

**PROPUESTA DE UNA FORMULACIÓN TEÓRICA DE PINTURA BASE ACEITE**

**ANDRÉS SEBASTIÁN BECERRA ROJAS  
JUAN CAMILO CASTILLO MONTERROSA**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de  
Ingeniero Químico**

**Director  
Felipe Correa Mahecha  
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTA DC**

**2021**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

IQ. Felipe Correa Mahecha  
Firma del Director

---

Nombre  
Firma del Presidente Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

Bogotá D.C. Febrero de 2021

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de investigaciones

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de la Facultad de Ingeniería

Dr. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director de Programa de Ingeniería Química

Dr. Nubia Liliana Becerra Ospina

## DEDICATORIA

Principalmente a mi madre, la mujer que me ha guiado desde siempre, por quien he logrado ser quien soy ahora. A mi padre, que desde muy pequeño me enseñó el sentido de la curiosidad y de nunca dejar de aprender y preguntar. A mis abuelos, quienes siempre me llenaron de su sabiduría. A mi novia, en quien halle un soporte en los momentos más duros de esta investigación. A todos ustedes muchas, pero muchas gracias.

*Sebastián Becerra.*

Quiero agradecer a mi familia por creer en mi desde pequeño y apoyarme constantemente a pesar de todo. A mis hermanos putativos, que han estado conmigo desde que tengo memoria, acompañándome en cada paso que he dado, cayéndonos, levantándonos y creciendo juntos. Por último, a mi abuela, que estuvo siempre ahí desde lo lejos y ahora más que nunca, cada logro mío es de ella. Gracias a todos.

*Camilo Castillo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer al ingeniero Felipe Correa, por confiar en nosotros desde el inicio de la investigación, el cual siempre nos guio en la elaboración de este trabajo con sus consejos, recomendaciones y, sobre todo, enseñanzas. A los ingenieros Henry Garzón y José Medina, por su colaboración al inicio de la investigación. Y a todos los que directa o indirectamente aportaron en el camino final de nuestra formación como ingenieros. A todos muchas gracias.

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 a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS	13
1. GENERALIDADES	14
1.1. Planteamiento del problema	14
1.2. Metodología	15
1.3. Introducción a las pinturas	16
1.3.1. <i>Componentes de una pintura</i>	16
1.4. Técnicas de caracterización de pinturas	23
1.4.1. <i>Cromatografía de capa fina</i>	24
1.4.2. <i>Cromatografía líquida de alto rendimiento</i>	25
1.4.3. <i>Cromatografía de gases</i>	26
1.4.4. <i>Espectroscopía infrarroja por Transformada de Fourier</i>	27
1.5. Propiedades de las pinturas	29
1.5.1. <i>Reología</i>	29
1.5.2. <i>Solubilidad</i>	30
1.6. Marco legal	33
2. SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS	35
2.1. Compuestos usados actualmente en el mercado	35
2.2. Materias primas seleccionadas	37
2.2.1. <i>Selección de disolventes</i>	38
2.2.2. <i>Selección de pigmentos</i>	39
2.2.3. <i>Selección de aditivos</i>	40
3. ESTABLECIMIENTO DE LA FORMULACIÓN, PRUEBAS DE SOLUBILIDAD Y ANÁLISIS AMBIENTAL	43
3.1. Prueba de solubilidad	44
3.2. Análisis de ciclo de vida	48

<b>4. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA FORMULACIÓN</b>	<b>52</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>60</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Reacción general de síntesis de las resinas alquídicas	18
Figura 2. Formas de los pigmentos	23
Figura 3. Montaje para TLC	24
Figura 4. Factor de retardo	25
Figura 5. Montaje de columna cromatográfica para HPLC	26
Figura 6. Cromatógrafo de gases	27
Figura 7. Ejemplo de gráfica de FTIR	28
Figura 8. Curva de fluidez y de viscosidad de un fluido tixotrópico	29
Figura 9. Posibles estructuras de los pigmentos en las pinturas	30
Figura 10. Diagrama de solubilidad de Hansen	32
Figura 11. Diagrama de flujo para el primer objetivo específico	35
Figura 12. Diagrama de flujo para el segundo objetivo específico	43
Figura 13. Gráfico 3D de los parámetros de Hansen del aceite de coco y los disolventes	46
Figura 14. Gráfico 3D de los parámetros de Hansen del aceite de palma y los disolventes	47
Figura 15. Gráfico de cambio climático	50
Figura 16. Gráfico de ecotoxicidad terrestre	50
Figura 17. Gráfico de acidificación	51
Figura 18. Diagrama de flujo para el tercer objetivo específico	52
Figura 19. Volumen de control para la elaboración de la pintura formulada	53

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Clasificación de resinas según su peso molecular	18
Tabla 2. Cromóforos fuertes	19
Tabla 3. Cromóforos débiles	20
Tabla 4. Auxocromos más comunes	20
Tabla 5. Tabla de disolventes	36
Tabla 6. Tabla de resinas	36
Tabla 7. Tabla de pigmentos	36
Tabla 8. Tabla de aditivos	37
Tabla 9. Tabla de materias primas preliminares de la formulación	41
Tabla 10. Formulación general de una pintura base aceite con resina alquídica	43
Tabla 11. Tabla resumen de la formulación general de una pintura base aceite con resina alquídica	44
Tabla 12. Parámetros de interacción para el aceite de linaza, coco y palma	45
Tabla 13. Tabla de disolventes y su codificación	46
Tabla 14. REM de las combinaciones viables	47
Tabla 15. Resumen de las formulaciones a analizar	48
Tabla 16. Formulaciones ingresadas dentro del software LCA	49
Tabla 17. Precios de las materias primas	52
Tabla 18. Precios definitivos de la materia prima	53
Tabla 19. Comparación de los costos de las materias primas entre las tres formulaciones	54

## RESUMEN

En el presente trabajo de grado se propone un diseño teórico de una formulación de pintura base aceite. La idea es incursionar en un mercado nuevo, con proyecciones positivas. El gran cambio que se realiza en la presente formulación es la implementación de productos menos nocivos para la salud humana y el medio ambiente, sustituyendo parte de la formulación de las pinturas base aceite presentes en el mercado; la selección de los materiales a sustituir se hará con el criterio de toxicidad o peligrosidad para el ser humano y/o el medio ambiente, búsqueda basada en la base de datos de la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (EChA), de igual manera los compuestos de la formulación planteada serán validados con dicha base de datos, a su vez que con la lista de estupefacientes dictada por la Policía Nacional de Colombia y el Ministerio de Justicia Nacional; para finalmente evaluar financieramente el producto, para ver la viabilidad en el mercado.

**PALABRAS CLAVES:** Pinturas base aceite, Caracterización, Formulación, Medio Ambiente, Eco amigable

## INTRODUCCIÓN

El mercado actual de las pinturas [1] se divide en dos grandes grupos, las pinturas en base agua, usadas para interiores, y las base aceite, usadas para exteriores, con énfasis en estructuras metálicas y de madera. Con respecto a las pinturas en base aceite, en su formulación presentan compuestos nocivos tanto para la salud humana como para el medio ambiente, ejemplo de esto es la trementina o el xileno, donde sus vapores son inflamables, son mortales en caso de ingesta y penetración en las vías respiratorias, y en los cuerpos acuíferos son nocivos para sus organismos, con efecto duradero. Con esta investigación se busca aminorar el impacto en la salud humana y el medio ambiente de las pinturas base aceite, modificando la formulación actual con compuestos menos peligrosos, usando como criterios de selección la normativa EChA (Agencia Europea de Químicos, por sus siglas en inglés), la resolución 0315 del 2020 dictada por el Ministerio de Salud de Colombia donde se estipula la lista de estupefacientes. Este proceso se lleva a cabo para añadir al mercado un producto innovador, mercado que presenta proyecciones positivas en los años venideros; es así como para el año 2020 [2] el mercado de las pinturas base aceite es de 8.342 millones de dólares y pronostica que para el 2025 el mismo tendrá ganancias de 11.011 millones de dólares; en el contexto nacional, en el intervalo de 2001 al 2014 [1] el mercado de las pinturas pasó de 535.588 millones a 956.829 millones de pesos colombianos, de los cuales las pinturas base aceite tuvieron en promedio una participación del 24%.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Desarrollar una propuesta de una formulación de pintura base aceite.

### **Objetivos específicos**

- Seleccionar las materias primas para la formulación de la pintura base aceite.
- Establecer la formulación adecuada de la pintura base aceite basada en criterios de selección.
- Analizar los costos de formulación de la pintura base aceite partiendo de las materias primas seleccionadas.

## 1. GENERALIDADES

El objetivo de esta investigación es plantear una alternativa a las actuales formulaciones de pinturas base aceite, las cuales emplean sustancias potencialmente peligrosas para el consumidor final y para el medio ambiente, como el dióxido de titanio en el caso de los pigmentos, y la trementina y el xileno por parte de los disolventes, además de que estos disolventes están catalogados como productores de compuestos orgánicos volátiles (VOC por sus siglas en inglés).

### 1.1. Planteamiento del problema

En caso de no tomar la decisión de incursionar con un nuevo producto, se escapa la oportunidad de participar en un sector del mercado que actualmente presenta balances positivos, proyectando ingresos mundiales de 11'011 millones de dólares para 2025.

Se propone la formulación de una pintura en base aceite, que a diferencia de los productos actuales, no tengan entre sus compuestos materias primas que puedan acarrear problemas para la salud humana y el medio ambiente, pero sin afectar la funcionalidad de la misma, determinando sustitutos sin regulaciones nacionales y que no afecten al consumidor final, logrando un producto con las mismas propiedades colorimétricas y reológicas, pero con un factor diferenciador de ser amigable con el medio ambiente y ser formulada desde una perspectiva teórica, aplicando parámetros de solubilidad, análisis medio ambientales como el de ciclo de vida, logrando abarcar varios puntos de vista.

Lo anterior lleva a que la investigación dé respuesta a las siguientes interrogantes:

¿Qué materias primas se están usando para la formulación de las pinturas en base aceite en el mercado actual?

¿Cómo se caracterizarán las pinturas en base aceite para conocer los compuestos potencialmente peligrosos para la salud humana y el medio ambiente?

¿Cómo se hará la formulación de la pintura en base aceite sin los compuestos actuales?

¿Qué propiedades tendrá la formulación propuesta?

¿Qué impacto financiero presenta el uso de las materias primas seleccionadas?

## 1.2. Metodología

La presente investigación se denota como de indagación teórica cuantitativa, en donde se realizará la siguiente metodología:

- *Primer paso:* Caracterizar por medio de fichas técnicas las pinturas en base aceite que están actualmente en el mercado, identificando así los productos que representen un peligro potencial para la salud humana y el medio ambiente. Estos compuestos se sustituyen por unos que tengan la misma funcionalidad, pero sin las afectaciones nombradas anteriormente.
- *Segundo paso:* Por medio del diseño computacional de productos químicos y empleando los parámetros de solubilidad de Hansen, se obtendrá, de manera teórica, la mezcla de resina polimérica y disolvente que presente una mejor interacción. La selección de esta herramienta teórica es por la facilidad de predecir el comportamiento del vehículo de una pintura, el cual, al presentar un equilibrio líquido-líquido, es de compleja modelación por medio de herramientas matemáticas, como las ecuaciones de estado [3]. Haciendo uso de dichos parámetros se plantearán tres posibles formulaciones, a las cuales se les realizará un análisis de ciclo de vida y de huella de carbono por medio del software libre open LCA, el cual tiene inherente en sí las normas ISO 14040, ISO 14044 e ISO 14067, contemplando así el aspecto ambiental en las formulaciones.
- *Tercer paso:* Analizar los costos relacionados a la materia prima, resolviendo balances de materia para el volumen de control de un mezclador, obteniendo la cantidad en masa necesaria, y de igual manera los costos por cada una de las cantidades por componente, para las formulaciones planteadas; que, al compararlos

con costos por materia prima de otras formulaciones iguales o similares, se observará la viabilidad financiera de las propuestas.

### **1.3. Introducción a las pinturas**

Para saber cómo formular una pintura, se debe partir del conocimiento de lo que es una pintura y sus componentes; en la literatura se encuentran definiciones de pinturas, las cuales todas convergen al mismo punto, se entiende como pintura como una mezcla de uno o varios disolventes, los cuales, en conjunto con un formador de película o resina polimérica, forman el vehículo de la misma, solubilizando y/o transportando el pigmento, o colorante, y los aditivos, para así, a la hora de usar la pintura esta se agregue al soporte como una película uniforme. A continuación, se explican cada uno de los componentes de una pintura.

#### **1.3.1. Componentes de una pintura**

*1.3.1.a. Disolventes:* Son las sustancias, dentro de la formulación, que solubilizan todos los demás compuestos de la pintura. Son compuestos orgánicos con bajo peso molecular, los cuales se pueden dividir en disolventes oxigenados, como las cetonas, los alcoholes, o hidrocarburos, como los aromáticos o alifáticos [4].

Añadido a esto, reduce la viscosidad de la pintura, siendo un factor crítico a la hora de aplicarla en un sustrato, controlando su flujo, logrando de esta manera una película de la mejor calidad posible. Muy rara vez es usado un solo disolvente en la formulación, dado que se emplean mezclas de disolventes compatibles entre sí, esto con el fin de mejorar la tasa de evaporación de la pintura, sin modificar negativamente la solubilidad de los demás compuestos en la mezcla, pero, se debe tener en cuenta que los co-disolventes no se añaden para solubilizar la resina.

Para lograr una compatibilidad se deben tener en cuenta diversos factores de mezcla, el primero de ellos es la polaridad de los disolventes; con respecto a esa propiedad se define como la atracción desigual de los electrones, este valor es indicado como la diferencia en los valores de electronegatividad de los átomos que lo constituyen. Con

esta definición se pueden diferenciar dos grandes grupos de disolventes, los que no presentan diferencia en la electronegatividad de los átomos (Apolares o No Polares) y los que presentan diferencia en su electronegatividad (Polares).

Además de estos factores, un disolvente debe cumplir con las siguientes características [5].

- No debe disolver o degradar el pigmento.
- Debe disolver la resina.
- Debe ser compatible con el sistema que permite la aplicación de la pintura.

Como ya se había anotado, el objetivo del disolvente es solubilizar la resina. Esta capacidad depende de las interacciones intermoleculares entre el disolvente (fase líquida) y las moléculas en dispersión de la resina. Estas mismas fuerzas dependen de la miscibilidad de la resina en el disolvente; dichas fuerzas son: Las fuerzas de London, o de dispersión, las fuerzas polares y la fuerza de los puentes de hidrógeno; fuerzas que se explicaran más adelante a profundidad.

*1.3.1.b. Formadores de película:* El formador de película o resina polimérica es, dentro del vehículo, el encargado de crear la base de la película continua, creando una capa protectora en donde se aplique la pintura [4]. Además, se encarga de transportar el color en la mezcla, impartido por pigmentos o colorantes, es el responsable de propiedades fundamentales como el brillo, flexibilidad y adhesión de la película. Al ser compuestos poliméricos se clasifican en resinas de bajo y alto peso molecular, la diferencia entre estas es que las resinas de bajo peso molecular no generan películas resistentes a menos que ocurra una reacción química en su proceso de secado, como la interacción con rayos UV, caso diferente a las resinas de alto peso molecular, las cuales generan películas resistentes sin la necesidad de reaccionar en su fase de secado, algunos ejemplos de esta clasificación se observan en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Clasificación de resinas según su peso molecular.*

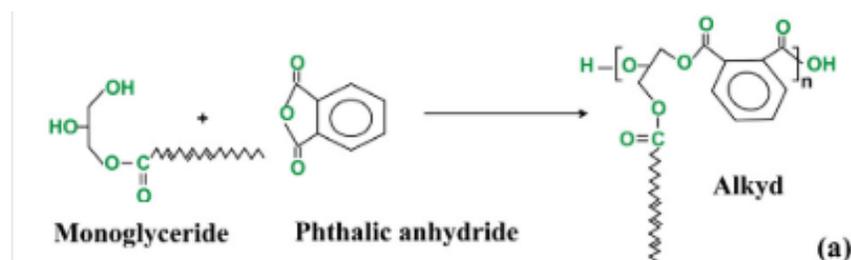
Bajo peso molecular	Alto peso molecular
Aglutinantes oleoresinosos	Nitrocelulosa
Alquídicas	Soluciones vinílicas
Poliuretanos	Soluciones acrílicas
Aceites de uretano	Polímeros en dispersión no acuosa (NAD)
Resinas amino	Acetato de polivinilo (PVA)
Resinas fenólicas	Látex Acrílicas
Resinas epoxídicas	Estireno/butadieno
Poliésteres insaturados	
Caucho clorado	

**Nota.** Ejemplos de resinas clasificadas por su peso molecular. Tomado de: R. Lambourne and T. A. Strivens, *Paint and surface coatings. Theory and Practice R LAMBOURNE and T A STRIVENS.* England, 1999

Como en la presente investigación se empleará un aceite vegetal como formador de película, se hará énfasis en las resinas alquídicas, las cuales se producen con polioles, un ácido multifuncional como el ácido ftálico, formando el polímero por la ruta de policondensación, reacción que se puede ver en la figura 1.

**Figura 1.**

*Reacción general de síntesis de las resinas alquídicas*



**Nota.** Representación de una reacción general de síntesis de resinas. Tomado de: M. Alam, D. Akram, E. Sharmin, F. Zafar, and S. Ahmad, "Vegetable oil based eco-friendly coating materials: A review article," *Arab. J. Chem.*, vol. 7, no. 4, pp. 469–479, 2014, doi: 10.1016/j.arabjc.2013.12.023 .

Las resinas alquídicas [6] presentan buena retención del brillo, durabilidad y resistencia al clima, pero una baja resistencia a los químicos, y que al ser una resina de bajo peso molecular, se requiere de la adición de un agente de secado, producto del que se hablará más a profundidad en el numeral e de esta sección.

1.3.1.c. *Colorante*: Son compuestos que, al igual que los pigmentos, dan color a la pintura, con la diferencia de que son solubles en el vehículo; debido a esto, para generar la película, el colorante y el sustrato deben tener afinidad entre sí, ya que el colorante es absorbido por el sustrato, además de pasar a ser parte del propio sustrato dado que interactúa con la superficie del mismo.

El color expresado depende de cuánta luz absorbe, lo cual depende de su propia estructura química, en donde se dividen en dos grandes grupos [7]:

- *Cromóforos*: Son grupos funcionales orgánicos, o arreglo de átomos, que determinan el color del colorante. A este grupo se puede dividir en dos subgrupos, los cromóforos fuertes, en donde su sola presencia imparte color a la sustancia, y los débiles en donde se requiere un aglomerado de ellos para generar color, algunos ejemplos se observan en las tablas 2 y 3:

**Tabla 2.**

*Cromóforos fuertes.*

Nombre	Cromóforo
Quinoide	
Azo	- N = N -
Nitroso	- N = O

**Nota.** Ejemplos de cromóforos fuertes. Tomado de: J. F. Hernandez P., Estudio de pigmentos por medio de microscopia electronica, tesis mast., Facultad de ingenierias, Universidad Autonoma de Nuevo Leon, México, 1999. [En línea]. Disponible: [Estudio de pigmentos por medio de microscopía electrónica \(uanl.mx\)](#)

**Tabla 3.***Cromóforos débiles.*

Nombre	Cromóforos
Doble enlace carbono-carbono	$\text{>C}=\text{C}<$
Compuestos nitro	$-\text{NO}_2$
Aldehídos, cetonas, ésteres	$\text{>C}=\text{O}$

**Nota.** Ejemplos de cromóforos fuertes. Tomado de: J. F. Hernandez P., Estudio de pigmentos por medio de microscopia electronica, tesis mast., Facultad de ingenierias, Universidad Autonoma de Nuevo Leon, México, 1999. [En línea]. Disponible: [Estudio de pigmentos por medio de microscopía electrónica \(uanl.mx\)](#)

- *Auxocromos:* Son grupos funcionales que no generan color, pero que al estar presentes en la estructura del colorante, pueden variar el color y/o la intensidad del mismo, donando electrones al cromóforo, variando la interacción del colorante con la luz. Algunos ejemplos se pueden observar en la siguiente tabla.

