



Escuela de Conservación y Restauración de Occidente
Secretaría de Cultura del Estado de Jalisco

**Fibrocemento como soporte de pintura mural moderna:
evaluación de recubrimientos industriales para su preservación.
Caso de estudio Mural N°3 exterior de La Tallera de
David Alfaro Siqueiros**

Tesis que presenta

María Isabel López Arvizu

Para optar por el título de
Licenciada en restauración de bienes muebles

Directora de Tesis
Dra. Nora Ariadna Pérez Castellanos

Guadalajara, Jalisco

Septiembre 2019

*Con todo mi amor y cariño a mis padres y hermana
Por ser mi soporte, motivación y concordia*

Agradecimientos técnicos

Al apoyo del Instituto de Investigaciones Estéticas de la Universidad Nacional Autónoma de México, IIE-UNAM y a la Red PROFIDES de "Estudios Interdisciplinarios sobre Medio Ambiente y Conservación del Patrimonio Mexicano". A la Dra. Nora Pérez, por ser mi guía durante todo este proceso; por ser el vínculo entre profesionales, instituciones y laboratorios y por compartirme el conocimiento necesario para realizar esta investigación. A la Dra. Yareli Jáidar, por realizar las gestiones entre las instituciones interesadas en la realización de esta tesis, por su ayuda para una mejor comprensión del caso de estudio desde una perspectiva histórico-material y por su apoyo para el análisis de resultados desde la disciplina de la conservación y restauración de bienes culturales. A los Ings. Adrián Malaquías y Miguel Díaz, por su asistencia en los estudios de microscopía óptica y electrónica, y por su ayuda para la inclusión de las muestras.

Al Centro Nacional de Conservación y Registro del Patrimonio Artístico Mueble del Instituto Nacional de Bellas Artes, CENCROPAM-INBA. A la Mtra. Sandra Ramírez, por propiciar de manera colaborativa investigaciones como ésta con el fin de conservar el patrimonio cultural artístico de nuestro país. Asimismo, le agradezco el compartirme su investigación sobre este tipo de obras, la cual fue el cimiento del presente trabajo. Al Ing. Iván Alvarado y al Rest. Jacobo García por facilitarme los documentos necesarios para conocer y comprender el contexto del caso de estudio, y finalmente, al Biol. José Guadalupe y a la Quim. Aline Moreno por toda su asistencia durante la etapa de preparación de materiales y probetas.

Al apoyo del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural, LANCIC, sede Instituto de Física, IF-UNAM; a través de los proyectos CONACYT LN 279740, LN293904, LN299076, CB239609 y PAPIIT UNAM IN112018. Un agradecimiento especial al coordinador del laboratorio el Dr. José Luis Ruvalcaba, por facilitar las instalaciones y el equipo necesario para llevar a cabo el desarrollo de la experimentación. De igual manera, mi gratitud al Dr. Alejandro Mitrani por su apoyo durante la etapa de caracterización de materiales y envejecimiento acelerado, así como por su ayuda en la revisión final del documento; a la Dra. Soledad Ortiz por la ayuda otorgada para el análisis FTIR; a la Dra. Valentina Aguilar por el apoyo para la realización del análisis

DRX; y al Mtro. Nathael Cano y al Ing. Mauricio Escobar por su asistencia en la etapa de envejecimiento acelerado y en aspectos técnicos.

Al apoyo del Laboratorio de Cristalografía y Materiales Naturales, LCMN, IF- UNAM, especialmente al Dr. Lauro Bucio por la asesoría para el diseño de la prueba de resistencia a la flexión y por facilitar el uso de la máquina de pruebas universales; y al Sr. Ángel Osornio y a la Ing. Eréndira Martínez, por la asistencia técnica durante la prueba.

Al Mtro. Daniel Meléndez, por la asesoría brindada para la estructuración de la metodología experimental, por su apoyo para los estudios de microscopía óptica y electrónica, por su asistencia durante las pruebas físicas y las pruebas mecánicas, así como por su ayuda con la interpretación de los espectros FTIR. Al Mtro. Antonio Tahuitón, por la asesoría otorgada en la prueba de resistencia a la flexión; al Lic. Adrián Mejía, por su cátedra sobre el comportamiento químico de las resinas acrílicas; y a la Lic. Paola Ruisánchez, por el apoyo para la construcción de los antecedentes de la investigación y parte de la metodología.

A las Lics. Gilda Salgado y Claudia Blas, con quienes laboré durante el periodo en el que se realizó esta tesis y que en su momento, me otorgaron el apoyo, los permisos necesarios y las facilidades para acudir a las sesiones de pruebas y análisis de la etapa experimental de esta tesis.

Al Dr. Fernando Hernández, a la Mtra. Alejandra Petersen y a la Lic. Miriam Limón, por dedicarle tiempo a leer esta tesis y realizar las observaciones necesarias y pertinentes para hacer de este trabajo un producto más completo.

Al Mtro. Álvaro Zárate, por su amable disposición y gran apoyo para la resolución de dudas y trámites con respecto al proceso de titulación.

Y finalmente, a la Escuela de Conservación y Restauración de Occidente, ECRO, y a todos mis profesores; mi gratitud por haberme formado como conservadora-restauradora y compartirme todo su conocimiento.

Agradecimientos personales

A mi familia; Irma, Cesario y Carolina, a quienes dedico con todo mi amor y cariño este trabajo. Gracias por creer en mí y siempre apoyarme en todas mis decisiones, erradas o acertadas, impulsivas o caviladas. Gracias por estar presentes en las circunstancias más confusas y tristes pero también en las más eufóricas y felices. Mi inmensa gratitud por darme tanto; su calidad humana y sus logros siempre serán mi motivación personal y profesional.

A Nora, porque no solo fue mi guía profesional en esta investigación, sino porque también me brindó su amistad. Gracias por acompañarme en todo este proceso, el cual estuvo lleno de grandes emociones y vasto aprendizaje. Mi enorme gratitud porque a pesar de las circunstancias estuvo conmigo, brindándome su tiempo, apoyo, dedicación y paciencia; gracias por la confianza y por creer en mí, incluso cuando yo dejaba de hacerlo. También, agradezco a Oli, por su luz y bella sonrisa, y por hacer de las sesiones de revisión de tesis un bonito y agradable momento.

Mi enorme agradecimiento a Poli y a Daniel, fueron un gran soporte para mí en todo este tiempo, no solo profesional sino también personal. Gracias por ayudarme a estructurar mi cabeza, por escucharme, por estar ahí cuando la frustración me invadía y por alentarme siempre. Estoy muy agradecida por haberlos conocido en esencia y por haber construido con ustedes una bella amistad.

A Mitrani y a Sol, por apoyarme, por brindarme su ayuda y por recibirme con la mejor disposición, el mejor humor y la mejor vibra. En definitiva mi estancia en el laboratorio fue especialmente agradable gracias a ustedes.

A Iván, por sus atinados consejos para dar apertura a este proceso; al inicio, estuviste a mi lado y me alentaste, y al final, compartiste conmigo el cierre de este camino lleno de aprendizaje y emociones. Gracias por apoyarme, escucharme, quererme y creer en mí; no hay cabida para explicar mi gran alegría al ver que me acompañas en el cierre de este ciclo, el cual da paso a nuevos comienzos.

A Momo, Abel, Tania, César y Caro, por estar ahí cuando más los necesitaba. Gracias por alentarme y escucharme; cada uno estuvo en el momento indicado para impulsarme y ayudarme a sacar a flote el ánimo.

Mi gratitud para Ale, Miriam y María. Gracias por sus enseñanzas durante mi periodo como estudiante, por su apoyo durante mi primer año como egresada y por su confianza, calidez y amistad desde que tuve la oportunidad de conocerlas. No cabe duda que ustedes abonaron mucho a mi crecimiento profesional.

Finalmente, gracias a Juanita, Jorge, Carlos y Jesús, porque durante mi estancia en la Ciudad de México me apoyaron y acogieron. Asimismo, mi gratitud a Lulus y a Ramón por estar pendientes aún en la lejanía, y a mi mamá Nena y a mi mamá Chayo, por tenerme siempre presente en sus oraciones.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	5
RESUMEN DE LOS CONTENIDOS	6
I. ANTECEDENTES GENERALES	8
1.1 TRANSICIÓN DEL USO DE MATERIALES TRADICIONALES A MATERIALES INDUSTRIALES: GÉNESIS DE LA EXPERIMENTACIÓN EN LA PLÁSTICA MODERNA	9
1.1.1 Contexto internacional y el inicio de la experimentación plástica	9
1.1.2 México y la plástica moderna.....	11
1.2 EL FIBROCEMENTO COMO MATERIAL INDUSTRIAL Y SU POSTERIOR USO EN PINTURA MURAL DEL SIGLO XX.....	15
1.2.1 Origen y producción industrial de fibrocemento.....	15
1.2.2 Uso de fibrocemento como soporte de pintura mural	18
1.2.3 Producción plástica de David Alfaro Siqueiros y el uso de asbesto-cemento en sus obras monumentales	21
1.3 MURAL N°3 EXTERIOR DE LA TALLERA (1964-1965) DE DAVID ALFARO SIQUEIROS: SÍNTESIS SOBRE SU TÉCNICA DE MANUFACTURA Y DIAGNÓSTICO MATERIAL.....	25
1.3.1 Contexto de la obra	26
1.3.2 Técnica de manufactura	27
1.3.3 Caracterización de materiales.....	28
1.3.4 Estado de conservación	33
1.3.5 Diagnóstico material	35
1.4 RECUBRIMIENTOS INDUSTRIALES PARA FIBROCEMENTO: ANTECEDENTES DE SU APLICACIÓN EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PINTURA MURAL DEL SIGLO XX	37
1.5 CONSIDERACIONES Y REQUERIMIENTOS DE RESTAURACIÓN PARA RECUBRIMIENTOS DE PROTECCIÓN Y SU APLICACIÓN SOBRE SOPORTES DE ASBESTO-CEMENTO.....	40
1.5.1 Propiedades y características del sustrato o soporte.....	42
1.5.2 Propiedades y características del recubrimiento.....	42
1.5.3 Consideraciones para el sistema sustrato-recubrimiento.....	43
1.5.4 Consideraciones finales: materiales para el tratamiento y método de aplicación	45
II. DESARROLLO EXPERIMENTAL	46
2.1 MATERIALES	46
2.1.1 Criterios de selección de materiales	46
2.1.2 Soporte de asbesto-cemento	48
2.1.3 Recubrimientos.....	55

2.2	MÉTODOS	60
2.2.1	Preparación de los materiales para los sistemas probeta	61
2.2.2	Caracterización.....	66
2.2.3	Envejecimiento acelerado.....	79
2.2.4	Evaluación.....	81
III.	RESULTADOS.....	83
3.1	OBSERVACIONES DURANTE LA PREPARACIÓN DE LOS SISTEMAS PROBETA Y LA APLICACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS	83
3.1.1	Registro cualitativo durante el proceso de aplicación	84
3.1.2	Análisis organolépticos de los materiales	90
3.2	OBSERVACIONES GENERALES DE LA ETAPA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO	92
3.2.1	Variaciones cromáticas	92
3.2.2	Frentes de secado	92
3.3	PROPIEDADES FÍSICAS	93
3.3.1	Color.....	93
3.3.2	Permeabilidad.....	96
3.4	PROPIEDADES MECÁNICAS	100
3.4.1	Resistencia al rayado.....	100
3.4.2	Resistencia a la flexión.....	101
3.5	MORFOLOGÍA Y COMPOSICIÓN	105
3.5.1	Microscopia óptica de alta resolución (MOAR)	105
3.5.2	Microscopia electrónica de barrido (MEB).....	110
3.5.3	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	116
3.5.4	Difracción de rayos X (DRX)	127
IV.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	129
4.1	MATERIALES Y SISTEMAS PROBETA	129
4.1	COMPARACIÓN DEL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO DE LOS SISTEMAS PROBETA Y LOS MATERIALES DEL CASO DE ESTUDIO.....	135
4.2	RECOMENDACIONES PARA LA PRESERVACIÓN DEL SOPORTE DEL MURAL N°3 EXTERIOR DE LA TALLERA (1964-1965)	135
V.	CONCLUSIONES.....	137
	BIBLIOGRAFÍA.....	139
	ANEXOS	153

INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XIX, la disciplina de la conservación y restauración comenzó a utilizar de manera sistematizada el método científico como una herramienta no solo para el estudio de los bienes culturales, sino también para el estudio de los materiales empleados en el proceso de intervención. Desde hace algunas décadas, esta premisa ya se vislumbraba en el discurso del quehacer profesional; por ello, es posible aseverar que la relevancia del estudio de estos materiales de intervención debe ir a la par del estudio de los objetos mismos, con la finalidad de evitar en gran medida que dichos materiales propicien cambios sustanciales en la materialidad de los objetos y que se conviertan en un nuevo factor de deterioro y degradación.

Las investigaciones de materiales de restauración, emanadas desde la disciplina, pero apoyadas y complementadas con otras ciencias, sin duda alguna son fundamentales para la toma de decisiones antes y durante la intervención; éstas tendrán como fin último contribuir al estudio y la salvaguarda del patrimonio (Martínez Justicia, 1990).

Si bien el estudio de materiales “tradicionales” y su uso en procesos de restauración tiene un largo camino por recorrer, es aún más extensa la brecha cuando el objetivo es el estudio de materiales de fabricación industrial con fines de conservación-restauración de obra moderna. La búsqueda de nuevas opciones de materiales radica en que las características del patrimonio moderno “técnicamente generan nuevos problemas que hacen necesario probar e implantar nuevos materiales y técnicas” (Althöfer, 1960 ctd. en Morena, 2016:60).

Planteamiento del problema

En México, a partir de los años 20, el arte y la industria confluyeron para dar paso a una plástica nueva y moderna. Lo anterior dio paso a la introducción de materiales de origen fabril en el ámbito artístico; fue en ese momento que el fibrocemento se comenzó a utilizar como soporte y estructura de obras monumentales, especialmente de pintura mural. El asbesto-cemento es un material de tipo compuesto¹ conformado por una matriz de cemento

¹ Son materiales conformados por dos o más materiales para obtener propiedades superiores a las que tiene cada uno por separado —ya sea a macroescala o microescala—. Tienen una matriz, material sustentante o fase continua y un material reforzante o fase dispersa (Askeland *et al.*, 2017:651; Santiago Olivares, Galán Marín, & Roa Fernández, 2003:45).

y un material reforzante de fibras de asbesto, que cuando se combinan propician propiedades físico-mecánicas y químicas importantes (Askeland, Fulay, & Wright, 2017:651 y 661; Stupenengo, 2011:9, 16 y 17; Duggal, 2008:501-503; Callister, 2002:550). Sin embargo, aunado a las fallas en el sistema que devengan de su fabricación (Vélez, 2010:173), cuando este prefabricado es expuesto a condiciones ambientales extremas, ataque biológico y fuerzas físicas y mecánicas violentas, sufre comúnmente la degradación de la matriz, lo que implica la pérdida de material, que genera debilidad estructural y pone en riesgo su permanencia y conservación, y además, la liberación de las fibras de asbesto, las cuales están clasificadas como perjudiciales para la salud humana.

Para evitar el deterioro del fibrocemento y la liberación de las fibras de asbesto, la industria recomienda la aplicación en superficie de distintos productos; sin embargo, estas recomendaciones no se encuentran sustentadas con estudios e investigaciones accesibles en las que se haya dado a conocer el comportamiento de estos recubrimientos ante condiciones específicas. Asimismo, no se han reportado materiales de grado y calidad de restauración que se hayan usado, recomendado o fabricado para ser aplicados sobre este tipo de soportes.

Relacionado con lo anterior, algunos de los materiales fabriles disponibles en el mercado se han aplicado sin la certeza de las dinámicas de alteración y deterioro que pudieran propiciar, ni de los cambios que pudieran ocasionar en las propiedades sustanciales de los materiales de manufactura. Además, se desconoce el rendimiento y la efectividad de los mismos al estar expuestos a las inclemencias *in situ*.

Por último, las investigaciones sobre el comportamiento a futuro de obras con soporte de asbesto-cemento aún no han sido consumadas y queda mucho por hacer para confirmar de manera objetiva que los procesos y materiales seleccionados para su preservación son los más adecuados.

Justificación

En el ámbito industrial, los materiales compuestos que contienen asbesto suelen ser removidos y eliminados² por su naturaleza nociva al humano (INSHT, 2014:3-4; Monserrat Mir, Serrano Morell, Carbonell Duesa, & Pellicer Pérez, 2007:37-38) sin embargo, si se trata de una obra de interés patrimonial, uno de los objetivos fundamentales de la conservación y restauración de bienes culturales es procurar la integridad del objeto, ya que preservar la manufactura original es evidencia histórica, tecnológica y cultural de una determinada época y región (Ferrer Morales, 1998:21-46). La encrucijada expuesta anteriormente es evidente y el reto de conservación radica en considerar estos dos aspectos, ambos de gran importancia. Por lo anterior, se consideró relevante estudiar materiales que además de evitar la liberación de las fibras de asbesto, favorezcan la preservación de los materiales primigenios de este tipo de obras.

El estudio de materiales de origen industrial para fines de conservación no es nuevo, sin embargo, han sido pocas las investigaciones de materiales fabriles accesibles y económicos³, para tratar soportes de asbesto-cemento. Se considera necesario realizar estos estudios debido a que, si bien son concebidos para mercados específicos, estos materiales deben adaptarse a los requisitos particulares de conservación; es posible confiar en el comportamiento de dichos productos cuando son utilizados o aplicados en condiciones próximas a las establecidas en sus laboratorios de formulación, no obstante, a menudo los restauradores requieren salir de estas condiciones establecidas ya que dependiendo de varios factores (intrínsecos y extrínsecos) es relativamente difícil predecir su comportamiento, por ello es necesario realizar pruebas y ensayos bajo condiciones experimentales similares *in situ* (Íñigo, Vicente-Tavera, & Rives, 2006; Cope, Matthews, & Garrington, 1995).

² Hay varios tipos de control para este tipo de materiales, los estándares de seguridad e higiene ya están estudiados y en el ámbito industrial generalmente son tres los tipos de control: el primero es estabilización (en donde usualmente se les coloca un recubrimiento para evitar la liberación de las fibras de amianto), el segundo es de confinamiento y el tercero es eliminación.

³ Debido a que estos materiales serán aplicados en grandes superficies, es preferible contar con un material económico y de alto rendimiento.

Por otra parte, debido a la complejidad de este tipo de obras, la presente investigación se apoyó con el caso de estudio Mural N°3 exterior de La Tallera (1964-1965) del artista David Alfaro Siqueiros; pieza con la que se pudo conocer de primera mano los materiales utilizados en los murales en cuestión. Esta pintura mural, de manufactura acrílica sobre asbesto-cemento, permitió visualizar un panorama sólido para la confección de una fase experimental con sistemas probeta basados en un caso real. Asimismo, se buscó que el Mural N°3 exterior fungiera como parte importante del universo de estudio en el camino a la comprensión de la producción plástica de Siqueiros, así como del uso de determinados materiales para su conservación mediante acciones preventivas. Los recubrimientos industriales a estudiar se seleccionaron con base en varios criterios, de entre los que destacaron la asequibilidad, los antecedentes de aplicación y las pruebas previamente realizadas por el Centro Nacional de Conservación y Registro del Patrimonio Artístico del Instituto Nacional de Bellas Artes, CENCROPAM-INBA; en colaboración con el Instituto de Investigaciones Estéticas de la Universidad Nacional Autónoma de México, IIE-UNAM.

Finalmente, la investigación se planteó debido al interés del CENCROPAM por complementar y respaldar los esfuerzos que desde el 2015 el Taller de Pintura Mural y el Laboratorio de Biodeterioro de esa misma institución han hecho para ampliar el conocimiento acerca de este tipo de soportes, así como de los materiales a usar en tratamientos para su preservación, bajo el rigor científico de la disciplina de la conservación y la restauración de bienes culturales.

Hipótesis

El producto industrial de poliuretano base solvente tiene propiedades óptimas para emplearse como recubrimiento de protección de asbesto-cemento utilizado como soporte de pintura mural moderna.

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Debido a que esta investigación se centra en el estudio de materiales previo a su aplicación en obra patrimonial —tratamiento de conservación directa, curativa o de restauración (CNCPC-INAH, 2014; Muñoz Viñas, 2003; González-Varas, 2000)—; y considerando los criterios y recomendaciones para la selección de productos y la valoración de tratamientos

de conservación y restauración planteados por Barberena (2015), Fort (2007), Villegas (2003), Esbert Alemany & Losada Aranguren (2003), García Pascua, Sánchez de Rojas & Frías (1993), Amoroso & Fassina (1983) y Knopman (1975), se planteó como objetivo general evaluar las propiedades físico-mecánicas de tres recubrimientos industriales con la finalidad de proteger y conservar prefabricados de asbesto-cemento utilizados como soporte de pintura mural del siglo XX.

Los objetivos específicos fueron:

- Determinar la composición y las propiedades físico-mecánicas del fibrocemento y los productos industriales mediante pruebas físicas, mecánicas y técnicas analíticas instrumentales.
- Conocer las propiedades de los recubrimientos industriales durante el proceso de aplicación mediante análisis cualitativos, organolépticos y sensoriales.
- Analizar la interacción del sistema capa pictórica-soporte-recubrimiento con análisis organolépticos y sensoriales, pruebas físicas, mecánicas y técnicas analíticas instrumentales, antes y después de envejecimiento acelerado.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la investigación se plantearon cuatro fases, que en gran medida tuvieron como fundamento lo planteado por Fort (2007:75) y Gómez (2018a), bajo las recomendaciones de Íñigo *et al.*, (2006:29). Lo anterior se apoyó con información documental histórica, teórica y científica, que ayudó a contextualizar y adaptar los fundamentos anteriores a la problemática central de este trabajo.

En la primera fase se realizó la recopilación de información y fuentes documentales históricas, tecnológicas y científicas, relacionadas con el uso de materiales modernos; el fibrocemento como material industrial y artístico; la producción plástica de David Alfaro Siqueiros; el caso de estudio; y finalmente, los recubrimientos industriales con fines de protección de asbesto-cemento. La información recopilada se utilizó para construir el Capítulo I y parte del Capítulo II. En la segunda fase también se realizó una recopilación bibliográfica, aunque de índole exclusivamente científica y teórica (ciencia de materiales, ciencia aplicada a la restauración y teoría de la restauración); lo que dio fundamento al último

apartado del Capítulo I y a la construcción del desarrollo experimental; de manera particular, para el diseño de la experimentación, se utilizó como base la técnica de manufactura y diagnóstico material del caso de estudio. En la tercera fase se llevó a cabo la caracterización de los materiales que se utilizaron en la elaboración de los sistemas probeta, los cuales conformaron una estratigrafía compuesta por capa pictórica, soporte y recubrimiento; los resultados de esta caracterización conformaron el Capítulo III. Finalmente, en la cuarta fase se realizó el cruce de la información obtenida en todas las fases anteriores, ejercicio de análisis que conformó el Capítulo IV.

RESUMEN DE LOS CONTENIDOS

El Capítulo I. Antecedentes, hace referencia a sucesos importantes ocurridos a nivel internacional que tuvieron un impacto directo en la producción artística del siglo XX, dando lugar a la generación de movimientos artísticos no solo en Europa, sino también en México. Asimismo se expone cómo el crecimiento de la actividad industrializada influyó la experimentación plástica, propiciando la introducción de materiales fabriles en el arte. Este capítulo también hace referencia a los personajes pioneros de dicha experimentación, precursores en el uso de materiales industriales, de entre los que destacó David Alfaro Siqueiros. Posteriormente, se hace referencia al caso de estudio de la presente investigación: el Mural N°3 exterior de La Tallera (1964-1965), apartado en el que se expone el análisis material con el que se determinó su estado de conservación y diagnóstico. Por último, se mencionan los recubrimientos industriales para fibrocemento y las consideraciones de conservación y restauración para recubrimientos de protección de soportes de asbesto-cemento.

Con base en los antecedentes históricos, tecnológicos, científicos y teóricos del Capítulo I, en el Capítulo II. Desarrollo experimental, se hace referencia a los criterios de selección de estos materiales, a sus características químicas, comerciales y técnicas, y a las etapas de la metodología experimental. Con la finalidad de conocer las propiedades y desempeño de los recubrimientos industriales, así como probar la hipótesis y los objetivos planteados, fue necesario simular el sistema de estratos de una pintura mural moderna a través de la elaboración de probetas que pudieran ser sometidas a pruebas físico-mecánicas, análisis elementales destructivos y a condiciones inducidas de envejecimiento acelerado.

La selección de los materiales se fundamentó a partir del estudio de la técnica de manufactura del Mural N°3 exterior de La Tallera, mientras que la metodología a partir del su diagnóstico material, en donde una vez identificadas las causas extrínsecas de deterioro, se buscó replicar las condiciones a las que se ha expuesto el caso de estudio.

En el Capítulo III. Resultados, se realizó la descripción y el análisis comparativo de los datos obtenidos en los estudios organolépticos y en las pruebas del diseño experimental. Con esta información fue posible estudiar las propiedades físicas, mecánicas, morfológicas y composición de cada uno de los materiales, de manera individual y como sistemas. Asimismo, se pudieron identificar las similitudes y diferencias entre los materiales, antes y después de la etapa de envejecimiento acelerado.

En el Capítulo IV. Discusión de resultados, se llevó a cabo el análisis general de toda la información recabada y obtenida en el Capítulo III, y se dividió en tres apartados; el análisis de los resultados con respecto a los materiales y a los sistemas probeta, la comparación del ciclo de envejecimiento de los sistemas probeta y el de los materiales del caso de estudio, y por último, la exposición de las recomendaciones para la preservación del soporte del Mural N°3 exterior de La Tallera. Finalmente, en las Conclusiones, se hizo referencia a los aportes y logros generados en esta tesis, así como a las líneas futuras de investigación.

I. ANTECEDENTES GENERALES

De manera sintetizada, este capítulo hace referencia a algunos sucesos políticos, económicos y sociales ocurridos a nivel internacional que tuvieron un impacto directo en el pensamiento artístico del siglo XX, dando lugar a la génesis de los movimientos europeos denominados “vanguardistas” que lograron permear en el México de los años 20. Aunado a lo anterior, se hablará de cómo el crecimiento de la actividad industrializada favoreció la experimentación plástica, lo cual propició la transición del uso de materiales y técnicas tradicionales a técnicas mixtas y materiales fabriles.

En los apartados subsecuentes, se abordará cómo dentro de la plástica mexicana, el pintor y muralista mexicano David Alfaro Siqueiros fue uno de los representantes y precursores más importantes del uso de estos materiales fabriles. Este artista, además de implementar pinturas, esmaltes y resinas sintéticas en sus técnicas pictóricas, utilizó para sus obras monumentales soportes hechos de polímeros sintéticos, cemento y materiales compuestos, como conglomerados de madera, fibra de vidrio y fibrocemento. Con respecto a este último material, en el apartado 1.2 se relata, desde una perspectiva histórica, su transición de su uso como material industrial a su uso como material con fines artísticos, especialmente en pintura mural.

Posteriormente, en el apartado 1.3 se hace referencia al caso de estudio de la presente investigación; el Mural N°3 exterior de La Tallera (1964-1965), del que se realizó un análisis material a partir de inventarios, registro y documentación previamente elaborados por el CENCROPAM en intervenciones emergentes y estudios complementarios efectuados en el marco de esta investigación, con el apoyo de especialistas de la UNAM; con esta información se determinó su estado de conservación y diagnóstico. Consecutivamente, se hace mención de los recubrimientos de manufactura industrial que hasta el momento se han estudiado y probado para tratar las problemáticas de degradación, alteración y deterioro de soportes de pintura mural elaborados con fibrocemento, y que tienen por objetivo preservarlo mediante intervención directa. Finalmente, para cerrar con el capítulo, se exponen las consideraciones de conservación y restauración para recubrimientos de protección de soportes de asbesto-cemento.

1.1 TRANSICIÓN DEL USO DE MATERIALES TRADICIONALES A MATERIALES INDUSTRIALES: GÉNESIS DE LA EXPERIMENTACIÓN EN LA PLÁSTICA MODERNA

1.1.1 Contexto internacional y el inicio de la experimentación plástica

En el ámbito internacional, temporalmente a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, la Revolución Industrial propició transformaciones sociales, económicas, políticas, tecnológicas y culturales que tuvieron un impacto en la producción artística, lo cual derivó en las primeras experimentaciones con materiales producto de la actividad industrializada (Pastor Valls, 2014:110).

Posteriormente, dentro del contexto de la Primera Guerra Mundial (1841-1918), la Segunda Revolución Industrial⁴ (1870-1914), la Revolución Rusa (1917), el periodo de la Gran Depresión (década de 1930) y el *interbellum*⁵ (1918-1939), florecieron las primeras vanguardias (1900-1940) como el abstraccionismo, cubismo, expresionismo, futurismo y surrealismo (Lucie-Smith, 2000) las cuales, de acuerdo con María Pastor, incursionaron en dicha experimentación, propiciando “[...] el completo abandono de los medios tradicionales [...] y la renovación del lenguaje artístico” (2014:111-112).

La transición del uso de materiales tradicionales a materiales fabriles tuvo entre sus principales estímulos su bajo costo, el ímpetu por parte de los artistas hacia la experimentación y hacia la “creación de nuevas soluciones formales y técnicas” (Pugliese, 2006:7-68 ctd. en Pastor, 2014:112; Ruiz de Arcaute, 1993:12 ctd. en Pastor, 2014:112), y la influencia de los escritos públicos —manifiestos, ensayos, etc.— que exponían y defendían la plástica nueva, considerada revolucionaria y novedosa ante la plástica tradicional. Entre estos documentos destacaron *La función y el manifiesto futurista* de Filippo Marinetti (Francia, 1909), el *Primer Manifiesto Dadá* de Tristan Tzara (Alemania, 1918) y *El Suprematismo* de Kazimir Malévich (Rusia, 1920) por mencionar algunos (Fundación y manifiesto del futurismo, 2017; Hadid, 2014).

⁴ Se caracterizó por el desarrollo y crecimiento exponencial de la industria química, metalúrgica, eléctrica y petrolera, y además, propició la producción en masa para el consumo de bienes de manufactura fabril (Pastor Valls, 2014:111).

⁵ Periodo entreguerras.

Los movimientos posteriores como el minimalismo, *pop art*, pintura conceptual, expresionismo abstracto, hiperrealismo, entre otros, se desarrollaron de igual manera dentro de un contexto bélico y crisis político-económica derivados de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), la Guerra Fría (1945-1989) y del panorama incipiente de la innovación científica y tecnológica que se generó de la Tercera Revolución Industrial⁶. En este periodo se experimentó con técnicas tradicionales pero adicionando nuevos soportes y medios pictóricos; además de la incorporación de materiales metálicos, vítreos, cerámicos, pétreos, plásticos, eléctricos, electrónicos y perecederos (Rivas Tornés, 2016; Pugliese, 2006:39 ctd. en Pastor, 2014:113 y 144; Bustinduy, 2005:95-100; Lucie-Smith, 2000:93). De igual modo, se comenzaron a utilizar materiales de tipo compuesto como las resinas sintéticas en combinación con fibra de vidrio, madera pulverizada o triturada (conglomerados y aglomerados⁷ de madera) y los prefabricados de cemento como el fibrocemento (Fernández-Villa García, 2010; Ferrer Morales, 1998:59).

Específicamente en pintura mural —expresión plástica que a esta investigación compete— se comenzaron a utilizar como soporte cemento y polímeros sintéticos en combinación con materiales reforzantes como metales, cargas, madera triturada o pulverizada y fibras diversas como fibra de vidrio y fibra de asbesto; estos materiales, también llamados prefabricados, se comercializaron a manera de tableros o paneles contrachapados⁸, conglomerados y aglomerados (Day & Jackson, 1998:117-114 ctd. en Pastor, 2014:117; Ferrer Morales, 1998:49, 59-63). Las técnicas pictóricas empleadas y aplicadas sobre estos soportes, fueron de naturaleza sintética, como pinturas, resinas, emulsiones y esmaltes acrílicos, vinílicos y alquílicos, que desplazaron en gran medida al temple y la encáustica. El óleo no fue sustituido totalmente debido a su versatilidad y a su

⁶ También conocida como la Revolución Científico-Tecnológica, que se caracterizó por fomentar el equilibrio de la humanidad con los recursos de su entorno (sustentabilidad); la utilización de nuevas fuentes energéticas de naturaleza renovables (energía nuclear, solar, eólica, de la biomasa, geotérmica y mareomotriz); además del desarrollo de combustibles alternos (alcohol, etc.) y de transportes eléctricos, híbridos, y de inteligencia automatizada y artificial; el desarrollo y mejora de materiales de producción; entre otras premisas (Rifkin, 2011; Roel, 1998:25-54).

⁷ Los aglomerados, además de ser de madera, son materiales constituidos por fragmentos o polvo de una o varias sustancias (arena, grava, etc.) prensadas y endurecidas con un aglutinante como cemento o cal, que se emplea en la construcción y en carpintería (*Diccionario de la lengua española*, 2001).

⁸ Que está hecho de varias capas finas de madera pegadas de modo que sus fibras quedan entrecruzadas (*Diccionario de la lengua española*, 2001).

posterior industrialización; las modificaciones en su fórmula lograron producir un tipo de óleo miscible en agua⁹ (Sánchez-Pons & Canales, 2015:13; Crook & Learner, 2000:112-117; Ferrer Morales, 1998:43). Cabe resaltar que en este momento los estratos preparatorios podían o no aplicarse, o inclusive, colocarse de forma heterogénea dependiendo de las necesidades técnicas y visuales requeridas (Pugliese, 2006:34-35 ctd. en Pastor, 2014:118; Calvo Manuel, 2002:326-327).

1.1.2 México y la plástica moderna

En el contexto nacional, el proceso de cambio hacia la modernidad no solo resultó influenciado por todos los sucesos históricos, sociales, económicos, tecnológicos y culturales ocurridos en Europa, Rusia y Norteamérica, sino también por acontecimientos locales como la Guerra de Reforma (1858-1861), introducción del pensamiento positivista —a partir de 1867 pero con un impacto tangible hasta 1870—, el Porfiriato (1876-1911), la Revolución Mexicana (1910-1917), la Decena trágica (1913) y la promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (1917) (Acevedo, 2004).

A partir de lo anterior, los primeros movimientos artísticos se gestaron debido al ímpetu de suprimir la opresión intelectual, política, económica y social vivida durante las últimas décadas; personajes como Alfonso Reyes, Antonio Caso, José Vasconcelos y Pedro Henríquez Ureña fueron considerados precursores del cambio en el quehacer artístico que comenzó en la literatura (Monsiváis, 1986 ctd. en Hernández Armenta, 2009). Como producto de este pensamiento innovador, se consolidaron la *Revista Moderna de México*¹⁰ (1903-1911) —que le dio continuidad a la *Revista Moderna* (1898-1903)— y el Ateneo de México¹¹ (1906-1914) (García Morales, 1992; Manrique, 1991).

⁹ Se le incorporaron distintos aceites vegetales y aditivos modificados para lograr su miscibilidad.

¹⁰ Publicación mexicana que era la principal difusora del modernismo. Las primeras publicaciones fueron en la Ciudad de México y algunos estados del interior, y se caracterizó por su contenido, en su mayoría literario, pero con algunas publicaciones de tinte científico.

¹¹ También llamado Ateneo de la Juventud Mexicana, fue una asociación civil que tuvo por objetivo trabajar por la cultura y el arte. Surgió a partir de la iniciativa de jóvenes intelectuales, los cuales, tuvieron por objetivo activar una nueva conciencia reflexiva en torno a la educación a partir de la cultura. Este grupo se caracterizó por difundir las ideas modernistas, además de promover el modernismo literario y el antipositivismo filosófico (García Morales, 1992:1-5).

Posteriormente, dentro del contexto histórico de la Fundación de la Secretaría de Educación Pública (1921) y las iniciativas de José Vasconcelos¹², la Guerra Cristera (1926-1929), el Maximato (1928-1934), la invención de la televisión a color (1940) y el derecho al voto de la mujer mexicana (1955), se gestó el estridentismo (1921), las corrientes artísticas como la Escuela Mexicana de Pintura y Escultura (1921), el muralismo mexicano (1920/22-1970) y los movimientos como la Liga de Escritores y Artistas Revolucionarios¹³ (1933-1938) y el Taller de Gráfica Popular¹⁴ (1937). Estos últimos dos fomentaron la diversificación de las manifestaciones artísticas y, en décadas posteriores, fueron de gran inspiración para los artistas (Fuentes Rojas, 1995; Prignitz, 1992). Finalmente, el pensamiento artístico de ese momento se expresó mediante escritos públicos, de entre los que destacaron *Tres llamadas a los artistas plásticos de América* y *Manifiesto del Sindicato de Obreros, Técnicos, Pintores y Escultores* de David Alfaro Siqueiros (1922) y el *Manifiesto por un arte revolucionario independiente* de Trotsky y André Breton (1938), por mencionar algunos.

Las principales diferencias entre los movimientos artísticos concebidos en Europa y Norteamérica, y los generados en México, fueron la búsqueda de un arte independiente que reflejara la identidad y esencia cultural y social local, por lo que se persiguió una “puesta en valor” de todo lo prehispánico, indígena y mestizo (TOLANAC, 2017); conceptos que se utilizaron como cimiento para la construcción de la identidad nacional. Asimismo, estas ideas fueron mezcladas con el desacuerdo y condena ante la “expansión agresiva del poder industrial capitalista respecto a los pueblos y las memorias culturales, largo tiempo dominados y obstruidos por el poder colonial y la monarquía” (Subirats, 2018:17).

¹² José Vasconcelos fue el primer promotor de la educación de los ciudadanos mexicanos utilizando el arte como medio de enseñanza.

¹³ Movimiento que se generó a causa de la disolución del Sindicato de Trabajadores Técnicos, Pintores y Escultores. Se definió como la Unión Internacional de Escritores Revolucionarios y de entre sus integrantes destacaron Luis Arenal Bastar, Juan de la Cabada, Pablo O'Higgins, Xavier Guerrero y Alfredo Zalce.

¹⁴ Fue un movimiento de grabadores fundado por los artistas Pablo O'Higgins, Leopoldo Méndez y Luis Arenal Bastar. Utilizaron el arte para fomentar sus causas sociales revolucionarias, y su práctica se volvió una base de actividad política impulsora de los medios artístico a nivel nacional e internacional.

En la producción artística, algunos autores comenzaron a experimentar con materiales de origen industrial en combinación con métodos y materiales tradicionales. Posteriormente, algunos autores desplazaron el uso de los materiales y las técnicas acostumbradas para dar paso al uso de técnicas mixtas en las que se utilizaron materiales totalmente fabriles. El uso de estos materiales industriales se debió a su gran accesibilidad y promoción —acompañado de un discurso moderno e innovador—, aunado a las cualidades y propiedades tecnológicas que ofrecían (Gurgone, Miliani, & Moretti, 2015:290; Suárez, 1972:347). Una de las corrientes que vigorosamente fomentó el uso de estos materiales fue el muralismo, movimiento que a partir de los años 20 se posicionó de entre las otras corrientes artísticas, debido a que en sus inicios fue apoyado en gran medida por el Estado.

Dentro de este movimiento, los materiales que con frecuencia fueron utilizados como soporte destacaron las resinas, la fibra de vidrio, el cemento, los aglomerados y conglomerados de madera, el masonite¹⁵ y el Celotex^{®16}; éstos favorecían la creación de obras con distintos formatos, grosores, densidad y peso, y permitieron soportar elementos de diversa composición para crear obras voluminosas (Gil Verencuela, 2012:544; Mijangos de Jesús, 2002:242; Rodríguez Sancho, 1994:95; Alfaro Siqueiros, 1979:64). La implementación de estos materiales como soporte se debió a sus características físicas y composición, las cuales ofrecieron la monumentalidad que en ese momento se requería para materializar las ideas de “arte de utilidad público”, “arte para el pueblo” y “arte para educar”, que como ya se mencionó, fueron concebidas desde la realidad sociopolítica y nacionalista posrevolucionaria (Suárez, 1969 ctd. en Arturo & Ramírez, 2011:238; Mendel, 2007). De igual forma, las técnicas pictóricas aplicadas sobre estos soportes comúnmente fueron resinas sintéticas vinílicas, acrílicas y alquidálicas, que generalmente no tenían capas intermedias o base de preparación como las técnicas tradicionales (Mijangos de Jesús, 2002:245).

¹⁵ Tablero de fibras prensadas sin adhesivo.

¹⁶ Tipo de prefabricado elaborado con material celulósico —generalmente madera— impregnado con asfaltos especiales.

De manera conceptual, el movimiento muralista se caracterizó por reencontrar al muralismo clásico renacentista —al menos en sus inicios—; por transitar a la composición narrativa que buscaba una identidad de nación, en donde se fomentaron “los estereotipos de lo mexicano, las imágenes del obrero y del campesino o las tradiciones populares” —premisas que se convirtieron en el discurso del Estado y que fueron reiteradas por los mismos mecenas de los artistas de la época—; y finalmente, por dar paso a la simbología proletaria y al discurso crítico desde una perspectiva nacional e internacional, el cual promovió la incorporación de “las masas populares analfabetas a la sensibilidad artística” (Guadarrama Peña, 2013b:17-60). En el muralismo, el arte y la educación se ligaron por vez primera, y dio a conocer las necesidades sociales generadas a raíz de la crisis global. Así mismo, tuvo como discurso la paz, la libertad y el progreso; y desde lo político y lo moral, rechazó los “totalitarismos modernos, sus guerras y genocidios” (Subirats, 2018:17).

Con respecto a la estética, el muralismo recurrió a elementos de las vanguardias europeas como el Art Nouveau, dinamismo futurista, expresionismo figurativo y narrativa (Guadarrama Peña, 2013b:18). En México, sus principales y más relevantes exponentes fueron José Clemente Orozco, Diego Rivera y David Alfaro Siqueiros.

1.2 EL FIBROCEMENTO COMO MATERIAL INDUSTRIAL Y SU POSTERIOR USO EN PINTURA MURAL DEL SIGLO XX

1.2.1 Origen y producción industrial de fibrocemento

El fibrocemento tuvo su origen a finales del siglo XIX (entre 1887 y 1900) sin embargo, alcanzó su auge comercial —uso y producción— en los años 60 y 70 del siglo XX. Ideado por el industrial Ludwig Hatschek, fue un material que derivó de los productos prefabricados del cemento y otros morteros¹⁷. Éstos últimos desde su origen, tuvieron excelentes propiedades para su aplicación en construcción, no obstante, tenían poca resistencia a la tracción, ductilidad y tensión, propiedades necesarias para estructuras de refuerzo. Debido a lo anterior y para solventar esta falta de resistencia, se comenzaron a incorporar fibras de diversa naturaleza —en su mayoría minerales y sintéticas— que aportaron las propiedades mecánicas requeridas para dar un mayor aguante, sobre todo ante fuerzas de flexión y compresión (Jarabo Centenero, 2013:1-2; Beaudoin, 1990; Cervantes Alatorre, 1996:2).



Figura 1. Prefabricados de asbesto-cemento utilizados para la construcción, *a*) tubos para el sistema de distribución de agua, *b*) láminas onduladas para techos y *c*) paneles utilizados para paredes.

Recuperado de <https://www.diariopopular.com.ar>, <http://www.amiantojaen.com> y <https://casa-web.com.ar>.

¹⁷ Un mortero es una mezcla de cargas finas (arenas), agua y un material conglomerante como el cemento, cal, etc.

El fibrocemento es un material tipo compuesto de origen industrial, conformado por una matriz de cemento Portland y fibras de asbesto como material reforzante, combinación que resultó idónea para fabricar elementos de construcción no friables (Askeland *et al.*, 2017:651; Jarabo Centenero, 2013:1-3; Stupenengo, 2011:7).

A nivel internacional, específicamente en Europa central, la producción de fibrocemento fue impulsada en gran medida por el Grupo Eternit[®], fundado en 1905 por Alphonse Emsens¹⁸. Esta empresa estableció la primera fábrica de fibrocemento en Haren, Bruselas, sin embargo, tuvo presencia en Holanda, Alemania, Suecia, Italia y países latinoamericanos como Argentina, Colombia y Brasil. Después del auge comercial en décadas posteriores, para el 2003 suspendió el uso de la fibra de asbesto en sus procesos de producción, debido a regulaciones sanitarias de varios países en el mundo (Etex, s.f.). Además de Eternit[®], hubo otros grupos y consorcios que comercializaron y produjeron prefabricados de cemento con fibras de asbesto; tal es el caso de Grupo Siempelkamp[®] en Alemania, Estados Unidos, Austria, Bélgica y Singaúr; Turner & Newall[®] en Reino Unido; James Hardie[®] en Australia; Johns Manville[®], CertainTeed[®], Capco[®] y Allura[®] en EUA; Everite[®] en Sudáfrica; Technopromimport[®] en la Ex Unión Soviética; Duralit[®] en Bolivia; Plycem[®] en Costa Rica e Industrias Fibraforte[®] en Perú. Algunas de estas compañías actualmente se encuentran en operación y pertenecen al Grupo Elementia[®] (Moerman, Van der Laan, & Campbell, 2014; Cervantes Alatorre, 1996:18-19; Elementia, s.f.).

En México, las empresas más importantes que produjeron y comercializaron fibrocemento fueron Mexalit[®] y Eureka[®], que en la década de los 90, competían en el mercado (Cervantes Alatorre, 1996:16-17). Otras más recientes fueron Comecop[®] y Maxitile[®], que al igual que las dos primeras, aún tienen vigencia y también pertenecen al Grupo Elementia[®] (Cervantes Alatorre, 1996:18-19; Elementia, s.f.).

¹⁸ Empresario que adquirió la licencia de Ludwig Hatschek para la fabricación de láminas elaboradas con cemento y fibras de asbesto.

La decadencia del uso de fibrocemento

Si bien, a inicios del siglo XX, el Dr. H. Montague Murray de origen inglés, descubrió los posibles efectos nocivos de las fibras de asbesto en la salud humana, fue hasta la década de los 50 que se demostró su relación con enfermedades mortales como el cáncer pulmonar, neumoconiosis¹⁹ y mesotelioma²⁰. En general, las complicaciones de salud comienzan cuando los filamentos se incrustan dentro del sistema respiratorio central y el tejido pulmonar, sin embargo, los efectos negativos pueden manifestarse años después de que las fibras se alojaron en el cuerpo y órganos internos; el riesgo de enfermarse por la inhalación de fibras de asbesto está condicionado a la cantidad y tiempo de exposición (Smith, 2015; Jarabo Centenero, 2013; Monserrat Mir *et al.*, 2007; Fortes Rivas & Garza Sandoval, 2006; CC.OO. Departamento confederal de salud laboral, 2002; The Center Protect Worker's Rights, 1999; Cervantes Alatorre, 1996).

Una vez conocidos los efectos dañinos a la salud, se generó una conciencia sobre el uso de asbesto, y posteriormente, se promovió la restricción de su producción y comercialización; estas acciones se consolidaron con el Convenio de Rotterdam (2004); sin embargo, desde 1991, el Banco Mundial concertó como política su enemistad por financiar la producción, comercialización y uso de productos que contuvieran asbesto (Asbesto, 2019; ONU, UNEP, & FAO, 2008). Debido a lo anterior, el uso de prefabricados con contenido de fibras de asbesto —como el fibrocemento— decayó de manera paulatina. En países latinoamericanos como Argentina, Chile, Uruguay, Honduras, Perú, República Dominicana y Brasil; así como en la mayoría de los países de la Unión Europea, Asia, África y Oceanía; prohibieron su uso, importación y exportación; y además, implementaron estrategias de tratamiento, aislamiento y eliminación de materiales con contenido de estas fibras (Valencia, 2018; C162-Convenio sobre el asbesto, 1989).

En México, los prefabricados de cemento con contenido de fibras de asbesto aún se producen, sin embargo, se ha reiterado que son fabricados bajo estándares de gran calidad y rigurosa seguridad, siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-125-SSA1-1994, que

¹⁹ Es un padecimiento causado por la inhalación prolongada de grandes cantidades del asbesto y otros materiales minerales que producen problemas respiratorios como bronquitis o enfisema, los cuales empeoran de manera paulatina.

²⁰ Tumor maligno que se genera en el tórax y pulmones.

establece los requisitos sanitarios para el proceso y uso de asbesto (Delle Femmine, 2014; DOF. Diario Oficial de la Federación, s.f.). Actualmente, países como Canadá, China, Sudáfrica y Rusia, continúan extrayendo y comercializando fibras de asbesto en prefabricados de cemento, debido a que poseen grandes reservas de este mineral²¹ fibroso (Asbesto, 2019).

1.2.2 Uso de fibrocemento como soporte de pintura mural

La introducción del fibrocemento en obras murales monumentales radicó en la estrecha relación que se generó entre el arte y la industria del siglo XX, vínculo incitado por el concepto de modernidad imperante de la época. En México, entre 1953 y 1969 —periodo en el que aumentó la producción de pintura mural por encargos del sector estatal y privado (Suárez, 1972:384 y 386)—, artistas como Ramón Prats, Benito Messeguer, Roberto Cueva del Río, Silvio Benedetto, Jorge Flores, Efrén Ordoñez, Lorenzo Guerrero Ponce, Mario Orozco Rivera y David Alfaro Siqueiros, usaron este material como soporte de sus obras, y algunas de ellas —que actualmente se conservan— obtuvieron relevancia nacional e internacional (Suárez, 1972).

Uno de los lugares que albergó una vasta producción de obras sobre asbesto-cemento fue el ahora desaparecido Casino de la Selva (1931-2002) (Figura 2) que perteneció a Manuel Suárez y Suárez (1896-1987); empresario español de gran renombre, sobre todo en la industria de materiales de construcción, de entre los que destacaron los prefabricados de cemento-asbesto. Cabe destacar que también fue el más importante mecenas del muralismo mexicano²².

²¹ “Sólido homogéneo por naturaleza con una composición química definida (pero generalmente no fija) y una disposición atómica ordenada. Normalmente se forma mediante un proceso inorgánico” (Klein & Hurlbut, 2001).

²² Patrocinó un gran número de murales realizados por artistas mexicanos y extranjeros como Gerardo Murillo “Dr. Atl”, Jorge González Camarena, José Reyes Meza, Francisco Icaza, Alfonso X. Peña, Josep Renau, Taro Okamoto, entre otros (*Trascendencia de un mecenazgo. Manuel Suárez y Suárez (1896-1987)*, s.f.).

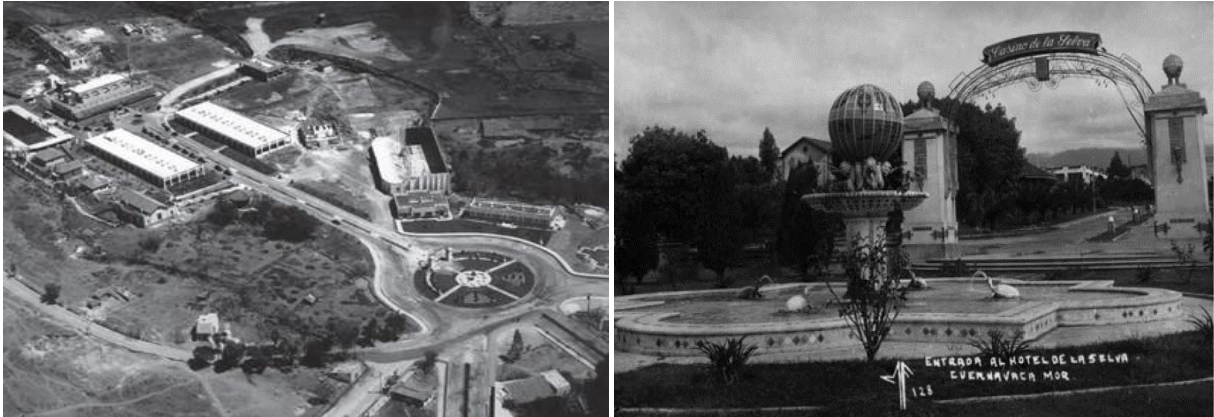


Figura 2. Entrada del Hotel Casino de la Selva (1931-2002). Impresión de pantalla de Alarcón Azuela, 2011:68 y 70

Para la segunda mitad del siglo XX, este inmueble, anteriormente ubicado en Cuernavaca, Morelos, fue considerado uno de los lugares de recreación y descanso más importantes no solo a nivel local, sino de México y del extranjero. Si bien, en sus inicios fue un lugar para el juego, a finales de los años 30 y principios de los 40, se convirtió en un reconocido hotel que además aspiró ser un centro de reunión de intelectuales y artistas de renombre. Para 1946, se llevaron a cabo trabajos de remodelación en el inmueble²³, y las modificaciones se realizaron a partir de sistemas constructivos de concreto armado²⁴ y prefabricados de cemento a manera de paraboloides hiperbólicos; estructuras y materiales con posibilidades estructurales y plásticas que “cubrían grandes claros con un espesor mínimo” (Alarcón Azuela, 2011:70).

Esos muros sirvieron como soporte de la mayoría de los murales producidos en el lugar, en los que se utilizaron resinas acrílicas aplicadas sobre superficies de asbesto-cemento. De entre las obras que se tiene registro fueron elaboradas bajo las anteriores condiciones de manufactura, destacaron *El hombre como creador* (1961) de Benito Messeguer, *El apocalipsis* (1968) de Jorge Flores y *Siqueiros en su época* y *Problema*

²³ La remodelación estuvo a cargo del arquitecto Martí y de la constructora Cubiertas Ala, de Antonio, Julia y Félix Candela. Éste último fue reconocido por haber introducido a México los cascarones de concreto armado en el ámbito de la construcción (Alarcón Azuela, 2011:70).

