

**DIMENSIONAMIENTO DE UN REACTOR PARA LA PRODUCCIÓN DEL  
DETERGENTE LÍQUIDO AUTOPOLISH A NIVEL INDUSTRIAL EN LA  
EMPRESA PRODUQUIM LTDA**

**JUAN SEBASTIÁN BONILLA MARTÍNEZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D. C.  
2017**

**DIMENSIONAMIENTO DE UN REACTOR PARA LA PRODUCCIÓN DEL  
DETERGENTE LÍQUIDO AUTOPOLISH A NIVEL INDUSTRIAL EN LA  
EMPRESA PRODUQUIM LTDA**

**JUAN SEBASTIÁN BONILLA MARTÍNEZ**

**Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Químico**

**ORIENTADOR  
EDGAR FERNANDO MORENO  
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D. C.  
2017**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---



---

NUBIA LILIANA BECERRA.



---

MAURICIO FERNANDO CALLE.



---

EDGAR FERNANDO MORENO.

Bogotá, 01 de Febrero de 2017

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro:

**Dr. JAIME POSADA DIAZ.**

Vice-rector de Desarrollo y Recursos Humanos:

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCA-PEÑA.**

Vice-rectora Académica y de Posgrados:

**Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS.**

Secretario General:

**Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCIA-PEÑA.**

Decano Facultad de Ingeniería:

**Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI.**

Director (E) Facultad de Ingeniería de Petróleos:

**DR. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ.**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

*Este trabajo es dedicado especialmente a mi familia por su apoyo incondicional en este proceso, y a Valentina Latorre por paciencia y motivación en todo este tiempo.*

***Juan Sebastián Bonilla Martínez.***

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

**Edgar Fernando Moreno**, Ingeniero Químico, por su asesoría y apoyo como orientador del proyecto de grado.

**Produquim Ltda.**, En especial a Jairo Cáceres, Gerente General, por la oportunidad de trabajar en esta compañía e implementar ideas en beneficio de la empresa.

**Laboratorios de cosméticos Vogue S.A.S** Por la disposición de sus laboratorios para el desarrollo de los análisis requeridos para este proyecto.

**Oscar González**, Ingeniero Químico, por sus aportes en el análisis financiero del proyecto de grado.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
OBJETIVOS	24
1. MARCO TEÓRICO	25
1.1 DETERGENTE	25
1.1.1 Mecanismo de acción de un detergente	26
1.1.2 Funciones del detergente	27
1.1.3 Componentes del detergente	28
1.1.3.1 Agentes tensoactivos	28
1.1.3.2 Agentes coadyuvantes	29
1.1.3.3 Aditivos	30
1.1.3.4 Auxiliares	30
1.1.4 Elaboración de un detergente	31
1.2 REACTORES	31
1.2.1 Tipos de reactores	32
1.2.1.1 Reactor intermitente	32
1.2.1.2 Reactor semicontinuo	33
2. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO	35
2.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA	35
2.2 LA EMPRESA Y POLÍTICA DE CALIDAD	35
2.2.1 Misión	36
2.2.2 Visión	37
2.2.3 Organigrama	37
2.2.4 Productos	37
2.2.5 Detergente autopolish	38
2.3 EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL DETERGENTE LÍQUIDO AUTOPOLISH	40
2.3.1 Proceso de elaboración del autopolish	40
2.3.1.1 Recepción de materia prima	40
2.3.1.2 Alistamiento de materia prima	41
2.3.1.3 Dilución	41
2.3.1.4 Mezclado	41
2.3.1.5 Envasado	42
2.3.1.6 Etiquetado	42
2.3.1.7 Almacenamiento	42
2.3.2 Análisis a materias primas	44
2.3.3 Análisis físicos y químicos en el proceso	44



2.3.3.1 pH	44
2.3.3.2 Densidad	45
2.3.4 Reactor actual	46
2.4 DIAGNÓSTICO DEL PROCESO	47
2.4.1 Ventajas del proceso	47
2.4.2 Desventajas del proceso	48
2.5 DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES PARA LA FABRICACIÓN DEL AUTOPOLISH	48
2.5.1 Determinación de viscosidad	49
2.5.2 Determinación de densidad	52
2.5.3 Determinación de pH	54
2.5.4 Determinación de alcalinidad libre y total	55
2.5.5 Desarrollo de especificaciones	60
3.DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR	62
3.1 BALANCES GENERALES	62
3.1.1 Balance de materia	64
3.1.2 Balance de energía	67
3.2 CINÉTICA DE LA REACCIÓN	70
3.2.1 Reactor semicontinuo CSTR isotérmico	72
3.2.2 Reactor intermitente adiabático	78
3.2.3 Reactor semicontinuo CSTR adiabático	84
3.3 SELECCIÓN DEL MODELO ADECUADO DEL REACTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE AUTOPOLISH	91
3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR SELECCIONADO PARA PRODUCCIÓN DE AUTOPOLISH	93
3.5 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN	101
4. DISTRIBUCIÓN DE ÁREA DE PRODUCCIÓN PARA LA INTEGRACIÓN DEL REACTOR	103
4.1 DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA	103
4.2 DIAGNÓSTICO DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA	104
4.3 PROPUESTA PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA	105
5. ANÁLISIS FINANCIERO	109
5.1 ANÁLISIS DE INVERSIÓN (CAPEX)	109
5.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN ACTUALES (OPEX)	110
5.3 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	111
5.4 EVALUACIÓN FINANCIERA	112
5.4.1 Valor Presente Neto (VPN)	112
5.4.1.1 Valor Presente Neto para la implementación del equipo reactor para	

una línea de producción independiente de detergente	113
5.4.1.2 Conclusión de la evaluación financiera desde el punto de vista del VPN	115
5.4.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)	115
5.4.2.1 Tasa Interna de Retorno para la implementación del equipo reactor para una línea de producción independiente de detergente	115
5.4.2.2 Conclusión de la evaluación financiera desde el punto de vista de la TIR	117
6. CONCLUSIONES	118
7. RECOMENDACIONES	120
BIBLIOGRAFÍA	121
ANEXOS	123

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Viscosidad del detergente autopolish a 10, 20, 30 y 60 rpm spin 62	49
<b>Tabla 2.</b> Viscosidad de detergente autopolish	50
<b>Tabla 3.</b> Densidad del detergente autopolish	53
<b>Tabla 4.</b> pH del detergente autopolish	55
<b>Tabla 5.</b> Rangos de alcalinidad	56
<b>Tabla 6.</b> Alcalinidad libre y total del detergente autopolish	58
<b>Tabla 7.</b> Relaciones de alcalinidad	59
<b>Tabla 8.</b> Especificaciones detergente autopolish	61
<b>Tabla 9.</b> Densidad y peso molecular de los componentes del detergente autopolish	64
<b>Tabla 10.</b> Linealización constante específica de velocidad vs temperatura de operación	68
<b>Tabla 11.</b> Constantes de velocidad de reacción de neutralización de HLAS	72
<b>Tabla 12.</b> Condiciones iniciales de operación reactor semicontinuo isotérmico	75
<b>Tabla 13.</b> Resultados de reacción con reactor semicontinuo isotérmico	78
<b>Tabla 14.</b> Calores de reacción neutralización del HLAS	80
<b>Tabla 15.</b> Capacidades caloríficas componentes del autopolish	80
<b>Tabla 16.</b> Concentraciones carga inicial reactor intermitente	81
<b>Tabla 17.</b> Resultados de reacción con reactor intermitente adiabático	84
<b>Tabla 18.</b> Resultados de reacción con reactor semicontinuo adiabático	91
<b>Tabla 19.</b> Criterios de selección para reactor en la fabricación del autopolish	92
<b>Tabla 20.</b> Criterios de selección placas deflectoras para reactores	98
<b>Tabla 21.</b> Dimensionamiento del reactor para la fabricación del detergente líquido autopolish	100
<b>Tabla 22.</b> Equipos disponibles zonas de producción	104
<b>Tabla 23.</b> Inversión para implementar el equipo reactor – COP	110
<b>Tabla 24.</b> Costos de inversión para la implementación del equipo reactor para la producción de detergente líquido	110
<b>Tabla 25.</b> Costos de operación actuales mensuales asociados a la fabricación del producto	111
<b>Tabla 26.</b> Costos totales actuales anuales de operación – COP	111
<b>Tabla 27.</b> Costos de operación mensuales en la fabricación del producto asociado a la implementación del proyecto	111
<b>Tabla 28.</b> Costos totales anuales de operación con la implementación del proyecto – COP	112
<b>Tabla 29.</b> Tasa Interna de Retorno (TIR) para la implementación del equipo reactor para una línea de producción independiente de detergente	117

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Estructura del Dodecilbencensulfonato de sodio	26
<b>Figura 2.</b> Formación de micelas mediante el detergente	27
<b>Figura 3.</b> Componentes de un detergente	28
<b>Figura 4.</b> Elaboración de detergentes	31
<b>Figura 5.</b> Reactor intermitente y patrones de mezcla	32
<b>Figura 6.</b> Reactor semicontinuo	33
<b>Figura 7.</b> Velocidad de reacción entre un proceso discontinuo y semicontinuo	34
<b>Figura 8.</b> Fachada principal de Produquim Ltda	36
<b>Figura 9.</b> Área de producción y zona de despacho Produquim Ltda	36
<b>Figura 10.</b> Organigrama Produquim Ltda	37
<b>Figura 11.</b> Diagrama de flujo proceso de fabricación del autopolish	43
<b>Figura 12.</b> Medición de pH con cinta indicadora y escala de color	45
<b>Figura 13.</b> Medición actual de la densidad para el detergente autopolish	46
<b>Figura 14.</b> Reactor de producción Produquim Ltda	46
<b>Figura 15.</b> Sistema de drenaje del reactor	47
<b>Figura 16.</b> Aspas y deflectores reactor actual	47
<b>Figura 17.</b> Condiciones de análisis viscosímetro Brookfield DV	51
<b>Figura 18.</b> Lectura de viscosidad detergente autopolish	51
<b>Figura 19.</b> Resultado análisis viscosidad ensayo 10 de autopolish	52
<b>Figura 20.</b> Picnómetro metálico calibrado	52
<b>Figura 21.</b> Pesaje del picnómetro con muestra (PPM)	53
<b>Figura 22.</b> Potenciómetro para medición de pH	54
<b>Figura 23.</b> Determinación alcalinidad libre y total detergente autopolish	57
<b>Figura 24.</b> Diagrama de bloques etapa de dilución y reacción del detergente autopolish	63
<b>Figura 25.</b> Evolución de la neutralización de HLAS	71
<b>Figura 26.</b> Composición zona de reacción neutralización	71
<b>Figura 27.</b> Esquema dimensional del reactor	101
<b>Figura 28.</b> Planta de producción Produquim Ltda	103
<b>Figura 29.</b> Planta de producción propuesta para Produquim Ltda	106
<b>Figura 30.</b> Flujo de efectivo para la operación actual	113
<b>Figura 31.</b> Flujo de efectivo para la implementación del proyecto	114
<b>Figura 32.</b> Flujo neto para la implementación del proyecto	114

## LISTA DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Materias primas utilizadas en la producción del autopolish	39
<b>Cuadro 2.</b> Características sensoriales, físicas y químicas actuales del detergente autopolish	44
<b>Cuadro 3.</b> Matriz de compatibilidad de materias primas	107

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
<b>Gráfica 1.</b> Distribución de la producción año 2015 Produquim Ltda	38
<b>Gráfica 2.</b> Producción mensual autopolish período febrero/2015 a enero/2016	40
<b>Gráfica 3.</b> Curva de alcalinidad libre y total	56
<b>Gráfica 4.</b> Linealización $\ln k$ Vs $1/T$ de neutralización del HLAS	68
<b>Gráfica 5.</b> Concentración de los componentes del detergente autopolish en reactor semicontinuo isotérmico	75
<b>Gráfica 6.</b> Moles producidas por componente en reactor isotérmico semicontinuo	76
<b>Gráfica 7.</b> Conversión del HLAS en reactor isotérmico semicontinuo	77
<b>Gráfica 8.</b> Conversión del HLAS en reactor intermitente adiabático	82
<b>Gráfica 9.</b> Moles producidas por componente en reactor intermitente adiabático	83
<b>Gráfica 10.</b> Concentración de los componentes del detergente autopolish en reactor intermitente adiabático	83
<b>Gráfica 11.</b> Comportamiento de la temperatura en reactor intermitente adiabático	84
<b>Gráfica 12.</b> Concentración de los componentes del detergente autopolish en reactor semicontinuo adiabático	88
<b>Gráfica 13.</b> Comportamiento de la temperatura en reactor semicontinuo adiabático	89
<b>Gráfica 14.</b> Moles producidas por componente en reactor semicontinuo adiabático	90
<b>Gráfica 15.</b> Conversión del HLAS en reactor semicontinuo adiabático	90
<b>Gráfica 16.</b> Potencia inducida para la agitación de impulsores sumergidos en líquidos de una sola fase con una superficie gas / líquido (excepto (c) y (g))	99
<b>Gráfica 17.</b> Comportamiento de la temperatura de operación	102

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Determinación de densidad	45
<b>Ecuación 2.</b> Cálculo alcalinidad libre y total	57
<b>Ecuación 3.</b> Alcalinidad de Carbonato	59
<b>Ecuación 4.</b> Alcalinidad de Bicarbonato	60
<b>Ecuación 5.</b> Cantidad de detergente a fabricar	62
<b>Ecuación 6.</b> Neutralización del Dodecilbencensulfonato de sodio	63
<b>Ecuación 7.</b> Balance de materia	64
<b>Ecuación 8.</b> Volumen a partir de la densidad	65
<b>Ecuación 9.</b> Moles de un componente	66
<b>Ecuación 10.</b> Molaridad de un componente	66
<b>Ecuación 11.</b> Cálculo de las moles de HLAS	67
<b>Ecuación 12.</b> Ecuación logarítmica de Arrhenius	67
<b>Ecuación 13.</b> Linealización $\ln k$ Vs $1/T$ de neutralización del HLAS	69
<b>Ecuación 14.</b> Energía de activación	69
<b>Ecuación 15.</b> Factor de frecuencia	69
<b>Ecuación 16.</b> Constante específica de la reacción	69
<b>Ecuación 17.</b> Balance de energía	70
<b>Ecuación 18.</b> Balance de energía reactores no estacionarios	70
<b>Ecuación 19.</b> Ley de velocidad de la reacción elemental de segundo orden	72
<b>Ecuación 20.</b> Balance de materia para un reactor semicontinuo	72
<b>Ecuación 21.</b> Balance global de masa para todos los componentes	73
<b>Ecuación 22.</b> Variación del volumen en el reactor	73
<b>Ecuación 23.</b> Volumen en el reactor.	73
<b>Ecuación 24.</b> Balance de materia para un reactor semicontinuo con variación en volumen de control.	73
<b>Ecuación 25.</b> Balance para el Ácido Sulfónico (HLAS)	73
<b>Ecuación 26.</b> Balance molar para el Carbonato de sodio	74
<b>Ecuación 27.</b> Variación de la concentración del HLAS en reactor semicontinuo	74
<b>Ecuación 28.</b> Variación de la concentración del carbonato de sodio en reactor semicontinuo	74
<b>Ecuación 29.</b> Variación de la concentración del NaLAS en reactor semicontinuo	74
<b>Ecuación 30.</b> Variación de la concentración del CO <sub>2</sub> en reactor semicontinuo	74
<b>Ecuación 31.</b> Variación de la concentración del H <sub>2</sub> O producida en reactor semicontinuo	74
<b>Ecuación 32.</b> Conversión de un componente	77
<b>Ecuación 33.</b> Volumen total de la reacción	78
<b>Ecuación 34.</b> Balance de energía para reactores intermitentes	78
<b>Ecuación 35.</b> Operación adiabática de un reactor intermitente	79

<b>Ecuación 36.</b> Balance molar de un reactor intermitente	79
<b>Ecuación 37.</b> Balance de energía reactor adiabático intermitente	79
<b>Ecuación 38.</b> Capacidad calorífica de una solución	81
<b>Ecuación 39.</b> Temperatura inicial de la neutralización	81
<b>Ecuación 40.</b> Balance de energía reactor CSTR adiabático	85
<b>Ecuación 41.</b> Capacidad calorífica de la reacción	85
<b>Ecuación 42.</b> Balance energético para un reactor semicontinuo adiabático	85
<b>Ecuación 43.</b> Balance de energía reactor CSTR adiabático para neutralización del HLAS.	86
<b>Ecuación 44.</b> Flujo de un componente	86
<b>Ecuación 45.</b> Relaciones estándar para reactores y agitadores	93
<b>Ecuación 46.</b> Volumen total de reactor	93
<b>Ecuación 47.</b> Presión interna en el fondo del reactor	94
<b>Ecuación 48.</b> Espesor mínimo de la pared de un reactor	95
<b>Ecuación 49.</b> Caudal efectivo de mezclado	96
<b>Ecuación 50.</b> Número de revoluciones por minuto del agitador	97
<b>Ecuación 51.</b> Número de Reynolds para agitadora	97
<b>Ecuación 52.</b> Potencia requerida del agitador	99
<b>Ecuación 53.</b> Valor Presente Neto (VPN)	112
<b>Ecuación 54.</b> Tasa Interna de Retorno (TIR)	115



## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A.</b> Orden de producción detergente líquido autopolish	124
<b>Anexo B.</b> Cuadro de selección de la aguja viscosímetro Brookfield DV para análisis de fluidos de baja viscosidad	125
<b>Anexo C.</b> Fichas técnicas de los reactivos para la fabricación de detergente autopolish	126
<b>Anexo D.</b> Plano de distribución de la planta de producción y la zona administrativa actual de la empresa	133
<b>Anexo E.</b> Plano de distribución de la planta de producción y la zona administrativa propuesto de la empresa para la adecuación del reactor	134

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>BPD</b>	Buenas Prácticas de Documentación
<b>BPM</b>	Buenas Prácticas de Manufactura
<b>HLAS</b>	Ácido Sulfónico lineal (Ácido dodecilbencensulfónico)
<b>NaLAS</b>	Dodecilbencensulfonato de sodio
<b>PPM</b>	Peso Picnómetro con Muestra.
<b>PPV</b>	Peso Picnómetro Vacío

## GLOSARIO

**AGENTES TENSOACTIVOS:** sustancias que facilitan la penetración del detergente a la suciedad.

**AGITACIÓN:** movimiento inducido de un material de una forma determinada dentro de un recipiente.

**ANTIREDEPOSICIÓN:** prevenir que la mugre o la suciedad flote sin que se deposite a las superficies limpias.

**AUTOPOLISH:** desengrasante industrial para la limpieza y mantenimiento de mixers.

**CONTROL DE CALIDAD:** conjunto de acciones (análisis, inspecciones, etc.) destinadas a determinar la calidad de un producto. Por extensión, designa al área encargada de su ejecución

**CONTROL EN PROCESO:** verificaciones que se realizan durante la fabricación para asegurar que un producto y el proceso que se realiza, están de acuerdo a especificaciones predeterminadas.

**DEFLOCULACIÓN:** propiedad de las moléculas surfactantes del detergente que promueve la ruptura de manchas o partículas inorgánicas en partículas finas en la solución del lavado.

**DETERGENCIA:** es la remoción de un material no deseado de un sustrato sumergido en cierto medio.

**EMULSIFICACIÓN:** es la dispersión de manchas grasosas en rocío fino que las mantienen suspendidas en la solución del lavado.

**FASE:** es una región formada por una sustancia con propiedades físicas y químicas idénticas dentro de un sistema.

**HUMECTACIÓN:** propiedad de las moléculas surfactantes del detergente que actúan como agentes de reducción de la tensión superficial de los líquidos permitiendo que las superficies duras de los tejidos de fábrica se mojen apropiadamente durante el lavado.

**MEZCLA:** distribución al azar de dos fases inicialmente separadas.

**MIXER:** es un aparato o máquina empleada para la elaboración del hormigón o concreto

**SARRO:** conglomerado de partículas en el agua formado por sales de calcio y magnesio. Formando sedimentos.

**TENSOACTIVO ANIÓNICO:** se caracteriza por poseer una carga eléctrica negativa en el grupo hidrófilo, por ejemplo ácidos carboxílicos.

## **RESUMEN**

**TÍTULO** DIMENSIONAMIENTO DE UN REACTOR PARA LA PRODUCCIÓN DEL DETERGENTE LÍQUIDO AUTOPOLISH A NIVEL INDUSTRIAL EN LA EMPRESA PRODUQUIM LTDA.

El presente trabajo tiene como finalidad elaborar el dimensionamiento de un reactor para el proceso de fabricación del detergente líquido Autopolish en Produquim Ltda. Para el desarrollo del proyecto se diagnosticó el proceso actual estableciendo los procedimientos realizados, sus deficiencias y variables críticas como son pH, temperatura, densidad, viscosidad y alcalinidad. De esta forma, se identificó que los parámetros se deben evaluar de manera cuantitativa para asegurar la calidad del producto. Posteriormente se realizó una fase experimental que permitió definir las características físicas y químicas que debe tener el producto y se establecieron las especificaciones en cada uno de los parámetros mencionados.

Conociendo las características que debe cumplir el producto, se plantean modelos teóricos del reactor para la fabricación del detergente y con base en unos criterios de selección estipulados se realiza el dimensionamiento estructural del equipo más adecuado para el proceso de fabricación del producto. Se propone una nueva distribución del área de producción al incluir este equipo para el desarrollo de una línea independiente de fabricación.

Finalmente se realiza un estudio financiero que evalúa la viabilidad del proyecto y la tasa de recuperación de la inversión. Este proyecto aporta una alternativa de producción más óptima para el proceso de fabricación del detergente para la empresa, al establecer criterios de calidad específicos y regulados así como la descripción de la reacción para la obtención del ingrediente activo del producto.

### **PALABRAS CLAVES**

- Detergente.
- Reactor.
- Neutralización.
- Dimensionamiento.

## INTRODUCCIÓN

Las empresas pertenecientes a la actividad de elaboración de productos químicos para el aseo son bastantes amplias, se encuentran desde empresas pequeñas de fabricación artesanal hasta formales y de gran tamaño, que en sus procesos productivos utilizan tecnologías relativamente más sofisticadas. Las empresas con reconocidas marcas internacionales, han acogido la mayor parte del mercado de estos productos, pero un pequeño porcentaje lo sigue dominando empresas pequeñas por su modelos de bajo costo que causan interés a clientes con limitados recursos.

Produquim Ltda. se encuentra dentro de las pequeñas empresas, que buscan continuamente mejorar sus procesos con el fin de ser una empresa competitiva en el mercado. Por esto, es necesario comenzar con la implementación de un plan de mejoramiento de sus equipos para sus productos de mayor comercialización como el detergente líquido Autopolish usado en la remoción ambiental adquirida por los vehículos, mixers y dispensadores de la industria cementera. Este producto ha aumentado su demanda en un 55%. Para cumplir con la demanda, se ha propuesto realizar una línea de producción independiente con la implementación de un reactor para su producción, el cual asegure producir un producto que cumplan con los requerimientos de calidad establecidos.

Los pasos que se siguieron para el dimensionamiento de reactor para la producción del detergente líquido Autopolish en la empresa Produquim Ltda., son los siguientes.

En el capítulo 1, se describe la composición, funciones principales de los compuestos que hacen parte del detergente; los modelos de reactores apropiados para el proceso.

En el capítulo 2, se presentan las generalidades de la empresa y su política de calidad, la necesidad de producción del Autopolish en una línea independiente. Se realiza un estudio de las propiedades físicas y químicas a controlar del producto para cumplir la calidad estipulada y el desarrollo de sus especificaciones.

En el Capítulo 3, se desarrollan 3 propuestas para el diseño del reactor con base al estudio cinético y termodinámico de la reacción principal, seleccionando el modelo más adecuado y posteriormente el dimensionamiento estructural del equipo.

En el Capítulo 4, se expone una propuesta para la distribución del área de producción de la empresa con la implementación del equipo.

En el Capítulo 5, Se presenta un estudio de factibilidad financiera del proyecto y determinar su viabilidad a partir de la tasa interna de retorno y su valor presente neto.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Dimensionar el reactor para la producción independiente del detergente líquido Autopolish a escala industrial.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los factores físicos y químicos que afectan la producción del detergente líquido Autopolish a escala industrial.
- Seleccionar el reactor más adecuado para la producción del Autopolish.
- Determinar la nueva distribución del área de producción de Produquim Ltda. para la adecuación del reactor para la producción del Autopolish.
- Realizar el análisis financiero para la implementación del reactor para la línea de producción independiente del Autopolish.



## 1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los conceptos generales de un detergente y un reactor. En la primera sección se describen los principales componentes de un detergente y sus funciones dentro de su composición, además de un esquema general de los requerimientos necesarios para su elaboración. En la segunda sección se describen los diferentes tipos de reactores usados en la industria, sus características principales y las consideraciones en el dimensionamiento del equipo como la agitación y trayectorias de flujo.

### 1.1 DETERGENTE

Un detergente es una mezcla compleja de sustancias que incrementan el efecto limpiador del agua en los objetos sólidos. Los detergentes varían en su composición, dependiendo del efecto limpiador deseado y se utilizan en el aseo personal, lavandería, limpieza de superficies duras y limpieza industrial especializada.

Existe una variedad de productos en el mercado los cuales cumplen una función específica, y se consideran todos realmente eficientes en el momento de ser usados. Sin embargo, el proceso de elaboración de algunos es más complejo que otros por el hecho de cumplir con una serie de factores que hacen un producto final de buena calidad.

El detergente líquido es uno de los productos en el que su proceso de elaboración requiere especial cuidado, ya que factores como la temperatura de reacción, el tiempo, orden de adición de materias primas y pH hacen un producto eficiente y competitivo. A continuación se definirán algunos conceptos que hacen más fácil la interpretación del detergente.

La composición de los detergentes es mejorada cada vez más debido a las condiciones de su medio ambiente. Algunos detergentes sintéticos causan contaminación al agua debido a que sus agentes surfactantes destruyen las bacterias en el suelo y son inhibidores de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Se han desarrollado y estandarizado pruebas para establecer el requerimiento biodegradable de muchos detergentes.

Los jabones tienen una cadena larga de carbonos al final de la cual hay un ácido carboxílico que por lo general se encuentra en forma de sal de sodio, las moléculas reaccionan con los iones del agua dura formando el precipitado blanco que se conoce como sarro.

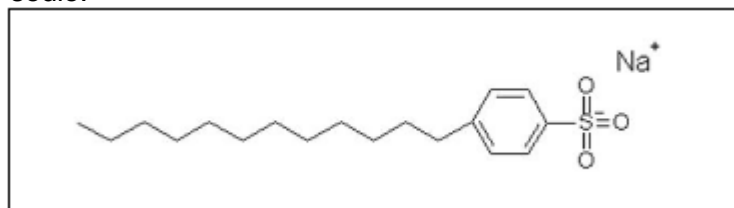
En cambio los detergentes son moléculas que generalmente contienen un ión sulfonato de sodio ( $\text{SO}_3\text{-Na}$ ). Las moléculas del detergente interactúan con los iones de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  del agua, evitando que se forme el sarro.<sup>1</sup>

Los jabones caseros dominaron el mercado de detergentes por muchos años, en la mayoría de los países desarrollados, los detergentes surfactantes no jabonosos han desplazado a los jabones caseros en el mercado mundial. Esta situación cambiante junto con el aumento de los estándares de vida hace del establecimiento de esta planta una inversión segura y rentable.

**1.1.1 Mecanismo de acción de un detergente.** Los detergentes constan de moléculas con una parte que presenta repulsión por el agua (hidrofobia), compuesta por una cadena hidrocarbonada, y otra parte muestra un grado de afinidad o atracción hacia el agua (hidrofilia), formada por el grupo sulfonato de sodio ( $\text{SO}_3\text{-Na}$ ).

El principal agente tensoactivo usado en los detergentes se produce de la reacción química entre el ácido dodecilsulfónico y el Carbonato de sodio, originándose una sal conocida como Dodecilsulfonato de sodio (NaLAS), sustancia que actúa como detergente. Su estructura se representa en la **Figura 1**.

**Figura 1.** Estructura del Dodecilsulfonato de sodio.

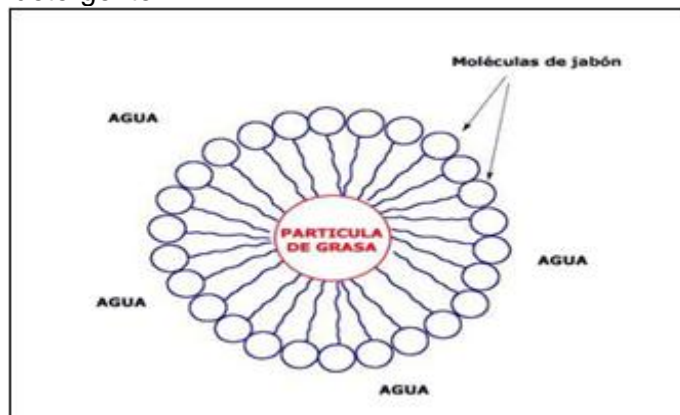


**Fuente:** GONZÁLEZ, Cesar y NIÑO, Emanuel. 2001. Modificado por el autor.

Cuando se añade detergente al agua, sus cabezas hidrofílicas cargadas eléctricamente tienden a disolverse en el agua, mientras que las largas cadenas hidrofóbicas se unen a las partículas de grasa y permanecen en el interior, escapando del agua. De esa manera, se forman grupos circulares llamados micelas, con el material graso absorbido dentro y atrapado, proporcionando un medio no polar en el sistema acuoso, en el que puede disolverse la grasa. Como se presenta en la **Figura 2**.

<sup>1</sup> VICENT, María & ALVAREZ, Silva. Química orgánica. Valencia; Universidad politécnica de Valencia Editores, 2006, p 135.

**Figura 2.** Formación de micelas mediante el detergente.



**Fuente:** GONZÁLEZ, Cesar y NIÑO, Emanuel. Disponible en: [http://jabonesydetergentes.tripod.com/Impacto\\_Ambiental.htm](http://jabonesydetergentes.tripod.com/Impacto_Ambiental.htm).

Se origina entonces una emulsión de aceite en agua, liberando las partículas de grasa. El detergente limpia actuando como emulsificante, permitiendo que la grasa y el agua se mezclen. En este proceso detergente influyen las diferentes interfaces, sus energías, la adsorción y desorción del tensoactivo, la suciedad presente en el sustrato y el mantenimiento en suspensión o en emulsión de la suciedad en el medio.

**1.1.2 Funciones del detergente.** Un detergente realiza dos funciones: a) desprender la suciedad de la superficie a limpiar, y b) dispersar o disolver la suciedad en el agua. La clave del sistema detergente es modificar las propiedades de las interfaces entre el sustrato, la suciedad y el agua, pues, tiene la capacidad de cambiar la energía de las interacciones entre la suciedad y el sustrato, mediante la acción de sus moléculas principalmente el tensoactivo que son adsorbidas en estas superficies y actúan en ellas.<sup>2</sup>

La suciedad, sea cualquiera su naturaleza, permanece retenida sobre el sustrato mediante fuerzas de Van der Waals. En el interior del líquido estas fuerzas actúan homogéneamente por todas partes sobre una molécula; sin embargo, en la superficie sólo actúan por el lado en donde otras moléculas pueden ejercer sus fuerzas, por lo tanto, están dirigidas hacia el interior del líquido. Otras fuerzas que interactúan entre la suciedad y el sustrato son las fuerzas de Quimisorción que contribuyen a estabilizar la retención de la suciedad en el sustrato, como en el caso de las fibras celulósicas, cuyos grupos hidroxilo forman fácilmente enlaces de hidrógeno con proteínas y ácidos grasos.

