

**ESTUDIO DE LA SOLIDEZ DEL COLOR BAJO EFECTOS TÉRMICOS Y  
RADIACIÓN UV EN LOS DETERGENTES LÍQUIDOS DERSA**

Juan Camilo Becerra Abril

Proyecto de Grado

**Directora:** Luisa Fernanda Carvajal Diaz

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Bogotá D.C

2024

<b>1</b>	<b>Tabla de Contenido</b>	
<b>2</b>	<b>Resumen Ejecutivo .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>6</b>
<b>4.1</b>	<b>Objetivo General:.....</b>	<b>6</b>
<b>4.2</b>	<b>Objetivos Específicos: .....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Definición del Problema.....</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>Justificación.....</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>Análisis de Requerimientos .....</b>	<b>7</b>
<b>8</b>	<b>Marco de Referencia .....</b>	<b>9</b>
<b>9</b>	<b>Marco Teórico.....</b>	<b>9</b>
<b>9.1</b>	<b>Detergente Líquido: .....</b>	<b>9</b>
<b>9.1.1</b>	<b>Base: .....</b>	<b>9</b>
<b>9.1.2</b>	<b>Predilución: .....</b>	<b>9</b>
<b>9.1.3</b>	<b>Post-Adiciones: .....</b>	<b>10</b>
<b>9.2</b>	<b>Materias Primas: .....</b>	<b>10</b>
<b>9.2.1</b>	<b>Regulador de pH:.....</b>	<b>10</b>
<b>9.2.2</b>	<b>Enzimas:.....</b>	<b>10</b>
<b>9.2.3</b>	<b>Biocidas:.....</b>	<b>10</b>
<b>9.2.4</b>	<b>Preservantes: .....</b>	<b>10</b>
<b>9.2.5</b>	<b>Secuestrantes: .....</b>	<b>10</b>
<b>9.2.6</b>	<b>Intensificadores de Limpieza: .....</b>	<b>10</b>
<b>9.2.7</b>	<b>Compuesto Crítico:.....</b>	<b>10</b>
<b>9.3</b>	<b>Color:.....</b>	<b>11</b>
<b>9.3.1</b>	<b>Colorantes:.....</b>	<b>11</b>
<b>9.3.2</b>	<b>Pigmentos: .....</b>	<b>11</b>
<b>9.3.3</b>	<b>Dispersión Pigmentaria: .....</b>	<b>11</b>
<b>9.3.4</b>	<b>Matiz: .....</b>	<b>11</b>
<b>9.3.5</b>	<b>Luminosidad: .....</b>	<b>11</b>
<b>9.3.6</b>	<b>Saturación:.....</b>	<b>11</b>
<b>9.3.7</b>	<b>Reflectancia: .....</b>	<b>12</b>
<b>9.4</b>	<b>Espectrofotómetro:.....</b>	<b>12</b>
<b>9.4.1</b>	<b>Espectroscopia ULTRAVIOLETA-VISIBLE: .....</b>	<b>12</b>

9.4.2	Absorbancia: .....	12
9.5	Espacio de color CIELAB: .....	12
9.5.1	$\Delta L$ : .....	12
9.5.2	$\Delta a$ : .....	12
9.5.3	$\Delta b$ : .....	12
9.5.4	$\Delta E$ : .....	12
9.5.5	Tolerancia de Color: .....	13
9.6	Tensoactivos:.....	13
9.6.1	Aniónicos: .....	13
9.6.2	Catiónicos: .....	14
9.6.3	No Iónicos: .....	14
9.6.4	Anfóteros: .....	14
9.6.5	Concentración Micelar Crítica (CMC):.....	14
9.6.6	Micela:.....	15
9.7	Parámetros de Medición:.....	15
9.7.1	pH:.....	15
9.7.2	Viscosidad:.....	15
9.7.3	Activo: .....	15
9.7.4	Fragancia: .....	15
9.7.5	Propiedades Organolépticas: .....	15
9.8	Estabilidad: .....	15
9.8.1	Tipos de Estabilidad: .....	16
9.8.2	Condiciones de Estabilidad:.....	16
9.8.3	SUNTEST: .....	16
9.9	Degradación Química: .....	16
9.10	Fotodegradación:.....	16
9.10.1	Ligando .....	16
9.11	Prueba de Desempeño:.....	16
10	Análisis de Restricciones .....	17
10.1	Político:.....	17
10.2	Económico:.....	17
10.3	Social: .....	17

10.4	Tecnológico: .....	18
10.5	Ecológico: .....	18
10.6	Legal: .....	18
11	Metodología para la Selección y Desarrollo de la Solución.....	19
11.1	Planeación Diseño Experimental: .....	19
11.2	Evaluación en SUNTEST: .....	20
11.3	Evaluación en Horno: .....	20
11.4	Pruebas de Desempeño: .....	20
11.5	Estabilidades:.....	20
11.6	Análisis de Compuestos Críticos:.....	21
11.7	Ajustes en la Formulación:.....	21
11.8	Validación del Ajuste: .....	21
12	Resultados y Análisis de Resultados Parciales. ....	21
12.1	Planeación del Diseño Experimental, Primera Matriz: .....	22
12.2	Evaluación en SUNTEST, Primera Evaluación: .....	25
12.3	Evaluación en Horno, Primera Evaluación: .....	26
12.4	Pruebas de Desempeño, Primer Prueba.....	28
12.5	Análisis de Compuestos Críticos, Segundo Diseño Experimental: .....	30
12.6	Análisis de Compuestos Críticos, Segunda Evaluación SUNTEST: .....	31
12.7	Análisis de Compuestos Críticos, Segunda Prueba de Desempeño: .....	34
12.8	Análisis de Compuestos Críticos, Análisis Espectro UV-VIS: .....	35
12.9	Ajustes en la Formulación: .....	38
12.9.1	Posibles Antioxidantes:.....	38
12.9.2	Posibles Protectores UV: .....	39
12.10	Validación del Ajuste: .....	40
13	Costos. ....	42
14	Conclusiones .....	43
15	Referencias.....	44

## **2 Resumen Ejecutivo**

El presente proyecto tiene como objetivo estabilizar el color de los detergentes líquidos DERSA, los cuales presentan un cambio de tonalidad significativo durante el almacenamiento, especialmente bajo condiciones térmicas controladas y exposición a radiación UV. Este cambio, de un azul oscuro a un tono más claro, afecta negativamente la percepción del consumidor, al asociarlo con una pérdida de frescura o calidad. Asimismo, se ha detectado un cambio progresivo del pH con el tiempo, lo que sugiere la degradación de algún componente esencial en la formulación vinculado a la estabilidad cromática.

El estudio evalúa la solidez del color bajo una temperatura específica y la influencia de la radiación UV, analizando la relación entre el cambio de pH y la degradación del color. A través de este análisis, se identifican los compuestos responsables de dicha degradación y se proponen modificaciones en la formulación para optimizar la estabilidad del color.

## **3 Introducción**

Detergentes Ltda. También conocido DERSA en una multinacional colombiana especializada en la producción y distribución de productos de aseo y limpieza como lo son los jabones de tocador, barras de detergentes, limpiadores multiusos, suavizantes, detergentes en polvo y detergentes líquidos. Es reconocido a nivel nacional e internacional, puesto que, los productos DERSA son vendidos en diversos países como lo son Ecuador, Perú, Chile, Venezuela, Guatemala y Estados Unidos. Su producto insignia es el Jabón Rey, ampliamente reconocido en todo el país, siendo el jabón #1 por parte de los colombianos. La apariencia de estos productos, en particular su color y fragancia, en conjunto con su efectividad, son esenciales para el consumidor, quienes usualmente asocian estas características organolépticas a su desempeño, por lo tanto, si un detergente líquido cuenta con una apariencia distinta a los ofrecido inicialmente, podría asumir una percepción de calidad negativa hacia el producto.

En los últimos años, DERSA ha enfrentado una problemática recurrente alrededor de la estabilidad de color de sus detergentes líquidos. Bajo ciertas condiciones de almacenamiento, específicamente la exposición de altas temperaturas y grandes cantidades de radiación UV, los detergentes líquidos sufren de un cambio muy notorio en la tonalidad de su color.

El presente proyecto busca identificar las causas de la degradación en el color de los detergentes líquidos DERSA, a su vez que se propone alternativas de solución, las cuales

garanticen la estabilidad cromática del producto, durante su vida útil, bajo condiciones térmicas y de radiación UV.

## **4 Objetivos**

### **4.1 Objetivo General:**

- Proponer ajustes en la formulación de los detergentes líquidos para mejorar la solidez del color.

### **4.2 Objetivos Específicos:**

- Evaluar el efecto de la temperatura y la radiación UV en la estabilidad del color en los detergentes líquidos.
- Identificar los compuestos presentes en la formulación de los detergentes líquidos que afectan la estabilidad del color.
- Validar los ajustes propuestos.

## **5 Definición del Problema**

DERSA enfrenta un desafío crítico relacionado con la inestabilidad cromática de sus detergentes líquidos, los cuales experimentan “un cambio significativo de color durante el almacenamiento” (Detergentes Ltda. [DERSA], 2022), especialmente bajo ciertas condiciones de temperatura y exposición a radiación UV. Este problema se agrava por la degradación de ciertos compuestos en la formulación, lo que se refleja en un cambio del pH y una transición del color original, de un azul oscuro a un tono mucho más claro. “Este cambio no solo afecta la apariencia del producto, sino que también influye negativamente en la percepción del consumidor, quien puede asociar este fenómeno con una pérdida de frescura o calidad del detergente” (Detergentes Ltda. [DERSA], 2021).

La pérdida de estabilidad del color no solo implica un riesgo para la imagen de la marca, sino que también podría desencadenar un rechazo por parte de los consumidores, quienes podrían percibir el producto como defectuoso o ineficaz. A su vez, debido a que DERSA exporta producto a diferentes países y este cuenta con una vida útil de aproximadamente 1 año –debido a las problemáticas con el color-, el almacenamiento del mismo durante el proceso de migración consume la gran mayoría del tiempo en el cual se puede usar el detergente, disminuyendo así la probabilidad de venta y ocasionando grandes cantidades de producto no conforme.

## 6 Justificación

Este proyecto es esencial para DERSA debido a la creciente competencia en el mercado de productos de limpieza, donde la calidad percibida por el consumidor es crucial para la fidelización y el éxito comercial. La percepción negativa causada por el cambio de color puede traducirse en una disminución de la confianza en la marca, afectando directamente las ventas y la reputación de DERSA. Además, la estabilidad del color tiene implicaciones más allá de la satisfacción del consumidor. Desde una perspectiva operativa, un producto que mantiene su apariencia y extiende su vida útil, reduce los costos asociados con devoluciones, quejas y ajustes de inventario. Esto optimiza los recursos y mejora la eficiencia en la cadena de suministro, permitiendo a DERSA mantener su posición competitiva en el mercado (Sandoval & Gómez, 2016). Externamente, el éxito de este proyecto podría posicionar a DERSA como un líder en innovación dentro de la industria, estableciendo nuevos estándares de calidad en la formulación de detergentes líquidos.

## 7 Análisis de Requerimientos

El éxito del proyecto planteado depende en gran medida de la correcta identificación y cumplimiento de los requerimientos técnicos y funcionales desde las primeras fases de desarrollo. En este sentido, el análisis de requerimientos asegura que se definan con claridad los objetivos del mismo, los parámetros de desempeño a evaluar y las características clave del producto.

A continuación, dentro de la tabla 1, se presenta el análisis de requerimientos planteado para el proyecto:

**Tabla 1.** Análisis de Requerimientos.

<b>Análisis de Requerimientos</b>	
<b>¿Qué?</b>	<b>¿Para Qué?</b>
<b><i>Intención de Producto</i></b>	
<b>Estabilidad Visual</b>	El color debe permanecer estable durante la vida útil del producto, teniendo en cuenta las condiciones de almacenamiento y uso.
<b>Compatibilidad entre Materias Primas</b>	No debe alterarse el desempeño del detergente en términos de limpieza, espuma, fragancia y textura.
<b><i>Verificación de Parámetros de Diseño</i></b>	

<b>Estabilidad del Color bajo Condiciones Térmicas y UV</b>	Mediante pruebas de estabilidad acelerada en SUNTEST, se verificará cómo la formulación responde a las condiciones establecidas.
<b>pH</b>	Identificar los posibles ingredientes en descomposición que intervienen en la estabilidad del color de los detergentes líquidos.
<b>Evaluación de la Base en la Degradación del Color</b>	Se debe evaluar el tensoactivo y la base utilizada para garantizar que no interfieran en la estabilidad del color.
<b>Uso del Espectrofotómetro y Análisis de Reflectancia</b>	Los equipos mencionados permitirán medir con precisión las variaciones de colores en el espacio CIELAB para asegurar que estén dentro de los parámetros establecidos por DERSA.
<b><i>Características de Diseño/Especificaciones de Producto</i></b>	
<b>Durabilidad del Color</b>	El producto debe mantener su color durante un mínimo de 12 meses, bajo condiciones de almacenamiento y uso estándar.
<b>Resistencia y Estabilidad a la Degradación Térmica y UV</b>	Los detergentes deben demostrar resistencia a los cambios de color bajo exposición prolongada al calor y a la radiación ultravioleta.
<b>Ajustes a la Formulación</b>	Se estimará el porcentaje óptimo/nuevo uso de colorantes y estabilizadores (surfactantes, tensoactivos, bases, etc.) necesarios para lograr el equilibrio entre estabilidad de color, pH y desempeño general del producto.
<b>% Activo</b>	Se evaluará el desempeño del producto con respecto a los ajustes realizados.
<b>Costos y Materias Primas</b>	La nueva formulación deberá ajustarse a las restricciones de costo y disponibilidad de los insumos, sin afectar la calidad final del producto.