²⁴ El concreto es una mezcla de cemento con agregados áridos como arena y grava, en cambio, el concreto armado es una mezcla de hormigón reforzado con acero como material estructural.

asiático (desde la anatomía de Vietnam) (1968) ambos de Silvio Benedetto (Alarcón Azuela, 2011:71; Suárez, 1972). Finalmente, dentro del Hotel Casino de la Selva, se tuvo la intención de realizar un foro de pinturas murales de David Alfaro Siqueiros que llevaría por nombre *La Capilla Siqueiros*, no obstante, el proyecto se trasladó a la Ciudad de México y posteriormente se convirtió en *Polyforum Cultural Siqueiros* (Alarcón Azuela, 2011:71). De este artista, así como de su producción plástica se hablará más a detalle en el apartado 1.2.3 de este capítulo.

Aparte de las de obras del Hotel Casino de la Selva, se tiene registro de otras obras monumentales sobre fibrocemento realizadas entre los años 50 y 60 en otros lugares de la República Mexicana, de entre las que destacaron *La creación humana y la economía* (1963) de Benito Messeguer, en el Auditorio Narciso Bassols de la Escuela de Economía de la UNAM; *Congreso de Apatzingán* (1964) de Roberto Cueva del Río, ubicada en el Palacio Municipal de Cuernavaca, Morelos; *El amor* (1967) de Silvio Benedetto, en la Universidad Autónoma de Chilpancingo, Guerrero; *Proyección mecánica del hombre en el espacio* (1968) de Jorge Flores, que fue una obra transportable de la Ciudad de México; *Plantación de Tabaco* (1956) de Ramón Prats, colocada en el Pabellón de la Tabacalera en la Feria de la Paz, Santo Domingo²⁵; *El hombre como creador* (1968) de Lorenzo Guerrero Ponce, que se encuentra en la Casa de la Paz, Sala del Concejo del OPIC. Cozumel 33, Ciudad de México; *Industria* (1968) de Efrén Ordoñez, en la Fachada de pigmentos y óxidos S.A., Monterrey, Nuevo León; y *De la agricultura a la industria: La tierra dominando al hombre, El hombre dominando a la tierra y El hombre fruto de la tierra y Prometeo electrónico* (1969) de Mario Orozco Rivera, en el Banco Agropecuario de Culiacán, Sinaloa (Suárez, 1972).

A excepción de la obra de Mario Orozco Rivera —manufacturada con relieves de hierro y asbesto-cemento policromados con acrílico—, la mayoría de las obras antes mencionadas fueron elaboradas con resina acrílica, vinilita y Duco^{®26} aplicadas sobre superficies de fibrocemento (Suárez, 1972).

²⁵ Exposición internacional en República Dominicana realizada en 1955.

²⁶ En 1920, fue la primera línea de productos elaborados con lacas automotivas desarrollada por DuPont[®]. Se caracterizaron por ser de colores variados y tener propiedades de secado rápido. Inicialmente fueron elaboradas para la industria automotriz.

Por último, si bien el objetivo de este apartado es dar a conocer las obras del siglo XX elaboradas con soporte de asbesto-cemento, es relevante mencionar que este material compuesto no solo fue utilizado en producciones artísticas, sino también en procesos de restauración, como una solución innovadora y moderna a las problemáticas de conservación. En el contexto europeo, se tiene conocimiento del uso de fibrocemento como soporte de obras trasladadas, específicamente pintura mural y mosaicos (Pérez González, 1997:118). Estos soportes rígidos estaban elaborados con un bastidor de metal o madera al que se le sujetaba una red o malla metálica en la que se aplicaba una “película” de cemento-asbesto. En otros casos, se empleaban placas prefabricadas de fibrocemento que eran sujetadas por el reverso con una especie de bastidor de madera o metal²⁷ (Pérez González, 1997:119-190; Rodríguez Sancho, 1994:153). Para más información sobre este tema se recomienda consultar los trabajos de Carmen Pérez González e Isabel Rodríguez Sancho de la Universidad Complutense de Madrid, quienes citan amplia bibliografía al respecto.

1.2.3 Producción plástica de David Alfaro Siqueiros y el uso de asbesto-cemento en sus obras monumentales

Uno de los artistas más relevantes, no solo en el uso de fibrocemento como soporte de pintura mural, sino en la experimentación y uso de materiales fabriles en sus obras monumentales, fue David Alfaro Siqueiros, quien procuró incluir en su producción plástica materiales y técnicas desarrolladas por la ciencia y la industria de su tiempo (Gil Verencuela, 2012:15-16; Arturo Montero & Ramírez Vega, 2011:238).

²⁷ El *Triunfo de la Muerte* del Camposanto de Pisa (Italia, XIV) fue el ejemplo de traslado a soportes rígidos más conocido. Para el soporte de este fresco, trasladado en 1949, se emplearon placas de fibrocemento Eternit® unidas con una estructura de madera por el reverso (Rodríguez Sancho, 1994:152-153). En su momento, este tipo de intervención se consideró adecuada, sin embargo, además de que se hizo evidente la alteración estética debido a que la obra tuvo que adaptarse a las medidas estándar de los paneles de Eternit®, con el tiempo, se comenzaron a manifestar eflorescencias y otras alteraciones y deterioros difíciles de tratar. Ante la gravedad de los daños, en 1950, Cesare Brandi declaró que el uso de este material para traslado de pinturas era “todavía más dañino que el propio cemento”, y para 1989, se le efectuó una restauración en la que se cambió dicho soporte por uno de laminados de fibra de vidrio y bastidor de aluminio, empleando corcho como capa intermedia (Brandi, 1950 ctd. en Rodríguez Sancho, 1994:154; Pérez González, 1997:192-193). En México, hasta el momento, no se identificaron casos de traslado de pintura mural bajo condiciones similares.

Entre los materiales que incorporó en sus técnicas pictóricas fueron vinilita —o vinelita—, pinturas al silicato, resinas acrílicas, esmaltes, resinas alquidáticas —como el Duco®—, lacas automotivas, piroxilina²⁸ y pinturas aplicadas con aerógrafo o pincel de aire. Además, utilizó como soportes cemento blanco, negro y gris; concreto armado, hormigón²⁹, fibrocemento, metales como hierro y aluminio, lámina de hierro modelada y soldada; fibra de vidrio, masonite, Celotex®, triplay y aglomerados de madera —también llamados soportes de Novopan®—. Asimismo, se destacó por ser uno de los pioneros en la elaboración de frescos sobre revoque o aplanados de cemento, así como en la producción de “escultopintura” (Ramírez Muñoz, 2014; Gil Verencuela, 2012; Guadarrama Peña, 2010a; Alfaro Siqueiros, 1979). Por otra parte, aunado a su ímpetu por la experimentación plástica, también impulsó la investigación de materiales artísticos fabriles como el acrílico y la piroxilina. Estas iniciativas se realizaron en colaboración con José L. Gutiérrez³⁰ y el Instituto Politécnico Nacional, mediante el Taller de Ensayo de Pintura y Materiales Plásticos (Sánchez Mendel, 2016; Monroy Becerril, 2012; González Cruz Manjarez, 2005; Alfaro Siqueiros, 1979).

Siqueiros recurrió al fibrocemento, debido a que lo consideraba un material económico e inerte, que le permitía crear obras transportables y con las que podía disponer de grandes superficies para materializar sus obras monumentales; técnicamente, este tipo de soporte “reducía al mínimo los empates de las uniones” (Suárez, 1969 ctd. en Arturo Montero & Ramírez Vega, 2011:238; Alfaro Siqueiros, 1979:156). Asimismo, el frecuente uso de este material, además respondió a que el empresario Manuel Suárez y Suárez —dueño de Eureka®; empresa productora y comercializadora de este tipo de paneles, entre otros prefabricados y materiales de construcción— fue el más sustancial de sus mecenas y patrocinadores (Arturo Montero & Ramírez Vega, 2011:238-239).

²⁸ También denominadas lacas de piroxilina, son materiales de nitrato de celulosa plastificado.

²⁹ Mezcla de cemento con agregados áridos, como arena y grava, además de aditivos como fluidificantes, impermeabilizantes, plastificantes e hidrofugantes.

³⁰ Pintor y químico mexicano reconocido por fundar en 1945 el Centro de Investigación de Pinturas y Plásticos en el Instituto Politécnico Nacional, y por crear la primera pintura acrílica para artistas basada en la fórmula de la compañía Röhm and Haas®, a la cual le modificó la formulación agregando minerales (polvo de mármol, talco y carbonato de calcio) para generar efectos mates. Esta pintura se comercializó en México y en el mundo bajo el nombre de Politec® (Oñate Moreno, 2018; History of Politec, s.f.)

La obra monumental más representativa ejecutada por Siqueiros fue todo el conjunto de murales del *Polyforum Cultural Siqueiros* (1965), ubicado en la Ciudad de México. Este conjunto, manufacturado en su casa-estudio de Cuernavaca, fue elaborado con resinas acrílicas aplicadas en tres diferentes soportes; fibra de vidrio, aglomerado de madera y paneles de asbesto-cemento. Las pinturas monumentales que flanquearon el *Polyforum* tienen como soporte este último material (Suárez, 1972).

La producción más prolífica y numerosa sobre asbesto-cemento fue la ocurrida en La Tallera, ubicada en Cuernavaca, Morelos; lugar que además de ser la casa-estudio de Siqueiros, fungió como centro de enseñanza y producción artística. Fue un inmueble construido en 1965, y desde la década de los 20, Siqueiros y Rivera pretendieron instaurar un “taller de muralismo” en el que se experimentaría con nuevos materiales y técnicas ³¹ (Montemayor & Moreau, 2017:86).



Figura 3. *Polyforum Cultural Siqueiros* (1965) de David Alfaro Siqueiros. Fotografía de Alejandro Linares, 2011. Recuperada de [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Polyforum Siqueiros06.jpg](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Polyforum_Siqueiros06.jpg)



Figura 4. *Trazos de composición espacial* (1965-1967) de David Alfaro Siqueiros. Fotografía del Archivo Interno del CENCROPAM-INBA

³¹ De entre los artistas que conformaron el equipo de La Tallera, destacaron Mario Orozco Rivera, Guillermo Cenicerros, Jorge Flores, Luis Arenal, Leopoldo Arenal y Yoshitaka Tamaka (Taller de Conservación de Pintura Mural, CENCROPAM-INBA, 2010; *Trascendencia de un mecenasgo. Manuel Suárez y Suárez (1896-1987)*, s.f.).

De las obras más representativas creadas en La Tallera, además de los murales del *Polyforum*, fue *Homenaje a la mujer procreadora*³²; pieza conformada por cuatro murales denominados *Trazos de composición piramidal*³³ (1965-1967), *Trazos de composición espacial*³⁴ (1965-1967)³⁵, Mural N°3 exterior de La Tallera (1964-1965) y Mural N°4³⁶ (1964-1965). En los tres primeros, se utilizaron resinas acrílicas aplicadas sobre varios paneles de fibrocemento, unidos mediante tornillos de hierro sujetos a un bastidor metálico; mientras que en el cuarto, se emplearon acrílicos sobre placas de fibra de vidrio sujetas a un bastidor metálico. Actualmente, *Trazos de composición espacial* y *Trazos de composición piramidal* se encuentran ubicados en la explanada de La Tallera, mientras que el Mural N°3 exterior y el Mural N°4, fueron desmontados y resguardados en bodegas del CENCROPAM; el primero está ubicado en Ticomán, mientras que el segundo en Tultitlán, ambos sitios en el Estado de México.

³² OF/D/SUB/CENCROPAM/298/2012. Archivo interno del CENCROPAM-INBA.

³³ OF/D/SUB/CENCROPAM/1058/2013 y también identificado como “Mural 1 Poniente” en OF/D/SUB/CENCROPAM/298/2012. Archivo interno del CENCROPAM-INBA.

³⁴ OF/D/SUB/CENCROPAM/1058/2013. También identificado como “Trazos de composición espacial o geométrica” con diversas fechas de producción: 1971-1972 en OF/D/SUB/CENCROPAM/3140/2014 y “Mural 2 Oriente” en OF/D/SUB/CENCROPAM/298/2012. Archivo interno del CENCROPAM-INBA.

³⁵ Identificado con fecha de 1973 en OF.SAPS/ACERVO/162/2014. Archivo interno del CENCROPAM-INBA.

³⁶ OF/D/SUB/CENCROPAM/3327/2011. Sin embargo, también identificado como “Sin título (Homenaje a la mujer procreadora) Mural N°4 Oriente izquierdo” en OF.CENCROPAM/D/SUB/250/2013 y como “Mural N°4 izquierda explanada” en OF/D/SUB/CENCROPAM/298/2012. Archivo interno del CENCROPAM-INBA.

1.3 MURAL N°3 EXTERIOR DE LA TALLERA (1964-1965) DE DAVID ALFARO SIQUEIROS: SÍNTESIS SOBRE SU TÉCNICA DE MANUFACTURA Y DIAGNÓSTICO MATERIAL

El presente apartado, está dedicado al Mural N°3 exterior de La Tallera (1964-1965); caso de estudio de esta investigación (Figura 5). Esta parte se encuentra construida con base en los estudios y análisis de la técnica de manufactura y el diagnóstico material previamente realizados por el CENCROPAM; información que permitió realizar un vínculo directo entre el caso de estudio y los realizado en la experimentación. Sin embargo, para tener una comprensión integral de las características materiales de la obra, y con ello, dar fundamento al diseño de la experimentación, fue necesario realizar análisis globales e instrumentales bajo la misma metodología de la etapa experimental del Capítulo II. Si bien, esta información son formalmente resultados del presente trabajo, se consideró pertinente exponerlos en este apartado debido a que son un antecedente para el resto de la investigación, y complementan la información previa sobre el caso de estudio.

Los alcances de este apartado estuvieron encaminados a comprender de forma material el caso de estudio y de contextualizar los materiales y la técnica de manufactura del autor, con el fin de entender de mejor manera la disposición de los estratos de la obra. Finalmente, es importante reiterar que toda esta información sustentó parte importante de la fase experimental; la elaboración de los sistemas probeta y el diseño de la experimentación (apartado 2.2 del Capítulo II).

1.3.1 Contexto de la obra

El Mural N°3 exterior de La Tallera (1964-1965) —nombre con el que actualmente se le denomina por el CENCROPAM³⁷, pero también identificado en documentos anteriores con el nombre “Sin título (Homenaje a la mujer procreadora) Mural N°3 poniendo derecho”³⁸ y “Mural N°3”³⁹—, se encuentra desmontado y almacenado en una bodega del INBA ubicada en Ticomán, Estado de México. Sin embargo, anterior al año 2011, se encontraba montado y expuesto en la explanada exterior de La Tallera, lugar ubicado en la capital del Estado de Morelos.



Figura 5. Mural N°3 exterior de La Tallera (1964-1965) de David Alfaro Siqueiros previo al desmontaje. Fotografías proporcionadas por el Taller de Pintura Mural del CENCROPAM-INBA

Debido a su estado de conservación y a las necesidades urgentes de restauración, se decidió realizar su desmontaje, que duró del 24 de octubre al 15 de diciembre de 2011, tiempo durante el cual fue necesario realizar procesos para su estabilización, tanto en el soporte como en la capa pictórica, y así evitar daños durante las maniobras⁴⁰. Posterior al desmontaje, la obra duró en resguardo aproximadamente un año (de diciembre de 2011 a noviembre de 2012) en la bodega del INBA ubicada en Tultitlán, Estado de México⁴¹. Tiempo después se trasladó al lugar en el que actualmente se resguarda.

³⁷ OF.D/SUB/CENCROPAM/1420/2018. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

³⁸ OF.CENCROPAM/D/SUB/250/2013 y OF/D/SUB/CENCROPAM/298/2012. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

³⁹ ST-0050, ST-2609, OF/D/SUB/CENCROPAM/298/2012 y OF/D/SUB/CENCROPAM/3327/2011. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

⁴⁰ OF/D/SUB/CENCROPAM/3327/2011. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

⁴¹ OF.CENCROPAM/D/SUB/2238/12. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

1.3.2 Técnica de manufactura

El Mural N°3 exterior de La Tallera (1964-1965) es una obra monumental bidimensional, que se elaboró con resinas acrílicas aplicadas sobre paneles de asbesto-cemento. La obra está conformada por 36 paneles de diferentes medidas; seis de 0.73X3.30m, seis de 1.50X3.30m y veinticuatro de 1.83X3.30m; que en conjunto alcanzan los 9.60X19.79m; un área de 189.98m² y un peso total de 5 toneladas. Estos paneles, estaban unidos con tornillos metálicos por todo el perímetro y sujetos a un bastidor, igualmente metálico⁴² (Figura 6). Actualmente, se encuentran desmontados y acomodados unos sobre otros; algunos en modo vertical y otros en horizontal. Cada panel se encuentra envuelto con hojas de polietileno y plástico burbuja de aire sellado; los cantos están protegidos con canaletas de madera⁴³.



Figura 6. Estructura metálica que soportaba los paneles de asbesto-cemento del Mural N°3 exterior de La Tallera (1964-1965). Fotografía del Archivo interno del CENCROPAM-INBA

⁴² OF/D/SUB/CENCROPAM/298/2012. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

⁴³ OF/D/SUB/CENCROPAM/3327/2011. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

1.3.3 Caracterización de materiales

Las pruebas y los datos aquí reportados, son formalmente resultados de la presente investigación; sin embargo, se consideró pertinente presentarlos en este apartado debido a que complementan los estudios previamente realizados en el caso de estudio, y además, constituyen un antecedente para la etapa experimental.

Los análisis globales e instrumentales se realizaron sobre la capa pictórica y el soporte de asbesto-cemento de la obra. En los análisis organolépticos y sensoriales se observó que el soporte de fibrocemento (panel M3sec6/32) tiene una textura ligeramente rugosa, acabado mate y un color grisáceo-negruzco; sin embargo, de manera puntual exhibe coloraciones en tonos naranjas y amarillos. La apariencia cromática que se observó correspondió a la combinación de los colores tanto del soporte de fibrocemento como de otros materiales y sustancias adheridas y depositadas en superficie. No se logró apreciar un patrón de manufactura —algún tipo de molde o bastidor—; no obstante, sí se observaron algunas aglomeraciones de material reforzante de apariencia fibrosa dispuestas de manera aleatoria; asimismo, se observaron cargas finas posiblemente de cemento y algunos otros materiales. Por otra parte, la capa pictórica (panel M3sec2/11) presentó una textura lisa y homogénea en comparación a textura observada en el soporte; sin embargo, de manera aleatoria, se observaron algunas partículas de pigmento sobre la superficie. El acabado se percibió mate y los colores observados fueron blanco con detalles en negro, rojo y naranja.

Las pruebas físicas de permeabilidad —realizadas a temperatura ambiente y humedad relativa de 29%— indicaron que el soporte de fibrocemento es un material altamente hidrófilo, ya que absorbe rápidamente el agua a través de su superficie; con un promedio de pérdida del ángulo de contacto y absorción total de la gota de 0.8 y 3.9s respectivamente. Esta prueba no pudo realizarse en la capa pictórica debido a las dificultades de acceso.

La prueba física de color realizada con la tabla Munsell, dio como resultado que el soporte de asbesto-cemento (panel M3sec6/32) tiene cuatro diferentes colores, mientras que en el color rojo de la capa pictórica (panel M3sec2/11) se identificó solo un color Munsell. En la siguiente tabla se muestran los colores identificados con la prueba:






COLOR MUNSELL DE LOS ESTRATOS DEL MURAL N°3 EXTERIOR DE LA TALLERA (1964-1965) DE DAVID ALFARO SIQUEIROS		
Estrato	Clave y color de tabla Munsell	
Soporte (panel M3sec6/32)	10YR5/8 	10YR2.5 
	5Y2/5 	5YR7 
Capa pictórica roja (panel M3sec2/11)	7.5R4/6 	

Tabla 1. Color Munsell del soporte y capa pictórica del Mural N°3 exterior de La Tallera

En el soporte de asbesto-cemento se identificaron cuatro colores Munsell, 10YR 5/8, 10YR 2.5, 5Y2/5 y 5YR7 correspondientes a un tono medio oscuro de marrón (61.96% rojo, 40.78% verde y 10.59% azul con 71% de saturación y 36% de luminosidad⁴⁴), un tono marrón (52,94% rojo, 47,45% verde y 40,39% azul con 13% de saturación y 47% de

⁴⁴ Esta información se recuperó de <https://encycolorpedia.com/>, a partir del color Munsell previamente identificado.

luminosidad), un tono de amarillo (51.76% rojo, 47.45% verde y 38.04% azul con 15% de saturación y 45% de luminosidad) y finalmente un tono medio claro de naranja (74.51% rojo, 67.06% verde y 61.57% azul con 20% de saturación y 68% de luminosidad) respectivamente.

Por otra parte, en la zona del pigmento rojo de la capa pictórica se identificó el color Munsell 7.5R4/6 que correspondió a un tono rojo-marrón (63.14% de rojo, 23.92% de verde y 17.65% de azul con 56% de saturación y 40% de luminosidad).

Las pruebas físicas de resistencia al rayado en escala de Mohs indicaron que tanto el soporte de fibrocemento (panel M3sec6/32) como la capa pictórica (M3sec2/11) tienen un promedio de resistencia al rayado de 4.

El análisis morfológico mediante la observación con microscopía óptica USB, evidenció el deterioro avanzado en la superficie del soporte de fibrocemento (panel M3sec6/32). Se observaron diversas coloraciones, en mayor medida colores grisáceos y negruzcos —en las zonas más profundas— y en menor medida secciones con tonos rojizos y naranjas —que se acentuaron en las secciones más salientes y prominentes del soporte— (Figura 7).

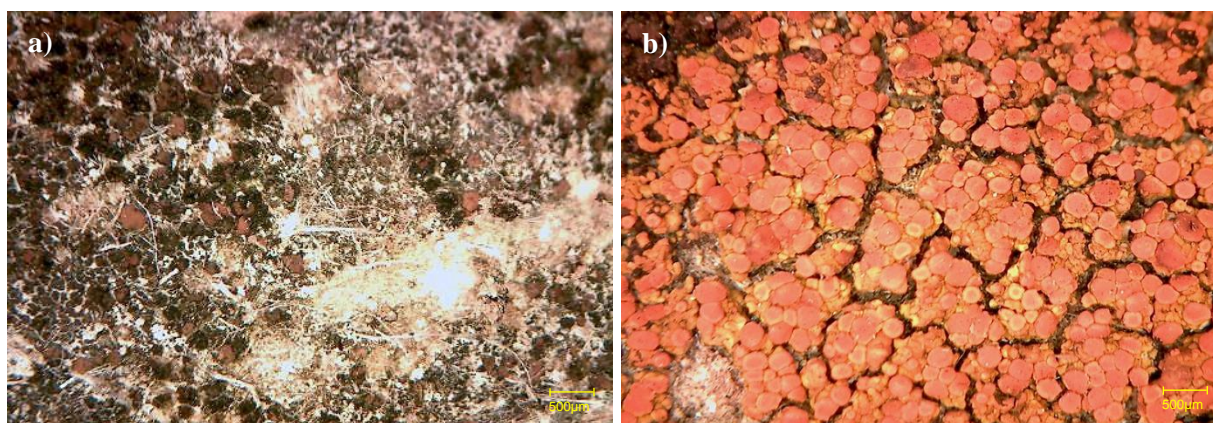


Figura 7. Microscopía óptica (MO). *a)* Detalle de la coloración del cemento, detalle de la presencia de fibras en superficie y detalle de los restos de microorganismos inactivos a 50X, *b)* Microorganismos en estado activo a 50X. Imágenes obtenidas con el microscopio digital USB marca AVEN® modelo 26700-300 y realizadas en el panel M3sec6/32 del Mural N°3 exterior de La Tallera (1964-1965)

Las primeras coloraciones correspondieron a la combinación del color original del fibrocemento con la tonalidad de antiguos microorganismos que en algún momento se desarrollaron en la superficie pero que actualmente se encuentran inactivos; los tonos rojizos y naranjas correspondieron a la presencia de nuevas manifestaciones biológicas (Ramírez Muñoz, comunicación personal, 04 de marzo de 2019). Finalmente, el soporte presentó una textura granulosa, rugosa e irregular; se observó una superficie ligeramente disgregada y pulverulenta, con gran cantidad de material de refuerzo libre en superficie, evidente incluso a simple vista.

Por otra parte, con la observación de la capa pictórica en la sección de la pintura roja (M3sec2/11), se vislumbraron ciertas partes craqueladas y con ligeras fisuras, aunque también, zonas mayormente homogéneas y con pocas irregularidades, con ligeros agrupamientos de partículas de pigmento. Respecto al color, la capa se observó poco luminosa y con apariencia mate (Figura 8).

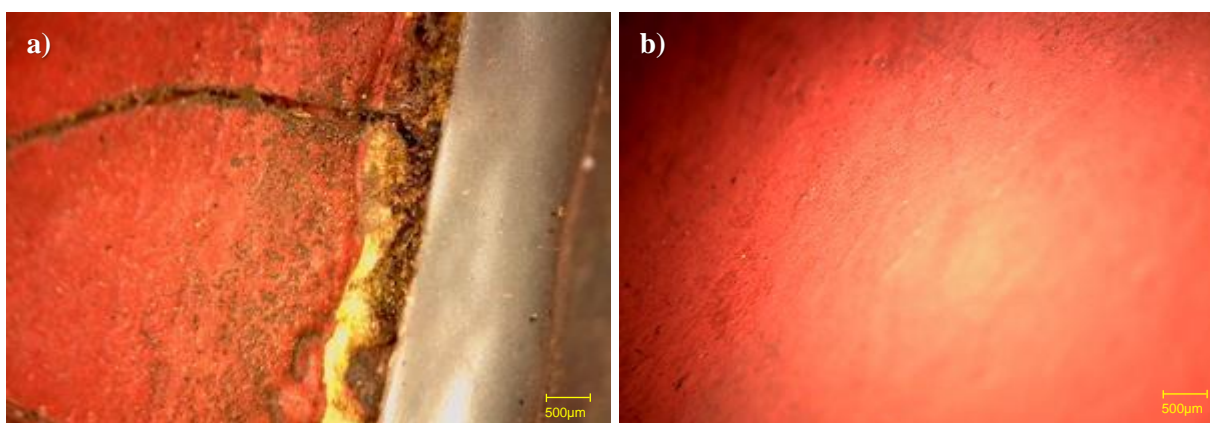


Figura 8. Microscopia óptica (MO). *a)* Detalle de las fisuras en la capa pictórica a 50X, *b)* Zonas de apariencia homogénea en la pintura roja de la capa pictórica a 50X. Imágenes obtenidas con el microscopio digital USB marca AVEN® modelo 26700-300. La observación se realizó en la pintura roja presente en el panel M3sec2/11 del Mural N°3 exterior de La Tallera (1964-1965)

El análisis químico-estructural FTIR de la capa pictórica (panel M3sec2/11) mostró lo siguiente (Figura 9): (1) la banda en 2927 cm^{-1} perteneció al enlace C-H alifático. (2) Las bandas con vibraciones entre 1724 a 1643 cm^{-1} correspondieron al grupo funcional carbonilo (C=O). (3) La banda en 1062 cm^{-1} correspondieron a vibraciones de tensión entre los enlaces

carbono-oxígeno y carbono-carbono (C-O y C-C) (Talamantes Piquer, Osete Cortina, Llamas-Pacheco, & Oliver, 2017:261-264; Gutiérrez López, 2013:53; Rojo Callejas, s/f). Finalmente, (4) las vibraciones de entre 800 y 400 cm^{-1} posiblemente correspondieron a los compuestos de las cargas dentro del recubrimiento; la literatura indica que el anión carbonato (R-CO_3) tiene vibraciones en esta región (Talamantes Piquer *et al.*, 2017:261; Mejía González, 2016).

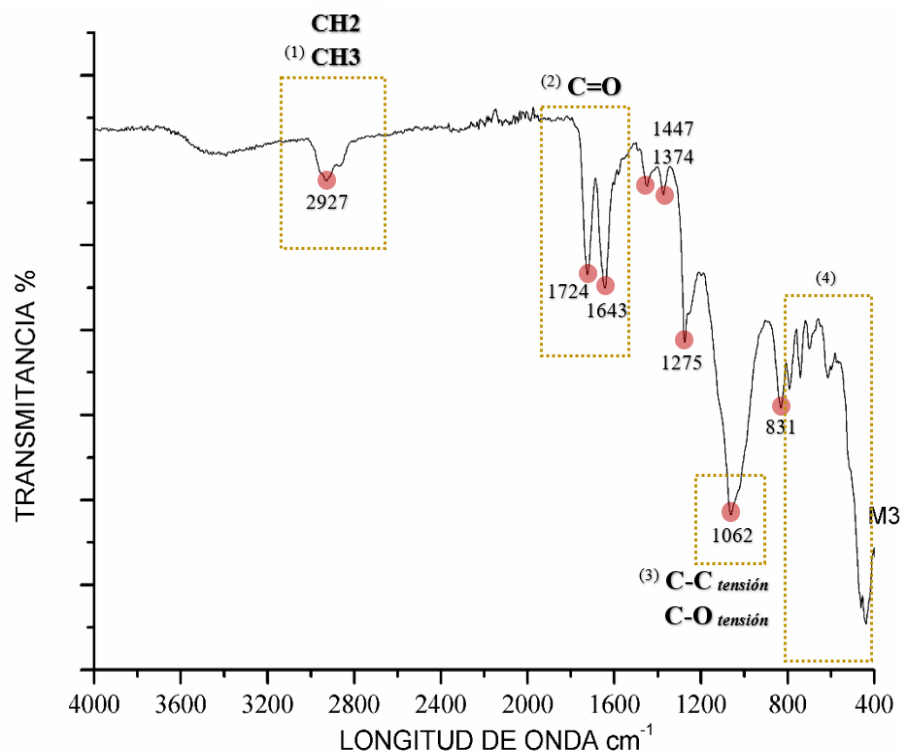


Figura 9. Espectro FTIR. Color rojo en capa pictórica. La medición se realizó en el panel M3sec2/11 con un equipo marca BRUKER® modelo ALPHA en modo ATR en transmitancia a 16 scans, en el rango de 400 a 4000 cm^{-1} . El espectro se graficó en el software ORIGIN®. El número entre paréntesis indica la referencia y explicación en el cuerpo de texto

La técnica DRX indicó que el soporte de asbesto-cemento del Mural N°3 exterior de La Tallera se compone de un cemento conformado por óxido de silicio (SiO_2), *laumontita* [$\text{Na}_6\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$], *diaspora* u oxihidróxido de aluminio [$\text{AlO}(\text{OH})$] y *vaterita* o carbonato de calcio (CaCO_3). Las fibras de asbesto identificadas fueron una variedad de *kaolinita* [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$] y *lizardita* [$\text{Mg}_{2.35}\text{Fe}_{0.13}\text{Al}_{1.11}\text{Si}_{1.41}\text{O}_5(\text{OH})_4$].

En la siguiente imagen se observa el difractograma general (en rojo) y los compuestos identificados con espectros en diversos colores; en orden, los primeros compuestos corresponden a los del cemento y los dos últimos a las variedades de asbesto identificadas (Figura 10).

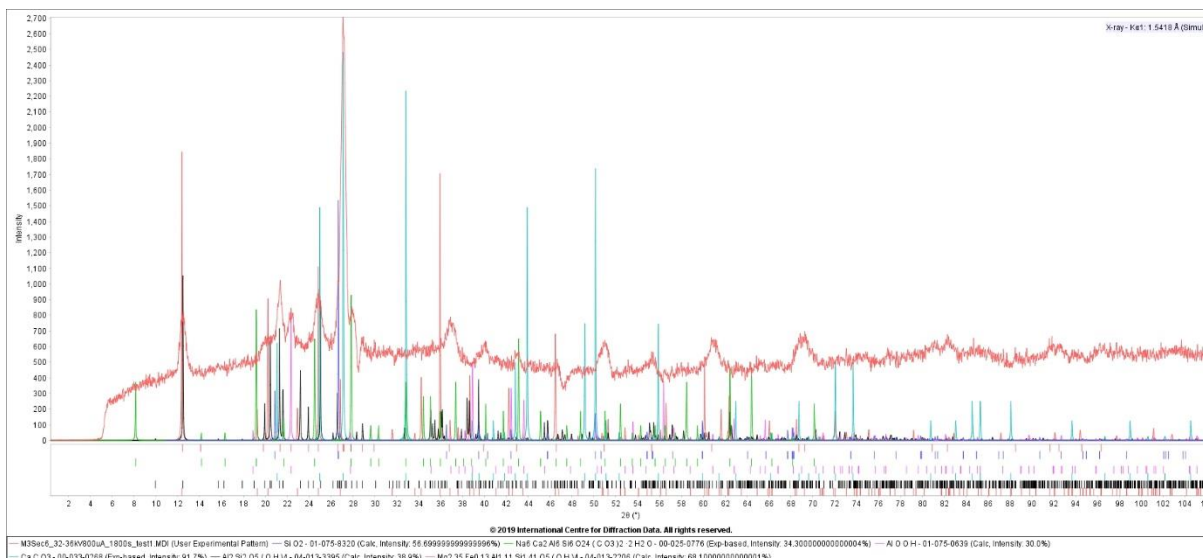


Figura 10. En rojo se observa el difractograma general DRX del soporte de asbesto-cemento del Mural N°3 exterior de La Tallera. Para el análisis se utilizó el equipo ADIS basado en el modelo EQUINOX 100 de la marca INEL® de ThermoFisher®. El procesamiento de datos y la identificación de los compuestos se realizó mediante la comparación de picos con otros patrones de difracción con el software PDF4+2018®.

1.3.4 Estado de conservación

Previo al año 2016, varios documentos reportaron el estado de conservación de la obra el cual, en más de una ocasión se determinó como grave. De manera jerárquica, los deterioros más representativos observados en el soporte de fibrocemento fueron fisuras, fracturas; pérdida de material en la unión de paneles por asentamientos, movimientos diferenciales, tensiones con la estructura de anclaje y el soporte, así como por la contracción y dilatación del metal de anclaje; ataque biológico de líquenes costrosos, hongos saprobios y degradantes del suelo generados por condiciones específicas de humedad y temperatura; corrosión de elementos metálicos debido a las condiciones climáticas; oxidación y corrosión de los ángulos de las soleras y la tornillería causada por el intemperismo; y finalmente,

desfasamiento de planos en las placas de asbesto-cemento a causa de fuerzas perpendiculares, fuerzas horizontales y compresión debido al peso de los paneles^{45,46}. En la capa pictórica se reportó pulverulencia por la pérdida de cohesión; degradación cromática debida al calor y a la radiación; craqueladuras, pérdida de material y descamación⁴⁷.

A inicios del año 2019, el soporte de fibrocemento presentó ataque biológico aparentemente inactivo (líquenes y briofitas), microorganismos de coloración negruzca —también aparentemente inactivos que posiblemente sean restos antiguos—; deformaciones; manchas de corrosión provocadas por los tornillos y el bastidor metálico; abrasión, manchas de pintura, deyecciones de ave y eflorescencias⁴⁸ puntuales cerca del bastidor metálico. Por otra parte, en la capa pictórica se observó alteración cromática, pulverulencia, craqueladuras estables, manchas de corrosión, manchas de suciedad, faltantes y descamación.

Con respecto a las intervenciones realizadas por el CENCROPAM en el Mural N°3 exterior de La Tallera, se tiene registro de las ocurridas durante el desmontaje del mural en 2011; las realizadas en el 2012 y las llevadas a cabo en el 2013. En la primera intervención, se realizó el corte de tornillería de sujeción y puntos de soldadura de la estructura metálica portante, en donde se tuvo precaución de no dañar los bastidores metálicos. Igualmente, se realizaron acciones preventivas sobre los paneles, las cuales consistieron en reforzar las fracturas con tiras de algodón y adhesivo; además de consolidar y fijar la capa pictórica debido a su inestabilidad⁴⁹. En la segunda intervención se llevó a cabo una fumigación y desinfección de los paneles de asbesto-cemento⁵⁰. Por último, en la tercera intervención se realizó un tratamiento de desinfección de microorganismos, además de una limpieza mecánica⁵¹.

⁴⁵ OF.D/SUB/CENCROPAM/1058/2013. Archivo interno CENCROPAM-INBA

⁴⁶ ST-2609. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

⁴⁷ OF.D/SUB/CENCROPAM/1058/2013. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

⁴⁸ Consiste en “la aparición de manchas y polvos blanquecinos en la superficie del concreto” (CEMEX, s.f:53.), y es causada por las sales solubles contenidas en la mezcla de cemento, en el agua utilizada para su elaboración, así como de algunos agregados. La problemática principal generada por la eflorescencia es superficial y estética, y no de índole estructural.

⁴⁹ OF/D/SUB/CENCROPAM/3327/2011. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

⁵⁰ OF.CENCROPAM/D/SUB/2238/12. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

⁵¹ ST-0050. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

1.3.5 Diagnóstico material

Basado en el estado de conservación registrado a lo largo de varios años, aunado a los resultados de los análisis sensoriales y organolépticos así como los globales e instrumentales realizados en 2019, se determinó que las principales causas de deterioro que afectaban tanto al soporte como a la capa pictórica, fueron las de índole físico, mecánico y ambiental, en el que influyó la humedad y la temperatura.

El comportamiento de los materiales industriales, como el cemento y sus derivados (asbesto-cemento), tiende a ser impredecible ante determinadas condiciones atmosféricas cambiantes, sobre todo por periodos largos. El estudio organoléptico y los análisis globales e instrumentales indicaron que los materiales sufrieron transformaciones importantes debido a dichas condiciones extremas, fluctuantes y violentas. Además de que los cambios ocurridos resultaron evidentes a simple vista, también se reflejaron a nivel químico-estructural, ya que la capa pictórica (pintura roja) presentó un espectro típico de un polímero acrílico degradado⁵²; mientras que los componentes del fibrocemento (cemento y fibras de asbesto), si bien, conservaron su composición química, sus fases cristalinas se modificaron; las fases cristalinas identificadas, tanto del cemento y de la fibra de asbesto, no fueron típicas o comunes (estado material normal), resultado que correspondió con el alto grado de alteración y deterioro del soporte del Mural N°3 exterior de La Tallera (Pérez Castellanos, comunicación personal, 06 de mayo de 2019).

Con respecto a los deterioros físico-mecánicos observados y documentados en informes anteriores por el CENCROPAM, específicamente de las fisuras, cabe resaltar que éstas y sus variantes se propician en condiciones fluctuantes de temperatura; cristalización de sales (en su mayoría solubles); y a la exposición de esfuerzos internos o externos, “especialmente si exceden sus resistencias altas a compresión y escasas a tensión” (Lewin, 1982 ctd. en Barberena Fernández, 2015:89; Liberti, 1951 ctd. en Pérez González, 1997:192; González Fernández & Miranda Vidales, 2007).

⁵² Consultar el apartado 3.5.3 del Capítulo III. Resultados, en el que se muestra el espectro de un polímero acrílico en buen estado de conservación y su comparación con el espectro de un polímero acrílico degradado.

La combinación de humedad y temperatura cambiante, radical y violenta...

“...favorecen las modificaciones de volumen que pueden degenerar en fisuras, especialmente si se restringe el movimiento de los materiales. Los de mayores dimensiones tienen un potencial superior para generar gradientes térmicos y fisurarse” (Barberena Fernández, 2015:90).

Con relación a las intervenciones anteriores, cabe resaltar que si bien, algunas de las problemáticas fueron tratadas y erradicadas con anterioridad, no significa que los efectos derivados de éstas no tengan influencia en el comportamiento y desempeño del soporte en la actualidad. La presencia de líquenes probablemente propició la degradación mecánica y química del soporte, debido al crecimiento de filamentos o hifas que conforman su estructura⁵³ y que se desarrollaron en el interior del sustrato; de manera particular, la presencia de estos filamentos suele ser grave cuando el líquen se encuentra activo durante periodos extensos (Gómez Alarcón, 1996:402). Es por ello que, aunque la problemática biológica haya sido tratada y erradicada con anterioridad⁵⁴, la degradación mecánica y química ya tuvo un impacto en el estatus material del soporte.

En conclusión, los factores físicos, mecánicos, de humedad y de temperatura, se utilizaron como fundamento para el diseño de la experimentación, específicamente en la etapa de envejecimiento acelerado. El objetivo fue someter a los sistemas probeta a condiciones similares de degradación, y obtener resultados aproximados en un contexto *in situ*.

⁵³ ST-2609. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

⁵⁴ ST-0050. Archivo interno CENCROPAM-INBA.

1.4 RECUBRIMIENTOS INDUSTRIALES PARA FIBROCEMENTO: ANTECEDENTES DE SU APLICACIÓN EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PINTURA MURAL DEL SIGLO XX

Debido a la problemática de deterioro de los prefabricados de asbesto-cemento, la industria ha propuesto soluciones para evitar la liberación de las fibras de asbesto, las cuales ocasionan daños graves a la salud. Es por ello que se han desarrollado recubrimientos con fines de aislamiento, recubrimiento y encapsulamiento, que en general, son formulaciones a base de polímeros sintéticos, que a grandes rasgos, no tienen como finalidad la conservación íntegra del fibrocemento, sino únicamente evitar la liberación de las fibras de asbesto.

En el ámbito internacional, la industria recomienda el uso de elastómeros⁵⁵ y acrílicos —en emulsión o solución, mezclados con estabilizadores y pigmentos— para aislar los prefabricados con contenido de dicha fibra. Estos productos se distinguen por tener alta resistencia a la incidencia de fuerzas físico-mecánicas, agentes químicos y ambientes extremos; generalmente no buscan gran capacidad de penetración, sino la formación de capas gruesas y robustas.

En conservación y restauración de obra moderna, específicamente en el contexto europeo, se han aplicado resinas acrílicas sobre soportes de asbesto-cemento fragmentado; las características y propiedades que se buscaron en dicha resina fueron buena capacidad de penetración, buen poder consolidante y formación de una capa delgada. El producto aplicado fue Plexisol P550[®] y tuvo como finalidad encapsular las fibras de asbesto expuestas en los cantos y en la superficie deteriorada del soporte de asbesto-cemento. El método de aplicación utilizado fue mediante pincel (Gurgone, Miliani, & Moretti, 2015:302).

⁵⁵ Se definen como sustancias naturales o sintéticas que tienen gran elasticidad, y que tienen una disposición enrollada, lo que les permite estirarse al aplicar una fuerza y volver a su forma inicial cuando esta fuerza cesa (Schwarz, 2002).

En México, en el mercado industrial de resinas, pinturas y recubrimientos, se han fabricado materiales, en su mayoría base acrílico y base poliuretano —éste último recomendado a nivel internacional para la gestión de riesgo de asbesto (Montserrat Mir, Serrano Morell, Carbonell Duesa, & Pellicer Pérez, 2007:37)—, para ser aplicados sobre prefabricados con contenido de este filamento mineral. De entre estos materiales destacan el Rust Grip® y el Colorcel®; el primero distribuido por la empresa Dupont®-Axalta® y el segundo por la empresa Procovers S.A de C.V.

En el ámbito de la conservación y restauración en México, se tiene poca experiencia para el tratamiento de materiales industriales utilizados en obra moderna, sin embargo, en soportes de bienes artísticos, ya se han comenzado a estudiar y a aplicar sustancias fabriles a base de poliuretano, resinas acrílicas y otros materiales como tratamiento preventivo, consolidante, de protección y encapsulante del asbesto-cemento. Las pruebas han sido realizadas por instituciones dedicadas al estudio y conservación de patrimonio artístico de entre los que destacan el CENCROPAM y el IIE-UNAM.

En 2015 y 2016 el CENCROPAM realizó pruebas con recubrimientos base poliuretano, resinas acrílicas y sílice amorfa. Si bien, los resultados no fueron concluyentes, las observaciones preliminares señalaron que los poliuretanos y las resinas base acrílica otorgaron mayor resistencia y permeabilidad, además, no alteraron de manera radical la apariencia natural y original del fibrocemento (García Cruz & Ramírez Muñoz, comunicación personal, 23 de enero de 2018; Ramírez Muñoz, 2015/2016)⁵⁶. Asimismo, en años recientes, se colaboró con el IIE-UNAM en donde se realizaron otras pruebas en las que se buscó relacionar las propiedades de recubrimientos con el método de aplicación y determinar si éste último influía en el desempeño de la capa formada por los recubrimientos. Los estudios concluyeron que el método de aplicación es determinante para el comportamiento de la capa formada por los recubrimientos. Por otra parte, los materiales

⁵⁶ Cabe resaltar que lo que hasta el momento se ha realizado por el CENCROPAM, ha sido de gran relevancia para la conservación de obra patrimonial moderna. Asimismo, desde 2015 hasta la fecha, ha colaborado con profesionales en el área de ciencia aplicada al estudio de bienes culturales para fortalecer los estudios respecto a este tipo de obras pictóricas. Tal es el caso de la colaboración con el Laboratorio de Conservación, Diagnóstico y Caracterización Espectroscópica de Materiales, perteneciente a la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, CODICE-CNCPC, INAH; y el Instituto de Investigaciones Estéticas de la Universidad Nacional Autónoma de México, IIE-UNAM.

base acrílico aplicados con brocha a una mano, fueron los que mejores características y propiedades presentaron una vez colocados sobre el soporte de fibrocemento. Este recubrimiento mostró un acabado y una resistencia al rayado en escala de Mohs similar a la del soporte original, no propició cambios de color total perceptibles al ojo humano ($\Delta E^* < 3$) y no fue totalmente impermeable al agua líquida, con lo que se pudo inferir la transferencia de vapor de agua a través del sustrato (López Arvizu, Meléndez García, Moreno Núñez, Pérez Castellanos, & Ramírez Muñoz, 2018).

1.5 CONSIDERACIONES Y REQUERIMIENTOS DE RESTAURACIÓN PARA RECUBRIMIENTOS DE PROTECCIÓN Y SU APLICACIÓN SOBRE SOPORTES DE ASBESTO-CEMENTO

En la actualidad, hay una escasa reflexión acerca de los criterios, consideraciones y requerimientos de conservación y restauración para la intervención de soportes de asbesto-cemento, y esta falta de reflexión no solo ocurre en nuestro país, sino a nivel internacional. Debido a lo anterior y a las necesidades de conservación de este tipo de soportes, el presente capítulo se construyó con base en los criterios, las consideraciones y requerimientos propuestos para el proceso de consolidación de piedra y morteros; materiales comúnmente utilizados en la manufactura de bienes culturales escultóricos y arquitectónicos.

El concepto de consolidación ha tenido una extensa revisión y un largo proceso de reflexión, y a causa de que el sistema “piedra/paramento/mortero-consolidante” presenta similitudes y características afines con el sistema “soporte de fibrocemento-recubrimiento”, se consideró viable extrapolar lo ya teorizado a la materia que nos ocupa, con algunas reservas y acepciones⁵⁷.

Es importante destacar que los recubrimientos a estudiar en el presente trabajo no se les denominó como consolidantes en virtud de las problemáticas de los soportes de asbesto-cemento, específicamente a las del caso de estudio y a las necesidades de conservación y restauración, las cuales se consideraron van más allá de devolver las propiedades cohesivas.

“La aplicación de un producto consolidante es necesaria únicamente cuando el material ha perdido su cohesión y debe introducirse un producto que consiga la unión entre los granos minerales que la forman y los que han quedado sueltos, logrando la adherencia entre la capa alterada y la sana” (Villegas Sánchez, 2003:180).

Por lo anterior, el recubrimiento de protección —como se le ha denominado en esta investigación—, además de que pretende promover cierta cohesión en el sustrato, busca optimizar las cualidades y propiedades del soporte, así como brindar protección duradera con

⁵⁷ El ejercicio de extrapolar los criterios, consideraciones y recomendaciones de conservación y restauración ya se ha hecho por autores como Barberena Fernández (2015).

el fin de ayudar al soporte a resistir y prevenir deterioros y alteraciones derivadas de su contexto ambiental y otros factores de degradación, como los generados a partir de fuerzas físicas, mecánicas, etc. Algunos autores denominan como tratamientos de protección a procedimientos que consisten en la aplicación de una película sobre una determinada superficie, y que tiene como función “evitar el contacto con los contaminantes atmosféricos y con el agua de lluvia”, factores que propician en gran medida la aparición de otras alteraciones. Además de lo anterior, estas películas favorecer la conservación del material, evitando o retardando la acción de los agentes medioambientales o antrópicos de deterioro (Esbert Alemany & Losada Aranguren, 2003:27; García Pascua *et al.*, 1993:44).

Con respecto al Mural N°3 exterior de La Tallera (caso de estudio de esta investigación), es importante reiterar que, si bien estos recubrimientos pueden subsanar algunas de las alteraciones que actualmente presenta el soporte, en gran medida tienen como fin último proteger al sustrato de futuros deterioros. Para que el recubrimiento de protección pueda ser aplicado en el soporte de fibrocemento, será necesario realizar otros tratamientos de conservación y restauración —como limpieza y erradicación del ataque biológico—; estos recubrimientos no están planteando una solución total ante las problemáticas que actualmente presenta el Mural N°3 exterior, pero sí propone una solución tanto para evitar la liberación de las fibras de asbesto —que conlleva una problemática de salud— como para la conservación de los materiales y manufactura original de este tipo de soportes —premisas que justifican este trabajo de investigación—.

Debido a que en esta investigación, el tipo de tratamiento que se quiere estudiar comparte en gran medida las características de un proceso de consolidación, es necesario considerarlo como un proceso de intervención excepcional, que no debe realizarse de manera indiscriminada, ya que este tratamiento tiene un nivel de reversibilidad muy bajo y en ocasiones nulo. Generalmente, estos procedimientos propician modificaciones en el sustrato al que son aplicados, y si previamente no se realiza un estudio de su comportamiento, en gran medida pueden favorecer efectos indeseados de deterioro y alteración (Barberena Fernández, 2015:97).

Cuando sea requerido este tipo de tratamientos, se deben considerar varios aspectos, entre ellos, el tipo de sustrato en el que se aplicará el material así como sus características; su contexto medioambiental —que generalmente es el que propicia las transformaciones del sustrato—; y el tipo de material a aplicar y sus propiedades —comportamiento ante el envejecimiento y ante las condiciones geoclimáticas en las que se encuentre el sustrato a tratar—. Estos tres aspectos condicionarán la interacción de los materiales una vez que conformen un sistema (soporte-recubrimiento). Por último, una vez determinado lo anterior, se podrá seleccionar el recubrimiento para el tratamiento, así como el sistema operativo para su aplicación.

1.5.1 Propiedades y características del sustrato o soporte

La aplicación de un recubrimiento de protección sobre un sustrato o soporte dependerá de las propiedades y características del material a tratar, así como de las propiedades que definen su estructura interna; de las propiedades relacionadas con la presencia de agua (permeabilidad al agua líquida y al vapor de agua, velocidad de secado, etc.) y de las propiedades mecánicas (módulo de resistencia a la ruptura y a la flexión, dureza superficial, etc.). El conocer dichas propiedades ayuda a determinar los tratamientos más adecuados (Esbert Alemany & Losada Aranguren, 2003:28; García Pascua *et al.*, 1993:48-49).

1.5.2 Propiedades y características del recubrimiento

Estas propiedades y características incluyeron cuestiones físicas, químicas y mecánicas de los recubrimientos, así como su manejo por el operario. Para los fines de este trabajo, se consideraron los siguientes criterios:

- › Deberá tener capacidad de penetración hacia el interior del sustrato. Para la aplicación de consolidantes se recomienda utilizar una viscosidad baja, inferior a 5mPa·s (Barberena Fernández, 2015:98; García Pascua *et al.*, 1993:50) sin embargo, para un recubrimiento se podría tener un rango mayor de tolerancia.
- › Es preferible que no genere una capa muy robusta en superficie (García Pascua *et al.*, 1993:50).
- › No debe ser corrosivo (García Pascua *et al.*, 1993:50).

- › Debe tener amplia resistencia a sustancias alcalinas y ácidas (García Pascua *et al.*, 1993:50).
- › Si necesita reacción de curado, es recomendable que éste sea en frío. Lo ideal es optar por materiales que polimericen a temperatura ambiente (Alcalde, Villegas, Vale & Martín, 1990 ctd. en Barberena Fernández, 2015:99).
- › De preferencia el recubrimiento y sus diluyentes deben tener nula o baja toxicidad tanto para el operario como para el medio ambiente; se recomienda el agua como disolvente óptimo (Lithman & Riecken, 1995 ctd. en Barberena Fernández, 2015:99).
- › Debe tener cualidades cromáticas iguales al sustrato original, o en su defecto similares, para generar disonancia visual —al menos perceptible al ojo humano— cuando éste sea aplicado. El color va relacionado con la preservación de la apariencia “estable” de los objetos, y si es que ocurre un cambio, debe ser debidamente justificado (Martín, 1996).

1.5.3 Consideraciones para el sistema sustrato-recubrimiento

Todos los tratamientos tienen un tiempo de vida útil y finito, y su duración está estrechamente vinculada a las condiciones y contexto ambiental en donde se encuentren; no obstante, las transformaciones pueden ocurrir de manera rápida y violenta, o de manera lenta y sin cambios dramáticos (Fort, 2007:78; García Pascua *et al.*, 1993:44). Las consideraciones que aquí se presentan se basaron en las investigaciones y recomendaciones de conservación para materiales cerámicos⁵⁸ y geomateriales:

- › El tratamiento debe de ser retratable. Debido a que la reversibilidad de este tipo de tratamientos es parcial y limitada, es necesario que, cuando la eficiencia protectora del recubrimiento a aplicar disminuya o finalice, pueda ser renovado o reemplazado, sin dañar o perjudicar el sustrato (García Pascua *et al.*, 1993:48; Camaiti, 1991 ctd. en Barberena Fernández, 2015:100). En el caso del tratamiento de fibrocemento, se debería optar por renovar el material de tratamiento, debido a que reemplazarlo implicaría acciones sobre el soporte que pueden propiciar su detrimento.