Anteriormente se mencionaron las fuerzas que interaccionan entre el sustrato y la suciedad, también existen fuerzas entre la cadena hidrocarbonada del tensoactivo

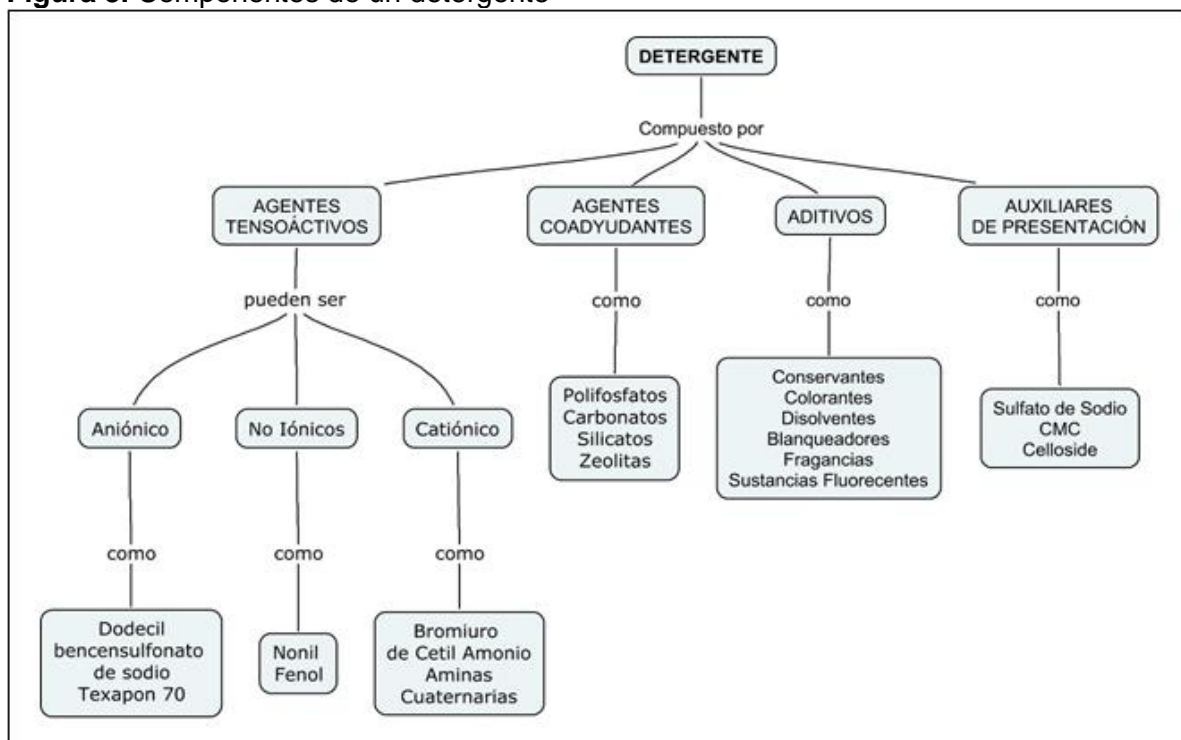
---

<sup>2</sup> Ibíd., p. 138.

y el agua, la cual experimentan fuerzas de Van der Waals, ligeramente mayor que la atracción entre las propias cadenas (enlaces covalentes), pero ambas atracciones son mucho menores que la atracción agua-agua (puentes de hidrógeno).

**1.1.3 Componentes del detergente.** Los detergentes contienen varios tipos de ingredientes, como los surfactantes que disminuyen la tensión superficial del agua. Otro tipo de ingrediente utilizado en esta producción son los agentes reforzadores, sales inorgánicas o álcalis que realzan el efecto limpiador de los surfactantes. Los detergentes también contienen agentes auxiliares que incrementan las características de rendimiento de los materiales. Es importante distinguir los componentes del detergente con el fin de identificar sus propiedades. En la **Figura 3**. Se esquematiza todos los componentes descritos para la formación de un detergente. Y algunas de las materias comúnmente usadas para cada uno de los agentes mencionados.

**Figura 3.** Componentes de un detergente



**1.1.3.1 Agentes tensoactivos.** Disminuyen la tensión superficial, ayudando en la penetración, remojo, emulsificación, dispersión, solubilización y formación de espuma. Los tensoactivos se clasifican normalmente de acuerdo con la carga que lleva en la parte hidrofílica, pueden ser iónicos (aniónicos y catiónicos) y no iónicos.

Tensoactivos aniónicos: contienen cadenas de hidrocarburos saturados unidos a grupos sulfonato o sulfato, por ejemplo el dodecilsulfonato de sodio lineal (NaLAS) y el Texapón 70. El primero se fabrica por sulfonación de dodecilsulfonato lineal que a su vez se obtiene por alquilación del benceno con un dodeceno de cadena lineal cuyo doble enlace no necesariamente se encuentra en la posición terminal, y el segundo tiene una cadena hidrocarbonada formada por el grupo sulfato de sodio ( $\text{OSO}_3 - \text{Na}$ ).<sup>3</sup>

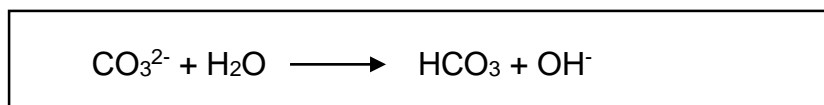
Tensoactivos catiónicos: Son aquellos que en solución forman iones, resultando cargado positivamente el grupo hidrófobo de la molécula. Como representante de este grupo se encuentra el Bromuro de Cetil Amonio; en general, son compuestos cuaternarios de amonio o una amina grasa en medio ácido.<sup>4</sup>

Tensoactivos no iónicos: Son excelentes agentes humectantes, compatibles con aniónico y catiónicos, no son afectados por los iones calcio-magnesio del agua dura. Ejemplo el nonilfenol en sus diferentes concentraciones <sup>5</sup>

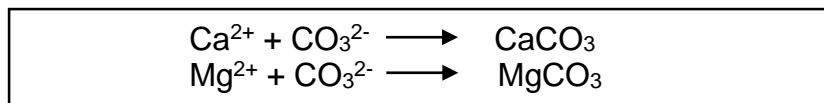
Los bencensulfonatos no se precipitan con las aguas duras porque sus sales de calcio y magnesio son solubles, pero estos iones disminuyen su poder de detergencia, porque se fijan sobre las micelas de la suciedad grasa y las flocculan en parte. Por esta razón se añaden secuestrantes o coadyudantes de estos iones.

**1.1.3.2 Agentes coadyuvantes.** Aportan propiedades particulares a los de los componentes fundamentales en la acción específica de limpieza. Son agentes que le ayudan al tensoactivo en su labor.

Carbonato de sodio: alcaliniza el agua (lo que evita la precipitación de los ácidos grasos) y elimina los iones calcio y magnesio del agua dura. El que se encarga de ello es el ion carbonato, que reacciona con el agua y aumenta el pH (es decir, aumenta la alcalinidad de la solución ( $\text{OH}^-$ )).



Además, el ion carbonato reacciona con los iones que causan la dureza del agua y los elimina como sales solubles.

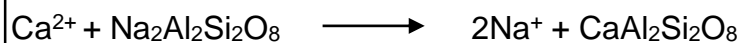


<sup>3</sup> Jungerman, E., Cationic Surfactants, Marcel Dekker, Inc., New York, 1970. p. 2.

<sup>4</sup> *Ibíd.*, p. 4.

<sup>5</sup> Schick, M. 1., Nonionic Surfactants, Vol. I, Marcel Dekker, Inc., New York, 1987. p. 3.

- **Zeolitas.** Mantienen en suspensión los iones de calcio (en lugar de precipitarlos). Los aniones de las zeolitas capturan iones de calcio intercambiándolos por sus propios iones de sodio.



Las soluciones de zeolita no son demasiado alcalinas y por ello irritan menos la piel y los ojos que las soluciones con carbonato de sodio.<sup>6</sup> Las zeolitas, son una solución más ecológica, pero son insolubles al agua y se acumulan en el fondo de lagos y ríos, con los consiguientes perjuicios a la hora de potabilizar el agua (se tienen que tratar más lodos).<sup>7</sup>

- **Silicatos.** Las soluciones de silicato son agregadas a la pasta detergente y ayudan a controlar la viscosidad para la producción de un polvo detergente de la densidad deseada.

**1.1.3.3 Aditivos.** Aportan propiedades adicionales a la acción específica de limpieza. Entre los principales aditivos para detergentes se encuentran los conservantes, blanqueadores, fragancias y colorantes.

- **Conservantes.** Son Sustancias que permiten mantener la estabilidad evitando la contaminación bacteriana del detergente. Por ejemplo, propil y metil parabenos.
- **Blanqueadores.** Componentes que reaccionan en el lavado reaccionando químicamente para eliminar los pigmentos de un material, pueden ser sustancias cloradas como el hipoclorito de sodio, o sustancias oxidantes como el peróxidos o perboratos, también existen en la industria blanqueadores ópticos, que tiene la propiedad de absorber la radiación ultravioleta de la luz como el Tinopal y derivados del tolueno.
- **Colorantes y fragancias.** Son para darle la terminación agradable al producto y disminuir posibles feos olores debido a los tensoactivos o algún otro componente. La elección de los mismos dependerá de la propia necesidad o de las preferencias de los clientes a los cuales se destinará.

**1.1.3.4 Auxiliares.** Son materias primas minerales u orgánicas, evitan que el detergente se apelmace y el coadyuvante actúa sobre los iones que causan dureza en el agua, proveniente del mismo, suspendiéndolos y evitando así su deposición como insolubles sobre el material que se lava. Entre ellos se destacan:

---

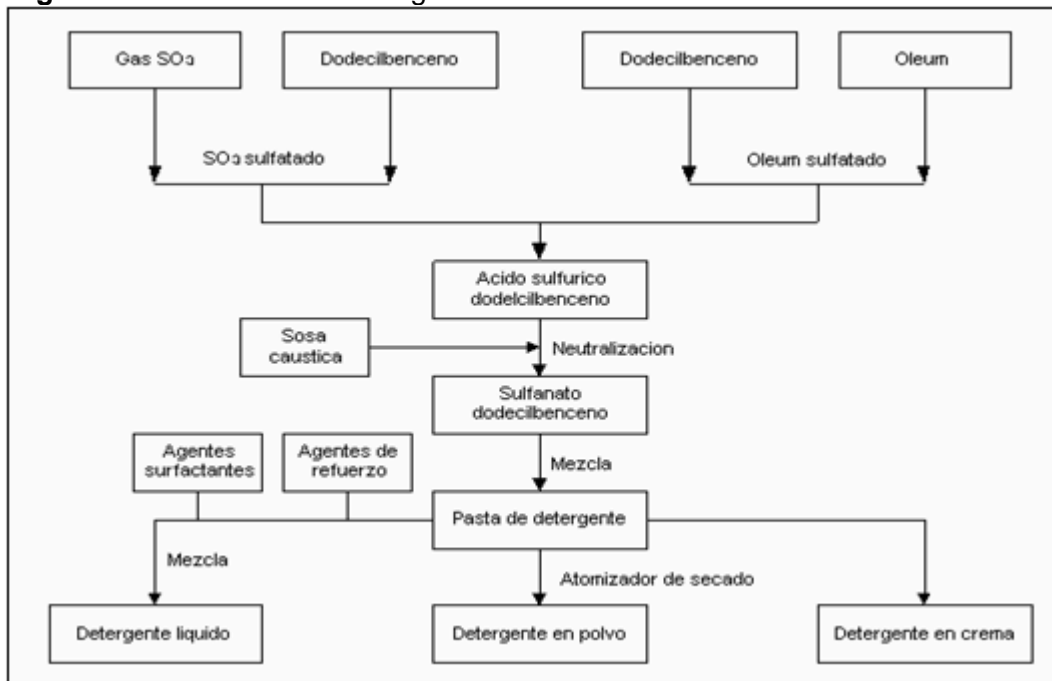
<sup>6</sup> Ibíd., p. 18.

<sup>7</sup> Ibíd., p. 19.

- **Celloside.** Agente de viscosidad, se activa en pH alcalino, aumentando la viscosidad del producto.
- **Sulfato de sodio.** Evita el apelmazamiento del polvo en los tejidos.

**1.1.4 Elaboración de un detergente.** A continuación se presenta en la **Figura 4**, un esquema sobre la producción de detergentes sintéticos. Este diagrama general de la elaboración de detergentes, describe la obtención comercial de dodecilsulfonato de sodio base para formar una pasta detergente para partir de allí a los derivados de detergentes ya sea líquido, en polvo o en crema.

**Figura 4.** Elaboración de detergentes.



Esta pasta detergente, debe contener la materia activa necesaria con la que se desea producir un detergente líquido y así dejar lista esta pasta para adicionarle los demás aditivos que forman el detergente y que le dan las características de suavidad, viscosidad, pH, entre otras.

## 1.2 REACTORES

Actualmente existen una variedad de definiciones para un reactor industrial, para esta aplicación, un reactor es un dispositivo donde ocurre un cambio en la composición a causa de una reacción química dentro de él. En la fabricación del Autopolish se presenta un sistema de reacción homogéneo en fase líquida, y por tanto su composición es idéntica en cualquier parte del sistema. Para este tipo de

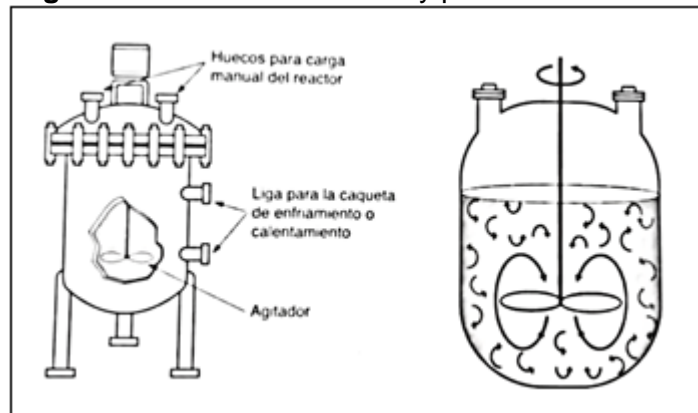
proceso los tipos de reactores más adecuados son el reactor intermitente y el reactor semicontinuo.

### 1.2.1 Tipos de reactores.

**1.2.1.1 Reactor intermitente.** El reactor intermitente también llamado Batch o Tanque por Lotes, se conoce así debido a que opera por ciclos. Tiene como característica que las sustancias ingresan al comienzo del proceso, una vez ingresadas son llevadas a condiciones de temperatura o presión requeridas y al alcanzarlas se procede a la descarga del producto, su peculiaridad es que durante la transformación de los componentes no puede existir ingreso de ningún tipo de material.

El reactor Batch es usado en la industria para manejar grandes cantidades de sustancias y cuando la velocidad de reacción aumenta, también se lo usa a escala experimental en estudios de cinética de reacción. Este tipo de tanque opera en estado no estacionario, por lo tanto la modificación de las sustancias aumenta con el tiempo cuando el sistema no esté en equilibrio químico. El reactor intermitente tiene la ventaja de permitir una alta conversión. En la **Figura 5** se observa un reactor simple intermitente homogéneo y sus patrones de mezcla al realizarse agitación.

**Figura 5.** Reactor intermitente y patrones de mezcla.



**Fuente:** FOGLER. Elementos de la ingeniería de las reacciones químicas. 2006.

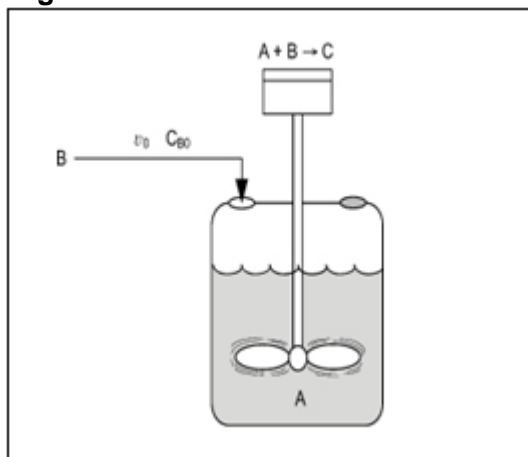
El reactor posee una agitación casi perfecta, esta condición de agitación no es tan difícil de alcanzar siempre y cuando la fase líquida no sea demasiado viscosa. El propósito de lograr una buena agitación es lograr que en el interior del tanque se produzca una buena mezcla de los materiales, con el fin de asegurar que todo el volumen del recipiente se utilice para llevar a cabo la reacción, y que no existan o queden espacios muertos. Debido a que los reactores son comúnmente la parte central de un proceso químico completo, el control de la operación del reactor



intermitente ha sido uno de los problemas más importantes en la industria química.<sup>8</sup>

**1.2.1.2 Reactor semicontinuo** El reactor semicontinuo o también conocido como un reactor de retromezcla (backmix), es un tipo de reactor de uso común en procesos industriales, y se emplea sobre todo para reacciones en fase líquida. Normalmente se opera en estado estacionario generalmente no hay dependencia del tiempo o de la posición de la temperatura, la concentración o de la velocidad de reacción dentro de este reactor. Es decir, todas las variables son iguales en todos los puntos del interior del reactor. Como la temperatura y la concentración son idénticas en todo el interior del recipiente de reacción, son las mismas en el punto de salida. Estos reactores cuentan con la ventaja de que la temperatura puede controlarse regulando la velocidad de alimentación y que permite minimizar cualquier reacción secundaria indeseable manteniendo una baja concentración de uno de los reactivos. En la **Figura 6** se muestra un reactor semicontinuo donde ingresa continuamente un reactivo al equipo.

**Figura 6.** Reactor semicontinuo.



**Fuente:** FOGLER. Elementos de la ingeniería de las reacciones químicas. 2006.

Este sistema permite operar con capacidades de enfriamiento y calentamiento máximas (manteniéndose en una zona segura) y por tanto, incrementar la productividad significativamente. Por este motivo esta técnica es ampliamente utilizada en diversas industrias químicas.<sup>9</sup>

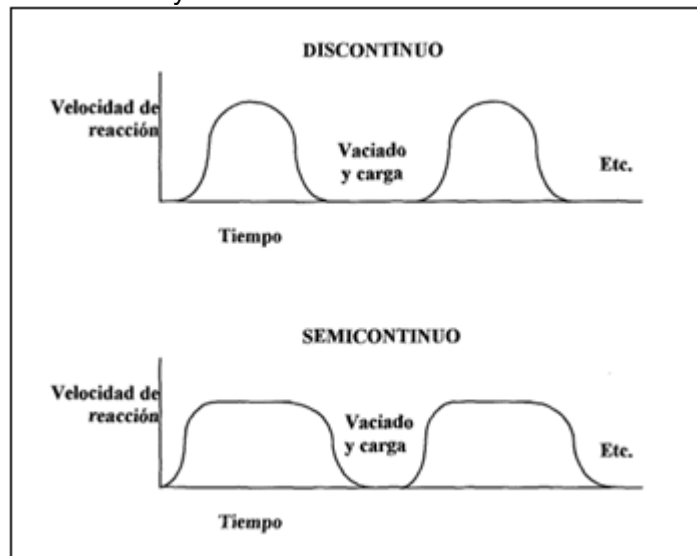
Por otra parte la mayoría de reacciones industriales son exotérmicas, y por este motivo este sistema está limitado por la posibilidad de sobredosificación que podría provocar una reacción fuera de control. En este sentido, el proceso

<sup>8</sup> Fogler Scott H, Elementos de la ingeniería de las reacciones químicas. Prentice Hall, Universidad de Michigan, USA. Cuarta edición. 2006. p. 8.

<sup>9</sup> Ibíd., p. 17.

semicontinuo es más seguro que el discontinuo, puesto que en el reactor solamente se encuentra una pequeña cantidad de reactivo no reaccionado en cada instante. Las posibles consecuencias de una reacción fuera de control provocada por la pérdida de agitación o del control de la temperatura, son menos severas que las de un proceso discontinuo<sup>10</sup>. En la **Figura 7** se presenta un esquema del comportamiento de la velocidad de reacción a través del tiempo entre un proceso en un reactor intermitente (discontinuo) y un reactor semicontinuo.

**Figura 7.** Velocidad de reacción entre un proceso discontinuo y semicontinuo.



Fuente: CORBELLA, Luis. Estudio del comportamiento de reactores discontinuos y semicontinuos. 1999.

Como se observa en la **Figura 7**. Cuanto más tiempo trabaja el reactor a la máxima velocidad de reacción, mayor es la productividad. El proceso semicontinuo permite operar más tiempo en estas condiciones, a la vez que disminuye el tiempo muerto de vaciado y llenado, respecto al proceso discontinuo.

<sup>10</sup> CORBELLA, Luis. Estudio Del Comportamiento De Reactores Discontinuos Y Semicontinuos: Modelización Y Comprobación Experimental; Universidad politécnica de Cataluña, 1999, p 7.

## 2. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO

En este capítulo se presenta el contexto y las políticas de calidad de la empresa, el producto de interés y su importancia para la compañía, además se exponen los factores físicos y químicos que influyen en la producción a escala industrial del detergente Autopolish realizado en dos secciones; la primera evaluará la condición del proceso de producción identificando las propiedades que actualmente se exigen al producto para cumplir con las especificaciones de calidad. La segunda definirá las propiedades necesarias en el dimensionamiento del reactor y el mercado conduciendo a unos estándares de calidad superiores que permitan estandarizar las especificaciones del producto.

### 2.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA

En el año 1986 el señor Jairo Hernán Cáceres prestó sus servicios como vendedor profesional en una empresa Multinacional de productos químicos para mantenimiento industrial, y después de ser entrenador de vendedores por varios años en diferentes ciudades del país, fundó su propia empresa.

El 24 abril de 1995 se creó Produquim Ltda., una empresa inicialmente dedicada a la elaboración de productos químicos para el mantenimiento industrial, tales como desengrasante, detergente multiusos, desinfectante, blanqueador, ceras, jabones para manos y cuerpo, los cuales eran elaborados por el ingeniero químico Carlos Rubiano. Pero después de un tiempo, el señor Jairo Cáceres adquirió los conocimientos de la elaboración de los productos químicos y decide fabricar sus propios productos con la colaboración de su esposa María Isabel Perafán.

En el año 1999 ante el incremento de clientes y pedidos, la empresa tuvo que ampliar su capacidad, contratar más personal y definir una estructura organizacional. Como resultado se logró mayor reconocimiento a nivel nacional y se decidió implementar la línea de productos químicos para el aseo doméstico e institucional, lo cual arrojó muy buenos resultados sin dejar atrás la línea industrial. En el 2005, se creó la división hogar con productos de aseo dirigidos al uso doméstico e institucional. Tal fue la apertura y el crecimiento que decidieron convertir esta división como distribuidora con el nombre de *Aseo Distribuciones*, con productos fabricados exclusivamente por Produquim Ltda. Dicha empresa manejaría la logística de venta de productos para el hogar.

### 2.2 LA EMPRESA Y POLÍTICA DE CALIDAD

Actualmente la empresa se encuentra ubicada en la Calle 21 Sur N° 68G - 15, barrio Villa Claudia y cuenta con un área aproximada de 220m<sup>2</sup> que se distribuyen en punto de venta al público, área de producción, Laboratorio, área administrativa y almacenamiento de insumos y producto terminado, en la **Figura 8** se muestra la

fachada principal de la empresa, la **Figura 9** presenta el área de producción y zona de despacho.

**Figura 8.** Fachada principal de Produquim Ltda.



**Figura 9.** Área de producción y zona de despacho Produquim Ltda.



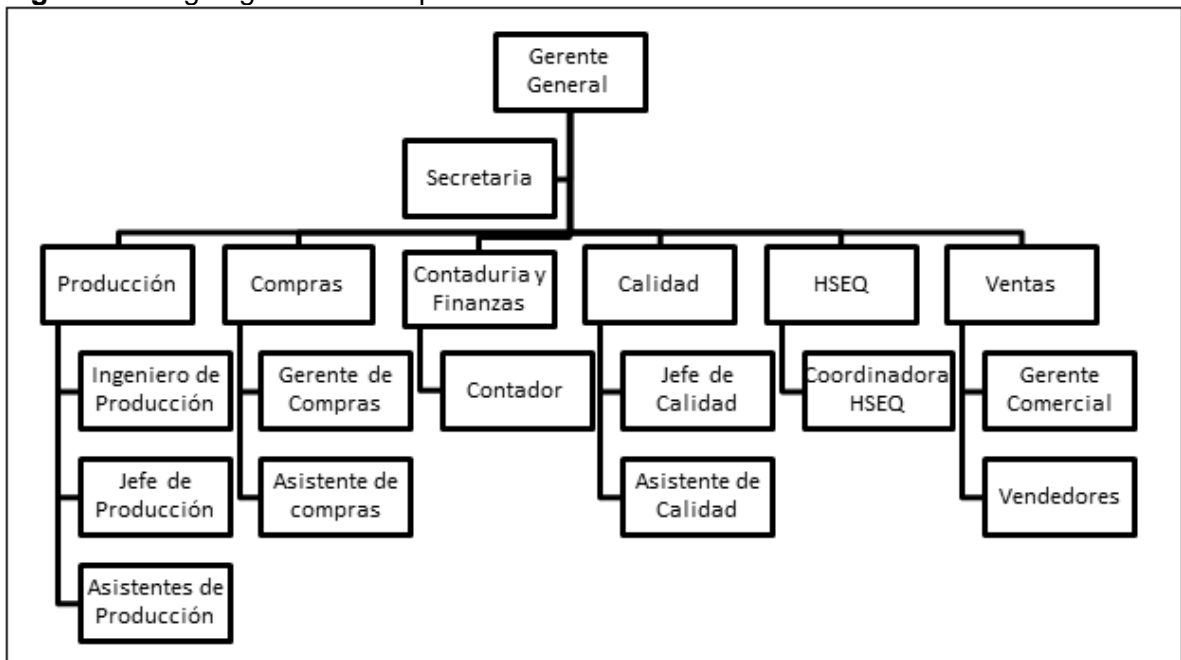
**2.2.1 Misión.** Desarrollar, fabricar y comercializar productos para el aseo industrial e institucional de excelente calidad, satisfaciendo las necesidades de los clientes y demás grupos de interés, con personal idóneo e íntegro garantizando un desarrollo sostenible de la compañía.

**2.2.2 Visión** Para el 2021 seremos líderes a nivel nacional en el sector industrial e institucional, en la fabricación y comercialización de productos industriales de aseo, siendo reconocidos como una empresa emprendedora y comprometida con altos estándares de calidad, con la mejora continua en nuestros procesos y desarrollos para nuestros clientes

**2.2.3 Organigrama** Produquim Ltda. Cuenta con 8 empleados de planta tiempo completo, los servicios de un contador y vendedores independientes en la ciudad de Bogotá y el departamento del Valle del Cauca. En la **Figura 10** se presenta el organigrama de la empresa.

La producción promedio mensual de todos los productos fabricados por la empresa en el primer semestre del año 2015 fue de 17.280 litros, logrando una fabricación total hasta Septiembre de 2015 de 180.800 litros, y se estima una producción anual para este año de 207.250 litros aproximadamente.

**Figura 10.** Organigrama Produquim Ltda.



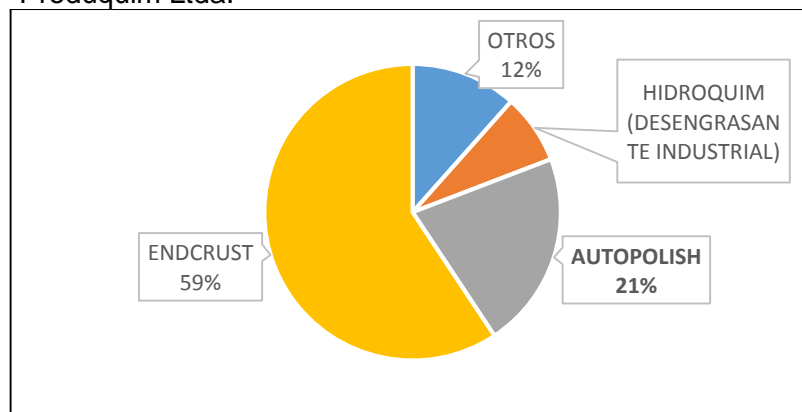
**2.2.4 Productos.** Produquim Ltda. Elabora aproximadamente 30 productos químicos para el aseo institucional, Aseo Distributions los comercializa a más de cien clientes en todo Bogotá. Los productos fabricados son de uso industrial, institucional y doméstico, los cuales van orientados a clientes como industrias, colegios, conjuntos residenciales, jardines, hospitales, clubes y hogar. Los productos hogar se diferencian porque tienen la función principal de aromatizar el ambiente, remover la suciedad y propender por el cuidado de objetos o áreas que posteriormente estarán en contacto con el ser humano.

Los 22 productos que conforman la línea institucional se clasifican en: ambientadores, blanqueadores, ceras auto brillantes, detergente líquido multiusos, detergente para lavadora, detergente líquido para lava loza, desengrasantes, desinfectantes, desmanchadores de ropa, limpia vidrios, jabones para manos y cuerpo, suavizante para ropa, removedor de ceras, selladores y siliconas.

Los 10 productos que conforman de la línea industrial se clasifican en: Ajustadores de correas, detergentes Líquidos, desengrasantes, desengrasantes fosfatados, desincrustantes químicos, germicidas, limpiadores de acero inoxidable y aluminio, lubricantes, refrigerantes y tratamientos de aguas para calderas.

La empresa también comercializa varios productos especializados en aerosol para la limpieza y el mantenimiento. En la **Gráfica 1** se presenta la distribución de la producción anual de los productos fabricados por la empresa.

**Gráfica 1.** Distribución de la producción año 2015  
Produquim Ltda.



Continuamente la empresa busca ampliar su mercado y el mejoramiento de sus productos, mediante el uso de nuevas materias primas, instrumentos en su laboratorio, capacitación a sus operarios y adecuación de su planta física.

**2.2.5 Detergente Autopolish.** Es un Producto líquido hecho con la combinación química de agentes emulsificantes, desengrasantes y tensoactivos penetrantes. Efectivo y seguro para la remoción de la suciedad ambiental e industrial adquirida en los vehículos. Su formulación especial lo hace un producto biodegradable. Profundiza y remueve la suciedad en menor tiempo, protege el acabado de los vehículos especializados en el transporte del concreto, dejando la superficie sin marcas y residuos. En el **Cuadro 1**. Se describe cada materia prima y su orden de adición, sus características físicas y su función principal en el producto como su porcentaje en la composición del producto terminado.

**Cuadro 1.** Materias primas utilizadas en la producción del Autopolish.

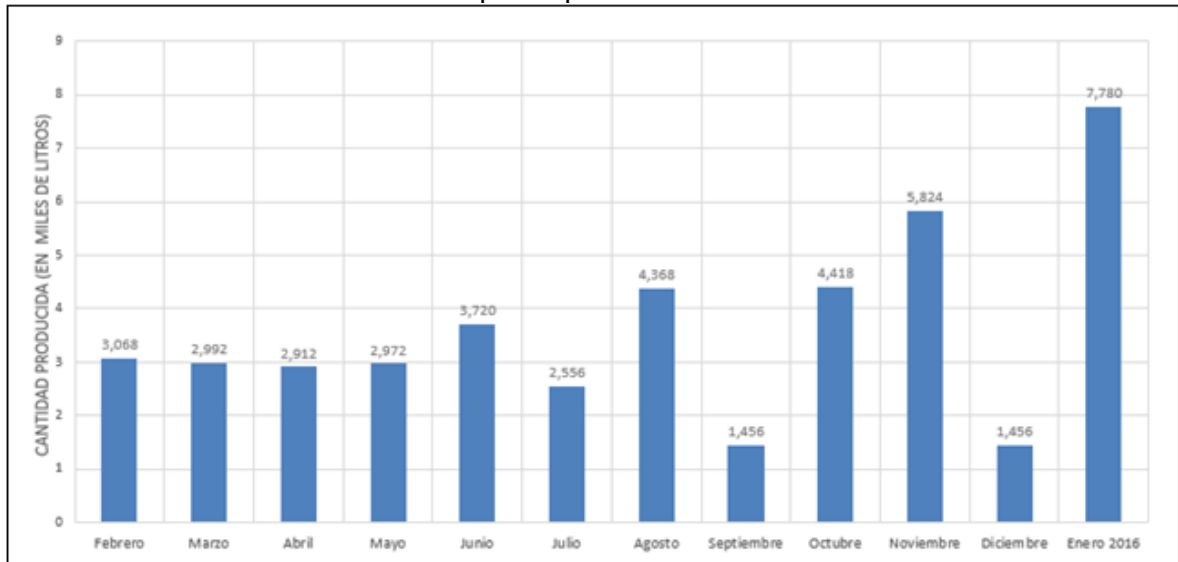
<b>Materia Prima</b>	<b>Características físicas</b>	<b>Función principal</b>	<b>Composición</b>
<b>Agua</b>	Líquido incoloro, inodoro y traslucido.	Disolvente de la materia prima.	91%
<b>Celloside</b>	Sólido cristalino y blanco de forma granular.	Tiene la función de unificar y lograr un sistema homogéneo, adhiere y une el ácido sulfónico con el carbonato de sodio al agua <sup>11</sup> . Agente de viscosidad.	0,5%
<b>Ácido Sulfónico Lineal (HLAS)</b>	Líquido viscoso, color marrón. Altamente corrosivo.	Agente espumante. Ayuda a efectuar la labor de limpieza <sup>12</sup> . Reactivo para formar el tensoactivo aniónico.	8,6%
<b>Carbonato de sodio</b>	Sólido blanco, cristalino, inoloro.	Estabiliza el pH. Aporta el poder desengrasante y reactivo con él LAS para formar el tensoactivo aniónico.	3,6%.
<b>Formol</b>	Líquido incoloro, olor desagradable.	Preservante. Disminuye la carga microbiana.	0,2%

El *Autopolish* en el año 2015 presentó una producción mensual promedio de 3626 L de producto, Debido a su potente acción de limpieza este producto ha aumentado su demanda en un 55% de su oferta inicial y tuvo una producción 43,5 m<sup>3</sup>/año. En la **Gráfica 2** se presenta la producción mensual del último año.

<sup>11</sup> ALEJANDRO. Elaboración artesanal de detergente .Disponible en: [http://industriasquimicas.blogspot.com/2009\\_03\\_01\\_archive.html](http://industriasquimicas.blogspot.com/2009_03_01_archive.html).

<sup>12</sup> EMAGISTER. Guía inteligente de formación. Elaboración práctica y técnica de cosméticos, productos de limpieza y afines. Disponible en: [http://www.emagister.com/uploads\\_courses/Comunidad\\_Emagister\\_62923\\_62923.pdf](http://www.emagister.com/uploads_courses/Comunidad_Emagister_62923_62923.pdf).

