

TFG TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO Y REVISIÓN DE TRATAMIENTOS DE LIMPIEZA PARA
LA ELIMINACIÓN DE CONCRECIONES DE CARBONATOS
SOBRE PINTURA MURAL ARQUEOLÓGICA

AUTOR: EMILIO JOSÉ JEREZ GÓMEZ

TUTORA: ANA ISABEL CALERO CASTILLO

LÍNEA DEL TRABAJO FIN DE GRADO: PROCESOS DE INTERVENCIÓN PARA LA
CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

CONVOCATORIA: JUNIO 2020

CURSO ACADÉMICO: 2019/20

GRADO EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

“El plagio, entendido como la presentación de un trabajo u obra hecho por otra persona como propio o la copia de textos sin citar su procedencia y dándolos como de elaboración propia, conllevará automáticamente la calificación numérica de cero. Esta consecuencia debe entenderse sin perjuicio de las responsabilidades disciplinarias en las que pudieran incurrir los estudiantes que plagien.

Las memorias entregadas por parte de los estudiantes tendrán que ir firmadas sobre una declaración explícita en la que se asume la originalidad del trabajo, entendida en el sentido de que no ha utilizado fuentes sin citarlas debidamente.”

(Normativa TFG, UGR, 2013)

Declaro que se trata de un trabajo original
En Granada a 17 de junio de 2020

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'EJG', with a stylized, somewhat abstract flourish extending to the right.

Fdo. Emilio José Jerez Gómez

TFG Trabajo Fin de Grado

Estudio y revisión de tratamientos de limpieza para la eliminación de concreciones de carbonatos sobre pintura mural arqueológica.

Autor/a: Emilio José Jerez Gómez

Tutor/a: Ana Isabel Calero Castillo

Línea del Trabajo Fin de Grado: Procesos de intervención para la conservación y restauración

Convocatoria: Junio 2020

Curso académico: 2019/20

Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales

RESUMEN¹

La pintura mural arqueológica se suele hallar en un ambiente de enterramiento alcalino, lo que puede favorecer la formación de costras de sales insolubles de CaCO_3 sobre la superficie pictórica. Esto supone impedir la correcta lectura de la pintura mural de época antigua. El presente trabajo aúna los diferentes tratamientos de limpieza seguidos en la eliminación de concreciones de carbonatos en esta tipología de pintura, así como de posibles métodos de control. Para ello, se ha procedido a realizar una revisión bibliográfica de los métodos más empleados en la limpieza de estos depósitos, se ha efectuado una selección de tratamientos y posteriormente, se ha propuesto un protocolo de evaluación de los mismos. El objetivo de este estudio ha sido establecer una metodología de evaluación de los diferentes métodos de limpieza de manera que se puedan distinguir, en caso de llevar a cabo este proyecto de forma práctica, aquellos sistemas que ofrecen mayores garantías de conservación para abordar este tipo de intervenciones.

PALABRAS CLAVE

Pintura mural arqueológica; fresco; limpieza; carbonatos; concreciones; análisis; degradación; protocolo de evaluación; restauración; conservación.

ABSTRACT

Archaeological mural painting is usually found in an alkaline burial environment, which can favor the formation of crusts of insoluble CaCO_3 salts on the pictorial surface. This crusts prevents the correct reading of ancient wall painting. The present work combines the different cleaning treatments followed in the elimination of carbonate concretions in this type of painting, as well as possible control methods. To this purpose, a bibliographical review of the most commonly used methods for cleaning these deposits has been carried out. Also, a selection of treatments has been made and subsequently a treatment evaluation protocol has been proposed. The main objective of this study is to establish a methodology for testing the different cleaning methods so that, if this project is developed in a practical manner, those systems that offer the greatest guarantees of conservation for dealing with this type of intervention could be distinguished.

KEY WORDS

Archaeological mural paintings; fresco; cleaning; carbonates; concretions; analyse; degradation; assessment protocol; restoration; conservation.

¹ Este Trabajo Final de Grado parte de la Beca de Iniciación a la Investigación para Estudiantes de Grado 2019/20 del Plan Propio de la Universidad de Granada, dentro del proyecto de investigación *Estudio científico y tratamientos de conservación en revestimientos arquitectónicos de época romana a medieval*.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustará agradecer a mi tutora del Trabajo Final de Grado, la Dra. Ana Isabel Calero Castillo y al director del proyecto de investigación del que parte este trabajo, el Dr. Francisco José Collado Montero, darme la oportunidad de estudiar y revisar los tratamientos de limpieza para la eliminación de concreciones de carbonatos sobre pintura mural arqueológica. Ambos han compartido conmigo valiosos consejos y experiencias fruto de unas grandes trayectorias profesionales que guardaré para siempre. A la Dra. Teresa López Martínez y la Dra. Ana García Bueno, profesoras de la asignatura de pintura mural, que, junto con Ana y Paco, sembraron en mí el interés por los procesos para la conservación y la restauración de la pintura mural. Mi admiración a todos estos profesionales, su implicación y vocación desprendida, que me han ayudado a desarrollarme no sólo como profesional, sino también como persona.

Agradecer a todo el personal docente de Conservación y Restauración de la Universidad de Granada y de la Universitat Politècnica de València, que con su labor me han hecho aprender a vivir un oficio muy necesario en la sociedad actual. No me quiero olvidar de mis amigos y compañeros, sin duda el gran tesoro que me llevo. Arantxa, Alba, Aina, Gema, José, María, Vero, Ana, Violeta, Anabel, Laura, Bea, Elena, Aitana y muchos más compañeros de universidad y de conservatorio que hicisteis de mi etapa en Valencia una de las mejores de mi vida. Pero tampoco quiero olvidarme de mis granadinas: Mamen, Elvira Cuerva, Lucía, Simonet, Carmen, Elvira Casal, Cris, Anna y mucha más gente que ha hecho de mi tiempo en Granada algo realmente inolvidable. Especial mención también a mis compañeros de los XXI Cursos de Restauración de Mosaicos en Mérida, y a mis arqueólogos del corazón con los que he pasado grandes momentos durante las campañas arqueológicas 2018/19 en el Proyecto Lemoatx.

Gracias a todas mis amigas y amigos de Villarrobledo, los cuales han confiado siempre en mí y me han apoyado en los diferentes proyectos en los que he colaborado. En especial a mi grupo de amigos y a Alicia, Laura y Rocío, que han sido un sostén fundamental en todo momento.

Por último, pero no menos importante, agradecer a mi hermana Mari Conchi la inspiración que en mí ha supuesto su desarrollo como persona y como arquitecta, a mis padres y mi hermano por su fuerza transmitida en la superación de la lucha contra el cáncer durante estos últimos años, por haberme apoyado en los peores momentos y sobre todo por haber confiado en mí.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
3. METODOLOGÍA	10
4. LA PINTURA MURAL ARQUEOLÓGICA ROMANA Y SUS PROBLEMAS DE CONSERVACIÓN: LOS CARBONATOS	11
4.1. Breve introducción documental de la pintura mural romana.....	11
4.2. Técnica de ejecución y materiales.....	11
4.3. Pigmentos de la paleta romana	14
4.4. Los carbonatos: Formación, efectos y alteraciones	16
5. MÉTODOS DE LIMPIEZA DE CARBONATOS Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO	18
5.1. Tratamientos de limpieza de carbonatos en pintura mural arqueológica	18
5.1.1. <i>Métodos físico-mecánicos</i>	19
5.1.1.1. Medios mecánicos.....	19
5.1.1.2. Instrumental electro-neumático	21
5.1.1.3. Limpieza fotónica	22
5.1.2. <i>Métodos físico-químicos: Agentes químicos de limpieza en medio acuoso</i>	24
5.1.2.1. Agentes tensoactivos y detergentes	25
5.1.2.2. Ácidos, bases y sustancias tampón	26
5.1.2.3. Agentes complejantes y quelantes.....	30
5.1.2.4. Resinas de intercambio iónico	33
5.1.2.5. Disolventes orgánicos.....	34
5.1.3. <i>Métodos físico-químicos: Agentes sustentantes de limpieza en húmedo</i>	36
5.1.3.1. Agentes gelificantes y espesantes.....	36
5.1.3.2. Agentes soportantes	40
5.2. Métodos de evaluación.....	41
5.2.1. <i>Test de identificación de carbonatos</i>	42
5.2.2. <i>Documentación fotográfica</i>	42
5.2.3. <i>Mapeo de alteraciones</i>	42
5.2.4. <i>Uso de plantillas para determinar los puntos de análisis</i>	43
5.2.5. <i>Microscopio estereoscópico o lupa binocular</i>	43

5.2.6. <i>Estudio de estabilidad química en la limpieza con la medición del pH y la conductividad</i>	44
5.2.7. <i>Análisis cuantitativo de la presencia porcentual de carbonatos sobre la superficie pictórica a través de la tecnología SIG</i>	47
5.2.8. <i>Evaluación de las superficies mediante la fluorescencia visible inducida por radiación UV</i>	48
5.2.9. <i>Estudio colorimétrico mediante espectrofotómetro e imágenes hiperespectrales</i>	49
5.2.9.1. <i>Espectrofotómetro</i>	49
5.2.9.2. <i>Imágenes espectrales</i>	50
5.2.10. <i>Estudio fotogramétrico</i>	52
6. PROPUESTA DE UN PROTOCOLO DE EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE LIMPIEZA PARA FRAGMENTOS DE PINTURA MURAL ARQUEOLÓGICA CON PRESENCIA DE CARBONATOS	53
6.1. Selección de fragmentos descontextualizados para los ensayos de limpieza.....	53
6.2. Selección de los tratamientos de limpieza y métodos de aplicación.....	54
6.2.1. <i>Propuesta de ensayos de tratamientos de limpieza</i>	56
6.2.2. <i>Formas de aplicación de los ensayos</i>	58
6.3. Protocolo de evaluación y seguimiento de la limpieza de carbonatos..	59
6.3.1. <i>Diagnóstico del estado de conservación inicial de los fragmentos</i>	59
6.3.2. <i>Evaluación y seguimiento durante la limpieza</i>	62
6.3.3. <i>Diagnóstico del estado de conservación de los fragmentos tras la limpieza</i>	63
7. CONCLUSIÓN.....	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ÍNDICE DE IMÁGENES	76
ÍNDICE DE TABLAS.....	78
ANEXO DE FICHAS TÉCNICAS	80

1. INTRODUCCIÓN

La pintura mural romana de procedencia arqueológica tiene la particularidad de provenir de un ambiente de enterramiento, siendo tratada como las demás estructuras u objetos arqueológicos durante su hallazgo en una excavación (GROETEMBRIL et al., 2018). Por ello, tanto su estado de conservación como sus patologías guardan una mayor similitud a las de un objeto arqueológico que a las de una pintura mural arquitectónica al uso.

El hecho de que el ambiente de enterramiento en el que se encuentran las pinturas murales sea alcalino, propicia la formación de concreciones de sales insolubles compuestas en mayor medida por carbonatos, muy adheridos en su superficie, los cuales ocultan la decoración pictórica bajo una costra blanquecina de elevada dureza. Sin embargo, una vez son descubiertas, y debido a la inestabilidad en la que se encuentra la capa pictórica en estas condiciones, se suele recurrir a su pre-consolidación con el uso de una protección temporal con el objetivo de extraer de forma segura del yacimiento la pintura. Esta extracción supone, por una parte, la correcta conservación de los fragmentos durante su traslado, pero, por otra parte, contribuye a adherir aún más las concreciones a la superficie pictórica, por lo que en un proceso de limpieza posterior se deberá de tener en cuenta los posibles restos de adhesivo, que tendrán que ser eliminados junto con las concreciones (NOGUERA et al., 2016).

La limpieza de concreciones carbonáticas en pintura mural supone un tratamiento de restauración, que se encarga de la eliminación de la materia no original que se encuentra sobre la superficie pictórica. Estos depósitos contribuyen a desfigurar la percepción visual de la obra, y además pueden producir alteraciones físico-químicas en la misma debido a las tensiones que generan en los estratos pictóricos (BARROS, 2001). Así, la limpieza como procedimiento es un proceso muy delicado debido a que es totalmente irreversible, a lo que se suma que la composición química del material a eliminar es la misma que la del soporte original de la pintura, por lo que la problemática en cuanto a su modo de retirada es aún más compleja (ZALBIDEA et al., 2016).

Con la revisión bibliográfica de este tipo de limpieza, se proyecta seleccionar los tratamientos más idóneos para posteriormente, pasar a elaborar un protocolo de evaluación de este proceso, dada la irreversibilidad del mismo. De este modo, se pretenden revisar diferentes métodos de limpieza para seleccionar cual es el más efectivo para la eliminación de este tipo de concreciones sin suponer un riesgo para la pintura original (MORA et al., 2003; DEL ORDI CASTILLA et al., 2016). Este trabajo solamente ha podido ser desarrollado de forma teórica debido a la crisis sanitaria derivada del Covid-19, esperando que, posteriormente, si las circunstancias lo permiten, pueda ser desarrollado de forma práctica.

2. OBJETIVOS

- Determinar las alteraciones y problemas de conservación que produce la presencia de sales insolubles en pintura mural arqueológica.
- Revisión bibliográfica relativa a los tratamientos de limpieza tradicionales y a la adaptación de otros tratamientos presentes en el mercado para la eliminación de este tipo de alteración.
- Valorar y seleccionar aquellos tratamientos de limpieza empleados en la limpieza de costras carbonáticas que mejores garantías han ofrecido en la revisión bibliográfica.
- Diseñar un protocolo de evaluación adecuado para el proceso de limpieza de carbonatos sobre pintura mural arqueológica.

3. METODOLOGÍA

La metodología que se propone en esta revisión tiene como propósito ofrecer un estudio que asegure todas las garantías de conservación de la pintura mural arqueológica dentro de la fase de limpieza de concreciones de carbonatos. Asimismo, ello proyecta una completa evaluación de los ensayos con las actuales técnicas de análisis, que ayudan a realizar un correcto seguimiento del trabajo. De esta manera, se ha podido conocer y valorar cómo actuar en futuras intervenciones de esta índole, contribuyendo a la creación de un protocolo a seguir en dicha casuística.

Para cumplir con los objetivos enumerados en el epígrafe anterior ha sido necesario establecer una metodología de estudio específica que se ha dividido en dos apartados:

En el primero, se ha abordado un completo estudio bibliográfico relativo a la técnica de ejecución de la pintura mural al fresco en el periodo romano, los efectos y alteraciones producidos por los carbonatos en pintura mural, los posibles tratamientos de limpieza que pueden abordar esta problemática y los métodos de evaluación que se pueden aplicar para su seguimiento.

En la segunda parte, se ha propuesto un protocolo de evaluación de sistemas de limpieza para fragmentos de pintura mural con presencia de carbonatos. Para ello, primeramente, se han seleccionado los tratamientos de limpieza más adecuados, así como los métodos de aplicación, pasando posteriormente a organizar de forma consecuente las diferentes fases de la evaluación de los tratamientos.

4. PINTURA MURAL ARQUEOLÓGICA ROMANA Y LA PROBLEMÁTICA DE SU CONSERVACIÓN: LOS CARBONATOS

La revisión bibliográfica en este trabajo ha comenzado con la consulta del contexto histórico-material de los yacimientos donde se hallan pinturas murales de época romana, para poder entender los factores que han propiciado la aparición de sales insolubles sobre su superficie.

4.1. BREVE INTRODUCCIÓN DOCUMENTAL DE LA PINTURA MURAL ROMANA

La fuente documental más importante sobre técnicas pictóricas romanas viene de Marco Lucio Vitruvio (70 a.C. – 25 a.C.), en el Libro VII de *“Los Diez Libros de Arquitectura”*, y de Plinio, *“Historia Natural”*. Durante el periodo de la antigüedad que abarca desde el 750 a.C. – 476 d.C., se realizarán decoraciones de estucos imitando mármoles o marmoleados (GUIRAL PELEGRÍN et al., 2010) y pintura mural al fresco, que a su vez se dividirá en 4 estilos (MORA et al., 2003): Incrustación, Arquitectónico, Ornamental e Ilusionista.

Hay que destacar que, en cuanto al Libro VII de *“Los Diez Libros de Arquitectura”*, este está dedicado a todo lo que influye en la decoración de una casa, incluyendo los enlucidos y decoraciones pictóricas murales que estos pueden portar, así como a los colores empleados y técnicas de acabado en la textura de la superficie pictórica (VITRUVIO POLÓN, 1995). Los capítulos en los que se aborda la técnica de la pintura mural romana en dicho libro son:

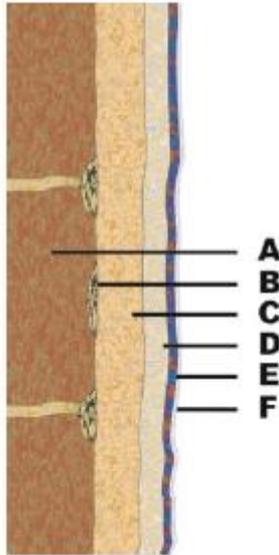
- II. Preparación del enlucido
- III. El enlucido
- IV. Los enlucidos en lugares húmedos
- V. La pintura en las paredes
- VI. Preparación del mármol
- VII. Los colores naturales
- VIII. El minio y el azogue
- IX. La preparación del minio
- X. El color negro
- XI. El azul y el amarillo
- XII. El albayalde, el cardenillo y la sandárica
- XIII. El color púrpura
- XIV. Los colores artificiales

4.2. TÉCNICA DE EJECUCIÓN Y MATERIALES

La terminología usada por Vitruvio es precisa, distinguiendo tanto composición como modo de aplicación de las diferentes capas y su funcionalidad. La primera capa, estaba destinada a emparejar el muro y se denominaría *trullissatio*. Estos revoques de la capa de preparación tenían como objetivo ofrecer una mejor adhesión de la pintura mural al soporte arquitectónico. Para ello se podían realizar 3

revocos en los cuales se utiliza un árido (arena de sílice limpia), ladrillo triturado o puzolana y cal apagada, donde los áridos irán desde una granulometría gruesa y angulosa a una más fina y esférica. La segunda capa, más fina, sería una mezcla de polvo de mármol fino como árido y cal apagada como aglomerante, favoreciendo su posterior alisado y compactación. Al existir una gran variedad de soportes a lo largo de diversas épocas, el número y grosor de los estratos preparatorios variaba en función de la finura de la textura superficial que se deseaba obtener. El tendido de los revocos preparatorios era aplicado en jornadas o extensiones limitadas por el tamaño del andamio. Sobre este último enlucido aún fresco (sin secar), se aplicarían los pigmentos con agua, los cuales una vez secos se fijarían a la superficie mediante un proceso de carbonatación (TABLA I). Vitrubio ya precisaba que el color es fijado gracias a las propiedades de la cal, por lo que no se puede dudar que la operación descrita por este sea una forma de fresco (MORA et al., 2003).

TABLA I. Estratigrafía de una pintura mural romana
(Taller 1: Conservación y restauración de Bienes Culturales, UPV, 2016)

<ul style="list-style-type: none"> A. Muro de toba excavado, piedra o ladrillo B. Revoque grueso de cal, puzolana, ladrillo triturado y arena C. Revoque de granulometría media de cal, puzolana y arena D. Revoque de granulometría fina de cal, puzolana y arena E. Pigmentos aplicados al agua F. Cristales de carbonato cálcico producto de la carbonatación de la cal 	
--	--

Para la técnica del fresco, actualmente se sigue la división realizada por Lorenzo Abad (ABAD CASAL, 1982a), en la cual distingue entre dos modos de aplicación de los pigmentos. En primer lugar, el *buon fresco* se realizaba con colores disueltos en agua y aplicados al enlucido húmedo mediante la división del trabajo en jornadas (Figs. 1 y 2). Posteriormente, durante el periodo del Bajo Imperio Romano, existe una decadencia del *buon fresco*, produciéndose a su vez un aumento del retoque al seco, apareciendo la técnica del *mezzo fresco*, en la cual los colores se aplicaban disueltos en agua de cal sobre el enlucido seco, al que previamente también se le ha aplicado una mano de cal apagada. Esta técnica se destinaría sobre todo a los retoques finales y sería la más frecuente entre los siglos III y V (OLMOS BENLLOCH, 2006).

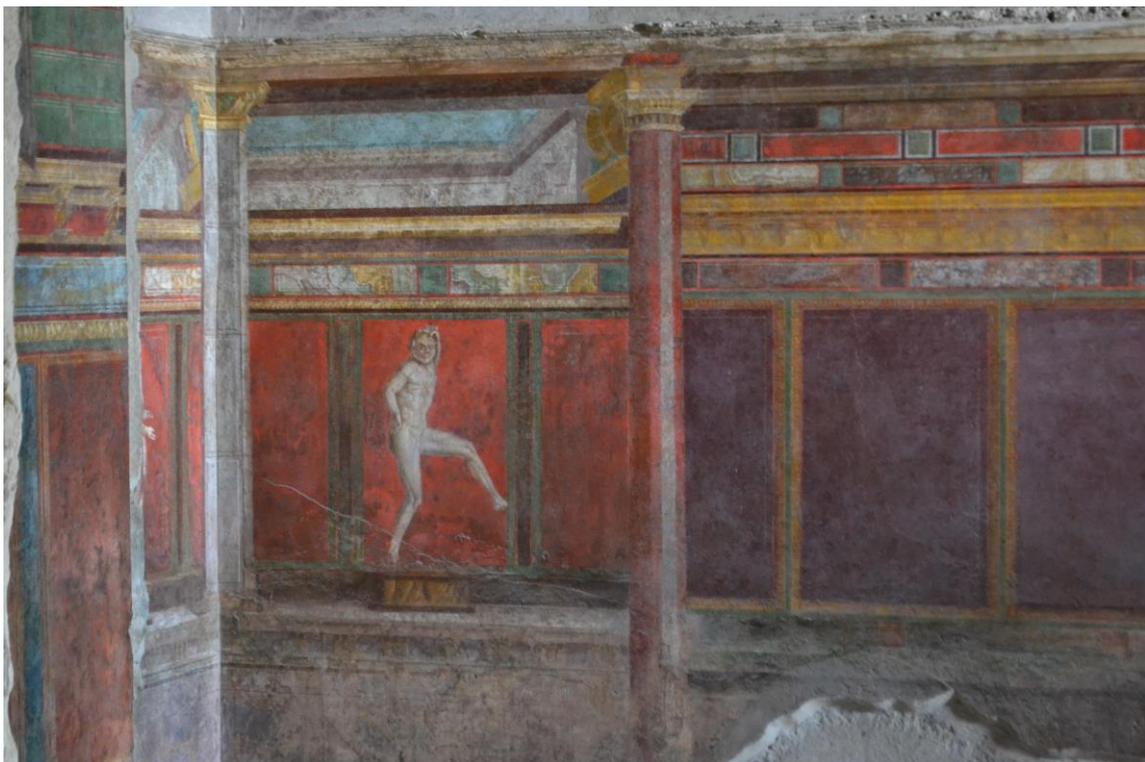


Fig. 1. Vista de una pintura mural del 3º estilo ornamental en la Villa de los Misterios de Pompeya.



Fig.2. Vista de la decoración del *Triclinium*, en la villa de los Misterios de Pompeya.

4.3. PIGMENTOS DE LA PALETA ROMANA

Los pigmentos utilizados en la época romana son descritos por los autores clásicos, destacando Vitrubio, que identifica 24 pigmentos diferentes empleados no solamente para el *buon fresco*, mientras que Plinio, que caracteriza 35, distingue únicamente aquellos que pueden ser empleados en el *buon fresco* (MORA et al., 2003). Cuantiosos estudios en las últimas décadas han logrado identificar pigmentos caracterizados en pinturas murales romanas con los descritos por los autores clásicos, destacando los estudios realizados por Augusti en 1967, que identificó 27 pigmentos distintos, y los de Bearat en 1996, que caracterizó 28 (LOPEZ MARTÍNEZ, 2019: 101).

Estos autores coinciden en dividir los colores entre naturales y artificiales. Los pigmentos naturales se encuentran en la naturaleza en forma de minerales que son óxidos, carbonatos, sulfuros, etc. Únicamente requieren ser extraídos, machacados, tamizados y decantados para obtener su preparación. Sin embargo, los pigmentos minerales artificiales tienen una composición química definida a partir de una precipitación de una solución química. Por otra parte, los pigmentos orgánicos naturales se obtienen a partir de restos de animales o por la maceración de madera, hojas o fruta, mientras que los orgánicos sintéticos son derivados de los fenoles, las anilinas, etc. (MORA et al., 2003). Además, es de señalar que en ocasiones los colores son fruto de la alteración de un pigmento, como en el caso del rojo de minio (Pb_3O_4), que expuesto en pinturas a la intemperie se degrada, virando al marrón (PbO_2), o de la goethita ($-FeO(OH)$), de color anaranjado, que puede virar al rojo, hematites ($FeO(OH) \cdot nH_2O$), obtenido de la transformación de la goethita al superar los $260^\circ C$, como se dio en el caso de numerosas pinturas murales en Pompeya y Herculano debido a la erupción del Vesubio (Fig. 3) (MORA et al., 2003). Entre los pigmentos que aparecen en la paleta romana (ABAD CASAL, 1982c; MATTEINI et al., 1989; MAYER, 1993) se encuentran los siguientes (TABLA II).



Fig. 3. Goethita transformada en Hematites como consecuencia de la erupción del Vesubio (79 d.C.) en una pintura mural de Herculano.

TABLA II. Pigmentos de la paleta romana	
ROJOS	<p>Rojo de Minio (Minium) o Rojo de Plomo (Cerussa usta): obtenido al cocer la Cerussa (blanco de plomo) Fórmula química: Pb_3O_4. Expuesto a la intemperie puede degradarse, virando a marrón (PbO_2).</p> <p>Tierra roja (Minium secundarium o Rubricae): hematites (óxidos de hierro) con impurezas de sílices y arcillas o por calcinación de ocre amarillo. Fórmula química: Fe_2O_3</p> <p>Rojo Vermiglio, Cinabrio o Bermellón: sulfuro de mercurio, obtenido del mineral cinabrio. Ha sido confundido con el minio, ya que en técnicas al temple o con poco contenido en aglutinante, cambia a marrón. Fórmula química: HgS</p> <p>Sangre de dragón (Cinnabris Indicus): obtenido por resinas de plantas</p>
AMARILLOS	<p>Ocre (Ochrae) o Tierra Ocre: limonita (hidróxido de hierro). Fórmula química: $FeO(OH) \cdot nH_2O$</p> <p>Goethita: da color amarillo a los ocre. Fórmula química: $-FeO(OH)$</p> <p>Oropimente (Auripigmentum): trisulfuro de arsénico o As_2S_3, es incompatible con pigmentos a base de cobre y plomo, creando sulfuras de tonalidad marrón y negra</p>
BLANCOS	<p>Blanco de plomo (Cerussa) o Albayalde: carbonato básico de plomo o $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$</p> <p>Blanco de cal o Creta (Paraetonium): caliza mezclada con detriti marinos o a partir de restos fósiles calcáreos</p>
NEGROS	<p>Negro de humo (Atramentum): producido al quemar aceites y resinas</p> <p>Negro de hueso (Elephantinum): obtenido al quemar residuos obtenidos en el trabajo del marfil</p>
AZULES	<p>Azul egipcio (Caeruleum aegyptium): obtenido al tratar la sílice a altas temperaturas junto con una sal de cobre y una sal de calcio. Fórmula química: $CaO \cdot CuO \cdot 4SiO_2$</p> <p>Azurita natural (Caeruleum Cyprum): carbonato básico de cobre o $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$. Es un pigmento inestable que puede convertirse en paratacamita (marrón) o incluso en presencia de humedad relativa alta transformarse en malaquita.</p> <p>Añil (Indicum purpurissum): extraído del limo adherido a los juncos. Fórmula química: $C_{16}H_{10}N_2O_2$</p>
VERDES	<p>Tierra verde (Creta viridis): silicio aluminatos que contienen óxidos de hierro (FeO). Cuando son ricas en Mg, se le denomina celadonita o $KMgFe^{3+}Si_4O_{10}(OH)_2$, y cuando son ricas en K, se le denomina glauconita o $(K, Na)(Fe^{3+}, Al, Mg)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$.</p> <p>Malaquita (Chrysocolla): dihidróxido de carbonato de cobre o $Cu_2CO_3(OH)_2$. Es un pigmento bastante estable, aunque puede ser soluble en ambientes ácidos/básicos, pudiendo virar a tonalidades marrones (paratacamita).</p>
VIOLETAS	<p>Púrpura de Tiro (Purpurissum): obtenido al teñir la creta argentaria con una sustancia procedente de las <i>Bolinus brandaris</i> (Cañailas).</p>

4.4. LOS CARBONATOS: FORMACIÓN, EFECTOS Y ALTERACIONES

Los depósitos inorgánicos de eflorescencias salinas suponen una de las principales causas de alteración extrínseca que afecta material y estéticamente a la pintura mural, estando constituidos por la cristalización de las sales en la superficie (eflorescencias), o en el interior de la obra (subeflorescencias) y que pueden ser solubles o insolubles (MORA et al., 2003).

Las principales sales insolubles que podemos encontrar en una pintura mural de origen arqueológico son carbonatos (CaCO_3) y silicatos (SiO_2). En este trabajo, el estudio se ha centrado únicamente en los carbonatos, puesto que son más frecuentes de que precipiten sobre la superficie mural enterrada/desenterrada por la composición material de la matriz cálcica de este revestimiento. El proceso de formación de las concreciones carbonáticas tiene que ver con el CO_2 , que es uno de los gases más presentes en la atmósfera. El dióxido de carbono, de carácter ácido, disuelto en el agua que penetra en el terreno de un muro enterrado, forma ácido carbónico (H_2CO_3), que desplaza los equilibrios químicos previos existentes, disolviendo el carbonato de calcio (DOMÉNECH et al., 2006). De esta manera, cuando el muro se seca por el desenterramiento del mismo, las sales bicarbonatadas en disolución se desplazan hacia la superficie, modificando de nuevo su equilibrio químico y propiciando la formación en los lugares de evaporación de la humedad de concreciones de carbonato de calcio insoluble. Esta cristalización en superficie hace que el CaCO_3 , insoluble, se presente en forma de velos blanquecinos o incrustaciones de diverso grosor sobre la pintura mural de origen arqueológico, poseyendo la misma composición material del mortero que soporta la pintura, lo que dificulta aún más si cabe su eliminación. Es por ello, que existe una necesidad de individualizar los tratamientos según cada caso y conocer la composición material de la capa pictórica y de las eflorescencias visualizadas en la superficie (Figs. 4-6).



Fig. 4. Imagen de un fragmento descontextualizado de pintura mural procedente de la Sala del Mosaico de los Amores, en Cástulo. En ella se puede apreciar la incidencia de los carbonatos (CaCO_3) sobre la policromía de rojo de plomo (Pb_3O_4). Imagen facilitada por Teresa López Martínez, 2019.

