{\text{solución}}$  (kg): Masa de la preparación contenida en el calorímetro

$T_i$  (K): Temperatura del fluido.

### El número de Prandtl de la emulsión

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k}$$
$$Pr = \frac{4110 \frac{j}{kg \cdot K} \cdot 0,01 \frac{kg}{m \cdot s}}{0,53 \frac{j}{m \cdot K \cdot s}}$$

$$Pr = 77,54$$

Donde:

$C_p \left( \frac{j}{kg \cdot K} \right)$ : Calor específico del fluido.

$\mu \left( \frac{kg}{m \cdot s} \right)$ : Viscosidad del fluido a la temperatura de operación.

$k \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$ : Conductividad térmica del fluido.

### Número de Nusselt de la preparación

$$Nu = 0,36 \cdot Re^{0,67} \cdot Pr^{-\frac{1}{3}}$$
$$Nu = 0,36 \cdot 23017,50^{0,67} \cdot 77,54^{-\frac{1}{3}}$$
$$Nu = 145,20$$

Donde:

Nu (adim.): Número de Nusselt.

Pr (adim.): Número de Prandtl.

Re (adim.): Número de Reynolds del fluido.

$\mu \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \right)$ : Viscosidad del fluido a la temperatura de operación.

$\mu_w \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \right)$ : Viscosidad del fluido a la temperatura de la pared.

### Convección interna

$$h_o = \frac{Nu \cdot k}{D_t}$$

$$h_o = \frac{145,20 \cdot 0,53 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})}{0,45 \text{ m}}$$

$$h_o = 171,01 \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$$

Donde:

$h_o \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$ : Coeficiente individual de convección interno.

Nu (adim.): Número de Nusselt.

$k \left( \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \right)$ : Conductividad térmica del fluido.

### Área de transferencia de calor en el tanque

$$A_t = \pi \cdot D_t \cdot H_j$$

$$A_t = \pi \cdot 0,45 \text{ m} \cdot 1,27 \text{ m}$$

$$A_t = 1,80 \text{ m}^2$$

Donde:

$A_j \text{ (m}^2\text{)}$ : Área de transferencia de calor en el tanque.

$H_j \text{ (m)}$ : Altura de la chaqueta.



### Coefficiente global de transferencia de calor

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{dx_w}{k_w} + \frac{1}{h_j}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{1045,78 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)} + \frac{0,42 \cdot 10^{-2} m}{16 W/m \cdot K} + \frac{1}{171,01 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)}$$

$$U = 141,51 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Donde:

$U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$ : Coeficiente global de transferencia de calor.

$dx_w$  (m): Espesor de la pared.

$k_w \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$ : Conductividad térmica del material del tanque.

$h_j \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$ : Coeficiente individual de convección externo.

$h_o \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$ : Coeficiente individual de convección interno.

### Tiempo en alcanzar la temperatura de operación en el tanque

$$t = \frac{\ln \left( \frac{T_{j0} - T_L}{T_{j0} - T_{L0}} \right)}{\frac{-\dot{m}_j \cdot C_{pj} \cdot U \cdot A_j}{M \cdot C_{pt}(\dot{m}_j \cdot C_{pj} + U \cdot A_j)}}$$

$$t = \frac{\ln \left( \frac{76 - 63}{76 - 25} \right)}{\frac{-17,6 kg/s * 4,19 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 0,14 \frac{kJ}{m^2 \cdot Ks} \cdot 1,80 m^2}{44,94 Kg * 1,9 \frac{kJ}{kg \cdot K} (17,6 \frac{kg}{s} * 4,19 \frac{kJ}{kg \cdot K} + 0,14 \frac{kJ}{m^2 \cdot Ks} \cdot 1,80 m^2)}}$$

$$t = 961,39 s$$

Donde:

TL (K): Temperatura de operación requerida en el tanque.

TL0 (K): Temperatura inicial del contenido en el tanque.

Tj0 (K): Temperatura de entrada del fluido caloportador a la chaqueta.

t (s): Tiempo requerido para alcanzar la temperatura de operación en el tanque.

$C_{pj} \left( \frac{J}{kg \cdot K} \right)$ : Calor específico del fluido caloportado.

$C_{pt} \left( \frac{J}{kg \cdot K} \right)$ : Calor específico de la preparación en el tanque.

### Carga térmica requerida

$$Q = M \cdot C_{pe} \cdot \frac{\Delta TL}{\Delta t}$$
$$Q = 44,94kg \cdot 1,9 \left( \frac{KJ}{Kg \cdot K} \right) \cdot \frac{38K}{777,51 s}$$
$$Q = 3,52 kWt$$

Donde:

$C_{pe} \left( \frac{J}{kg \cdot K} \right)$ : Calor específico de la preparación.

TL (K): Temperatura del sistema.

t (s): Tiempo de operación.

### Diámetro de tubería

$$d_{oi} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_i}{v_i \cdot \pi}}$$
$$d_o = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,001 \frac{m^3}{s}}{0,9 \frac{m}{s} \cdot \pi}}$$
$$d_o = 3,93 cm$$

Donde:

$d_{0i}$  (m): Diámetro de tubería.

$Q_i$  ( $\frac{m^3}{s}$ ): Caudal de operación.

$v_i$  ( $\frac{m}{s}$ ): Velocidad de operación.

### Número de Reynolds en la tubería

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d_{0i}}{\mu}$$

$$Re = \frac{977,60 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,9 \frac{m}{s} \cdot 0,04 \text{ cm}}{0,000388 \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$Re = 89.117,81$$

$v$  ( $\frac{m}{s}$ ): Velocidad del fluido.

$\rho$  ( $\frac{kg}{m^3}$ ): Densidad del fluido a la temperatura de operación.

$d_{0i}$  (m): Diámetro de tubería.

$\mu$  ( $\frac{kg}{m \cdot s}$ ): Viscosidad del fluido a la temperatura de operación.

### Coefficiente de rugosidad relativa

$$e = \frac{\varepsilon}{d_{0i}}$$

$$e = \frac{0,05 \text{ mm}}{39,30 \text{ mm}}$$

$$e = 0,13 \cdot 10^{-2}$$

Donde:

$e$  (adim.): Coeficiente de rugosidad relativa

$\varepsilon$  (mm): Rugosidad absoluta.

$d_{0i}$  (mm): Diámetro de tubería.

### Cabezal de la bomba

$$Hb = z_2 - z_1 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} - \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} - \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + \sum \frac{f_i \cdot L_i \cdot v_i^2}{2 \cdot g \cdot D_i}$$
$$Hb = z_2 - z_1 + \left( f1 \frac{L_1}{d_{01}} + K_{ent} \right) \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \dots$$
$$\dots + \left( f2 \frac{L_2}{d_{02}} + K_v + K_{codo} + K_{sal} \right) \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$
$$Hb = 2,7 \text{ m} + \left( 0,023 \frac{1 \text{ m}}{0,0393 \text{ m}} + 0,5 \right) \frac{(0,9 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \dots$$
$$\dots + \left( 0,024 \frac{3,7 \text{ m}}{0,0257 \text{ m}} + 5,7 + 0,64 + 1 \right) \frac{(2,1 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$
$$Hb = 5,17 \text{ m}$$

Donde:

$f_i$ (adim.): coeficiente de fricción.

$v_i$  ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ): velocidad media del fluido.

$D_i$ (m): Diámetro característico.

$L_i$ (m): Longitud característica.

$g$ ( $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ): constante de gravedad.

$z_i$  (m): Altura del fluido.

$v_i$  ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ): Velocidad del fluido.

$P_i$  ( $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ ): Presión del fluido.

$\rho$  ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ): Densidad.

$Hb$  (m): Cabezal de la bomba.

$Hr$  (m): Cabezal de fricción.

### Potencia requerida por la bomba para el agua de intercambio de calor

$$P1 = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_i \cdot H_b}{\epsilon}$$
$$P1 = \frac{977,60 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,018 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 5,17 \text{ m}}{0,85}$$
$$P1 = 1,05 \text{ kW}$$

Donde:

P1 (kW): Potencia.

$g\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$ : constante de gravedad.

Hb (m): Cabezal de la bomba.

$Q_i\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$ : Caudal de operación.

$\epsilon$  (adim.): Eficiencia nominal de la bomba.

### Volumen de agua agregada hasta la inversión de fase

$$V_{co} = V_{ot} \cdot x_c \cdot 0,42$$
$$V_{co} = 179 \text{ l} * 0,73 * 0,42$$
$$V_{co} = 55 \text{ l}$$

Donde:

$V_{co}$  (l): Volumen de agua agregada hasta el punto de inversión de fase.

$V_{ot}$  (l): Volumen de operación del tanque.

$x_c$  (adim.): Fracción volumétrica de la fase continua.

### Altura de la columna del fluido en el punto de inversión de fase

$$H_{co} = \frac{(V_{co}) \cdot 4}{\pi \cdot D_t^2} + H_d$$

$$H_{co} = \frac{(55 \text{ l}) \frac{0,001m^3}{l} \cdot 4}{3,14 \cdot (0,45m)^2} + 0,23 \text{ m}$$

$$H_{co} = 0,58 \text{ m}$$

Donde:

$H_{co}$ : Altura de la columna del fluido en el punto de inversión de fase.

$V_{co}$  (l): Volumen de agua agregada hasta el punto de inversión de fase.

$D_t$  (m): Diámetro exterior del tanque.

### **Factor de servicio**

$$FS(\%) = \frac{\text{Días de operación en condiciones normales}}{\text{Días presentes en un año}} \times 100$$

$$FS(\%) = \frac{(365 - 30)}{365} \times 100 = 91,8\%$$

Donde:

$FS(\%)$ : Factor de servicio.

## **APÉNDICE B: Criterios de evaluación de la formulación.**

### Emulsión

- (a) Por la solubilidad que presentan los ingredientes activos de los desodorantes, las formulaciones de lociones desodorantes que generalmente presentan mayor eficiencia y destacan a nivel de acción, son las emulsiones O/W (Allan y otros, 2004).
- (b) Además las emulsiones O/W generalmente son menos costosas (en comparación a las W/O), y estimulan la acción de los químicos activos al absorberse y extenderse rápidamente en la piel. A la vez producen un efecto refrescante a través de la evaporación de la fase acuosa, hidratando la piel, sin dejar el brillo y sensación fuertemente oclusiva característica de las emulsiones W/O (Vivas, 2014).
- (c) Las emulsiones O/W presentan propiedades corrosivas considerables, debido a las propiedades de la fase externa para conducir componentes electroquímicos, en combinación a la facilidad de la fase oleosa al a reducción del oxígeno (O<sub>2</sub>). (Quiroga, Retamoso y Mc Donald, 1999).
- (d) Los enlaces de hidrógeno presentes en la fase continua de las emulsiones O/W favorecen el intercambio de calor requerido para la aplicación de los métodos fisicoquímicos de inversión de fase. Sin embargo, mantener la temperatura relativamente alta durante un tiempo prolongado puede causar la degradación de algunos componentes constitutivos comunes de la emulsión que sean sensibles al calor, incrementar el movimiento molecular de las gotas y desactivar el surfactante, durante las fases posteriores al llenado (Busto y Zamora, 2002).