**Gráfica 2.** Producción mensual Autopolish período febrero/2015 a enero/2016.



Se proyecta una producción para el año 2016 con un aumento del 25% con respecto al año anterior por parte del departamento comercial. Sustentado en ampliar las ventas en nuevos departamentos. Llegando a producir 58760 Litros del detergente en más de 40 ciudades del país.

## **2.3 EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL DETERGENTE LÍQUIDO AUTOPOLISH**

**2.3.1 Proceso de elaboración del Autopolish.** Esta evaluación comienza con la descripción del proceso de la elaboración del detergente líquido y las condiciones en cada etapa de proceso. La elaboración de este producto consta de 7 etapas de producción, alistamiento de las materias primas, diluciones de los reactivos y aditivos, mezclado, envasado, etiquetado y almacenamiento. Las cuales se muestran en el diagrama de flujo de la **Figura 11**. A continuación se describe el proceso de producción de la base detergente en la planta, desde la llegada de la materia prima, hasta el almacenamiento del producto terminado.

**2.3.1.1 Recepción de materia prima.** AMOQUIMICOS Y CIACOMEQ son los distribuidores que han estado a lo largo de la operación de la empresa, suministrando las materias primas: ácido sulfónico lineal, carbonato de sodio, celloside y formol necesarios para la fabricación del Autopolish. Las materias primas llegan a la empresa y es verificada la cantidad adquirida en la balanza y su estado de embalaje. Esta no es analizada en sus parámetros mínimos de calidad, dado que no dispone de un laboratorio con equipos y reactivos para el control de la materia prima, por ende se confía en el certificado de análisis emitido por el proveedor, el cual llega con cada lote recibido. La tonalidad del color del HLAS,



puede variar entre caneca y caneca, y el certificado para todos los lotes es el mismo.

**2.3.1.2 Alistamiento de materia prima.** La materia prima es pesada antes de agregarse a los tanques mezcladores teniendo en cuenta el orden y las cantidades establecidas en la formulación con la balanza, se rotulan los recipientes donde se encuentran fraccionadas y después son transportadas hacia estos tanques para su dilución.

**2.3.1.3 Dilución.** En el proceso de fabricación del Autopolish son necesarias dos diluciones separadas de un reactivo y el agente de viscosidad, la primera dilución es del carbonato de sodio que se encuentra en escamas con agua, estos se realiza en un tanque mezclador con agitación mecánica a 60 rpm durante 10 minutos hasta la completa disolución del reactivo y se encuentre la mezcla completamente en estado líquido, esto se realiza para facilitar la incorporación de la sal en el momento de mezclado, y que no se presente activación inmediata del celloside con el carbonato de sodio en escamas y no se genere su disolución en el reactor. La segunda dilución es del Agente de Viscosidad con la mitad de la cantidad del agua de la formulación, se realiza directamente en el reactor y es la primera adición según el orden de las materias primas, este proceso tiene una duración de 15 minutos cargando inicialmente el agua y agregando el celloside pasando por una muselina antes de ingresar al equipo para lograr un tamaño de partícula uniforme, así como la concentración del agente uniforme con el disolvente en cualquier parte del reactor.

Este Agente se activa con pH Alcalino ( $\text{pH} > 9$ ) por eso se agrega antes del realizar la neutralización para así evitar la posible floculación entre el sistema carbonato – celloside.

**2.3.1.4 Mezclado.** Es la operación unitaria principal del proceso, en esta etapa se realiza el proceso de neutralización de ácido sulfónico lineal (HLAS) con el carbonato de sodio llevando a cabo esa reacción, inicialmente se agrega completamente el HLAS en el reactor previamente cargado con la dilución del agente de viscosidad, con agitación constante a una velocidad 80 rpm, hasta obtener una mezcla homogénea, después se agrega el formol como conservante, y finalmente se agrega la dilución del carbonato de sodio lentamente hasta lograr su completa incorporación, en este momento se forman micelas al entrar en contacto el carbonato con el ácido indicando el inicio de la reacción, gradualmente el celloside se activa, y la viscosidad del producto comienza a aumentar, se somete a agitación durante 30 min. El proceso culmina hasta la completa incorporación del carbonato, la desaparición de las micelas y al obtener un fluido homogéneo y translucido, antes de proceder con el envasado se toma una muestra del lote para realizar el control de calidad del producto y si cumple con sus características establecidas se autoriza realizar su siguiente etapa, si presenta

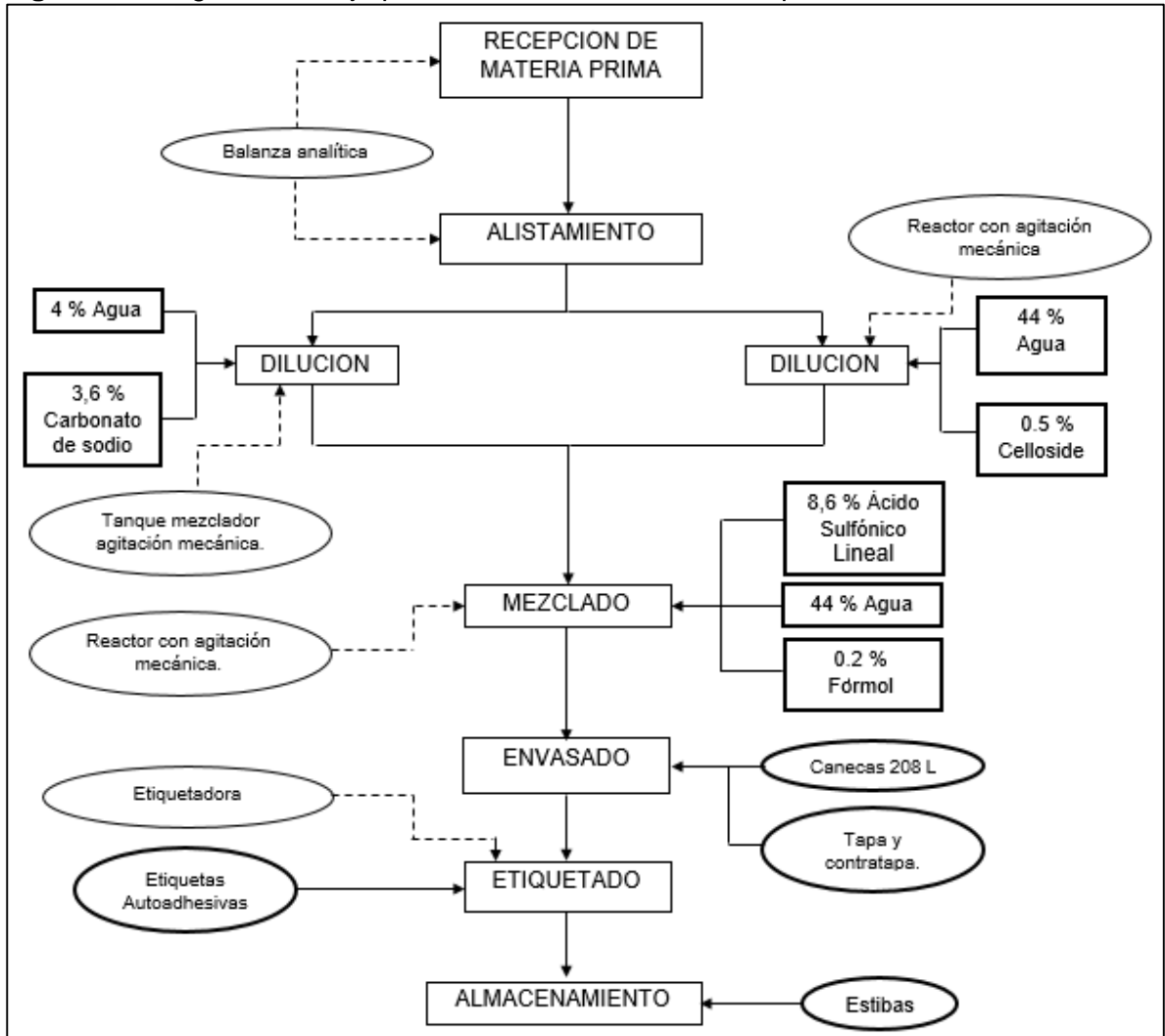
condiciones por fuera de los estándares de pH y densidad se procede a realizar una ajuste al lote.

**2.3.1.5 Envasado.** El producto se deja reposar durante 5 min antes de proceder con la descarga, durante este tiempo se instalan las mangueras y válvulas para realizar el llenado, posteriormente se envasa en canecas de 208 L. El llenado es manual mediante una válvula de bola instalada en el fondo del tanque, presentando variaciones en la cantidad de producto por unidad, puesto que no existe un control de llenado, Cuando es completado el llenado se coloca su contratapa y tapa plástica con el fin de reducir riesgos de derrame en el transporte del producto.

**2.3.1.6 Etiquetado.** Se utiliza etiquetas autoadhesivas que son llevadas a la etiquetadora antes de ser colocadas en el envase para ser loteadas y marcadas con su respectiva fecha de vencimiento, después son ubicadas manualmente en la mitad de la caneca. Y se verifica el estado final del producto antes de llevarse almacenamiento.

**2.3.1.7 Almacenamiento.** Finalmente cuando el producto se encuentra terminado se desplazan hacia la zona de almacenamiento, colocadas en estibas de plástico y a disposición para la distribución por parte del área de logística. Teniendo en cuenta la demanda del mismo y dura aproximadamente en stock entre 5 y 20 días.

**Figura 11.** Diagrama de flujo proceso de fabricación del autopolish.



Al finalizar la producción el producto terminado debe cumplir con las características descritas en la ficha técnica del producto presentadas en el **Cuadro 2**. Todos los procedimientos realizados se registran en la orden de producción del producto (**Anexo A**) y los resultados de los análisis físicos y químicos en la casilla dispuesta para el control de Calidad del producto.

**Cuadro 2.** Características Sensoriales, Físicas y químicas actuales del detergente autopolish.

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
<b>Viscosidad</b>	El detergente debe ser ligeramente viscoso, parecido a un aceite vegetal.
<b>Color.</b>	Debe ser incoloro uniforme
<b>Olor.</b>	Olor Característico
<b>Detergencia.</b>	El producto terminado no desinfecta, pero debe ser capaz de eliminar cualquier tipo de suciedad sin dañar la superficie.
<b>pH</b>	Alcalino, 10-12
<b>Densidad</b>	0,95 g/mL – 1.2 g/ml

Fuente: PRODUQUIM LTDA.

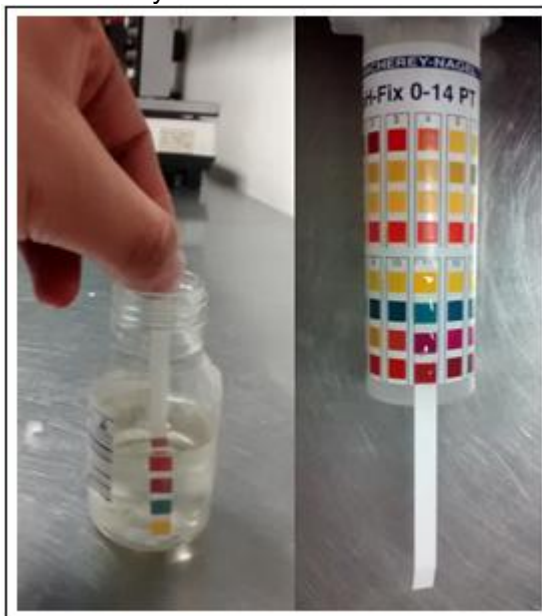
**2.3.2 Análisis a materias primas.** Actualmente la empresa no realiza análisis físicos ni químicos a la materia prima utilizada para la elaboración de sus productos, por esto no es posible comprobar que los resultados establecidos en los certificados de análisis entregados por los proveedores. Solamente se realiza una verificación en el alistamiento de sus características sensoriales, como lo son el aspecto, color y olor.

**2.3.3 Análisis físicos y químicos en el proceso** En el proceso de producción actualmente se miden dos propiedades del producto, que son el pH y la densidad. Estos análisis fisicoquímicos se realizan antes de proceder con la descarga del producto del reactor y el posterior envasado, a continuación se describe el procedimiento para cada una de estas variables

**2.3.3.1 pH** La medición de esta propiedad se realiza de forma cualitativa por medio de cinta indicadora en la parte final de la operación de mezclado, este proceso se realiza sacando una muestra del lote producido, se ingresa una cinta dentro de la muestra hasta que cambie su coloración y sea estable, después se realiza una comparación con la escala de color de la cinta indicadora establecida por el proveedor, y se registra el resultado en la orden de producción, se aprueba el pH del producto si se encuentra dentro de la especificación y se procede a realizar el análisis de densidad, si no se encuentra dentro de parámetros, se informa a producción para que realicen el ajuste realizando una adición de carbonato de sodio cuando se encuentra por debajo del intervalo y ácido sulfónico lineal cuando se encuentra por encima del intervalo.

La especificación para este parámetro con base a los análisis realizados en el proceso de desarrollo del producto va de 10 a 12 lo cual indica que el detergente es de tipo alcalino. En la **Figura 12** se observa la escala de color de la cinta Indicadora y el resultado de un lote producido en octubre de 2015.

**Figura 12.** Medición de pH con cinta indicadora y escala de color.



Fuente: PRODUQUIM LTDA.2015.

**2.3.3.2 Densidad** Para determinar la densidad del producto terminado, se toma una muestra de 50 mL ( $V_p$ ), se toma un picnómetro de vidrio de esta capacidad seco y limpio, se pesa en una balanza (PPV), posteriormente se tara el peso del picnómetro vacío, se procede a agregar la muestra en el picnómetro hasta completar su volumen, y finalmente se pesó el picnómetro de nuevo con la muestra (PPM). Para calcular la densidad se hace uso de la **Ecuación 1**. Que se describe a continuación.

**Ecuación 1.** Determinación de densidad.

$$Densidad = \frac{PPM - PPV}{V_p}$$

En la **Figura 13** se observa el pesado del picnómetro con muestra (PPM), para determinar la densidad de un lote fabricado en Octubre de 2015.

**Figura 13.** Medición actual de la densidad para el detergente autopolish.



Fuente: PRODUQUIM LTDA.2015.

**2.3.4 Reactor actual.** Los procesos productivos se realizan en un reactor de acero inoxidable de fondo cónico, con un rotor de aspa helicoidal de 3 paletas verticales planas, dos deflectores, un moto-reductor con una velocidad de mezclado de 80 rpm y un sistema de agitación mecánica. El tanque tiene una capacidad de 760 L con tapa removible, montado sobre cuatro soportes de acero. Cuenta con dos válvulas de bola ubicadas en la parte superior e inferior, la primera es de llenado, se utiliza para cargar el tanque de agua y la segunda es de drenado, en la cual sale el producto terminado. En la **Figura 14** se muestra el reactor de 760 L utilizado actualmente en el área de producción. En la **Figura 15**, se presenta el sistema de drenado que se encuentra en la parte inferior del equipo. En la **Figura 16 – A**, se presenta el agitador de paletas en el interior del reactor. En la **Figura 16 – B** Se presenta un deflector de acero inoxidable instalado en la pared interna del reactor.

**Figura 14.** Reactor de producción  
Produquim Ltda.

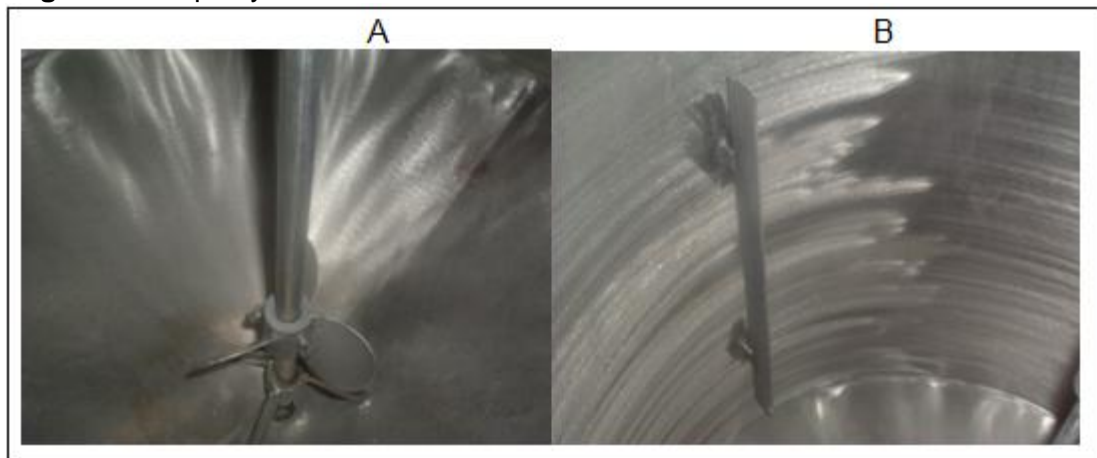


Fuente: PRODUQUIM LTDA.2015.

**Figura 15.** Sistema de drenaje del reactor.



**Figura 16.** Aspas y deflectores reactor actual.



Fuente: PRODUQUIM LTDA.2015.

## 2.4 DIAGNÓSTICO DEL PROCESO

**2.4.1 Ventajas del proceso.** La función principal del detergente líquido, cumple su propósito de remover la suciedad en donde se aplique el producto, dejando una acción penetrante y efectiva que impacta a los consumidores.

El diseño del equipo actual se considera adecuada, debido a que las partes que lo conforman permiten un mezclado completamente homogéneo. Primero, el ángulo de inclinación de las aspas permiten una mezcla completa, los dos deflectores ubicados en cada extremo del tanque cortan la velocidad de la mezcla para evitar un vórtice fuerte, la salida del tanque con terminación cónica permite un drenaje completo, la construcción en acero inoxidable es apta para los reactivos para la producción del detergente (HLAS y carbonato de sodio) a mezclar en éste. Debido a que el material es altamente resistente a la corrosión que puede ser causado por estas materias primas.

**2.4.2 Desventajas del proceso.** La calidad de la materia prima por el proveedor no es garantizada por la empresa, debido a la variabilidad que se presenta en cada lote de materia prima suministrada. Como el color y el aspecto en el ácido sulfónico lineal. Además, el certificado de análisis suministrado por el proveedor no coincide con el número de lote de la materia prima suministrada, dando a entender que envían una copia de un certificado de análisis repetido.

Falta de análisis de materia prima, esto se debe al alto costo de los reactivos y equipos necesarios, para implementarlos en el laboratorio de la empresa.

La viscosidad del producto característica fundamental de los detergentes líquidos, no es analizada cuantitativamente, esto causa que se encuentre diferencia en el aspecto entre lotes producidos, logrando inconformidad por parte de los clientes por ser una característica que atrae al momento de adquirir un detergente y es referencia principal de la calidad del producto.

No se encuentra estandarizada la concentración el agente alcalino del producto, por lo cual es necesario neutralizarlo para llegar al pH deseado, este proceso dura entre 30 y 60 minutos, requiriendo materia prima extra, en este caso Carbonato de Sodio.

El tiempo de adición entre cada materia prima no está determinado, se realiza visualmente hasta que este homogenizado a simple vista, permitiendo que la mezcla no reaccione adecuadamente y forme compuestos innecesarios para el proceso.

Durante el proceso de fabricación del detergente no se adiciona completamente la cantidad de materia prima (ácido sulfónico lineal, Celloside, Carbonato de sodio) necesaria, debido a que se queda materia prima en las canecas de transporte al reactor. Como consecuencia genera una variación en los valores de pH y viscosidad logradas entre cada producción.

## **2.5 DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES PARA LA FABRICACIÓN DEL AUTOPOLISH**

Después de haber realizado un diagnóstico del estado actual del detergente líquido se evidencia que es necesario establecer parámetros en las características físicas y químicas del producto, con el fin de delimitar el comportamiento del producto, y en llegado caso se presenten situaciones por fuera de dicho parámetros. Determinar remediales para estandarizar la calidad del producto. Esto es posible al conocer cuantitativamente las variables del proceso y definir límites que garanticen los estándares de calidad definidos para el detergente Autopolish sean estables y garantizar un producto efectivo.



Para lograr esto se realizó la medición de 2 propiedades físicas y 2 propiedades químicas determinadas para los productos de aseo industrial en 10 fabricaciones realizadas en diferentes meses del Detergente Autopolish, se analiza su comportamiento y se estableció una especificación fija para cada una de estas propiedades, las cuales son Viscosidad, Densidad, pH, Alcalinidad libre y total.

**2.5.1 Determinación de viscosidad.** Para desarrollar la especificación de esta propiedad se utilizó dos viscosímetros, un Brookfield LV y un DV, estos equipos son el más acorde para la medición de viscosidades bajas viscosidades y delgados como solventes, aceites y tintas, característica que posee cualitativamente este producto con intervalo de 1 minuto en cada medición.

Para seleccionar el spin más adecuado se tuvo en cuenta esta característica así como las especificaciones técnicas del equipo descritas en la Tabla 5. Según esta tabla el spin más acorde es el # 62 (LV-2). El ajuste de la velocidad se seleccionó realizando pruebas entre 10, 20, 30 rpm y 60 rpm, velocidades en las cuales se buscan generar un torque entre 60% a 70% debido a que a este valor se generan resultados confiables porque asegura el grado de contacto efectivo entre el spin y el fluido criterio estipulado en los análisis y con base a los parámetros aconsejables y establecidos por los fabricantes del equipo<sup>13</sup>. En el **Anexo B** se presenta la tabla para la selección de la aguja con base a los rangos de viscosidad que pueden medir cada instrumento.

En la **Tabla 1** se muestran los resultados de la medición de 3 Lotes de producto a estas velocidades para conocer el torque generado por el fluido y determinar la velocidad adecuada.

**Tabla 1.** Viscosidad del detergente Autopolish a 10, 20, 30 y 60 rpm spin 62.

Velocidad (rpm)	Lote 1		Lote 2		Lote 3	
	Viscosidad (cps)	Torque (%)	Viscosidad (cps)	Torque (%)	Viscosidad (cps)	Torque (%)
10	323	25,1%	335	26,5%	338	27,1%
20	341	34,1%	333	33,3%	334	33,4%
30	361	54,2%	354	53,0%	356	53,5%
60	315	63,0%	340	85,0%	312	62,4%

A partir de este ensayo se selecciona la aguja 62 a 60 rpm, con base a sus resultados que se encuentran dentro de los parámetros establecidos para la medición de la viscosidad del detergente (intervalo de lectura de 0 a 500 cps) y a temperatura ambiente. A continuación se presentan los resultados en la **Tabla 2** al realizar las 10 mediciones en diferentes producciones para establecer una especificación para esta propiedad del fluido.

<sup>13</sup> AMETEK BROOKFIELD, VISCOSIMETERS. Spindles and Accesories Manual, 2016.

**Tabla 2.** Viscosidad de detergente Autopolish.

<b>Ensayo</b>	<b>Viscosidad (Cps)</b>	<b>Torque (%)</b>
1	315,0	63,0%
2	340,0	85,0%
3	312,0	62,4%
4	313,5	62,5%
5	313,0	62,6%
6	312,5	62,5%
7	312,0	62,4%
8	318,0	63,6%
9	310,0	62,0%
10	311,5	62,3%
<b>Promedio</b>	<b>315,7</b>	<b>64,8%</b>
<b>Desviación (<math>\sigma</math>)</b>	<b>8,79</b>	<b>0,07</b>

A continuación en la **Figura 17** se presenta la configuración inicial del equipo estipulados al inicio de esta sección para la lectura de la viscosidad del detergente. En la **Figura 18** se presenta el viscosímetro DV durante el análisis de viscosidad del producto, finalmente en la **Figura 19** se presenta el resultado obtenido del ensayo final en el análisis de viscosidad del detergente.

Para los posteriores cálculos en el dimensionamiento del equipo la viscosidad de referencia tomada es de 315,7 cps equivalente al promedio de los ensayos realizados. Este resultado indica que el detergente es un fluido ligeramente viscoso, esto se debe a su gran proporción de agua en su composición (89,48%), lo cual hace que esta característica sea cercana a la viscosidad del solvente.

**Figura 17.** Condiciones de análisis viscosímetro Brookfield DV.



**Figura 18.** Lectura de viscosidad detergente autopolish.



**Figura 19.** Resultado análisis de viscosidad ensayo 10 de Autopolish.



**2.5.2 Determinación de densidad.** La densidad del producto es un parámetro físico relevante para conocer el tipo de flujo que se presenta en el momento de la agitación, como para determinar la cantidad de producto a agregar en la etapa de envasado. Actualmente se realiza con un picnómetro de vidrio la medición de esta propiedad, pero no se encuentra una especificación generada y este instrumento no es el adecuado para esta medición debido a que por las características del fluido con respecto a su viscosidad, no se puede agregar y retirar el fluido del instrumento con facilidad y esto acarrea errores en la medición.

Para establecer una especificación y un valor de referencia se realizó la medición por medio de un picnómetro metálico con capacidad de 50 mL, y se realizó el mismo procedimiento descrito en el Numeral 2.3.3.2 aplicando la **Ecuación 6**, el pesaje del picnómetro, se realiza a temperatura ambiente y por medio de una balanza analítica que permite tener mayor exactitud en la medición. En la **Figura 20** se observa el picnómetro metálico calibrado usado para determinar este parámetro. La **Figura 21**. Muestra el proceso de pesaje en la balanza analítica del Picnómetro con la Muestra (PPM).

**Figura 20.** Picnómetro metálico calibrado.



**Figura 21.** Pesaje del picnómetro con muestra (PPM).



En la **Tabla 3** se observa los resultados obtenidos en el pesaje así como el resultado de la densidad obtenida en cada uno de los 10 ensayos realizados de las muestras provenientes de diferentes producciones de detergente en el año 2015.

**Tabla 3.** Densidad del detergente Autopolish.

Volumen Picnómetro		50 mL	
Ensayo	Peso Picnómetro vacío (PPV)	Peso Picnómetro con Muestra (PPM)	Densidad (g/mL)
1	53,0655 g	64,1212 g	0,9942
2	53,0688 g	64,3815 g	1,0175
3	53,0823 g	63,9614 g	0,9800
4	53,0645 g	63,8428 g	0,9694
5	53,0332 g	64,2025 g	1,0015
6	53,0197 g	64,0849 g	0,9910
7	53,0375 g	63,9972 g	0,9832
8	53,0688 g	64,1163 g	0,9938
9	53,0823 g	64,3567 g	1,0153
10	53,0645 g	64,4236 g	1,0212
<b>Promedio</b>			0,9967
<b>Desviación (<math>\sigma</math>)</b>			0,0172

**2.5.3 Determinación de pH.** Actualmente la empresa realiza la medición de esta propiedad cualitativamente, por medio de cinta indicadora, Esta medición es superficial y puede acarrear errores debido a que carece de precisión, además de ser totalmente dependiente del concepto de la persona que realiza la medición esto puede acarrear errores de lectura o de apreciación por parte del operador y no obtener su valor real. Por esto se establecerá la especificación del pH por medio de un potenciómetro a temperatura estándar de referencia. En la **Figura 22** se observa el equipo en el cual se realizó la medición de pH para el detergente líquido realizando el análisis de pH.

El procedimiento para realizar esta medición consiste en realizar una calibración previa con sustancias Buffer de pH =4 y pH=7 en este respectivo orden al equipo, sumergiendo el electrodo dentro de estas sustancias por 2 minutos cada una, hasta obtener el pH en el equipo de la sustancia buffer, posteriormente se limpia el electrodo y se procede con la lectura del pH de la muestra por 1 minuto. Hasta obtener un valor de pH estable. Finalmente se limpia el electrodo y se sumerge en una solución de KCl al 0.3 M para conservar el electrodo y la calibración. En la **Tabla 4** se presentan los resultados de la medición del pH para los 10 ensayos realizados.

**Figura 22.** Potenciómetro para medición de pH.



**Tabla 4.** pH del detergente autopolish.

Ensayo	pH
1	11,79
2	11,93
3	11,94
4	11,99
5	11,78
6	11,05
7	11,56
8	10,95
9	11,08
10	11,67
<b>Promedio</b>	<b>11,57</b>
<b>Desviación (<math>\sigma</math>)</b>	<b>0,400</b>

Se puede observar con los resultados obtenidos que el Detergente Autopolish Es una Sustancia Alcalina Fuerte, esto se debe a la neutralización entre el HLAS y el carbonato de sodio y al aumento de la presencia de iones Hidroxilo en su disolución con agua posterior a la reacción.

**2.5.4 Determinación de alcalinidad libre y total.** La alcalinidad se define como la capacidad para neutralizar ácidos o aceptar protones<sup>14</sup>, esta propiedad la otorgan los iones de hidroxilo y carbonato presentes en una sustancia, y debido a que en el carbonato de sodio se encuentra dentro de la formulación del detergente, es necesario conocer su aporte de estos lones al agua dulce, debido a que este el principal sistema amortiguador para neutralizar ácidos dispuestos en el agua así como de controlar el pH. Esto se debe a que cuando las aguas tienen alcalinidades inferiores (valor inferior a 75 mg de CaCO<sub>3</sub> por Litro) se vuelven muy sensibles a la contaminación, ya que no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generen disminuciones del pH (acidificación)<sup>14</sup>, y por ser un detergente biodegradable es indispensable conocer su aporte a su descomposición para contribuir a estos factores como su impacto ambiental. En la **Tabla 5** se categorizan el rango de alcalinidad de una sustancia expresados en cantidad de mg de CaCO<sub>3</sub> por Litro de Solución.

---

<sup>14</sup> MASSOL, Arturo, Manual De Ecología Microbiana, Departamento de Biología, Universidad de Mayagüez.1999. p. 15.

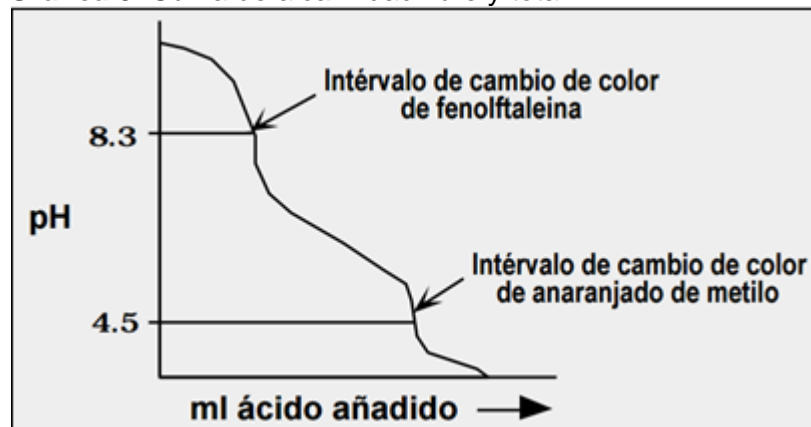
**Tabla 5.** Rangos de alcalinidad.

Rango	Alcalinidad (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
Baja	< 75
Media	75 – 150
Alta	> 150

Fuente: MASSOL. Manual de ecología microbiana. 2013.

Para realizar esta medición se aplicó el procedimiento estipulado por la norma NTC 4803, para la determinación de las alcalinidades libres y totales Presentado en la **Figura 23**. En el cual consiste en pesar, en un Erlenmeyer, 10 g de muestra con aproximación máxima al 0,1 mg. Se Añaden 100 mL de alcohol etílico neutro (**Figura 23 – A**), posteriormente disolver completamente mediante agitación a 540 rpm a temperatura ambiente (**Figura 23 – B**), se añaden 5 gotas de solución indicador de fenolftaleína, después se procede a titular con ácido clorhídrico al 0,5 N cargada en una bureta de 30 mL con marcajes cada 0,05 mL, hasta que se presente viraje de color en la titulación con agitación constante a 170 rpm de la tonalidad fucsia a incolora (**Figura 23 – C**) , la alcalinidad libre es alcanzada cuando la solución obtiene un pH de 8.3 y la alcalinidad total cuando la sustancia alcanza un pH de 4,6 con una tolerancia en las dos mediciones de 0,1 esta última medición se usa como indicador naranja de metilo. El comportamiento de la alcalinidad libre y total a medida que se reduce el pH se observa en la **Gráfica 3**, esta verificación de pH se realiza por medio del pH metro en los 10 ensayos realizados y se detiene la titulación al alcanzar el pH requerido (**Figura 23 – D**).

**Gráfica 3.** Curva de alcalinidad libre y total.



Fuente: MASSOL. Manual de ecología microbiana. 2013.



**Figura 23.** Determinación alcalinidad libre y total detergente autopolish.



Para calcular la Alcalinidad libre y total se realiza por medio de la **Ecuación 2**. Para conocer el volumen total de la muestra se toma la masa de detergente pesada y con la densidad calculada anteriormente se realizó la respectiva conversión finalmente se suma con la cantidad de solvente agregado (100 mL).

**Ecuación 2.** Cálculo alcalinidad libre y total.

$$\text{Alcalinidad (mg CaCO}_3\text{/L)} = \frac{50000 * VA * N}{VM}$$

Dónde:

- 50000 = Son PMeq del CaCO<sub>3</sub>.
- VA = Volumen de HCl Gastado en la titulación (mL).
- N= Normalidad del Ácido Titulante (HCL 0,5N).
- VM= Volumen de la muestra (mL).

Los resultados del análisis de alcalinidad libre y total para detergente Autopolish de los 10 ensayos realizados a las muestras provenientes de diferentes producciones de detergente en el año 2015 son presentados a continuación en la **Tabla 6**.