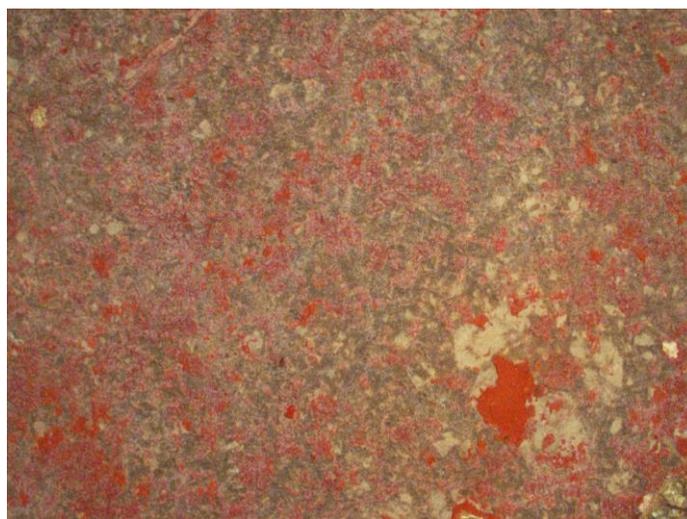


Fig. 5. Fotografía de detalle del fragmento de la izquierda tomada con la cámara del microscopio estereoscópico, como parte del estudio organoléptico realizado sobre revestimientos romanos de Cástulo (LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019: 186), previo al ensayo de los tratamientos de limpieza. Imagen facilitada por Teresa López Martínez, 2019.



Fig. 6. Limpieza mecánica mediante bisturí y brochas de concreciones sobre pintura mural arqueológica *in situ* de procedencia romana, localizada en un barrio del antiguo foro romano de Cartago Nova, actual Parque arqueológico del Molinete, en la ciudad de Cartagena (Murcia). Imagen extraída de NOGUERA et al., 2016: 168.

Además, a veces en pintura mural de procedencia arqueológica se recurre al engasado debido al uso de una protección temporal compuesta por un adhesivo en baja concentración aplicado sobre la superficie original con varias tiras de papel japonés y una gasa para extraer de forma segura del yacimiento la pintura. Al aplicar esta pre-consolidación sobre la superficie de forma previa a la eliminación de dichas concreciones, se provoca una mayor fijación de los carbonatos dificultando su retirada, por lo que también habrá que tener en cuenta esta problemática (BARBERÁ et al, 2018), aunque bien es cierto que también es una manera de preservar a salvo la capa pictórica hasta llegar a poder intervenir sobre la obra.

5. MÉTODOS DE LIMPIEZA DE CARBONATOS Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO

La revisión bibliográfica en esta parte del trabajo se ha centrado en los tratamientos de limpieza empleados para la eliminación de estas concreciones sobre pintura mural arqueológica. También se han revisado aquellos textos que abordan la eliminación de los encalados sobre pintura mural al fresco, puesto que estos poseen una composición química muy similar a la de las costras de carbonatos. Además, se ha realizado un estudio de los métodos de evaluación que pueden ofrecer un completo seguimiento de todo el proceso de limpieza.

Para llevar a cabo esta revisión, se han consultado tanto publicaciones, como tesis y libros que abordan los estudios realizados sobre todo en las últimas décadas para poder mostrar los últimos avances, pero sin dejar de estudiar aquellos métodos empleados en algunos manuales de restauración de referencia más clásicos.

5.1. TRATAMIENTOS DE LIMPIEZA DE CARBONATOS EN PINTURA MURAL ARQUEOLÓGICA

Las técnicas de limpieza en pintura mural arqueológica presentan tanto ventajas como inconvenientes, así como unos parámetros de aplicación que deben estar bajo control. A pesar de que los métodos estudiados sean selectivos y graduables, la complejidad de las variables de aplicación hace que estos no estén libres de efectos secundarios (ZALBIDEA et al., 2016).

Para solventar el problema que suponen las concreciones de sales insolubles, se ha recurrido de manera tradicional en buena parte al empleo de medios mecánicos como puede ser el instrumental quirúrgico. Sin embargo, la superficie pictórica está expuesta a alteraciones inevitables (MORA et al., 2003) producidas por estos métodos abrasivos. En el estudio de la resolución de este problema se han desarrollado una serie de investigaciones que han conducido tanto al empleo de nuevos métodos mecánicos con instrumental eléctrico-motorizado, como a la elaboración de fórmulas simples con acción química que eviten el empleo de métodos físico-mecánicos en exceso (Fig. 7).

Estos tratamientos de limpieza de carbonatos se rigen dentro de unas normas para la Conservación del Patrimonio Cultural de la Asociación Española de Normalización (AENOR), que son:

UNE-EN 41806: 2009. *Limpieza de elementos constructivos.*

UNE-EN 17138: 2019. *Métodos y materiales para la limpieza de materiales inorgánicos porosos.*

UNE-EN 16782: 2018. *Técnicas de limpieza láser para el patrimonio cultural.*

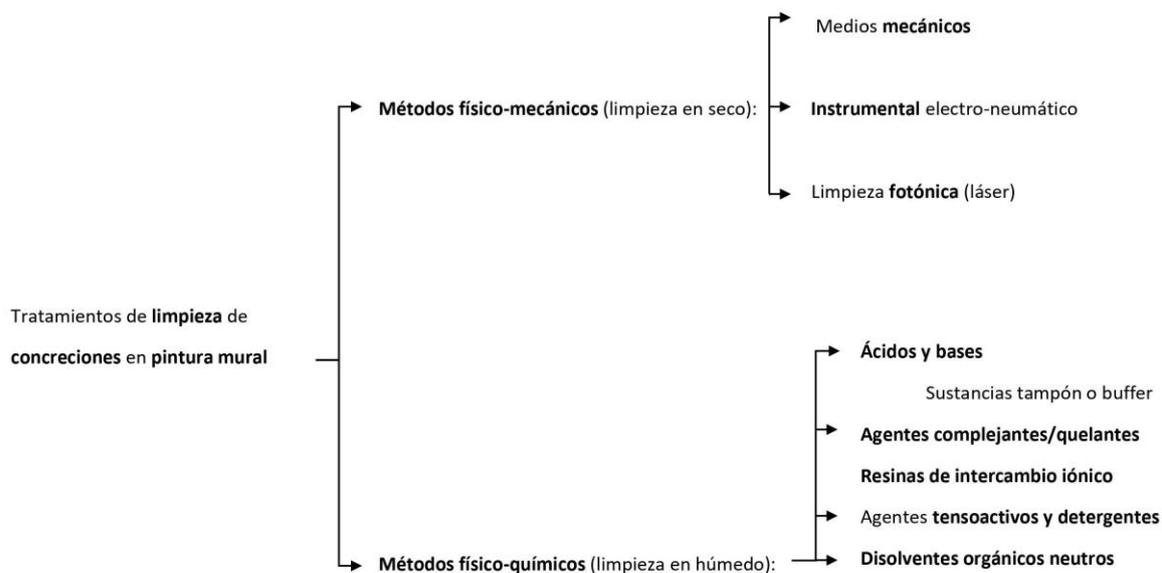


Fig. 7. Esquema de los métodos de limpieza de concreciones en pintura mural.

5.1.1. MÉTODOS FÍSICO-MECÁNICOS

Estos métodos de limpieza comprenden una serie de tratamientos que abarcan las operaciones en seco y las actuaciones erosivas. Por operaciones en seco entendemos aquellas previas o posteriores a tratamientos de limpieza en húmedo, ya sea para retirar depósitos de las concreciones calcáreas descohesionados, o aquellos tratados con algún otro método previo necesitando una posterior retirada de residuos. Dichas operaciones en seco necesitan de una actuación abrasiva para poder llevarse a cabo, pudiendo ser esta acción realizada mediante una tipología de instrumental que comprende: medios mecánicos, sistemas eléctricos-motorizados y sistemas fotónicos de limpieza (ROIG et al., 2017).

5.1.1.1. Medios mecánicos

Este sistema de limpieza ha sido y es uno de los más empleados para la eliminación concreciones sobre pintura mural arqueológica (NOGUERA et al. 2016). A pesar de ello, es un método muy abrasivo que depende en gran parte de la pericia del restaurador. Asimismo, puede ocupar una gran parte del tiempo dentro de la actividad conservativo-restauradora, por lo que es desaconsejable su empleo en grandes extensiones.

Para la eliminación de este tipo de concreciones de forma manual, se emplean medios tales como el lápiz de fibra de vidrio, bisturís y escalpelo, que ofrecen una acción física de limpieza mediante la modulación de la presión sobre el material a eliminar (ZALBIDEA et al., 2016).

El modo de operar con el instrumental manual es puntear suavemente de forma inclinada, causando un agrietamiento de las concreciones adheridas sobre el original. Posteriormente se apartarán los restos de estos materiales con ayuda de una brocha suave para observar mejor el proceso de limpieza y eliminar la suciedad (TABLA III).

TABLA III. Medios mecánicos de limpieza		
<p>Bisturí</p>		<p>Se compone de un mango con una cuchilla extraíble e intercambiable. Para emplearlo hay que tomar especial precaución con el filo que posee su cuchilla, ya que puede provocar daños irreversibles sobre la pintura mural al tener una acción abrasiva y cortante de la costra. Por tanto, se debe de tener gran destreza en su uso (NICOLA et al., 2006; NOGUERA et al, 2016; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019; ROIG et al., 2017).</p>
<p>Lápiz de fibra de vidrio</p>		<p>Este material puede tener un buen uso al inicio de la intervención de limpieza para eliminar o adelgazar las capas superficiales de las concreciones carbonáticas. Sin embargo, la abrasión y erosión producidas pueden ocasionar levantamientos de la capa pictórica si se llega a su superficie, por lo que debe usarse otro tipo agente de limpieza para evitar este deterioro colateral (LÓPEZ MARTINEZ, 2019).</p>
<p>Escalpelo</p>		<p>Está formado por un mango terminado en una punta fija con forma de cuchilla. Es tal vez la herramienta manual más adecuada, ya que su punta fija es mucho menos afilada, efectuando una acción abrasiva y no cortante. Su manejo es similar al del bisturí y además puede ser empleado como instrumental de apoyo en todo momento para retirar mecánicamente la concreción tratada previamente con algún agente químico de limpieza. Sin embargo, el hecho de que su uso sea más seguro no resta que haya que ser cautos, ya que puede provocar daños físicos en la obra (DEL ORDI CASTILLA et al., 2016; ROIG et al., 2017).</p>
<p>Pinceles y brochas de cerdas suaves</p>		<p>Permiten retirar los sedimentos superficiales más disgregados constituidos por polvo producto de la limpieza mecánica de las costras (NOGUERA et al, 2016; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019; ROIG et al., 2017).</p>

5.1.1.2. Instrumental eléctrico-motorizado

La acción de limpieza es ejercida de forma manual con la ayuda de instrumentación eléctrica: instrumentos de desgaste electro-neumáticos, aspiración, instrumentos aéreo-abrasivos y limpieza por ultrasonidos (TABLA IV) (ZALBIDEA et al., 2016).

TABLA IV. Instrumental eléctrico-motorizado de limpieza	
Aspiración	Sirve para eliminar la suciedad no adherida, se usa como complemento de otras técnicas para ir eliminando los residuos. Su uso puede evitar que el polvo eliminado vuelva a depositarse sobre la superficie de la obra. En el cabezal del aspirador siempre se ha de interponer un filtro para evitar que el material original de la obra pueda ser absorbido. En caso de trabajar sobre pinturas descohesionadas no se debe utilizar (ZALBIDEA et al., 2016; ROIG et al., 2017)
Microtorno y vibroincisor neumático	Se debe controlar el tipo de aparato y la dureza de las fresas. Es imprescindible que la punta del instrumento no llegue a traspasar la concreción, para evitar daños irreversibles en la capa pictórica. Se pueden emplear para eliminar de forma mecánica revoques, estucos y costras que ocultan una decoración pictórica mural (ROIG et al., 2017).
Ultrasonidos	La acción limpiadora se debe a un generador de ultrasonidos que, mediante vibración (entre 25000 y 32000 Hz), es capaz de extraer materiales no originales. Es una herramienta de mucha precisión, que se usa para la eliminación de estratos finos endurecidos (ZALBIDEA et al., 2016). Tiene un sistema de refrigeración por agua con un spray muy fino sobre las puntas, por lo que se debe valorar su uso previo a una intervención por este aporte de humedad. Su empleo debe ser puntual puesto que el proceso de limpieza es muy lento. En caso de trabajar sobre pinturas descohesionadas no se debe utilizar.
Micro-chorro con abrasivos	Las variables que influyen en este proceso de limpieza son la velocidad de las partículas, la naturaleza de las partículas de proyección y de la superficie a tratar, el tamaño y forma de las partículas, el ángulo de impacto, la distancia entre la boquilla y la superficie, el diámetro de la boquilla y el tiempo de proyección. Para conseguir un buen resultado, deben ajustarse todos los parámetros anteriormente citados (REINA DE LA TORRE, 2009). Su uso es poco recomendable puesto que el abrasivo se impulsa sobre la superficie que debe limpiarse, siendo muy tóxico y pudiendo formar nuevos residuos como barro si la intervención se acompaña con otros métodos que necesiten medios acuosos.

5.1.1.3. Limpieza fotónica

La radiación láser está compuesta por un haz de luz monocromática, situada en un espectro reducido de la radiación electromagnética con una determinada energía, proporcionando una limpieza selectiva frente a determinados materiales. Es un sistema que puede dar cierto margen de maniobra al operador para poder controlar la densidad de energía láser sin que se produzcan daños colaterales (MONREAL PÉREZ, 2017).

A la hora de utilizar este método de limpieza sobre la pintura mural, se deben de tener en cuenta ciertos parámetros. Por un lado, la longitud de onda será fundamental para eliminar los carbonatos, puesto que la absorción óptica de un material es distinta para cada longitud de onda (Fig. 8). Para que el láser sea efectivo hace falta elegir una longitud de onda que sea fácilmente absorbida por la suciedad a eliminar y que no sea absorbida por el sustrato. Por otro lado, se debe de usar radiación en pulsos en lugar de radiación continua, pues estos evitarán el sobrecalentamiento de la capa pictórica (BARRIO, 2010).

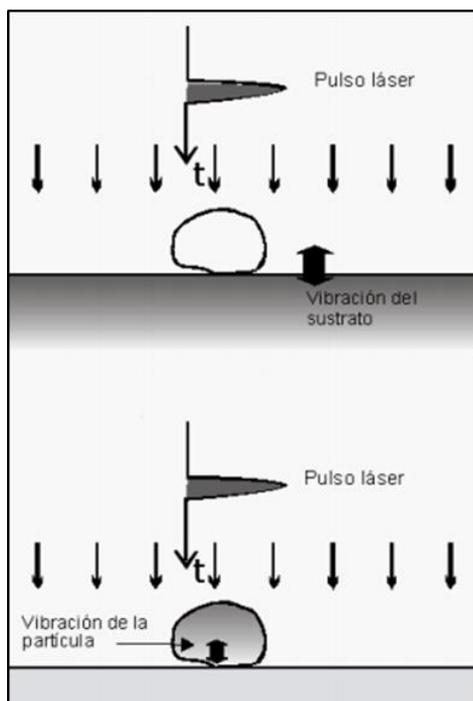


Fig. 8. Mecanismo de limpieza láser a partir de la vibración de las partículas. Imagen extraída de VALLEJO RUEDA, 2010: 18.



Fig. 9. Limpieza de un fragmento de pintura mural romana con láser. Imagen extraída de CHAMON et al., 2008: 268.

La acción limpiadora del láser es debida al fenómeno de la ablación (MONREAL PÉREZ, 2017), la cual comprende una serie de procesos físico químicos tales como vaporización, desorción o eyección, ligados a la energía del láser y que pueden alterar la superficie sobre la que se aplica (BARRIO, 2010). En el caso de la pintura mural es interesante el uso de un láser de baja energía que produzca la eyección de la materia a eliminar irradiada debido a la dilatación y contracción de la misma (Fig. 9).

Los láseres pueden actuar sobre la superficie pictórica de dos formas:

Fototérmica: La radiación absorbida se libera en el material en forma de calor, de manera que aumenta la temperatura en la región excitada de la superficie. Es arriesgado su uso en pintura mural, puesto que, si la intensidad del láser es fuerte, la temperatura de la capa pictórica excede el umbral de ebullición, y puede provocar una evaporación violenta sobre la superficie pictórica (MONREAL PÉREZ, 2017).

Fotoquímica: Los fotones de la región ultravioleta del espectro de luz rompen las cadenas moleculares de los materiales orgánicos, dando lugar a una fragmentación molecular sin daño térmico (VALLEJO RUEDA, 2010).

En este último caso, el efecto fotoquímico se puede conseguir aplicando previamente una fina película de agua mediante pincel o pulverización para obtener una mayor absorción y eficacia, pudiendo emplear también geles, conocido como limpieza con láser al vapor. De esta forma, los fotones inciden sobre el líquido depositado, el cual se evapora produciendo fuerzas mayores a las de interacción entre la partícula de suciedad y el sustrato (TABLA V). Se usa cuando la suciedad está muy adherida a la superficie o cuando es frágil y no se pueden usar grandes energías (CHAMON et al., 2008). Para la aplicación de técnicas de limpieza láser sobre el patrimonio cultural, debe seguirse la norma UNE-EN 16782: 2018, que es específica para la limpieza de materiales inorgánicos porosos.

TABLA V. Ejemplo de láser empleado en limpieza de concreciones sobre pintura mural arqueológica			
Tipo	Forma de aplicación	Ventajas	Inconvenientes
<p>Láser Nd YAG de pulsos cortos</p> <p>Emite radiación en el espectro infrarrojo cercano ($\lambda = 1064 \text{ nm}$)</p>	<p>Láser al vapor:</p> <p>Primeramente, se humecta la superficie y posteriormente se ha irradiado una baja energía de láser pudiendo recuperar la policromía sin dañarla y dejándola al descubierto</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Respeto de las características físico-químicas del sustrato original - No requiere de una consolidación previa en pinturas pulverulentas - Obtención de resultados inmediatos respetando la pátina - Método de limpieza ecológico (Disminuye el uso de agentes químicos) 	<ul style="list-style-type: none"> - Alteración de ciertos óxidos de hierro presentes en algunos pigmentos y de los restos de policromía al seco - Elevado coste

5.1.2. MÉTODOS FÍSICO-QUÍMICOS: AGENTES QUÍMICOS DE LIMPIEZA EN MEDIO ACUOSO

El agua es el disolvente universal más usado por su abundancia y propiedades químicas. La molécula de agua es un dipolo en el que la carga negativa se sitúa en el átomo de oxígeno mientras que la positiva lo hace entre los dos núcleos atómicos de hidrógeno (DOMÉNECH et al., 2006). Esto hace que sea capaz de formar enlaces por puentes de hidrógeno no sólo con moléculas de agua, sino con otras moléculas, así como intensas fuerzas dipolares (CREMONESI, 2014). De esta manera, puede disolver parte de los materiales que componen las concreciones de suciedad presentes en la superficie de la capa pictórica (WOLBERS, 2000). En los procesos ácido-base desempeña un papel esencial, no solo como medio en el que se producen dichos procesos, sino porque actuará como ácido o como base frente a ácidos y bases más fuertes que ella (DOMÉNECH, 2013). Sin embargo, posee dos limitaciones que tienen que ver con la dificultad en la humectación de algunas superficies (permaneciendo el líquido en forma de gotas sobre esta), debido a su alta tensión superficial (72,8 dinas/cm) y al hecho de que sea inmisible con algunos materiales grasos por su alta polaridad.

Los agentes químicos, tienen como propósito modificar y potenciar la acción disolvente del agua en función de su mecanismo de actuación, mejorando su comportamiento. En la limpieza de sales insolubles sobre pintura mural arqueológica se proponen los siguientes agentes químicos para mejorar las propiedades del agua:

- Agentes tensoactivos y detergentes
- Ácidos, bases y soluciones tampón
- Agentes complejantes y quelantes
- Resinas de intercambio iónico
- Disolventes orgánicos neutros

A continuación, se pasará a describir los fundamentos de los procesos de limpieza que son llevados a cabo a través de estos diferentes agentes químicos.

5.1.2.1. Agentes tensoactivos y detergentes

La acción de los agentes tensoactivos² es debida a una estructura molecular particular, conformada por una cabeza polar y una cadena apolar. Añadiendo al agua una pequeña cantidad de tensoactivo se disminuye su tensión superficial, mejorando así su capacidad de humectación. En el caso de que se emplee una mayor cantidad de tensoactivo en agua, se puede utilizar además como detergente, permitiendo la extracción de partículas sólidas. Por tanto, un tensoactivo puede disminuir la tensión superficial del agua, tener propiedades detergentes y emulsionantes (DOMÉNECH et al., 2006). Su utilización depende de dos parámetros, que son el balance hidrófilo-lipófilo (HLB) y la concentración micelar crítica (CMC).

Número de Equilibrio hidrófilico/lipófilico (Hydrophile/Lipophile Balance Number)

Indica cual es la solubilidad de los tensoactivos y para qué se pueden usar. El valor se indica en una escala 1- 40. Por lo general en limpiezas de pinturas se emplean tensoactivos con un HLB entre 10 – 20, ya que por debajo de esta cifra son insolubles en agua y por encima la acción limpiadora puede ser demasiado agresiva (BAGLIONI, et al., 2013; PÉREZ BENITO, 2019). Si se pretende utilizar como detergente, esta cifra ha de ser como mínimo de 12.

Concentración micelar crítica (CMC)

Es la cantidad mínima de detergente en milimoles/litro necesario para que actúe de forma óptima³. Se trata de la concentración de tensoactivo a partir de la cual se comienzan a formar las micelas⁴. Cuando se pone en contacto agua+tensoactivo sobre partículas sólidas insolubles en agua, las moléculas de tensoactivo se agrupan en la interfase sólido-líquido, quedando la cabeza polar hacia el agua y la parte apolar hacia las partículas permitiendo su dispersión en el medio líquido mediante la formación de micelas (DOMÉNECH et al., 2006; PÉREZ BENITO, 2019).

Los tensoactivos pueden clasificarse en iónicos y no iónicos, siendo estos últimos los más empleados en limpieza, ya que no modifican el pH (TABLA VI). Por último, una observación importante a tener en cuenta es que si se usan a una proporción no demasiado elevada con respecto a su CMC y a un pH neutro se puede reducir la retención de residuos que puedan permanecer en la pintura (BARROS GARCÍA, 2001).

TABLA VI. Tensoactivos no iónicos más empleados en limpieza (no se disocian)		
Tensoactivo	HLB	Cantidad mínima para CMC (g/l o ml/l)
Brij 35®	16,9	0,08 g/l
Tween 20®	16,9	0,05 ml/l
Triton X - 100®	13,5	0,14 ml/l

² Los tensoactivos también pueden ser denominados surfactantes.

³ Cantidad de detergente < CMC → Tensoactivo humectante

Cantidad de detergente ≥ CMC → Tensoactivo con propiedades emulsionantes y detergentes.

⁴ Las micelas son agrupaciones de moléculas de tensoactivo que presentan en su parte externa a las moléculas de agua que la circundan, todas las partes polares y reúnen en la parte interna todas las partes apolares.

5.1.2.2. Ácidos, bases y sustancias tampón

Un ácido es una sustancia que, en disolución acuosa⁵, cede iones hidrógeno promoviendo la formación de iones hidronio H_3O^+ . Una base, por el contrario, es una sustancia que, en disolución acuosa, acepta iones hidrógeno fomentando la creación de iones hidroxilo OH^- . Por tanto, la reacción ácido-base (hidrólisis) es una reacción en la que se da lugar una transferencia de iones hidrógeno de un ácido a una base.

Para medir el carácter ácido o básico de una sustancia tendremos en cuenta la fuerza ácida, que puede cuantificarse mediante la constante de ionización o disociación (pK_a). Cuanto más fuerte sea un ácido, más débil será su base conjugada y viceversa. Está expresada en la siguiente ecuación (DOMÉNECH, 2013)⁶: $pK_a = [H_3O^+] \cdot [A^-] / [HA]$

El comportamiento ácido o básico de las disoluciones acuosas de sales se debe a que uno o dos de los iones de la sal reaccionan con el agua, lo que es denominado como hidrólisis de una sal (TABLA VII). En torno a este comportamiento se establecen 4 casos (DOMÉNECH et al., 2006):

TABLA VII. Carácter de la disolución acuosa, componentes e hidrólisis		
CARÁCTER DE LA DISOLUCIÓN	COMPONENTES	HIDRÓLISIS
NEUTRA	Sal de ácido fuerte y base fuerte	-
ÁCIDA	Sal de ácido fuerte y base débil	Base
BÁSICA	Sal de base fuerte y ácido débil	Ácido
ÁCIDO/BASE DÉBIL	Parejas ácido-base conjugados	Los dos iones

Por otra parte, la correspondencia entre los valores de concentración de iones y pH es (TABLA VIII):

TABLA VIII. Correspondencia entre los valores de concentración de iones y pH		
Disolución neutra	Disolución ácida	Disolución básica
$10^{-7} \text{ mol/l} = [H_3O^+] = [OH^-]$	$[H_3O^+] > 10^{-7} \text{ mol/l}$	$[H_3O^+] < 10^{-7} \text{ mol/l}$
$pH = -\log 10^{-7} = 7$	$pH < 7 (0-7)$	$pH > 7 (7-14)$

Los materiales integrantes en la pintura mural arqueológica pueden ser susceptibles de verse afectados en mayor o menor medida por las sustancias ácidas y básicas, por lo que el control del pH es fundamental para evitar su deterioro (DOMÉNECH et al., 2006). De esta manera, ajustando el pH del agente limpiador se puede realizar una disolución selectiva de los materiales a eliminar (DOMÉNECH, 2013). El pH puede medirse con tiras indicadoras que cambian de color según el pH, o de manera más precisa con un pH-metro.

⁵ La importancia del papel desempeñado por el agua es debida a que su comportamiento es anfótero, es decir, que en unos casos actuará como ácido y en otros como una base.

⁶ Constante de ionización = K^a

Concentraciones de iones hidronio = $[H_3O^+]$

Base conjugada = $[A^-]$

Ácido = $[HA]$

Hay que ser cautos con el empleo de ácidos y bases, aunque se utilicen en la eliminación de carbonatos (TABLAS IX y X). Sin embargo, se debe de controlar o limitar mucho su uso en presencia de ciertos pigmentos, ya que los puede deteriorar e incluso eliminar (NICOLA et al., 2006; DOMÉNECH et al., 2006). Estos pigmentos que pueden verse afectados, son aquellos que contienen cobre (Cu) o plomo (Pb) en su composición: Azul egipcio ($\text{CaO}\cdot\text{CuO}\cdot 4\text{SiO}_2$); Azurita ($2\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$); Malaquita ($\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$); Verdigris ($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$); Albayalde ($2\text{PbCO}_3\cdot\text{Pb}(\text{OH})_2$) y Minio (Pb_3O_4).

TABLA IX. Aplicaciones de los ácidos en limpieza

<p>Ácido Cítrico $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7\cdot\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>El Ácido Cítrico es un ácido tricarboxílico (orgánico), que disuelto en agua tiene un pH 2.5, siendo soluble también en alcoholes y Acetato de Etilo. Por sí solo el Ácido Cítrico no tiene un elevado poder complejante, pero con la ayuda de bases se obtienen ciertas sales (citratos), que son utilizadas por su mejor eficacia como quelante (DOMÉNECH et al., 2006; NICOLA et al., 2006; DOMÉNECH, 2013; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019).</p> <p>Se debe controlar su uso en presencia de pigmentos que contengan Cu o Fe en su composición, ya que los puede dañar o eliminar.</p>
<p>Ácido Carbónico H_2CO_3</p>	<p>El agua con gas posee un pH ácido de 6.5, que puede ser utilizado para solubilizar la calcita, la cual es insoluble en agua desionizada o mineral. De esta forma se podrían eliminar carbonatos (CREMONESI, 2014; COLADONATO, 2015):</p> $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ <p>Hay que considerarlo como un ácido significativamente débil, por lo que sería adecuado más bien para la retirada de las últimas veladuras de las concreciones.</p>

TABLA X. Aplicaciones de las bases en limpieza

<p>Carbonato de Amonio $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$</p>	<p>Sal inorgánica utilizada en soluciones acuosas con otros reactivos o cargas para la preparación de papetas para la limpieza de frescos. Elimina tanto sulfatos como carbonatos. Tiene la ventaja de regenerar el substrato calcítico, y que su exceso se descompone sin dejar residuo, pues se transforma en productos gaseosos. Se prepara en solución acuosa al 10%. Mediante la aplicación de soluciones ligeramente sustentadas se pueden remover gruesas cristalizaciones de sales inorgánicas sobre la superficie pictórica mural (DOMÉNECH et al., 2006; NICOLA et al., 2006; NOGUERA et al., 2016; ROIG et al., 2017).</p>
<p>Bicarbonato de Amonio NH_4HCO_3</p>	<p>Sal inorgánica utilizada en soluciones acuosas con otros reactivos o cargas para la preparación de papetas para la limpieza de frescos (ROIG et al., 2017). Ofrece menor eficacia que el carbonato de amonio en cuanto a la eliminación de sales insolubles.</p>
<p>Amoniaco NH_4OH</p>	<p>El amoniaco es un gas, que al solubilizarlo en agua produce hidróxido de amonio.</p> <p>Por ello si nos referimos al amoniaco en solución acuosa es más correcto denominarlo como hidróxido de amonio, para así no llegar a confusiones. Es el componente básico del citrato de triamonio o TAC (NICOLA et al., 2006; LLANO TORRE, 2008; CREMONESI, 2014).</p>

Por otra parte, una sustancia tampón o *buffer* es una solución de pH estable basada en la unión entre una base y un ácido de la misma familia de elementos, es decir, conjugados. Sirven para preparar un valor preciso de pH y mantenerlo constante (CREMONESI, 2004), estando compuestas por cantidades iguales de ácido y base (TABLAS XI y XII). A la hora de preparar la disolución de pH controlado, se mezcla un ácido con su base conjugada. De esta manera un ácido fuerte se combinará con una base débil en la misma proporción, y un ácido débil se combinará con una base fuerte.

En consecuencia, esta acción permite realizar limpiezas mucho más seguras debido a que el valor de pH no varía a lo largo del proceso. Ciertas sales inorgánicas procedentes de ácido débil producen disoluciones alcalinas (DOMÉNECH et al., 2006). Este débil carácter básico puede ser aprovechado en ocasiones para la limpieza de costras de sales insolubles en pintura mural.