### Ingredientes desodorantes

- (a) Entre los agentes bactericidas más utilizados en la industria se encuentran el tricloran, farnesol y el cloruro de benzalconio. Si bien se recomienda el uso de triclosan, el cloruro de benzalconio es el ingrediente activo más accesible (precio/disponibilidad) en el país (Vivas, 2014).
- (b) El cloruro de benzalconio es un polvo muy soluble en agua que actúa en lociones a concentraciones entre el 0,02 y el 0,5%, como bacteriostático y bactericida (Camero y Orejanegra, 2008).
- (c) Diversos estudios han comprobado que de las más de 300 especies conocidas de sábila, el *Aloe Barbadensis Miller*, destaca en cuanto poder antibacterial, antimicrobial y antifungal (Devi y otros, 2012).

### Ingredientes para el cuidado de la piel

- (a) El gel extracto de sábila contiene más de 75 compuestos químicos como la lignina, saponinas, antraquinonas, mono y polisacáridos, aminoácidos, enzimas, vitaminas y minerales; que aportan propiedades beneficiosas a productos cosméticos (Stevens, 2006).
- (b) De las 102 patentes analizadas por Dutt (2002) relacionadas al estudio de la actividad del gel de sábila, el máximo número de patentes investigadas (34) pertenece a desarrollos tecnológicos enfocados en la protección y cuidado de la piel.
- (c) El gel extracto de sábila cosmético se emplea en emulsiones de uso externo entre el 4% y el 6% (Camero y Orejanegra, 2008).
- (d) Se ha demostrado que las principales responsables de los olores desagradable son las bacterias que se encuentran en la bóvedas axilares; Gram-positivas de las cepas *Corynebacterium*, *Streptococcus* y *Propionibacterium* (Smits, Senti y Herbst, 2012).
- (e) Si bien existen varios estudios que demuestran el poder antibacterial del gel del Aloe Vera en algunas de éstas cepas, para lograr que éste tenga efecto de



ingrediente activo desodorante, es necesario a altas concentraciones (<60%) del extracto y aun así dependería de otros factores como el método de extracción y estabilización, del gel y métodos de fabricación y formulación, del producto (Fisher, 1991).

### Agentes tensoactivos

- (a) Se recomienda el uso de una mezcla de dos o más agentes tensoactivos, con concentraciones entre el 1 y el 10% cada uno (Cavazza, 1990).
- (b) Los surfactantes no iónicos etoxilados presentan un mejor desempeño, a nivel de estabilidad, y permiten la aplicación del método HLB-Temperatura desarrollado por Shinoda y Saito (1969) debido a que estos surfactantes son sensibles a los cambios de temperatura (Hernandez, 2004).
- (c) La mezcla de surfactantes no iónicos se recomienda que tengan un valor HLB promedio entre 10 y 15 (Haq y Gardener, 1993).
- (d) Se ha demostrado un especial desempeño en cuanto a estabilidad de la emulsión, de formulaciones con dos surfactantes y una relación en peso de 1:1. (Batton, Chen y Towery, 1998)
- (e) Entre los surfactantes no iónicos destacan los alcoholes grasos de cadena larga, específicamente: el alcohol cetílico y esterarílico con 12 y 20 moles de óxido de etileno denominados según la INCI (Nomenclatura Internacional de Ingredientes Cosméticos) como Cetareth-12 y Cetareth-20 respectivamente. Coloquialmente se les conoce como EMULGIN B1 y EMULGIN B2 y debido a que la solubilidad en agua incrementa con el contenido de óxido de etileno, estos presentan un valor de HLB de 13 y 16 respectivamente (Mujica y colaboradores, 2010).
- (f) Tamarkin, Gazal, Hazot, Schuz y Papiashvili (2013) explica que generalmente, los agentes tensoactivos poseen potenciales propiedades irritantes. El uso de Cetareth-12 y Cetareth-20 no presenta este efecto.
- (g) Usualmente en emulsiones O/W el Cetareth-12 y Cetareth-20 se usa en concentraciones entre el 1% y el 3% (Camero y Orejanegra, 2008).

### Agentes estructurantes

- (a) Se recomienda el uso de entre el 4 y el 15% de un agente de cuerpo (estructurante). Preferiblemente un alcohol de cadena larga (más de 12 carbonos) como: alcohol estearílico, cetílico, láurico, mirístico o mezclas de estos (Cavazza, 1990).
- (b) El alcohol cetílico es ampliamente utilizado en cremas y lociones entre un 2-15%. Éste es producido por la hidrogenación de aceites vegetales y es un compuesto inmiscible en agua y con un punto de fusión respectivo que varía entre los 45-50°C (Camero y Orejanegra, 2008)

### Disolventes

- (a) En la fase acuosa generalmente se emplea agua desmineralizada como vehículo en la preparación de lociones (Arias, 2008)
- (b) Del 1 al 10% de un disolvente humectante como la glicerina, el propilenglicol, el sorbitol y varios polioles (Cavazza, 1990).
- (c) El propilenglicol es un líquido obtenido por hidrolisis del óxido de propileno. Ésta es una sustancia miscible en agua e inmiscible en aceites, que presenta una densidad de 0,875 g/ml y se utiliza en concentraciones entre el 5-10%.

### Emolientes

- (a) Del 4 al 20% de un emoliente seleccionado de algún aceite mineral (Cavazza, 1990). La parafina líquida está constituida por una mezcla de alcanos pesados. Ésta a su vez es un constituyente común de la fase oleosa de emulsiones O/W de densidad entre los 0,85 y 0,9 g/ml.
- (b) El miristato de isopropilo es otro componente lubricante y emoliente, sintetizado a partir del propano y usado en la fase oleosa (prácticamente insoluble en agua) de emulsiones de uso tópico entre el 2-4% (Camero y Orejanegra, 2008).

## Conservantes

- (a) Los agentes de conservación más usados en productos del cuidado personal son: los parabenos (preservativos sintéticos). Estos compuestos se complementan bastante bien con otros agentes de protección microbiológicos (Arias, 2008).

## Valores de solubilización (HLB) de la materia prima

- (a) Griffin (citado por Gennaro y otros, 1995) desarrolló una serie de “valores requeridos de HLB” de distintos compuestos, esto es, el valor necesario para que un material determinado sea emulsionado efectivamente. Se debe verificar si se cumplen los valores correspondientes de solubilización (HLB) para los aceites y materiales afines que se utilizan en la formulación, utilizando la siguiente tabla:

<i>Sustancia</i>	<i>W/O</i>	<i>O/W</i>
Ácido estéarico	-	17
Alcohol cetílico	-	13
Lanolina anhidra	8	15
Aceite de algodón	-	7,5
aceite mineral liviano	4	10-12
aceite mineral pesado	4	10,5
Cera, cera de abejas	5	10-16
microcristalina	-	9,5
parafina	-	9

Fuente: Gennaro (1995)

### APÉNDICE C: Características del estado Falcón.

El Centro Nacional de Innovación Tecnológica (CENIT) y Marín (2014) informan que:

- (a) El estado Falcón es el undécimo estado con mayor superficie del país (2,81 % del territorio estatal) y cuenta con una población de alrededor de los 902.847 habitantes.
- (b) Específicamente la ciudad de punto fijo pertenece a La Zona Franca Industrial, Comercial y de Servicios de Paraguaná (ZONFIPCA) y en su área metropolitana, suma una población de alrededor de los 277.000 habitantes.
- (c) Las excelentes características agroclimáticas para el cultivo de sábila que presenta el estado Falcón, han hecho que éste se convierta en el principal estado productor de sábila de tipo *Aloe Barbandensis Miller* del país. Esta planta se cultiva desde la región norte costera hasta el suroeste del estado, en un total de 10 municipios y una superficie que comprende alrededor de las 2.660 hectáreas; donde se estima que se producen alrededor de 53.200 kg de penca de sábila (Piña, 2005).

Las condiciones climáticas de la ciudad de Punto Fijo presentan los siguientes valores:

Insolación media (hora/decimo)	8,19
Radiación media (cal/cm <sup>2</sup> )	477,80
Temperatura media (°C)	27,02
Humedad relativa media (%)	76,17
Nubosidad media (octavos)	3,60
Velocidad media del viento (Km/h)	11,77

Precipitaciones (mm)	56,67
Evaporación (mm)	210,70

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

**APÉNDICE D: Ministerio del Poder popular para las Industrias (MPPI),  
beneficios y ventajas de la Zona Franca.**

- Depósitos con bajos cánones de arrendamiento.
- Vialidad interconectada con una red de autopista.
- Cercanía al Puerto Internacional Guaraná, el cual posee dos muelles y sistemas de contenedores.
- Cercanía al Centro de Refinación Paraguaná.
- Cercanía al Aeropuerto Internacional "Josefa Camejo".
- Oportunidad de internación de productos al mercado nacional.
- Sistemas de vigilancia y de protección industrial.
- Procedimientos aduaneros simplificados.
- Quedan exentos del pago de Impuesto sobre la Renta los enriquecimientos obtenidos por las personas jurídicas establecidas en las zonas francas, derivados de la colocación de sus productos fuera del país, por un período de diez (10) años.
- Las mercancías originarias y procedentes del exterior con destino a las zonas francas no causarán derechos arancelarios, tasa por servicio de aduana, ni impuestos internos, al valor agregado, a la venta u otros semejantes.
- Las ventas de bienes, insumos y materias primas, realizadas desde el resto del Territorio Aduanero Nacional a una zona franca, serán consideradas como una exportación.
- El ingreso y salida de mercancías a una zona franca se tramitará bajo la modalidad de despacho o descarga directa, establecida en la Ley Orgánica de Aduanas, lo que se traduce en una reducción de los costos y tiempo asociado a la movilización de las mercaderías.
- A diferencia de otros regímenes aduaneros, las mercancías almacenadas en una zona franca no se encuentran sujetas a la constitución de fianza o garantía del pago de los tributos aduaneros, lo cual equivale a una reducción de costos financieros.

- Financiamiento Indirecto del Fisco del pago de los impuestos de importación, pues la mercancías almacenadas en una zona franca, pueden ser internadas al resto del Territorio Aduanero Nacional en cualquier momento, sin estar sujetas al plazo (35 días) establecido en la Ley Orgánica de Aduanas.
- Los productos originarios de una zona franca, que hayan sido resultado de una transformación sustancial u operaciones mínimas, podrán ser internados al resto del Territorio Aduanero Nacional, sin ningún tipo de limitaciones, salvo el pago de los impuestos de importación correspondiente al porcentaje de componente importado.

## **APÉNDICE E: Criterios de diseño del proceso y selección de sus parámetros de operación.**

### Línea de producción

- (a) Para definir un proceso productivo y sus parámetros de operación, se evalúan ejemplares preliminares del producto obtenidos a escala de laboratorio, piloto y a nivel industrial; para realizar los ajustes necesarios al proceso (Betancourt, 2014).
- (b) El caudal de adición de agua al tanque antes del punto de inversión de fase, es de suma importancia al emulsionar los ingredientes (Plaza, 2007).
- (c) Las temperatura del contenido en el tanque y la temperatura de adición de agua al tanque no deben presenta una diferencia mayor a 5°C (Shinoda y Saito, 1969).
- (d) La de adición de agua al tanque se realiza a una temperatura de 3 a 5°C mayor que la fase oleosa (Gennaro, 1995).
- (e) Un factor de suma importancia del producto propuesto es su técnica de preparación. Por esta razón para definir un proceso productivo y sus parámetros de operación, primero se diseña un ejemplar preliminar a ser evaluado y modificado según prototipos del producto obtenibles a escala laboratorio, piloto y/o industriales (Betancourt, 2014).

