



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA**

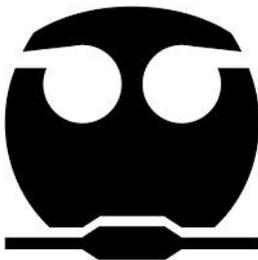
**Propuesta de estudio integral para entender el proceso de deterioro prematuro de las lacas de nitrato de celulosa (piroxilinas) en la obra pictórica mural y de caballete de artistas mexicanos**

**Trabajo Monográfico de Actualización**

**Que para obtener el título de  
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO**

**presenta**

**Mauricio Gabriel Topete Valdez**



**México D. F. 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Dr. Martín Guillermo Hernández Luna  
**VOCAL:** Dr. Plinio Jesús Sosa Fernández  
**SECRETARIO:** Mtra. Emely Baché Ortega  
**1er. SUPLENTE:** Dr. Francisco Javier Rodríguez Gómez  
**2° SUPLENTE:** Mtra. Luz María Nava Fernández

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ESTÉTICAS**

---

**ASESOR DEL TEMA: Mtra. Emely Baché Ortega**

---

**SUSTENTANTE: Mauricio Gabriel Topete Valdez**

## **Índice**

1. <i>Objetivos</i> .....	3
2. <i>Problema de investigación</i> .....	4
3. <i>Metodología</i> .....	5
4. <i>Introducción</i> .....	6
5. <i>Desarrollo</i> .....	9
5.1 <i>Lacas de Nitrato de Celulosa</i> .....	9
Generalidades .....	9
Aplicaciones iniciales.....	12
Uso en la obra pictórica .....	12
5.2 <i>Craqueladuras</i> .....	18
Generalidades .....	18
Tipos de craqueladuras.....	21
Craqueladuras en las piroxilinas.....	24
Factores a considerarse para un estudio integral .....	25
5.3 <i>Proceso de secado</i> .....	31
Influencia del pigmento .....	33
Espesor de la capa pictórica .....	43
Modificación por cargas .....	49
Adición y reintegración de solventes.....	56
Volumen de compactación .....	60
Tiempo de secado .....	64
Edad y condiciones de almacenamiento .....	69
5.4 <i>Interacción con el soporte</i> .....	72
Soportes empleados en la producción artística .....	73
Estudio del soporte .....	76
5.5 <i>Estudio Integral</i> .....	79
6. <i>Conclusiones</i> .....	83
7. <i>Glosario</i> .....	86
8. <i>Índice de Imágenes y Figuras</i> .....	88
9. <i>Índice de Tablas</i> .....	90
10. <i>Bibliografía</i> .....	91

## **1. Objetivos.**

- Proponer una serie de estudios y análisis que puedan ayudar a entender la formación prematura de craqueladuras en obras pictóricas de caballete elaboradas con piroxilina.
- Definir los principales procesos fisicoquímicos y las transformaciones que sufre el nitrato de celulosa (piroxilina) al ser usado como material para producción artística, así como la interacción con diferentes soportes para su aplicación.
- Deducir y entender las posibles ventajas, desventajas e implicaciones, en general, que tuvieron las modificaciones que realizaron artistas como David Alfaro Siqueiros y José Clemente Orozco en las lacas de nitrocelulosa.
- Plantear posibles líneas de investigación futuras, a partir de los resultados que se obtengan mediante la realización experimental del estudio integral propuesto.

## **2. Problema de investigación**

A través de este trabajo, se busca proponer una serie de estudios observacionales y experimentales a realizarse en lacas de nitrato de celulosa, tanto como materia prima, como parte de una obra artística. Dichos estudios incluyen el análisis de propiedades fisicoquímicas inherentes al material, al igual que la posible alteración de algunas de ellas por adición de modificadores que emplearon artistas mexicanos, como David A. Siqueiros y José Clemente Orozco, para obtener diferentes efectos en sus obras. Resulta importante el estudio del Nitrato de Celulosa utilizado para la producción artística, ya que en las piezas hechas parcial o totalmente con dichas lacas se observa un deterioro prematuro importante y sólo a través del conocimiento profundo de su comportamiento, es que se podrán plantear métodos de conservación y restauración específicos.

### **3. Metodología**

El trabajo se concibió a través de la búsqueda de un tema de aplicación de la química en el campo del análisis científico de obras de arte, de manera que se continúe promoviendo la participación interdisciplinaria entre alumnos, profesores e investigadores de las áreas relacionadas con este campo. Una vez elegido el tema se plantearon sus objetivos y se estructuró el trabajo orientado al cumplimiento de los mismos.

La búsqueda y compilación de información se llevó a cabo mediante el uso de herramientas bibliográficas y electrónicas, incluyendo libros, bases de datos, artículos y revisiones. Así como a través de la participación en investigaciones de campo y análisis de obras, gracias al apoyo ofrecido por el Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte (LDOA) del Instituto de Investigaciones Estéticas (IEE) de la UNAM. Asimismo, se llevó a cabo un análisis por observación de diversas obras de David A. Siqueiros y de José Clemente Orozco, dichas observaciones se realizaron *in situ*, en piezas que se encuentran expuestas en algunos museos de la Cd. De México, y a través de fotografías, tomadas y facilitadas por la Lic. Eumelia Hernández, miembro del equipo de investigación del LDOA.

Una vez analizada y sintetizada la información obtenida, se inició con la redacción de cada uno de los temas a cubrir, con las discusiones y propuestas pertinentes de cada punto.

#### **4. Introducción**

*Los maestros plásticos de la Antigüedad y de la Edad Media tenían un profundo conocimiento de la naturaleza física y química de los materiales que usaban en la producción de sus obras. No solamente “marcaban el paso” con el desarrollo de la técnica de su tiempo, sino que eran inquietos renovadores de esa técnica en el campo de su actividad. Conocían los materiales plásticos usados por sus antecesores y realizaban en dirección de ese conocimiento las más amplias investigaciones, pudiendo así poseer todo el acervo experimental y los frutos nuevos de su propia inquietud investigadora. – David Alfaro Siqueiros, 1939 –*

No hay mejores palabras que las del mismo David Alfaro Siqueiros, uno de los tres grandes muralistas mexicanos, para hablar de esa antigua tradición en la que la ciencia y el arte se desarrollaban a la par, apoyándose entre sí. Gracias a esta cercana e intrínseca relación es que artistas como Leonardo Da Vinci, Kandinsky, Picasso, Dalí, Siqueiros y Orozco entre muchos otros, lograron producir obras maestras reconocidas universalmente hasta hoy en día, en donde conjuntaron al arte con la ciencia, pero no sólo en sus composiciones, llenas de matemáticas y trucos visuales dictados por complejos modelos para alcanzar arreglos más atractivos, sino en los materiales que emplearon, siempre buscando estar a la vanguardia y liderando a través de la producción y modificación de los recursos disponibles<sup>1</sup>.

Desafortunadamente, el tiempo y la especialización de las áreas diluyó poco a poco esta hermandad, llevando a pensar que éstos son campos totalmente aislados entre sí, donde antes un artista era también científico e industrial que sabía de química y física a profundidad. Hoy en día hay personas diferentes para cada oficio, que ignoran la presencia de los otros, creyendo que no pueden contribuir ni ser nutridos de los conocimientos de los demás.

---

<sup>1</sup> Notas de las asignaturas *Ciencia y Arte I y II*, impartidas por la Mtra. Emely Baché Ortega. Facultad de Química, UNAM.

La principal consecuencia de esta separación la han tenido que pagar las obras de arte, únicos testigos de este apartamiento, ya que aquellas obras producidas hace cientos de años, cuando los oficios se concentraban en una persona, han soportado los embates del tiempo sin problema alguno; mientras que aquéllas más actuales, pertenecientes a esta “nueva era” en la que el artista poco entiende el comportamiento de sus materiales y el científico no hace el intento por apoyarle, vemos cómo se vuelven efímeras, siendo destruidas por los elementos que las rodean a una velocidad vertiginosa.

Dentro de los materiales de “la nueva era” que emplearon los muralistas mexicanos, se encuentra el nitrato de celulosa (piroxilina), que en aquellos días de innovación y subversión resultó muy atractivo para ellos por las nuevas cualidades que ofrecía para su producción artística:

[...] en 1936, Siqueiros describió con detalle y fascinación su hallazgo de la piroxilina. El esmalte duco de la Dupont, se producía con una mezcla de varias nitrocelulosas. El pintor relata estas experiencias en documentos como el siguiente y, sobre todo, en sus cartas desde Nueva York a Blanca Luz Brum, a María Asúnsolo, a Angélica Arenal y al pintor Antonio Gutiérrez: ‘...En los Estados Unidos existen los antecedentes del arte comercial, del arte de publicidad que ha desarrollado el uso de compresora y del *spray-gun*, herramientas modernas insustituibles para los fines que nos proponemos.’ Man Ray e incluso José Clemente Orozco, por ejemplo, alguna vez utilizaron la brocha de aire, igualmente jugaron con diversos materiales cotidianos los cubistas y más tarde los surrealistas. Pero –continúa el texto de Siqueiros-, respecto a los colorantes, ‘hemos comprobado el enorme valor plástico de las pinturas a base de nitrocelulosa como un medio más modulable, superior a cualquier material conocido’. (Herner, 2010)

Sin embargo, las obras elaboradas con nitrocelulosa no solamente son testimonio empírico de la falta de conocimiento específico al seleccionar y modificar las materias primas (pese a que tanto Siqueiros como Orozco creyeron haberse acercado a expertos en la materia para ser asesorados), sino también científico:

Un diagnóstico del Getty Conservation Institute, realizado por Francesca Piqué en los años ochenta y actualizado a la fecha sobre los materiales usados por Siqueiros en el ciclo mural *América Tropical*<sup>2</sup>, arrojó los siguientes datos: los pigmentos utilizados eran todos materiales inorgánicos estables. Sin embargo, los resultados del análisis del fijador indicaron que se trató de nitrato de celulosa. Una de las razones del desvanecimiento de esta obra en el transcurso del tiempo, fue la propia técnica utilizada por el artista, la cual no tuvo éxito desde el punto de vista químico y físico, por la incompatibilidad de los diversos materiales que combinó. (Herner, 2010)

El presente trabajo busca sentar las bases de un proyecto que permita dar continuidad a los hallazgos del Instituto Getty de los Ángeles a partir de la obra de Siqueiros, estrechando nuevamente la relación entre científicos y artistas en pro del patrimonio cultural de la humanidad.

Dada la naturaleza del estudio, el presente trabajo contiene diferentes imágenes, figuras y tablas que, para facilitar su lectura, se encuentran indexadas con sus respectivos nombres y páginas al final del mismo.

---

<sup>2</sup> Véase Imagen 5

## 5. Desarrollo

### 5.1 Lacas de Nitrato de Celulosa

#### Generalidades

El nitrato de celulosa, también conocido como nitrocelulosa, es el éster polinitrado de un polisacárido natural, la celulosa, que cuenta con 2.31 grupos nitro por cada unidad de glucosa, tal como se muestra en la Figura 1. Este compuesto fue producido por primera vez en 1845 por Schoenbein, quien trató una mezcla de celulosa con ácidos nítrico y sulfúrico, obteniendo un nuevo compuesto (Morgans, 1990).

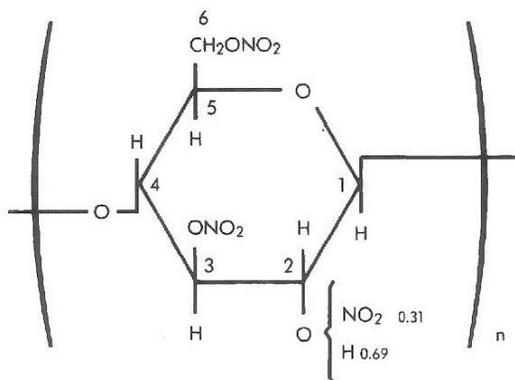


Figura 1 - Estructura del nitrato de celulosa para un polímero con 2.31 grados de sustitución

La masa molar para la mayoría de los productos comerciales derivados de este compuesto está entre 20,000 y 250,000 g/mol. Este polímero semisintético fue el primero en producirse hace más de 150 años y es el único éster de celulosa inorgánico disponible comercialmente (Selwitz, 1988).

El grado adhesivo del nitrato de celulosa, dado por su grado de sustitución, le brinda una viscosidad más alta que la que presentan otros polímeros de masa molar semejante, en cuyas estructuras se observa una nitración completa, es decir, sin presencia alguna de grupos hidroxilo. Esta combinación poco común de enlaces coordinados intra e inter moleculares, le da propiedades muy peculiares a

esta molécula de relativamente baja masa molar, buscada ampliamente para ser empleada en metodologías de conservación de obras artísticas (Selwitz, 1988).

A continuación se mencionan algunas de las principales propiedades de la nitrocelulosa, útiles para tener una idea general del comportamiento “normal” de este material y, a partir de ello, inferir el efecto que puede tener la adición de modificadores. (Tabla 1)

<b>Propiedades generales</b>	
Olor	Ninguno
Sabor	Ninguno
Color de la película	Agua-blanco
Claridad de la película	Excelente
Gravedad específica de la película seca	1.58 – 1.65
Índice de refracción	1.51
Efecto de decoloración por luz solar	Moderado
Efecto de envejecimiento	Ligero
<b>Propiedades fisicoquímicas</b>	
Punto de inflamabilidad	23 °C
Temperatura de autoignición	407 – 432 °C
Punto de ebullición	92 – 140 °C
Presión de vapor	7.0 hPa
Densidad relativa	0.98 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad (23°C)	<20 s
<b>Solubilidad y compatibilidad</b>	
Solventes, tipos principales	Ésteres, cetonas, mezclas éter-alcohol
Resinas, ejemplos de compatibilidad	Casi todas
Plastificantes, ejemplos de compatibilidad	Casi todas
Ceras, ejemplos de compatibilidad	Ninguna
Derivados de celulosa compatibles	Etilcelulosa, acetato de celulosa, etilhidroxi-etilcelulosa.
<b>Resistencia a varias sustancias</b>	
Agua fría	Excelente

Agua caliente	Excelente
Ácidos débiles	Intermedia
Ácidos fuertes	Pobre
Álcalis débiles	Pobre
Álcalis fuertes	Pobre
Alcoholes	Parcialmente soluble
Cetonas	Soluble
Ésteres	Soluble
Hidrocarburos aromáticos	Buena
Hidrocarburos alifáticos	Excelente
Aceites minerales	Excelente
Aceites animales	Buena
Aceites vegetales	Intermedia – buena

**Tabla 1 - Propiedades Generales del Nitrato de Celulosa sin Aditivos**

En la actualidad, el método de manufactura del nitrato de celulosa, utiliza la misma reacción que la empleada por Schoenbein en 1845 (Faraday & Schönbein, 1899), en donde el ácido sulfúrico actúa como agente absorbente del agua que se produce y como catalizador. Posteriormente, la celulosa es tratada en recipientes de acero inoxidable con una mezcla de ácidos nítrico y sulfúrico, controlando cuidadosamente la temperatura para lograr el grado de nitración deseado. Después de este proceso, se realizan varios lavados y centrifugados con agua a diferentes temperaturas, con la finalidad de remover todas las impurezas y reactivos remanentes, de manera que no sólo se mejora la pureza del producto, sino que se reduce su viscosidad en gran medida. Finalmente, se reemplaza la humedad presente con algún otro disolvente como butanol o isopropanol, ya que no debe dejarse completamente deshidratado por la naturaleza poco estable del compuesto; este desplazamiento se lleva a cabo mediante una prensa o rociando el alcohol durante el proceso de centrifugación (Morgans, 1990).

## **Aplicaciones iniciales**

La nitrocelulosa se conoce desde hace un tiempo bastante considerable, aunque su primera patente data de 1855 cuando Parkes sugirió usarla en solución con fines protectores<sup>3</sup> (Morgans, 1990); sin embargo, esta idea se desechó casi inmediatamente por su cualidad altamente explosiva. La nitración completa de la celulosa da como resultado la trinitrocelulosa, un material muy explosivo conocido como “*gun cotton*”<sup>4</sup>, este descubrimiento se aprovechó en la industria manufacturera de explosivos militares, donde se conoció como el primer gran descubrimiento en el campo desde la introducción de la pólvora. Cuando Hyatt descubrió que el nitrato de celulosa puede estabilizarse con alcanfor (en una proporción de 4:1) en 1869 (Morgans, 1990), el producto resultante, el celuloide, inauguró el advenimiento de la ingeniería de los plásticos (Selwitz, 1988). Esto último sucedió a principios del siglo XX, y dicho celuloide fue utilizado para producir películas fotográficas, fibras textiles y emular sintéticamente materiales como marfil, concha y ámbar (Shashoua, 2006).

A lo largo de la historia, la nitrocelulosa se ha empleado ampliamente en la conservación de obras de arte, ya sea como laca de recubrimiento o como adhesivo de diferentes materiales (vidrio, cerámica, esmalte, etc.). En el campo de los recubrimientos, su aplicación más popular ha sido como laca protectora para objetos de plata (Selwitz, 1988).

## **Uso en la obra pictórica**

En un principio, el uso de los ésteres de celulosa como vehículo para elaboración de pinturas estaba muy restringido por la poca disponibilidad de solventes con una velocidad de evaporación adecuada para estos fines. La introducción del acetato

---

<sup>3</sup> Es decir, como barniz para recubrir superficies y objetos con el fin de evitar su deterioro por agentes externos.

<sup>4</sup> *Gun cotton* es conocido en español como *algodón pólvora* o *pólvora de algodón*, sin embargo el término más difundido es aquel en inglés.

de amilo en 1882 proveyó un solvente que se evaporaba relativamente lento, pero la alta viscosidad de la nitrocelulosa requería de una alta dilución antes de aplicarla, generando películas muy delgadas de pintura. La producción de nitrato de celulosa de baja viscosidad, en conjunto con la introducción de nuevos solventes y aditivos, llevó al desarrollo de las lacas de piroxilina que conocemos hasta hoy en día, cuyas propiedades son únicas (Morgans, 1990).

Como ya se ha mencionado, el nitrato de celulosa no fue desarrollado con el fin de ser empleado en obras artísticas, ya sea como materia prima para su producción o como material empleado para la restauración y conservación de éstas; sin embargo, eventualmente cayó en manos de los artistas y restauradores, provocando la aparición de los problemas que hoy en día se buscan resolver. Al respecto, en el artículo *“Instability of Cellulose Nitrate Adhesives”*, Koob concluye:

La investigación muestra que el nitrato de celulosa no puede considerarse confiablemente como un compuesto estable, incluso tras la adición de estabilizadores. Es importante considerar que hasta los adhesivos con base de nitrato de celulosa vendidos comercialmente caen en esta categoría. Es sólo una cuestión de tiempo que la combinación de impurezas ácidas remanentes de su manufactura, la pérdida eventual de plastificantes volátiles y los factores ambientales aceleren la degradación del compuesto... Se requiere de una investigación más profunda en el campo de los adhesivos destinados a la conservación pero, con el debido respeto que a las bondades que la nitrocelulosa ha mostrado, no se puede considerar como la mejor opción de los adhesivos disponibles (Koob, 1982).