TABLA XI. Aplicaciones de las soluciones tampón en limpieza

<p>Citrato de triamonio (TAC)</p> <p>$(\text{NH}_4)_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$</p>	<p>El ácido cítrico combinado con su sal básica hidróxido de amonio, puede ser empleado en la eliminación de concreciones carbonáticas. Asimismo, posee poder complejante. Es un producto muy versátil, puesto que cubre un rango de pH de 2 a 7 (NICOLA et al., 2006; BARROS et al., 2011; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019).</p> <p>Se debe controlar su uso en presencia de pigmentos que contengan Cu o Fe en su composición, ya que los puede dañar o eliminar.</p>
--	--

TABLA XII. Ejemplos de Ácidos / Soluciones tampón usados en limpieza de carbonatos

Composición	Forma de aplicación	Tiempo	Resultado de ensayos
<p>Ácido cítrico en disolución acuosa al 1% (pH 2-3)</p> <p>(LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019)</p>	<p>Empaco con pasta de celulosa Arbocel BC 1000® (interponiendo una capa de papel japonés para facilitar la retirada)</p>	<p>Tiempo de actuación de 5 min</p>	<p>Ha debilitado la capa pictórica. Sin embargo, ha debilitado las costras, facilitando su posterior eliminación de forma mecánica sin afectar al estrato pictórico. (Ensayo obra real)</p>
<p>Ácido cítrico en disolución acuosa al 1% (pH 2-3)</p> <p>(LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019)</p>	<p>Mediante gel rígido. Se ha añadido a la disolución Gellano Kelkogel® al 5% (interponiendo una capa de papel japonés para facilitar la retirada)</p>	<p>Tiempo de actuación de 10 min</p>	<p>Reblandecimiento de las concreciones de carbonatos sin afectar demasiado a la policromía. Mayor efectividad que en empaco. (Ensayo obra real)</p>

<p>Ácido cítrico en disolución acuosa al 3% (pH 3-4). Se ha graduado la limpieza añadiendo hidróxido de amonio (amoniac), obteniendo un TAC (tampón). Así, se ha trabajado gradualmente con un pH que va del 4 al 7.</p> <p>(NICOLA et al., 2006)</p>	<p>Espesado en gel, con un pH gradual hacia el neutro (4-7) para optimizar la limpieza (interponiendo una capa de papel japonés para facilitar la retirada).</p> <p>Posterior enjuague con carbonato de amonio y luego con agua desionizada para neutralizar los posibles restos de residuos activos.</p> <p>La capa de incrustación residual y las concreciones que estaban presentes en espesores reducidos se diluyeron utilizando un segundo gel que contiene sólo agua desionizada y espesantes.</p>	<p>Sucesivas aplicaciones graduales de 3 min cada vez que se modifica el pH</p>	<p>Reblandecimiento adecuado de la costra, posterior retirada con bisturí.</p> <p>(Aplicación en pintura mural arqueológica in situ)</p> <p>Tras la limpieza quedó una fina capa de carbonato de calcio residual (μm de espesor) que no parece alterar de ninguna manera la percepción cromática de la decoración.</p>
<p>Tampón ácido débil de pH 4-5: Solución al 2% en agua destilada de la mezcla a partes iguales de ácido cítrico y citrato de triamonio</p> <p>(DEL ORDI CASTILLA et al., 2016).</p>	<p>Empaco con pasta de celulosa (interponiendo una capa de papel japonés para facilitar la retirada)</p>	<p>Tiempo de actuación de 30-45 min</p>	<p>Reblandecimiento adecuado de la costra, afección en la capa pictórica.</p> <p>(Ensayo en probeta)</p>
<p>Tampón ácido débil de pH 4: Solución al 1% de ácido cítrico en agua destilada. Posteriormente se ha añadido citrato de triamonio hasta obtener un pH 4</p> <p>(LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019)</p>	<p>Empaco con pasta de celulosa Arbocel BC 1000® (interponiendo una capa de papel japonés para facilitar la retirada)</p>	<p>Tiempo de actuación de 10 min</p>	<p>Ha debilitado la capa pictórica y ha dejado un depósito blanquecino sobre ella. Las concreciones han sido débilmente reblandecidas de forma homogénea.</p> <p>(Ensayo obra real)</p>
<p>Tampón ácido débil de pH 4: Solución al 1% de ácido cítrico en agua destilada. Posteriormente se ha añadido citrato de triamonio hasta obtener un pH 4</p> <p>(LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019)</p>	<p>Mediante gel rígido. Se ha añadido al tampón Gellano Kellogel® al 3%</p>	<p>Tiempo de actuación de 10 min</p>	<p>No ha deteriorado la capa pictórica, pero la acción de limpieza no ha sido tan homogénea. Mejor resultado que en empaco.</p> <p>(Ensayo obra real)</p>

5.1.2.3. Agentes complejantes y quelantes.

Un agente complejante-quelante es una molécula que puede coordinarse con un ion metálico a través de un átomo donante. Ello es debido a que su estructura molecular es polar con centros electronegativos, lo que le permite que el átomo donante forme un enlace electrostático o iónico (no covalente) en una estructura estable cíclica denominada quelato, empleada para remover iones metálicos (Fig.10). El carácter hidrófilo (polar) de los agentes complejantes-quelantes permite que los iones metálicos insolubles que han acomplejado se puedan retirar posteriormente con agua destilada. En pintura mural se emplean para eliminar iones calcio en forma de concreciones o sulfataciones, oxalatos y pátinas carbonatadas (DOMÉNECH et al., 2006; DOMÉNECH, 2013).

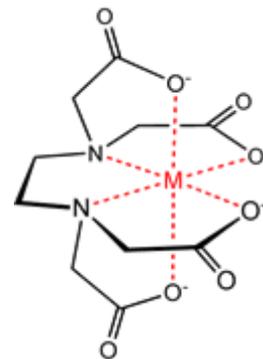


Fig. 10. Esquema del quelato complejando un ion metálico.

Los factores que influyen en la formación de un quelato son:

- El **producto de solubilidad K_s** (o pK_s). Indica la mayor o menor formación de iones.
- **Log. K_s** Indica la mayor o menor estabilidad y tendencia a la formación del quelato entre el ion metálico a remover y el quelante.

Por tanto, un valor similar entre los valores de Log K indica una tendencia a la formación de quelatos. De esta forma, sabiendo que el producto de solubilidad pK_s del carbonato cálcico es 8,54, se puede deducir que el EDTA formará un quelato con el calcio, pues su Log K_s es 10,7 (CREMONESI, 2004).

Es de destacar que, dado que los pigmentos están compuestos también por iones metálicos, los quelantes pueden producir daños en la estructura pictórica si no se emplean correctamente. No se deben utilizar en presencia de ciertos pigmentos que contengan cobre (Cu) o plomo (Pb) en su composición, pudiendo minimizarla para evitar su deterioro (DOMÉNECH et al., 2006; NICOLA et al., 2006). Es el caso de los pigmentos Azul egipcio ($\text{CaO}\cdot\text{CuO}\cdot 4\text{SiO}_2$), Azurita ($2\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$), Malaquita ($\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$), Verdigris ($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$), Albayalde ($2\text{PbCO}_3\cdot\text{Pb}(\text{OH})_2$) y Minio (Pb_3O_4). Asimismo, debe procurarse que la concentración de agente quelante en agua sea la menor posible para reducir posibles efectos adversos en la capa pictórica, así como para disminuir la cantidad de residuos (BARROS et al., 2011). A continuación, las TABLAS XIII y XIV muestran los principales agentes complejantes/quelantes empleados en este tipo de limpiezas.

TABLA XIII. Aplicaciones de los quelantes y complejantes en limpieza

Papeta AB₅₇	En una mezcla de sales ligeramente básicas combinadas con agentes tixotrópicos, tensoactivos y fungicidas ⁷ . Se emplea para la limpieza de morteros y costras adheridas a películas pictóricas murales (MORA et al., 2003). Puede contener en su fórmula algunas variaciones según se quiera potenciar alguno de sus aspectos.
Hexametáfosfato de sodio (NaPO ₃) ₆	Es un complejante (NaPO ₃) ₆ más débil que el EDTA, que puede ser utilizado en la eliminación de costras sulfatadas al 5% en disolución acuosa (DOMÉNECH et al., 2006; DOMÉNECH, 2013). Posee un pH neutro, lo que favorece un ataque con lentitud sobre el carbonato cálcico (BORGIOLI, 2018). También contribuye a rebajar la dureza del agua. Las concentraciones de uso varían del 5 al 15%.
Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) C ₁₀ H ₁₆ N ₂ O ₈	El EDTA forma complejos metálicos solubles, pudiendo atrapar iones de calcio de las costras carbonáticas (DOMÉNECH et al., 2006; DOMÉNECH, 2013; CREMONESI, 2014; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019). Se puede usar en limpieza combinado con hidróxido de sodio, tanto su sal disódica (EDTA-Na ₂) de pH ácido, como su sal tetrasódica (EDTA-Na ₄) de pH básico ⁸ . Esta última ofrece una mayor compatibilidad de pH con la pintura mural. También permite salificarse con TEA o hidróxido de amonio, mejorando la eficacia del sistema variando las concentraciones o el pH (BARROS et al., 2011). Puede tener una excesiva agresividad como quelante y su uso podría derivar en la formación de sales solubles en caso de que los residuos no se eliminen correctamente (NICOLA et al., 2006).

TABLA XIV. Ejemplos de Complejantes/Quelantes usados en limpieza de carbonatos

Tipo	Composición	Forma de aplicación	Tiempo / Neutralización	Resultado de ensayos
Papeta AB₅₇	1000 c.c. de agua 30 g de bicarbonato de amonio 50 g de bicarbonato de sodio 25 g tensoactivo Desogen® al 10% 6 g de carboximetilcelulosa (MORA et al., 2003)	El espesante de CMC que incorpora la AB57 permite depositarlo en forma de gel sobre la superficie (se ha de interponer una capa de papel japonés para facilitar la retirada posterior)	Sucesivas aplicaciones de entre 15' y una hora entre los distintos empacos. Neutralización con agua bicarbonatada	Las sales básicas de por sí no ejercen actividad sobre las concreciones carbonáticas, por lo que es necesario añadir un quelante a la mezcla.
	1000 c.c. de agua 30g de bicarbonato de amonio 50 g de bicarbonato de sodio 25-100 g EDTA di-sódico (pH 7-8) 25 g tensoactivo Desogen® al 10% 60 g de carboximetilcelulosa (DEL ORDI CASTILLA et al., 2016)	El espesante de CMC que incorpora la AB57 permite depositarlo en forma de gel sobre la superficie (se ha de interponer una capa de papel japonés para facilitar la retirada posterior)	Sucesivas aplicaciones de entre 15' y una hora entre los distintos empacos. Neutralización con agua bicarbonatada	Ha debilitado las concreciones de forma heterogénea, por lo que se ha tenido que emplear una excesiva acción mecánica. (Ensayo en probeta)

⁷ "(...) La dosificación puede variar según el caso (...) No ejerce ninguna acción nociva sobre la superficie original cuando ésta es resistente al agua. El efecto solvente de la mezcla sobre las costras de alteración se debe esencialmente a la acción del ion bicarbonato. (...)" (MORA et al., 2003: 438)

⁸ "(...) La sal disódica presenta en disolución un pH ácido (pH 4,3-4,7 en una disolución del 5%), mientras que la tetrasódica presenta un pH básico (pH 11 en una disolución del 5%). (...)" (BARROS et al., 2011: 36)

	<p>1000 c.c. de agua 30g de bicarbonato de amonio 50 g de bicarbonato de sodio 25-100 g EDTA tetra-sódico (pH 11) 25 g tensoactivo New Des 50[®] al 10% 6 g de carboximetilcelulosa</p> <p>(LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019)</p>	<p>El espesante de CMC que incorpora la AB57 permite depositarlo en forma de gel sobre la superficie (se ha de interponer una capa de papel japonés para facilitar la retirada posterior)</p>	<p>Tiempo de actuación de 15 min.</p> <p>Neutralización con hisopos humedecidos en agua destilada</p>	<p>Ha vuelto pulverulenta la capa pictórica, deteriorando este estrato. A pesar de ello, se aprecia una acción general del tratamiento.</p> <p>(Ensayo obra real)</p>
EDTA	<p>EDTA Tetrasódico en solución acuosa al 3% (pH 11)</p> <p>(DEL ORDI CASTILLA et al., 2016)</p>	<p>Empaco de pasta de celulosa, (interponiendo una capa de papel japonés para facilitar la retirada)</p>	<p>Tiempos de retención de entre 30-45 min</p> <p>Neutralización con hisopos humedecidos en agua destilada</p>	<p>Buen grado de eliminación de la concreción sin afectar visualmente a la capa pictórica.</p> <p>(Ensayo en probeta)</p>
	<p>EDTA Tetrasódico en disolvente apolar al 3% (pH 11).</p> <p>(ROIG et al., 2017)</p>	<p>Mediante gel rígido. Se ha añadido a la disolución Carbopol[®] al 3%.</p> <p>Posterior retirada en seco y sucesivos enjuagues con agua y disolvente apolar para retirar el material solubilizado y los restos de gel.</p>	<p>Tiempo de actuación de 3-5 min</p>	<p>Acción muy localizada y superficial debido a la alta viscosidad de la mezcla.</p> <p>(Pintura mural al fresco barroca)</p>
	<p>EDTA Tetrasódico en solución acuosa al 3% (pH 10)</p> <p>(LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019)</p>	<p>Empaco con pasta de celulosa Arbocel BC 1000[®] (interponiendo una capa de papel japonés para facilitar la retirada)</p>	<p>Tiempo de actuación de 10 min</p>	<p>No ha afectado a la capa pictórica, pero tampoco ha reblandecido las concreciones. Supone el empleo posterior de mayor acción mecánica para su eliminación.</p> <p>(Ensayo obra real)</p>
	<p>EDTA Tetrasódico en solución acuosa al 3% (pH 10)</p> <p>(LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019)</p>	<p>Mediante gel rígido. Se ha añadido a la disolución Gellano Kelkogel[®] al 3%</p>	<p>Tiempo de actuación de 10 min</p> <p>Neutralización con hisopos humedecidos en agua destilada</p>	<p>Acción uniforme en toda la superficie de concreciones sin llegar a debilitarlas demasiado, suponiendo el empleo de una mayor acción mecánica en su retirada.</p> <p>(Ensayo obra real)</p>

5.1.2.4. Resinas de intercambio iónico

La resina de intercambio iónico se trata de una sustancia insoluble que posee iones lábiles⁹ y que tiene la capacidad de intercambiarlos con otros presentes en una solución con la que esté en contacto (DOMÉNECH et al., 2006). Para que el intercambio iónico sea producido, las resinas deben tener una elevada masa molecular, ser insolubles en agua y tener la capacidad de intercambiar iones móviles con la fase acuosa. Pueden ser de intercambio aniónico o catiónico, aunque en la eliminación de carbonatos, son usados intercambiadores catiónicos débilmente ácidos.

Los intercambiadores catiónicos débiles sólo están completamente ionizados en un medio alcalino, pudiendo utilizarse a pH>7. Estas resinas sirven para descomponer sales como los carbonatos, aumentando su velocidad y capacidad de intercambio con el pH. Las aplicaciones y ejemplos de resinas de intercambio iónico sobre pintura mural arqueológica aparecen en las TABLAS XV y XVI.

TABLA XV. Aplicaciones de las resinas de intercambio iónico en limpieza

<p>Amberlite IR 120H®</p>	<p>Intercambiador catiónico fuertemente ácido, que se comporta como un ácido fuerte con capacidad para estar ionizado en un amplio intervalo de pH. Debido a su excesiva acidez, el tiempo de retención debe de ser el mínimo para evitar el deterioro de la capa pictórica (DEL ORDI CASTILLA et al., 2016).</p>
----------------------------------	---

TABLA XVI. Ejemplo de Resina de intercambio iónico usada en limpieza de carbonatos

Composición	Forma de aplicación	Tiempo actuación/ Neutralización	Resultado de ensayos
<p>Resina catiónica Amberlite IR 120H® hidratada con agua destilada (pH 2) (DEL ORDI CASTILLA et al., 2016)</p>	<p>Empaco con pasta de celulosa. Se ha colocar un estrato de pasta de celulosa con agua destilada sobre el estrato de resina para mantener la humedad.</p>	<p>10 min por la excesiva acidez del producto.</p>	<p>Buena eliminación de la costra sobre la capa pictórica. Hay poca variación colorimétrica entre las zonas que estaban afectadas y las que no. (Ensayo en probetas)</p>

⁹ Iones lábiles: iones con una unión frágil o inestable

5.1.2.5. Disolventes orgánicos neutros

Los fenómenos físicos implicados en la acción disolvente son penetración, disolución y evaporación, los cuales han sido desarrollados en el anexo. Estos disolventes orgánicos neutros se caracterizan por establecer interacciones bipolares (F_p), entre moléculas polares y apolares, fuerzas de dispersión o Van der Waals (F_d) y enlaces por puente de hidrógeno (F_h) (DOMENCH et al., 2006). Según su composición química (TABLA XVII) y su familia (TABLA XVIII), se clasifican de la siguiente forma:

TABLA XVII. Composición de los disolventes	
ELEMENTOS DE LOS DISOLVENTES	FAMILIA
C, H	Hidrocarburos
C, H, Halógeno	Derivados halogenados de hidrocarburos
C, H, O	Oxigenadas: Éteres; Alcoholes; Cetonas; Ácidos carboxílicos; Esteres.
C, H, N	Nitrogenadas: Aminas; Nitrilos.
C, H, N, O	Nitrogenadas: Amidas; Nitrocompuestos.

TABLA XVIII. Familia de los disolventes		
FAMILIA DE DISOLVENTES		DISOLVENTES DE CADA FAMILIA
Hidrocarburos		White Spirit, Ciclohexano, Esencia de trementina, Benceno, Tolueno, Xileno
Derivados halogenados de hidrocarburos		Cloroformo, Diclorometano
Oxigenados	Éteres	Éter etílico
	Alcoholes	Metanol, Etanol y Propanol
	Cetonas	Propanona, Metiletilcetona y Ciclohexanona
	Ácidos carboxílicos	Ácido Metanoico y Ácido Etanoico
	Ésteres	Acetato de etilo y Acetato de propilo
Nitrogenadas	Aminas	Butilamina y Trietanolamina
	Amidas	Dimetilformamida

En pintura mural arqueológica, el uso de disolventes se puede concentrar en la eliminación de posibles restos de resina acrílica (sintética), como el Paraloid-B72® o el Acril 33®, las cuales han podido ser empleadas durante el engasado y la protección de los fragmentos de pintura mural (BARBERÁ et al., 2018). Estas resinas deberán ser eliminadas atendiendo a sus parámetros de solubilidad, ya que su permanencia sobre las concreciones favorece la consolidación de las mismas sobre la película pictórica, lo cual supone una problemática en su eliminación. La forma de aplicación de los disolventes más adecuada sobre la superficie porosa de la pintura mural es mediante el uso de solvent-gels (geles de disolvente), ya que impiden la excesiva penetración dentro de los estratos. La elección del disolvente adecuado tiene que cumplir con dos requisitos, ser químicamente inerte hacia los materiales constitutivos de la pintura mural objeto de limpieza y presentar una alta estabilidad físico-química para evitar interacciones indeseadas entre los residuos de los gelificantes empleados y la superficie limpia (BAGLIONI et al., 2014).

La representación gráfica de los disolventes y sustratos orgánicos permite establecer a priori si un disolvente será eficaz en la limpieza de un determinado sustrato (MASSCHELEIN KLEINER, 2004). El triángulo de solubilidad de Teas permite asociar los parámetros de solubilidad anteriormente mencionados con la composición del sustrato a eliminar¹⁰ (Figs. 11 y 12).

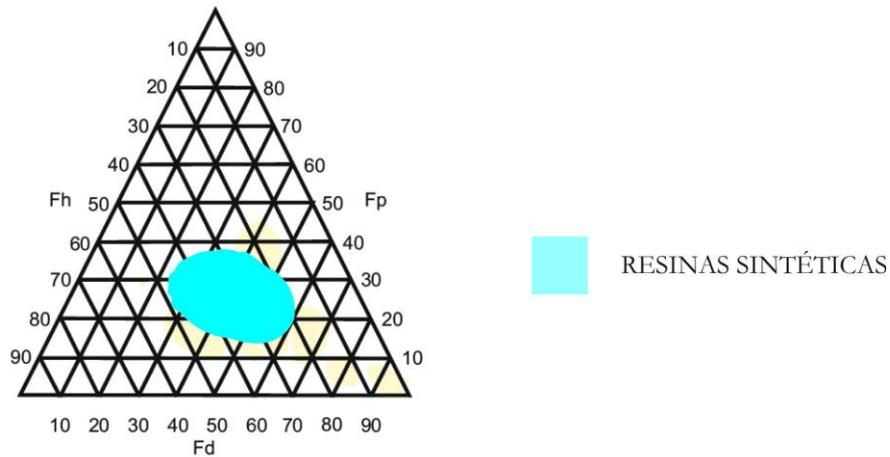


Fig. 11. Posición de las resinas sintéticas en el triángulo de solubilidad de Teas, dentro de las cuales se encuentran las empleadas en el engasado de protección, como el Paraloid-B72® o el Acril 33®.

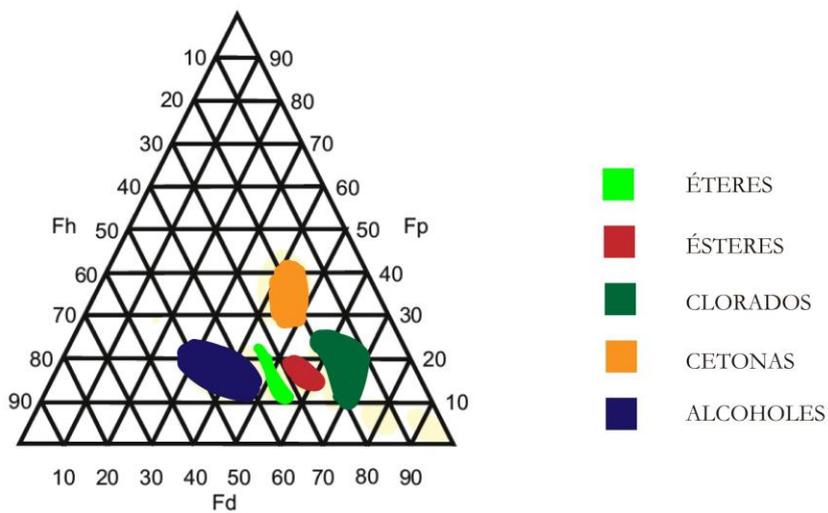


Fig. 12. Posición de las familias de disolventes orgánicos neutros capaces de solubilizar resinas sintéticas en el triángulo de solubilidad de Teas.

¹⁰ Están relacionados del siguiente modo: $100 = Fd + Fp + Fh$

5.1.3. MÉTODOS FÍSICO-QUÍMICOS: AGENTES SUSTENTANTES DE LIMPIEZA EN HÚMEDO

La elección de un sustentante en el modo de aplicación viene determinada para controlar tanto la penetración del tratamiento como el tiempo de retención del mismo. Así se consigue lograr una acción más localizada sobre el sustrato a eliminar. Estos sustentantes se pueden clasificar entre soportantes, que son sustentantes que no se disuelven en los disolventes o sustancias acuosas empleadas, como la pulpa de celulosa (Fig. 13), mientras que los espesantes o gelificantes sí que llegan a disolverse, como los éteres de celulosa, geles de polisacáridos o geles de ácidos poliacrílicos (CREMONESI, 2008; BARBERÁ GINÉ et al., 2018; PÉREZ BENITO, 2019; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019).

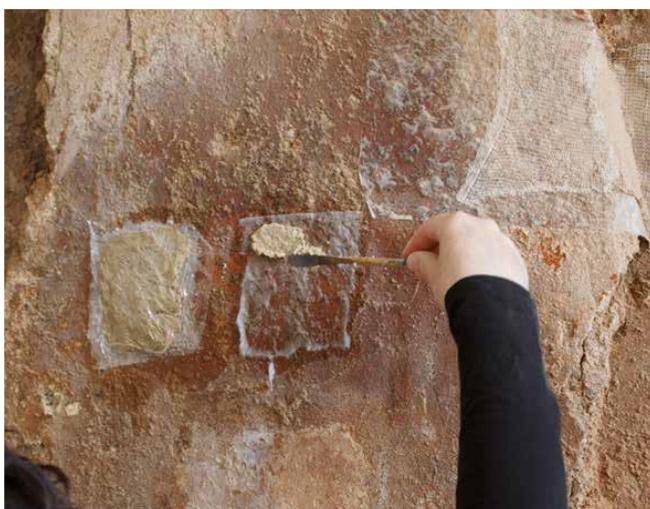


Fig. 13. Limpieza química mediante la aplicación de carbonato de amonio con pulpa de celulosa sobre pintura mural arqueológica *in situ* de procedencia romana, localizada en un barrio del antiguo foro romano de Cartago Nova, actual Parque arqueológico del Molinete, en la ciudad de Cartagena (Murcia). Imagen extraída de NOGUERA et al., 2016: 170.

5.1.3.1. Agentes gelificantes o espesantes

Los agentes gelificantes o espesantes pueden estar compuestos por formulaciones muy variadas. Su característica principal se basa en la gelificación que es la mezcla de un compuesto de polímeros (éteres de celulosa, ácidos poliacrílicos o polisacáridos) y partículas de líquido. Espesando una solución acuosa, un disolvente o una mezcla de disolventes se pueden modificar algunas propiedades del líquido de partida, formando soluciones de baja, media o alta viscosidad. La viscosidad del gel dependerá de la concentración del agente gelificante, a mayor viscosidad menor penetración en los estratos y mejor actuación en superficie (TABLAS XIX y XX). Junto con las emulsiones, pueden considerarse sistemas mixtos, ya que se pueden combinar sistemas acuosos y disolventes. Algunos parámetros a los que afectan los gelificantes en el líquido de partida son: Controlan de la cantidad de disolvente; aumentan la humectación; reducen la penetración; aumentan del tiempo de contacto mediante el ralentizamiento de la velocidad de evaporación; permiten una acción del disolvente localizada y pueden facilitar la miscibilidad de algunos componentes.

Los geles químicos, son pues, una de las herramientas menos invasivas e innovadoras que se han desarrollado para la limpieza de superficies delicadas, como podría ser la pintura mural arqueológica de época romana (TABLA XXI). Son sistemas bi-continuos en los que el esqueleto que soporta la fase líquida se forma normalmente a través de la polimerización (BAGLIONI et al., 2014).

TABLA XIX. Comparativa de ciertas características de los gelificantes más empleados (PÉREZ BENITO, 2019: 117)

Gelificante	Concentración recomendada	Viscosidad	Capacidad adhesiva
Éteres de celulosa	2-10%	baja	alta
Vanzan® NF-C	0.5-1%	1300-1700 mPas al 1%	baja
Gellano Kelcogel®	1-5%	alta	baja
Agar	2-4%	media	baja
Carbopol® Ultrez 21	1-2%	45000-65000 mPas al 0.5%	media
Carbogel®	0.3-4%	alta	baja

TABLA XX. Aplicaciones de los gelificantes y espesantes en limpieza

<p>Éteres de celulosa</p>	<p>Los éteres derivados de la celulosa son usados como gelificantes basados en sistemas acuosos y soluciones de EDTA que necesitan ser aplicadas bajo un estricto control del pH y temperatura. Son solubles en agua y en disolventes orgánicos polares. Sus propiedades, como la viscosidad (varía de media a baja), dependen de algunos factores como el peso molecular del polímero o la proporción, y además pueden ir acompañados de un efecto tensoactivo, incrementando la efectividad de la limpieza (MORA et al., 2003; BAGLIONI et al., 2014; CREMONESI, 2014; DEL ORDI CASTILLA et al., 2016; LÓPEZ MARTINEZ, 2019). Podemos encontrar dos tipos de éteres de celulosa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Iónicos: Carboximetilcelulosa (CMC). Son los más empleados en limpieza de pintura mural debido a que la CMC es un componente de la Papeta AB₅₇. - Aniónicos: Metilcelulosa (Tylose® MB), Hidroxipropilcelulosa (Klucel® G) e hidroxipropilmetilcelulosa.
<p>Geles de polisacáridos</p>	<p>Los principales geles derivados de polisacáridos proceden de la Goma Xantano y de la Agarosa. Algunos de los productos más utilizados son:</p> <p>El Vanzan® NF-C es un producto derivado de la goma xantano. Ha sido empleado para minimizar el uso de tensoactivos y de sus posibles residuos en la eliminación de resinas como el Paraloid B-72®, utilizadas en protecciones o engasados en pintura mural. La acción mecánica en este gel lleva a su rotura parcial, con disminución de la viscosidad, pero cuando se deja en reposo las estructuras se reforman, con aumento de la viscosidad (propiedad pseudoplástica). Permite la retirada del gel sin generar residuos que penetren en el sistema poroso de la pintura mural (BAGLIONI et al., 2014; CREMONESI, 2014; BARBERÁ GINÉ et al., 2018 PÉREZ BENITO, 2019).</p>

	<p>El Gellano Kelcogel® puede ser empleado para conformar geles rígidos termorreversibles tanto con agentes quelantes, como con <i>buffers</i>. Puede considerarse un útil instrumento para el aporte controlado de humedad sobre superficies pictóricas sensibles al agua. El agua, de hecho, sólo va a mojar el interfaz entre la superficie y el gel rígido, sin penetrar en la estructura porosa del material (LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019). Además, el gel rígido actúa como una esponja que absorbe en su interior el material solubilizado. El riesgo de su aplicación yace en la posible generación de residuos orgánicos, para los cuales habrá que evaluar en el caso concreto si el lavado necesario para su remoción podría tener algún tipo de interferencia con la capa pictórica.</p> <p>Por último, el Agar proporciona un gel rígido que está formado por un complejo polisacárido compuesto por Agarosa y agroppectina derivado de las algas marinas¹¹. Tiene la capacidad de formar geles de altísima viscosidad (BOSCH ROIG et al., 2010).</p>
<p>Geles de ácidos poliacrílicos</p>	<p>Por un lado, la utilización de resinas de ácido poliacrílico denominadas Carbopol®, las cuales neutralizadas con una base reaccionan formando un nuevo compuesto en forma de gel con propiedades tensoactivas, pudiendo también transportar disolventes (LLANO TORRE, 2008; REINA DE LA TORRE, 2009; CREMONESI, 2014; BARBERÁ GINÉ et al., 2018). Por tanto, se combina la acción disolvente con la de un tensoactivo, siendo el agua el medio en el que se desarrolla la gelificación. En el caso de la pintura mural arqueológica, se usarán en mayor medida para eliminar restos de adhesivos procedentes de engasados. En cuanto a la eliminación de los residuos, se debe extraer la máxima cantidad posible de gel en seco y posteriormente proceder a eliminar los posibles restos con disolventes compatibles (BARROS GARCÍA, 2001).</p> <p>Por otro lado, el Carbogel®, es el resultado de una investigación llevada a cabo sobre productos condensantes para papetas, formado por ácido poliacrílico neutralizado, que permite la preparación de un gel acuoso, y cuya viscosidad puede variar según la necesidad (PÉREZ BENITO, 2019). Es suficiente una cantidad variable del 0,5% al 4% en peso de Carbogel en solución acuosa, para conseguir un gel de alta viscosidad, particularidad que resuelve los problemas de eliminación del soporte por los geles utilizados hasta ahora. Tiene una elevada capacidad de retención de agua, que evapora así en tiempos muy largos. Puede adicionarse a las papetas de pulpa de papel y a las clásicas soluciones de amonio carbonato o bicarbonato, EDTA, etc...</p>

¹¹ La agarosa deriva de las algas *Rhodophyceae* (CREMONESI, 2014) del orden de las *gelidiales* y *gracilariales*, acumulándose en la pared celular de las *agarophitas*.