**Tabla 4.***Auxocromos más comunes.*

Nombre	Auxocromos
Hidroxilo	$-\text{OH}$
Amina primaria	$-\text{NH}_2$
Amina secundaria	$-\text{NHR}$
Amina terciaria	$-\text{NR}_2$
Sulfónico	$-\text{SO}_3\text{H}$
Carboxilo	$-\text{COOH}$

**Nota.** Ejemplos de cromóforos fuertes. Tomado de: J. F. Hernandez P., Estudio de pigmentos por medio de microscopia electronica, tesis mast., Facultad de ingenierias, Universidad Autonoma de Nuevo Leon, México, 1999. [En línea]. Disponible: [Estudio de pigmentos por medio de microscopía electrónica \(uanl.mx\)](#)

Para que un colorante sea de interés comercial, se requiere que tenga una alta intensidad de color además de ofrecer un teñido con algo de permanencia en el sustrato, dado que los colorantes no poseen una alta resistencia a la luz ni al agua.

*1.3.1.d. Pigmento:* La definición aceptada de pigmentos la da la CPMA (Asociación de fabricantes de pigmentos de color, por sus siglas en inglés) afirmando que es toda partícula coloreada, blanca, negra o fluorescente, sólida que es insoluble en el vehículo o sustrato en donde es incorporado. Su apariencia (color) depende de la absorción selectiva y/o dispersión de la luz. Al no ser soluble en el vehículo, los pigmentos al ser aplicados sobre el sustrato crean una capa de las diminutas partículas (en ciertos casos de tamaños menores a un micrómetro) las cuales solucionan el problema de inestabilidad y la baja resistencia a la luz solar que presentan los colorantes, resultando en un material que presenta estabilidad tanto a la luz solar como al agua [5], motivo por el cual, las formulaciones de pinturas optan, la gran mayoría de la veces, en usar pigmentos.

En este sentido, un pigmento debe ser químicamente inerte, libre de sales solubles en el vehículo, no-tóxicos, no corrosivos, además de tener la mayor resistencia al ambiente posible [8].

Para la selección del pigmento, algunas de las características que se deben evaluar suelen ser [8]:

- *Poder de cobertura:* La capacidad de la pintura de ocultar otra capa de color subyacente a ella. Dado que los pigmentos son partículas sólidas, evitan que pase la luz a través de ellas.
- *Poder de teñido:* Para obtener un color pastel deseado, se mezcla el pigmento blanco con uno coloreado; a la cantidad de pigmento coloreado que se deba añadir al blanco para obtener el color deseado se le conoce como poder de teñido.
- *Índice de refracción:* Cuando la luz golpea la película pigmentada, parte del haz de luz entra a la película, mientras la otra parte choca y “rebota” con las partículas, a este fenómeno se le conoce como refracción; el índice de refracción determina cuánto del haz de luz es reflejado por el material, por eso mismo, los pigmentos blancos

tienen un índice de refracción mayor que los coloreados, teniendo un mayor poder de cobertura.

- *Resistencia a la luz:* Dependiente de su propia composición química, la resistencia a la luz es la capacidad del pigmento de resistir a los cambios causados por la luz solar o los humos industriales, dado que estos factores pueden alterar los enlaces del pigmento, cambiando su color, oscurecerse e incluso desvanecerse.
- *Características de sangrado:* Debido a que algunos pigmentos son solubles en disolventes orgánicos, y ligeramente solubles en disolventes polares como alcoholes, por lo que si la película entra en contacto con dicho disolvente puede ocurrir el proceso de sangrado, en donde la película pigmentada se decolora.
- *Tamaño y forma de la partícula:* Esta característica es responsable de dar las propiedades reológicas de las tintas, como el brillo y la facilidad de dispersión; se pueden clasificar en partículas primarias, en donde las partículas están bien definidas como cuerpos individuales; agregados, en donde las partículas primarias se juntan y hacen estructuras cristalinas; y aglomerados, cuando partículas primarias se unen a las esquinas de los agregados creando una masa más grande.

Usualmente, al hablar del tamaño del pigmento, se habla sobre la partícula primaria, siendo un factor importante para determinar el desempeño de la aplicación de la pintura.

Con respecto a la clasificación, los pigmentos se dividen en dos grandes grupos: orgánicos e inorgánicos; los pigmentos inorgánicos son lo que se constituyen en óxidos, sulfuros, silicatos, sulfatos o carbonatos. Estos a su vez se dividen en cuatro subgrupos: blancos, como el dióxido de titanio, negros, como el negro de humo, coloreados y especiales. Los pigmentos orgánicos, por su parte, son sintetizados del petróleo, y gas natural, y debido a los grupos funcionales orgánicos en su estructura, presentan una absorción selectiva hacia la luz lo cual se ve reflejado en el color del pigmento. Estos, a diferencia de los pigmentos inorgánicos, tienen un menor poder de cobertura, pero una mejor intensidad de color y de brillo.

Además de esto, al no estar en solución con el vehículo de la formulación, los pigmentos se mantienen en una solución coloidal en el vehículo, conservando su forma

que, generalmente, son cuatro posibles, esféricas, cúbicas, a modo de agujas y a forma de plaquetas.

## Figura 2.

*Formas de los pigmentos.*



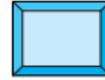
Spheres



Cubes



Needles



Platelets

**Nota.** Diferentes formas que puede tomar un pigmento. Tomado de: T. F.

Tadros, "4. Interfacial aspects of paints and coatings," in *Interfacial*

*Phenomena and Colloid Stability*, 2015

De estas formas dependen las características reológicas de la formulación, tema abordado en la sección 1.4.1.

1.3.1.e. *Aditivos*: Son compuestos que, aunque no sobrepasan, generalmente, el 5% de la composición de la pintura, son responsables de mejorar o modificar ciertas propiedades de la misma. Los aditivos afectan tanto la tinta líquida dentro del cuerpo impresor, como la propia película seca.

Para adicionar cualquier aditivo [9], antes se debe conocer qué propiedad se quiere variar, mejorar o incluso eliminar en la formulación, y entender que interacción hará el aditivo con las demás materias primas de la formulación, debido a esto los aditivos se subdividen en tres grupos, dependiendo qué realizan en la formulación:

- *Afectar propiedades inertes*: Como los dispersantes de pigmentos, agentes de secado, y catalizadores.
- *Afectar propiedades deseadas*: Modificadores reológicos, biocidas, promotores de adhesión.
- *Eliminar propiedades indeseadas*: Agentes anti escamadores, antiespumantes.

## 1.4. Técnicas de caracterización de pinturas

Desde la invención de la pintura en las prehistóricas cuevas de España y Francia, la composición de estas ha ido evolucionando a lo largo de los años, en donde se ha llegado

a un punto en el que las pinturas son una mezcla compleja de químicos que dan y modifican propiedades para obtener un producto con mejor rendimiento. Dada la actual complejidad de las pinturas, se ha creado de igual manera la necesidad de saber qué compuestos dan dichas propiedades, naciendo así la caracterización de las pinturas.

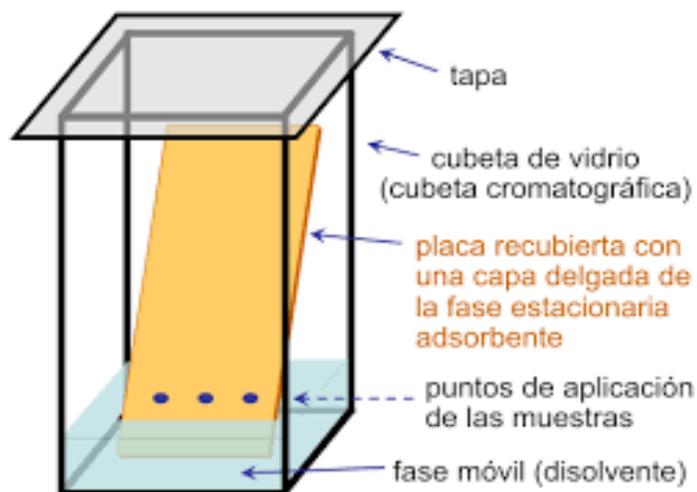
Existen diferentes técnicas de análisis de pinturas y tintas [10], unas más ampliamente utilizadas que otras, pero que dan una buena idea de la propia composición de la muestra analizada, la técnica de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier será abordada a mayor detalle dado que presenta buenos resultados con un bajo costo de operación y sin ser una técnica invasiva a la muestra.

#### 1.4.1. Cromatografía de capa fina (TLC)

Es una de las técnicas más ampliamente usadas, fácil de usar, pero que da resultados simples. Consiste en el uso de dos fases, una estacionaria, la muestra a analizar, y una móvil, un disolvente que tenga afinidad con los compuestos de la fase estacionaria.

**Figura 3.**

*Montaje para TLC.*

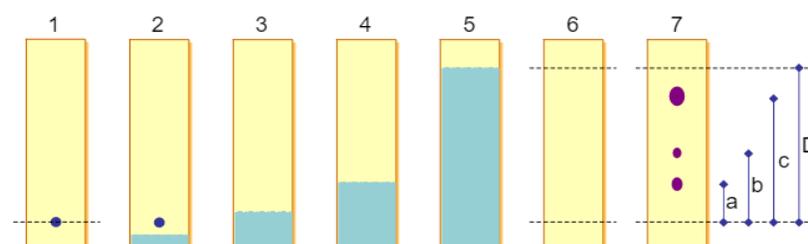


**Nota.** En la figura se describen las secciones que componen un montaje TLC. Tomado de: A. Herráez, Biomodel, Universidad de Alcalá, España, [En línea] Disponible: <http://biomodel.uah.es/tecnicas/crom/inicio.htm>

Como se ve en la figura 3, la fase estacionaria se sitúa en la parte inferior de una placa absorbente, esto con el fin de que la fase móvil haga un leve contacto con el inferior de la placa que contiene la fase estacionaria. Con esto se logra que la fase móvil ascienda por la placa hasta “chocar” con la fase estacionaria, dividiéndola en sus componentes, lo cual depende de la afinidad de los mismos con la fase móvil, siendo visible un corrimiento ascendente de la muestra inicial.

**Figura 4.**

*Factor de retardo*



**Nota.** Distancias recorridas por la muestra en una fase móvil. Tomado de: A. Herráez, Biomodel, Universidad de Alcalá, España, [En línea] Disponible: <http://biomodel.uah.es/tecnicas/crom/inicio.htm>

Este corrimiento se relaciona con el factor de retardo que es la razón entre la distancia recorrida por la fase estacionaria y la recorrida por el disolvente; tomando en cuenta la figura 4, vendría siendo la razón entre las distancias a, b o c, con la distancia D. Cuanto más ha sido la distancia recorrida por la muestra, menor es su afinidad con la fase móvil.

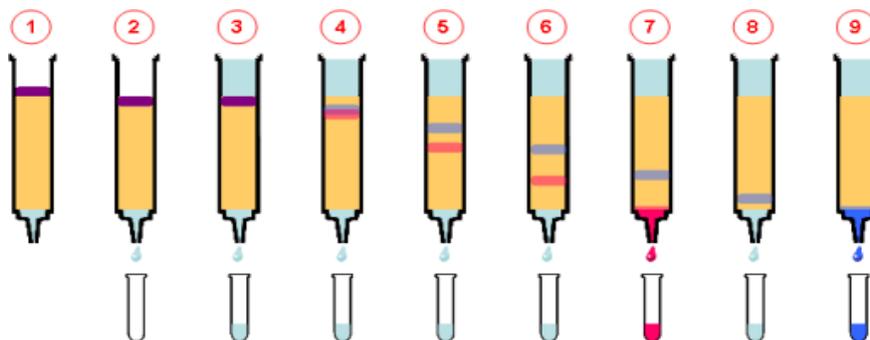
#### **1.4.2. Cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC)**

Al igual que la técnica de TLC, el HPLC cuenta con dos fases, una estacionaria y una móvil, la diferencia radica en que la fase móvil fluye a lo largo de una columna bajo presión, y la fase estacionaria que consta de pellets de sílice con tamaños alrededor de los 3-10  $\mu\text{m}$  almacenados en la columna mencionada anteriormente; en dichos pellets la muestra es inyectada.

Al momento de bombear la fase móvil en la columna, la interacción entre el disolvente, o mezcla de disolventes, con la fase móvil, los diferentes compuestos de la muestra a analizar se separan por dicha interacción, como se muestra en la figura 5.

**Figura 5.**

*Montaje de columna cromatográfica para HPLC*



**Nota.** Secuencia de separación de los diferentes compuestos. Tomado de:  
A. Herráez, Biomodel, Universidad de Alcalá, España, [En línea] Disponible:  
<http://biomodel.uah.es/tecnicas/crom/inicio.htm>

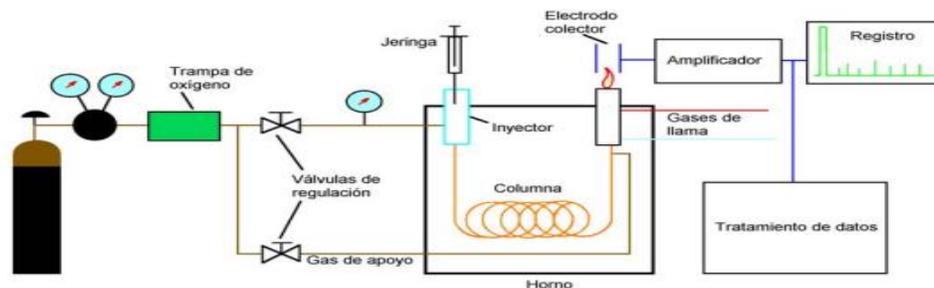
La caracterización de la muestra analizada se realiza con un conjunto de detectores acoplados a la columna de HPLC, como detectores de índice de refracción, fluorescencia, UV visible y/o espectrómetro de masas.

### **1.4.3. Cromatografía de gases (CG)**

Es una técnica que separa los compuestos dependiendo de su volatilidad, y con los diferentes detectores identifica los compuestos. Dado que la separación se lleva a cabo en la fase gaseosa, la separación, según [11], se limita a compuestos con peso molecular menor a 1000 UI y a temperaturas máximas de 400°C; por estas limitantes [10] no recomiendan el uso de esta técnica para la caracterización de pinturas o tintas, dado que los componentes de una tinta son virtualmente no volátiles, logrando detectar casi que exclusivamente el disolvente en la muestra de pintura.

Con respecto al funcionamiento, se inyecta una pequeña alícuota de la muestra en una corriente de gas inerte caliente, y al igual que en el HPLC pasa a través de una columna de partición en donde se hace la separación con un mecanismo de partición con la adición de un disolvente y/o con un mecanismo de adsorción con un sólido adsorbente. En el momento de salir de la columna, los compuestos separados pasan a los diferentes detectores para establecer qué compuesto es.

**Figura 6.**  
*Cromatógrafo de gases*



**Nota.** Montaje de HPLC. Tomado de: Museo Nacional de Ciencias Naturales, "Cromatografía de gases." Museo Nacional de Ciencias Naturales, España, p. 43.

Como se observa en la figura 6, la muestra es inyectada con ayuda de la jeringa, en donde se pone en contacto con el gas inerte (generalmente Nitrógeno o Helio), y al pasar por el serpentín del horno se separan los compuestos por volatilidades, y debido a la interacción con la fase estacionaria que se encuentra dentro del serpentín, las muestras van saliendo de la columna de forma discreta al colector, en donde por los detectores se registran los resultados, dando un cromatograma de la muestra analizada.

#### **1.4.4. Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)**

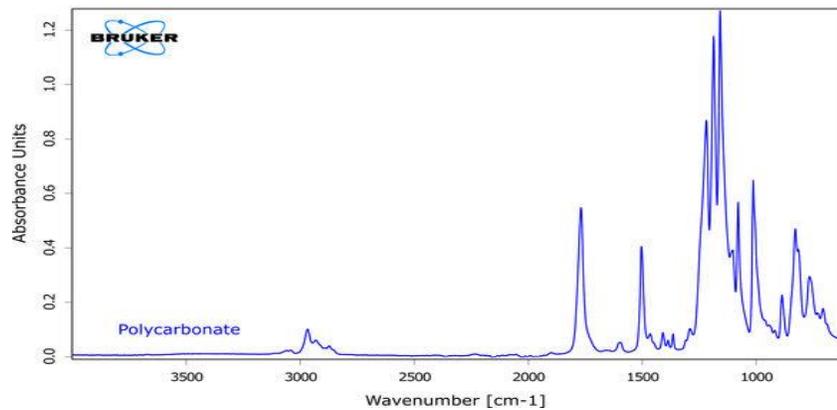
A diferencia de las técnicas anteriormente nombradas, el FTIR se basa en la interacción de los grupos funcionales de la muestra a analizar con un haz de luz energéticamente cargado, esto debido a que las moléculas por su naturaleza tienen la posibilidad de rotar o vibrar a varias frecuencias.

Cuando el haz de luz incide sobre la muestra, ésta absorbe parte de la energía del haz, vibrando con cierta frecuencia; si al vibrar entra en resonancia con el haz de luz incidente, habrá un intercambio energético, este intercambio energético se ve reflejado en qué longitud de onda emana de la muestra hacia el receptor, haciendo así el espectro infrarrojo de la muestra analizada, el cual se considera la huella dactilar de cada uno de los compuestos que forman la muestra.

El resultado obtenido es un gráfico donde se relaciona la longitud de onda recibida por el receptor con la absorbancia de la muestra, como se observa en la figura 7.

## Figura 7.

*Ejemplo de gráfica de FTIR.*



**Nota.** En el gráfico se aprecian los ejes del gráfico, longitud de onda en el horizontal y absorbancia en el vertical. Tomado de: Bruker. Guía de espectroscopía infrarroja. [En línea] Disponible: <https://www.bruker.com/es/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/ftir-basics.html>

El problema con esta técnica es que la preparación de las muestras involucra mezclar la muestra con Bromuro de Potasio (KBr). El KBr puede dañar o alterar la muestra [12]; este problema se soluciona con la adición de un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR, por sus siglas en inglés), donde la muestra se puede analizar directamente, posándola en un cristal con alto índice de refracción, por dicho cristal pasa el haz de luz, golpea la muestra y la muestra absorbe la radiación, generando una gráfica con los mismos valores de la figura 7.

Como técnica para el análisis de pinturas o tintas es ampliamente usada tanto para el análisis de fibras de papel saturadas en la pintura, como cuando el objeto de análisis es únicamente la pintura, debido a su característica de ser no invasiva. [10]

## 1.5. Propiedades de las pinturas

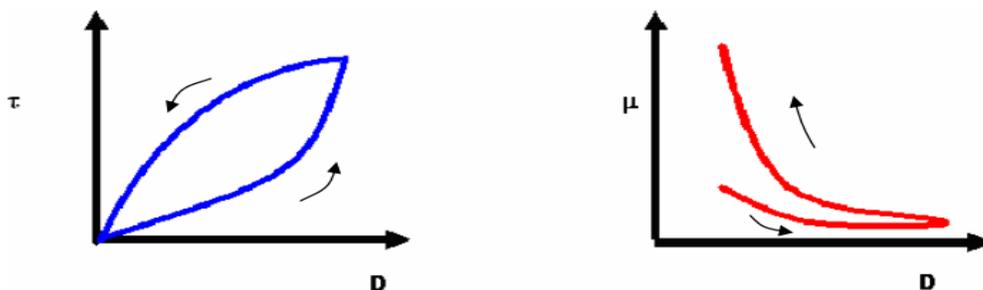
### 1.5.1. Reología

Se debe entender la reología como la ciencia encargada de estudiar la deformación y el flujo de los materiales, logrando predecir el comportamiento del fluido, tanto de un punto de vista macro como microscópico, por lo que entendiendo la deformación a la que es sometido el fluido se pueden expresar modelos matemáticos para la comprensión del mismo. En el campo de las pinturas es de vital importancia conocer sus características reológicas, dado que deben ser esparcidas de forma fácil pero sin escurrirse [13]; las pinturas son sistemas coloidales multifase complejos, por lo que dada la complejidad de la mezcla, es necesario conocer la interacción de los componentes de la formulación consigo mismos, como de su interacción con el sustrato donde es aplicada [14].