En este mismo sentido, El Instituto Canadiense de Conservación (*Canadian Conservation Institute*, CCI) ha clasificado al nitrato de celulosa dentro de la categoría: “Materiales que no deben emplearse para técnicas de conservación,

bajo ninguna circunstancia”; categoría otorgada desde hace más de dos décadas y que se mantiene hasta la fecha (Williams, 1993). Esta información se discute más a fondo en el artículo *Display and Storage of Museum Objects Containing Cellulose Nitrate*, en donde se aborda cómo el uso de la nitrocelulosa no representa un riesgo *per se* en la elaboración, conservación o restauración de obras de arte, sino que la negligencia en dichos procesos por desconocimiento del material es lo que puede atraer más problemas que beneficios (Display and Storage of Museum Objects Containing Cellulose Nitrate, 2010).

Sin embargo, lo que a este trabajo atañe es la presencia, negligente o no, de la piroxilina en la obra de dos de los grandes muralistas mexicanos: David Alfaro Siqueiros y José Clemente Orozco. Pero antes de entender el material, es necesario revisar el cómo, cuándo y por qué decidieron incluirla en su paleta.

Parece ser que Siqueiros fue el primer artista en emplear este recurso para la producción de obras artísticas; al respecto, José Gutiérrez, quien trabajó directamente con ambos artistas, escribe en su libro *Del Fresco a los Materiales Plásticos*: “David Alfaro Siqueiros, un pionero en la utilización de ‘ducos<sup>5</sup>’ desde 1928, ha sido uno de los más entusiastas defensores de este material. El fallecido José Clemente Orozco, aunque reacio a descartar lo antiguo por lo nuevo, se convirtió en un entusiasta del uso de nuevos métodos y materiales. Su primer experimento a este respecto fue un mural al aire libre de 400 m<sup>2</sup> en la Escuela Nacional de Maestros de la Ciudad de México, en el cual utilizó el silicato de etilo”. (Gutiérrez, 1986).

---

<sup>5</sup> Duco es la marca registrada de la compañía Du Pont en sus lacas para automóviles elaboradas a base de piroxilina. Este material, desarrollado en la planta de Parlin, Nueva Jersey a principio de los años veinte, tiene la propiedad de depositar capas de pintura más gruesas que los esmaltes de piroxilina previos. Su génesis se deriva de la investigación en el departamento de películas de Du Pont. Durante un estudio realizado para disipar la electricidad estática por medio del acetato de sodio, dicho aditivo condujo a un nitrato de celulosa con viscosidad reducida, y sin ningún significado práctico para el equipo que investigaba materiales filmicos. Este recubrimiento fue compartido con la división de recubrimientos de Du Pont, y pronto ésta le encontró otro uso (Arroyo, Aviram, McGlinchey, & Zetina, En proceso de publicación).



Imagen 1 - J.C. Orozco, *Alegoría Nacional* (1947-1948): silicato de etilo, aluminio, acero y latón sobre concreto, Escuela Nacional de Maestros, Ciudad de México.

Otra vez un muro que pintar. Se trata del nuevo edificio construido por el arquitecto Mario Pani. Orozco pintará dos murales en el vestíbulo central: *El pueblo se acerca a las puertas de la escuela* y *Derrota y muerte de la ignorancia*. Sin embargo, su reto mayor será el muro parabólico de 380 metros cuadrados del teatro al aire

libre, un espacio a cielo abierto, nuevos materiales –pintura al silicato de etilo y uso de aluminio, acero y latón-, además de un equipo que ejecutará la obra bajo la planeación y dirección del artista. El nuevo mural se llamará *Alegoría nacional*, una vuelta de tuerca a una de sus obsesiones, manifiesta ya en los frescos de la biblioteca de Jiquilpan y la Suprema Corte. (Cervantes, Mackenzie, & Otros, 2010)

Sin embargo, Siqueiros fue el más entusiasta al momento de emplear y experimentar con el nitrato de celulosa, ya que constantemente buscaba un material que le proporcionara mayores posibilidades que los óleos o templeos tradicionales. Motivado por el artista y a pesar de desconocer las características específicas de este material, José Gutiérrez se sumergió en los experimentos con piroxilinas y rápidamente se vio maravillado por su plasticidad y colorido; aunque la química no le daba grandes esperanzas respecto a su empleo en la producción artística: “En la mayoría de los textos de química uno encuentra que las lacas de nitrocelulosa o piroxilina no se recomiendan para ningún uso en las bellas artes, por la supuesta razón de que el color se destiñe a medida que el barniz se vuelve amarillo”. (Gutiérrez, 1986). Al respecto, el paso del tiempo ha echado por tierra la mitad del argumento dado por los químicos de entonces, mientras que ha comprobado la otra parte, es decir, ciertamente el barniz se vuelve amarillo al envejecer, pero no se destiñe significativamente el color, más bien se han observado los problemas que este texto propone atacar y subsanar, o sea la formación prematura de craqueladuras.

Desafortunadamente, aunque José Gutiérrez tuvo grandes y exitosos hallazgos en el campo de las piroxilinas para la plástica, tuvo un enorme desatino, pues tenía la gran convicción que este material soportaría muy bien los embates del tiempo sin presentar problemas de deterioro, tal como lo expresa en uno de sus textos:

En 1932, yo hice un cuadro llamado *Los peces*. Este cuadro ha sido cargado y transportado con mucha frecuencia y no se puede decir que haya sido tratado muy cuidadosamente; todo lo contrario. Hoy, esta obra se conserva tan brillante y fresca como el día en que fue terminada, sin mostrar señales de cuarteaduras, envejecimiento ni deterioro. Este mismo cuadro ha estado colgado por más de dos años en un patio que da al exterior. Si éste fuera un cuadro al óleo, debería necesariamente haberse mantenido en el interior del estudio. Tengo confianza de que la piroxilina, con los solventes y plastificantes adecuados va a durar más que cualquier pintura al óleo (Gutiérrez, 1986).

Ya sea que los solventes y plastificantes empleados para la manufactura de piroxilina entonces no hayan sido adecuados, o que el material *per se* sea poco adecuado para su uso en la plástica, tal como sugieren algunos conservadores, la realidad es que existen grandes piezas de enormes artistas mexicanos que hoy en día padecen los estragos de la edad y es a través de este estudio que se busca proponer un método que nos lleve al entendimiento del material, pues de esta forma se podrán implementar técnicas de conservación y restauración específicas para evitar que continúen deteriorándose.

## **5.2 Craqueladuras**

### **Generalidades**

El comportamiento de la materia bajo la acción de estrés mecánico es encasillado generalmente bajo la etiqueta de propiedades mecánicas de la materia, dichas cualidades influyen en el flujo de materiales líquidos y la deformación de materiales rígidos (sólidos). Estas propiedades son: fuerza, elasticidad, plasticidad, ductilidad, maleabilidad, fragilidad, encogimiento, estiramiento, fatiga y dureza (Keck, 1969).

Una craqueladura es la alteración de una o varias capas pictóricas<sup>6</sup> de una obra, provocada por un agente físico, químico o biológico que interrumpe de manera abrupta la continuidad de dicha capa; a esta alteración se le considera un daño mecánico, ya que es ocasionado por una variación estática en las fuerzas de tensión ejercidas en el material, que altera drásticamente los valores de las propiedades del sólido afectado; generalmente, es el efecto secundario de la acción de un agente perteneciente a alguna de las categorías antes mencionadas. Un cambio químico, suele involucrar un diferencial volumétrico, que genera un estrés mecánico dentro de la estructura. Los agentes físicos, incluyendo calor y humedad, puede causar fluctuaciones dimensionales que promueven estreses de tensión, compresión o encogimiento. Finalmente, los agentes biológicos, cuyos tamaños van desde microorganismos como bacterias, hasta insectos y roedores, también pueden ser responsables de dañar una obra (Keck, 1969).

Las craqueladuras se originan, generalmente, por causa del aglutinante, ya que es el responsable de darle la dureza y adhesión al material por la naturaleza de sus largas cadenas. La mayoría de los materiales poliméricos no reticulados obtiene

---

<sup>6</sup> Una capa pictórica es una película delgada compuesta por una estructura estratificada definida. En arte no suelen encontrarse como capas aisladas, sino que siempre se encuentran sobre otros sustratos más fuertes que las soportan (Keck, 1969).

su dureza del entrelazamiento “desordenado” de sus largas cadenas, que no puede ser “desenmarañado” una vez que el material ha secado; es decir, una vez que se encuentra en su forma cristalina o semicristalina. Es por ello que bajo estrés, la cadena completa se deforma y se estira, por lo que para que exista una fractura, debe presentarse la ruptura de los enlaces covalentes de las cadenas. (Brown, 2000)

Pese a ser la fuente principal de fracturas, el polímero (o aglutinante) es un componente indispensable de las pinturas, ya que cumple la función de contener intercalado en su entrelazamiento las partículas del pigmento y demás aditivos sólidos, para fijarlos al soporte sobre el que se aplica el material. Esto se logra gracias a dos fenómenos que ocurren al interactuar un polímero con otro material: a) por la porosidad del material, que permite que cadenas completas y partes de ellas se filtren en el material con el que se está uniendo, y gracias al mismo enredamiento que existe entre ellas se logra que permanezca anclado permanentemente una vez que ha secado (Frihart & Hunt, 2010); b) por las interacciones intermoleculares que existen entre los grupos funcionales del polímero y la superficie del material que, aunque pudieran parecer uniones fuertes de manera individual, en volumen generan una adhesión prácticamente irrompible con el soporte. (Bulacu, 2008).

Es por ello que la longitud de las cadenas del polímero es directamente proporcional a la fuerza con la que se adherirá al soporte, e inversamente proporcional a su fragilidad.

Las craqueladuras ocurren usualmente por ruptura covalente de las cadenas, como ya se había mencionado, o por arrancamiento de cadenas del soporte, formando la punta de la avería. Conforme el peso molecular del polímero cristalizado aumenta por el enredamiento, la dureza incrementa igualmente; pero en la zona de la grieta la energía se disipa ya que no existe una red, volviendo esa región más frágil y con tendencia a continuar rompiéndose; es decir, el incremento

en la entropía del sistema provoca una reacción en cadena que resulta en la formación de una craqueladura (Brown, 2000). Este mecanismo de formación de craqueladuras puede observarse en la Imagen 2.

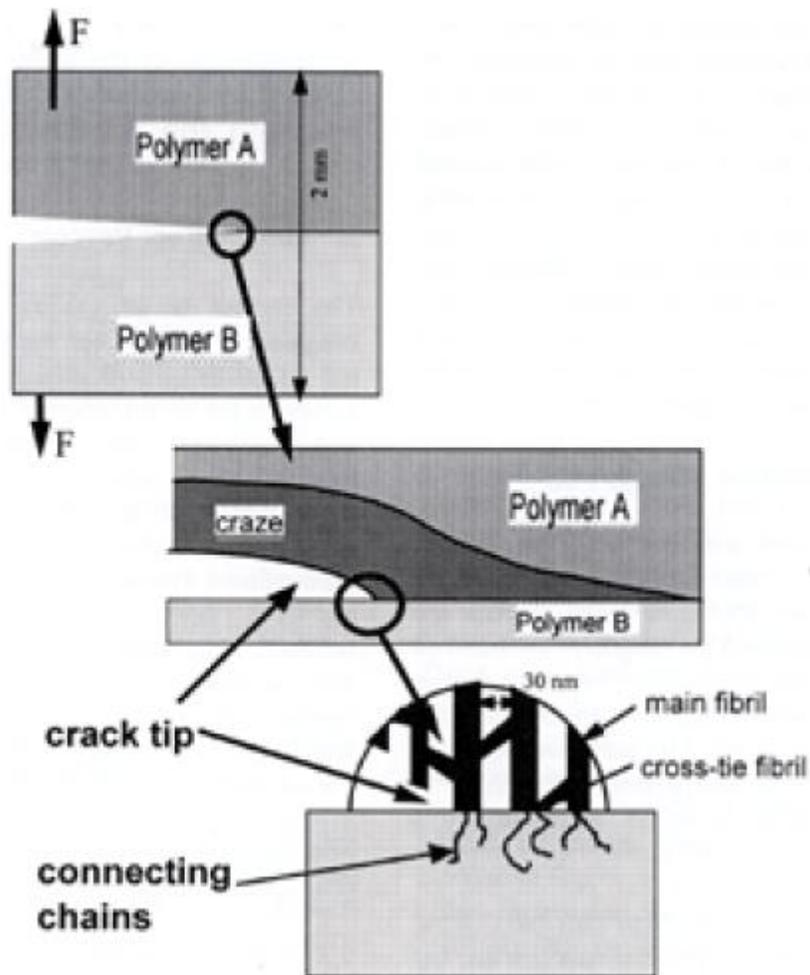


Imagen 2 - Representación esquemática de la estructura en la punta de la avería mostrada en tres escalas.

La mayoría de las fallas en las pinturas y barnices pueden atribuirse a seis causas primarias, que promueven el mecanismo antes descrito. Dichas causas son:

- Preparación inadecuada del soporte
- Selección incorrecta de la pintura o barniz
- Aplicación incorrecta

- d) Tiempos de secado, tiempo de curación e intervalos de aplicación de capas subsecuentes insuficientes
- e) Falta de protección contra agua y sistemas acuosos
- f) Daño mecánico

Existe un sinnúmero de posibles formas de formación de craqueladura derivadas de estas seis causas primarias; sin embargo, existen tres puntos críticos que pueden llevar a la formación de una craqueladura prematura por causas del material (Bayer, Zamanzadeh, & Hills, 2005):

1. Formulación incorrecta
2. Sustrato incorrecto
3. Defectos físicos del material

Es por ello que cuánto menos se tenga controlado el proceso, como es el caso de la creación de obras artísticas, mayor es el riesgo de que las piezas sufran de deterioro prematuro por formación de craqueladuras.

### **Tipos de craqueladuras**

Algunos investigadores como Von Frimmel, Eibner y Laurie, entre otros, desde los principios del estudio científico de las pinturas, dividieron en dos grandes grupos a las grietas que afectan a las obras pictóricas. Primeramente, se encuentra el grupo de las conocidas como grietas prematuras, que hoy en día también reciben el nombre de tempranas, de encogimiento, tracción y secado; éstas generalmente aparecen en pinturas jóvenes. Su origen se debe al estrés mecánico que se produce en la pintura por la pérdida de solventes volátiles o subproductos generados por el secado.

La segunda categoría de cuarteaduras, corresponde a las craqueladuras por edad, algunas veces llamadas grietas mecánicas, mismas que se desarrollan conforme

una pintura empieza a ganar edad, y son principalmente atribuidas a procesos completamente externos que generan un estrés generalizado en la obra a través de fenómenos de presión o impacto; por ejemplo, golpes, movimientos propios de su manipulación, etc. (Keck, 1969).

La manifestación más clara de las craqueladuras (o cuarteaduras) por edad son líneas oscuras evidentes a simple vista, que se observan en las porciones claras de una obra, ya que la apertura se llena de partículas de polvo y mugre provenientes del ambiente (Keck, 1969). Una pieza de gran fama mundial, que presenta un grave deterioro por craqueladuras por edad es *La joven de la perla* del artista barroco Johannes Vermeer van Delft, pintada entre 1665 y 1667, tal como puede observarse en la Imagen 3 y con más detalle en el acercamiento de su rostro (Imagen 4), en donde podemos encontrar el oscurecimiento de las líneas por la acumulación de polvo, tal como lo indica Keck.



Imagen 3 - Johannes Vermeer van Delft, *La joven de la perla* (1665-1667): óleo sobre tela, 44.5 x 39 cm, Galería Mauritshuis, La Haya.

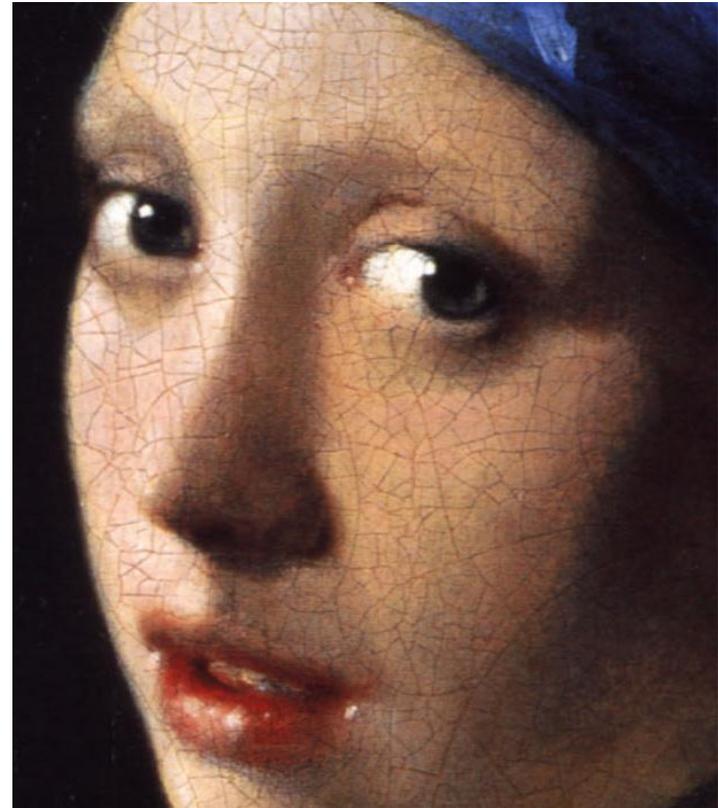


Imagen 4 – Johannes Vermeer van Delft, *La joven de la perla*, detalle del rostro (1665-1667): óleo sobre tela, 44.5 x 39 cm, Galería Mauritshuis, La Haya.

## **Craqueladuras en las piroxilinas**

La nitrocelulosa está sujeta, por su propia naturaleza, a sufrir un proceso de deterioro prematuro. Dicho perjuicio inicia a nivel molecular, dada la estructura de la sustancia, pues ésta la predispone a sufrir reacciones de hidrólisis, térmicas y fotoquímicas. Además, la ruptura del polímero puede ser autocatalítica si no se separa del material degradado; es decir, los productos de la reacción de degradación promueven la aceleración de la reacción. Esto se debe a que uno de los productos de esta reacción es el óxido nitroso, que es un agente oxidante altamente reactivo. Éste se forma de la unión de los enlaces N-O con el anillo de celulosa, que tiene los enlaces más débiles de la molécula. El  $\text{NO}_2$  reacciona con la humedad en el ambiente, formando ácido nítrico, que a su vez ataca los materiales orgánicos y corroe metales. La ruptura en la columna vertebral de la molécula se extiende, generando una disminución considerable del masa molar. Por otra parte, el nitrato de celulosa es particularmente susceptible a las longitudes de onda localizadas entre los 360 y 400 nm. El principal problema radica en que una vez que el proceso de fotólisis inicia, continúa incluso si se remueve la fuente de luz (Shashoua, 2006).