TABLA XXI. Ejemplos de gelificantes y espesantes usados como sustentantes en limpieza

FAMILIA	TIPO	FORMA DE APLICACIÓN	TIEMPO DE ACTUACIÓN / RETIRADA	VENTAJAS E INCONVENIENTES
Éteres de celulosa	CMC (DEL ORDI CASTILLA et al., 2016; LÓPEZ MARTINEZ, 2019)	Se emplean entre 6-60 g en la Papeta AB57 para espesarla (gelifica al 2-10%).	Tiempo de actuación: 15 min. Retirada con hisopos humedecidos en agua destilada.	Deja residuos que deben ser eliminados.
Geles de polisacáridos	Vanzan® NF-C (BARBERÁ GINÉ et al., 2018)	Combinado en disolución de ácido cítrico , gelifica al 2% .	Tiempo de actuación: 10 min. Retirada con hisopos secos y humedecidos en agua destilada.	Permite prescindir del uso de tensoactivos.
	Gellano Kelcogel® (LÓPEZ MARTINEZ, 2019)	Combinado en disolución de ácido cítrico , gelifica al 5% . En disolución de EDTA o un tampón citrato , gelifica al 3% .	Tiempo de actuación: 10 min. Retirada con hisopos secos y humedecidos en agua destilada.	Puede generar residuos orgánicos que deberán ser correctamente eliminados. (CREMONESI, 2016: 43)
Geles de ácidos poliacrílicos	Carbopol® (LLANO TORRE, S.; 2008; ROIG et al, 2017)	Combinado en disolución de ácido cítrico , gelifica al 1-2% .	Tiempo de actuación: 10-15 min. Retirada con hisopos humedecidos en agua destilada.	Sus propiedades tensoactivas dejan residuos que habría que eliminar posteriormente.

5.1.3.2. Agentes soportantes

Los agentes soportantes más frecuentes se conocen como empacos, emplastos o papetas (TABLA XXII). Estos consisten en una mezcla compuesta por un material absorbente inerte que sirve de sustentante de un disolvente o de cualquier otro principio activo (ZALBIDEA et al., 2016). A diferencia de los geles o espesantes, no se disuelven en el disolvente o principio activo que sustentan. Los empacos se usan para:

- Controlar la dosificación de algún disolvente o de este mezclado con algún principio activo.
- Son materiales con capacidad para retener líquidos y geles, por lo que se evita el abuso de la acción mecánica.
- Efectuar la extracción de una sustancia por absorción capilar

Pueden ser de materiales muy variados: orgánicos como el papel japonés o la pasta de celulosa (Arbocel® BC1000, BC 200, BWW 40), e inorgánicos como la sepiolita.

Puesto que la mayoría de soportantes dejan mucho material de residuo, se suele recurrir a interponer un estrato secundario entre el soportante y la obra, que puede estar formado por varias capas de papel japonés humedecido.

TABLA XXII. Ejemplos de soportantes usados como sustentantes en limpieza		
SOPORTANTES	Tipo	CARACTERÍSTICAS/APLICACIONES
Papel Japonés	Washi (11 g) (ROIG et al., 2017)	El washi es el papel tradicional japonés que desde hace siglos se fabrica a mano con mucho prestigio y calidad. Las fibras utilizadas más conocidas llevan los nombres de Kozo, Gampi y Mitsumata. Cada una de ellas confiere al papel características particulares. Kozo es el más utilizado, sus fibras son las más largas (una media de 100 mm). Estas fibras dan un papel de una gran resistencia, que es muy estable dimensionalmente.
Pulpa de celulosa: Arbocel®	BWW 40 (ROIG et al., 2017)	Posee una longitud de fibra de 200 µm que puede complicar su extracción por la posible penetración en la superficie porosa del mural. La absorción de los productos de limpieza puede no ser suficiente (LÓPEZ MARTINEZ, 2019).
	BC 200 (CTS, 2018)	Tiene una longitud de fibra de 300 µm. Puede dificultar su extracción por la posible penetración en la superficie porosa del mural.
	BC 1000 (LÓPEZ MARTINEZ, 2019)	Con una longitud de fibra de 700 µm, permite tanto absorber el producto de limpieza lo suficiente como disminuir sustancialmente la posible penetración en el sistema poroso de la superficie pictórica.

5.2. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE LIMPIEZA

Para la evaluación de los tratamientos de limpieza se ha revisado una metodología basada en la toma de datos previa, durante y posterior a la ejecución de los tratamientos. Este protocolo de actuación en la evaluación lo que permite es la obtención de unos datos con los que poder realizar posteriormente un estudio comparativo, permitiendo obtener unos resultados concluyentes.

En primer lugar, se identificaría el estado de conservación de los fragmentos de pintura mural, generando una serie de datos que serían cotejados para conocer la afección producida por las costras de carbonatos y ser precisos en cuanto a su modo de eliminación.

En segundo lugar, los métodos de evaluación deben generar una respuesta para uno de los procedimientos más controvertidos dentro de la restauración y que consiste en la limpieza de aquellos depósitos que desvirtúan y ocultan la superficie pictórica original, como son los carbonatos. Esto supondría, por una parte, identificar la estabilidad química de la superficie pictórica y los posibles restos de residuos. Por otra parte, permitiría cuantificar entre otros la variación del volumen y los cambios cromáticos sufridos en la pintura mural arqueológica por este proceso, que crea un cambio irreversible de su percepción visual, y que puede afectar a su integridad potencial (BRANDI, 1977). Para esta toma de datos, se han revisado las siguientes técnicas y métodos de análisis, que han sido utilizados en diversas publicaciones relacionadas y que podrían aplicarse a esta casuística:

- Test de identificación de carbonatos
- Documentación fotográfica
- Mapeo de datos de la superficie pictórica y sus alteraciones
- Uso de plantillas para determinar los puntos de análisis
- Microscopio estereoscópico o lupa binocular
- Control de la limpieza con la medición del pH y la conductividad
- Análisis cuantitativo de la presencia porcentual de carbonatos sobre la superficie pictórica a través de la tecnología SIG
- Evaluación de las superficies mediante fluorescencia visible inducida por radiación UV
- Estudio colorimétrico mediante espectrofotómetro e imágenes hiperespectrales
- Estudio fotogramétrico

5.2.1. TEST DE IDENTIFICACIÓN DE CARBONATOS

En los fragmentos objeto de estudio, se propone identificar la presencia de carbonatos en la superficie de la pintura mural de forma cualitativa mediante un ensayo químico. Para detectarla, se realizaría un **test** con **ácido nítrico** (NO_3H) en solución acuosa al 10% mediante una gota sobre una muestra de concreción tomada de la superficie pictórica. El resultado sería positivo en caso de que se produjera efervescencia, que sería derivada de la liberación del CO_2 por la reacción química del CaCO_3 con el ácido nítrico (BERDUCOU, 1990).

5.2.2. DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA

La documentación de un proceso de restauración tiene como finalidad fijar los resultados de los exámenes, diagnósticos e intervenciones, de una forma objetiva que asegure su transmisión al futuro para beneficio de los especialistas. Es una operación inseparable del examen y del tratamiento, que deberá seguirse paso a paso, tanto desde el punto de vista del conocimiento histórico, como desde el de los métodos adoptados para establecer el estado de la obra y el diagnóstico de las causas de alteración y de los métodos empleados para las intervenciones (MORA et al., 2003). Por otro lado, esta documentación fotográfica supone la base de la que parten diversos estudios tales como el levantamiento gráfico, el mapeo de datos, análisis porcentuales de alteraciones en superficie o la fotogrametría. Además, el tipo de iluminación empleada, como la luz natural o la UV, puede influir en la toma de datos por lo que debe ser tenida en cuenta.

La toma de documentación debe definirse en relación a dos exigencias que pueden resultar contradictorias: la preocupación de adaptarse a las particularidades de cada caso y aquella de favorecer las comparaciones mediante una cierta estandarización de los métodos de documentación. En este caso habrá que proceder según una técnica rigurosamente estandarizada tanto en lo concerniente a la instrumentación utilizada como en lo que se refiere a las condiciones y períodos de operación.

5.2.3. MAPEO DE DATOS DE LA SUPERFICIE PICTÓRICA Y SUS ALTERACIONES

Este procedimiento se plantea llevar a cabo para poder localizar tanto los restos visibles de la pintura mural como son la capa pictórica o el soporte, como las alteraciones en forma de concreciones que presenta, ayudando a conocer el estado de conservación de los fragmentos (MORA et al., 2003; CALERO CASTILLO, 2016).

Para la obtención de modelos bidimensionales, en diversas publicaciones se han realizado primeramente calcos en acetato sobre la pintura mural con rotuladores indelebles, que se han digitalizado posteriormente usando principalmente entre otros programas QGis, Adobe Photoshop y Adobe Illustrator. Con este levantamiento gráfico, se obtienen mapas de datos sobre los fragmentos, que a su vez nos muestran el deterioro de los mismos, posibilitando completar el informe diagnóstico de conservación de los fragmentos. En estos mapas se siguen unos códigos de formas y colores que especifican el tipo de información expuesta (Fig. 14).

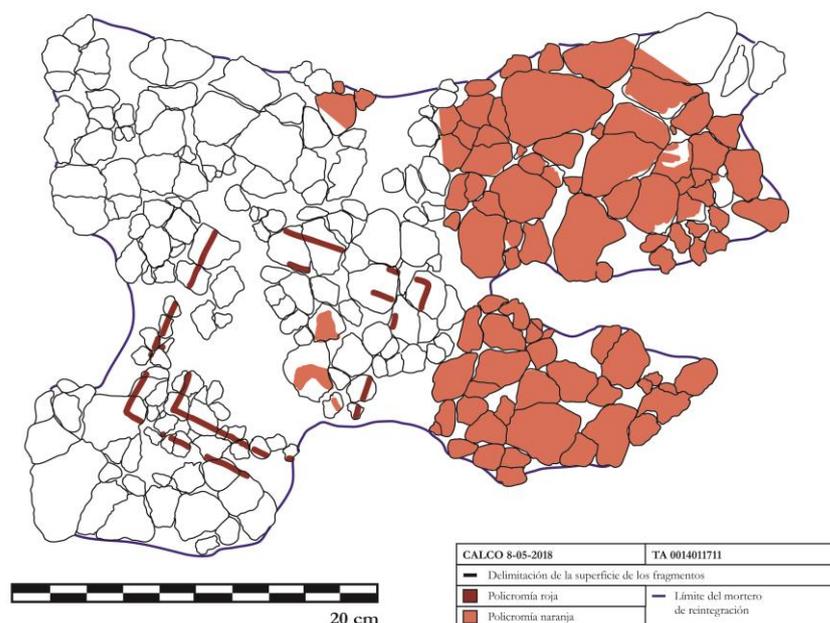


Fig. 14. Ejemplo de un mapa de datos de un fragmento de pintura mural del periodo tardorromano procedente del yacimiento arqueológico de Cástulo en Linares (Jaén).

5.2.4. USO DE PLANTILLAS PARA DETERMINAR LOS PUNTOS DE ANÁLISIS

El propósito de emplear estas plantillas es, por una parte, determinar los puntos de evaluación y por otra, la zona donde se van a realizar los tratamientos. Este protocolo de actuación sigue una de las pautas empleadas en el proyecto **NANORESTART** (Nanomaterials for the Restoration of Works of Art), un proyecto de la UE desarrollado entre 2015-2018 en el que se experimenta con nanotecnologías, donde se han establecido una serie de técnicas innovadoras para la conservación y restauración de los bienes culturales (IPCE, 2018). Con el uso de estas plantillas de acetato sobre los fragmentos de pintura mural, se propone fijar unos puntos concretos de la superficie pictórica para poder evaluar la misma zona durante todo el proceso de limpieza y poder estudiar así su evolución, en cuanto a los cambios cromáticos y estructurales producidos.

5.2.5. MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPICO O LUPA BINOCULAR

Este método permite la evaluación de una superficie concreta a partir de la toma de imágenes de detalle en alta resolución, que permite la caracterización general de cada una de las muestras. El uso de esta técnica de análisis es frecuente en investigaciones de esta tipología (CALERO CASTILLO, 2016; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019) y su aplicación principal tiene que ver con que proporciona información sobre la estratigrafía, textura, heterogeneidades, color, estado de alteración e incluso puede ofrecer una idea general de la composición química (CREMONESI, 2016). Su uso permite realizar un análisis preliminar, supone uno de los métodos de seguimiento del proceso de limpieza para poder analizar y observar los cambios efectuados sobre la superficie mural en una zona representativa.

5.2.6. ESTUDIO DE ESTABILIDAD QUÍMICA DE LA PINTURA MURAL EN LA LIMPIEZA CON LA MEDICIÓN DEL PH Y LA CONDUCTIVIDAD

El **pH** es la unidad de medida de la alcalinidad o acidez de una solución acuosa. Mide los iones hidronio (carácter ácido) o hidróxido (carácter básico) presentes en la solución, en una escala logarítmica que va del 0 al 14. El pH del agua pura es de 7 (neutro), pero en contacto con los ácidos de la atmósfera se ve alterado. Para poder eliminar determinadas sustancias de una obra artística debe controlarse el pH y mantenerse estable durante toda la intervención. En el proceso de limpieza de obras de arte, es un factor muy importante a tener en cuenta, no solo como estrategia para eliminar una sustancia como los carbonatos, sino a modo de protección para evitar dañar la policromía (BARROS GARCÍA, 2001; NICOLA et al., 2006; CREMONESI, 2014).

Es importante además conocer el pH de la superficie artística, el cual puede obtenerse, por ejemplo, preparando geles de agarosa (al 2-4% en solución acuosa) que se colocan sobre la superficie pictórica, y que, tras un tiempo determinado de contacto (20 min), pueden medirse con instrumentos medidores de pH tales como los indicadores¹² y los pHmetros¹³ (Fig.15), colocando la pastilla de agarosa sobre los indicadores o entre los electrodos de estos últimos (ESCOLANO, 2020). En pinturas murales o las superficies minerales es conveniente mantenerse en un rango de entre 8-9 para minimizar el impacto de la limpieza sobre los pigmentos, la cal o el yeso (PÉREZ BENITO, 2019). Estos materiales a un pH altamente básico o ácido pueden verse afectados en su estructura, resultando perjudicados. Es por ello que el control del pH de la solución acuosa a emplear en una limpieza resulte primordial. Además, dicha medición también debe realizarse a posteriori de la limpieza, para poder conocer si se ha de abordar una neutralización de la acidificación/basicidad producida por alguno de los agentes de limpieza empleados y asegurar la inocuidad de los tratamientos para con los materiales originales (LLANO TORRE, 2008; DEL ORDI CASTILLA, 2010).

Por otra parte, la **conductividad** es la capacidad que permite transmitir energía en forma de electricidad, sonido o calor. En el agua, se denomina conducción iónica al movimiento generado por una red de iones cargados que produce corriente eléctrica. Esta concentración iónica se puede medir con un conductivímetro (Fig.16). Debido a que la corriente eléctrica se transporta por medio de iones en solución, la conductividad aumenta cuando se incrementa también la concentración de iones. La concentración iónica junto con el pH es una de las propiedades más importantes a tener en cuenta a la hora de trabajar con disoluciones acuosas (PÉREZ BENITO, 2019). Esto es debido a la presión osmótica (se trata de una presión mecánica), siendo un fenómeno que depende de esa concentración iónica, donde el agua tiende a equilibrar las concentraciones entre zonas en contacto con diferentes concentraciones iónicas (CREMONESI, 2014). La difusión es un proceso a tener en cuenta, debido a que las moléculas de soluto de una disolución tienden a distribuirse homogéneamente en todo el espacio que les es accesible (BARROS GARCÍA, 2001). La importancia de la difusión radica en que, en las obras artísticas, permite explicar el proceso de intercambio iónico cuando una solución entra en contacto con la superficie pictórica que actúa, como si se tratase de una membrana permeable al paso de los iones. El tamaño de poro de esa membrana es lo que condiciona el paso de las distintas moléculas.

¹² Los “papeles indicadores” en contacto con la solución de la que hay que medir el pH, varían su color según el pH.

¹³ Un pHmetro es un instrumento capaz de efectuar una medida del pH muy precisa tras su calibración en soluciones a pH determinado, ofreciendo una lectura directa del valor numérico.

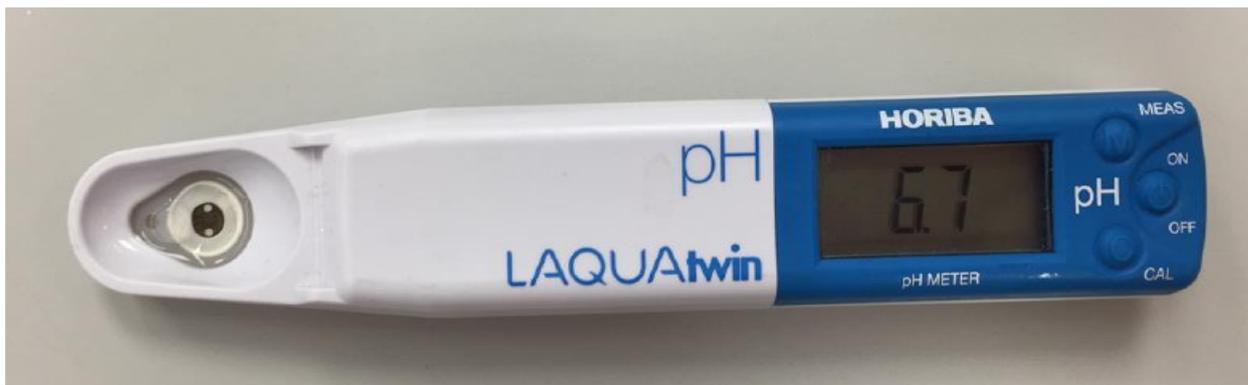


Fig. 15. Ejemplo de pHmetro para medir los valores de pH de las mezclas y sustancias.



Fig. 16. Ejemplo de conductímetro para la medición de la tonicidad.

Las clases de soluciones se clasifican según la conductividad o tonicidad (Fig. 17) que presentan respecto del objeto artístico (CREMONESI, 2014), que en este caso se trata de pintura mural:

- Solución **Hipotónica**: La conductividad de la disolución es menor (1/10x) que la del objeto húmedo
- Solución **Isotónica**: La conductividad de la solución es igual a la del objeto húmedo
- Solución **Hipertónica**: La conductividad de la disolución es mayor (10x) que la del objeto húmedo

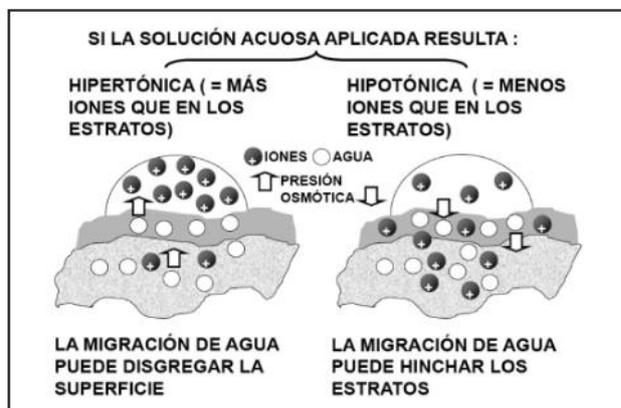


Fig. 17. La presión osmótica (osmósis), es un fenómeno que depende de la concentración iónica, donde el agua tiende a equilibrar las concentraciones entre zonas en contacto con diferentes concentraciones iónicas.

Imagen extraída de CREMONESI, 2014: 91.

Al colocar sobre la superficie de un objeto artístico (menor concentración de iones) una solución acuosa (mayor concentración de iones), se produce el efecto de la presión osmótica sobre dicha superficie. Cuanto mayor sea la diferencia de concentración entre la superficie y la solución, más elevada será dicha presión, corriendo el riesgo de disgregarse si esta es demasiado alta. Las soluciones deben estar en un intervalo entre 4-8 mS/cm para no dañar la pintura (CREMONESI, 2004). A la hora de realizar la medición de la conductividad en la superficie pictórica, se puede colocar una pastilla de agarosa (al 2-4% en solución acuosa destilada) sobre la pintura mural durante unos 20 minutos, pasando después a tomar la medición con el conductivímetro (la misma pastilla de agarosa puede ser reaprovechada para medir el pH de la superficie, añadiendo unas gotas de agua destilada y depositándola en el pHmetro hasta que se estabilice). De esta manera se puede trabajar en un rango de seguridad conociendo la zona isotónica de la pintura mural, y deduciendo cual sería la zona hipotónica (1/10x la conductividad isotónica) y la zona hipertónica (10x la conductividad isotónica), debiendo trabajar sobre ella en el interior de dicho intervalo. Es por ello que, además, se pueden preparar las soluciones de limpieza seleccionadas con un gel de agarosa al 4,5-5%, preparando unas pastillas que pueden utilizarse para conocer tanto el pH, como la conductividad de la solución, pudiendo anticiparnos sobre el posible efecto que la aplicación del tratamiento pueda tener sobre la superficie pictórica de la pintura mural (ESCOLANO, 2020).

Por lo tanto, además del pH hay que tener en cuenta la conductividad a la hora de abordar la limpieza de una superficie. Los materiales empleados actúan según su naturaleza y características, que deben ser valoradas en cada caso, sabiendo que las sustancias neutras no generan problemas de conductividad o pH. De este modo, conociendo las características químicas de los agentes acuosos de limpieza, se obtendrá la solución acuosa deseada y el restaurador podrá controlar de forma casi íntegra el proceso de limpieza (PÉREZ BENITO, 2019).

5.2.7. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LA PRESENCIA PORCENTUAL DE CARBONATOS SOBRE LA SUPERFICIE PICTÓRICA A TRAVÉS DE LA TECNOLOGÍA SIG

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son sistemas de procesamiento de datos capaces de tratar información geográfica (situación espacial de los elementos) y alfanumérica (descripción de dichos elementos). Concebidas para estudiar la superficie física de la tierra mediante ortofotografías, se ha comprobado su viabilidad para adaptar su interfaz al análisis y documentación del estado de conservación de las superficies pictóricas bidimensionales a través de su registro fotográfico (FUERTES PORTO, 2011; ídem, 2012), siendo extrapolable a la pintura mural e incluso a otros campos de la restauración. De esta manera, el análisis de superficies pictóricas con tecnología SIG permite establecer el alcance de los daños que condiciona el estado de conservación de una obra (Fig. 18). Asimismo, también pueden aportar una valiosa información para cuantificar el porcentaje de efectividad que los tratamientos de limpieza han tenido sobre la pintura mural.

Este método de evaluación ha sido aplicado sobre la restauración de los lienzos pertenecientes a la decoración mural de la Galería Dorada del Palau Ducal de Gandía (FUENTES PORTO, 2011), de modo que sería extrapolable a la casuística de la pintura mural arqueológica por sus similitudes en cuanto al tamaño del soporte y morfología (eminentemente bidimensional). Ello supondría una novedosa aplicación de esta tecnología en este campo.

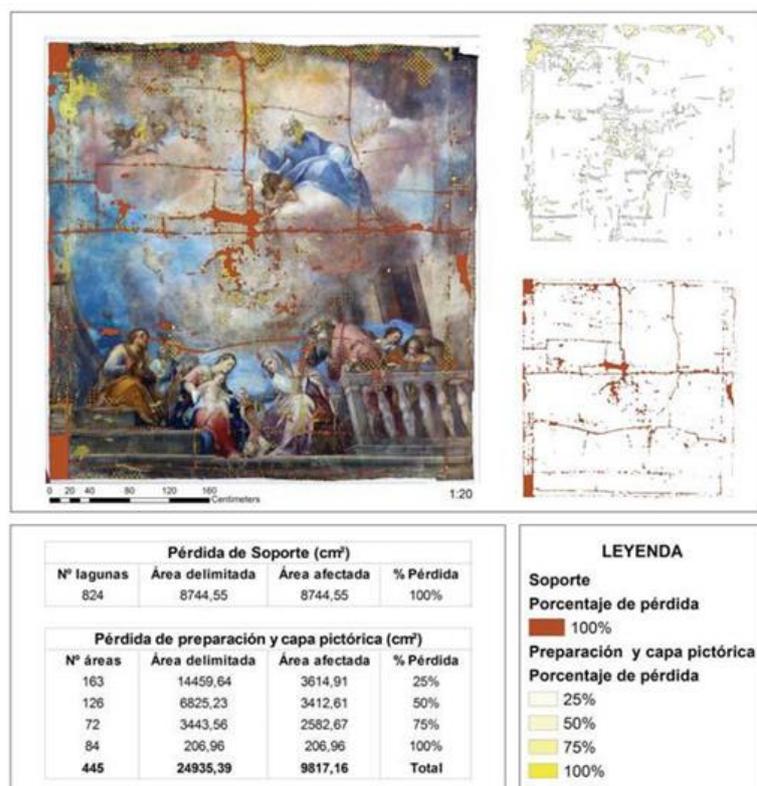


Fig. 18. Registro y documentación mediante tecnología SIG de los faltantes de la obra "La Sagrada Familia", de Gaspar de la Huerta, en función del estrato del lienzo afectado. Imagen extraída de FUENTES PORTO, 2011: 192.

5.2.8. EVALUACIÓN DE LAS SUPERFICIES MEDIANTE FLUORESCENCIA VISIBLE INDUCIDA POR RADIACIÓN UV

La fluorescencia visible es una de las técnicas más empleadas en los talleres y laboratorios de conservación y restauración, ya que permite observar más allá de lo que puede alcanzar a ver el ojo humano. El fenómeno de la fluorescencia (CREMONESI, 2016) se basa en la emisión inducida de radiación electromagnética sobre el objeto iluminado, el cual la refleja de forma diferente a la inducida. El uso de la radiación ultravioleta en conservación y restauración de obras de arte supone una herramienta de análisis no destructiva, que no solo permite distinguir entre materiales constitutivos y repintes por su diferente comportamiento ante la radiación UV, sino que también permite hacer un seguimiento y evaluar las pruebas de limpieza durante el proceso en obra real (PÉREZ BENITO, 2019; FUSTER LÓPEZ et al., 2020).

Este método de evaluación ha sido aplicado en el redescubrimiento de decoraciones perdidas en pinturas murales del siglo XV en la Capilla de Nuestra Señora de las Fuentes (La Brigue, Francia) mediante fotografía de luminiscencia UV-Visible (LÓPEZ FUSTER et al. 2020). Sería extrapolable a la pintura mural arqueológica, ya que esta técnica permitiría observar tanto los posibles restos de adhesivos procedentes del engasado (los cuales deberían de ser correctamente eliminados), e incluso aquellos restos derivados del uso de determinados gelificantes durante la limpieza, debido a que presentan una respuesta de luminiscencia UV-Visible que los localizaría (Fig. 19).



Fig. 19. Detalle de las imágenes UV de los halos de los santos en la escena "Los reproches a Santo Tomás", pintada por Baleison. El mordiente orgánico que se utilizó para fijar la lámina de estaño muestra una alta respuesta de luminiscencia UV, lo que permite su localización en la pintura mural.

Imagen extraída de LÓPEZ FUSTER et al. 2020: 246.

5.2.9. ESTUDIO COLORIMÉTRICO MEDIANTE ESPECTROFOTÓMETRO E IMÁGENES HIPERESPECTRALES

La aplicación de estas técnicas tiene el objetivo de controlar objetivamente los cambios que se producen en la superficie estudiada con la aplicación de los diferentes métodos de limpieza. El estudio colorimétrico de estos fragmentos debe realizarse siguiendo la norma UNE-EN 15886: 2011. *Métodos de ensayo: Medición del color de superficies. Conservación del Patrimonio Cultural*. Para ello se podrían emplear dos tipos de instrumentos de medición, como son un **espectrofotómetro** y un **espectrómetro de imágenes espectrales**.

5.2.9.1. Espectrofotómetro

Gracias a los análisis colorimétricos pueden determinarse con precisión todos los cambios cromáticos sufridos fruto de estas limpiezas, pudiendo cuantificar si estos son perceptibles al ojo humano¹⁴ y su variación¹⁵, valorando las diferencias entre las formas de aplicación para cada tratamiento empleado (gel rígido o empaco), e incluso las que existen entre los distintos tratamientos (MARTÍNEZ BAZÁN et al., 2011; CALERO CASTILLO, 2016; PÉREZ BENITO, 2019; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019). Con los datos obtenidos se profundizaría en las variaciones experimentadas por cada uno de los componentes que conforman los colores analizados, representando los cambios producidos en la luminosidad, tono y croma a través de distintas gráficas y tablas (Fig. 20).

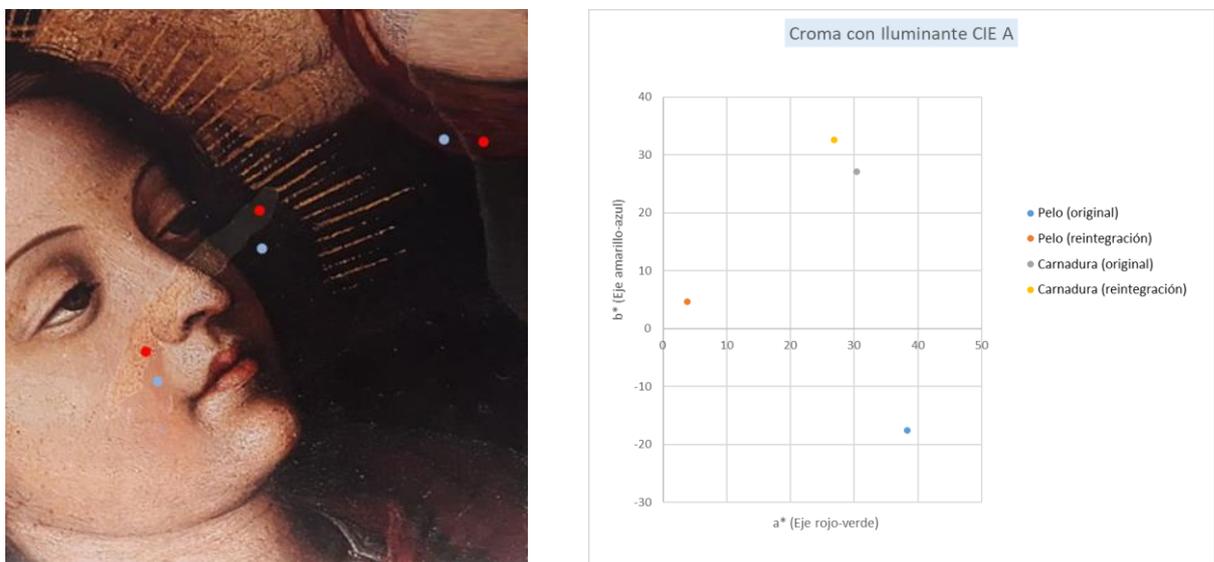


Fig. 20. Representación gráfica de las distribuciones para los valores a^* , b^* para los puntos de análisis señalados entre la pintura original y la reintegración cromática obtenidas con un espectrofotómetro. Así, se puede ver cual es la diferente intensidad cromática que existe entre los diferentes puntos de análisis.