## **8 Marco de Referencia**

De acuerdo con Stephen Missler, el cual llevó cabo una investigación sobre la inestabilidad del color en detergentes líquidos, se considera el hecho de que los surfactantes aniónicos son incompatibles a lo largo del tiempo con la mayoría de colorantes poliméricos.

El estudio se centró en identificar los factores que contribuyen a la degradación del color, señalando la influencia de las condiciones ambientales, como la exposición a la luz UV y las variaciones de temperatura, como elementos clave en la pérdida de estabilidad cromática. La investigación analizó en detalle la interacción entre los componentes de la formulación, en particular los tensoactivos (especialmente el neutralizador utilizado –Trietanolamina-) y los colorantes, observando cómo la composición química puede afectar la estabilidad del producto a lo largo del tiempo.

Haciendo uso técnicas analíticas como la espectroscopía UV-visible, se determinó que la degradación de los colorantes estaba directamente relacionada con las propiedades de los ingredientes y su interacción con el entorno. Además, se encontró que “el almacenamiento en condiciones desfavorables exacerba el problema de decoloración, lo que afecta negativamente la apariencia del producto” (Missler et al., 2013).

## **9 Marco Teórico**

### **9.1 Detergente Líquido:**

Los detergentes líquidos son productos diseñados para la limpieza de superficies, ropa y otros materiales (Karsa, 2014). Su formulación suele incluir surfactantes, agentes secuestrantes, conservantes y otros aditivos que permiten disolver la suciedad y mejorar el desempeño de limpieza.

#### **9.1.1 Base:**

La base de un detergente líquido es la mezcla fundamental de ingredientes, principalmente tensoactivos, sobre la cual se añaden otros componentes para optimizar su funcionalidad (Tai Ho, 2000).

#### **9.1.2 Predilución:**

Es el proceso mediante el cual algunos ingredientes se disuelven previamente en agua u otro solvente antes de incorporarlos a la mezcla principal, “asegurando una dispersión homogénea y evitando incompatibilidades en la formulación” (García Montoya, 2001).

### **9.1.3 Post-Adiciones:**

Son ingredientes que se incorporan al final del proceso de fabricación de los detergentes líquidos, como fragancias, ayudantes estéticos o conservantes, para evitar que se degraden durante las fases iniciales de mezcla o reacción química.

## **9.2 Materias Primas:**

Las materias primas utilizadas en detergentes líquidos incluyen una variedad de ingredientes como surfactantes, reguladores de pH, enzimas, preservantes, biocidas, y secuestrantes que cumplen funciones específicas para garantizar la efectividad del producto.

### **9.2.1 Regulador de pH:**

Los reguladores de pH son compuestos que ajustan o mantienen el nivel de acidez o alcalinidad dentro de una formulación.

### **9.2.2 Enzimas:**

Son proteínas especializadas las cuales son vitales en la remoción y descomposición de la suciedad.

### **9.2.3 Biocidas:**

Son sustancias químicas que se añaden a los detergentes para eliminar microorganismos, evitando que se deterioren los productos durante su almacenamiento.

### **9.2.4 Preservantes:**

Son ingredientes añadidos para evitar la degradación microbiana y prolongar la vida útil del detergente líquido, manteniendo la estabilidad y efectividad del producto.

### **9.2.5 Secuestrantes:**

También conocidos como ablandadores de agua, son agentes químicos que neutralizan los iones de metales duros en el agua, evitando que interfieran en el proceso de limpieza y mejorando la efectividad de los surfactantes.

### **9.2.6 Intensificadores de Limpieza:**

Son aditivos que mejoran la acción de los detergentes, aumentando su capacidad para disolver manchas difíciles y proporcionando un mayor poder de limpieza.

### **9.2.7 Compuesto Crítico:**

Hace referencia al componente dentro de una formulación el cual define la estabilidad o no estabilidad del producto terminado.

### **9.3 Color:**

El color es una percepción visual que resulta de la interacción de la luz con los objetos y cómo esa luz es interpretada por el cerebro a través del ojo humano (Wuerger et al., 1995). Los objetos reflejan, absorben o transmiten diferentes longitudes de onda de luz, que el ojo humano detecta y convierte en señales eléctricas que el cerebro procesa como diferentes colores. En términos físicos, el color es la manifestación de la energía electromagnética dentro del espectro visible, que abarca longitudes de onda aproximadamente entre 380 y 700 nanómetros (Nassau, 1987).

#### **9.3.1 Colorantes:**

Son sustancias solubles (Nassau, 1987) que se añaden a la formulación para proporcionar un color específico al detergente.

#### **9.3.2 Pigmentos:**

Son partículas insolubles que se utilizan para dar color a los productos. A diferencia de los colorantes, los pigmentos no se disuelven, lo que les otorga mayor resistencia a la luz y durabilidad en diversos productos (Quantotec, 2024).

#### **9.3.3 Dispersión Pigmentaria:**

Es el proceso mediante el cual los pigmentos sólidos se distribuyen de manera uniforme dentro de una base líquida (Quantotec, 2024), garantizando un color homogéneo en el producto final.

#### **9.3.4 Matiz:**

Es el atributo del color que diferencia a un color de otro. Es una de las propiedades fundamentales que definen el color percibido (Nassau, 1987).

#### **9.3.5 Luminosidad:**

Se refiere a la cantidad de luz que un color refleja o emite. Un color con alta luminosidad aparece más brillante y cercano al blanco, mientras que uno con baja luminosidad es más oscuro (Nassau, 1987).

#### **9.3.6 Saturación:**

La saturación es la intensidad o pureza de un color. Cuanto más saturado esté un color, más vívido será; un color menos saturado se percibe más apagado o grisáceo (Velarde Laos et al., 1996).

### **9.3.7 Reflectancia:**

Es la proporción de luz que un material refleja en comparación con la cantidad que incide sobre él (Quantotec, 2024).

## **9.4 Espectrofotómetro:**

Un espectrofotómetro es un dispositivo que mide la intensidad de la luz en diferentes longitudes de onda.

### **9.4.1 Espectroscopia ULTRAVIOLETA-VISIBLE:**

Se refiere a una técnica analítica basada en la determinación de la absorbancia de luz a determinadas longitudes de onda, relacionando de manera única la sustancia de estudio y su espectro UV-VIS (Mettler-Toledo, 2023).

### **9.4.2 Absorbancia:**

Se refiere a la cantidad de luz absorbida por una sustancia.

## **9.5 Espacio de color CIELAB:**

El espacio de color CIELAB es un modelo tridimensional que describe todos los colores visibles para el ojo humano. Está compuesto por tres ejes:  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (verde a rojo) y  $b^*$  (azul a amarillo), que permiten cuantificar y comparar los colores de manera objetiva (Quantotec, 2024).

### **9.5.1 $\Delta L$ :**

Representa la diferencia en luminosidad entre dos colores, es decir, cuánto más claro o más oscuro es un color en comparación con otro.

### **9.5.2 $\Delta a$ :**

Mide la diferencia en la dimensión rojo-verde entre dos colores. Un valor positivo indica una tendencia hacia el rojo, mientras que uno negativo sugiere una tendencia hacia el verde.

### **9.5.3 $\Delta b$ :**

Mide la diferencia en la dimensión azul-amarillo entre dos colores. Un valor positivo indica una tendencia hacia el amarillo, mientras que uno negativo sugiere una tendencia hacia el azul.

### **9.5.4 $\Delta E$ :**

Es una medida que cuantifica la diferencia total de color entre dos muestras en el espacio CIELAB. Cuanto menor sea el valor  $\Delta E$ , más similar será el color percibido.

El valor de  $\Delta E$  está dado por la siguiente ecuación (ecuación 1):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$
$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 + b_2)^2}$$

**Ecuación 1.** Diferencia entre dos colores. **Tomado de:**

<https://despachovisual.wordpress.com/2010/10/19/delta-e-2/>

### 9.5.5 Tolerancia de Color:

Es el rango dentro del cual una variación de color es aceptable en una aplicación industrial, asegurando que los productos se perciban como uniformes para los consumidores.

## 9.6 Tensoactivos:

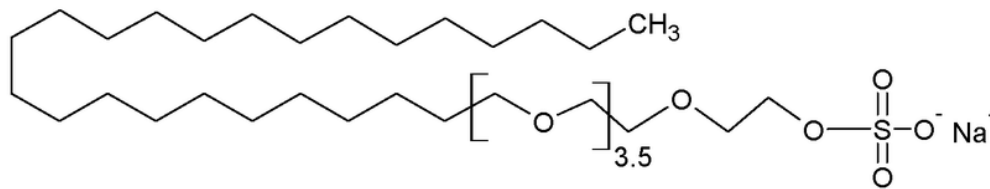
“Los tensoactivos son moléculas que tienen dos partes: una parte hidrofóbica (insoluble en agua) y una parte hidrofílica (soluble en agua). Estas moléculas actúan en las interfaces entre diferentes fases, como aire y agua o aceite y agua. Los tensoactivos se utilizan en detergentes, productos de limpieza y cosméticos para reducir la tensión superficial entre líquidos o entre un líquido y un sólido, facilitando la emulsión, dispersión o solubilización de sustancias” (Tai Ho, 2000).

### 9.6.1 Aniónicos:

“Los tensoactivos aniónicos tienen un grupo polar que lleva una carga negativa. Este grupo polar está unido de manera covalente a la parte hidrofóbica de la molécula. Ejemplos comunes de tensoactivos aniónicos incluyen los jabones, los sulfatos de alcoholes grasos y los alquilbencenosulfonatos, que son muy efectivos en la limpieza y formación de espuma” (Tai Ho, 2000).

- **Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES):**

Es un tensoactivo aniónico utilizado en la formulación de detergentes líquidos, se obtiene a partir de la etoxilación del Lauril Sulfato de Sodio (SLS).



**Figura 1.** Estructura Molecular SLES. **Recuperado de:**

<https://archemco.com/2023/09/07/sles-specifications-and-applications/>

### 9.6.2 Catiónicos:

“Los tensoactivos catiónicos poseen un grupo polar que lleva una carga positiva. Estas moléculas se utilizan principalmente como agentes acondicionadores en productos como suavizantes de ropa o en tratamientos para el cabello, ya que interactúan con superficies cargadas negativamente (como las fibras textiles o el cabello) para proporcionar suavidad y acondicionamiento. Un ejemplo es el cloruro de dimetildistearilamonio” (Tai Ho, 2000).

### 9.6.3 No Iónicos:

“Los tensoactivos no iónicos no tienen una carga eléctrica en su grupo polar. Su solubilidad en agua se obtiene a través de la formación de enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua y ciertos grupos funcionales de la parte hidrofílica. Los tensoactivos no iónicos se encuentran en detergentes y productos de limpieza donde se requiere baja formación de espuma. Los derivados de polioxietileno o polioxipropileno y los ésteres de azúcar son ejemplos típicos” (Tai Ho, 2000).

### 9.6.4 Anfóteros:

“Los tensoactivos anfóteros contienen un ion dipolar, lo que significa que pueden comportarse como aniónicos o catiónicos dependiendo del pH del medio en el que se encuentren. Este tipo de tensoactivos son suaves y se utilizan comúnmente en productos para el cuidado personal como champús y limpiadores faciales debido a su capacidad para interactuar favorablemente tanto con sustancias cargadas negativamente como positivamente. Un ejemplo es el ácido cetilamino acético” (Tai Ho, 2000).

### 9.6.5 Concentración Micelar Crítica (CMC):

CMC se refiere a la concentración mínima de un tensoactivo (ya sea aniónico, catiónico, anfótero o no iónico) en solución, en la cual sus moléculas comienzan a agregarse y formar

micelas. “Los monómeros del surfactante se asocian y forman estructuras micelares, las cuales son las responsables de reducir de manera significativa la tensión superficial del agua” (Tai Ho, 2000).

#### **9.6.6 Micela:**

Se refiere al conjunto de moléculas del tensoactivo, formadas cuando la concentración del mismo -en solución acuosa- excede la CMC (Tai Ho, 2000). La “cabeza” de la micela, usualmente hidrofílica, está expuesta al medio acuoso, mientras que la “cola”, usualmente hidrofóbica, se encuentra orientada hacia el interior.