Sin embargo, como ya se dijo anteriormente, la piroxilina es una mezcla de nitrato de celulosa con otros aditivos que, en gran medida, buscan impedir o frenar el tipo de cambios químicos arriba mencionados. Desafortunadamente, esta mezcla no es perfecta y mucho menos si se emplea como lo hicieron los artistas mexicanos, quienes realizaron considerables modificaciones y adiciones a la mezcla comercial, provocando así que algunos de los aditivos no puedan ejercer su acción protectora-complementaria, o que surjan nuevos problemas en la mezcla. La evidencia macroscópica de todo este conjunto de fenómenos se puede manifestar en forma de craqueladuras (Calvo Carbonell, 2011).

En general, se ha observado que la mayoría de las craqueladuras presentes en las obras pictóricas pertenecen al grupo de las generadas por la edad de la

pintura, ya que las capas pictóricas jóvenes suelen poseer mayor elasticidad para soportar la tensión intrínseca del material con que fue hecha, siendo solo la fragilidad provocada por las alteraciones fisicoquímicas resultantes del envejecimiento de los materiales, las causantes de dichas fisuras (Keck, 1969). Sin embargo, las piroxilinas claramente rompen con este paradigma, ya que el cambio de sus propiedades fisicoquímicas es tan acelerado que se da a lo largo del proceso de secado, que toma sólo unos cuantos minutos, a pesar de que no existen reacciones significativas involucradas en este proceso, si no es que en ocasiones puede carecer totalmente de cualquier tipo de cambio químico.

### **Factores a considerarse para un estudio integral**

Para empezar, es importante resaltar que, aunque una capa pictórica puede aislarse del resto de sus soportes con el fin de estudiarse, no puede separarse de su contexto estructural en la pintura si lo que se desea entender es el proceso que produce la alteración; es decir, la craqueladura (Keck, 1969). Asimismo, resulta pertinente destacar que cada sustancia aislada, en proceso de secado, posee propiedades mecánicas muy particulares. Teniendo en cuenta esto es que se puede comprender por qué un químico cuenta con las herramientas necesarias para poder llevar a cabo un tipo de análisis como el que a continuación se propone. La formación de un químico compuesta no sólo de conceptos puntuales, sino por una nueva manera de pensar, permite abordar problemas a partir del entendimiento intrínseco de la materia: cómo se compone, se comporta e interacciona con su medio (compuesto de sustancias con diferentes propiedades).

Por otra parte, esta propuesta parte del supuesto que la formación prematura de craqueladuras está principalmente dada por dos procesos, los cuales ocurren en torno a una pieza artística elaborada con lacas de nitrato de celulosa; estas dos grandes vertientes son:

1. El proceso de secado, en el que ocurren diferentes cambios físicos, e incluso químicos, derivados de la interacción entre los componentes de la piroxilina (aglutinante, pigmento y aditivos), así como de aquellas sustancias adicionales con las que los artistas modificaban estos materiales, con la finalidad de obtener ciertos efectos específicos (cargas, combinaciones de pigmentos conocidos y experimentales, solventes, etc.). Es por ello que se sugiere estudiar el posible impacto de cada uno de estos elementos, primeramente entendiendo por qué a cada uno de ellos se le considera importante, para posteriormente plantear un ejercicio que demuestre si esto es verdad tanto individual, como conjuntamente, pues pudiera darse el caso en que alguno de ellos no fuera determinante *per se*, mas con la interacción con otros compuestos presentes en la mezcla, su efecto perjudicial pudiera potenciarse.
2. La interacción con el soporte es el otro gran rubro que se cree tiene una enorme influencia en el deterioro de la obra; ya que, como se explicó anteriormente, el estrés que pueden generar los movimientos propios del material pueden ser una fuente de problemas, por lo que la naturaleza de éste por sí misma es importante sin duda alguna, sobre todo considerando que una capa de piroxilina seca presenta una plasticidad y elasticidad muy bajas, por lo que son altamente quebradizas, incluso ante movimientos imperceptibles a simple vista. Por otra parte, las observaciones realizadas en obras elaboradas con nitrocelulosa muestran diferencias importantes de acuerdo con el soporte que se empleó para su elaboración, por lo que es otro fenómeno que vale la pena estudiar y entender.

Finalmente, es importante resaltar que aunque éste busca ser un estudio integral, existen algunos factores que no resultaría conveniente incluir en la propuesta experimental ya que, si bien deben aportar algún tipo de información, para los fines que a este trabajo interesan, resultarían difíciles de controlar, además de que son variables que Siqueiros, Orozco y otros no buscaban controlar o modificar, por

lo que se sugiere que simplemente se lleve un registro de ellos al momento de hacer los experimentos, de manera que en estudios posteriores (si fueran necesarios) pudieran incluirse si se creyera conveniente hacerlo. Estas variables pueden encontrarse en la Tabla 2, acompañadas de una breve descripción de la relevancia que pudieran tener, así como de una breve explicación de por qué se sugiere omitir su control, mas no forzosamente su registro.

Variable	Descripción
Temperatura	<p>La temperatura parece una variable muy importante al trabajar con una laca que seca por evaporación de solvente, ya que al salirse del intervalo de temperatura sugerido por el fabricante para obtener resultados óptimos, se puede incrementar o disminuir la velocidad de secado; sin embargo, cabe recordar que los artistas no cuidaban de este detalle al utilizar la piroxilina, y que trabajaban en su taller si las dimensiones y soporte de la pieza lo permitían, pero igualmente realizaban su labor al aire libre, sin importar si su lienzo estaba al sol o a la sombra<sup>7</sup>.</p> <p>Por otra parte, trabajar en condiciones de temperatura controlada podría resultar muy complicado, ya que se necesitaría de una cámara especial en la que se pudieran regular dichas condiciones, dificultando el proceso e incrementando su costo enormemente.</p> <p>Es por ello que se sugiere llevar un registro diario de temperatura al inicio y al término de cada sesión de trabajo, de manera que al final del estudio se pueda</p>

<sup>7</sup> Tal como se puede observar en los murales al aire libre de Siqueiros y Orozco; por ejemplo, *Alegoría Nacional* de J.C. Orozco (Imagen 1) y *América Tropical* de D.A. Siqueiros (Imagen 5), por mencionar algunos.

	<p>obtener un promedio y verificar estadísticamente que no haya existido una variación significativa que pudiera haber influido en los resultados obtenidos.</p>
<p>Humedad</p>	<p>La humedad es otro parámetro difícilmente controlable y, al igual que la temperatura, poco cuidado por los artistas al momento de realizar sus obras. Es por ello que se sugiere nuevamente mantener un registro diario de cómo se comporta esta variable y al finalizar el estudio realizar un análisis estadístico para descartar posibles influencias significativas.</p> <p>Una recomendación adicional que se hace en torno a este parámetro es colocar un material secante en el área de trabajo (por ej. Sílica gel), de manera que aunque pudieran existir variaciones en el índice de humedad medio ambiental, éstas se vieran compensadas por la presencia de alguna de dichas sustancias altamente higroscópicas.</p>
<p>Sólidos suspendidos en el aire</p>	<p>La concentración de sólidos suspendidos en el aire pudiera o no ser una variable relevante, ya que a nivel industrial la aplicación de piroxilina se lleva a cabo en cámaras o tinajas libres de partículas a través de procesos totalmente automatizados, previa limpieza de la superficie de aplicación con algún material que retira todo tipo de elementos ajenos a ésta<sup>8</sup>.</p> <p>La influencia que pudiera existir en la consolidación de</p>

<sup>8</sup> En la industria automovilística se hace una limpieza con plumas de avestruz de las superficies que van a recibir la capa de pintura, ya que estas plumas eliminan todo rastro de polvo o residuos extraños, dejando una capa totalmente limpia. (National Geographic Channel, 2010)

	<p>una capa pictórica radica en la alteración de la adhesión de la capa con el soporte por una alta presencia de sólidos extraños o en el aumento de la concentración de sólidos presentes en la capa pictórica; sin embargo, se considera que estos efectos son despreciables por lo que no se sugiere su medición o análisis para los fines que a esta propuesta interesan.</p>
<p>Corrientes de aire</p>	<p>Se sugiere trabajar en un espacio libre de corrientes de aire, porque éstas podrían aumentar o disminuir la velocidad de secado de las capas pictóricas ya que alterarían la saturación de solvente evaporado a partir de las muestras (presión de vapor), alterando una de las propiedades que se busca medir en el proceso experimental.</p>

**Tabla 2 - Variables no controlables en el estudio**

Como puede observarse, resulta imposible llevar a cabo este estudio en “condiciones ideales”, pero atendiendo las sugerencias arriba mencionadas, basta para suponer que la confiabilidad de los resultados obtenidos no se vea afectada y se puedan realizar conclusiones acertadas en torno al material estudiado.



Imagen 5 – Hombre identificado como Robert Bredecio, asistente del muralista David Alfaro Siqueiros, parado frente al mural *América Tropical* terminado. Getty Conservation Institute, Los Ángeles.

### **5.3 Proceso de secado**

El proceso de secado es una etapa determinante en la posible formación prematura de craqueladuras en las obras de arte elaboradas parcial o totalmente con lacas de nitrato de celulosa, ya que este material está diseñado para secar en condiciones muy específicas, dadas por parámetros industriales para su aplicación en automóviles y muebles; sin embargo, al utilizarse en un taller artístico, dichos parámetros suelen no estar controlados y, ni siquiera, monitoreados<sup>9</sup>.

Durante el proceso de formación de la película la pintura se transforma de fase líquida (generalmente) a un sólido con cohesión, adhesión y rigidez sobre la superficie del objeto en el que se deposita. Este proceso de secado puede clasificarse en dos tipos:

- I. Secado Físico – Es aquel en el que la pintura seca por simple evaporación de solvente; es decir, no ocurren reacciones químicas. Los aglutinantes de estas pinturas usualmente contienen largas cadenas poliméricas que se intercalan para formar películas continuas sin presentar cambios químicos. El secado físico es un proceso reversible, ya que las pinturas pueden redisolverse en los solventes apropiados, ya que no han ocurrido cambios químicos.
  
- II. Secado Químico – Este proceso de secado ocurre mediante reacciones químicas. Una vez que el material ha secado, es imposible redisolverlo; es decir, es un proceso irreversible. Las reacciones más empleadas para este proceso son: oxido-reducción, polimerización y curado por humedad. (Coatings Technology: What is Paint?)

---

<sup>9</sup> Esta información se discute más a profundidad en la Tabla 2 - Variables no controlables en el estudio, del capítulo "Factores a considerarse para un estudio integral"

Como parte del entendimiento que se desea alcanzar del proceso de deterioro prematuro de las piroxilinas es importante conocer cómo seca este material, ya que esto dará indicios sobre si el daño que presentan las pinturas elaboradas con nitrocelulosa es reversible o no. Resulta importante saberlo para determinar si las piezas ser restauradas o sólo conservadas y qué camino deben seguir los investigadores al momento de las intervenciones.

El duco seca exclusivamente por evaporación de solventes y se necesita relativamente escasa cantidad de éste para obtener una pintura de viscosidad manejable. La propiedad que permite esta función clave se relaciona con el tamaño molecular. Los anteriores recubrimientos de “piroxilina” usaban nitrato de celulosa de un tamaño molecular mucho mayor y requerían mayores cantidades de solvente. En consecuencia, después de la evaporación se depositaban en películas delgadas (Arroyo, Aviram, McGlinchey, & Zetina, En proceso de publicación)

Asimismo, y como ya se ha mencionado, los artistas mexicanos realizaron modificaciones en la materia prima antes y durante su aplicación. Estos elementos adicionales también pueden tener un impacto severo en el proceso de secado, por lo que resulta importante considerarlos y estudiarlos en el análisis del material.

A continuación se detallan las variables que, a criterio del que suscribe, son las de mayor relevancia en lo que a la formación de craqueladuras propias del secado respecta, proponiendo una serie de experimentos para comprobar si esta relación es significativa, de manera que al momento de integrar los resultados, se pueda entender el proceso de deterioro desde una perspectiva fisicoquímica sustentada.

## Influencia del pigmento

Dentro de la matriz (mezcla comercial o preparada) se encuentra disperso el pigmento que, de acuerdo con su estructura química, tamaño y forma de partícula, y proporción en el medio, influye y modifica las propiedades mecánicas de la mezcla que forma la capa pictórica (Keck, 1969). Esto es, el volumen de la capa ocupado por el pigmento, conocido como “Concentración en Volumen del Pigmento” (PVC<sup>10</sup>), y determinado mediante la siguiente ecuación:

$$PVC = \frac{\text{Volumen del Pigmento} \times 100}{\text{Volumen del pigmento} + \text{Volumen de elementos no volátiles}}$$

Las pinturas brillantes, se caracterizan por tener un bajo PVC, pero conforme se aumenta el PVC se alcanza un punto donde el brillo cae abruptamente y ocurren cambios radicales en las propiedades de la película. Tal como se muestra en la Figura II, en donde las propiedades de la capa pictórica (expresadas en unidades arbitrarias), se grafican contra el PVC.

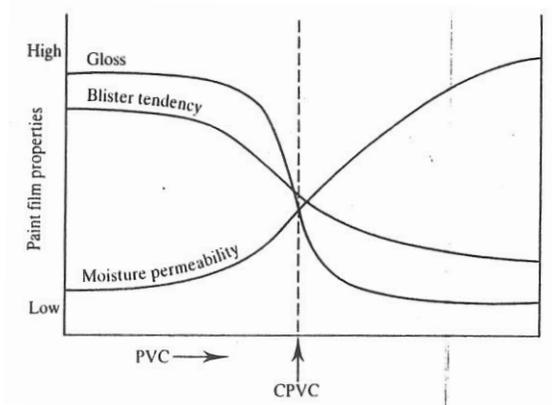


Figura II - Gráfica de CPVC vs. diferentes propiedades de la capa pictórica<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> Por sus siglas en inglés *Pigment Volume Concentration*.

<sup>11</sup> A continuación se presenta la traducción de los términos mostrados en el gráfico de la Figura II. *Gloss*: brillo; *blister tendency*: tendencia a ampollarse o resquebrajarse; *moisture permeability*: permeabilidad a la humedad.

Otras propiedades de la película, como la permeabilidad a la humedad y la tendencia a ampollarse, también sufren cambios abruptos en puntos muy cercanos. Es por ello que a este punto de rápidas alteraciones en las propiedades del sistema se le conoce como “Concentración Crítica en Volumen del Pigmento” (CPVC<sup>12</sup>). Este punto representa el momento en que el que solamente existe el aglutinante (en este caso la piroxilina) suficiente para dispersar a la cantidad de pigmento presente, llenando los intersticios entre las partículas; es decir, es el punto de inflexión en el que si incrementa la concentración de sólidos (por adición de los mismos o disminución del aglutinante existente), éstos estarían sueltos por falta de aglutinante que los adhiera a la mezcla, provocando interrupciones en la continuidad de la capa pictórica o imposibilidad de adherencia entre capas. Un aumento en la proporción de pigmento, resultaría en una capa con huecos entre las partículas de pigmento, provocando el opacamiento de la película por la falta del aglutinante, que es el responsable de reflejar la luz que incide en la obra, ocasionando el brillo del material (Morgans, 1990).

Lo anterior sirve para entender por qué Siqueiros al lograr su cometido de encontrar un material opaco, afectó drásticamente las propiedades de secado del mismo, pues añadió pigmento y cargas<sup>13</sup>, aumentando el PVC del material hasta sobrepasar, probablemente por mucho, el CPVC, promoviendo así la formación de craqueladuras.

Por otra parte, se tiene registro que la forma como se agregaban dichos pigmentos no era la que recomiendan los especialistas en pinturas. De acuerdo con José Gutiérrez: “si fuera necesario cubrir la superficie con cualquier color mate, el compuesto de piroxilina puede mezclarse con el pigmento del color deseado en un bote pequeño. Para obtener un fondo áspero, mezcle sus pigmentos con piroxilina y añada 1/5 por volumen de Celita o Hy-Flo<sup>14</sup>, (Gutiérrez, 1986). Esto resulta

---

<sup>12</sup> Por sus siglas en inglés *Critical Pigment Volume Concentration*.

<sup>13</sup> Tratado más a detalle en el capítulo *Modificación por cargas* del presente trabajo.

<sup>14</sup> *Thinners* populares en la producción de pinturas de la época.

contrario a lo que sugieren los libros especializados en tecnología de pinturas, ya que éstos proponen que cada pigmento debe dispersarse primeramente y por separado en la fase orgánica; una vez que se tiene cada pigmento disperso en la ella, deben mezclarse dichas fases en presencia de un medio acuoso estabilizador. Pueden mezclarse cuantos colores se desee, siempre y cuando se siga este procedimiento (Morgans, 1990).

Finalmente, debe considerarse la naturaleza misma del pigmento empleado. Dado que el nitrato de celulosa y sus aditivos en general representan una fase orgánica, cabe suponerse que los pigmentos orgánicos deberían ser mayormente compatibles con el medio<sup>15</sup>. Sin embargo, existe evidencia que algunos de los pigmentos empleados para colorear las lacas son de naturaleza inorgánica, y dentro de este grupo es donde se encontró una mayor cantidad de problemas, es decir, de craqueladuras, como es el caso del blanco de titanio, cuyo pigmento es el dióxido de titanio. Esto se puede observar en varias obras que contienen este color, por ejemplo en el detalle de la bandera y del barco en *El nacimiento del fascismo* de David Alfaro Siqueiros (Imagen 6, Imagen 7 e Imagen 8), en donde claramente puede apreciarse una mayor cantidad de craqueladuras a nivel de la capa pictórica en las zonas que sólo tienen presencia de blanco, respecto a aquellas que tienen otros colores o mezclas de ellos. En la Tabla 3 y Tabla 4 pueden encontrarse algunos ejemplos cotidianos de pigmentos orgánicos e inorgánicos utilizados para la producción de pinturas industriales y artísticas (Clark)

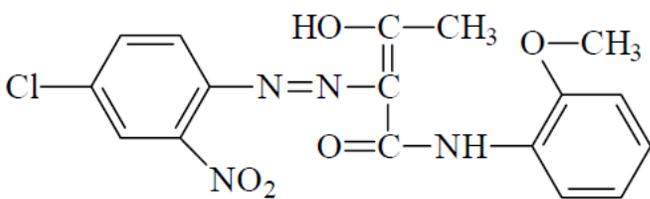
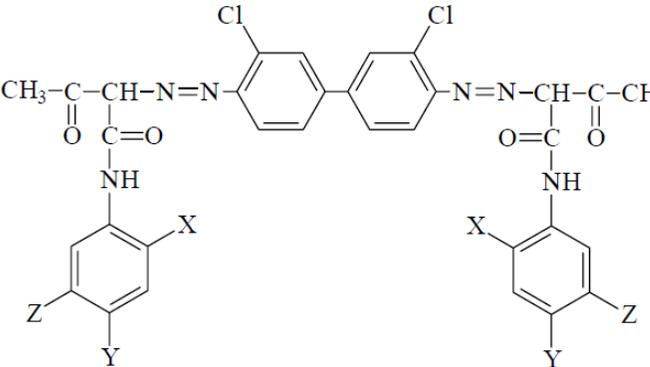
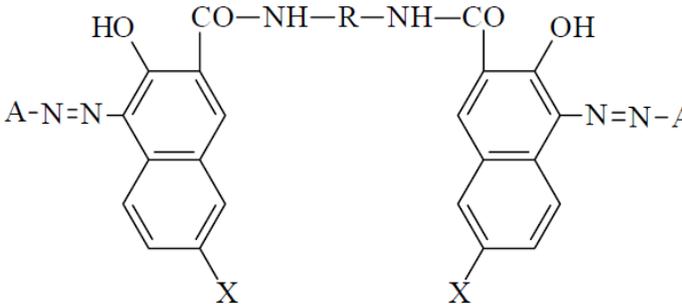
Para averiguar si estas hipótesis, es decir, la adición de pigmento, la forma cómo se dispersa éste y su naturaleza química tienen un impacto significativo en la

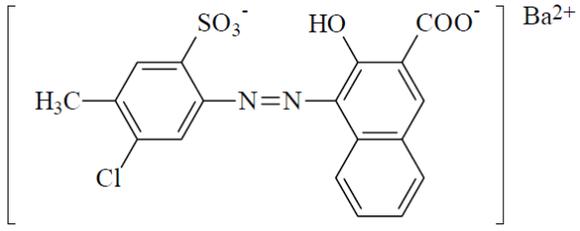
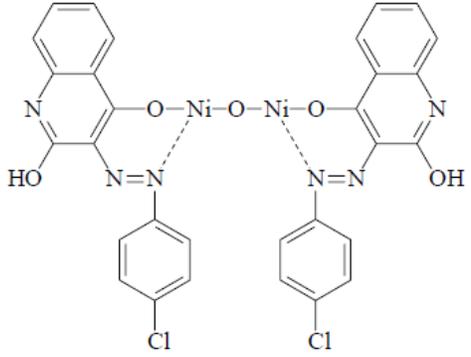
---

<sup>15</sup> Un pigmento tiene que poseer tres propiedades fundamentales: debe ser insoluble en el aglutinante y en la mayor parte de los disolventes, comprendida el agua; tiene que ser químicamente estable, es decir, resistente a los agentes que pudieran atacarlo; y debe poseer cierta inercia con respecto a las sustancias con las que se suele mezclar (aglutinantes, etc.) (Matteini & Moles, 2001).

formación de craqueladuras, se deberán preparar lacas de piroxilina con diferentes características, tal como se describe a continuación.