¹⁴ Una variación del color (ΔE) superior a 2 unidades CIELAB es perceptible al ojo humano, aunque dependiendo del color subyacente a la capa de concreción, la variación puede ser mayor o menor.

¹⁵ Para analizar las variaciones cromáticas producidas, se utilizan modelos cromáticos para describir todos los colores perceptibles al ojo humano. Estos modelos pueden encontrarse en espacios de color definidos como CIELAB (1976) o CIELCH.

En cuanto al estudio colorimétrico mediante **espectrofotómetro**¹⁶, existen varios espacios de color o espacios cromáticos tridimensionales que representan el color mediante coordenadas geométricas. En la evaluación es recomendable utilizar los perceptivos CIELAB¹⁷, que sirven para calcular la diferencia cromática total entre dos estímulos a partir de la ecuación, y CIELCH, que es un espacio de color similar al anterior pero que usa coordenadas cilíndricas en vez de usar coordenadas cartesianas, facilitando la información con las magnitudes de Luminosidad (L*), Croma (C*) y Tono (h*).

Por un lado, CIELAB define una métrica de diferencias de color (ΔE^*_{ab}), utilizando para ello coordenadas cartesianas que se distribuyen según los valores L* (Eje de luminosidad), a* (Eje rojo-verde) y b* (Eje amarillo-azul) en la siguiente fórmula de “diferencia de color promedio respecto del promedio” (también denominada MCDM):

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Esta fórmula permite representar mediante un número la dispersión de las tres coordenadas CIELAB y evaluar la variabilidad de los colores medios en distintos puntos de una muestra. A mayor diferencia del color total, más heterogénea sería la muestra, y a menor diferencia, más homogeneidad presentaría.

Por otra parte, CIELCH define una métrica de diferencias de color utilizando para ello coordenadas cilíndricas relacionadas con los atributos perceptivos del color que se distribuyen según los valores **L*** (Luminosidad), **C*** (Croma), **h*** (tono). La **luminosidad** (L*), se corresponde con la claridad de una superficie con respecto de otra de referencia blanca iluminada de forma idéntica; toma valores entre 0 (superficie totalmente negra) y 100 (blanco de referencia ideal). El **croma** (C*), es la intensidad de color de una superficie. Finalmente, el **tono** (h*), indica el ángulo de tono en grados sexagesimales, de forma que 0° es rojo, 90° es amarillo, 180° es verde y 270° es azul.

5.2.9.2. Imágenes espectrales

Las principales aportaciones de esta técnica de análisis son la obtención de datos de color promedio y la caracterización de la homogeneidad espacial a través del espectro basado en los píxeles y en la información del color obtenida, cuantificando de forma más precisa que la colorimetría la variación del color producida en toda el área intervenida de la muestra durante el proceso de limpieza de la superficie pictórica, en lugar de simplemente obtener información puntual de esta como con el espectrofotómetro (RIBES, 2013; MARTÍNEZ DOMINGO et al. 2019a; MARTÍNEZ DOMINGO et al. 2019b).

En cuanto al estudio colorimétrico mediante obtención de **imágenes espectrales**, los **espectrómetros** de imágenes responden a la señal de luz procedente de la muestra tomada, que es el producto de la distribución entre la potencia espectral de la iluminación y la reflectancia espectral de la

¹⁶ El espectrofotómetro es un aparato diseñado para medir el **espectro de reflectancia** de un objeto. El color expresado en términos de reflectancia (cantidad de luz reflejada respecto a la cantidad de luz incidente) que presenta cada componente espectral de la luz.

¹⁷ CIELAB es un espacio del color definido por la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) en 1976 (ISO 11664-4:2008, CIE S 014-4/E:2007) (LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019: 64).

muestra. Estos generadores, hacen un escáner hiperespectral basado en una rejilla de transmisión, que dispersa la luz de cada línea del espectro en la superficie sensible del detector, en este caso un CCD (sensor). La reflectancia se escanea en el rango espectral de 400-780 nm con una resolución espectral de aproximadamente 2 nm. La presencia de la ranura convierte una cámara matricial en una cámara lineal, por lo que para captar la imagen de la superficie pintada es necesaria una estructura motorizada por desplazamiento, en la dirección espacial no cubierta por el sensor de matriz.

Para cada pixel de reflectancia espectral obtenido, las coordenadas CIELAB L^* , a^* , b^* se calculan bajo iluminación equienérgica. También se calcularían las coordenadas L^* , a^* , b^* para la reflectancia espectral media del área de medición, imitando lo que haría un espectrofotómetro estándar, aunque en el caso de este instrumento la medición se realizaría con diferentes ajustes de iluminación y observación. Los valores de la desviación estándar serían calculados para las distribuciones L^* , a^* , b^* , como medio para caracterizar la falta de homogeneidad espacial de las muestras. Asimismo, también se calcularía la desviación estándar promedio a través de las diferentes longitudes de onda. Finalmente, los datos obtenidos se representan a través de imágenes, tablas y gráficas (Fig. 21).

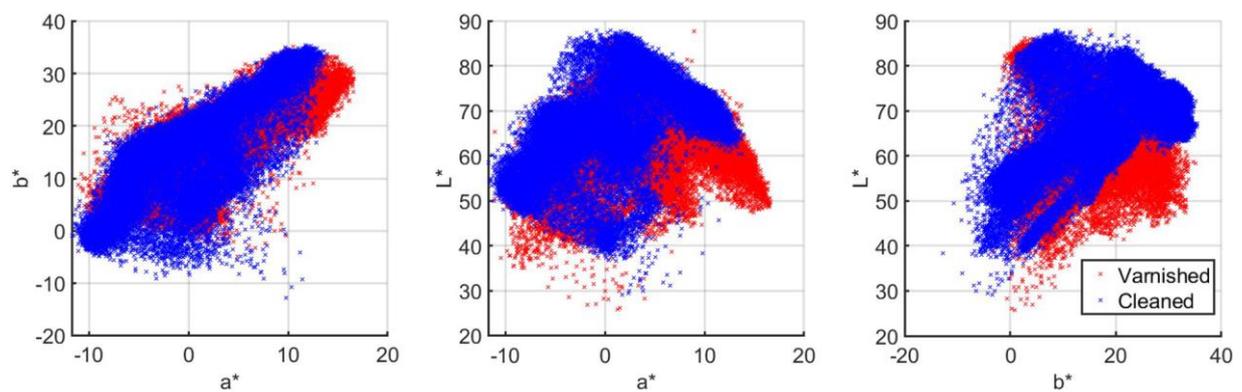


Fig. 21. Distribuciones de los valores L^* , a^* , b^* para unos mapas barnizados (antes de la limpieza, rojo) y limpios (azul), obtenidas con un espectrómetro. Imagen extraída de MARTÍNEZ DOMINGO et al. 2019: 15.

5.2.10. FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría se basa en el solapamiento parcial de varias fotografías tomadas desde diferentes ángulos, produciendo la reconstrucción 3D de la superficie del objeto de estudio. El uso de modelos 3D como herramienta en la documentación de procesos restaurativos ha ido creciendo exponencialmente, siendo esta una herramienta con la que obtener información objetiva, no invasiva y no destructiva (CEJAS ZALDÍVAR, 2018). Mediante la generación de modelos fotogramétricos de un fragmento de pintura mural antes y después del tratamiento de limpieza, se pueden comparar dichos modelos y determinar aquellas áreas en las que el tratamiento ha tenido mayor efectividad, de aquellas donde no ha sido tan resolutivo (LÓPEZ MARTINEZ et al. 2017). Esta técnica supone así una solución para obtener valoraciones objetivas de la viabilidad de los tratamientos de limpieza, cuantificando la cantidad de materia eliminada, suponiendo esta un método de análisis portátil y de bajo coste (Fig.22).

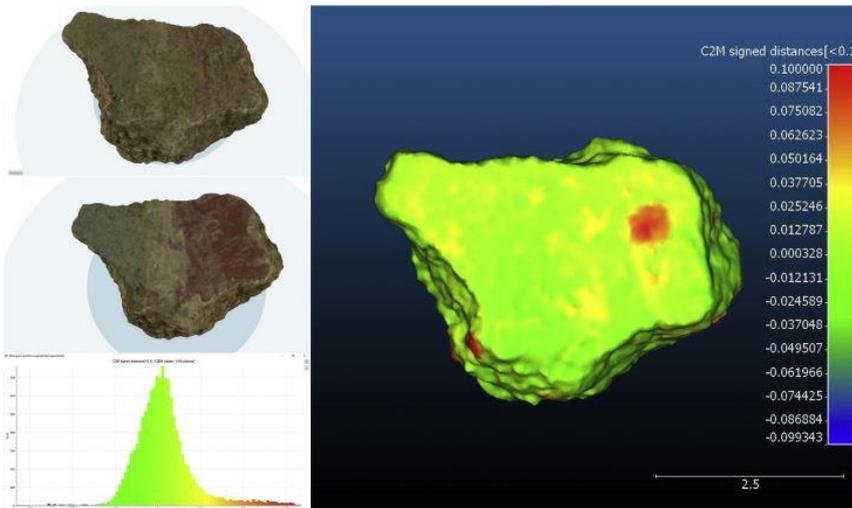


Fig. 22. Evaluación del tratamiento de limpieza en un fragmento de pintura mural. En la parte izquierda, modelos 3D del estado inicial (arriba) y posterior (abajo). En la parte derecha, mapa de distribución de las distancias a falso color, junto con un histograma (parte inferior izquierda) de la distribución porcentual de la distancia. Imagen extraída de LÓPEZ MARTÍNEZ et al. 2017: 121.

6. PROPUESTA DE UN PROTOCOLO DE EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE LIMPIEZA PARA FRAGMENTOS DE PINTURA MURAL ARQUEOLÓGICA CON PRESENCIA DE CARBONATOS

El propósito de este protocolo es diseñar un proceso de evaluación adecuado para los sistemas de limpieza sobre pintura mural arqueológica, que sea lo más adecuado y eficaz posible para la obra de arte.

6.1. SELECCIÓN DE FRAGMENTOS DESCONTEXTUALIZADOS PARA LOS ENSAYOS DE LIMPIEZA

La elección de intervenir sobre fragmentos descontextualizados de pintura mural, en lugar de sobre probetas para realizar los ensayos de limpieza, conlleva una serie de ventajas e inconvenientes. Por una parte, el tipo de patologías y envejecimiento serían los mismos entre los fragmentos descontextualizados y la pintura mural arqueológica contextualizada. Sin embargo, podría darse el caso de que el tipo de alteración por carbonatos sea más heterogéneo, porque en el espacio de una misma excavación pueden tener lugar distintos ambientes de enterramiento que propicien unas diferentes condiciones de desarrollo de las costras en la superficie del mural (LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019).

A pesar de ello, se valora la selección de material descontextualizado procedente de yacimientos arqueológicos en los ensayos de limpieza, ya que en restauración de pintura mural de origen arqueológico han surgido recientes publicaciones que lo muestran como un tipo de estudio más aproximado para sentar las bases de futuras intervenciones sobre obra real (CALERO CASTILLO, 2016; MONREAL PÉREZ, 2017; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019).

La selección de casos de estudio debe ser razonada. Estos fragmentos descontextualizados deben pertenecer a una localización geográfica concreta y se ha de tomar como factor determinante para su selección el hecho de que presenten una cronología fiable, además de una caracterización técnica y material previa, así como contar con unas dimensiones manejables para permitir un fácil control del proceso (tamaño de 12×12×4 cm como máximo por fragmento). De esta forma, se corroboraría que presentasen multitud de similitudes y que, por tanto, los resultados obtenidos en cuanto a la incidencia o inocuidad de los tratamientos para con la pintura mural arqueológica permitan extrapolarse de forma objetiva para establecer un protocolo que pueda ayudar a los restauradores.

6.2. SELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE LIMPIEZA Y MÉTODOS DE APLICACIÓN

Tras la revisión bibliográfica se han seleccionado aquellos más empleados y estudiados tanto los de manera tradicional que se siguen empleando por su efectividad, como otros métodos de incorporación más reciente usados en las últimas décadas. Por ello, se han cotejado diversas publicaciones que abordan esta metodología de limpieza aunándolas en la TABLA XXIII, de manera que, a simple vista, se puedan apreciar y comparar cuales son los tratamientos de limpieza y métodos de aplicación abordados por dichos escritos. De este modo, posteriormente se han propuesto una serie de tratamientos que parten de dicha base de estudio y que han permitido establecer una metodología concreta, rigiéndose dentro de las normas para la Conservación del Patrimonio Cultural de la Asociación Española de Normalización (AENOR) UNE-EN 41806: 2009. *Limpieza de elementos constructivos* y UNE-EN 17138: 2019. *Métodos y materiales para la limpieza de materiales inorgánicos porosos*.

Hay que destacar que, con los tratamientos de limpieza no se buscaría la completa eliminación de las concreciones de carbonatos, ya que supondría una acción demasiado agresiva sobre la capa pictórica, sino que se pretende reblandecer estos carbonatos de manera que al eliminarlos mecánicamente el proceso no afecte a la superficie policromada (NICOLA et al., 2006; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019).

Para seleccionar los tratamientos de limpieza y los métodos de aplicación, ha sido necesario valorar los métodos tradicionales y aquellos de aplicación más reciente, así como la forma en la que se aplica cada uno, proponiendo 11 pruebas dentro de las que se engloban:

Métodos tradicionales: Aquí la selección incluye tratamientos físico-mecánicos, así como los agentes químicos de limpieza en medio acuoso tradicionales de uso frecuente en la actualidad.

Métodos actuales: Aborda sobre todo una selección de agentes químicos de limpieza en medio acuoso desarrollados en las últimas décadas y de uso más habitual.

Formas de aplicación: Se han escogido los sustentantes de agentes químicos de limpieza en húmedo que mejores resultados han ofrecido en los artículos consultados.

TABLA XXIII. Comparativa de publicaciones que abordan la limpieza de carbonatos sobre pintura mural

	Manual-mecánica	Láser	Ácidos/bases	Sustancias tampón	AB57	Agentes quelantes	Intercambio iónico	Detergentes	Sustentantes	Gelificantes	Disolventes	Emulsiones
(MORA et al., 2003)												
(DOMÉNECH CARBÓ et al., 2006)												
(NICOLA et al., 2006)												
UNE-EN 41806: 2009												
(DEL ORDI CASTILLA et al., 2010)												
(BARRIO MARTÍN, 2011)												
(REGIDOR ROS et al., 2011)												
(BOSCH ROIG et al., 2013)												
(BAGLIONI et al., 2014)												
(CREMONESI, 2014)												
(COLADONATO, 2015)												
(CREMONESI, 2016)												
(NOGUERA et al., 2016)												
(REINA DE LA TORRE; 2017)												
(MONREAL PÉREZ, 2017)												
(ROIG PICAZO, et al., 2017)												
UNE-EN 16782: 2018												
(BARBERÁ GINÉ et al., 2018)												
(LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019)												
(PÉREZ BENITO, 2019)												
UNE-EN 17138: 2019												
EFFECTIVIDAD												
	Menciona sin ejemplos concretos											
	Resultado poco efectivo, no dañino											
	Resultado efectivo, pero dañino											
	Resultado efectivo											

6.2.1. PROPUESTA DE ENSAYOS DE TRATAMIENTOS DE LIMPIEZA

Por un lado, se han seleccionado unos métodos de limpieza empleados de forma tradicional consistentes en el uso de la limpieza mecánica manual (MORA et al., 2003; CREMONESI, 2014; DEL ORDI CASTILLA et al., 2016; ROIG et al., 2017), el empleo de la papeta AB₅₇ (MORA et al., 2003; DOMÉNECH et al., 2006; DEL ORDI CASTILLA et al., 2016; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019) o el uso del ácido carbónico (CREMONESI, 2014; COLADONATO, 2015). La razón por la cual han sido escogidos dichos métodos es debida a que este tipo de tratamientos sigue teniendo una gran importancia en la actualidad (DEL ORDI CASTILLA et al., 2016; NOGUERA et al., 2016; ROIG et al., 2017; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019), por lo cual sería oportuno conocer y estudiar sus resultados en cuanto al grado de eliminación de carbonatos y respeto por la capa pictórica.

Por otro lado, también se ha recurrido al empleo de otros métodos físico-químicos, como son los agentes quelantes y las sustancias tampón, ampliamente estudiados en la limpieza de estructuras pictóricas (BARROS et al., 2011), y que son los derivados del EDTA y del ácido cítrico (DOMÉNECH et al., 2006; DOMÉNECH, 2013). Para la selección de estos métodos de incorporación más reciente, se ha decantado por la propuesta de sistemas de limpieza basados en la acción de agentes químicos en solución acuosa, puesto que ofrecen un sencillo manejo del tratamiento y a diferencia de otros como el láser, no suponen un coste tan elevado, siendo más accesibles para un restaurador al uso. En el caso de las sales de EDTA, se propondría aplicar la variante tetrasódica, debido a su buena compatibilidad con el pH alcalino de la pintura mural (DEL ORDI CASTILLA et al., 2016; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019). Además, en el caso del ácido cítrico, se plantearía su uso como componente de sustancias tampón de pH controlado, combinándolo con hidróxido de amonio, obteniendo así citrato de triamonio (TAC), para poder usarlo en un buffer de ácido débil (pH 4-7), capaz de reblandecer los carbonatos trabajando de forma gradual (NICOLA et al., 2006; DEL ORDI CASTILLA et al., 2016).

A continuación, en la TABLA XXIV se establece el protocolo de actuación a seguir dependiendo del tipo de producto empleado en cada sistema de limpieza propuesto:

TABLA XXIV. Protocolo de aplicación de los sistemas de limpieza seleccionados				
Pruebas	Composición/Materiales	Forma de aplicación	Tiempo	Neutralización
PRUEBA 1: Limpieza mecánica manual	Lápiz de fibra de vidrio Bisturís Escalpelo Brochas y pinceles de cerdas suaves	Acción física de limpieza mediante la modulación de la presión sobre el material a eliminar. Posterior retirada de restos de concreciones con brochas y pinceles de cerdas suaves.	-	-
PRUEBA 2: Ácidos	Ácido carbónico (pH 6,5) H ₂ CO ₃	Empaco con pasta de celulosa Arbocel BC 1000® (interponiendo una capa de papel japonés para facilitar la retirada).	Tiempo de actuación de 10 min.	Retirada de la costra reblandecida con bisturí o escalpelo

<p>PRUEBA 3:</p> <p>Agentes complejantes/ quelantes</p> <p>AB₅₇</p>	<p>Papeta AB₅₇: 1000 c.c. de agua 30g de bicarbonato de amonio 50 g de bicarbonato de sodio 25-100 g EDTA-Na₄ (pH 11) 25 g tensoactivo New Des 50® al 10% 6 g de carboximetilcelulosa</p>	<p>El espesante de CMC que incorpora la AB₅₇ permite depositarlo en forma de gel sobre la superficie (se ha de interponer una capa de papel japonés para facilitar la retirada posterior)</p>	<p>Tiempo de actuación de 15 min.</p>	<p>Neutralización con agua bicarbonatada</p> <p>Retirada de la costra reblandecida con bisturí o escalpelo.</p>
<p>PRUEBAS 4, 5:</p> <p>Soluciones tampón</p> <p>TAC</p>	<p>Ácido cítrico en disolución acuosa al 3% (pH 3-4), graduando la limpieza añadiendo hidróxido de amonio (amoníaco), para obtener TAC. Así, se trabaja gradualmente con un pH que va del 4 al 7.</p>	<p>Mediante gel rígido. Se ha añadido a cada tampón (uno por cada rango de pH) Gellano Kelkogel® al 3%</p> <p>Mediante gel rígido. Se ha añadido a cada tampón (uno por cada rango de pH) Carbogel® al 1-2%</p>	<p>Sucesivas aplicaciones graduales de 3 min cada vez que se modifica (aumenta) el pH</p>	<p>Posterior enjuague con carbonato de amonio y luego con agua desionizada para neutralizar los posibles restos de residuos activos.</p> <p>Retirada de la costra reblandecida con bisturí.</p>
<p>PRUEBAS 6, 7 y 8:</p> <p>Agentes complejantes/ quelantes</p> <p>EDTA</p>	<p>EDTA Tetrasódico en solución acuosa al 3% (pH 11)</p>	<p>Empaco con pasta de celulosa Arbocel BC 1000® (interponiendo una capa de papel japonés para facilitar la retirada)</p> <p>Mediante gel rígido. Se ha añadido a la disolución Gellano Kelkogel® al 3%</p> <p>Mediante gel rígido. Se ha añadido a la disolución Carbogel® al 1-2%</p>	<p>Tiempo de actuación de 10 min.</p>	<p>Retirada de la costra con sucesivos hisopos de agua destilada. Retirada de la costra reblandecida con bisturí.</p> <p>Retirada del gel con hisopos (pueden estar humedecidos). Retirada de la costra reblandecida con bisturí.</p>
<p>PRUEBAS 9, 10 y 11:</p> <p>Agentes complejantes/ quelantes</p> <p>ÁCIDO CÍTRICO</p>	<p>Ácido cítrico en disolución acuosa al 1% (pH 2-3)</p>	<p>Empaco con pasta de celulosa Arbocel BC 1000® (interponiendo una capa de papel japonés para facilitar la retirada)</p> <p>Mediante gel rígido. Se ha añadido a la disolución Gellano Kelkogel® al 5% (interponiendo una capa de papel japonés para facilitar la retirada).</p> <p>Mediante gel rígido. Se ha añadido a la disolución Carbogel® al 1-2% (interponiendo una capa de papel japonés para facilitar la retirada)</p>	<p>Tiempo de actuación de 5 min.</p> <p>Tiempo de actuación de 10 min.</p>	<p>Posterior enjuague con carbonato de amonio y luego con agua desionizada para neutralizar los posibles restos de residuos activos.</p> <p>Retirada de la costra reblandecida con bisturí.</p>

6.2.2. FORMAS DE APLICACIÓN DE LOS ENSAYOS

En cuanto al modo de aplicación, a excepción de los métodos de limpieza mecánica manual y de la papeta AB₅₇, se propondría la aplicación del ácido carbónico, los agentes quelantes y *buffers* mediante el uso de empacos de pulpa de celulosa y de geles rígidos de polisacáridos fáciles de controlar visualmente (CREMONESI, 2014). La elección de un sustentante en el modo de aplicación viene determinada para controlar tanto la penetración del tratamiento, como el tiempo de retención del mismo. Así, se consigue lograr una acción más localizada sobre el sustrato a eliminar. Estos sustentantes se pueden clasificar entre soportantes, que son sustentantes que no se disuelven en los disolventes o sustancias acuosas empleadas, como la pulpa de celulosa, mientras que los espesantes o gelificantes sí que llegan a disolverse, como los éteres de celulosa, geles de polisacáridos o geles de ácidos poliacrílicos (NICOLA et al., 2006; BARBERÁ GINÉ et al., 2018; PÉREZ BENITO, 2019; LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019).

Con respecto a la pulpa de celulosa, se ha propuesto el uso **Arbocel® BC 1000**, mientras que para los espesantes se proponen: un éter de celulosa denominado **CMC** en la papeta AB₅₇, un gel rígido de polisacáridos denominado **Gellano Kelkogel®** y un gel rígido de ácidos poliacrílicos denominado **Carbogel®**, evitando así en la medida de lo posible los restos de residuos. En la TABLA XXV se muestran los sustentantes propuestos según los tratamientos de limpieza utilizados en cada prueba:

TABLA XXV. Sustentantes propuestos según los tratamientos de limpieza utilizados en cada prueba		
Nº Prueba	Tratamiento	Agente sustentante
Prueba 01	<i>Limpieza mecánica manual</i>	-
Prueba 02	<i>Ácido carbónico</i>	Arbocel® BC 1000
Prueba 03	<i>Papeta AB₅₇</i>	CMC
Prueba 04	<i>Tampón ácido débil</i>	Gellano Kelkogel®
Prueba 05	<i>Tampón ácido débil</i>	Carbogel®
Prueba 06	<i>EDTA tetrasódico</i>	Arbocel® BC 1000
Prueba 07	<i>EDTA tetrasódico</i>	Gellano Kelkogel
Prueba 08	<i>EDTA tetrasódico</i>	Carbogel®
Prueba 09	<i>Ácido cítrico</i>	Arbocel® BC 1000
Prueba 10	<i>Ácido cítrico</i>	Gellano Kelkogel®
Prueba 11	<i>Ácido cítrico</i>	Carbogel®

6.3. PROTOCOLO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA LIMPIEZA DE CARBONATOS

Atendiendo a lo expuesto en diversas publicaciones, como la del IVCR+i en 2020, habría que partir de la base de que tanto la técnica de ejecución, los materiales y los pigmentos en la pintura mural arqueológica a intervenir estuvieran correctamente caracterizados. Además, se ha de someter a los fragmentos objeto de estudio a una limpieza mecánica superficial para retirar los restos descohesionados de concreciones y tomar una muestra de las mismas para poder identificar su composición. Partiendo de este preámbulo, se pasaría a desarrollar el siguiente protocolo de evaluación en 15 fases, que se han englobado dentro de 3 epígrafes:

- Diagnóstico del estado de conservación inicial de los fragmentos (TABLA XXVI): Fases 1-6.
- Evaluación y seguimiento durante la limpieza (TABLA XXVII): Fases 7-9.
- Diagnóstico del estado de conservación final de los fragmentos tras la limpieza (TABLA XXVIII): Fases: 10-15.

6.3.1. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN INICIAL DE LOS FRAGMENTOS

TABLA XXVI. Fases del diagnóstico del estado de conservación inicial de los fragmentos

FASE 1	<p style="text-align: center;">TEST DE IDENTIFICACIÓN DE CARBONATOS</p> <p>Efectuar el test de ácido nítrico sobre una muestra de concreción para identificar carbonatos.</p>
FASE 2	<p style="text-align: center;">DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA INICIAL</p> <p>a.- Toma de fotografías generales y parciales con escala del anverso y reverso de los fragmentos con cámara réflex. La toma de fotografías que se propone realizar sería mediante una cámara Réflex <i>Nikon D3100</i> con objetivo gran angular de 18-55 mm apoyada en un trípode como soporte auxiliar para asegurar la obtención de fotografías de buena calidad, así como con carta de color y escala como referencias.</p> <p>b.- Apertura de una ficha técnica para cada fragmento objeto de estudio donde se vayan depositando los datos obtenidos.</p> <p>c.- Selección de puntos de análisis mediante la realización de plantillas de acetato.</p> <p>d.- Fotografía general del anverso de los fragmentos con iluminación UV para identificar o descartar posibles restos de adhesivos procedentes de un posible engasado previo. La pintura mural se fotografiaría empleando como fuente de iluminación una Lámpara <i>CTS ART LUX 10L</i>, 10 LED High CRI 5000° K y la cámara digital usada para captar las imágenes sería una <i>Nikon D3100</i>, con objetivo gran angular de 18-55 mm y filtro UV. Asimismo, esta observación también podría ser lograda en detalle mediante el empleo de un microscopio USB con luz UV incorporada, en caso de querer profundizar</p>

	<p>en el registro de datos. Para captar imágenes digitales con una cámara réflex, se necesitaría un filtro de obstaculización que bloquee el UV reflejado, dejando pasar la fluorescencia visible al sensor¹⁸ de la cámara digital (ESPINOSA IPINZA et al., 2011).</p> <p>e.- Toma de fotografías con microscopio estereoscópico en los puntos de análisis seleccionados dentro de las plantillas de acetato. Para realizar esta evaluación se propone utilizar un microscopio estereoscópico <i>NIKON SMZ 1000</i>, del que se pueden obtener microfotografías de la superficie gracias a la cámara que lleva incorporada el dispositivo (DS-U3 Digital Camera).</p> <p>f.- Obtención de fotografías para la generación de un modelo fotogramétrico inicial del estado de conservación de cada fragmento objeto de estudio. Para la realización de fotografías se posiciona el fragmento junto con una escala en un soporte giratorio dentro de una caja de luz con iluminación general y con la ayuda de 4 focos auxiliares. La cámara se posiciona sobre un trípode a cuatro alturas distintas (0°, 25°, 50° y 75° con respecto a la horizontal), de forma que es el objeto el que gira estando la cámara fija en cada una de las diferentes posiciones (LÓPEZ MARTINEZ, 2019). Asimismo, se ha de mantener una distancia constante entre el objetivo y el fragmento de unos 20 cm. La cámara empleada podría ser una <i>Nikon D3100</i> con objetivo gran angular de 18-55 mm, manteniendo en todo momento la distancia focal fija en 18 mm, con una apertura del diafragma de f/22, un tiempo de exposición 1/30, ISO-A 1100 y realizando el balance de blancos a partir de la fotografía. El proceso continúa con la toma de fotografías con la cámara digital, cubriendo toda la superficie de los fragmentos para digitalizarlos, donde se toman unas 150 fotografías por fragmento para barrer toda la superficie de forma precisa. Para ello se debe asegurar que las condiciones de iluminación y la posición del objeto deberán de ser las mismas, sobre todo cuando se van a comparar posteriormente dos modelos (estado inicial y estado final tras la limpieza) de cada fragmento seleccionado.</p>
<p>FASE 3</p>	<p>MAPEO DE LA SUPERFICIE PICTÓRICA Y SUS ALTERACIONES</p> <p>a.- Mapeo de datos para el diagnóstico del estado de conservación de cada fragmento con <i>Illustrator</i> y <i>QGIS3</i> a partir de la documentación fotográfica inicial. Para la obtención de los modelos bidimensionales se realizarían calcos en acetato sobre la pintura mural con rotuladores indelebles, y se digitalizarían posteriormente usando principalmente con tres programas: <i>QGIS</i>, <i>Adobe Photoshop</i> y <i>Adobe Illustrator</i>. Con este levantamiento gráfico, se obtienen mapas de datos sobre los fragmentos, que a su vez nos muestran el deterioro de los mismos, posibilitando completar el informe diagnóstico de conservación de los fragmentos. En estos mapas se siguen unos códigos de formas y colores que especifican el tipo de información expuesta, apareciendo, por ejemplo, la capa pictórica en rojo, el color azul para las concreciones, el rosa en las alteraciones cromáticas, el puntillismo negro para señalar la disgregación y pulverulencia, amarillo para las grietas, verde en las lagunas y naranja señalando el mortero del soporte.</p> <p>b.- Análisis cuantitativo de la presencia porcentual de carbonatos inicial sobre la superficie pictórica y sus alteraciones a través de tecnologías SIG: Generación de mapas de datos con <i>QGIS3</i>. Con la documentación fotográfica inicial general y con microscopio estereoscópico de las zonas seleccionadas, se propone cuantificar el porcentaje de capa pictórica visible previamente a la</p>

¹⁸ El sensor de una cámara digital también es denominado CCD (Charge-coupled device o dispositivo de carga acoplada).