⁵⁸ Término con un enfoque desde la ciencia e ingeniería de materiales.

- › El material debe ser estable. No debe tener transformaciones negativas en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas —sobre todo si su función es la de una película contra agentes extrínsecos—. De entre las transformaciones más relevantes a evitar destacan la generación de subproductos dañinos y cambios drásticos en las cualidades estéticas y cromáticas del soporte original. Por otra parte, su rendimiento ante factores de degradación debe ser menor a la del sustrato, o en todo caso, alterarse de manera similar a éste, para mantener sus propiedades en el tiempo (Fort, 2007; Esbert Alemany & Losada Aranguren, 2003; Villegas Sánchez, 2003; García Pascua *et al.*, 1993; Martínez Justicia, 1990; Knopman, 1975; Amoroso & Fassina, 1983).
- › Tiene que ser durable. Su efecto protector debe permanecer el mayor tiempo posible ante las inclemencias del contexto en el que esté ubicado: contaminantes, insolación, fluctuaciones de temperatura y humedad, además de fotodegradación, erosión y fuerzas físicas (García Pascua *et al.*, 1993:50).
- › Tiene que dotar al sustrato de cualidades óptimas. Es preferible que el material de tratamiento —una vez aplicado y posterior a su envejecimiento— mejore las propiedades físico-mecánicas del sustrato (Gómez González, 2009 ctd. en Barberena Fernández, 2015:99; García Pascua *et al.*, 1993:49); que tenga una elasticidad y flexibilidad similar a la del soporte, y que consiga expandirse y contraerse uniformemente y a la par del sustrato para evitar tensiones y estrés físico-mecánico que propicien la formación de fisuras, desprendimientos y pérdida de material (Arroudj, Zenati, Nadjib, Bali & Tagnit-Hamou, 2011:569-576 ctd. en Barberena Fernández, 2015:99; García Pascua *et al.*, 1993:49-50).
- › Es preferible que no se genere una interfase definida, ya que indicaría una inadecuada deposición y distribución del recubrimiento en el sustrato. Lo anterior tiene que ver con dos aspectos: las propiedades y estructura interna del material a tratar —porosidad, permeabilidad, etc.— y las propiedades del material de tratamiento antes del conformar la resina —la viscosidad, la concentración del producto, etc.— (Barberena Fernández, 2015:98-99).

- › Una vez aplicado, el material deberá permitir la circulación de vapor de agua del medio ambiente al sustrato y viceversa (Esbert Alemany & Losada Aranguren, 2003:28; Pianceti *et al.*, 1995 ctd. en Barberena, 2016:100; García Pascua *et al.*, 1993:48).
- › Idealmente, el material no deberá modificar drásticamente o negativamente el sistema poroso del sustrato. Es posible reducir la porosidad ya que implica una reducción en la cantidad de agua absorbida, sin embargo, se tiene que evitar cerrar este sistema por completo, o en su defecto, aumentar el porcentaje de poros pequeños dentro de su estructura, ya que podría propiciar la vulnerabilidad del soporte al deterioro, específicamente por acción de ciclos de deshielo y cristalización de sales (Pérez, Villegas, Vale, Bello & Alcalde, 1995:203-211, ctd. en Barberena Fernández, 2015:109; Vásárhelyi & Ván, 2006; García Pascua *et al.*, 1993:49).

1.5.4 Consideraciones finales: materiales para el tratamiento y método de aplicación

- › Se deberán tener en cuenta las recomendaciones de los fabricantes del material, especialmente a las especificadas durante la aplicación —condiciones de temperatura y humedad— (Esbert Alemany & Losada Aranguren, 2003:29).
- › Considerar que, tanto el material como el método de aplicación, sean económicos; especialmente en obras de grandes dimensiones (García Pascua *et al.*, 1993:50).

Finalmente, los criterios, consideraciones y recomendaciones que aquí se presenta no son absolutas; se espera que con futuras investigaciones se pueda abonar al mejoramiento de lo que aquí se expone y, de ser necesario, hacer modificaciones o replanteamientos acorde a las necesidades de conservación y restauración de este tipo de bienes patrimoniales.

II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Con base en los antecedentes, y con la finalidad de probar la hipótesis y cumplir con los objetivos planteados de la investigación, se decidió simular el sistema de estratos de una pintura mural moderna con la elaboración de probetas que pudieran ser sometidas a pruebas físico-mecánicas, análisis elementales destructivos, y a condiciones inducidas de envejecimiento acelerado. La selección de los materiales se decidió a partir del estudio de la técnica de manufactura del Mural N°3 exterior de La Tallera, mientras que la metodología a partir de su diagnóstico material, en donde una vez identificadas las causas extrínsecas de deterioro, se buscó replicar las condiciones a las que se ha expuesto el caso de estudio. En este capítulo se hace referencia a los criterios de selección de los materiales; a sus características químicas, comerciales y técnicas; y a las etapas de la metodología experimental.

2.1 MATERIALES

En este apartado se hace referencia a los criterios de selección de los materiales para los sistemas probeta, y a datos particulares de los mismos como origen, composición y características fisicoquímicas y mecánicas. Posteriormente, se describen los datos técnicos y comerciales de los productos que se utilizaron para la elaboración de estos sistemas, y se menciona la nomenclatura que se les asignó e identificó durante toda la investigación.

2.1.1 Criterios de selección de materiales

La selección de los materiales estuvo determinada por los antecedentes de los mismos; para la elaboración de los sistemas probeta, el panel de fibrocemento y el recubrimiento utilizado como capa pictórica se seleccionaron a partir de las similitudes de éstos con los materiales originales del caso de estudio. Con respecto al soporte, se procuró que éste fuera de la misma composición y características físicas a las del panel original; en el caso de la composición, se tomaron en cuenta las especificaciones del fabricante; y en el caso de las características físicas, se procuró un espesor similar a los paneles utilizados por Siqueiros en sus obras monumentales. Por otra parte, la pintura aplicada como capa pictórica se seleccionó con base en el antecedente que existe en su uso y aplicación por Siqueiros en sus pinturas murales,

aunado a que en investigaciones anteriores ya ha sido caracterizada y estudiada (Mejía González, 2016). Para la selección de los tres recubrimientos industriales se consideraron cuatro criterios: recubrimiento previamente aplicado sobre soportes de pintura mural moderna; estudiado con anterioridad por instancias dedicadas al estudio y conservación del patrimonio cultural artístico —aún de manera básica y sencilla—; recomendado por la industria —recubrimiento *ex profeso* para fibrocemento o en su defecto para alguno de los materiales que lo conforman—; y finalmente, que fuera asequible en el mercado (accesible y económico).

Para esta investigación, los recubrimientos a estudiar fueron clasificados en gama alta, gama media y gama baja, cuestión que estuvo determinada por su aplicación en el ámbito industrial (tercer criterio de selección). Los recubrimientos seleccionados fueron una resina acrílica base agua, que se consideró como un recubrimiento de gama alta debido a que está fabricado para aplicarse sobre fibrocemento; un barniz de poliuretano alifático de dos componentes base solvente, que se clasificó como gama media ya que puede ser aplicado sobre materiales elaborados con cemento; y finalmente, un esmalte alquidálico base solvente, el cual se consideró de gama baja pues no está fabricado para ser aplicado sobre cemento o sus prefabricados como el asbesto-cemento, sin embargo, sí ha sido aplicado sobre soportes de este tipo.

En la siguiente tabla, se hace una relación de los recubrimientos seleccionados y los criterios para su selección en orden de importancia para esta investigación (Tabla 2). Asimismo, en la imagen consecutiva, se muestra la nomenclatura utilizada para la identificación de todos los materiales de manera individual, la cual se determinó con base en su composición y en el nombre comercial (Figura 11).

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RECUBRIMIENTOS INDUSTRIALES					
Recubrimiento	Gama	Criterio 1 (previamente aplicado sobre soportes de pintura mural moderna)	Criterio 2 (previamente estudiado)	Criterio 3 (recomendado por la industria)	Criterio 4 (accesible y económico)
Resina acrílica	Alta			X	X (\$\$\$)
Barniz de Poliuretano	Media		X	X	X (\$\$)
Esmalte alquidático	Baja	X			X (\$))

Tabla 2. Criterios de selección de los recubrimientos industriales



Figura 11. Nomenclatura asignada para cada uno de los materiales utilizados en la experimentación

2.1.2 Soporte de asbesto-cemento

Como soporte para los sistemas probeta se utilizaron paneles de fibrocemento (FC) manufacturados por la empresa Procovers® de la marca Cempanel® natural de 1.22 x 2.44m y 12mm de grosor con acabado gris claro mate y textura lisa por el anverso y rugosa por el reverso (Figura 12). Según la descripción de la ficha técnica, los paneles están compuestos por una matriz de cemento Portland, sílice, fibras —probablemente de asbesto blanco— y aditivos (Ficha técnica CENPANEL, s/f). Cabe mencionar que la marca Cempanel® es a su vez una marca registrada por Mexalit Industrias S.A. de C.V. y Grupo Eureka, empresa que en su momento le proporcionó a Siqueiros paneles de fibrocemento para su producción de obra mural durante la década de los 60 y 70.

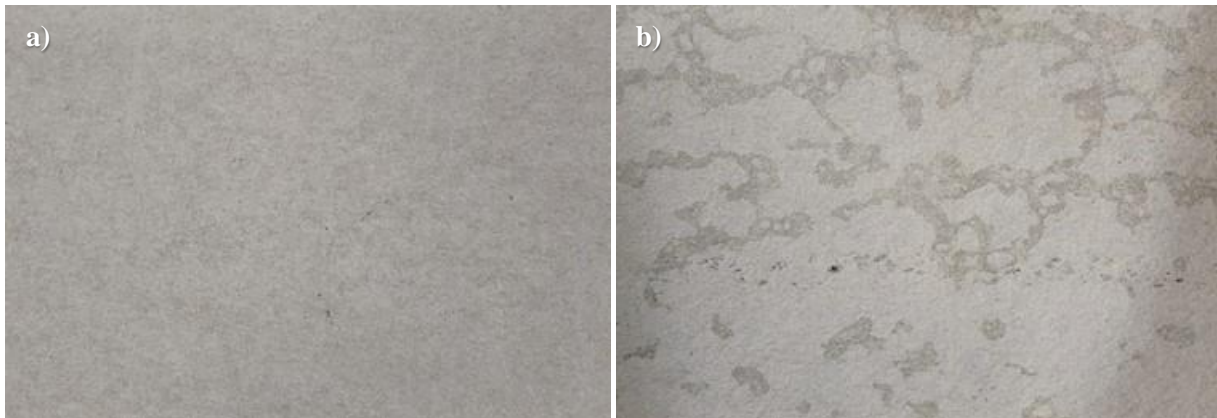


Figura 12. Panel de fibrocemento marca Cempanel® natural usado en la etapa experimental, *a)* anverso y *b)* reverso.

El fibrocemento es un material de tipo compuesto conformado por una matriz o material sustentante de cemento Portland, un material reforzante de fibras de asbesto y otros materiales, sustancias y cargas que le confieren propiedades específicas (Jarabo Centenero, 2013:1; Cervantes Alatorre, 1996:48-55). Dentro del compuesto, la pasta de cemento proporciona cohesión y tenacidad; mientras que los filamentos de asbesto dotan a la mezcla de resistencia mecánica, resistencia a la tracción y a altas temperaturas, además de disminuir en gran medida la densidad del sistema (Askeland *et al.*, 2017:651 y 661; Stupenengo, 2011:7, 9, 16-17; Duggal, 2008:501-503; Santiago Olivares *et al.*, 2003:46; Callister, 2002:550).

Cemento

El cemento es un conglomerado en polvo compuesto principalmente por clinker y sulfato cálcico hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). El clinker se obtiene a partir de la calcinación —a una temperatura de entre 1400°C a 1500°C — de cal y arcillas; éstas últimas idealmente compuestas por óxido de silicio (SiO_2), óxido de aluminio III (Al_2O_3) y óxido de hierro III (Fe_2O_3) (Barberena Fernández, 2015:62; Cervantes Alatorre, 1996:39-42) (Figura 13).

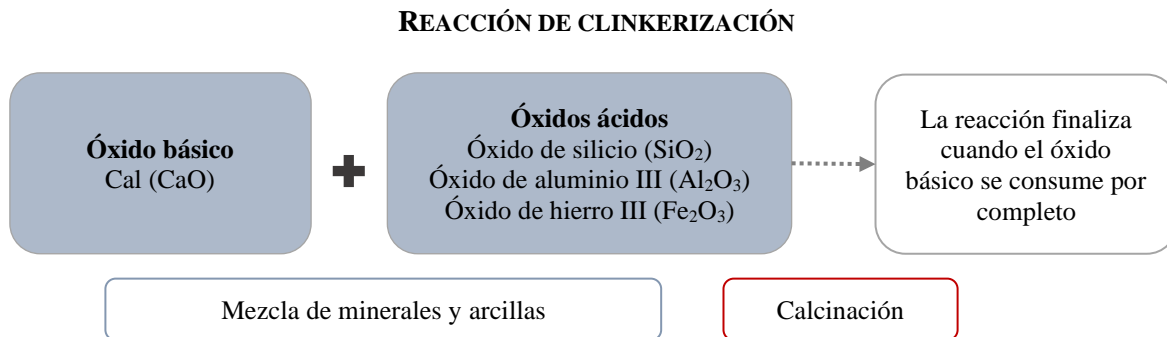


Figura 13. Proceso de reacción de los componentes del Clinker durante la calcinación (Barberena Fernández, 2015:62; Cervantes Alatorre, 1996:39)

Una vez ocurrida la reacción propiciada por la calcinación, el clinker adquiere una composición de fases; entre las principales se encuentran el silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico (Tabla 3), las cuales dotan al cemento de características particulares que influyen en el proceso de hidratación del conglomerado (Barberena Fernández, 2015:63-64; Cervantes Alatorre, 1996:39).

PRINCIPALES FASES QUE COMPONEN AL CLINKER DESPUÉS DE LA CALCINACIÓN		
Fase	Fórmula	Propiedades y características que aportan a la mezcla
Silicato tricálcico	3CaO•SiO ₂	Compuesto en mayor cantidad dentro de la mezcla. Reacciona de manera rápida en contacto con el agua. Propicia el desarrollo de gran resistencia en poco menos de un mes
Silicato dicálcico	2CaO•SiO ₂	Segundo compuesto con mayor presencia en la mezcla. Propicia una reacción más lenta con el agua en comparación al silicato tricálcico. Sufraga al desarrollo de resistencia en el cemento a largo plazo
Aluminato tricálcico	3CaO•Al ₂ O ₃	Tercer compuesto con mayor presencia en la mezcla. Propicia una reacción rápida con el agua e incluso con este material se puede prescindir del uso de otro regulador de fraguado, como el yeso. Mejora la resistencia inicial del cemento
Ferroaluminato tetracálcico	4CaO Al ₂ O ₃ •Fe ₂ O ₃	Cuarto compuesto con mayor presencia dentro de la mezcla.

Tabla 3. Fases principales del clinker formadas posterior al proceso de calcinación de los minerales y arcillas (Barberena Fernández, 2015:63-64)

El segundo componente del cemento es un mineral de coloración blanquecina comúnmente conocido como yeso o yeso cocido. Es un material que se obtiene a partir del aljez o piedra de yeso; roca sedimentaria que contiene sulfato cálcico CaSO_4 y agua. Cuando el mineral es sometido a un aumento inducido de temperatura, comienza a perder el agua contenida en su estructura. A medida que ocurre esta pérdida de agua, se propician transformaciones en el mineral y en sus propiedades, lo que posibilita obtener diferentes tipos de yeso. Este material actúa como un regulador para el fraguado del cemento (Barberena Fernández, 2015:64; de Villanueva Domínguez & García Santos, 2001).

Por último, para conformar la materia prima del cemento Portland, el clinker y el yeso se pulverizan, dosifican, mezclan y homogenizan. Una vez que se conforma el conglomerado, la formación de la pasta inicia con la adición de agua, la que propicia reacciones de disolución y precipitación a partir de la hidratación de los compuestos, lo que da paso al proceso de fraguado mediante reacciones exotérmicas (Figura 14). Posteriormente, la mezcla pasa de ser un polvo a ser una masa plástica que se espesa y finalmente, se endurece (Barberena Fernández, 2015:64-66; Cervantes Alatorre, 1996:39). Los compuestos que se generan posteriormente a la hidratación son portlandita, silicato cálcico hidratado (otorga la mayor parte de la resistencia mecánica y la durabilidad), sulfoaluminato de calcio hidratado y monosulfoaluminato cálcico hidratado. En el siguiente diagrama (Figura 14) se representa el proceso de hidratación y los principales compuestos que intervienen y se forman antes y después de la reacción.

REACCIÓN DE HIDRATACIÓN EN EL CEMENTO

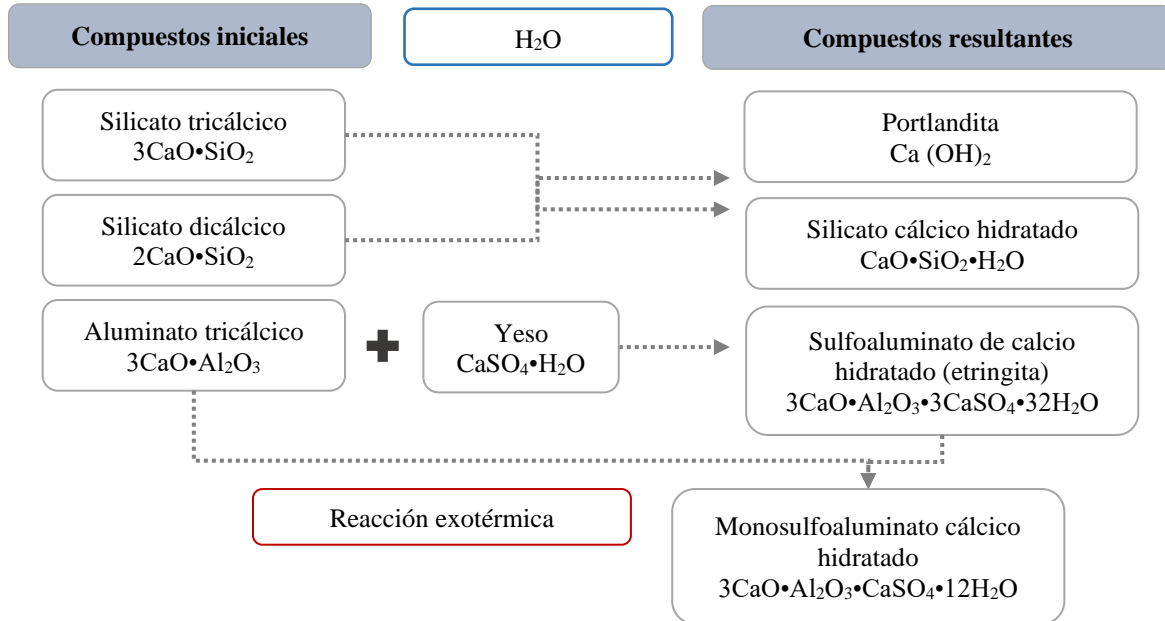


Figura 14. Reacción de hidratación de los principales compuestos del cemento que intervienen y se forman después de la reacción (Barberena Fernández, 2015:65; Cervantes Alatorre, 1996:40-41)

Fibras de asbesto

Otro de los componentes sustanciales del fibrocemento son las fibras⁵⁹ de asbesto, minerales presentes en algunas formaciones rocosas a manera de vetas englobadas dentro de una roca, que debido a movimientos telúricos se cristalizaron en forma de fibras (Cervantes Alatorre, 199:22). Este mineral está constituido principalmente por silicatos complejos de hierro, aluminio, magnesio y sodio, y en función de su estructura cristalina, se clasifica en dos grupos; serpentinas (perteneciente a la clase de filosilicatos⁶⁰) y anfíboles (perteneciente a la

⁵⁹ En general, se le denomina fibra al hábito o apariencia de un mineral cuando consta de grupos radiales o paralelos de cristales distintos. Los de hábito o apariencia fibrosa son agregados fibrosos delgados, paralelos o radiales (Klein & Hurlbut, 2001a).

⁶⁰ “[...] apariencia hojosa o escamosa [...] son por lo general blandos, de peso específico relativamente bajo y las laminillas de exfoliación pueden ser flexibles e incluso elásticas” (Klein & Hurlbut, 2001a).

clase de inosilicatos⁶¹ de cadena doble). Dentro de las serpentinas está el crisotilo o asbesto blanco, y dentro de los anfíboles están crocidolita⁶² (amianto azul), amosita⁶³ (asbesto pardo), antofilita, tremolita y actinolita (*Guía para la prevención de la exposición de amianto*, s.f.:10-12; Klein & Hurlbut, 2001b:541-568).

La variedad de asbesto más utilizada a nivel nacional e internacional en la industria y en la prefabricación de materiales de cemento es el crisotilo del grupo de las serpentinas, el cual es un silicato de magnesio obtenido de rocas ígneas y metamórficas, y se caracteriza por tener fibras largas, tubulares —a menudo huecas—, flexibles y muy finas. En uso y comercialización le siguen la crocidolita y la amosita del grupo de los anfíboles (Figura 15); la primera tiene alta resistencia a altas temperaturas y la segunda mayor dureza que las otras variedades (*Guía para la prevención de la exposición de amianto*, s.f.:10-12). El crisotilo se caracteriza por ser incombustible, tener alta resistencia físico-mecánica, ser mal conductor, no ser propenso a biodegradarse, tener baja conductividad química y tener alta resistencia al ataque químico (Jarabo Centenero, 2013:1-4; Cervantes Alatorre, 1996:36).

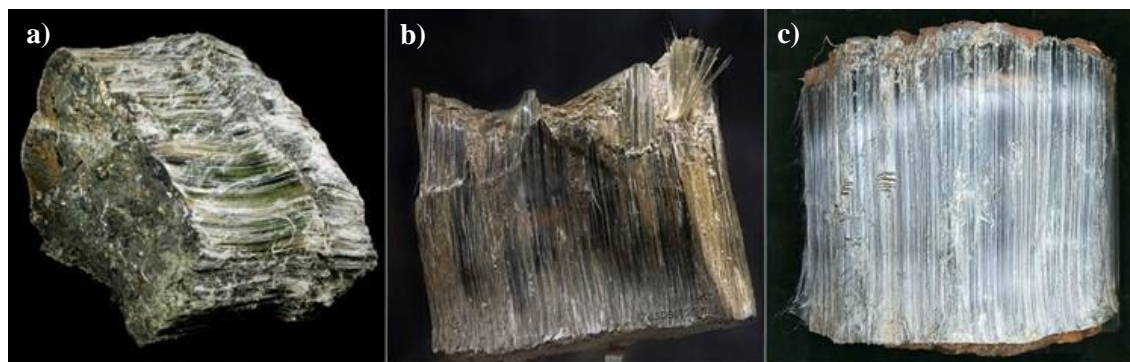


Figura 15. Principales variedades de asbesto. a) Crisotilo, b) Amosita y c) Crocidolita.

Recuperado de <http://asbestosillness.blogspot.com/2017/01/types-of-asbestos.html>

⁶¹ Están compuestos por átomos de silicio y oxígeno, los cuales están unidos mediante enlaces covalentes y uniones iónicas con cationes diversos.

⁶² Variedad fibrosa del anfíbol riebeckita.

⁶³ Variedad fibrosa del anfíbol grunerita.

Adicionales a la mezcla

En la literatura se menciona que hay otros materiales, sustancias y cargas que se pueden adicionar durante la fabricación de fibrocemento. De entre estos materiales se encuentran dióxido de silicio (SiO_2), carbonato de calcio (CaCO_3), pigmentos, floculantes y *SCRAP*. El primero frecuentemente se utiliza para acelerar el fraguado, además de que genera cierta protección ante el ataque químico debido a su baja alcalinidad y alta resistencia a la acción de sulfatos. El carbonato de calcio tiene varios propósitos; es utilizado como material cohesivo o aglutinante —igual que el cemento—, y en ocasiones, es agregado de manera vasta a la argamasa de fibrocemento para así disminuir la cantidad de fibras en la mezcla⁶⁴; lo que abarata el costo de producción del producto final debido a que aumenta el volumen de la pasta.

Los pigmentos son frecuentemente empleados para dotar de color a ciertos prefabricados de fibrocemento que así lo requieren. El floculante no dota de ninguna propiedad relevante a la mezcla, sin embargo, usualmente es empleado sobre todo en el proceso de producción de los prefabricados de fibrocemento, ya que ayuda a la retención de partículas finas y a recuperar agua después de pasar por la máquina, aumentando la velocidad de sedimentación, haciendo más eficiente el proceso de decantación y eliminando la formación de espumas.

Por último, el *SCRAP*, llamado también “finos”, son materiales prefabricados de fibrocemento que por una u otra razón no cumplieron con el estándar de calidad. En el proceso de producción son molidos y agregados a la pasta inicial con el objetivo de reaprovechar el material en la fabricación de nuevos prefabricados (Cervantes Alatorre, 1996:48-55). En la siguiente figura se representa de manera gráfica el proceso general de elaboración de materiales de fibrocemento, desde la mezcla de la pasta inicial hasta la producción de los prefabricados (Figura 16).

⁶⁴ Adicionar más cantidad de carbonato de calcio que de fibras de asbesto puede resultar contraproducente, debido a que la resistencia del prefabricado disminuye.

PROCESO DE FABRICACIÓN DE PANELES DE FIBROCEMENTO

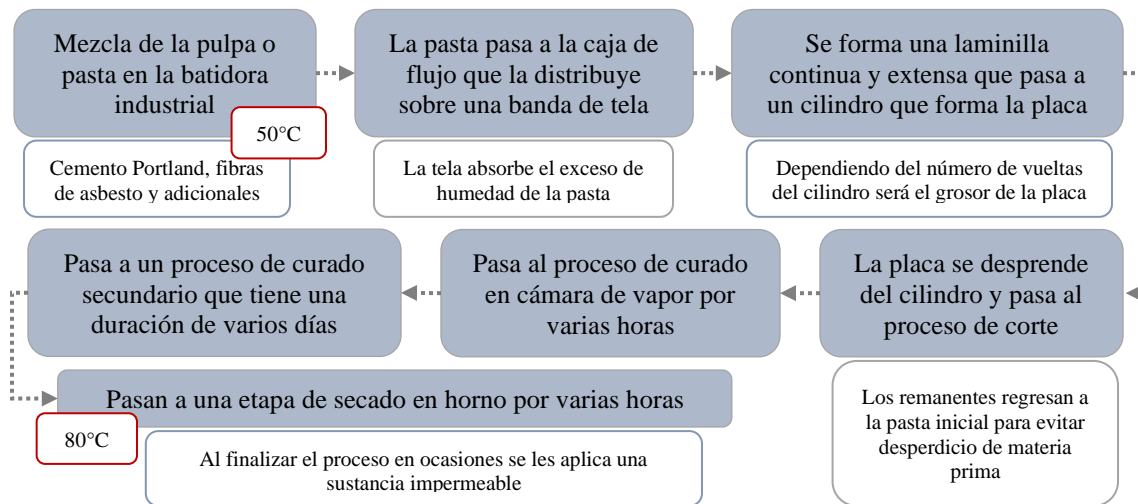


Figura 16. Diagrama del proceso de fabricación industrial de los paneles de asbesto-cemento (ExpertoPlycem, 2014; Cervantes Alatorre, 1996)

2.1.3 Recubrimientos

En esta investigación se aplicaron cuatro materiales; por el anverso del soporte de fibrocemento se aplicó una pintura acrílica como capa pictórica, y por el reverso, tres recubrimientos industriales de diferente naturaleza. Los recubrimientos una vez aplicados conformaron un sistema de estratos que tuvo por objetivo simular la estratigrafía de una pintura mural moderna y conocer la interacción entre éstos.

Como capa pictórica se aplicó una pintura acrílica base agua de la marca Politec® en color carmín 319 (CP) (Figura 17). De manera particular, esta pintura se caracteriza por ser un “recubrimiento con buen poder cubriente, buena consistencia para la cobertura rápida y fácil, además de tener un alto nivel de pigmentación” (Pintura Politec, s.f.).

El primero de los recubrimientos industriales aplicado fue una resina acrílica de la marca Colorcel® (CC) (Figura 17). Es un material base agua, de coloración beige claro mate, que dentro de su formulación contiene elementos aglomerantes y agentes biocidas. En general, el producto puede ser utilizado como sellador y como resanador, sin embargo, para la etapa experimental se utilizó como sellador. Según sus especificaciones, además de

ser fácil de aplicar, se caracteriza por tener gran resistencia, alta durabilidad y buen aguante a la intemperie. Es un recubrimiento que además de aplicarse en techos de fibrocemento, puede utilizarse sobre fachadas y muros al exterior elaborados con concreto, aplanados de yeso, ladrillo y materiales en general elaborados con cemento.

Químicamente, las resinas sintéticas tipo acrílicas son polímeros generados a partir de la polimerización de diferentes monómeros derivados del ácido acrílico o propanóico y ésteres que forman un copolímero (Schwarz, 2002; Doerner, 2001). Son denominados termoplásticos, y en general se utilizan como emulsión, recubrimiento, adhesivo, lubricante, etc. (Diccionario de Química Oxford, 1999; Bilurbina, Bilurbina Alter, & Liesa, 1990). A estas resinas frecuentemente se les puede añadir aditivos y mezclarse con otros productos para mejorar sus cualidades (Fort, 2007:73).

El segundo recubrimiento aplicado fue un barniz de poliuretano alifático marca Polyform[®] distribuido por la empresa Comex[®] (BP) (Figura 17). Este material está conformado por dos sustancias, barniz 11000 y catalizador 250; es base solvente y tiene un acabado transparente y brillante. La ficha técnica de este producto especifica que la mezcla inicial debe de ser a una proporción 3:1; tres partes de barniz por una de catalizador. Idealmente, se recomienda utilizar en superficies de madera, no obstante, también puede aplicarse sobre sustratos porosos como metal, cantera y concreto. Es descrito como un material de “alta resistencia al tráfico y a la exposición del medio ambiente”, y una vez preparado, tiene una vida útil de 8 horas; después de ese tiempo, el producto se endurece y ya no puede ser aplicado (Ficha técnica. Barniz 11000 brillante, 2014).

Químicamente, este tipo de polímero se conforma principalmente de grupos primarios de uretano que, dependiendo del grado de entrecruzamiento de sus enlaces, puede tener un comportamiento termoestable, termoplástico o de elastómero; es por ello que tiene diversas aplicaciones en el ámbito industrial (Askeland *et al.*, 2017:637; Trujillo Flores, 2000:6 y 8). Los poliuretanos termoplásticos son normalmente elastómeros, que no requieren vulcanización⁶⁵ para su proceso. La resistencia mecánica y la estabilidad termomecánica están dadas por los enlaces físicos reversibles entre sus cadenas (puentes de hidrógeno).

⁶⁵ Proceso que implica la aplicación de calor en presencia de azufre. Tiene por objetivo dotar al material de dureza y elasticidad, además de aportar resistencia a bajas temperaturas y al ataque químico.

Este tipo de poliuretano se caracteriza por su elasticidad, su alta resistencia a la abrasión, al desgaste y al desgarre. Finalmente, no es propenso a perder elasticidad a bajas temperaturas (Trujillo Flores, 2000:17).

Por último, el tercer recubrimiento aplicado fue un esmalte alquidálico base solvente de la marca NovoPermo[®] distribuido por la empresa DuPont[®]-AXALTA[®] (EA) (Figura 17). El material es descrito como un producto de “excelente poder cubriente, alto brillo y secado rápido que da protección a estructuras metálicas” (Technical data sheet NovoPerno básico, 2014; Pinturasalcar, s.f.). El color seleccionado fue el YK905 gris perla semimate, debido a que previamente ya ha sido aplicado en proyectos de restauración de pintura mural moderna (García Cruz, comunicación personal, 09 de abril de 2018).

En su estructura química, los polímeros alquidálicos o alquídicos son resinas poliéster que están elaborados a partir de la polimerización por condensación de tres tipos de monómeros: polioles, ácidos dicarboxílicos o anhídrido de ácido carboxílico y ácidos grasos o aceites de triglicéridos. Sin embargo, también es posible encontrar resinas alquidálicas modificadas con otro tipo de monómeros o sustancias. Este tipo de materiales pueden reticular en contacto con el oxígeno del aire o mediante una reacción química con otra resina o sustancia tipo catalizador (Giudice & Pereyra, 2009:10; Jones, 2000:429-430). Usualmente este tipo de resinas se utilizan y aplican como pinturas, esmaltes, lacas y barnices, en donde la resina funciona como aglutinante. Se caracterizan por ser resistentes a la intemperie, debido a que no son vulnerables a los deterioros propiciados por el agua y los álcalis (Giudice & Pereyra, 2009:11).



Figura 17. Recubrimientos utilizados en la elaboración de los sistemas probeta, *a*) Pintura acrílica de la marca Politec® (CP), *b*) resina acrílica (CC), *c*) Barniz de poliuretano (BP), y *d*) Esmalte alquidílico (EA)

De manera general, los recubrimientos industriales son polímeros que están compuestos por pequeñas moléculas llamadas monómeros que conforman la estructura de la macromolécula a manera de cadenas, ya sea lineales o ramificadas. Generalmente, el tamaño de estas cadenas determina las propiedades del material polimérico, como el punto de fusión, la resistencia, etc. (Askeland *et al.*, 2017:602-604; Trujillo Flores, 2000:2)

El proceso de formación de las cadenas poliméricas depende de la polimerización, que consiste en la reacción entre monómeros iguales o diferentes. En el primer caso formarán homopolímeros y en el segundo generarán copolímeros. Hay dos tipos de polimerización, en la primera la reacción ocurre de la ruptura entre enlaces dobles de carbono-carbono o etilenos al exponerlos a un indicador que comúnmente es peróxido (polimerización por adición); la segunda se genera a partir de una reacción química para formar un nuevo compuesto (polimerización por condensación) (Askeland *et al.*, 2017:605-609; Trujillo Flores, 2000:3 y 4).

Es posible encontrar cuatro tipos de polímeros; termoplásticos, termoestables o termofijos, elastómeros y elastómeros termoplásticos. Los primeros pueden “fundirse o reblandecerse en su forma polimérica sin degradación” (Trujillo Flores, 2000:5), sus cadenas pueden desligarse y desenredarse al someterlos a algún tipo de esfuerzo, especialmente de tensión, lo que conlleva a un comportamiento plástico y dúctil (Askeland *et al.*, 2017:602). Los segundos generan estructuras tridimensionales o entrecruzadas⁶⁶, debido a que presentan más centros activos, no obstante, sus cadenas no pueden moverse en ningún sentido, lo que conlleva a un comportamiento insoluble. Generalmente suelen ser más fuertes y por ende más frágiles; tienen buena resistencia, rigidez y dureza, pero tienen malas propiedades de ductilidad e impacto. En ensayos de tensión, estos polímeros exhiben el mismo comportamiento que un material de naturaleza metálica o cerámica, mientras que en ensayos en los que se involucre calor tienden a descomponerse. Los terceros, también conocidos como cauchos, pueden comportarse como un polímero termoplástico o termofijo ligeramente entrelazado; “tienen forma de moléculas en espiral que pueden estirarse de manera reversible al aplicarles una fuerza” (Askeland *et al.*, 2017:604). Finalmente, el cuarto tipo de polímero es considerado un grupo especial, debido a que “tiene la facilidad de procesamiento de los termoplásticos y el comportamiento elástico de los elastómeros” (Askeland *et al.*, 2017:604 y 634).

⁶⁶ Los enlaces cruzados no son reversibles (Askeland *et al.*, 2017:602).

2.2 MÉTODOS

El diseño de la experimentación consistió en cuatro etapas. En la primera se realizó la preparación de los sistemas probeta; se cortó el soporte y se prepararon y aplicaron los recubrimientos industriales a estudiar. En la segunda etapa se caracterizaron los materiales, tanto de manera individual como dentro de un sistema de estratos (capa pictórica-soporte-recubrimiento). En la tercera etapa se llevó a cabo el proceso de envejecimiento acelerado y al final, en la cuarta etapa se realizó la evaluación. En el siguiente diagrama se muestra la estructura general de la metodología experimental (Figura 18).

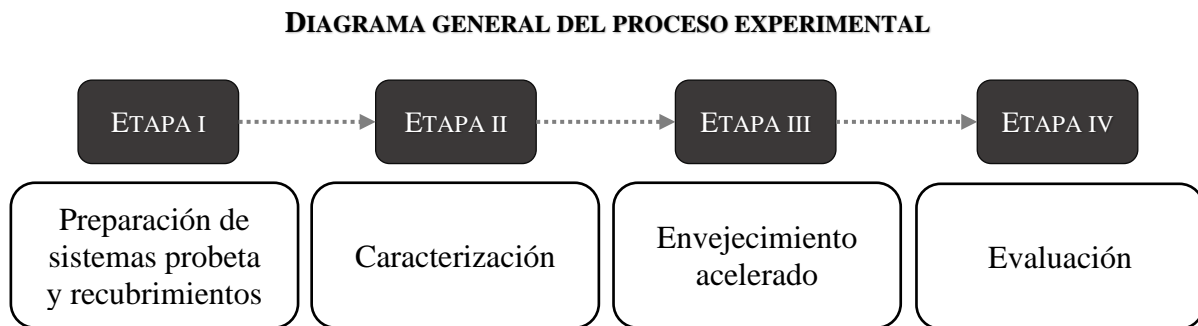


Figura 18. Diagrama general de la experimentación

Específicamente en las etapas II y IV se determinaron las propiedades físicas, mecánicas, morfológicas y composición de cada uno de los materiales de manera individual y como sistema. Las propiedades físicas se determinaron mediante equipos y herramientas de fácil acceso y uso sencillo, esto con el objetivo replicar en futuras investigaciones parte de la metodología que proporciona la información cualitativa y básica del comportamiento de los materiales a macroescala, y que permite tener un primer acercamiento a los materiales en dado caso de no contar con equipos sofisticados para su caracterización. Por otra parte, tanto las propiedades mecánicas como la morfología y composición se determinaron con equipos especializados y técnicas instrumentales, a causa de que esa información solo se puede obtener con análisis estructurales y a microescala.

2.2.1 Preparación de los materiales para los sistemas probeta

Esta etapa consistió en cuatro fases, en las que se determinó el tamaño y proporción del soporte, se realizó el proceso de corte del soporte, se prepararon y aplicaron los recubrimientos (CP, CC, BP y EA), y finalmente, se realizó un registro cualitativo durante el proceso de aplicación (Figura 19).

Durante toda esta etapa —especialmente en la fase de corte—, se acataron las medidas de seguridad e higiene para el trabajo con prefabricados con contenido de asbesto; el equipo de seguridad utilizado⁶⁷ fueron mascarillas de presión negativa con filtros P100 desechables marca 3M, traje completo de Tyvek[®]400⁶⁸ y guantes de nitrilo.

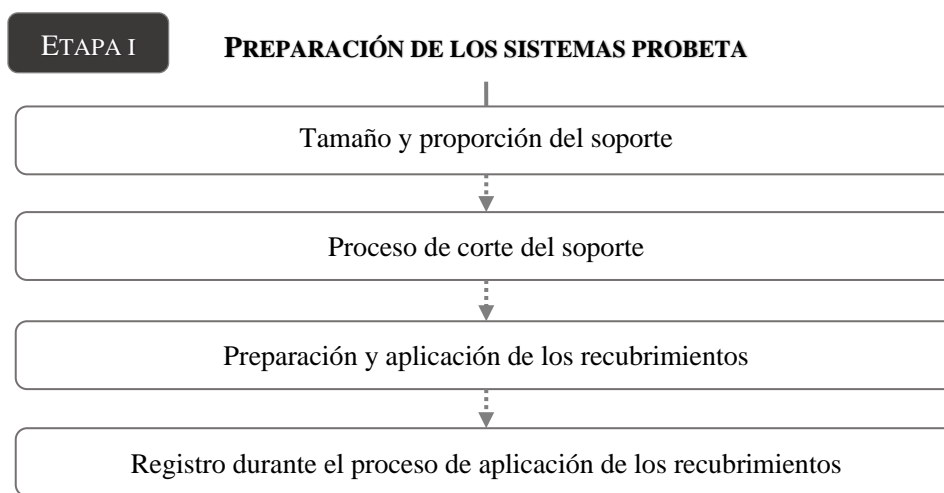


Figura 19. Diagrama de flujo de la Etapa I: preparación de los sistemas probeta

Tamaño y proporción del soporte

El tamaño, proporción y orientación del corte del soporte se determinó con base en la norma ASTM C459 *Standard Test Methods for Asbestos-Cement Flat Products*. Considerando que

⁶⁷ Equipo recomendado por la “Guía de equipos de protección individual para trabajos con amianto (CC.OO. Departamento Confederal de Salud Laboral)”, la cual enfatiza el uso de protección respiratoria desechable, o en su defecto, reutilizable, posibilitando su lavado con agua y jabón; es preferible que la ropa de trabajo y guantes sean desechables (2002:15). Si bien, el documento anteriormente citado es extranjero, con las especificaciones ahí descritas, posibilitó encontrar el material y equipo en el mercado nacional con las características de estándar internacional.

⁶⁸ Traje de alto nivel de protección frente a las partículas, ya que la estructura del tejido tiene un entramado cerrado y es un material antiestático para evitar la adherencia de fibras.

esta norma está diseñada para probar la resistencia a la flexión de paneles delgados o que tienen un comportamiento de lámina, se estableció que el lado más largo del soporte midiera como mínimo diez veces más que el grosor de la misma (Bucio Galindo, comunicación personal, 07 de agosto de 2018).

Con el objetivo de escalar los resultados de la prueba a paneles de gran formato (generar una tendencia que pudiera ser aplicable a los paneles del caso de estudio), se determinaron cuatro medidas diferentes respetando la proporción 2:1, en donde el lado más largo del soporte se cortó de forma paralela al lado más largo del panel (proporción y relación dada por la norma antes mencionada); las medidas fueron de 15X7.5cm, 20X10cm, 25X12.5cm y 30X15cm. Finalmente, para generar una estadística al momento de la prueba, se cortaron cinco soportes de cada medida, número que se multiplicó al doble para someter la mitad de los sistemas probeta a envejecimiento acelerado. En total se cortaron 160 soportes, diez de cada medida por los tres productos a aplicar.

Proceso de corte del soporte

Debido al tamaño de los paneles de fibrocemento se trabajó sobre una mesa improvisada de triplay. Una vez colocados ahí, se empleó un lápiz con punta de grafito para marcar sobre éstos las cuatro dimensiones del soporte. Posteriormente, se realizó el corte con una esmeriladora eléctrica de acero inoxidable (Figura 20). Para evitar la generación masiva de partículas de fibrocemento en el aire, durante el corte se humedeció con agua destilada la superficie de los paneles, el resto de partículas de polvo se recolectaron con aspiradora.

Para el rotulado de residuos, y como lo señala la norma mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, fue necesaria la elaboración de etiquetas con la leyenda CPR-Tt seguido de la clave NE 01 para residuos con fibra de asbesto puro —incluyendo polvo, fibras y productos fácilmente desmenuzables con la presión de la mano—, y con la clave NE 02 para todas las bolsas que tuvieron contacto con la fibra de asbesto, así como los materiales filtrantes provenientes de los equipos de control (filtros, mangas y respiradores personales). Todos los residuos debidamente etiquetados se depositaron en bolsas y contenedores plásticos sellados.



Figura 20. Proceso de corte del panel de fibrocemento para los soportes de los sistemas probeta

Preparación y aplicación de los recubrimientos

Previo a la aplicación de los recubrimientos, se aplicó el recubrimiento CP por el anverso del soporte de FC. La aplicación se realizó a una mano con la pintura sin diluir en dirección al largo del soporte; la aplicación se llevó a cabo con brocha de cerda sintética (Figura 21).



Figura 21. Soportes de FC con CP por el anverso

Respecto a los recubrimientos industriales, en primer lugar, se analizó el costo-beneficio de su posible preparación; se revisó la metodología recomendada por el fabricante, la recomendada por los restauradores del CENCROPAM, y se tomaron en cuenta los resultados de las pruebas realizadas por el IIE-UNAM en los meses de enero y febrero del 2018. En segundo lugar, se tomó en cuenta la posible aplicación del tratamiento a casos

reales, fue por ello que también se consideró el sistema operativo de aplicación (equipo, tiempo y cantidad de material por área). Una vez discutido y analizado todo lo anterior, se decidió preparar y aplicar de la siguiente manera:

CC: No requirió preparación previa, únicamente se mezcló el producto directamente en el bote de compra. La aplicación se realizó con el producto sin diluir y se utilizó una brocha de cerda sintética, procurando saturar por completo la superficie del soporte de FC. Se aplicó únicamente una mano con una dirección a lo largo del soporte (Figura 22).

BP: Como primer paso, el producto se preparó en proporción 3:1 (tres partes de barniz por una parte de catalizador), una vez lista la mezcla base, la aplicación consistió en dos fases: en la primera se aplicó una “capa base” compuesta por dos manos de la mezcla base disuelta en solvente para poliuretano al 50%; la dirección de aplicación de la primera mano fue a lo largo del soporte, mientras que la segunda a lo ancho del mismo. Posteriormente, y con base en las recomendaciones de la ficha técnica del fabricante, la “capa base” se dejó secar durante cuatro horas para luego pasar a la segunda fase, en la que se aplicó el “acabado”. Esta capa estuvo conformada por tres manos de la mezcla inicial disuelta en solvente de poliuretano al 30%; la dirección de aplicación de la primera y tercera mano fue a lo largo del soporte, mientras que la segunda mano se aplicó a lo ancho del mismo. Las cinco manos se aplicaron con brocha de cerda sintética y en cada mano se procuró saturar por completo la superficie del soporte de FC (Figura 22).

EA: El producto se preparó en una proporción 2:1 (dos partes de producto por una parte de solvente, en este caso thinner). Este recubrimiento se aplicó a una sola mano y, al igual que en los otros productos, se utilizó una brocha de cerda sintética, procurando saturar por completo la superficie del FC. Se aplicó únicamente una mano, con una dirección de aplicación a lo largo del soporte (Figura 22).

Después de la aplicación del CP y los recubrimientos en el soporte de FC, se conformó una estratigrafía a la que se le denominó sistema probeta; el sistema 1 se conformó por CP-FC, el sistema 2 por CP-FC-CC, el sistema 3 por CP-FC-BP y, finalmente, el sistema 4 por CP-FC-EA. En la siguiente figura se muestra la nomenclatura con la que se identificó a lo largo de la investigación cada uno de los sistemas probeta (Figura 23).



Figura 22. Aplicación de recubrimientos por el reverso del soporte de FC

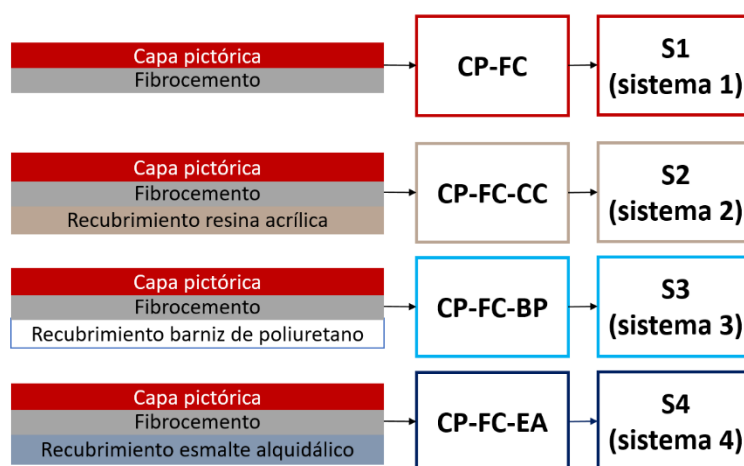


Figura 23. Conformación de los cuatro sistemas probeta y su nomenclatura

Registro durante el proceso de aplicación de los recubrimientos

Durante el proceso de aplicación se realizó el registro respecto a la homogeneidad de la capa formada (+/- grumos), la facilidad de aplicación (+/- fluidez), la cantidad de material aplicado por cm², la dirección de la aplicación, el tiempo de secado al tacto, así como la temperatura y humedad relativa al momento de la aplicación. Lo anterior tuvo por objetivo complementar la información y características de los productos en líquido y determinar su rendimiento.

2.2.2 Caracterización

En esta etapa se realizó la caracterización tanto de los materiales individuales (FC, CP, CC, BP y EA) como los cuatro sistemas (S1, S2, S3 y S4). Se llevó a cabo con el objetivo de conocer la composición y morfología de los materiales y comprender su comportamiento y mecanismo de deterioro de manera individual y dentro del sistema. La caracterización se realizó de manera cualitativa, semicuantitativa y cuantitativa, antes y después de la etapa de envejecimiento acelerado. En general, la etapa consistió en: registrar las cualidades de los materiales desde una perspectiva organoléptica —primer acercamiento—; medir las propiedades físicas y mecánicas planteadas, con base en las necesidades que deben cumplir los materiales en conservación y restauración de bienes culturales; y estudiar la morfología y composición de los materiales y sistemas mediante el uso de técnicas microscópicas, espectroscópicas y difractométricas. En el siguiente esquema se muestra de manera gráfica las propiedades que se midieron y las técnicas analíticas instrumentales utilizadas (Figura 24). Después del esquema, se presenta la descripción de cada una de las propiedades a medir, así como las técnicas de análisis, los equipos utilizados y las condiciones de trabajo.

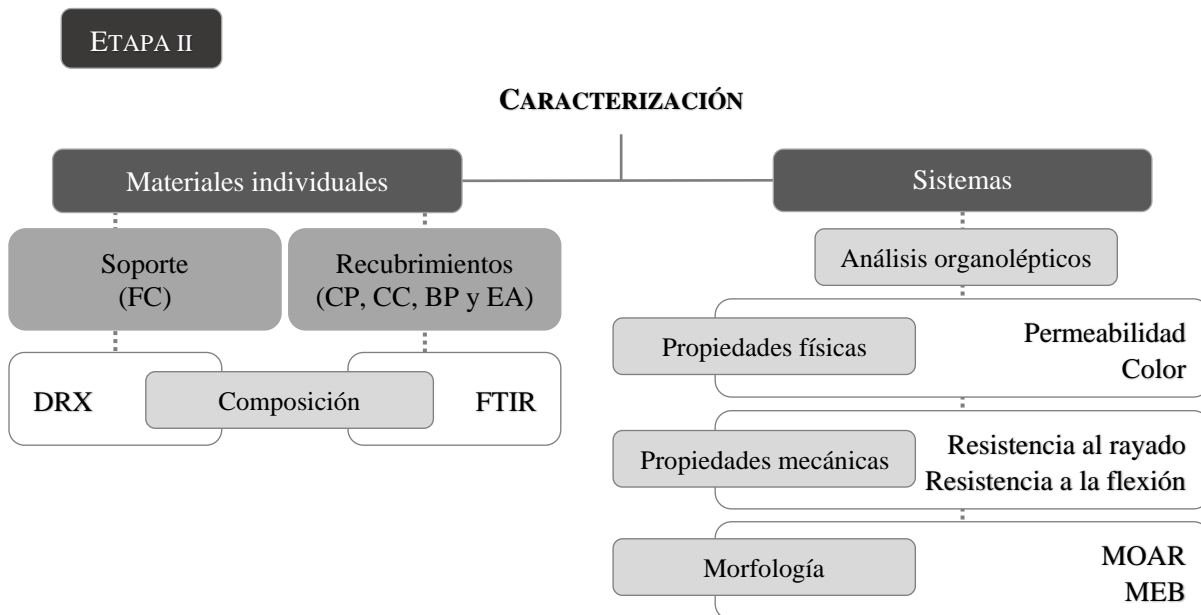


Figura 24. Desarrollo de la Etapa II. Caracterización de materiales individuales y sistemas S1, S2, S3 y S4.

Análisis organolépticos

El análisis organoléptico se realizó con ayuda de una ficha de registro, en la que, de manera muy general y sencilla, se registraron algunas cualidades de los materiales desde una perspectiva organoléptica y sensorial, la cual se realizó en cada uno de los sistemas.

En términos generales, dentro de la disciplina de conservación y restauración, este tipo de estudios resultan ser de gran utilidad para conocer en un primer momento a los materiales, y que posteriormente ayudan a generar hipótesis, así como proponer y justificar estudios y análisis más especializados.

En el caso del FC, con ayuda de la ficha se registraron cualidades físicas, ópticas y tecnológicas como textura —de liso a rugoso—, brillo, color, patrón de manufactura (huella de algún tipo de rodillo o bastidor), fibras aparentes —identificar la presencia del material de refuerzo y si se encontraba cohesionado internamente o en superficie— y orientación de las fibras —para conocer en qué sentido el soporte tendrá un mejor desempeño ante esfuerzos— (Figura 25). En el caso de los recubrimientos y del CP se registraron cualidades físicas y ópticas como color, grosor —de delgado a grueso— y acabado —de brillante a mate—, una vez aplicados en el FC.

Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural LANCIC-IE	
Ficha de registro	
Proyecto: <i>Fibrocemento como soporte de pintura mural moderna: evaluación de recubrimientos industriales para su preservación</i>	Nº Folio:
Responsable del registro:	Fecha:
Datos generales de la zona a registrar	
Identificación:	<input type="checkbox"/> Sección de una obra <input type="checkbox"/> Título de la obra <input type="checkbox"/> Ubicación de la sección en la obra
Técnica aparente:	Dimensiones de la sección o probeta: Base Altura Grosor
Descripción: Estrato 1	
Tipo de soporte:	Brillo a simple vista del soporte: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Textura del soporte: Rugoso <input type="checkbox"/> Liso <input type="checkbox"/>	Patrón de manufactura: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Fibras aparentes del soporte: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Orientación de las fibras del soporte:	
Color a simple vista:	
Descripción: Estrato 2	
Se observa algún tipo de recubrimiento en el soporte: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Per el reverso: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Color: Grosor: <input type="checkbox"/> Delgado <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Grueso A través del recubrimiento es aparente el soporte: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Acabado: <input type="checkbox"/> Brillante <input type="checkbox"/> Semi-mate <input type="checkbox"/> Mate Posible: <input type="checkbox"/> Barniz <input type="checkbox"/> Consolidante <input type="checkbox"/> Fijativo <input type="checkbox"/> Otro	
Se aprecia huella de la herramienta usada para su aplicación: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Descripción: Estrato 3	
Textura: Rugosa <input type="checkbox"/> Lisa <input type="checkbox"/> Brillo a simple vista: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Color a simple vista de la zona: Grosor: <input type="checkbox"/> Delgado <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Grueso	
Acabado: <input type="checkbox"/> Brillante <input type="checkbox"/> Semi-mate <input type="checkbox"/> Mate Superposición de capas: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Se observa la textura del soporte: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	

Figura 25. Ficha de registro para el análisis organoléptico y sensorial

Propiedades físicas

► Color

Propiedad que se percibe por medio de la luz reflejada o no absorbida por un material, y se refiere al rango de luz visible situado entre los 380 y 780nm dentro del espectro electromagnético, única región que es perceptible al ojo humano; cada color, dentro de este rango, posee una longitud y energía determinada (Daish, 1954; Ríos Soberanis, s/f).

El registro de esta propiedad se realizó antes y después de la etapa de envejecimiento acelerado, sobre la superficie de cada uno de los materiales una vez conformado el sistema. Para la medición se utilizaron los parámetros de la tabla Munsell, la cual se basa en un modelo tridimensional que relaciona *hue* (tono), *value* (valor) y *chroma* (croma) definidos por escalas numéricas (Feisner & Reed, 2013; Cochrane, 2014).

El proceso de identificación del color consistió en la comparación de los valores de la tabla Munsell y el color de los materiales, bajo condiciones de luz natural. Los resultados de este análisis se presentaron a manera de tablas, en donde se mostró la clave y el color Munsell identificado. Con esa información se realizaron dos tipos de análisis, el primero fue comparativo entre las cualidades cromáticas del FC y de los recubrimientos CC, BP y EA, cuyo objetivo fue evidenciar qué recubrimiento conservó en mayor medida las cualidades del FC o en su defecto, propició cambios menores. En el segundo tipo de análisis, se estudió el cambio de color ocurrido en cada uno de los materiales después del envejecimiento acelerado, y tuvo por objetivo conocer las variaciones cromáticas que se relacionaron con la degradación e inestabilidad de los mismos ante condiciones de envejecimiento específicas.

► Permeabilidad

Propiedad de un material que permite la transmisión de un líquido o gas, generalmente agua o vapor de agua respectivamente (Teutonico, 1988). El objetivo de esta prueba fue conocer los cambios en el comportamiento de los materiales una vez conformando un sistema de estratos y así identificar o predecir la dinámica de interacción entre éstos.

La medición de permeabilidad se realizó sobre el FC y CP del S1, y en la superficie del CC, BP y EA de los sistemas S2, S3 y S4 respectivamente. El procedimiento consistió en

aplicar una gota de agua sobre las superficies de cada uno de los materiales dentro de los sistemas. La caracterización se realizó a partir del tiempo de la pérdida del ángulo de contacto⁶⁹ y de la absorción total de la gota, antes y después del envejecimiento acelerado. Para un análisis fiable, únicamente se tomaron 15 minutos como rango después de la aplicación de la gota, ya que teóricamente después de este tiempo y a temperatura ambiente, comienza un proceso de evaporación que merma la capacidad de absorción de la gota de agua (Manzur & Cardoso, 2015). Cabe mencionar que, debido a que la prueba se realizó en un área relativamente cerrada, se optó por dejar de registrar el comportamiento de la gota sobre las superficies hasta los 30 minutos, sin embargo, en el análisis de resultados se consideró esta cuestión como variante de absorción/evaporación.

Los materiales utilizados para la medición fueron agujas de insulina de 3ml —que permitieron dosificar las gotas requeridas—, agua destilada y cronómetro digital para registrar el tiempo. Los resultados se procesaron en la aplicación Microsoft Excel® y se graficaron en el programa Origin®.

Propiedades mecánicas

► Resistencia al rayado

La dureza es una propiedad que determina el grado de resistencia a la deformación plástica de un material ante una circunstancia de esfuerzo incidente, ya sea mecánico o por abrasión (Wredenberg & Larsson, 2009). Puede determinarse con pruebas de rayado, de indentación y de rebote; en esta investigación se realizó mediante la resistencia al rayado en donde se utilizó la escala de dureza Mohs. Este sistema utiliza como referencia las cualidades de dureza de diversos minerales, y se basa en el principio de incidencia de éstos sobre una determinada superficie; si el rayado se hace evidente, indicará su valor de resistencia ya que únicamente un material puede ser rayado con otro de mayor dureza (Britannica, 2017; Escobar Bárcenas & Jaramillo Morales, 2008; Klein & Hurlbut, 2001a).

⁶⁹ El ángulo de contacto viene determinado por “la competición entre fuerzas moleculares” que en este caso estuvieron dadas entre un líquido (gota de agua) y un sólido (superficie de FC y los recubrimientos) (Kane & Sternheim, 1991:334).

Mineral	Equivalente cotidiano	Dureza Mohs
Talco	Polvos de talco	1
Yeso	Uña humana	2
Calcita	Moneda de bronce	3
Fluorita	Clavo de hierro	4
Apatita	Vidrio	5
Ortoclasa/feldespato	Cortaplumas	6
Cuarzo	Cuchillo de acero	7
Topacio	Papel abrasivo	8
Corindón	Rubí	9
Diamante	Diamante sintético	10

Tabla 4. Materiales utilizados como referencia para medir la resistencia al rayado en la escala de Mohs (Escobar Bárcenas & Jaramillo Morales, 2008).

Esta propiedad se midió con el objetivo de conocer el comportamiento de los materiales ante un esfuerzo puntual. Para medir la resistencia al rayado de los materiales dentro de los sistemas se utilizó un kit de lápices de dureza marca Mineralab[®], numerados del uno al diez con relación al grado de dureza respectivamente.

La prueba consistió en incidir los lápices —comenzando por el de menor número— sobre el FC, CP, CC, BP y EA, dentro de los sistemas S1, S2, S3 y S4, antes y después de la etapa de envejecimiento acelerado. Para generar una estadística y tener mayor certeza del resultado, la prueba se realizó cinco veces, bajo la observación de un cuentahílos y un microscopio digital USB marca AVEN[®] modelo 26700-300.

El análisis se llevó a cabo en dos momentos, en el primero se compararon entre sí los valores de resistencia de todos los materiales dentro de los sistemas, y en el segundo, se compararon los valores de los recubrimientos CC, BP y EA —dentro del sistema y respecto a los valores de resistencia del FC—, con lo que se determinó el porcentaje de resistencia aportado por cada uno de los recubrimientos al FC. Los resultados se procesaron en la aplicación Microsoft Excel[®] y se graficaron en el programa Origin[®].

► Resistencia a la flexión

Es una propiedad que hace referencia a la resistencia mecánica —previo a que ocurra la ruptura— de un material ante la incidencia de diversos esfuerzos, como cargas dinámicas, cargas estáticas, impactos, etc. (Resistencia a la flexión, 2007; Romero García, Museros Romero, Martínez Rodrigo, & Poy Gil, 2002). Debido a que las pruebas van encaminadas a predecir el comportamiento y resistencia de soportes de fibrocemento, utilizados en obras de gran formato expuestas a movimientos y fuerzas perpendiculares a éstos, como vientos, tensión por la posición vertical de los paneles, etc.; y también al desempeño de los recubrimientos una vez aplicados; se decidió realizar una prueba de flexión en diferentes tamaños de sistemas probeta en una escala proporcional.

La prueba se diseñó con base en la norma ASTM C78 *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*; no obstante, para economizar en materiales, mano de obra, tiempo de diseño y fabricación de las piezas, en lugar de producir varios dispositivos, acorde a las cuatro medidas de los sistemas probeta, se decidió elaborar solo uno que fuese ajustable (Figura 26).

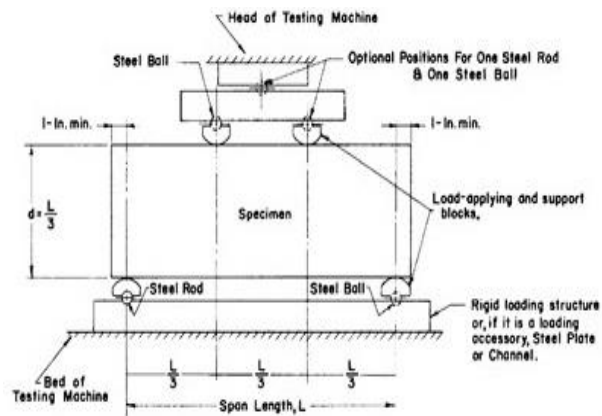


Figura 26. Modelo base para el diseño del dispositivo de la prueba resistencia a la flexión (ASTM C78, 2002:2).

El examen consistió en incidir una fuerza central de manera perpendicular al espécimen con ayuda de una máquina de pruebas universales. La incidencia de la fuerza fue a una velocidad constante (v) y proporcional a la carga (N), entre la distancia (mm):

$$v = \frac{F}{d}$$

Previo a la prueba, se registraron medidas generales de cada sistema probeta (longitud, profundidad y ancho en mm), mientras que durante la prueba se registraron carga

máxima (N) y desplazamiento (mm). Para determinar el módulo de ruptura se realizaron los cálculos mediante fórmulas dadas por la norma bajo los siguientes criterios:

(1) Si la fractura se inició en la superficie de tensión dentro del tercio medio de la longitud del tramo, el módulo de ruptura (R) se calculó a partir de la carga máxima aplicada por la máquina de pruebas universales (P), por la longitud del *span* (L), entre el ancho promedio de la muestra (b), por la profundidad media de la muestra (d^2):

$$R = PL/bd^2$$

(2) Si la fractura ocurrió en la superficie de tensión fuera del tercio medio de la longitud del *span* (a no más del 5% de la medida total de un tercio), el módulo de ruptura (R) se calculó a partir de la carga máxima aplicada por la máquina de pruebas universales (P), por la distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano medido en la superficie de tensión (a), entre el ancho promedio de la muestra (b), por la profundidad media de la muestra (d^2):

$$R = 3Pa/bd^2$$

(3) Si la fractura ocurrió en la superficie de tensión fuera del tercio medio de la longitud del tramo (a más del 5% de la longitud de un tercio del *span*), el resultado fue descartado.

Al término de la prueba, se reportaron las observaciones más relevantes acontecidas antes, durante y después del ensayo; posteriormente, se realizó un análisis estadístico y comparativo del promedio de la fuerza de carga máxima y el módulo de ruptura del S1 con los sistemas S2, S3 y S4, con lo que se determinó cómo influyen los recubrimientos en el desempeño del FC ante una fuerza perpendicular, información que permitió extrapolar el comportamiento de los materiales a paneles de mayores dimensiones.

El procedimiento se realizó con una máquina de pruebas universales marca SHIMADZU modelo AG100KNG de 10 toneladas. El software utilizado para la generación de las gráficas durante el ensayo fue WinAG versión 2.21H, mientras que para después de la prueba se empleó el software ORIGIN[®], procesando los datos previamente en la aplicación Microsoft Excel[®].

Morfología y composición

▶ Microscopia óptica de alta resolución (MOAR)

Esta técnica consiste en observar, mediante luz reflejada o luz transmitida, cuerpos opacos con volumen, o bien, cuerpos translúcidos delgados en un rango de 5X a 200X dependiendo del equipo (del Egido & Calderón, 2008). A partir de la microscopia óptica se llevó a cabo un estudio cualitativo superficial, específicamente de la textura de cada uno de los materiales y sistemas, previo y posterior al ciclo de envejecimiento acelerado. Se realizaron varios puntos de observación perpendicular a la superficie del FC y CP del S1, así como de los recubrimientos CC, BP y EA de los sistemas S2, S3 y S4 respectivamente. Las imágenes bidimensionales y topográficas 3D obtenidas en el análisis, se compararon entre sí, por lo que únicamente se reportaron las más representativas. El estudio se efectuó con un microscopio óptico de alta resolución (MOAR) marca Keyence® modelo VHX2000E a 50, 100 y 200X con luz reflejada. Las imágenes se procesaron en el software VHXDigital Microscope®.

▶ Microscopia electrónica de barrido (MEB)

Técnica que consiste en la incidencia de un haz de electrones sobre una muestra delgada o voluminosa idealmente conductora. Esta técnica permite realizar observaciones a niveles amplificados incluso bastante mayores a aquella realizada por un microscopio óptico (50 a 100,000X). Lo anterior se debe a que los electrones tienen un comportamiento de onda corta, mucho menor a la de la luz visible⁷⁰. El intercambio de la energía generada a partir de la interacción entre el haz de electrones y la materia, es captada por diferentes tipos de detectores que transluen las señales para obtener imágenes de alta resolución con información respecto a la topografía de la muestra (detector de electrones secundarios SE), imágenes con información sobre la composición superficial de la muestra (detector de electrones retrodispersados BSE⁷¹) y mapeos de composición y distribución elemental

⁷⁰ La luz visible tiene una longitud de onda de aproximadamente 4.000 angstroms, en cambio, la longitud de onda de los electrones es de alrededor de 0,5 angstroms.

⁷¹ Con este detector se obtienen imágenes de menor resolución (en comparación al SE) pero mayor contraste, por ello es posible obtener información cualitativa de la composición.

(detector de energía dispersiva EDS⁷²) (del Egido & Calderón, 2008; Pérez & Muciño, comunicación personal, 14 de marzo de 2018).

Esta técnica se utilizó para identificar la morfología de las fibras de asbesto presentes en el panel de fibrocemento así como su longitud (características que determinan su estabilidad y resistencia); conocer la topografía, textura, porosidad y morfología⁷³ del FC; observar la interfase entre el FC y los recubrimientos; y finalmente, conocer las cualidades de la capa formada por los recubrimientos una vez aplicados sobre el FC (grosor y homogeneidad). La observación de las fibras de asbesto se realizó sobre una muestra en polvo del FC, la cual se colocó sobre una cinta de carbono doble cara directo en el portamuestras; la incidencia del haz se realizó de manera perpendicular a la muestra. La observación de los sistemas se realizó en dos tipos de muestras; la primera fue de aproximadamente 1cm³ (observación perpendicular) y la segunda fue de aproximadamente 0.5cm³ incluida en resina cristal (observación transversal). Ambas muestras se colocaron directamente en el portamuestras y se fijaron con cinta de carbono doble cara.

Para el estudio se utilizaron un microscopio electrónico de barrido marca Zeiss[®] modelo EVOMA25 y un microscopio electrónico portátil marca HITACHI[®] modelo Tabletop Microscope TM3030Plus. La observación se llevó a cabo a una magnificación de 100, 150, 250, 500 y 1000X con SE y BSE, y una vez logrando vacío, en algunos casos posteriormente se trabajó a presión variable⁷⁴. Las micrografías se obtuvieron mediante el software Smart SEM[®] y Tabletop Microscope TM3030Plus, respectivamente al equipo de análisis.

- ▶ Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Técnica vibracional que mide la absorción de la luz incidente en función de su frecuencia dentro del rango del espectro electromagnético infrarrojo. En esta técnica interviene la

⁷² Detecta los rayos X generados por la muestra.

⁷³ Tecnología del material (procesamiento), porosidad, puntos críticos de deterioro o alteración (microfracturas), etc.

⁷⁴ Es importante tener en cuenta que si se trabaja a presión variable, muchos de los electrones del haz que deberían llegar a la muestra son desviados por las moléculas del aire, lo que conlleva a una menor calidad de la imagen a magnificaciones mayores; cuestión que no sucede al trabajar en alto vacío, en donde se propicia una mayor amplificación de la imagen debido a que en ese medio se puede obtener un haz uniforme de electrones. Para trabajar en alto vacío, es necesario tener una muestra idealmente conductora o metalizada.

materia —en estado sólido o líquido— y su interacción con la radiación. El resultado es la absorción o difusión de la energía con la que es posible identificar y caracterizar sustancias, y además, es posible determinar cambios de fase en los elementos presentes de algunos materiales (Gómez, 2008b:266). Una de sus grandes ventajas es que aunado a que detecta compuestos cristalinos, detecta compuestos no cristalinos (Fernández Carrasco & Vázquez, 1996).

El objetivo del análisis con FTIR fue conocer la composición de los recubrimientos industriales antes y después de la etapa de envejecimiento acelerado. Las muestras del CP, CC, BP y EA se tomaron en líquido y en sólido seco; para estas últimas el recubrimiento se aplicó en estado líquido sobre un portaobjetos de vidrio en donde se dejó secar (Figura 27). En el caso del recubrimiento BP, la medición se realizó en la mezcla inicial 3:1 y en sus dos componentes de manera separada; barniz 11000 y catalizador 250. El análisis se llevó a cabo en un equipo marca BRUKER® modelo ALPHA en modo ATR, en transmitancia a 16 scans en el rango de 400 a 4000 cm^{-1} . Los espectros obtenidos se graficaron en líquido y en sólido con el software ORIGIN®. En una primera fase, se identificaron las ondas principales, y posteriormente, se realizó la interpretación y análisis de los espectros obtenidos con la comparación de espectros patrón, lo que tuvo como finalidad corroborar la presencia del compuesto base de los recubrimientos industriales indicados en las fichas técnicas. En la Tabla 5 se muestran los espectros de referencia citados en la bibliografía y la identificación del espectro correspondiente a la supuesta composición de los recubrimientos. Para terminar con el análisis, se identificaron los grupos funcionales degradados y generados tanto en la formación de la resina —de líquido a sólido seco— como después del proceso de envejecimiento acelerado —de sólido seco a sólido seco envejecido—. El análisis e interpretación se realizó a partir de la ausencia y aparición de bandas, además del detrimento o incremento de las vibraciones dentro del espectro.



Figura 27. Recubrimientos aplicados sobre portaobjetos para la medición FTIR





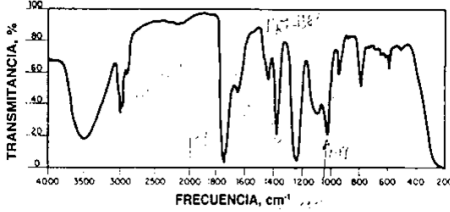



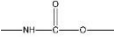



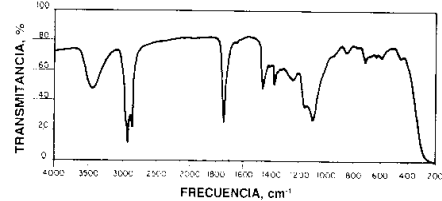





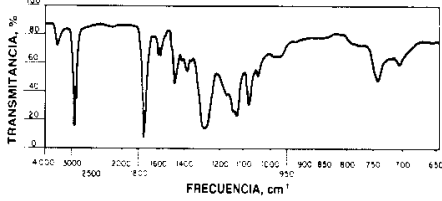
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS RECUBRIMIENTOS				
Material (clave)	Composición (ficha técnica)	Grupo funcional base	Grupos de reacción	Espectro patrón
CP	Pintura acrílica base agua	Grupo ácido acrílico 	Acrilato  Éster  Estireno 	Resina acrílica 
CC	Resina acrílica base agua	Grupo metil acrílico 	Butadieno  Acetato de vinilo 	
BP	Barniz de poliuretano alifático de dos componentes base solvente	Grupo uretano 	Cianato  Hidroxilo  Éster 	Poliuretano 
EA	Pintura de esmalte alquidático base solvente	Grupo carbonilo 	Etilenglicol  Grupo diol  Glicerol  Éster 	Resina alquídica 

Tabla 5. Grupos funcionales característicos de los recubrimientos y el espectro patrón de referencia (Alonso Felipe, 2016:13-16; Ribadeneira Cabrera, 2008:17 y 102).

Cabe mencionar que a lo largo de este apartado, los materiales y recubrimientos conservaron su nomenclatura (CP, CC, BP, y EA) sin embargo, se acompañaron con las letras “L”, “S” y “SE” para denominar al recubrimiento en estado líquido, en estado sólido seco y en estado sólido seco envejecido. En el caso del BP, se analizaron de manera separada cada uno de sus componentes; el “BP3:1” hace referencia a la mezcla final del recubrimiento, mientras que el “BP” (barniz 11000) y “CAT” (catalizador 250) representan las sustancias previas a la mezcla (Figura 28).

Capa pictórica			Barniz de poliuretano (mezcla 3:1)		
CP/L	CP/S	CP/SE	BP3:1/L	BP3:1/S	BP3:1/SE
Resina acrílica			Barniz de poliuretano (barniz 11000)		
CC/L	CC/S	CC/SE	BP3/L	BP/S	BP/SE
Esmalte alquidílico			Catalizador 250		
EA/L	EA/S	EA/SE	CAT/L	CAT/S	CAT/SE

Figura 28. Nomenclatura para la identificación de los materiales durante el análisis FTIR

► Difracción de rayos X (DRX)

Esta técnica consiste en la incidencia de un haz de rayos X sobre un material idealmente cristalino, con la que es posible identificar estructuras minerales. La radiación emanada de la interacción de los rayos X con la materia es captada a través de un detector, el cual genera un difractograma con todos los compuestos presentes en la muestra (Askeland *et al.*, 2017:52).

El análisis se realizó únicamente en el FC y se utilizó el equipo ADIS basado en el modelo EQUINOX 100 de la marca INEL[®] de ThermoFisher[®]. El difractograma general se obtuvo con el software Acquisition Mach[®] y la identificación de los compuestos se realizó con el software PDF4+2018[®], mediante la comparación de lo obtenido con otros patrones de difracción. El análisis se llevó a cabo en una muestra en polvo del FC, la cual se colocó en un portamuestras metálico de forma circular, que posteriormente se situó en el soporte giratorio (*sample spinner*) debajo del arco detector del equipo. Para maximizar la intensidad y resolución de los picos en el difractograma, la incidencia del rayo se realizó a 6° durante un tiempo de 3600s.

Previo a la identificación de los compuestos y las estructuras cristalinas, se realizó una investigación de la composición de los materiales con base en las especificaciones técnicas del Cenpanel[®], lo que permitió generar una hipótesis de los posibles compuestos dentro de la muestra —variedad de cemento y de fibra de asbesto empleada—. Si bien, en el caso de las fibras de asbesto se tenía la hipótesis de encontrar crisotilo como filamento

empleado —debido a los antecedentes de éste en la producción de fibrocemento—, no se descartó la presencia de otras variedades de asbesto; por ello, se investigaron las variedades más comunes de esta fibra. Las siguientes tablas muestran los compuestos base que agilizaron la comparación, búsqueda e interpretación de los resultados (Tabla 6 y Tabla 7).

CEMENTO	
Composición	Fórmula
Portlandita o hidróxido de calcio	Ca(OH)_2
Silicato cálcico hidratado o hidrosilicato de calcio	$\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$
Sulfoaluminato de calcio hidratado o entringita	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$
Monosulfoaluminato cálcico hidratado	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Tabla 6. Compuestos comunes del cemento Portland (Barberena Fernández, 2015:65; Cervantes Alatorre, 1996:40-41)

VARIEDADES DE ASBESTOS			
Grupo	Sistemas químicos	Fórmula	Particularidades / Sistema cristalino
Serpentinas (Esencialmente portadores de hidroxilos OH)	Crisotilo	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	De verde oliva a verde negro, verde amarillento y blanco. “Asbesto blanco” / Monoclínicas
	Antigorita	$(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Verde jaspeado, blanco, gris o azul (macizos de grano fino en láminas) / Monoclínico
Anfíboles (Esencialmente silicatos de Ca-Mg-Fe hidratados) Fórmula general $\text{W}_{0-1}\text{X}_2\text{Y}_5\text{Z}_8\text{O}_{22}(\text{OH,F})_2$	Antofilita	$(\text{Mg,Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Gris, pardo, verde / Ortorrómbico
	Grunerita (variedad amosita)	$\text{Fe}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Gris, pardo, verde. “Asbesto marrón o pardo” / Monoclínicas
	Tremolita	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	De blanco, gris, violeta / Monoclínicas
	Actinolita	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Verde / Monoclínicas
	Riebeckita (variedad crocidolita)	$\text{Na}_2\text{Fe}_3^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Azul, azul-lila a negro. “Asbesto azul” / Monoclínicas

Tabla 7. Compuestos posibles en el soporte de fibrocemento marca Cenpanel® (Barberena Fernández, 2015:65; Klein & Hurlbut, 2001b:541-568; Cervantes Alatorre, 1996:40-41)

2.2.3 Envejecimiento acelerado

El envejecimiento acelerado es un procedimiento artificial, inducido y controlado de gran utilidad para predecir el comportamiento de un material y determinar su vida útil en determinadas condiciones durante un lapso de tiempo reducido (estabilidad química y durabilidad física). Generalmente, estas condiciones incluyen ambientes extremos, constantes y fluctuantes de temperatura, humedad (vapor de agua o mojado), radiación (ultravioleta o infrarroja), presión y tensión (física, mecánica o eléctrica). El envejecimiento acelerado inducido permite identificar mecanismos de deterioro y alteración a partir de la observación sistemática de patrones generales de degradación durante el proceso, y de cómo éstos se aceleran con el tiempo (Sepe, 2014; Feller, 1995:19).

En esta etapa se diseñó un ciclo de envejecimiento con base en la norma ASTM C1442 *Standard Practice for Conducting Tests on Sealants Using Artificial Weathering Apparatus*. Dicha norma sugiere tres tipos de envejecimiento; por radiación, por calor y por humedad; sin embargo, para este ciclo únicamente se incluyó calor y humedad (mojado), debido a tres cuestiones: disponibilidad de los equipos, futuro uso de los recubrimientos (cualidades cohesivas y de protección) y características morfológicas, estructurales y de composición de los recubrimientos (polímeros amorfos termoplásticos). Respecto a esta última premisa, cabe mencionar que la temperatura y humedad son parámetros relevantes cuando se trata de probar la estabilidad de materiales de naturaleza polimérica como los acrílicos, poliuretanos y alquidálicos. Así mismo, si éstas son altas y fluctuantes, propician fenómenos químicos, físicos, mecánicos y biológicos, los cuales son las principales causas de deterioro que afectan a los soportes de fibrocemento (Sepe, 2014; Michalski, 2009a; 2009b).

El ciclo de envejecimiento se conformó de cuatro fases, con intervalos de tiempo diversos: mojado (20 minutos), secado (2 horas), calentamiento (a temperaturas oscilantes de entre 50 y 100 grados centígrados en lapsos de entre 20 a 70 horas) y enfriamiento (2 horas) (Figura 29). Dados los tiempos de la investigación, el ciclo se realizó durante un periodo de 8 semanas, y los materiales a envejecer fueron los recubrimientos de manera individual (recubrimiento sobre portaobjetos) y los cuatro sistemas.

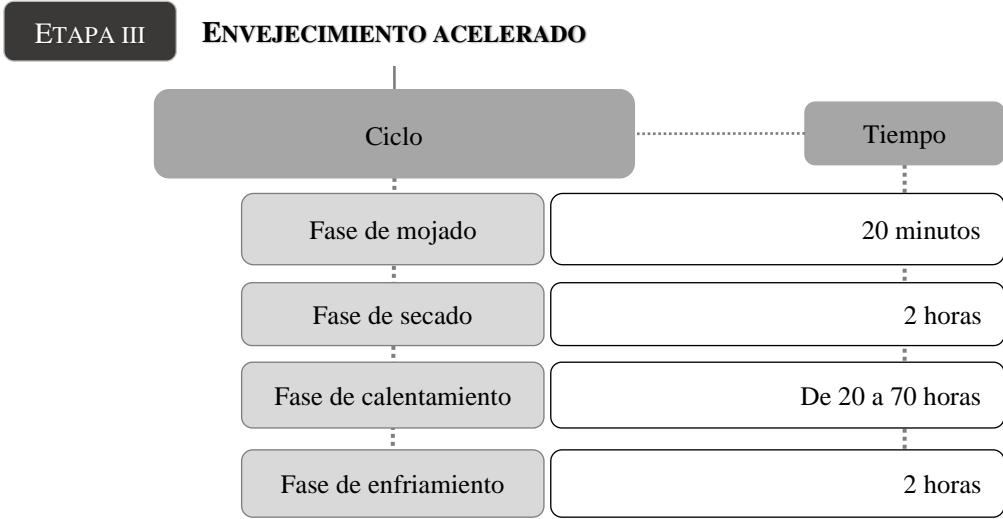


Figura 29. Desarrollo de la Etapa III. Envejecimiento acelerado

En la fase de mojado, los baños se realizaron con agua purificada aplicada con un aspersor a presión. La fase de secado se realizó al aire libre a la sombra. En la fase de calentamiento se utilizó un horno marca FELISA® modelo FE-293AD de la serie 1711020; los sistemas probeta se montaron de manera vertical con ayuda de un alambre de acero inoxidable, mientras que los recubrimientos en portaobjetos solo se colocaron de manera horizontal sobre las parrillas del horno (Figura 30). Por último, la fase de enfriamiento se realizó dentro del horno apagado, una vez terminado el ciclo de calentamiento.



Figura 30. Sistemas dentro del horno

Después de esta etapa, se generaron dos grandes grupos: los materiales y sistemas no envejecidos y los materiales y sistemas envejecidos, por lo que fue necesario agregar a la nomenclatura ya asignada las siglas “NE” y “E” (Figura 31).

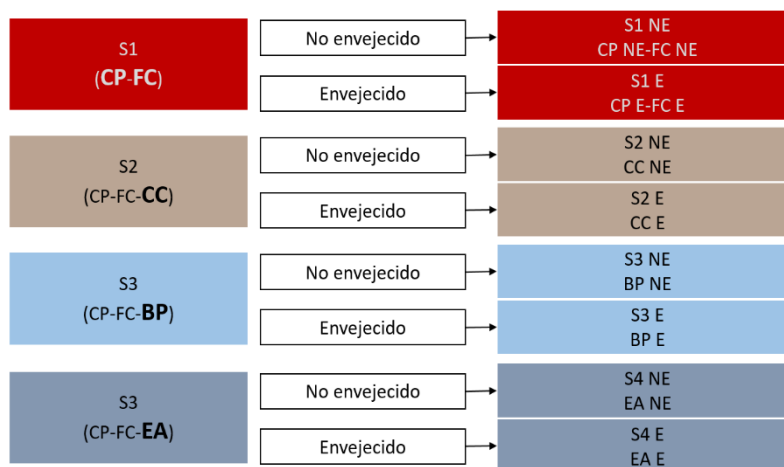


Figura 31. Nomenclatura de los materiales antes y después del envejecimiento acelerado

2.2.4 Evaluación

Para finalizar con la experimentación, se realizaron nuevamente los análisis organolépticos y sensoriales; las mediciones de las propiedades físicas y mecánicas; y los estudios morfológicos y de composición de los materiales individuales y de los sistemas. Los resultados se compararon con los previamente obtenidos en la etapa II y el objetivo de dicha comparación fue identificar los cambios ocurridos después del envejecimiento acelerado (Figura 32).

Con respecto a las propiedades físicas y mecánicas (permeabilidad, color, resistencia al rayado y resistencia a la flexión), se registraron los cambios en los valores previamente obtenidos. Con relación al MOAR y MEB, se reportaron los cambios ocurridos en la superficie de los materiales a microescala. Para finalizar, en lo relativo al FTIR, se reportó el cambio ocurrido en la composición química de los recubrimientos. El análisis del FC con DRX únicamente se realizó previo al envejecimiento, debido a que el objetivo fue identificar los materiales sustanciales del panel utilizado como soporte de los sistemas probeta.

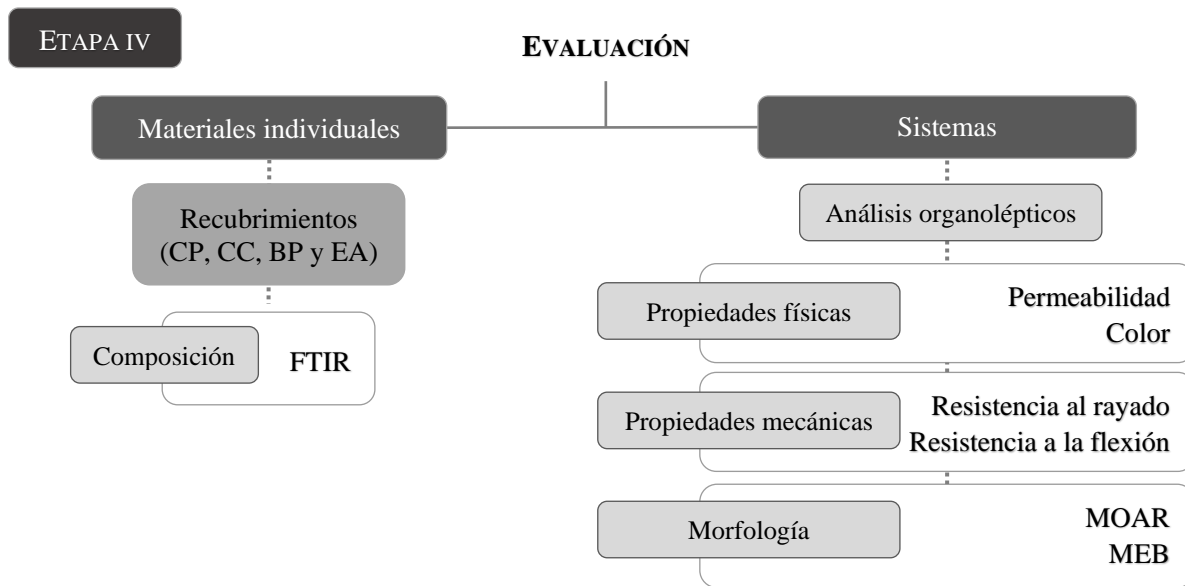


Figura 32. Diagrama de flujo de la Etapa IV. Evaluación de los materiales individuales y de los cuatro sistemas

III. RESULTADOS

En este apartado se realizó la descripción y el análisis comparativo de los resultados obtenidos en el estudio organoléptico y en las pruebas del diseño experimental. Con esta información fue posible vislumbrar las propiedades físicas, mecánicas, morfología y composición de cada uno de los materiales de manera individual y como sistemas. Asimismo, se identificaron las similitudes y diferencias entre los materiales, antes y después de la etapa de envejecimiento acelerado.

3.1 OBSERVACIONES DURANTE LA PREPARACIÓN DE LOS SISTEMAS PROBETA Y LA APLICACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS

Las observaciones aquí reportadas se realizaron en dos momentos. En el primero, que tuvo por objetivo evaluar únicamente el proceso de aplicación de los recubrimientos industriales (CC, BP y EA), se realizó un registro de las cualidades y propiedades físicas consideradas de relevancia desde una perspectiva operativa. Se registró el número de capas aplicadas, facilidad de aplicación, la homogeneidad de la capa formada, el tiempo de secado al tacto y el rendimiento; las cuales se midieron de manera sensorial-organoléptica, cualitativa y semicuantitativa.

En el segundo momento, previo a la realización de cualquier prueba y al ciclo de envejecimiento acelerado, se realizó un estudio organoléptico de las características físicas del FC —por el anverso y reverso— y de las características de los recubrimientos industriales y la pintura acrílica empleada como capa pictórica después de ser aplicados sobre el FC; lo anterior se realizó con la finalidad de evaluar sus características como película en un estado sólido seco (CP, CC, BP y EA).

Con ambos momentos de observación y registro se obtuvo un primer acercamiento a los materiales y se lograron identificar algunas características que ayudaron a sustentar, desde una perspectiva cualitativa, semicuantitativa y operativa, parte de los resultados obtenidos en las pruebas analíticas.

3.1.1 Registro cualitativo durante el proceso de aplicación

Mediante análisis sensoriales y organolépticos, se registraron las cualidades de los recubrimientos durante el proceso de aplicación. Este registro complementó la información de las fichas técnicas y además evidenció la influencia del método de aplicación en los resultados de la experimentación. En la siguiente tabla se presentan las cualidades y características registradas de cada uno de los materiales (Tabla 8):

REGISTRO DURANTE EL PROCESO DE APLICACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS									
Recubrimiento industrial	Número de capas (manos)	Facilidad de aplicación (fluidez)			Homogeneidad de la capa			Tiempo de secado al tacto (min)	Rendimiento (ml/m ²)
		+	+/-	-	+	+/-	-		
CC	1		X		X			5	1.86
BP	2 (capa base)	X			X			3	1.95
								10	
	3 (acabado)	X			X			6	2.13
								8	
								11	
EA	1	X			X			125	2.13

Tabla 8. Registro durante el proceso de aplicación de los recubrimientos

Número de capas aplicadas

El número de capas aplicadas estuvo determinado por los métodos de aplicación recomendados por la industria y las pruebas previamente realizadas por el CENCROPAM. En el caso del CC y EA, solamente se aplicó una capa (CC sin diluir y EA en proporción 2:1 en thinner); en cambio, para el BP se aplicaron cinco capas, las dos primeras denominadas “capa base” —cada una al 50%—, y las tres manos restantes denominadas “acabado” —cada una al 30%—.

Debido a las cualidades de textura del fibrocemento (ligeramente rugoso), se observó que las capas de los recubrimientos CC, EA y la primera mano del BP, aparentemente tuvieron una buena interacción con la superficie del soporte. De manera particular, en el caso del BP, la interacción entre las capas subsecuentes dependió de la interacción entre capas, no

obstante, también de manera aparente, la rugosidad del fibrocemento —que predominó entre mano y mano— propició un perfil de rugosidad apropiado para una buena adherencia de las capas sucesivas (Alonso Felipe, 2016:131).

Facilidad de aplicación

La literatura indica que la fluidez está asociada a la viscosidad dinámica (η) y a la viscosidad cinemática (ν). La primera, que se mide en Ns/m^2 , $Pa\cdot s$, $kg/m\cdot s$, cP y P , se refiere a la resistencia interna de un líquido en movimiento y determina la fuerza que se requiere para que éste se deslice —conforme la sustancia se mueva, desarrollará un esfuerzo cortante que dependerá de la viscosidad del mismo fluido—. La segunda, que se relaciona con la densidad absoluta del fluido y su densidad, se representa en mm^2/s , m^2/s , pie^2/s , cSt y St , (Mott, 2006, pág. 27 y 30).

Tomando como referencia los datos de las fichas técnicas de los recubrimientos (BP y EA) y en su defecto, fichas de otros productos industriales pero misma composición (CP, CC y diluyentes), se determinaron los valores de viscosidad dinámica y cinemática, tanto para los recubrimientos CP, CC, BP y EA, como para sus diluyentes (Tabla 9). Por otra parte, la descripción de esta propiedad se realizó mediante la clasificación propuesta por Masschelein-Kleiner (2004:9), quién definió a los fluidos en viscosos, intermedios y fluidos, con base en los valores de viscosidad de los solventes más comunes.

RELACIÓN DE LA FLUIDEZ CON LA VISCOSIDAD DE LOS RECUBRIMIENTOS					
Recubrimiento	Viscosidad dinámica (cP) a T_a	Viscosidad cinemática (cSt) a T_a	Diluyente	Viscosidad dinámica (cP) a T_a	Viscosidad cinemática (cSt) a T_a
CP y CC	3100	2296	Sin diluyente	-	-
BP (3:1)	400	397	Solvente para poliuretano	0.77	0.9
EA	1350	1125	Thinner	5.47	1.14

Tabla 9. Relación de fluidez con la viscosidad de los recubrimientos

Tomando en cuenta la relación inversamente proporcional de viscosidad y fluidez, los datos anteriores indicaron que los recubrimientos a base de resina acrílica presentan mayores valores de viscosidad dinámica y cinemática, seguidos del de composición alquidática y finalmente, el de poliuretano. Sin embargo, este comportamiento puede cambiar dependiendo de la dilución, en donde intervienen la proporción y el tipo de diluyente.

Los datos de la tabla anterior indicaron una correspondencia con el análisis cualitativo, organoléptico y sensorial realizado durante el proceso de aplicación de los recubrimientos sobre el soporte de FC, ya que el recubrimiento CC tuvo una fluidez intermedia, de apariencia consistente y por ende, de fácil aplicación. Por una parte, el comportamiento anterior se debió a que el producto se aplicó sin diluir y además, que en su formulación presenta aditivos como pigmentos, elementos aglomerantes y agentes biosidas, que según la literatura, aumentan la viscosidad (Alonso Felipe, 2016:6-7). Por otro lado, aunque los datos indicaron que el EA tienen mayor viscosidad que BP debido a la dilución y a los solventes utilizados, tuvieron un comportamiento similar y ambos se percibieron fluidos, lo que provocó que en más de una ocasión se derramaran por los bordes del soporte de FC.

Homogeneidad de la capa

Para medir la homogeneidad de las capas formadas por los recubrimientos se utilizó como parámetro de medición la formación o aparición de grumos en superficie. Los grumos se pueden definir como partículas de polímero cristalizado que generalmente se suscitan durante el procesamiento y fabricación del material, y pueden hacerse visibles en estado líquido o en estado sólido seco (Schweigger, 2005:216 y 213). La formación de estas masas, también se encuentra asociada a las cargas secas adicionadas en el proceso de manufactura del material. Las causas de su formación son muy variadas y dentro del proceso de fabricación se pueden generar durante la polimerización (*stippen*⁷⁵) y la distribución del polímero, lo cual evidencia una deficiente estabilidad de la dispersión, así como una incompatibilidad de la dispersión con las cargas agregadas (Schweigger, 2005:225).

⁷⁵ Se refiere a grumos muy pequeños, casi imperceptibles (Schweigger, 2005:215).

Con respecto a las capas formadas por los recubrimientos CC, BP y EA, se concluyó que éstos tuvieron un proceso de fabricación de calidad, debido a que el estrato formado se observó homogéneo, sin bultos y sin cúmulos de material indeseados o formaciones grumosas.

Tiempo de secado al tacto

Con el registro de secado al tacto se lograron determinar de manera efectiva tiempos de aplicación entre capa y capa a temperatura ambiente (20°C aprox.); datos que resultaron útiles desde el punto operativo. Una película o recubrimiento está “seco al tacto” cuando es posible palparla con los dedos de manera sutil sin que parte del material aplicado se adhiera a éstos (Alonso Felipe, 2016:155).

Según la literatura, los tipos de secado se clasifican según el mecanismo por el cual el recubrimiento pasa de un estado pegajoso o fresco a un estado endurecido o sólido seco. Entre los tipos de secado se encuentran: por evaporación del solvente —el que ocurre mediante la reacción de los componentes del recubrimiento con el oxígeno del aire—, por acción de la temperatura, y finalmente, el que ocurre por reacción química —asociado al concepto de curado— (Alonso Felipe, 2016:83).

El proceso de secado del recubrimiento dependerá tanto de sus propiedades intrínsecas como de factores extrínsecos a éste. Entre las intrínsecas se encuentran la formulación (componentes, cargas y aditivos), sus propiedades físicas (viscosidad), el tiempo de polimerización, el tipo de disolvente utilizado como diluyente⁷⁶ y la proporción entre éste y el recubrimiento, etc. En cambio, entre los factores extrínsecos se encuentran las condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa⁷⁷), las propiedades o cualidades del sustrato en donde es aplicado el recubrimiento —sustrato poroso, liso, permeable o impermeable—, etc. (Alonso Felipe, 2016:7; Schweigger, 2005:245).

⁷⁶ El cual regula la velocidad de evaporación.

⁷⁷ Condiciones que propician, aceleran o reducen el secado y la evaporación del disolvente.

Cabe mencionar que hay otros factores que influyen en el secado de los recubrimientos, sin embargo, no están dentro de los factores intrínsecos y extrínsecos, pero si influyen en el proceso. De entre estos se encuentran la parte operativa o en el método de aplicación del recubrimiento; el tipo de técnica o herramienta utilizada para su aplicación —en este caso brocha de cerda sintética—; y el grosor de la película formada —a mayor espesor mayor retención de disolvente—. Es importante tomar en cuenta que, por el hecho de sentir que un material o recubrimiento esté seco al tacto, no significa que toda la película haya secado por completo, ya que lo que se toca con los dedos es la zona más superficial de la capa de recubrimiento y no la masa interna. (Alonso Felipe, 2016:63). En la primera gráfica (Figura 33) se muestran los tiempos registrados del tiempo de secado al tacto de cada una de las manos aplicadas por recubrimiento; en la segunda gráfica (Figura 34) se indica el tiempo total del proceso de aplicación, en donde se consideraron los tiempos intermedios de secado recomendados por el fabricante.

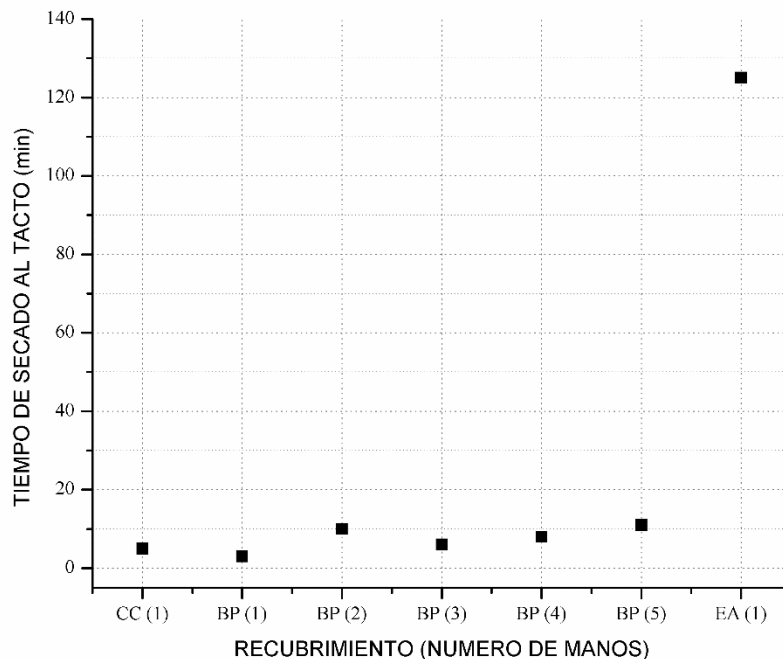


Figura 33. Tiempo de secado al tacto de los recubrimientos aplicados a temperatura ambiente

El registro del tiempo de secado al tacto se realizó a temperatura ambiente de aproximadamente 20°C y a una humedad relativa de entre 47-52%. Los resultados indicaron que el recubrimiento que menor tiempo tuvo fue la primera mano de BP, seguido de la única mano aplicada del CC. Sin mucha diferencia entre tiempos, le siguieron la tercera, cuarta, segunda y quinta mano del BP. Por último, la única mano aplicada del EA registró el mayor tiempo, con dos horas de secado al tacto (Figura 33).

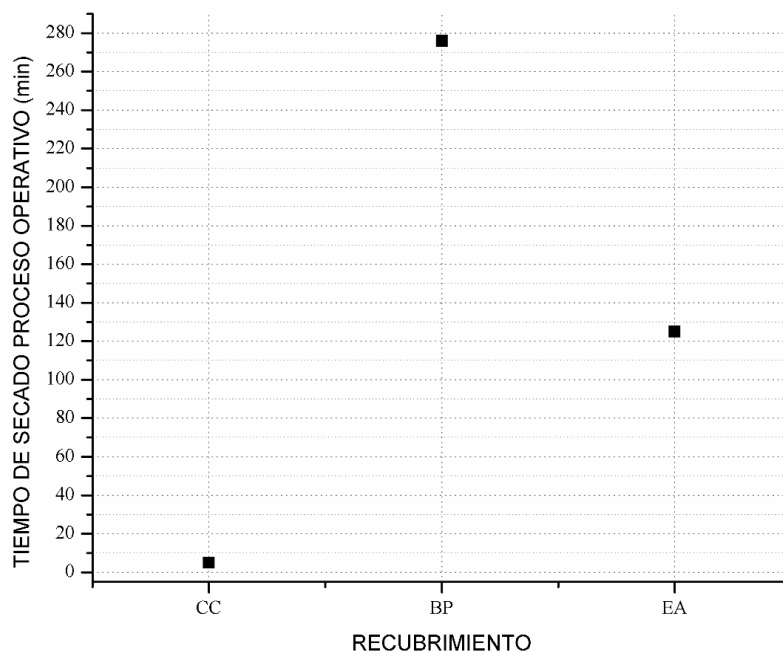


Figura 34. Tiempo de secado total de los recubrimientos durante el proceso general de aplicación

Si bien, las manos aplicadas de BP registraron tiempos bajos de secado al tacto —sobre todo en comparación con el EA—, de manera operativa tuvo el mayor tiempo registrado, de aproximadamente 4.6 horas. Lo anterior se debió a la suma de las cuatro horas de secado entre la capa base y el acabado —tiempo recomendado en la ficha técnica del producto—. Por otra parte, aunque la única mano aplicada del CC no fue la que tuvo el tiempo más bajo de secado al tacto, especialmente en comparación a la primera mano del BP, de manera operativa, resultó el de menor tiempo de aplicación (Figura 34).

Finalmente, debido a que los factores extrínsecos no variaron, el comportamiento observado en cada uno de los recubrimientos durante el secado al tacto correspondió principalmente a sus propiedades intrínsecas. Por la composición del CC, el tipo de secado fue al aire y por evaporación del agua; el proceso ocurrió relativamente rápido, si se considera que el grosor fue aparentemente mayor a los otros dos recubrimientos. En el caso del BP, el secado al tacto ocurrió de manera rápida, lo que se explica por el proceso de secado por reacción química (reacción con el catalizador) —la evaporación del diluyente aparentemente no influyó en este proceso—. Por último, en el EA el secado ocurrió por evaporación del solvente pero, esto se dio de manera más lenta en comparación a los otros dos recubrimientos, lo que pudo deberse tanto a su composición como a las propiedades fisicoquímicas del thinner (diluyente), ya que tiene mayores valores de viscosidad en comparación a los del solvente para poliuretano —utilizado en el BP—; propiedad que influye en la evaporación.

Rendimiento

El rendimiento para cada uno de los recubrimientos se calculó con la relación superficie (m^2) y cantidad de material aplicado (ml). En el proceso se consideraron los remanentes de los materiales sobre equipo de preparación (frascos y botellas) así como de las herramientas para la aplicación (brochas). Debido a que la superficie a cubrir no varió ($107.5m^2$), el recubrimiento que mejor rendimiento tuvo y del cual se usó menor cantidad de material por m^2 fue el CC con $1.86ml/m^2$, seguido del EA con $2.13ml/m^2$, y finalmente el BP con $4.09ml/m^2$ por ambas capas.

3.1.2 Análisis organolépticos de los materiales

El FC por el reverso —sección en donde se aplicaron los recubrimientos industriales—, presentó una textura ligeramente rugosa, con acabado mate y un color gris claro a simple vista. No se logró apreciar un patrón de manufactura —algún tipo de molde o bastidor—, sin embargo, sí se observaron algunas aglomeraciones de material reforzante (fibras) y de cargas finas —posiblemente de cemento y algunos otros materiales (pigmentos) que le otorgaron el tono claro en su coloración—. En cambio, por el anverso —sección en donde se aplicó el recubrimiento CP— presentó una textura lisa y homogénea en comparación a la textura observada por el reverso. En esta cara de la placa no hubo acumulación o aglomeración de

material reforzante ni de cargas finas; asimismo, no hubo cambios ni variaciones en el matiz ni en la coloración, sino que se conservó el acabado mate y el color gris claro.

Por otra parte, la pintura acrílica utilizada como CP presentó una textura aparentemente lisa, cualidad que de cierta manera fue influenciada por la superficie homogénea y regular del anverso del FC. No obstante, aunque la topografía de este recubrimiento se percibió lisa, se observaron de manera aleatoria algunas partículas de pigmento sobre la superficie; el acabado se observó mate y con una coloración rojiza claro.

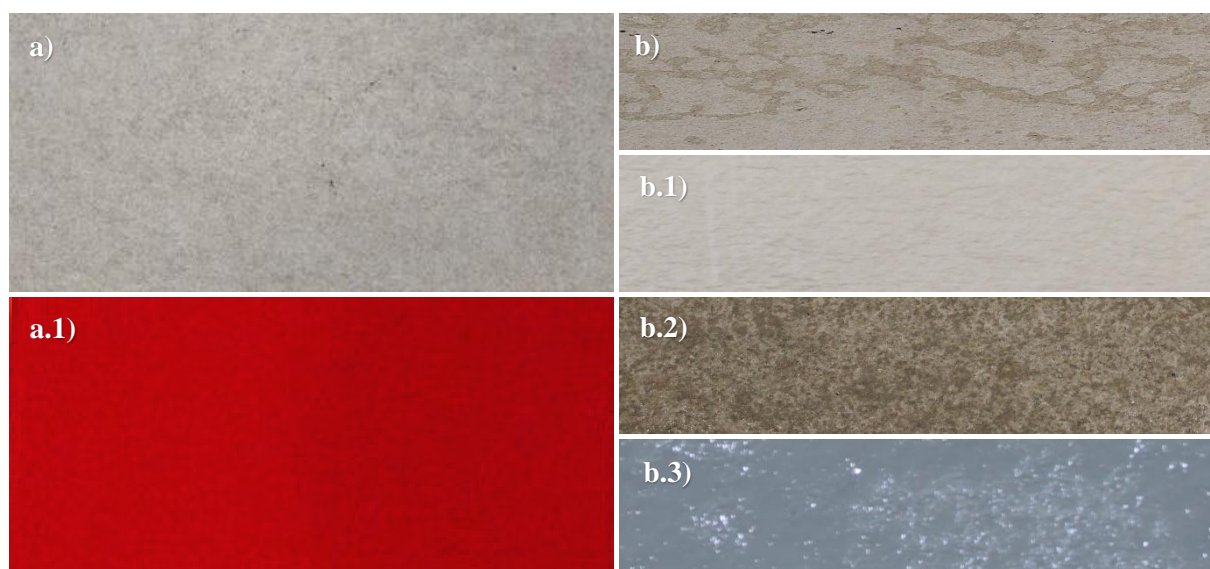


Figura 35. *a)* Anverso de FC, *a.1)* CP sobre el anverso de FC, *b)* reverso de FC, *b.1)* CC sobre reverso de FC, *b.2)* BP sobre reverso de FC y *b.3)* EA sobre reverso de FC

Con respecto a los recubrimientos industriales —aplicados por el reverso de la placa/soporte de fibrocemento—, el CC presentó una textura ligeramente rugosa, la cual no fue dada por el recubrimiento mismo, sino por la textura del soporte de fibrocemento. El acabado se observó mate y con una coloración beige claro, que de cierta manera se armonizó con el color del fibrocemento. Por otra parte, el BP presentó una apariencia translúcida con acabado brillante, que únicamente saturó la coloración del FC a un gris ligeramente más oscuro; asimismo, presentó una textura relativamente rugosa, ya que la capa formada adoptó la textura del soporte de fibrocemento.