Gracias a la interacción de estos compuestos se obtiene un fluido No-Newtoniano, los cuales no tienen una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. En el caso de las pinturas, se habla de fluidos dependientes del tiempo de aplicación del esfuerzo cortante, conocidos como fluidos tixotrópicos [13]. Cuando a estos fluidos se les imprime un esfuerzo cambia su estructura interna, produciendo una ruptura en sus cadenas estructurales, lo cual se ve reflejado en una disminución de su viscosidad; pero en el momento que no se ejerza el esfuerzo, el fluido vuelve a su viscosidad inicial, a este proceso se le llama histéresis, como se muestra en la figura 8.

**Figura 8.**

*Curvas de fluidez y de viscosidad de un fluido tixotrópico.*



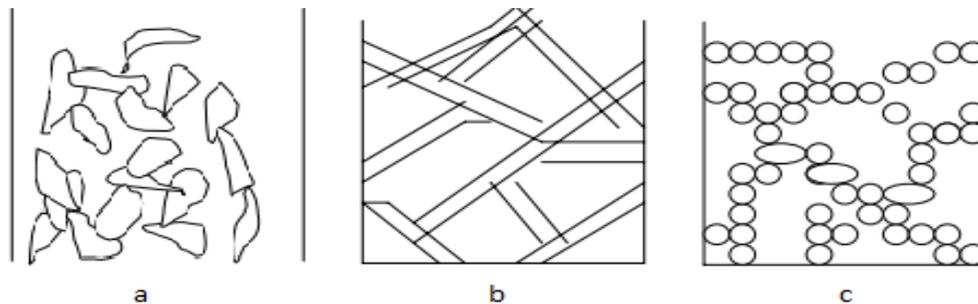
**Nota.** En las gráficas se relaciona el esfuerzo cortante  $\tau$  y la viscosidad dinámica  $\mu$  con la velocidad de deformación  $D$ . Tomado de: S. González Roldán, "Diseño Mecánico de un Equipo

para la Medida de la Viscosidad en Fluidos No Newtonianos,” Universidad Politécnica de Cartagena, 2009.

Este fenómeno se debe a que es válido entender a la pintura como un sistema en dispersión, esto debido a que los pigmentos no son solubles en el vehículo por lo que forman estructuras, generalmente son tres posibilidades, definida por la interacción con el vehículo [13]. Si el pigmento se ordena por capas se conoce como “Castillo de Cartas” (Figura 9-a), si se ordena a forma de varillas se denomina “Armadura” (Figura 9-b) y finalmente si la estructura se compone de eslabones esféricos se conoce como “Estructura de Perlas Encadenadas” (Figura 9-c)

### Figura 9.

*Posibles estructuras de los pigmentos en las pinturas.*



**Nota.** Ordenes que pueden tomar los pigmentos en una pintura. Tomado de: S. González Roldán, “Diseño Mecánico de un Equipo para la Medida de la Viscosidad en Fluidos No Newtonianos,” Universidad Politécnica de Cartagena, 2009.

### 1.5.2. Solubilidad

Se entiende solubilidad como la composición de una solución saturada, expresada en términos de proporción de un soluto cualquiera en un disolvente cualquiera, siendo la solubilidad del soluto en ese disolvente; desde el punto de vista termodinámico, la solubilidad es función de la energía libre de disolución, debe ser negativa para que haya disolución [15]. Dicho de otra forma, la disolución conlleva una disminución de la energía libre. Este fenómeno se presenta porque el disolvente debe “encajar” entre las moléculas del soluto, por lo que hay una interacción entre los enlaces.

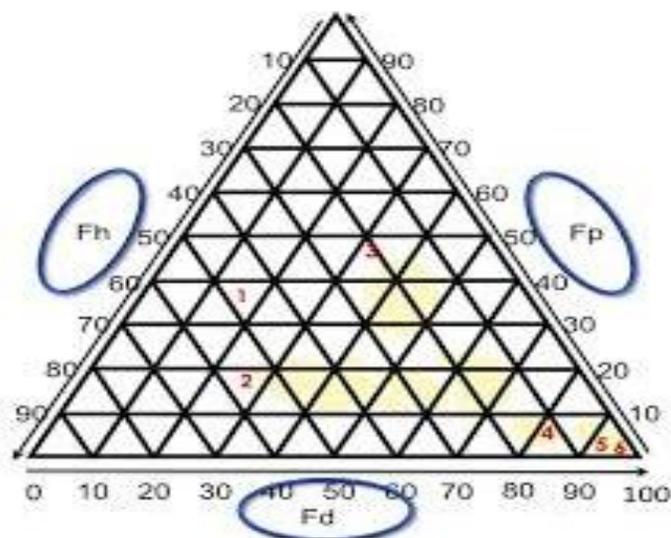
El problema de esta propiedad viene dado en el vehículo, toda vez que representa aproximadamente el 75% de la formulación, en este momento es donde entran a jugar los Parámetros de Solubilidad de Hansen [16], los cuales se basan en que la energía liberada en el proceso anteriormente nombrado, depende de tres características de las sustancias involucradas:

1. Las fuerzas de dispersión de London ( $F_d$  o  $\delta_d$ ), fuerzas que afectan al nivel atómico de las sustancias, producidas por los dipolos inducidos, estos se forman porque los átomos tienen una “tendencia” de tener una parte positiva y otra negativa.
2. Las fuerzas de Van der Waals ( $F_p$  o  $\delta_p$ ), las cuales afectan el nivel molecular de los componentes, induciendo una atracción débil que mantiene unidas a las moléculas eléctricamente neutras.
3. Los puentes de hidrógeno ( $F_h$  o  $\delta_h$ ), los cuales intervienen de manera molecular, siendo responsables de la cohesión entre sustancias, un ejemplo práctico es la cohesión del agua, en donde, la molécula de agua tiene una región cargada positivamente, por los átomos de hidrógeno, y una región cargada negativamente, por el átomo de oxígeno. Debida a estas dos regiones, la molécula se siente atraída desde su región positiva a la región negativa de otra molécula, generando una fuerza entre ellas, mediante un puente de hidrógeno.

Estos tres parámetros se expresan en un diagrama triangular, como se muestra en la figura 10.

**Figura 10.**

*Diagrama de solubilidad de Hansen.*



**Nota:** Diagrama de Hansen donde se denotan los ejes.

Tomado de: M. A. Zalbidea Muñoz., "El triángulo de

solubilidad. Una herramienta básica". Universitat

Politécnica de Valencia, España. [En línea] Disponible:

[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78228/Zalbidea](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78228/Zalbidea%20-)

[a%20-](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78228/Zalbidea%20-)

[%20EL%20TRI%3%81NGULO%20DE%20SOLUBILIDA](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78228/Zalbidea%20-)

[D.%20Una%20herramienta%20b%3%A1sica..pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78228/Zalbidea%20-)

[nce=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78228/Zalbidea%20-)

La principal utilidad de estos parámetros está en la predicción de la solubilidad o compatibilidad entre las sustancias de una manera netamente teórica, esto debido a que los compuestos con valores cercanos de  $F_d$ ,  $F_p$ , y  $F_h$ , tienen una mayor solubilidad entre sí, evitando posibles formaciones de fases indeseadas o inmiscibilidad entre el formador de película y el disolvente.

Para el caso de las resinas se debe graficar cada par posible de los parámetros para observar cómo es el área en que las resinas son solubles en el disolvente, obteniendo gráficos de  $(F_d, F_p)$ ,  $(F_d, F_h)$  y  $(F_p, F_h)$  [16]. En cada uno de ellos se obtiene una circunferencia en donde la condición anterior se cumple. Pero al combinar dichos gráficos, se obtiene lo que se conoce como la *esfera de solubilidad*, con su respectivo

radio de interacción ( $R_o$ ), en donde cada disolvente que se encuentre dentro de esta esfera logra disolver el polímero. En caso de que el disolvente se encuentre dentro de la esfera de solubilidad, se puede estimar la distancia lineal entre el centro de la esfera (parámetros de solubilidad de la resina) y el disolvente ( $R_a$ ), dada por la siguiente ecuación:

$$(R_a)^2 = 4(\delta_{f,sol} - \delta_{f,res})^2 + (\delta_{p,sol} - \delta_{p,res})^2 + (\delta_{h,sol} - \delta_{h,res})^2$$

Donde el subíndice *sol* se refiere al disolvente y el subíndice *res* se refiere a la resina polimérica. Con esta distancia se calcula la *diferencia relativa de energía (REM, por sus siglas en inglés)* como la razón entre  $R_a$  y  $R_o$ ; si el resultado de esta operación es menor a 1 se puede afirmar que las interacciones entre la resina y el disolvente son favorables, si se aproximan a 1 representa una condición intermedia entre buenas y malas interacciones, finalmente con valores más grandes se afirma que hay una mayor cantidad de interacciones negativas.

## 1.6. Marco legal

El primer criterio normativo es la lista de estupefacientes de Colombia, regida por el Ministerio de Salud y Protección Social, teniendo una última actualización con la resolución 0315 de 2020, que nace por la necesidad de mitigar la producción de estupefacientes, naturales o sintéticos, controlando la venta de sus precursores, como disolventes, reductores, ácidos, entre otros. A su vez, controla y reglamenta el control a empresas o sectores productores que requieran de estos insumos, estableciendo límites de almacenamiento de los compuestos que se encuentren en la lista. Dada esta regulación se evita el uso de sustancias presentes en esta lista, para eludir restricciones a la hora de conseguir materia prima y evitar formalismos con los entes regulatorios a futuro. Para efectos prácticos de la investigación se empleará únicamente el Anexo Técnico 1 de dicha resolución, dado que en este listado de 396 compuestos se expresan sustancias químicas, caso contrario a los demás listados que son sustancias psicoactivas o medicamentos, sustancias sin pertinencia en esta investigación. Dicho anexo técnico se encuentra como Anexo 1.

Así mismo, se recurrirá a la página de la agencia europea de químicos (ECHA, European Chemicals Agency), para observar las restricciones a nivel de seguridad humana y ambiental de los compuestos a usar, interpuestas por las normativas que se encuentran en esta, como lo es el reglamento REACh, el cual aplica para todas las sustancias químicas presentes tanto en procesos industriales, como en nuestra vida cotidiana, entre muchas de estas, las pinturas. Cabe resaltar que, los criterios expuestos en el artículo 57 del reglamento REACh, que caracterizan a los referentes de la lista de sustancias de gran preocupación (SVHC, Substance of Very High Concern), se tendrán en cuenta ya que su uso está sujeto a la autorización por parte de la ECHA. Estos criterios son:

- a) Sustancias cancerígenas de categorías 1A o 1B.
- b) Sustancias mutagénicas de categorías 1A o 1B.
- c) Sustancias tóxicas para la reproducción de categorías 1A o 1B.
- d) Sustancias bioacumulables, persistentes y tóxicas, de acuerdo con los criterios del anexo XIII del presente reglamento.
- e) Sustancias muy bioacumulables, persistentes y tóxicas, de acuerdo con los criterios del anexo XIII del presente reglamento.
- f) Sustancias bioacumulables, que presentan efectos graves para la salud humana o el medio ambiente y no reúnan los criterios de las letras d) o e).

Finalmente se tendrán en cuenta las normas ISO 14040, 14044 y 14067, que estipulan:

- ISO 14040: Regula la metodología de evaluación ambiental permitiendo analizar los aspectos ambientales de un producto en todas las etapas de su vida.
- ISO 14044: Usada para evaluar el ciclo de vida de los productos, dando directrices y requisitos para llevar a cabo la evaluación.
- ISO 14067: Basada en las normas ISO nombradas anteriormente, estipula la metodología, principios y directrices para el análisis de la huella de carbono del producto.

## 2. SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA

Para el desarrollo de los objetivos específicos se diseñaron tres diagramas de flujo, uno por cada objetivo, para lograr hacer un correcto seguimiento de cada uno.

**Figura 11.**

*Diagrama de flujo para el primer objetivo específico*



**Nota.** En la figura se muestran las actividades a realizar para cumplir con la totalidad del primer objetivo específico.

### 2.1. Compuestos usados actualmente en el mercado.

La búsqueda de pinturas base aceite se realizó con el objetivo de tener como referencia las materias primas utilizadas en el mercado nacional e internacional, identificar su aporte a propiedades como la adherencia y el tiempo de secado, y compararlas con las materias primas enunciadas en la bibliografía. Por lo tanto, se obtuvieron las fichas de datos de seguridad (MSDS, por sus siglas en inglés) de diferentes pinturas publicadas en los últimos 10 años haciendo uso de la base de datos de la empresa ECOSMEP, en donde se encontraron los compuestos expuestos en su totalidad en el Anexo 2. Se debe resaltar que la lista de disolventes es mucho más extensa que los demás componentes, dado que en las fichas técnicas se mencionan los compuestos de mayor proporción dentro de la formulación y los que presentan una mayor peligrosidad para el consumidor final.

El siguiente paso fue, haciendo uso de la base de datos de la EChA, determinar la potencial peligrosidad de los mismos. Se debe aclarar que el proceso para los disolventes fue diferente, dada lo extenso de la lista, por lo que, al tener 43 compuestos, se divide en cuatro grupos (obteniendo aproximadamente once compuestos por grupo), y se toma un grupo aleatoriamente, el cual será la muestra para analizar. Para los demás componentes de las fichas técnicas se analizará toda la población. Por medio de la función *aleatorio.entre* de Excel se seleccionaron los siguientes disolventes a analizar, y empleando la base de datos de la EChA, se obtuvieron las siguientes tablas:

**Tabla 5.**

*Tabla de disolventes*

DISOLVENTES		
Compuesto	Número CAS	Observaciones
P-xileno	106-42-3	Líquido inflamable, corrosivo al contacto con la piel y vías respiratorias
Glicol ether EE	111-15-9	Toxico para la reproducción y para los No Natos
Acetato de metilo	79-20-9	Posible Carcinogénico
Metanol	67-56-1	toxico si se inhala, ingiere o al contacto, provocando daños letales a los organos afectados
1-etoxi-2-propanol	1569-02-4	Irritante de ojos, con efectos sistémicos
3,6-diazaoctano-1,8-diamina	112-24-3	Sensibilizante de la piel y las vías respiratorias
Benzo(def)criseno	50-32-8	Cancerígeno, mutagenico, tóxico para la reproducción, produce bioacumulación
Heptano, isómeros	142-82-5	Fatal si se ingiere o se inhala, muy tóxico para la vida acuática
Nafta 160-180	64742-95-6	Fatal si se ingiere o se inhala, muy tóxico para la vida acuática
Trementina	8006-64-2	Toxicidad a la vida acuática, a la piel, por inhalación y ocular crónica
Isobutyl alcohol	78-83-1	Provoca efectos sistémicos, daño ocular grave e irritación en las vías respiratorias y tejido cutáneo

**Nota.** Disolventes obtenidos de la base de datos de la EChA con sus respectivas observaciones.

**Tabla 6.**

*Tabla de resinas*

RESINAS		
Compuesto	Número CAS	Observaciones
1,6-diisocianato de hexametileno	822-06-0	Causa irritación en las vías respiratorias generando síntomas de asma. Sensibilizante de la piel
3-aminometil-3,5,5-trimetilciclohexilamina	2855-13-2	Sensibilizante de la piel, además de provocar quemaduras en los ojos, con efectos toxicos para la vida acuática
4,4'-metilenbis (ciclohexilamina)	1761-71-3	Sensibilizante de la piel. Genera daños en los órganos con una exposición repetitiva
4-metilpentan-2-ona	108-10-1	Altamente inflamable, causa serias irritaciones oculares y peligroso si se inhala
aminas, N-sebo alquiltrimetilendi-, oleatos	61791-53-5	Muy tóxico para la vida acuática, causa daños oculares ,y demás organos, graves
Diisocianato de hexametileno, oligómeros	28182-81-2	Sensibilizante de la piel y las vías respiratorias, causando síntomas de asma
Formaldehído, polímero con bencenammina, hidrogenado	135108-88-2	Genera quemaduras graves en piel, ojos y organos internos con una exposición prolongada
m-phenylenebis(methylamine)	1477-55-0	Sensibilizante de la piel, causante de graves quemaduras en la piel y los ojos
Poliisocianato aromático	9017-01-0	Sensibilizante de la piel y las vías respiratorias, causando síntomas de asma
Resinas epoxídicas Pm <700 (DGEBA)	25068-38-6	Disruptor endocrino y sensibilizante de la piel

**Nota.** Resinas obtenidas de la base de datos de la EChA con sus respectivas observaciones.

**Tabla 7.**

*Tabla de pigmentos*

PIGMENTOS		
Compuesto	Número CAS	Obvervaciones
Bentone SD-2	400-060-1	No presenta un peligro para la salud humana ni el medio ambiente
Dioxido de titanio	13463-67-7	Sospechosa de causar cáncer
Talco	14807-96-6	No presenta un peligro para la salud humana ni el medio ambiente

**Nota.** Pigmentos obtenidos de la base de datos de la EChA con sus respectivas observaciones.

## Tabla 8.

*Tabla de aditivos*

ADITIVOS		
Compuesto	Número CAS	Observaciones
Acido fosforico	7664-38-2	Causa quemaduras graves en la piel y daño ocular
Cromato de zinc	13530-65-9	Carcinógeno y sensibilizante de la piel
Stannane, dioctyl-, bis(coco acyloxy) derivs.	91648-39-4	Causa daños en los organos con una exposición prolongada y puede afectar la fertilidad del no nato

**Nota.** Aditivos obtenidos de la base de datos de la EChA con sus respectivas observaciones.

## 2.2. Materias primas seleccionadas

Para la selección de la materia prima a utilizar se empleó la base de datos de la EChA, la cual filtra a los disolventes, pigmentos y aditivos más usados por las empresas suscritas a esta entidad, más no al formador de película. De aquí la propuesta de emplear un aceite vegetal que funcione como formador de película. A través del aceite de linaza modificado [17], se obtiene una resina alquídica, que, de acuerdo con lo enunciado en el capítulo 1 de esta investigación, son resinas de bajo peso molecular, por lo que se requieren aditivos de secado. Cabe resaltar que aceites, como el de coco y palma presentan características prometedoras para ser empleados como resinas poliméricas, dando mayor resistencia a la película formada, mayor brillo, entre otras características [18] y [19].

Uno de los criterios de selección de las materias primas es la afectación que estos producen en la salud humana y el medio ambiente, dado que, como se vio anteriormente, los compuestos usados en la actualidad representan un peligro potencial para el usuario final y para el medio ambiente, en caso de no dar una correcta disposición de los desechos; añadido a esto, hoy en día el mercado de los productos no tóxicos y elaborados con fuentes biológicas ha sido foco de atención de los consumidores [20], además, de que los procesos, o en este caso el producto, que no afecte el medio ambiente son más atractivos. Esto reafirma el criterio de selección de una materia prima que no afecte la salud humana y el medio ambiente.

En el ámbito legal también se aplica la lista de estupefacientes, psicotrópicos, precursores y demás sustancias sometidas a fiscalización, dictada en la resolución 0315 del 2020 por el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia.