	<p>aplicación del tratamiento de limpieza, evidenciando la afección que tienen estas concreciones sobre la superficie de la pintura. Para obtener datos cuantitativos, a la tecnología SIG le basta con un simple mapa de datos o daños vectorial trazado a partir del registro fotográfico. Los SIG permiten proyectar las medidas reales de la obra y sus alteraciones mediante coordenadas cartesianas. Por ello, se puede calcular de forma sencilla las áreas de los elementos representados y su alcance porcentual, como es el caso de los carbonatos que afectan a la pintura mural arqueológica. Para el empleo de esta tecnología, se propone procesar las imágenes con el software QGIS3, proyectando las medidas sobre el registro fotográfico de la pintura mural insertando cuatro puntos de control. Tras este proceso, los extremos de la pintura quedan definidos en la fotografía por las coordenadas especificadas en milímetros, y con él, cualquier punto contenido en la superficie pictórica. Sobre la imagen referenciada espacialmente y con el QGIS3, se puede trazar un mapa de datos convencional, encargado de recoger los carbonatos presentes en la superficie del mural, aplicando una capa para la superficie pictórica (abarcando todo su contorno) y otra para las costras. En las tareas de edición, los SIG poseen una interfaz similar a otros programas de diseño técnico, pudiendo aportar de forma automática el área y el contorno de cada vector que se traza. De este modo, se pueden determinar las dimensiones numéricas de cualquier entidad del mapa de datos.</p>
<p>FASE 4</p>	<p>ESTUDIO COLORIMÉTRICO INICIAL</p> <p>a.- Medición del color inicial en los puntos de análisis de la pintura asignados en las plantillas de acetato mediante espectrofotómetro. La instrumentación que se propone usar para tomar las medidas del color puede consistir en un espectrofotómetro <i>Konica-Minolta CM-2600d</i>, eligiendo como condiciones de medida: geometría de iluminación difusa y detección a 8º, componente especular excluida (SCE), área de apertura del instrumento de 3 mm, opción de iluminación con UV 0%, iluminación estándar CIE D65 (ISO 11664-2:2007) y observador colorimétrico estándar CIE 1964 (ISO 11664-1:2007). La gestión de la información obtenida se realiza con el programa <i>SpectramageTMNX Pro Color Data</i>, proporcionado por <i>Konica Minolta</i>. La calibración del instrumento se lleva a cabo usando la placa de calibración blanca CM-A145, para el máximo de claridad, y la caja de calibración del cero CM-A32, para el mínimo de claridad, proporcionadas por el fabricante del espectrofotómetro.</p> <p>b.- Medición del color inicial abarcando toda la superficie pictórica de cada fragmento mediante obtención de imágenes espectrales con el espectrómetro. La instrumentación que se propone usar puede consistir en un espectrómetro <i>Resonon Pika L VIS-NIR</i> con cámara de exploración lineal en 150 bandas de 380 a 1000 nm en tramos de 4 nm. Los datos serían recogidos en un rango entre los 400 y 950 nm, debido a la escasa señal para las longitudes de onda extremas del espectro, interpolándose con un paso regular de 5 nm, lo que resulta en 111 bandas (de 400 a 950 nm en tramos de 5 nm). La iluminación utilizada para la captura es una lámpara halógena suministrada por los fabricantes del dispositivo para iluminar la plataforma lineal en la que se colocarían los fragmentos. Los generadores de imágenes espectrales suelen responder a la señal luminosa que proviene de la muestra de la imagen, que es el producto de la distribución de la potencia espectral de la iluminación y la reflectancia espectral de la muestra. Con el fin de recuperar sólo la información de la muestra, la información de la iluminación debe ser descontada usando un procedimiento de campo plano. Para tal fin, se usa una baldosa de teflón de referencia blanca también proporcionada por los fabricantes. La iluminación espacial heterogénea y oscura serían corregidas por la calibración interna del espectrómetro.</p>

<p>FASE 5</p>	<p>PROCESADO DE DATOS DE LA FOTOGRAMETRÍA INICIAL DE LOS FRAGMENTOS</p> <p>Obtención de un modelo fotogramétrico inicial del estado de conservación de cada fragmento objeto de estudio a partir de la toma de 150 fotografías por fragmento en la fase 2. Los modelos fotogramétricos se generan con el programa <i>Agisoft Photoscan</i>, efectuando máscaras en todas las fotografías, realizando la alineación de fotos en precisión alta, pasando a la creación de la nube de puntos en calidad alta, al igual que la generación de la malla, y la creación de la textura con mapeado genérico y modo de mezcla mosaico, obteniendo modelos cuyas mayas varían entre 800.000 y 975.000 triángulos, reconstruyendo virtualmente la superficie. De este modo el software <i>Agisoft Photoscan</i> automáticamente rota las imágenes y extrae sus equivalencias, detectando sus puntos homólogos, de forma que se reconstruye su posición tridimensional a partir de la información bidimensional de fotografías. Este proceso se propone llevar a cabo con un procesador Intel® Core™ i7 – 620LM a 2.00 GHz, 6 GB de RAM y una tarjeta gráfica Intel® HD Graphics 3000. Posteriormente a la realización de los modelos, se propone exportarlos en formato .obj.</p>
<p>FASE 6</p>	<p>MEDICIÓN INICIAL DEL PH Y LA CONDUCTIVIDAD DE LA SUPERFICIE PICTÓRICA</p> <p>a.- Determinación de la zona isotónica de la pintura mural arqueológica mediante la medición de la conductividad con una pastilla de agarosa (2-4% en solución acuosa destilada). Se deposita sobre la superficie durante 20 min y posteriormente se coloca en el conductímetro para obtener el dato numérico en mS.</p> <p>b.- Determinación del pH: La misma pastilla anterior se puede reaprovechar para medir el pH, añadiendo unas gotas de agua destilada y depositándola en el pHmetro hasta que se estabilice.</p>

6.3.2. EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DURANTE LA LIMPIEZA

<p>TABLA XXVII. Fases de evaluación y seguimiento durante la limpieza</p>	
<p>FASE 7</p>	<p>MEDICIÓN DEL PH Y LA CONDUCTIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE LIMPIEZA EN MEDIO ACUOSO SELECCIONADOS</p> <p>a.- Determinación de la tonicidad de los sistemas de limpieza en medio acuoso mediante la medición de la conductividad con un gel de agarosa (3-5% en la solución acuosa de limpieza seleccionada). Posteriormente se coloca en el conductímetro para obtener el dato numérico en mS.</p> <p>b.- Determinación del pH: La misma pastilla de gel anterior se puede reaprovechar para medir el pH, añadiendo unas gotas de agua destilada y depositándola en el pHmetro hasta que se estabilice.</p>

FASE 8	<p>APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS DE LIMPIEZA</p> <p>Para ello, se debe seguir el procedimiento contemplado en los puntos 6.2.1. y 6.2.2. de este trabajo: Propuesta de ensayos de tratamientos de limpieza y Formas de aplicación de los ensayos.</p>
FASE 9	<p>DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA DEL PROCESO DE LIMPIEZA</p> <p>a.- Toma de fotografías generales y de detalle de los sistemas de limpieza en medio acuoso elaborados y de su aplicación, con los medios contemplados en la fase 2.</p> <p>b.- Registro de datos en cada ficha técnica de los fragmentos objeto de estudio.</p>

6.3.3. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS FRAGMENTOS TRAS LA LIMPIEZA

TABLA XXVIII. Fases del diagnóstico del estado de conservación de los fragmentos tras la limpieza	
FASE 10	<p>MEDICIÓN FINAL DEL PH Y LA CONDUCTIVIDAD DE LA SUPERFICIE PICTÓRICA Y DETERMINACIÓN DE SU INCIDENCIA EN LA ESTABILIDAD QUÍMICA</p> <p>a.- Medición de la conductividad con una pastilla de agarosa (2-4% en solución acuosa destilada). Se deposita sobre la superficie durante 20 min y posteriormente se coloca en el conductivímetro para obtener el dato numérico en mS.</p> <p>b.- Determinación del pH: La misma pastilla anterior se puede reaprovechar para medir el pH, añadiendo unas gotas de agua destilada y depositándola en el pHmetro hasta que se estabilice.</p> <p>c.- Relacionar la incidencia de cada tratamiento sobre la estabilidad química de la capa pictórica.</p>
FASE 11	<p>DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA FINAL Y DETERMINACIÓN DE LA EXISTENCIA O NO DE RESIDUOS EN SUPERFICIE MEDIANTE ILUMINACIÓN UV INDUCIDA</p> <p>a.- Toma de fotografías generales y parciales con escala del anverso de los fragmentos con la cámara réflex, con los medios mencionados en la fase 2.</p> <p>b.- Fotografía general del anverso de los fragmentos con iluminación UV para identificar o descartar posibles residuos procedentes de la limpieza, con los medios ya citados en la fase 2.</p> <p>c.- Toma de fotografías con microscopio estereoscópico en los puntos de análisis de las plantillas de acetato seleccionados tras la limpieza, con la instrumentación expuesta en la fase 2.</p>

	<p>d.- Obtención de fotografías para la generación de un modelo fotogramétrico final del estado de conservación de cada fragmento objeto de estudio, siguiendo el procedimiento de captura, toma de imágenes y procesado anteriormente contemplado.</p>
FASE 12	<p>MAPEO DE LA SUPERFICIE PICTÓRICA A POSTERIORI DE LA LIMPIEZA Y DETERMINACIÓN PORCENTUAL DE CARBONATOS ELIMINADOS</p> <p>a.- Mapeo de datos para el diagnóstico del estado de conservación de cada fragmento con <i>Illustrator</i> y <i>QGIS3</i> a partir de la documentación fotográfica final, siguiendo el procedimiento contemplado en la fase 3.</p> <p>b.- Análisis cuantitativo de la presencia porcentual de carbonatos después de la limpieza sobre la superficie pictórica y sus alteraciones a través de tecnologías SIG: Generación de mapas de datos con <i>QGIS3</i>. Con la documentación fotográfica final general y con microscopio estereoscópico de las zonas seleccionadas, se propone cuantificar el porcentaje de capa pictórica visible tras la aplicación del tratamiento de limpieza, evidenciando la efectividad en la eliminación de las concreciones carbonáticas dependiendo de cada método empleado. Para ello, se ha seguido el procesado de datos expuesto en la fase 3.</p> <p>c.- Comparación de los análisis porcentuales de la presencia de carbonatos inicial y final para la determinación cuantitativa del porcentaje de carbonatos eliminado y la eficacia de los procesos de limpieza. De este modo, se podrían determinar las dimensiones numéricas de cualquier entidad del mapa de datos, y, por ende, cuantificar la eficacia del proceso de limpieza mediante los porcentajes de afección de los carbonatos, de los que, además, se puede extraer cual ha sido su disminución tras el tratamiento.</p>
FASE 13	<p>ESTUDIO COLORIMÉTRICO FINAL Y DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN CROMÁTICA</p> <p>a.- Medición del color final en los puntos de análisis mediante espectrofotómetro, siguiendo el procedimiento establecido en la fase 4.</p> <p>b.- Medición del color final de cada fragmento mediante obtención de imágenes espectrales con el espectrómetro, siguiendo las pautas marcadas en la fase 4.</p> <p>c.- Comparación los estudios colorimétricos inicial y final para la determinación de la variación cromática producida como consecuencia de los tratamientos de limpieza.</p>
FASE 14	<p>PROCESADO DE DATOS DE LA FOTOGRAMETRÍA FINAL DE LOS FRAGMENTOS Y DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN VOLUMÉTRICA</p> <p>a.- Obtención de un modelo fotogramétrico final de cada fragmento objeto de estudio, siguiendo el procedimiento de captura, toma de imágenes y procesado anteriormente contemplado en la fase 5.</p>

	<p>b.- Comparación de modelos fotogramétricos inicial y final en <i>Cloud Compare</i> para poder conocer la variación volumétrica producida en la superficie producto del proceso de limpieza. Posteriormente a la realización de los modelos, se propone exportarlos en formato .obj, pudiendo importarlos en el programa <i>Cloud Compare</i>. Este es un software de acceso libre de edición y procesado de nubes de puntos 3D y mallas triangulares, con el cual se pueden alinear los levantamientos fotogramétricos antes y después del tratamiento. Para ello, se deben escoger al menos cuatro puntos homólogos que sean visibles en ambos modelos y que estén repartidos por todo el modelo. Tras realizar la alineación de las dos mallas para su comparación se puede calcular la distancia existente entre ellas. Para este fin se selecciona como modelo de referencia el fragmento tras la limpieza, y se calcula la distancia más cercana que existe entre los triángulos de éste y los vértices de malla del mismo objeto, pero en su estado inicial. Esta estimación se puede reflejar en mapas de falso color que oscilan del rojo al azul (LÓPEZ MARTINEZ et al. 2017), siendo las zonas rojas los vértices que mantienen una mayor distancia con respecto al modelo de referencia en valores positivos, las verdes las que coinciden plenamente entre mallas y las azules las que presentan una mayor distancia respecto al modelo de referencia en valores negativos. Este último color no debe aparecer en el fragmento, ya que conllevaría haber agregado material tras su estado inicial, o de otro modo que la alineación entre ambos modelos no haya sido la correcta. De esta forma, se obtiene un histograma de cada fragmento que muestra la distribución de la concreción eliminada durante la limpieza de manera porcentual, recogiendo la información de la disminución del volumen en la superficie del fragmento de forma fiable.</p>
<p>FASE 15</p>	<p>ANÁLISIS DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE CADA UNO DE LOS PROCEDIMIENTOS</p> <p>a.- Cierre del registro de datos en cada ficha técnica de los fragmentos objeto de estudio.</p> <p>b.- Análisis de la incidencia que cada sistema de limpieza ha tenido sobre la estabilidad química de la capa pictórica.</p> <p>c.- Determinación cuantitativa del porcentaje de carbonatos eliminado.</p> <p>d.- Cuantificación de la variación cromática producida con los tratamientos.</p> <p>e.- Medición de la variación volumétrica tras la eliminación de carbonatos.</p> <p>f.- Obtención de conclusiones derivadas de los resultados obtenidos.</p>

7. CONCLUSIÓN

Por una parte, el estudio de caracterización de pigmentos, materiales, técnicas de ejecución de la pintura mural, alteraciones, y, en concreto, de la procedente del ámbito arqueológico de época romana, es una premisa esencial de la que se debe partir para poder realizar posteriormente cualquier tipo de tratamiento con una finalidad conservativa y restaurativa, que en este caso responde a la eliminación de carbonatos.

Por otro lado, la revisión de sistemas de limpieza tanto tradicionales como contemporáneos, ha permitido poder contrastar una serie de factores clave que se deben tener en cuenta a la hora de aplicarlos sobre la superficie pictórica afectada por las concreciones carbonáticas. Dichos factores comprenden los métodos de aplicación, los tiempos y la neutralización de los tratamientos una vez han actuado. Los sistemas seleccionados se encuadran en mayor parte dentro de un ambiente acuoso, debido a su respeto y compatibilidad por los materiales originales que componen la pintura mural. De este modo, en caso de que este trabajo se llevara a la práctica, se podrían evaluar tanto las ventajas como los inconvenientes que suponen usar distintos sustentantes dependiendo del tratamiento de limpieza al que acompañen. Asimismo, son métodos que ofrecen un sencillo manejo del tratamiento y a diferencia de otros como el láser, no suponen un coste tan elevado, siendo además de sistemas seguros, asequibles y poco tóxicos para efectuar la labor restaurativa. Sin embargo, no por ello se ha descartado el uso de sistemas de limpieza físico-mecánica, puesto que la intención de incorporar medios químicos que mejoren las propiedades físico-químicas del agua es la de reblandecer las concreciones, para retirarlas de forma manual sin poner en riesgo los estratos pictóricos.

De igual modo, el protocolo de evaluación propuesto arrojaría una respuesta objetiva a uno de los procedimientos más controvertidos dentro de la restauración, como es la limpieza de aquellos depósitos que ocultan la superficie pictórica original, y que, en este caso, están compuestos por carbonatos. La división en tres fases del protocolo (antes, durante y después de la limpieza), permitiría generar un completo seguimiento del estado de conservación de los fragmentos descontextualizados de pintura mural objeto de estudio, y, a su vez, garantizar la fiabilidad de la intervención.

Finalmente, la aplicación de este protocolo permitiría conocer la estabilidad química de la superficie pictórica con la limpieza, certificar o descartar la posible presencia de residuos derivados de esta, cuantificar la variación total del volumen y el porcentaje de carbonatos eliminados en la superficie, así como medir la variación cromática total producida por este proceso. Por tanto, llevando esta propuesta de intervención a la práctica, se podría conocer de forma objetiva la eficacia o no de los procesos de limpieza y su inocuidad para seleccionar los tratamientos más adecuados en cada caso.

BIBLIOGRAFÍA

MONOGRAFÍAS

- ABAD CASAL, L.; 1982a. *La pintura Romana en España*, Universidad de Alicante, Alicante.
- AUGUSTI, S.; 1967. *I colori pompeiani*. Luca Editore
- BRANDI, C.; 1977. *Teoria del restauro*, Torino (Turín), Giulio Einaudi Editore. Traducido del italiano al castellano por María Ángeles Toajas Roger, *Teoría de la restauración*, Madrid, Alianza Forma. 1992.
- BERDUCOU, M.C.; 1990. *La conservation en archéologie*. Masson, París.
- CATHER, S.; 1992. *The conservation of Wall Paintings*. Getty Publications, Londres.
- CREMONESI, P.; 2004. *L'uso di tensoattivi e chelanti nella pulitura di opere policrome*. 2ª ed., Editorial Il Prato. Saonara (Padova, Italia).
- CREMONESI, P.; 2014. *El ambiente acuoso para el tratamiento de obras policromas*. Editorial Il Prato. Saonara (Padova, Italia).
- CREMONESI, P.; 2016. *Un approccio alla pulitura dei dipinti mobili*. Editorial Il Prato. Saonara (Padova, Italia).
- DOMÉNECH CARBÓ, M.T., YUSÁ MARCO, J. Y.; 2006. *Aspectos físico-químicos de la pintura mural y su limpieza*. Editorial Universitat Politècnica de València, Valencia.
- DOMÉNECH CARBÓ, M.T.; 2013. *Principios físico-químicos de los materiales integrantes de los bienes culturales*. Editorial Universitat Politècnica de València, Valencia.
- FERRER MORALES, A.; 2005. *La pintura mural: su soporte, conservación, restauración y las técnicas modernas*. Universidad de Sevilla. Secretariado de publicaciones. Sevilla.
- FUSTER LÓPEZ, L.; STOLS-WITLOX, M.; PICOLLO, M.; 2020. *Técnicas de imagen de Luminiscencia UV-Vis*. Editorial Universitat Politècnica de València, Valencia.
- GARCÍA FORTES, S., FLOS TRAVIESO, N.; 2008. *Conservación y restauración de bienes arqueológicos*. Síntesis S.A., Madrid.

- MATTEINI, M.; ARCANGELO, M.; *La Chimica nel restauro. I materiali dell'arte pittorica*, Firenze (Firencia), Nardini Editore, 1989. Traducido del italiano al castellano por Emiliano Bruno y Guiulana Lain. La química en la restauración. Los materiales del arte pictórico. Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía-IAPH, Sevilla. Editorial Nerea S.A., Hondarribia (Guipúzcoa). 2001.
- MAYER, R.; 1993. *Materiales y técnicas del arte*. Tursen S. A., Madrid.
- MORA, P. y L., PHILIPPOT, P.; 2003. *La conservación de las pinturas murales*. Universidad externada de Colombia, Bogotá.
- NOGUERA, J. M.; et al.; 2016. *Barrio del Foro Romano/Molinete/Cartagena. Proyecto integral de recuperación y conservación*. Ayuntamiento de Cartagena y Consorcio Cartagena Puerto de Culturas, Cartagena (Murcia).
- ROIG PICAZO, P.; CAMPOS GONZÁLE, C.; BERNAL NAVARRO, J.C.; REGIDOR ROS, J.L.; MARCENAC, V.; MADRID GARCÍA, J.A.; VALCÁRCEL ANDRÉS, J.C.; 2017. *Intervención Arquitectónica y Pictórico-Ornamental en la Iglesia Parroquial de San Nicolás Obispo y San Pedro Mártir de Valencia*. Parroquia de San Nicolás, Valencia.
- VITRUBIO POLIÓN, M. *Los diez libros de arquitectura*. Alianza Forma. 1995. Madrid.
- WOLBERS, R.C.; 2000. *Cleaning Painted Surfaces. Aqueous Methods*. Archetype Publications, Londres.

CURSOS, CONGRESOS Y CONFERENCIAS

- COLADONATO, M.; 2015. *La restauración sostenible: Los sistemas acuosos y los disolventes orgánicos en limpieza de obras de arte*. 27-30 de abril de 2015, Granada, Universidad de Granada.
- ESCOLANO, A.; 2020. *Agua, Papel y Sales de Baño*. 30 de abril de 2020, Granada, Universidad de Granada. [En línea] [Fecha de consulta: 1/05/2020] Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=W8OQsJRNqcw&t=1558s>

- MARTINEZ DOMINGO, M. A.; CALERO CASTILLO, A. I.; VALERO, E.; 2019. *Colorimetric and spectral data analysis of consolidants used for preservation of medieval plasterwork*. Departamento de Óptica y Departamento de Pintura de la Universidad de Granada. IV International Congress Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage, 26-30 de marzo de 2019, Sevilla, TechnoHeritage. [En línea] [Fecha de consulta: 12/03/2020] Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/332275219_Colorimetric_and_spectral_data_analysis_of_consolidants_used_for_preservation_of_medieval_plasterwork

- GROETEMBRIL, S.; GUIRAL PELEGRÍN, C.; ÍÑIGUEZ BERROZPE, L.; 2017. *Un yacimiento con pinturas romanas: ¡Qué no cunda el pánico! Técnicas de recuperación de la pintura mural romana*. I Congreso nacional de arqueología profesional, 04-06 de abril de 2017, Zaragoza, Consejo General de Colegios de Filosofía y Letras y en Ciencias. [En línea] [Fecha de consulta: 12/03/2020] Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/325486620_Un_yacimiento_con_pinturas_romanas_Que_no_cunda_el_pánico_Técnicas_de_recuperación_de_pintura_mural_romana

ARTÍCULOS Y DOCUMENTOS ONLINE

- ABAD CASAL, L.; 1982b. *Aspectos técnicos de la pintura mural en España*, Lucentum, I, 52, pág. 135-172. [En línea] [Fecha de consulta: 12/04/2020] Disponible en:
<http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/4521>

- ABAD CASAL, L.; 1982c. *Algunas consideraciones sobre los colores y su empleo en pintura*. En AA.VV., Homenaje a Sáenz de Buruaga, 397-406. [En línea] [Fecha de consulta: 12/04/2020] Disponible en:
<http://www.hermanosdearmas.es/wp-content/uploads/2017/12/Algunas-consideraciones-sobre-los-colores-romanos-y-su-empleo-en-la-pintura.pdf>

- APPOLONIA, L.; BERTONE, A.; BRUNETTO, A.; VAUDAN, D.; 2000. *"The St. Orso Priory: the comparison and testing of cleaning methods"*, Journal of Cultural Heritage, 1, 105-110 [En línea] [Fecha de consulta: 12/03/2019] Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207400001886>

- ARCOS VON HAARTMAN, M.E.; 2015. *El azul egipcio en la pintura de Cástulo (Jaén)*. Anuario. Real Academia de Bellas Artes de San Telmo. Nº 15: 91-97. Real Academia de Bellas Artes de San Telmo, Málaga. [En línea] [Fecha de consulta: 08/02/2019] Disponible en:
https://www.realacademiasantelmo.org/wp-content/uploads/2015/06/EVH_EL_AZUL_EGIPCIO_EN_LA_PINTURA_DE_CASTULO.pdf

- BAGLIONI, P., et al.; 2013. *Micelle, microemulsions, and gels for the conservation of cultural heritage*. Elsevier. *Advances in Colloid and Interface Science* 205 (2014): 361- 371 [En línea] [Fecha de consulta: 28/10/2019] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/258346696_Micelle_microemulsions_and_gels_for_the_conservation_of_cultural_heritage

- BARBERÁ GINÉ, A.; MARÍN ORTEGA, S.; 2018. *The removal of Paraloid B-72 coatings with aqueous gelled systems: Roman frescoes from Empúries, Catalonia*. Conclusions from the “Gels in conservation” conference. [En línea] [Fecha de consulta: 27/11/2019] Disponible en: <https://lleida.academia.edu/AleixBarber%C3%A0Gin%C3%A9>

- BARRIO MARTÍN, J.; 2010. *La tecnología Láser aplicada a los procesos de conservación y restauración de objetos metálicos arqueológicos*. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid. pp. 79-98. [En línea] [Fecha de consulta: 27/11/2019] Disponible en: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/668821>

- BARROS GARCÍA, J.M.; 2001. *Los efectos del proceso de limpieza en las estructuras pictóricas*. PH. Núm 36: 53-61. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Sevilla. [En línea] [Fecha de consulta: 18/07/2019] Disponible en: <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/1221/1221#.W9YJoGhKjIU>

- BARROS GARCÍA, J.M.; LLANO TORRE, S.; RODRIGUEZ SERRANO, M.; 2011. *Utilización de ácido cítrico y EDTA en la limpieza de estructuras pictóricas*. *Estudos de Conservação e Restauro*. Nº 3: 32-45. Universidade Católica Portuguesa. Centro de Investigação em Ciência e Tecnologia das Artes, Porto (Portugal). [En línea] [Fecha de consulta: 18/07/2019] Disponible en: <https://revistas.rcaap.pt/ecr/issue/view/236>

- BEARAT, H.; 1996. *Quelle est la gamme exacte des pigments romains? Confrontation des resultats d'analyse et des textes de Vitruve et de Pline*. En *Proceedings of the International Workshop on Roman Wall Painting*, 11-34. Fribourg.