### Características del producto asociadas al proceso

- (a) Debido a que se considera que la conductividad eléctrica del agua es buena, en comparación a la conductividad de las sustancias orgánicas, si se mide dicho valor se puede determinar si la emulsión en estudio es O/W o W/O (Valladares, 2005).
- (b) Bernice, E., Green, M. y Normington, D. (2008) indican que la viscosidad recomendada para lociones corporales, a nivel de consistencia, se encuentra entre los valores 5.000 y 9.000 cP.
- (c) La curva de la dependencia de la viscosidad en relación a la temperatura, se describe bastante bien a partir de la ecuación de Arrhenius, sugerida por Llumiquinga (2012).



- (d) Shinoda y Saito (1969) recomienda calentar las fases hasta 4°C por debajo del PIT de la emulsión y mantener esta temperatura durante el proceso de dispersión.
- (e) Allan y otros (2004) refieren que para las emulsiones estructuradas con ceras orgánicas, es conveniente o deseable llenar a una temperatura de alrededor a los 30°C.
- (f) Kaur (2009) consiguió un mejor resultado para una emulsión O/W, a nivel de estabilidad, mientras más se acercaba el valor del pH a neutro.
- (g) El pH de la piel está definido, según numerosas evaluaciones fisiológicas, entre 5,4 – 5,9. Una loción tópica debe conservar sus valores de pH entre este rango. Además se ha demostrado que valores inferiores a 4,5 y superiores a 8,5, producen irritación dérmica en las personas (Blaak y otros, 2011).
- (h) En caso que las lociones tópicas presenten valores de pH característico de preparaciones básicas, se recomienda el uso de la trietanol amina, como base para para compensar el valor del pH del producto.
- (i) Los valores de la conductividad térmica de un fluido compuesto por una mezcla de dos fases son extremadamente difíciles de obtener mediante ensayos experimentales, debido a que los métodos y aparatos para medir este valor aún se encuentran en desarrollo por varios investigadores; debido a su complejidad (Nowrey y Woodams, 1968).
- (j) Wang y Knudsen (1958) proponen emplear un método semiteórico para estimar la conductividad térmica de un sistema líquido-líquido.
- (k) Bailey (1984) indica valores de la conductividad térmica del agua y algunos aceites y grasas utilizados a nivel industrial.
- (l) El tamaño de gota de la emulsión deberá estar entre los 5 – 100  $\mu\text{m}$  (Marquez, Forgiarini y Bullon, 2007).

#### Orden de adición de los ingredientes

- (a) Tong, Wang, Yu, Chen, y Shi, (2012) sugiere preparar primero una emulsión en blanco (sin ingredientes activos), para luego, justo antes de enfriar la

preparación, agregar y dispersar los ingredientes activos cosméticos y terapéuticos a la loción.

- (b) Colonval (2011) demostró que al disolver los surfactantes en un volumen de líquido relativamente bajo, antes de agregarlo a un volumen mayor, se logra una completa disolución del surfactante y se facilita la formación de la emulsión.

#### Parámetros de la agitación

- (a) Briceño y Cobos (2005) refieren que en emulsiones O/W de bajo contenido de fase interna (menor al 40% en masa) una dispersión efectiva se alcanza al preparar la emulsión operando a régimen turbulento. Esto ocasiona que el fluido esté sometido a un corte intenso, cerca del impulsor y que circule a través del recipiente (sin zonas de estancamiento) hasta llegar de nuevo a la zona de corte (Couper y otros, 2005).
- (b) Sabiendo que los deflectores minimizan la importancia del efecto de la gravedad, al reducir el efecto vórtice y que a su vez al mantener la composición del orden de adición de los ingredientes entre el sistema del laboratorio y el industrial, se reduce la importancia de determinar el número de Froude y Weber en el escalamiento (Couper y otros, 2005).
- (c) Debido a que en los procesos agitados los remolinos de difusión tienen su máximo en la región del impulsor, cerca del 50 % de la energía suministrada por el mismo se disipa en la región que rodea al agitador y por lo tanto, ésta zona es la de mayor interés desde el punto de vista de la dispersión y el rompimiento de las gotas (Cossío, 2009).
- (d) Tomando en cuenta que a velocidad periférica del impulsor por lo general está dentro del rango 4,5-6,1 (m/s), para tanques con deflectores agitados por turbinas, diseñados para la mezcla líquido-líquido; según Couper y otros (2005).
- (e) Perry (2001) refiere que la velocidad máxima de agitación para tanques con deflectores agitados por turbinas, diseñados para la mezcla líquido-líquido generalmente corresponde a un valor dentro del rango de 15-20m/seg y a alrededor de  $1 \text{ kW/m}^3$  de potencia.

- (f) Himmelsbach y otros (2006) proponen una ecuación para determinar el tiempo requerido del proceso de agitación a través de una “tasa de circulación” estimada según el fluido en estudio.
- (g) Armenta y Rodríguez (2004) proponen una ecuación para determinar el número de Reynolds de un sistema con agitación mecánica.
- (h) Salager (1999) determinó que una agitación intermitente con períodos de reposo del orden del minuto, cada cinco minutos de operación agitada, es más efectiva que la agitación ordinaria continua.
- (i) Sócrates (2011) formuló unas correlaciones para determinación del número de Nusselt, a partir del número de Reynolds del fluido, el de Prandtl y el tipo de impulsor para el coeficiente interno.
- (j) Armenta y Rodríguez (2004) recomienda determinar el coeficiente externo por la turbulencia del fluido en el interior de la chaqueta, mediante el uso del gráfico del Apéndice S.
- (k) Entre los usuarios y proveedores de sistemas agitados es común el término de “tasa de circulación” del fluido, para determinar el tiempo necesario de agitación, a partir del número de veces que es necesario circular el volumen del lote preparado para alcanzar una cierta dispersión y tamaño de gota en el producto (Himmelsbach, Houlton, Keller y Lovallo, 2006).

#### Caudales de agua de alimentación en el proceso

- (a) Al añadirse agua gradualmente al tanque que contiene la mezcla de los componentes de la fase oleosa hasta el punto de inversión de fase, el caudal de agua de alimentación, es un factor importante en la reducción del tamaño de gotas (Sagitani, 1981)
- (b) Se empleó como caudal de adición del agua (que comprende a la parte de la fase acuosa que no es empleada en la disolución de los conservantes e ingredientes activos) antes del EIP, un caudal de un valor de 3,8 ml/min, para un tanque de 0,5 l indicado por Plaza (2007).

- (c) El caudal de agua requerido en las operaciones de transferencia de calor en la chaqueta se determinó a partir de la recomendación de Olsson (2005) de trabajar a un régimen turbulento en el fluido de la chaqueta, para una transferencia de calor uniforme.
- (d) El caudal de diseño de las tuberías seleccionado, debió estar dentro del rango de velocidades de flujo en tuberías recomendadas para distintos líquidos, indicado en la siguiente tabla de velocidades recomendadas para distintos fluidos en tuberías:

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Fuente: diseño del sistema de tuberías y cálculo de las bombas (s.f)

## **APÉNDICE F: Criterios utilizados para la definición del proceso productivo y la selección de los equipos que lo constituyen.**

### Proceso productivo

- (a) En el sector manufacturero que corresponde a la farmacia y cosmética, cerca del 80% de los procesos industriales operan de forma discontinua. (Bayas y Nuñez, 2011).
- (b) El desodorante de presentación de 75 mililitros, correspondió al aumento más alto de los precios regulados en la Gaceta oficial N° 40.473, con un valor de 130% en comparación al último precio autorizado en abril del 2012 (Yapur, 2014).
- (c) Shinoda y Saito (1969) determinaron que: “mientras mayor sea la diferencia entre el PIT del surfactante y la temperatura de operación en la formación de la emulsión, más grandes serán las gotas de la fase interna.”
- (d) Shinoda y Saito (1969) descubrieron que se mejora el proceso agitación, si se mantiene una temperatura cerca de la PIT del surfactante (inversión de fase transicional) al emulsionar, para luego añadir componentes termo-sensibles y enfriar rápidamente hasta la temperatura de llenado; donde ya la tasa de coalescencia es mucho más lenta.
- (e) Preziosi y colaboradores. (2013) recomiendan el método de inversión de fase ampliamente utilizado en la industria cosmética, también conocido como evento catastrófico, en la preparación de emulsiones para la reducción del tamaño de las gotas. En éste ocurre un cambio brusco y dramático en la morfología de la emulsión, causado por cambios graduales de las condiciones de operación.
- (f) Sagitani, (1981) indican que al formar una solución de la fase oleosa mezclando los ingredientes hidrofóbicos junto con los surfactantes en un solvente orgánico mediante calentamiento, para posteriormente añadir gradualmente una fase acuosa precalentada a la fase oleosa, se obtiene una emulsión más uniforme que el método “*surfactante-en-agua*”.

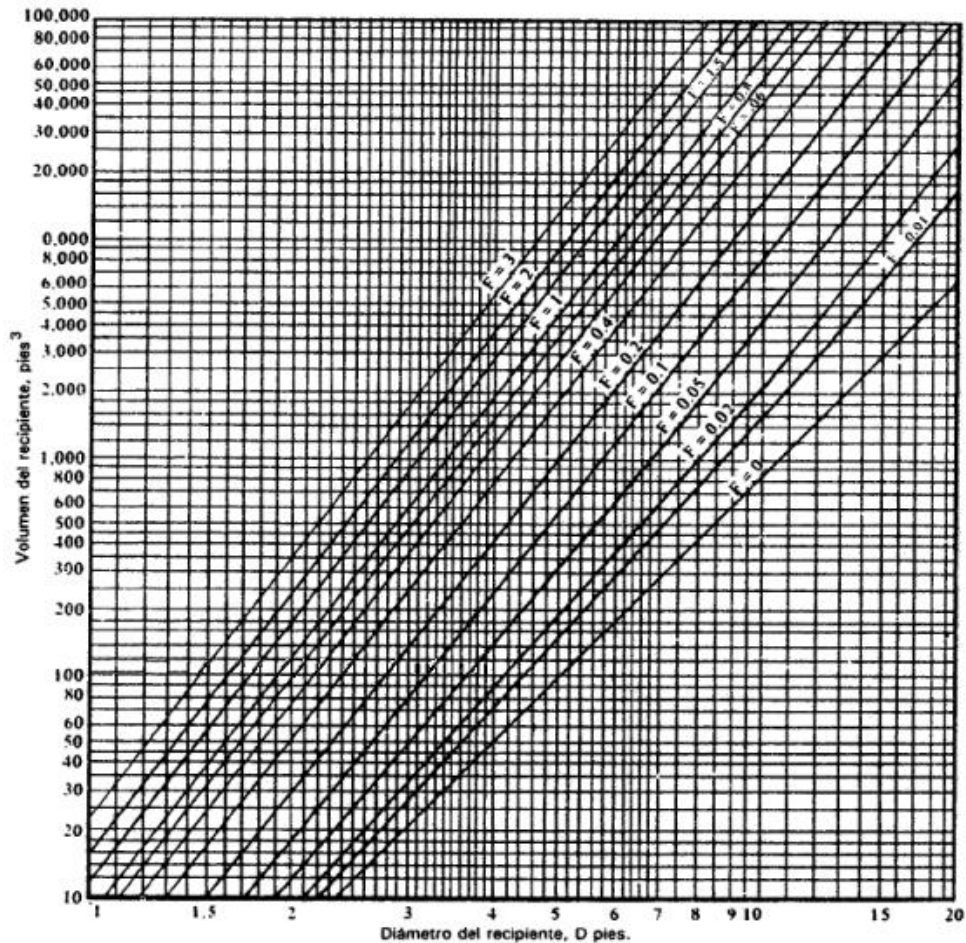
## Tanque

(a) El diámetro interno óptimo del tanque se determina a partir del volumen de diseño determinado y el material escogido de construcción, a partir del factor adimensional descrito por Manrique (2011) mediante los siguientes pasos:

- En un primer paso se determina el factor de diseño “F”, por la siguiente ecuación:

$$F = \frac{P}{C \cdot S \cdot E} \quad (5)$$

- Seguidamente, con dicho valor y el volumen del recipiente “V” en m<sup>3</sup>, para determinar el diámetro interior “Dt” del recipiente (m) (sabiendo que un pie es aproximadamente 30,48 cm) utilizamos la siguiente figura:



- (b) Cossío (2009) indica que los recipientes seleccionados para contener la mezcla bajo agitación, generalmente son tanques verticales de forma cilíndrica cerrados, cuyo diámetro puede variar entre los 10cm y los 10m, que cuenten con cuatro deflectores, a distancias radiales de 90° cada uno, ya que estos recipientes muestran un mejor desempeño en cuanto a agitación.
- (c) Cárdenas y Fuentes (2011) recomiendan diseñar la altura (H) y diámetro del recipiente (Dt) manteniendo su relación entre el intervalo  $3 \leq H/Dt \leq 1$ ; a su vez se sugiere mantener la alimentación de los ingredientes y la salida del producto lo más alejado que se pueda. Sus dimensiones dependen del volumen de diseño, el cual se toma por seguridad entre el 10 y el 50% mayor que de operación definido según los requerimientos del proceso (Armenta y Rodríguez, 2004).
- (d) Al usar aceros inoxidable austeníticos en la construcción de tanques que manejen fluidos corrosivos, Manrique (2011) recomienda utilizar un margen de corrosión de 1/8" para compensar las posibles cargas a las que se pueda encontrar el recipiente debido a la corrosión que origine el producto.

#### Techo y fondos de tanques

- (a) Los techos y fondos toriesféricos (de segundo tipo en la Figura N°7), también llamadas bombeados esféricos, son las de mayor aceptación en la industria, debido a sus adecuados patrones de flujo, fácil construcción, bajo costo y a que soportan grandes presiones manométricas; en comparación a los otros tipos de tapas (Romero, 2010).
- (b) Se tomó como criterio de diseño factores determinados por Manrique (2011), los cuales consisten en aproximar el volumen de la tapa al diez por ciento de tres veces el diámetro del tanque ( $0,1 \cdot D_t^3$ ), el radio de la corona (L) igual al diámetro del tanque y el radio interior de rebordeo (r) igual al 6% del diámetro del tanque.
- (c) En el dimensionamiento de los recipientes se considera que estos estarán sometido a dos tipos principales de esfuerzos, los circunferenciales y los

longitudinales. Se tomaron como factores de diseño de las tapas unas eficiencias de juntas para cuerpos cilíndricos sugeridas por Manrique (2011) de 0,85 y 1,00 para los techos y los fondos toriesféricos, respectivamente.

- (d) El código ASME recomienda tomar una eficiencia (E), para un junta dentro de la categoría A,B,C y D, de la unidad (100%); para recipientes con fondo toriesférico.
- (e) El factor de fricción “f” se puede relacionar con el número de Reynolds, la rugosidad relativa de la tubería ( $\varepsilon/D$ ) y los coeficientes de resistencia de los accesorios (Peters y Timmerhaus, 1991).

### Eje de agitación

- (a) Se toma que el radio de la polea del eje principal, el diámetro máximo y ángulo de presión del mecanismo presentan valores de 215 mm, 300 mm y 20°, respectivamente. Datos tomados del Design of Transmission Shafts and Drafting Rollers por el Programa Nacional de Aprendizaje y Expansión Tecnológica de la India (S.F).
- (b) De acuerdo al código ASME, para el diseño de ejes de trasmisión, el esfuerzo máximo permisible por el eje, se aproxima al 18% del máximo esfuerzo de tracción permisible.

### Deflectores del tanque de agitación

- (a) En tanques que no alcanzan los 1000l de capacidad, son suficientes 4 placas deflectores, para evitar remolinos y formación de vórtice (Quince, 2013).
- (b) Para ese requiere transferencia de calor del producto con las paredes del tanque, los baffles se ubican a una distancia equivalente a 1/6 de su espesor de dicha pared (Quince, 2013).
- (c) Si los deflectores se extienden por encima de la superficie del líquido, se crea un estancamiento del fluido en la superficie. Por esta razón dichos accesorios se deben instalar justo debajo de la superficie del líquido y deben extenderse



hasta la parte baja de la pared del tanque. Como una regla general, se diseñan para que influyan en la agitación a partir de alrededor de una altura de  $1/3H$ , con un grosor que oscila entre  $1/10$ - $1/12$  del diámetro total del tanque ( $D_t$ ) (Couper y otros, 2005).

### Impulsor

- (a) En los sistemas de preparación de emulsiones, ya que estos procesos exigen progresivamente una mayor potencia por unidad de volumen y más fuerza cortante que otras mezclas líquido-líquido, son indispensables los impulsores de flujo radial de turbina vertical (Briceño y Cobos, 2005).
- (b) En la mezcla de líquidos de relativa moderada a baja viscosidad, se suelen escoger arreglos que combinen el flujo radial con axial de la preparación. Estos arreglos contribuyen al corte e imparten mejores patrones de flujo, permitiendo a su vez operar a un mayor volumen de contenido y mejorar la transferencia de calor del sistema (Cossío, 2009).
- (c) Para los impulsores empleados en la agitación que opere a regímenes de flujo turbulentos, la relación entre el diámetro del impulsor ( $d$ ) y el tanque ( $D_t$ ), generalmente se mantiene entre el rango  $0,3 \leq d/D_t \leq 0,5$ ; sabiendo que las emulsiones requieren tasas de potencia y corte impartida por unidad de volumen en el diseño particularmente altas, se prefieren los diámetros de impulsores bajos (Quince, 2013).
- (d) Cossío, 2009 refiere las Dimensiones estándar de un impulsor de seis paletas planas verticales atornilladas al disco de soporte y un impulsor de cuatro paletas planas inclinadas a un ángulo constante de  $45^\circ$ . Además indica que “el impulsor o impulsor inferior (en el caso de una configuración que cuente con dos impulsores) puede trabajar eficientemente desde una altura correspondiente a la mitad del diámetro del impulsor ( $0,5d$ ) hasta el doble de este ( $2d$ ).
- (e) Por conveniencia, comúnmente los impulsores para sistemas agitados se caracterizan mediante valores numéricos límite, es decir, por sus características

a altos valores de Reynolds (Couper, Penney y Fair, 2005). Los valores numéricos característicos de algunos impulsores, trabajando en régimen turbulento, se muestran en la siguiente tabla:

Tipo	N° de deflectores	Np	Nq
Hélice	0	0,30	
Hélice	3-8	0,33-0,37	0,40-0,55
Turbina de hojas verticales	0	0,93-1,08	0,33-0,34
Turbina de hojas verticales	4	3,00-5,00	0,70-0,85
Turbina de hojas inclinadas, 45°	0	0,70	0,30
Turbina de hojas inclinadas, 45°	4	1,30-1,40	0,60-0,87
Ancla	0	0,28	

FUENTE: de Couper y otros (2005)

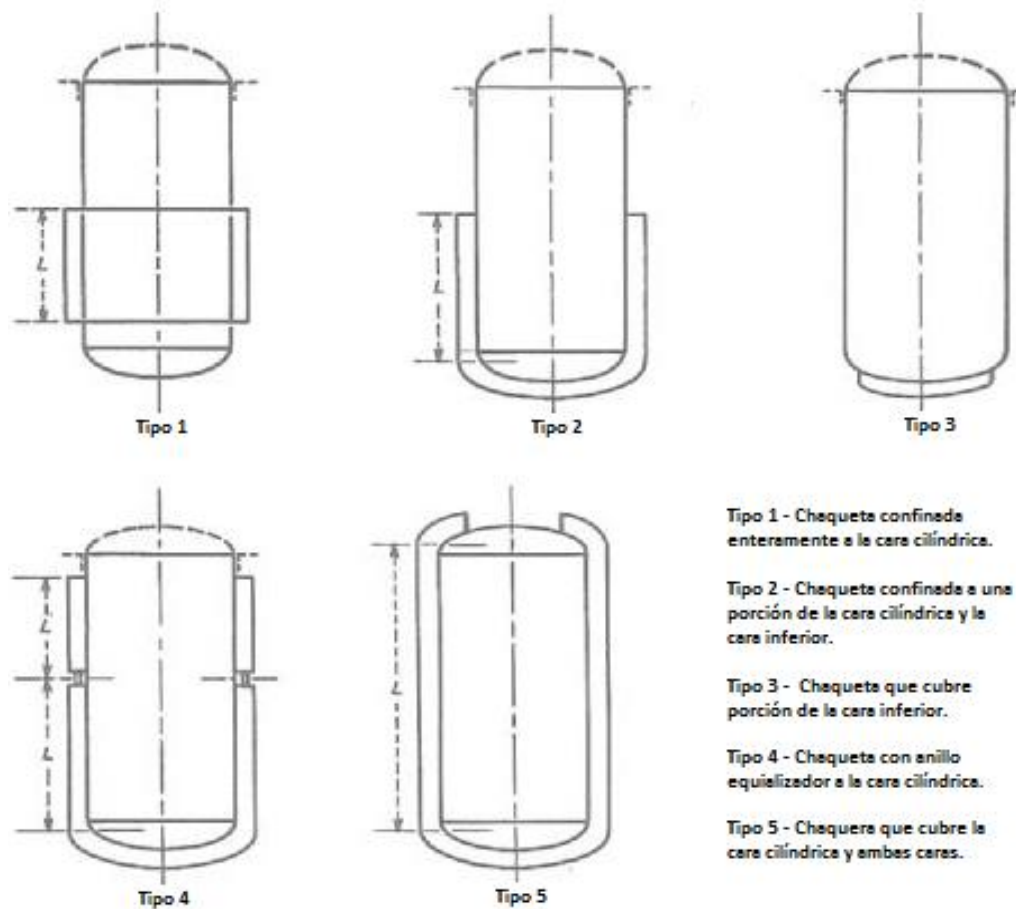
- (f) El máximo nivel del líquido y la altura en que se colocan los impulsores se pueden determinar a partir de la viscosidad de la preparación, mediante unos criterios empíricos para el diseño del tanque de agitación formulados por Couper y otros (2005); mostrados en la siguiente tabla:

Viscosidad cP (Pa*s)	Máximo nivel del líquido (H/Dt)	Número de impulsores	Altura del impulsor	
			Inferior	Superior
<25.000	1,4	1	H/3	-
<25.000	2,1	2	Dt/3	(2/3)H
>25.000	0,8	1	H/3	-
>25.000	1,6	2	Dt/3	(2/3)H

Fuente: Couper, Penney Fair, 2005).