Para concluir, el EA presentó una textura levemente rugosa, debido a que también se adaptó a la textura del fibrocemento; sin embargo, en contraste con los otros dos recubrimientos, su coloración cambió por completo la del fibrocemento y le dio una apariencia gris oscura con acabado brillante.

3.2 OBSERVACIONES GENERALES DE LA ETAPA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

De manera general, las observaciones más relevantes estuvieron relacionadas con aspectos físicos, como cambios de color y formación de frentes de secado. Estas observaciones se realizaron en los cuatro sistemas, desde una perspectiva organoléptica, sensorial y cualitativa.

3.2.1 Variaciones cromáticas

Fueron de los cambios más significativos ocurridos en todos los materiales después del proceso de envejecimiento acelerado. En el caso del S1, la superficie expuesta del FC (reverso) viró a tonos amarillentos; mientras que el recubrimiento CP (anverso) se oscureció ligeramente a un tono rojo pálido. En los sistemas S2, S3 y S4, el CC adquirió una coloración naranja-rojiza muy tenue; el BP se tornó ligeramente amarillento, coloración que se intensificó en donde hubo cúmulos de este recubrimiento; y por último, el EA viró sutilmente de gris a gris-amarillo —estos cambios se profundizarán en el apartado 3.3.1 de este capítulo—.

3.2.2 Frentes de secado

Los frentes de secado son la zona límite en la que el agua llega en estado líquido e instantes después pasa a evaporarse. Generalmente, el agua disuelve, transporta y deposita elementos, sustancias y materiales de diversa naturaleza (intrínsecos o extrínsecos) que propician reacciones y sub productos como cristalización de sales que usualmente ocasionan fragilidad del material (Ferrer Morales, 1998:71). Este fenómeno se observó únicamente en la superficie expuesta del FC del S1, y estuvo condicionado a la cantidad de agua aplicada en la fase de mojado, y a su evaporación en la fase de secado y calentamiento dentro del ciclo de envejecimiento. Si bien, la superficie del FC tuvo cambios generales de color, en los frentes de secado se observó una coloración amarillenta más intensa.

3.3 PROPIEDADES FÍSICAS

Este apartado hace referencia a los resultados obtenidos de las pruebas físicas de color y permeabilidad realizadas sobre los sistemas probeta, antes y después de ser sometidas a la etapa de envejecimiento acelerado. Las pruebas se enfocaron al estudio de los materiales a un nivel macro, y se realizaron con procedimientos sencillos, y equipos y herramientas accesibles.

3.3.1 Color

Los resultados obtenidos de la identificación de color Munsell se registraron en la Tabla 10; en ella se indicaron las siglas del material analizado dentro del sistema, y en las columnas contiguas, se colocaron los valores y la imagen del color antes y después del envejecimiento acelerado.

En apariencia, los recubrimientos que después de ser aplicados conservaron en mayor medida las cualidades cromáticas del FC fueron el CC y el BP. En el caso del primero, si bien generó una capa pigmentada sobre la superficie del FC, su coloración de fábrica resultó ser muy similar a la del FC, por lo que no generó disonancia visual. Por otra parte, el BP al tener una apariencia transparente, permitió que el FC conservara su textura, sin embargo, causó cambios en su saturación y luminosidad; cuestiones que le propiciaron una apariencia amarillenta en comparación a su color natural previo al envejecimiento. Finalmente, el EA cambió totalmente las cualidades cromáticas del FC, debido a su coloración de manufactura.

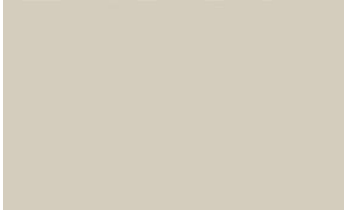
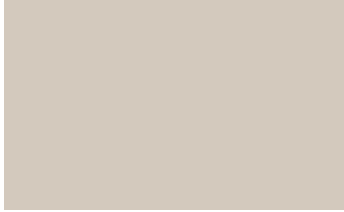








COLOR MUNSELL DE LOS MATERIALES Y RECUBRIMIENTOS ANTES Y DESPUÉS DE ENVEJECIMIENTO ACCELERADO		
Superficie en el sistema	Clave y color de tabla Munsell	
	NE	E
FC (S1)	5Y 8/1 	10YR 8/1 
CP (S1)	7.5R 4/16 	10R 3/10 
CC (S2)	10YR 8/1 	10YR 7/1 
BP (S3)	7.5Y 7/2 	7.5Y 7/4 
EA (S4)	10BG 6/1 	10GY 6/1 

Tabla 10. Color Munsell de los materiales y recubrimientos en el sistema antes y después del envejecimiento acelerado

La comparación del color Munsell antes y después del ciclo de envejecimiento indicó un cambio en las cualidades cromáticas de todos los materiales. Respecto al FC, el color Munsell previo al envejecimiento fue 5Y8/1, que correspondió a un sombra claro de amarillo —sustancialmente compuesto de 82.35% rojo, 80.39% verde y 74.12% azul, con 19% saturación y 78% luminosidad⁷⁸—; color que posterior al envejecimiento cambió a 10YR8/1 correspondiente a una sombra claro medio de marrón (72.16% rojo, 69.02% verde y 63.92% azul, con 13% saturación y 68% luminosidad). Lo anterior explicó el virado a ligero tono rojizo pálido con apariencia sombría.

El recubrimiento CP/NE del S1 presentó un color Munsell 7.5R4/16, propio de una sombra oscura media de rosa-rojo (71.76% rojo, 2.35 verde y 9.02% azul, con 94% saturación y 37% luminosidad), que después del envejecimiento viró a un color 10R3/10 correspondiente a una sombra oscura media de rojo (49.02% rojo, 11.76% verde y 6.67% azul, con 76% saturación y 28% luminosidad). Debido a la disminución de todos los colores sustanciales —a excepción del verde—, y al detrimento en la saturación y luminosidad, el recubrimiento CP se visualizó en un tono rojizo ligeramente oscuro y pálido.

Con relación al CC/NE, el color Munsell fue de 10YR8/1, correspondiente a una sombra claro marrón (82.75% rojo, 79.22% verde y 74.12% azul, con 20% saturación y 78% luminosidad), que cambió a 10YR7/1, correspondiente a una sombra claro medio de marrón (72.16% rojo, 69.02% verde, 63.92% azul, con 13% saturación y 68% luminosidad). Al igual que en el caso del FC/E, ocurrió una disminución en los valores de los colores sustanciales y el decrecimiento en el porcentaje de saturación y luminosidad, lo que le dio una apariencia final ligeramente sombría.

Por otra parte, el recubrimiento BP/NE presentó un color Munsell 7.5Y7/2, correspondiente a una sombra claro medio de amarillo (72.55% rojo, 70.2% verde y 58.82% azul, con 20% saturación y 66% luminosidad). Posterior al envejecimiento, cambió a 7.5Y7/4, propio de una sombra claro medio de amarillo (73.73% rojo, 69.41 verde, 46.67%

⁷⁸ Esta información se recuperó de <https://encycolorpedia.com/>, a partir del color Munsell previamente identificado.

azul, con 34% saturación y 60% luminosidad), transformación que dio como resultado un color amarillo-verduzco saturado.

Por último, correspondiente al recubrimiento EA/NE, el color Munsell identificado fue el 10BG6/1 sombra de cian (54.9% rojo, 60.78 verde 60.39% azul, con 7% saturación y 58% luminosidad), que después del envejecimiento cambió a 10GY6/1 sombra verde (56.47% rojo, 60.39% verde, 55.29% de azul, con 6% saturación y 58% luminosidad). Las variaciones en el cambio cromático se debieron a la disminución en el azul, que en apariencia hizo que el recubrimiento virara a un tono verdoso pálido.

Después del envejecimiento acelerado, la diferencia de los porcentajes del color, la saturación y luminosidad, indicaron que el recubrimiento que presentó mayores variaciones en los valores cromáticos fue el recubrimiento CP del S1, seguidos del FC y CC del S1 y S2 respectivamente, los cuales tuvieron variaciones similares en el detrimento del porcentaje del rojo, verde, azul y la luminosidad, con un incremento en el porcentaje de saturación. Por otra parte, los que tuvieron menos diferencia en los valores cromáticos fueron los recubrimientos BP del S3 y EA del S4, los cuales de manera particular, tuvieron un aumento en el porcentaje de saturación.

3.3.2 Permeabilidad

Durante el análisis, el proceso de repelencia y absorción de la gota de agua involucró la interacción física y morfológica de ésta con la de los recubrimientos sobre el FC. En el S1, los ensayos mostraron que el FC/NE fue altamente hidrófilo, ya que el soporte no permitió que la gota generara un ángulo en superficie y la absorción total de la gota fue instantánea. Después del envejecimiento, el ángulo de contacto de la gota se perdió a los 45.6s, mientras que la absorción total no sobrepasó los 3.5min. El comportamiento observado en el FC se debió a su rugosidad superficial y porosidad, que generalmente están determinadas por el tipo de materias primas utilizadas (química del material) y por el tipo de procesamiento y fabricación de los materiales. Aunque la matriz de FC está compuesta por cemento que morfológicamente proporciona cierta compactación y lisura, según Vélez (2010) también contiene otros componentes que dentro de la mezcla determinan el comportamiento observado —como la fase reforzante— (2010:169-180).

“La relación agua/cemento, el tipo de cemento, los aditivos, la naturaleza de los áridos, su granulometría y dosificación, así como el curado y envejecimiento, determinan en gran medida su permeabilidad y por tanto su resistencia a la difusión fluidos” (Barberena Fernández, 2015:71).

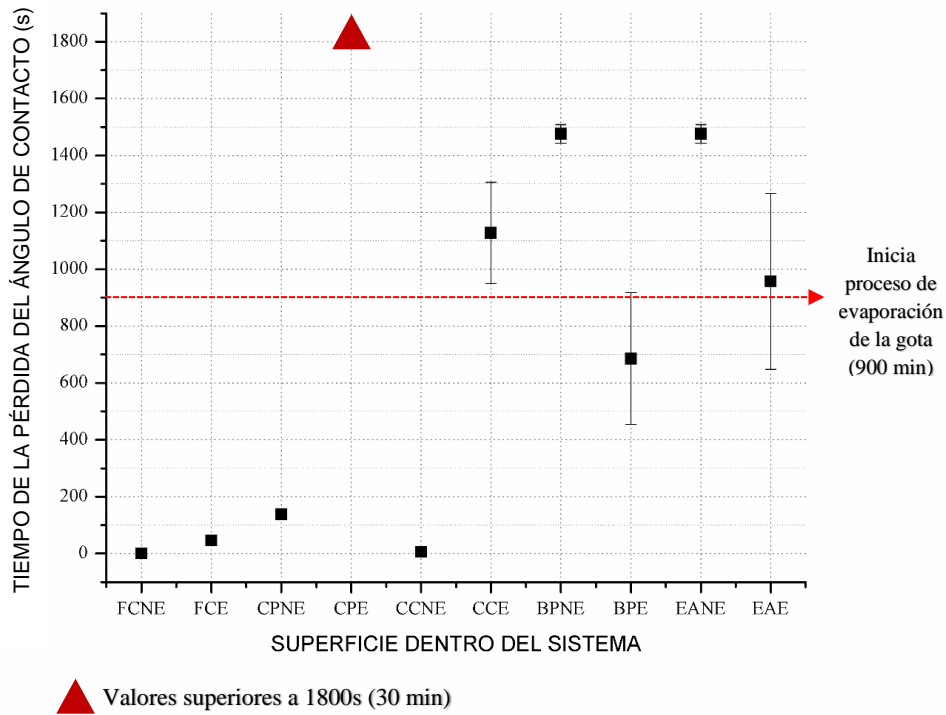


Figura 36. Promedio de pérdida de ángulo de contacto de la gota. Prueba física de permeabilidad sobre la superficie del FC, CP, CC, BP y EA dentro de los sistemas S1, S2, S3 y S4 no envejecidos y envejecidos

El recubrimiento CP/NE del S1 registró un tiempo de pérdida del ángulo de contacto y absorción total de la gota de 2.3 y 10.6min respectivamente. Después del envejecimiento, ambos tiempos superaron los 30min, lo que indicó un comportamiento hidrófobo e impermeable. Por otra parte, el tiempo registrado de la pérdida del ángulo de contacto del CC/NE del S2 indicó un comportamiento hidrófilo similar al FC, ya que no propició la formación de un ángulo de contacto con la gota de agua. De igual manera, previo al envejecimiento, el tiempo registrado para la absorción total fue de 22min con una desviación estándar de +/-4.7min —tiempo que superó el rango establecido antes de la evaporación de

la gota—. Después del envejecimiento acelerado, los tiempos registrados tanto para la pérdida del ángulo de contacto como para la absorción total fueron de 18.8 y 26.2min, con variaciones estándar de +/-2.9 y +/-3.1min respectivamente.

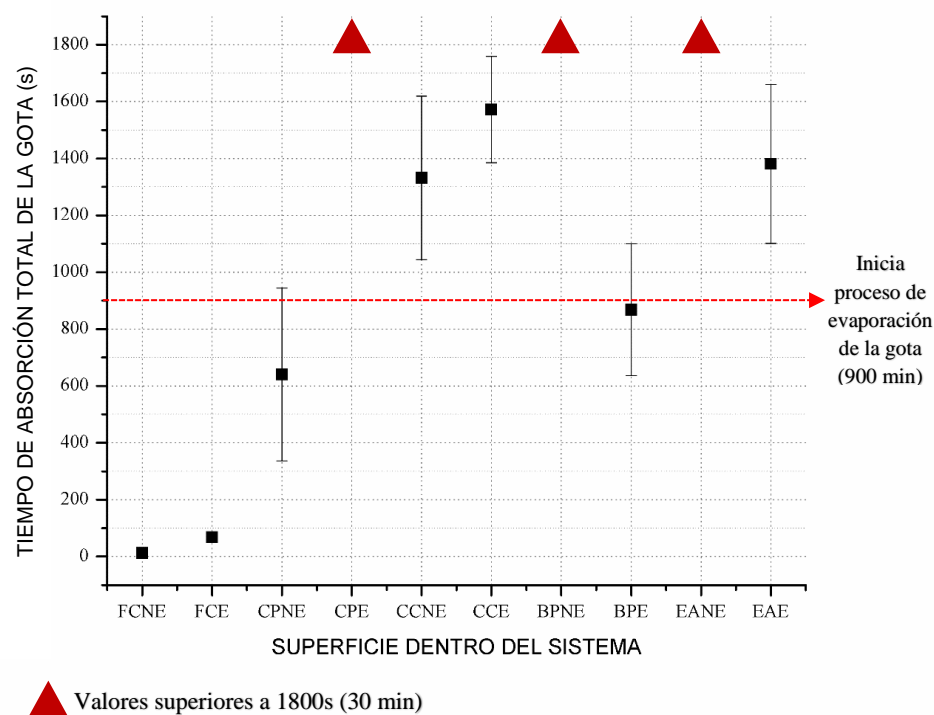


Figura 37. Promedio de absorción total de la gota. Prueba física de permeabilidad sobre la superficie del FC, CP, CC, BP y EA dentro de los sistemas S1, S2, S3 y S4

Los resultados anteriores de ambos materiales indicaron que su comportamiento impermeable fue proporcional al envejecimiento. Particularmente, algunos tipos de resinas acrílicas, al envejecer, tiene una menor afinidad con sustancias polares debido en gran medida a la pérdida del surfactante, componente que actúa como tensoactivo dentro de la resina y el cual contiene una molécula hidrófoba y otra hidrófila. Al perderse este aditivo, se propicia un comportamiento en su mayoría hidrófobo (Mejía González, 2016; Sánchez Ortiz & Micó Boró, 2010:134).

Por otra parte, el BP/NE del S3 registró tiempos superiores a los 15min, tanto en la pérdida del ángulo de contacto (24.6min con una desviación estándar de +/-0.5min) como en la absorción de la gota (después de 30min no hubo adsorción). Sin embargo, una vez

envejecido, fue el único de los tres recubrimientos que en ambos momentos la gota no sobrepasó el tiempo límite antes de la evaporación del agua, y registró 11.3 y 14.4min, con desviaciones estándar de +/-3.8 y +/-5.2min respectivamente. Este comportamiento sugiere una afinidad morfológica del BP/E con el agua líquida, que probablemente estuvo relacionada a cambios superficiales durante el envejecimiento acelerado. Dentro del S4 el comportamiento del EA/NE y EA/E fue totalmente hidrófobo; para la pérdida del ángulo de contacto se registraron valores por encima de los 15min; 24.6 y 15.9min con desviaciones estándar de +/-0.5 y +/-5.1min respectivamente. Con respecto al tiempo de la absorción total de la gota, el EA/NE sobrepasó los 30min, mientras que el EA/E registró 23min con una desviación estándar de +/-4.6min. Después del proceso de envejecimiento, considerado el margen de error, la tendencia de permeabilidad fue a la baja en ambos momentos de análisis.

El estudio del BP y EA indicó un comportamiento contrapuesto a los recubrimientos CP y CC. Si bien, antes del envejecimiento los recubrimientos base solvente no tuvieron afinidad química y morfológica con el agua, sí mostraron una tendencia hidrófila proporcional al envejecimiento, lo que quiere decir que con el tiempo, probablemente adquieran mayor permeabilidad. De igual manera, es posible inferir que permitirán la transferencia de vapor de agua, debido a que esta molécula es de menor tamaño que la del agua en estado líquido (Brown, LeMay, Bursten, & Burdge, 2004).

3.4 PROPIEDADES MECÁNICAS

En este apartado se hace referencia a los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas de resistencia al rayado y de resistencia a la flexión que se realizaron sobre los sistemas probeta, antes y después de la etapa de envejecimiento inducido. Estas pruebas aportaron información de las propiedades a macroescala de los materiales dentro del sistema probeta y se realizaron con procedimientos sencillos, pero también con equipos y herramientas especializadas.

3.4.1 Resistencia al rayado

Los resultados de la prueba mostraron que el FC y la CP del S1, antes y después del envejecimiento, tuvieron un valor promedio de 3 en escala de Mohs. Con respecto a los recubrimientos BP y EA dentro de los sistemas S3 y S4, se observó un comportamiento estable antes y después del envejecimiento acelerado, debido a que ambos recubrimientos conservaron el valor de 4 en escala de Mohs. Finalmente, el recubrimiento CC dentro del S2 tuvo un valor de 5 en escala de Mohs, el cual bajó a 4 después del envejecimiento acelerado (Figura 38).

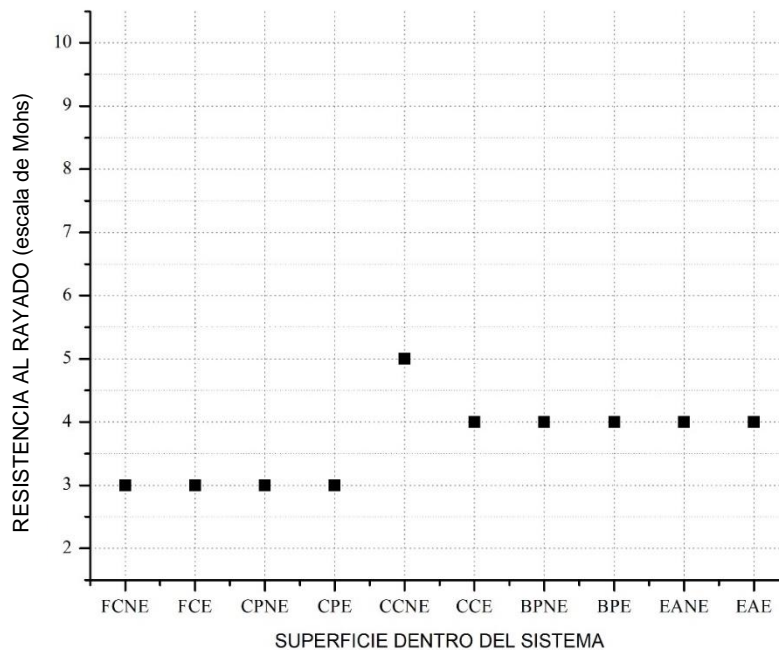


Figura 38. Valor promedio de resistencia al rayado en escala de Mohs del FC, CP, CC, BP y EA dentro de los sistemas antes y después de envejecimiento acelerado

De manera particular, el CC/NE presentó los valores más altos de resistencia al rayado, con un resultado promedio de 5 en escala de Mohs, seguido del BP/NE y EA/NE con un valor de 4. El porcentaje de resistencia al rayado aportado por el CC al FC fue de un 66%⁷⁹, mientras que el BP y EA fue de un 33.3%. Posterior al envejecimiento, el único valor que decayó en resistencia al rayado fue el del CC, con un 20%. Después del envejecimiento acelerado, los tres recubrimientos aportaron una resistencia final al FC de 33.3% en comparación a los valores obtenidos del FC/E sin recubrimiento.

3.4.2 Resistencia a la flexión

Durante la prueba, las propiedades y características del FC fueron determinantes en el comportamiento final de los sistemas. Algunas de las observaciones más relevantes fueron las siguientes:

(1) Al inicio de la prueba, el punto de contacto de los sistemas con los cuatro rodillos no fue homogéneo debido a que el corte de los soportes fue burdo, lo que ocasionó irregularidades en todo el perímetro de las mismas. Cabe mencionar que, una vez que la máquina comenzó a desplazarse y los cuatro rodillos entraron en contacto con la superficie del sistema probeta, ocurrió una alineación de los mismos, y fue a partir de ese momento que la carga se hizo homogénea y el equipo comenzó a registrar la carga y el desplazamiento de manera proporcional.

(2) La mayoría de los sistemas se fracturaron de manera suave y paulatina —en algunos casos fue imperceptible la fractura— sin embargo, fueron pocos los casos en los que la fractura ocurrió de manera violenta, ocasionando un crujido al momento de fracturar.

(3) Se determinó que los sistemas tuvieron un comportamiento tenaz debido a su capacidad de absorber energía.

(4) Todos los sistemas superaron su límite elástico (módulo de Young) y tuvieron un comportamiento plástico que ocasionó una deformación permanente⁸⁰.

⁷⁹ El cálculo se realizó respecto al FC sin recubrimiento. Se calculó a partir de la diferencia de los dos valores a comparar, el cual se convirtió a porcentaje utilizando como 100% en valor de FC.

⁸⁰ En cambio, un material elástico al dejar de aplicarle una carga, la deformación vuelve a cero y no hay deformación permanente.

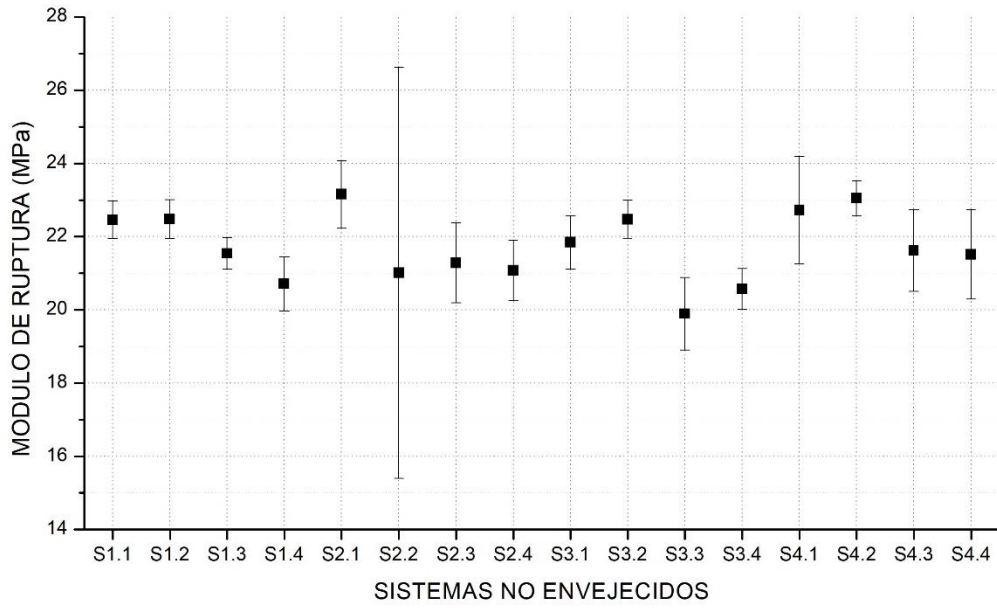


Figura 39. Módulo de ruptura de los sistemas S1, S2, S3 y S4 en las cuatro diferentes medidas, antes del envejecimiento acelerado

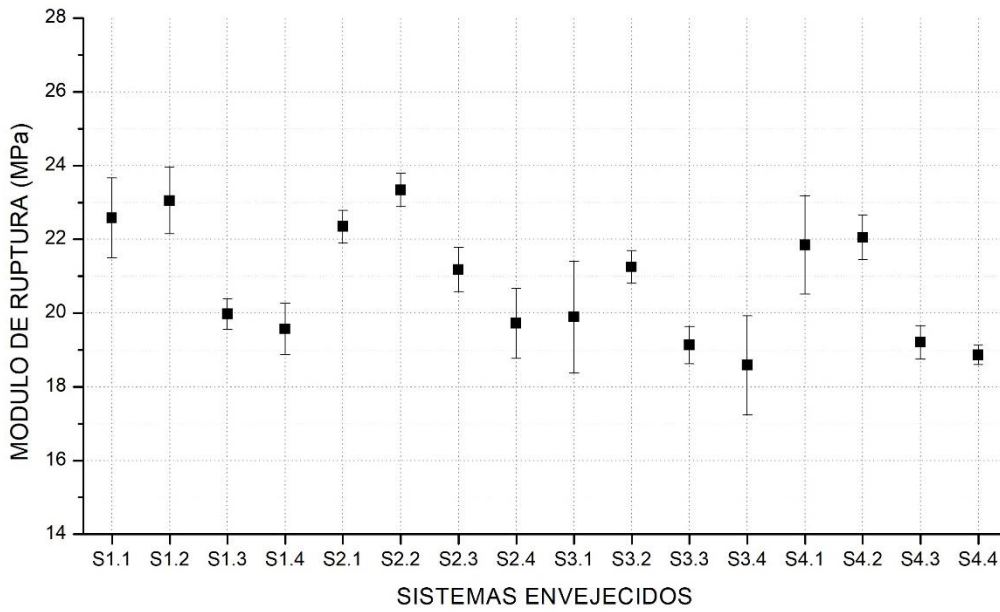


Figura 40. Módulo de ruptura de los sistemas S1, S2, S3 y S4 en las cuatro diferentes medidas, después del envejecimiento acelerado

El comportamiento entre el S1/NE y S1/E fue heterogéneo, debido a que en las medidas pequeñas (15X7.5 y 20X10cm) el módulo de ruptura aumentó después del envejecimiento en un 0.5 y 2.5% respectivamente; sin embargo, en las medidas mayores (25X12.5 y 30X15cm) decayó un 7.2 y 5.5% respectivamente.

La comparación entre el S1/NE y los sistemas S2, S3 y S4 no envejecidos, indicaron que el recubrimiento EA aumentó en un 1.1, 2.5, 0.3 y 3.8% el módulo de ruptura en todas las medidas, seguido del recubrimiento CC en las medidas 15X7.5 y 30X15cm con un 3.1 y 1.7%, respectivamente. El recubrimiento BP no aportó un porcentaje de resistencia al soporte.

El cotejo del S1/E con los sistemas S2, S3 y S4 también envejecidos, indicó un detrimento en los módulos de ruptura de los sistemas S3 y S4; no obstante, el CC fue el único que aumentó los valores del módulo del sistema en un 1.2, 6 y 0.7%, en tres diferentes medidas del soporte (20X10, 25X12.5 y 30X15cm).

La comparación de los módulos de ruptura de los sistemas con recubrimiento antes y después del envejecimiento acelerado mostraron que todos los sistemas envejecidos decayeron en los valores del módulo, aunque el sistema S2 fue el que menos porcentaje de cambio tuvo, con un 3.4%; seguido del S3 y el S4 con 6.9 y 7.8% respectivamente. Los resultados obtenidos y los porcentajes de resistencia se consideraron importantes debido a que en comparación al grosor del FC, la capa formada por los recubrimientos fue muy delgada.

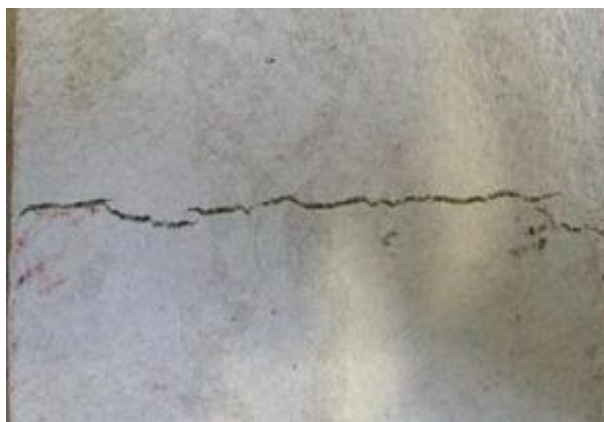


Figura 41. Tipo de fractura en FC

Por otra parte, con respecto al tamaño de los soportes utilizados para los sistemas probeta, se observó una tendencia a la baja en los de mayores dimensiones (25X12.5 y 30X15cm), que por el contrario, en los de medidas menores (15X7.5 y 20X10cm) hubo un incremento en los valores del módulo de ruptura. Este comportamiento correspondió con el observado en los sistemas una vez envejecidos, sin embargo, los valores del módulo decayeron aún más.

Finalmente, los resultados de la prueba indicaron que antes del envejecimiento acelerado, todos los sistemas mantuvieron una constante en los valores del módulo de ruptura, de entre 23 y 20MPa; con ciertas variaciones entre el tamaño de soporte. Después del envejecimiento, ocurrió un detrimento en estas cifras, que aparentemente fueron proporcionales al envejecimiento y al tamaño de los soportes del sistema probeta. Lo anterior indicó que la tendencia de resistencia ante fuerzas incidentes perpendiculares de un sistema, incluso con recubrimiento, irá disminuyendo cuando las dimensiones del soporte sean cada vez mayores (paneles de gran formato).

3.5 MORFOLOGÍA Y COMPOSICIÓN

En este apartado se realizó el estudio de cada uno de los materiales con equipos especializados, con el fin de conocer su morfología y composición; cuestión que tiene un impacto directo en el comportamiento del material. Las primeras observaciones se realizaron con MOAR y MEB, las cuales se efectuaron sobre los sistemas S1, S2, S3 y S4; el análisis se realizó con la imagen obtenida de la superficie del material antes y después del envejecimiento acelerado. Por otro lado, para conocer la composición, se empleó FTIR y DRX, con los que se analizaron los materiales de manera individual; espectroscopia antes y después del ciclo de envejecimiento para los recubrimientos CP, CC, BP y EA, y difracción para el soporte FC.

3.5.1 Microscopía óptica de alta resolución (MOAR)

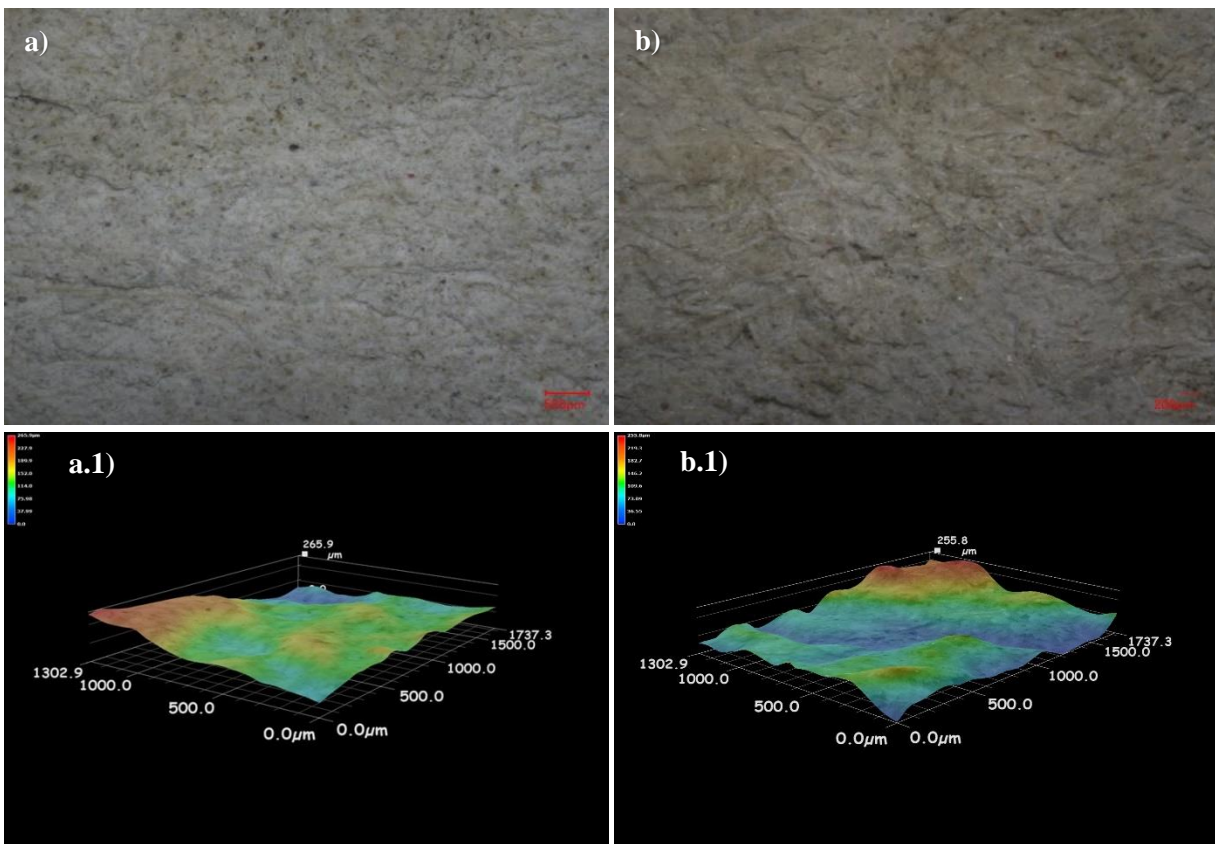


Figura 42. Imágenes de MOAR. S1. *a)* FC/NE vista perpendicular 50X, *a.1)* FC/NE vista 3D 200X, *b)* FC/E vista perpendicular 50X, *b.1)* FC/E vista 3D 200X

En el S1, el FC/NE presentó una textura ligeramente rugosidad y se observó gran cantidad de material de refuerzo, así como partículas blanquecinas correspondiente a las cargas y pasta de la matriz de cemento y posibles pigmentos. También se percibieron otro tipo de cargas de apariencia negruzca. El FC/E evidenció irregularidades en la topografía y tuvo una disminución superficial de aproximadamente $10.1\mu\text{m}$ (Figura 42).

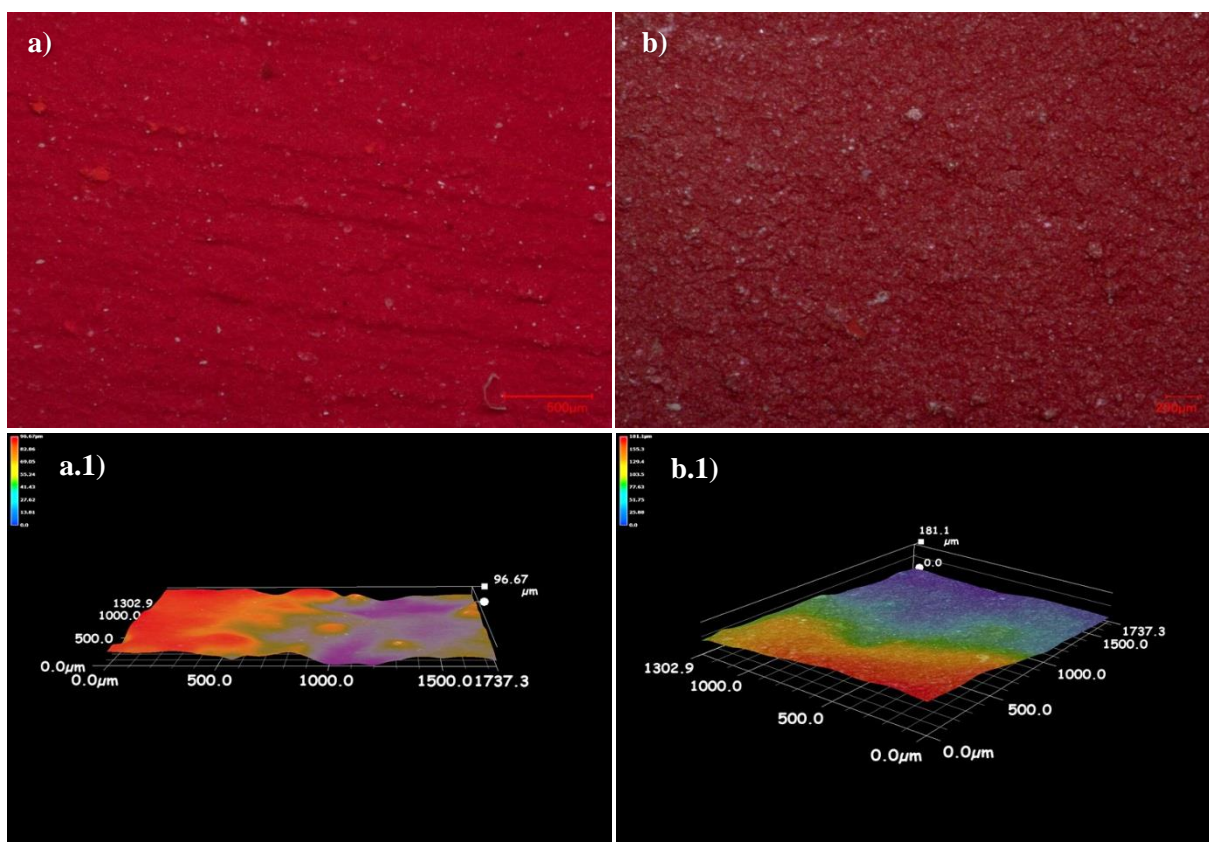


Figura 43. Imágenes de MOAR. S1. *a)* CP/NE vista perpendicular 100X, *a.1)* CP/NE vista 3D 200X, *b)* CP/E vista perpendicular 100X, *b.1)* CP/E vista 3D 200X

En el S1, la CP/NE se observó como una capa consistente y con buen poder cubriente. También se observaron ligeros agrupamientos de partículas de pigmento e irregularidades que se asociaron al método de aplicación. La CP/E se observó granulosa y con pérdidas puntuales —al parecer de pigmento—; efecto que se evidenció en las zonas angulares y blanquecinas (Figura 43).

En el S2, el CC/NE presentó una textura ligeramente rugosa que correspondió con la observada en el FC/NE del S1. De manera particular, fue el único recubrimiento que presentó formaciones cóncavas (tipo “cráter”) dispuestas de forma aleatoria. En el CC/E no se observaron cambios significativos en la topografía y textura (Figura 44).

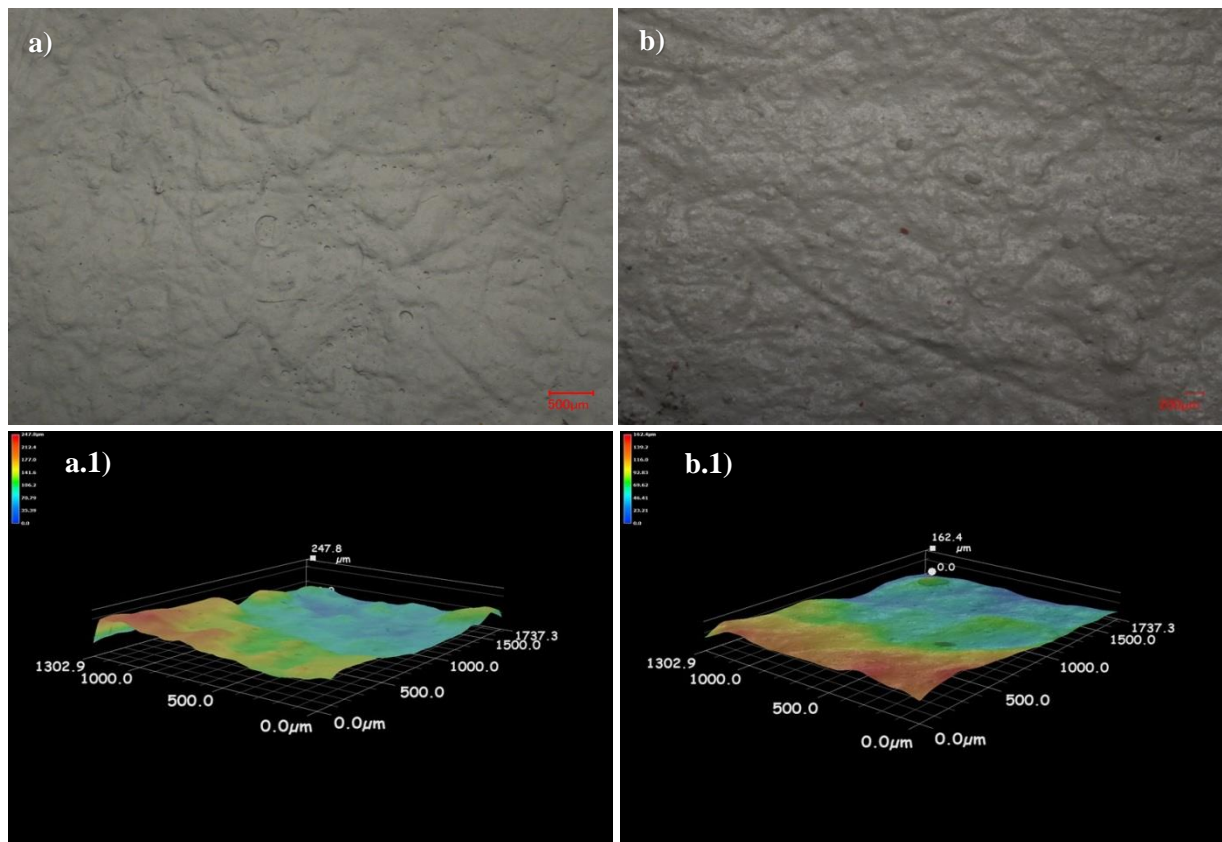


Figura 44. Imágenes de MOAR. S2. *a)* CC/NE vista perpendicular 50X, *a.1)* CC/NE vista 3D 200X, *b)* CC/E vista perpendicular 50X, *b.1)* CC/E vista 3D 200X

El BP/NE del S3 presentó una textura ligeramente rugosa, que al igual que el CC/NE correspondió a la topografía del FC/NE del S1. En cuanto a topografía y textura, los cambios ocurridos en el BP/E fueron mínimos, aunque sí fue perceptible un aumento en la luminosidad y brillo de la superficie (Figura 45).

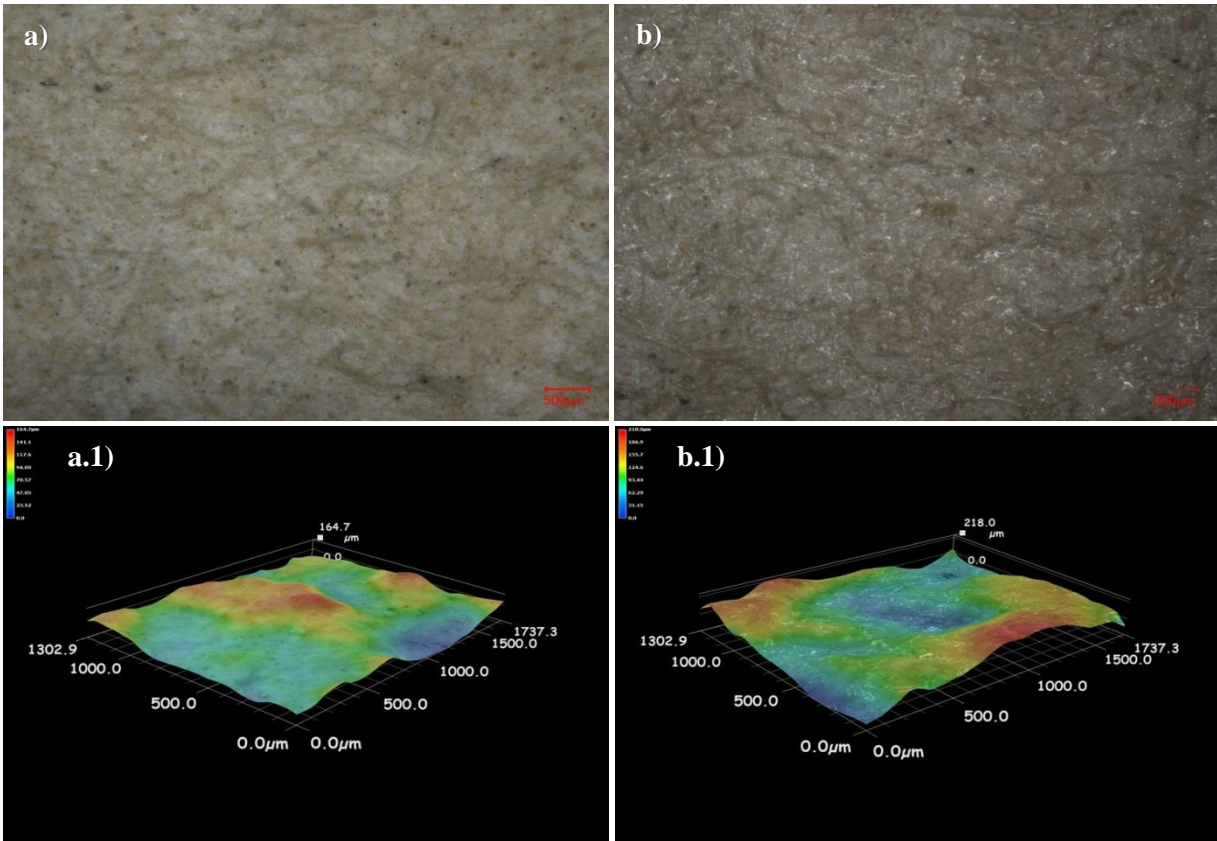


Figura 45. Imágenes de MOAR. S3. *a)* BP/NE vista perpendicular 50X, *a.1)* BP/NE vista 3D 200X, *b)* BP/E vista perpendicular 50X, *b.1)* BP/E vista 3D 200X

En el S4, el EA/NE se depositó en mayores cantidades sobre los valles y las concavidades de la superficie del soporte. Asimismo, conformó una película delgada que permitió observar detalles cromáticos y topográficos del FC. Una vez envejecido perdió la translucidez y evitó por completo apreciar del FC. En las imágenes 3D se observó una ligera reducción de la película del recubrimiento (Figura 46).

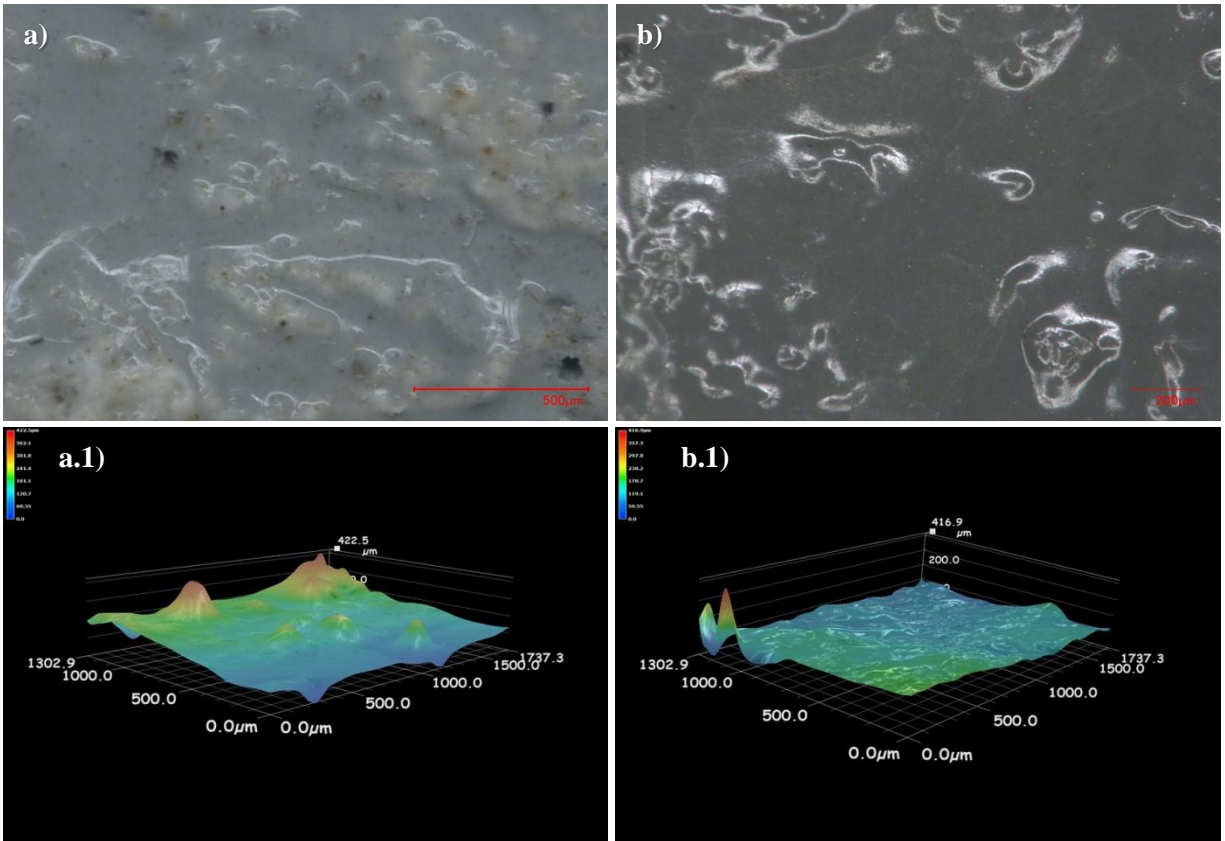


Figura 46. Imágenes de MOAR. S4. *a)* EA/NE vista perpendicular 200X, *a.1)* EA/NE vista 3D 200X, *b)* EA/E vista perpendicular 200X, *b.1)* EA/E vista 3D 200X

En esta prueba, las observaciones más relevantes estuvieron asociadas a la deposición del recubrimiento sobre la superficie del FC. En apariencia, los que se adaptaron mejor a la textura y topografía del soporte fueron el recubrimiento BP y CC, aspecto que se conservó aún después de la etapa de envejecimiento acelerado. Por otra parte, y en cambio a los otros dos recubrimientos, el EA formó una capa que aparentó rellenar los valles del soporte FC, pero no logró cubrir las secciones sobresalientes; cualidad que posterior al envejecimiento acelerado no se conservó.

Por último, fueron evidentes algunas irregularidades de las capas formadas, sobre todo en los recubrimientos CC y CP antes del envejecimiento. Después del envejecimiento, en el CP éstas aumentaron con la aparición de formas granulosas, mientras que para el CC/E no fueron evidentes nuevas irregularidades.

3.5.2 Microscopia electrónica de barrido (MEB)

La fibra utilizada como material de refuerzo en el FC (Figura 47) tuvo un tamaño aproximado de entre 983.7 y 1,113 μm (0.98 y 1.113mm); longitud que concuerda con el tipo de fibra que comúnmente se usó en la industria para la producción de prefabricados de asbesto-cemento a mediados del siglo XX —aproximadamente de $\frac{1}{2}$ pulgada (1.27cm +/-)— (García Calderón, 1978:156).