### **2.2.1. Selección de disolventes**

En la base de datos de la EChA se obtuvo como resultado una tabla con 451 posibles disolventes, a la cual se le aplicaron los siguientes criterios de selección para obtener los disolventes de interés:

- Primer criterio - Cruzar la lista con las 45 sustancias activas con la aplicación cancelada, descartando así, una sustancia de la lista.
- Segundo criterio - Cruzar la lista con las sustancias extremadamente preocupantes (SVHC, por sus siglas en inglés), que presentan obligaciones legales para los importadores, productores y proveedores de un artículo que contenga dicha sustancia, incluida a la lista por ser cancerígena, presentar propiedades disruptivas endocrinas, ser mutagénico, pertenecer a la lista de la evaluación de la persistencia, bioacumulación y toxicidad (PBT, por sus siglas en inglés), presentar propiedades de sensibilización respiratoria, toxicidad específica en órganos después de exposiciones repetidas, ser tóxico para la reproducción o pertenecer a la lista de sustancias muy persistentes y muy bioacumulativas (vPvB, por sus siglas en inglés). Esta lista comprende 288 sustancias, de las cuales 20 coincidieron con la lista de disolventes trabajada.
- Tercer criterio - La lista de restricción de la REACh, en la que se encuentran relacionadas aquellas sustancias que, por no estar adecuadamente controladas, su manejo debe abordarse a nivel de la Unión Europea.  
Al mes de febrero del año 2020 se encontraban, en esta lista, 471 sustancias registradas, de las cuales 18 pertenecen a la lista de disolventes utilizados en pinturas.
- Cuarto criterio – Lista de sustancias con restricción de composición, la cual abarca sustancias con límite de composición dentro de una mezcla, y sustancias con límites

de producción por año. Entre las 179 sustancias controladas, 19 pertenecen a la lista de disolventes.

- Quinto criterio – Mediante la aplicación de diversos filtros, se localizaron los disolventes utilizados en diferentes aplicaciones como adhesivos selladores, revestimientos de pinturas, tintas tóner, grasas lubricantes, productos de exploración o producción de petróleo y gas, que cumplieron con al menos una de las siguientes características: Que sean o se sospeche que sean cancerígenos, mutagénicos, afecten la reproducción, presenten preocupaciones basadas en la exposición/riesgo, sean posibles disruptores endocrinos y/o PBT/vPvB.

De las 227 sustancias identificadas, 38 pertenecientes a la lista de disolventes cumplieron con al menos una de estas características.

- Sexto criterio – Realizando un filtro manual se busca en la base de datos de la EChA, en donde se descartan los compuestos sensibilizantes de la piel, que afecten a los ojos, extremadamente inflamables y/o que afecten a las vías respiratorias, en donde se observa que, de los 382 disolventes restantes, únicamente 61 disolventes cumplen con las expectativas de la investigación.

Con el uso de los criterios expuestos anteriormente se logra establecer que 61 disolventes, de la lista inicial de 451 relacionados en la base de datos de la EChA, no presentan características de afectación a la salud humana y medioambiental. No obstante, por ser una muestra muy extensa, se decide trabajar con la técnica aleatoria del cuarteo. Es así como se logra obtener una muestra final de 15 disolventes a evaluar, los cuales se relacionan en la tabla 9. De igual manera en el Anexo 3 se evidencian la totalidad de los disolventes que son viables para la formulación.

### **2.2.2. Selección de pigmentos**

De acuerdo con la base de datos de la EChA, y el índice de color (sistema de clasificación utilizado en la Unión Europea para fabricantes y clientes potenciales de pigmentos, tintes o disolventes), son 53, los pigmentos más utilizados por la industria. Partiendo de esta muestra se realizan los siguientes criterios de selección, para identificar aquellos peligrosos para la salud humana y medioambiental.

- Primer criterio – Pigmentos registrados en la REACH, los cuales están bajo supervisión de la Unión Europea. El objetivo es identificar aquellos que están bajo supervisión para ser reemplazados por su alto grado de toxicidad. Se logró la identificación de 42 pigmentos altamente tóxicos.
- Segundo criterio – Identificar los pigmentos que pertenecen a la lista de sustancias extremadamente preocupantes. Se identifican 7 pigmentos extremadamente preocupantes.
- Tercer criterio – Empleando las fichas de datos de seguridad, se descarta el dióxido de titanio por ser sospechoso de ser cancerígeno.

En este sentido se identifican 3 pigmentos que no afectan a la salud humana y que además son eco amigables. Estos son: C.I. pigment red 48:4, C.I. pigment blue 63, y *Manganese ferrite black spinel*. Se elige trabajar con este último teniendo en cuenta que el color que aporta a la pintura es neutro.

### **2.2.3. Selección de aditivos**

Dada la naturaleza teórica de la investigación no se puede hablar de aditivos que modifiquen la reología de la formulación, toda vez que estas son propiedades que se estiman a nivel laboratorio con la formulación ya hecha. Debido a esto se hablará únicamente de aditivos de secado. La suma de aditivos de secado a la formulación es más económica que los procesos de secado como el uso de rayos UV [21], debido al fácil acceso a estos aditivos en el mercado.

En su formulación, se incluye Octoato de Circonio, Octoato de Manganeso, Octoato de Cobalto; en donde estos tres aditivos mostraron resultados positivos para disminuir tiempos de secado de tintas offset, reduciendo su tiempo entre un 83% y un 98.3% [21].

El gran problema de estos tres aditivos es que al tener como base compuestos metálicos, presentan un riesgo potencial para el medio ambiente, generando afectaciones graves y duraderas en los cuerpos de agua, además que afectan a la reproducción, causan quemaduras en la piel y son posibles agentes sensibilizantes de la

piel, según la normativa de la EChA, factores por los que no se tendrán en cuenta en la formulación.

Por esta razón se hace uso del Naftenato de Circonio y Naftenato de Calcio, compuestos que según la reglamentación de la EChA, no representan mayor afectación a la salud humana y el medio ambiente, además de que existe afinidad de estos aditivos con las resinas alquídicas [17], factor importante para la formulación propuesta.

Por este motivo se emplearán dichos aditivos (Naftenato de Circonio y Naftenato de Calcio) en la formulación propuesta en la presente investigación.

Teniendo en mente lo nombrado en la introducción del capítulo 2.2., donde se proponen las resinas obtenidas por el aceite de linaza, coco y palma, y lo enunciado en los numerales 2.2.1 al 2.2.3., la lista preliminar de compuestos a emplear se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 9.**

*Tabla de materia prima preliminar de la formulación.*

Compuesto	Numero CAS
<b>DISOLVENTE</b>	
propano-1,2-diol	57-55-6
2-(2-etoxietoxi)etanol	111-90-0
triacontan-1-ol	593-50-0
4-etil-1,3-Dioxolan-2-ona	4437-85-8
butano-1,3-diol	107-88-0
[metil-2-(metil-2-metoxietoxi)etoxi]propanol	25498-49-1
Acetato de hexilo	142-92-7
di(acetato) de etileno	111-55-7
1,2-dibutoxietano	112-48-1
oxidipropanol	25265-71-8
3-metoxipropan-1,2-diol	623-39-2
Sulfuro de dimetilo	75-18-3
isopropanol	67-63-0
3-butoxipropano-1,2-diol	624-52-2
glicerol	56-81-5
<b>RESINA POLIMÉRICA</b>	
Aceite de linaza	8001-26-1
Aceite de coco	8001-31-8
Aceite de palma	1006899-79-1

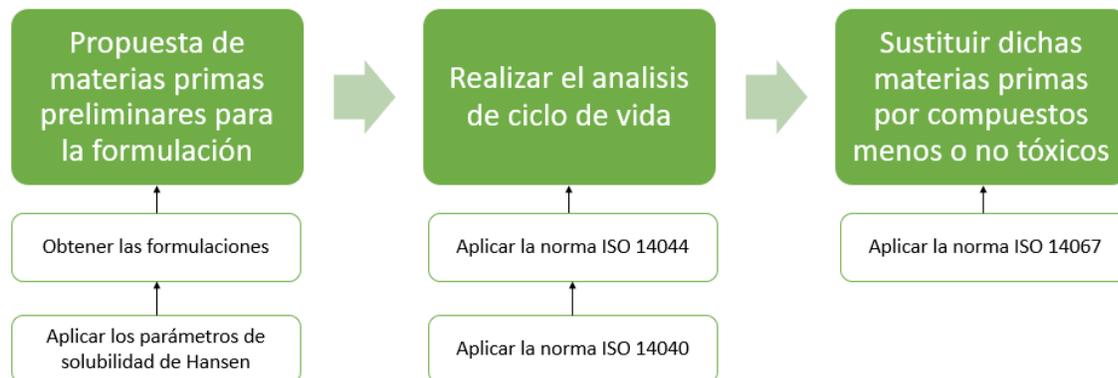
PIGMENTO	
Manganese ferrite black spinel	68186-94-7
ADITIVO	
Naftaneato de Circonio	72854-21-8
Naftaneato de Calcio	61789-36-4

**Nota.** Compuestos preseleccionados para la formulación.

### 3. ESTABLECIMIENTO DE LA FORMULACIÓN, PRUEBAS DE SOLUBILIDAD Y ANÁLISIS AMBIENTAL

**Figura 12.**

*Diagrama de flujo para el segundo objetivo específico*



**Nota.** Segundo objetivo del proyecto y sus respectivas actividades a desarrollar.

Para establecer la formulación de la pintura en base aceite, se debe conocer la cantidad de cada uno de los compuestos que se debe adicionar a la mezcla.

En la tabla 10 se relacionan, de manera generalizada, los compuestos que hacen parte de una formulación de pintura en base aceite [8].

**Tabla 10.**

*Formulación general de una pintura base aceite con resina alquídica.*

Compuesto	Masa [kg]	Volumen [litros]
Dióxido de titanio	350	86
Gel anti hundimiento	35	42
Solución de Lecitina	4	4.4
Resina alquídica de cadena larga (70% NV)	75	78.9
Trementina	93.17	116.5
Resina alquídica de cadena larga (50% NV)	620	645.8
Secador de Cobalto (6% Co)	2.5	2.5
Secador de Plomo (24% Pb)	14	11.7
Secador de Calcio (6% Ca)	6	6.2
Solución anti escamante (25%)	5	6
<b>TOTAL</b>	<b>1204.67</b>	<b>1000.00</b>

**Nota.** Formulación general de una pintura en el mercado. Tomado de: M. F. Ali, "7. Paints, Pigments, and Industrial Coatings," 2002.

Por simplicidad de la investigación se prefiere trabajar con fracciones másicas, por lo que se clasificaron los compuestos de la tabla 10 en: disolvente, resina polimérica, pigmento y aditivos. El paso siguiente es sumar las masas y volúmenes de cada uno de los grupos enunciados anteriormente, para lo cual se seccionó la tabla 10 de la siguiente manera:

- Disolvente: Trementina
- Resina: Resina alquídica de cadena larga (70% y 50%)
- Pigmento: Dióxido de titanio
- Aditivos: el gel anti-hundimiento, solución de Lecitina, secador de Cobalto, secador de Plomo, secador de Calcio y solución anti escamante.

Cuando se tuvo la masa de cada una de las partes, se dividieron dichos valores entre la masa total de la mezcla, obteniendo los valores de  $W_i$  presentados en la tabla 11.

**Tabla 11.**

*Tabla resumen de la formulación general de una pintura base aceite con resina alquídica.*

COMPUESTO	kg	L	$W_i$	$V_i$
Disolvente	93.1	116.5	0.08	0.12
Resina	695	724.7	0.58	0.72
Pigmento	350	86	0.29	0.09
Aditivos	66.5	72.8	0.06	0.07
<b>TOTAL</b>	<b>1204.6</b>	<b>1000</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

**Nota.** Formulación general de una pintura. Tomado de M. F. Ali, "7. Paints, Pigments, and Industrial Coatings," 2002.

### 3.1. Prueba de solubilidad

Para la prueba de solubilidad y el análisis ambiental, se empleará la aplicación de un diseño computacional de pinturas [22]. Tomando como apoyo los parámetros de solubilidad de Hansen, se logra disminuir los tiempos de la preparación de las pinturas, dado que normalmente la selección de los compuestos, principalmente de los disolventes, se hace con un proceso de ensayo y error, en donde el uso de estos parámetros de solubilidad logra mostrar una predicción del comportamiento de la mezcla.

Se debe tener en cuenta que los parámetros  $F_d$ ,  $F_p$  y  $F_h$  (o  $\delta_d$ ,  $\delta_p$ ,  $\delta_h$ ), son calculados experimentalmente, por esta razón, se trabajó con el Apéndice A de Hansen [16] la cual establece los parámetros de los disolventes. Con esto se logró reducir el listado de posibles disolventes, dado que no se encontraron los valores para todos los candidatos, se pasó de tener 15 posibilidades a 9, las cuales se ven expresadas en la tabla 13.

Los parámetros de interacción, para el aceite de linaza [16] y para los aceites de palma y coco [23] se relacionan en la tabla 12. Dado que para el aceite de linaza no se encuentra el valor del radio de interacción, y este al ser un valor que se calcula por medio de experimentos, no es viable su uso, toda vez que no se puede cuantificar las interacciones del mismo con los disolventes, por lo que en el Anexo 4, aunque se nombran sus parámetros de interacción no se evalúa su viabilidad o no, por lo que se grafica únicamente los parámetros de solubilidad para las resinas a base de aceite de coco y de palma.

El proceso para ver la viabilidad de la mezcla que constituye el vehículo de la pintura, es el cálculo de la distancia entre el centro de la esfera de solubilidad de la resina polimérica y el punto que representa el disolvente dentro del gráfico 3D y con esta distancia se calcula el REM de la mezcla analizada.

**Tabla 12.**

*Parámetros de interacción para el aceite de linaza, coco y palma.*

RESINAS POLIMÉRICAS				
COMPUESTO	$\delta_d$ [Mpa <sup>1/2</sup> ]	$\delta_p$ [Mpa <sup>1/2</sup> ]	$\delta_h$ [Mpa <sup>1/2</sup> ]	$R_o$
ACEITE DE LINAZA	13.5	3.5	3.7	-
ACEITE DE COCO	14.95	4.63	6.98	9.8
ACEITE DE PALMA	17.54	3.34	4.08	7.48

**Nota.** Parámetros de interacción de cada aceite propuesto para la formulación. Tomado de: C. M. Hansen, *Hansen solubility parameters: A user's handbook: Second edition*. 2007 y M. M. Batista, R. Guirardello, and M. A. Krähenbühl, "Determination of the Hansen Solubility Parameters of Vegetable Oils, Biodiesel, Diesel, and Biodiesel–Diesel Blends," *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 92, no. 1, pp. 95–109, 2015, doi: 10.1007/s11746-014-2575-2.

**Tabla 13.**

*Tabla de disolventes y su codificación.*

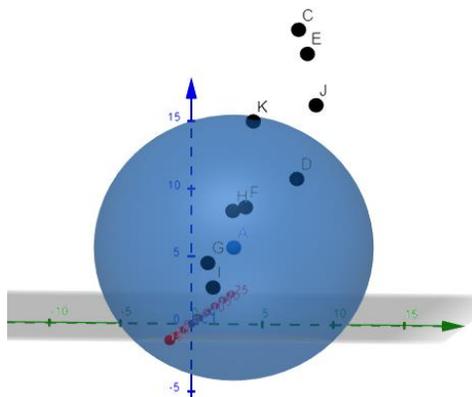
DISOLVENTES				
Cod.	COMPUESTO	$\delta_d$ [Mpa <sup>1/2</sup> ]	$\delta_p$ [Mpa <sup>1/2</sup> ]	$\delta_h$ [Mpa <sup>1/2</sup> ]
C	propano-1,2-diol	16.8	9.4	23.3
D	2-(2-etoxietoxi)etanol	16.1	9.2	12.2
E	butano-1,3-diol	16.6	10	21.5
F	[metil-2-(metil-2-metoxietoxi)etoxi]propanol	15.3	5.5	10.4
G	acetatodehexilo	15.8	2.9	5.9
H	di(acetato) deetileno	16.2	4.7	9.8
I	1,2-dibutoxietano	15	3.4	4
J	oxidipropanol	16.5	10.6	17.7
K	isopropanol	15.8	6.1	16.4

**Nota.** Codificación asignada a cada disolvente, además de sus parámetros de interacción. Tomado de: C. M. Hansen, *Hansen solubility parameters: A user's handbook: Second edition.* 2007

Los siguientes gráficos se elaboraron con datos suministrados por [16], [23], usando el software Geogebra, en donde por facilidad del mismo los disolventes están codificados según la tabla 13:

**Figura 13.**

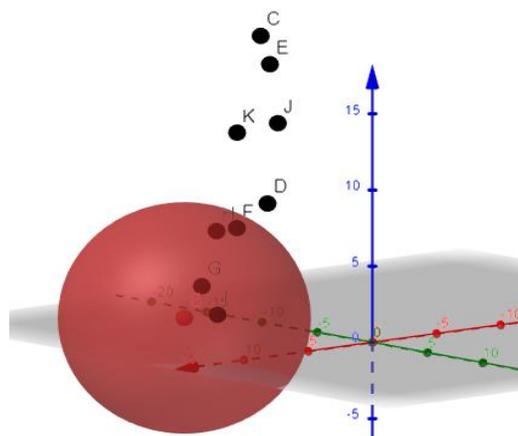
*Grafico 3D de los parámetros de Hansen del aceite de coco y los disolventes.*



**Nota.** El punto A (punto azul) y la esfera azul son los parámetros de solubilidad del aceite de coco.

**Figura 14.**

*Grafico 3D de los parámetros de Hansen del aceite de palma y los disolventes.*



**Nota.** El punto B (punto rojo) y la esfera roja son los parámetros de solubilidad del aceite de palma.

Como se menciona anteriormente los disolventes (puntos negros) que se encuentren dentro de la zona de solubilidad de la resina (esfera azul y roja) son capaces de disolver la resina. Los cálculos de la distancia entre el centro de la esfera de las resinas (puntos azul y rojo de las figuras 13 y 14) y los disolventes (puntos negros de las figuras 13 y 14), además del REM se puede observar en en anexo 4.

Del anexo 4 se extraen las mezclas que presentan un REM menor a 1, las cuales presentan una interacción positiva entre ellos, los cuales se expresan en la tabla 14.

**Tabla 14.**

*REM de las combinaciones viables.*

COMPUESTO	ACEITE	REM
2-2(etoxietoxi) etanol	Coco	0.746
[metil-2-(metil-2-metoxietoxi)etoxi] propanol	Coco	0.367
Acetato de hexilo	Coco	0.271
	Palma	0.528
Di(acetato) de etileno	Coco	0.385
	Palma	0.864
1,2-dibutoxietano	Coco	0.329
	Palma	0.679
Isopropanol	Coco	0.988

**Nota.** Valores del REM de las combinaciones expuestas.

Partiendo del hecho de que entre más pequeño sea el REM mejor serán las interacciones entre el disolvente y la resina polimérica, se establece que es el *acetato de hexilo con aceite de coco*, el vehículo de la formulación. Además, para hacer un análisis comparativo, se decide trabajar en paralelo con las combinaciones de *Diacetato de Etileno con Aceite de Coco* y *1,2-Dibutoxietano con Aceite de Coco*.

El resumen de las formulaciones a analizar se puede observar en la siguiente tabla:

**Tabla 15.**

*Resumen de las formulaciones a analizar*

FORMULACIONES A ANALIZAR				
OPCION	DISOLVENTE	RESINA	PIGMENTO	ADITIVO
1	Acetato de hexilo	Resina alquídica a base de aceite de coco	Manganeso ferrite black spinel	Naftaneato de Circonio Naftaneato de Calcio
2	Diacetato de Etileno	Resina alquídica a base de aceite de coco	Manganeso ferrite black spinel	Naftaneato de Circonio Naftaneato de Calcio
3	1,2-Dibutoxietano	Resina alquídica a base de aceite de coco	Manganeso ferrite black spinel	Naftaneato de Circonio Naftaneato de Calcio

**Nota.** Compuestos de las formulaciones a analizar.

### 3.2. Análisis de ciclo de vida

Para poder llevar a cabo el análisis de ciclo de vida de las tres formulaciones propuestas, primero se debe entender que este proceso nos permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, donde se identifican los materiales usados y las emisiones al entorno, para poder así determinar su impacto [24] Este proceso, se realizó mediante el software libre OpenLCA, el cual cuenta con un repositorio avanzado de compuestos, procesos y flujos que permiten tener información detallada sobre los resultados de cálculos y análisis del ciclo de vida del proyecto.