**Tabla 6.** Alcalinidad libre y total del detergente Autopolish

Ensayo	Masa de Detergente (g)	Volumen muestra (mL)	V HCl Usado Alcalinidad libre (mL)	Alcalinidad libre (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	V HCl Usado Alcalinidad total (mL)	Alcalinidad total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
1	10,0032	110,0616	0,250	56,7864	0,700	159,0019
2	10,0145	109,8423	0,300	68,2797	0,700	159,3194
3	10,0382	110,2431	0,250	56,6929	0,700	158,7401
4	10,0523	110,3698	0,250	56,6278	0,800	181,2090
5	10,0427	110,0276	0,300	68,1647	0,800	181,7725
6	10,0118	110,1027	0,250	56,7652	0,700	158,9425
7	10,0426	110,2145	0,300	68,0491	0,750	170,1228
8	10,0276	110,0901	0,300	68,1260	0,700	158,9607
9	10,0635	109,9121	0,250	56,8636	0,700	159,2181
10	10,0335	109,8248	0,300	68,2906	0,750	170,7265
<b>Promedio</b>				62,4646	<b>Promedio</b>	165,8014
<b>Desviación (σ)</b>				5,7181	<b>Desviación (σ)</b>	9,0038

Particularmente cuando las sustancias presentan pH > 10 como el detergente líquido (pH=11,57), se presenta una clasificación de los tipos de iones presentes en la sustancia y su aporte a los afluentes, conociendo los valores de alcalinidad libre (P) y la alcalinidad total (T), esta clasificación establece que:

- La alcalinidad de carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>): está presente cuando la alcalinidad libre no es cero, pero es menor que la alcalinidad total [T > P y P ≠ 0].
- La alcalinidad de hidróxidos (OH<sup>-</sup>) está presente si la alcalinidad libre es mayor que la mitad de la alcalinidad total [P > 1/2 T].
- La alcalinidad de bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) está presente si la alcalinidad libre es menor de la mitad de la alcalinidad total [P < 1/2 T].

Se puede determinar por medio de las relaciones matemáticas presentadas en la **Tabla 7**. El valor de la alcalinidad de iones de carbonato, de hidróxidos o de bicarbonato para este producto.

**Tabla 7.** Relaciones de alcalinidad.

Resultados de la titulación	Alcalinidad de Hidróxido (CaCO <sub>3</sub> )	Alcalinidad de Carbonato (CaCO <sub>3</sub> )	Concentración de Bicarbonato (CaCO <sub>3</sub> )
P = 0	0	0	T
P < ½ T	0	2 P	T - 2P
P = ½ T	0	2 P	0
P > ½ T	2P - T	2 (T - P)	0
P = T	T	0	0

Fuente: MASSOL. Manual de ecología microbiana. 2013.

Para el Detergente líquido se determina este tipo de alcalinidades con base en los promedios obtenidos de los ensayos en la alcalinidad libre y total. A continuación se procede a conocer la relación adecuada con base a las alcalinidades obtenidas.

$$\begin{aligned}
 P &= 62,4646 \frac{\text{mg de CaCO}_3}{L} \\
 T &= 165,8014 \frac{\text{mg de CaCO}_3}{L} \\
 \frac{1}{2}T &= \frac{165,8014 \frac{\text{mg de CaCO}_3}{L}}{2} = 82,9007 \frac{\text{mg de CaCO}_3}{L} \\
 62,4646 \frac{\text{mg de CaCO}_3}{L} &< 82,9007 \frac{\text{mg de CaCO}_3}{L} \\
 P &< \frac{1}{2}T
 \end{aligned}$$

Por lo tanto se cumple la segunda relación de Alcalinidad presentada en la **Tabla 7**, informando de la ausencia de la alcalinidad de hidróxidos en el producto, y la presencia de alcalinidad de carbonato y bicarbonato para conformar la alcalinidad total del detergente. Por medio de la **Ecuación 3** se determina la alcalinidad de carbonato presente en los ensayos realizados al autopolish y la **Ecuación 4** determina la alcalinidad de bicarbonato presente en los ensayos al producto.

**Ecuación 3.** Alcalinidad de Carbonato.

$$\begin{aligned}
 \text{Alcalinidad de Carbonato (mg CaCO}_3\text{/L)} &= 2 * P \\
 \text{Alcalinidad de Carbonato (mg CaCO}_3\text{/L)} &= 2 * 62,4646 \frac{\text{mg de CaCO}_3}{L} \\
 \text{Alcalinidad de Carbonato (mg CaCO}_3\text{/L)} &= 124,9292 \frac{\text{mg de CaCO}_3}{L}
 \end{aligned}$$

**Ecuación 4.** Alcalinidad de Bicarbonato.

$$\begin{aligned} \text{Alcalinidad de Bicarbonato (mg CaCO}_3\text{/L)} &= T - 2P \\ \text{Alcalinidad de Bicarbonato (mg CaCO}_3\text{/L)} &= 165,8014 \frac{\text{mg de CaCO}_3}{L} - \\ &\quad (2 * 62,4646 \frac{\text{mg de CaCO}_3}{L}) \\ \text{Alcalinidad de Bicarbonato (mg CaCO}_3\text{/L)} &= 40,8721 \frac{\text{mg de CaCO}_3}{L} \end{aligned}$$

Según los resultados obtenidos y con base al rango de alcalinidad, la Alcalinidad Libre y total del detergente Autopolish es baja y media respectivamente, siendo una sustancia moderadamente amortiguada en el aporte de iones de carbonato y bicarbonato al agua dulce.

**2.5.5 Desarrollo de especificaciones.** Después de conocer el comportamiento en las diferentes variables estipuladas para el proceso de producción del detergente Autopolish, se proponen las siguientes especificaciones para cada variable con base a los resultados obtenidos. Al finalizar cada medición en los diferentes ensayos se estipuló el valor promedio y la desviación que presento en cada análisis, esto con el fin de conocer la magnitud de desviación de los datos, que por los métodos y equipos utilizados no sobrepaso del 5% en los análisis realizados.

A continuación se proponen las especificaciones para el detergente líquido Autopolish con base al método estadístico del teorema de Chebyshev, donde para un conjunto de datos que tienen una distribución normal aproximadamente el 99,7% de los valores se encuentran dentro de 3 desviaciones típicas de la media ( $\mu \pm 3\sigma$ )<sup>15</sup>. La distribución 3 sigma acoge todos los resultados obtenidos en cada análisis y ofrece una tolerancia confiable en las mediciones, estos resultados se exponen en la **Tabla 8**.

---

<sup>15</sup> GRUYTER, Walter; Los modelos lineales y no lineales: efectos fijos, efectos aleatorios, y los modelos mixtos. McGraw Hill Professional. 2003. p. 359

**Tabla 8.** Especificaciones detergente Autopolish.

Propiedad	Promedio ( $\mu$ )	Desviación ( $\sigma$ )	Especificaciones	
			Límite Inferior ( $\mu-3\sigma$ )	Límite Superior ( $\mu+3\sigma$ )
Viscosidad (cps)	315,75	8,795	289,4	342,1
Densidad (g/ml)	0,997	0,017	0,945	1,048
pH	11,574	0,400	10,37	12,77
Alcalinidad libre (mg de $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	62,46	5,718	45,31	79,62
Alcalinidad Total (mg de $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	165,80	9,004	138,79	192,81

Estas especificaciones establecen un control de calidad para las próximas producciones del detergente Autopolish, cuando se presenten fabricaciones por fuera de las especificaciones propuestas se procederá a realizar un acción remedial para ajustar el lote dentro de los parámetros estipulados. La desviación obtenida determina que los datos obtenidos en los análisis presentan diferencias mínimas para la determinación de las propiedades físicas y químicas del detergente Autopolish estipuladas.

### 3. DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR

Después de determinar los parámetros fisicoquímicos que afectan el proceso productivo del detergente, y las especificaciones las cuales se obtiene un producto con los estándares de calidad estipulados. El siguiente paso es establecer un propuesta viable para el reactor de producción del detergente líquido, inicialmente se plantean los balances de los requerimientos másicos y energéticos con los cuales debe cumplir el reactor, y se proponen 3 modelos teóricos más acordes para la fabricación del detergente líquido, con base a las conversiones de los reactivos, cinética de reacción y necesidades de producción, finalmente se selecciona el modelo más adecuado para las actuales y futuras de producciones y se procede a realizar el dimensionamiento estructural del equipo así como las adecuaciones necesarias para instrumentación y control de equipo.

#### 3.1 BALANCES GENERALES

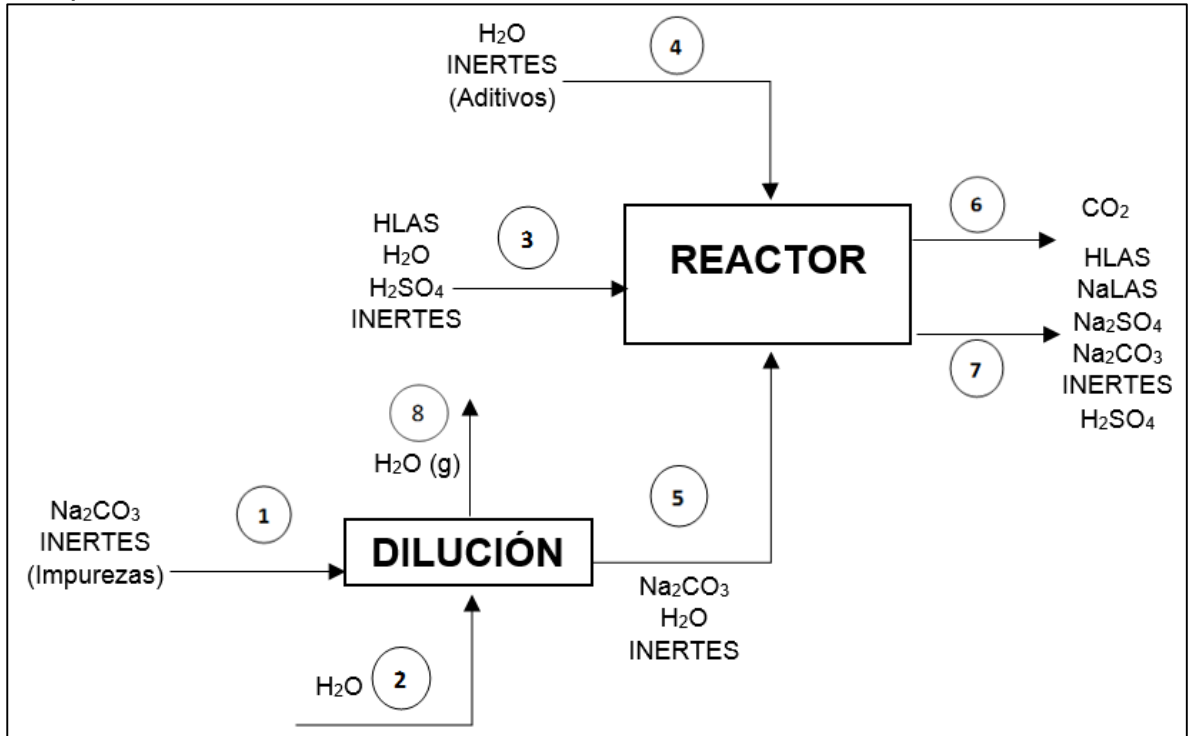
En el capítulo 2. se describe la proyección de producción de 58.760 Litros del Producto/año, con base a esta proyección se proponen ciclos de fabricación de 4 días en el mes, un día por semana, en una jornada laboral de 4 horas. Para facilidad en el desarrollo cinético se trabaja el sistema en términos másicos, realizando la conversión con la densidad promedio obtenida en la determinación de densidad del producto. Es necesario conocer la cantidad de detergente a fabricar por producción realizada para cumplir con la proyección dada utilizando la **Ecuación 5** presentada a continuación.

**Ecuación 5.** Cantidad de detergente a fabricar.

$$\begin{aligned} Kg \text{ Producción anual} &= \left( \frac{0,9967 \text{ Kg}}{\text{L de Producto}} \right) * \left( \frac{58760 \text{ L de producto}}{1 \text{ año de producción}} \right) \\ Kg \text{ Producción anual} &= 58566,09 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} \\ Kg \text{ de Detergente por hora} &= \left( \frac{58566,09 \text{ Kg}}{1 \text{ año}} \right) * \left( \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} \right) * \left( \frac{1 \text{ mes}}{4 \text{ dias}} \right) * \left( \frac{1 \text{ dia}}{4 \text{ horas}} \right) \\ Kg \text{ de Detergente por producción} &= 305,03 \text{ Kg Detergente Autopolish} \end{aligned}$$

A partir de la cantidad a producir se tomará como base de cálculo 305,03 kg de detergente Autopolish para realizar el balance de materia, en la etapa de dilución y reacción del proceso de fabricación del detergente, en la **Figura 24**. se presentan las corrientes que intervienen en esta operación. Y la composición de las corrientes de entrada en las unidades de proceso.

**Figura 24.** Diagrama de bloques etapa de dilución y reacción del detergente Autopolish.

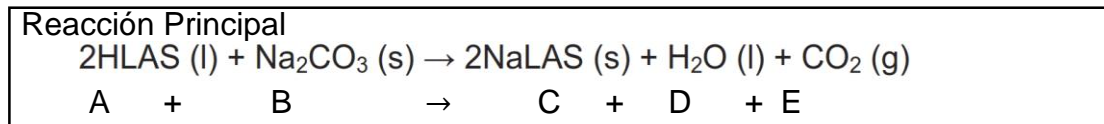


Dónde:

- **Composición Corriente 1.** 99,5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> , 0,5% Impurezas
- **Composición Corriente 2.** 100% Agua purificada
- **Composición Corriente 3.** 97% HLAS, 1,07% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1,04% LAB y 0,89% Agua.
- **Composición Corriente 4.** 100% Agua purificada.

El agente activo del detergente Autopolish es el Dodecilbencensulfonato de Sodio, y se obtiene de la Neutralización del Ácido Sulfónico lineal con Carbonato de Sodio, Este proceso contiene una reacción principal, no se logran reacciones de descomposición de las materias primas al no alcanzarse las temperaturas necesarias en este proceso. Esta reacción se realiza en fase líquida. La estequiometría de la reacción principal es presentada en la **Ecuación 6**. Las Fichas técnicas de los reactivos se presentan en el **Anexo C**.

**Ecuación 6.** Neutralización del Dodecilbencensulfonato de sodio.



Con base en el diagrama de bloques de las etapas de dilución y reacción, se procede al cálculo de las concentraciones iniciales de los reactivos a partir de la formulación del detergente Autopolish presentada en la **Tabla 3**. Para determinar el volumen total de la dilución y el volumen inicial de carga del reactor, así como la conversión en términos molares de las corrientes de entrada se usan los pesos moleculares y densidades para cada sustancia estipuladas en la **Tabla 9**.

**Tabla 9.** Densidad y peso molecular de los componentes del detergente Autopolish.

COMPONENTE	DENSIDAD (Kg/L)	PESO MOLECULAR (Kg/Kmol)
Agua	0,998	18,000
HLAS	1,200	326,460
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2,540	106,000
Celloside	1,100	278,00
Formol	1,350	30,026

**3.1.1 Balance de materia.** Inicialmente se realiza el balance de materia en el mezclador para la dilución y el reactor, con base a la ecuación general del balance de materia expresada en la **Ecuación 7**. Donde la entrada y la salida se refiere a todos los componentes que ingresan y salen del equipo respectivamente, la generación se refiere a los componentes producidos por la reacción de neutralización en el reactor, el consumo indica la cantidad de componentes consumidos a lo largo de la operación del equipo, y la acumulación indica la cantidad de componentes resultantes en la operación del reactor.

**Ecuación 7.** Balance de materia.

$$Entrada - Salida + Generación - Consumo = Acumulación$$

Para la etapa de dilución solamente se presenta la mezcla de la corriente 1 y 2 sin ningún tipo de reacción ni acumulación, la corriente 1 contiene la cantidad total de carbonato de sodio para la producción del detergente, y la corriente 2 la cantidad equitativa de agua para la disolución 1:1.



- **Balance de materia del mezclador de dilución.** Entradas:  $m_1$  y  $m_2$   
Salidas:  $m_5$

$$\begin{aligned}(m_1 + m_2) - m_5 + 0 - 0 &= 0 \\ m_1 + m_2 &= m_5 \\ m_1 &= m_2 \\ 2 * m_1 &= m_5 \quad \text{ó} \quad 2 * m_2 = m_5\end{aligned}$$

Al aplicar la **Ecuación 8**. Para determinar el volumen de una sustancia por medio de la densidad.

**Ecuación 8.** Volumen a partir de la densidad.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_1}$$

$$V_1 = \frac{10,98 \text{ kg de } Na_2CO_3}{2,540 \text{ Kg/L}}$$

$$V_1 = 4,323 \text{ L de } Na_2CO_3$$

$$V_2 = \frac{m_2}{\rho_2}$$

$$V_2 = \frac{10,98 \text{ kg de } H_2O}{0,998 \text{ kg/L}}$$

$$V_2 = 11,002 \text{ L de } H_2O$$

El volumen total de salida del mezclador de dilución es:

$$\begin{aligned}V_5 &= V_1 + V_2 \\ V_5 &= 4,323 \text{ L} + 11,002 \text{ L} \\ V_5 &= 15,325 \text{ L de sln}\end{aligned}$$

Es necesario establecer en términos molares la cantidad del carbonato de sodio presente en la solución para determinar el flujo de entrada necesario del reactor del carbonato de sodio líquido y controlar la velocidad de reacción. Posteriormente

se determina a partir de la **Ecuación 9** la cual establece las moles de un componente.

**Ecuación 9.** Moles de un componente.

$$n_i = \frac{m_i}{PM_i}$$

$$n_{Na_2CO_3} = \frac{10,98 \text{ kg de } Na_2CO_3}{0,106 \text{ kg/mol}}$$

$$n_{Na_2CO_3} = 103.585 \text{ mol de } Na_2CO_3$$

Conociendo el Volumen de la solución se puede aplicar la **Ecuación 10** para determinar la concentración inicial del carbonato de sodio.

**Ecuación 10.** Molaridad de un componente.

$$C_i = \frac{n_i}{V \text{ de } Sln}$$

$$C_{Na_2CO_3} = \frac{n_{Na_2CO_3}}{V \text{ de } Sln}$$

$$C_{Na_2CO_3} = \frac{103,585 \text{ mol de } Na_2CO_3}{15.325 \text{ L de } sln}$$

$$C_{Na_2CO_3} = 6,759 \frac{\text{mol de } Na_2CO_3}{L \text{ de } sln}$$

Para establecer la Concentración de HLAS en la carga inicial del reactor se realiza el balance de materia del reactor que se presenta a continuación.

- **Balance de materia del reactor.** Entradas:  $m_3, m_4$  y  $m_5$  Salidas:  $m_6$  y  $m_7$

$$m_3 + m_4 + m_5 = m_6 + m_7$$

Las moles iniciales del HLAS para determinar se obtienen aplicando la **Ecuación 11** con base en el peso molecular del reactivo, expuesto en la **Tabla 12** con un valor de 326,460 kg/kmol de Ácido Sulfónico.

**Ecuación 11.** Cálculo de las moles de HLAS.

$$n_{HLAS} = \frac{80,346 \text{ Kg de HLAS}}{326,460 \text{ Kg/mol}}$$
$$n_{HLAS} = 0,276 \text{ mol de HLAS}$$

Se determinan la concentración de HLAS en la carga inicial aplicando la **Ecuación 10**, donde el volumen inicial ( $V_0$ ) del reactor al agregar los componentes iniciales es de 290,73 L.

$$C_{HLAS} = \frac{n_{HLAS}}{V_0}$$
$$C_{HLAS} = \frac{0,276 \text{ mol de HLAS}}{290,73 \text{ L}}$$

A partir de las concentraciones iniciales de los reactivos se procederá a determinar la conversión en cada uno de los modelos propuestos para la producción del ingrediente activo NaLAS obtenida de la reacción de neutralización entre el carbonato de Sodio y el HLAS.

**3.1.2 Balance de energía.** Para el desarrollo cinético de los reactores adiabáticos es necesario conocer el comportamiento de la velocidad de reacción con temperatura variable, esto se puede modelar a partir de la ecuación postulada por Arrhenius<sup>16</sup>, expresada en términos logarítmicos como se observa en la **Ecuación 12**.

**Ecuación 12.** Ecuación logarítmica de Arrhenius.

$$\ln k = \ln A - \frac{E}{R} \left( \frac{1}{T} \right)$$

Dónde:

- A= Factor de frecuencia.
- E= Energía de activación, kJ/mol o cal/mol.
- R= Constante de los gases=8.314 J/mol·K.
- T= Temperatura Absoluta, K.

---

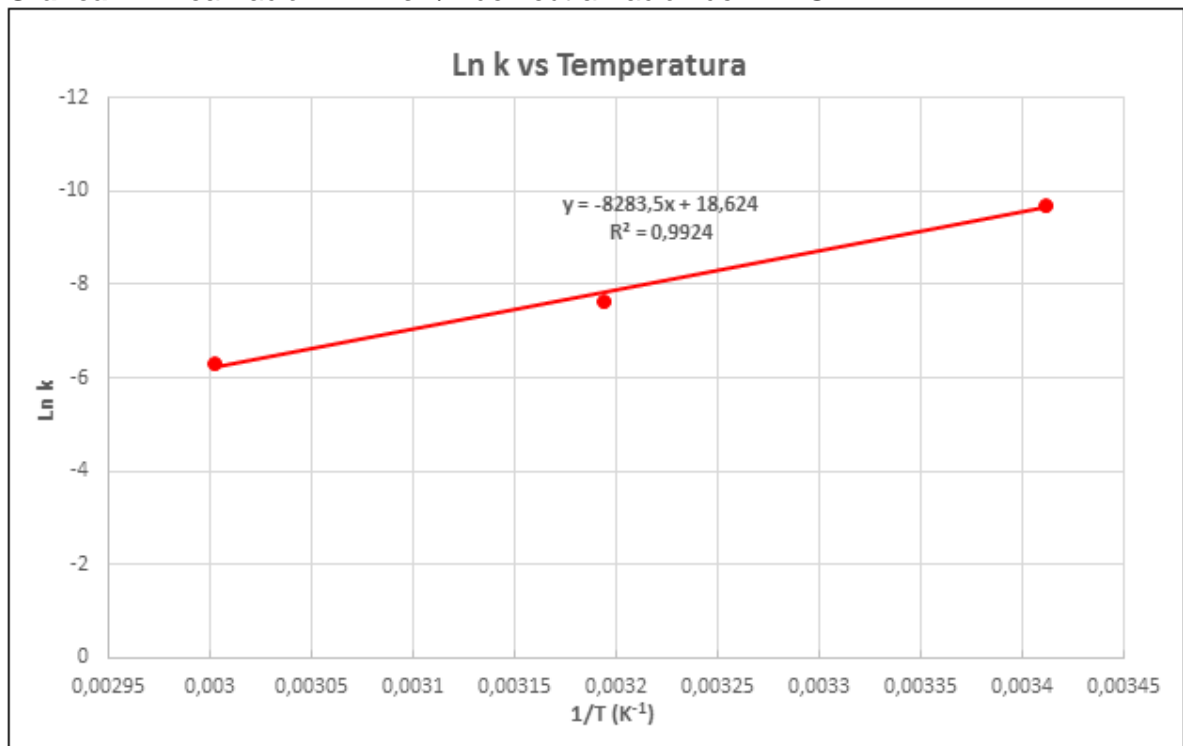
<sup>16</sup> FOGLER Scott H, Elementos de la ingeniería de las reacciones químicas. Prentice Hall, Universidad de Michigan, USA. Cuarta edición. 2006

En la **Tabla 10**. Se encuentran los valores tomados para realizar la linealización de la constante de velocidad y los resultados obtenidos de la energía de activación y el factor de frecuencia. Realizando una gráfica de linealización de  $\ln k$  en función de  $(1/T)$ , se puede obtener la energía de activación y el factor de frecuencia de la reacción. La **Gráfica 4** representa la linealización del  $\ln k$  de la reacción de neutralización del detergente.

**Tabla 10.** Linealización constante específica de velocidad vs temperatura de operación.

Temperatura (°C)		1/T (K <sup>-1</sup> )	k (m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	Ln k
°C	K			
20	293,15	0,00341122	6,05E-05	-9,712867193
40	313,15	0,00319336	4,73E-04	-7,656415169
60	333,15	0,00300165	1,78E-03	-6,331141915
Energía de activación (J/mol)				68868,78889
Factor de frecuencia (s <sup>-1</sup> )				1,23E+08

**Gráfica 4.** Linealización  $\ln k$  Vs  $1/T$  de neutralización del HLAS.



La **Ecuación 13** es mejor adaptada a los datos obtenidos en la **Gráfica 4** es:

**Ecuación 13.** Linealización  $\ln k$  Vs  $1/T$  de neutralización del HLAS.

$$\ln k = \frac{-8283,5}{T} + 18,624$$

De la pendiente de la línea de tendencia dada, se calcula la energía de activación con la **Ecuación 14**.

**Ecuación 14.** Energía de activación.

$$\begin{aligned} -\frac{E}{R} &= -8283,5 \text{ K} \\ E &= (-8283,5) * R = (-8283,5 \text{ K}) \left(8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right) \\ E &= \mathbf{68868,79 \frac{J}{mol}} \end{aligned}$$

Con el intercepto de la línea de tendencia dada, se calcula el factor de frecuencia, aplicando el antilogaritmo presentado en la **Ecuación 15**.

**Ecuación 15.** Factor de frecuencia.

$$\begin{aligned} \ln A &= 18,624 \\ A &= e^{18,624} \\ A &= \mathbf{1,266 \times 10^8 \text{ s}^{-1}} \end{aligned}$$

La constante específica de la reacción en términos de temperatura aplicando el factor de frecuencia y energía de activación obtenida es presentada en la **Ecuación 16**.

**Ecuación 16.** Constante específica de la reacción.

$$k = 1,266 \times 10^8 \exp\left[\frac{-8283,5}{T}\right]$$

El siguiente paso es realizar el balance de energía en el sistema reaccionante; Para realizar el balance de energía se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- El contenido en el volumen del reactor se encuentra bien mezclado. La materia que se encuentra en el interior del equipo es uniforme en cualquier punto del volumen de control.

- Las Capacidades caloríficas de los componentes involucrados son constantes, la variabilidad en esta propiedad no es relevante al no presentar cambios térmicos súbitos a lo largo de la reacción y sin cambios de fase.
- El flujo de trabajo se combina con los términos de balance de energía que representan intercambio de energía por flujo de masa a través de los límites del sistema
- Los términos de energía cinética y potencial son despreciables en comparación con los términos de entalpia y transferencia de calor.

El balance de energía general en términos energéticos es ilustrado en la **Ecuación 17**.

**Ecuación 17.** Balance de energía.

$$\text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación} - \text{Consumo} = \text{Acumulación}$$

$$\sum_{i=1}^n F_0 H_{0i} - \sum_{i=1}^n F_i H_i + \dot{Q} - W_s = \frac{\partial E_{\text{sistema}}}{\partial t}$$

Cuando no hay variaciones espaciales en el volumen del sistema y variaciones en el tiempo con respecto al producto de la presión total por el volumen son despreciable. El balance para un reactor en estado no estacionario se expresa en la **Ecuación 18**. Esta ecuación será el punto de partida del balance energético del segundo y tercer modelo propuesto para el diseño del reactor.

**Ecuación 18.** Balance de energía reactores no estacionarios.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\dot{Q} - W_s - \sum F_{i0} C_p (T - T_{i0}) + [-\Delta H_{Rxn}(T)](-r_A V)}{\sum N_i C_{p_i}}$$

Fuente: FOGLER. Elementos de la ingeniería de las reacciones químicas. 2006.

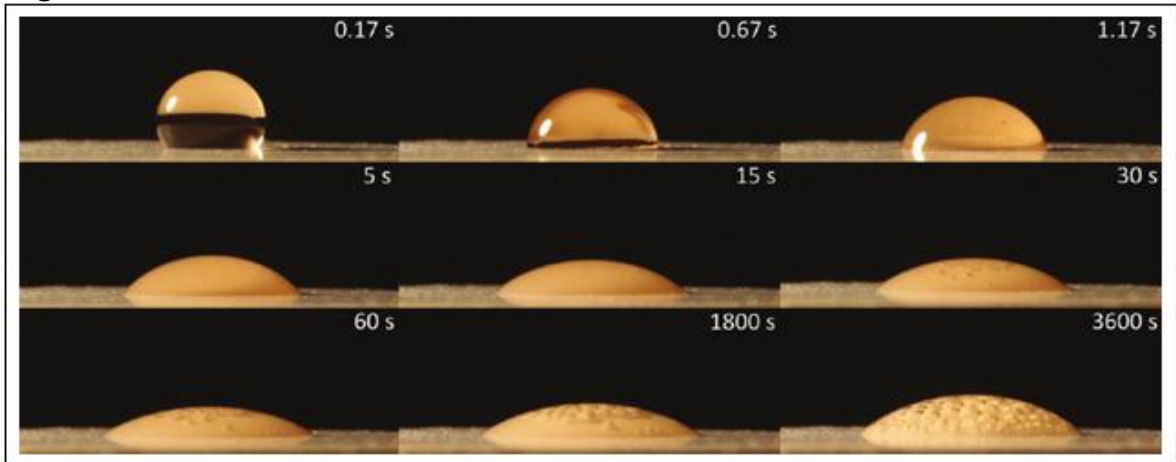
### 3.2 CINÉTICA DE LA REACCIÓN

El estudio cinético de la neutralización de HLAS se realiza con base a las constantes de velocidad de reacción establecidas en el artículo de Marek Schöngut<sup>17</sup> calculados a diferentes temperaturas por medio del análisis experimental entre el área de contacto entre el HLAS y el carbonato de sodio. En la **Figura 25** se presenta el proceso de neutralización del HLAS con el carbonato de sodio, inicialmente al contener solamente el ácido sulfónico y a medida que se

<sup>17</sup> MAREK, Schöngut; ZDENEK, Grof y FRANTIEK Stepanek. Kinetics of Dry Neutralization of Dodecyl-Benzenesulfonic Acid with Respect to Detergent Granulation, Department of Chemical Engineering, Institute of Chemical Technology, Prague, Technick\_a 5, 166 28 Prague 6, Czech Republic.

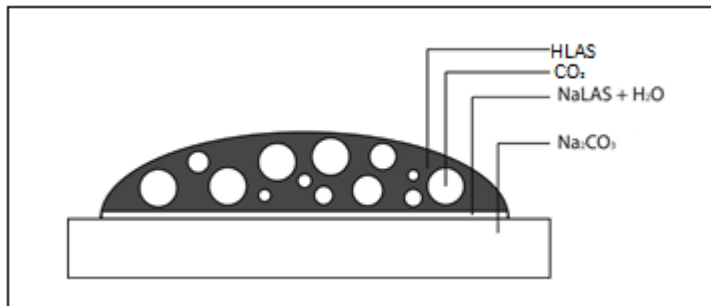
une con el carbonato de sodio en diferentes intervalos de tiempo permitiendo conocer la formación de la micela al generar el Dodecilsulfonato de sodio y demás productos ( $\text{CO}_2$  y Agua). En la **Figura 26** se observa la composición de la zona de reacción en la interfaz Carbonato de sodio y el HLAS en el transcurso de la reacción.

**Figura 25.** Evolución de la neutralización de HLAS.



**Fuente:** SCHÖNGUT, Marek. Kinetics of Dry Neutralization of Dodecyl-Benzenesulfonic Acid with Respect to Detergent Granulation. 2011.

**Figura 26.** Composición zona de reacción neutralización.



**Fuente:** Schöngut, Marek. Kinetics of Dry Neutralization of Dodecyl – Benzenesulfonic Acid with Respect to Detergent Granulation. 2011.

Finalmente en la **Tabla 11** se exponen los valores de las constantes de reacción de neutralización de Ácido Sulfónico.

**Tabla 11.** Constantes de velocidad de reacción de neutralización de HLAS.

Temperatura (°C)	k (m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )
20	6,05E-05
40	4,73E-04
60	1,78E-03

Se puede observar que la reacción de neutralización de HLAS es una reacción elemental de segundo orden, esto se obtiene del análisis dimensional de las constantes de velocidad de reacción.

A partir de la temperatura ambiente del proceso (20 °C), se procede a calcular la conversión en el primer modelo teórico del reactor, Un reactor Semicontinuo CSTR isotérmico. Después de conocer la conversión a las condiciones dadas se estudia el volumen óptimo del equipo a partir de la conversión máxima.

**3.2.1 Reactor semicontinuo CSTR isotérmico.** El primer modelo propuesto es un reactor semicontinuo CSTR isotérmico, la selección de este tipo de reactor se debe al ser el más usado para reacciones en fase líquida, además al trabajar en una temperatura constante permite minimizar cualquier reacción secundaria indeseable manteniendo una baja concentración de uno de los reactivos. Obteniendo así una mayor productividad. Retomando la estequiometría de la reacción expresada en la **Ecuación 19**. La ley de velocidad de la reacción elemental de segundo orden es:

**Ecuación 19.** Ley de velocidad de la reacción elemental de segundo orden.

$$-r_A = k * C_A * C_B$$

En donde para un reactor semicontinuo (**Figura 6**), en términos de las concentraciones de los componentes el balance de materia es presentado en la **Ecuación 20**.