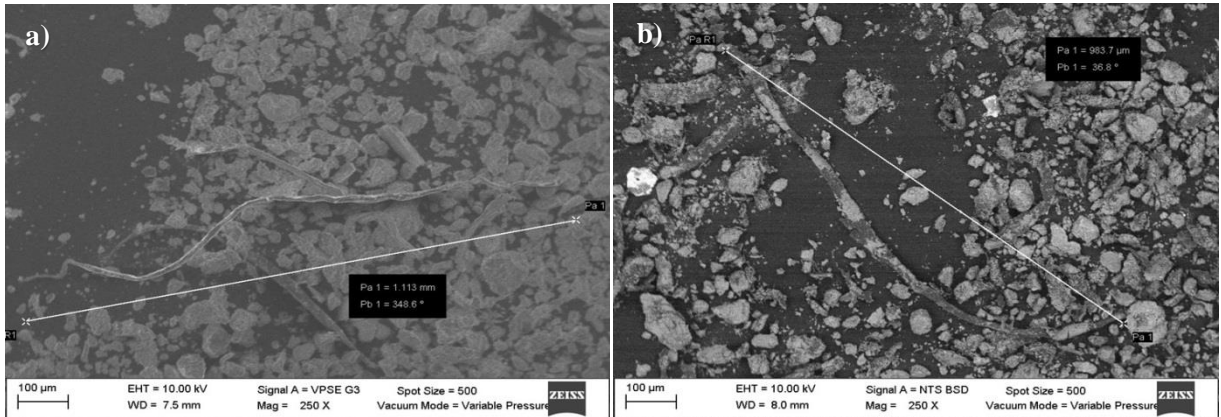


Figura 47. Micrografías de MEB. Fibras de asbesto presentes en FC. *a)* Detector SE (VPSE G3), y *b)* Detector BSE (NTS BSD). Imágenes de MEB vista perpendicular a 250X

Con relación al soporte, en vista perpendicular y transversal, el FC/NE del S1 se observó consistente y medianamente poroso, con gran cantidad de fibras de asbesto en la parte superficial e interna, así como cargas y partículas —probablemente de pigmento— aún cohesionadas en la matriz de cemento. Posteriormente, en el FC/E, los cambios más significativos ocurrieron en la apariencia cohesiva de la matriz; se observó una disminución en la cantidad de fibras, así como un aumento aparente en las partículas disgregadas. Los cambios más significativos ocurrieron en la superficie, la cual mostró escasa compactación y consistencia, e inclusive, se pudieron observar partículas libres de la matriz de cemento (Figura 48).

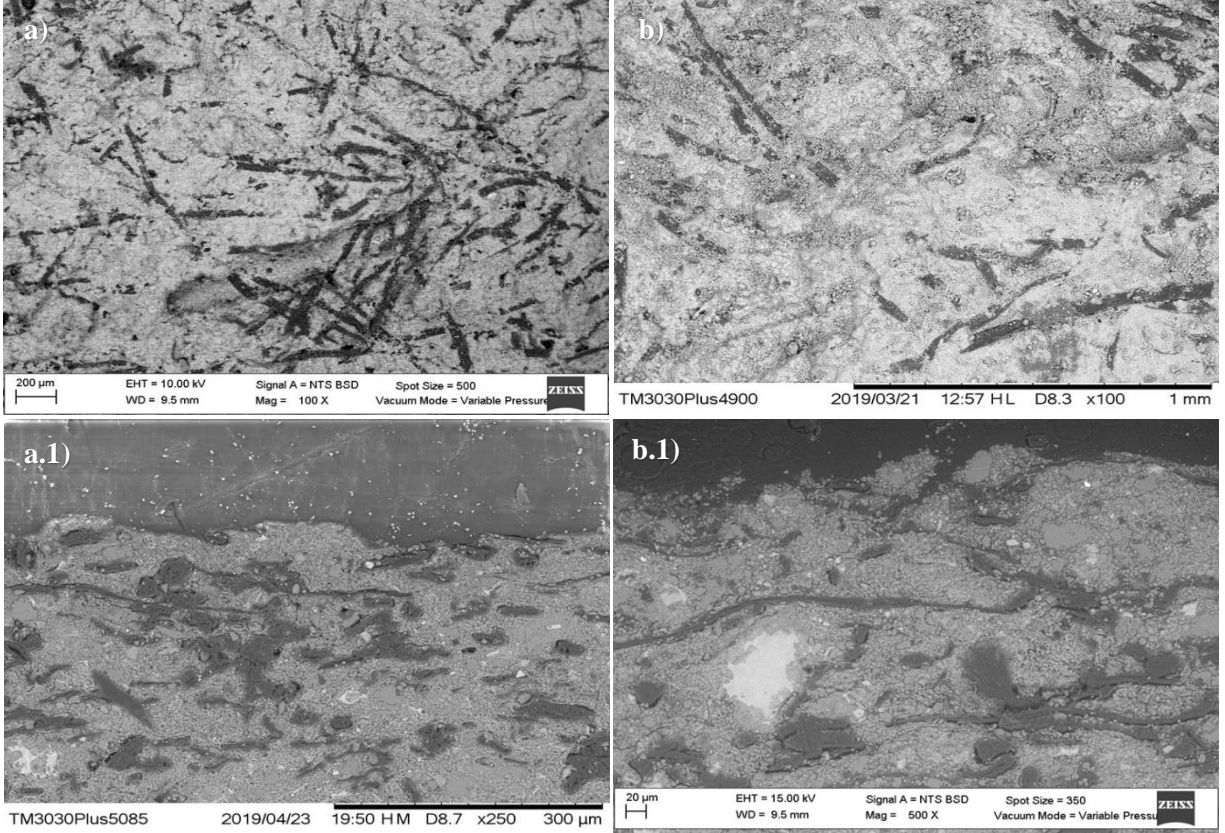


Figura 48. S1. Micrografías de MEB. *a)* FC/NE vista perpendicular 100X, *a.1)* FC/NE vista transversal 250X, *b)* FC/E vista perpendicular 100X, y *b.1)* FC/E vista transversal 500X. BSE (NTS BSD)

En vista perpendicular, en CP/NE del S1 se observaron concavidades puntuales y fibras aún cohesionadas en la matriz. En vista transversal, el recubrimiento CP formó una película consistente y definida de aproximadamente 25 μ m. La capa formada resultó afín a la textura y topografía del FC del S1/NE, sin embargo, tuvo escasa penetración, lo que generó una interfase definida. Por otra parte, correspondiente al soporte FC del S1/NE, el estudio mostró una buena distribución de la matriz y la fase continua. En cambio, en el recubrimiento CP/E vista perpendicular, se observó la formación de concavidades puntuales y un aumento en las partículas disgregadas de pigmento y cargas (Figura 49).

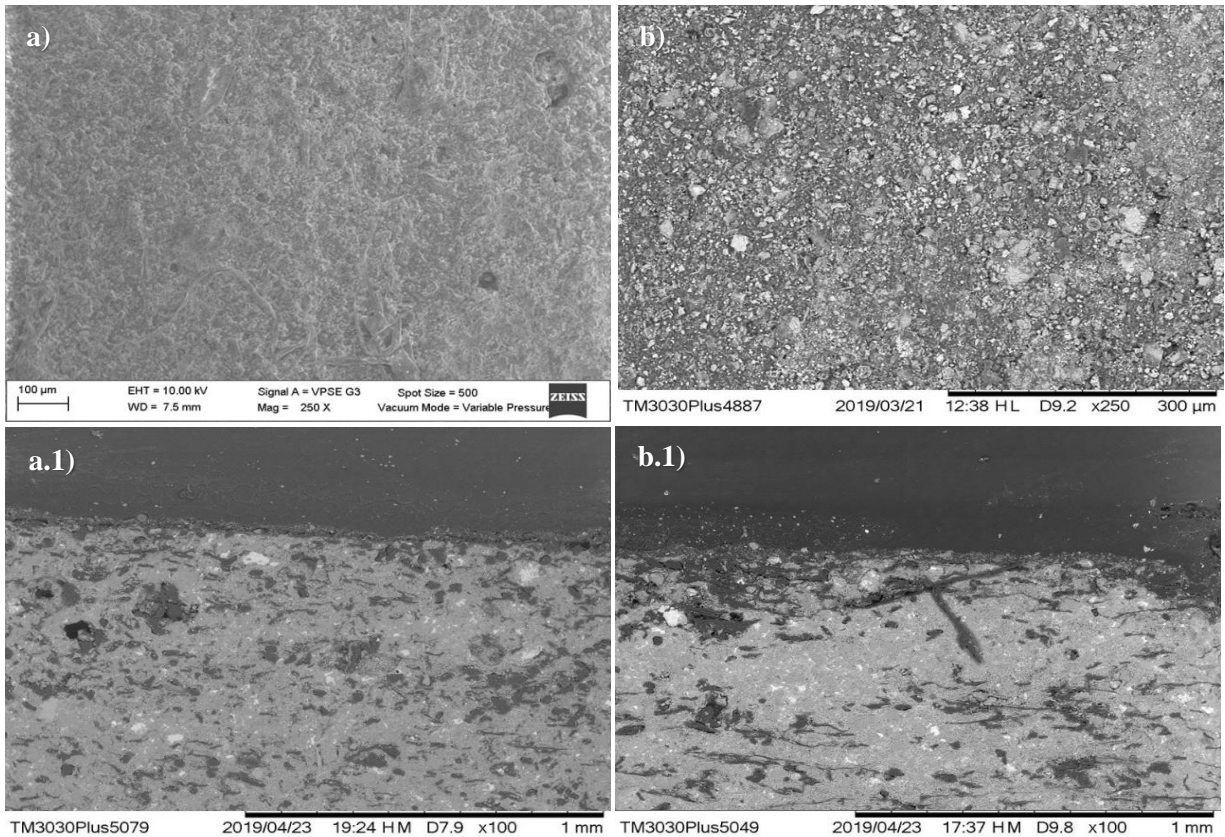


Figura 49. Micrografías de MEB. S1. *a)* CP/NE vista perpendicular 250X SE (VPSE G3), *a.1)* CP/NE vista transversal 100X BSE (NTS BSD), *b)* CP/E vista perpendicular 250X SE (VPSE G3), *b.1)* CP/E vista transversal 100X BSE (NTS BSD)

Después del envejecimiento, en vista transversal se percibió que el grosor de la capa formada disminuyó aproximadamente $20\mu\text{m}$, e inclusive, la interfase perdió definición. En el soporte FC del S1/E se observó la formaron puntual de pequeñas fisuras y zonas cavernosas; también presentó una distribución menos aleatoria y dispersa de la matriz y el material de refuerzo (Figura 49).

En vista perpendicular, el recubrimiento CC/NE se percibió consistente, aunque de manera puntual se apreciaron pequeñas formaciones cóncavas de diverso diámetro y profundidad (tipo “cráteres”). En vista transversal, la capa formada fue de aproximadamente $120\text{-}60\mu\text{m}$ y se adaptó a la topografía y textura del FC. Lo anterior se debió a su espesor y consistencia; el recubrimiento no penetró en el soporte, por lo que se generó una interfase muy definida que logró contener algunos bultos fibrosos del FC (Figura 50). En este mismo

sistema (S2/NE), el soporte FC conservó una buena distribución de la matriz y la fase reforzante.

En vista perpendicular, en el recubrimiento CC/E ocurrieron cambios notables, como el aumento en el diámetro y en la profundidad de las formaciones cóncavas de la superficie, así como un aumento aparente en la disgregación de partículas de pigmento y cargas. En vista transversal, ocurrió una disminución en la película formada, la cual registró un grosor final de aproximadamente 50-30 μ m, además, la interfase se conservó definida y la penetración no aumentó. Por otra parte, en el soporte FC se observó la formación puntual de pequeñas fisuras y zonas cavernosas, pero presentó una buena distribución de la matriz y el material de refuerzo (Figura 50).

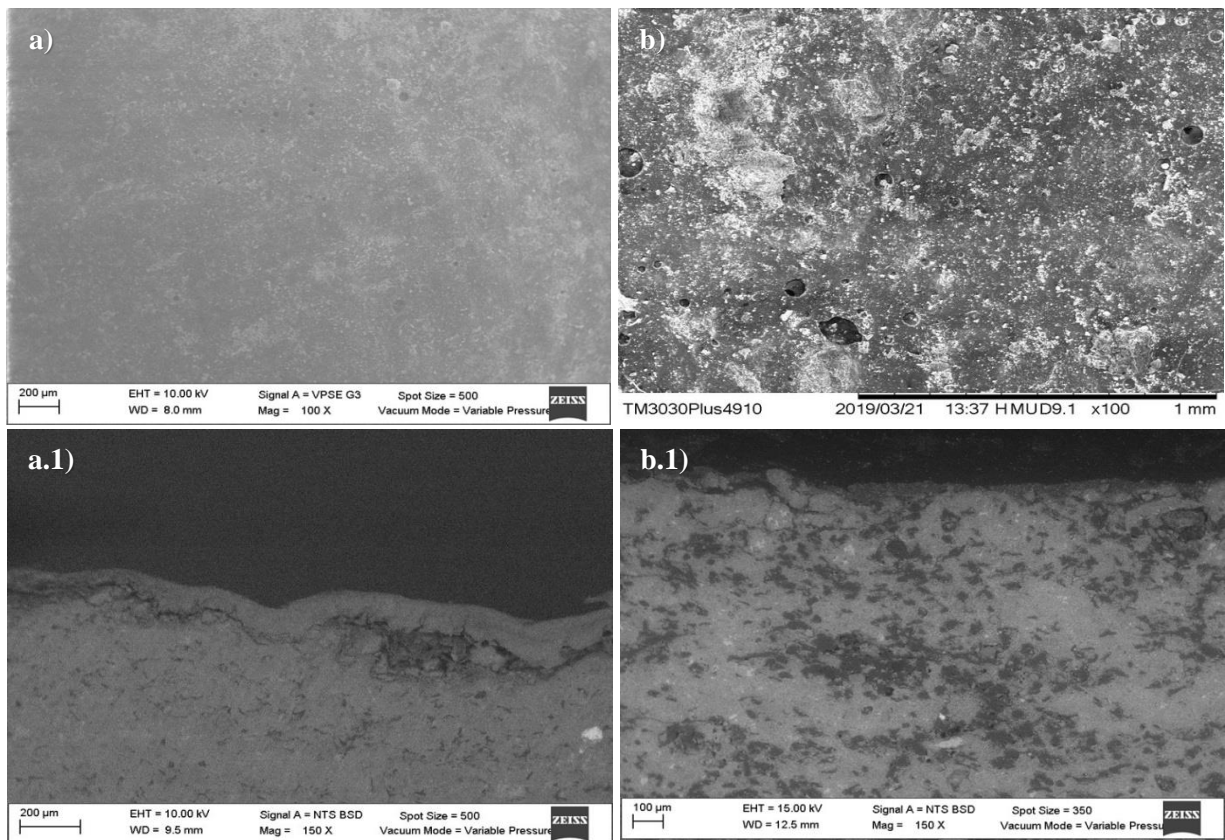


Figura 50. Micrografías de MEB. S2. *a)* CC/NE vista perpendicular 100X SE (VPSE G3), *a.1)* CC/NE vista transversal 150X BSE (NTS BSD), *b)* CC/E vista perpendicular 100X SE (VPSE G3), *b.1)* CC/E vista transversal 150X BSE (NTS BSD)

En vista transversal, la capa formada por el BP fue de aproximadamente 5-2 μ m, la cual se adaptó a la topografía y textura del FC. Asimismo, también se observó un nivel heterogéneo de penetración con una interfase +/- definida. Por otra parte, el soporte FC del S3/NE mostró una apariencia granulosa, con más presencia de la fase continua que la fase dispersa. Por otro lado, el recubrimiento BP/E en vista perpendicular, mostró una morfología irregular, en la que se identificaron partículas aparentemente disgregadas y fibras en superficie. En vista transversal, la capa formada disminuyó en grosor a 4-1 μ m aproximadamente, pero siguió afín a la superficie del FC con la interfase +/- definida y con un nivel heterogéneo de penetración. Por último, el soporte FC del S3/E presentó pequeñas fisuras y zonas cavernosas, y presentó aglomeraciones de material de refuerzo (Figura 51).

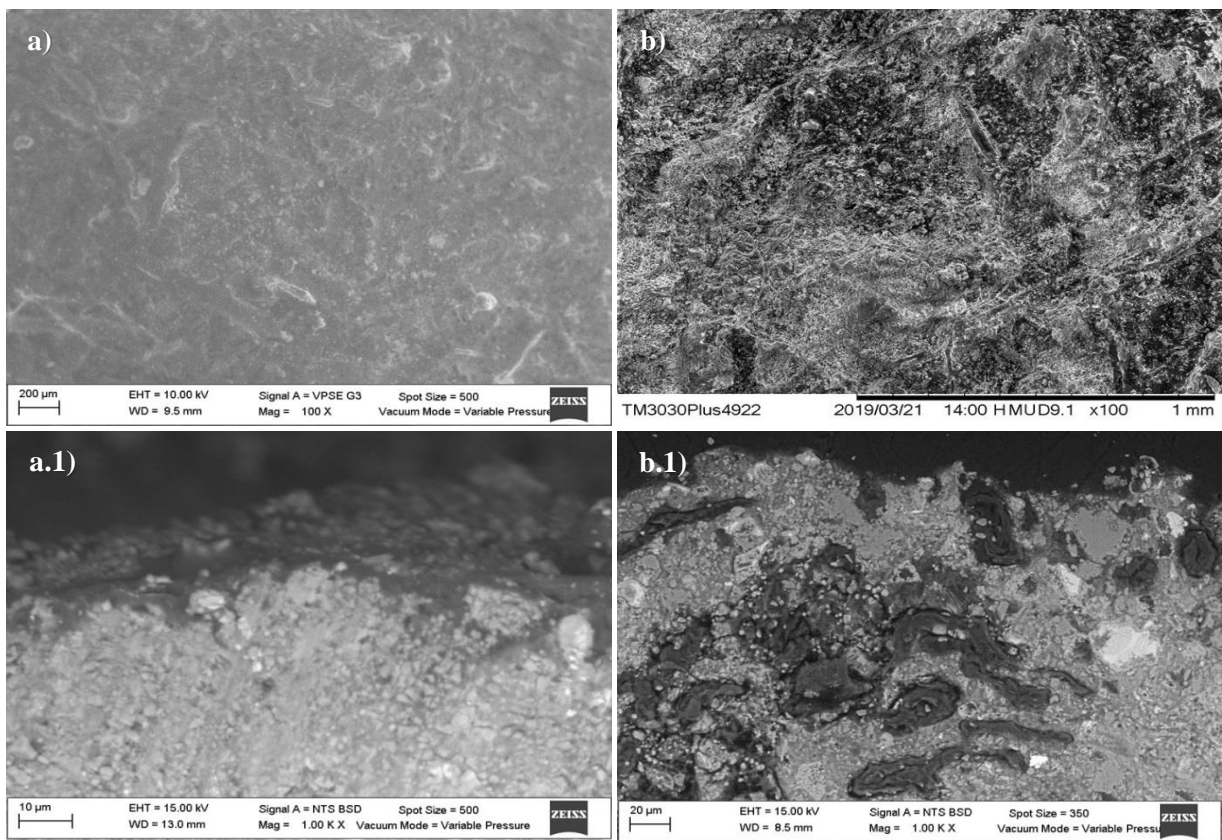


Figura 51. Micrográficas de MEB. S3. *a)* BP/NE vista perpendicular 100X SE (VPSE G3), *a.1)* BP/NE vista transversal 1000X BSE (NTS BSD), *b)* BP/E vista perpendicular 100X SE (VPSE G3), *b.1)* BP/E vista transversal 1000X BSE (NTS BSD)

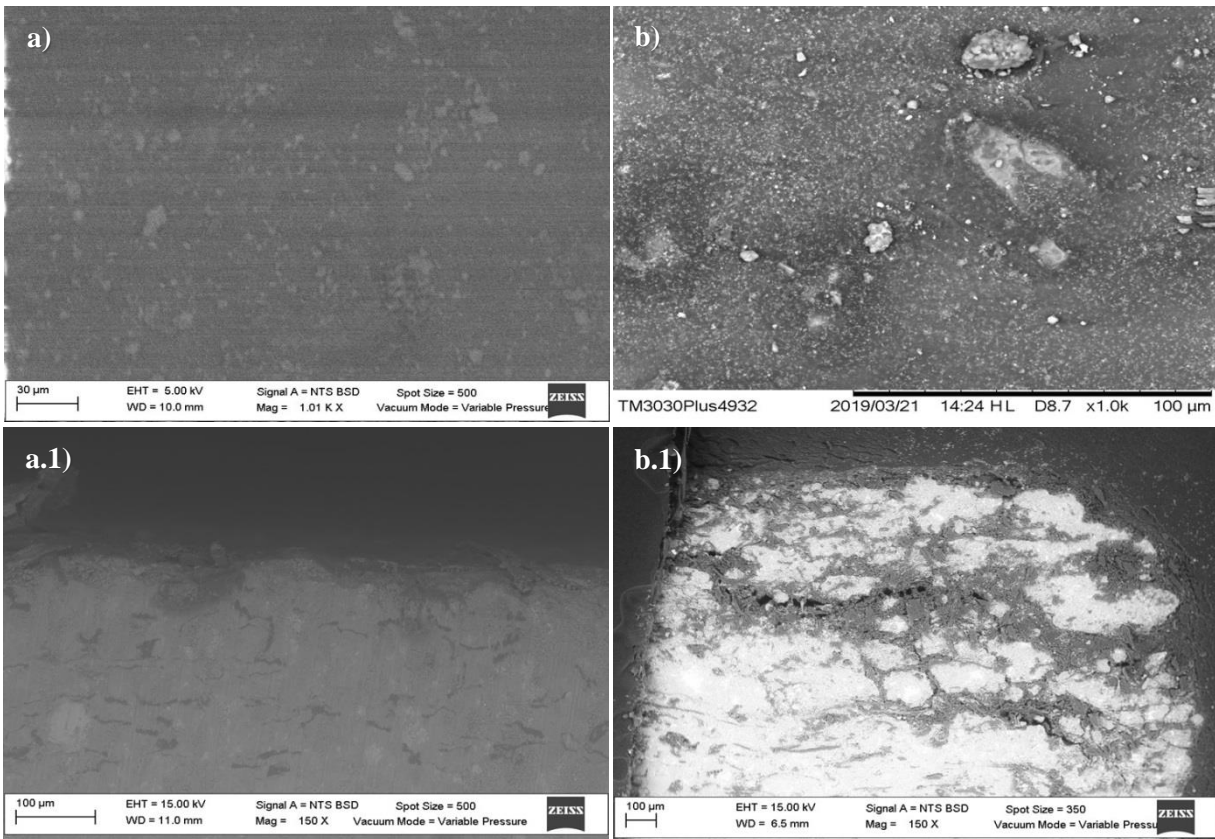


Figura 52. Micrografías de MEB. S4. *a)* EA/NE vista perpendicular, *a.1)* EA/NE vista transversal, *b)* EA/E vista perpendicular, *b.1)* EA/E vista transversal. BSE (NTS BSD) a 1000 y 150X

En vista perpendicular, el recubrimiento EA/NE del S4 se observó consistente, no permitió percibir la morfología del FC y puntualmente, se percibieron pequeñas formaciones convexas en superficie —probablemente burbujas—. En vista transversal, el recubrimiento formó una película heterogénea de aproximadamente 36-9 μ m, y al igual que los recubrimientos CC y BP del S2/NE y S3/NE respectivamente, se adaptó a la topografía y textura del FC. Asimismo, se observó un nivel heterogéneo de penetración, por lo que la interfase fue definida en unas zonas y difusa en otras —característica similar a la observada en el recubrimiento BP/NE del S3— (Figura 52).

Por otra parte, el soporte FC del S4/E mostró mayor matriz que fase reforzante. A su vez, en vista perpendicular, el recubrimiento EA/E mostró una morfología irregular, en la que únicamente se evidenciaron partículas, probablemente cargas, aún cohesionadas. En

vista transversal, la capa formada disminuyó en grosor a 20-10 μ m aproximadamente, pero siguió afín a la superficie del FC y con una interfase +/- definida pero un nivel heterogéneo de penetración. Finalmente, en el soporte FC del S4/E se observaron fisuras y zonas cavernosas de diversas dimensiones, además de aglomeraciones de material de refuerzo y partículas libres de la matriz de cemento (Figura 52).

En conclusión, la observación y los análisis de las micrografías indicaron que el FC del S1/E presentó los cambios más notorios en la zona interna y en superficie. La alteración más relevante fue la pérdida de cohesión entre las partículas de la matriz y el material de refuerzo. Dentro de este mismo sistema, las alteraciones del recubrimiento CP fueron menores, incluso en comparación a los tres recubrimientos de protección.

Con respecto a los recubrimientos, los cambios más significativos involucraron el grosor de la película formada y su adelgazamiento; la interfase y penetración; así como la apariencia del FC en los cuatro sistemas, antes y después del envejecimiento acelerado. En relación al grosor, el detrimento más notorio ocurrió en el CC, seguido del EA, BP y la CP, con una reducción del 55.5, 33.3, 28.5 y 20% respectivamente. Respecto a la interfase, en el recubrimiento CC se observó muy definida, en cambio, el resto de los recubrimientos se observó +/-definida. De igual forma, la penetración de los recubrimientos antes y después del envejecimiento fue regular, a excepción del CC/NE que, a una magnificación de 150X, pareció nula. Finalmente, la apariencia del FC dentro de los sistemas antes y después del envejecimiento inducido tuvo algunas alteraciones, sin embargo, en el S2 (CC/NE y CC/E) conservó un mejor aspecto, mientras que en el S4/E se percibió con mayores alteraciones.

3.5.3 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

El CP/L resultó tener concordancia química con el espectro patrón de resinas acrílicas previamente estudiadas (Alonso Felipe, 2016:14) sin embargo, también se observaron algunas variaciones en la intensidad de las vibraciones y ligeros desplazamientos de las bandas (Figura 53).

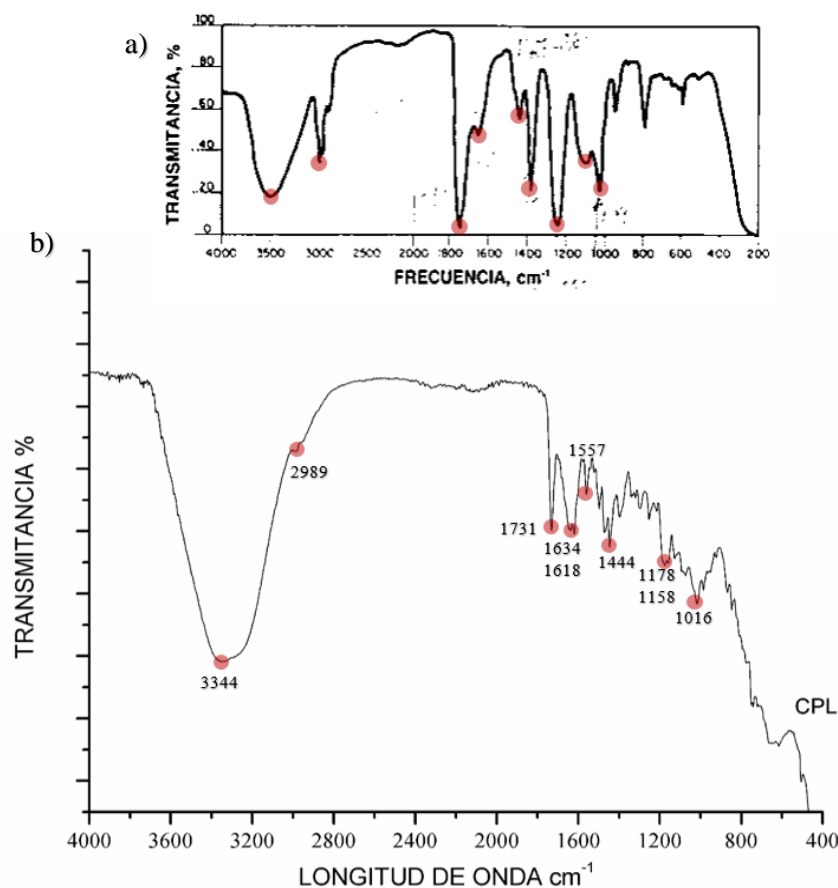


Figura 53. Espectros FTIR. a) espectro patrón de resina acrílica, y b) espectro del CP/L

1) Con respecto al CP/L, en 3704 y 2794cm^{-1} se identificó una banda de apariencia ancha correspondiente a una vibración de tensión⁸¹ del grupo funcional hidroxilo (R-OH), aunque se mostró una leve modificación en la intensidad (Talamantes Piquer *et al.*, 2017:261-264; Gutiérrez López, 2013:53; Rojo Callejas, s/f). En el espectro CP/S llegó a un punto de casi desaparecer por completo, en cambio en CP/SE, la vibración reapareció no con apariencia ancha, sino a manera de vibraciones separadas con valores de 3676 , 3563 y 3418cm^{-1} respectivamente. Esta vibración indicó la parte polar del surfactante que al formarse la resina se atenuó, y posterior al envejecimiento, comenzó a interactuar con partículas de agua. (2) Las bandas con valores de entre 2978 y 2794cm^{-1} pertenecieron al enlace R-CH, que hicieron referencia a radicales alcanos (R-CH₃) y alquenos (R-CH₂);

⁸¹ Las vibraciones de tensión se caracterizan por registrar los cambios en la distancia interatómica a lo largo del eje del enlace entre dos átomos (Espectroscopia infrarroja IR, 2006).

grupos que permanecieron en todos los espectros (CP/L, CP/S y CP/SE). (3) Las bandas con vibraciones entre 1724 a 1616 cm^{-1} correspondieron al grupo funcional carbonilo (R-C=O), las cuales se intensificaron en CP/S y CP/SE. (4) La banda con valores en 1444 cm^{-1} representó una vibración de flexión⁸² del enlace R-C-H. (5) Y finalmente, las vibraciones de entre 800 y 400 cm^{-1} posiblemente correspondieron a los compuestos de las cargas dentro del recubrimiento; la literatura indica que el anión carbonato (R-CO₃) tiene vibraciones en esta región (Talamantes Piquer *et al.*, 2017:261) (Figura 54).

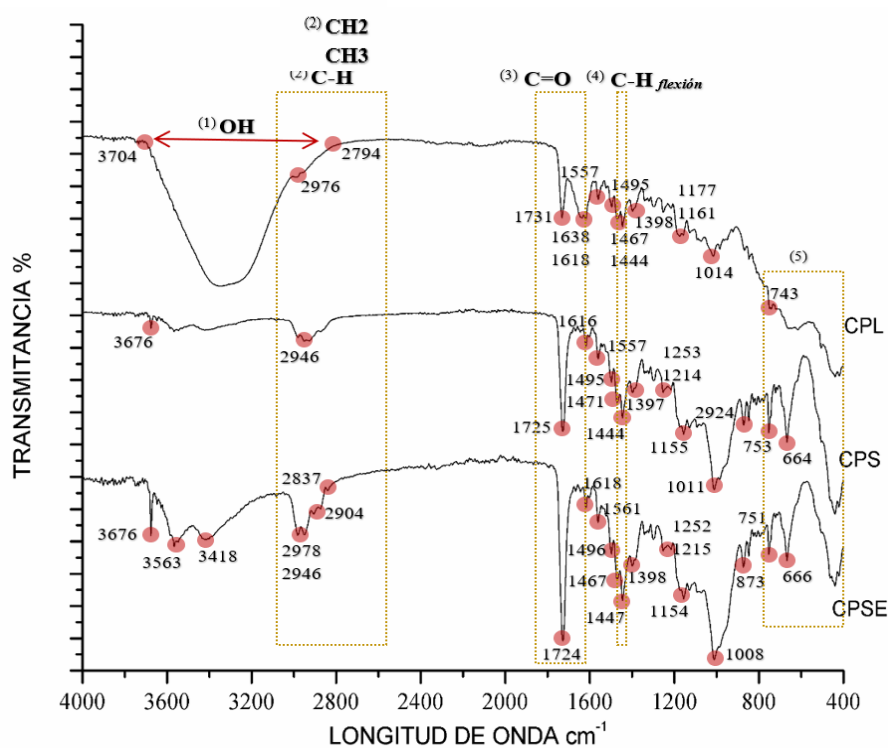


Figura 54. Espectros FTIR. CP/L, CP/S y CP/SE. El número entre paréntesis indica la referencia y explicación en el cuerpo de texto

⁸² La vibración de flexión es originada por cambios en el ángulo que forman el enlace (Espectroscopia infrarroja IR, 2006).

El CC/L resultó tener concordancia química con el espectro patrón de resinas acrílicas previamente estudiadas (Alonso Felipe, 2016:14) sin embargo, se observaron ciertas diferencias en la intensidad de las vibraciones y ligeros desplazamientos de las bandas (Figura 55).

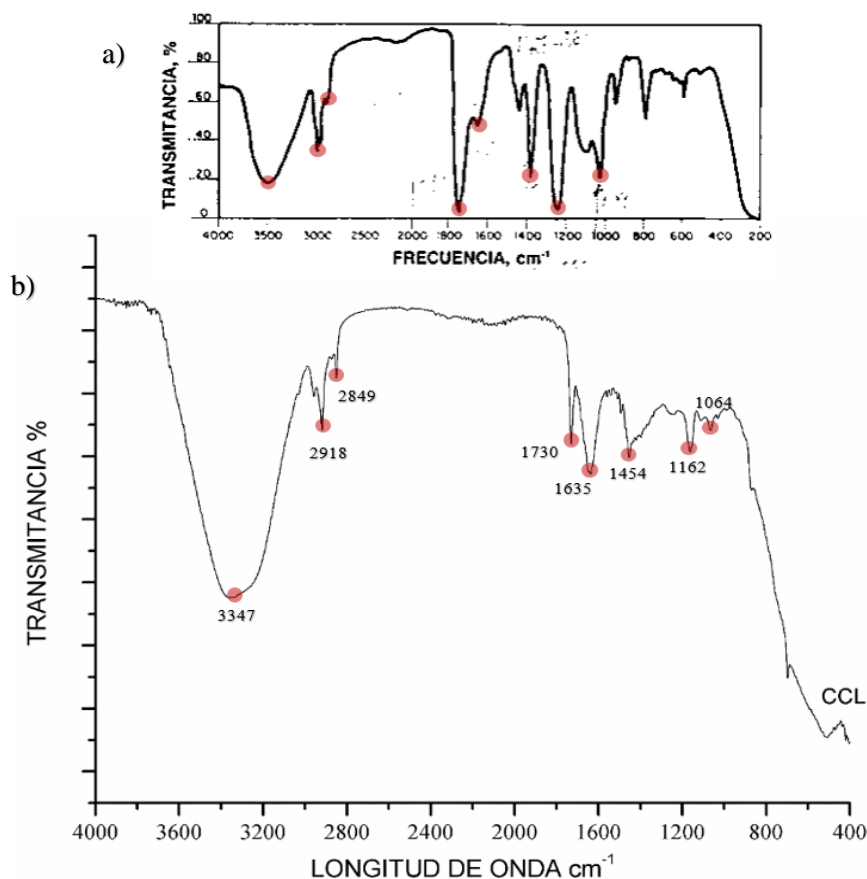


Figura 55. Espectros FTIR. a) espectro patrón de resina acrílica, y b) espectro del CC/L

La comparación de los espectros del CC/L, CC/S y CC/SE evidenció un cambio en la estructura del recubrimiento, sobre todo en el proceso de solidificación y formación de la resina —transición de CC/L a CC/S—. (1) Con respecto al CC/L, entre los parámetros 3702 y 2988 cm^{-1} se identificó una banda de apariencia ancha que correspondió a una vibración de tensión del grupo funcional hidroxilo (R-OH) (Talamantes Piquer *et al.*, 2017:261-264; Gutiérrez López, 2013:53; Rojo Callejas, s/f) no obstante, ésta modificó su intensidad hasta el punto de desaparecer por completo en los espectros generados del CC/S y CC/SE. Lo anterior probablemente se debió a que el R-OH presente en estado líquido reaccionó para

formar el grupo carbonilo o algún compuesto aromático (Meléndez García, comunicación personal, 25 de enero de 2019). (2) Las bandas con valores de entre 2986 y 2849 cm^{-1} pertenecieron al enlace R-CH que referenciaron a alcanos (R-CH₃) y alquenos (R-CH₂), grupos que permanecieron en todos los espectros. (3) Las bandas con vibraciones de entre 1730 cm^{-1} en CC/L, CC/S y CC/SE, y 1626 cm^{-1} en CC/L, correspondieron al grupo funcional carbonilo (R-C=O), que en la vibración 1626 cm^{-1} modificó su intensidad y se desplazó ligeramente a vibraciones de rango menor. (4) La banda con valores 1444 cm^{-1} en CC/L, 1450 cm^{-1} en CC/S y 1448 cm^{-1} en CC/SE representaron a la vibración de flexión del R-C-H. (5) Las bandas de 1146 a 1025 cm^{-1} correspondieron a vibraciones de tensión entre los enlaces C-O y C-C (Talamantes Piquer *et al.*, 2017:261-264; Gutiérrez López, 2013:53; Rojo Callejas, s/f). Por último, (6) (7) las vibraciones de entre 874 y 400 cm^{-1} posiblemente correspondieron a los compuestos de las cargas dentro del recubrimiento; la literatura indica que el anión carbonato (R-CO₃) tiene vibraciones en esta región (Talamantes Piquer *et al.*, 2017:261) (Figura 56).

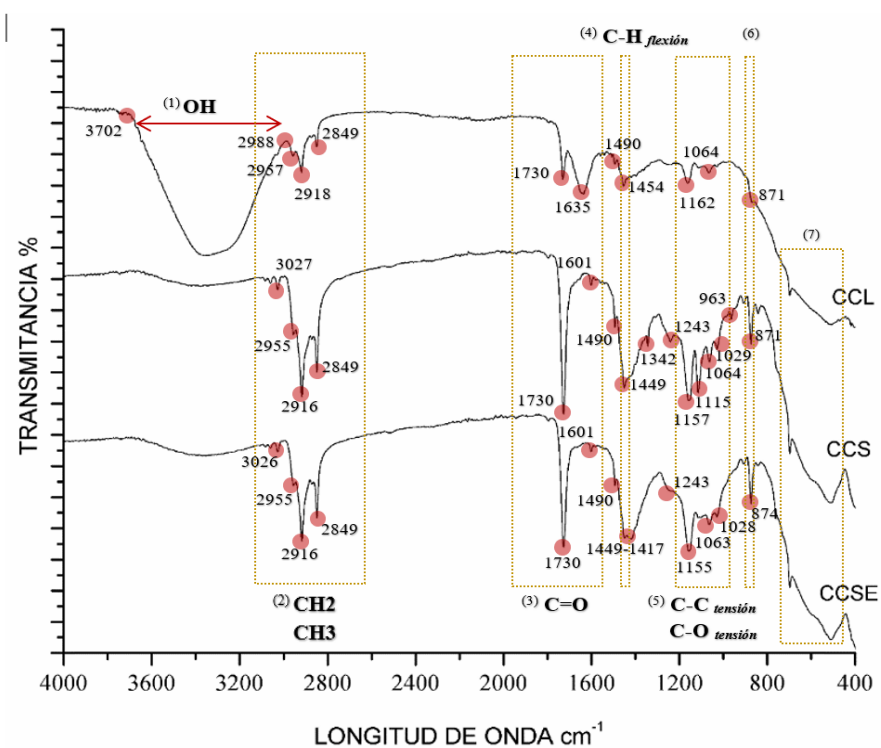


Figura 56. Espectros FTIR. CC/L, CC/S y CC/SE. El número entre paréntesis indica la referencia y explicación en el cuerpo de texto

Con respecto a los recubrimientos CP y CC, los cambios más notorios ocurrieron en la región 3800 a 2600cm^{-1} , lo que indicó una transformación en los aditivos, específicamente la surfactante de la resina, compuesto que dentro de la dispersión acrílica actúa como tensoactivo que propicia la miscibilidad en el medio acuoso (Mejía González, comunicación personal, 07 de junio de 2019). Antes de la formación de la resina, en ambos recubrimientos hubo una intensa vibración del grupo hidroxilo (R-OH) —grupo funcional asociado con la molécula del agua— que al pasar de estado líquido a sólido seco, disminuyó considerablemente por lo que se infirió la pérdida del medio acuoso y la permanencia de la molécula hidrófoba del surfactante, la cual se manifestó en la región 3000 y 2700cm^{-1} y de forma particular, aumentó su vibración en el recubrimiento CP/SE pero en el recubrimiento CC/S y CC/SE mantuvo el valor inicial.

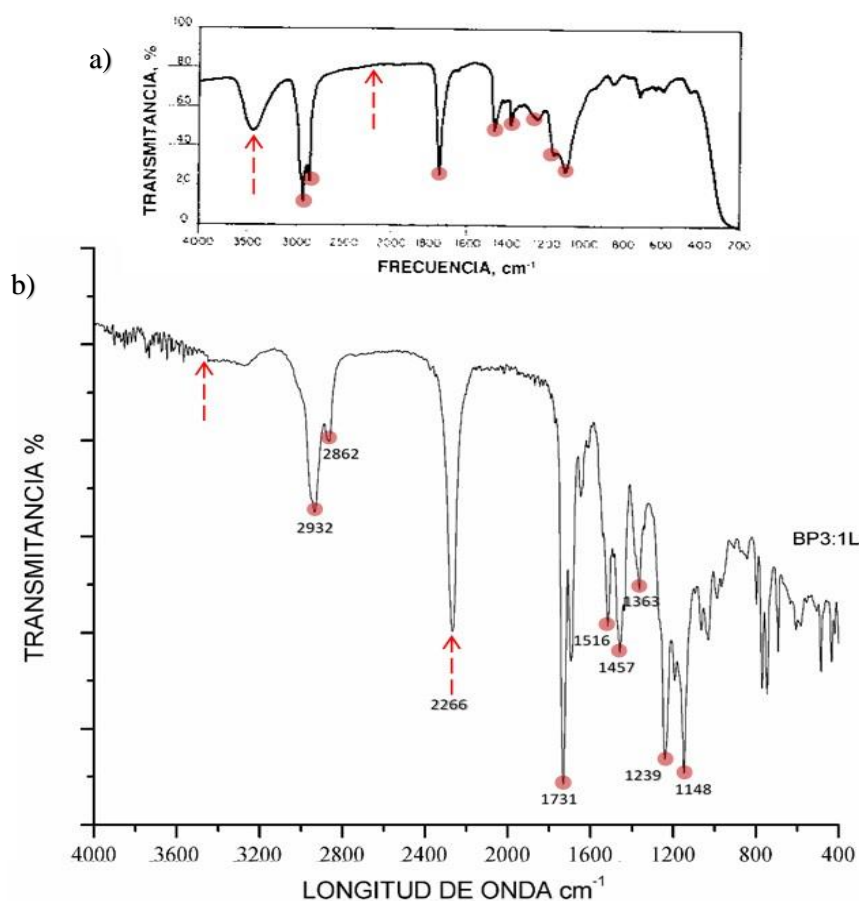


Figura 57. Espectros FTIR. *a)* espectro patrón poliuretano, y *b)* espectro del BP3:1/L

Con relación al recubrimiento BP, la mezcla inicial BP3:1 resultó tener similitudes y diferencias con el espectro patrón de los poliuretanos previamente estudiados (Alonso Felipe, 2016:16). Las similitudes se presentaron entre las bandas $2932\text{-}2862\text{cm}^{-1}$ y $1731\text{-}1148\text{cm}^{-1}$, con ciertas variaciones en la intensidad de las vibraciones y ligeros desplazamientos de las bandas. Sin embargo, las diferencias —indicadas con la flecha roja dentro de los espectros— se presentaron en la banda 3500cm^{-1} aproximadamente —presente solo en el patrón de referencia— y en la banda 2266cm^{-1} del BP3:1/L —ausente en el espectro patrón—. La banda 3500cm^{-1} probablemente correspondió a la vibración de un ácido carboxílico (R-COOH) presente únicamente en el poliuretano del espectro patrón. La banda 2266cm^{-1} del BP3:1L se debió a una vibración relacionada con el tipo de catalizador empleado, ya que es característica de un isocianato libre (R-NCO) que dentro de la reacción es un extendedor de las cadenas de poliuretanos (Figura 57).

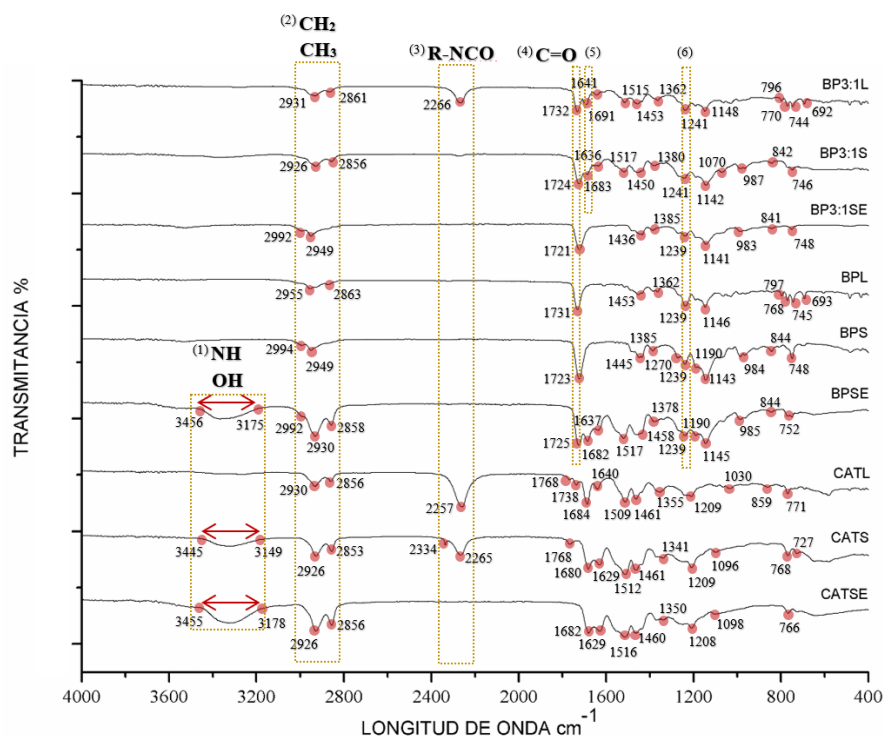


Figura 58. Espectros FTIR BP3:1 y sus componentes individuales en /L, /S y /SE. El número entre paréntesis indica la referencia y explicación en el cuerpo de texto

La comparación del BP3:1 y las sustancias separadas de la mezcla evidenciaron cambios en la estructura del recubrimiento especialmente después de la formación de la resina —transición de BP/L a BP/S—. Para este recubrimiento también se llevó a cabo la identificación de los grupos funcionales que fueron aportados por BP y CAT al BP3:1. (1) Las bandas entre 3300 y 3500cm^{-1} correspondieron a enlaces R-NH y R-OH característicos del aril uretano asociado que se encuentra presente en todas las variantes de poliuretano (Gregorí, de la Hoz, Alba, Guerra & Ochoa, 2008:7; Gregorí, Guerra, Mieres, Alba, Brown, Rangel-Vázquez, Sosa & de la Hoz, 2008:386; Arán Aís, 2000:195). Esta vibración no se observó en BP3:1/L, BP3:1/S y BP3:1/SE, pero fue visible en BP/SE y en CAT/SE. (2) Las bandas con vibraciones de entre 2994 y 2863cm^{-1} hicieron referencia a alcanos (R-CH₃) y alquenos (R-CH₂), que correspondieron a los radicales de la cadena del polímero; estas vibraciones estuvieron presentes en BP3:1/L y en los componentes separados en líquido, sólido seco y sólido seco envejecido. (3) Las bandas de entre 2334 y 2265cm^{-1} correspondieron al isocianato libre como extendedor de las cadenas de poliuretano, que es aportado directamente por el catalizador. (4) (5) Las bandas con vibraciones entre 1738 y 1680cm^{-1} tanto del BP3:1 como del BP y CAT correspondieron al grupo funcional carbonilo (R-C=O), el cual se generó por el grado de separación de fases en los poliuretanos (Arán Aís, 2000:158). Por último, (6) entre las bandas 1241 y 1239cm^{-1} se identificaron carbonos aromáticos, pero resultó difícil identificar su procedencia debido a que probablemente se encuentren solapadas (Figura 58).

Es relevante resaltar que los poliuretanos son producto de la reacción entre el isocianato (R-NCO) y algún compuesto que contenga grupos hidroxilo (R-OH). Con dicha reacción, si se utilizan reactivos bifuncionales, es posible obtener un material de estructura lineal; si la funcionalidad de los reactivos aumenta, se formarán polímeros con cadenas entrecruzadas o estructuras reticuladas (Arán Aís, 2000:12) (Figura 58).

En conclusión, el análisis de los espectros indicó que los cambios más significativos ocurrieron en los componentes individuales de la mezcla. Después del envejecimiento, en el BP y en el CAT ocurrió un aumento vibracional entre los valores 3456 y 3175cm^{-1} lo que indica una hidratación en la estructura del material —región correspondiente al grupo funcional hidroxilo (R-OH)—. Por otra parte, en la mezcla BP3:1/S hubo un detrimento de la banda 2266cm^{-1} correspondiente a la reacción del curado, en cambio, en BP3:1/SE

observaron ligeros cambios entre las bandas 1721 a 1239 cm^{-1} . Cabe destacar que los cambios ocurridos en los componentes individuales del recubrimiento no se manifestaron en la mezcla.

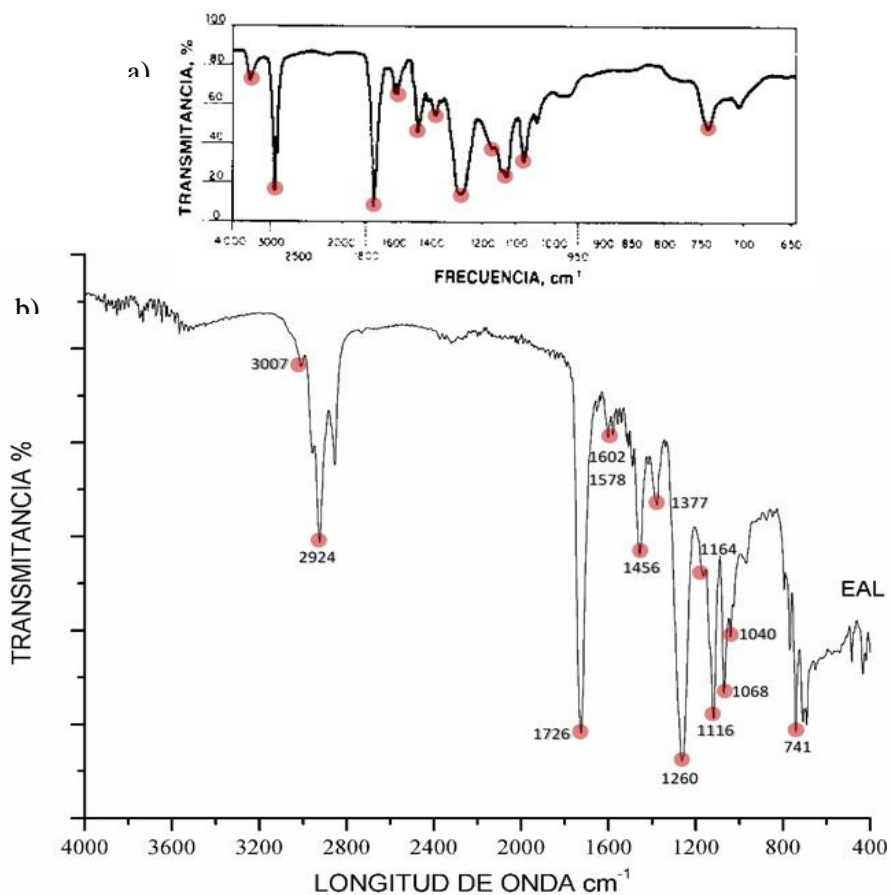


Figura 59. Espectros FTIR. a) espectro patrón esmalte alquidálico, y b) espectro del EA/L

Con respecto al recubrimiento EA/L, éste tuvo gran semejanza química con el espectro patrón de esmaltes alquidálicos previamente estudiados (Alonso Felipe, 2016:13; Ribadeneira Cabrera, 2008:17 y 102) sin embargo, se observaron pequeñas variaciones cerca de la banda 2924 cm^{-1} del espectro patrón (Figura 59).

De manera general, los principales grupos funcionales R-OH, R-CH₃, R-CH₂ y grupo carbonilo éter, coincidieron con las regiones de recubrimientos de naturaleza alquídica (ASTM D2621, 2005:2). Los espectros obtenidos del EA/L, EA/S y EA/SE fueron muy similares; las diferencias más significativas se observaron en EA/S con la aparición de vibraciones entre las bandas 3571 y 3240cm⁻¹ en EA/SE (1). Estas vibraciones correspondieron al grupo funcional hidroxilo (R-OH) que generalmente aparece en este tipo de polímeros. El incremento en la intensidad de estas bandas se atribuyó a la generación de especies que contienen ácido carboxílico (R-COOH) (Ribadeneira Cabrera, 2008:17 y 102; ASTM D2621, 2005:2). (2) Las vibraciones de entre la 2924 y 2851cm⁻¹ presentes en EA/L, EA/S y EA/SE, correspondieron a R-CH₃ y R-CH₂ (Ribadeneira Cabrera, 2008:102) y su decrecimiento en EA/S y EA/SE respondió a una probable pérdida del material alifático que se debió a las reacciones de ruptura en la cadena de la resina (Ribadeneira Cabrera, 2008:103). (3) La vibración entre 1726 y 1716cm⁻¹ correspondió al grupo funcional carbonilo éster (R-COO-R) (Ribadeneira Cabrera, 2008:17; ASTM D2621, 2005:2) y la disminución en su intensidad probablemente se debió a la ruptura en los dobles encales del grupo carbonilo (Ribadeneira Cabrera, 2008:104). Finalmente, (4) las vibraciones de entre 800 y 400cm⁻¹ posiblemente correspondan a los compuestos de las cargas dentro del recubrimiento (Figura 60).

Las observaciones anteriores indicaron que los cambios más notorios en el EA fueron la formación de la banda 3571 a 3240cm⁻¹, correspondiente a vibraciones del funcional hidroxilo (R-OH), que alude a un proceso de hidratación apenas perceptible en el recubrimiento en estado sólido seco y sólido seco envejecido.