### **9.7 Parámetros de Medición:**

#### **9.7.1 pH:**

El pH mide la acidez o alcalinidad de una solución. Para un detergente líquido, el valor de pH debe oscilar entre 7.88 a 8.88. Para un limpiador multiusos el parámetro es de 8.2 a 9.2.

#### **9.7.2 Viscosidad:**

La viscosidad se refiere a la resistencia de un líquido a fluir. Para un detergente líquido, el parámetro se encuentra de la siguiente manera, dependiendo del producto: Mín. 200 cP, Mín. 400 cP.

#### **9.7.3 Activo:**

El término "activo" dentro de los detergentes se refiere al porcentaje de tensoactivos presentes, que es responsable de la capacidad de limpieza del producto. Dependiendo del producto, pero en términos generales, el valor de activo se encuentra entre 6% a 17%.

#### **9.7.4 Fragancia:**

Es un aditivo que proporciona una experiencia sensorial agradable al consumidor, además de enmascarar el olor de los componentes químicos, dependiendo de la tecnología con la cual fue constituida.

#### **9.7.5 Propiedades Organolépticas:**

Hacen referencia a las propiedades físicas, medibles, de un detergente líquido. Dentro de estas se encuentran: apariencia, color y fragancia.

### **9.8 Estabilidad:**

Se refiere a la capacidad del producto de mantener sus propiedades físico-químicas a lo largo del tiempo bajo diversas condiciones de almacenamiento. La estabilidad puede influir en aspectos como el color, la viscosidad, el pH, y la eficacia del producto.

### **9.8.1 Tipos de Estabilidad:**

Existen diversos tipos de estabilidad los cuales difieren en su tiempo de residencia e importancia del proyecto, esto quiere decir que, de acuerdo a la necesidad se pueden aplicar estabilidades con mayor o menor cantidad de tiempo al producto requerido. Dentro de estas existen: Preliminar, Preliminar Especial, Acelerada y Larga Duración.

### **9.8.2 Condiciones de Estabilidad:**

Las tres condiciones dentro de una estabilidad son: Nevera, Horno y Ventana.

### **9.8.3 SUNTEST:**

Es un equipo utilizado para evaluar la estabilidad de productos bajo condiciones controladas de luz y temperatura. Simula la exposición a la radiación UV y la luz visible, lo que permite predecir la degradación de los componentes, como colorantes o activos, debido a la luz solar. Es fundamental para entender cómo los productos líquidos reaccionan ante la exposición prolongada a la luz y para realizar pruebas aceleradas de estabilidad.

## **9.9 Degradación Química:**

Proceso por el cual una sustancia presente en la formulación, en este caso de detergentes líquidos, se descompone debido a factores externos como lo son la temperatura y radiación UV.

## **9.10 Fotodegradación:**

“La fotodegradación es la transformación fotoquímica de una molécula en otras” (Prado, 2011), usualmente causadas como consecuencia de una absorción constante de radiación UV.

### **9.10.1 Ligando**

Son moléculas o iones que pueden unirse a un átomo central, generalmente un metal, para formar un complejo de coordinación, como consecuencia de una fotodegradación. (Parada & Yesid, 2012).

## **9.11 Prueba de Desempeño:**

En DERSA, las pruebas de desempeño consisten en la aplicación de cierta cantidad de detergente líquido a telas manchadas con sustancias específicas, con el fin de comprobar la eficiencia del mismo, de acuerdo al porcentaje de remoción, medido mediante el cambio en la luminosidad de una tela.

## **10 Análisis de Restricciones**

Este análisis examina las diversas restricciones que pueden influir en la viabilidad y el éxito del proyecto, tanto desde el punto de vista externo como interno. A continuación, se describen las principales restricciones identificadas a través de una perspectiva de análisis PESTEL:

### **10.1 Político:**

Las regulaciones y normativas que rigen la producción de detergentes líquidos son cruciales en este sector. En Colombia, el Ministerio de Salud y Protección Social (2021) establece lineamientos sobre la formulación de productos de limpieza, lo que influye en las estrategias de DERSA. La adherencia a estas regulaciones garantiza la seguridad y la aceptación en el mercado. Además, el presupuesto para el desarrollo del proyecto de mejora, debe ser aprobado por la dirección de Investigación y Desarrollo, avalado por las directivas de la empresa Detergentes Ltda.

### **10.2 Económico:**

La situación económica del país, incluida la inflación y el poder adquisitivo de los consumidores, afecta la demanda de productos de limpieza. Según la EPA (2021), el costo de materias primas y la disponibilidad de recursos son factores determinantes en la formulación de detergentes que mantengan la estabilidad del color y calidad del producto. Sumado a eso, se debe tener en cuenta, dentro del ámbito de la formulación, que el desarrollo de la mejora sea realmente rentable para DERSA. La empresa debe asegurarse de que el costo asociado con las nuevas formulaciones no supere el retorno esperado en términos de competitividad y aceptación por parte de los consumidores.

### **10.3 Social:**

Las tendencias de los consumidores hacia productos sostenibles y seguros influyen en las decisiones de formulación de DERSA. La investigación de Procter & Gamble (2020) sobre la percepción del consumidor en relación con los cambios de color en detergentes resalta la importancia de mantener una imagen de calidad y fresca en los productos. Las preferencias y comportamientos de los consumidores también pueden afectar las decisiones en torno a la reformulación del detergente. El cambio en el color del producto podría ser percibido como una señal de deterioro o envejecimiento, lo que afecta la percepción de calidad. Es fundamental que las soluciones planteadas para estabilizar el color se alineen con las expectativas de los

consumidores en términos de apariencia y frescura, ya que esto impacta directamente en la demanda del producto.

#### **10.4 Tecnológico:**

Si se requieren nuevas tecnologías para mejorar la estabilidad del color, será necesario evaluar la disponibilidad de esas tecnologías y el costo de su implementación. Las limitaciones tecnológicas podrían restringir algunas soluciones que, aunque técnicamente viables, no son factibles desde el punto de vista práctico o económico para la empresa. La innovación en tecnología de producción y en la formulación de detergentes es esencial para mejorar la estabilidad del color. Estudios académicos, como el de Missler et al. (2013), proporcionan información sobre cómo los avances en surfactantes y aditivos pueden optimizar la calidad del producto final.

#### **10.5 Ecológico:**

El uso de ciertos ingredientes en los detergentes puede tener un impacto significativo en el medio ambiente, algunos componentes químicos, como los tensioactivos y los colorantes, pueden afectar negativamente los ecosistemas acuáticos si no son adecuadamente tratados. Por lo tanto, es necesario revisar las normativas ambientales vigentes, como los planes de vertimiento y las licencias ambientales exigidas en Colombia, para asegurar que la formulación de los detergentes líquidos cumpla con los estándares requeridos. Se puede tomar como ejemplo la Resolución 631 de 2015, que establece el Reglamento Técnico sobre la calidad de las aguas residuales y su vertimiento en cuerpos de agua, y la Ley 99 de 1993, que crea el Ministerio del Medio Ambiente y define las disposiciones sobre la protección y conservación del medio ambiente en el país. Además, el Código Nacional de Recursos Naturales, establecido por la Ley 1333 de 2009, regula el manejo de los recursos hídricos y el control de vertimientos, asegurando que las sustancias químicas utilizadas en la producción de detergentes no comprometan la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos.

#### **10.6 Legal:**

En la industria de detergentes líquidos, es esencial cumplir con las normativas legales que regulan la producción, comercialización y uso de productos químicos. Esto incluye la necesidad de obtener licencias y cumplir con las normativas de etiquetado, que garantizan que los consumidores reciban información clara y precisa sobre los productos que utilizan. En Colombia, el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) es el ente

encargado de regular y controlar la calidad de los productos de limpieza, asegurando que cumplan con las normas de seguridad y salud pública. Además, las empresas deben cumplir con la Resolución 3113 de 1998, que establece los requisitos para el registro sanitario de productos de limpieza, que incluye detergentes y suavizantes. Esta resolución define las especificaciones que deben cumplir las empresas para garantizar la seguridad y eficacia de sus productos, así como la correcta identificación de los componentes químicos utilizados.

Es crucial que las formulaciones no incluyan ingredientes prohibidos o que estén sujetos a restricciones, como ciertos biocidas o sustancias químicas nocivas que puedan dañar la salud humana y el medio ambiente. El cumplimiento de estas normativas no solo evita sanciones legales, sino que también protege la reputación de la empresa y fomenta la confianza del consumidor.

## **11 Metodología para la Selección y Desarrollo de la Solución.**

La presente metodología tiene como objetivo establecer un marco sistemático para la selección y desarrollo de soluciones que aborden la inestabilidad del color en los detergentes líquidos DERSA. Esta metodología considera los resultados experimentales previos (pruebas de estabilidad) y busca optimizar la formulación del producto, garantizando una mejora en la solidez del color.

### **11.1 Planeación Diseño Experimental:**

Se busca establecer un diseño experimental robusto que permita evaluar la estabilidad del color en los detergentes líquidos DERSA.

#### ***Actividades:***

- Definir las variables independientes (tipo de tensoactivo, concentración de las materias primas, tipo de agua, colorante).
- Seleccionar los métodos de muestreo y las condiciones experimentales (temperatura y tiempo de exposición).
- Diseñar una matriz de experimentos que contemple diversas combinaciones de ingredientes y condiciones.

### **11.2 Evaluación en SUNTEST:**

Evaluar el comportamiento del color de las muestras bajo condiciones simuladas de luz solar, con el fin de acelerar el tiempo de respuesta del experimento.

#### ***Actividades:***

- Exponer las muestras a una fuente de luz UV en un SUNTEST.
- Registrar los cambios en la tonalidad de las muestras a intervalos de tiempo definidos.
- Comparar los resultados entre las diferentes formulaciones.

### **11.3 Evaluación en Horno:**

Simular condiciones térmicas controladas para evaluar la estabilidad del color.

#### ***Actividades:***

- Colocar las muestras en un horno a una temperatura preestablecidas, simulando condiciones de almacenamiento real.
- Monitorear y registrar los cambios de color durante períodos específicos.
- Evaluar cómo la temperatura afecta la degradación del color en cada formulación.

### **11.4 Pruebas de Desempeño:**

Determinar si la exposición a condiciones térmicas y de radiación UV afectan el desempeño de lavado (rompimiento del tensoactivo) en los detergentes líquidos.

#### ***Actividades:***

- Evaluar el impacto de la temperatura y la radiación UV en la integridad del tensoactivo.
- Verificar si el posible rompimiento del tensoactivo tiene una implicación directa en el cambio de color del detergente líquido.

### **11.5 Estabilidades:**

Realizar pruebas de estabilidad de las diferentes formulaciones en determinada ventana de tiempo.

#### ***Actividades:***

- Almacenar muestras de cada formulación en condiciones controladas (nevera, horno y ventana).
- Realizar análisis periódicos de las propiedades organolépticas, pH, activo y viscosidad.

- Realizar análisis comparativos entre las diferentes formulaciones a lo largo del tiempo.

### **11.6 Análisis de Compuestos Críticos:**

Identificar y evaluar los compuestos que afectan la estabilidad del color en las formulaciones.

#### *Actividades:*

- Realizar análisis químicos para determinar la composición de cada formulación.
- Estudiar las interacciones entre ingredientes y su relación con la degradación del color.
- Identificar los compuestos responsables de los cambios en la tonalidad durante las pruebas.

### **11.7 Ajustes en la Formulación:**

Proponer modificaciones en la formulación para optimizar la estabilidad del color.

#### *Actividades:*

- Basándose en los resultados del análisis de compuestos críticos y las pruebas de desempeño, ajustar las concentraciones y tipos de ingredientes.
- Considerar la incorporación de estabilizadores de color o aditivos que mejoren la resistencia a la degradación.
- Documentar las variaciones propuestas y su justificación técnica.

### **11.8 Validación del Ajuste:**

Confirmar la eficacia de las modificaciones en condiciones reales.

#### *Actividades:*

- Realizar pruebas de estabilidad de las nuevas formulaciones bajo condiciones simuladas de almacenamiento y exposición.
- Monitorear y registrar los cambios en la estabilidad del color y otras propiedades fisicoquímicas.

## **12 Resultados y Análisis de Resultados Parciales.**

A continuación, se presentan los avances obtenidos de acuerdo con las actividades planteadas en la metodología para la selección y desarrollo de la solución, en conjunto al porcentaje de avance de cada actividad de acuerdo al objetivo relacionado (presente en las tablas 2 y 3).

Hay que tener en cuenta que los resultados y su posterior análisis, fruto de las actividades realizadas, serán presentados en orden cronológico.