**Ecuación 20.** Balance de materia para un reactor semicontinuo.

$$-r_A V = \frac{d(C_A V)}{dt} = \frac{V d(C_A)}{dt} + C_A \frac{dV}{dt}$$



A medida que el reactor se está llenando, el volumen  $V$ , varía con el tiempo. El volumen del reactor en cualquier tiempo  $t$  puede encontrarse realizando un balance global de masa para todos los componentes.

**Ecuación 21.** Balance global de masa para todos los componentes.

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Velocidad} \\ \text{de entrada} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{Velocidad} \\ \text{de salida} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{Velocidad} \\ \text{de generación} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{Velocidad} \\ \text{de acumulación} \end{array} \right]$$

$$\rho_0 v_0 - 0 + 0 = \frac{d(\rho V)}{dt}$$

Para un sistema de reacción Líquida a densidad constante  $\rho_0 = \rho$ , y

**Ecuación 22.** Variación del volumen en el reactor

$$\frac{d(V)}{dt} = v_0$$

Con la condición inicial  $V=V_0$  en  $t=0$ , e integrando para el caso de flujo volumétrico constante se obtiene la **Ecuación 23.**

**Ecuación 23.** Volumen en el reactor.

$$V = V_0 + v_0 t$$

Sustituyendo la **Ecuación 19** en la **Ecuación 20** y reacomodando se presenta la **Ecuación 24.**

**Ecuación 24.** Balance de materia para un reactor semicontinuo con variación en volumen de control.

$$r_A V - v_0 C_A = \frac{V d(C_A)}{dt}$$

El balance para el Ácido Sulfónico (HLAS) puede reescribirse como se ilustra en la **Ecuación 25.**

**Ecuación 25.** Balance para el Ácido Sulfónico (HLAS).

$$\frac{dC_A}{dt} = r_A - \frac{v_0}{V} C_A$$

El balance molar para el Carbonato de sodio, que es alimentado en el reactor, es ilustrado en la **Ecuación 26**.

**Ecuación 26.** Balance molar para el Carbonato de sodio.

$$\frac{dC_B}{dt} = -\frac{1}{2}r_A + \frac{v_0}{V}(C_{B0} - C_B)$$

Sustituyendo la ley de velocidad (**Ecuación 18**) en los balances molares, se obtiene la **Ecuación 27 y 28**.

**Ecuación 27.** Variación de la concentración del HLAS en reactor semicontinuo.

$$\frac{dC_A}{dt} = -k * C_A * C_B - \frac{v_0}{V} C_A$$

**Ecuación 28.** Variación de la concentración del carbonato de sodio en reactor semicontinuo.

$$\frac{dC_B}{dt} = -\frac{1}{2}k * C_A * C_B - \frac{v_0}{V}(C_{B0} - C_B)$$

Se puede aplicar el balance de materia y la ley de velocidad para los productos obteniendo la **Ecuación 29, 30 y 31**.

**Ecuación 29.** Variación de la concentración del NaLAS en reactor semicontinuo.

$$\frac{dC_C}{dt} = k * C_A * C_B - \frac{v_0}{V} C_C$$

**Ecuación 30.** Variación de la concentración del CO<sub>2</sub> en reactor semicontinuo.

$$\frac{dC_D}{dt} = \frac{1}{2}k * C_A * C_B - \frac{v_0}{V} C_D$$

**Ecuación 31.** Variación de la concentración del H<sub>2</sub>O producida en reactor semicontinuo.

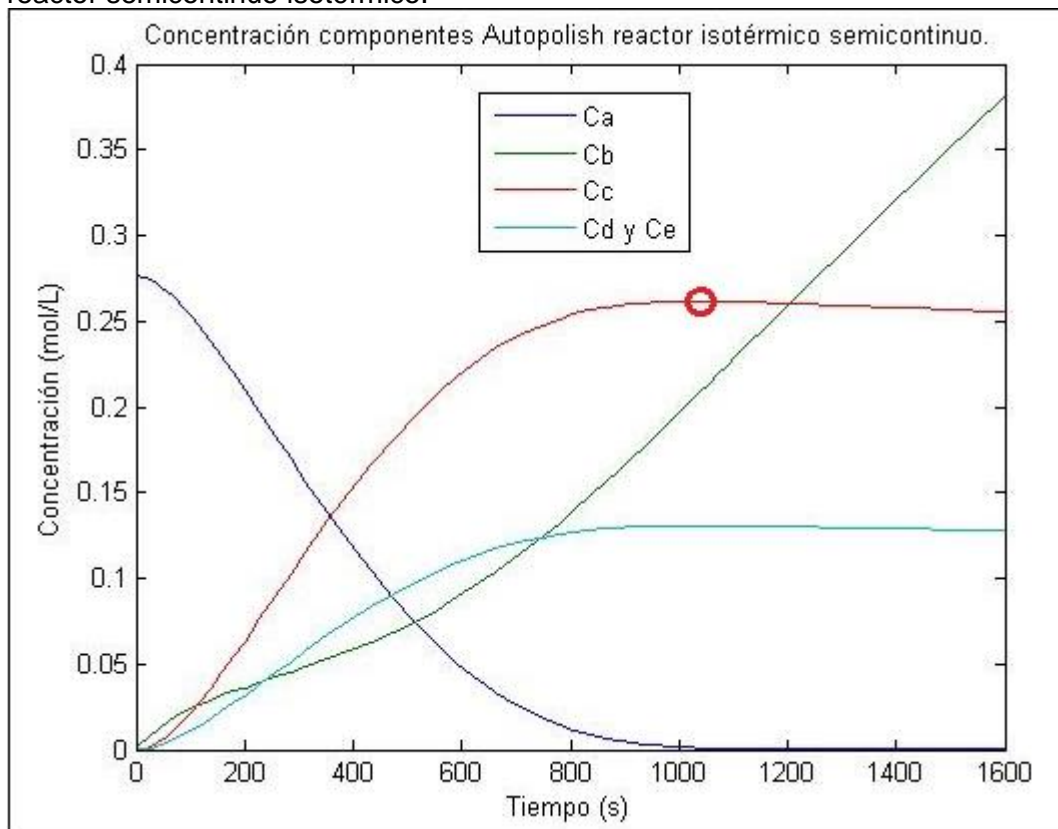
$$\frac{dC_E}{dt} = \frac{1}{2}k * C_A * C_B - \frac{v_0}{V} C_E$$

Para resolver el sistema de ecuaciones planteado (**Ecuaciones 27, 28, 29, 30 y 31**), se hace uso del solucionador de EDO de MATLAB, las condiciones iniciales se expresan en la **Tabla 12**, obteniendo la concentración de cada uno de los componentes a través del proceso de reacción, representados en la **Gráfica 5**.

**Tabla 12.** Condiciones iniciales de operación reactor semicontinuo isotérmico.

Condición	Valor
$C_{A0}$ (mol/L) (HLAS)	0,2763
$C_{B0}$ (mol/L) ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	6,7597
$C_{C0}$ (mol/L) (NALAS)	0
$C_{D0}$ (mol/L) ( $\text{CO}_2$ )	0
$C_{E0}$ (mol/L)	50,9375
$C_{\text{Formol}0}$ (mol/L)	$6,9877\text{E}^{-5}$
$C_{\text{celloside}0}$ (mol/L)	$1,8867\text{E}^{-5}$
$V_0$ (L)	290,7370
$k$ (L/mol s)	0,0605
$v_0$ (L/s)	0,0147

**Gráfica 5.** Concentración de los componentes del detergente Autopolish en reactor semicontinuo isotérmico.

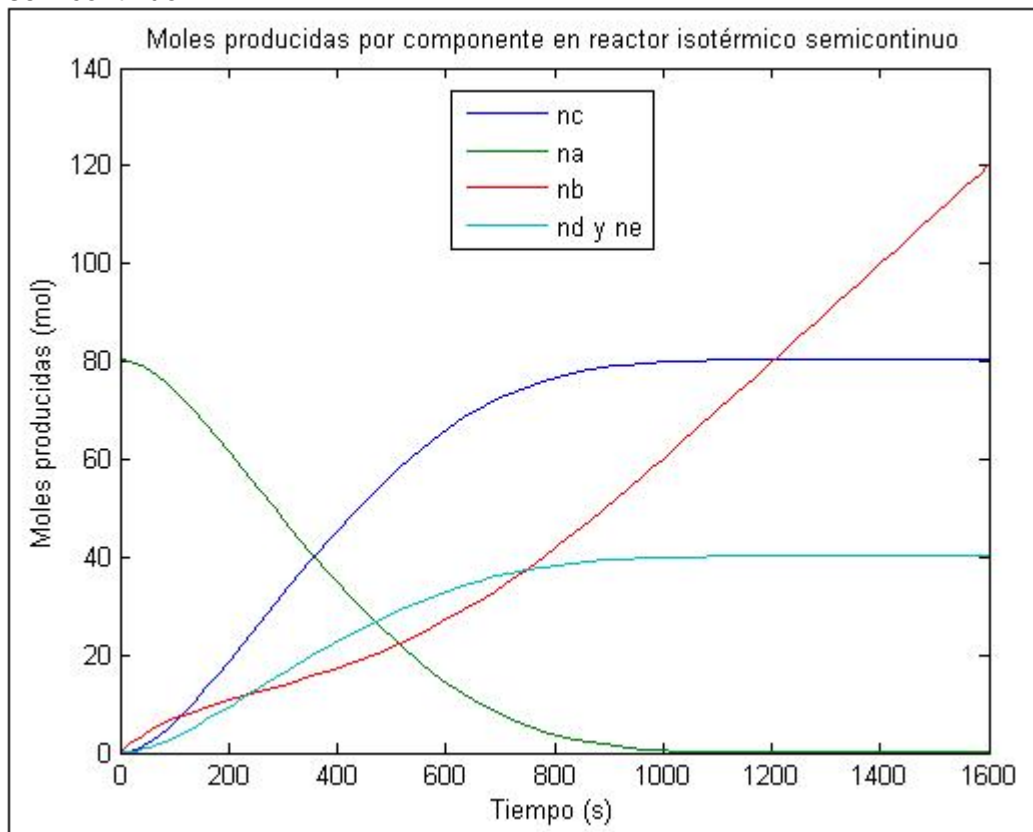


A partir de la **Gráfica 5** y de los datos obtenidos, se selecciona el valor máximo de concentración del agente activo NaLAS (Componente C), conociendo la concentración óptima del producto de interés (Círculo rojo) y con la gráfica se realiza la interpolación para conocer el tiempo de reacción. Se puede observar en la **Gráfica 5** que la concentración del carbonato de sodio (Componente B) reactivo de la neutralización va en aumento, debido a que este componente se agrega en exceso para esta reacción con el fin de lograr un aporte adicional como aumentar la alcalinidad del producto, esto logra un aumento en el volumen de la mezcla por el carbonato no consumido en la reacción. Las demás características para el detergente son presentadas en el **Cuadro 1**.

La concentración óptima del NaLAS es de 0,2615 moles de NaLAS/L, con tiempo de reacción de 1038,33 seg (17.3 minutos).

Al obtener la concentración óptima del componente de interés, se determina en ese tiempo de reacción; la concentración de cada uno de los componentes, así como la cantidad de moles presentes en la solución. En la **Gráfica 6** se presenta las moles por componente producidas por este modelo de reacción

**Gráfica 6.** Moles producidas por componente en reactor isotérmico semicontinuo.



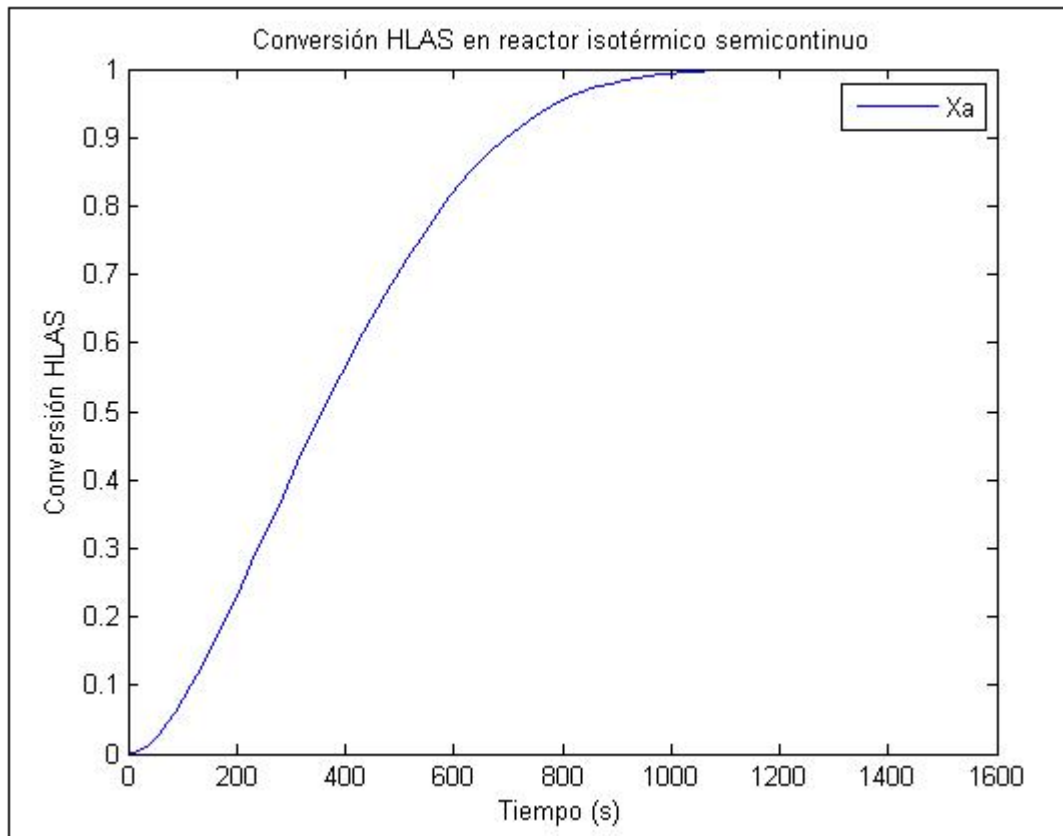
Seguido a las moles producidas se calcula la conversión de HLAS, por ser el reactivo limitante a causa de ser el reactivo que se consume totalmente en la reacción y quien controla el avance de la reacción, esto se logra al aplicar la **Ecuación 32** y se modela su comportamiento presentado en la **Gráfica 7**. Las moles del componente B (Carbonato de Sodio) tienden a aumentar si se sigue alimentando continuamente al reactor después de cumplir el tiempo de reacción.

**Ecuación 32.** Conversión de un componente.

$$X = \frac{N_{A0} - N_A}{N_{A0}}$$

$$X = \frac{C_{A0}V_0 - C_A V}{C_{A0}V_0}$$

**Gráfica 7.** Conversión del HLAS en reactor isotérmico semicontinuo.



Finalmente el volumen total de la reacción se obtiene con base a la relación presentada en la **Ecuación 33** en el tiempo de reacción Óptimo. Produciendo 0.09% más de lo estimado en el balance general.

**Ecuación 33.** Volumen total de la reacción.

$$V_{reacción} = V_0 + v_0 t_{reacción}$$

$$V_{reacción} = 290,73 L + (0,015 \frac{L}{s} * 1038,33s)$$

$$V_{reacción} = 306,31 L$$

Los resultados del modelo del reactor semicontinuo isotérmico. Son presentados en la **Tabla 13**. A partir de estos se obtiene la composición del ingrediente activo en el detergente líquido Autopolish en la corriente 7 descrita en el diagrama de bloques del proceso de producción para este modelo (**Figura 24**).

**Tabla 13.** Resultados de reacción con reactor semicontinuo isotérmico.

Resultados de reacción con reactor semicontinuo isotérmico	
Volumen Producido (L)	306,31
Tiempo de Reacción (min)	17,31
Conversión HLAS (%)	99,62%
Componente	Moles producidas (mol)
HLAS	0,31
NaLAS	80,09
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	63,90
CO <sub>2</sub>	40,05
H <sub>2</sub> O	40,05

**3.2.2 Reactor intermitente adiabático.** El segundo modelo propuesto es un reactor intermitente adiabático, la selección de este tipo de reactor se debe al ser el más usado para manejar grandes cantidades de sustancias y estudios de la cinética de la reacción y poseer una alta conversión de los reactivos.

Partiendo del balance energético para sistemas no estacionarios presentado en la **Ecuación 18**. En el reactor intermitente se presenta una mezcla homogénea, de modo que es posible desprestigiar variaciones espaciales en la temperatura y la concentración de las especies involucradas. El balance de energía para reactores intermitentes se encuentra igualando  $F_{i0}$  a cero al no ingresar continuamente ningún componente al reactor para obtener la **Ecuación 34**.

**Ecuación 34.** Balance de energía para reactores intermitentes.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\dot{Q} - W_s + [-\Delta H_{Rxn}(T)](-r_A V)}{\sum N_i c_{p_i}}$$

Para la operación adiabática ( $Q = 0$ ) de un reactor intermitente, la **Ecuación 35** puede escribirse como sigue.

**Ecuación 35.** Operación adiabática de un reactor intermitente.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{[-\Delta H_{Rxn}(T)](-r_A V)}{\sum N_i C_{p_i}}$$

Por el balance molar de un reactor intermitente, se puede modelar como se ilustra en la **Ecuación 36**.

**Ecuación 36.** Balance molar de un reactor intermitente.

$$N_{A0} \frac{dX}{dt} = -r_a V$$

La **Ecuación 37** expone la relación entre la temperatura y la conversión para un reactor adiabático intermitente teniendo en cuenta las consideraciones presentadas en el balance de energía (sección 3.1.2).

**Ecuación 37.** Balance de energía reactor adiabático intermitente.

$$T = T_0 + \frac{[-\Delta H_{Rxn}(T)]X}{C_{p_s}}$$

**Fuente:** SCOTT H, Fogler. Elementos de la Ingeniería de las reacciones químicas. 2006. p. 595.

Dónde:

- $-\Delta H_{Rxn}(T)$  Es el calor de la reacción, J/mol.
- $C_{p_s}$  Es la capacidad calorífica de la solución. J/mol · K.
- $T_0$  Es la temperatura inicial de la reacción, k.
- X Es la conversión del HLAS.

Es necesario calcular previamente la capacidad calorífica de la solución con base en los componentes involucrados en el proceso de Neutralización del HLAS, el calor global de la neutralización se extrae de estudios previos realizados a nivel laboratorio de los calores de reacción involucrados en los procesos de

saponificación para la elaboración de detergentes a partir de HLAS<sup>18</sup>; El calor de reacción global se expone en la **Tabla 14**.

**Tabla 14.** Calores de reacción neutralización del HLAS.

Nomenclatura	Descripción	Valor (KJ/mol)
$\Delta H1$	Calor de dilución infinita del ácido sulfónico en agua	-136,3
$\Delta H2$	Calor de Neutralización ácido Sulfónico	-173,4
$\Delta H3$	Calor de dilución de una solución 50% p/p de Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-28.9
$\Delta H4$	Calor de dilución de Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> en el reactor	-0,36

En la **Tabla 15** se presenta las capacidades caloríficas de los compuestos que intervienen en la solución. El celloside por ser un compuesto polimérico se toma el peso molecular promedio de referencia así como su capacidad calorífica.<sup>19</sup>

**Tabla 15.** Capacidades caloríficas componentes del autopolish.

Compuesto	Capacidad Calorífica (J/mol·K)
HLAS	522,34
NaLAS	1045,38
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	112,30
H <sub>2</sub> O	75,42
CO <sub>2</sub>	38,42
Formol	106,92
Celloside	1070,58

**Fuente:** CONTRERAS, D. Ingeniería conceptual y básica de una planta piloto de manufactura de detergente. 2008.

Inicialmente para calcular la capacidad calorífica de la solución, es necesario conocer la concentración en la carga inicial de cada uno de los compuestos involucrados en la fabricación del producto. Esto se logra aplicando la **Ecuación 8** con base a la composición descrita en el **Cuadro 1**. En la **Tabla 16** se presentan los concentraciones iniciales de reacción con base al volumen a producir descrito en el balance general.

“La capacidad calorífica de una solución se obtiene a partir de la **Ecuación 38**, como se presenta a continuación”<sup>20</sup>.

<sup>18</sup> CONTRERAS. Op., Cit.,

<sup>19</sup> H. Moschiano & W. Dabney, Thermal and electrical characterization of PAA and HEC, Greatbatch Medical, New York, 2010

<sup>20</sup> FLOGGER. Op., Cit.,



**Ecuación 38.** Capacidad calorífica de una solución.

$$C_{p_s} = \sum \theta_i C_{p_i} = \theta_A C_{p_A} + \theta_B C_{p_B} + \theta_C C_{p_C} + \theta_D C_{p_D} + \theta_E C_{p_E} + \theta_I C_{p_I}$$

- Donde  $\theta_i = \frac{C_{i0}}{C_{A0}}$ , en mol/L

$$C_{p_s} = 15,242 \text{ KJ/mol} \cdot K$$

**Tabla 16.** Concentraciones carga inicial reactor intermitente.

Volumen a Producir (L)		305,03
Compuesto	Masa (Kg)	Concentración inicial (mol/L)
Agua	277,577	50,556
HLAS	26,233	0,263
NA <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	10,981	0,340
FORMOL	0,610	0,067
CELLOSIDE	1,525	0,018

Al obtener el calor de la solución, se puede expresar el balance de energía en función de la conversión (**Ecuación 37**), y ser la ecuación final en el desarrollo del sistema de ecuaciones para el diseño del reactor. La temperatura inicial (**Ecuación 39**) de operación es de 20°C (293,15 K) y el calor de reacción de la neutralización del HLAS expresado en la tabla 18 es -173,4 kJ/mol, el signo negativo describe que la reacción es de carácter exotérmico.

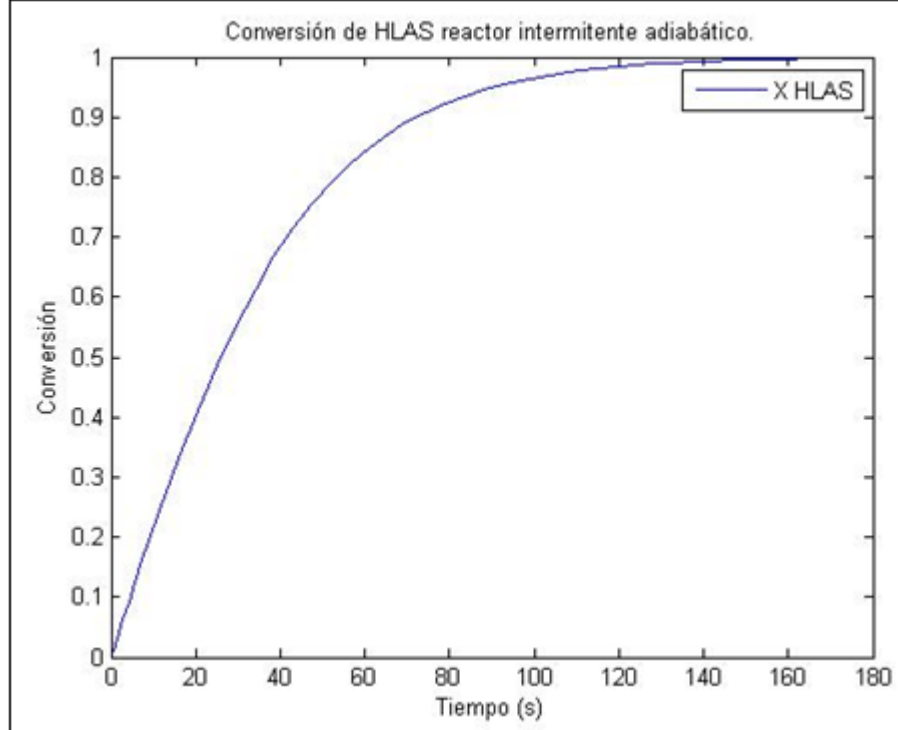
**Ecuación 39.** Temperatura Inicial de la neutralización.

$$T = 293,15 \text{ K} + \frac{(173,4 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}})X}{15,242 (\frac{\text{KJ}}{\text{mol} \cdot K})}$$

$$T = 293,15 \text{ K} + 11,38X$$

Para resolver el balance molar (**Ecuación 36**) y de energía (**Ecuación 39**) planteado para este reactor, se hace uso del solucionador de EDO de MATLAB, inicialmente se resuelve el sistema de ecuaciones, obteniendo la conversión del HLAS a través del proceso de reacción, representados en la **Gráfica 8**.

**Gráfica 8.** Conversión del HLAS en reactor intermitente adiabático.



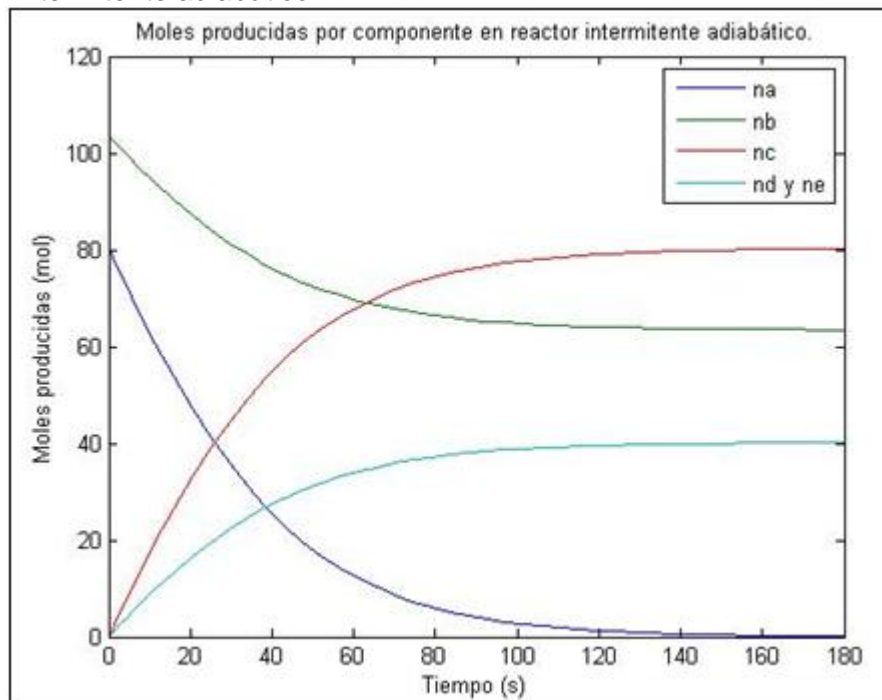
La conversión máxima es de 99,85% del HLAS en un tiempo de reacción de 180 segundos (3 minutos).

A partir de la **Gráfica 8** y de los datos obtenidos, se selecciona el valor de conversión óptima del reactivo limitante HLAS (Componente C), conociendo este valor se realiza la interpolación para conocer el tiempo de reacción óptimo.

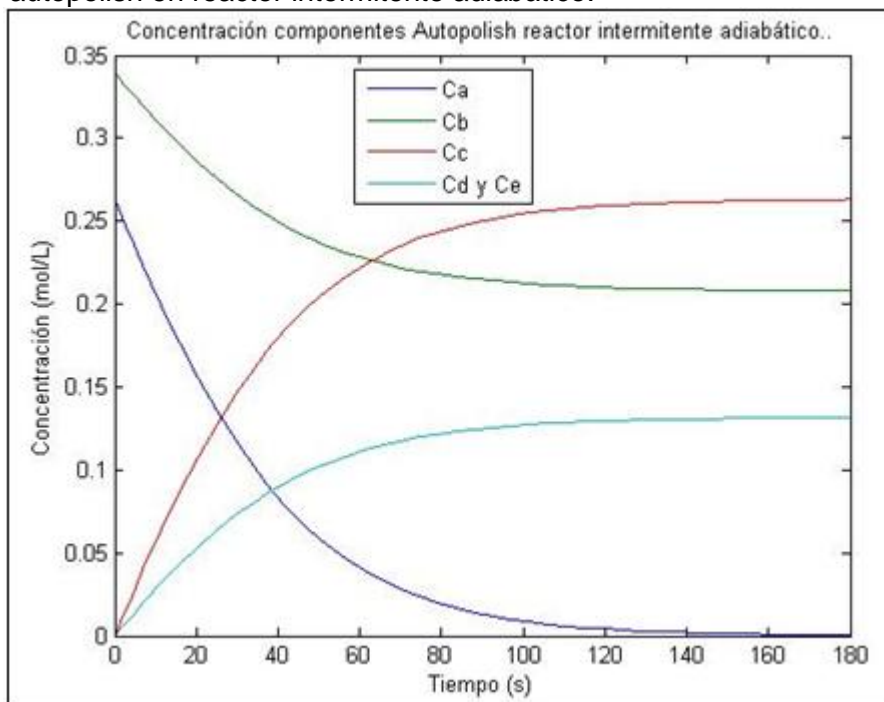
Al obtener la conversión óptima, se determina en ese tiempo de reacción; la moles producidas de cada componente involucrado en la reacción, el comportamiento de las moles producidas se representa en la **Gráfica 9**. Después de establecer las moles producidas por componente, se calcula la concentración de los componentes a lo largo del tiempo de reacción en el reactor, con base en la concentración óptima del producto de interés (Componente C) y son representadas en la **Gráfica 10**.

Los resultados de este modelo son presentados en la **Tabla 17**. A partir de estos se obtiene se obtiene la composición del ingrediente activo en el detergente líquido Autopolish en la corriente de salida del reactor.

**Gráfica 9.** Moles producidas por componente en reactor intermitente adiabático.



**Gráfica 10.** Concentración de los componentes del detergente autopolish en reactor intermitente adiabático.

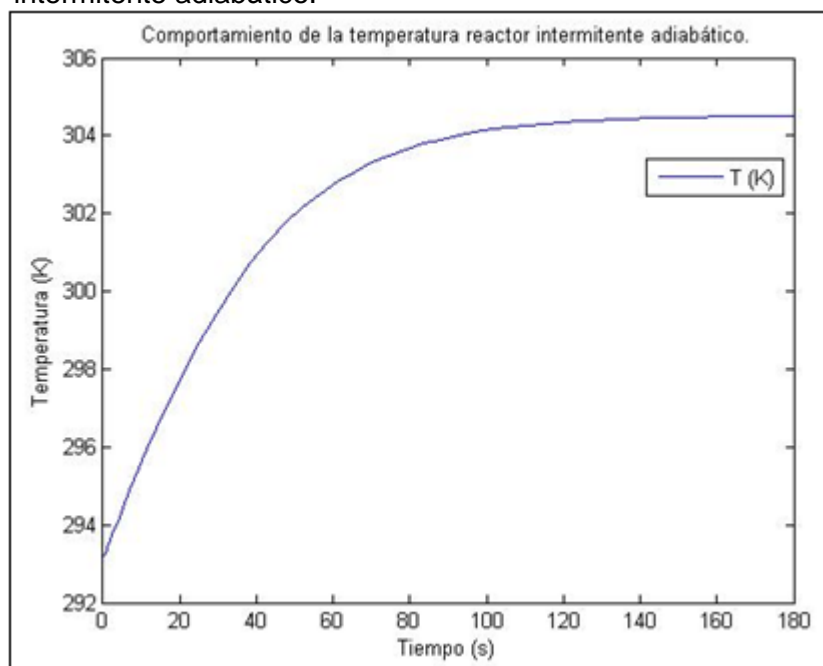


**Tabla 17.** Resultados de reacción con reactor intermitente adiabático.

Resultados de reacción con reactor intermitente adiabático	
Volumen Producido (L)	306,03
Tiempo de Reacción (min)	3,00
Conversión HLAS (%)	99,84%
Componente	Moles producidas (mol)
HLAS	0,122
NA <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	63,48
NALAS	80,23
CO <sub>2</sub>	40,12
H <sub>2</sub> O	40,12
Temperatura Máxima de Operación (K)	304,51

Al ser la reacción de neutralización del ácido sulfónico de carácter exotérmico; es necesario conocer el comportamiento de la temperatura a lo largo de la reacción para reactores adiabáticos. El control de esta variable permite identificar la descomposición de los reactivos y productos involucrados en la reacción o de cambio de fase al superar temperaturas de ebullición de los componentes. Este comportamiento en el tiempo de reacción óptimo se representa en la **Gráfica 11**.

**Gráfica 11.** Comportamiento de la temperatura en reactor intermitente adiabático.



Al finalizar la reacción el aumento de temperatura es de 11,5°C. Esta elevación se debe a la elevada capacidad calorífica del NaLAS, lo cual consume el calor generado en la reacción para elevar en un grado la temperatura del producto.

**3.2.3 Reactor semicontinuo CSTR adiabático.** El tercer modelo propuesto es un reactor semicontinuo CSTR adiabático, la selección de este tipo de reactor se debe al ser el más usado para reacciones en fase líquida, además de permitir controlar la temperatura del proceso regulando la velocidad de alimentación y que permite minimizar cualquier reacción secundaria indeseable manteniendo una baja concentración de uno de los reactivos. Obteniendo así una mayor productividad.