La técnica sugerida para este análisis consiste primeramente en observar el comportamiento de las capas pictóricas de lacas de nitrato de celulosa de diferentes colores, aplicadas a partir de la mezcla vendida comercialmente.

Grupo	Ejemplo	Color						
		1	2	3	4	5	6	7
Monoazo	 <p>Amarillo Arilamida (PY 73)</p>	X	X	X	X	X		
Diazo	 <p>Amarillos Diarilida</p>	X	X	X	X		X	
Condensa do Azo		X	X	X	X			

Sal Azo	 <p>Toner Rojo Bario 2B (PR48.1)</p>	X	X	X	X			
Complejo metálico Azo	 <p>Amarillo Níquel Azo (PG 10)</p>	X		X				X

1 = yellow; 2 = orange; 3 = red; 4 = brown; 5 = violet; 6 = blue; 7 = green

Tabla 3 - Pigmentos y Colorantes Azo más comúnmente usados

	Origen	Ventajas	Desventajas	Colores
<b>Negro Carbón</b>	Descomposición de materia carbónica	Intenso, buen color, brillo y resistencia al agua	Espesa la pintura	Negro
<b>Dióxido de Titanio</b>	Sintético	Muy opaco, barato, resistente a radiación UV	Forma radicales libres que pueden degradar aglutinantes orgánicos	Blanco
<b>Óxidos Metálicos</b>	Generalmente mineral, pero pueden ser sintetizados	Claros, resistentes al agua e inertes	No son buenos para producir una gama de tonos	Amarillo, Rojo, Café y Negro
<b>Azurita</b>	Caolín, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Azufre y Carbono calentados por arriba de 800°C	Colores intensos	Desvanece al contacto con ácidos	Azul
<b>Óxidos de Cromo</b>	Sintético	Claros, resistentes al agua, ácidos y bases; termoestables	No produce colores bien definidos	Verde, Azul

Tabla 4 - Algunos de los pigmentos orgánicos más comunes



Imagen 6 - D.A. Siqueiros, *El Nacimiento del Fascismo* (fechaada 1934, ca. 1945): piroxilina sobre masonite, 61 x 76cm, colección SAPS, CNCA/INBA, Ciudad de México

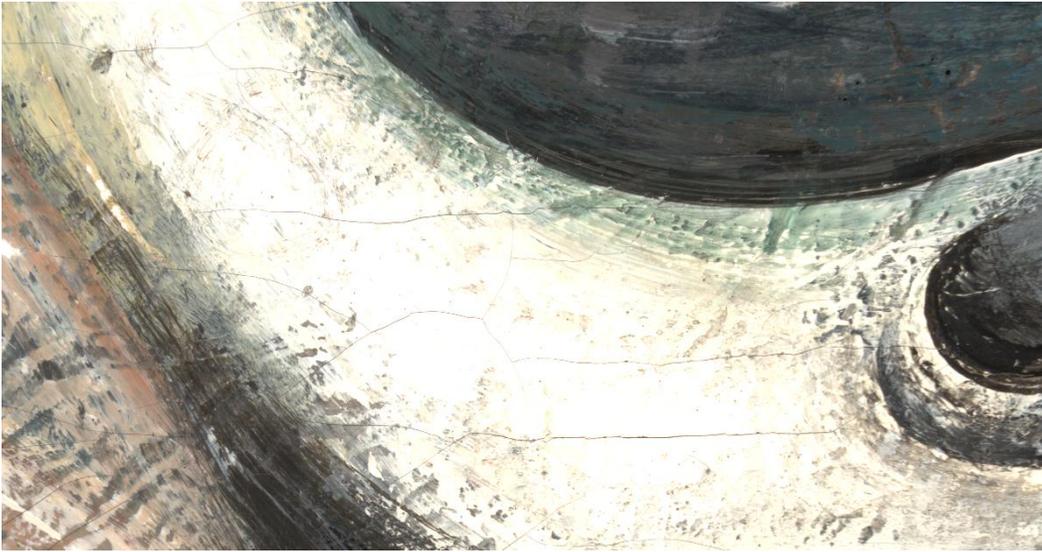


Imagen 7 - D.A. Siqueiros, *El Nacimiento del Fascismo*, detalle bandera (fecha 1934, ca. 1945).

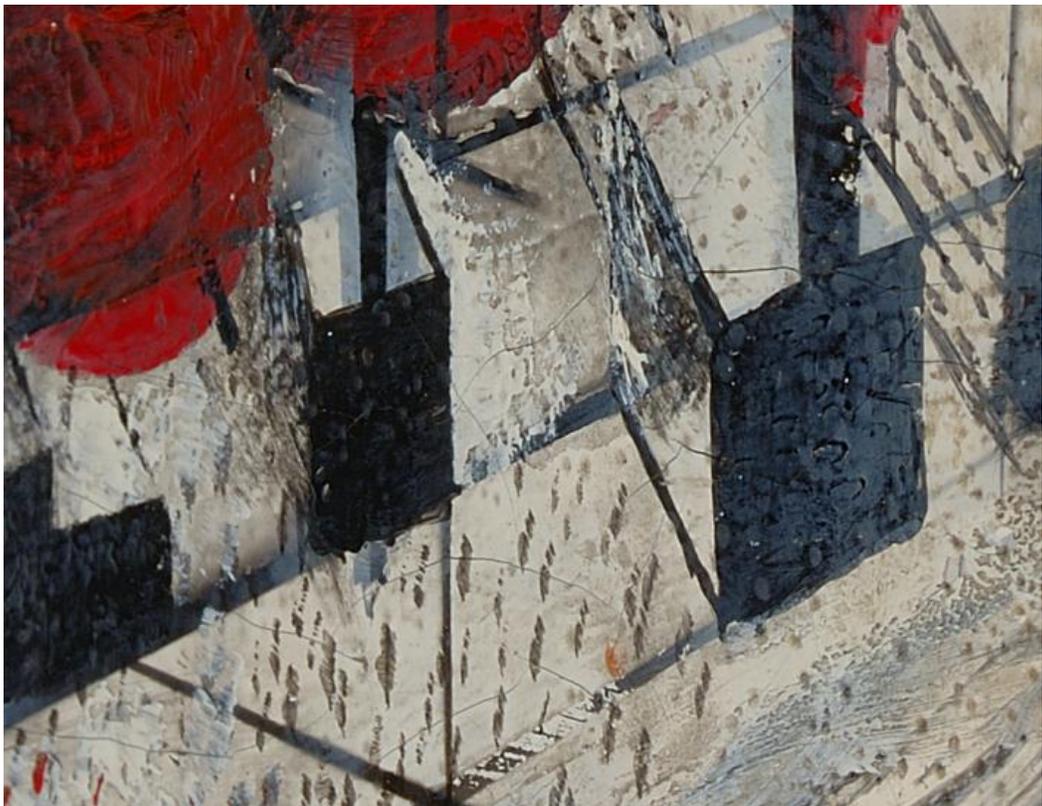


Imagen 8 - D.A. Siqueiros, *El Nacimiento del Fascismo*, detalle barco con luz rasante (fecha 1934, ca. 1945).

- Pura – incolora (control)
- Una con pigmento orgánico
- Piroxilina blanca, cuyo pigmento sea  $\text{TiO}_2$

Estas tres muestras de piroxilina servirán como control ya que más adelante se realizarán modificaciones sobre éstas para observar cómo se comporta el material de acuerdo a cada condición establecida. Se sugiere emplear piroxilina roja como “piroxilina coloreada” ya que en la mayoría de los casos, los pigmentos rojos provienen de compuestos con grupos azo<sup>16</sup>, que son de naturaleza orgánica, por lo que cubre las características buscadas para llevar a cabo la identificación<sup>17</sup>.

Una vez que se haya realizado la selección, se deberán producir mezclas con concentraciones diferentes de pigmento; esto se logrará agregando el respectivo colorante a cada materia prima y dispersándolo por dos métodos: el que sugieren los libros especializados en tecnología de pinturas y aquel como lo hacían los artistas de principios del siglo XX. Las concentraciones se determinarán de acuerdo con la cantidad basal de pigmento que contenga cada color de piroxilina elegido<sup>18</sup>, ya que no todas contienen la misma cantidad pues depende de diversas características (como la capacidad de tinción y el poder cubriente, entre otros), de manera que al final se cuenten con las siguientes mezclas:

- Piroxilina sin adición de pigmento, es decir, con la cantidad que incluye de fábrica.
- Piroxilina + 100% del pigmento contenido originalmente
- Piroxilina + 200% del pigmento contenido originalmente

---

<sup>16</sup> El grupo Azo es el más ocupado y variado en la industria de las pinturas. Uno de los compuestos más difundidos es el Rojo de Toluidina (Morgans, 1990).

<sup>17</sup> Antes de seleccionar un rojo, si se decide seguir la sugerencia, verificar qué pigmento contiene y la naturaleza química de éste.

<sup>18</sup> Esta información está incluida en la hoja de información de cada lata y varía dependiendo de la casa productora de la laca.

Estas mezclas deberán tenerse para los dos colores con los que se esté llevando a cabo el experimento, teniendo al final cuatro sets de concentraciones en total: 1 de color A mezclado de acuerdo con la bibliografía, 1 de color A mezclado según artistas, e igualmente 2 para el color B<sup>19</sup>. Sobra decir que de la piroxilina incolora no deben realizarse sets de concentraciones con sus respectivas variaciones, ya que ésta no contiene ningún pigmento, por lo que se tomará como “control universal” para comparar el resto de los resultados obtenidos.

A partir de este punto en adelante, se empezarán a presentar una serie de recuadros que concentran la combinatoria y su expansión a lo largo del estudio, considerando las muestras a prepararse por cada uno de los métodos de mezclado del pigmento; es decir, si el investigador decidiera sólo abordar el estudio empleando el método de adición de los artistas, tendrá tantas muestras como la Tabla 7 lo indica; por el contrario, si decidiera hacer el comparativo de ambos métodos con todas las vertientes que éste involucra, tendrá el doble de ese número. Esta posibilidad se deja abierta, ya que si bien se piensa que todas estas variables tienen una influencia en el proceso de formación de craqueladuras, bien valdría la pena comprobar primero la veracidad de esta hipótesis mediante un solo método, y a partir de esos resultados, replantear qué variables tienen un impacto estadísticamente significativo (bien pudiendo ser todas e incluso más que las aquí propuestas), para proponer la combinatoria de muestras a preparar a través del método alterno, para su posterior análisis.

En la Tabla 5 podemos observar las muestras que deben prepararse hasta este punto; sin embargo, cabe subrayar que no cubre la totalidad de la paleta que se requiere para llevar a cabo el experimento. Ésta se detallará a lo largo del desarrollo del presente trabajo para que se entienda de dónde viene cada modificación sugerida.

---

<sup>19</sup> Es decir, se deberá contar con dos juegos de muestras como el indicado en la Tabla 5, cada uno de ellos mezclado siguiendo una metodología diferente.

No. de set	Piroxilina	Saturación del pigmento
1	Pura (incolora)	Sin pigmento
2	Blanca	x*
3		2x
4		3x
5	Color adicional	X
6		2x
7		3x

\*Se considera "x" a la cantidad inicial de pigmento contenida en la lata  
**Tabla 5 - Muestras de piroxilinas con diferentes grados de saturación de pigmento.**

Las muestras deberán prepararse en cantidades suficientes para que puedan emplearse en las pruebas indicadas en la Tabla 7, que detalla cuántos experimentos con cada una de ellas deberán realizarse en total, ya que se prefiere maximizar la cantidad de información que se puede obtener de la menor cantidad de experimentos posibles, pues así se economizará tiempo y material, previniendo también la generación excesiva de residuos. Es por ello que el detalle de la ejecución experimental se explica más adelante, ya que se tomarán diferentes mediciones sobre una misma aplicación de cada muestra.

Es importante resaltar que el método de preparación deberá ser rápido y, una vez concluido, las muestras deberán almacenarse en envases herméticos perfectamente sellados e identificados, que deberán guardarse en condiciones de temperatura ambiente y oscuridad, para evitar variaciones por pérdida de solvente, produciendo el "envejecimiento" de la materia prima, es decir, una piroxilina cuya concentración de sólidos dispersos (incluyendo el pigmento) ha cambiado a lo largo del tiempo, teniendo propiedades de secado diferentes, que no sólo pueden impactar la generación de craqueladuras, sino que impediría la estandarización de los resultados de los experimentos realizados con ellas.

## **Espesor de la capa pictórica**

Otra variable importante que posiblemente afecta las propiedades de una capa pictórica es el espesor, o las variaciones de éste<sup>20</sup>, con las que fue aplicada (Keck, 1969); así como las que sufre durante el proceso de secado, ya que pueden resultar altamente significativas.

El espesor de las capas generalmente se expresa en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), pero también existen términos como *thou* y *mil* (ambos equivalen a 25.4  $\mu\text{m}$ ), empleados en el sistema métrico de EUA (Morgans, 1990).

Esta información debe estar presente en las hojas de datos del producto, dadas por el fabricante. Aunque también puede calcularse a partir de la fórmula de la pintura (empleando gravedades específicas), o se puede determinar de forma experimental a través del método BS 3900, Parte A 10 del Instituto Británico de Estándares (*British Standards Institution*). Dichas especificaciones generalmente sugieren un espesor mínimo y máximo para cada capa de pintura a aplicarse, así como para el grosor final del sistema (Morgans, 1990).

De acuerdo con la información de DuPont, fabricante de las piroxilinas empleadas por los artistas mexicanos, el material debe aplicarse con pincel de aire, y de 2 a 3 capas en total (aplicadas con 10 minutos de diferencia entre sí) para obtener un color sólido y uniforme (Nitro Cellulose Topcoat, 2008).

En las obras de Siqueiros y Orozco sin embargo, las capas de nitrocelulosa no se aplicaron de acuerdo a los estándares sugeridos por DuPont, sino que se encuentran capas con grosores aleatorios incluso dentro de la misma obra, ya que dichos artistas buscaban no sólo efectos ópticos a través del color, sino texturas nuevas y relevantes en sus obras, que jugarán un papel fundamental al momento

---

<sup>20</sup> Estudiadas más a fondo en el apartado "Volumen de Compactación" de este mismo capítulo.

de hacer una lectura de la obra; estos volúmenes fueron alcanzados gracias a las propiedades del nitrato de celulosa (de fábrica y modificado) y la permisibilidad de éste en lo que a métodos de aplicación y manejo en la obra respecta.

Estas texturas sumamente voluminosas pueden observarse con claridad en fotografías tomadas con luz rasante de obras como *El Coronelazo* de Siqueiros, donde vemos en sus dedos y uñas las callosidades, mezcladas con tierra y pintura del obrero/artista que muestra como la clase proletaria de México no teme ensuciar y lastimar sus extremidades, claro reflejo de la bien conocida mentalidad socialista de este artista (Imagen 9, Imagen 10, Imagen 11 e Imagen 12)



Imagen 9 - D.A. Siqueiros, *El Coronelazo* (1945): piroxilina sobre masonite, 91.5 x 121.6 cm, colección Museo Nacional de Arte. INBA Archivo CENIDIAP-INBA

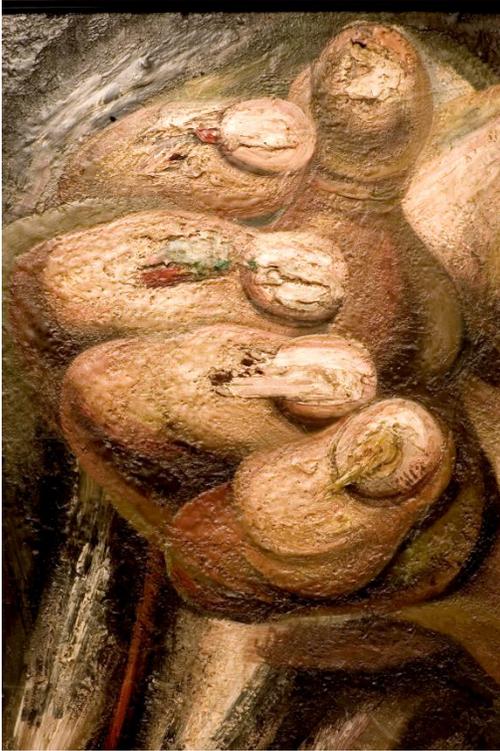


Imagen 10 - D.A. Siqueiros, *El Coronelazo*, detalle mano con luz razante (1945).