En primer lugar, se deben crear los procesos de las formulaciones seleccionando los componentes de cada una y, en caso de no contar con ellas en la base de datos, encontrar un homólogo que lo reemplace cómo se puede observar en la siguiente tabla.

**Tabla 16.***Formulaciones ingresadas dentro del software LCA.*

Formulación	Flujo	Categoría	Cantidad	Unidad
1	Añadir pigmentos organicos y/o colorantes	Recubrimientos, pegamento y masa seca de pintura	350	kg
	Resina alquídica (aceite de coco); tecnología de mezclado; mezcla de producción, en planta	ILCD/ Materiales de producción/ Químicos orgánicos	695	kg
	Acetato de Hexilo		93.1	kg
	Aditivos de pintura, mezcla de producción, tecnología de mezclado en planta	ILCD/ Materiales de producción/ Químicos orgánicos	66.5	kg
2	Añadir pigmentos organicos y/o colorantes	Recubrimientos, pegamento y masa seca de pintura	350	kg
	Resina alquídica (aceite de coco); tecnología de mezclado; mezcla de producción, en planta	ILCD/ Materiales de producción/ Químicos orgánicos	695	kg
	Etilenglicol	Materiales de producción/Químicos orgánicos	93.1	kg
	Aditivos de pintura, mezcla de producción, tecnología de mezclado en planta	ILCD/ Materiales de producción/ Químicos orgánicos	66.5	kg
3	1,2-Dibutoxietano		93.1	kg
	Añadir pigmentos organicos y/o colorantes	Recubrimientos, pegamento y masa seca de pintura	350	kg
	Resina alquídica (aceite de coco); tecnología de mezclado; mezcla de producción, en planta	ILCD/ Materiales de producción/ Químicos orgánicos	695	kg
	Aditivos de pintura, mezcla de producción, tecnología de mezclado en planta	ILCD/ Materiales de producción/ Químicos orgánicos	66.5	kg
Producto	Pintura Base Aceite		1204.6	kg

**Nota.** Flujos seleccionados en el programa OpenLCA y sus respectivas cantidades para cada formulación.

En segundo lugar, se debe seleccionar el método de evaluación de impacto, el cual es esencial para determinar el alcance del análisis, dado que sus resultados se pueden medir como efectos “midpoint”, que proporcionan información sobre de qué manera y en qué punto se afecta el medio ambiente, o efectos “endpoint” que se componen de las variables que afectan directamente a la sociedad, otorgando los resultados más relevantes. Sin embargo, la medición de los efectos “endpoint” se torna complicada, dado que no están completamente elaborados por la falta de datos, por lo que se decide realizar el análisis de ciclo de vida hasta los efectos del punto medio o “midpoint” [25].

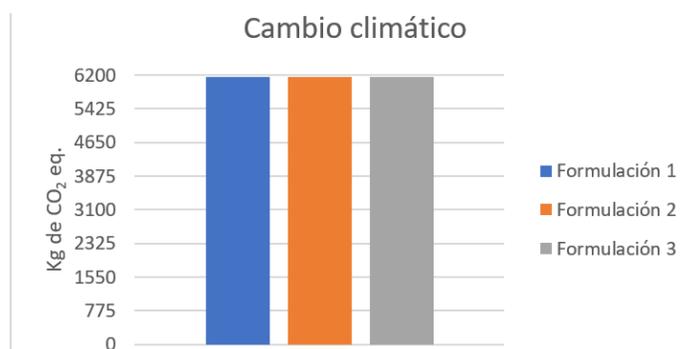
Esto lleva a seleccionar la metodología CML conocida por ser una de las más completas, creada por el Instituto de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Leiden, Países Bajos, la cual agrupa los resultados del software por temáticas (como cambio climático o ecotoxicidad).

Posteriormente, de los resultados obtenidos por el software se compararon las categorías más representativas del análisis de ciclo de vida de las tres formulaciones:

Cambio climático, la cual muestra un promedio del aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos, con un indicador de kilogramo equivalente de CO<sub>2</sub> [26]. Donde, la resina y el pigmento son los de mayor contribución con un 68.8% y un 20.41% respectivamente, para cada formulación.

**Figura 15.**

*Grafico del cambio climático.*

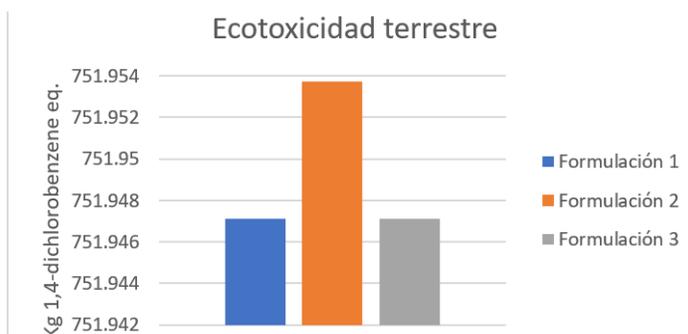


**Nota.** Comparacion de Kg de CO<sub>2</sub> eq. generado por cada formulación.

Ecotoxicidad terrestre, que se determina usando datos toxicológicos de una especie terrestre y se utiliza para estimar el potencial de toxicidad humana por ingestión, su indicador esta dado en kilogramos de 1,4-diclorobenceno equivalente [26]. Donde, los pigmentos contribuyen con un 81.79% del total, para cada formulación.

**Figura 16.**

*Grafico de ecotoxicidad terrestre.*

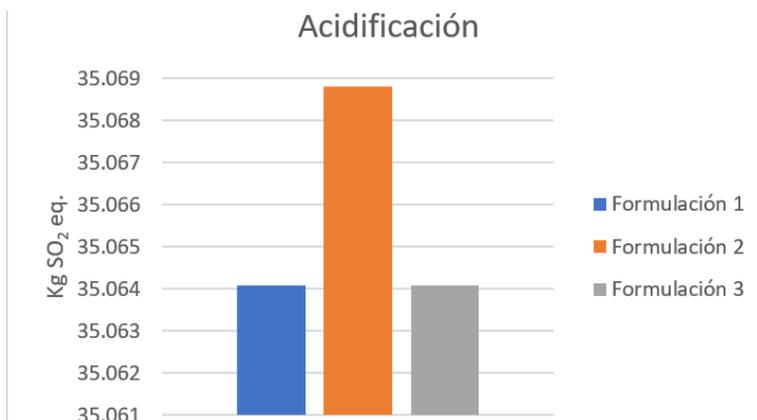


**Nota.** Comparacion de Kg de 1,4-diclorobenceno eq. generado por cada formulación.

Por último, la acidificación, también conocida como potencial de lluvia ácida, expresado en unidades de kilogramo de SO<sub>2</sub> equivalente [26]. Donde, la resina y el pigmento son los de mayor contribución con un 69.93% y un 20.19% respectivamente, para cada formulación.

**Figura 17.**

*Grafico de acidificación.*



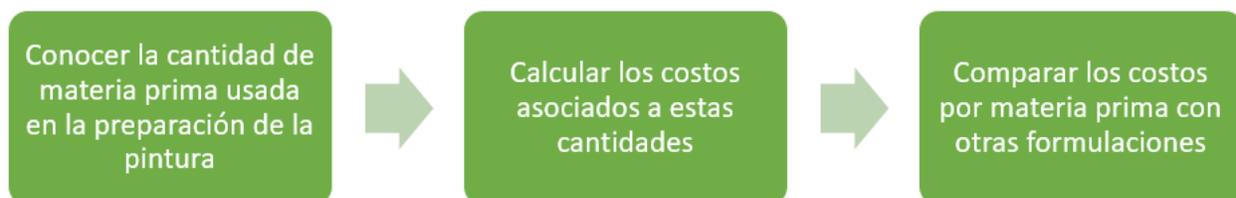
**Nota.** Comparacion de Kg de SO<sub>2</sub> eq. generado por cada formulación.

Con este proceso se observa que la formulación 2 (Diacetato de Etileno – Resina alquídica a base aceite de coco – Negro 444 – Naftaneato de Circonio y Calcio) es la que representa la mayor ecotoxicidad terrestre y acidificación. Se debe aclarar que, en la implementación del software, las formulaciones 1 y 3, no fue posible incluir los disolventes de manera correcta por la necesidad de pagar el acceso a la base de datos que contiene los datos de los disolventes, por lo que a priori la formulación 2, aunque presente el análisis ambiental más negativo, es el que contiene mayores datos experimentales, por lo tanto, de manera preliminar, se selecciona. En el siguiente capítulo se analizarán los costos de las materias primas por formulación.

#### 4. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA FORMULACIÓN

**Figura 18.**

*Diagrama de flujo para el tercer objetivo específico*



**Nota.** Tercer objetivo del proyecto y sus actividades.

Para el análisis de costos se contactó con proveedores nacionales de materias primas, pero se observó que el pigmento y los aditivos empleados, o no se encuentran en el mercado nacional, o no fue posible contactar con los proveedores, por lo que se optó por buscar los precios en bases de datos de mercados internacionales (eg: molbase, merck millipore), y hacer la conversión de la moneda que maneje dicha base de datos a pesos colombianos. Al realizar la búsqueda y tabulación de los datos se tiene que:

**Tabla 17.**

*Precios de las materias primas.*

PRECIOS							
Disolventes							
COMPUESTO	PRESENTACIÓN Y PRECIO						
	DYM SAS	FISHER SCIENTIFIC	MERCK MILLIPORE	BLAMIS			
Acetato de hexilo	1 L	472,800	2.5 L	414,525	-	-	1 L
Diacetato de etileno	500 mL	156,000	10 L	1,397,573	-	-	4 L
1,2-Dibutoxietano	-	-	-	-	2.5 L	922,000	-
Resina							
COMPUESTO	PRESENTACIÓN Y PRECIO						
	ANDERCOL						
Resina alquídica a base de aceite de coco	1 kg	8,700	-	-	-	-	-
Pigmento							
COMPUESTO	PRESENTACIÓN Y PRECIO						
	Hebei Mojin Biothecnology						
Negro 444	25 kg	72,813	-	-	-	-	-
Aditivos							
COMPUESTO	PRESENTACIÓN Y PRECIO						
	AK Scientific	SHANGAI YUANYE BILOGICAL TECHNOLOGY	Shaanxi Dideu Medichem Co. Ltd	career henan chemical co			
Nafteneato de Circonio	1 g	357,502	-	-	1 kg	365	-
Naftaneato de Calcio	-	-	5 g	120,383	1 kg	365	1 kg
							25,506

**Nota.** Esta tabla muestra los precios de las materias primas con diferentes proveedores.

Eligiendo los distribuidores que ofrecen un menor precio para los disolventes y aditivos, dado que son los únicos compuestos que se pueden comparar, se definen los precios definitivos para los compuestos a utilizar en la formulación. Debido a que los precios de los disolventes están relacionados con volumen, se hace necesario el uso de la densidad para poder relacionar el precio con la masa equivalente. De igual manera se parametrizan los precios a un kilogramo. Tras este proceso se construye la siguiente tabla.

**Tabla 18.**

*Precios definitivos de la materia prima*

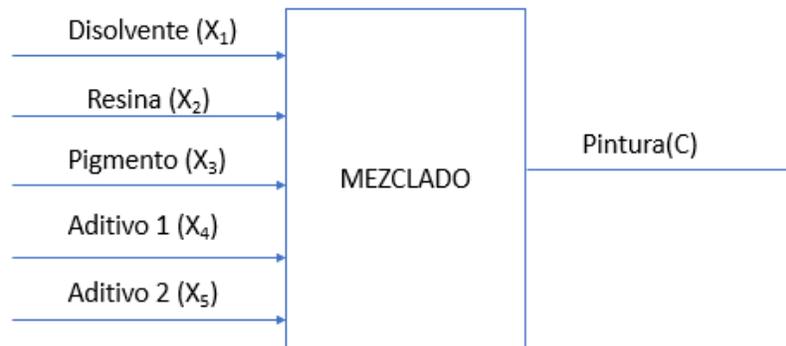
COMPUESTO	PRESENTACIÓN [kg]	PRECIO [COP]
Acetato de hexilo	1	191,246
Diacetato de etileno	1	126,775
1,2-Dibutoxietano	1	424,885
Resina alquídica a base de aceite de coco	1	8,700
Negro 444	1	2,913
Nafteneato de Circonio	1	365
Nafteneato de Calcio	1	365

**Nota.** Materias primas definitivas, donde el pigmento seleccionado *Manganese ferrite black spinel* tiene como nombre comercial Negro 444.

Debido a que se comparan tres formulaciones diferentes, se plantea un balance de materia para el siguiente volumen de control:

**Figura 19.**

*Volumen de control para la elaboración de la pintura formulada.*



**Nota.** Las unidades de cada una de las variables esta expresada en kg/día.

Para parametrizar el valor de producción de pintura se toma como base de cálculo una cochada de 300 galones (aproximadamente 1135.60 L) o 1233 kg al día [27]; resultando en el siguiente balance global:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 1233$$

Para realizar el balance por componente se toma como base la tabla 11, en donde, recordando, se tienen las fracciones másicas generalizadas de una pintura en base aceite con resina alquídica. Además, cabe resaltar que, para el balance de los aditivos, dado que se tienen dos, se opta por que tengan flujos iguales y que la suma de ambos represente el 6% en masa de la formulación, como se expresa en la tabla 11.

Aclarado lo anterior, los balances de materia para el sistema de control son:

$$X_1 = 1233 * 0.08 \rightarrow X_1 = 95.29$$

$$X_2 = 1233 * 0.58 \rightarrow X_2 = 711.39$$

$$X_3 = 1233 * 0.29 \rightarrow X_3 = 358.25$$

$$X_4 + X_5 = 1233 * 0.06 \rightarrow X_4 + X_5 = 68.06 \rightarrow X_4 = X_5 = 34.03$$

Con los flujos parametrizados y los costos por kilogramos de materia prima, se obtiene una tabla comparativa de los costos asociados a la materia prima entre las tres formulaciones planteadas en la tabla 16:

**Tabla 19.**

*Comparación de costos de materias primas entre las tres formulaciones.*

COSTOS [COP/día]	
FORMULACIÓN 1:	\$ 25,481,146
FORMULACIÓN 2:	\$ 19,337,782
FORMULACIÓN 3:	\$ 47,744,617

**Nota.** Costos de cada formulación en pesos colombianos.

Se observa que la formulación 2 (Diacetato de Etileno – Resina alquídica a base aceite de coco – Negro 444 – Naftaneato de Circonio y Calcio) es la que representa menores costos con respecto a las materias primas, lo cual difiere con los resultados obtenidos en el capítulo anterior, en donde esta formulación es la que posee el REM mayor de las tres

formulaciones planteadas. Con esto se plantean dos opciones para seleccionar la formulación, sea por la mejor interacción que presenta el disolvente con la resina (formulación 1) o por la viabilidad económica de la misma (formulación 2); en este caso se selecciona la viabilidad económica de la formulación, dado que sus características de amabilidad al medio ambiente y la salud humana no difieren entre sí, además que aunque sea la formulación con el análisis ambiental con valores de ecotoxicidad terrestre y acidificación más altos, es la que, como se enunció anteriormente, cuenta con más datos experimentales que la formulaciones 1 y 3, por lo que se selecciona la formulación 2 para su comparación con las formulaciones actuales.

Tomando como referencia el costo de materias primas de la formulación de un esmalte horneable de [27], debido a que la formulación consta de los mismos componentes, los autores obtienen un costo de \$21,236.79 por galón. En el caso de la formulación planteada en esta investigación se obtiene un costo por galón de \$64,459, siendo un incremento de \$43,222.21.

Si bien es cierto que el precio de la formulación planteada en esta investigación representa mayores costos con respecto a la materia prima, se puede deber a que las mismas poseen un factor de eco amabilidad, conexos con el desarrollo sostenible el cual se entiende como aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades del futuro, para atender sus propias necesidades [28]. De acuerdo con el informe de la ONU de 1987 *“Our common future”* “para lograr el desarrollo sostenible es necesario armonizar tres elementos: el crecimiento económico, la inclusión social, y la protección del medio ambiente”; en este último elemento hace énfasis la formulación anteriormente planteada, en donde, como se evidencia en el capítulo dos, se cuentan con materias primas amigables con el medio ambiente y la salud humana. Añadido a esto, los productos elaborados con materias primas vegetales, o que las tengan dentro de su desarrollo, hoy en día, son más atractivos para los consumidores, se entienden como productos eco amigables, siendo productos no tóxicos, que implementan nuevas tecnologías [20], como por ejemplo el diseño computacional de pinturas (tema tratado en este trabajo investigativo), creando un factor diferenciador en el producto desarrollado, sustentando así el incremento en el precio.

## 5. CONCLUSIONES

Debido a que las formulaciones actuales presentan compuestos potencialmente peligrosos para la salud humana y el medio ambiente, la metodología presentada en esta investigación logra sustituir dichos compuestos por unos que poseen la misma funcionalidad dentro de la formulación, pero sin el potencial peligro para la salud humana y al medio ambiente; teniendo la ventaja de que al emplear bases de datos disponibles en la red, se evita el uso de laboratorios, reduciendo así los tiempos necesarios para obtener el mismo resultado.

El uso de los parámetros de solubilidad de Hansen, arrojaron una predicción del comportamiento en las tres formulaciones analizadas, logrando aminorar los tiempos de experimentación, y cumplir con su objetivo. De manera similar sucedió con los análisis ambientales, realizados con el software openLCA, en donde se logró realizar un estudio a cada aspecto ambiental relevante dentro de las formulaciones, sin tener que experimentar para obtener los datos necesarios.

Respecto el ámbito económico de la investigación, se arguye que las formulaciones amigables con el medio ambiente y la salud humana proporcionan costos de materias primas mayores. No obstante, estos costos se le designan a la incursión en productos con una mayor seguridad al consumidor final, además de pensar en el enfoque ambiental del desarrollo sostenible.

La investigación demostró que es posible diseñar y costear con solo la asistencia de computadoras, es decir sin el uso de laboratorios para establecer la formulación, productos, como en el caso de esta investigación una pintura, que tengan un doble beneficio, ser seguros para la salud humana y el medio ambiente, y cumplidores de la normativa nacional.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] V. M. Nieto and S. A. Perea, "Cadena productiva de pinturas, masillas, pigmentos, tintas y removedores: Estructura, Comercio Internacional y Protección," pp. 1–35, 2018.
- [2] Mordor intelligence, "Paints and coatings market for selected countries in Asia-Pacific," Hyderabad, 2019.
- [3] S. Jhamb, M. Enekvist, X. Liang, X. Zhang, K. Dam-Johansen, and G. M. Kontogeorgis, "A review of computer-aided design of paints and coatings," *Curr. Opin. Chem. Eng.*, vol. 27, pp. 107–120, 2020, doi: 10.1016/j.coche.2019.12.005.
- [4] R. Lambourne and T. A. Strivens, *Paint and surface coatings: Theory and Practice*. England, 1999.
- [5] A. Pekarovicova and V. Husovska, "3 - Printing Ink Formulations BT - Printing on Polymers," pp. 41–55, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-37468-2.00003-8>.
- [6] M. Alam, D. Akram, E. Sharmin, F. Zafar, and S. Ahmad, "Vegetable oil based eco-friendly coating materials: A review article," *Arab. J. Chem.*, vol. 7, no. 4, pp. 469–479, 2014, doi: 10.1016/j.arabjc.2013.12.023.
- [7] M. F. Ali, "8 . Dyes : Chemistry and Applications," 2004.
- [8] M. F. Ali, "7. Paints, Pigments, and Industrial Coatings," 2002.
- [9] Z. Zołek-Tryznowska, "Additives for Ink Manufacture," *Print. Polym. Fundam. Appl.*, pp. 57–66, 2015, doi: 10.1016/B978-0-323-37468-2.00004-X.
- [10] A. Agarwal, N. Sharma, and Y. Singh Negi, "Review: Techniques for the Characterization of Inks," *IOSR J. Appl. Chem. (IOSR-JAC)*, vol. 9, no. 10, pp. 76–96, 2016, doi: 10.9790/5736-0910027696.
- [11] Museo Nacional de Ciencias Naturales, "Cromatografía de gases." Museo Nacional de Ciencias Naturales, España, p. 43.
- [12] H. J. Contreras Q, H. A. Trujillo P, G. Arias O, J. L. Pérez C, and E. Delgado F, "Espectroscopía ART-FTIR de Celulosa: Aspecto Instrumental y Tratamiento Matemático de Espectros," *e-Gnosis*, vol. 8, no. 9, pp. 1–13, 2010.
- [13] S. González Roldán, "Diseño Mecánico de un Equipo para la Medida de la Viscosidad en Fluidos No Newtonianos," Universidad Politécnica de Cartagena, 2009.
- [14] T. F. Tadros, "4. Interfacial aspects of paints and coatings," in *Interfacial Phenomena and Colloid Stability*, 2015.