El balance energético para sistemas no estacionarios presentado en la **Ecuación 18** se puede adaptar para un sistema semicontinuo adiabático. En este modelo de reactor se presenta una mezcla homogénea, de modo que es posible despreciar variaciones espaciales en la temperatura y la concentración de las especies involucradas. El balance de energía para el reactor semicontinuo tiene en cuenta el ingreso del reactivo en exceso (Componente B) constantemente a lo largo de la reacción. Para la operación adiabática ( $Q=0$ ) de un reactor semicontinuo y cuando el trabajo del agitador es despreciable ( $W_s \approx 0$ ) la **Ecuación 18** puede modificarse como se observa en la **Ecuación 40**.

**Ecuación 40.** Balance de energía reactor CSTR adiabático.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\sum F_{i0} C_p (T - T_{i0}) + [-\Delta H_{Rxn}(T)](-r_A V)}{\sum N_i C_{p_i}}$$

Para reacciones en fase líquida, cuando el  $\Delta C_p$  es pequeño y puede despreciarse. Se realiza la siguiente aproximación presentada en la **Ecuación 41**.

**Ecuación 41.** Capacidad calorífica de la reacción.

$$\sum N_i C_{p_i} \cong \sum N_{i0} C_{p_i} = N_{A0} \sum \Theta_i C_{p_i} = N_{A0} C_{p_s}$$

Con esta aproximación y toda especie que entra al reactor a la temperatura  $T_0$ , el balance energético para un reactor semicontinuo adiabático se expresa en la **Ecuación 42**.

**Ecuación 42.** Balance energético para un reactor semicontinuo adiabático.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\sum F_{i0} C_p (T - T_{i0}) + [-\Delta H_{Rxn}(T)](-r_A V)}{N_{A0} C_{p_s}}$$

La capacidad calorífica de la solución cambia comparado con la presentada en el reactor intermitente, debido a la ausencia del carbonato de sodio en la carga inicial

del reactor, está alterando completamente las concentraciones iniciales de los componentes cargados en el equipo. Estas concentraciones se encuentran descritas en la **Tabla 12**. La capacidad calorífica de la solución de neutralización para un reactor semicontinuo adiabático es.

$$C_{ps} = 14,424 \text{ kJ/mol} \cdot K$$

Desglosando los flujos que ingresan continuamente al reactor, el único flujo que ingresa al equipo es la dilución de carbonato, reemplazado en el balance energético se obtiene la **Ecuación 43**.

**Ecuación 43.** Balance de energía reactor CSTR adiabático para neutralización del HLAS.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F_{B0} \times C_{PB} \times (T - T_0) + F_{E0} \times C_{PE} \times (T - T_0) + (-k \times C_A \times C_b \times V) (\Delta H_{Rxn}(T))}{N_{A0} C_{ps}}$$

Dónde:

- $F_{B0}$ , es el flujo inicial de carbonato al reactor, mol/L.
- $C_{PB}$ , es la capacidad calorífica del carbonato, J/mol·K.
- $F_{E0}$ , es el flujo inicial de agua de la dilución al reactor, mol/L.
- $C_{PE}$ , es la capacidad calorífica del Agua de dilución, J/mol·K.

Los flujos molares de la corriente de dilución de carbonato se obtienen aplicando la **Ecuación 44**.

**Ecuación 44.** Flujo de un componente.

$$F_i = C_i \times v_i$$

Dónde:

- $C_i$ , es la concentración del componente en la corriente, mol/L.
- $v_i$ , es la velocidad de flujo de la corriente, L/seg.

Sustituyendo los valores obtenidos en la **Ecuación 44**. El flujo por componente de la dilución de carbonato es, y la velocidad de flujo para el reactor semicontinuo adiabático de  $v_0=0,042$  L/s.

$$F_{Na_2CO_3} = C_{Na_2CO_3} \times v_0$$

$$F_{Na_2CO_3} = 6,759 \frac{\text{mol de } Na_2CO_3}{L \text{ de sln}} \times 0,042 \frac{L \text{ de sln}}{s}$$

$$F_{Na_2CO_3} = 0,284 \frac{\text{mol de } Na_2CO_3}{S}$$

$$F_{H_2O} = C_{H_2O} \times v_o$$

$$F_{H_2O} = 39,805 \frac{\text{mol de } H_2O}{L \text{ de sln}} \times 0,042 \frac{L \text{ de sln}}{s}$$

$$F_{H_2O} = 1,671 \frac{\text{mol de } H_2O}{S}$$

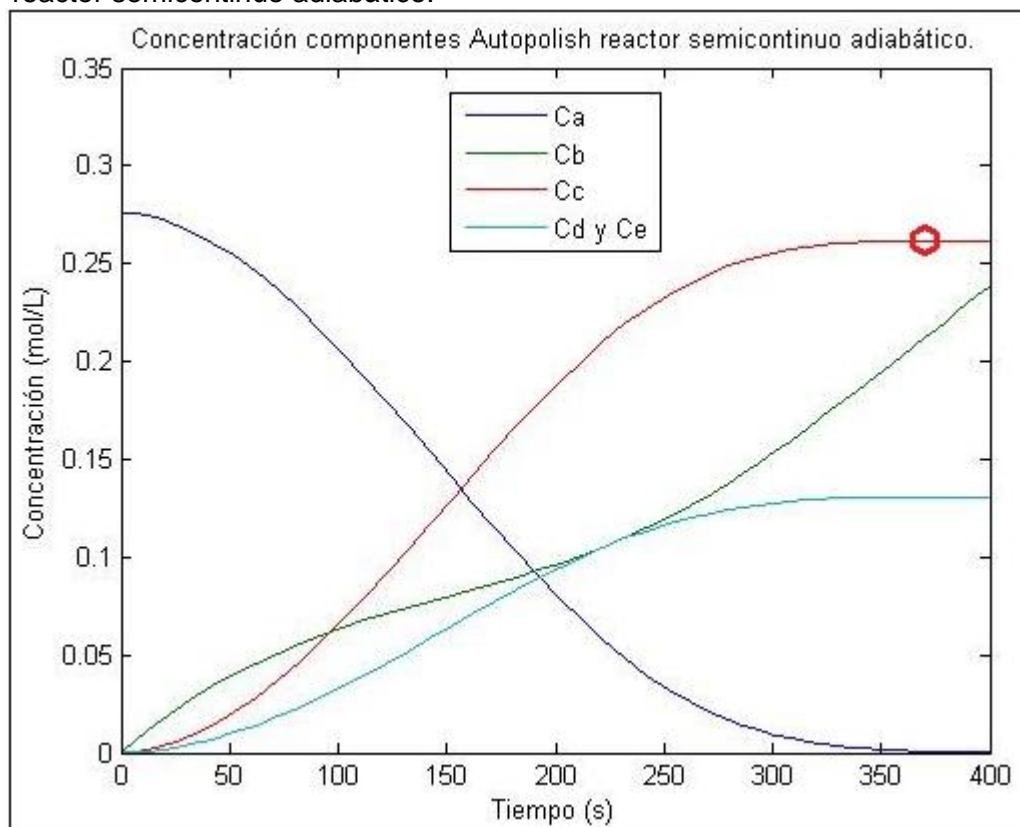
Al reemplazar los flujos de dilución del carbonato, la entalpía de reacción, la capacidad calorífica de la solución y la temperatura de entrada de los componentes (20°C), en la **Ecuación 43**, se obtiene el balance energético para la neutralización de HLAS para un reactor semicontinuo adiabático.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{(157,9)(T-293,15)+(-173,4)(-k \times C_A \times C_b \times V)}{1158,90}$$

Para resolver el balance molar y energético para este reactor (**Ecuaciones 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 43**) se hace uso del solucionador de EDO de MATLAB, las concentraciones iniciales se expresan en la **Tabla 12**, inicialmente se resuelve el sistema de ecuaciones, obteniendo la concentración de cada uno de los componentes a través del proceso de reacción y la función de temperatura del proceso, representados en la gráfica 12 y 13 respectivamente.

A partir de la **Gráfica 12** y de los datos obtenidos, se selecciona el valor máximo de concentración del agente activo NaLAS (Componente C, círculo rojo), conociendo la concentración óptima del producto de interés y con la gráfica se realiza la interpolación para conocer el tiempo de reacción. Con el tiempo de reacción obtenido y la **Gráfica 13** se realiza la interpolación para conocer la temperatura al valor máximo de concentración de NaLAS.

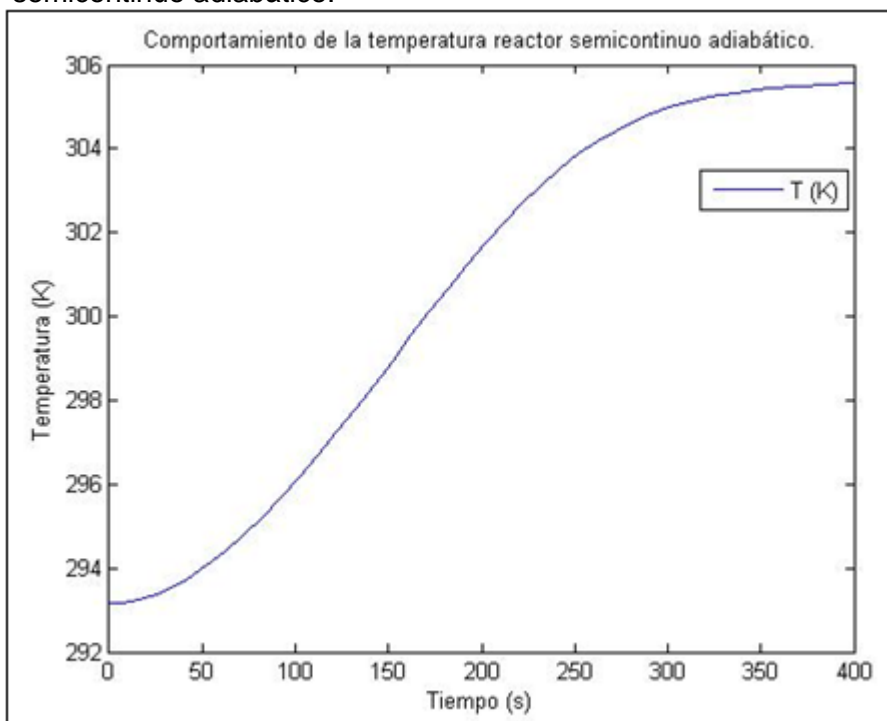
**Gráfica 12.** Concentración de los componentes del detergente autopólish en reactor semicontinuo adiabático.



La concentración óptima del NaLAS es de 0,2616 moles de NaLAS/L (círculo rojo), con tiempo de reacción de 364,90 seg (6,08 minutos), con una temperatura de reacción de 305,47 K (32.32°C). Se puede observar en la **Gráfica 12** que la concentración del carbonato de sodio (Componente B) reactivo de la neutralización va en aumento, debido a que este componente se agrega en exceso para esta reacción para lograr un aporte adicional como aumentar la alcalinidad del producto como demás características para el detergente presentadas en el **Cuadro 1**.



**Gráfica 13.** Comportamiento de la temperatura en reactor semicontinuo adiabático.



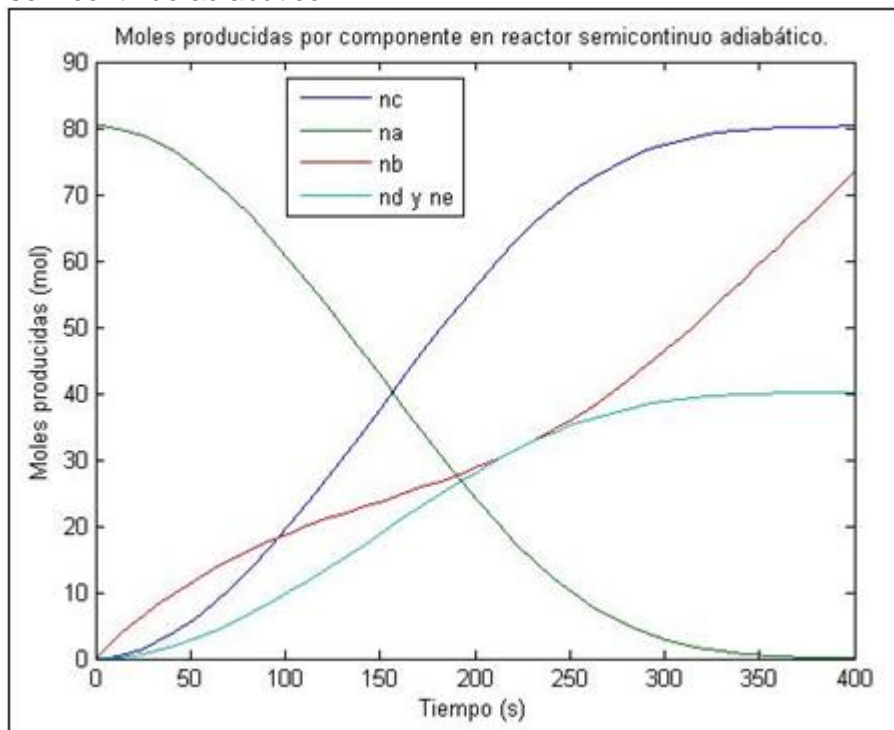
Al obtener la concentración óptima del componente de interés, se determina en ese tiempo de reacción; la concentración de cada uno de los componentes, así como la cantidad de moles presentes en la solución. En la **Gráfica 14** se presenta las moles por componente producidas por este modelo de reacción. Las moles del componente B (Carbonato de Sodio) tienden a aumentar si se sigue alimentando continuamente al reactor después de cumplir el tiempo de reacción.

Seguido a las moles producidas se calcula la conversión de HLAS, por ser el reactivo limitante que controla el avance de la reacción, esto se logra al aplicar la **Ecuación 32** y se modela su comportamiento presentado en la **Gráfica 15**.

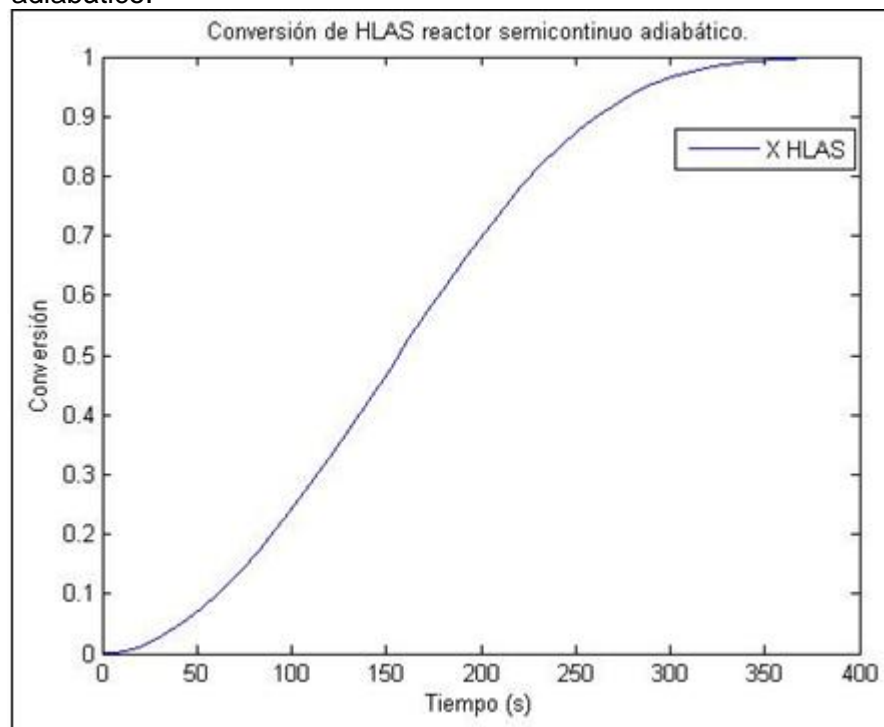
Finalmente el volumen total de la reacción se obtiene con base a la relación presentada en la **Ecuación 33** en el tiempo de reacción Óptimo. Produciendo los litros por producción requeridos presentados en el balance general (Sección 3.1).

$$\begin{aligned}
 V_{reacción} &= V_0 + v_0 t_{reacción} \\
 V_{reacción} &= 290,73 L + \left(0,042 \frac{L}{s} * 364,90s\right) \\
 V_{reacción} &= 306,06 L
 \end{aligned}$$

**Gráfica 14.** Moles producidas por componente en reactor semicontinuo adiabático.



**Gráfica 15.** Conversión del HLAS en reactor semicontinuo adiabático.



Los resultados del modelo del reactor semicontinuo adiabático. Son presentados en la **Tabla 18**. A partir de estos se obtiene la composición del ingrediente activo en el detergente líquido Autopolish en la corriente 7 descrita en el diagrama de bloques del proceso de producción para este modelo.

**Tabla 18.** Resultados de reacción con reactor semicontinuo adiabático.  
**Resultados de reacción con reactor semicontinuo adiabático**

Volumen Producido (L)	306,06
Tiempo de Reacción (min)	6.08
Conversión HLAS (%)	99,66%
Componente	Moles producidas (mol)
HLAS	0.272
NaLAS	80.07
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	63.55
CO <sub>2</sub>	40.04
H <sub>2</sub> O	40.04
<b>Temperatura Máxima de Operación (K)</b>	<b>305,47</b>

### 3.3 SELECCIÓN DEL MODELO ADECUADO DEL REACTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE AUTOPOLISH

La selección del modelo más adecuado para la producción de Autopolish, se realiza con base a los criterios más relevantes del proceso y los resultados expuestos en los modelos de cada uno de los reactores, los criterios de selección son el tiempo de reacción, volumen producido, conversión del reactivo limitante, concentración del ingrediente activo, temperatura de proceso, activación prematura del agente de viscosidad, facilidad de descarga y la necesidad de equipos adicionales para cumplir con la reacción (intercambiadores de calor, chaquetas de enfriamiento/calentamiento, etc) para cada uno de los modelos, la **Tabla 19** es una tabla comparativa de los 3 modelos con los criterios de selección del modelo adecuado.

**Tabla 19.** Criterios de selección para reactor en la fabricación del autopolish.

Modelo de Reactor	Tiempo de reacción (min)	Volumen de producción (L)	Conversión HLAS (%)	Concentración NaLAS (M)	Temperatura de Proceso (K/°C)	Activación prematura Celloside	Facilidad de descarga	Equipos Adicionales
Semicontinuo Isotérmico	17,31	<b>306,31</b>	99,62%	0,2615	293,15/20	No	Si	Si
Intermitente Adiabático	<b>3,00</b>	306,03	<b>99,84%</b>	0,263	304,51/31,36	Si	No	No
Semicontinuo Adiabático	6,08	306,06	99,66%	0,2616	<b>305,47/32.32</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
Resultado Optimo	3,00	306,31	99,84%	0,2630	305,47/32.32	No	Si	No

Los resultados obtenidos en la **Tabla 19**, permiten seleccionar el reactor semicontinuo adiabático como el reactor más adecuado para este proceso, por las siguientes consideraciones:

- Al alcanzar mayor temperatura en el proceso, la velocidad de reacción aumenta obteniendo cada vez más producto en menor tiempo de reacción, además facilita la descarga del producto, debido a que la viscosidad del producto se reduce a mayores temperaturas, lo que permite mayor fluidez y reducción en el tiempo de envasado.
- No permite activación prematura del agente de viscosidad (Celloside), causando una reacción homogénea en todo el equipo, evitando aglutinaciones y floculaciones que dificulten el proceso de descarga y presentación del producto.
- La incorporación del carbonato a la carga inicial del reactor es más sencilla al encontrarse diluida, evitando cambios radicales en el pH del detergente, así como el choque térmico por el calor de disolución generado por el carbonato sólido al cargarse completamente al inicio de la reacción.
- El reactor no requiere equipos adicionales, al no ser necesario mantener la temperatura del proceso constante, lo que disminuye costos operacionales del proceso.

- Presenta la menor generación de espuma al contener mayor selectividad en la producción del ingrediente activo y menor producción de CO<sub>2</sub>.

Es necesario al completar el tiempo de reacción suspender el flujo de carbonato de sodio, con el propósito de evitar la disminución de la concentración del ingrediente activo. Así como el aumento de la temperatura por el calor disolución generado este reactivo.

### 3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR SELECCIONADO PARA LA PRODUCCIÓN DE AUTOPOLISH

El dimensionamiento de un reactor y su agitación depende de variables como lo son las proporciones del tanque, tipo y localización del agitador, y el número y dimensiones de los deflectores entre otros, la **Ecuación 45** describe las relaciones estándar para el diseño de agitadores, y con las cuales se realizará el diseño para el dimensionamiento del reactor para la producción del detergente.<sup>21</sup>

**Ecuación 45.** Relaciones estándar para reactores y agitadores.

45-A	45-B	45-C	45-D	45-E	45-F
$\frac{H}{D_T} = 1$	$\frac{D_a}{D_T} = \frac{1}{3}$	$\frac{E}{D_T} = \frac{1}{3}$	$J = \frac{D_T}{12}$	$W = \frac{D_T}{5}$	$L = \frac{D_a}{4}$

Inicialmente el dimensionamiento del reactor, parte de un diseño cilíndrico del equipo, la capacidad total del equipo se calcula con base en la **Ecuación 46**. Donde se relaciona la capacidad total de producción con un factor de servicio. Además el diseño debe permitir la flexibilidad de operar a una capacidad media-alta (80% de su capacidad de diseño) sin que se altere la calidad del producto obtenido, sea cumpla el volumen de producción y se seguro la capacidad operacional del reactor. Por lo tanto el volumen del reactor semicontinuo adiabático es.

**Ecuación 46.** Volumen total de reactor.

$$V_{Reactor} = \frac{V_{Rxn}}{Factor\ de\ servicio}$$

$$V_{Reactor} = \frac{306,06\ L}{0,8}$$

$$V_{Reactor} = 382,58\ L = 0.3826\ m^3$$

<sup>21</sup> MCCABE, Warren L. "Operaciones Unitarias en ingeniería química". Mc Graw Hill. USA. Séptima edición.2007.

Conociendo el volumen del reactor, se determina la altura y diámetro del equipo, número y diámetro de deflectores, diámetro del agitador y altura del agitador con respecto al fondo del equipo, con base a las relaciones estándar para reactores y agitadores extraídas de la bibliografía<sup>22</sup> y expresadas en la **Ecuación 45**, estas relacionan aseguran un mezclado homogéneo en el equipo.

$$V_{Reactor} = \pi * \frac{D_T^2}{4} * H$$

Donde  $D_T$  es el diámetro del reactor y  $H$  es la altura del reactor. Relacionando la **Ecuación 46**.

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

$$0.3826 \text{ m}^3 = \pi * \frac{H^2}{4} * H$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{4 * 0.3826 \text{ m}^3}{\pi}}$$

$$H = D_T \cong 0,7868 \text{ m} = 78,682 \text{ cm}$$

La altura y el diámetro del equipo son iguales para asegurar la estabilidad del equipo y no ser necesario anclajes extras para evitar posibles volcamientos en la agitación. Lo siguiente es conocer el espesor mínimo de la pared del reactor, previamente es necesario calcular la presión interna en el fondo del reactor, tomando como factor de seguridad un 20%. La **Ecuación 47** permite calcular la presión interna en el fondo del equipo.

**Ecuación 47.** Presión interna en el fondo del reactor.

$$P = 1,2 \times \rho \times g \times H$$

**Fuente:** ZAMBRANO, Franco Joel Alonso. Ingeniería básica de un planta comercial de detergente líquido. 2010. p. 115.

Donde  $P$  es la presión en Pa,  $\rho$  es la densidad del fluido y  $g$  es la aceleración gravitacional.

<sup>22</sup> Ibid.,

$$P = 1,2 \times 996,7 \frac{kg}{m^3} \times 9,8 \frac{m}{s^2} \times 0,79 m$$

$$P = 9203,7 Pa$$

Se calcula el espesor mínimo de la pared del reactor por medio de la **Ecuación 48**, es necesario conocer el material de construcción del equipo, se propone el uso de acero inoxidable 304, este material es resistente a la corrosión y los agentes químicos utilizados en la producción del detergente.

**Ecuación 48.** Espesor mínimo de la pared de un reactor.

$$\varepsilon_{min} = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6P} + C$$

**Fuente:** ZAMBRANO, Franco Joel Alonso. Ingeniería básica de un planta comercial de detergente líquido. 2010. p. 116.

Dónde:

- P es la presión interna del tanque en el fondo del tanque, psig.
- R es el radio del reactor, in.
- S es el esfuerzo admisible del material de construcción,  $S_{acero\ inox\ 304} = 35000$  psi.
- C es el espesor adicional para la corrosión,  $C_{acero\ inox\ 304} = 0,0625$  in.
- E es la eficiencia de la soldadura, 0,85 [adim].

$$\varepsilon_{min} = \frac{1,3\ psi \times 15,5\ in}{35000\ psi \times 0,85 - 0,6(1,3\ psi)} + 0,0625$$

$$\varepsilon_{min} = \frac{1,3\ psi \times 15,5\ in}{35000\ psi \times 0,85 - 0,6(1,3\ psi)} + 0,0625$$

$$\varepsilon_{min} = 0,063\ in \cong 1,61\ mm$$

Se selecciona un agitador de turbina de palas planas inclinadas. Calculamos el diámetro y la altura del agitador con respecto al fondo del tanque (E) aplicando la **Ecuación 45** respectivamente. Solamente es necesario un agitador debido a que el fluido presenta viscosidad menor a 25000 cps y la capacidad total es menor a 5000 galones de producción y la relación  $H/D < 1,4^{23}$ .

<sup>23</sup> Ibid., p. 153.

$$\frac{D_a}{D_T} = \frac{1}{3}$$

$$D_a = \frac{D_R}{3}$$

$$D_a = \frac{0,7868 \text{ m}}{3}$$

$$D_a = 0,2623 \text{ m}$$
  

$$\frac{E}{D_T} = \frac{1}{3}$$

$$E = \frac{D_R}{3}$$

$$E = \frac{0,7868 \text{ m}}{3}$$

$$E = 0,2623 \text{ m}$$

Es necesario verificar si se debe realizar una corrección al diámetro del agitador, con base a la intensidad de agitación que se debe hacer para la reacción de neutralización y la viscosidad del fluido, inicialmente se calcula el caudal efectivo de mezclado por medio de la **Ecuación 49**, la velocidad media de agitación para el proceso de agitación es de 0,12 m/s la cual es la más acorde para las reacciones de neutralización. El caudal de homogenización es:

**Ecuación 49.** Caudal efectivo de mezclado.

$$Q = A \times V_b$$

Donde A es el área transversal del cilindro y  $V_b$  es la velocidad de agitación.

$$Q = 0,486 \text{ m}^2 \times 0,12 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,0583 \text{ m}^3/\text{s}$$

A partir del caudal efectivo de mezclado se calcula el número de revoluciones por minuto del agitador (N) por medio de la **Ecuación 50**.

**Ecuación 50.** Número de revoluciones por minuto del agitador

$$N = \frac{Q}{D_a^3 \times N_Q}$$



Donde  $N_Q$  es el número de mezcla, que se obtiene a partir de la relación  $D_a/D_T$  de la bibliografía para este caso su valor es de 0,64<sup>24</sup>.

$$N = \frac{0,0583 \text{ m}^3/\text{s}}{(0,2623 \text{ m})^3 \times 0,64}$$

$$N = 5,0533 \text{ s}^{-1}$$

Con la **Ecuación 51** se calcula el número de Reynolds para el área de contacto del fluido con el agitador.

**Ecuación 51.** Número de Reynolds para agitadores

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 \times N \times \rho}{\mu}$$

Donde  $\rho$  y  $\mu$  es la densidad y viscosidad del fluido en  $\text{Kg}/\text{m}^3$  y  $\text{Kg}/\text{m}\cdot\text{s}$  respectivamente.

$$N_{Re} = \frac{(0,2623 \text{ m})^2 \times 5,0533 \text{ s}^{-1} \times 999,67 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,3158 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \cdot \text{s}}$$

$$N_{Re} = 1097,3$$

Con el valor del número de Reynolds obtenido podemos concluir que hay un flujo laminar en el área de contacto del agitador con el fluido<sup>25</sup>. Al presentarse un  $N_{Re} > 600$  no es necesario una corrección en el diámetro del agitador.

A partir de la **Tabla 20**. Se verifica la necesidad de placas deflectoras para el dimensionamiento del equipo.

<sup>24</sup> Ibid., p. 154.

<sup>25</sup> MOTT, Robert L. Mecánica de Fluidos, Pearson educación. México. Quinta Edición.2006.p. 230.

**Tabla 20.** Criterios de selección placas deflectoras para reactores.

Volumen (Gal)	Viscosidad (cps)	Deflectores
<1000	<2500	4 a 90°, ancho: $D_T/12$
<1000	>2500	No son necesarios
>1000	<5000	4 a 90°, ancho: $D_T/12$
>1000	>5000	No son necesarios

**Fuente:** ZAMBRANO, Franco Joel Alonso. Ingeniería básica de una planta comercial de detergente líquido. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas. 2010. p. 154.

Debido a que el reactor tiene una capacidad menor a 1000 gal y la viscosidad del fluido es de 315,75 cps, se cumple el primer criterio de la tabla anterior, por lo tanto es necesario la incorporación de 4 deflectores distribuido cada 90° en el interior del reactor, el alto de los deflectores es proporcional a la altura del tanque, El ancho de los deflectores J a partir de la **Ecuación 45**.

$$J = \frac{D_T}{12}$$

$$J = \frac{0,7868 \text{ m}}{12}$$

$$J = 0,0655 \text{ m}$$

El uso de deflectores se hace necesario por los siguientes aspectos:

- Evitar que toda la masa del fluido, gire alrededor del eje como un todo.
- Evitar el vórtice que puede dañar el agitador e introducir aire en el producto.
- Conseguir una agitación correcta.

Finalmente se calculan las dimensiones de las aspas del agitador, aplicando la **Ecuación 45** para el alto de las aspas y para el ancho de las aspas.

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

$$W = \frac{0,2623 \text{ m}}{5}$$

$$W = 0,0525 \text{ m}$$

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

$$L = \frac{0,2623 \text{ m}}{4}$$

$$L = 0,0656 \text{ m}$$



El Número de potencia para una turbina de hojas planas y un  $N_{Re}=1097,3$  es aproximadamente de 4. La potencia requerida del agitador es:

$$P_o = 996,7 \text{ kg/m}^3 \times (5,053 \text{ s}^{-1})^3 \times (0,787 \text{ m})^5 \times 4$$

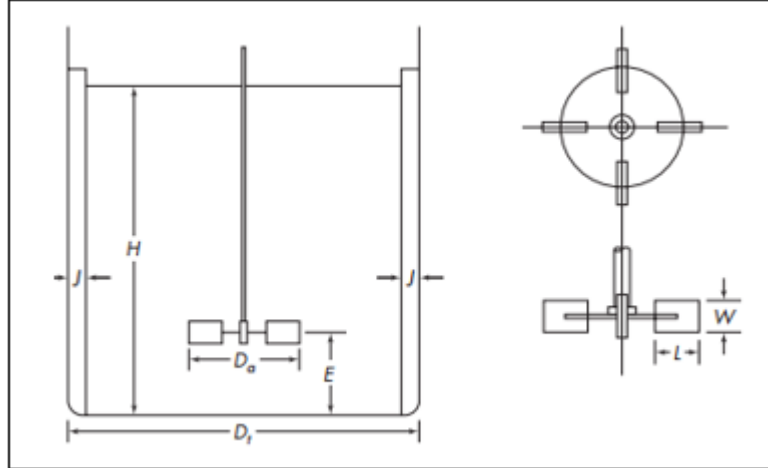
$$P = 638,5 \text{ W} \cong 0,856 \text{ Hp}$$

Los resultados obtenidos en el dimensionamiento del reactor son resumidos en la **Tabla 21**. Donde se recopilan las dimensiones estructurales del equipo y las condiciones de agitación del fluido. En la **Figura 27** se presenta un esquema básico de las dimensiones del reactor con la simbología estipulada en la **Tabla 22**.