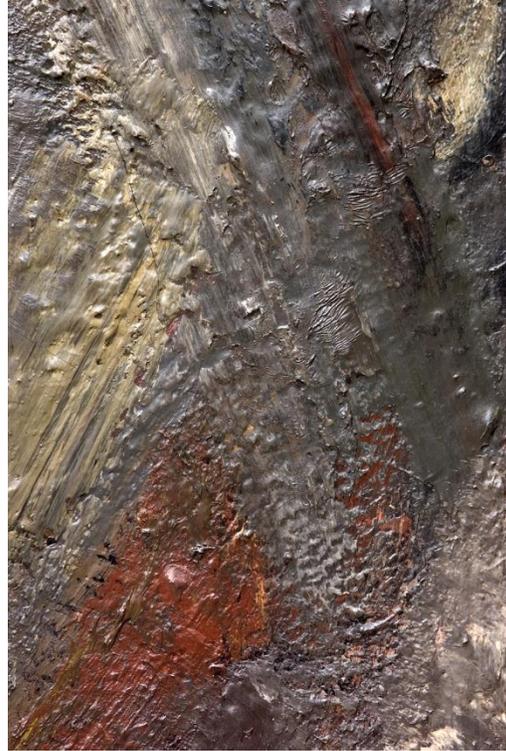


Imagen 11 - D.A. Siqueiros, *El Coronelazo*, detalle inferior izquierdo con luz razante (1945).



Imagen 12 - D.A. Siqueiros, *El Coronelazo*, detalle mano con luz razante (1945).

Para realizar sus obras “politécnicas”, le informaba Siqueiros a María Asúnsolo, que había utilizado ‘todos los procedimientos imaginables: la brocha de mano, la brocha mecánica, las veladuras, las raspaduras y todos los trucos imaginables de la alquímica pictórica...’.

[...]Experimentaba y lograba la sensación de profundidad infinita, haciendo agujeros, rebanándoselos al grueso empaste, o construyendo huecos, sobreponiendo materiales, como piezas de madera sobre superficies planas, cóncavas y convexas con los que se establecía por azar un espacio pictórico dinámico, que posteriormente se convertía en atmósferas de planos recesivos. (Herner, 2010)

El espesor de la capa pictórica adquiere relevancia si se piensa que, durante el proceso de secado, la porción más externa de una capa pierde antes el solvente que la porción inferior, formando un gradiente de evaporación semejante al que se busca ejemplificar en la Figura III.

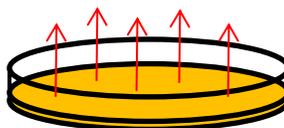


Figura III - Gradiente teórico de disolvente en la capa pictórica.

Este gradiente podría ser despreciable si el material se aplica de acuerdo con las instrucciones sugeridas por el fabricante, pero si se utiliza como lo hicieron los artistas mexicanos, es decir, formando texturas muy voluminosas, puede adquirir relevancia, ya que la porción superior (externa) está mucho más lejana de la inferior (interna), y el desfase en el secado se evidencia; esto es, la parte externa secará antes que la interna, dificultando la salida de los vapores de ésta, los cuales podrán formar burbujas, poros o incluso averías (craqueladuras) al incrementar la presión del vapor generada por el secado.

Para entender la trascendencia de estos espesores poco convencionales, es necesario llevar a cabo una serie de experimentos, empleando las muestras preparadas en el capítulo “Influencia del pigmento”, de manera que no únicamente se determine el efecto buscado en este apartado, sino que pueda entenderse si a su vez existe una relación con el pigmento, pues pueden haber acomodos moleculares más porosos que otros, que permitirían una mejor evaporación del solvente.

Los estudios que se sugieren para este apartado consisten en aplicar diferentes volúmenes de las muestras preparadas en cajas de Petri de 60x15mm, de manera que se obtengan diferentes espesores de capa pictórica. Es importante delimitar que las cajas de Petri deberán ser de vidrio, ya que en esta serie de experimentos no se está buscando determinar la interacción con el soporte, por lo que se requiere que el material no absorba ningún tipo de componente de la muestra y que el proceso de secado se lleve a cabo de manera unidireccional Figura IV. Además de necesitarse un contenedor con paredes transparentes que permita realizar mediciones laterales de lo que se encuentra en su interior.



**Figura IV - Evaporación unidireccional teórica del solvente presente en una capa pictórica, contenida en una caja de Petri.**

Los volúmenes de muestra a emplearse se dejan a criterio del investigador, teniendo en cuenta los siguientes criterios para su selección:

- Capa delgada: Emplear un volumen conocido que al extenderse por el fondo del recipiente, toque todas las paredes, cubriendo uniformemente el fondo del recipiente en su totalidad, pero empleando la menor cantidad de laca posible.
- Capa intermedia: Utilizar una cantidad conocida de muestra que al extenderse uniformemente llene hasta aproximadamente un cuarto de la altura del contenedor.
- Capa gruesa: Verter un volumen conocido de piroxilina que al distribuirse por el contenedor de manera uniforme, alcance aproximadamente dos tercios de la altura de la caja de Petri.

Es importante que estas determinaciones se lleven a cabo con piroxilina pura, sin modificaciones, ya que no se debe perder de vista que éste es el “control universal” para todas las pruebas realizadas, por lo que es el material indicado para estandarizar las cantidades a emplearse con el resto de las muestras. Una vez determinados los volúmenes necesarios para cubrir estos criterios con el control universal, éstos se volverán la constante, es decir, se emplearán dichos volúmenes para el resto de los experimentos, sin importar la altura que alcancen en el recipiente.

A partir de estas variaciones, la nueva combinatoria de los experimentos a realizarse quedaría de acuerdo con la información descrita en la Tabla 6.

Hasta este punto, en realidad no se ha hablado sobre mediciones que deban llevarse a cabo sobre estas aplicaciones de nitrocelulosa, ya que tanto la influencia del pigmento, como el espesor de la capa pictórica obtendrán relevancia

al correlacionarse con los resultados obtenidos del resto de las pruebas, pues su efecto no puede ser medido directamente, sino a través de su capacidad de alterar otras propiedades medurables.

No. de set	Piroxilina	Saturación del pigmento	Espesor de la capa
1	Pura (incolora)	Sin pigmento	Delgada
2			Media
3			Gruesa
4	Blanca	x*	Delgada
5			Media
6			Gruesa
7		2x	Delgada
8			Media
9			Gruesa
10		3x	Delgada
11			Media
12			Gruesa
13	Color adicional	x	Delgada
14			Media
15			Gruesa
16		2x	Delgada
17			Media
18			Gruesa
19		3x	Delgada
20			Media
21			Gruesa

\*Se considera "x" a la cantidad inicial de pigmento contenida en la lata.

Tabla 6 - Combinatoria de muestras preparadas, aplicadas en diferentes volúmenes en recipientes de vidrio.

### **Modificación por cargas**

El siguiente criterio a evaluar en esta propuesta deberá ser la aplicación de cargas, ya que éstas modifican totalmente las propiedades del material, permitiéndole tener texturas totalmente impensables.

El grupo del LDOA en colaboración con el MOMA de Nueva York hicieron un estudio (bibliográfico y experimental) de obras de Siqueiros en el que descubrieron qué cargas empleó al artista y cuál es el efecto buscado; al respecto escriben en la publicación sobre esta exhaustiva investigación y exposición:

El estudio que realizamos sobre dos obras de Siqueiros de 1945 demuestra el uso de piroxilina modificada con aditivos y cargas, resultando probable el vínculo entre Siqueiros y el taller de Gutiérrez. Los cambios de la piroxilina brindaron al pintor un medio plástico y manejable, opaco pero con colores intensos, de secado rápido y versátil en la producción de empastes y texturas rugosas. Se trata de una modificación porque la piroxilina se diseñó, en realidad, como un recubrimiento plano, uniforme.

[...] También en *Aurora de México* Siqueiros usó esta base de preparación roja con cargas de asbesto, que nos permitió datar las pinceladas de la tercera versión de *El nacimiento del fascismo*<sup>22</sup>. En muchas de las mezclas de pintura hay en menor proporción cargas de asbesto que fueron añadidas para permitir el registro de la huella del pincel y volver más opaca la superficie. Al igual que en *Madre proletaria*, Siqueiros se vale de las cargas para incrementar los efectos texturales que remarcan los planos de composición. [...] La pintura de nitrato de celulosa es muy brillante, y Siqueiros buscaba un acabado mate. Para lograrlo, experimentó añadiendo distintos tipos de solventes y otras cargas como polvo de mármol, aserrín, fibras de algodón o vidrio molido.

En *El Coronelazo*<sup>23</sup>, hay dos tipos de lacas, unas con colorantes orgánicos, muy traslúcidas, y otras mucho más opacas y con gran cantidad de pigmentos, extendedores y cargas. Por medio de microscopía electrónica de barrido y fluorescencia de rayos X, detectamos un extendedor de bario en varias mezclas. Los extendedores son agregados inertes, traslúcidos, incoloros, que

---

<sup>22</sup> Imagen 6 - D.A. Siqueiros, *El Nacimiento del Fascismo* (fecha 1934, ca. 1945): piroxilina sobre masonite, 61 x 76cm, colección SAPS, CNCA/INBA, Ciudad de México

<sup>23</sup> Imagen 9 - D.A. Siqueiros, *El Coronelazo* (1945): piroxilina sobre masonite, 91.5 x 121.6 cm, colección Museo Nacional de Arte. INBA Archivo CENIDIAP-INBA

hacen rendir los pigmentos o precipitan colores orgánicos y por tanto disminuyen el costo de las pinturas. El sulfato de bario, ya sea de origen mineral o artificial, se usa comúnmente para esto. (Arroyo, Aviram, McGlinchey, & Zetina, En proceso de publicación)

En este mismo sentido, José Gutiérrez menciona que, para obtener un acabado mate y luminoso se debía mezclar Celita o Hy-Flo con la piroxilina; mientras que si se deseaban texturas gruesas, debían agregarse granos de mármol, aserrín limpio, hilos de algodón, vidrio roto muy finamente, cuentas de vidrio, celotex o cualquier material inerte (Gutiérrez, 1986).

Sobra decir, por todo el sustento que se ha dado a lo largo de este trabajo, el grado de impacto que puede llegar a alcanzar la adición de una carga como estas, ya que para lograr efectos como los observados en *El Coronelazo* (Imagen 10) se requiere una gran adición de elementos, por lo que debe indagarse más cuáles son los aditivos que mayores problemas pueden ocasionar a una obra y en qué momento inicia este riesgo latente.

Para llevar a cabo este análisis, se debería proponer analizar las dos cargas que se han encontrado más abundantemente en la obra de Siqueiros y Orozco: asbesto (Diatomita) y sulfato de bario ( $BaSO_4$ ). Sin embargo, por el alto riesgo que representa trabajar con el primero de ellos, se sugiere trabajar con polvo de silicio (vidrio molido o semejante), ya que de acuerdo con José Gutiérrez el efecto plástico obtenido es idéntico, de manera que se puede asumir que las propiedades del material que modifica son las mismas o muy semejantes. Si y sólo si el investigador contara con el entrenamiento y las condiciones óptimas de seguridad necesarias para trabajar con fibras de asbesto, se preferiría que así lo hiciera, pero poniendo énfasis en el cuidado que se debe tener al trabajar con este material altamente carcinogénico.

Esta parte del estudio debe realizarse empleando tres concentraciones diferentes de cada carga en nitrocelulosa para poder observar más fácilmente, pero sin descuidar detalle, el efecto de las cargas en ésta, así como su interacción con el resto de las modificaciones propuestas. Para determinar las concentraciones a emplearse, se debe hacer una aproximación experimental empleando el “control universal” como disolvente, de manera que se encuentren muestras con concentración (% m/v) conocida que puedan replicarse empleando el resto de las combinaciones realizadas hasta el momento. Los especímenes buscados deben contar con las siguientes características:

- La muestra con la concentración más baja deberá producir una capa pictórica seca con propiedades plásticas aparentemente normales (muy semejantes a las que en apariencia tiene el control universal puro), pero con un acabado mate y liso.
- La preparación con concentración intermedia al secar deberá observarse con un acabado mate y textura áspera (incluso ligeramente rugosa); sus propiedades plásticas pueden ser aparentemente normales o verse un poco alteradas, sin llegar al punto de ser frágil, quebradiza y/o agrietada.
- La mezcla con la más alta concentración, tendrá una apariencia totalmente diferente a la de la piroxilina pura y sus propiedades plásticas también estarán alteradas diametralmente; es decir, su aspecto deberá ser el de un objeto que está a punto de romperse y poco estable.

Una vez que se determine la concentración (%m/v) en el control universal, deberán prepararse muestras de cada una de ellas a partir de los especímenes que han venido desarrollándose a lo largo de la propuesta. Esto significa que las combinaciones obtenidas hasta este punto corresponderán a las indicadas en la Tabla 7.

Sin embargo, al igual que con las modificaciones anteriores, el efecto de la adición de cargas no puede medirse de manera directa, sino a través de los resultados que aportarán más adelante otras pruebas.

Piroxilina	Piroxilina (color)	Saturación de pigmento	Carga	Concentración de carga	Espesor de la capa
1	Pura (incolora)	Sin pigmento	Sin carga	Sin carga	Delgada
2					Media
3					Gruesa
4			BaSO <sub>4</sub>	Baja	Delgada
5					Media
6					Gruesa
7				Media	Delgada
8					Media
9					Gruesa
10				Alta	Delgada
11					Media
12					Gruesa
13			Asbesto	Baja	Delgada
14					Media
15					Gruesa
16				Media	Delgada
17					Media
18					Gruesa
19				Alta	Delgada
20					Media
21					Gruesa
22	Blanca	x*	Sin carga	Sin carga	Delgada
23					Media
24					Gruesa
25			BaSO <sub>4</sub>	Baja	Delgada
26					Media
27					Gruesa
28				Media	Delgada
29					Media
30					Gruesa
31				Alta	Delgada
32					Media
33					Gruesa
34			Asbesto	Baja	Delgada
35					Media
36					Gruesa
37				Media	Delgada
38					Media
39					Gruesa
40				Alta	Delgada
41					Media
42					Gruesa
43	2x	Sin carga	Sin carga	Delgada	

Piroxilina	Piroxilina (color)	Saturación de pigmento	Carga	Concentración de carga	Espesor de la capa
44			BaSO <sub>4</sub>	Baja	Media
45					Gruesa
46					Delgada
47					Media
48					Gruesa
49				Delgada	
50				Media	
51				Gruesa	
52				Delgada	
53				Media	
54				Gruesa	
55				Delgada	
56				Media	
57				Gruesa	
58				Delgada	
59			Media		
60			Gruesa		
61			Delgada		
62			Media		
63			Gruesa		
64			Delgada		
65			Media		
66			Gruesa		
67			Delgada		
68			Media		
69			Gruesa		
70			Delgada		
71			Media		
72			Gruesa		
73			Delgada		
74			Media		
75			Gruesa		
76			Delgada		
77	Media				
78	Gruesa				
79	Delgada				
80	Media				
81	Gruesa				
82	Delgada				
83	Media				
84	Gruesa				
85	Color adicional	x	Sin carga	Sin carga	Delgada
86					Media
87					Gruesa
88			BaSO <sub>4</sub>	Baja	Delgada
89					Media
90					Gruesa
91				Media	Delgada
92					Media
93					Gruesa

Piroxilina	Piroxilina (color)	Saturación de pigmento	Carga	Concentración de carga	Espesor de la capa		
94				Alta	Delgada		
95					Media		
96					Gruesa		
97				Asbesto	Baja	Delgada	
98						Media	
99						Gruesa	
100					Media	Delgada	
101						Media	
102						Gruesa	
103				Alta	Delgada		
104					Media		
105					Gruesa		
106				2x	Sin carga	Sin carga	Delgada
107							Media
108							Gruesa
109	BaSO <sub>4</sub>	Baja	Delgada				
110			Media				
111			Gruesa				
112		Media	Delgada				
113			Media				
114			Gruesa				
115	Alta	Delgada					
116		Media					
117		Gruesa					
118	Asbesto	Baja	Delgada				
119			Media				
120			Gruesa				
121		Media	Delgada				
122			Media				
123			Gruesa				
124	Alta	Delgada					
125		Media					
126		Gruesa					
127	3x	Sin carga	Sin carga	Delgada			
128				Media			
129				Gruesa			
130		BaSO <sub>4</sub>	Baja	Delgada			
131				Media			
132				Gruesa			
133			Media	Delgada			
134				Media			
135				Gruesa			
136		Alta	Delgada				
137			Media				
138			Gruesa				
139		Asbesto	Baja	Delgada			
140				Media			
141			Media	Gruesa			
142	Delgada						
143	Media						

Piroxilina	Piroxilina (color)	Saturación de pigmento	Carga	Concentración de carga	Espesor de la capa
144					Gruesa
145					Delgada
146				Alta	Media
147				Gruesa	

\*Se considera "x" a la cantidad inicial de pigmento contenida en la lata.

Tabla 7 – Combinatoria de muestras totales para el estudio completo.

### **Adición y reintegración de solventes**

Otras de las modificaciones que realizaron los artistas mexicanos fue la adición y reintegración de solventes en sus materiales. Al respecto Siqueiros escribe sobre la creación de su obra *Cuauhtémoc contra el mito* (Imagen 13): “[...] Y no debe olvidarse que los que ahí usé eran ducos corrientes, comprados en la tienda, de los que habitualmente se usan para pintar automóviles. Los había mejorado con solventes, pero de manera muy relativa” (Tibol, Carta a Jaime Torres Bodet, 1996).

Estas alteraciones se realizaron con la finalidad de modificar la viscosidad del material y la forma como se comporta al aplicarse sobre el soporte mediante diferentes técnicas. Para Siqueiros, por ejemplo, uno de los más grandes hallazgos al trabajar con lacas de nitrato de celulosa fue la formación de absorciones<sup>24</sup> y todos los diferentes tipos de éstas que se obtenían a través de la adición o reintegración de solventes, tal como se puede observar en las imágenes de la Tabla 8, que corresponden a acercamientos de *El Nacimiento del Fascismo* (Imagen 6). Así mismo, se aporta información sobre el posible origen técnico de cada una de ellas, basado en los experimentos realizados por el equipo del LDOA, quienes con materiales actuales y a través de notas del artista, así como

<sup>24</sup> Efecto se consigue mediante el goteo o escurrimiento (*dripping*) de un material sobre una superficie desde una altura relativa al mismo tiempo (o inmediatamente después) que una laca de otro color, resultando en una especie de garabatos heterogéneos al mezclarse ambos colores.

conocimientos empíricos propios y de artistas que les auxiliaron, lograron reproducir la mayoría de los efectos observados en las obras de Siqueiros.

Acercamiento	Posible técnica empleada.
	<p>Sólo piroxilina</p>
	<p>Piroxilina + acetona + benzol</p>
	<p>Piroxilina + Aceite de ricino + <i>thinner</i></p>

Tabla 8 - Algunos tipos de absorciones observados en el *Nacimiento del Fascismo* y su posible origen de acuerdo con los experimentos del LDOA.



Imagen 13 – D.A. Siqueiros, *Cauhtémoc contra el mito* (1944):  
piroxilina, 75 m<sup>2</sup>, Palacio de Bellas Artes, Ciudad de México.

Ahora bien, en lo que respecta a la gama de solventes (o *thinners*) empleados en la industria de las pinturas y recubrimientos al trabajar con el nitrato de celulosa suelen emplearse mezclas, de manera que se pueda mantener el costo lo más bajo posible. Es decir, sólo se agrega solvente suficiente para disolver el nitrato de celulosa, la consistencia final está dada por la dilución que se le da con algunos hidrocarburos, que no son solventes como tal, pero sí compuestos compatibles con la mezcla. En la Tabla 9 podemos observar los solventes e hidrocarburos más

empleados para producir mezclas comerciales de piroxilina, así como la proporción en la que se suelen emplear (Morgans, 1990).