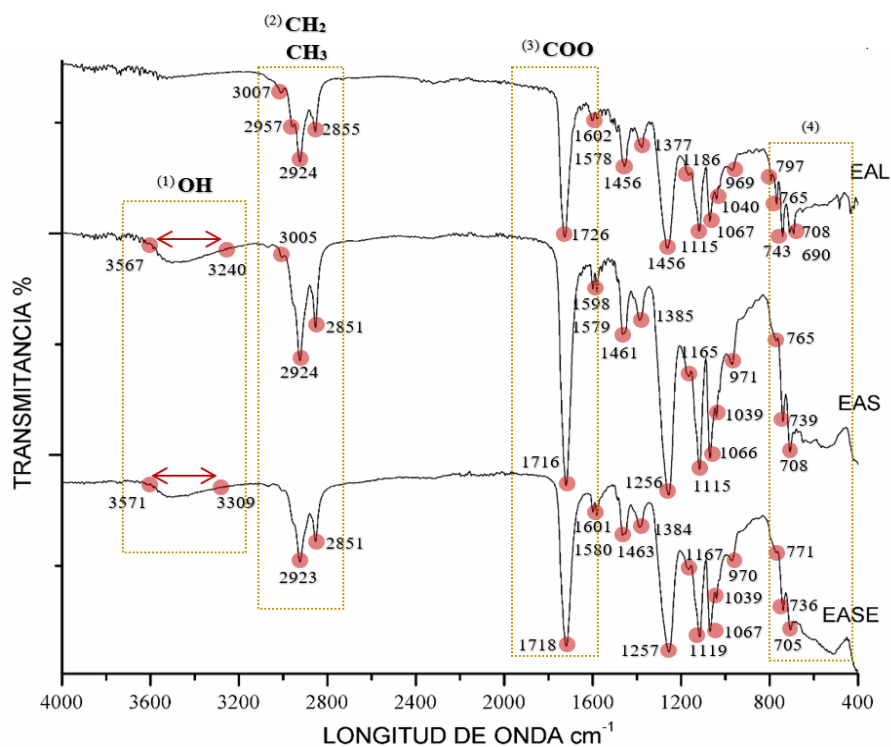


Figura 60. Espectros FTIR. EA/L, EA/S y EA/SE. El número entre paréntesis indica la referencia y explicación en el cuerpo de texto

Finalmente, una vez realizado el análisis y la comparación de los resultados obtenidos, se identificó que los cambios más comunes para todos los recubrimientos ocurrieron en la región 3800 y 2200cm^{-1} . Las bandas presentes dentro de este rango son de especial interés debido a que es una región que indica la composición y el comportamiento físico-químico del recubrimiento ya sea en estado líquido, sólido seco o sólido seco envejecido. Si bien, en todos los materiales se observó un aumento, disminución y desplazamiento de estas bandas, los cambios más notorios ocurrieron en los de naturaleza acrílica, en donde aumentaron las vibraciones del enlace carbono-hidrógeno (R-C-H) y disminuyeron las correspondientes al grupo hidroxilo (R-OH).

3.5.4 Difracción de rayos X (DRX)

En el análisis de DRX sobre la muestra en polvo se identificó la presencia de hidrato de óxido de hierro y calcio [$\text{Ca}_3(\text{FeO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$], óxido de silicio (SiO_2), sulfato de calcio [$\text{Ca}(\text{SO}_4)$] —yeso si se encuentra hidratado—, *katioite* [$\text{Ca}_3 \text{Al}_2 (\text{SiO}_4) (\text{OH})_8$] y *anatasa* o blanco de titanio TiO_2 . Los tres primeros compuestos corresponden al cemento que conforma la matriz del fibrocemento, mientras que el blanco de titanio corresponde a un agregado tipo pigmento para darle a los paneles la apariencia blanquecina.

La fibra de asbesto identificada fue una variedad dentro del grupo de las serpentinas, reconocida en el software PDF 4+ 2018[®] como antigorita [$(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$]; sin embargo, por la composición, también puede tratarse de crisotilo o asbesto blanco [$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$], variedad de asbesto más común y utilizado por la industria a nivel internacional. La diferencia entre ambas variedades es el arreglo estructural y su apariencia a macroescala; ambos tienen un sistema monoclinico, sin embargo, mientras que la antigorita tiene un sistema macizo y de grano fino, el crisotilo tiene una apariencia fibrosa (Klein & Hurlbut, 2001:562).

En la siguiente imagen se observa el difractograma general (en rojo) y los compuestos identificados con el software PDF 4+ 2018[®] (patrones de colores). En orden de proximidad al diagrama de difracción principal, se ubican el óxido de silicio (SiO_2), seguido del sulfato de calcio [$\text{Ca}(\text{SO}_4)$], *katioite* [$\text{Ca}_3 \text{Al}_2 (\text{SiO}_4) (\text{OH})_8$], hidrato de óxido de hierro y calcio [$\text{Ca}_3 (\text{FeO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$], *anatasa* (TiO_2) y por último, la variedad de asbesto [$(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})$] (Figura 61).

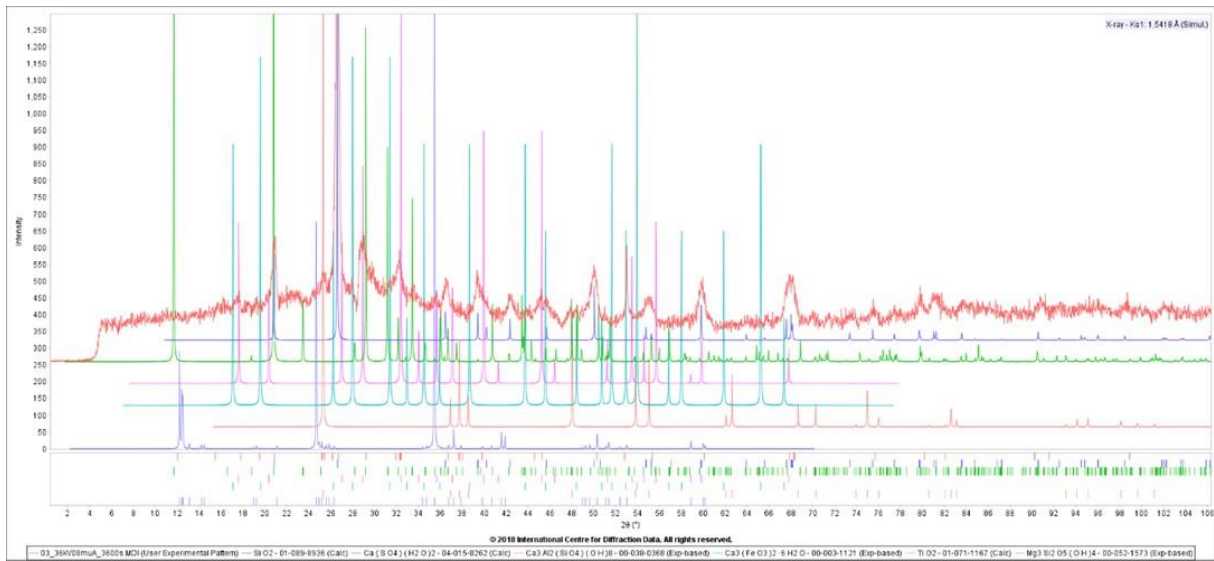


Figura 61. Difractograma general DRX (en rojo) y los compuestos identificados con el software PDF 4+ 2018[®] (patrones de colores)

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La discusión de los resultados se llevó a cabo en tres etapas. En la primera se realizó una comparación entre los resultados más relevantes de cada una de las pruebas y los análisis realizados durante el desarrollo de la experimentación. Posteriormente, y con base en lo anterior, en la segunda etapa se determinó la idoneidad de cada uno de los recubrimientos estudiados en cara a las consideraciones y requerimientos de restauración para recubrimientos de protección y su aplicación sobre soportes de asbesto-cemento expuestas en el apartado 1.5 del Capítulo I. Finalmente, en la tercera etapa se realizó una comparación de los resultados concluyentes del proceso de envejecimiento acelerado del S1 y los estudios y análisis realizados en el caso de estudio, reportados en el apartado 1.3 del Capítulo I. Con este ejercicio se generaron recomendaciones con el objetivo de la preservación del soporte del Mural N°3 exterior de La Tallera.

4.1 MATERIALES Y SISTEMAS PROBETA

Con respecto al soporte de fibrocemento de los sistemas probeta (FC), los resultados de las pruebas y los análisis realizados indicaron que en su masa y volumen, este prefabricado —por sí mismo— es resistente a fuerzas perpendiculares, sin embargo, a nivel superficial tiende a deteriorarse. Este detrimento se observó a diferentes niveles (macro y microescala), por lo que se determinó una necesaria aplicación de un material de protección en superficie.

Los componentes sustanciales de este soporte mostraron una estabilidad química bajo condiciones específicas de envejecimiento —temperatura y humedad alta y fluctuante, y periodos cortos de desecación y enfriamiento—. Sin embargo, como ya se mencionó, los cambios más significativos fueron de orden físico y mecánico, y se manifestaron a nivel superficial entre la interacción fibra-matriz; el principal deterioro observado fue la pérdida de cohesión entre las partículas del cemento y el material de refuerzo.

Por otra parte, en la capa pictórica (CP) se observaron notables alteraciones que también fueron evidentes a diferentes niveles de observación —a simple vista, a microescala y a nivel de composición—. Al igual que en el soporte de fibrocemento, los factores que propiciaron su deterioro fueron las condiciones extremas y fluctuantes de humedad y

temperatura, las cuales ocasionaron la pérdida parcial de cargas y algunos aditivos como el surfactante; se ha observado que estas pérdidas de material ocurren de manera usual en las resinas de naturaleza acrílica, especialmente cuando son sometidas a condiciones específicas de envejecimiento (Mejía González, 2016).

Dentro de la dispersión acrílica previo a la formación de la resina, el surfactante actuó como tensoactivo que favoreció su miscibilidad en el medio acuoso. En la capa pictórica de los sistemas probeta, la pérdida parcial de este aditivo fue evidente tanto en los resultados obtenidos en el estudio de composición como en el comportamiento observado al aplicarse agua líquida sobre la capa; usualmente, cuando la resina pasa de estado líquido a sólido seco, el surfactante se deposita en la superficie de la película, y específicamente, la molécula hidrófoba de su estructura es la que se dispone en contacto con el aire, por lo que el recubrimiento adquiere propiedades impermeables⁸³. Después de su envejecimiento, tuvo un comportamiento altamente hidrófobo, sin embargo, en su estructura se evidenció una interacción con la molécula de agua; lo anterior supuso un proceso de retención de agua que ocasionó un fenómeno de humectación, que a su vez, también por efecto del agua, se propició un proceso de lixiviación en superficie (Alonso Felipe, 2016:7; Calvo Carbonell, 2011:4; Giudice & Pereyra, 2009:22, 44, 175-192; Whitmore, Morris, & Colaluca, 2007:217-223).

El proceso de pérdida de material superficial fue evidente a partir de los cambios en la textura y topografía de la capa pictórica a partir del detrimento de cargas, entre éstas, partículas de pigmento; sin embargo, a pesar de lo anterior, no se observó una disminución significativa en el grosor de la capa formada. Por otra parte, esta pérdida sí alteró la reflexión de la luz, lo que se relacionó con los cambios cromáticos aún perceptibles a simple vista.

Las observaciones a microescala indicaron una buena interacción física y mecánica entre la capa pictórica y el soporte de fibrocemento, debido a que ambos materiales presentaron cambios y alteraciones morfológicas menores—incluso en comparación al resto de los sistemas con recubrimiento—. Cabe resaltar que estas alteraciones únicamente se

⁸³ Los tensoactivos contienen en su estructura una molécula hidrófoba y otra hidrófila que hacen posible la miscibilidad de la resina en el agua. En la prueba FTIR, cuando el recubrimiento pasó de líquido a sólido seco, se observó la pérdida del agua contenida en la pintura, y aunado a que la molécula hidrófoba del surfactante se dispuso en superficie, dio como resultado el aumento en las vibraciones en la región de los enlaces R-CH en contraposición con las de la región del grupo R-OH.

observaron en la interfase y en la masa del soporte, sin embargo, la superficie de ambos sí tuvo cambios notorios.

Con respecto a los recubrimientos industriales, de manera operativa la resina acrílica de gama alta (CC) fue la más sencilla de preparar, la más rápida de aplicar y la que tuvo el mayor rendimiento por m^2 ; sin embargo, fue el producto de mayor valor económico en comparación a los otros dos recubrimientos. Por otra parte, la preparación y el proceso de aplicación del barniz de poliuretano (BP) y el esmalte alquidálico (EA) en comparación a la resina fue menos sencilla debido a que demandó más tiempo para su preparación; se requirió el uso de solventes para realizar las disoluciones (thinner y solvente para poliuretano), fue necesario el uso de herramientas para la correcta medición de las proporciones (mezcladores de madera y vidrio, vasos de precipitados y pipetas), así como equipo de seguridad respiratoria y cutánea (mascarillas y guantes de nitrilo o látex); así mismo, debido a su fluidez al momento de su aplicación, se requirió especial cuidado para evitar que el producto se derramara por los bordes del soporte. Por último, con respecto a la cantidad de material aplicado por área, ambos recubrimientos estuvieron por encima de la resina acrílica; el producto que menos rendimiento tuvo fue el barniz de poliuretano, seguido del esmalte alquidálico, de 0.27 a 2.23ml más por m^2 que la resina acrílica.

Por otra parte, en apariencia, las características y cualidades de la resina acrílica fueron las más parecidas a las del fibrocemento debido a que el tipo de cargas y pigmentos presentaron un color, brillo y saturación muy similares al soporte —no generó disonancia visual a pesar de ser un recubrimiento pigmentado—. En cambio, tanto el barniz de poliuretano como el esmalte alquidálico ocasionaron cambios en la apariencia y cualidades cromáticas del fibrocemento, aunque uno en mayor medida que el otro; el primero únicamente propició cambios ligeros en la saturación y el brillo, mientras que el segundo cambió totalmente la apariencia del soporte.

Una vez aplicados, la resina acrílica conformó una capa gruesa y consistente, sin embargo, a diferencia de los recubrimientos base solvente, tuvo nula capacidad de penetración, por lo que se observó una interfase definida entre ésta y el fibrocemento. En contraste, el barniz de poliuretano y el esmalte alquidálico conformaron capas delgadas que tuvieron más capacidad de penetración, por lo que se apreció una interfase menos definida.

Una vez realizado el análisis de las capas formadas por cada uno de los recubrimientos, se determinó que el número de capas aplicadas y el método de aplicación no influyeron en el desempeño de la película —aunque sí en el grosor de la misma por su aplicación con brocha—, sin embargo, el comportamiento del recubrimiento ante esfuerzos físicos y mecánicos dependió de la composición, las concentraciones del material así como de la proporción y de su viscosidad⁸⁴.

Por otra parte, después del ciclo de envejecimiento acelerado, los tres recubrimientos sufrieron transformaciones cromáticas, lo que indica alteraciones en los aditivos que dotan al material de color, luminosidad y saturación. La literatura indica que “la prolongada exposición a la temperatura elevada puede consumir los estabilizadores en los materiales, permitiendo la oxidación” (Sepe, 2014); este detrimento en los agregados, fue evidente no solo a simple vista, sino a nivel composición.

Con respecto a la interacción de los tres recubrimientos con el agua líquida, éstos tuvieron un comportamiento particular. La resina acrílica, al solidificar perdió gran parte del agua contenida debido a un proceso de evaporación, sin embargo, a diferencia de la capa pictórica, la película formada adquirió un comportamiento impermeable e insoluble —incluso después del envejecimiento acelerado—, comportamiento que se asoció con el incremento de la banda en la región de los enlaces R-CH; no obstante, se observó una interacción con la molécula del agua al igual que en la capa pictórica. Aparentemente, este recubrimiento no perdió un porcentaje significativo de aditivos —entre estos el surfactante— y tampoco se observó un proceso de humectación. Con respecto al adelgazamiento de la capa, si bien no se observó un efecto de lixiviación tan notorio como en la capa pictórica, es probable que su reducción se debiera a las variaciones de temperatura y enfriamiento (dilatación y contracción), sin embargo, estos procesos usualmente ocurren en recubrimientos o pinturas base solvente o en los de tipo látex (Chécoles Asensio, 2015:125; Fernández-Villa García, 2010:104 y 131; Giudice & Pereyra, 2009:3). Por otra parte, el barniz de poliuretano y el esmalte alquidálico tuvieron un comportamiento diferencial

⁸⁴ Sería prudente y necesario realizar otras pruebas con diferentes concentraciones para el barniz de poliuretano y el esmalte alquidálico, esto con la finalidad de definir su comportamiento a diferentes proporciones; aunado a que el proceso de aplicación podría ser más fácil y sin riesgo de escurrimientos, sobre todo si se pretende realizar la aplicación de estos productos en superficies verticales.

respecto a la resina acrílica. Previo al envejecimiento en ambos materiales se observó una falta de afinidad química y morfológica con el agua, pero a pesar de ello, después mostraron una tendencia hidrófila proporcional al envejecimiento. Lo anterior se relacionó con los cambios en la topografía de los recubrimientos más que con una afinidad química a la molécula del agua, aunque cabe destacar que de manera particular, en el esmalte alquidálico se observó un proceso de humectación posterior al ciclo de envejecimiento.

A pesar de las alteraciones en las propiedades físicas de los recubrimientos, en el soporte de asbesto-cemento se observó un incremento en sus propiedades mecánicas una vez que éstos le fueron aplicados —incremento que se percibió en el aumento de los valores de resistencia superficial del fibrocemento—; no obstante, los valores de resistencia de su masa no fueron significativos, aunque cabe destacar que, aún de manera sutil, el único recubrimiento que aumentó los valores de resistencia ante fuerzas perpendiculares fue la resina acrílica, valores que se conservaron aún después del envejecimiento acelerado. Lo anterior fue de particular interés debido a que la capa de resina acrílica tuvo el mayor porcentaje de reducción en su espesor, en comparación a las películas del barniz de poliuretano y del esmalte alquidálico, y del mismo modo, fue el que mejor conservó las cualidades del soporte de fibrocemento antes y después del envejecimiento.

Una vez discutido lo anterior y a manera de síntesis, se elaboraron las siguientes tablas; en la primera (Tabla 11) se indicaron las características del material de tratamiento, con relación a las consideraciones y recomendaciones de restauración de los recubrimientos antes de la aplicación respecto al propio material, al usuario, y a la operatividad de los mismos durante el proceso de aplicación. En la segunda tabla (Tabla 12) se mostraron las características finales de los recubrimientos, calificados bajo las consideraciones del sustrato-recubrimiento después del envejecimiento acelerado. Con fines prácticos e ilustrativos, para ambas tablas se planteó un código de color en el que *naranja* indicó el desempeño o resultado menos favorable, *amarillo* un desempeño y resultado intermedio y *verde* un aceptable o mejor desempeño.

Recubrimientos	CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES DE RESTAURACIÓN					OPERATIVIDAD			
	Características ideales del material de tratamiento					Costo	Equipo	Tiempo	Rendimiento
	Respecto al usuario		Respecto al recubrimiento						
	Tóxico	Corrosivo	Capacidad de penetración	Formación de capa delgada	Formación de la resina (T _a o curado en frío)				
CC (S2)	Verde	Verde	Naranja	Amarillo	Verde	Naranja	Verde	Verde	Verde
BP (S3)	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Verde	Verde	Amarillo	Naranja	Naranja	Naranja
EA (S4)	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Naranja	Amarillo	Amarillo

Tabla 11. Características de los recubrimientos industriales respecto a las consideraciones y recomendaciones de restauración de los recubrimientos antes de la aplicación y operatividad, antes y durante el método de aplicación. Código de color: *naranja* desempeño o resultado menos favorable, *amarillo* desempeño y resultado intermedio y *verde* mejor desempeño o aceptable

Sistemas (interacción soporte-recubrimiento)	CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES DE RESTAURACIÓN						Conservación del FC	
	Consideraciones del sustrato-recubrimiento. Después del envejecimiento acelerado							
	Retratabilidad	Estabilidad	Durabilidad	Confiere cualidades óptimas	Interfase adecuada	Permite el tránsito de vapor de agua	En superficie	En zona interna
							Verde	Naranja
S2 (con CC)	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Naranja	Naranja	Verde	Verde
S3 (con BP)	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo
S4 (con EA)	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Naranja

Tabla 12. Cualidades de los recubrimientos industriales una vez aplicados (sistemas) respecto a las consideraciones y recomendaciones de restauración del sustrato soporte después del envejecimiento acelerado. Código de color: *naranja* desempeño o resultado menos favorable, *amarillo* desempeño y resultado intermedio y *verde* mejor desempeño o aceptable

4.1 COMPARACIÓN DEL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO DE LOS SISTEMAS PROBETA Y LOS MATERIALES DEL CASO DE ESTUDIO

A partir de la comparación entre el estado de conservación del soporte del Mural N°3 exterior de La Tallera y el deterioro observado de los sistemas probeta después del envejecimiento acelerado, se determinó que para ambos casos las principales fuentes de deterioro y alteración que propiciaron la degradación físico-mecánica del soporte de asbesto-cemento fueron las condiciones fluctuantes y elevadas de temperatura y humedad. A excepción de las fisuras y el ataque biológico —que no se manifestó en los sistemas probeta—, ambos soportes presentaron un detrimento en la cohesión del cemento hacia las fibras, lo que causó pulverulencia, disgregación y debilidad superficial; si estas condiciones se prolongan pueden llevar a transformar sus materiales sustanciales a nivel estructura, además de causar daños a nivel estructural del prefabricado.

4.2 RECOMENDACIONES PARA LA PRESERVACIÓN DEL SOPORTE DEL MURAL N°3 EXTERIOR DE LA TALLERA (1964-1965)

Antes de la aplicación de cualquier material por el reverso del fibrocemento, se recomienda que se genere una propuesta de intervención para llevar a cabo tratamientos de estabilización de la estructura y del soporte, que idealmente deben realizarse previamente a la aplicación de cualquier recubrimiento de protección. A grandes rasgos, el recubrimiento tiene el objetivo de proteger al soporte de futuros deterioros derivados de un contexto de temperatura y humedad constante y fluctuante, y no para ser la solución inmediata a las problemáticas que el mural actualmente presenta. En primer lugar, se recomienda hacer un estudio de la estructura metálica para determinar la distribución de cargas e identificar elementos portantes dañados. También sería necesario realizar tratamientos de estabilización del metal, limpieza de subproductos de corrosión, pasivado y colocación de un recubrimiento de protección para evitar la oxidación. En paralelo, se tendrían que estabilizar todos los elementos de sujeción y se debería determinar si lo más viable es realizar el montaje de los paneles con estas piezas o en su defecto proponer un nuevo sistema debido a que las zonas de unión son mayormente susceptibles al deterioro físico-mecánico.

Con respecto al soporte, se tendría que hacer un levantamiento de estado de conservación y un diagnóstico y evaluación del estado de los paneles dañados, y en un inicio habría que realizar procedimientos preventivos como fijado de material desprendido. Posteriormente, se tendría que realizar un proceso de limpieza de materiales ajenos y manchas de corrosión, así como erradicación del ataque biológico y control de eflorescencias.

V. CONCLUSIONES

La presente investigación planteó como hipótesis que el recubrimiento a base de poliuretano tendría las propiedades óptimas para emplearse como recubrimiento de protección de asbesto-cemento utilizado como soporte de pintura mural moderna, sin embargo, esta hipótesis no se cumplió, ya que dicho recubrimiento no tuvo las mejores características ni los mejores resultados en las pruebas y análisis realizados durante la etapa experimental; asimismo, tampoco satisfizo con todas las consideraciones y requerimientos de restauración para recubrimientos de protección y su aplicación sobre soportes de fibrocemento.

Por otra parte, la investigación cumplió con lo planteado en el objetivo general y los objetivos específicos; se realizó la evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la resina acrílica, el barniz de poliuretano y el esmalte alquidálico, con lo que se determinó que cada uno cumplió parcialmente con la función de proteger al soporte solo a nivel superficial; sin embargo, ninguno se apegó a todas las consideraciones y recomendaciones de restauración para su aplicación como material de tratamiento para este tipo de soportes. Si bien, el que presentó las mejores características fue la resina acrílica de gama alta (CC), se tendría que justificar porqué se aplicaría.

De igual forma, los objetivos particulares se cumplieron; se determinó la composición y las propiedades físico-mecánicas del fibrocemento y los productos industriales mediante pruebas físicas (color y permeabilidad), mecánicas (resistencia al rayado y resistencia a la flexión) y técnicas analíticas instrumentales (MOAR, MEB, FTIR y DRX). Asimismo, se conocieron las propiedades de los recubrimientos industriales durante el proceso de aplicación mediante análisis cualitativos, organolépticos y sensoriales (Capítulo III. Resultados, apartado 3.1). También se analizó la interacción del sistema capa pictórica-soporte-recubrimiento, antes y después de un proceso de envejecimiento acelerado. Cabe destacar que todas las técnicas planteadas aportaron información que se complementó entre sí, no obstante, los estudios FTIR y MEB fueron esenciales para entender el comportamiento de los materiales y su interacción como un sistema estratigráfico.

Por otra parte, a pesar de que el ciclo de envejecimiento inducido ocurrió durante un lapso relativamente corto, se obtuvieron resultados de gran importancia; se vislumbraron transformaciones como adelgazamiento de la capa, retención de agua y detrimento en la resistencia ante fuerzas físicas perpendiculares; pero a pesar de ello, se cree que es necesario plantear estudios posteriores para determinar la interacción entre capas del material, ya que no es opción retirarlo sino renovarlo y aplicarlo nuevamente —estudio que abonaría a la retratabilidad del material—. De igual modo, se recomienda realizar estudios como pruebas de resistencia a la abrasión y otras relacionadas con la transmisión de agua líquida y vapor de agua a través del sistema capa pictórica-soporte-recubrimiento, esto con el objetivo de tener mayor certeza del comportamiento e interacción del sistema con el agua debido a que ésta propicia muchos otros procesos y mecanismos de deterioro y alteración. Finalmente, se recomienda realizar estudios del comportamiento y desempeño de los recubrimientos ante ataque biológico y cristalización de sales.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, C. A. (2004). *Historia de México*. México, D.F.: Editorial Limusa.
- Alarcón Azuela, E. (2011). Aquella primavera perdida... La historia del Hotel Casino de la Selva en Cuernavaca. *Bitácora arquitectura*(23), 68-73.
- Alfaro Siqueiros, D. (1979). *¿Cómo se pinta un mural?* Cuernavaca: Ediciones Taller Siqueiros.
- Alonso Felipe, J. V. (2016). *Pinturas, barnices y afines: composición, formulación y caracterización*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Amoroso, G. G., & Fassina, V. (1983). *Stone decay and conservation: atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection*. Nueva York: Elsevier Science Publishers.
- Arán Aís, F. (2000). *Síntesis y caracterización de poliuretanos termoplásticos que contienen resinas de colofonia y su aplicación como adhesivos* (Tesis de doctorado). Alicante: Universidad de Alicante.
- Arturo Montero , S., & Ramírez Vega, R. (2011). Las técnicas de fábrica en la obra mural de David Alfaro Siqueiros. El caso Polyforum Cultural. *Crónicas. El Muralismo, Producto de la Revolución Mexicana en América*, 235-246.
- Asbesto*. (15 de marzo de 2019). Recuperado de *Wikipedia. La enciclopedia libre*: <https://es.wikipedia.org/wiki/Asbesto>
- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2017). *Ciencia e ingeniería de materiales* (6ta ed.). México, DF: Cengage learning.
- ASTM International (Ed.). (2003) *ASTM C1442-03 Standard Practice for Conducting Tests on Sealants Using Artificial Weathering Apparatus*. Pennsylvania: Annual Book of American Society for Testing and Materials.
- ASTM International. (Ed.). (1997/2002) *ASTM C459-97 R02 Standard Test Methods for Asbestos-Cement Flat Products*. Pennsylvania: Annual Book of American Society for Testing and Materials.

- ASTM International (Ed.). (2002) *ASTM C78-02 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. Pennsylvania: Annual Book of American Society for Testing and Materials.
- ASTM International (Ed.). (2005) *ASTM D2621-87 R05 Standard Test Method for Infrared Identification of Vehicle Solids From Solvent-Reducible Paints*. Pennsylvania: Annual Book of American Society for Testing and Materials.
- Barberena Fernández, A. M. (2015). *Conservación de estructuras de hormigón: efecto de consolidantes en pastas y morteros de cemento* (Tesis de doctorado). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Beaudoin, J. J. (1990). *Handbook of fiber-reinforced concrete. Principles, properties, developments and applications*. New York: Noyes Publications.
- Bilurbina, L., Bilurbina Alter, L., & Liesa, F. (1990). *Materiales no metálicos resistentes a la corrosión* (Vol. 40). Barcelona: Marcombo.
- Britannica, E. (Ed.). (19 de abril de 2017). *Mohs hardness*. Recuperado de *Encyclopædia Britannica*: <https://www.britannica.com/science/Mohs-hardness#accordion-article-history>
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., & Burdge, J. J. (2004). *Química. La ciencia central* (9na ed.). México, D.F.: Pearson Education.
- Bustinduy, P. (2005). La presencia de alimentos en obras de arte. Problemas para su conservación. *VI Reunión del Grupo de Arte Contemporáneo del GEIIC*, 95-100.
- C162-Convenio sobre el asbesto*. (1989). Recuperado de *Organización Internacional del Trabajo*:
https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C162
- Callister, W. D. (2002). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales* (3ra ed.). Barcelona: Reverté.
- Calvo Carbonell, J. (2011). *Pinturas y recubrimientos*. Madrid: Días Santos.

- Calvo Manuel, A. M. (2002). *Conservación y restauración sobre lienzo*. Barcelona: Ediciones del Serbal.
- Carta de Venecia. (1964). *II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos*. Venecia: ICOMOS.
- CC.OO. (Ed.). (2002). *Guía de equipo de protección individual para trabajos con amianto*. Recuperado de Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud: <http://www.istas.net/upload/GUIAAMIANTO2.PDF>
- CEMEX. (Ed.). (s.f.) *Manual del constructor*. Recuperado de CEMEX MÉXICO: <https://www.cemexmexico.com/documents/27057941/45587277/aplicaciones-manual-construccion-general.pdf/772d227d-d168-efc4-a2e3-86ba78c80cb4>
- Cervantes Alatorre, M. T. (1996). *Industria del fibrocemento: Producción y fundamentos de normatividad* (Tesis de licenciatura). México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chécoles Asensio, R. (2015). *Estudio del comportamiento físico-químico de materiales poliméricos utilizados en conservación y restauración de bienes culturales* (Tesis de doctorado). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- CNCPC-INAH. (Ed.). (2014). *Lineamientos institucionales generales en materia de conservación del patrimonio cultural*. Recuperado de CNCPC-INAH: <https://conservacion.inah.gob.mx/wp-content/uploads/2015/09/lineamientos.pdf>
- Cochrane, S. (2014). The Munsell Color System: A scientific compromise from the world of art. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 47, 26-41.
- Cope, B., Matthews, A., & Garrington, N. (1995). *The effects of pigments and other additives on the curing and service performance of filling and retouching media*. En Resins ancient and modern: pre-prints of the SSCR's 2nd conference held at the department of Zoology, University of Aberdeen, 13-14 September 1995 (pág. 13-16). Edinburgh: The Scottish Society for Conservation & Restoration.
- Crook, J., & Learner, T. (2000). *The impact of modern paints*. New York: Watson-Guption.

- RAE. (Ed.). (2001) *Diccionario de la Lengua Española*.(22va ed.). Recuperado de *Real Academia Española*: <http://www.rae.es/recursos/diccionarios/diccionarios-antteriores-1726-2001/diccionario-de-la-lengua-espanola-2001>
- Daish, C. B. (1954). *Light, to Advanced and Scholarship Level (Physical science text series)*. London: English Universities Press.
- de Villanueva Domínguez, L., & García Santos, A. (2001). *Manual del yeso*. Madrid: DOSSAT 2000.
- del Egido, M., & Calderón, T. (2008). *La ciencia y el arte: ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*. Madrid: Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales.
- Delle Femmine, L. (01 de noviembre de 2014). *México sigue importando amianto, prohibido en más de 50 países*. Recuperado de *El País*: https://elpais.com/internacional/2014/10/01/actualidad/1412197454_661881.html
- Diccionario de Química Oxford*. (1999). Madrid: Editorial Complutense.
- Doerner, M. (2001). *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. (6ta ed.). Barcelona: Reverté.
- DOF. (s.f.). *NORMA Oficial Mexicana NOM-125-SSA1-1994, Que establece los requisitos sanitarios para el proceso y uso de asbesto*. Recuperado de *SEGOB*: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4902285&fecha=08/10/1996
- Duggal, S. K. (2008). *Building materials*. Daryaganj: New Age International (P) Ltd., Publishers.
- Elementia*. (s.f.). Recuperado de *Elementia*: <http://elementia.com/nuestraEmpresa/empresas.jsp#filter=.construsistemas>
- Esbert Alemany, R. M., & Losada Aranguren, J. M. (Edits.). (2003). Criterios de intervención en materiales pétreos. Bienes Culturales. *Bienes Culturales. Revista del Instituto del Patrimonio Histórico Español*, 2, 1-35.
- Escobar Bárcenas, M., & Jaramillo Morales, G. A. (2008). Hablando de dureza. *NATURALIS. Boletín de la Coordinación de Física General y Química-UNAM*, 1-8. Recuperado de

División de ciencias básicas. Publicaciones UNAM: http://dcb.fi-c.unam.mx/Publicaciones/Naturalis/bfyq_10.pdf

Espectroscopia infrarroja IR. (28 de septiembre de 2006). Obtenido de Caracterización de materiales cristalinos: <http://www.ehu.eus/imacris/PIE06/web/IR.htm>

Etex. (s.f.). Recuperado de *etex group*: <https://www.etexgroup.com/en/who-we-are/core-characteristics/history>

ExpertoPlycem. (09 de mayo de 2014). *¿Te has preguntado cómo se fabrica una pared de fibrocemento? Canal 7. Costa Rica.* Recuperado de *YouTube*: https://www.youtube.com/watch?v=QNsFI87uk_w

Feisner, E. A., & Reed, R. (2013). *Color studies.* (3ra ed.). New York: A&C Black.

Feller, R. L. (1995). *Accelerated aging: photochemical and thermal aspects.* Ann Arbor: Getty Publications.

Fernández Carrasco, L., & Vázquez, T. (1996). Aplicación de la espectroscopía infrarroja al estudio de cemento aluminoso. *Materiales de construcción*, 46(241), 39-51.

Fernández-Villa García, S. (2010). *Los plásticos en el arte y el diseño hasta 1945: historia, tecnología, conservación e identificación* (Tesis de doctorado). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Ferrer Morales, A. (1998). *La pintura mural: su soporte, conservación, restauración y las técnicas modernas.* Sevilla: Universidad de Sevilla.

Ficha técnica CENPANEL. (s/f). Recuperado de *Neufert-cdn.archdaily*: https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/3203/FT_cempanel.pdf

Ficha técnica. Barniz 11000 brillante. (2014). Recuperado de *COMEX*: <http://www.comex.com.mx/getattachment/02ccb97f-beb6-44a1-8894-e797393108c4/.aspx/>

Fort, R. (2007). Polímeros sintéticos para la conservación de materiales pétreos. *Ciencia, Tecnología y Sociedad para una conservación sostenible del patrimonio pétreo*, 71-82.

- Fortes Rivas, M. C., & Garza Sandoval, B. E. (2006). Asbesto: Un peligro latente para la Salud. *Revista del Centro de Investigación.*, 7(25), 91-108.
- Fuentes Rojas, E. (1995). *La Liga de Escritores y Artistas Revolucionarios: Una producción artística comprometida* (Tesis de doctorado). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fundación y manifiesto del futurismo.* (29 de junio de 2017). Obtenido de Biblioteca Digital Mundial: <https://www.wdl.org/es/item/20024/>
- García Calderón, J. (1978). Asbestos de México. *Bal. Sac. Gaal. Mexicana*(2), 154-161.
- García Morales, A. (1992). *El Ateneo de México 1906-1914: orígenes de la cultura mexicana contemporánea.* Sevilla: Editorial CSIC.
- García Pascua, N., Sánchez de Rojas, M. I., & Frías, M. (1993). *Criterios de selección de productos de tratamiento.* *CSIC*(164), 44-50. Recuperado de Digital.CSIC: <http://digital.csic.es/>
- Gil Verencuela, G. (2012). La restauración de pintura mural: retos en la conservación del patrimonio artístico de México. *Crónicas. El Muralismo, Producto de la Revolución Mexicana, en América*(15-16), 540-551. Recuperado de Horizonte Histórico. Revistas UAA: <https://revistas.uaa.mx/index.php/horizontehistorico/article/view/1207/1160>
- Giudice, C., & Pereyra, A. M. (2009). *Tecnología de pinturas y recubrimientos.* Madrid: Universidad Tecnológica Nacional-Argentina.
- Gómez Alarcón, G. (1996). Bioalteración de los monumentos históricos. En F. Mingarro Martín (Ed.), *Degradación y conservación del patrimonio construido* (págs. 399-404). Madrid: Editorial Complutense.
- Gómez, M. (2018a). Los análisis físico-químicos como herramienta en la documentación, diagnóstico, seguimiento y evaluación de riesgos en conservación-restauración. En COLMICH (Ed.), *XL Coloquio de Antropología e Historia Regionales. El Patrimonio ante el umbral de la ciencia.* Recuperado de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=KXxcPHAXFTI>

- Gómez, M. (2008b). Seguimiento científico en la restauración. En M. del Egado, & T. Calderón (Ed.), *La ciencia y el arte: ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico* (págs. 259-269). Madrid: Ministerio de Cultura, Dirección General de Bellas Artes y Bienes culturales.
- González Cruz Manjarrez, M. (2005). El contexto de O'Higgins. Breve itinerario iconográfico. En *Pablo O'Higgins: voz de lucha y de arte*. México, D.F.: UNAM.
- González Fernández, J. A., & Miranda Vidales, J. M. (2007). *Corrosión en las estructuras de hormigón armado: fundamentos, medida, diagnosis y prevención*. Madrid: CSIC.
- González-Varas, I. (2000). *Conservación de bienes culturales. Teoría, historia, principios y normas* (2da ed.). Madrid: Manuales Arte Cátedra.
- Gregorí Valdés, B. S., Guerra, M., Mieres, G., Alba, L., Brown, A., Rangel-Vázquez, N. & de la Hoz, Y. (2008). Caracterización estructural de poliuretanos mediante espectroscopia FTIR y RMN (1H y C13). *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 9(4), 377-388.
- Gregorí, B. S., de la Hoz, Y., Alba, L., Guerra, M., & Ochoa, E. (2008). Síntesis de poliuretanos. Caracterización por espectrometría infrarroja. *ICIDCA*, 42(1-3), 3-7.
- Guadarrama Peña, G. (2010a). *La ruta de Siqueiros. Etapas en su obra mural*. México, D.F.: INBA.
- Guadarrama Peña, G. (2013b). El muralismo después de Siqueiros. Retos y perspectivas. *Crónicas. El Muralismo, Producto de la Revolución Mexicana, en América*(15-16), 170-179.
- Guía para la prevención de la exposición de amianto*. (s.f.). Barcelona: Instituto de Biomédica de Valencia, Miembros del Consorcio ALERT.
- Gurgone, N., Miliani, C., & Moretti, P. (2015). Chlorinated rubber paint film on an asbestos support: a three-dimensional mural painting case study. En M. Sánchez-Pons, W. Shank, & L. Fuster López (Edits.). *Conservation Issues in Modern and Contemporary Murals* (págs. 285-305). Newcastle: Cambridge Scholars Publishing.

- Gutiérrez López, V. M. (2013). *Síntesis y caracterización de resinas de curado rápido para la elaboración de componentes herméticos de iluminación automotriz*. (Tesis de doctorado). Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Hadid, Z. (2014). *Kazimir Malevich*. Recuperado de PROA.: <http://www.proa.org/esp/exhibicion-kazimir-malevich-textos.php#texto5>
- History of Politec*. (s.f.). Recuperado de *Politec Acrylic Paints*: <http://www.politecacrylics.com/history/>
- INSHT. (2014). *Materiales con amianto en viviendas: guía práctica (I)*. Recuperado de *Ministerio de Empleo y Seguridad Social*: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/996a1007/ntp-1006%20w.pdf>
- Íñigo, A. C., Vicente-Tavera, S., & Rives, V. (2006). Diseño estadístico aplicado a las propiedades hídricas como control de tratamientos de consolidación y/o hidrofugación sobre granitos. *Materiales de Construcción*, 56(281), 19-30.
- Jarabo Centenero, R. (2013). *Efecto de la sepiolita y de nuevas fibras alternativas celulósicas en el comportamiento de suspensiones de fibrocemento* (Tesis de doctorado). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Jones, F. N. (2000). Alkyd resins. En *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (Vol. 2, págs. 429-446). Ypsilanti: Coatings Research Institute, Eastern Michigan University.
- Kane, J. W., & Sternheim, M. M. (1991). *Física*. Barcelona: Reverté.
- Klein, C., & Hurlbut, C. S. (2001a). *Manual de mineralogía* (Vol. 1). Barcelona: Reverté.
- Klein, C., & Hurlbut, C. S. (2001b). *Manual de mineralogía* (Vol. 2). Barcelona: Reverté.
- Knopman, D. S. (1975). Conservation of stone artwork: barely a role for science. *Science*, 190(4220), 1187-1188.
- López Arvizu, M. I., Meléndez García, D., Moreno Núñez, A., Pérez Castellanos, N. A., & Ramírez Muñoz, S. J. (2018). Ensayos físico-mecánicos de productos comerciales aplicados sobre fibrocemento utilizado como soporte de pintura mural moderna. En

Primera Reunión Nacional de Ciencias Aplicadas al Patrimonio. Ciudad de México: LANCIC-IF. UNAM.

Lucie-Smith, E. (2000). *Artes visuales en el siglo XX*. Colonia: Könemann.

Manrique, J. A. (1991). La Historia del Arte en México. *Revista de la Universidad*(485), 37-42. Recuperado de *Revista de la Universidad de México*: http://www.revistadelauniversidad.unam.mx/ojs_rum/index.php/rum/article/view/13388/14626

Manzur, A., & Cardoso, J. (2015). Velocidad de evaporación del agua. *Revista mexicana de física E*(61), 31-34.

Martín, F. M. (Ed.). (1996). *Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico*. Madrid: Editorial Complutense.

Martínez Justicia, M. J. (1990). Carta del Restauo de 1987. Málaga: Colegio de Arquitectos de Málaga.

Masschelein-Kleiner, L. (2004). *Los solventes*. Santiago de Chile: Centro Nacional de Conservación y Restauración.

Mejía González, R. A. (2016). *Caracterización de pintura acrílica de uso artístico por RMN y microscopía. Estudio de envejecimiento acelerado* (Tesis de licenciatura). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Mendel, C. (2007). Muralismo mexicano: arte público/identidad/memoria colectiva. *ESCENA. Revista de las artes*, 61(2).

Michalski, S. (2009a). *Temperatura incorrecta*. En Canadian Conservation Institute & ICCROM (Edits.). Recuperado de *Centro Nacional de Conservación y Restauración*: http://www.cncr.cl/611/articles-56474_recurso_9.pdf

Michalski, S. (2009b). *Humedad relativa incorrecta*. En Canadian Conservation Institute & ICCROM (Edits.). Recuperado de *Centro Nacional de Conservación y Restauración*: http://www.cncr.cl/611/articles-56474_recurso_10.pdf

- Mijangos de Jesús, E. (2002). Una aproximación a las técnicas de la pintura mural siqueriana. *Crónicas. El Muralismo, Producto de la Revolución Mexicana, en América*(8-9), 237-268.
- Moerman, L., Van der Laan, S., & Campbell, D. (2014). A tale of two asbestos giants: corporate reports as (auto) biography. *Business History*, 56(6), 975-995.
- Monroy Becerril, G. (2012). El oficio de pintar. *Crónicas. El Muralismo, Producto de la Revolución Mexicana, en América*(Nº Especial), 15-16.
- Monserrat Mir, J., Serrano Morell, J., Carbonell Duesa, M., & Pellicer Pérez, L. (2007). *Guía de buenas prácticas en operaciones con riesgo de amianto*. Illes balears: Govern de les Illes balears.
- Montemayor, A., & Moreau, A. (julio de 2017). La Tallera Siqueiros. *drarq*, 86-91. Recuperado de *Revistas UNIANDES*: <http://dearq.uniandes.edu.co>
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. (6ta ed.). México, D.F.: Pearson education.
- Muñoz Viñas, S. (2003). *Teoría contemporánea de la restauración*. Madrid: Síntesis.
- ONU, UNEP, & FAO. (2008). *Convenio de Rotterdam. Sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional*. Recuperado de *Gob.mx*: <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/documento-oficial-del-convenio-de-rotterdam>
- Oñate Moreno, J. (2018). *José L. Gutiérrez y la magia de los acrílicos*. Recuperado de *SomosMass99*: <http://www.somosmass99.com.mx/jose-l-gutierrez-y-la-magia-de-los-acrilicos/>
- Pastor Valls, M. T. (2014). *Estudio de sistemas y tratamientos de estabilización de capas pictóricas no protegidas en pintura contemporánea. Criterios y metodologías de actuación*.(Tesis de doctorado). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Pérez González, C. (1997). *Propuesta de un soporte basado en fibra de carbono y resinas termoestables: análisis y comparación con soportes y técnicas pictóricas tradicionales* (Tesis de doctorado). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Pintura Politec. (s.f.). Recuperado de *RODIN*: <https://rodin.mx/products/acrilico-politec-l-300>

Pinturasalcar. (s.f.). Recuperado de *Novo Perno*: <http://www.pinturasalcar.com.mx/productos/arquitectonico/item/novopermo>

Prignitz, H. (1992). *El Taller de Gráfica Popular en México 1937-1977*. México: Instituto Nacional de Bellas Artes. LCCN.

Ramírez Muñoz, S. J. (2014). *Caracterización y análisis del biodeterioro en soportes modernos* (Reporte inédito). Ciudad de México: CENCROPAM-INBA.

Ramírez Muñoz, S. J. (2015/2016). *Reporte de pruebas de encapsulamiento de asbesto*. (Informe inédito). Ciudad de México; CENCROPAM-INBA.

Resistencia a la flexión. (2007). Recuperado de *Institut de Promoció Cerámica*: www.ipc.org.es/dms/.../Resistencia_a_la_flexion/4-4-1-D%20DOC07_vPDF.pdf

Ribadeneira Cabrera, A. F. (2008). *Protección anticorrosiva del acero mediante el uso de pinturas alquídicas con pigmentos de óxido de hierro en atmósferas urbana y subtropical* (Tesis de licenciatura). Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Rifkin, J. (2011). *La Tercera Revolución Industrial: Cómo el poder lateral está transformando la energía, la economía y el mundo*. Barcelona: Paidós.

Ríos Soberanís, C. R. (s/f). *Arquitectura del color*. En CONACYT (Edit.). Recuperado de *Ciencia y desarrollo. CONACYT*: <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/234/Articulos/ArquitecturadelColor/Arquitecturadelcolor6.html>

Rivas Tornés, R. (2016). *Estrategias de preservación de los elementos electrónicos empleados en producciones artísticas* (Tesis de maestría). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Rodríguez Sancho, I. (1994). *Nuevos soportes rígidos con fines artísticos* (Tesis de doctorado). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Roel, V. (1998). *La tercera revolución industrial y la era del conocimiento*. Lima: UNMSM.

- Rojo Callejas, F. (s/f). *Tablas de Espectroscopía Infrarroja*. Recuperado de *Departamento de fisicoquímica, UNAM*: depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IR-tablas_35276.pdf
- Romero García, M., Museros Romero, P., Martínez Rodrigo, M., & Poy Gil, A. (2002). *Resistencia de materiales* (Vol. 12). Castellón de la Plana: Publications de la Universitat Jaume I.
- Sánchez Mendel, L. (2016). *La piroxilina, aportación del IPN al arte mexicano*. Recuperado de *MILENIO*: <https://www.milenio.com/cultura/la-piroxilina-aportacion-del-ipn-al-arte-mexicano>
- Sánchez Ortiz, A., & Micó Boró, S. (2010). Colores comerciales para retoque pictórico de lagunas en restauración del patrimonio: evaluación de diferencias de color y cambios de solubilidad después de procesos de envejecimiento acelerado. En *Congreso internacional del color* (págs. 132-135). Alicante: Universidad de Alicante.
- Sánchez-Pons, M., & Canales, J. (2015). El mural en el arte contemporáneo: cambios conceptuales y tecnológicos. En M. Sánchez-Pons, W. Shank, & L. Fuster López (Edits.). *Conservation Issues in Modern and Contemporary Murals* (págs. 6-26). Cambridge Scholars Publishing.
- Santiago Olivares, M., Galán Marín, C., & Roa Fernández, J. (2003). Los Composites. Características y aplicaciones en la edificación. *Informes de la Construcción*, 54(484), 45-62. Recuperado de *Informes de Construcción, CSIC*: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/568>
- Schwarz, O. (2002). Ciencia de los plásticos: Composición. Propiedades. Procesamiento. Aplicaciones de los termoplásticos. En *Duroplásticos y elastómeros*. Montevideo: Grupo Editorial Costa Nogal.
- Schweigge, E. (2005). *Manual de pinturas y recubrimientos plásticos*. México, D.F.: Ediciones DDS México

- Sepe, M. (23 de octubre de 2014). *Envejecimiento físico de los polímeros*. Recuperado de *Plastics Technology México*: <https://www.pt-mexico.com/columnas/polmeros-el-misterio-del-envejecimiento-fsico---parte-1>
- Smith, D. D. (2015). *The Health Effects of Asbestos: An Evidence-based Approach*. Boca Raton: CRC Press.
- Stupenengo, F. (2011). *Materiales y materias primas. Materiales y materias primas*. Buenos Aires: SN.
- Suárez, O. (1972). *Inventario del muralismo mexicano: siglo VII a. de C. / 1968*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Subirats, E. (2018). *El muralismo mexicano: mito y esclarecimiento*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Talamantes Piquer, M. d., Osete Cortina, L., Llamas-Pacheco, R., & Oliver, J. V. (2017). Estudio del comportamiento de pinturas acrílicas sobre tablero contrachapado tras envejecimiento artificial. *Afinidad*, 74(580), 257-266.
- Taller de Conservación de Pintura Mural. (2010). *Proyecto de dictamen mural. "Tallera" David Alfaro Siqueiros. Cuernavaca, Morelos*. (Reporte inédito). Ciudad de México: CENCROPAM-INBA.
- Technical data sheet NovoPerno básico*. (2014). Recuperado de AXALTA: <http://www.axaltacs.com/content/dam/LA/Axalta/Mexico/Public/ImagesArq/Productshot/NovoPermo%20B%C3%A1sico.pdf>
- Teutonico, J. M. (1988). *A laboratory manual for architectural conservators*. Rome: ICCROM.
- The Center Protect Worker's Rights. (1999). *Manual de capacitación para el trabajador del asbesto, Modelo de EPA*. Recuperado de CPWR: https://www.cpwr.com/sites/default/files/training/asbestos/00%20Intro%20TOC%2002006_ES.pdf
- TOLANAC. (2017). *Muralismo Mexicano*. Recuperado de ArteAC: <http://arteac.es/muralismo-mexicano/>

- Trascendencia de un mecenazgo. Manuel Suárez y Suárez (1896-1987)*. (s.f.). Recuperado de *Museo Mural Diego Rivera*: <https://museomuraldiegorivera.bellasartes.gob.mx/exposiciones15/anteriores1/29-trascendencia-de-un-mecenazgo.html>
- Trujillo Flores, G. (2000). *Resinas de poliuretano* (Tesis de licenciatura). México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Valencia, N. (2018). ¿Qué países prohíben el asbesto? Recuperado de *Arch Daily*: <https://www.archdaily.mx/mx/899870/que-paises-prohiben-el-asbesto>
- Vásárhelyi, B., & Ván, P. (2006). Influence of water content on the strength of rock. *Engineering Geology*, 84(1-2), 70-74.
- Vélez, L. (2010). Permeabilidad y porosidad en concreto. *Tecno Logías*(25), 169-187.
- Villegas Sánchez, R. (2003). Metodología para la evaluación y estudio previo de tratamientos. En *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos* (págs. 194-207). Sevilla: Consejería de Cultura. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.
- Whitmore, P. M., Morris, H. R., & Colaluca, V. G. (2007). Penetration of liquid water through waterborne acrylic coatings. En T. J. Learner, P. Smithen, J. W. Krueger, & M. R. Schilling (Edits.). *Modern Paints Uncovered* (págs. 217-223). London: Getty Conservation Institute.
- Wredenberg, F., & Larsson, P. L. (2009). Scratch testing of metals and polymers: experiments and numerics. En *Wear*, 266(1-2), 76-83.

ANEXOS



Standard Test Methods for Asbestos-Cement Flat Products¹

This standard is issued under the fixed designation C 459; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover only asbestos-cement flat sheets, roofing shingles, siding shingles, and clapboards.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods²

3. Terminology

3.1 *Definitions:*

3.1.1 *deflection*—the linear distance that a test specimen bends at the center from no load to maximum breaking load when loaded as a beam with the load applied equally and simultaneously at both one-third points of the span.

3.1.2 *flexural strength*—the average breaking load in newtons (or lbf) of dried specimens loaded as simple beams on a span of 254 mm (10 in.) with the load applied equally and simultaneously at both one-third points of the span.

4. Sampling

4.1 From each shipment or fraction thereof representing a product of the same kind, a number of sheets or units shall be selected at random. Table 1 and Table 2 show the number of sheets or units to be selected from shipments of various sizes.