**Tabla 21.** Dimensionamiento del reactor para la fabricación del detergente líquido autopolish.

Dimensionamiento estructural de reactor semicontinuo adiabático para la fabricación de Detergente líquido Autopolish.		
Tipo de material		Acero inoxidable 304
Símbolo	Dimensiones generales	
V	Volumen del reactor (L)	382,58
H	Altura del reactor (m)	0,7868
$D_T$	Ancho del reactor (m)	0,7868
P	Presión del fluido sobre las paredes (Pa)	9203,7
E	Espesor mínimo pared del reactor (mm)	1,6052
Dimensiones del agitador y aspas		
Número de impulsores		1
Tipo de agitador		Turbina palas inclinadas
$D_a$	Diámetro del agitador (m)	0,2623
Número de aspas		3
W	Altura de aspas (m)	0,0525
L	Ancho de aspas (m)	0,0656
Dimensiones de los deflectores		
Número de deflectores		4
Ubicación de deflectores		Cada 90°
J	Altura de deflectores (m)	0,7868
H	Ancho de deflectores (m)	0,0656
Potencia y Características de flujo		
$V_b$	Velocidad media de agitación (m/s)	0,1200
Q	Caudal efectivo de mezclado ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0,0583
N	Frecuencia del agitador (Hz)	5,0533
$P_o$	Potencia requerida del agitador (Hp)	0,8562

**Figura 27.** Esquema dimensional del reactor.



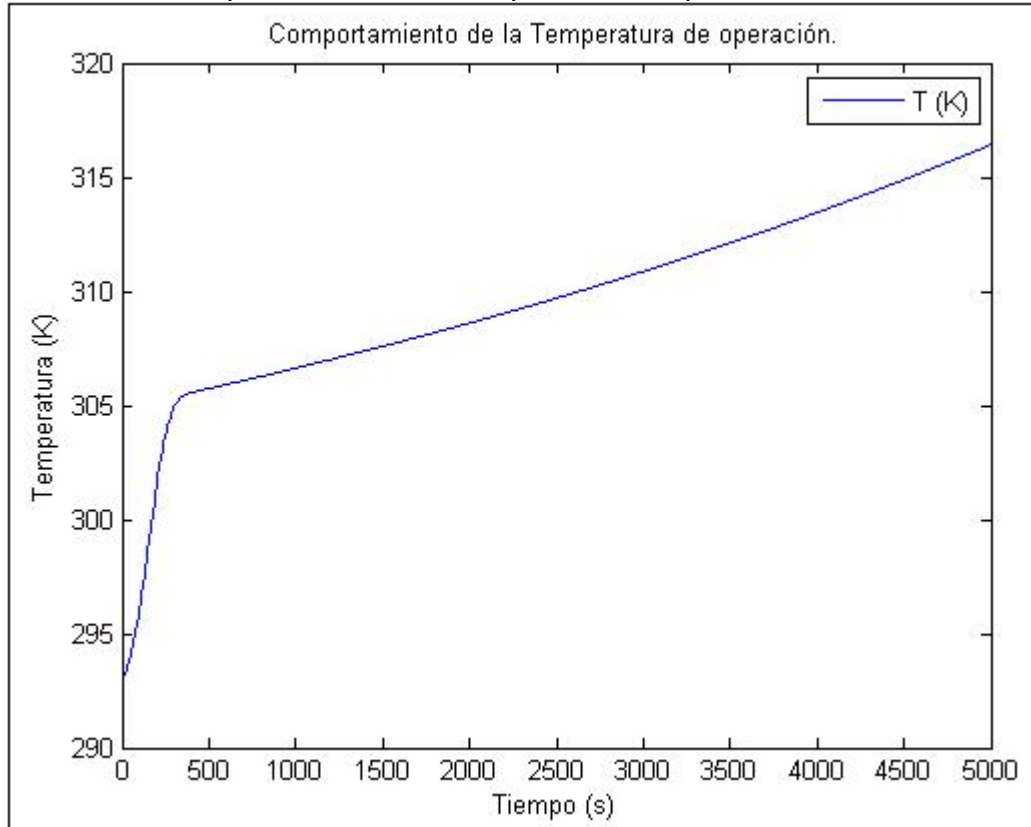
**Fuente:** MCCABE, Warren L. Operaciones Unitarias en ingeniería química. 2007.

Para la construcción del equipo, la empresa Produquim Ltda. dispone de diferentes proveedores que pueden fabricar el reactor de acuerdo a las dimensiones estipuladas, material de construcción y requerimientos eléctricos para la instalación del reactor y el aislamiento del equipo.

### 3.5 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN

La medición de la temperatura para el proceso de neutralización del detergente es un parámetro a controlar en el desarrollo del proceso, debido a que el reactor presenta un ingreso continuo de carbonato diluido, es necesario que se establezcan un control en esta corriente, impidiendo el paso del fluido al completar el tiempo de reacción, para evitar el incremento de volumen, el carbonato en exceso en la composición del detergente y la elevación de la temperatura por la liberación de calor causado en la mezcla del carbonato de sodio y el agua cargada en el reactor. En la **Gráfica 17** se presenta el comportamiento de la temperatura en la operación del equipo después de completar la reacción de neutralización del HLAS.

**Gráfica 17.** Comportamiento de la temperatura de operación.



Se puede apreciar en la **Gráfica 17** un aumento en la temperatura de 6,88 °C hasta alcanzar un valor de 312,37 K al cumplirse 1 hora de operación, a causa del calor liberado por el carbonato de sodio en su disolución en el reactor. Para evitar este aumento en la operación se puede implementar un sistema de control de temperatura de lazo cerrado, que impida el ingreso del carbonato al cumplirse el tiempo de reacción.

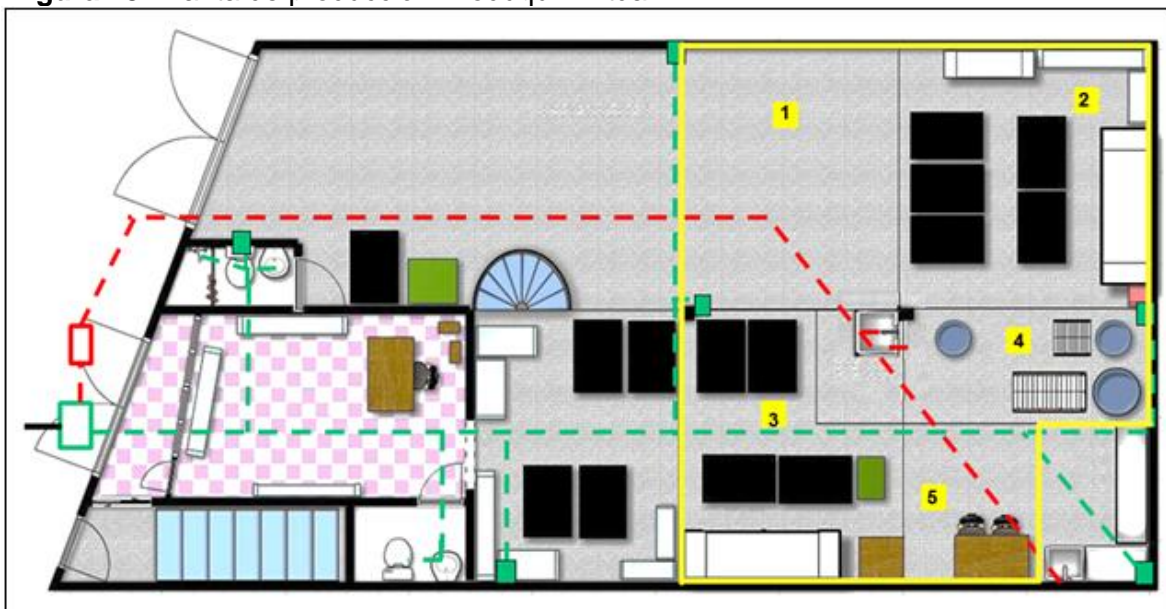
## 4. DISTRIBUCIÓN DE ÁREA DE PRODUCCIÓN PARA LA INTEGRACIÓN DEL REACTOR

En este capítulo se presenta una propuesta para la distribución del área de producción de la empresa Produquim Ltda. Con la implementación del reactor propuesto para la fabricación del detergente Autopolish con base en un diagnóstico realizado de la distribución actual de la planta. Y proponiendo una mejora a las falencias identificadas en esta distribución.

### 4.1 DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

Actualmente la empresa cuenta con un área total aproximada de 220 m<sup>2</sup>, los cuales el área de producción representa un 27% del área total (60.23 m<sup>2</sup>), en el **Anexo D** se presenta el plano de distribución de la empresa, y en la **Figura 28** un esquema de la distribución de la planta inferior donde se encuentra el área de producción, las líneas semicontinuas en color verde representa la red de aguas domésticas y las líneas semicontinuas en color rojo la red de aguas industriales.

**Figura 28.** Planta de producción Produquim Ltda.



El lugar delimitado por la línea amarilla en la **Figura 28** es el área de producción, está compuesta por cinco zonas que se describen a continuación:

- **Zona 1.** Área de carga/descarga de productos terminados y materia prima.
- **Zona 2.** Área de almacenamiento de insumos (Envases y Etiquetas) y muestras de retención.
- **Zona 3.** Área de almacenamiento de materias primas.
- **Zona 4.** Área de Fabricación.

- **Zona 5.** Área de envasado y etiquetado del producto.

El área de producción está compuesta por los equipos presentados en el **Tabla 22**. Donde se encuentran clasificados por la zona de producción a la cual pertenecen y su capacidad de carga o almacenaje.

**Tabla 22.** Equipos disponibles zonas de producción.  
**Equipos área de producción Produquim Ltda.**

Equipo	Zona
Montacargas Hidráulico	1
Elevador Manual de carga	1
Balanza Industrial	3
Reactor Batch 760 L	4
Tanque mezclador 1 220L	4
Tanque mezclador 2 220L	4
Tanque mezclador 3 120L	4
Tanque mezclador 4 60L	4
Tanque mezclador 5 60L	4
Agitador con elevador hidráulico	4
Mezclador impulsor 3 palas marino 1	4
Mezclador impulsor 3 palas marino 2	4
Bomba Manual 1	4
Bomba Manual 2	4
Bomba centrifuga Horizontal	4
Bomba Centrifuga Vertical	4
Escalera de carga	4
Etiquetadora Automática	5

Actualmente se encuentran almacenados en la planta superior 3 Tanques para almacenamiento de agua completamente operativos con capacidad de 1500 L, se encuentran fuera de servicio por que no han podido ser instalados al no encontrarse una disponibilidad de espacio para su ubicación en el área de producción.

#### **4.2 DIAGNÓSTICO DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA**

Al realizar un análisis de la distribución actual del área de producción de la compañía se evidencia las siguientes falencias:

La incorrecta ubicación de la zona de almacenamiento de insumos (envases y etiquetas), debido a que se encuentra separada de la zona de envasado y etiquetado del producto, siendo necesario atravesar toda la zona de fabricación



para transportar los insumos de la zona 2 a la 5 Esto aumenta el riesgo de accidentes al transportar los envases que ocupan grandes volúmenes a través de la zona de fabricación.

La incorrecta ubicación de la zona de almacenamiento de materias primas, debido a que se encuentra separada de la zona fabricación, por la zona de envasado de etiquetado, dificultando el transporte de las materias primas fraccionadas para la fabricación de gráneles, aumentando el riesgo de contaminación cruzada. Como un riesgo para la salud de los trabajadores de la zona de etiquetado al estar expuestos a vapores generados por los reactivos al no presentarse extractores y ventilación adecuada en esta zona.

El incorrecto almacenamiento de las materias primas, estas no se encuentran clasificadas por su riesgo de inflamabilidad y reactividad. Lo cual podría causar una contaminación cruzada y puede tener alcances desde afectar la calidad de los productos hasta dañar un lote completo de producto.

No existe ninguna medida contra un riesgo de derrames en el área de fabricación. El almacenamiento de equipos operativos requeridos en el área de producción que pueden facilitar una continua disponibilidad de solvente para la fabricación de gráneles y el aprovechamiento del espacio donde se encuentran almacenados.

Las muestras de retención de los lotes fabricados de cada producto, no se encuentran almacenados en el área de calidad, dependencia encargada de su almacenamiento y conservación. Al encontrarse expuestos en una zona de alto tránsito de personal pueden presentar contaminación y pérdida total de su trazabilidad.

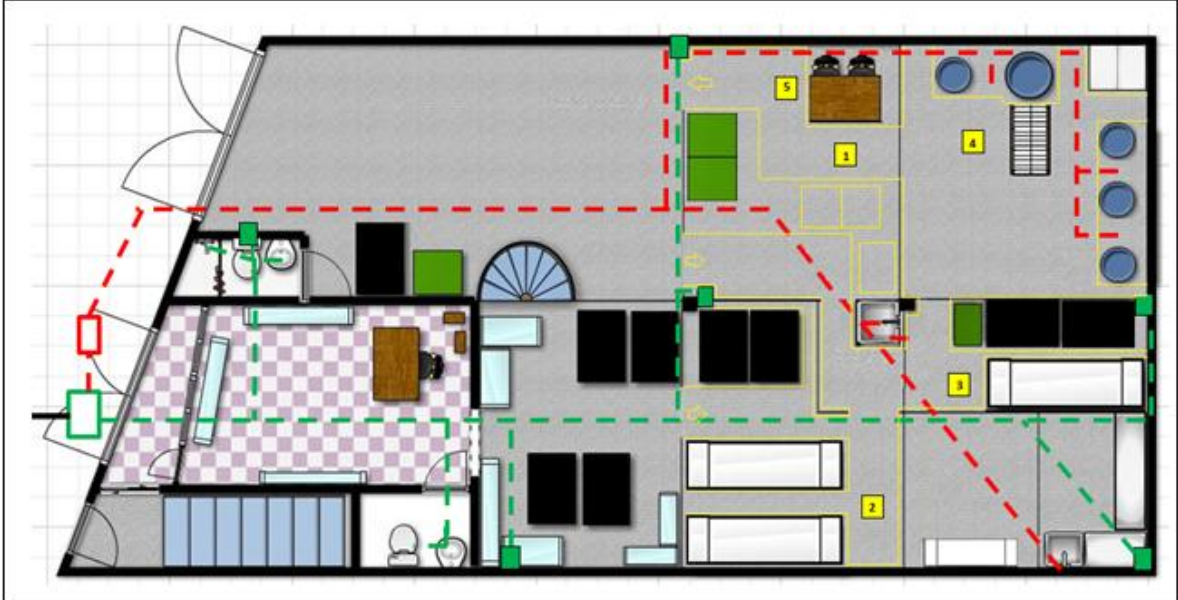
Carencia de la delimitación de seguridad en las 5 zonas que conforman el área de producción para el tránsito del personal y montacargas.

Con la actual distribución del área de producción no es posible implementar el reactor para una línea independiente al no encontrarse disponibilidad de espacio para su ubicación en la zona de fabricación actual.

#### **4.3 PROPUESTA PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA**

Teniendo en cuenta las falencias identificadas en la distribución del área de producción actual de la empresa. Se propone una distribución con base en los planos actuales de la planta y el diagnóstico planteado en el numeral 4.2. En el **Anexo E** se presentan el plano de la nueva distribución propuesta para el área de producción y en la **Figura 29** un esquema de la planta inferior de Produquim Ltda.

**Figura 29.** Planta de producción propuesta para Produquim Ltda.



En la **Figura 29** se presenta el marcaje de las líneas amarillas de seguridad en el área de producción, estas líneas se encuentran a 0,25 m separadas de los equipos y racks de almacenaje, con un ancho de 0,1m. Se incluye 3 puntos adicionales de la red de aguas residuales Industriales entre los reactores y tanques de mezclado necesarios para el mantenimiento y evacuación de derrames.

Inicialmente se plantea una matriz de compatibilidad para las materias primas utilizadas en la empresa para su correcta ubicación en la zona de almacenaje presentada en el **Cuadro 3**.

**Cuadro 3.** Matriz de compatibilidad de materias primas.

MATRIZ DE COMPATIBILIDAD DE MATERIAS PRIMAS DE PRODUQUIM LTDA.														
Clase de Riesgo ONU	1	2.1	2.2	2.3	3.	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	6	7	8	9
1. Explosivo	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
2.1 Gas inflamable	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
2.2 Gas Comprimido no inflamable no venenoso	Red	Yellow	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
2.3 Gas venenoso por inhalación	Red	Yellow	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
3. Líquidos inflamables y líquidos combustibles (Alcohol etílico, alcohol industrial, butyl,formol, thinner,varsol, I.P.A, Kerosene, propanol, lutensol,etc)	Red	Yellow	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
4.1 Solido inflamable (metasilicato de sodio).	Red	Yellow	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
4.2 Sustancia espontáneamente combustible	Red	Yellow	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
4.3 Sustancia peligrosa cuando esta mojado	Red	Yellow	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
5.1 Oxidante	Red	Yellow	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
5.2 Peróxido Orgánico (Peróxido de hidrógeno).	Red	Yellow	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
6. Sustancias Tóxicas	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
7. Sustancias Radioactivas	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
8. Sustancias Corrosivas (Ácido cítrico, ácido nítrico, ácido clorhídrico, ácido fosfórico, ácido sulfónico, cloruro de benzalconio, creolina, E.D.T.A, euperland, fosfato trisódico, hidróxidos.)	Red	Yellow	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
9. Sustancias Peligrosas Varias ( Bases, bicarbonatos, borax deca carbopol, celloside, colorantes, dowfax, ethamin, fragancias genapol, glicerina, capstows, nonil fenol, poligen 850, poligen WE1, Propil parabeno, propilenglicol, rhodosil, sales, siliconas, sulfato de sodio, texapón 70, timsen, tinopal CBX,tween,etc.)	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Pueden Almacenarse Juntos												
	Yellow	Precaución, Revisar Incompatibilidades Individuales												
	Red	Pueden requerirse almacenes separados. Son incompatibles												

La matriz de compatibilidad presentada en el **Cuadro 3** se genera con base a las hojas de seguridad de los reactivos usados, con el fin de reducir el riesgo de accidentes entre materiales reactivos e inflamables. A continuación se describen los traslados realizados de las diferentes zonas de producción:

- Se traslada el área de Fabricación (Zona 4) donde se encuentra en la distribución actual la zona de almacenamiento de insumos, esta zona es más amplia permitiendo la instalación del reactor para la producción de detergente Autopolish, así como la puesta en marcha de los tanques para el almacenamiento de agua, que no se encuentran en operación, aumentando la disponibilidad de este recurso, se ubican los equipos en serie para facilitar la disposición de la red eléctrica y el tráfico de la zona.
- Se traslada el área de almacenamiento de materias primas (Zona 3) donde se encuentra en la distribución actual la zona de fabricación. Esta zona se encuentra ventilada y con 2 extractores que permiten la eliminación de gases emitidos por los reactivos. Facilita el traslado de las materias primas

fraccionadas a la nueva zona de fabricación y reduce riesgos de contaminación cruzada.

- Se traslada el área de envasado y etiquetado (Zona 5) donde se encuentra en la distribución actual la zona de carga y descarga de producto terminado y materias primas, Facilitando el traslado de los gráneles fabricados para su posterior envasado y etiquetado en serie sin la necesidad de atravesar tras zonas de producción, además se habilitan espacios para ubicar el materia de empaque de las producciones a realizar y estibas para ubicar el producto terminado.
- Se traslada el área de almacenamiento de insumos (Zona 2) donde se encuentra en la distribución actual la zona de almacenaje de materias primas, facilitando el traslado del material de empaque a la zona de envasado y etiquetado, además se reubican las muestras de retención en el área de calidad para su exclusiva trazabilidad y almacenamiento.

Las modificaciones propuestas para la distribución en el área de producción se tienen en cuenta en el análisis financiero del proyecto incluyendo traslado de equipos, marcaje de seguridad, y reubicación e instalación de redes eléctricas y de aguas.

## 5. ANÁLISIS FINANCIERO

El siguiente análisis financiero responde a la necesidad del dimensionamiento de un reactor para la producción del detergente líquido Autopolish con el objetivo de eliminar los costos de neutralización, reducir los tiempos de producción y contar con una línea independiente para la fabricación de los productos, actualmente en la empresa Produquim Ltda. Los 3 productos de mayor producción son fabricados en una misma línea.

Para realizar la evaluación financiera de este proyecto se tiene en cuenta como unidad monetaria corriente pesos Colombianos (COP), una Tasa de Interés de Oportunidad (TIO) del 11% efectivo anual, que es comúnmente utilizada para los proyectos de inversión desarrollados en la empresa Produquim Limitada, el período de evaluación es de cinco años y los indicadores financieros usados fueron el Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), adicionalmente se hace el análisis de costos de inversión, operación actuales y con la implementación del proyecto.

En el presente análisis se determinaron los costos de inversión (CAPEX) para el dimensionamiento de un reactor para la producción de un detergente líquido, se determinaron los costos de operación actuales del proyecto y los costos de operación al implementarse el equipo, con el fin de conocer el Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno y así poder establecer la viabilidad financiera de este proyecto.

### 5.1 ANÁLISIS DE INVERSIÓN (CAPEX)

Hace referencia a la inversión inicial que una compañía debe realizar con el objetivo de mejorar sus bienes y/o activos, como lo pueden ser maquinaria, inmuebles, fábricas, herramientas y equipos los cuales le generan beneficios.

Para el análisis de los costos de inversión de la implementación del reactor, es necesario realizar un dimensionamiento adecuado del equipo, redistribuir el área de producción de la empresa para la fabricación del detergente y adquirir diferentes productos, servicios y herramientas.

En la **Tabla 23** se presentan los costos de inversión necesarios para la implementación del equipo reactor para la producción de detergente líquido.

**Tabla 23.** Inversión para implementar el equipo reactor – COP.

Descripción de inversión	Inversión en COP
Reactor con aislamiento térmico	4'060.000
Motoreductor 4 HP del reactor	2'088.000
Sistemas eléctricos	174.000
Instalación del equipo	300.000
Traslado del equipo	50.000
Instalación red doméstica de aguas residuales	200.000
Adecuación área de producción	1'980.000
<b>Inversión Total</b>	<b>8'852.000</b>

En la **Tabla 24** se presenta el resumen de la inversión para implementar el equipo reactor.

**Tabla 24.** Costos de inversión para la implementación del equipo reactor para la producción de detergente líquido.

Período (Año)	Inversión total
0	8'852.000

## 5.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN ACTUALES (OPEX)

Corresponde a los desembolsos que están asociados la ejecución del proyecto, como lo es el alquiler y mantenimiento de equipos, mano de obra, materiales y otros costos de funcionamiento los cuales son esenciales para la operación del proyecto.

Para determinar estos costos a lo largo de cinco períodos evaluados se debe establecer valor de la mano de obra, mantenimiento de la empresa, insumos e, implementos, materiales tales como agua, ácido sulfónico lineal, celloside, carbonato de sodio y formol, neutralización del equipo, gastos generales asociados al funcionamiento del actual de la empresa.

Para determinar el costo de los materiales se debe multiplicar el costo por litro el cual tiene un valor 728,90 pesos por los 4.896 litros de detergente a fabricar al mes.

En la **Tabla 25** se presentan los costos de operación asociados únicamente a la fabricación de 4.896 litros de detergente producidos actualmente mensuales.

**Tabla 25.** Costos de operación actuales mensuales asociados a la fabricación del producto.

Descripción de costo	Costo en COP
Materiales	3'568.686
Mantenimiento	213.605
Neutralización	94.584
Mano de obra	331.218
Gastos generales	966.300
<b>Costo total de operación actual</b>	<b>5'174.393</b>

Luego de presentar los costos mensuales de operación para la fabricación del producto, a continuación en la **Tabla 26** se ilustran los costos anuales de operación los cuales se determinan, a partir de la multiplicación del costo mensual actual por los 12 meses del año, para los siguientes cuatro períodos, con base a un porcentaje de incremento del 5% en el costo de operación.

**Tabla 26.** Costos totales actuales anuales de operación – COP.

Período (Año)	Costo de Operación	Incremento de costo	Costo total de operación
1	62'092.717	0,00	62'092.717
2	62'092.717	3'104.636	65'197.353
3	65'197.353	3'259.868	68'457.221
4	68'457.221	3'422.861	71'880.082
5	71'880.082	3'594.004	75'474.086

### 5.3 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

En esta sección se determinan los costos generados al implementar el equipo durante cinco años provenientes de la reducción de los costos derivados a mano de obra y mantenimiento, así como la eliminación del costo de neutralización al no ser necesaria a causa de disponer de una línea de producción independiente para este producto. Los costos de materiales y gastos generales se mantienen, debido a que no son afectados al implementar el proyecto.

La **Tabla 27** presentada a continuación ilustra los costos de operación asociados únicamente a la fabricación de 4.896 litros de detergente producidos mensuales con la implementación del reactor.

**Tabla 27.** Costos de operación mensuales en la fabricación del producto asociado a la implementación del proyecto.

Descripción de costo	Costo en COP
Materiales	3'568.686
Mantenimiento	198.605
Mano de obra	225.509
Gastos generales	966.300
<b>Costo total de operación actual</b>	<b>4'959.101</b>

Luego de presentar los costos mensuales de operación para la fabricación del producto con la implementación del proyecto, a continuación en la **Tabla 28** se ilustran los costos anuales de operación los cuales se determinan como se presenta en la sección 6.2, a partir de la multiplicación del costo mensual actual por los 12 meses del año, para los siguientes cuatro períodos, con base a un porcentaje de incremento del 5% en el costo de operación.

**Tabla 28.** Costos totales anuales de operación con la implementación del proyecto – COP.

Período (Año)	Costo de Operación	Incremento de costo	Costo total de operación
1	59'509.214	0,00	59'509.214
2	59'509.214	2'975.461	62'484.674
3	62'484.674	3'124.234	65'608.908
4	65'608.908	3'280.445	68'889.353
5	68'889.353	3'444.468	72'333.821

## 5.4 EVALUACIÓN FINANCIERA

Para realizar la evaluación financiera del proyecto es necesario tener en cuenta los costos de inversión, los costos de operación actuales y de implementación del proyecto obtenidos anteriormente, a partir de esto se determina la viabilidad financiera por medio de los indicadores Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

**5.4.1 Valor Presente Neto (VPN).** “Es el equivalente en pesos (\$) actuales de todos los ingresos y egresos, presentes y futuros, que constituyen el proyecto”<sup>27</sup>. El Valor Presente Neto se calcula con la **Ecuación 53** presentada a continuación.

**Ecuación 22.** Valor Presente Neto (VPN).

$$VPN(i) = \sum -A + (F/(1+i)^n)$$

**Fuente:** BACA, Guillermo. Ingeniería económica. Bogotá: Fondo educativo panamericano, 2005.p.197.

Dónde:

- VPN corresponde al Valor Presente Neto a encontrar.
- A corresponde a la inversión realizada en el proyecto.
- F corresponde al valor del flujo de caja neto.
- i corresponde a la tasa de interés de oportunidad (TIO) la cual es la tasa de retorno que se necesita sobre una inversión, esta tasa es la encargada de

<sup>27</sup> BACA, Guillermo. Ingeniería económica. Bogotá: Fondo educativo panamericano, 2005.p.197.



descontar el monto capitalizado de interés del total de ingresos a percibir en el futuro.

- $n$  corresponde al número de periodos que existen para la evaluación del proyecto.

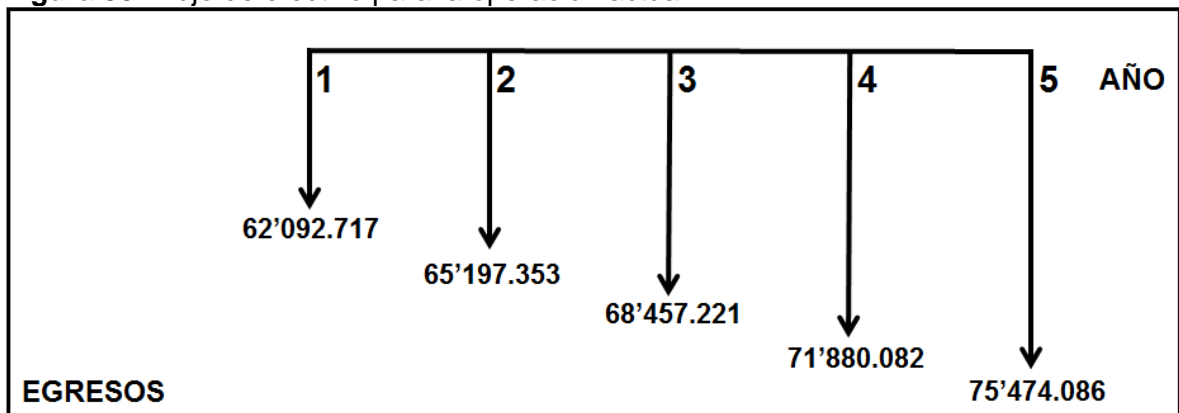
Cuando el VPN es mayor a cero indica que el proyecto es viable debido que a pesos de hoy los ahorros son mayores que los egresos, cuando es menor a cero indica que los ingresos son menores que los egresos lo cual indica que el proyecto no se debe realizar, finalmente cuando el VPN es igual a cero indica que los ingresos son iguales a los egresos y financieramente le es indiferente al inversionista.

Para calcular el Valor Presente Neto (VPN) de este proyecto se estableció una Tasa de Interés de Oportunidad (TIO) del 11% la cual es empleada en los proyectos de inversión de la compañía, como se mencionó al inicio del capítulo, se utiliza como unidad monetaria corriente pesos Colombianos y un tiempo de validez de cinco años.

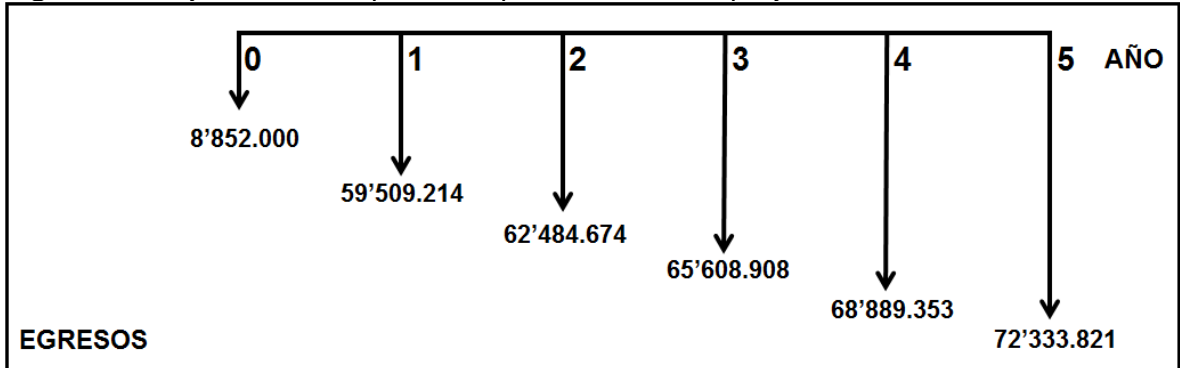
- **Flujo de Caja.** Es la representación gráfica de los ingresos y egresos en una línea horizontal correspondiente a un período de tiempo determinado, donde se ubican los ingresos en la parte superior de la línea y los egresos en la parte inferior de la línea. Par este proyecto el flujo de caja representa los ahorros en los 5 periodos de tiempo al ser implementado el proyecto.

**5.4.1.1 Valor Presente Neto para la implementación del equipo reactor para una línea de producción independiente de detergente.** En la **Figura 30** se presentan los flujos de efectivo para los costos actuales de operación y en la **Figura 31** ilustran los costos con la implementación de este proyecto a lo largo de cinco años.

**Figura 30.** Flujo de efectivo para la operación actual.

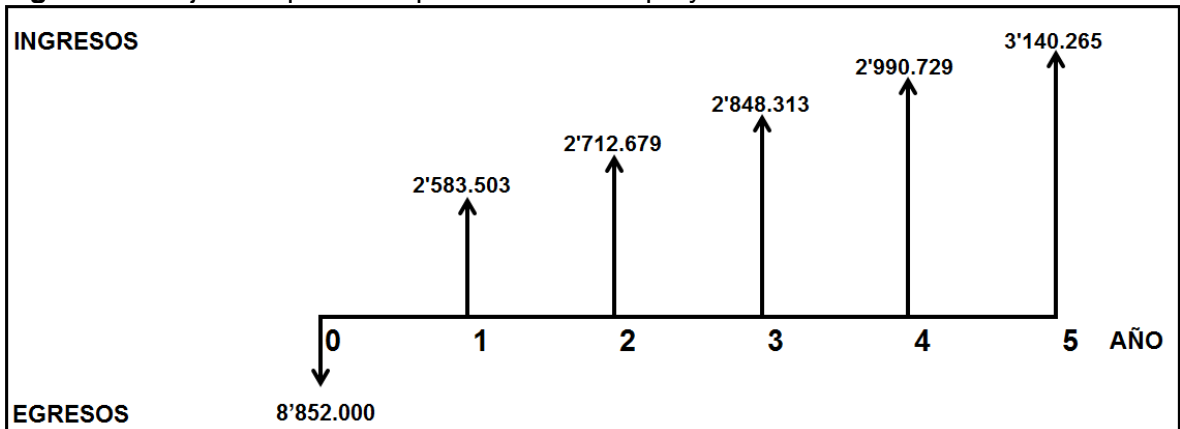


**Figura 31.** Flujo de efectivo para la implementación del proyecto.



En la **Figura 32**, se pueden observar los flujos de caja netos los cuales son obtenidos a partir de la resta de los de flujos de efectivo presentados en las **Figuras 30** y **31**; de igual manera se presenta la operación matemática desarrollada y el resultado obtenido en cada período evaluado y por último el valor presente neto para este proyecto.

**Figura 32.** Flujo neto para la implementación del proyecto.



$$\begin{aligned}
 VPN(11\%) = & -8'852.000 + (2'583.503) * (1 + 0,11)^{-1} + (2'712.679) \\
 & * (1 + 0,11)^{-2} + (2'848.313) * (1 + 0,11)^{-3} + (2'990.729) \\
 & * (1 + 0,11)^{-4} + (3'140.265) * (1 + 0,11)^{-5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 VPN(11\%) = & -8'852.000 + (2'327.480) + (2'201.671) + (2'082.662) + \\
 & (1'970.086) + (1'863.594)
 \end{aligned}$$

$$VPN(11\%) = 1'593.493 \text{ COP}$$

El valor presente neto calculado para la implementación del equipo reactor para una línea de producción independiente de detergente corresponde al valor de 1'593.493 COP.