**Tabla 2.** Porcentaje de Avance, Actividades Objetivos Específicos.

<b>Objetivo Específico</b>	<b>Actividades</b>	<b>Porcentaje de Avance</b>
Evaluar el efecto de la temperatura y la radiación UV en la estabilidad del color en los detergentes líquidos.	Planeación del Diseño Experimental	100%
	Evaluación en SUNTEST	100%
	Evaluación en Horno	100%
	Estabilidades	100%
Identificar los compuestos presentes en la formulación de los detergentes líquidos que afectan la estabilidad del color.	Pruebas de Desempeño	100%
	Análisis de Compuestos Críticos	100%

**Tabla 3.** Porcentaje de Avance Objetivo General.

<b>Objetivo General</b>	<b>Actividades (25 %)</b>	<b>Metodología</b>	<b>Avance Total</b>
Proponer ajustes en la formulación de los detergentes líquidos para mejorar la solidez del color.	Ajustes en la Formulación	100%	<b>100%</b>
	Validación del Ajuste	100%	
	<b>Objetivos Específicos (100 %)</b>		
	Evaluar el efecto de la temperatura y la radiación UV en la estabilidad del color en los detergentes líquidos.	100%	
	Identificar los compuestos presentes en la formulación de los detergentes líquidos que afectan la estabilidad del color.	100%	

### 12.1 Planeación del Diseño Experimental, Primera Matriz:

De acuerdo a la actividad planteada, se buscaba realizar un diseño experimental robusto el cual entregara resultados determinantes con el fin de establecer que materia prima afectaba la coloración de los detergentes líquidos en condiciones de exposición a altas temperaturas

(teniendo en consideración el almacenamiento en una ciudad base como lo es Barranquilla) y radiación UV.

El diseño experimental consistió en la evaluación de todas las materias primas pertenecientes a los detergentes líquidos. Con el fin de facilitar la preparación de las primeras muestras para distintos análisis, se estableció un base general (agua, tensoactivos aniónicos, viscosante y colorante) que contuviera un porcentaje aproximado de cada producto.

Con el fin de mantener el secreto empresarial no se mostrará los porcentajes únicos de cada producto, sin embargo, se mostrará un aproximado y el resultado obtenido del promedio. Dichos porcentajes son visibles en la tabla 4.

**Tabla 4.** Planeación del Primer Diseño Experimental.

Materia Prima	Activo	Producto				Promedio
		DLD	DLDM	DLD+R	LLD+R	
Agua de Acueducto	100%	> 70,0%	> 70,0%	< 70,0%	> 70,0%	<b>70,84%</b>
Ácido Sulfónico	98%	> 8,0%	> 8,0%	> 8,0%	< 8,0%	<b>9,63%</b>
Soda Caustica Líquida	48%	< 3.0%	< 3.0%	< 3.0%	< 3.0%	<b>2,31%</b>
Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES)	70%	> 5.0%	> 5.0%	> 5.0%	> 5.0%	<b>5,71%</b>
Sal Yodada	100%	< 1.0%	< 1.0%	< 1.0%	< 1.0%	<b>0,50%</b>

Es importante mencionar ciertas abreviaciones referentes a productos DERSA. Se entiende por DLD (Detergente Líquido DERSA), DLDM (Detergente Líquido DERSA Manzana), DLD+R (Detergente Líquido DERSA + Jabón Rey) y LLD+R (Lavalozza Líquido DERSA + Jabón Rey).

Hay que tener en cuenta que no se tiene presente en este primer diseño experimental los productos DERSA que contienen trietanolamina como neutralizador del ácido sulfónico, además, solo se tiene en cuenta 1 colorante para todos los productos, siendo este el Liquitint Royal HF MC de Milliken con una dosificación del 0.00453% al 1% de activo (cantidad de sólidos en solución).

Para este primer diseño, se estableció una serie de combinaciones que se pueden considerar relevantes para entender como la radiación UV y la temperatura afectan el funcionamiento del

colorante. De esta manera la primera matriz experimental se presenta a continuación en la tabla 5:

**Tabla 5.** Primer Diseño Experimental.

		Diseño 1					
MATERIA PRIMA	ACTIVO	%Masa	Masa T	%Masa	Masa T	%Masa	Masa T
Agua	100,00%	99,995%	49,774				
Liquitint Royal	1,00%	0,00453%	0,2265				
		Diseño 2		Diseño 3		Diseño 4	
Agua	100,00%	87,950%	43,975	82,240%	41,120	94,29%	47,145
Ácido Sulfónico	98,00%	9,630%	4,815	9,630%	4,815	0,00%	0,000
Soda Caustica Líquida	48,00%	2,420%	1,210	2,420%	1,210	0,00%	0,000
Lauril Éter Sulf Sodio	70,00%	0,000%	0,000	5,710%	2,855	5,71%	2,855
		Diseño 5		Diseño 6		Diseño 7	
Agua	100,00%	87,945%	43,749	82,235%	40,894	94,285%	46,919
Ácido Sulfónico	98,00%	9,630%	4,815	9,630%	4,815	0,00%	0,000
Soda Caustica Líquida	48,00%	2,420%	1,210	2,420%	1,210	0,00%	0,000
Lauril Éter Sulf Sodio	70%	0,000%	0,000	5,71%	2,855	5,71%	2,855
Liquitint Royal	1,00%	0,00453%	0,226	0,00453%	0,226	0,00453%	0,226

Como resultado de la matriz experimental expuesta anteriormente, se obtuvieron muestras suficientes para analizar, de manera inicial, el impacto de la radiación UV y la temperatura en los detergentes líquidos. Dichas muestras se pueden observar en las figuras 2 y 3.



**Figura 2.** Muestras Sin Color Primer Diseño Experimental.



**Figura 3.** Muestras Con Color Primer Diseño Experimental.

## 12.2 Evaluación en SUNTEST, Primera Evaluación:

Las muestras previamente preparadas en el primer diseño experimental, fueron enviadas a GIVAUDAN (casa de fragancias, proveedor de DERSA) con el fin de ser sometidas a una prueba de SUNTEST para evaluar el impacto en las distintas combinaciones de materias primas.

Las especificaciones de esta prueba se presentan a continuación (tabla 6):

**Tabla 6.** Especificaciones Evaluación SUNTEST.

<b>Radiación (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo en SUNTEST</b>	<b>Equivalencia del Tiempo</b>
650	45	8 horas	6 a 8 meses

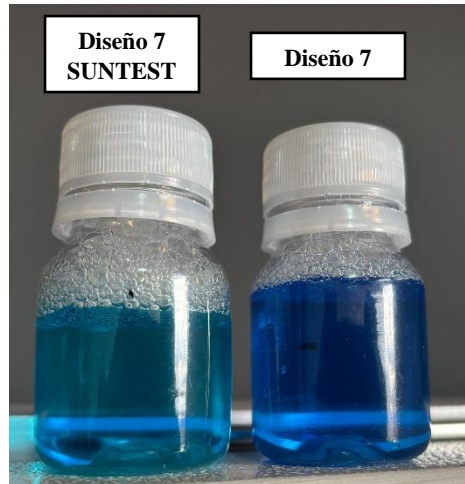
Para evaluar si el cambio de color obtenido tras el SUNTEST es relevante, se realiza la medición del espacio de color CIELAB en un colorímetro de las muestras patrón vs las muestras tras el SUNTEST, haciendo uso del valor  $\Delta E$  con una significancia mayor a 2 para denotar un cambio relevante. Los resultados de la medición L\*a\*b se presentan a continuación (tabla 7):

**Tabla 7.** Resultados Medición Espacio de Color CIELAB.

<b>Diseño</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b><math>\Delta E</math></b>
<b>5</b>	58,0236	-1,5	-65,98	<b>5,9621373</b>
<b>5 SUNTEST</b>	52,33	0,24	-66,3	
<b>6</b>	36,84	44,73	-86,04	<b>72,294061</b>
<b>6 SUNTEST</b>	67,88	14,44	-28,2	
<b>7</b>	39,32	41,11	-85,96	<b>53,17823</b>
<b>7 SUNTEST</b>	55,35	-4,65	-64,12	

Debido a los resultados obtenidos y al gran cambio de color (gracias al valor del  $\Delta E$ ) en las muestras que contienen SLES, se considera como un posible compuesto crítico, el cual afecta de manera relevante la coloración de los detergentes líquidos.

A continuación, se presenta uno de los cambios más notorios tras la prueba de SUNTEST (figura 4):



**Figura 4.** Comparación Diseño 7.

Es importante mencionar que no se realizó la medición para el diseño 1 ni para los diseños sin color, puesto que estos no tuvieron ningún cambio apreciable (figura 5).



**Figura 5.** Comparación Diseño 1.

### **12.3 Evaluación en Horno, Primera Evaluación:**

La evaluación en horno se llevó a cabo en el equipo Fischer Scientific (expuesto en la figura 6), la cual consistía en exponer las muestras de detergente líquido a 60 °C durante terminado periodo de tiempo, haciendo una revisión visual después de 4 semanas de exposición.

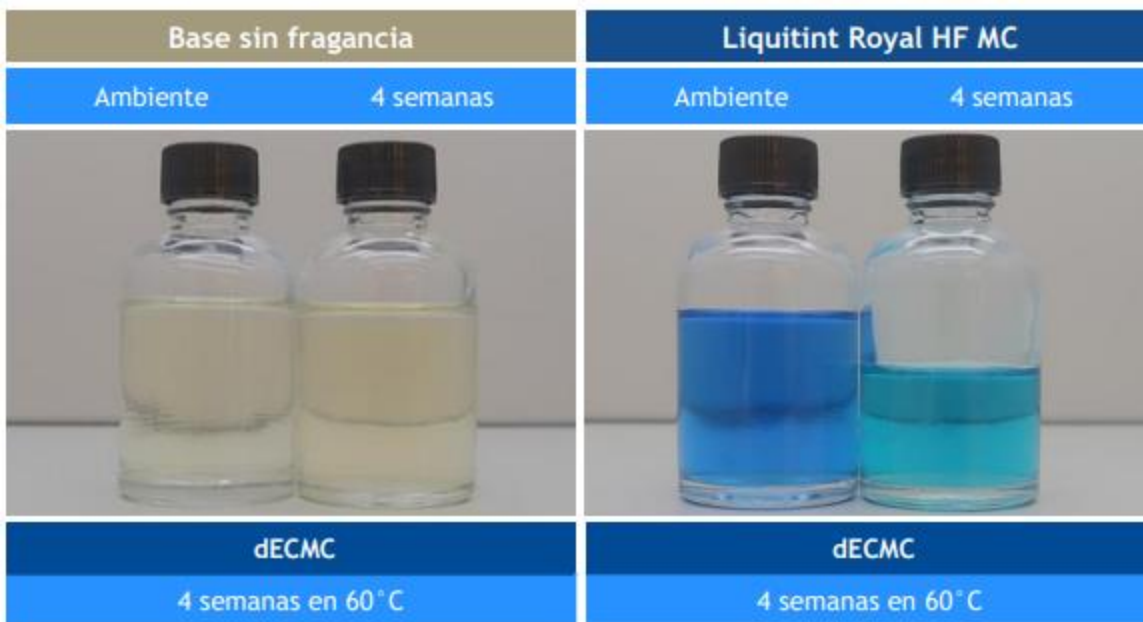
Para dicha evaluación, se prepararon dos muestras de detergente líquido de manera completa (agua, tensoactivos aniónicos, viscosante, preservante, quelante, enzimas, abrillantador óptico) con y sin fragancia.

Es importante resaltar que la prueba se realizó por medio de Milliken, proveedor del colorante, debido a la necesidad de un equipo especializado.



**Figura 6.** Imagen de Referencia Horno Fischer Scientific. **Recuperado de:** <https://www.fishersci.es/shop/products/thermolyne-largest-tabletop-muffle-furnaces/11840730>

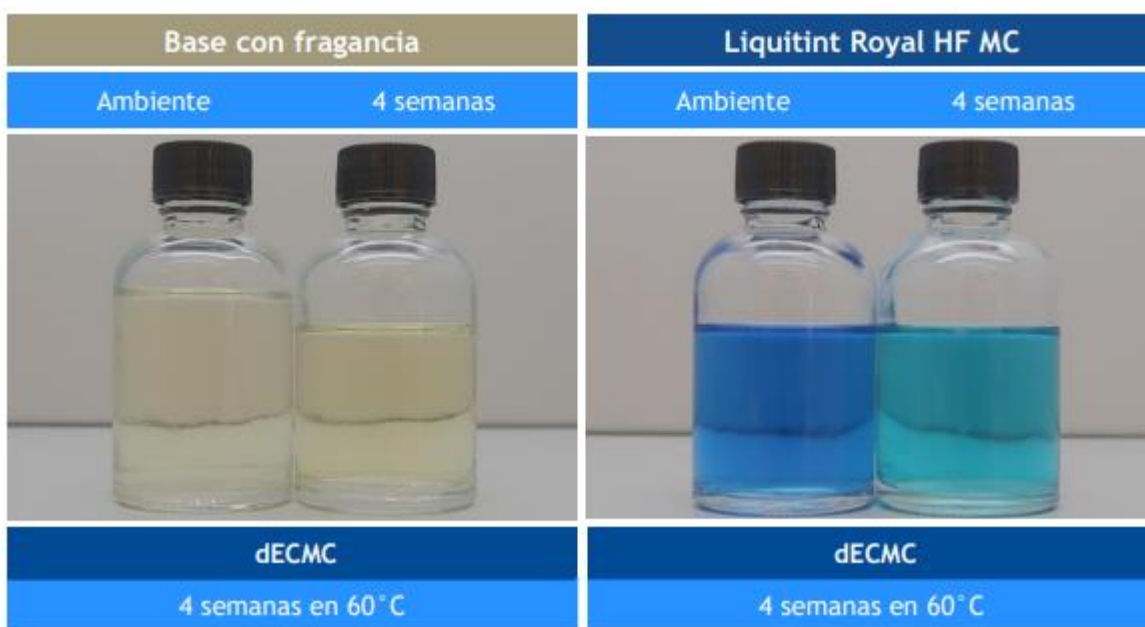
Tras el tiempo de exposición, se observa un claro cambio en la coloración de la base de detergente líquido, teniendo un  $\Delta\text{CMC}$  de 12.47 -siendo un  $\Delta\text{CMC} > 2$  una diferencia perceptible al ojo humano-, observándose una leve mejoría con respecto a la muestra que contenía solo SLES en condiciones de radiación UV. Los resultados de la evaluación se presentan en la figura 7.