5. Preparation of Test Specimens

5.1 *Flat Sheets*—Cut a pair of specimens, each $6 \pm \frac{1}{16}$ in. (152 ± 1.6 mm) in width and $12 \pm \frac{1}{16}$ in. (305 ± 1.6 mm) in

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee C17 on Fiber-Reinforced Cement Products and are the direct responsibility of Subcommittee C17.03 on Asbestos-Cement Sheet Products and Accessories.

Current edition approved Nov. 10, 1997. Published March 1998. Originally published as C 459 – 60 T. Last previous edition C 459 – 97.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

TABLE 1 Sampling Plan for Flat Sheets

Number of Sheets in Shipment	Number of Sheets to Be Selected as Samples ^A
500 and under	3
501 to 1000	5
1001 to 1728	6
1729 to 2744	7
2745 to 4096	8
4097 to 5832	9
5833 to 8000	10

^A Additional sheets may be taken at the discretion of the inspector.

length, from the interior area of each sample sheet in such a manner that no edge of a specimen is less than 3 in. (76 mm) from the original edges of the sheet. The longer dimension of one of the specimens of each pair shall be parallel to the length of the sheet (that is, parallel with the fiber lay), and that of the other shall be at right angles to it. (**Warning**—When cutting asbestos-cement products minimize the dust that results. Prolonged or frequent breathing of significant airborne concentrations of silica or asbestos dust is hazardous. When such dusts are generated, effective measures shall be taken to prevent inhalation. Refer to approved techniques.)

TABLE 2 Sampling Plan for Roofing Shingles, Siding Shingles, and Clapboards

Number of Units in Shipment	Number of Units to Be Selected as Samples ^A
8 000 and under	10
8 001 to 64 000	20
64 001 to 216 000	30
216 001 to 512 000	40
512 001 to 1 000 000	50

^A Additional units may be taken at the discretion of the inspector.

5.2 *Roofing Shingles, Siding Shingles, and Clapboards*—Cut a single specimen $6 \pm \frac{1}{16}$ in. (152 ± 1.6 mm) in width and $12 \pm \frac{1}{16}$ in. (305 ± 1.6 mm) in length from each unit. Cut one half of the specimens in such a manner that the 12-in. (304.8-mm) dimension of each specimen is parallel to one edge of the shingle or clapboard unit; cut one half of the specimens at a right angle thereto. Where the shingle or clapboard units have one dimension less than 12 in., cut all specimens with the

12-in. dimension of each specimen parallel to the long dimension of the shingle or clapboard unit.

5.3 Do not test cracked or otherwise damaged specimens, but obtain substitute specimens.

6. Flexural Strength and Deflection Tests

6.1 Significance and Use:

6.1.1 *Flexural Strength*—This is a routine test. The values recorded are applicable only to the product being tested. The breaking loads specified should be maintained or exceeded to ensure successful use.

6.1.2 *Deflection*—This is not commonly a routine test, but is a reference or referee test. The values recorded are not relative, but are applicable only to the product being tested. The greater the deflection, provided the flexural strength is satisfactory, the lower the breakage hazard will be in use. The limits chosen in the material specifications are arbitrary, and are based upon experience.

6.2 Procedure:

6.2.1 Dry each specimen to constant weight in a ventilated oven at a temperature of 100 to 105°C (212 to 220°F), and cool to room temperature in a desiccator or desiccator-type cabinet. Record the dry weight of each cooled specimen. Determine the flexural strength of each specimen by placing the specimen on supports that cannot exert longitudinal constraint [rocker-type bearing edges or rollers with a 3 mm (1/8-in.) minimum and 13 mm (1/2-in.) maximum radius] and applying the load equally and simultaneously at both one-third points of the span through similar edges, bearing against the finished surface of the specimen. The test span shall be 254 ± 1.6 mm (10 ± 1/16 in.), and the load lines and supports shall be parallel. Mount a dial micrometer reading to 0.25 mm (0.01 in.), or an equally sensitive apparatus, to bear on the specimen at midspan, to determine the deflection of the specimen at the center of the test span. Increase the load applied at a uniform rate such as will result in failure of the specimen in approximately 1 min. The error in the load reading shall not exceed 2.2 N (0.5 lbf) for loads up to 200 N (50 lbf); for greater loads, the error shall not exceed 1 % of the maximum load.

6.3 *Calculation and Report*—Report flexural strength and deflection as required by the appropriate specification.

6.4 Precision and Bias:

6.4.1 Flexural Strength:

6.4.1.1 *Precision*—The single-apparatus multi-operator precision is ±6.1 % (two sigma limits) as defined in Practice E 177 over the range from 150 to 702 N.

6.4.1.2 *Bias*—Results averaged 9 % lower than those obtained with mid-span loading methods.

6.4.2 Deflection:

6.4.2.1 *Precision*—The single-apparatus multi-operator precision is ±7.3 % (two sigma limits) as defined in Practice E 177 over the range from 2 to 8 mm.

6.4.2.2 *Bias*—Results averaged 3.9 % lower than those obtained by mid-span loading methods.

7. Water Absorption Test

7.1 Significance and Use:

7.1.1 This is a routine test. The values are relative. The test is made to determine uniformity of the product. The material

specification values are arbitrarily chosen to describe the product. While there may be a relationship between water absorption and the ability of the product to resist deterioration resulting from freezing and thawing, the material specification values have not been based upon such data.

7.2 Water Absorption Determination:

7.2.1 Submerge the specimens that have been used in the flexural strength test for 24 ± 1/2 h in clean water at 60 to 80°F (15.5 to 26.5°C).

7.2.2 Remove each specimen from the water, wipe with a damp cloth, and weigh separately on a scale accurate to 0.5 %.

7.2.3 Report the water absorption as the average value for all specimens tested. Calculate the water absorption value for each specimen as follows:

$$\text{Water absorption, weight \%} = [(W_s - W_d)/W_d] \times 100 \quad (1)$$

where:

W_s = saturated weight of specimen, and

W_d = dry weight of specimen.

7.3 Precision and Bias:

7.3.1 *Precision*—The multi-apparatus multi-operator precision is ±4.9 % (two sigma limits) as defined in Practice E 177 over the range from 11 to 36 % moisture.

7.3.2 *Bias*—No significant bias is observed when average results are compared with those of another test method using Archimedes' principle.

8. Dimensional Measurements

8.1 Significance and Use:

8.1.1 These are routine measurements for determining whether the length and width of the individual units are as ordered, to ensure that they fit together properly in application, and to determine the uniformity of the specified thickness. In determining the thickness of siding shingles, many of which have a textured or granulated surface, a metal plate is placed adjacent to the textured surface, and the micrometer readings are taken on the combined thickness of the shingle and the metal plate. The purpose is to obtain a more accurate overall thickness measurement of the textured or granulated shingle. This would be rather difficult to do, in many cases, because of surface irregularities were the plate not used.

8.2 Procedure for Thickness Measurements:

8.2.1 *Flat Sheets*—Measure each test specimen for thickness, using a micrometer caliper having flat anvils approximately 1/4 in. (6.3 mm) in diameter and reading to 0.001 in. (0.0254 mm). Make four measurements on each specimen at the approximate mid-point of each edge of the specimen, and at least 1/2 in. (13 mm) in from the edge.

8.2.2 *Roofing Shingles, Siding Shingles, and Clapboards*—Measure the thickness of each test specimen by placing a smooth metal plate of uniform thickness with dimensions approximately 1/64 by 4 by 4 in. (0.4 by 102 by 102 mm), against the finished, textured, or weather-exposed surface of the specimen. Using a micrometer caliper reading to 0.001 in. (0.025 mm), measure the overall thickness of the metal plate and specimen at the approximate mid-point of each edge of the specimen and at least 1/2 in. (12.7 mm) from the edge of the specimen.

8.3 Calculation and Report:

8.3.1 *Flat Sheets*—Average the four measurements and record as the specimen thickness.

8.3.2 *Roofing Shingles, Siding Shingles, and Clapboards*—Subtract the measured thickness of the metal plate from each measurement and average four measurements to give the specimen thickness.

8.4 *Precision and Bias:*

8.4.1 *Precision*—The multi-apparatus multi-operator precision is $\pm 2.2\%$ (two sigma limits) as defined in Practice E 177 over the range from 3.9 to 11.1 mm.

8.4.2 *Bias*—No significant bias is observed when compared against other procedures that make use of metal plates to seat the micrometer anvils.

9. Keywords

9.1 asbestos; asbestos-cement; clapboards; flat sheets; sheeting; shingles; siding; siding shingles

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)¹

This standard is issued under the fixed designation C 78; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the flexural strength of concrete by the use of a simple beam with third-point loading.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The SI equivalent of inch-pound units has been rounded where necessary for practical application.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 31 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field²

C 42 Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete²

C 192 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²

C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens²

C 1077 Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation²

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

3. Significance and Use

3.1 This test method is used to determine the flexural strength of specimens prepared and cured in accordance with Test Methods C 42 or Practices C 31 or C 192. Results are calculated and reported as the modulus of rupture. The strength determined will vary where there are differences in specimen size, preparation, moisture condition, curing, or where the

beam has been molded or sawed to size.

3.2 The results of this test method may be used to determine compliance with specifications or as a basis for proportioning, mixing and placement operations. It is used in testing concrete for the construction of slabs and pavements (Note 1).

4. Apparatus

4.1 The testing machine shall conform to the requirements of the sections on Basis of Verification, Corrections, and Time Interval Between Verifications of Practices E 4. Hand operated testing machines having pumps that do not provide a continuous loading in one stroke are not permitted. Motorized pumps or hand operated positive displacement pumps having sufficient volume in one continuous stroke to complete a test without requiring replenishment are permitted and shall be capable of applying loads at a uniform rate without shock or interruption.

4.2 *Loading Apparatus*—The third point loading method shall be used in making flexure tests of concrete employing bearing blocks which will ensure that forces applied to the beam will be perpendicular to the face of the specimen and applied without eccentricity. A diagram of an apparatus that accomplishes this purpose is shown in Fig. 1.

4.2.1 All apparatus for making flexure tests of concrete shall be capable of maintaining the specified span length and distances between load-applying blocks and support blocks constant within ± 0.05 in. (± 1.3 mm).

4.2.2 The ratio of the horizontal distance between the point of application of the load and the point of application of the nearest reaction to the depth of the beam shall be 1.0 ± 0.03 .

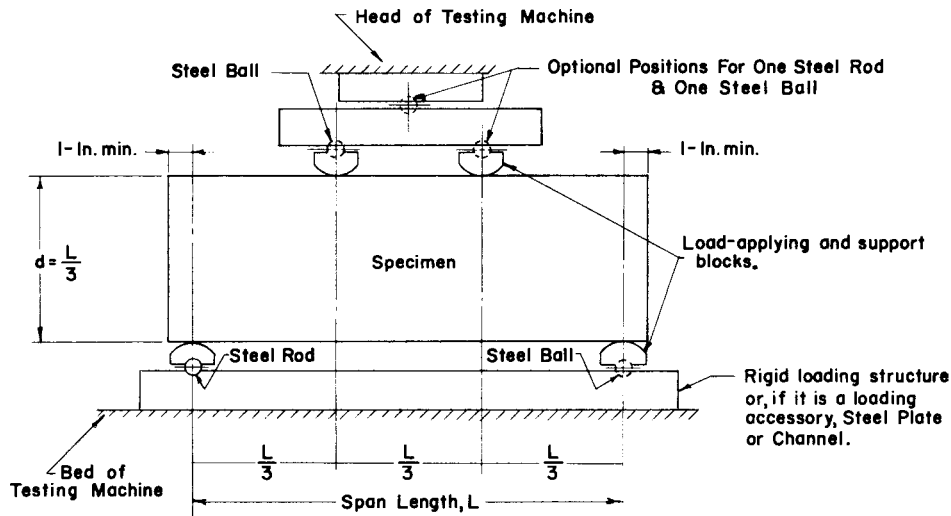
4.2.3 If an apparatus similar to that illustrated in Fig. 1 is used: the load-applying and support blocks should not be more than $2\frac{1}{2}$ in. (64 mm) high, measured from the center or the axis of pivot, and should extend entirely across or beyond the full width of the specimen. Each case-hardened bearing surface in contact with the specimen shall not depart from a plane by more than 0.002 in. (0.05 mm) and shall be a portion of a cylinder, the axis of which is coincidental with either the axis of the rod or center of the ball, whichever the block is pivoted upon. The angle subtended by the curved surface of each block should be at least 45° (0.79 rad). The load-applying and support blocks shall be maintained in a vertical position and in

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Jan. 10, 2002. Published March 2002. Originally published as C 78 – 30T. Last previous edition C 78 – 00.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.



NOTE 1—This apparatus may be used inverted. If the testing machine applies force through a spherically seated head, the center pivot may be omitted, provided one load-applying block pivots on a rod and the other on a ball.

NOTE 2—1 in. = 25.4 mm.

FIG. 1 Diagrammatic View of a Suitable Apparatus for Flexure Test of Concrete by Third-Point Loading Method

contact with the rod or ball by means of spring-loaded screws that hold them in contact with the pivot rod or ball. The uppermost bearing plate and center point ball in Fig. 1 may be omitted when a spherically seated bearing block is used, provided one rod and one ball are used as pivots for the upper load-applying blocks.

5. Testing

5.1 The test specimen shall conform to all requirements of Test Method C 42 or Practices C 31 or C 192 applicable to beam and prism specimens and shall have a test span within 2 % of being three times its depth as tested. The sides of the specimen shall be at right angles with the top and bottom. All surfaces shall be smooth and free of scars, indentations, holes, or inscribed identification marks.

5.2 The technician performing the flexural strength test should be certified as an ACI Technician—Grade II, or by an equivalent written and performance test program.

NOTE 1—The testing laboratory performing this test method may be evaluated in accordance with Practice C 1077.

6. Procedure

6.1 Flexural tests of moist-cured specimens shall be made as soon as practical after removal from moist storage. Surface drying of the specimen results in a reduction in the measured flexural strength.

6.2 When using molded specimens, turn the test specimen on its side with respect to its position as molded and center it on the support blocks. When using sawed specimens, position the specimen so that the tension face corresponds to the top or bottom of the specimen as cut from the parent material. Center the loading system in relation to the applied force. Bring the load-applying blocks in contact with the surface of the specimen at the third points and apply a load of between 3 and 6 % of the estimated ultimate load. Using 0.004 in. (0.10 mm) and 0.015 in. (0.38 mm) leaf-type feeler gages, determine whether

any gap between the specimen and the load-applying or support blocks is greater or less than each of the gages over a length of 1 in. (25 mm) or more. Grind, cap, or use leather shims on the specimen contact surface to eliminate any gap in excess of 0.004 in. (0.10 mm) in width. Leather shims shall be of uniform $\frac{1}{4}$ in. (6.4 mm) thickness, 1 to 2 in. (25 to 50 mm) width, and shall extend across the full width of the specimen. Gaps in excess of 0.015 in. (0.38 mm) shall be eliminated only by capping or grinding. Grinding of lateral surfaces should be minimized inasmuch as grinding may change the physical characteristics of the specimens. Capping shall be in accordance with the applicable sections of Practice C 617.

6.3 Load the specimen continuously and without shock. The load shall be applied at a constant rate to the breaking point. Apply the load at a rate that constantly increases the extreme fiber stress between 125 and 175 psi/min (0.86 and 1.21 MPa/min) until rupture occurs. The loading rate is calculated using the following equation:

$$r = Sbd^2/L \quad (1)$$

where:

r = loading rate, lb/min (MN/min),

S = rate of increase in extreme fiber stress, psi/min (MPa/min),

b = average width of the specimen, in. (mm),

d = average depth of the specimen, in. (mm), and

L = span length, in (mm).

7. Measurement of Specimens After Test

7.1 To determine the dimensions of the specimen cross section for use in calculating modulus of rupture, take measurements across one of the fractured faces after testing. For each dimension, take one measurement at each edge and one at the center of the cross section. Use the three measurements for each direction to determine the average width and the average depth. Take all measurements to the nearest 0.05 in. (1 mm). If

the fracture occurs at a capped section, include the cap thickness in the measurement.

8. Calculation

8.1 If the fracture initiates in the tension surface within the middle third of the span length, calculate the modulus of rupture as follows:

$$R = PL/bd^2 \quad (2)$$

where:

R = modulus of rupture, psi, or MPa,

P = maximum applied load indicated by the testing machine, lbf, or N,

L = span length, in., or mm,

b = average width of specimen, in., or mm, at the fracture, and

d = average depth of specimen, in., or mm, at the fracture.

NOTE 2—The weight of the beam is not included in the above calculation.

8.2 If the fracture occurs in the tension surface outside of the middle third of the span length by not more than 5 % of the span length, calculate the modulus of rupture as follows:

$$R = 3Pa/bd^2 \quad (3)$$

where:

a = average distance between line of fracture and the nearest support measured on the tension surface of the beam, in., (or mm).

NOTE 3—The weight of the beam is not included in the above calculation.

8.3 If the fracture occurs in the tension surface outside of the middle third of the span length by more than 5 % of the span length, discard the results of the test.

9. Report

9.1 Report the following information:

9.1.1 Identification number,

- 9.1.2 Average width to the nearest 0.05 in. (1 mm),
- 9.1.3 Average depth to the nearest 0.05 in. (1 mm),
- 9.1.4 Span length in inches (or millimeters),
- 9.1.5 Maximum applied load in pound-force (or newtons),
- 9.1.6 Modulus of rupture calculated to the nearest 5 psi (0.05 MPa),
- 9.1.7 Curing history and apparent moisture condition of the specimens at the time of test,
- 9.1.8 If specimens were capped, ground, or if leather shims were used,
- 9.1.9 Whether sawed or molded and defects in specimens, and
- 9.1.10 Age of specimens.

10. Precision and Bias

10.1 *Precision*—The coefficient of variation of test results has been observed to be dependent on the strength level of the beams.⁴ The single operator coefficient of variation has been found to be 5.7 %. Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on beams made from the same batch sample should not differ from each other by more than 16 %. The multilaboratory coefficient of variation has been found to be 7.0 %. Therefore, results of two different laboratories on beams made from the same batch sample should not differ from each other by more than 19 %.

10.2 *Bias*—Since there is no accepted standard for determining bias in this test method, no statement on bias is made.

11. Keywords

11.1 beams; concrete; flexural strength testing; modulus of rupture

⁴ See “Improved Concrete Quality Control Procedures Using Third Point Loading” by P. M. Carrasquillo and R. L. Carrasquillo, Research Report 119-1F, Project 3-9-87-1119, Center For Transportation Research, The University of Texas at Austin, November 1987, for possible guidance as to the relationship of strength and variability.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Practice for Conducting Tests on Sealants Using Artificial Weathering Apparatus¹

This standard is issued under the fixed designation C 1442; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This practice covers three types of laboratory weathering exposure procedures for evaluating the effect of actinic radiation, heat, and moisture on sealants.

1.2 The exposure sources used in the three types of artificial weathering devices are the filtered xenon arc, fluorescent ultraviolet lamps, and open flame carbon arc based on Practices G 155, G 154, and G 152, respectively.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are provided for information only.

1.4 The ISO standard related to this Practice is ISO 11431. Significant differences exist between the procedures. The ISO specimens are exposed through glass and are elongated prior to examination for loss of adhesion or cohesion, or both, following exposure.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- C 717 Terminology of Building Seals and Sealants
- G 113 Terminology Relating to Natural and Artificial Weathering Tests of Nonmetallic Materials
- G 151 Practice for Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices That Use Laboratory Light Sources
- G 152 Practice for Operating Open Flame Carbon Arc Light Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials
- G 154 Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials
- G 155 Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee C24 on Building Seals and Sealants and is the direct responsibility of Subcommittee C24.20 on General Sealant Standards.

Current edition approved Dec. 1, 2003. Published January 2004. Originally approved in 1999. Last previous edition approved in 1999 as C 1442 – 99.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

for Exposure of Nonmetallic Materials

2.2 ISO Standard:

ISO 11431 Building Construction—Sealants: Determination of Adhesion/Cohesion Properties After Exposure to Heat and Artificial Light Through Glass and to Moisture³

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of the following terms are found in Terminology C 717: *compound, cure, sealant, substrate*. Definitions of the following terms are found in Terminology G 113: *actinic radiation, control material, file specimen, fluorescent ultraviolet lamps, irradiance, radiant exposure, sample, solar radiation-ultraviolet, solar radiation-visible, spectral power distribution, xenon arc*.

4. Summary of Practice

4.1 The test sealant may be applied to a variety of types of substrates or tested as a free film. The configuration depends on the properties to be evaluated following exposure. At least four replicates of each sealant being tested are required. After curing, one replicate of each sealant being tested is retained as an unexposed file specimen and three replicates are exposed to actinic radiation, heat, and moisture. At the end of the exposure period, the test sealant is examined for property change in comparison with the unexposed file specimen and the performance is compared with that of an exposed control material, if used.

4.2 It is recommended that a similar material of known performance under use conditions (a control) be exposed simultaneously with the test specimen for evaluation of the performance of the test materials relative to that of the control under the same laboratory exposure conditions. It is preferable to use two control materials, one with relatively poor durability and the other with good durability.

5. Significance and Use

5.1 This practice determines the effects of actinic radiation, elevated temperature, and moisture on sealants and their constituents under controlled laboratory artificial weather test conditions.

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

5.2 When conducting exposures in devices which use laboratory light sources, it is important to consider how well the artificial test conditions will reproduce property changes and failure modes caused by end-use environments on the sealant being tested. Refer to Practice G 151 for full cautionary guidance regarding laboratory weathering.

5.3 Because of differences in the spectral power distributions of the exposure sources (xenon arc, fluorescent UV lamps, and open flame carbon arc), as well as other conditions used in the three types of laboratory weathering tests, these three procedures may not result in the same performance ranking or types of failure modes of sealants and different exposure durations may be required for detection of failure in the materials tested. Comparisons should not be made of the relative stability of sealants exposed in different types of apparatus.

6. Test Specimen

6.1 The size and configuration of the specimens are determined by the specifications of the test method used to evaluate the effect of exposure on the specimens. Where practical, it is recommended that specimens be sized to fit the sample holders supplied with the apparatus.

6.2 Some common specimen configurations may include slab, tensile bar, H-block aymar samples, patties, sheets, drawdowns, preformed joint sealants, prevulcanized elastomeric joint materials, beads, channels, and so forth.

6.3 Specimens configured for movement during exposure to artificial weathering conditions also may be used.

7. Apparatus

7.1 *Test Chamber*—Choice of apparatus and exposure conditions selected shall be by mutual agreement among the interested parties. The procedures shall be as described in 7.2, 7.3, and 7.4, which are based on test procedures in ASTM and ISO standards and on parameters used in round robin tests on sealants.

7.1.1 Committee G03 is developing information to be published in Appendices of Practices G 151, G 152, G 154, and G 155 for guidance on uniformity of conditions in the test chambers and the allowed operational fluctuations of the set points.

7.2 *Procedure for Exposure in Xenon Arc Light Apparatus*—Unless otherwise specified, use the following operating conditions and see Practices G 151 and G 155 for requirements that are not given below:

7.2.1 The xenon arc shall be used with daylight type filters to simulate direct exposure to solar radiation and conform with the spectral power distribution in Practice G 155.

7.2.2 The irradiance shall be set at a level not less than 0.35 nor greater than $0.51 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$ at 340 nm. For equivalent broadband irradiance levels at 300–400 nm and 300–800 nm, consult the manufacturer of the apparatus.

7.2.2.1 The irradiance level of $0.51 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$ at 340 nm is preferred for reasons given in Appendix X1.1. However, to accommodate users who are required to operate the machine at $0.35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$ at 340 nm for other tests carried out simultaneously, the lower irradiance level is an option. The test duration is specified in terms of radiant exposure and the time

is adjusted according to the formula in Annex A1.2 to obtain the same radiant exposure at different irradiance levels. See Appendix X2 for discussion on effect of variation in irradiance level.

7.2.3 The default exposure cycle shall be 102 minutes light only followed by a wet period of 18 minutes light with wetting either by water spray on the front surface or immersion in water. The water spray temperature is typically $21 \pm 5^\circ\text{C}$, but may be lower if ambient water temperature is low and a holding tank is not used to store purified water. For immersion water temperature specifications, consult the manufacturer of the test apparatus.

7.2.4 The exposure cycle of 2 h light only followed by 2 h light plus wetting either by water spray on the front surface or immersion in water can be used by agreement between concerned parties.

NOTE 1—The cycle specified in 7.2.4, which provides more through wetting than the cycle in 7.2.3, was evaluated in ruggedness tests on sealants.

7.2.5 The uninsulated black panel temperature (BPT) shall be set at 70°C during the dry period of exposure to the radiation. For the equivalent insulated black panel temperature (black standard temperature, BST), consult the manufacturer of the apparatus.

7.2.6 In equipment that provides for adjustment of the chamber air temperature, the latter shall be set at 48°C .

7.2.7 In xenon arc apparatus that allows for control of relative humidity, it shall be set at 50 % during the dry period of exposure to light.

7.3 *Procedure for Exposure in Fluorescent UV Apparatus*—Unless otherwise specified, use the following operating conditions and see Practices G 151 and G 154 for requirements that are not given below:

7.3.1 Use fluorescent UVA-340 lamps that comply with the spectral power distribution specifications in Practice G 154.

7.3.2 In apparatus with irradiance control, irradiance shall be set at $0.77 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$ at 340 nm.

NOTE 2—The irradiance setting is an attempt to provide irradiance similar to that measured in the fluorescent UV apparatus without irradiance control, when operated at a temperature of 60°C . There can be differences in test results when using different irradiance levels. Refer to Appendix X2 for information regarding the effect of irradiance.

7.3.3 For specimens that are less than 20 mm thick, including support dimensions, the exposure cycle shall be 8 h UV at an uninsulated black panel temperature set at 60°C followed by 4 h wetting by condensation at an uninsulated black panel temperature set at 50°C .

7.3.4 For specimens that are more than 20 mm thick, including support dimensions, the exposure cycle shall be 5 h UV only at an uninsulated black panel temperature set at 60°C followed by 1 h UV plus wetting by water spray on the front surface. The water temperature shall be less than 40°C .

NOTE 3—Wetting by condensation is not applicable to specimens having a thickness greater than 20 mm because of inadequate heat transfer.

7.4 *Procedure for Exposure in Open Flame Carbon Arc Apparatus*—Unless otherwise specified, use the following

operating conditions and see Practices G 151 and G 152 for requirements that are not given below.

7.4.1 The open flame carbon arc shall be used with daylight type filters and conform with the spectral power distribution specifications in Practice G 152.

7.4.2 The default exposure cycle shall be 102 minutes light only followed a wet period of 18 minutes light plus water spray on the front surface. The water spray temperature is typically $21 \pm 5^\circ\text{C}$, but may be lower if ambient water temperature is low and a holding tank is not used to store purified water.

7.4.3 The exposure cycle of 2 h light only followed by 2 h light plus water spray on the front surface can be used by agreement between concerned parties.

7.4.4 The uninsulated black panel temperature shall be set at 70°C during the dry period of exposure to the radiation.

7.4.5 In equipment that provides for adjustment of the chamber air temperature, the latter shall be set at 48°C .

7.4.6 Relative humidity shall be set at 50 % during the dry period of exposure to light.

8. Conditioning

8.1 Condition sufficient sealant in an original closed container for at least 24 h at standard conditions. Standard conditions are a temperature of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and relative humidity of $50 \pm 5\%$.

9. Procedure

9.1 Prepare at least four sealant test specimens. Unless otherwise agreed upon, cure the test specimens at standard conditions for 21 days. Other conditions for curing are acceptable when specified provided they meet the following requirements: the curing period shall not exceed 21 days, and the temperature during the curing period shall not exceed 50°C (122°F). Keep one test specimen as an unexposed file specimen and store at standard conditions and away from light.

9.2 Place at least three of the cured specimens and the control material, if used, in the artificial weathering apparatus with the sealant surface facing the radiation source.

9.3 *Specimen Mounting and Arrangement*—The test specimens shall be mounted so that the plane of the test surface is at a distance from the lamps consistent with the practice for operation of that apparatus. Refer to the appropriate practice for information about proper specimen mounting.

9.4 The apparatus shall be operated continuously. However, if the test needs to be interrupted to perform routine maintenance or inspection, it should be during a dry stage.

9.5 After artificial weathering, condition the samples at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and $50 \pm 5\%$ relative humidity for at least 2 h.

9.6 Use one of the following methods as a basis for the duration of exposure under this procedure and consult Practice G 151 for guidance on Periods of Exposure and Evaluation of Test Results:

9.6.1 a mutually agreed upon specified time period or amount of radiant exposure. The amount of radiant exposure rather than time is specified for xenon arc tests to obtain equivalent radiant exposures at the different levels of irradiance allowed. See Annex A1 for the relation between time and radiant exposure at the irradiance setting used;

9.6.2 the time period or amount of radiant exposure required to produce a mutually agreed upon defined change in a property of the sealant.

9.7 At the end of the exposure period, evaluate the appropriate properties in accordance with recognized ASTM procedures and report the results in accordance with Practice G 151.

10. Report

10.1 The report shall make reference to this ASTM practice and, in addition to the items specified in Practice G 151, the report shall include the following for each sample tested:

10.1.1 Identification of the sealant specimen tested, and control material, if used, including a description of the origin of the sealant, that is, laboratory production facility, product code, color code or name, and lot number, if applicable;

10.1.2 The substrate used, if any;

10.1.3 Sealant cure conditions employed;

10.1.4 the type of laboratory weathering test used and manufacturer and model of artificial weathering apparatus; and

10.1.5 Variations, if any, from the specified test procedure.

11. Precision and Bias

11.1 The repeatability and reproducibility of results obtained in exposures conducted according to this practice will vary with the materials tested, the material property measured, and the specific test conditions and cycles used. It is essential to determine reproducibility of the exposure/property measurement process when using results from exposures conducted according to this practice in product specifications.

12. Keywords

12.1 accelerated weathering; actinic radiation; artificial accelerated weathering; durability; exposure; fluorescent UV lamps; light; open flame carbon arc; sealant; temperature; ultraviolet; UV-radiation; weathering; xenon arc

(Mandatory Information)
A1. Xenon Arc Radiant Exposure Versus Time
A1.1 Xenon Arc Irradiance Setting

A1.1.1 The recommended irradiance at the set point is 0.51 W/(m² · nm) at 340 nm. However, to accommodate testing in xenon arc machines set at 0.35 W/(m² · nm) at 340 nm for other specimens being tested at the same time, the option is given of testing sealants at the lower irradiance level. Therefore, for xenon arc tests, the test duration is specified in terms of radiant exposure rather than time (see 9.6.1) in order to provide equivalent radiant exposures at the different irradiance levels.

The general equation relating radiant exposure in kiloJoules (kJ) to time in hours is:

$$\text{Watts} \times 3.6 \text{ kJ/hr} \times \text{hours of exposure} = \text{kiloJoules} \quad (\text{A1.1})$$

For example, at an irradiance level of 0.35 W/(m² · nm) at 340 nm, the radiant exposure in 500h is 630 kJ/(m² · nm) at 340 nm. At an irradiance level of 0.51 W/(m² · nm) at 340 nm, 630 kJ/(m² · nm) at 340 nm is obtained in 343 h of exposure.

A1.2 Times for Equivalent Radiant Exposures at Different Xenon Arc Irradiance Levels

A1.2.1 The relation between radiant exposure in Joules and time in hours is based on the irradiance level and the following equivalency: 1 Watt = 3600 Joules/hour.

APPENDIXES
(Nonmandatory Information)
X1. IRRADIANCE SPECIFICATION FOR XENON ARC EXPOSURE
X1.1 Justification for the Xenon Arc Recommended Irradiance Setting of 0.51 W/(m² · nm) at 340 nm
X1.1.1 Harmonization with ISO Standards

In ISO standards that contain laboratory accelerated weathering tests, the xenon arc irradiance level is generally specified as 550 W/m² in the spectral region 290–800 nm. It is the irradiance of the reference solar spectrum recommended in the Publication of the International Commission on Illumination, CIE No. 20 (TC-2.2) 1972 for simulation in accelerated laboratory testing devices. The xenon arc irradiance of 550 W/m² at 290–800 nm translates to 0.51 W/(m² · nm) at 340 nm.

X1.1.2 Representative of Solar Irradiance at Benchmark Exposure Sites

Spectral solar irradiance measured as a function of time of day in Miami, Florida and Phoenix, Arizona between April and September show that for approximately three or four hours before and after noon, the irradiance at 340 nm is at least 0.50 W/(m² · nm). The irradiance at these locations at noon under optimum atmospheric conditions is 0.68 W/(m² · nm) at 340 nm on the surface of the specimens. Thus, the xenon arc irradiance of 0.51 W/(m² · nm) at 340 nm is representative of solar irradiance levels to which sealants are exposed in commonly used outdoor benchmark exposure sites.

X2. EFFECT OF EXPOSURE AT DIFFERENT IRRADIANCE LEVELS

X2.1 Specimens receiving equivalent radiant exposures at different irradiance levels will be exposed to elevated temperature and moisture for different lengths of time. Heat and moisture are important factors in the weathering process in conjunction with solar and solar-simulated radiation. For specimens that are particularly sensitive to heat or moisture, differences in time of exposure to these factors can theoretically affect test results. Also, the influence of these weather factors may differ at different irradiance levels. Due to variations in the response of materials to increase in irradiance,

studies have shown that for the same increase in irradiance (63 %), its effect on rate of degradation was not the same for all materials ((1), (2)). However, in a study on several types of polymer materials, for equivalent radiant exposures the color change was the same at double and triple the normal irradiance (3). Also, good correlation with outdoor exposure in terms of the relative stabilities of various types of materials have been reported for exposures at triple the normal irradiance level ((4), (5)). For more information on the effect of different irradiance levels in fluorescent UV devices, see Reference (1).

References

- (1) Gregory R. Fedor and Patrick J. Brennan, "Irradiance Control in Fluorescent UV Exposure Testers," in *Accelerated and Outdoor Durability Testing of Organic Materials*, ASTM STP 1202, Warren D. Ketola and Douglas Grossman, Eds., American Society of Testing and Materials, Philadelphia, 1994, pgs. 199–215.
- (2) Gregory R. Fedor and Patrick J. Brennan, "Comparisons Between Natural Weathering and Fluorescent UV Exposures: UVA-340 Lamp Test Results," in *Durability Testing of Nonmetallic Materials*, ASTM STP 1294, Robert J. Herling, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1996, pgs. 91–105.
- (3) Jorg Boxhammer, "Shorter Test Times for Thermal- and Radiation-Induced Aging of Polymer Materials 1: Acceleration by Increased Irradiance and Temperature in Artificial Weathering Tests," *Polymer Testing*, 20(7), 719–724, 2001.
- (4) Kurt P. Scott, "Viability of High Irradiance Xenon Arc Weathering Tests," in *Accelerated and Outdoor Durability Testing of Organic Materials*, ASTM STP 1202, Warren D. Ketola and Douglas Grossman, Eds., American Society of Testing and Materials, Philadelphia, 1994, pgs. 216–231.
- (5) Shigeru Suga and Shigeo Suga, "New Accelerated Light Fastness Test with Super High Irradiance Using a Xenon Arc Lamp," in *Accelerated and Outdoor Durability Testing of Organic Materials*, ASTM STP 1202, Warren D. Ketola and Douglas Grossman, Eds., American Society of Testing and Materials, Philadelphia, 1994, pgs. 232–246.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

POLYFORM

BARNIZ 11000 BRILLANTE / CATALIZADOR 250

Barniz de poliuretano alifático de dos componentes



CARTA TÉCNICA

1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

PRODUCTO

Barniz de poliuretano alifático de dos componentes de acabado brillante. Para su uso tanto en superficies interiores como en exteriores.

Este barniz forma un sistema al mezclarse con el Catalizador 250 de **Polyform**.

TIPO

Poliuretano alifático.

USOS RECOMENDADOS

Como acabado brillante de muy alta resistencia al tráfico, a la exposición continua al medio ambiente y de alta calidad. Para pisos, puertas, ventanas y muebles de madera en general. Se puede aplicar sobre cualquier superficie que tenga poro o pueda ser generado como madera, barro, metal, cantera, concreto, etc.

ACABADO

Película brillante.

2. PARÁMETROS DE MEDICIÓN

SÓLIDOS POR PESO (%)

Barniz 11000 Brillante de Polyform	35.0 – 39.0
Catalizador 250 de Polyform	73.0 – 77.0
Mezcla (sin diluir)	45.0 – 49.0

SÓLIDOS POR VOLUMEN (%)

Barniz 11000 Brillante de Polyform	26.7 – 31.2
Catalizador 250 de Polyform	67.3 – 72.1
Mezcla (sin diluir)	36.8 – 41.4

VISCOSIDAD

Barniz 11000 Brillante de Polyform	100 – 800*
Catalizador 250 de Polyform	100 – 350*
Mezcla (sin diluir)	100 – 700*

*cP, Brookfield LVF aguja # 2, 30 rpm, a 20°C.

DENSIDAD (g/ml)

Barniz 11000 Brillante de Polyform	0.965 – 1.015
Catalizador 250 de Polyform	1.04 – 1.08
Mezcla (sin diluir)	0.984 – 1.031

BRILLO

90 unidades mínimo (Angulo 60°)

V.O.C.

Barniz 11000 Brillante de Polyform	614.3 g/L
Catalizador 250 de Polyform	267.5 g/L
Mezcla (sin diluir)	527.6 g/L

Calculados de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-123-SEMARNAT 1998 y aplica sólo para el territorio nacional.

3. CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

GENERAL

Máxima resistencia a la exposición en exteriores y a la abrasión del tráfico peatonal, a los ácidos y álcalis diluidos, y al contacto con solventes comunes. Excelente balance de dureza y flexibilidad que le confieren alto desempeño ante los cambios normales de dimensiones que sufren los sustratos.

4. DATOS DE APLICACIÓN

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

La superficie a pintar deberá estar seca, libre de polvo, grasa, óxido y otros materiales extraños.

En caso de superficies nuevas, se recomienda lijar perfectamente la madera hasta obtener una superficie tersa y uniforme con lija de grano 180 y posteriormente se cambia de graduación a 220. En caso de que se desee cambiar el tono original de la madera virgen, se puede utilizar las tintas al alcohol o tintas base agua de **Polyform** para entintarla. No utilizar tintas al aceite, por que se pierde adherencia.

Para superficies previamente barnizadas se recomienda eliminar primero el barniz original si se trata de productos oleosinosos, alquidáticos o de nitrocelulosa. Para barnices de poliuretano alifático basta con abrir el poro lijando con lija 240.

En ambos casos se debe eliminar todo residuo de polvo con trapo húmedo con agua.

CAPA BASE

Se recomienda ampliamente que la superficie este previamente sellada ó engrosada con barniz 11000 brillante de **Polyform** diluido al 50% de dos a tres manos (capas), dependiendo de la porosidad del sustrato.

Para dar mantenimiento a superficies previamente barnizadas con Barniz 11000 brillante de **Polyform**, basta con asentar con lija de agua 320, hasta disminuir el brillo, con lo que se abre el poro para fijar la nueva capa de Barniz 11000 brillante de **Polyform**.

No se recomienda sellar con ningún sellador de nitrocelulosa, ya que aunque la aplicación consume menor tiempo, la adherencia entre capas no es adecuada, pudiendo presentar problemas al paso del tiempo.

NOTA:

Para obtener un excelente acabado deben seguirse las siguientes recomendaciones:

El poro de la madera debe estar perfectamente sellado.

Para obtener un excelente acabado se debe dejar secar la última mano 24 horas y asentar con papel lija grano 400.

INDICACIONES SOBRE EL MEZCLADO

El bote original del Barniz 11000 brillante de **Polyform** viene envasado con la cantidad de material exacta para mezclarse con su parte correspondiente de Catalizador 250 de **Polyform**.

En su compra usted recibirá 2 botes

POLYFORM

BARNIZ 11000 BRILLANTE / CATALIZADOR 250

Barniz de poliuretano alifático de dos componentes



CARTA TÉCNICA

En caso de utilizar otro volumen de mezcla, siempre se deberá tener cuidado de conservar la relación de 3 partes de Barniz 11000 Brillante de **Polyform** por una parte de Catalizador 250 de **Polyform** en volumen. Cuidando que el recipiente a utilizar este limpio y seco.

Se recomienda no catalizar en otra proporción diferente a la recomendada porque pueden variar las características del producto.

REDUCTOR

Solvente para poliuretano de **Polyform**.

DILUCIÓN

Agregue en un recipiente limpio la cantidad de producto que desee aplicar y adicione Solvente para poliuretano de **Polyform**:

De 20 a 30 % para aplicar con brocha.

De 30 a 40% para aplicar con pistola.

Mezcle perfectamente hasta tener una incorporación completa.

No se recomienda utilizar otro solvente ya que puede alterar las propiedades finales del producto.

Estos porcentajes de dilución están basados en nuestros conocimientos y experiencias actuales, sin embargo se recomienda realizar pruebas y/o ensayos en el área de aplicación para determinar el porcentaje adecuado.

MÉTODO DE APLICACIÓN

Aspersión convencional con aire, brocha.

PRECAUCIONES AL APLICAR

No aplique a temperaturas menores de 10°C, ni mayor es de 40°C.

Es recomendado aplicar en lugares con buena ventilación y alejado de cualquier fuente de ignición, no se recomienda que se seque al rayo del sol ya que puede alterar las propiedades finales de desempeño del producto.

Así mismo se recomienda el uso de mascarillas de carbón activado contra vapores de solventes orgánicos.

Mantenga el envase cerrado, en lugares frescos y secos y fuera del alcance de los niños.

Recomendamos preparar sólo la cantidad necesaria que se va a aplicar.

Trate de utilizar todo el material mezclado, ya que de no usarlo éste se gela y no podrá aplicarse. En caso de que sobre material mezclado, deberá desecharlo y por ningún motivo podrá regresarse a los envases originales. No aplicar altos espesores para evitar formación de burbujas en la aplicación.

APLICACIÓN

Aspersión: Con pistola convencional usar una presión de aire de 30 - 40 lb/pulg².

Se recomienda dar como mínimo 3 manos (capas) del producto. Dejar secar por lo menos 4 horas entre mano

(capa) y mano (capa), asentando cada película previa con lija 240 ó 280.

TIEMPO DE SECADO

Al tacto 1 hora

Manejo 4 – 6 horas

Tráfico ligero 3 días

Uso normal 7 días

En condiciones normales de temperatura, ventilación y humedad.

ESPESOR RECOMENDADO DE PELÍCULA HÚMEDA POR CAPA

3.0 – 5.0 milésimas de pulgada.

ESPESOR RECOMENDADO DE PELÍCULA SECA POR CAPA

1.0 2.0 milésimas de pulgada.

RENDIMIENTO TEÓRICO

15 m²/L a un espesor de película seca de 1 milésima de pulgada dependiendo de la porosidad de la madera.

LIMPIEZA DEL EQUIPO

Para limpiar el equipo utilice Acetona.

La limpieza debe ser de inmediato de lo contrario los residuos se endurecerán en el interior del equipo inutilizándolo.

No utilice Thinner Estándar porque puede hacer bolas el producto ó gelar los residuos de material llegando inclusive a tapar los ductos de las pistolas.

5. MANEJO DEL PRODUCTO

INFLAMABILIDAD

Producto altamente inflamable, manténgase alejado de cualquier fuente de ignición. No se exponga el envase al sol.

VIDA ÚTIL DE LA MEZCLA

8 horas dependiendo de las condiciones ambientales y de la dilución empleada.

VIDA DE ALMACENAMIENTO

Catalizador 250 de **Polyform** 1 año.

ALMACENAMIENTO

Almacenar en envase original, bien cerrado, bajo techo y en lugares frescos y secos.

Después de su uso cierre bien el envase y manténgalo fuera del alcance de los niños.

CUIDADOS ESPECIALES

No almacenar a la intemperie.

No envase en recipientes recubiertos con materiales solubles a solventes activos del producto.

POLYFORM

BARNIZ 11000 BRILLANTE / CATALIZADOR 250

Barniz de poliuretano alifático de dos componentes



CARTA TÉCNICA

De no seguir las instrucciones anteriores puede causar variaciones de viscosidad y/o apariencia, incompatibilidad ó hasta endurecimiento del producto.

CATALIZADOR: Reacciona con la humedad del medio ambiente, por lo que una vez abierto el envase, se debe usar el producto lo antes posible ó cerrar el envase perfectamente después de su empleo. Cuando el catalizador haya incrementado su viscosidad ó tenga una apariencia turbia es preferible no utilizarlo.

6. LIMITACIONES DEL PRODUCTO

LIMITACIONES

No se debe aplicar este producto sobre superficies sin preparación.

No se debe recubrir y/o mezclar con productos no recomendados.

Al ser un material que se cataliza, sólo puede ser aplicado durante el tiempo de vida de mezcla mencionado en esta carta técnica.

Después de 12 meses el producto puede presentar incremento y/o variación de color por lo que es responsabilidad del área comercial realizar la rotación de inventarios para la venta de este producto en el tiempo señalado.

7. PRESENTACIÓN DE ENVASE

PRESENTACIÓN

Barniz 11000 brillante de **Polyform**

Bote 0.375 L

Bote 0.750 L

Bote 3.000 L

Cubeta 15.00 L

Catalizador 250 de **Polyform**

Bote 0.125 L

Bote 0.250 L

Bote 1.000 L

PESO POR CADA PRESENTACIÓN

Barniz 11000 brillante de **Polyform**

Bote 0.371 Kg

Bote 0.743 Kg

Bote 2.970 Kg

Cubeta 14.850 Kg

Catalizador 250 de **Polyform**

Bote 0.132 Kg

Bote 0.265 Kg

Bote 1.060 Kg

8. IMPORTANTE

ADVERTENCIA LEGAL Y LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDADES

Ninguna información, datos o diseños contenidos en este documento podrán ser alterados.

Los datos de esta Carta Técnica representan valores típicos de las características del producto. Por lo tanto, esta información debe servir sólo como una guía general y el usuario deberá verificar que cuenta con la versión más reciente de la Carta Técnica de este producto, disponible a través de la línea de Atención al Consumidor o en la página www.comex.com.mx. Cualquier modificación a las instrucciones y recomendaciones de nuestros productos, es responsabilidad de quien o quienes a su criterio han decidido cambiar o modificar el uso o manejo del producto. Si el usuario decide emplear el producto o sistema para un fin diferente al explícitamente recomendado, asume todo el riesgo y responsabilidad correspondientes. En algunos casos, en virtud de la variedad de sistemas a aplicar en una obra, el usuario deberá solicitar información ó asesoría directamente a su representante de productos COMEX autorizado.

La información técnica, advertencias, recomendaciones y el desempeño de este producto, se basan tanto en pruebas de laboratorio como en experiencia práctica y son proporcionados de buena fe. El Fabricante supone el uso de este producto por personas con la capacidad y el conocimiento necesarios para hacerlo correctamente bajo su propio riesgo y responsabilidad, por lo que no se hace responsable por el uso indebido del producto. El usuario asumirá todos los riesgos y responsabilidades asociados con la selección del producto para un uso específico. Se aconseja al usuario hacer pruebas de ensayo para verificar que el producto y su desempeño sean los adecuados para su necesidad particular. La información técnica aquí contenida está sujeta a cambios sin previo aviso.

El Fabricante no asume ninguna obligación o responsabilidad por el uso de esta información, a menos que El Fabricante acuerde lo contrario previamente y por escrito con el usuario. EL FABRICANTE NO OTORGA GARANTÍAS, NI EXPRESAS, NI IMPLÍCITAS, INCLUIDAS LAS GARANTÍAS DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN USO PARTICULAR. EL FABRICANTE NO SERÁ RESPONSABLE POR NINGÚN DAÑO INCIDENTAL, CONSECUENCIAL O INDIRECTO. Los mecanismos de compensación disponibles al usuario por cualquier defecto en este producto serán: la sustitución del producto defectuoso, o un reembolso del precio de compra según el comprobante correspondiente, a juicio del Fabricante y previo análisis de la reclamación en cuestión. Cualquier reclamación deberá ser presentada por el usuario y por escrito a los distribuidores que actúan en nombre del Fabricante, dentro de los cinco (5) días siguientes a que el

POLYFORM

BARNIZ 11000 BRILLANTE / CATALIZADOR 250

Barniz de poliuretano alifático de dos componentes



CARTA TÉCNICA

usuario note la irregularidad reclamada y hasta un año contado a partir de la fecha de compra.

ATENCIÓN AL CONSUMIDOR

MÉXICO: +(52 55) 5864-0790

+ (52 55) 5864-0791

01-800-7126-639 SIN COSTO

Esmalte Alquidálico para recubrir herrería y estructuras en general

NovoPermo® Básico

Descripción general

Novopermo® Básico es una pintura económica de aceite con acabado brillante diseñada para dar color y evitar la oxidación de puertas, ventanas, barandales y herrería en general.

DISPONIBILIDAD DE COLOR

Blanco, Negro, 6 colores de línea y 1026 colores con el Sistema Tintométrico CorMaster®.

PRESENTACIÓN

Litro	1L
Galón	4L
Cubeta	19L

Propiedades Físicas

• Viscosidad Stormer @ 25°C	85 – 100 KU's	ASTM D562
• Densidad (kg/lt)	0.95 – 1.45	ASTM D1475
• Sólidos en peso (%)	42 – 52%	ASTM D2369-97
• Sólidos en Volumen (%)	38 – 41%	Teórico
• Rendimiento teórico liso(m²/lt @ 1 mils EPS)*	15 – 19 m²/L	
• Plomo	No Contiene	NOM-003-SSA1-2006
• VOC's (g/L)	Menor a 450 g/L	NOM 123 SEMARNAT 1998
• Brillo @ 60°C	80 – 100 UB	ASTM D523

*El rendimiento puede variar por varios factores, como son estilo del pintor, mermas, método, equipo de aplicación y tipo de superficie.

Preparación de superficie

Antes de aplicar la pintura sobre cualquier superficie, se debe cumplir con las siguientes condiciones.

Limpia. Eliminar cualquier material de la superficie que impida que la pintura se adhiera a ella, como polvo, grasa, pintura suelta, óxido, moho, tierra, y cualquier material que impida la adherencia. Remover con cepillo de alambre o carda mecánica toda la pintura suelta o dañada.

Seca. No deberá existir ningún grado de humedad en la superficie.

Sin Brillo. Cuando se aplique en acabados brillantes, es necesario quitar el brillo utilizando lija No. 400.

Imprimación

En metal desnudo, aplicar Primario Estructural Axalta®. En aluminio, usar primario Cromato de Zinc de Axalta®.

Aplicación

DILUCIÓN

Para aplicación por aspersion diluya 20%-25% con thinner 3800SM o T-99363.
Para aplicación con brocha diluya 10%-15% con thinner 3800SM o T-99363

CONDICIONES DE APLICACIÓN

Temperatura Ambiente: 10°C – 33°C
Temperatura de la superficie: De 15 a 30°C
Humedad Relativa: Menor a 80%
No usar en ambientes corrosivos o con condiciones extremas.

EQUIPO DE APLICACIÓN

- Brocha
- Aspersion con pistola de baja presión
- Equipo Airless

Seguir recomendaciones del fabricante, para fijar presiones y boquillas. Presión: 2000 psi
Boquilla: 0,381 mm a 0,482 mm (0,015" a 0,019")

MÉTODO DE APLICACIÓN

Aplicación con brocha:

- 1.- Moje de pintura una tercera parte de las cerdas, evitando así que el producto escurra.
- 2.- Realice movimientos uniformes de manera vertical, iniciando por la parte superior de la superficie a pintar.

Aplicación con pistola de aspersion de baja presión (convencional o por gravedad):

Aplique a una distancia de 15-20 cm separado de la superficie, recorriendo la mano de un lado a otro.

TIEMPO DE SECADO

A temperatura ambiente (25°C o 77°F) y 50% de humedad.

Al tacto: 3 - 4 horas

Tiempo de curado total: 7 días.

Secado entre mano y mano*

*La segunda mano debe aplicarse antes de las 2 horas.

ESPESOR RECOMENDADO

- Película húmeda: 5 milésimas de pulgada
- Película seca: 2 milésimas de pulgada

LIMPIEZA DEL EQUIPO

Limpiar el equipo inmediatamente después de su uso con thinner estándar T-99363.

Manejo del Producto

ALMACENAMIENTO

Cuando no esté en uso, el envase deberá permanecer cerrado y bajo techo entre 5°C y 35°C de temperatura.

CADUCIDAD

24 meses después de fecha de lote de fabricación, revisar etiqueta o envase.

INFLAMABILIDAD

Producto inflamable, manténgalo apartado de altas temperaturas, chispas y flamas.

RESTRICCIONES

No aplicar NovoPermo® Básico:

- A temperaturas inferiores a 10°C, cuando amenace lluvia o en zonas encharcadas.
- No mezclarlo con otros productos.
- No aplicarlos bajo los rayos solares del mediodía.

Advertencias

No se deje al alcance de los menores de edad. No se ingiera. En caso de ser ingerido no se provoque el vómito y solicite atención médica. Evite el contacto directo; contiene disolventes y sustancias tóxicas, cuyo contacto o inhalación prolongada origina graves daños a la salud.

Use este producto con ventilación adecuada y equipo de protección: lentes de seguridad, guantes, mandil y respirador para vapores orgánicos.

Este producto está garantizado contra defectos de fabricación. Cualquier uso o aplicación de éste producto fuera de las recomendaciones definidas en el presente documento será bajo la responsabilidad del usuario final.

Todos los datos, información y diseño contenidos en este documento bajo ninguna circunstancia podrán ser alterados. La contravención a esta advertencia constituirá delito(s) severamente sancionado(s) por las leyes vigentes.

Asistencia Técnica

Axalta Coating Systems S. de R.L. de C.V.

Teléfono (01 55) 53 66 53 00 Ext. 5016

Teléfono de emergencias médicas: (01 55) 5366-4600

E-mail:info.mx@axaltacs.com