**5.4.1.2 Conclusión de la evaluación financiera desde el punto de vista del VPN.** Desde el punto de vista financiero el proyecto para la empresa Produquim Ltda es rentable, debido a que presenta un ahorro significativo a pesos de hoy de 1'593.493 COP adicional a la Tasa de Interés de Oportunidad.

**5.4.2 Tasa Interna de Retorno (TIR).** “Es la tasa de interés, que hace que el valor actual de los flujos de ingresos sea igual al valor actual de los flujos de egresos”<sup>28</sup>.

La Tasa Interna de Retorno es calculada con la **Ecuación 54** presentada a continuación.

**Ecuación 54.** Tasa Interna de Retorno (TIR).

$$VPN(i) = \frac{\sum Rt}{(1+i)^t} = 0$$

**Fuente:** BACA, Guillermo. Ingeniería Financiera, Octava Edición. Bogotá D.C. 2007. p.197. Modificado por el autor.

Dónde:

- t Corresponde al tiempo del flujo de caja.
- i Corresponde a la Tasa de Interés de Oportunidad (TIO).
- Rt Corresponde al flujo neto de efectivo.

La TIR es utilizada como indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad; para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión la TIR se compara con la Tasa de Interés de Oportunidad (TIO). Si la TIR es mayor que la TIO se considera atractiva la inversión; en caso contrario, no cumple con las expectativas de los inversionistas.

**5.4.2.1 Tasa Interna de Retorno para la implementación del equipo reactor para una línea de producción independiente de detergente.** Con el fin de determinar la Tasa Interna de Retorno (TIR) para este proyecto es necesario calcular el Valor Presente Neto a diferentes tasas de interés hasta que este llegue al valor cero, esto quiere decir que el valor presente neto de ingresos es igual al de egresos. A continuación se presenta el cálculo del valor presente neto a las tasas de interés de oportunidad de 17 y 18%.

---

<sup>28</sup> FERNÁNDEZ, E, Saúl. Los proyectos de inversión. 2007. p. 132.

$$\begin{aligned}
 VPN (17\%) = & -8'852.000 + (2'583.503) * (1 + 0,17)^{-1} + (2'712.679) \\
 & * (1 + 0,17)^{-2} + (2'848.313) * (1 + 0,17)^{-3} + (2'990.729) \\
 & * (1 + 0,17)^{-4} + (3'140.265) * (1 + 0,17)^{-5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 VPN (17\%) = & -8'852.000 + (2'208.122) + (1'981.649) + (1'778.403) \\
 & + (1'596.003) + (1'432.310)
 \end{aligned}$$

$$VPN (17\%) = 144.486 \text{ COP}$$

$$\begin{aligned}
 VPN (18\%) = & -8'852.000 + (2'583.503) * (1 + 0,18)^{-1} + (2'712.679) \\
 & * (1 + 0,18)^{-2} + (2'848.313) * (1 + 0,18)^{-3} + (2'990.729) \\
 & * (1 + 0,18)^{-4} + (3'140.265) * (1 + 0,18)^{-5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 VPN (18\%) = & -8'852.000 + (2'189.409) + (1'948.204) + (1'733.571) \\
 & + (1'542.585) + (1'372.639)
 \end{aligned}$$

$$VPN (18\%) = -65.592 \text{ COP}$$

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que entre 17 y 18% hay un cambio de signo en el Valor Presente Neto, por lo que la Tasa Interna de Retorno (TIR) se encuentra entre estos valores. La **Tabla 29** ilustra los cálculos realizados para determinar la tasa interna de retorno para el proyecto.

**Tabla 29.** Tasa Interna de Retorno (TIR) para la implementación del equipo reactor para una línea de producción independiente de detergente.

Tasa de Interés de Oportunidad (TIO) (%)	VPN
17,000000000000000000	144.486
17,500000000000000000	38.445
17,625000000000000000	12.250
17,656250000000000000	5.720
17,671875000000000000	2.459
17,679687500000000000	828
17,683593750000000000	13
17,683654785156250000	1
17,683658599853515625	0
17,683662414550781250	-1
17,683670043945312500	-2
17,683685302734375000	-6
17,683715820312500000	-12
17,683837890625000000	-37
17,684082031250000000	-88
17,684570312500000000	-190
17,685546875000000000	-394
17,687500000000000000	-801
17,750000000000000000	-13.821
18,000000000000000000	-65.592

**TIR = 17,68% Anual**

**5.4.2.2 Conclusión de la evaluación financiera desde el punto de vista de la TIR.** Desde el punto de vista financiero de la TIR la implementación del equipo reactor para una línea de producción independiente de detergente es atractivo para la compañía ya que presenta una tasa interna de retorno de 17,68% anual sobre el valor de la inversión, superior a la TIO utilizada por la empresa de 11% anual y con un período de recuperación de la inversión igual a tres años y tres meses de acuerdo a los ahorros obtenidos anualmente e ilustrados en la **Figura 32**.

## 6. CONCLUSIONES

- Produquim Ltda., carece de procedimientos que aseguren la calidad del producto, puesto que no se analiza cada etapa del proceso como lo son recepción de la materia prima, productos intermedios y producto final, por ende, se presentan variaciones operacionales entre lotes que afectan las propiedades fisicoquímicas del detergente.
- Analizando el proceso de elaboración del detergente, se determinaron las variables físicas y químicas críticas que afectaban cada etapa del proceso pH, densidad, viscosidad, y alcalinidad con el fin de estandarizar las características del producto actuales, y proporcionar un control en el proceso al establecer especificaciones para garantizar la calidad del producto.
- El reactor más adecuado para el proceso de fabricación del detergente líquido Autopolish es un reactor semicontinuo adiabático, el cual permite mayor facilidad de descarga, no requiere equipos adicionales, sin activación prematura del agente de viscosidad celloside y con un aumento de temperatura de 32,32°C favoreciendo la velocidad de la reacción de neutralización. Obteniendo una alta conversión del 99,66% de los reactivos en menos tiempo de reacción al actual. Y una concentración del ingrediente activo de 0,2616 M de NaLAS en el detergente, obteniendo un producto más efectivo y un proceso de producción más eficaz con respecto a los procesos de fabricación vigentes.
- La actual distribución del área de producción no permite una instalación del reactor propuesto debido a poco aprovechamiento de espacios y equipos disponibles y condiciones de seguridad adecuadas para el personal y los productos fabricados.
- La propuesta de una nueva distribución del área de producción permite la adecuación del reactor propuesto para la fabricación del detergente líquido, así como brindar mayor seguridad en el almacenamiento de producto terminado como de materias primas, rutas de transporte y mayor cercanía entre las áreas involucradas en el proceso obteniendo disminución en tiempos de traslado, reducción del riesgo de contaminación cruzada y el uso de equipos almacenados con una utilidad favorable para la fabricación de productos en la compañía.
- La implementación del reactor con el fin de crear una línea de producción independiente para la fabricación del detergente líquido Autopolish. permite una reducción de costos de operación de 1'593.493 COP. En un periodo de 5 años. Además de la recuperación total de la inversión del proyecto. Presentando una tasa interna de recuperación anual favorable del 17,68% sobre el valor de la

inversión, recuperándose completamente en un periodo de 3 años y 3 meses de los ahorros obtenidos anualmente por su aplicación.

## 7. RECOMENDACIONES

- Realizar análisis de calidad a las materias primas para facilitar la obtención de un producto estándar y de alta calidad.
- Se sugiere a la empresa, adquirir un equipo de envasado y etiquetado automático para controlar el nivel del mismo y evitar desniveles en el producto final.
- Para facilitar el control del proceso de producción del detergente líquido, se le recomienda a la empresa, implementar un sistema de control de nivel y temperatura en los equipos actuales. Que permitan reducir tiempos de llenado y descarga de los tanques.
- Realizar la validación cinética a escala laboratorio de las simulaciones propuestas, con el fin de comprobar las postulaciones presentadas para la obtención del ingrediente activo del detergente Autopolish.
- Implementar implementos de protección personal (EPP) para sus trabajadores, para el manejo de sustancias químicas corrosivas como el HLAS, así como mayores extractores en el área de fabricación que brinden mayor ventilación en esta zona así como la implementación de sistemas de control y sus condiciones de operación del reactor.



## BIBLIOGRAFÍA

ALEJANDRO. Elaboración artesanal de detergente .Emagister: guía inteligente de formación. Elaboración práctica y técnica de cosméticos, productos de limpieza y afines. Disponible en [En línea: <[http://www.emagister.com/uploads\\_courses/Comunidad\\_Emagister\\_62923\\_62923.pdf](http://www.emagister.com/uploads_courses/Comunidad_Emagister_62923_62923.pdf)].

AMETEK BROOKFIELD, VISCOSIMETERS. Spindles and Accesories Manual,2016.

BACA, Guillermo. Ingeniería económica. Bogotá: Fondo educativo panamericano, 2005, 398 p.

CONTRERAS, D. Ingeniería conceptual y básica de una planta piloto de manufactura de detergente. Trabajo de grado. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas,2008.

CORBELLA, Luis. Estudio Del Comportamiento De Reactores Discontinuos Y Semicontinuos: Modelización Y Comprobación Experimental; Universidad politécnica de Cataluña, 1999.

GRUYTER, Walter; Los modelos lineales y no lineales: efectos fijos, efectos aleatorios, y los modelos mixtos. McGraw Hill Professional. 2003.

FOGLER Scott H, Elementos de la ingeniería de las reacciones químicas. Prentice Hall, Universidad de Michigan, USA. Cuarta edición. 2006.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y DE CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: El instituto, 2008. 110 p.

- - - - - . Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 4490. Bogotá: El Instituto, 1998, 12 p.

- - - - - . Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 5613. Bogotá: El Instituto, 1998. 8 p.

JUNGERMAN, E., Cationic Surfactants, Marcel Dekker, Inc., New York, 1970.

MAREK Schöngut; ZDENEK Grof, & FRANTIIEK Stepanek. Kinetics of Dry Neutralization of Dodecyl-Benzenesulfonic Acid with Respect to Detergent Granulation, Department of Chemical Engineering, Institute of Chemical Technology, Prague, Technick\_a 5, 166 28 Prague 6, Czech Republic.

MASSOL, Arturo, Manual De Ecología Microbiana, Departamento de Biología, Universidad de Mayagüez.1998.

MCCABE, Warren L. "Operaciones Unitarias en ingeniería química". Mc Graw Hill. USA. Séptima edición.2007

MOSCHIANO, H & DABNEY, W. Thermal and electrical characterization of PAA and HEC, Greatbatch Medical,New York,2010

MOTT, Robert L. Mecánica de Fluidos, Pearson educación. México. Quinta Edición.2006.

SCHICK, M. 1., Nonionic Surfactants, Vol. I, Marcel Dekker, Inc., New York, 1987.

TREYBAL, Robert E. Operaciones de transferencia de masa. McGraw-Hill. México.1994. 172 p.

VICENT, María & ÁLVAREZ, Silva. Química orgánica. Valencia; Universidad politécnica de Valencia Editores, 2006.


ZAMBRANO, Franco Joel Alonso. Ingeniería básica de una planta comercial de detergente líquido. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas. 2010.

## **ANEXOS**

## ANEXO A

### ORDEN DE PRODUCCIÓN DETERGENTE LÍQUIDO AUTOPOLISH

**Cuadro 1.** Orden de producción detergente líquido autopolish.

	<b>PRODUQUIM LTDA.</b>			CÓDIGO	P-PK-01
	<b>ORDEN DE PRODUCCIÓN, ENVASADO Y CONTROL DE CALIDAD</b>			VERSIÓN	3
				APROBACIÓN	DICIEMBRE 2011
				TIPO DOCUMENTO	FORMATO
				PAGINA	1 DE 1
			NUMERO		

FECHA DE FABRICACIÓN		CÓDIGO DEL PRODUCTO		CANTIDAD A PRODUCIR		Litros
FECHA DE VENCIMIENTO		LOTE N°		PRODUCTO		

MATERIAS PRIMAS REQUERIDAS							
N°	CÓDIGO	LOTE	NOMBRE	OK	CANTIDAD	TOLERANCIA	UNIDADES
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							

N°	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO POR ETAPAS	DESPEJE DE LÍNEA	SI	NO
		¿El Área de Producción está limpia?		
		¿Todos los Tanques están identificados?		
		¿En el Área Hay elementos ajenos al proceso?		
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS A ANALIZAR</b>				
		¿Se tomó muestra de Retención?		
		<b>PARÁMETRO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>UNIDADES</b>
		Densidad		<b>RANGO</b>
		Viscosidad		
		pH		
		Color		
		Olor		
		Aspecto		

FECHA DE ENVASADO	ENVASAR PREVIA AUTORIZACIÓN ASI	PRESENTACIÓN	810 ml	1/2 Galon	Galón	Garrufa 20L
		CANTIDAD				

OBSERVACIONES GENERALES:

ELABORÓ O. PRODUCCIÓN	REVISÓ Y AUTORIZÓ	REALIZÓ PRODUCCIÓN	CONTROL DE CALIDAD	ENVASÓ

## ANEXO B

### CUADRO DE SELECCIÓN DE LA AGUJA VISCOSIMETRO BROOKFIELD DV PARA ANÁLISIS DE FLUIDOS DE BAJA DE VISCOSIDAD

**Cuadro 1.** Selección de la aguja viscosimetro Brookfield.

LV Spindles cP (mPa·s)	
MODEL	RANGE*
LV-1 (61)	15-20K
LV-2 (62)	50-100K
LV-3 (63)	200-400K
LV-4 (64)	1K-2M
LV-5 (65)	2K-4M LV-5 is an optional spindle designed to increase measuring range.
LV-2C	50-100K
LV-3C	200-400K
<p>*Based on standard LV speeds .3-60 rpm.  M=1million K=1 thousand  Note: LV-1 through LV-4 are supplied with LV instruments  LV-2C &amp; LV-3C are optional "cylindrical spindles" offering geometry for calculating shear rates.  LV and RV/HA/HB spindles are supplied in 302 stainless steel.  Optional 316 stainless or Teflon coated spindles are available.</p>	




## ANEXO C

### FICHAS TÉCNICAS DE LOS REACTIVOS PARA LA FABRICACIÓN DE DETERGENTE AUTOPOLISH

Figura 1. Ficha técnica ácido sulfónico.

	<b>FICHA TECNICA ACIDO SULFONICO LINEAL</b>	CI – 260 / 012
		Versión 001
		Página 1 de 3
		Fecha de Emisión: 15-05-13
<b>AK CHEMTECH CO., LTD</b>		
<b>Descripción</b>		
ASCO 96 es un líquido viscoso de alquil benceno lineal sulfonado con una cadena de alquilo en el intervalo de C10 a C13. Corrosivo y de olor penetrante.		
<b>Áreas de aplicación</b>		
El ácido sulfónico lineal puede ser neutralizado para formar diferentes sales y los sulfonatos generales pueden ser usados en la fabricación de detergentes líquidos y en polvo y emulsiones agrícolas entre otros.		
<b>Beneficios</b>		
- Extracción de la mugre (tenso-activo)		
<b>Dosis</b>		
Según el producto a elaborar y su formulación.		

**Figura 1. (Continuación).**

<b>Composición</b>							
Sustancias nombre formal:	Concentrado acuoso de ácido sulfónico alquilbenceno lineal.						
Sustancia familia química:	Ácido dodecil-bencenosulfónico						
Nombre común:	LAS (Ácido sulfónico lineal)						
<b>Especificaciones físico-químicas</b>							
Aspecto:	Líquido viscoso de color ámbar						
96.0% min.	Materia activa:						
Materia orgánica no sulfonada (PPE)	2.0 % máx.						
Ácido sulfúrico libre:	1.5 % máx.						
Color (Klett, 5% Solución.)	40.0 máx.						
Índice de acidez:	180.0 a 190.0						
<table border="1"> <tr> <td rowspan="4">  <p>Insumos y tecnología para la Industria alimentaria</p> </td> <td rowspan="4"> <p>FICHA TECNICA ACIDO SULFONICO LINEAL</p> </td> <td>CI – 260 / 012</td> </tr> <tr> <td>Versión 001</td> </tr> <tr> <td>Página 1 de 3</td> </tr> <tr> <td>Fecha de Emisión: 15-05-13</td> </tr> </table>		 <p>Insumos y tecnología para la Industria alimentaria</p>	<p>FICHA TECNICA ACIDO SULFONICO LINEAL</p>	CI – 260 / 012	Versión 001	Página 1 de 3	Fecha de Emisión: 15-05-13
 <p>Insumos y tecnología para la Industria alimentaria</p>	<p>FICHA TECNICA ACIDO SULFONICO LINEAL</p>			CI – 260 / 012			
				Versión 001			
				Página 1 de 3			
		Fecha de Emisión: 15-05-13					
Contenido de agua	Equilibrado						
Detergente alcano, gama principal de carbono	C12, C13						
Distribución principal número de carbonos							
C10	15.0 % máx.						

**Figura 1. (Continuación).**


C11	30.0 a 50.0
C12	30.0 a 50.0
C13	30.0 % máx.
<b>Especificaciones microbiológicas</b>	
No aplica	
<b>Especificaciones de metales pesados</b>	
Disponible según requerimiento.	
<b>Datos nutricionales</b>	
No aplica.	
<b>Almacenamiento</b>	

**Figura 1. Continuación.**


<b>Certificación Kosher</b>
No aplica.
<b>GMO</b>
No aplica.
<b>Alérgenos</b>
No aplica.



**Figura 1. (Continuación).**

Separar de álcalis y sustancias formadoras de álcalis.		
Otras especificaciones sobre condiciones almacenamiento: Mantener el recipiente bien cerrado, en lugar fresco y ventilado. Estabilidad durante el almacenamiento:		
Temperatura de almacén: < 30 °C		
Periodo de almacenamiento: <= 36 Meses		
<b>Embalaje</b>		
Tambor por 125 kg		
	FICHA TECNICA	CI – 260 / 012
	ACIDO SULFONICO	Versión 001
	LINEAL	Página 1 de 3
		Fecha de Emisión: 15-05-13
<b>Pureza y legislación</b>		
Se rige de acuerdo a la legislación vigente.		
Deben siempre consultarse las regulaciones locales en materia de alimentación referentes a la situación de este producto, ya que la legislación sobre su uso puede variar de un país a otro. Podemos facilitar mas información sobre el estado legal de ese producto a petición.		
<b>Seguridad y manipulación</b>		
La hoja de seguridad del material está disponible según se requiera.		
<b>País de origen</b>		
Korea.		

**Figura 2.** Ficha técnica carbonato de sodio ligero.



**CONTROL DE CALIDAD**

**CIMPA S.A.S.**  
**REVISADO**  
GESTION DE CALIDAD

CIMPA S.A.S, declara que los resultados reportados en el presente certificado, son tomados de la información suministrada por nuestro Proveedor, por lo tanto se fundamenta en sus técnicas de análisis autorizados. Dicha información no exime a Nuestros Clientes de realizar sus propios análisis.

**PEACOCK INDUSTRY**  
**A DIVISION OF PEACOCK TRADING**

**Ficha Técnica Carbonato de Sodio Ligero**

Generalidades del Carbonato De Sodio Ligero

Descripción del Carbonato De Sodio Ligero:  
Polvo cristalino blanco o granulos, inodoro.  
Se encuentra presente naturalmente como el mineral nacolita; del cual puede ser extraído con procesos de solubilización y cristalización para aumentar la pureza.

## Figura 2. (Continuación).


**Usos del Carbonato De Sodio Ligero:**  
Sus aplicaciones principales se encuentran en polvos para hornear y en la elaboración de productos medicinales y de limpieza, otros usos incluyen, elaboración de sales y bebidas efervescentes, aguas minerales artificiales, curtiduría, tratamiento de lana y seda, cerámica, conservador de alimentos, eliminador de olores, productos para limpiar metales, en tratamiento de aguas. En grado especial para extinguidores contra incendio.


**Propiedades del Carbonato De Sodio Ligero:**  
Es completamente soluble en agua pero poco soluble en etanol; es el más suave de los álcalis de sodio. Se descompone lentamente en agua y en aire húmedo.


**Obtención del Carbonato De Sodio Ligero:**  
Puede ser preparado a partir de carbonato de sodio puro o hidróxido de sodio, burbujeando dióxido de carbono en la solución, también se puede obtener como producto intermedio de la reacción Solvay.


**Identificadores Químicos del Carbonato De Sodio Ligero**

**NFPA 704 del Carbonato De Sodio Ligero:**

 **Inflamabilidad 0.** Materiales que no se queman.

 **Salud 0.** Materiales bajo cuya exposición en condiciones de incendio no existe otro peligro que el del material combustible ordinario.

 **Inestabilidad / Reactividad 1.** Materiales que por sí son normalmente estables, pero que pueden llegar a ser inestables sometidos a presiones y temperaturas elevadas o que pueden reaccionar al contacto con el agua, con alguna liberación de energía, aunque no en forma violenta.

 **Inestabilidad / Reactividad.** Materiales que por sí son normalmente estables, pero que pueden llegar a ser inestables sometidos a presiones y temperaturas elevadas o que pueden reaccionar al contacto con el agua, con alguna liberación de energía, aunque no en forma violenta.

**Número CAS Número registrado CAS del Carbonato De Sodio Ligero:**  
144-55-8

## Figura 2. (Continuación).

**Nomenclatura IUPAC Unión Internacional de Química Pura y Aplicada del Carbonato De Sodio Ligero:**  
Carbonato ácido de sodio.


**Sinonimias del Carbonato De Sodio Ligero**

**Sinonimias del Carbonato De Sodio Ligero:**  
Bicarbonato de sodio,  
Carbonato ácido de sodio,  
Hidrogeno carbonato de sodio.

+1 (305) 204 1275 / +1 (305) 204 1867  
55 Merrick Way Suite 218. Miami, FL 33134

[www.peacocktrade.com](http://www.peacocktrade.com)

Figura 2. (Continuación).



PEACOCK TRADING

**PEACOCK INDUSTRY**  
**A DIVISION OF PEACOCK TRADING**

**Compuestos relacionados del Carbonato De Sodio Ligero**

Compuestos relacionados del Carbonato De Sodio Ligero:  
Sulfato de sodio,  
Fosfato de sodio.

**Peligrosidad del Carbonato De Sodio Ligero**

Número RTECS Registro de Efectos Tóxicos de Sustancias Químicas del Carbonato De Sodio Ligero:  
VZ0950000

**Ingestión del Carbonato De Sodio Ligero:**  
En grandes dosis o exposición prolongada puede causar: distensión estomacal, alcalosis, edema y aumento del volumen extracelular, así como también daño renal.

**Inhalación del Carbonato De Sodio Ligero:**  
Puede causar irritación.

**Piel del Carbonato De Sodio Ligero:**  
Síntomas en caso de contacto con piel: irritación y enrojecimiento.

**Ojos del Carbonato De Sodio Ligero:**  
Puede causar irritación.

**Recomendaciones del Carbonato De Sodio Ligero**


**Primeros Auxilios del Carbonato De Sodio Ligero:**

- 1) Inhalación: respirar aire fresco, reposo y atención médica si los síntomas empeoran.
- 2) Ingestión: No provocar vómito y si la persona esta consciente dar a beber agua, llamar a un médico de manera inmediata.
- 3) Contacto con piel: quitar la ropa contaminada y lavar con abundante agua, pedir asistencia médica si los síntomas empeoran.
- 4) Contacto con los ojos: lave con cuidado (de tener lentes de contacto, quitarlos), no poner ninguna sustancia sin indicación del médico, pedir asistencia médica aún en ausencia de síntomas.

**Figura 2. (Continuación).**

<p><b>Primeros Auxilios del Carbonato De Sodio Ligero</b></p> <p>En caso de fuego del Carbonato De Sodio Ligero: Polvo químico, dióxido de carbono o extinguidor de halon.</p> <p><b>En caso de fuego del Carbonato De Sodio Ligero</b></p> <p>Ropa Protectora del Carbonato De Sodio Ligero: Utilice lentes de seguridad, guantes, protección respiratoria o extracción localizada y bata.</p> <p><b>Propiedades físicas del Carbonato De Sodio Ligero</b></p> <p>Fórmula semidesarrollada del Carbonato De Sodio Ligero: <math>\text{NaHCO}_3</math></p> <p>Punto de inflamabilidad El punto de inflamabilidad de una sustancia generalmente de un combustible es la temperatura más baja en la que puede formarse una mezcla inflamable en contacto con el aire. del Carbonato De Sodio Ligero: No flamable.</p> <p>Densidad del Carbonato De Sodio Ligero: 2.159 g/cm<sup>3</sup> (sólido)</p> <p>Masa molecular UMA Unidad de Masa Atómica, Dalton del Carbonato De Sodio Ligero: 84,0 g/mol</p>
<p>+1 (305) 204 1275 / +1 (305) 204 1867 55 Merrick Way Suite 218. Miami, FL 33134</p> <p><a href="http://www.peacocktrade.com">www.peacocktrade.com</a></p>

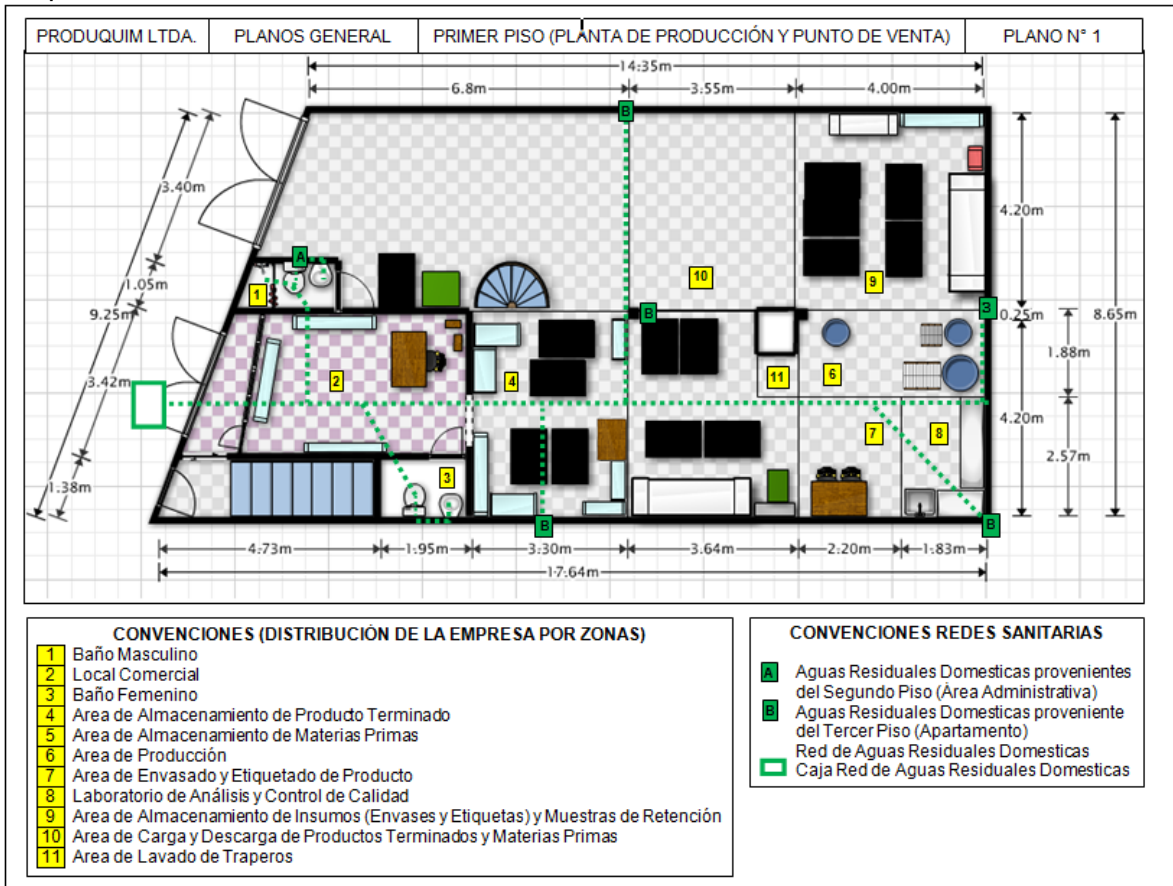
**Figura 2. (Continuación).**

 <p><b>PEACOCK TRADING</b></p>	<p><b><u>PEACOCK INDUSTRY</u></b> <b><u>A DIVISION OF PEACOCK TRADING</u></b></p>
<p>Punto de fusión Temperatura del momento en el cual una sustancia pasa del estado sólido al estado líquido. del Carbonato De Sodio Ligero: Se descompone cerca de los 50 °C</p> <p>Apariencia del Carbonato De Sodio Ligero: Sólido blanco cristalino.</p> <p>Estado de agregación Sólido, líquido, gaseoso, plasma. del Carbonato De Sodio Ligero: Líquido</p> <p><b>Propiedades químicas del Carbonato De Sodio Ligero</b></p> <p>Solubilidad en agua Medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en agua. del Carbonato De Sodio Ligero: 1 en 10 % a 77 °F</p>	

## ANEXO D

### PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y LA ZONA ADMINISTRATIVA ACTUAL DE LA EMPRESA

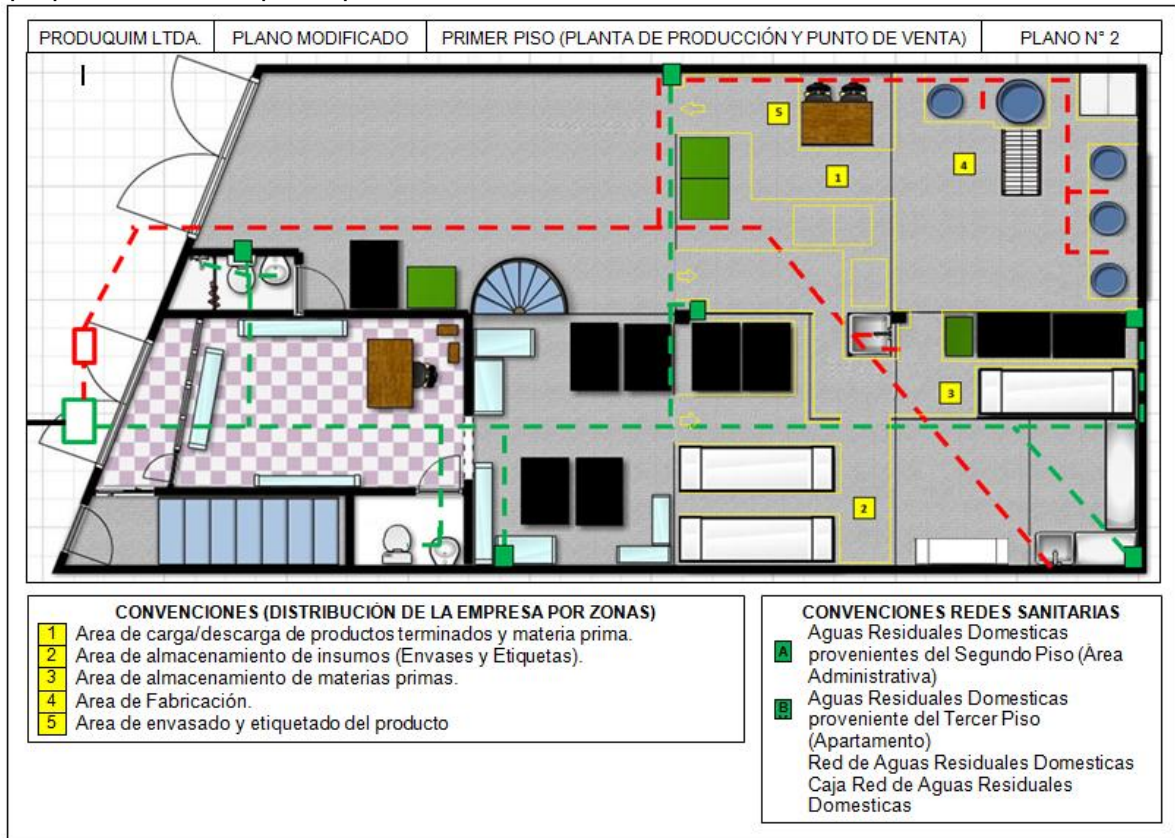
**Figura 1.** Plano de distribución de la planta de producción y la zona administrativa de la empresa.




## ANEXO E

### PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y LA ZONA ADMINISTRATIVA PROPUESTO DE LA EMPRESA PARA LA ADECUACIÓN DEL REACTOR

**Figura 1.** Plano de distribución de la planta de producción y la zona administrativa propuesto de la empresa para la adecuación del reactor.



 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

## AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES


Yo **Juan Sebastián Bonilla Martínez** en calidad de titular de la obra **Dimensionamiento de un reactor para la producción del detergente líquido Autopolish a nivel industrial en la empresa Produquim Ltda**, elaborada en el año **2015**, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).




Al respecto como Autor manifiesto conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:



	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	<b>Atribución- no comercial- sin derivar:</b> permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	<b>Atribución – no comercial:</b> permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	<b>Atribución – no comercial – compartir igual:</b> permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: [http://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://co.creativecommons.org/?page_id=13)

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 8 días del mes de Febrero del año 2017.

EL AUTOR:

Autor 1

<b>Nombre</b>	<b>Apellido</b>
Juan Sebastián	Bonilla Martínez
<b>Documento de identificación No</b>	<b>Firma</b>
1073166567	