		HIDROCARBURO			
		Tolueno	Xileno	Petróleo	Butanol
SOLVENTE	Acetona	4:5	3:9	0:6	7:0
	Acetato de amilo	2:2	2:2	1:4	7:3
	Acetato de butilo	2:7	2:4	1:4	7:3
	Ftalato de butilo	2:8	2:7	1:7	8:0
	Tartrato de butilo	10:6	7:7	1:4	15:0
	Lactato de etilo	5:6	4:8	0:7	10:2
	Metil etil cetona	4:5	3:3	---	---

Tabla 9 - Proporción porcentual de los solventes e hidrocarburos más comúnmente empleados para la producción de piroxilinas.

A partir de esta información, se puede inferir que existe un impacto por la adición y reintegración de disolventes con la intención de alterar las propiedades plásticas del material; sin embargo, se sugiere en este estudio no realizar una serie de experimentos que demostraran este efecto, no solamente por la complejidad del diseño, sino por la infinidad de solventes empleados, proponiéndolo como un estudio independiente, realizando previamente los análisis necesarios para identificar los disolventes más frecuentemente encontrados en las obras de Siqueiros.

Asimismo, si bien resulta importante hacer mención de esta variable, para entender por qué una obra elaborada en su totalidad con un mismo material, puede tener cualidades plásticas diferentes en secciones aplicadas con la misma técnica (pincel, pincel de aire, *drippings*, etc.), puede pensarse que el grado de influencia de este parámetro podría ser menor que el de los otros mencionados en esta propuesta de estudio, ya que todos los solventes de la Tabla 9 son altamente volátiles, por lo que la diferencia en el tiempo de secado con cada uno de ellos

debe ser muy semejante. Este tiempo podría verse modificado con mayor significancia, al pensar en el volumen adicionado por el artista, pero debe entenderse que la estandarización para el estudio de este aspecto sería imposible.

Es por esto que no se sugiere una serie de experimentos o muestras para analizar el impacto de esta variable, sin embargo, si a partir de los resultados arrojados por el estudio aquí propuesto, se encontrara evidencia experimental que lleve a considerar la inclusión de este planteamiento como extensión del alcance del mismo, se invita al investigador a emplear los solventes (los que considere de mayor relevancia) de la Tabla 9, en diferentes concentraciones, para llevar a cabo el diseño y ejecución de sus experimentos.

### **Volumen de compactación**

La pérdida por evaporación de solvente<sup>25</sup> de una capa de pintura recién aplicada, deriva en el encogimiento y en la disminución del espesor de ésta. El coeficiente de espesor de la capa pictórica seca respecto al de la capa fresca, se determina por el volumen de *thinner* empleado, o visto de otra forma, por el volumen de sólidos presentes en la mezcla. A esta relación se le conoce como “volumen de sólidos” o “sólidos por volumen” y se expresa mediante la siguiente fórmula (Morgans, 1990):

$$\% \text{ Volumen de Sólidos} = \frac{\text{Espesor de la capa seca} \times 100}{\text{Espesor de la capa fresca}}$$

Si bien el Volumen de Sólidos, resulta relevante para la industria de las pinturas, para efectos de este estudio, un dato más importante es el que se conoce como “volumen de compactación” (%VC), que representa porcentualmente el

---

<sup>25</sup> El proceso de secado de las piroxilinas se detalla al inicio del capítulo “Proceso de Secado”.

encogimiento que sufrió la capa pictórica por el proceso de secado, y puede calcularse a través de la siguiente ecuación:

$$\%VC = \frac{\text{Espesor de la capa fresca} - \text{Espesor de la capa seca}}{\text{Espesor de la capa fresca}} \times 100$$

Este dato deberá obtenerse para todas las muestras antes descritas, ya que de esta manera podrá verificarse si existe una influencia de las modificaciones realizadas por los artistas mexicanos en las lacas de nitrato de celulosa y su proceso de secado; esto a través de un análisis estadístico para verificar si existen diferencias significativas entre los diferentes sets de muestras sugeridos para el análisis. Una amplia variación de este parámetro adquiere trascendencia cuando se piensa que las obras elaboradas con nitrocelulosa no son sistemas de lacas aisladas, sino complejos y estratificados conjuntos cuya interacción puede volverse altamente incompatible a pesar de tratarse de materiales con el mismo aglutinante<sup>26</sup>.

Para poder calcular el %VC deberán realizarse varias mediciones sobre cada muestra seca, pero para asegurar que el sistema ha perdido todo el solvente necesario para considerarla seca, las mediciones deberán realizarse por lo menos 7 días después de su aplicación en la caja de Petri, y se sugiere que el lapso de tiempo sea el mismo para todas las muestras; es decir, por ejemplo, si la medición de las primeras muestras se llevan a cabo cuando hayan pasado siete días de su aplicación, el resto de los especímenes también deberán ser evaluados a los 7 días, de manera que se disminuya en la medida de lo posible las variaciones en los resultados.

---

<sup>26</sup> Los complejos sistemas encontrados en las obras elaboradas con piroxilina se detallan a profundidad en el apartado "Tiempo de secado" del presente capítulo.

Existen dos métodos para obtener el espesor de las capas, a continuación se describen ambos, de manera que el investigador pueda elegir el que más le convenga y según su disponibilidad de equipo.

- a) *Microscopía*: Si se cuenta con un microscopio óptico acoplado a un equipo de cómputo que permita tomar fotografías de los especímenes analizados, incluyendo la escala en la que se está observando el objeto, se sugiere emplear este método, ya que la precisión con la que se llevarían a cabo las mediciones sería del orden de micrómetros  $\mu\text{m}$ , la desventaja de esta forma de trabajo radica en que cada uno de los especímenes deberá ser desmoldado cuidadosamente del contenedor y montado en resina para su observación al microscopio, lo cual eleva considerablemente el costo del estudio y representa un gran aumento en la cantidad de tiempo requerida para llevarlo a cabo.
  
- b) *Vernier*: Sin duda alguna, este se trata de un método más rudimentario y mucho menos preciso en comparación con el anterior, pero no debe olvidarse que el vernier es una de las herramientas de uso manual con mayor precisión, por lo que su uso arrojaría resultados con la confiabilidad buscada.

Una vez que se haya elegido el método más adecuado para realizar el estudio, se pueden llevar a cabo las mediciones de las diferentes capas (fresca y seca), y esto deberá hacerse de la siguiente forma:

- i. Espesor de la Capa Fresca: Podría pensarse que la capa fresca debe medirse al momento de ser vertido el material en la caja de Petri, sin embargo como puede observarse en la Imagen 14 e Imagen 15, la piroxilina se adhiere a las paredes del contenedor, dejando una huella (aunque irregular) de la altura que tuvo al momento de ser vertida. Por lo que deberán hacerse tantas mediciones como sean necesarias de los

puntos de mayor altura, para obtener un promedio que fungirá como el valor buscado.



Imagen 14 - Muestra seca de piroxilina azul sin modificaciones.



Imagen 15 - Muestra seca de piroxilina azul sin modificaciones (giro 180° respecto a la Imagen 14)

- ii. Espesor de la Capa Seca: Para evaluar este parámetro deberá fraccionarse la “ficha” con ayuda de un bisturí, como se muestra en la Imagen 16, ya que este dato deberá buscarse en los puntos de menor altura, promediando cuantos sean necesarios para obtener un resultado sólido, tal como se hizo en el inciso anterior.



Imagen 16 - Muestra seca de piroxilina, fragmentada para la medición del "espesor de capa seca"

Una vez que se cuente con estos resultados, se podrá determinar el volumen de compactación para cada una de las variantes descritas. En este apartado, no

existen nuevas combinaciones que deban sumarse a la tabla maestra de experimentos que se ha venido desarrollando, sino que se trata de la primera serie de datos que servirán para determinar la relevancia de todas las muestras propuestas. Sin embargo, debe considerarse que cada una de las muestras deberá analizarse, por lo menos, por triplicado, ya que los resultados deberán tener un valor estadístico dado por la reproducibilidad del experimento, para que puedan analizarse y correlacionarse entre sí todas las mediciones, pues de otra manera se estaría trabajando con datos aleatorios, de los cuales se desconocería si tienen consistencia (reproducibilidad) o no.

### **Tiempo de secado**

Finalmente, en lo que a las propiedades de las piroxilinas respecta, es importante analizar el tiempo de secado, ya que pueden existir diferencias significativas entre las lacas con distintos pigmentos y aditivos de fábrica, así como entre éstas y aquéllas que pudieron ser modificadas por los artistas. La posible influencia de los diferentes tiempos de secado en la aparición de craqueladuras prematuras está muy relacionada con el volumen de compactación de las mismas, el cual ya se ha propuesto estudiar anteriormente, pues aquí entra en juego principalmente la plasticidad (o la falta de ella) al consolidar un sistema estático a través del proceso de secado.

Para entender mejor cómo interactúan dichas cualidades (tiempo de secado, volumen de compactación, plasticidad), se pueden plantear los siguientes casos, en los cuales es importante suponer que estos primeros escenarios son “ideales”, es decir, existe un efecto de membrana entre cada gota de piroxilina que impide la formación de una mezcla de ellas.

- Si se tienen dos piroxilinas con tiempos de secado e índices de compactación semejantes, se puede suponer que no existirán problemas por secado, pues la adhesión entre gotas y la curva de plasticidad se irá

modificando de manera semejante; provocando que ambas gotas alcancen un volumen final semejante en momentos muy cercanos al consolidar el sistema que forman.

- Si se tiene una piroxilina de rápido secado y poca compactación, a lado de una de secado lento y alta compactación, se puede pensar que probablemente no existirá un problema serio, ya que la primera gota no modificará significativamente su volumen y quedará consolidada rápidamente, dándole oportunidad a la otra gota que se amolde a la forma que esta haya adquirido, aunque su pérdida de disolvente sea mayor, su curva de plasticidad disminuye gradualmente, por lo que teóricamente no debe ser mayormente susceptible a sufrir una fractura.
- Si se tiene una piroxilina de secado lento y poca compactación, a lado de una de rápido secado y alta compactación, se cree que el sistema puede presentar más problemas, ya que la gota que cambia poco su volumen y se consolida lentamente sigue sufriendo modificaciones, aunque sean mínimas por un largo periodo de tiempo, en vecindad con una gota que rápidamente cambió su volumen y perdió plasticidad, es decir, que tiene una forma final definida y rígida, altamente susceptible a sufrir una fractura ante los movimientos volumétricos de la gota colindante.

Sin embargo, la realidad es bastante más compleja que todas estas suposiciones, ya que si existe una capa común superpuesta a dos piroxilas adyacentes, aparecen dos nuevas grandes posibilidades:

- Si la capa superpuesta presenta un secado lento y baja compactación, es muy probable que no sufra daños, ya que la disminución de su elasticidad le toma más tiempo, por lo que en el proceso de secado mantiene la capacidad de amoldarse a la forma del sistema que la soporta y que

dependiendo de sus características particulares cambiará en volumen y tiempo según las características de cada uno de sus componentes.

- Sin embargo, si esta capa teórica superior común, seca más rápido que aquéllas que la soportan, resulta muy probable pensar que sufrirá daños por el estrés que le provocarían las deformaciones que tienen las capas inferiores en su propio proceso de secado; además que impediría la liberación de los vapores de los estratos subyacentes, los cuales pueden inducir la formación de averías por las cuales puedan liberarse los vapores del sistema.

Estos últimos dos escenarios también se consideran lejanos de lo que sucede realmente en una obra artística elaborada con piroxilinas y a través de los métodos de aplicación que empleaban los artistas mexicanos. La realidad se observa en la Imagen 17 e Imagen 18, en las que se puede ver claramente la complejidad que adquieren los sistemas de lacas de nitrato de celulosa, dando una mejor oportunidad de dimensionar la importancia del entendimiento de los procesos de secado en general, a partir de modelos “ideales”.

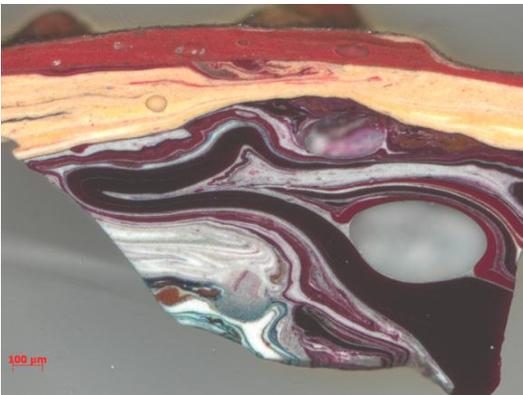


Imagen 17 - D.A. Siqueiros, *El Coronelazo*, corte transversal, microscopía óptica, luz polarizada, 2x.



Imagen 18 - D.A. Siqueiros, *El Coronelazo*, corte transversal, microscopía óptica, campo oscuro, 10x.

La temperatura es un factor que se decidió dejar fuera de este estudio, por razones explicadas anteriormente, sin embargo, si al finalizar el estudio se observaran variaciones significativas en este parámetro, podría resultar valioso

incluir algunas pruebas que demostraran si estos cambios pudieran haber afectado la veracidad de los resultados; esto porque cabe suponer que una temperatura de trabajo muy superior puede provocar un aumento en la velocidad de evaporación del solvente, restando tiempo para el mejor acomodo de los sólidos presentes en la capa pictórica; es decir, resultando en una capa pictórica “desordenada” en comparación con una que cuenta con tiempos óptimos para el acomodo de sus partículas de acuerdo con el diseño del material.

Aunque no se haya sugerido en los párrafos anteriores, no debe dejarse de lado el efecto sobre el tiempo de secado que posiblemente aportan factores como la naturaleza del pigmento, su concentración, la adición de cargas, y todos los que se han estado revisando a lo largo de este trabajo; es por ello que en la Tabla 7 se busca proponer una amplia variedad de combinaciones posibles de experimentos jugando con estas variables, de manera que finalmente se cuente con la información necesaria para identificar cuáles de ellas tienen una relevancia en la formación de craqueladuras y cuáles no, pero no como cualidades aisladas sino como un sistema cuya modificación puede significar el rescate de las piezas artísticas afectadas; o bien, definir si el daño en estas obras es irreversible y sólo pueden intervenir con fines de conservación.

Gracias a la rapidez con la que seca la piroxilina, para medir el tiempo de secado sólo es necesario emplear una aguja de disección y un cronómetro. La metodología a seguir consiste en iniciar la cuenta del cronómetro al momento de terminar el vaciado de la piroxilina en el contenedor; a partir de ese momento, deberán hacerse punciones<sup>27</sup> contiguas en la capa aplicada cada 30 segundos, se distinguirán 4 etapas bien diferenciadas en el proceso de secado:

---

<sup>27</sup> Una punción consiste de picar la capa pictórica con la aguja de disección en un ángulo de 45° de manera rápida y firme, tratando de llegar al fondo de ésta (si la misma capa lo permite), y retirar de la misma forma la aguja para observar el efecto.

- 1) En la primera etapa, después de la punción, la superficie regresa a su estado original inmediatamente, es decir, se vuelve uniforme nuevamente, eliminando totalmente la huella<sup>28</sup> que podría haber dejado la aguja.
- 2) Esta fase puede distinguirse porque se observa una huella durante unos momentos, sin embargo, ésta se borra antes de efectuar la siguiente punción.
- 3) La tercera etapa es aquella en la que se debe realizar la medición, ya que la huella permanece por más tiempo, por lo menos hasta la siguiente punción. El cronómetro deberá detenerse cuando puedan observarse las huellas de 3 punciones consecutivas.
- 4) Finalmente, la última fase del proceso de secado es aquella en la que la superficie de la capa se ha consolidado y no permite la entrada de la aguja, por lo que no existe huella al hacer la punción.

El dato a registrarse deberá ser el intervalo de tiempo transcurrido entre la aparición de la segunda y la tercera marca consecutiva, ya que no se pretende obtener un tiempo exacto de secado de la nitrocelulosa, pues además de imposible, sería un dato impreciso y necio por su naturaleza. Es por ello que se considera mucho más confiable reportar un intervalo de 30 segundos en el que la porción más externa de la capa pictórica ya no puede ser penetrada y la interna, aunque aún no pierde todo el solvente, ya tiene una viscosidad adecuada para conservar la huella de la punción, pues este dato nos puede permitir ver diferencias significativas con facilidad, sin perder confianza en los resultados reportados. Estas mediciones, al igual que en el caso del volumen de compactación, deberán realizarse por triplicado, por lo menos, de manera que se

---

<sup>28</sup> Una huella es una evidencia visible clara de la invasión que se hizo con la aguja al momento de realizar la punción, es una cicatriz (permanente o temporal) que altera la uniformidad superficial de la capa.

puedan obtener resultados con valor estadístico para el análisis final que se llevará a cabo.

Al igual que en el caso del volumen de compactación, no existen variantes en este experimento, ya que se trata de la segunda fuente de resultados que permitirán la interpretación de las variables descritas en la Tabla 7, a partir de las cuales podrá verse el efecto de los parámetros estudiados y las interacciones entre ellos.

### **Edad y condiciones de almacenamiento**

La edad y las condiciones de almacenamiento de una obra plástica cualquiera, son variables íntimamente relacionadas, ya que si alguna de ellas no está dentro de parámetros óptimos, el resultado sobre la pieza puede ser catastrófico. Esto se debe a que una pieza, sin importar su edad, necesita almacenarse de acuerdo a las características de los materiales con los que está constituida y, de ser posible, debe considerarse también la compatibilidad que existe entre dichos materiales, ya que si no la hubiera por completo, el deterioro de la obra podría disminuirse o exacerbarse en intensidad según las condiciones medio ambientales en las que se encuentre exhibida o almacenada. Por ejemplo, una pieza muy joven pero de materiales altamente incompatibles en presencia de humedad, debe tenerse en condiciones lo más anhidras posibles para evitar desencadenar reacciones que pudieran provocar un deterioro prematuro de la obra; aunque también existe la contraparte que siempre debemos recordar, es decir, que una pieza sin importar que esté en las mejores condiciones de almacenamiento (ya que no existen una realidad ideal y perfecta) se va a ver afectada por el paso del tiempo y eventualmente tendrán que realizarse intervenciones para su conservación o restauración pues el paso del tiempo; es decir, la edad no puede detenerse bajo ninguna circunstancia.

Como ya se sabe, las piezas artísticas elaboradas con piroxilinas, son altamente susceptibles a sufrir deterioro prematuro, es por ello que resulta de enorme importancia identificar cuáles serían estas condiciones “ideales” de

almacenamiento, para así poder frenar, en la medida de lo posible, la aparición de signos de edad en ella; sin embargo, antes de describir dichas condiciones, es importante entender cuáles son los problemas que mayormente aquejan al nitrato de celulosa mal expuesto o almacenado, pregunta que busca ser respondida a través del estudio que en este trabajo se propone.