### Chaqueta

- (a) Los tipos de chaquetas se pueden clasificar según la siguiente figura:



Fuente: Armenta y Rodríguez (2004).

El espacio entre los diámetros externos de la chaqueta y el recipiente, para sistemas agitados sin reacción) se recomienda de 2 pulgadas, es decir de aproximadamente 5 cm de diferencia, según lo sugerido por Kern (1995).

- (b) En la determinación de los esfuerzos que influyen sobre las partes del tanque y chaqueta a diseñar en este trabajo se consideró principalmente la carga generada por presión de diseño (20% o 30psi superior a la presión de operación) interna asociada a la carga del fluido.
- (c) En los últimos años los ingenieros de procesos han migrado hacia el uso de agua, como medio de calentamiento en tanques de agitación enchaquetados. El agua como fluido caloportador en el proceso distribuye el calor de una manera más uniforme sobre la superficie del tanque, permitiendo graduar la temperatura del mismo de una manera más sutil y precisa en el producto;

eliminando “puntos calientes”, “shock térmico” y a sobrecalentamiento. Además, la temperatura en la chaqueta se puede programar para que caliente, mantenga la temperatura y luego enfríe el proceso, introduciendo agua relativamente fría en la chaqueta a una relación controlada, sin la necesidad de cambiar de fluido y detener el proceso (Faagau, 2011).

### Espesor

- (a) El espesor mínimo del cuerpo cilíndrico y chaqueta de determina de acuerdo a la Parte de la Norma UG-27 y el de la tapa toriesférica para la UG-32, del código ASME Sección VIII, División 1.
- (b) El espesor del equipo es dependiente del material empelado, la presión interna y su geometría (Guzman, 2006).
- (c) La presión interna está relacionada a las fuerzas asociadas a las condiciones de diseño y operación de un equipo, que actúan sobre las respectivas partes del recipiente que deben resistirlas” (Romero, 2010).
- (d) Dado que los esfuerzos químicos incluyen la corrosión en varias formas (uniforme, local, galvánica, por erosión, etc), generalmente se especifica un grosor extra en el diseño de algunos equipos que prevean un ataque progresivo al material (Armenta y Rodríguez, 2004).

### Bombas

- (a) Guerrero (2009) indica que normalmente el sistema de bombeo se selecciona según las características específicas del circuito, principalmente el caudal ( $Q$ ) de operación requerido y su respectiva carga hidráulica ( $H_0$ ).
- (b) Las bombas centrífugas, son las más utilizadas en procesos que involucren el transporte de líquidos que se consideran poco viscosos (Obreque, 2008).
- (c) Las bombas centrífugas, en general, son los equipos preferidos al trabajar con fluidos líquidos en la industria y se seleccionan por su curva parabólica característica de ( $H_0$ ), contra ( $Q$ ); provista por los fabricantes (Guerrero, 2009).

- (d) Existen bombas centrífugas de una y varias etapas. En las bombas de una etapa se pueden alcanzar presiones de hasta 5 atm, en las de varias etapas se pueden alcanzar hasta 25 atm de presión, dependiendo del número de etapas (Obreque, 2012).
- (e) Para una bomba, el rendimiento es 80%, pero generalmente varía entre 50 y 85% (Obreque, 2012).

#### Válvula de descarga

- (a) Se toman como referencia los materiales recomendados por Armenta y Rodríguez (2004) para las partes de una válvula de tipo émbolo.

#### Máquina de llenado

- (a) La mayoría de los procesos por lotes son drenados por el fondo del tanque hasta la estación de llenado y luego al envase en el que será comercializado (Llumiyinga, 2012).
- (b) Según un estudio realizado por Cueva y Flores (2008), en el cual se evaluaron tres distintas alternativas de sistemas de llenado, se determinó que el método más efectivo es el que aprovecha la gravedad, en la etapa de llenado de los envases comerciales del proceso.
- (c) En las progresiones mencionadas se debe tener un producto que fluya, es decir que venza las resistencias generadas por el rozamiento con los equipos, y así minimizar problemas como el riesgo de bloqueo de la línea de producción y el llenado incompleto de los recipientes (Arias, 2008).

#### Material de los equipos

- (a) Peters y Timmerhaus (1991) indican como material de construcción de tanques, intercambiadores de calor y transporte de fluidos, principalmente evaluando la

relación precio y propiedades (mecánicas y anticorrosivas), los tipos AISI 302 y su variación el 304.

- (b) Los aceros inoxidables, evitan la precipitación de carburos durante periodos prolongados de alta temperatura (Armenta y Rodríguez, 2004).
- (c) Entre las familias de aceros inoxidables utilizados en la industria, resaltan los austeníticos por su excelente capacidad de conformado y soldado y su relación entre el costo y la capacidad de soportar esfuerzos térmicos, mecánicos y químicos requeridos por los equipos del proceso (Guzmán, 2006).
- (d) Armenta y Rodríguez (2004) recomiendan el uso de acero inoxidable 304, en procesos moderadamente agresivos que requieran altas condiciones sanitarias.

## **APÉNDICE G: Normas y códigos aplicables.**

El diseño de la gran mayoría de los equipos involucrados en procesos industriales, se encuentra regido por diferentes normas o códigos, reconocidas en el ámbito internacional, especializadas en un área afín a la ingeniería.

En el diseño preliminar de la planta productiva, las normas y códigos aplicables son los siguientes:

- Normas de Ingeniería y Diseño de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA): Son normas conformadas por un grupo de manuales, donde se establecen las normas y reglamentos que se deben de cumplir en la fabricación, identificación, inspección, pruebas, mantenimiento y seguridad de diferentes equipos. Además de las bases para el diseño de procesos industriales y el desarrollo de sus diagramas.
- Manual de Ingeniería de Diseño de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA): Sirve como guía para la selección de los equipos y sus dimensiones, además de instruir en la elaboración de los Diagramas de Flujos y de Instrumentación y Tuberías de procesos industriales.
- El código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME): Para las normas y procedimientos de construcción de diseño de recipientes, concretamente las *Reglas para la Construcción de Recipientes a Presión* de la división 1 de la Sección VIII, sus tuberías, especificadas en la sección II, los materiales, especificados en la sección VIII parte UG-23 y pruebas sobre estos equipos, sección V.
- Las Normas del *American Iron and Steel Institute* (AISI): Las cuales fueron elaboradas por un conglomerado de empresas de acero de todo Estados Unidos para la especificación y clasificación de los aceros.
- Las normas del *American Society for Testing and Materiales* (ASTM): Proporcionan documentos técnicos como base para la definición, fabricación, gestión y adquisición de materiales y métodos de prueba.

- Código del *American National Standards Institute* (ANSI): Es una asociación reconocida internacionalmente que se encarga del estudio y publicaciones sobre el diseño, fabricación, materiales y pruebas de tuberías, bombas y conexiones.
- Las normas de la *International Organization for Standardization* (ISO): Principalmente la ISO 10628, que indica las reglas del desarrollo de los diagramas de procesos y los símbolos de sus respectivos equipos/operaciones.
- Las normas de la *Comisión Venezolana de Normas Industriales* (COVENIN): Estandarizan y normalizan los lineamientos de calidad establecidos de los procedimientos, materiales, productos y demás aspectos en Venezuela.
- Las normas de la *International Society of Automation* (ISA): Se emplean como una guía para la preparación y uso de los diagramas de lazos de instrumentos en el diseño y operación de los sistemas de instrumentación y control de los procesos de manufactura.



## APÉNDICE H: Similitudes.

- Factores de escala característicos de la similitud geométrica del proceso.

$$\left(\frac{D_t}{D}\right); \left(\frac{H}{D_t}\right)$$

- La semejanza dinámica se logra mediante ciertas similitudes entre las proporciones de fuerzas aplicadas al sistema, al mantener una relación constante entre las dos variables o factores dinámicas principales del proceso (diámetro de los impulsores y su velocidad de agitación) y la cantidad de potencia por unidad de volumen de preparación (P/V); como indica la siguiente tabla:

Valor de X	Regla	Proceso de aplicación
1,0	Velocidad periférica y torque/volumen ctes	Similar máxima tasa de cizallamiento de un mezclado simple, para controlar el tamaño de las gotas.
0,85	Sólidos en suspensión	Sólidos o gotas fácilmente suspensibles.
0,75	Condiciones para suspensiones promedio	Suspensiones de dificultad media.
0,67	P/V constantes	Dispersión de gotas y sólidos de sedimentación rápida en régimen turbulento.
0,5	Número de Reynolds constante	Transferencia de calor de las chaqueta similares, con las mismas fuerzas viscosas/inerciales.
0,0	Velocidad constante	Tiempo de mezclado constante; reacciones rápidas/bruscas.

Fuente: Mixing of fluids (s.f)

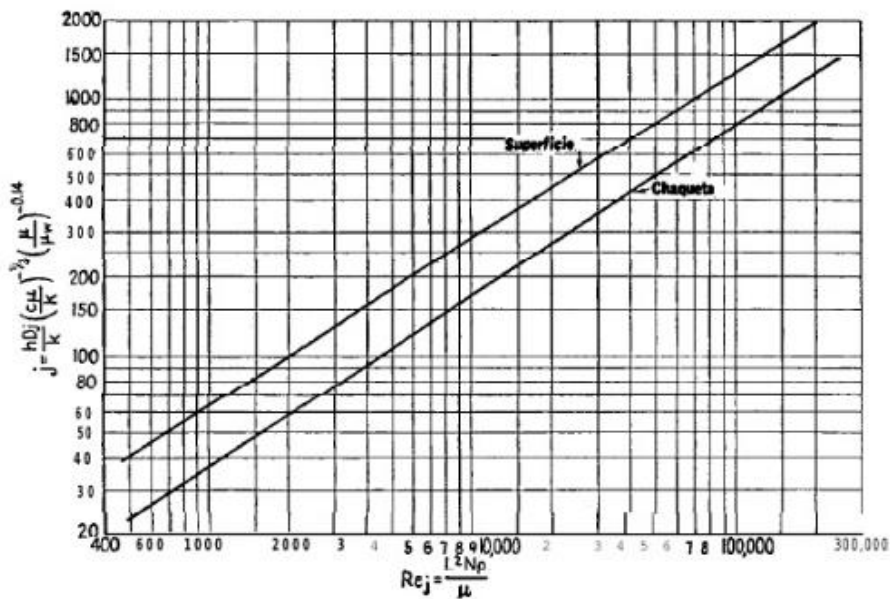
Para mantener la cantidad de potencia por unidad de volumen de preparación, se mantuvo la velocidad periférica del impulsor entre las dos escalas.