- BORGIOLI, L.; 2018. *Agentes complejantes*. [Relación técnica] [En línea] [Fecha de consulta: 14/11/2019] Disponible en: <https://shopespana.ctseurope.com/agentescomplejantesesp.pdf>

- BOSCH ROIG, P.; 2011. *Caracterización del biodeterioro y desarrollo de nuevos tratamientos de limpieza aplicables a los frescos restaurados de Antonio Palomino en la Iglesia de los Santos Juanes de Valencia* [Tesis doctoral]. Editorial Universitat Politècnica de València. [En línea] [Fecha de consulta: 14/11/2019] Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/9920>

- BOSCH ROIG, P.; REGIDOR ROS, J. L.; SORIANO-SANCHO, P.; DOMÉNECH-CARBÓ, M.T.; MONTES ESTELLÉS, R.M.; 2010. *Ensayos de Biolimpieza en Pinturas Murales*. Arché 4-5, 115-122 [En línea] [Fecha de consulta: 14/11/2019] Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/30704/2010_04-05_117_124.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- BOSCH ROIG, P.; REGIDOR ROS, J. L.; MONTES ESTELLÉS, R.M.; 2013. *Biocleaning of nitrate alterations on Wall paintings by Pseudomonas stutzeri*. International Biodeterioration & Biodegradation 84 (2013): 266-274 [En línea] [Fecha de consulta: 14/11/2019] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830512002612?via%3Dihub>
- CALABRIA SALVADOR, I.; ZALBIDEA MUÑOZ, M.A.; 2019. *Estudio de las pinturas murales de la Sala del Mosaico de los Amores de la ciudad ibero-romana de Cástulo*. Ge-conservación, nº 46, pp. 45-61. [En línea] [Fecha de consulta: 13-01-2020] Disponible en: <https://ge-iic.com/ojs/index.php/revista/article/view/663>
- CALERO CASTILLO, A.I.; 2016. *Materiales, técnicas y procedimientos en la decoración arquitectónica. Aplicaciones a la conservación y restauración de las yeserías del Patio de las Doncellas. Real Alcázar de Sevilla*. Granada [Tesis doctoral]. Universidad de Granada. [En línea] [Fecha de consulta: 18/01/2020] Disponible en: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/43864>
- CHAMÓN FERNANDEZ, J., BARRIO MARTÍN, JOAQUIN Y CRIADO PORTAL, A. J.; 2008. *El láser de ablación como herramienta de limpieza en el Patrimonio Arqueológico*. Real Sociedad Española de Química, 2018, Anales de Química, Vol. 104, págs. 265-269. [En línea] [Fecha de consulta: 14/11/2019] Disponible en: <http://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/view/386/375>
- CREMONESI, P.; 2008. *Modificar las propiedades y la acción del agua y de los disolventes orgánicos, incrementando su viscosidad gracias a los gelificantes*. Grupo español IIC. [En línea] [Fecha de consulta: 12/03/2019] Disponible en: www.ge-iic.com/files/Cursos/Cremonesi_Ponencia.pdf
- CREMONESI, P.; 2005. *Reflexiones sobre la limpieza de superficies policromadas*. Publicación interna del Laboratorio Regionale di restauro, Formazione ed Evoluzione. Regione Liguria, Italia. [En línea] [Fecha de consulta: 12/03/2019] Disponible en: www.raco.cat/index.php/UNICUM/article/viewFile/290235/378488
- DEL ORDI CASTILLA, B.; REGIDOR ROS, J.L.; PASÍES OVIEDO, T.; 2010. *Revisión de tratamientos de limpieza de pintura mural arqueológica. Eliminación de concreciones carbonáticas*. Arché. Núm. 4 y 5: 73-80. Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV, València. [En línea] [Fecha de consulta: 12/03/2019] Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/30525>

- ESPINOSA IPINZA, F; RIVAS POBLETE, V.; 2011. *Fluorescencia visible inducida por radiación UV. Sus usos en conservación y diagnóstico de colecciones. Una revisión crítica*. Conserva Nº 16. [En línea] [Fecha de consulta: 12/03/2020] Disponible en:
http://www.patrimoniocultural.gob.cl/dinamicas/DocAdjunto_1736.pdf

- FUENTES PORTO, A.; 2011. *Análisis cuantitativo de las lagunas en un óleo sobre lienzo a través de la tecnología SIG*. XVIII Congreso Internacional Conservación y Restauración de Bienes Culturales. 9-11 noviembre 2011, Granada: Libro de actas. Estudio científico y documentación. pp. 191-194. [En línea] [Fecha de consulta: 12/05/2020] Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6541458>

- FUENTES PORTO, A.; 2012. *La tecnología SIG al servicio de la cuantificación numérica del deterioro en superficies pictóricas. Un paso más allá hacia la objetivación de los diagnósticos patológicos*. Patrimonio cultural: criterios de calidad en intervenciones, Grupo Español de IIC, Madrid. pp. 363-369. [En línea] [Fecha de consulta: 12/05/2020] Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5917655>

- GARCÍA VACAS, E. I.; 2018. *Análisis comparativo de diferentes sistemas de digitalización tridimensional aplicados a patrimonio escultórico. Caso de estudio: La Fuente, obra de Enrique Cejas Zaldívar*. La Laguna (Tenerife) [Trabajo final de grado]. Universidad de La Laguna. [En línea] [Fecha de consulta: 12/03/2020] Disponible en:
https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&

- GUIRAL PELEGRÍN, C.; FERNÁNDEZ DÍAZ, A.; CÁNOVAS UBERA, A.; 2010. *En torno a los estilos locales en la pintura romana: el caso de Hispania en el siglo II d.C.* En *Antike malerei zwischen lokalstil und zeitstil. Akten des XI Internationalen Kolloquiums der AIPMA, 277-293*. Ephesos. [En línea] [Fecha de consulta: 18/01/2020] Disponible en:
<http://www.austriaca.at:8080/?arp=0x0032044e>

- LLANO TORRE, S.; 2008. *Utilización de ácido cítrico en limpieza de pintura*. Tesis de máster oficial. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universidad Politécnica de Valencia. [En línea] [Fecha de consulta: 26/05/2019] Disponible en:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13397/Tesis%20de%20M%C3%A1ster.pdf>

- LÓPEZ MARTINEZ, T.; 2019. *Pinturas murales de Castvlo. Evolución de la técnica y ensayos de tratamientos*. Granada [Tesis doctoral]. Universidad de Granada. [En línea] [Fecha de consulta: 18/01/2020] Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=247175>

- LÓPEZ MARTINEZ, T.; 2015. *Las pinturas murales del conjunto arqueológico de CASTVLO. Problemática de conservación y metodología de intervención*. @arqueología y Territorio. Nº 12: 165-175. [En línea] [Fecha de consulta: 20/03/2018] Disponible en:
<https://www.ugr.es/~arqueologyterritorio/PDF12/12-LopezM.pdf>

- LÓPEZ MARTÍNEZ, T.; LÓPEZ CRUZ, O.; GARCÍA BUENO, A.; CALERO CASTILLO; A.I.; MEDINA FLÓREZ; V.; 2016. *Las pinturas murales de CASTVLO. Primeras aportaciones a la caracterización de materiales y técnicas de ejecución*. LVCENTVM XXXV, 155-170. [En línea] [Fecha de consulta: 20/03/2018] Disponible en:
<http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/60832>

- LÓPEZ MARTÍNEZ, T.; GARCÍA BUENO, A.; MEDINA FLÓREZ, V. J.; 2018. *New methodology for the assement of cleanning tratments. Applications of photogrammetry for restoration*. Journal of Cultural Heritage, 30, 117–123, Granada. [En línea] [Fecha de consulta: 12/03/2019] Disponible en:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1296207417304910>

- NICOLA, M.; SCALESE, R.; COLUCCIA, S.; 2006. *“Elaborazione ed applicazione di un sistema di pulitura per l’assottigliamento di strati de carbonatazione su superficie murale dipinta sensibile, realizzato mediante soluzioni acquose addensate a pH debolmente acido”*, Lo Stato dell’Arte 4, GEIIC, Siena. [En línea] [Fecha de consulta: 12/03/2019] Disponible en:
<https://www.researchgate.net/publication/326649209>

- MARTÍNEZ BAZÁN, M.L.; FUENTES PORTO, A.; SOTO MARTÍN, O.; 2011. *Seguimiento colorimétrico de un lienzo durante su restauración. Un caso práctico: “La Heráldica” del Palacio Ducal de Gandía*. XVIII Congreso Internacional Conservación y Restauración de Bienes Culturales. 9-11 noviembre 2011, Granada: Libro de actas. Estudio científico y documentación. pp. 223-226. [En línea] [Fecha de consulta: 12/12/2019] Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6541577>

- MARTÍNEZ DOMINGO, M.; VALERO, E.; HUERTAS, R.; DURBÁN, M.; ESPEJO, T.; BLANC, R. 2019. *Spectral information to get beyond color in the analysis of wáter-soluble varnish degradation*. Heritage science, 2019, Volume 7, 7:79. [En línea] [Fecha de consulta: 12/12/2019] Disponible en:
<https://link.springer.com/article/10.1186/s40494-019-0323-5>

- MASSCHELEIN KLEINER, L.; 2004. *Los solventes*. Centro Nacional de Conservación y Restauración, Chile. [En línea] [Fecha de consulta: 03/02/2020] Disponible en:
http://www.cncr.cl/611/articles-4953_archivo_01.pdf

- MEDINA FLÓREZ, V. J.; GARCÍA BUENO, A.; 2002. *Metodología en la intervención de las pinturas de Qusayr ‘Amra, Jordania*. PH, Issue 39, pp. 59-68. [En línea] [Fecha de consulta: 20/03/2018] Disponible en:
<http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/1372#.WumgDIuzDc>

- MEYER RIERA, A.; 2014. *Sistemas acuosos 1: Buffers o soluciones tampón*. Blog de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Anahí Meyer Riera. [En línea] [Fecha de consulta: 12/12/2019] Disponible en:
<http://anahimeyer.blogspot.com/2014/06/sistemas-acuosos-1-buffers-o-soluciones.html>

- MONREAL PÉREZ, M.; 2017. *La técnica láser como método de restauración en pinturas romanas al fresco de la península ibérica*. Madrid [Tesis doctoral]. Universidad Autónoma de Madrid. [En línea] [Fecha de consulta: 18/12/2019] Disponible en: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/682645>

- OLMOS BENLLOCH, P., 2006: *La preparación de la pintura mural en el mundo romano*, Ex novo: revista d'història i humanitats, 3, 23-40. [En línea] [Fecha de consulta: 10/04/2020] Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/ExNovo/article/viewFile/144713/237603>

- PEREZ BENITO, P.; 2019. *Microemulsiones, soluciones micelares y emulsiones sin tensoactivos en la limpieza de pintura mural al fresco*. [Tesis doctoral]. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universidad Politécnica de Valencia. [En línea] [Fecha de consulta: 03/02/2020] Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/124826>

- REINA DE LA TORRE, A.; 2009. *Eliminación de pinturas en aerosol sobre soportes porosos. Revisión de metodologías y nuevas propuestas*. [Tesina final de Máster]. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universidad Politécnica de Valencia. [En línea] [Fecha de consulta: 03/02/2020] Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/14508>

- REGIDOR ROS, J.L.; SORIANO SANCHO, P.; ZALBIDEA MUÑOZ; M.A.; IACCARINO ILDESON, A.; ROIG PICAZO, P.; 2011. *Puesta en práctica de soluciones propuestas para las pinturas arracadas de Palomino en la Iglesia de Los Santos Juanes de Valencia*. Libro de Actas del XVIII Congreso Internacional Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Universidad de Granada. [En línea] [Fecha de consulta: 03/02/2020] Disponible en: https://www.academia.edu/9452024/Puesta_en_practica_de_soluciones_propuestas_para_las_pinturas_arracadas_de_Palomino_en_la_Iglesia_de_Los_Santos_Juanes_de_Valencia

- RIBES, A. 2013. *"Image Spectrometers, Color High Fidelity, and Fine-Art Paintings"* en Fernandez.Mailoigne, C. (comp.), *Advanced Color Image Processing and Analysis*. Springer Science+Business Media, Nueva York. [En línea] [Fecha de consulta: 03/12/2019] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/247161880_Image_Spectrometers_Color_High_Fidelity_and_Fine-Art_Paintings

- RODRÍGUEZ SERRANO, M.; 2008. *Limpieza superficial de pintura de caballete mediante soluciones acuosas de EDTA*. Tesis de máster oficial. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universidad Politécnica de Valencia. [En línea] [Fecha de consulta: 03/12/2019] Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/11900>

- VALLEJO RUEDA, J. D.; 2010. *Estudio de parámetros físicos importantes en los procesos de limpieza de objetos de vidrio con láser con aplicación a objetos*. Tesis de Licenciatura. [En línea] [Fecha de consulta: 03/12/2019] Disponible en:
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2035/1/CD-2849.pdf>
- ZALBIDEA MUÑOZ, M.A.; REGIDOR ROS, J.L.; PÉREZ MARÍN, E.; 2016. *La limpieza en obras de arte. Conceptos básicos*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. [En línea] [Fecha de consulta: 03/12/2018] Disponible en:
<https://riunet.upv.es/handle/10251/68304>

WEBGRAFÍA

- IPCE. Instituto del Patrimonio Cultural de España, (2018) “*Nanorestart-EU Project (Nanomaterials for the Restoration of Works of Art)*” [En línea] [Fecha de consulta: 20-02-2020] Disponible en:
<https://www.facebook.com/watch/?v=1618282464893497>
- IVC+ i. Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigació, 2020 “*Evaluación de procesos de restauración*” [En línea] [Fecha de consulta: 20-05-2020] Disponible en:
<https://www.youtube.com/watch?v=km2MWgQbCxl>
- VIVANCOS RAMÓN, V.; 2009. *Práctica de agentes limpiantes*. Blog docente de la Universidad Politécnica de Valencia: Formando restauradores. [En línea] [Fecha de consulta: 20-02-2020] Disponible en:
<http://victoriavivancos.blogspot.com/2009/01/pctica-de-agentes-limpantes.html>

NORMAS “UNE” PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (NORMAS UNE, EN, ISO)

- UNE-EN 41806: 2009. Limpieza de elementos constructivos.
- UNE-EN 15886: 2011. Métodos de ensayo: Medición del color de superficies. Conservación del Patrimonio Cultural.
- UNE-EN 16782: 2018. Limpieza de materiales inorgánicos porosos. Técnicas de limpieza laser para el patrimonio cultural.
- UNE-EN 17138: 2019. Métodos y materiales para la limpieza de materiales inorgánicos porosos.

PROVEEDORES DE MATERIALES DE RESTAURACIÓN

- CTS. 2018. Catálogo general 2018.

ÍNDICE DE IMÁGENES

- Fig. 1. *Vista de una pintura mural del 3º estilo ornamental en la Villa de los Misterios de Pompeya. Imagen de autoría propia 2019.*
- Fig. 2. *Vista de la decoración del Triclinium, en la villa de los Misterios de Pompeya. Imagen de autoría propia 2019.*
- Fig. 3. *Goethita transformada en Hematites como consecuencia de la erupción del Vesubio (79 d.C.) en una pintura mural de Herculano. Imagen de autoría propia 2019.*
- Fig. 4. *Imagen de un fragmento descontextualizado de pintura mural procedente de la Sala del Mosaico de los Amores, en Cástulo. En ella se puede apreciar la incidencia de los carbonatos (CaCO_3) sobre la policromía de rojo de plomo (Pb_3O_4). Imagen facilitada por Teresa López Martínez, 2019.*
- Fig.5. *Fotografía de detalle del fragmento de la izquierda tomada con la cámara del microscopio estereoscópico, como parte del estudio organoléptico realizado sobre revestimientos romanos de Cástulo (LÓPEZ MARTÍNEZ, 2019: 186), previo al ensayo de los tratamientos de limpieza. Imagen facilitada por Teresa López Martínez, 2019.*
- Fig. 6. *Limpieza mecánica mediante bisturí y brochas de concreciones sobre pintura mural arqueológica in situ de procedencia romana, localizada en un barrio del antiguo foro romano de Cartago Nova, actual Parque arqueológico del Molinete, en la ciudad de Cartagena (Murcia). Imagen extraída de NOGUERA. et al., 2016: 168.*
- Fig. 7. *Esquema de los métodos de limpieza de concreciones en pintura mural. Imagen de autoría propia, 2019.*
- Fig. 8. *Mecanismo de limpieza láser a partir de la vibración de las partículas. Imagen extraída de VALLEJO RUEDA, 2010: 18.*
- Fig. 9. *Limpieza de un fragmento de pintura mural romana con láser. Imagen extraída de CHAMON et al., 2008: 268.*
- Fig. 10. *Esquema del quelato complejando un ion metálico. Imagen extraída de Google Imágenes.*
- Fig. 11. *Posición de las resinas sintéticas en el triángulo de solubilidad de Teas, dentro de las cuales se encuentran las empleadas en el engasado de protección, como el Paraloid-B72® o el Acril 33®. Imagen de autoría propia, 2020.*
- Fig. 12. *Posición de las familias de disolventes orgánicos neutros capaces de solubilizar resinas sintéticas en el triángulo de solubilidad de Teas. Imagen de autoría propia, 2020.*

- Fig. 13. *Limpieza química mediante la aplicación de carbonato de amonio con pulpa de celulosa sobre pintura mural arqueológica in situ de procedencia romana, localizada en un barrio del antiguo foro romano de Cartago Nova, actual Parque arqueológico del Molinete, en la ciudad de Cartagena (Murcia). Imagen extraída de NOGUERA et al., 2016: 170.*
- Fig. 14. *Ejemplo de un mapa de datos de un fragmento de pintura mural del periodo tardorromano procedente del yacimiento arqueológico de Cástulo en Linares (Jaén). Autoría propia, 2018.*
- Fig. 15. *Ejemplo de pHmetro para medir los valores de pH de las mezclas y sustancias. Imagen extraída de Google Imágenes.*
- Fig. 16. *Ejemplo de conductivímetro para la medición de la tonicidad. Imagen extraída de Google Imágenes.*
- Fig. 17. *La presión osmótica (osmósis), es un fenómeno que depende de la concentración iónica, donde el agua tiende a equilibrar las concentraciones entre zonas en contacto con diferentes concentraciones iónicas. Imagen extraída de CREMONESI, 2014: 91.*
- Fig. 18. *Registro y documentación mediante tecnología SIG de los faltantes de la obra “La Sagrada Familia”, de Gaspar de la Huerta, en función del estrato del lienzo afectado. Imagen extraída de FUENTES PORTO, 2011: 192.*
- Fig. 19. *Detalle de las imágenes UV de los halos de los santos en la escena “Los reproches a Santo Tomás”, pintada por Baleison. El mordiente orgánico que se utilizó para fijar la lámina de estaño muestra una alta respuesta de luminiscencia UV, lo que permite su localización dentro de la pintura mural. Imagen extraída de LÓPEZ FUSTER et al. 2020: 246.*
- Fig. 20. *Representación gráfica de las distribuciones para los valores a^* , b^* para los puntos de análisis señalados entre la pintura original y la reintegración cromática obtenidas con un espectrofotómetro. Así, se puede ver cual es la diferente intensidad cromática que existe entre los diferentes puntos de análisis. Autoría propia, 2019.*
- Fig. 21. *Distribuciones de los valores L^* , a^* , b^* para unos mapas barnizados (antes de la limpieza, rojo) y limpios (azul), obtenidas con un espectrómetro. Imagen extraída de MARTÍNEZ DOMINGO et al. 2019: 15.*
- Fig. 22. *Evaluación del tratamiento de limpieza en un fragmento de pintura mural. En la parte izquierda, modelos 3D del estado inicial (arriba) y posterior (abajo). En la parte derecha, mapa de distribución de las distancias a falso color, junto con un histograma (parte inferior izquierda) de la distribución porcentual de la distancia. Imagen extraída de LÓPEZ MARTÍNEZ et al. 2017: 121.*

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I.	<i>Estratigrafía de una pintura mural romana</i>
TABLA II.	<i>Pigmentos de la paleta romana</i>
TABLA III.	<i>Medios mecánicos de limpieza</i>
TABLA IV.	<i>Instrumental eléctrico-motorizado de limpieza</i>
TABLA V.	<i>Ejemplo de láser empleado en limpieza de concreciones sobre pintura mural arqueológica</i>
TABLA VI.	<i>Tensoactivos no iónicos más empleados en limpieza (no se disocian)</i>
TABLA VII.	<i>Carácter de la disolución acuosa, componentes e hidrólisis</i>
TABLA VIII.	<i>Correspondencia entre los valores de concentración de iones y pH</i>
TABLA IX.	<i>Aplicaciones de los ácidos en limpieza</i>
TABLA X.	<i>Aplicaciones de las bases en limpieza</i>
TABLA XI.	<i>Aplicaciones de las soluciones tampón en limpieza</i>
TABLA XII.	<i>Ejemplos de Ácidos / Soluciones tampón usados en limpieza de carbonatos</i>
TABLA XIII.	<i>Aplicaciones de los quelantes y complejantes en limpieza</i>
TABLA XIV.	<i>Ejemplos de Complejantes/Quelantes usados en limpieza de carbonatos</i>
TABLA XV.	<i>Aplicaciones de las resinas de intercambio iónico en limpieza</i>
TABLA XVI.	<i>Ejemplo de resina de intercambio iónico usada en limpieza de carbonatos</i>
TABLA XVII.	<i>Composición de los disolventes</i>
TABLA XVIII.	<i>Familia de los disolventes</i>
TABLA XIX.	<i>Comparativa de ciertas características de los gelificantes más empleados</i>
TABLA XX.	<i>Aplicaciones de los gelificantes y espesantes en limpieza</i>

- TABLA XXI. *Ejemplos de gelificantes y espesantes usados como sustentantes en limpieza*
- TABLA XXII. *Ejemplos de soportantes usados como sustentantes en limpieza*
- TABLA XXIII. *Comparativa de publicaciones que abordan la limpieza de carbonatos sobre pintura mural*
- TABLA XXIV. *Protocolo de aplicación de los sistemas de limpieza seleccionados*
- TABLA XXV. *Sustentantes propuestos según los tratamientos de limpieza utilizados en cada prueba*
- TABLA XXVI. *Fases del diagnóstico del estado de conservación inicial de los fragmentos*
- TABLA XXVII. *Fases de evaluación y seguimiento durante la limpieza.*
- TABLA XXVIII. *Fases del diagnóstico del estado de conservación de los fragmentos tras la limpieza*

ANEXO DE FICHAS TÉCNICAS

- Tensoactivo: New Des 50°.
- Agentes complejantes: EDTA, Hexametáfosfato de sodio, Ácido cítrico y TAC.
- Bases: Hidróxido de amonio, Carbonato de amonio, Bicarbonato de amonio y Bicarbonato de sodio.
- Espesantes: Carbopol Ultrez 21°/Ethomeen°, Etilcelulosa N300°, Klucel G°, Vanzan NF-C°, Carbogel°, CMC, Gellano kelcogel°.
- Pulpa de celulosa: Arbocel°.



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

NEW DES 50

(NUEVA FORMULACION)

PRESERVANTE CONCENTRADO A BASE DE SALES CUATERNARIAS DE AMONIO PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROPIEDADES

El **NEW DES 50** debe su eficacia a una sal cuaternaria de amonio, el cloruro de N,N-didecil-N,N-dimetilamonio, en solución acuosa al 50% de materia activa.

Este tensioactivo de carácter "cationico" presenta, como otras sales cuaternarias de amonio, un elevado poder detergente y una marcada capacidad limpiadora.

El **NEW DES 50** es un conservante de materiales de construcción: producto empleado para la conservación de materiales de albañilería, materiales compuestos u otros materiales de construcción distintos de la madera mediante el control de los ataques microbianos y por algas.

CAMPOS DE APLICACIÓN

El **NEW DES 50** se usa sobre superficies de piedras naturales y artificiales, barro cocido y cerámicas, intónacos y morteros.

ACCION DEL pH Y DE LA TEMPERATURA

La actividad del **NEW DES 50** aumenta si se usa en ambiente alcalino en vez de ácido, y además aumenta todavía más al aumentar la temperatura. Por tanto, gracias a su estabilidad a altas temperaturas, se aconseja el uso en soluciones calientes e incluso con equipos de vapor de agua, como la **LIMPIADORA A VAPOR MINOR 164**.

ACTIVIDAD SUPERFICIAL

El **NEW DES 50** disminuye notablemente la tensión superficial e interfacial del agua en el que se ha disuelto, efecto coayudado por la presencia del 20% de alcohol isopropilico.

Esto hace que se comporte como un emulsionante, dispersante y bañante.

Sus soluciones, agitadas, dan lugar a formación de espuma.

Estas propiedades son muy importantes tanto por el poder detergente como por la acción sobre los microorganismos.

Gracias a las propiedades bañantes tiene tendencia a distribuirse sobre las superficies sobre las que se

aplica y a penetrar profundamente donde se ha acumulado suciedad en los ángulos y en los puntos muertos.

El **NEW DES 50** es fuertemente absorbido por la superficie de los materiales con los que entra en contacto.

Esta propiedad es muy útil en algunas aplicaciones ya que no enjuagando o enjuagando poco, permanece una parte de la sal de amonio cuaternario que protege por semanas la obra de nuevas formaciones de pátinas biológicas.

DATOS TÉCNICOS Y ANALÍTICOS TÍPICOS

Aspecto:	Líquido transparente de incoloro a amarillo
Densidad a 20°C:	0,92 g/ml.
pH:	6,5 – 8,0
Compatibilidad:	Limitada con tensioactivos aniónicos y con productos que lo contengan.

CARACTERÍSTICAS

- A las dosis recomendadas el producto es incoloro e inodoro.
- Es fácilmente soluble en agua formando soluciones estables que no son influenciadas por la luz, por la temperatura o por el largo almacenamiento. Es soluble también en alcohol
- Por el carácter "cationico" es incompatible con sustancias "aniónicas" como jabones, alcoholes sulfurados, etc.; es sin embargo, compatible con detergentes catiónicos o no iónicos y en parte con sales detergentes como carbonato de sodio, fosfato trisódico, etc., que, al contrario, en pequeñas dosis alcalinizan el ambiente incrementando así el efecto.
- El **NEW DES 50**, en la disolución de uso, no es irritante para la piel y no causa sensibilización.
- El **NEW DES 50** ve disminuir su actividad en presencia de materia orgánica. Por tanto en presencia de pátinas biológicas gruesas se aconseja aumentar la concentración y efectuar



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

una segunda aplicación después de haber eliminado la capa más externa.

METODOLOGIAS Y DOSIS

El **NEW DES 50** se usa en soluciones acuosas, junto a otros reactivos e inertes, para la preparación de papetas de limpieza para aplicar sobre la superficie a tratar.

Una fórmula de indiscutible éxito en la que el **NEW DES 50** confirma su eficacia es la "AB 57" (fórmula del Instituto Central de Restauración de Roma). Dada la nueva concentración (50%) se aconseja diluirlo antes al 10% en materia activa (1 lt **NEW DES 50** en 4 lt H₂O), y después añadirlo a la fórmula según las dosis prescritas.

El **NEW DES 50** se usa además en soluciones acuosas sobre superficies anteriormente limpias.

Las concentraciones de uso del **NEW DES 50** son variables según las especies infectantes de la obra a tratar.

Es siempre de todas formas aconsejable efectuar investigaciones preliminares para determinar la concentración más oportuna.

De varias experimentaciones realizadas en laboratorio y en obras-prueba se ha comprobado la máxima acción sobre microorganismos con una concentración del 5% de materia activa (obtenible diluyendo el producto 1:9). En muchos casos se obtienen buenos resultados también con diluciones mayores, hasta 1:50.

En pruebas de laboratorio **NEW DES 50** es resultado activo sobre algunas de las más comunes especies de microorganismos, como: *Pseudomonas Aeruginosa*, *Staphilococcus aureus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus Subtilis*, *Mucor*, *Citrobacter intermedium*, *Enterobacter aerogenes*, *Aspergillus niger*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Phormidium innundatum*, *Saccaromyces cerevisiaea*.

CONFECIONES

El **NEW DES 50** está disponible en las confecciones de: 1 - 5 - 25 lt.

Las indicaciones y los datos reportados en la presente ficha están basados sobre nuestra experiencia actual, pruebas de laboratorio y su correcta aplicación.

Estas informaciones no deben sustituir a las pruebas preeliminares que son indispensables efectuar para asegurarse de que el producto es idóneo para cada caso determinado.

C.T.S. garantiza la calidad constante del producto pero no responde de eventuales daños causados por un uso incorrecto del material. También, puede variar en cualquier momento los componentes y las confecciones sin la obligación de comunicación alguna.



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

AGENTES COMPLEJANTES

EDTA SAL BISÓDICA y TETRASÓDICA - HEXAMETAFOSFATO DE SODIO

SAL DE ROCHELLE – BENZOTRIAZOL

ÁCIDO CÍTRICO – AMONIO CITRATO TRIBÁSICO

Relación Técnica redactada por nuestro Resp. Técnico Científico Doc. Leonardo Borgioli



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

En las operaciones de limpieza de algunas obras puede ser necesario eliminar las sales metálicas presentes. Generalmente esto sucede en la limpieza de objetos metálicos, donde las sales son el precursor de la corrosión; la intervención también se puede complicar por la presencia simultánea del material a eliminar y de la pátina que debemos mantener (a menudo constituida también por una sal metálica).

El problema también afecta a otros bienes de interés histórico-artístico: desde la piedra hasta los frescos, desde tejidos a papel, siempre que hayan sido contaminados con la presencia de metales.

Una **sal metálica**, en lo que a nuestro caso se refiere, es el producto de la degradación de un metal, generalmente debido a la acción del agua y del aire, a veces acentuada por la presencia de contaminantes atmosféricos como los óxidos de azufre o de nitrógeno.

Un ejemplo trivial es el **óxido**, resultado del ataque combinado de agua y oxígeno en el hierro metálico.

La reacción química es simple: $2\text{Fe} + 3/2 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{H}_2\text{O})$.

El óxido es soluble en agua y tiende a diseminarse dentro de estructuras porosas (como la piedra natural), lo que hace que su eliminación sea problemática.

Lo mismo sucede con otras sales solubles, como las de cobre (el llamado cardenillo), que a menudo encontramos en las bases de las estatuas de **bronce** (aleación que contiene cobre).

Los productos de corrosión del bronce son muchos: desde cuprita roja (Cu_2O), a los verdes de la atacamita y paratacamita [oxicloruros $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$], a carbonatos básicos de malaquita (verde), azurita (azul) y muchos otros. Entre estos productos de corrosión, generalmente se desea mantener sólo la cuprita y ocasionalmente la malaquita.

A veces, además, está el problema de los lavados inadecuados de los objetos de cobre, como los canales con Amoniaco o Amonio Carbonato; esto lleva a la formación del complejo amino-cuproso, que provoca la decoloración del color azul y luego se oxida al aire adquiriendo un color verde.

Para la eliminación de estas sales metálicas podemos explotar la capacidad "secuestrante" de algunas sustancias definidas como **agentes complejantes**.

Algunas moléculas (llamadas aglutinantes) contienen un átomo electronegativo (donante), que se caracteriza por un par electrónico. Este par, en presencia de un átomo electropositivo (por ejemplo un metal o un catión metálico), es "donado" para formar un enlace llamado *enlace de coordinación*.

Los compuestos que se forman se llaman más concretamente **compuestos de coordinación**, pero dada su complejidad se llamaron en un inicio compuestos complejos, y se ha mantenido el uso común del término **complejantes** para nombrar a estas moléculas ligantes.

Un ejemplo de estos compuestos de coordinación es el ferrocianuro férrico, más conocido como **Azul de Prusia**, que es un complejo donde dos átomos de hierro están coordinador por seis iones de cianuro (que en este caso es el **complejante**).

Muchas moléculas pueden actuar como **complejantes** (ligantes): del amoniaco el agua, da la piridina el monóxido de carbono. Todos contienen un átomo electronegativo capaz de proporcionar un par electrónico.

Cuando dos o más átomos donantes están presentes en una molécula, actúan sobre el metal como la pinza de un cangrejo, y el enlace resultante es más estable; a estos **complejantes** se le llama **quelantes**.

Operativamente los agentes **quelantes** se disuelven en disoluciones acuosas y se aplican sobre obras con paquetes de extracción (con la ayuda de Pulpa de Papel Arbocel, Sepiolita o Nevek), o sumergiendo el objeto en la misma solución. Una vez que se ha eliminado la compresa o el objeto se ha extraído de la solución, se debe realizar un lavado para eliminar el exceso de reactivo.



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

Debe tener presente que el agua de la red contiene, en mayor o menor medida, cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} que se unen a los agentes **complejantes**, reduciendo su acción. En la preparación de soluciones **complejantes** solo debe usarse Agua Desmineralizada.

Finalmente, tenga en cuenta que todos los **complejantes** se unen, más o menos vigorosamente, con los cationes metálicos. Muchos **pigmentos** pueden ser atacados por estos reactivos, por lo que deben usarse con extrema precaución en el caso de policromías.

C.T.S. S.r.l. comercializa algunos agentes **complejantes** que se pueden usar para resolver el problema de la eliminación química de las sales:

- EDTA Sal Bisódica o Tetrasódica
- Hexametáfosfato de sodio
- Sal de Rochelle (o de Seignette)
- Benzotriazol (utilizado como inhibidor al final de la limpieza de metales)
- Ácido Cítrico – Amonio Citrato Tribásico

EDTA

La sal bisódica del ácido etilendiaminotetraacético (**EDTA sal bisódica**) es el agente **complejante** más conocido y utilizado, y también el más eficaz. Es uno de los componentes de la formulación **AB 57** desarrollada por el I.C.R. de Roma para la eliminación de las costras negras.

Menos utilizada es la sal tetrasódica (**EDTA sal tetrasódica**), y menos soluble en agua; sin embargo, el mecanismo de formación de complejos es el habitual, con la diferencia que cada molécula de **EDTA sal tetrasódica** se une a dos cationes metálicos.

La toxicidad del tetrasódico es también ligeramente más alta que la del bisódico.