El Instituto Canadiense de Conservación, en su artículo *Care of Objects Made from Rubber and Plastic*, explica someramente el proceso de deterioro de las piroxilinas, señalando que el principal problema que las aqueja es la hidrólisis del material, esto es, la nitrocelulosa reacciona con la humedad atmosférica, generando un medio ácido cuyo pH disminuye conforme avanza la reacción, como se puede apreciar en la reacción de la Figura V (Christodoulatos & Su, 1996). A partir de esto, propone condiciones anhidras para su exposición o almacenamiento, de manera que se reduzca significativamente el progreso de la reacción (Care of Objects Made from Rubber and Plastic. Deterioration of Rubber and Plastic Objects., 2007). Asimismo, sugiere tener las piezas con piroxilinas lejos de otras piezas, ya que con la edad, estas obras liberan vapores ácidos que pueden afectar al resto de la colección; para prevenir esta contaminación de otros objetos, Kodak recomienda colocar tamices moleculares que absorban el ácido acético desprendido, así como no guardar las obras en cajas, sino mantenerlas en espacios moderadamente ventilados, de manera que no se acumulen los vapores en su entorno, ya que esto aceleraría el proceso de degradación del material (Manas, 1994). A pesar de ello, estas sugerencias sólo abordan el tema de las piroxilinas, como materiales aislados y entendidos a través de su proceso de degradación química, dejando de lado el resto de las interacciones que pueden tener en una obra de arte, ya sea con otras piroxilinas que han sido modificadas, con el soporte, o con materiales terceros presentes en una obra.

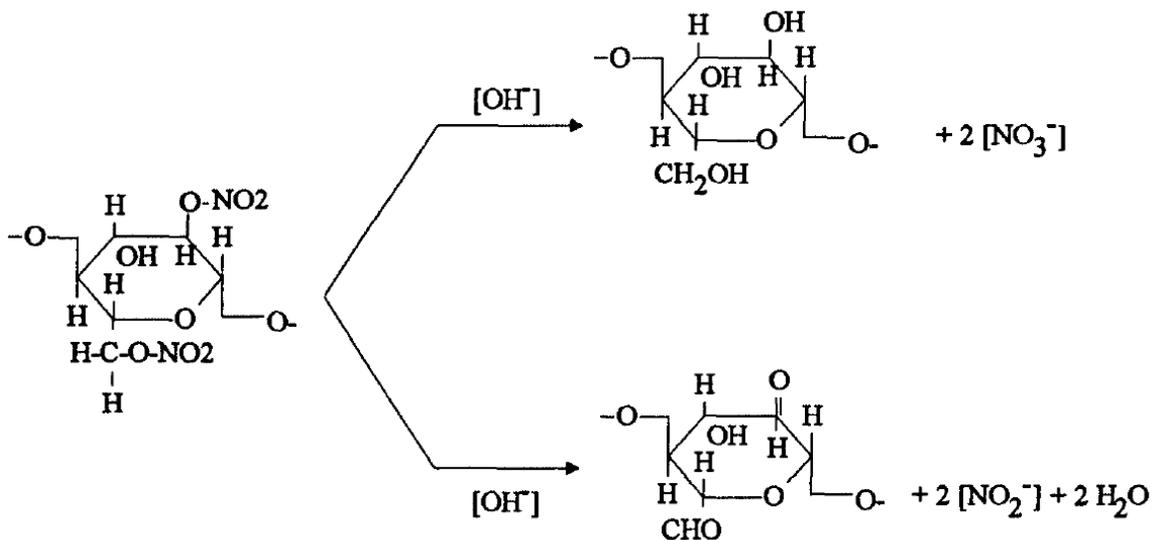


Figura V - Dos posibles reacciones de hidrólisis del Nitrato de Celulosa

Este apartado en particular no presenta una propuesta experimental como tal, ya que significaría hacer observaciones, tomar muestras y hacer otros análisis sobre piezas para determinar su condición actual. Hasta este punto no parece una labor tan complicada pero para que estos resultados adquirieran una significación relevante, tendrían que cruzarse con una línea cronológica que detallara las condiciones de exposición y almacenamiento que ha tenido la obra desde su creación, de manera que se pudiera estandarizar cómo deben tratarse estas piezas. Dado que ni siquiera a través de una investigación bibliográfica exhaustiva sería posible establecer una cronología en este sentido, y mucho menos con el nivel de detalle requerido, es que se pretende determinar esas “condiciones ideales” a través de los resultados arrojados con la ejecución del resto de los estudios sugeridos en este trabajo.

#### **5.4 Interacción con el soporte**

Como se mencionó al inicio de este trabajo, existen dos grandes vertientes a considerarse al tratar de entender el proceso de formación prematura de craqueladuras, en las obras elaboradas con lacas de nitrato de celulosa, y este segundo camino es el soporte sobre el cual se encuentran las capas pictóricas.

La evidencia sugiere que existe una clara relación entre la piroxilina empleada y el soporte sobre el que se aplica, ya que dependiendo de la naturaleza del mismo, no sólo se puede encontrar un deterioro en mayor o menor grado, sino que el mismo soporte puede ser propenso a presentar problemas de estabilidad, en mayor o menor grado con relación a otros. Al respecto, a finales de la década de los setenta, se planteaba algo opuesto:

Buck sugiere que el defecto más común en la pintura es la craqueladura, y afirma que ésta es producida por un estrés mecánico. De igual forma, afirma que las craqueladuras se desarrollan en la pintura sin importar el soporte que las sostiene, asegura que el estrés causante es inherente únicamente al comportamiento mecánico de la mezcla, no del soporte ni otros factores (Keck, 1969).

Sin embargo, existe suficiente evidencia empírica que indica lo contrario, tal como se detallará a continuación, mostrando algunas obras elaboradas con piroxilas sobre soportes de diferente naturaleza, así como las condiciones actuales en las que se encuentran dichas obras.

Si el soporte está compuesto de un material orgánico higroscópico como tela, madera, piel de animales, o comprimidos, existen fluctuaciones dimensionales volumétricas provocadas como respuesta a las variaciones de la humedad relativa. Estos cambios provocan una alteración tensional que, a su vez, genera

movimientos de contracción y dilatación del material. De igual manera, la temperatura juega un papel importante, ya que produce alteraciones volumétricas semejantes que impactan no sólo al soporte, sino a las capas pictóricas adheridas a éste, y cuyos coeficientes de dilatación<sup>29</sup> pueden ser diferentes entre sí y respecto al del material. En este tenor, cuando una obra envejece, se vuelve más frágil, ya que continúa perdiendo solventes (principalmente agua) con el paso del tiempo, no sólo en su soporte, sino también en la capa pictórica, por lo que estos movimientos de aumento y disminución de volumen, pueden provocar craqueladuras y grietas<sup>30</sup>, ya que la elasticidad y la plasticidad de los materiales se ven severamente afectadas con esta pérdida de solventes.

### **Soportes empleados en la producción artística**

Los soportes más empleados por Siqueiros<sup>31</sup> para la elaboración de sus obras con piroxilina fueron los siguientes (en orden decreciente de frecuencia de uso):

- Madera
- Comprimidos
- Telas
- Cemento
- Otros

Como puede observarse, incluso en la selección de superficies de trabajo fue poco convencional, dejando casi en último lugar la preferida del resto de los artistas a lo largo de la historia (Stein, 1994), el lienzo.

---

<sup>29</sup> *Coefficiente de dilatación*: Es el cociente del cambio relativo de longitud, volumen o superficie que se produce en un sólido o fluido por un diferencial de temperatura que conlleva una dilatación o contracción de la sustancia.

<sup>30</sup> También conocidas como cuarteaduras, son irrupciones abruptas en la continuidad de una obra o superficie que afectan no sólo las capas pictóricas, sino que llegan al soporte mismo.

<sup>31</sup> José Clemente Orozco también empleó una amplia variedad de soportes para sus trabajos en general, sin embargo, para la aplicación de piroxilinas utilizó únicamente masonite como soporte.

La selección del soporte dependía de la piroxilina a emplearse, ya que existían diferentes tipos de laca, aunque también podían elegirse de forma inversa, es decir, la piroxilina a usarse a partir del soporte sobre el que se deseaba trabajar. Al respecto, José Gutiérrez explica en uno de sus textos cuál era el método para llevar a cabo dicha elección: “La piroxilina y, para ser más precisos, el duco a principios del siglo XX era vendido en tres densidades diferentes y según cual se eligiera era el uso que se le daba en el estudio. Por ejemplo, la más espesa se empleaba para preparar todo tipo de superficies rígidas, especialmente celotex, masonite y toda clase de maderas; mientras que la más ligera se recomienda para telas, pieles y superficies flexibles” (Gutiérrez, 1986).

A este respecto, hoy en día se ha observado que los materiales trabajados con la piroxilina “más espesa” (celotex y masonite, principalmente), son los que mayor cantidad de problemas presentan, además de los casos más severos de deterioro. Esto se puede observar en obras como *El Coronelazo* (Imagen 9), pieza elaborada sobre celotex que fue estudiada por el equipo del LDOA y en palabras de la Mtra. Sandra Zetina: “el soporte se desbarataba al tocarlo, la estabilidad de esos materiales al ser empleados como soportes para piroxilinas es nula hoy en día”.

Al contrario de este lamentable hecho, tenemos que el mural ubicado en el Sindicato Mexicano de Electricistas, que lleva por nombre *Retrato de la Burguesía* (1939) de David Alfaro Siqueiros, el cual está elaborado sobre cemento<sup>32</sup> (Imagen 19), no presenta ningún tipo de craqueladura prematura de acuerdo con los registros fotográficos del INBA hasta su última intervención de conservación y restauración en 2008<sup>33</sup>. Esto hace suponer que si bien el proceso de secado

---

<sup>32</sup> *Retrato de la burguesía* es la única piroxilina sobre concreto de Siqueiros identificada hasta el momento.

<sup>33</sup> Desafortunadamente, no se pudo llevar a cabo una visita al mural para confirmar la veracidad de esto mediante una observación a detalle de la capa pictórica, ya que el edificio en el que se encuentra estuvo tomado por electricistas sindicalizados durante una larga temporada y hoy en día el acceso está prohibido al público en general. (Enero de 2013).

(considerando todas las variables que en él intervienen) tiene una enorme influencia en el proceso de deterioro por formación de craqueladuras, el trabajo mecánico que ejerce el soporte puede amortiguar o exacerbar estos efectos, permitiendo que la estabilidad de la capa pictórica sea mayor o menor desde sus etapas más tempranas.



Imagen 19 – D.A. Siqueiros, *Retrato de la burguesía* (1939): piroxilina sobre concreto, 100 m<sup>2</sup>, Sindicato Mexicano de Electricistas, Ciudad de México

En la Tabla 10 podemos encontrar algunos ejemplos de obras elaboradas con piroxilina sobre diferentes soportes.

<b>Obra</b>	<b>Soporte</b>
<i>Víctima proletaria</i> (1933). DAS*	Tela
<i>María Asúnsolo bajando la escalera.</i> (1935). DAS	Triplay
<i>El nacimiento del fascismo</i> (1936). DAS	Madera
<i>El coronelazo.</i> (1945). DAS	Celotex
<i>El centauro de la conquista</i> (1944). DAS	Masonite
<i>Retrato de la burguesía</i> (1939). DAS	Concreto
<i>Rotación</i> (1934/1947). DAS	Baquelita
<i>Mano</i> (1947). JCO**	Masonite
<i>Cabeza de esclavo</i> (1948). JCO	Masonite

\*David Alfaro Siqueiros (DAS).

\*\*José Clemente Orozco (JCO).

Tabla 10 - Ejemplos de obras elaboradas con lacas de nitrato de celulosa sobre diferentes soportes.

### **Estudio del soporte**

A continuación se presenta la propuesta para comprobar la hipótesis que señala que los movimientos propios del soporte, así como su composición y estructura química, producen un estrés capaz de acelerar o frenar la formación de craqueladuras en una obra, que de igual forma arrojarán los resultados que fundamenten las observaciones meramente empíricas, mismas que contradicen aquello planteado por Buck.

En la primera parte de esta propuesta, se sugirió llevar a cabo los experimentos sobre un soporte inerte de vidrio, de manera que se pudiera determinar qué variables, de aquellas presentes en el proceso de secado, tienen una influencia en el proceso de deterioro de las obras. Una vez llevada a cabo dicha etapa del estudio, y a partir de los resultados obtenidos, podrá determinarse qué muestras son aquellas de mayor valor (por su alto impacto en la formación de

craqueladuras) para traerlas a este siguiente paso, en el que se verificará cómo se comporta cada una de ellas sobre diferentes soportes.

Desafortunadamente, para poder determinar con mayor precisión el impacto de éstos se necesitaría de mucho tiempo (años) para observar qué sucede con cada una de las muestras, o de una cámara de envejecimiento acelerado<sup>34</sup>; por lo que con esta breve serie de observaciones y análisis, únicamente se pretende hacer una aproximación para identificar si existe o no una interacción de las capas pictóricas con el soporte de la obra, para entender si la hipótesis de Buck es acertada o contar con evidencia científica para refutarla.

El estudio experimental de la interacción con el soporte, consiste en preparar un soporte de cada uno de los materiales más representativos en la obra de Siqueiros, buscando contar con aquellos en los que se han observado mayor cantidad de problemas, o bien que se conocen por ser poco adecuados para su uso en obras artísticas, si los hubiera. Se sugiere trabajar con los siguientes soportes:

- Madera: Pino<sup>35</sup>
- Comprimido: Celotex y masonite
- Concreto: Panel de concreto aplanado sin pulir<sup>36</sup>
- Tela: Lienzo o bastidor preparado para artistas<sup>37</sup>

---

<sup>34</sup> Si se tiene acceso a una cámara de envejecimiento acelerado por presión, humedad y temperatura, como las empleadas en la industria farmacéutica y de alimentos para determinar las fechas de caducidad, previa estandarización de las condiciones para cada material, podría llevarse a cabo en su totalidad el experimento propuesto.

<sup>35</sup> Si se desea hacer un comparativo con un soporte de madera ampliamente recomendado para trabajos artísticos, se sugiere emplear un panel de abedul o caoba.

<sup>36</sup> Al igual que en el caso del panel de madera, si se desea hacer un comparativo del comportamiento del material sobre concreto pulido, puede hacerse; sin embargo, como se mencionó en el subcapítulo correspondiente, el concreto sin pulir es uno de los materiales más estables, es decir, que ha soportado mejor los embates del tiempo, por lo que puede inferirse que el concreto pulido deberá hacerlo mucho mejor, ya que al llevar a cabo este proceso, se eliminan las imperfecciones de la superficie, proporcionando un panel que asemeja al vidrio en lo que respecta a la falta de trabajo mecánico y nula reactividad, aunado a una mínima (incluso nula) absorción de los solventes evaporados durante el proceso de secado.

Una vez seleccionadas las matrices de trabajo, cada uno de los paneles deberá dividirse en tantos recuadros como muestras vayan a analizarse, según los resultados arrojados en la primera etapa del estudio. El método a seguir será aplicar un volumen conocido para cada una de las muestras, y repetir el procedimiento llevado a cabo con la aguja de disección para medir el tiempo de secado<sup>38</sup>.

Es importante llevar un registro estricto de las fechas, e incluso horas, en las que se aplique cada una de las muestras sobre los diferentes soportes, ya que el siguiente paso consiste en elaborar un registro descriptivo y fotográfico del comportamiento de cada una de estas muestras, sobre los diferentes soportes, a lo largo del tiempo. Para determinar y estandarizar cuáles serán los momentos en los que se registrarán los datos, se sugiere hacer previamente una aproximación empleando el control universal sobre una placa de celotex, paralelo a la ejecución de la primera fase del estudio (proceso de secado), de manera que se pueda llevar a cabo una observación diaria e identificar los puntos críticos en los que se observan cambios significativos y reportables de los materiales, a lo largo de un espacio considerable de tiempo.

La amplitud total del experimento se deja a criterio del investigador, dado que, como ya se ha mencionado, el proceso de deterioro puede requerir mucho tiempo (meses o años) y condiciones de cambios de humedad y temperatura estacionales que permitan a cada uno de los soportes ejercer el trabajo mecánico, en conjunto con los movimientos de la piroxilina para evidenciar los resultados. Sin embargo, se sugiere continuar hasta observar fracturas contundentes del material.

---

<sup>37</sup> Estos lienzos o bastidores preparados, pueden adquirirse en tiendas para artistas y están conformados por un bastidor de madera, forrado con una tela ideal para la producción artística (generalmente lino, algodón o una mezcla de éstos).

<sup>38</sup> En esta fase no se realizará la medición del volumen de compactación por las dificultades y los costos que esto implicaría, ya que tendrían que elaborarse recipientes estandarizados con cada uno de los materiales.

### **5.5 Estudio Integral**

Una vez que se hayan obtenido todas las mediciones del estudio, se deberá hacer el análisis de los resultados, para lo cual se recomienda emplear una base de datos para concentrar la información como la presentada en la Tabla 11. A partir de esta información deberán realizarse los siguientes análisis estadísticos:

- ANOVA (Análisis de varianza): Para determinar qué tratamientos tienen diferencia estadísticamente significativa respecto a los datos obtenidos con el control universal (y sus respectivos subcontroles, elaborados a base de piroxilina pura), ya que estos son los parámetros que están mostrando una variación importante durante el proceso de secado de las lacas de piroxilina.
- Análisis de correlación: Este análisis deberá hacerse entre aquellos tratamientos que hayan presentado una diferencia estadísticamente significativa respecto al control universal (y sus respectivos subcontroles, elaborados a base de piroxilina pura), de manera que se pueda identificar si existe una relación entre la modificación de distintos parámetros, que pudiera tener un efecto aditivo o sinérgico al promover la formación prematura de craqueladuras. Este estudio, deberá buscar la correlación no sólo de los resultados de una misma familia, es decir, tratamientos para volumen de compactación o tiempos de secado, sino descifrar cuál es la relación existente entre las diferentes modificaciones realizadas sobre cada uno de los parámetros medidos, de manera que se pueda entender mejor cómo se está comportando el material en cada uno de estos escenarios.
- Elaboración de gráficos: En aquellos casos donde se sugiere un aumento gradual de la concentración de alguno o varios de los modificadores (saturación de pigmento, concentración de la carga y

espesor de la capa pictórica), y que presenten una diferencia significativa respecto a los controles, deberán construirse gráficos de CPVC contra las diferentes propiedades con las que se encuentre correlación (incluso cambios visuales observados en las muestras), de manera que se puedan identificar los puntos críticos en los que cambian abruptamente dichos parámetros, tal como se observa en la Figura II.

Los análisis estadísticos pueden hacerse de forma manual o a través de un sistema informático para el análisis estadístico de datos, tal como SPSS, Matlab, Stata, etc. Sin embargo, cualquiera que sea el camino elegido, deberá tenerse mucho cuidado al llevar a cabo esta serie de pasos, pues la información obtenida será el resultado ulterior del estudio.

Esto es, a partir de la información obtenida mediante el análisis estadístico de los resultados, es que se podrá determinar cuáles son aquellas variables críticas que han provocado el deterioro prematuro de las obras elaboradas con piroxilina, de manera que partiendo de ese punto puedan iniciar los trabajos con un especialista en la materia, para poder diseñar metodologías dirigidas para la conservación y restauración de estas obras, que resulten lo menos invasivas y lo más específicas posibles.