**APÉNDICE I: Valores de algunas constantes a y C, se la correlación para determinar el número de Nusselt, según el tipo de agitador.**

Tipo de agitador	C	a	Re
Paleta plana	0,36	0,67	$\geq 4000$
	0,415	0,67	$\geq 20$ y $\leq 4000$
Turbina de aspas retractil	0,68	0,67	80 -200
Turbina de aspas planas o disco	0,54	0,67	$< 400$
	0,74	0,67	$> 400$
Propela $NP_r^{0,25}$	0,54	0,67	$2 \cdot 10^3$
Ancla (Tipo mezclador)	1,0	0,67	30 - 300
Ancla (Tipo mezclador)	0,38	0,67	$300 - 4 \cdot 10^4$
	0,55	0,67	4000 - 37000

Fuente: Sócrates (2011)

**Factor adimensional de transferencia de calor vs Reynolds.**



Fuente: Armenta y Rodríguez (2004)

## APÉNDICE J: Usos del Aloe Vera.

Type	Use	Reference		
Aloe	Laxative	2, 7		Carbuncles
	Eye troubles	2		Ointment
	Vitalizer, nourishing	2		Lotion
	Cough and fever	2		Shampoos
	Liver enlargement	2		Cosmetic creams
	Spleen enlargement	2	Gel	Dentifrice
	Burn injuries	2		Cosmetic lotion for softening skin
	Skin troubles	2		Prevent gingivitis
	Blood purifier	2		Controls plaque
	Improves digestion	7		Stimulates growth of new tissues
	Early stages of TB	7		Reduces hazards of bacterial contamination
	Dyspepsia	7		In high concentration inhibits growth of human cancer cells
	Uterine disorder	7		Burn injuries
	Rectal fissures	7		Prevents progressive dermal ischaemia caused by burns, frost bite, electrical injuries
	Juice of Leaves	2		Inhibits AIDS virus
Leaves	Liver ailments, jaundice	2,7	Extract of leaves	Suppresses tumour formation
	Spleen ailment	2,7		Aids skin
	Wound healing	2, 7		Gastrointestinal and general healing
	Treating burns	7		Inhibit growth of mycobacterium tuberculosis
	Trophic ulcers	7		Anti-fertility or abortifacient activity
	Eye trouble	7	Extract of fresh leaves	Abortifacient activity
	X-ray burns	7		Thickens stomach and spleen
	Dermititis	7		Prolapsed uterus
	Anti-inflammatory activity	7		Crushed leaves
	Disorder of the skin	7		infection
	Amenorrhoea	7		Poultice of leaves
	Piles	7, 2		Rheumatic joints
	Mild anti tumour activity	7		Diabetes
	Atonic dyspepsia	7		
	Thins bronchial secretions in acute bacterial trachibronchitis	7		
Pulp of leaves	Rock bruises	7		
	Sun burns	7		
	Boils	7		

Fuente: Dutt (2002)

## APÉNDICE K: Evaluación del comportamiento reológico del fluido.

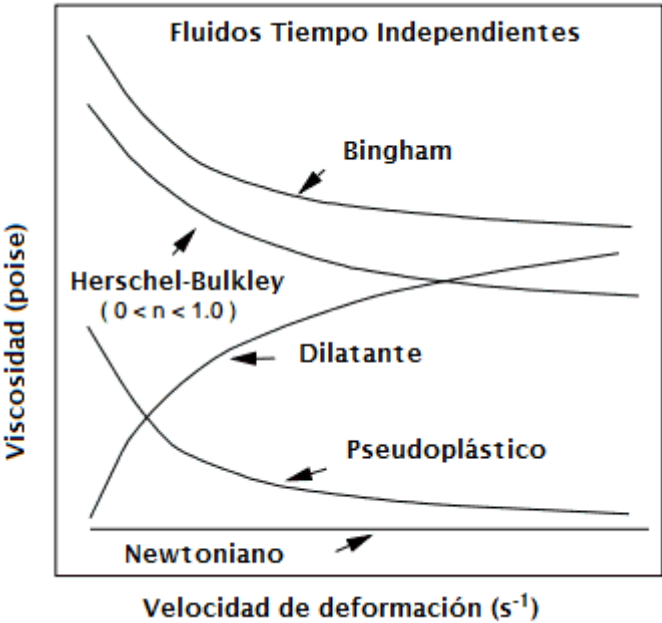
### 1. Medición de la viscosidad a distintas velocidades de deformación:

Emulsión N°1							
No. De husillo: S18							
T(°C)	N (RPM)	Torque (%)			Viscosidad (cP)		
		Corrida1	Corrida2	Corrida3	Corrida1	Corrida2	Corrida3
25	0,3	69,0	57,1	57,0	6900	5710	5700
25	0,5	86,5	80,5	72,7	5208	4830	4560
25	0,6	93,0	84,3	85,3	4650	4215	4265

### 2. Medición de la viscosidad a distintas temperaturas:

Emulsión N°1	
No. De husillo: S18	
N (RPM):0,3	
Temperatura (°C)	Viscosidad (cP)
25	8290
32	3600
40	2410
50	14

**APÉNDICE L: Curvas de viscosidad de los fluidos tiempo independientes.**



Fuente: El-Hefian y otros (2010).

## APÉNDICE M. Propiedades del material de los equipos en contacto con la emulsión.

En la siguiente tabla se muestra el análisis químico de los principales elementos de los aceros inoxidable austeníticos:

Tipo AISI o nombre común (UNS)	(Máximo, a menos que se indique otra cosa)				
	C	Cr	Ni	Mo	Otro
304 (S30400)	0.08	18.0 - 20.0	8.0 - 10.5	-	0.10 N
304 L (S30403)	0.03	18.0 - 20.0	8.0 - 12.0	-	0.10 N
309 (S30900)	0.20	22.0 - 24.0	12.0 - 15.0	-	-
310 (S31000)	0.25	24.0 - 26.0	19.0 - 22.0	-	-
316 (S31600)	0.08	16.0 - 18.0	10.0 - 14.0	2.0 - 3.0	0.10 N
316L (S31603)	0.03	16.0 - 18.0	10.0 - 14.0	2.0 - 3.0	0.10 N
317 (S31700)	0.08	18.0 - 20.0	11.0 - 15.0	3.0 - 4.0	0.10 N
317L (S31703)	0.03	18.0 - 20.0	11.0 - 15.0	3.0 - 4.0	0.10 N
317 LM (S31725)	0.03	18.0 - 20.0	13.0 - 17.0	4.0 - 5.0	0.10 N
321 (S32100)	0.08	17.0 - 19.0	9.0 - 12.0	-	5 x %C mín, 0.70 máx Ti
347 (S34700)	0.08	17.0 - 19.0	9.0 - 13.0	-	10 x %C mín, 1.10 máx. (Nb + Ta)
Aleación 904L (N08904)	0.02	19.0 - 23.0	23.0 - 28.0	4.0 - 5.0	1.0 - 2.0 Cu
Aleación 254 SMO* (S31254)	0.02	19.5 - 20.5	17.5 - 18.5	6.0 - 6.5	0.18 - 0.22 N 0.50 - 1.00 Cu
AL-6XN* (N08367)	0.03	20.0 - 22.0	23.5 - 25.5	6.0 - 7.0	0.18 - 0.25 N 0.75 Cu
1925 hMo* (N08926)	0.02	20.0 - 21.0	24.5 - 25.5	6.0 - 6.8	0.18 - 0.20 N 0.8 - 1.0 Cu
20 Mo-6* (N08026)	0.03	22.0 - 26.0	33.0 - 37.0	5.0 - 6.7	2.0 - 4.0 Cu
20 Cb-3* (N08020)	0.07	19.0 - 21.0	32.0 - 38.0	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0 Cu 8 x %C mín, 1.00% máx.
25-6 MO* (N08926)	0.02	19.0 - 21.0	24.0 - 26.0	6.0 - 7.0	0.15 - 0.25 N 0.5 - 1.5 Cu

\* 254 SMO es una marca de Avesta AB

AL-6XN es una marca de Allegheny Lundlum Steel Corporation

1925 hMo es una marca de VDM Nickel Technologie A.G.

20 Mo-6 y 20 Cb-3 son marcas de Carpenter Technology Corp.

25-6 MO es una marca de Inco Alloys International, Inc.

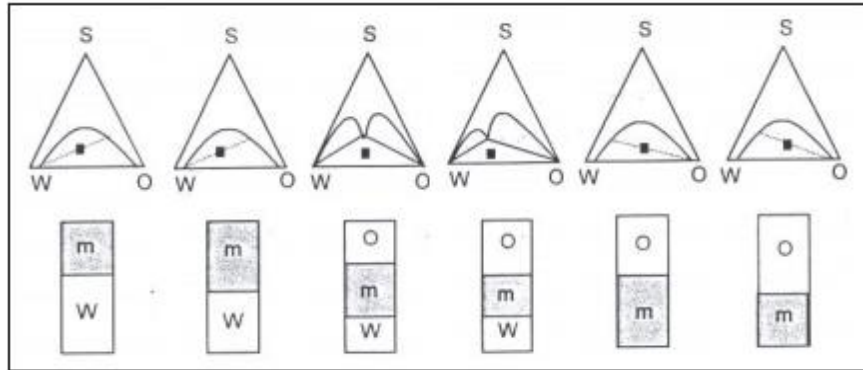
Fuente: ACERIND S.C. (s.f)

En la siguiente tabla se muestran las propiedades investigadas que corresponden al acero inoxidable austenítico de tipo AISI-304:

<b>Descripción</b>	<b>Parámetro</b>
Composición nominal	18 Cr – 8 Ni
Especificaciones	AISI
Tipo/Grado	304
Esfuerzo de tracción, $Kg/mm^2$	52,73
Esfuerzo de Fluencia, $Kg/mm^2$	21,09
Máximo Esfuerzo Admisible de tensión, $Kg/mm^2$	11,74
Conductividad térmica, $W/m^{\circ}K$	16,00

## ANEXOS

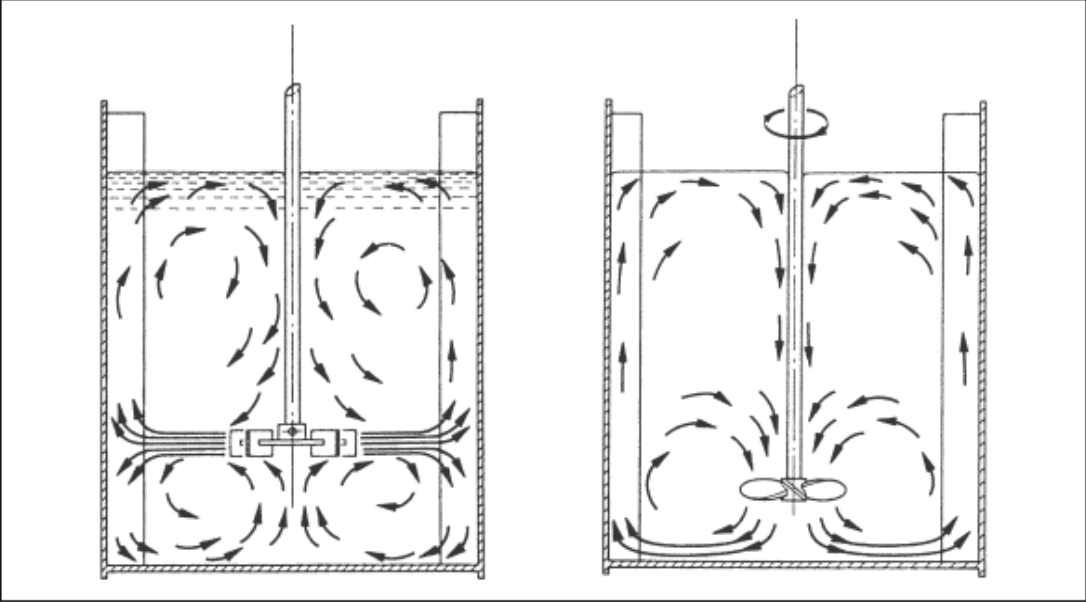
**ANEXO A: Diagramas de un proceso de inversión de fases catastrófico, de una emulsión O/W.**