- [15] L. Masschelein-Kleiner, *Los solventes*, vol. 1. Santiago de Chile, 2004.
- [16] C. M. Hansen, *Hansen solubility parameters: A user's handbook: Second edition*. 2007.
- [17] D. Işeri-Çağlar, E. Baştürk, B. Oktay, and M. V. Kahraman, "Preparation and evaluation of linseed oil based alkyd paints," *Prog. Org. Coatings*, vol. 77, no. 1, pp. 81–86, 2014, doi: 10.1016/j.porgcoat.2013.08.005.
- [18] A. I. Rivas and M. Cuéllar, "El uso del aceite de palma en la producción de poliuretanos Use of Palm Oil for the polyurethanes production," *Palmas*, vol. 25, no. 1, pp. 422–427, 2004.
- [19] P. F. Nicks, "Utilización de aceites vegetales en la fabricación de pinturas \*," vol. Vol. 11, p. 21, 1990.
- [20] A. Thu, L. Parker, L. Brennan, and S. Lockrey, "A consumer definition of eco-friendly packaging," vol. 252, no. 2020, 2019.
- [21] L. C. Salgado Lara and A. M. Cardona Rios, "Evaluación de la Disminución de Tiempos de Proceso y el Correcto Anclaje de las Tintas Offset con la Incorporación de secado en la Empresa Cartonería Industrial S.A.S - Inducartón," Fundación Universidad de América, 2017.
- [22] E. B. Venceslau, P. A. Pessoa Filho, and G. A. C. Le Roux, "Application of Computer Aided Mixture Design in Paints and Coatings," *Comput. Aided Chem. Eng.*, vol. 30, pp. 587–591, 2012, doi: 10.1016/B978-0-444-59519-5.50118-0.
- [23] M. M. Batista, R. Guirardello, and M. A. Krähenbühl, "Determination of the Hansen Solubility Parameters of Vegetable Oils, Biodiesel, Diesel, and Biodiesel–Diesel Blends," *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 92, no. 1, pp. 95–109, 2015, doi: 10.1007/s11746-014-2575-2.
- [24] A. Olivera, C. Stella, and C. Saizar, "Análisis de ciclo de vida ambiental, económico y social. Una herramienta para la evaluación de impactos y soporte para la toma de decisiones.," *INNOTEC Gestión*, vol. 7, no. 7 ene-dic, pp. 20–27, 2016.
- [25] A. Antón Vallejo, "Utilización del análisis de ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo," *Universitar Politècnica de Catalunya*, 2004.
- [26] E. P. Fernández Conrado and J. P. Orozco Marrugo, "Evaluación ambiental de tres tipologías de producción de biodiesel a partir de aguas residuales utilizando el algoritmo WAR," *Universidad de San Buenaventura*, 2018.
- [27] L. M. González Osorio and A. Salinas Barreto, "Propuesta de mejora del proceso productivo en la fábrica de pinturas ALCOR S.A.S.," *Fundación Universidad de*

América, 2016.

- [28] D. Delgado Pugley, “Desarrollo humano y desarrollo sostenible.,” in *Aportes para el desarrollo humano en América Latina*, S. Deneulin, J. Clausen, and A. Valencia, Eds. Buenos Aires, 2018, pp. 121–132.

## ANEXO 1.

### ANEXO TÉCNICO 1 DE LA RESOLUCIÓN 0315 DEL 2020.

SUSTANCIA (DCI)	NOMBRE QUIMICO
(+)-LISÉRGIDA	9,10-didehidro-N,N-dietil-6-metilergolina-8β-carboxamida
1-FENIL-2-PROPANONA	1-fenil-2-propanona
25B-NBOMe	2-(4-bromo-2,5-dimetoxifenil)-N-(2-metoxibencil)etanamina
25C-NBOMe	2-(4-cloro-2,5-dimetoxifenil)-N-(2- metoxibencil)etanamina
25D-NBOMe	2-(2,5-dimetoxi-4-metilfenil)-N-(2-metoxibencil)etanamina
25E-NBOMe	2-(4-etil-2,5-dimetoxifenil)-N-[(2- metoxifenil)metil]etanamina
25G-NBOMe	2-(2,5-dimetoxi-3,4-dimetilfenil)-N-[(2- metoxifenil)metil]etanamina
25H-NBOMe	2-(2,5-dimetoxifenil)-N-(2- metoxibencil)etanamina
25I-NBOMe	2-(4-yodo-2,5-dimetoxifenil)-N-(2-metoxibencil)etanamina
2C-B	4-bromo-2,5-dimetoxifenetilamina
2C-E	1- (2,5-Dimetoxi-4-etilfenil) -2-aminoetano
3,4-MDP-2-P-GLICIDATO DE METILO	2-oxiranecarboxylic acid, 3-(1,3- benzodioxol-5-yl)-2-methyl, methyl ester
3,4-METILENDIOXIFENIL-2- PROPANONA	2-propanona,1-[3,4(metilenedioxi)fenil]
3-METILFENTANILO	N-(3-metil-1-fenetil-4- piperidil)propionanilida
3-METILTIOFENTANILO	N-[3-metil-1-[2-(2-tienil)etil]-4- piperidil]propionanilida
4,4'-DMAR, 4,4'DIMETILAMINOREX	para-metil-4-metilaminorex
4-APB	4-(2-Aminopropil)Benzofurano
4-FLUOROANFETAMINA (4-FA)	1- (4-Fluorofenil) propan-2-amina
4- FLUOROISOBUTIRFENTANI	N- (4-Fluorofenil) -2-metil-N- [1- (2- feniletil) piperidin-4-il] propanamida
LO (4-FIBF, pFIBF)	
4-METILAMINOREX	(±)-cis-2-amino-4-metil-5-fenil-2-oxazolina
4-METILETCATINONA (4- MEC)	(R / S) - 2- (Etilamino) -1- (4-metilfenil)propan-1-ona
4-MTA	α-metil-4-metiltiofenetilamina

5F-APINACA (5F-AKB-48)	N-((3s,5s,7s)-adamantan-1-il)-1-(5- fluoropentil)-1H-indazol-3-carboxamida
5F-MDMB-PINACA (5F-ADB)	Metil (2S) -2 - {[1- (5-fluoropentil) -1H-indazol-3-carbonil] amino} -3,3- dimetilbutanoato
5F-PB-22	Quinolin-8-il 1- (5-fluoropentil) -1H-indol- 3-carboxilato
5-MeO-MiPT	5-metoxi-N-metil-N-isopropiltriptamina
6-APB	6-(2-Aminopropil)Benzofurano
AB-CHMINACA	N - [(2S) -1-Amino-3-metil-1-oxobutan-2il]-1- (ciclohexilmetil) -1H-indazol-3- carboxamida
AB-PINACA	N - [(2S) -1-Amino-3-metil-1-oxobutan-2-il]-1-pentil-1H-indazol-3-carboxamida
ACEPROMAZINA	1-[10-(3-dimetilaminopropil)-10H- fenotiazin-2-il]etanona
ACETIL-ALFA- METILFENTANILO	N-[1-( $\alpha$ -metilfenetil)-4-piperidil]acetanilida
ACETILDIHIDROCODEÍNA	(derivado de la codeína)
ACETILFENTANILO	N-[1-(2-feniletil)-4-piperidil]-N- fenilacetamida
ACETILMETADOL	3-acetoxi-6-dimetilamino-4,4- difenilheptano
ACETORFINA	3-O-acetiltetrahidro-7 $\alpha$ -(1-hidroxi-1- metilbutil)-6,14-endo-etenooripavina
ÁCIDO 3,4-MDP-2-P- METILGLÍDICO	2-oxiranecarboxylic acid, 3-(1,3- benzodioxol-5-yl)-2-methyl
ÁCIDO ANTRANÍLICO	ácido 2-aminobenzoico
ÁCIDO FENILACÉTICO	ácido bencenoacético
ÁCIDO GAMMA-HIDROXIBUTÍRICO (GHB)	ácido $\gamma$ -hidroxibutírico
ÁCIDO LISÉRGICO	10-didehidro-N,N-dietil-6-metilergolina-8 $\beta$ - carboxamida
ÁCIDO N-ACETILANTRANÍLICO	ácido benzoico, 2-(acetilamino)
ACRILFENTANILO (ACRILFENTANILO)	N-Fenil-N- [1- (2-feniletil) piperidin-4-il] prop-2-enamida
ADB-CHMINACA	N-[(2S)-1-amino-3,3-dimetil-1-oxobutan-2- il]-1-(ciclohexilmetil)-1H-indazol-3- carboxamida
ADB-FUBINACA	N-[(2S)-1-amino-3,3-dimetil-1-oxobutan-2-il]-1-[(4-fluorofenil)metil]-1H-indazol-3- carboxamida
ADINAZOLAM	8-cloro-1-(dimetilaminometil)-6-fenil-4H- 1,2,4-triazolo{4,3- $\alpha$ }{1,4}benzodiazepina
AH-7921	3,4-dicloro-N-[(1- dimetilamino)ciclohexilmetil]benzamida
ALFACETILMETADOL	$\alpha$ -3-acetoxi-6-dimetilamino-4,4- difenilheptano
ALFA- FENILACETOACETAMIDA (APAA)	benzeneacetamide, $\alpha$ -acetyl
ALFA- FENILACETOACETONITRIL O (APAAN)	3-oxo-2-fenilbutanonitrilo

ALFAMEPRODINA	$\alpha$ -3-etil-1-metil-4-fenil-4- propionoxipiperidina
ALFAMETADOL	$\alpha$ -6-dimetilamino-4,4-difenil-3-heptanol
ALFA-METILFENTANILO	N-[1-( $\alpha$ -metilfenetil)-4- piperidil]propionanilida
ALFA-METILTIOFENTANILO	N-[1-[1-metil-2-(2-tienil)etil]-4- piperidil]propionanilida
ALFAPRODINA	$\alpha$ -1,3-dimetil-4-fenil-4-propionoxipiperidina
ALFENTANILO	N-[1-[2-(4-etil-4,5-dihidro-5-oxo-1H- tetrazol-1-il)etil]-4-(metoximetil)-4- piperidinil]-N-fenilpropanamida
ALILPRODINA	3-alil-1-metil-4-fenil-4-propionoxipiperidina
ALLILESCALINA	3,5-dimetoxi-4- (2-propeniloxi) benzeno etanamina HCl
ALOBARBITAL	ácido 5,5-dialilbarbitúrico
ALPRAZOLAM	8-cloro-1-metil-6-fenil-4H-s-triazolo[4,3- $\alpha$ ]; [1,4]benzodiazepina
AM-2201	[1-[(5-fluoropentil)-1H-indol-3-il]-(naftalen-1-il)metanona
AMB-FUBINACA	N-[[1-[(4-fluorofenil)metil]-1H-indazol-3- yl]carbonil]-L-valina, ester metilico
AMINEPTINA	ácido 7-[(10,11-dihidro-5H-dibenzo[a,d] ciclohepten-5-il)amino]heptanoico
AMINOREX	2-amino-5-fenil-2-oxazolina
AMISULPRIDA	4-amino-N-[(1-etil-2-pirrolidinil)metil]-5- etilsulfonil-2-metoxi-benzamida
AMITRIPTILINA	3-(10,11-dihidro-5H- dibenzo[a,d]ciclohepten-5-iliden)- propildimetilamina
AMOBARBITAL	ácido 5-etil-5-isopentilbarbitúrico
AMOXAPINA	2-cloro-11-(piperazin-1- il)dibenzo{b.f}{1,4}oxazepina
ANFEPRAMONA (DIETILPROPION)	2-(dietilamino)propiofenona
ANFETAMINA	( $\pm$ )- $\alpha$ -metilfenetilamina
ANILERIDINA	éster etílico del ácido 1-p-aminofenetil-4- fenilpiperidin-4-carboxílico
ANPP	4-Anilino-N-fenetilpiperidina
BARBITAL	ácido 5,5-dietilbarbitúrico
BECITRAMIDA	1-(3-ciano-3,3-difenilpropil)-4-(2-oxo-3- propionil-1-bencimidazolinil) piperidina
BENCETIDINA	Éster etílico del ácido 1-(2-benciloxietil)-4- fenilpiperidin-4-carboxílico
BENCILMORFINA	3-bencilmorfina
BENZFETAMINA	N-bencil-N, $\alpha$ -dimetilfenetilamina

BETACETILMETADOL	$\beta$ -3-acetoxi-6-dimetilamino-4,4- difenilheptano
BETA-HIDROXI-3- METILFENTANILO	N-[1-( $\beta$ -hidroxifenil)-3-metil-4- piperidil]propionanilida
BETA-HIDROXIFENTANILO	N-[1-( $\beta$ -hidroxifenil)-4- piperidil]propionanilida
BETAMEPRODINA	$\beta$ -3-etil-1-metil-4-fenil-4- propionoxipiperidina
BETAMETADOL	$\beta$ -6-dimetilamino-4,4-difenil-3-heptanol
BETAPRODINA	$\beta$ -1,3-dimetil-4-fenil-4-propionoxipiperidina
BROLANFETAMINA (DOB)	( $\pm$ )-4-bromo-2,5-dimetoxi- $\alpha$ -metilfenetilamina
BROMAZEPAM	7-bromo-1,3-dihidro-5-(2-piridil)-2H-1,4- benzodiazepin-2-ona
BROMPERIDOL	4-{4-( $p$ -bromofenil)-4-hidroxi-1-piperidinil}- 1-( $p$ -fluorofenil)-1-butanona
BROTIZOLAM	2-bromo-4-( $o$ -clorofenil)-9-metil-6H- tieno[3,2-f]-striazolo[4,3-a][1,4]diazepina
BUPRENORFINA	2l-ciclopropil-7- $\alpha$ -[(S)-1-hidroxi-1,2,2- trimetilpropil]-6,14-endo-etano-6,7,8,14-tetrahidrooripavina
BUTALBITAL	ácido 5-alil-5-isobutilbarbitúrico
BUTILONA	1- (1,3-benzodioxol-5-il) -2- (metilamino) butan-1-ona
BUTIRATO DE DIOXAFETILO	etil-4-morfolin-2,2-difenilbutirato
BUTIRFENTANILO	N-fenil-N-[1-(2-feniletíl)-4- piperidinil]butanamida
BUTOBARBITAL	ácido 5-butil-5-etilbarbitúrico
BUTORFANOL	17-ciclobutilmetil-morfinan-3,14-diol
BUTRIPTILINA	(+/-)-3-(10,11-dihidro-5H- dibenzo{a,d}ciclohepten-5-il)-2,N,N-trimetilpropilamina
CAMAZEPAM	7-cloro-1,3-dihidro-3-hidroxi-1-metil-5- fenil-2H-1,4-benzodiazepin-2-ona dimetilcarbamato (éster)
CANNABIS (Para efectos de la adquisición de derivados no psicoactivos de cannabis no serán aplicables los trámites previstos en la Resolución 1478 del 2006 o las normas que la modifiquen o sustituyan. Para el caso de material de referencia se deberá cumplir con los trámites de comercio exterior sin excepción de su expresión de THC).	Sumidades, floridas o con fruto, de la planta de cannabis (a excepción de las semillas y las hojas no unidas a las sumidades) de las cuales no se ha extraído la resina, cualquiera que sea el nombre con que se las designe. Incluyendo los derivados de cannabis que contengan cantidades de THC (sus isómeros y formas acidas), iguales o superiores a 0,2%.
CARFENTANILO	Metil 1- (2-feniletíl) -4- [fenil (propanoil) amino] piperidina-4-carboxilato
CATINA	(+)-(S)- $\alpha$ -[(S)-1-aminoetil]alcohol bencílico

CATINONA	(-)-(S)-2-aminopropiofenona
CETOBEMIDONA	4-m-hidroxifenil-1-metil-4- propionilpiperidina
CICLOBARBITAL	ácido 5-(ciclohexen-1-il)-5-etilbarbitúrico
CICLOPROPILFENTANILO	N-fenil-N-[1-(2-feniletil)piperidin-4- il]ciclopropanocarboxamida
CINARIZINA	(E)-1-(difenilmetil)-4-(3-fenil-2- propenil)piperazina
CLOBAZAM	7-cloro-1-metil-5-fenil-1H-1,5-benzodiazepin-2,4(3H,5H)-diona
CLOBENZOREX	(+)-N-(2-clorobencil)-1-fenil-2-propilamina
CLOMIPRAMINA	3-(3-cloro-10,11-dihidro-5H-dibenzo{b,f}azepina-5- il)propildimetilamina
CLONAZEPAM	5-(o-clorofenil)-1,3-dihidro-7-nitro-2H-1,4- benzodiazepin-2-ona
CLONITACENO	2-(p-clorobencil)-1-dietilaminoetil-5- nitrobencimidazol
CLORAZEPATO	ácido-7-cloro-2,3-dihidro-2-oxo-5-fenil-1H- 1,4-benzodiazepin-3-carboxílico
CLORDIAZEPÓXIDO	7-cloro-2-(metilamino)-5-fenil-3H-1,4- benzodiazepin-4-óxido
CLORFENTERMINA	1-(p-clorofenil)-2-metil-2-propilamina
CLORPROMAZINA	2-cloro-10-(3-dimetilaminopropil)fenotiazina
CLOTIAZEPAM	5-(o-clorofenil)-7-etil-1,3-dihidro-1-metil- 2H-tieno[2,3-e]-1,4-diazepin-2-ona
CLOXAZOLAM	10-cloro-11b-(o-clorofenil)-2,3,7,11b- tetrahidrooxazolo[3,2- d][1,4]benzodiazepin-6(5H)-ona
CLOZAPINA	8-cloro-11-(4-metilpiperazin-1-il)-5H-dibenzo[b,e][1,4]diazepina
COCA (HOJA DE)	hoja del arbusto de coca (materia de origen vegetal), salvo las hojas de las que se haya extraído toda la ecgonina, la cocaína y otros alcaloides de ecgonina
COCAÍNA	éster metílico de la benzoilecgonina (alcaloide extraído de la hoja de coca o preparado por síntesis a partir de la ecgonina)
CODEÍNA	3-metilmorfina (derivado de la morfina, alcaloide que se encuentra en el opio y en la paja de adormidera)
CODOXIMA	dihidrocodeinona-6-carboximetiloxima
CONCENTRADO DE PAJA DE ADORMIDERA	NO APLICA
CUMIL-4CN-BINACA	1-(4-cianobutil)-N-(2-fenilpropan-2-il)- 1Hindazol-3-carboxamida
DELORAZEPAM	7-cloro-5-(o-clorofenil)-1,3-dihidro-2H-1,4- benzodiazepin-2-ona
DESOMORFINA	Dihidrodesoximorfina