Ahora bien, una vez que el investigador (o grupo de investigadores) compile la información experimental del comportamiento de los especímenes, sobre los diferentes tipos de soportes, deberá analizarse esta información de la misma manera que los datos sobre vidrio, y en conjunto con ellos, ya que este será el punto cuando se pueda considerar completo el estudio, dándole el carácter de integral y aportando las herramientas para poder diseñar soluciones específicas a cada problema.

Si bien este estudio busca ser integral, se entiende que la extensión del mismo es bastante amplia, por lo que a lo largo de él pueden encontrarse puntos en los que se da una opción de análisis al investigador, es decir, pueden hacer una u otra modificación, esto con la finalidad de acotar los tiempos y tal vez a través del trabajo de diferentes personas, poder recopilar los resultados y determinar las causas raíz de este severo problema que aqueja al patrimonio artístico del mundo, producido por grandes artistas mexicanos, permitiendo a los químicos expandir y profundizar en el campo de la conservación y restauración del arte.

Piroxilina	Piroxilina (color)	Saturación de pigmento	Carga	Concentración de carga	Espesor de la capa	Volumen de compactación									Tiempo de secado										
						ECF			ECS			%VC			%VC prom	Intervalo de secado			Intervalo promedio						
						M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3		M1	M2	M3							
1	Pura (incolora)	Sin pigmento	Sin carga	Sin carga	Delgada																				
2					Media																				
3					Gruesa																				
4			BaSO4	Baja			Delgada																		
5							Media																		
6							Gruesa																		
7				Media				Delgada																	
8								Media																	
9								Gruesa																	
10				Alta				Delgada																	
11								Media																	
12								Gruesa																	
13			Asbesto	Baja			Delgada																		
14							Media																		
15							Gruesa																		
16				Media				Delgada																	
17								Media																	
18								Gruesa																	
19				Alta				Delgada																	
20								Media																	
21								Gruesa																	

Tabla 11 - Ejemplo de base de datos sugerido para recabar la información experimental.

Donde:

- ECF: Espesor de la capa fresca
- ECS: Espesor de la capa seca
- %VC: Volumen de compactación (porcentaje de encogimiento de la capa)

Nota: Todos los valores promedio deberán estar reportados con su respectiva desviación estándar.

## **6. Conclusiones**

*Durante este largo periodo de cuatro siglos los artistas han demostrado una carencia lamentable de curiosidad inventiva hacia los materiales físicos y químicos utilizados en las artes plásticas. Consideran, primordialmente, la emoción y el intelecto, olvidando prácticamente, los importantes vehículos materiales utilizados para expresarlos en su arte. Como testimonio están las pinturas que han sido ejecutadas tan sólo en los últimos veinticinco años, y que ya se han deteriorado más que muchas de las obras que fueron pintadas mucho antes, por ejemplo, las del Renacimiento. – José Gutiérrez, 1956 –*

En 1956, José Gutiérrez logró retratar en sus textos una realidad que le acongojaba desde una perspectiva cien por ciento artística e inventiva; sin embargo, también logra reflejar la esencia del presente trabajo. Ya que hoy en día existe una falta de curiosidad e interés por parte de la comunidad científica en los estudios del patrimonio cultural, provocando, como Gutiérrez bien lo dice, que obras relativamente jóvenes (como las de Siqueiros y Orozco), presenten un enorme deterioro prematuro, que bien podría frenarse si existiera participación de los químicos (o fisicoquímicos en este caso), quienes tenemos las herramientas y el entrenamiento adecuados para entender qué está pasando con estas piezas, de manera que se pueda no sólo frenar, sino incluso revertir el daño que presentan. Así como luchamos día con día para encontrar la cura de las enfermedades que aquejan al ser humano, es también nuestro deber dedicar esfuerzos a encontrar la “cura” para los problemas que afectan el patrimonio que estos enormes artistas mexicanos nos han heredado.

Este trabajo busca ser una aproximación empírica para entender, mediante un trabajo experimental profundo, el proceso de formación prematura de craqueladuras en obras pictóricas elaboradas a partir de nitrocelulosa. Esto sólo puede lograrse identificando las variables que juegan un papel relevante en el

proceso de deterioro prematuro, así como los procesos fisicoquímicos que sobre ellas tienen impacto y la relación entre ellas.

A través del entendimiento del impacto de las modificaciones que realizaron los artistas mexicanos en el nitrato de celulosa, podrá diseñarse un modelo que explique la formación de craqueladuras en las obras elaboradas con piroxilinas. Una vez que se cuente con dicho modelo, podrá definirse qué tipo de intervención puede hacerse en estas obras, ya que es probable que el daño sea irreversible, en cuyo caso podrían buscarse métodos de conservación para frenar en la medida de lo posible su continuo deterioro. O bien, en caso de determinarse que el daño aún es reparable, se pueden diseñar técnicas específicas para su restauración con el uso de la información obtenida, mismas que podrían extrapolarse a materiales de naturaleza semejante que sufren problemas de la misma índole.

Asimismo, a partir de la ejecución de este estudio se pueden determinar las condiciones óptimas de almacenamiento y exposición de las obras elaboradas con piroxilina, de manera que puedan perdurar por más tiempo, minimizando el número de intervenciones que deban hacerse en ellas y alteran poco a poco su estado original.

Si bien es importante analizar una obra y entenderla a través de cada uno de sus componentes, posteriormente debe hacerse una síntesis de estas piezas e identificar su comportamiento como sistema integral para verdaderamente comprender en todos los niveles (del micro al macro) qué está sucediendo y cómo podemos manipular estos procesos para alcanzar el objetivo deseado.

Resulta importante estimular el acercamiento de las nuevas generaciones de químicos a la plástica para despertar su curiosidad mediante la experiencia estética, ya que sólo así trabajos como este y otros que siguen líneas semejantes no serán piezas aisladas de la maquinaria, sino que contribuirán al desarrollo continuo y sustentable del campo de la restauración y conservación de obras de

arte. Asignaturas como Ciencia y Arte, evidencian esta relación que se antoja obvia, pero que para una buena parte de los miembros de la comunidad científica no resulta así, lo cual no nos deslinda de la responsabilidad de aprovechar los elementos intelectuales y prácticos con los que cuenta un químico, para poder abordar problemas de investigación interdisciplinarios como el que aquí se presenta.

## 7. Glosario

- **Aditivos:** Son productos que intervienen en la formulación de un recubrimiento en cantidades pequeñas. Su objetivo es el de facilitar el proceso de fabricación, la estabilidad durante el almacenaje del producto y proporcionar a éste características específicas durante y después de su aplicación.
- **Aglutinante:** Sustancia en la que se diluyen los pigmentos para preparar barnices o pinturas.
- **Barniz:** Material cubriente que al aplicarse a un sustrato o soporte forma una película sólida transparente con fines protectores, decorativos o con propiedades técnicas específicas.
- **Cargas:** Las cargas son productos generalmente inorgánicos que se utilizan para aportar materia sólida a la pintura; sin embargo, en función de la carga utilizada las características finales de la pintura varían de forma notable
- **Celotex:** La hoja de celotex es una tabla comprimida elaborada con fibras de bagazo de caña. Se trata de un material que tiene el efecto de “colchón neumático” puesto que puede comprimirse hasta un 70% de su grueso original y volver nuevamente a su espesor sin destruirse.
- **IIE:** Instituto de Investigaciones Estéticas
- **LDOA:** Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte
- **Masonite:** Es un tipo de tablero de fibras de madera altamente comprimida (*hardboard*), empleada para el aislamiento, la instalación de paneles, puertas o tabiques. Su proceso de fabricación fue descubierto en 1924 por William H. Mason, en él se emplean virutas de madera que son tratadas con vapor para formar largas fibras que posteriormente se compactan por alta presión, sin necesidad de añadir pegamentos o algún adhesivo.

- **Pigmento:** Los pigmentos son sustancias insolubles, naturales o sintéticas, orgánicas o inorgánicas, y opacas que se utilizan para aportar color y poder cubriente a la pintura.
- **Pintura (materia prima):** Material cubriente en líquido, pasta o polvo que al ser aplicado a un sustrato forma una película opaca protectora, decorativa o con propiedades técnicas específicas. La pintura es esencialmente una mezcla de un aglutinante, pigmentos y disolventes.
- **Piroxilina:** Mezcla comercial cuyo aglutinante principal es el nitrato de celulosa con un pigmento colorido y sus respectivos aditivos. Es el barniz más usado en la industria del mueble; comercialmente se conoce también como Duco.
- **Soporte:** El soporte de una obra de arte es la estructura o material sobre el que la base o primera capa de pintura se aplica: generalmente es lienzo, papel, o tabla.

## **8. Índice de Imágenes y Figuras**

Imagen 1 - J.C. Orozco, <i>Alegoría Nacional</i> (1947-1948): silicato de etilo, aluminio, acero y latón sobre concreto, Escuela Nacional de Maestros, Ciudad de México. .....	15
Imagen 2 - Representación esquemática de la estructura en la punta de la avería mostrada en tres escalas.....	20
Imagen 3 - Johannes Vermeer van Delft, <i>La joven de la perla</i> (1665-1667): óleo sobre tela, 44.5 x 39 cm, Galería Mauritshuis, La Haya.....	23
Imagen 4 – Johannes Vermeer van Delft, <i>La joven de la perla</i> , detalle del rostro (1665-1667): óleo sobre tela, 44.5 x 39 cm, Galería Mauritshuis, La Haya. ....	23
Imagen 5 – Hombre identificado como Robert Bredecio, asistente del muralista David Alfaro Siqueiros, parado frente al mural <i>América Tropical</i> terminado. Getty Conservation Institute, Los Ángeles.....	30
Imagen 6 - D.A. Siqueiros, <i>El Nacimiento del Fascismo</i> (fecha 1934, ca. 1945): piroxilina sobre masonite, 61 x 76cm, colección SAPS, CNCA/INBA, Ciudad de México .....	38
Imagen 7 - D.A. Siqueiros, <i>El Nacimiento del Fascismo</i> , detalle bandera (fecha 1934, ca. 1945).....	39
Imagen 8 - D.A. Siqueiros, <i>El Nacimiento del Fascismo</i> , detalle barco con luz rasante (fecha 1934, ca. 1945).....	39
Imagen 9 - D.A. Siqueiros, <i>El Coronelazo</i> (1945): piroxilina sobre masonite, 91.5 x 121.6 cm, colección Museo Nacional de Arte. INBA Archivo CENIDIAP-INBA....	44
Imagen 10 - D.A. Siqueiros, <i>El Coronelazo</i> , detalle mano con luz rasante (1945).....	45

Imagen 11 - D.A. Siqueiros, <i>El Coronelazo</i> , detalle inferior izquierdo con luz razante (1945). .....	45
Imagen 12 - D.A. Siqueiros, <i>El Coronelazo</i> , detalle mano con luz razante (1945).....	45
Imagen 13 – D.A. Siqueiros, <i>Cuauhtémoc contra el mito</i> (1944): piroxilina, 75 m <sup>2</sup> , Palacio de Bellas Artes, Ciudad de México.....	58
Imagen 14 - Muestra seca de piroxilina azul sin modificaciones.....	63
Imagen 15 - Muestra seca de piroxilina azul sin modificaciones (giro 180° respecto a la Imagen 13).....	63
Imagen 16 - Muestra seca de piroxilina, fragmentada para para la medición del "espesor de capa seca" .....	63
Imagen 17 - D.A. Siqueiros, <i>El Coronelazo</i> , corte transversal, microscopía óptica, luz polarizada, 2x. ....	66
Imagen 18 - D.A. Siqueiros, <i>El Coronelazo</i> , corte transversal, microscopía óptica, campo oscuro, 10x.....	66
Imagen 19 – D.A. Siqueiros, <i>Retrato de la burguesía</i> (1939): piroxilina sobre concreto, 100 m <sup>2</sup> , Sindicato Mexicano de Electricistas, Ciudad de México .....	75
Figura I - Estructura del nitrato de celulosa para un polímero con 2.31 grados de sustitución.....	9
Figura II - Gráfica de CPVC vs. diferentes propiedades de la capa pictórica.....	33
Figura III - Gradiente teórico de disolvente en la capa pictórica. ....	46
Figura IV - Evaporación unidireccional teórica del solvente presente en una capa pictórica, contenida en una caja de Petri. ....	47
Figura V - Dos posibles reacciones de hidrólisis del Nitrato de Celulosa.....	71

## **9. Índice de Tablas**

Tabla 1 - Propiedades Generales del Nitrato de Celulosa sin Aditivos .....	11
Tabla 2 - Variables no controlables en el estudio.....	29
Tabla 3 - Pigmentos y Colorantes Azo más comúnmente usados .....	37
Tabla 4 - Algunos de los pigmentos orgánicos más comunes.....	37
Tabla 5 - Muestras de piroxilinas con diferentes grados de saturación de pigmento. .....	42
Tabla 6 - Combinatoria de muestras preparadas, aplicadas en diferentes volúmenes en recipientes de vidrio.....	49
Tabla 7 – Combinatoria de muestras totales para el estudio completo. ....	56
Tabla 9 - Proporción porcentual de los solventes e hidrocarburos más comúnmente empleados para la producción de piroxilinas. ....	59
Tabla 10 - Ejemplos de obras elaboradas con lacas de nitrato de celulosa sobre diferentes soportes. ....	76
Tabla 11 - Ejemplo de base de datos sugerido para recabar la información experimental. ....	82

## **10. Bibliografía**

- ✓ Arroyo, E., Aviram, A., McGlinchey, C., & Zetina, S. (En proceso de publicación). Las técnicas y materiales de David Alfaro Siqueiros, 1931-1945. Estratos, capas, versiones, materiales. En *Catálogo de la exposición "Baja viscosidad: El nacimiento del fascismo y otras soluciones"*. New York City - México, D.F.: IIE UNAM.
- ✓ Bayer, G., Zamanzadeh, M., & Hills, J. (2005). Failure Analysis of Paints and Coatings. *Tri-Service Corrosion Conference*. Orlando, Florida.
- ✓ Brown, H. (2000). Adhesion between polymers and other substances. A review of bonding mechanisms, systems and testing. *Materials Forum*, (págs. 49 - 58).
- ✓ Bulacu, M. (2008). *Molecular Dynamics Studies of Entangled Polymer Chains*. Groningen: Zernike Institute for Advanced Materials. University of Groningen.
- ✓ Calvo Carbonell, J. (2011). *Pinturas y recubrimientos. Introducción a su tecnología*. Madrid: Diaz De Santos.
- ✓ *Care of Objects Made from Rubber and Plastic. Deterioration of Rubber and Plastic Objects*. (28 de Marzo de 2007). Recuperado el 21 de Marzo de 2011, de Canadian Conservation Institute: <http://www.cci-icc.gc.ca/crc/notes/html/15-1-eng.aspx>
- ✓ Cervantes, M., Mackenzie, B. E., & Otros. (2010). *José Clemente Orozco. Pintura y verdad*. Guadalajara, Jalisco, México: Instituto Cultural Cabañas.
- ✓ Christodoulatos, C., & Su, T.-L. (1996). Destruction of Nitrocellulose Using Alkaline Hydrolysis. *Proceedings of the Tri-Service Environmental Technology Workshop: "Enhancing readiness through environmental quality technology"*, (págs. 337 - 343). Hershey, Filadelfia.

- ✓ Clark, M. D. (s.f.). *Paints and Pigments*. Recuperado el 21 de Octubre de 2012, de New Zealand Institute of Chemistry: [nzic.org.nz/ChemProcesses/polymers/10D.pdf](http://nzic.org.nz/ChemProcesses/polymers/10D.pdf)
- ✓ *Coatings Technology: What is Paint?* (s.f.). Recuperado el 7 de 10 de 2012, de International Coatings: [www.international-marine.com/PaintGuides/WhatIsPaint.pdf](http://www.international-marine.com/PaintGuides/WhatIsPaint.pdf)
- ✓ *Display and Storage of Museum Objects Containing Cellulose Nitrate*. (17 de Septiembre de 2010). Recuperado el 21 de Marzo de 2011, de Canadian Conservation Institute: <http://www.cci-icc.gc.ca/crc/notes/html/15-3-eng.aspx>
- ✓ Fact sheet: Masonite hardboard siding. (2008). Matthews, Carolina del Norte, EUA: A Sure-Look Home Inspections.
- ✓ Faraday, M., & Schönbein, C. F. (1899). *The letters of Faraday and Schoenbein 1836-1862*. Lóndres: London, Williams & Norgate.
- ✓ Ficha técnica: Hoja de celotex. (s.f.). México, D.F.: Grupo Diamond.
- ✓ Frihart, C. R., & Hunt, C. G. (2010). Adhesives with Wood Materials. Bond Formation and Performance. En R. J. Ross, *Wood handbook : wood as an engineering material* (págs. 10-1 a 10-22). USDA Forest Service.
- ✓ Gutiérrez, J. (1986). *Del Fresco a los Materiales Plásticos*. México: IPN.
- ✓ Herner, I. (2010). *Siqueiros, del paraíso a la utopía*. México, D.F.: Secretaría de Cultura del Distrito Federal.
- ✓ Keck, S. (1969). Mechanical alteration of the paint film. *Studies in conservation*, 9-30.
- ✓ Koob, S. P. (1982). The instability of cellulose nitrate adhesives. *The conservator*, 31-34.
- ✓ Manas, G. (1994). Molecular Sieves: An Aid to Film Preservation. *Papers from the ARSAG Conference* (págs. 4-5). Abbey Newsletter.

- ✓ Matteini, M., & Moles, A. (2001). *La química en la restauración. Los materiales del arte pictórico*. Donostia-San Sebastián: Nerea.
- ✓ Morgans, W. M. (1990). *Outlines of Paint Technology*. USA: Hasted Press.
- ✓ National Geographic Channel (Dirección). (2010). *Megafábricas* [Película].
- ✓ Nitro Cellulose Topcoat. (2008). *Technical Data Sheet*. DuPont de Menours and Company.
- ✓ Notas de las asignaturas Ciencia y Arte I y II, impartidas por la Mtra. Emely Baché Ortega. (s.f.). Facultad de Química, UNAM.
- ✓ Selwitz, C. (1988). *Cellulose Nitrate in Conservation*. EUA: The Getty Conservation Institute.
- ✓ Shashoua, Y. (2006). Inhibiting de Inevitables. Current Approaches to Slowing de Deterioration of Plastics. *Macromolecular Symposia*, 67-77.
- ✓ Stein, P. (1994). *Siqueiros. His life and works*. Nueva York: International Publishers.
- ✓ (1996). Carta a Jaime Torres Bodet. En R. Tibol, *Palabras de Siqueiros*. México, D.F.: FCE.
- ✓ (1996). Cartas a María Asúnsolo. En R. Tibol, *Palabras de Siqueiros*. México, D.F.: FCE.
- ✓ Williams, S. (9 de Enero de 1993). *Plasticized PVC in museums: Don't Use It!* Recuperado el 08 de Marzo de 2011, de Canadian Conservation Institute: [http://www.cci-icc.gc.ca/crc/cidb/document-eng.aspx?Document\\_ID=106](http://www.cci-icc.gc.ca/crc/cidb/document-eng.aspx?Document_ID=106)