**Figura 7.** Resultados Evaluación en Horno Sin Fragancia.

Con los resultados obtenidos en la evaluación en horno se establece que el colorante Liquitint Royal HF MC es inestable en la base de detergente líquido a alta temperatura. Esto debido a que la base de detergente líquido sin fragancia mantiene un  $\Delta\text{CMC}$  de 2.09, siendo apenas perceptible el cambio.

La razón por la cual se realizó la estabilidad térmica en una base de detergente líquido con y sin fragancia fue debido a una posible interacción de los preservantes del perfume, con implicación directa en la estabilidad del detergente líquido. Los resultados de la evaluación de horno con fragancia se pueden observar en la figura 8.



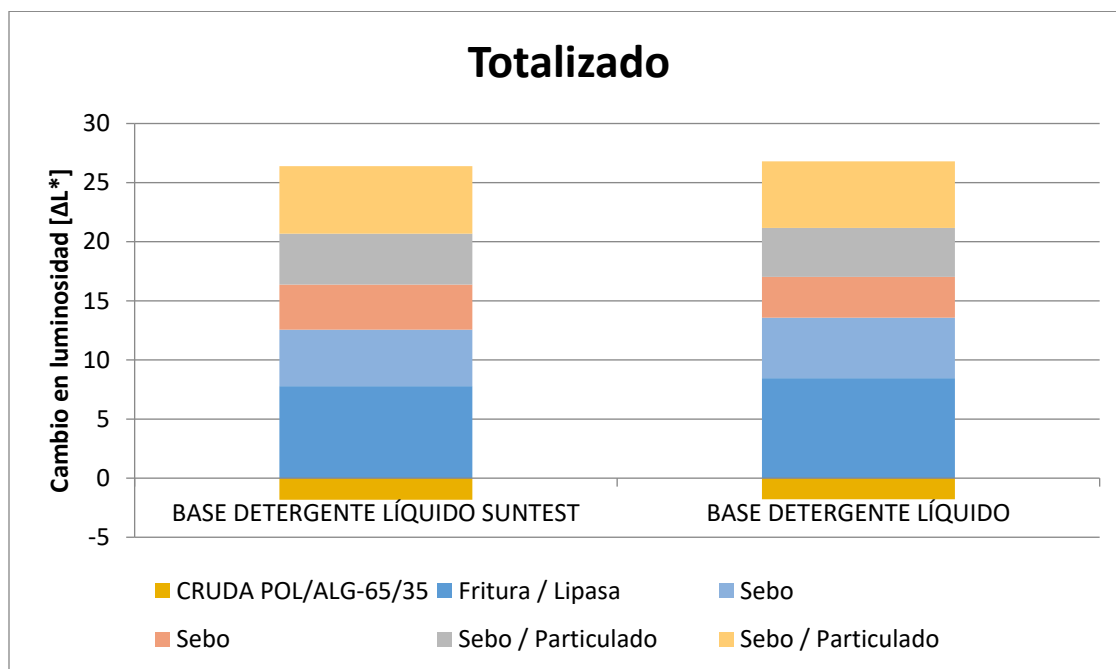
**Figura 8.** Resultados Evaluación en Horno Con Fragancia.

Con la evaluación en horno se concluye que el cambio de tono de la base afectó el color de la muestra, pero también se puede observar inestabilidad del colorante Liquitint Royal HF MC en la base de alta temperatura.

#### **12.4 Pruebas de Desempeño, Primer Prueba.**

Tras los resultados obtenidos en la primera prueba SUNTEST, se teorizó sobre un posible rompimiento del SLES liberando así óxido de etileno -siendo este una molécula poco estable, susceptible a la oxidación-, lo cual ocasionaría el cambio de tonalidad tan fuerte.

Esto es posible gracias a la estructura del Lauril Éter Sulfato de Sodio (figura 1). Con el fin de comprobar esto, se realizó una prueba de desempeño para verificar la capacidad de lavado de la muestra y determinar si, debido a las condiciones de radiación UV, se había roto la molécula del tensoactivo. El desempeño se llevó a cabo en un equipo Tergotometer con el diseño 7 (primer diseño experimental, expuesto en la tabla 5), se presenta a continuación (figura 9):



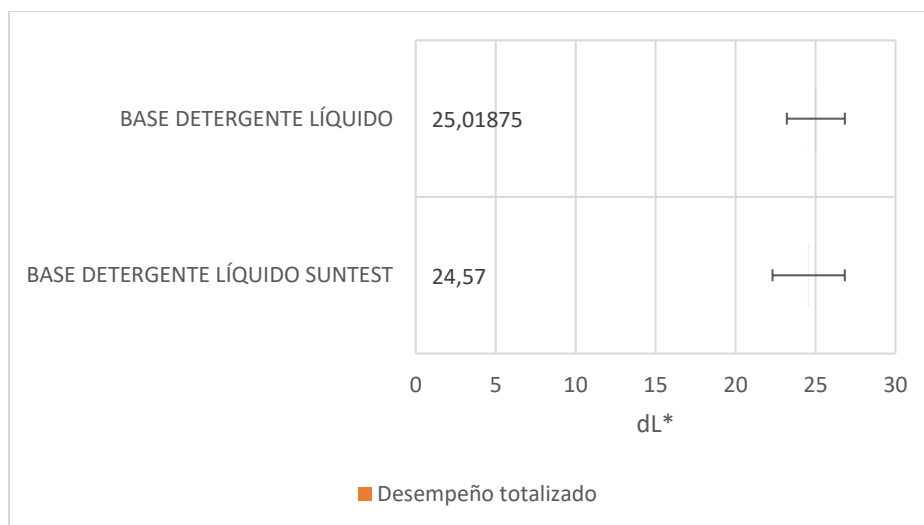
**Figura 9.** Totalizado Pozo 1 y Pozo 2, Desempeño Diseño 7.

Con la obtención de los resultados tras el desempeño, se concluye que, en principio, no se encontró indicios del rompimiento del tensoactivo. El factor crítico obtenido tiene un valor de 4.6, las medidas son estadísticamente iguales utilizando un nivel de significancia del 5% (tabla 8 y figura 10).

**Tabla 8.** Análisis Estadístico ANOVA del Desempeño.

Origen variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ratio	p value
Total	59,59819375	15	-	-	
Tratamientos	0,80550625	1	0,80550625	0,191811	0,668095
Residual	58,7926875	14	4,199477679	-	

<b>F crítico</b>	<b>Las medias son estadísticamente iguales utilizando un nivel de significancia del 5%</b>
4,600109937	



**Figura 10.** Gráfico del Análisis Estadístico.

### 12.5 Análisis de Compuestos Críticos, Segundo Diseño Experimental:

Para determinar que compuestos afectan la estabilidad del color bajo efectos de la radiación UV, se estableció un nuevo diseño experimental, teniendo en cuenta la información y los resultados recopilados de los análisis anteriores (diseño experimental, primera prueba SUNTEST, prueba de desempeño).

A continuación, se presenta el segundo diseño experimental (tabla 9 y 10):

**Tabla 9.** Segundo Diseño Experimental Agua de Acueducto.

MATERIA PRIMA	ACTIVO	Diseño A C		Diseño B C	
		%Masa	Masa T	%Masa	Masa T
Agua	100,00%	0,00%	163,58	0,00%	187,68
Ácido Sulfónico	98,00%	9,63%	19,26	0,00%	0,00
Soda Caustica Líquida	48,00%	2,42%	4,84	0,00%	0,00
Lauril Éter Sulf Sodio	70,00%	5,71%	11,41	5,71%	11,41
Liquitint Royal	1,00%	0,00453%	0,91	0,00453%	0,91
		<b>pH</b>	<b>8,17</b>	<b>pH</b>	<b>8,37</b>
		Diseño A SC		Diseño B SC	
Agua	100,00%	0,00%	164,48	0,00%	188,59
Ácido Sulfónico	98,00%	9,63%	19,26	0,00%	0,00
Soda Caustica Líquida	48,00%	2,42%	4,84	0,00%	0,00
Lauril Éter Sulf Sodio	70,00%	5,71%	11,41	5,71%	11,41
		<b>pH</b>	<b>7,80</b>	<b>pH</b>	<b>7,90</b>

**Tabla 10.** Segundo Diseño Experimental Agua Desionizada.

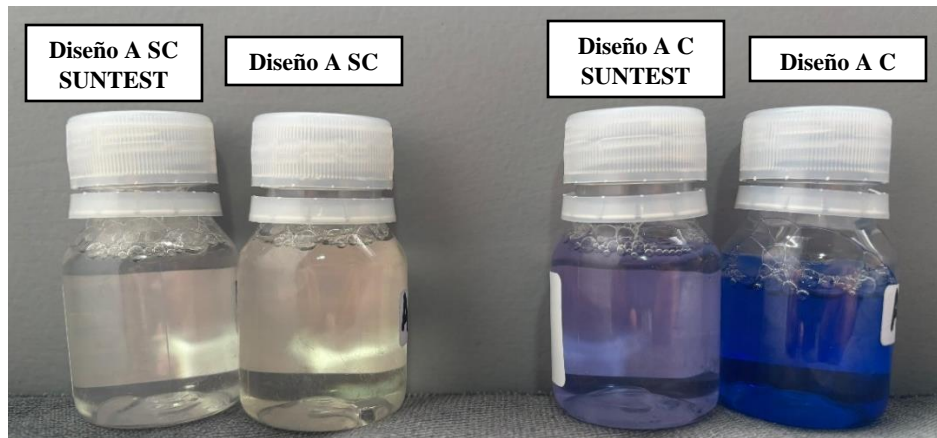
MATERIA PRIMA	ACTIVO	Diseño C C		Diseño D C	
		%Masa	Masa T	%Masa	Masa T
Agua	100,00%	0,00%	163,58	0,00%	187,68
Ácido Sulfónico	98,00%	9,63%	19,26	0,00%	0,00
Soda Caustica Líquida	48,00%	2,42%	4,84	0,00%	0,00
Lauril Éter Sulf Sodio	70,00%	5,71%	11,41	5,71%	11,41
Liquitint Royal	1,00%	0,00453%	0,91	0,00453%	0,91
		Agua Desionizada		Agua Desionizada	
		pH	7,85	pH	8,30
		Diseño C SC		Diseño D SC	
Agua	100,00%	0,00%	164,48	0,00%	188,59
Ácido Sulfónico	98,00%	9,63%	19,26	0,00%	0,00
Soda Caustica Líquida	48,00%	2,42%	4,84	0,00%	0,00
Lauril Éter Sulf Sodio	70,00%	5,71%	11,41	5,71%	11,41
		Agua Desionizada		Agua Desionizada	
		pH	8,01	pH	8,27

Como principal novedad con respecto al primer diseño experimental, se establecieron 4 diseños base, los cuales se dividían en 2, uno con agua de acueducto y el otro con agua desionizada, esto debido a la posibilidad de la presencia de algún tipo de ion -posiblemente un ion metálico- en el agua de acueducto, lo cual podría favorecer la degradación del color. También, se tuvo muy en cuenta el valor de pH, siendo este contrastado con las pruebas post SUNTEST.