DET	3-[2-(dietilamino)etil]indol
DEXANFETAMINA	(+)- $\alpha$ -metilfenetilamina
DEXTROMORAMIDA	(+)-4-[2-metil-4-oxo-3,3-difenil-4-(1- pirrolidinil)butil]morfolina (isómero dextrógiro de la moramida)
DEXTROPROPOXIFENO	propionato de $\alpha$ -(+)-4-dimetilamino-1,2- difenil-3-metil-2-butanol (isómerodextrógiro del propoxifeno)
DIAMPROMIDA	N-[2-(metilfenetilamino)- propil]propionanilida
DIAZEPAM	7-cloro-1,3-dihidro-1-metil-5-fenil-2H-1,4- benzodiazepin-2-ona
DIBENCEPINA O DIBENZEPINA	10-(2-dimetilaminoetil)-5-10-dihidro-5- metil-dibenzo{b,e}{1,4}diazepin-11-ona
DIBUTILONA	2-dimetilamino-1-(3,4-metilendioxfenil)- butan-1-ona
DIETILTAMBUTENO	3-dietilamino-1,1-di-(2'-tienil)-1-buteno
DIFENOXILATO	éster etílico del ácido 1-(3-ciano-3,3-difenilpropil)-4-fenilpiperidina-4- carboxílico
DIFENOXINA	ácido 1-(3-ciano-3,3-difenilpropil)-4- fenilisonipecótico
DIHIDROCODEÍNA	4,5-epoxi-3-metoxi-17-metilmorfinan-6-ol
DIHIDROETORFINA	7,8-dihidro-7 $\alpha$ -[1-(R)-hidroxi-1-metilbutil]- 6,14-endo-etanotetrahidroorpavina (derivado de la etorfina)
DIHIDROMORFINA	4,5-epoxi-17-metilmorfinan-3,6-diol
DIMEFPTANOL	6-dimetilamino-4,4-difenil-3-heptanol
DIMENOXADOL	2-dimetilaminoetil-1-etoxi-1,1- difenilacetato
DIMETILONA	N,N-Dimetil-beta-ceto-3,4-metilenedioxianfetamina
DIMETILTAMBUTENO	3-dimetilamino-1,1-di-(2'-tienil)-1-buteno
DIPIPANONA	4,4-difenil-6-piperidin-3-heptanona
DMA	( $\pm$ )-2,5 dimetoxi- $\alpha$ -metilfenetilamina
DMHP	3-(1,2-dimetilheptil)-7,8,9,10-tetrahidro- 6,6,9-trimetil-6Hdibenzo[b,d]pirano-1-ol
DMT	3-[2-(dimetilamino)etil]indol
DOC	2,5-Dimetoxi-4-cloroamfetamina
DOET	( $\pm$ )-4-etil-2,5-dimetoxi- $\alpha$ -metilfenetilamina
DOI	1-(4-Yodo-2,5-dimetoxifenil)propan-2-amina
DOXEPINA	3-(dibenzo{b,e}oxepina-11- iliden)propildimetilamina
DRONABINOL	(6aR,10aR)-6a,7,8,10a-tetrahidro-6,6,9- trimetil-3-pentil-6H-dibenzo[b,d]pirano-1-ol

DROPERIDOL	1-{1-(3-(4-fluorobenzoil)propil)-1,2,3,6- tetrahidro-4-piridil} benzimidazolin-2-ona
DROTEBANOL	3,4-dimetoxi-17-metilmorfinan-6β, 14-diol
ECGONINA	sus ésteres y derivados que sean convertibles en ecgonina y cocaína
EFEDRINA	[R-(R*,S*)]-α-[1-(metilamino)etil]- benzenometanol
ERGOMETRINA	ergolina-8-carboxamida,9,10-didehidro-N- (2-hidroxi-1-metiletil)-6-metil-, [8β(S)]
ERGOTAMINA	ergotamin-3',6',18'-triona,12'-hidroxi-2'- metil-5'-(fenilmetil), (5'α)
ESCOPOLAMINA	(S)-3-Hidroxi-2-fenilpropanoato de (1R,2R,4S,7S,9S)-9-metil-3-oxa-9-azatriciclo[3.3.1.0 <sup>2,4</sup> ]non-7-ilo
ESTAZOLAM	8-cloro-6-fenil-4H-s-triazolo[4,3- a][1,4]benzodiazepina
ETCLORVINOL	1-cloro-3-etil-1-penteno-4-in-3-ol
ETICICLIDINA	N-etil-1-fenilciclohexilamina
ETILANFETAMINA	N-etil-α-metilfenetilamina
ETILFENIDATO	Etil 2-fenil-2- (piperidin-2-il) acetato
ETILMETILTAMBUENO	3-etilmetilamino-1,1-di-(2'-tienil)-1-buteno
ETILMORFINA	3-etilmorfina
ETILONA	1-(1,3-benzodioxol-5-il)-2-(etilamino)propan-1-ona
ETINAMATO	carbamato de 1-etinilciclohexanol
ETONITACENO	1-dietilaminoetil-2-p-etoxibencil-5- nitrobencimidazol
ETOPERIDONA	2-{3-(4-(3-clorofenil)piperazin-1-il)propil}-4,5-dietil-2,4-dihidro-3H-1,2,4-triazol-3- ona
ETORFINA	tetrahidro-7α-(1-hidroxi-1-metilbutil)-6,14- endo-etenooripavina
ETOXERIDINA	éster etílico del ácido 1-[2-(2-hidroxietoxi)- etil]-4-fenilpiperidin-4- carboxílico
ETRIPTAMINA	3-(2-aminobutil)indol
FENADOXONA	6-morfolin-4,4-difenil-3-heptanona
FENAMPROMIDA	N-(1-metil-2-piperidinoetil)propionanilida
FENAZEPAM	7-bromo-5-(2-clorofenil)-1,3-dihidro-2H-1,4-benzodiazepin-2-ona
FENAZOCINA	2'-hidroxi-5,9-dimetil-2-fenetil-6,7- benzomorfan
FENCANFAMINA	N-etil-3-fenil-2-norbonanamina
FENCICLIDINA (PCP)	1-(1-fenilciclohexil)piperidina
FENDIMETRACINA	(+)-(2S,3S)-3,4-dimetil-2-fenilmorfolina

FENETILINA	7-[2-[( $\alpha$ -metilfenetil)amino]etil]teofilina
FENMETRACINA	3-metil-2-fenilmorfolina
FENOBARBITAL	ácido 5-etil-5-fenilbarbitúrico
FENOMORFANO	3-hidroxi-N-fenetilmorfinán
FENOPERIDINA	éster etílico del ácido 1-(3-hidroxi-3- fenilpropil)-4-fenilpiperidin-4-carboxílico
FENPROPOREX	( $\pm$ )-3-[( $\alpha$ -metilfenetil)amino]propionitrilo
FENTANILO	1-fenetil-4-N-propionilnilinopiperidina
FENTERMINA	$\alpha,\alpha$ -dimetilfenetilamina
FLUDIAZEPAM	7-cloro-5-(o-fluorofenil)-1,3-dihidro-1- metil-2H-1,4-benzodiazepin-2-ona
FLUFENAZINA	1-(2-hidroxietil)-4-[3-(trifluorometil-10- fenotiazinil)propil]-piperazina
FLUNITRAZEPAM	5-(o-fluorofenil)-1,3-dihidro-1-metil-7-nitro- 2H-1,4-benzodiazepin-2-ona
FLUPENTIXOL	(Z)-2-(4-[3-{2-(trifluorometil)-9H-tioxanten- 9-iliden}propil]piperazin-1-il])etanol
FLURAZEPAM	7-cloro-1-[2-(dietilamino)etil]-5-(o- fluorofenil)-1,3-dihidro-2H-1,4-benzodiazepin-2-ona
FOLCODINA	morfoliniletilmorfina
FUB-AMB	metil(2S)-2-({1-[(4-fluorofenil)metil]-1H- indazol3-carbonil}amino)-3-metilbutanoato
FURANILFENTANILO	N-Fenil-N- [1- (2-feniletil) piperidin-4-il] - furan-2-carboxamida
FURETIDINA	éster etílico del ácido 1-(2- tetrahidrofurfuriloxietil)-4-fenilpiperidin-4-carboxílico
GLUTETIMIDA	2-etil-2-fenilglutarimida
HALAZEPAM	7-cloro-1,3-dihidro-5-fenil-1-(2,2,2- trifluoroetil)-2H-1,4-benzodiazepin-2-ona
HALOPERIDOL	4-[4-(4-clorofenil)-4-hidroxi-1-piperidinil]-1- (4-fluorofenil)-1-butanona
HALOXAZOLAM	10-bromo-11b-(o-fluorofenil)-2,3,7,11b- tetrahidrooxazolo[3,2- d][1,4]benzodiazepin-6(5H)-ona
HEROÍNA	Diacetilmorfina
HIDRATO DE CLORAL	2,2,2-tricloroetano-1,1-diol
HIDROCODONA	Dihidrocodeinona
HIDROMORFINOL	14-hidroxidihromorfina
HIDROMORFONA	Dihidromorfinona

HIDROXIPETIDINA	éster etílico del ácido 4-m-hidroxifenil-1- metilpiperidin-4-carboxílico
IMIPRAMINA	5-(3-dimetilaminopropil)-10,11-dihidro-5H-dibenzo[b,f]azepina
ISOMETADONA	6-dimetilamino-5-metil-4,4-difenil-3- hexanona
ISOSAFROL	1,3-benzodioxole,5-(1-propenil)
JWH-018 (AM-678)	naftalen-1-il(1-pentil-1H-indol-3- il)metanona
KETAMINA	2-(2-clorofenil)-2-(metilamino)ciclohexanona
KETAZOLAM	11-cloro-8,12b-dihidro-2,8-dimetil-12b- fenil-4H-[1,3]oxazino[3,2- d][1,4]benzodiazepin-4,7(6H)-diona
LEFETAMINA (SPA)	(-)-N,N-dimetil-1,2-difeniletilamin
LEVANFETAMINA	(-)-(R)- $\alpha$ -metilfenetilamina((-)isómero de la anfetamina)
LEVOFENACILMORFANO	(-)-3-hidroxi-N-fenacilmorfinan
LEVOMEPRMAZINA O METOTRIMEPRAZINA	(-)-N,N-dimetil-3-(2-metoxifenotiazin-10- il)-2-metilpropilamina
LEVOMETANFETAMINA	(-)-N, $\alpha$ -dimetilfenetilamina
LEVOMETORFANO	(-)-3-metoxi-N-metilmorfinán
LEVOMORAMIDA	(-)-4-[2-metil-4-oxo-3,3-difenil-4-(1- pirrolidinil)butil]morfolina
LEVORFANOL	(-)-3-hidroxi-N-metilmorfinán
LISDEXANFETAMINA	(2S)-2,6-diamino-N-[(2S)-1-fenilpropano-2-il]hexanamida
LOFLAZEPATO DE ETILO	7-cloro-5-(o-fluorofenil)-2,3-dihidro-2-oxo- 1H-1,4-benzodiazepina-3-carboxilato de etilo
LOPRAZOLAM	6-(o-clorofenil)-2,4-dihidro-2-[(4-metil-1- piperacini]metileno]-8-nitro-1H-imidazo[1,2-a][1,4]benzodiazepin-1-ona
LORAZEPAM	7-cloro-5-(o-clorofenil)-1,3-dihidro-3- hidroxi-2H-1,4-benzodiazepin-2-ona
LORMETAZEPAM	7-cloro-5-(o-clorofenil)-1,3-dihidro-3- hidroxi-1-metil-2H-1,4-benzodiazepin-2- ona
LOXAPINA	2-cloro-11-(4-metil-1-piperazin-il)dibenzo{b,f}{1,4}oxazepina
MAPROTILINA	3-(9,10-dihidro-9,10-etanoantracen-9-il)- N-metil-1-propilamina
MAZINDOL	5-(p-clorofenil)-2,5-dihidro-3H- imidazo[2,1-a]isoindol-5-ol
mCPP	meta-clorfenilpiperazina
MDE, N-ETIL MDA	( $\pm$ )-N-etil- $\alpha$ -metil-3,4-(metilendioxi)fenetilamina
MDMA	( $\pm$ )-N, $\alpha$ -dimetil-3,4- (metilendioxi)fenetilamina

MDMB-CHMICA	metil-(2S)-2-[[1-(ciclohexilmetil)indol-3- carbonil]amino]-3,3-dimetilbutanoato
MDPV	(R/S)-1-(Benzo[d][1,3]dioxol-5-il)-2- (pirrolidin-1-il)pentan-1-ona
MECLOCUALONA	3-(o-clorofenil)-2-metil-4(3H)-quinazolinona
MEDAZEPAM	7-cloro-2,3-dihidro-1-metil-5-fenil-1H-1,4- benzodiazepina
MEFEDRONA	(RS)-2-metilamino-1-(4-metilfenil)propan-1-ona
MEFENOREX	N-(3-cloropropil)-a-metilfenetilamina
MEPROBAMATO	dicarbamato de 2-metil-2-propil-1,3-propanodiol
MESCALINA	3,4,5-trimetoxifenetilamina
MESOCARBO	imina de 3-( $\alpha$ -metilfenetil)-N-(fenilcarbamoil)sidnona
MESORIDAZINA	10-{2-(1-metil-2-piperidinil)etil}-2- (metilsulfinil)-10H-fenotiazina
METACUALONA	2-metil-3-o-tolil-4(3H)-quinazolinona
METADONA	6-dimetilamino-4,4-difenil-3-heptanona
METADONA, INTERMEDIARIO DE LA	4-ciano-2-dimetilamino-4,4-difenilbutano
METANFETAMINA	(+)-(S)-N, $\alpha$ -dimetilfenetilamina
METAPRAMINA	10,11-dihidro-5-metil-10-(metilamino)-5H- dibenzo{b,f}azepina
METAZOCINA	2-hidroxi-2,5,9-trimetil-6,7-benzomorfan
METCATINONA	2-(metilamino)-1-fenilpropan-1-ona
METILDESORFINA	6-metil- $\Delta$ 6-deoximorfina (derivado de la morfina)
METILDIHIDROMORFINA	6-metildihidromorfina (derivado de la morfina)
METILFENIDATO	metil- $\alpha$ -fenil-2-acetato de piperidina
METILFENOBARBITAL	ácido 5-etil-1-metil-5-fenilbarbitúrico
METILONA	(RS)-2-metilamino-1-(3,4- metilendioxifenil)propano-1-ona
METIOPROPAMINA (MPA)	N, $\alpha$ -dimetil-2-tiofeno etanamina, HCl
METIPRILONA	3,3-dietil-5-metil-2,4-piperidino-diona
METOPÓN	5-metildihidromorfinona (derivado de la morfina)
METOXETAMINA (MXE)	2-(3-metoxifenil)-2-(etilamino)- ciclohexanona
METOXIACETILFENTANILO	2-metoxi-N-fenil-N-[1-(2-feniletil)piperidin- 4-il]acetamida

MEXAZOLAM	10-Cloro-2,3,7,11b-tetrahydro-3-metil-11b- (o-clorofenil)oxazolo[3,2- d][1,4]benzodiazepin-6(5H)-ona
MIANSERINA	1,2,3,4,10,14b-hexahidro-2- metildibenzo{c,f}-pirazino{1,2- $\alpha$ }azepina
MIDAZOLAM	8-cloro-6-(o-fluorofenil)-1-metil-4H- imidazo[1,5-a][1,4]benzodiazepina
MIROFINA	miristilbencilmorfina (derivado de la morfina)
MMDA	5-metoxi- $\alpha$ -metil-3,4-(metilendioxi)fenetilamina
MOLINDONA	3-etil-1,5,6,7-tetrahydro-2-metil-5-(4- morfolinilmetil)-4H-indol-4-ona
MORAMIDA, INTERMEDIARIO DE LA	ácido 2-metil-3-morfolin-1,1- difenilpropano carboxílico
MORFERIDINA	éster etílico del ácido 1-(2-morfolinoetil)-4- fenilpiperidina-4-carboxílico
MORFINA	7,8-didehidro-4,5-epoxi-17-metilmorfinan- 3,6-diol
MORFINA, BROMOMETILATO DE	y otros derivados de la morfina con nitrógeno pentavalente, especialmente los derivados de la N-oximorfina, uno de los cuales es la N-oxicodina
MPPP	propionato de 1-metil-4-fenil-4-piperidinol (éster)
MT-45	1-ciclohexil-4-(1,2-difeniletíl)piperazina
N,N-DIMETILANFETAMINA	N,N-dimetil-1-fenil-2-propilamina
NALBUFINA	17-(ciclobutilmetil)-4,5-epoximorfinan-3,6,14-triol
N-BENCILPIPERAZINA (BZP)	1-bencilpiperazina
N-ETILNORPENTILONA / EFILONA	1-(2H-1,3-benzodioxol-5-il)-2-(etilamino)pentan1-ona
N-ETILPENTILONA	1-(1,3-benzodioxol-5-il)-2-(etilamino)-1- pentanona
N-HIDROXI MDA	( $\pm$ )-N[ $\alpha$ -metil-3,4- (metilendioxi)fenetil]hidroxilamina
NICOCODINA	6-nicotinilcodeína
NICODICODINA	6-nicotinildihidrocodeína
NICOMORFINA	3,6-dinicotinilmorfina
NIMETAZEPAM	1,3-dihidro-1-metil-7-nitro-5-fenil-2H-1,4-benzodiazepin-2-ona
NITRAZEPAM	1,3-dihidro-7-nitro-5-fenil-2H-1,4- benzodiazepin-2-ona
N-METILEFEDRINA	(1RS,2SR)-2-dimetilamino-1-fenil-1-propanol
N- METILPSEUDOEFEDRINA	(1RS,2RS)-2-dimetilamino-1-fenil-1- propanol
NOMIFENSINA	1,2,3,4-tetrahydro-2-metil-4-fenil-8-isoquinolinamina

NORACIMETADOL	(±)-α-3-acetoxi-6-metilamino-4,4- difenilheptano
NORCODEÍNA	N-demetilcodeína (derivado de la morfina)
NORDAZEPAM	7-cloro-1,3-dihidro-5-fenil-2H-1,4-benzodiazepin-2-ona
NOREFEDRINA	(R*,S*)-α-(1-aminoetil)benzenometanol
NORLEVORFANOL	(-)-3-hidroximorfinán
NORMETADONA	6-dimetilamino-4,4-difenil-3-hexanona
NORMORFINA	Demetilmorfina
NORPIPANONA	4,4-difenil-6-piperidin-3-hexanona
NORTRIPTILINA	3-(10,11-dihidro-5H- dibenzo{a,d}ciclohepten-5-iliden)-N-metil- 1-propilamina
N-OXIMORFINA	N-oxido de 7,8-didehidro-4,5-epoxi-17- metilmorfinan-3,6-diol
NPP	N-Fenetil-4-piperidona (NPP)
OCFENTANILO	N- (2-Fluorofenil) -2-metoxi-N- [1- (2- feniletil) piperidin-4-il] acetamida
OPIO	jugo coagulado de la adormidera (planta de la especie Papaver somniferum L.)
OPIPRAMOL	4-[3-(5H-dibenz{b,f}azepin-5-il)propil]-1- (2-hidroxietyl)piperazina
ORIPAVINA	3-O-demetiltebaína
ORTOFLUOROFENTANILO	N-(2-fluorofenil)-N-[1-(2-feniletil)piperidin- 4-il]propanamida
OXAZEPAM	7-cloro-1,3-dihidro-3-hidroxi-5-fenil-2H- 1,4-benzodiazepin-2-ona
OXAZOLAM	10-cloro-2,3,7,11b-tetrahidro-2-metil-11b-feniloxazolo[3,2-d][1,4]benzodiazepin- 6(5H)-ona
OXICODONA	14-hidroxi-dihidrocodeinona (derivado de la morfina)
OXIMORFONA	14-hidroxi-dihidromorfinona (derivado de la morfina)
PARAFLUOROBUTIRILFEN TANILO	N-(4-fluorofenil)-N-[1-(2-feniletil)piperidin- 4-il]butanamida
PARA-FLUOROFENTANILO	4'-fluoro-N-(1-fenetil-4- piperidil)propionanilida
PARAHEXILO	3-hexil-7,8,9,10-tetrahidro-6,6,9-trimetil- 6H-dibenzo[b,d]pirano-1-ol
PEMOLINA	2-amino-5-fenil-2-oxazolin-4-ona
PENFLURIDOL	1-[4,4-bis(4-fluorofenil)butil]-4-[4-cloro-3- (trifluorometil)fenil]piperidin-4-ol
PENTAZOCINA	(2R*,6R*,11R*)-1,2,3,4,5,6-hexahidro-6,11-dimetil-3-(3-metil-2-butenil)-2,6- metano-3-benzazocin-8-ol
PENTEDRONA	α-metilamino-valerofenona