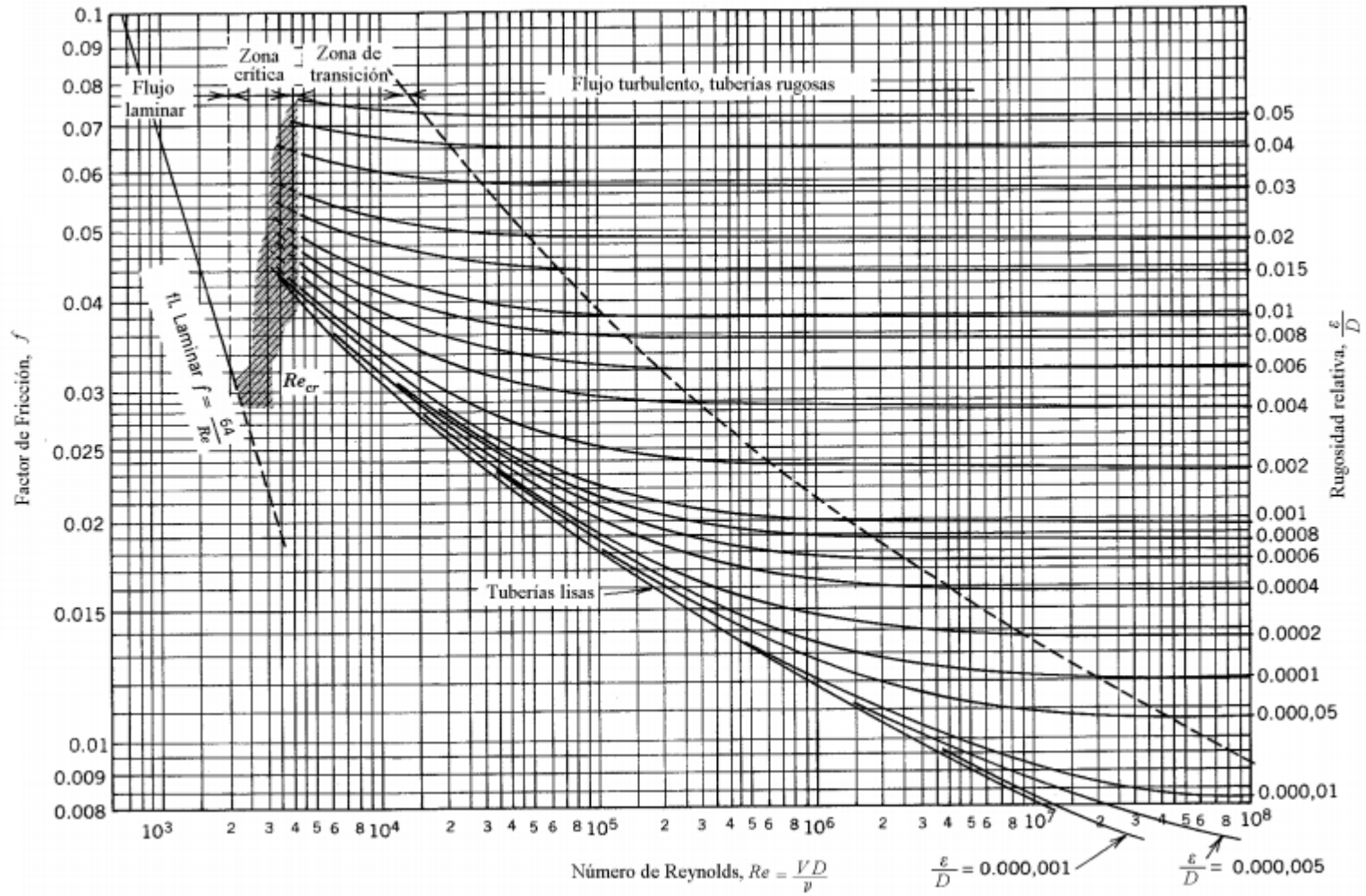
Fuente: Plaza (2007)



**ANEXO B: Patrones de flujo de un impulsor radial y uno axial (el tanque de la derecha e izquierda, respectivamente).**





**ANEXO C: Diagrama de Moody.**



**ANEXO D: Equipos de laboratorio empleados en las prácticas del trabajo.**

En la siguiente tabla se aprecian las descripciones y fotografías de los equipos empleado en la práctica experimental:

<b>Descripción</b>	<b>Fotografía</b>
Baño térmico, Digisystem Laboratory Instruments Inc.	 A photograph of a laboratory thermal bath. It is a white rectangular unit with a control panel on the left side. The main tank is filled with a dark liquid. A metal frame with a glass vessel is suspended inside the tank. The background shows a laboratory setting with pipes and other equipment.
Homogeneizador RW16 basic, IKA labortechnik.	 A close-up photograph of the control panel of an IKA RW16 basic homogenizer. The panel is blue and white. It features a large blue rotary dial with numbers 1 through 10. The dial is currently set to approximately 4.5. Above the dial, the text 'RW16basic' and 'IKA LABORTECHNIK' is visible. Below the dial, there is a power switch and a small indicator light.

<p>Impulsor radial de dos hojas verticales</p>	
<p>Beaker de 500ml</p>	
<p>Bureta de 50ml</p>	
<p>Conductímetro Orion 3-Star, Thermo.</p>	

<p>El pHmetro MP220, METTLER TOLEDO</p>	 A photograph of a white Mettler MP220 pH meter. The device has a digital display screen and several control buttons. A glass pH electrode is connected to the meter via a blue cable. A small white bottle, likely containing calibration buffer, is placed next to the meter.
<p>Calorímetro de vaso de Dewar.</p>	 Two photographs of a Dewar flask. The left image shows the flask from the inside, revealing its silver, reflective inner lining. The right image shows the flask from the outside, which is covered in a blue, textured thermal insulation material. The flask has a white base with some text on it.
<p>Amperímetro UT-201, de la marca UNI-T.</p>	 A photograph of a red and black UNI-T UT-201 clamp meter. The device has a large red C-shaped jaw at the top for clamping around a wire. It features a digital display screen, a rotary dial for selecting measurement functions, and several buttons. Two test leads with red and black probes are attached to the bottom of the device.

Brookfield de la serie DV I+.

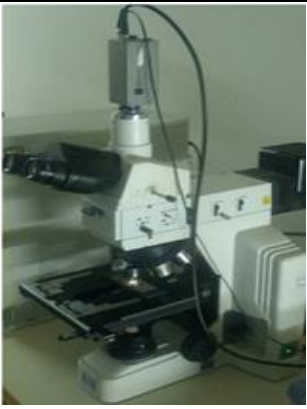



Baño térmico  
Paratherm U5-electronic,  
marca Julabo.

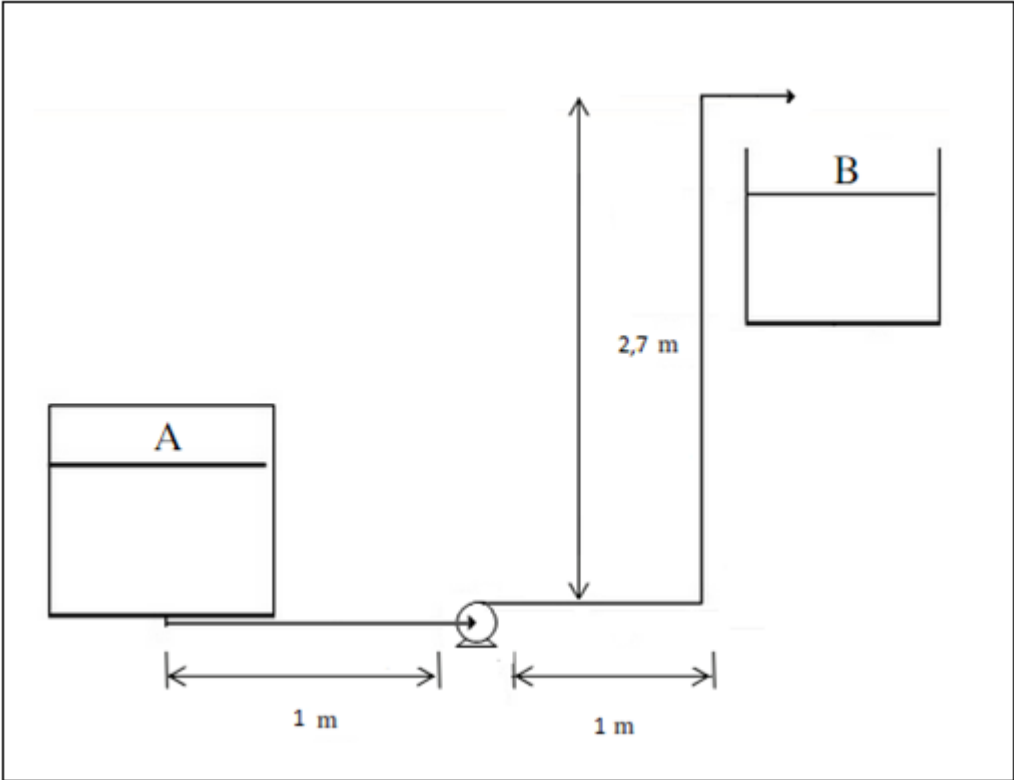


Mastersizer 2000, Malvern.