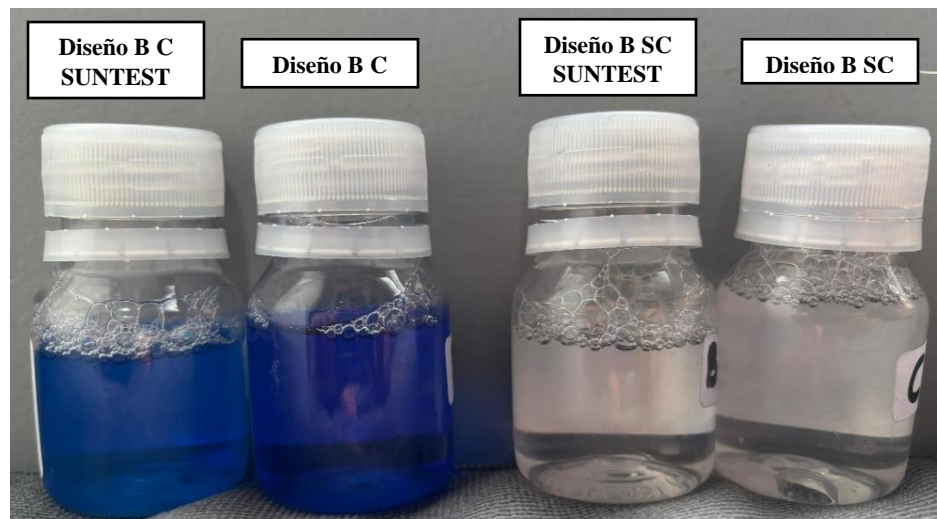
### 12.6 Análisis de Compuestos Críticos, Segunda Evaluación SUNTEST:

Se prepararon un total de 8 diseños, cada uno dividido en 4 envases diferentes, 2 envases para SUNTEST (patrón vs SUNTEST) y 2 envases para estabilidad (patrón vs diseño en ventana).

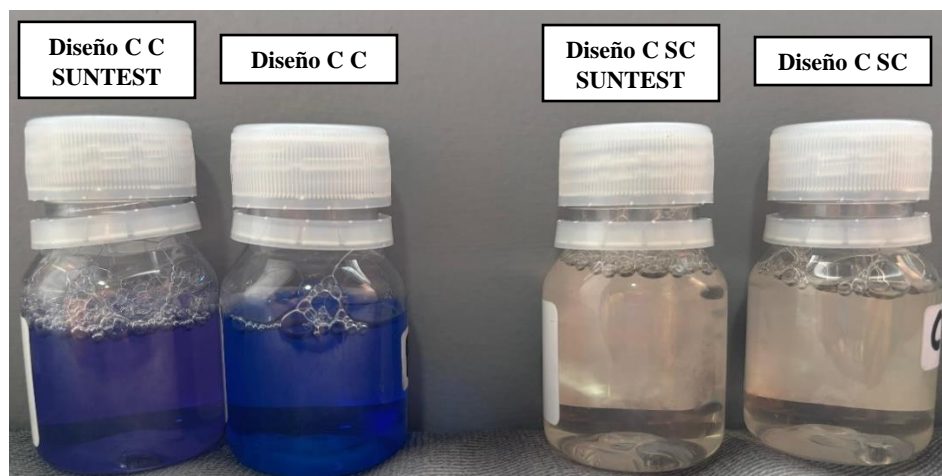
Nuevamente, se hizo envío de los diseños a la casa de fragancias GIVAUDAN, los resultados tras el SUNTEST se presentan a continuación:



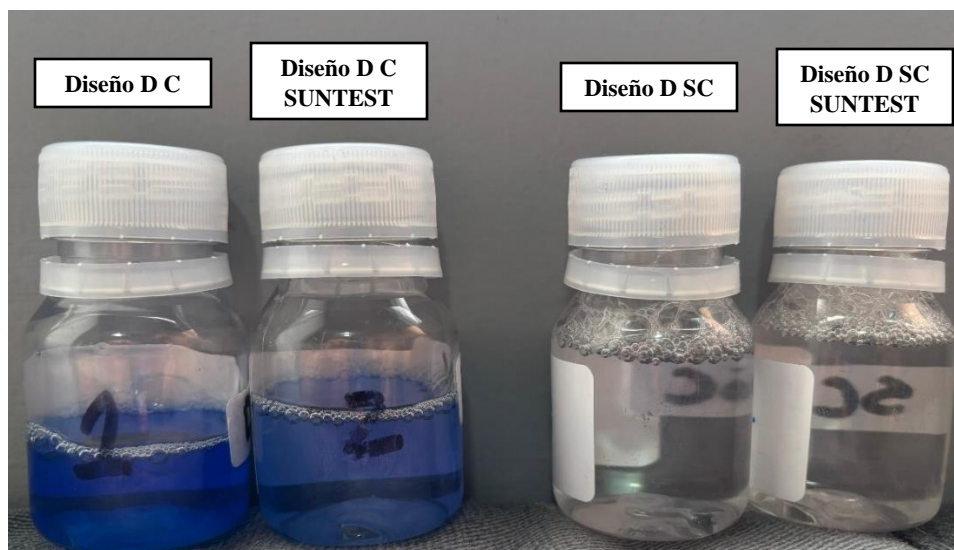
**Figura 11.** Comparación Diseños A.



**Figura 12.** Comparación Diseños B.



**Figura 13.** Comparación Diseños C.



**Figura 14.** Comparación Diseños D.

Todos los diseños con colorante presentaron novedades relevantes con respecto al color, a su vez, se denotó una disminución de 1 punto en el valor de pH de las muestras con SUNTEST, en comparación a las muestras patrón. A continuación, se presentan los cambios de pH (tabla 11):

**Tabla 11.** Valor de pH Diseños Post SUNTEST.

Diseño	Valor de pH
A C	7,45
A C SUNTEST	7,01
B C	8,19
B C SUNTEST	7,5
C C	8,09
C C SUNTEST	7,05
D C	7,64
D C SUNTEST	6,79

El valor de pH es concordante en todos los diseños. Se presupone que existe una degradación o formación de algún compuesto de carácter alcalino, como lo puede ser el SLES o el óxido de etileno.

Tras el análisis de resultados, se tomó la decisión de realizar una segunda prueba de desempeño en todos los diseños de agua + SLES, esto con el fin de corroborar el rompimiento de la molécula, el cual, presuntamente, estaría afectando el color de los detergentes líquidos.

**12.7 Análisis de Compuestos Críticos, Segunda Prueba de Desempeño:**

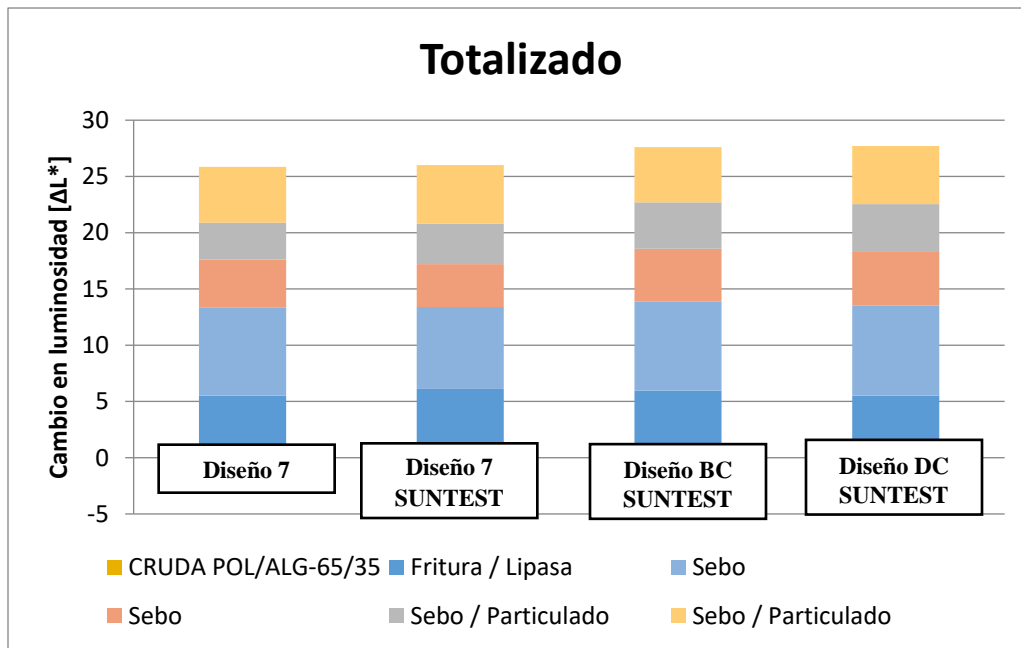
Se repitió la evaluación de desempeño con los diseños 7 (agua + SLES), 7 SUNTEST, BC SUNTEST (agua de acueducto + SLES) y DC SUNTEST (agua desionizada + SLES), obteniendo un factor crítico de 2.94, siendo estadísticamente iguales entre todas las muestras, esto se puede observar en la tabla 12 y figura 14.

**Tabla 12.** Análisis Estadístico ANOVA del Desempeño 2.

Pozo escogido
T

Origen variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ratio	p value
Total	82,46439688	31	-	-	
Tratamientos	27,12355938	3	9,041186458	4,574438	0,00994
Residual	55,3408375	28	1,976458482	-	

<b>F crítico</b>	<b>Las medias son estadísticamente diferentes utilizando un nivel de significancia del 5%</b>
2,946685266	



**Figura 15.** Totalizado Pozo 1 y Pozo 2, Desempeño Diseños Agua + SLES.

Por esta razón, se tomó la decisión de realizar un análisis de espectroscopia ultravioleta-visible (espectro UV-VIS) con el fin de observar una posible degradación de los compuestos presentes en las distintas muestras de la matriz experimental 2. Esto gracias a los distintos picos de observancia de cada materia prima.

### 12.8 Análisis de Compuestos Críticos, Análisis Espectro UV-VIS:

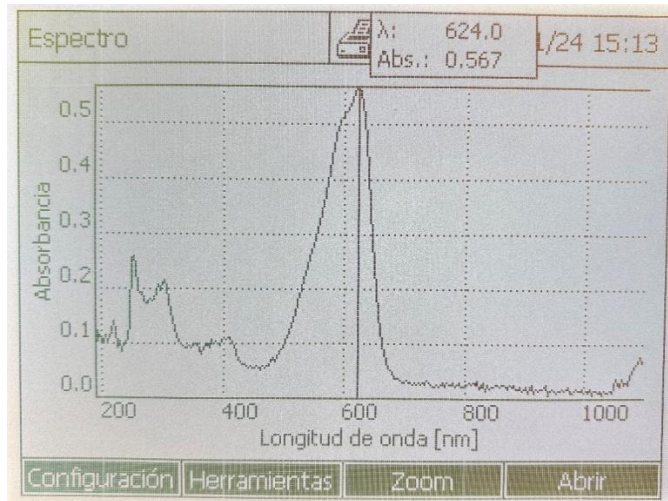
El equipo utilizado para realizar este análisis se presenta a continuación (figura 16):



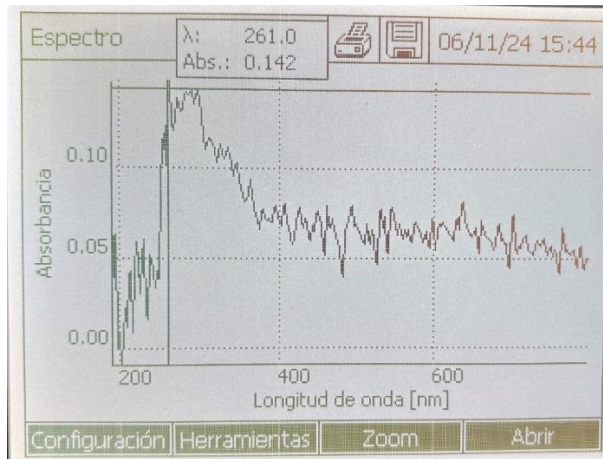
**Figura 15.** Espectrofotómetro de MERCK.

Para el análisis del espectro UV-VIS, se prepararon distintas soluciones de ácido cítrico - usualmente utilizado como regulador de pH-, ácido sulfónico e hidróxido de sodio, con el fin de obtener información relevante acerca de su absorbancia máxima.

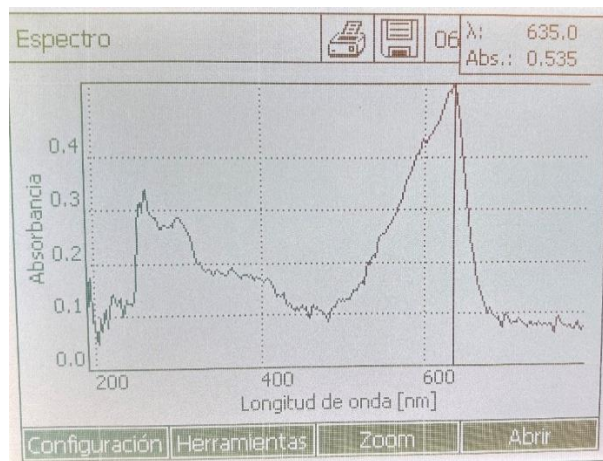
Tras la obtención de las gráficas de absorbancia se procede a analizar las mismas. A continuación, se presentan las gráficas más relevantes de este análisis:



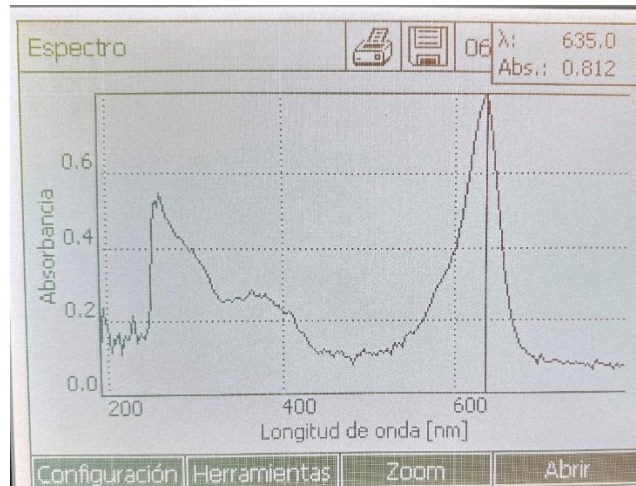
**Figura 16.** Absorbancia 624 nm Colorante Liquitint Royal.