PENTOBARBITAL	ácido 5-etil-5-(1-metilbutil)barbitúrico
PEPAP	acetato de 1-fenil-4-fenil-4-piperidinol (éster)
PERFENAZINA	2-[4-{3-(2-clorofenotiazin-10-il)propil}piperazin-1-il]etanol
PERICIAZINA O PROPERICIAZINA	2-ciano-10-[3-(4-hidroxipiperidino)propil]fenotiazina
PETIDINA	éster etílico del ácido 1-metil-4- fenilpiperidin-4-carboxílico
PETIDINA, INTERMEDIARIO A DE LA	4-ciano-1-metil-4-fenilpiperidina
PETIDINA, INTERMEDIARIO B DE LA	éster etílico del ácido 4-fenilpiperidín-4- carboxílico
PETIDINA, INTERMEDIARIO C DE LA	ácido 1-metil-4-fenilpiperidin-4-carboxílico
PIMINODINA	éster etílico del ácido 4-fenil-1-(3- fenilaminopropil)piperidin-4-carboxílico
PIMOZIDA	1-[1-{4,4-bis(4-fluorofenil)butil}-4-piperidinil]benzimidazolin-2-ona
PINAZEPAM	7-cloro-1,3-dihidro-5-fenil-1-(2-propinil)- 2H-1,4-benzodiazepin-2-ona
PIPERIDINA	Piperidina
PIPERONAL	1,3-benzodioxol-5-carboxaldehido
PIPOTIAZINA	10-[3-{4-(2-hidroxi-etil)-1-piperidinil}propil]- N,N-dimetil-10H-fenotiazin-2-sulfonamida
PIPRADROL	1,1-difenil-1-(2-piperidil)metanol
PIRITRAMIDA	amida del ácido 1-(3-ciano-3,3- difenilpropil)-4-(1-piperidino)piperidin-4- carboxílico
PIROVALERONA	4'-metil-2-(1-pirrolidinil)valerofenona
PIZOTIFENO, PIZOTILINA	9,10-dihidro-4-(1-metil-4-piperidiniliden)- 4H-benzo{4,5}ciclohepta{1,2-b}tiofeno
PMA	p-metoxi- $\alpha$ -metilfenetilamina
PMMA	para-metoximetilanfetamina
PRAZEPAM	7-cloro-1-(ciclopropilmetil)-1,3-dihidro-5- fenil-2H-1,4-benzodiazepin-2-ona
PRIMIDONA	5-etil-5-fenil-hexahidropirimidina-4,6-diona
PROCLORPERAZINA	2-cloro-10-{3-(4-metil-1-piperazinil)propil}-10H-fenotiazina
PROHEPTACINA	1,3-dimetil-4-fenil-4- propionoxiazacicloheptano
PROPERIDINA	éster isopropílico del ácido 1-metil-4- fenilpiperidin-4-carboxílico
PROPIRAM	N-(1-metil-2-piperidinetil)-N-2- piridilpropionamida
PROTRIPTILINA	3-(5H-dibenzo{a,d}ciclohept-5-enil)-N-metil-1-propilamina
PSILOCIBINA	fosfato dihidrogenado de 3-[2- (dimetilaminoetil)]indol-4-ilo
PSILOCINA, PSILOTSINA	3-[2-(dimetilamino)etil]indol-4-ol

QUINUPRAMINA	10,11-dihidro-5-(3-quinuclidinil)5H- dibenzo{b,f,}azepina
RACEMATO DE METANFETAMINA	(±)-N,α-dimetilfenetilamina
RACEMETORFANO	(±)-3-metoxi-N-metilmorfinán
RACEMORAMIDA	(±)-4-[2-metil-4-oxo-3,3-difenil-4-(1- pirrolidinil)butil]morfolina
RACEMORFANO	(±)-3-hidroxi-N-metilmorfinán
REMIFENTANILO	éster metílico del ácido 1-(2- metoxicarboniletil)-4-(fenilpropionilamino)-piperidin-4-carboxílico
RESINA, EXTRACTOS Y TINTURAS DE CANNABIS	resina separada, en bruto o purificada, obtenida de la planta de cannabis
ROLICICLIDINA	1-(1-fenilciclohexil)pirrolidina
SAFROL	1,3-benzodioxol,5-(2-propenil)
SALVINORINA A	metil (2S,4aR,6aR,7R,9S,10aS,10bR)-9-acetiloxi-2-(furan-3-il)-6a,10b-dimetil-4,10- dioxo-2,4a,5,6,7,8,9,10a-octahidro-1H- benzo[f]isocromeno-7-carboxilato
SECBUTABARBITAL	ácido 5-sec-butil-5-etilbarbitúrico
SECOBARBITAL	ácido 5-alil-5-(1-metilbutil)-barbitúrico
SEUDOEFEDRINA	[S-(R*,R*)]-α-[1-(metilamino)etil]- benzenometanol
STP, DOM	2,5-dimetoxi-α,4-dimetilfenetilamina
SUFENTANILO	N-[4-(metoximetil)-1-[2-(2-tienil)-etil]-4- piperidil]propionanilida
SULPIRIDA	N-[(1-etil-2-pirrolidinil)metil]-2-metoxi-5-sulfamoilbenzamida
SULTOPRIDA	N-[(1-etil-2-pirrolidinil)metil]-2-metoxi-5- (etilsulfonil)benzamida
TAPENTADOL	3-[(2R,3R)-1-(dimetilamino)-2-metil-3-pentil]fenol
TEBACÓN	acetildihidrocodeinona (forma acetilada enólica de la hidrocodona)
TEBAÍNA	6,7,8,14-tetradehidro-4,5-epoxi-3,6- metoxi-17-metilmorfinan
TEMAZEPAM	7-cloro-1,3-dihidro-3-hidroxi-1-metil-5- fenil-2H-1,4-benzodiazepin-2-ona
TENANFETAMINA (MDA)	α-metil-3,4-(metilendioxi)fenetilamina
TENOCICLIDINA (TCP)	1-[1-(2-tienil)ciclohexil]piperidina
TETRAHIDROCANNABINOL DELTA-10-THC	6a,7,8,9-tetrahidro-6,6,9-trimetil-3-pentil- 6H-dibenzo[b,d] pirano-1-ol y sus formas acidas
TETRAHIDROCANNABINOL DELTA-6A(10A)-THC	7,8,9,10-tetrahidro-6,6,9-trimetil-3-pentil-6H-dibenzo[b,d]pirano-1-ol y sus formas acidas

TETRAHIDROCANNABINOL DELTA-6A(7)-THC	(9R,10aR)-8,9,10,10a-tetrahydro-6,6,9-trimetil-3-pentil-6H dibenzo [b,d]pirano-1- ol y sus formas acidas
TETRAHIDROCANNABINOL DELTA-7-THC	(6aR,9R,10aR)-6a,9,10,10a-tetrahydro- 6,6,9-trimetil-3-pentil-6H-dibenzo[b,d]pirano-1-ol y sus formas acidas
TETRAHIDROCANNABINOL DELTA-8-THC	(6aR,10aR)-6a,7,10,10a-tetrahydro-6,6,9- trimetil-3-pentil-6H-dibenzo [b,d]pirano-1-ol y sus formas acidas
TETRAHIDROCANNABINOL DELTA-9(11)-THC	(6aR,10aR)-6a,7,8,9,10,10a-hexahidro- 6,6-dimetil-9-metileno-3-pentil-6H-dibenzo[b,d]pirano-1-ol y sus formas acidas
TETRAHIDROCANNABINOL THC	Tetrahydrocannabinol, isómeros, sus variantes estereoquímicas y sus formas acidas
TETRAHIDROFURANILFEN TANIL (THF-F)	N-Fenil-N- [1- (2-feniletil) piperidin-4-il] oxolano-2-carboxamida
TETRAZEPAM	7-cloro-5-(1-ciclohexen-1-il)-1,3-dihidro-1- metil-2H-1,4-benzodiazepin-2-ona
TILIDINA	(±)-etil-trans-2-(dimetilamino)-1-fenil-3- ciclohexeno-1-carboxilato
TIOFENTANILO	N-[1-[2-(2-tienil)etil]-4- piperidil]propionanilida
TIOPENTAL O TIOPENTONA	ácido 5-etil-5-(1-metilbutil)-2-tiobarbiturico
TIOPROPAZATO	Acetato de 2-[4-{3-(2-clorofenotiazin-10- il)propil}-1-piperazinil]etilo
TIOPROPERAZINA O TIOPERAZINA	N,N-dimetil-10-{3(4-metil-1-piperazinil)- propil}fenotiazina-2-sulfonamida
TIORIDAZINA	10-{2-(1-metil-2-piperidinil)etil}-2- (metiltio)-10H-fenotiazina
TIOTIXENO	(Z)-N,N-dimetil-9-{3-(4-metil-1- piperazinil)propiliden}tioxanteno-2-sulfonamida
TMA	(±)-3,4,5-trimetoxi-α-metilfenetilamina
TRAMADOL	trans-(±)-2-[(dimetilamino)metil]-1-(3-metoxifenil)ciclohexanol
TRANILCIPROMINA	trans-2-fenilciclopropilamina
TRAZODONA	2-[3-{4-(3-clorofenil)-1-piperazinil}propil]- 1,2,4-triazolo[4,3-α]piridin-3(2H)-ona
TRIAZOLAM	8-cloro-6-(o-clorofenil)-1-metil-4H-s- triazolo[4,3-a][1,4]benzodiazepina
TRIFLUOPERAZINA	10-[3-(4-metil-1-piperazinil)propil]-2- (trifluorometil)-10H-fenotiazina
TRIFLUPERIDOL	1-(4-fluorofenil)-4-[4-hidroxi-4-{3- (trifluorometil)fenil}-1-piperidinil]-1- butanona
TRIFLUPROMAZINA O FLUOPROMAZINA	N,N-dimetil-3-[2-(trifluorometil)-10-fenotiazinil]-1-propilamina
TRIMEPERIDINA	1,2,5-trimetil-4-fenil-4-propionoxipiperidina
TRIMIPRAMINA	5-[3-(dimetilamino)-2-metilpropil]-10,11- dihidro-5H-dibenz[b,f]azepina
U-47700	3,4-dicloro-N-(2-(dimetilamino-ciclohexil)- N-metil-benzamida
UR-144	(1-Pentil-1H-indol-3-il) (2,2,3,3- tetrametilciclopropil) metanona

VILOXAZINA	2-[(2-etoxifenoxi)metil]morfolina
VINILBITAL	ácido 5-(1-metilbutil)-5-vinilbarbitúrico
XLR-11	(1-(5-fluoropentil)-1H-indol-3-il)(2,2,3,3- tetrametilciclopropil)metanona
ZIPEPROL	$\alpha$ -( $\alpha$ -metoxibencil)-4-( $\beta$ -metoxifenetil)-1- piperazinaetanol
ZOLPIDEM	N,N,6-trimetil-2-p-tolilimidazol[1,2- a]piridina-3-acetamida
$\alpha$ -PVP	$\alpha$ -pirrolidinovalerofenona

## ANEXO 2.

### COMPUESTOS EMPLEADOS ACTUALMENTE EN LA INDUSTRIA.

DISOLVENTES	CAS/EC
(z) Compuesto de ácido 9-octadecenoico con (z)-n9-octadecenil-1, 3-propanodiamina	40027-38-1
1-etoxi-2-propanol	1569-02-4
1-metoxi-2-propanol	107-98-2
2-Butanone oxime	96-29-7
2-butoxietanol	111-76-2
2-dimetilaminoetanol	108-01-0
3.6-diazaoctano-1.8-diamina	112-24-3
Acetato de etilo	141-78-6
acetato de isopropilo	108-21-4
Acetato de metilo	79-20-9
acetato de n-butilo	123-86-4
acetato de propilo	109-60-4
acetato de vinilo	108-05-4
Acetona	67-64-1
ácidos grasos, aceite de resina, compuestos con (Z)-N9-octadecenil-1, 3-propanodiamina (2:1)	91845-13-5
alcohol bencílico	100-51-6
Alquilbenceno C9-C10	64742-95-6
Benzo(def)criseno	50-32-8
Brea-coaltar	65996-93-2
Butan-1-ol	71-36-3
Butanona	78-93-3
ciclohexanona	108-94-1
Cloruro de metileno	75-09-2
Diethylene glycol monobutyl ether	112-34-5

Etanol	64-17-5
Etil benceno	100-41-4
Fenol metilestirenado	68512-30-1
Glicol ether EE	111-15-9
Heptano, isómeros	142-82-5
Isobutyl alcohol	78-83-1
isopropanol	67-63-0
M- xileno	95-47-6
Metanol	67-56-1
Methoxyisopropyl acetate	108-65-6
Nafta 160-180	64742-95-6
n-propanol	71-23-8
O-xileno	95-47-6
P-xileno	106-42-3
Tolueno	108-88-3
Trementina	8006-64-2
Tris (dimethylaminomethyl) phenol	90-72-2
VAR SOL	64742-88-7
Xileno	1330-20-7
RESINAS	CAS
1,6-diisocianato de hexametileno	822-06-0
3-aminometil-3,5, 5-trimetilciclohexilamina	2855-13-2
4,4'-metilenbis (ciclohexilamina)	1761-71-3
4-metilpentan-2-ona	108-10-1
aminas, N-sebo alquiltrimetilendi-, oleatos	61791-53-5
Diisocianto de hexametileno, oligomeros	28182-81-2
Formaldehido, polímero con bencenamina, hidrogenado	135108-88-2
metilamina	1477-55-0

Poliisocianato aromático	9017-01-0
Resinas epoxídicas Pm <700 (DGEBA)	25068-38-6

RESINAS	CAS
1,6-diisocianato de hexametileno	822-06-0
3-aminometil-3,5, 5-trimetilciclohexilamina	2855-13-2
4,4'-metilenbis (ciclohexilamina)	1761-71-3
4-metilpentan-2-ona	108-10-1
aminas, N-sebo alquiltrimetilendi-, oleatos	61791-53-5
Diisocianto de hexametileno, oligomeros	28182-81-2
Formaldehido, polímero con bencenammina, hidrogenado	135108-88-2
metilamina	1477-55-0
Poliisocianato aromático	9017-01-0
Resinas epoxídicas Pm <700 (DGEBA)	25068-38-6

PIGMENTOS	CAS/EC
Bentone SD-2	400-060-1
Dióxido de titanio	13463-67-7
Talco	14807-96-6

ADITIVOS	CAS
Ácido fosfórico	7664-38-2
Cromato de zinc	13530-65-9
Stannane, dioctyl-, bis(coco acyloxy) derivs.	91648-39-4

### ANEXO 3.

#### LISTADO DE DISOLVENTES FACTIBLES PARA LA FORMULACIÓN.

Número CAS	Nombre
107-88-0	butano-1,3-diol
108-65-6	Methoxyisopropyl acetate
111-11-5	Octanoato de metilo
111-20-6	Ácido sebácico
111-55-7	di(acetato) de etileno
111-90-0	2-(2-etoxietoxi)etanol
112-27-6	2,2'-(etilendioxi)dietanol
112-35-6	2-(2-(2-metoxietoxi)etoxi)etanol
112-43-6	undec-10-en-1-ol
112-48-1	1,2-dibutoxietano
112-60-7	3,6,9-trioxaundecano-1,11-diol
112-73-2	bis(2-butoxietil) éter
123-25-1	Succinato de dietilo
123-63-7	2,4,6-trimetil-1,3,5-trioxano
123-99-9	Ácido azelaico
124-17-4	acetatode2-(2-butoxietoxi)etilo
1320-67-8	metoxipropanol
1323-39-3	Ácido esteárico, mono éster con propano-1,2-diol
141-28-6	Adipato de dietilo
141-82-2	Ácido malónico
142-92-7	Acetato de hexilo
143-28-2	(Z)-octadec-9-enol
2235-46-3	N,N-dietil-3-oxobutiramida

2517-43-3	3-metoxibutan-1-ol
25265-71-8	oxidipropanol
25322-68-3	Poliethylenglicol
25323-30-2	dicloro etileno
25498-49-1	[metil-2-(metil-2-metoxietoxi)etoxi]propanol
3178-22-1	terc-butilciclohexano
34590-94-8	(metil-2-metoxietoxi)propanol
355-42-0	tetradecafluorohexano
4435-53-4	acetatode3-metoxibutilo
4437-85-8	4-etil-1,3-Dioxolan-2-ona
4740-78-7	1,3-dioxan-5-ol
504-63-2	propano-1,3-diol
506-52-5	hexacosan-1-ol
5333-42-6	2-octildodecan-1-ol
53824-77-4	Didecanoato de propileno
5464-28-8	1,3-dioxolan-4-ilmetanol
56-81-5	glicerol
57-55-6	propano-1,2-diol
593-50-0	triacontan-1-ol
623-42-7	Butirato de metilo
623-84-7	diacetatodepropano-1,2-diilo
624-52-2	3-butoxipropano-1,2-diol
67-68-5	dimetil sulfóxido
67-71-0	dimetil sulfona
67762-38-3	ésteres de metil ácidos grasosC16-18yC18-insaturados
688-71-1	Borato de tripropilo
693-65-2	dipentil eter
75-11-6	diiodometano

75-18-3	Sulfuro de dimetilo
7558-80-7	Dihidrógeno ortofosfato de sodio
7778-85-0	1,2-dimetoxipropano
818-38-2	Glutarato de dietilo
871-70-5	ácido octadecano-1,18-dioico
106-65-0	Succinato de dimetilo
123-63-7	2,4,6-trimetil-1,3,5-trioxano
25498-49-1	[metil-2-(metil-2-metoxietoxi)etoxi]propanol
623-39-2	3-metoxipropan-1,2-diol
67-63-0	isopropanol

**ANEXO 4.**  
**PRUEBAS DE SOLUBILIDAD.**

DISOLVENTES					ACEITE	R <sub>a</sub>	REM	¿Viable?
Cod.	COMPUESTO	δ <sub>d</sub> [Mpa <sup>1/2</sup> ]	δ <sub>p</sub> [Mpa <sup>1/2</sup> ]	δ <sub>h</sub> [Mpa <sup>1/2</sup> ]				
C	propano-1,2-diol	16.8	9.4	23.3	coco	17.400727	1.775584387	no
					palma	35.47405249	4.742520386	no
D	2-(2-etoxietoxi)etanol	16.1	9.2	12.2	coco	7.309124435	0.745829024	si
					palma	35.47405249	4.742520386	no
E	butano-1,3-diol	16.6	10	21.5	coco	15.82900186	1.615204272	no
					palma	35.47405249	4.742520386	no
F	[metil-2-(metil-2-metoxietoxi)etoxi]propanol	15.3	5.5	10.4	coco	3.597679808	0.367110184	si
					palma	35.47405249	4.742520386	no
G	Acetato de hexilo	15.8	2.9	5.9	coco	2.655051789	0.270923652	si
					palma	35.47405249	4.742520386	no
H	di(acetato) de etileno	16.2	4.7	9.8	coco	3.769257221	0.384618084	si
					palma	35.47405249	4.742520386	no
I	1,2-dibutoxietano	15	3.4	4	coco	3.225414702	0.329123949	si
					palma	35.47405249	4.742520386	no
J	oxidipropanol	16.5	10.6	17.7	coco	12.65580104	1.29140827	no
					palma	35.47405249	4.742520386	no
K	isopropanol	15.8	6.1	16.4	coco	9.684384338	0.988202483	si
					palma	35.47405249	4.742520386	no