<p>Microscopio Nikon. ECLIPSE ME600</p>	
<p>Picnómetro de de 9,948ml.</p>	

**ANEXO E: Configuración del sistema de bombeo evaluada.**





## ANEXO F: Especificaciones del gel de Aloe Barbadensis Miller.

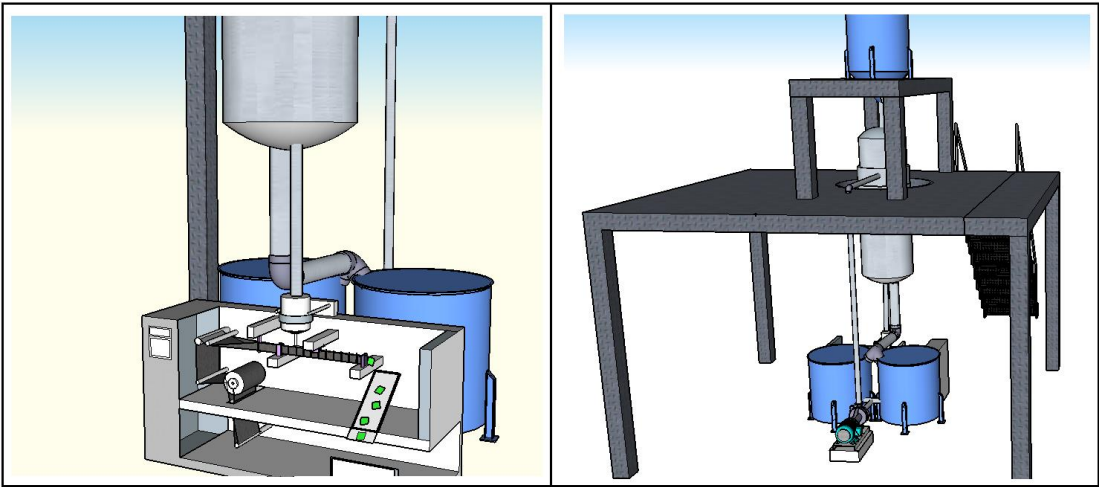
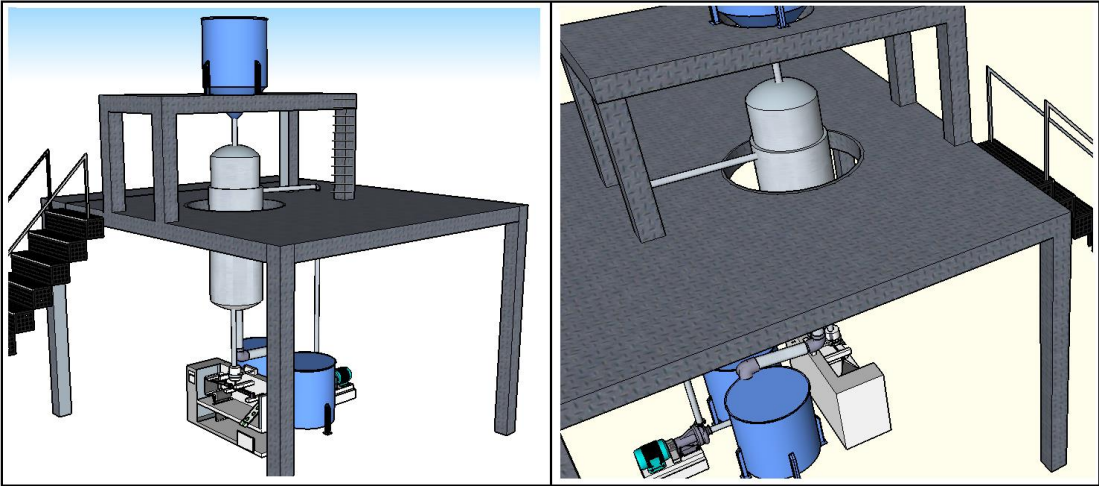


### ESPECIFICACIONES DE PRODUCTO TERMINADO

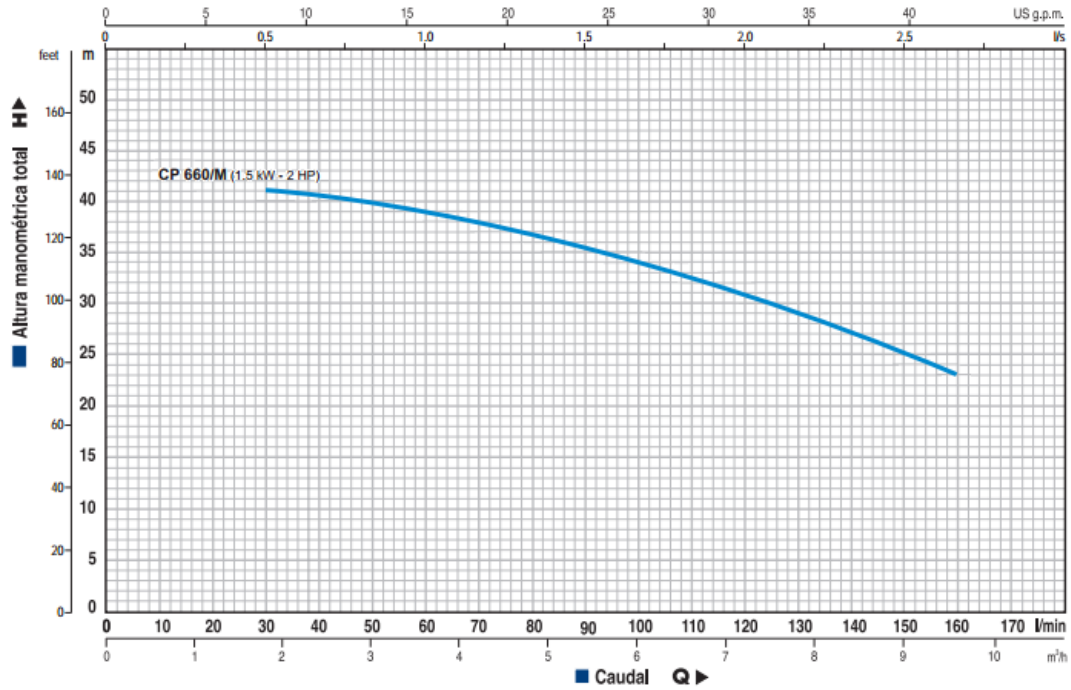
DATOS DEL PRODUCTO	
<b>CÓDIGO DEL PRODUCTO</b>	PT-IG-EG100-60
<b>NOMBRE COMERCIAL</b>	Extracto de Aloe Vera Glicolado
<b>COMPOSICION</b>	Gel de Aloe vera, propilenglicol y agua
<b>DURACIÓN</b>	En condiciones adecuadas de almacenamiento este producto tiene durabilidad de 15 meses.
<b>ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN</b>	Evitar exposición a la luz. Mantener sellado el envase para prevenir la contaminación microbiana. Almacenar en lugar limpio y fresco. No exceder de 25°C Utilizar todo el contenido luego de abrir el envase.
<b>PRESENTACION</b>	Carboyas de Pet capacidad 20kg
CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS	ESPECIFICACIONES
Conteo de placa de aerobio	Máximo 100 UFC/ml
Hongos y levaduras	Máximo 100 UFC/ml
Coliforme	Negativo
CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS	ESPECIFICACIONES
Apariencia	Líquido ligeramente viscoso
Olor	Débil
Color	Incoloro
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS	ESPECIFICACIONES
Densidad (g/ml)	1,030 – 1,043
Valor de pH (20°C)*	5,0 – 7,0
Sólidos totales (%)	≥ 0,1
Sólidos Disueltos (°Brix)	30,0-35,0
Gel aloe vera (%)	38,0 – 42,0
Propylene glycol (%)	47,5 – 52,5
Agua destilada o bidestilada (%)	9,0 – 10,0
<b>N° CAS:</b> 00801-97-6 (gel aloe vera), 57-55-6 (propilenglicol) 7732-18-5 (agua)	
<b>N° EINECS:</b> 287-390-8 (aloe vera), 200-338-0 (propilenglicol), 231-791-2 (agua)	

Av. Bolívar, Meseta de Guaranao, Zona Franca de Paraguaná, Galpón 2-2 Sur, Punto Fijo, Edo. Falcón – Venezuela. Telfs / Fax. +58 (0269) 246.67.66  
[www.naturaven.com](http://www.naturaven.com) - [gomez@naturaven.com](mailto:gomez@naturaven.com) - [sales@naturaven.com](mailto:sales@naturaven.com)


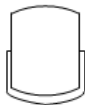












**ANEXO G: Representación de la distribución de la línea de producción.**











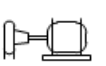

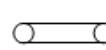

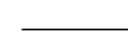












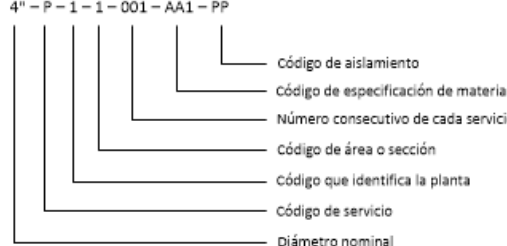
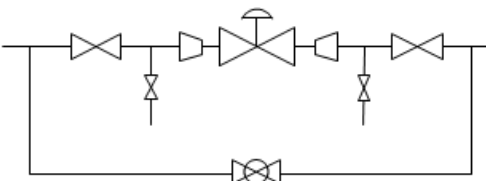


**ANEXO H: Curva característica de la bomba seleccionada CP 600/M.**



## ANEXO I: Símbolos empleados en la elaboración del DFP y DTI de la planta.

SÍMBOLOS EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROCESO						
<b>CORRIENTES</b>		<b>EQUIPOS</b>				
	Entrada/Salida					
	Corriente de Proceso	Tanque Enchaquetado MD - XXX	Tanque con calentamiento T - XXX	Motor M - XXX	Dosificador D - XXX	
	Corriente de Servicio					
	Señal Neumática	Impulsos R - XXX	Correa Transportadora X - XXX	Bomba Hidraulica P - XXX		
	Insumos por cargas					
<b>VÁLVULAS</b>		<b>SEÑALES E INSTRUMENTOS</b>				
	Válvula de Control	Sensor		Si X es: A: Concentración    F: Flujo T: Temperatura    L: Nivel P: Presión            W: Peso		
NOTAS:	DIBUJADO: OSCAR PULIDO	FECHA: 13/03/15	TÍTULO: SIMBOLOGÍA DFP		PROYECTO: DISEÑO PRELIMINAR DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN DE UN DESODORANTE EN LOCIÓN PARA LA EMPRESA NATURAVEN C.A  UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	
	REVISADO:	FECHA:	DISEÑO: 1 ESCALA: N/A	FECHA: 13/03/2015 PROYECTO NO.: 1		REV.: A
	APROBADO:	FECHA:	HOJA: 1/1	DOCUMENTO NO.: 1		

SÍMBOLOS EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN						
<p><b>CORRIENTES</b></p>  Entrada/salida  Corriente de Proceso  Corriente de Servicio  Señal Eléctrica  Señal Neumática  Conexión entre Diagramas  Insumos por cargas		<p><b>EQUIPOS</b></p>  Tanque Enchaquetado MD - XXX  Tanque con calentamiento T - XXX  Dosificador D - XXX  Bomba Centrífuga P - XXX  Impulsores R - XXX  Correa Transportadora X - XXX  Motor M - XXX			<p><b>SEÑALES E INSTRUMENTOS</b></p>  Conexión al Proceso  Señal Eléctrica  Señal Neumática  Transmisor  Convertidor I/P  Válvula de Control  Controlador <p>Si X es:            A: Concentración      F: Flujo            T: Temperatura        L: Nivel            P: Presión                W: Peso</p>	
<p><b>VÁLVULAS</b></p>  Válvula Check  Válvula de Control  Válvula de Bloqueo  Reductor  Válvula de Alivio  Válvula de Globo		<p><b>IDENTIFICACIÓN</b></p> <p>4" - P - 1 - 1 - 001 - AA1 - PP</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>— Código de aislamiento</li> <li>— Código de especificación de material</li> <li>— Número consecutivo de cada servicio</li> <li>— Código de área o sección</li> <li>— Código que identifica la planta</li> <li>— Código de servicio</li> <li>— Diámetro nominal</li> </ul>		<p><b>ARREGLO DE VÁLVULAS DE CONTROL</b></p> 		
NOTAS:	DIBUJADO: OSCAR PULIDO	FECHA: 13/03/15	TÍTULO: SIMBOLOGÍA DTI		REV.: A	PROYECTO: DISEÑO PRELIMINAR DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE UN DESODORANTE EN LÓCIÓN PARA LA EMPRESA NATURAVEN C.A. UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
	REVISADO:	FECHA:	DISEÑO: 1	FECHA: 13/03/2015		
	APROBADO:	FECHA:	ESCALA: N/A	PROYECTO NO.: 1		
			HOJA: 1/1	DOCUMENTO NO.: 1		