**Figura 17.** Agua Desionizada + SLES, Sin Color.



**Figura 18.** Agua de Acueducto + SLES + Color.



**Figura 19.** Agua de Acueducto + SLES + Color, SUNTEST.

No se presentan las gráficas de los diseños con NaOH + Ácido Sulfónico puesto que, al presentarse una escala muy grande de concentración del colorante ( $> 2$ ), los picos de absorbancia de dichas materias primas no son apreciables ( $< 0.08$ ).

La gráfica presentada en la figura 17 se considera clave para el entendimiento del problema en cuestión, al ser preparada con agua desionizada, y en comparación a las muestras que fueron preparadas con agua de acueducto, se concluye que la dureza del agua está afectando considerablemente la CMC del tensoactivo. Las micelas están coordinándose con los cationes y por eso hay una mayor absorción en 261 nm.

Se teoriza que el colorante queda atrapado en las micelas del tensoactivo aniónico (SLES), lo que ocasiona una pérdida progresiva de la tonalidad del color. Si bien, este cambio se debería dar de forma rápida, se cree que el efecto de la radiación UV influye notablemente en la aceleración de este proceso, difiriendo en una foto-descomposición lo cual dejaría productos y reactivos remanentes, a su vez, podría existir un intercambio de ligandos, sin embargo, sería necesario comprobarlo mediante una técnica del cociente espectral H/V o cromatografía HPLC.

Sin embargo, también existen otras posibilidades como lo es la degradación química. Al revelar en la espectroscopia UV-VIS una degradación del colorante, y al estar presentes otras características de dicho proceso, como lo es el cambio notorio del pH, diferencias en la concentración post SUNTEST, diferentes picos de absorbancia y cambios en la tonalidad del color; existe la posibilidad de que el SLES se degrade, pero este NO afecte el desempeño del

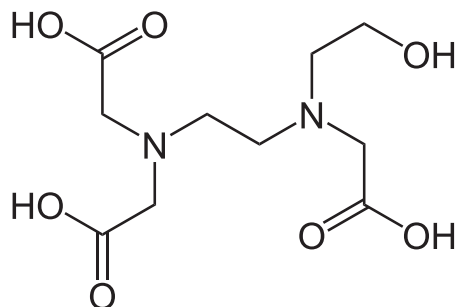
detergente, algo que concuerda con las distintas quejas presentadas a DERSA por parte de los consumidores.

### 12.9 Ajustes en la Formulación:

Inicialmente, se considera el hecho de utilizar un antioxidante en la formulación de los detergentes líquidos DERSA, puesto que, durante las pruebas experimentales se ha observado que la exposición a radiación UV provoca cambios de color y variaciones en el pH, lo que sugiere una posible degradación química. La presencia de radicales libres y posibles reacciones de oxidación que deriven en subproductos de azufre (probablemente) u otros compuestos, se pueden mitigar mediante la implementación de una molécula lo suficientemente fuerte como para evitar la modificación estructural del colorante, lo cual deriva en el cambio de color.

#### 12.9.1 Posibles Antioxidantes:

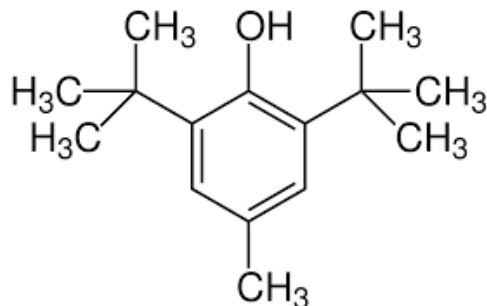
- **Ácido Hidroxietilendiaminotriacético (EDTA):** Debido a sus enlaces con nitrógeno (figura 20) y su poder quelante, podría ser opcional para una homologación en los detergentes líquidos.



**Figura 20.** Estructura EDTA. **Recuperado de:**

<https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:HEDTA.svg>

- **Butilhidroxitolueno (BHT):** Materia prima ya utilizada por DERSA como antioxidante. Pendiente de respuesta por parte de proveedor para implementación de dosis recomendada.



**Figura 21.** Estructura BHT. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Butilhidroxitolueno>

### 12.9.2 Posibles Protectores UV:

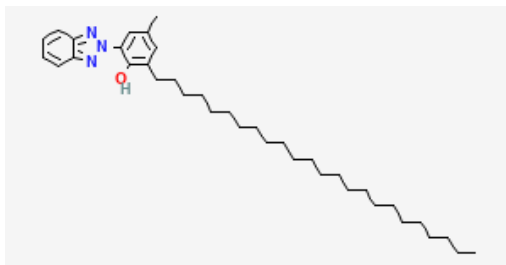
- **Uvasorb S5:** Protector UV, soluble en agua, con una absorbancia máxima de entre 270 a 350 nm. Actualmente en pruebas de homologación.



**Figura 22.** Estructura Uvasorb S5. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.09.012>

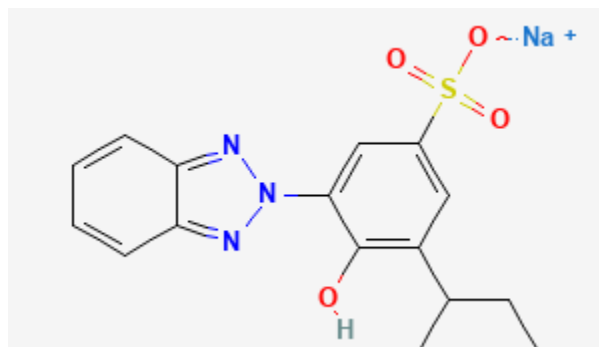
- **Tinogard TL:** Protector UV, especialmente diseño para su utilización en productos de carácter de limpieza, principalmente utilizado como protector de colores, fragancias y demás componentes sensibles a una fotodegradación. Actualmente en pruebas de homologación.



**Figura 23.** Estructura Tinogard TL. Recuperado de:

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/20195652#section=2D-Structure>

- **Cibafast H Liquid:** Estabilizador de rayos UV, utilizado en diversos productos DERSA. Actualmente en pruebas de homologación.



**Figura 24.** Estructura Cibafast H Liquid. **Recuperado de:**

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/23690892#section=2D-Structure>

### 12.10 Validación del Ajuste:

De acuerdo a la formulación inicial, presente en la tabla 13, se observa que actualmente no se cuenta con ningún protector UV o antioxidante que actúen como protector del color. Se encuentra presente el MGDA, el cual actúa como quelante y se encuentra en una dosis de 1.20%.

**Tabla 13.** Formulación Actual Detergente Líquido DERSA.

Materia Prima	%Masa
Agua	> 70%
Tensoactivo Aniónico	> 10%
SLES	5.71%
Viscosante	< 2%
Enzima	< 2%
Fragancia	< 2%
Conservante	< 2%
Colorante Liquitint Royal HF MC	0.00453%
Tensoactivo no Iónico	< 2%
Ayudante de Lavado	< 3%
MGDA	1.20%
Abrillantador Óptico	< 2%

Se implementó un tercer y último diseño experimental, presente en la figura 25.

		LABS + SLES Uvasorb S5		LABS + SLES Cibafast		LABS + SLES Tinogard TL		LABS + SLES EDTA	
MATERIA PRIMA	ACTIVO	%Masa	Masa T	%Masa	Masa T	%Masa	Masa T	%Masa	Masa T
Agua	100%	0,00%	245,31	0,00%	245,28	0,00%	245,33	0,00%	244,62
Ácido Sulfónico	98%	9,63%	28,90	9,63%	28,90	9,63%	28,90	9,63%	28,90
Soda Caustica Líquida	48%	2,42%	7,26	2,42%	7,26	2,42%	7,26	2,42%	7,26
Lauril Éter Sulf Sodio	70%	5,71%	17,12	5,71%	17,12	5,71%	17,12	5,71%	17,12
Uvasorb S5	98%	0,02%	0,06	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00
Cibafast	33%	0,00%	0,00	0,03%	0,09	0,00%	0,00	0,00%	0,00
Tinogard TL	93%	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,01%	0,03	0,00%	0,00
EDTA	100%	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,25%	0,75
Liquitint Royal	1%	0,00453%	1,36	0,00453%	1,36	0,00453%	1,36	0,00453%	1,36
		LABS + SLES Uvasorb S5 AGUAD		LABS + SLES Cibafast AGUAD		LABS + SLES Tinogard TL AGUAD		LABS + SLES EDTA AGUAD	
Agua Desionizada	100%	0,00%	122,62	0,00%	122,64	0,00%	122,67	0,00%	122,31
Ácido Sulfónico	98%	9,63%	14,45	9,63%	14,45	9,63%	14,45	9,63%	14,45
Soda Caustica Líquida	48%	2,42%	3,63	2,42%	3,63	2,42%	3,63	2,42%	3,63
Lauril Éter Sulf Sodio	70%	5,71%	8,56	5,71%	8,56	5,71%	8,56	5,71%	8,56
Uvasorb S5	98%	0,02%	0,06	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00
Cibafast	33%	0,00%	0,00	0,03%	0,05	0,00%	0,00	0,00%	0,00
Tinogard TL	93%	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,01%	0,02	0,00%	0,00
EDTA	100%	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,25%	0,38
Liquitint Royal	1%	0,00453%	0,68	0,00453%	0,68	0,00453%	0,68	0,00453%	0,68
		Agua Acu. LABS + SLES		Agua Acu. SLES		Agua Des. LABS + SLES		Agua Des. SLES	
Agua	100,00%	0,00%	122,68	0,00%	140,76	0,00%	122,68	0,00%	140,76
Ácido Sulfónico	98,00%	9,63%	14,45	0,00%	0,00	9,63%	14,45	0,00%	0,00
Soda Caustica Líquida	48,00%	2,42%	3,63	0,00%	0,00	2,42%	3,63	0,00%	0,00
Lauril Éter Sulf Sodio	70,00%	5,71%	8,56	5,71%	8,56	5,71%	8,56	5,71%	8,56
Liquitint Royal	1,00%	0,00453%	0,68	0,00453%	0,68	0,00453%	0,68	0,00453%	0,68
		LABS + SLES MGDA 1,2%		LABS + SLES MGDA 2,2%		LABS + SLES MGDA 3,2%		LABS + SLES MGDA 4,2%	
Agua	100%	0,00%	241,76	0,00%	119,38	0,00%	117,88	0,00%	116,38
Ácido Sulfónico	98%	9,63%	28,89	9,63%	14,45	9,63%	14,45	9,63%	14,45
Soda Caustica Líquida	48%	2,42%	7,26	2,42%	3,63	2,42%	3,63	2,42%	3,63
Lauril Éter Sulf Sodio	70%	5,71%	17,13	5,71%	8,57	5,71%	8,57	5,71%	8,57
MGDA	100,00%	1,20%	3,60	2,20%	3,30	3,20%	4,80	4,20%	6,30
Liquitint Royal	1,00%	0,00453%	1,36	0,00453%	0,68	0,00453%	0,68	0,00453%	0,68

**Figura 25.** Tercer Diseño Experimental.

El diseño con la materia prima TINOGARD TL fue descartado debido al aumento en la turbidez del detergente líquido. A continuación, se presenta la preparación de las propuestas finales (figura 26).



**Figura 26.** Preparación Tercer Diseño Experimental.

De acuerdo a las evaluaciones realizadas en horno y SUNTEST, se presentan a continuación las propuestas de formulación con respecto a las materias primas evaluadas (figura 27):

Materia Prima	%Masa
Agua	> 70%
Tensoactivo Aniónico	> 10%
SLES	5.71%
Viscosante	< 2%
Enzima	< 2%
Fragancia	< 2%
Conservante	< 2%
Colorante Liquitint Royal HF MC	0.00453%
Tensoactivo no Iónico	< 2%
Ayudante de Lavado	< 3%
<b>MGDA</b>	<b>2.20%</b>
Abrillantador Óptico	< 2%

Materia Prima	%Masa
Agua	> 70%
Tensoactivo Aniónico	> 10%
SLES	5.71%
Viscosante	< 2%
Enzima	< 2%
Fragancia	< 2%
Conservante	< 2%
Colorante Liquitint Royal HF MC	0.00453%
Tensoactivo no Iónico	< 2%
Ayudante de Lavado	< 3%
MGDA	1.20%
Abrillantador Óptico	< 2%
<b>Cibafast H Liquid</b>	<b>0.03%</b>

Materia Prima	%Masa
Agua	> 70%
Tensoactivo Aniónico	> 10%
SLES	5.71%
Viscosante	< 2%
Enzima	< 2%
Fragancia	< 2%
Conservante	< 2%
Colorante Liquitint Royal HF MC	0.00453%
Tensoactivo no Iónico	< 2%
Ayudante de Lavado	< 3%
MGDA	1.20%
Abrillantador Óptico	< 2%
<b>Uvasorb S5</b>	<b>0.02%</b>

Materia Prima	%Masa
Agua	> 70%
Tensoactivo Aniónico	> 10%
SLES	5.71%
Viscosante	< 2%
Enzima	< 2%
Fragancia	< 2%
Conservante	< 2%
Colorante Liquitint Royal HF MC	0.00453%
Tensoactivo no Iónico	< 2%
Ayudante de Lavado	< 3%
<b>MGDA</b>	<b>0.60%</b>
Abrillantador Óptico	< 2%
<b>EDTA</b>	<b>0.25%</b>

**Figura 27.** Propuestas de Ajuste Formulación.

### 13 Costos.

De manera simplificada, el desarrollo del proyecto no tiene costo alguno más allá del generado debido al tiempo invertido por parte del investigador. Sin embargo, a continuación, se presentan los costos directos (tabla 14), invertidos por parte de DERSA.

Es importante mencionar que los costos están proyectados sobre una posible implementación futura del producto, debido al ajuste en la formulación

**Tabla 14.** Costos Directos del Proyecto

Materia Prima	Costo MP (1 kg)	Consumo por Unidad en Gramos (1 kg de Producto Terminado)	Unidades por Hora (1 kg de Producto Terminado)	Costo/Hora Operario	Consumo Eléctrico/Hora	
Uvasorb S5	\$ 327,600.00	0.02	2500	\$ 5,746	\$ 20,000.00	
Cibafast H Liquid	\$ 320,800.00	0.03				
Tinogard TL	\$ 315,200.00	0.0106				
MGDA	\$ 22,325.00	2.2				
EDTA	\$ 14,000.00	0.25				
Costo Operario/Unidad	Consumo Eléctrico/Unidad	Producto	Costo Insumo/Unidad	Costo Unitario por MP	Unidades por Día	Costo por Día
\$ 2.2983	\$ 8.00	Uvasorb S5	\$ 6.55	\$ 16.8503	60000	\$ 1,011,020.00
		Cibafast H Liquid	\$ 9.62	\$ 19.9223		\$ 1,195,340.00
		Tinogard TL	\$ 3.34	\$ 13.6395		\$ 818,367.20
		MGDA	\$ 49.12	\$ 59.4133		\$ 3,564,800.00
		EDTA	\$ 3.50	\$ 13.7983		\$ 827,900.00

Los costos se calcularon de acuerdo al incremento que tendría el proceso de producción si se decide implementar la nueva materia prima. Se debe tener muy en cuenta que, si se opta por la no implementación de la mejora, el proceso productivo de DERSA no se verá afectado, por lo tanto, no se tiene en cuenta dentro del cálculo el costo de las demás materias primas.

Con respecto a los costos indirectos, si se decide implementar la nueva materia prima, es necesario realizar la modificación de la formulación frente al INVIMA. Sin embargo, ese sería el único costo indirecto derivado de la implementación de la nueva materia prima, puesto que, aunque no se implemente, DERSA seguirá con los mismos gastos referentes a nómina, impuestos, servicios y demás. Es decir, los gastos se mantienen con el paso del tiempo, incluso sin el desarrollo del proyecto.

Se podría considerar como capital de trabajo, el pago de nómina por parte de DERSA hacía el investigador, puesto que, fue la única inversión realizada antes del inicio del desarrollo del proyecto

## 14 Conclusiones

El presente proyecto permitió identificar factores clave que afectan la apariencia del producto, especialmente bajo la influencia de radiación UV y altas temperaturas. Entre los hallazgos más destacados se encuentra la relación directa entre la radiación UV y la degradación del colorante Liquitint Royal HF MC, evidenciada por un cambio de tonalidad de azul oscuro a azul claro y una disminución en su concentración, verificada mediante espectroscopia UV-VIS. Este fenómeno se atribuye a la fotooxidación de la estructura molecular del colorante, lo que

subraya la necesidad de incorporar agentes estabilizantes más efectivos, como protectores UV, en la formulación. Se destaca la inestabilidad del colorante en temperaturas altas ( $> 50^{\circ}\text{C}$ ).

Asimismo, se constató que el SLES también sufre degradación en estas condiciones, generando compuestos ácidos que disminuyen el pH del producto. Sin embargo, este proceso no compromete significativamente el desempeño del detergente en términos de limpieza y formación de espuma, lo que coincide con las observaciones de los consumidores, quienes perciben el cambio como un aspecto meramente estético. Se considera la posibilidad de la generación de alcoholes etoxilados, los cuales tienen propiedades tensoactivas, para futuros estudios.

Otro hallazgo significativo fue el impacto de los iones metálicos, especialmente el hierro presente en el agua del acueducto, en la estabilidad del color. En concentraciones específicas, estos iones generan tonalidades verdosas, lo que pone de manifiesto la necesidad de controlar la calidad del agua utilizada y de incluir agentes quelantes con propiedades antioxidantes, como el EDTA, en las formulaciones para mitigar estos efectos.

Se presentaron propuestas adecuadas de acuerdo a las diversas dificultades presentadas en la solidez del color de los detergentes líquidos DERSA. Se tiene en cuenta la información recopilada y corroborada en el presente informe frente a una posible implementación de las materias primas establecidas, como productos de línea.

## 15 Referencias.

- Tai Ho, L. T. (2000). *Formulating Detergents and Personal Care Products: A [complete] Guide to Product development*. AOCS Press.
- Missler, S. R., Vredevel, D. J., Westrate, E. D., Sliva, P. G., & Brouwer, S. J. (2013). Investigation of Color Instability in a Liquid Laundry Detergent. *Journal Of Surfactants And Detergents*, 17(5), 839-847. <https://doi.org/10.1007/s11743-013-1536-3>
- Nassau, K. (1987). The fifteen causes of color: The physics and chemistry of color. *Color Research & Application*, 12(1), 4-26. <https://doi.org/10.1002/col.5080120105>
- Sandoval, R. A. G., & Gómez, O. J. G. (2016). Desarrollo de un sistema de inventarios para el control de materiales, equipos y herramientas dentro de la empresa de construcción ingeniería sólida Ltda. Repositorio Unilibre. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/10901/9170/1/proyecto.pdf>

- CPC Scheme - C11D DETERGENT COMPOSITIONS; USE OF SINGLE SUBSTANCES AS DETERGENTS; SOAP OR SOAP-MAKING; RESIN SOAPS; RECOVERY OF GLYCEROL. (s. f.). <https://www.uspto.gov/web/patents/classification/cpc/html/cpc-C11D.html>
- DE BUZZACCARINI, F., QUESTEL, F. F. J., & VANWELSSENAERS, N. A. G. (1993). COLOR-STABILIZATION SYSTEM IN LIQUID DETERGENT COMPOSITIONS (Patent N.o 2122986). [https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CA93797477&\\_cid=P22-M12E7V-95192-1](https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CA93797477&_cid=P22-M12E7V-95192-1)
- How can i perform Color stability test on detergents without an actual lab - Chemists Corner. (2023, 2 abril). Chemists Corner. [https://chemistscorner.com/cosmeticsciencetalk/discussion/how-can-i-perform-color-stability-test-on-detergents-without-an-actual-lab/#google\\_vignette](https://chemistscorner.com/cosmeticsciencetalk/discussion/how-can-i-perform-color-stability-test-on-detergents-without-an-actual-lab/#google_vignette)
- Knehr, E. (2008). Maintaining Color Stability. FOOD PRODUCT DESIGN, 15(8). <https://www.foodproductdesign.com>
- Korkmaz, T. (2022). The Effect of Different Additives on the Activity and Stability of Enzymes Used in the Detergent Industry [Tesis doctoral, Marmara Universitesi]. <https://www.proquest.com/openview/a8e5c46d0dbe77538fb2137da985f325/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- Hendrikse, R. L., Bayly, A. E., & Jimack, P. K. (2022). Studying the Structure of Sodium Lauryl Ether Sulfate Solutions Using Dissipative Particle Dynamics. The Journal Of Physical Chemistry B, 126(40), 8058-8071. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.2c04329>
- Zumpano, R., Del Giudice, A., Resta, S., D'Annibale, A., Sciubba, F., Mura, F., Parisi, G., Di Gregorio, M. C., & Galantini, L. (2024). Sodium lauryl ether sulfates, pivotal surfactants for formulations: rationalization of their assembly properties. Colloids And Surfaces A Physicochemical And Engineering Aspects, 686, 133375. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.133375>
- Quantotec. Color y luz. colorimetria. Copyright 2024 Quantotec. <https://www.quantotec.com/sp/Colorimetria.htm>

- Carbajal Moreno, M. del C. (2018). Diseño del estudio de estabilidad para el cloruro de benzalconio en solución al 50% [Tesis profesional]. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Karsa, D. R., & Porter, M. R. (2014). Surfactants in detergents. Springer.
- Smulders, E. (2002). Laundry detergents: Chemistry, formulation, and performance. Wiley-VCH.
- Showell, M. S. (2017). Handbook of detergents: Part D: Formulation. CRC Press.
- van Ee, J. H., & Berends, W. (2020). Enzymes in detergents: Current research and applications. Elsevier.
- Johnson, C. & Turner, A. (2020). The science of color in consumer products. Wiley.
- Cox, M. (2016). Journal of Surfactants and Detergents at 20: Reflections from Michael F. Cox, the First Editor-in-Chief. *Journal Of Surfactants And Detergents*, 20(1), 1-2.  
<https://doi.org/10.1007/s11743-016-1917-5>
- Patel, M., & Kumar, V. (2019). Degradation Mechanisms of Colorants in Liquid Detergents. *Coloration Technology*, 135(2), 125-132. <https://doi.org/10.1111/cote.12477>
- Ng, D., Acharya, D., Wang, X., Easton, C. D., Wang, J., & Xie, Z. (2021). Low temperature SCR of NO<sub>x</sub> over Mn/Fe mixed oxides catalyst: comparison of synthesis methods. *Journal Of Chemical Technology & Biotechnology*, 96(9), 2681-2695.  
<https://doi.org/10.1002/jctb.6816>
- Wahyuningsih, S., Wulandari, L., Wartono, M. W., Munawaroh, H., & Ramelan, A. H. (2017). The Effect of pH and Color Stability of Anthocyanin on Food Colorant. *IOP Conference Series Materials Science And Engineering*, 193, 012047.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899x/193/1/012047>
- Longuet, C., Coq, B., Durand, R., Finiels, A., Geneste, P., & Mauvezin, M. (2005). Oligomer model to explain the coloration of TEA and discoloration catalytic treatment. *Journal Of Molecular Catalysis A Chemical*, 234(1-2), 59-62.  
<https://doi.org/10.1016/j.molcata.2005.02.016>

- Yano, H., Noda, A., Hukuhara, T., & Miyazawa, K. (1997). Generation of Maillard-type compounds from triethanolamine alone. *Journal Of The American Oil Chemists Society*, 74(7), 891-893. <https://doi.org/10.1007/s11746-997-0234-6>
- Resnikoff, H. L. (1974). Differential geometry and color perception. *Journal Of Mathematical Biology*, 1(2), 97-131. <https://doi.org/10.1007/bf00275798>
- Martínez, E. (2024, marzo 6). Fallos de decoloración - ATRIA Innovation. *ATRIA Innovation*. <https://atriainnovation.com/blog/guia-de-fallos-de-decoloracion/>
- Agustí, E. (2006). *La geometria del color. Lectures des de l'abstracció* [Tesis Doctoral, UNIVERSITAT DE BARCELONA]. <http://hdl.handle.net/10803/672083>
- Wuerger, S. M., Maloney, L. T., & Krauskopf, J. (1995). Proximity judgments in color space: Tests of a Euclidean color geometry. *Vision Research*, 35(6), 827-835. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)00170-q](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)00170-q)
- Velarde Laos, E., González, A., & Pontificia Universidad Católica del Perú. (1996). EL COLOR Y SU CONSTITUCION QUIMICA. *Revista de Química*, 10(2). <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5039>
- De Mendoza, J. (2019). Los colores de los átomos. *Anales de Química*, 115(1), 46. <https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/download/1173/1726>
- García Montoya, E. (2001). Optimización, validación y modelización de un proceso de fabricación de comprimidos. Desarrollo de una aplicación interactiva multimedia [Tesis doctoral, Universitat de Barcelona]. <https://www.tdx.cat/bitstream/10803/1608/2/TOL82B.pdf>
- Detergentes Ltda. [DERSA]. (2021). Reporte de Estabilidad - Proyecto Índigo.
- Detergentes Ltda. [DERSA]. (2022). Reporte de Estabilidad - Proyecto Yerbabuena.