En su uso se debe tener en cuenta algunos puntos importantes:

- 1) El **EDTA** se une muy bien con el hierro y el cobre, pero también tiene una buena reacción con el calcio. Por lo tanto, una vez “secuestrados” los cationes $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ e Cu^{2+} presentes, comienza a atacar al calcio que constituye el aglutinante del elemento de piedra o del fresco sobre el que estamos trabajando. Empieza así una corrosión similar a un ataque ácido. Esto nos obliga a trabajar poniendo gran atención a los tiempos de contacto.
- 2) Por todo lo dicho con anterioridad, el **EDTA** se utiliza ampliamente para la eliminación de incrustaciones y pátinas que contienen iones de calcio, sean encalados (por lo tanto CaCO_3 , Carbonato Cálcico), pátinas de yeso o sulfatos (Sulfato de Calcio), Oxalatos, Caseinato de Calcio.
- 3) El **EDTA sal bisódica** tiene un pH 4.5, mientras que la tetrasódica tiene un pH 11.3. Estos valores siempre deben evaluarse en relación con el soporte sobre el que se va a trabajar. A pH 4.5 también hay una acción de ataque sobre el carbonato, por lo que el EDTA sal bisódica es extremadamente agresivo. Dado que el pH óptimo de formación de complejos del calcio es de 10, incluso el **EDTA sal tetrasódica** puede atacar al carbonato de calcio. En el caso de la eliminación de oxalatos es preferible usar el **EDTA sal tetrasódica**.
- 4) El problema del ataque sobre la obra original no se observa en el caso de las de bronce; una solución de **EDTA** no ataca de manera significativa la superficie, ya sea después de algunas horas de inmersión o con elevadas concentraciones. En cambio, todos los diferentes productos de la corrosión del bronce son eliminados eficazmente, desde el carbonato básico verde o azul (malaquita o azurita), a los



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

cloruros básicos blancos o verdes que se encuentran en las obras próximas al mar (nantokita, atacamita o paratacamita). El raro sulfuro de cobre negro es una excepción.

- 5) Las concentraciones para su utilización pueden variar sensiblemente, desde el 2-3% hasta el 15% en el caso de la eliminación de costras particularmente gruesas y resistentes, teniendo siempre presente todo lo dicho en el punto 1).

HEXAMETAFOSFATO DE SODIO

El **Hexametáfosfato de sodio** (NaPO_3)₆ es un **complejante** más débil que el EDTA, característica que lo hace preferible en el caso de aplicaciones sobre mármoles sulfatados. De hecho, en este caso, la estructura del Carbonato Cálcico del mármol es atacada por el **Hexametáfosfato de sodio** con mucha lentitud.

El pH es de 6.7, por lo tanto **neutro**, otro motivo para preferirlo en presencia de mármoles o calcitas. Las concentraciones de uso varían del 5 al 15%.

SAL DE ROCHELLE

La **Sal de Rochelle**, llamada también sal de **Seignette**, (**doble tartrato de sodio e potasio**) es un **complejante** conocido desde la Edad Media, y en algunos textos antiguos se llamaba "*cremor di tartaro*" (se acumulaba sobre las paredes de los barriles, como precipitado del mosto). Más débil que el EDTA, permite un mayor control en las limpiezas de los bronce, dado que compleja carbonatos y cloruros, pero tiene una acción muy débil sobre la cuprita roja, que se conserva así.

Debido a su acción suave, es necesario preparar una solución acuosa al 35%, y luego aplicar compresas por tiempos variables entre 15 minutos hasta varias horas, según el grosor de las incrustaciones a eliminar y del efecto que se quiera obtener.

La acción de la **Sal de Rochelle** puede potenciarse sin incrementar la concentración sino elevando el pH, con ayuda de Hidróxido Sódico (soluciones del 15-35% de **Sal de Rochelle** y del 5-10% de Hidróxido Sódico en Agua Desmineralizada).

Es posible también el uso por inmersión de los objetos.

BENZOTRIAZOL

El **Benzotriazol**, más que un **complejante** para la limpieza, tiene la función de inhibir la corrosión del cobre y de sus aleaciones, una vez que se ha llevado a cabo la restauración.

En particular puede resultar útil para bloquear la "**corrosión cíclica**" del cobre, esto es, el proceso que se basa en la presencia de cloruro cuproso (Cu_2Cl_2), y que prosigue hasta la completa transformación del cobre en cloruro e hidroxiclóruo. El **Benzotriazol**, uniéndose al catión Cu^+ del cloruro, lo elimina de la reacción cíclica bloqueándola.

Se presenta como un polvo amarillento que funde a 93°C, que tiende a sublimar: es por eso que está recubierto de una fina capa de acrílico (ver también el producto Inrcal 44, mezcla de Paraloid B44 y de **Benzotriazol** en disolventes orgánicos).

Debido a que no es muy soluble en agua fría (1,5%), se prefiere aplicarlo con soluciones de disolventes (alcohol etílico, acetona, acetatos,...) normalmente al 3%.

Su pH es ligeramente ácido (5.5 en soluciones al 1%).



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

ÁCIDO CÍTRICO – AMONIO CITRATO TRIBÁSICO

El **Ácido Cítrico** es un ácido tricarboxílico, que disuelto en agua tiene un pH 2.5. Está contenido en el zumo de limón del orden del 6%. Es soluble también en alcoholes y Acetato de Etilo. Por si solo el **Ácido Cítrico** no tiene un elevado poder **complejante**, pero con la ayuda de bases se obtienen ciertas sales (citratos), que son utilizadas por su mejor eficacia. Precisamente para la eliminación de las sales de hierro de piedras de carbonato, se utiliza una solución acuosa de su sal **Amonio Citrato Tribásico**, que tiene un pH ligeramente alcalino, entre 7 y 8.

Junto con el Citrato de Sodio, el Amonio Citrato está contenido en la **Saliva Sintética CTS**.

El **Ácido Cítrico** y el **Amonio Citrato** se utilizan para la limpieza de obras policromadas, en particular para la eliminación de repintados o de materiales proteicos. En estas aplicaciones, a veces existe la acción del quelante con la de un tensioactivo de pH neutro como pueden ser el *Tween 20*. Estas mezclas pueden espesarse con *Klucel G* o *Carbopol*, o también agregarse al gel **Nevek**.

La información contenida en esta ficha técnica se basa en nuestro conocimiento y pruebas de laboratorio en la fecha de la última versión. El usuario debe comprobar la idoneidad del producto para cada uso específico de las pruebas preliminares, y deben respetar las leyes y reglamentos vigentes en materia de salud y seguridad.

C.T.S. España S.L garantiza una calidad constante del producto, pero no se hace responsable de los daños causados por un uso incorrecto del material, ya que está diseñado para uso profesional. Además, pueden cambiar en cualquier momento los componentes y confecciones sin obligación a notificarlo.

**AGUA OXIGENADA 130 VOL.**

El **Agua Oxigenada** ó peróxido de hidrógeno es un disolvente reactivo cuyas soluciones acuosas actúan gracias a las propiedades óxido reductoras. El **Agua Oxigenada** se utiliza generalmente en operaciones de decoloración y blanqueamiento conseguido a través de la reacción de oxidación de productos inocuos como el agua y el oxígeno.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	H ₂ O ₂ (130 vol. O ₂ /100 vol. soluc.)
Aspecto:	líquido incoloro
Título:	35 ± 0,5%
Densidad:	1,04 kg/l a 20°C
Punto de ebullición:	108°C

ENVASES: 5 l 25 l

AMONIACO

El **Amoníaco** es un gas soluble en agua con la cual forma soluciones concentradas de Amonio Hidróxido. El **Amoníaco** es un disolvente muy fuerte frente a los numerosos materiales presentes en las pinturas; soluciones de Amoníaco y disolventes orgánicos tienen un buen poder de eliminar finas películas de materiales grasos y de ablandar películas protéicas, sin causar daños, con la advertencia de dispersarlas en gel para limitar la acción en la superficie.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	NH ₄ OH
Aspecto:	líquido incoloro
Título:	32% de NH ₃
Densidad:	0,89 kg/l a 20°C
pH:	14

ENVASES: 5 l 25 l

AMONIO BICARBONATO

Sal inorgánica utilizada en soluciones acuosas con otros reactivos e inertes para la preparación de papetas de limpieza sobre superficies pétreas y frescos. La papeta de limpieza química más conocida en la cual se utiliza el **Bicarbonato de Amonio** es la AB 57 (formulación del **I.C.R.** de Roma).

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	NH ₄ HCO ₃
Aspecto:	polvo blanco
Título:	21,5% min. de NH ₃
Peso específico:	0,8 kg/l a 20°C
pH:	7,6 en soluciones acuosas al 5%

ENVASES: 5 kg 20 kg 25 kg

AMONIO CARBONATO

Sal inorgánica utilizada en soluciones acuosas con otros reactivos e inertes para la preparación de papetas de limpieza para superficies pétreas y frescos. El **Carbonato de Amonio** se utiliza en la preparación de la AB 57 en alternativa al bicarbonato de amonio, gracias a su mayor eficacia y a la importante acción solubilizante que ejerce frente al sulfato de calcio. Precisamente por esta propiedad se utiliza en el método de consolidación con hidróxido de bario, en la primera fase de transformación del yeso.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	(NH ₄) ₂ CO ₃
Aspecto:	polvo blanco
Título:	30% min. de NH ₃
Peso específico:	0,78 - 0,83 kg/l a 20°C
pH:	9 en soluciones acuosas al 10%

ENVASES: 1 kg 5 kg 15 kg 25 kg

**ÁGUA OXIGENADA 130 VOL.**

A **Água Oxigenada** ou peróxido de hidrogénio é um solvente reativo, cujas soluções aquosas atuam graças às propriedades óxido-reductoras. A **Água Oxigenada** é normalmente utilizada em operações de descoloração e branqueamento, obtendo-se, a partir da reação de oxidação, produtos inócuos como a água e o oxigênio.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	H ₂ O ₂ (130 vol. O ₂ /100 vol. soluc.)
Aspeto:	líquido incoloro
Título:	35 ± 0,5%
Densidade:	1,04 kg/l a 20°C
Ponto de ebulição:	108°C

EMBALAGENS: 5 l 25 l

AMONIACO

O **Amoníaco** é um gás solúvel em água, com a qual forma soluções concentradas de Hidróxido de Amónio. O **Amoníaco** é um solvente muito forte face aos inúmeros materiais presentes nas tintas. As soluções de Amoníaco e solventes orgânicos têm um bom poder para remover películas finas de materiais gordurosos e para amaciar películas proteicas, sem causar danos, devendo-se contudo ter o cuidado de as dispersar em gel, de modo a limitar a sua ação na superfície.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	NH ₄ OH
Aspeto:	líquido incoloro
Título:	32% de NH ₃
Densidade:	0,89 kg/l a 20°C
pH:	14

EMBALAGENS: 5 l 25 l

BICARBONATO DE AMÓNIO

Sal inorgânico utilizado em soluções aquosas com outros reagentes e inertes para a preparação de cataplasmas ou compressas de limpeza para superfícies pétreas e frescos. A compressa de limpeza química mais conhecida, na qual é utilizado o **Bicarbonato de Amónio** é a AB 57 (formulação do **I.C.R.** de Roma).

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	NH ₄ HCO ₃
Aspeto:	pó branco
Título:	21,5% min. de NH ₃
Peso específico:	0,8 kg/l a 20°C
pH:	7,6 em solução aquosa a 5%

EMBALAGENS: 5 kg 20 kg 25 kg

CARBONATO DE AMÓNIO

Sal inorgânico utilizado em soluções aquosas com outros reagentes e inertes para a preparação de cataplasmas ou compressas de limpeza para superfícies pétreas e frescos. O **Carbonato de Amónio** é utilizado na preparação da AB 57 em alternativa ao bicarbonato de amónio, graças à sua maior eficácia e à importante ação solubilizante que exerce sobre o sulfato de cálcio. É justamente devido a esta propriedade que é utilizado no método de consolidação com hidróxido de bário, na primeira fase de transformação do gesso.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	(NH ₄) ₂ CO ₃
Aspeto:	pó branco
Título:	30% min. de NH ₃
Peso específico:	0,78 - 0,83 kg/l a 20°C
pH:	9 em solução aquosa a 10%

EMBALAGENS: 1 kg 5 kg 15 kg 25 kg



SODIO BICARBONATO

Sal inorgánica utilizada en soluciones acuosas con otros reactivos e inertes para la preparación de papetas de limpieza para superficies pétreas y frescos. La papeta de limpieza química más conocida en la cual se utiliza el **Bicarbonato de Sodio** es la AB 57 (formulación del **I.C.R.** de Roma).

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	NaHCO ₃
Aspecto:	polvo cristalino blanco
Título:	99% min.
pH:	8,6 en solución acuosa al 5%

ENVASES:	5 kg	25 kg
----------	------	-------

TRJETANOLAMINA 99%

Disolvente extremadamente higroscópico y no volátil utilizado, en pequeños porcentajes, como agente emulsionante en mezclas de agua-aceite o agua-cera, o añadido en las papetas de limpieza química para facilitar la disolución de eventuales componentes grasos oxidados presentes en las costras.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	N(CH ₂ CH ₂ OH) ₃
Aspecto:	líquido viscoso incoloro
Título:	99%
Densidad:	1,12 kg/l a 20°C
pH:	10,5 en solución acuosa al 2%

ENVASES:	1 kg	5 kg
----------	------	------

TWEEN® 20

Tensioactivo no iónico neutro derivado del óxido de etileno. El **Tween 20** es soluble en agua, alcoholes (etílico, metílico, isopropílico), glicol etilénico y propilénico y es insoluble en aceites minerales.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Descripción química:	polioxietileno (20) sorbitan monolaurato
Aspecto:	líquido aceitoso amarillo claro
Densidad:	1,1 kg/l a 20°C
pH:	neutro

ENVASES:	1 kg	5 kg
----------	------	------

UREA TÉCNICA

Compuesto orgánico nitrado utilizado para la preparación de una papeta biológica de limpieza para superficies pétreas delicadas o deterioradas, en solución acuosa con glicerina y adecuados inertes soportantes y absorbentes (pulpa de papel, sepiolita, ...).

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	CO(NH ₂) ₂
Aspecto:	polvo cristalino blanco
Título:	98,5%
Peso específico:	1,32 kg/l a 20°C
pH:	9-11 en solución acuosa al 10%

ENVASES:	5 kg
----------	------

VULPEX (Oleato de potasio-metil ciclohexilo)

Vulpex es un limpiador con acción germicida para papel, piedra, textiles, cuero, alfombras, pinturas, esculturas, metales, piedra... No es ácido y no hace espuma. Se suministra concentrado y debe ser diluido antes de su uso con agua o esencias minerales.

Vulpex ataca y emulsiona con la suciedad, nicotina, contaminación atmosférica, manchas grasientas, aceites minerales, ceras e hidrocarburos con gran rapidez y eficacia.

ENVASES:	1 L
----------	-----



BICARBONATO DE SÓDIO

Sal inorgánica utilizado em soluções aquosas com outros reagentes e inertes para a preparação de cataplasmas ou compressas de limpeza para superfícies pétreas e frescos. A compressa de limpeza química mais conhecida, na qual é utilizado o **Bicarbonato de Sódio**, é a AB 57 (formulação do **I.C.R.** de Roma).

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	NaHCO ₃
Aspeto:	pó cristalino branco
Título:	99% min.
pH:	8,6 em solução aquosa a 5%

EMBALAGENS:	5 kg	25 kg
-------------	------	-------

TRJETANOLAMINA 99%

Solvente extremamente higroscópico e não volátil utilizado, em pequenas percentagens, como agente emulsionante em misturas de água-óleo ou água-cera, ou adicionado às compressas de limpeza química para facilitar a dissolução de eventuais componentes gordas oxidadas presentes na crosta.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	N(CH ₂ CH ₂ OH) ₃
Aspeto:	líquido viscoso incoloro
Título:	99%
Densidade:	1,12 kg/l a 20°C
pH:	10,5 em solução aquosa a 2%

EMBALAGENS:	1 kg	5 kg
-------------	------	------

TWEEN® 20

Tensioativo não-iónico neutro derivado do óxido de etileno. **Tween 20** é solúvel em água, álcoois (etílico, metílico, isopropílico), glicol etilénico e propilénico e é insolúvel em óleos minerais.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Descrição química:	monolaurato de polioxietileno (20) sorbitano
Aspeto:	líquido oleoso amarelo claro
Densidade:	1,1 kg/l a 20°C
pH:	neutro

EMBALAGENS:	1 kg	5 kg
-------------	------	------

UREIA TÉCNICA

Composto orgânico azotado utilizado para a preparação de uma compressa biológica de limpeza para superfícies pétreas delicadas ou deterioradas, em solução aquosa com glicerina e inertes absorventes e de suporte adequados (polpa de papel, sepiolite,...).

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Fórmula:	CO(NH ₂) ₂
Aspeto:	pó cristalino branco
Título:	98,5%
Peso específico:	1,32 kg/l a 20°C
pH:	9-11 em solução aquosa a 10%

EMBALAGENS:	5 kg
-------------	------

VULPEX (Oleato de potássio-metil ciclohexilo)

Vulpex é um limpador com ação germicida para papel, pedra, têxteis, couro, tapetes, pinturas, esculturas, metais, pedra... Não é ácido e não faz espuma. É fornecido concentrado e deve ser diluído antes do seu uso em água ou essências minerais.

Vulpex ataca e emulsiona com a sujidade, nicotina, poluição atmosférica, manchas gordurentas, óleos minerais, ceras e hidrocarburetos com grande rapidez e eficácia.

EMBALAGENS:	1 L
-------------	-----



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración

C/ Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 Getafe - Madrid

Tel: +34 91 601 16 40 (4 líneas) / Fax: +34 91 601 03 33

ESPESANTES

(CARBOPOL ULTREZ 21 / ETHOMEEN, ETILCELULOSA N300,
KLUCEL G, VANZAN NF-C, CARBOGEL, PEMULEN TR2)

En la práctica de la restauración se usan cada más frecuentemente **geles acuosos** que contienen varios tipos de reactivos (enzimas, quelantes, tensioactivos, tampones ácidos y alcalinos), **disolventes en forma espesada**, a través de el añadido directo de celulosas modificadas, o bien, "**solvent gels**", sistemas más complejos donde el disolvente se gelifica en estructuras con capacidades tensioactivas.

Estos sistemas permiten obtener limpiezas más controlables, menor penetración de los reactivos en los estratos pictóricos, y en el caso de los disolventes, menor evaporización de vapores en el ambiente y por tanto una reducción del riesgo para el usuario.

CTS distribuye una gama completa de espesantes, permitiendo nuevas soluciones que hasta ahora no eran posibles.

Se resumen las características de los productos que podemos usar como espesantes y en las páginas sucesivas se explican más detenidamente cada uno de estos productos particulares.

	Fd	Carbopol Ultrez 21	Etilcelulosa N300	Klucel G	Vanzan NF-C	Carbogel
Agua	18	Con TEA	NO	SI	SI	SI
Disolventes muy polares (alcohol etílico e isopropílico, DMSO)	25-45	Con Ethomeen C/25	SI (excepto el DMSO)	NO	No estudiados todavía	NO
Disolventes media polaridad (acetonas, etilacetato)	45-60	Con Ethomeen C/25 e C/12				
Disolventes a baja polaridad (aromáticos)	60-90	Con Ethomeen C/12				
Disolventes apolares (white spirit, ligroina, esencia de petróleo)	>90					

En el caso que se desee profundizar en el tema diríjase a la siguiente bibliografía:

- Cremonesi P., Curti A., Fallarini S., Raio S.; "Preparazione e utilizzo di solvent-gels, reagenti per la pulitura di opere policrome", Progetto Restauro, 15 (2000), 25-33.
- Kermes n. 44 (Octubre – Diciembre 2001)
- Materiali tradizionali ed innovativi nella pulitura dei dipinti e delle opere policrome mobili (atti del Convegno di Piazzola sul Brenta (PD) - (25-26 Ottobre 2002)
- Un approccio acquoso alla pulitura dei dipinti_ Richard Wolbers – Edizioni Il Prato, Padova

En la tabla de abajo se enumeran las características de los 4 espesantes normalmente usados para las **soluciones acuosas**.

Los geles acuosos son una alternativa válida a la Carboximetilcelulosa para efectuar papetas de limpieza, presentando menores problemas en la fase de eliminación (en particular el Carbogel). Pueden ser usadas soluciones que contienen los tradicionales reactivos como Amonio Carbonato o Amonio Bicarbonato, como también los complejos EDTA bisodico o tetrasodico.



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración

C/ Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 Getafe - Madrid

Tel: +34 91 601 16 40 (4 líneas) / Fax: +34 91 601 03 33

	KLUCEL G	VANZAN NF-C	CARBOPOL ULTREZ 21	CARBOGEL
Porque se usa?	Estable en el intervalo de pH 2-12, permite espesar todos los ácidos y las bases utilizables en el sector de la restauración. No está muy sujeto a la biodeterioración.	Siendo <u>estable hasta a 60°C</u> permite aplicar geles calientes , que facilitan en muchos casos la disolución de los materiales. Como el Klucel G es estable en el intervalo de pH 2-12. Detiene fuertemente el agua.	Forma gel a alta viscosidad , <u>con un contenido bajísimo de espesante</u> , por tanto una mayor simplicidad en la eliminación de los geles. Fácil aplicación en vertical y sobre techos.	Mantiene fuertemente el agua y por tanto puede aplicarse en soportes sensibles . Ningún poder adhesivo. <u>Fácil eliminación.</u>
Cuando no usarlo	Cuando la porosidad del soporte no permita la perfecta eliminación de los residuos.			No puede aplicarse en los techos o en bóvedas, y en presencia de muchas sales solubles. No ácidos.
	Si queremos trabajar sobre 40°C	Si hay un riesgo de biodeterioración	Si queremos trabajar con gel ácido	
Compatibilidad con los disolventes	Si, pero <u>solo los polares</u> como el Alcohol etílico, las aminas, el DMSO.	Si, hasta el 40% de alcoholes y los glicoles.	Si, todos (véase la ficha relativa a la preparación de solvent gel).	NO. Solo alcohol etílico hasta un máximo del 30%.
Otras propiedades	Por encima de 40°C el gel colapsa y se forma una solución blanquecina, fluida. Refrescando se reforma el gel transparente.	Pseudo-plasticidad Neutralidad del gel.	En el caso que se quiere impartir en el gel una acción tensioactiva se añade el 1-2% de Tween 20.	<u>En el caso de elevadas concentraciones de disuelto puede haber dificultad de espesar.</u>
Preparación	Directa. Agitar muy bien para evitar la formación de grumos. Para preparar geles muy viscosos se calienta por encima de 40°C; y se mezcla el polvo en el líquido, dejándolo después refrescar: se forma el gel transparente.	Directa. Más simple respecto a la del Klucel G. El polvo se añade a la solución acuosa a espesar, manteniendo sobre todo la agitación.	Verter el Carbopol en polvo sobre la superficie del agua, sin mezclar: en el transcurso de 3-4 minutos el polvo se hidrata pasando a la fase acuosa. Se añade después cualquier base (amoníaco, TEA...), mezclando hasta la gelificación.	Directa. El Carbogel se hidrata espontáneamente una vez añadido a la solución a espesar.

Resumimos en la tabla de abajo las características que nos permiten seleccionar el espesante óptimo para los **disolventes**.

	CARBOPOL ULTREZ 21	KLUCEL G	ETILCELULOSA N300
¿Porque utilizarlo?	Permite obtener "solvent gels" con optimas propiedades solubilizantes (gracias a la acción alcalina y tensioactiva del Ethomeen).	Permite espesar directamente disolventes polares (fd 25-45)	Permite espesar directamente también disolventes de polaridad media y baja (fd 45-90)
Cuando no utilizarlo	Cuando la porosidad del soporte no permita la perfecta eliminación de los residuos.		
	Si queremos trabajar con pH neutro		Entre los tres productos es el más adhesivo
Viscosidad	Depende tanto del tipo de disolvente como de la cantidad de espesante		
	Altísima , con un contenido mínimo de espesante (desde 0,5 al 2%)	Media	Baja (Ejemplo: al 5% en Tolueno/Etanol. 80/20 desde 250-350 mPa.s a 25°C)
Preparación	Mezclar Carbopol y Ethomeen en proporción 1:10. Añadir baja continua agitación de 50 a 100 partes de disolvente. En algunos casos se formará el gel, en otros (disolventes apolares), será necesario añadir pequeñas cantidades de agua.	Directa. Agitar muy bien para evitar la formación de grumos. Para preparar geles muy viscosos se calienta por encima de 40°C; y se mezcla el polvo en el líquido, dejándolo después refrescar: se forma el gel transparente.	Directa. Agitar muy bien para evitar la formación de grumos.



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración

C/ Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 Getafe - Madrid

Tel: +34 91 601 16 40 (4 líneas) / Fax: +34 91 601 03 33

CARBOPOL ULTREZ 21

Polímero acrílico reticulado hidrófilo y ácido, que en agua se infla pero no se disuelve, dado que sus notables dimensiones no permiten hacer una dispersión. Además, las moléculas se “ovillan” por lo que la dispersión no neutraliza, tiene un pH de aproximadamente 3, es solo un poco viscosa. Solo después de añadir una base, que salifica los grupos ácidos -COOH presentes a través de la cadena, estos se distienden dando un enorme aumento de viscosidad, y dando lugar a formar el gel. El gel obtenido es por lo tanto alcalino, pero la cantidad de base puede ser dosificada para obtener un pH cercano al neutro.

El ácido poliacrílico **CARBOPOL® ULTREZ 21**, en combinación con las aminas **ETHOMEEN®**, permite la preparación de gel (*solvent-gels*) con todos los disolventes usados para las operaciones de restauración, incluso las más polares como White Spirit D 40 y Esencia de petróleo.

CARBOPOL® ULTREZ 21 permite la preparación de gel de alta viscosidad, con un contenido máximo de espesante (aprox. el 1%), por tanto una mayor simplicidad en la operación de eliminación del gel mismo, y menores riesgos de dejar residuos sobre las superficies.

PREPARACIÓN DEL “ SOLVENT GEL”

La primera operación consiste en mezclar **CARBOPOL® ULTREZ 21** amina **ETHOMEEN®** (véase más abajo para la elección entre los tipos de **ETHOMEEN®**). Una vez obtenido una mezcla homogénea se puede proceder a añadir el disolvente que se pretende gelificar. En este punto no se ha desarrollado todavía el fenómeno de la gelificación: la solución debería de resultar homogénea pero no necesariamente transparente, y solo ligeramente viscosa. Solo después de añadir una pequeña cantidad de agua (1-5%) se formará el gel. Para estos procedimientos de preparación puede ser extremadamente útil el uso de un “agitador mecánico”. Si bien no es estrechamente necesario, su uso puede prevenir la formación de grumos, que son más difíciles de eliminar.

La presencia de una pequeña cantidad de agua no significa que no se pueda usar este tipo de gel incluso en los soportes sensibles al agua. De hecho, el agua está en este caso fuertemente unida al **CARBOPOL ULTREZ 21®** (su función es justo la de permitir el “desenrollamiento” de las cadenas del ácido, que de otra forma permanecerían envueltas sobre si mismas), y no se queda impregnada en el soporte

Para la determinación de las cantidades de las sustancias se observa en línea de máxima en relación en peso entre **CARBOPOL® ULTREZ 21/ETHOMEEN®/solvente** de **1/10/50**. Esta indicación debe de valorarse según el tipo de disolvente, ya que la misma cantidad de adensante puede dar diferentes niveles de viscosidad según el tipo de disolvente.

Se aconseja partir de geles más viscosos y eventualmente diluir con progresivos añadidos de disolvente. Resulta por tanto imposible la operación inversa, dado que el añadido de polvo a una solución viscosa no permite una buena dispersión, y lleva a la formación de grumos.

ELECCIÓN DEL TIPO DE ETHOMEEN®

ETHOMEEN® C/12 – Disolventes apolares (Citrosolv, Xilene, Tolueno, Disolvente Nitro, Esencia de petróleo, Esencia de Trementina y en general los hidrocarburos aromáticos y alifáticos).

Nota: para el Etil Acetato y el Butile Acetato es necesario añadir, en la fase final:

para el Etil Acetato – en vez de solo agua, una mezcla agua/alcohol etílico 1/1.

para el Butile Acetato – en la fase final, agua y alcohol butílico en relación 1/1.

ETHOMEEN® C/25 – Disolventes polares (alcoholes, Acetonas, Dimetilsulfoxido, aminas orgánicas)

APLICACIÓN DEL “SOLVENT GEL”

Aplicar por medio de un tampón o de un pincel sobre la superficie a limpiar, dejándolo actuar por un tiempo que puede variar de algunos segundos a algunos minutos. La transparencia del gel permite observar los fenómenos en acto sobre la superficie. Proceder después a la eliminación.



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración

C/ Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 Getafe - Madrid

Tel: +34 91 601 16 40 (4 líneas) / Fax: +34 91 601 03 33

ELIMINACIÓN DEL “SOLVENT GEL”

Eliminar con tampón seco, y después con un tampón bañado con un disolvente. La elección del disolvente debe respetar el tipo de polaridad de **ETHOMEEN**[®] usado, sin que, sin embargo, el disolvente tenga consecuencias en el estrato pictórico. Por ejemplo, si se ha efectuado una limpieza con un gel de Xileno, espesado con **ETHOMEEN**[®] C/12, se puede eliminar con un disolvente apolar como la Esencia de petróleo. los Solvent Gels preparados con Ethomeen C-25 necesitan sin embargo un disolvente de una cierta polaridad para la eliminación, por ejemplo 20-30% Acetonas en Esencia de petróleo.

Una investigación llevada a cabo por el Getty Institute of Conservation ha permitido determinar con precisión la entidad de los residuos que quedaban después de los tratamientos con sistemas soportados, como *solvent-gels*, o incluso los enzimáticos. Tales pruebas, han evidenciado una eliminación en torno al 99% y más, según el tipo de lavado. El residuo que puede permanecer sobre la superficie se constituye después por una molécula no reactiva hacia el substrato, en cuanto al Acido Poliácrico ha sido neutralizado con la base **ETHOMEEN**, o bien hemos obtenido una sal, pero de enormes dimensiones. Será de todas formas necesario evitar este tipo de material en los casos de presencia de craquelados, especialmente si son profundos, para no encontrar excesivas dificultades en la eliminación.

CARBOPOL[®] ULTREZ 21 Y LOS GELES ACUOSOS

La preparación de geles acuosos y de alta viscosidad (ya >50.000 mPa.s en el 0,5% de sólido) con **CARBOPOL**[®] **ULTREZ 21** es extremadamente simple, dado que por el simple añadido de agua se hidrata rápidamente (3-5 minutos). Se añade después una base cualquiera (amoníaco, TEA...), mezclando hasta la gelificación. La cantidad de base puede añadirse de manera que se obtenga un pH cercano a la neutralidad.

ETILCELULOSA N 300

La **ETILCELULOSA N 300** pertenece a la familia de las celulosas modificadas, una clase de sustancias resultantes del tratamiento de las fibras de celulosa con varios reagentes. Se efectúa un injerto, sobre los grupos hidrófilos de la cadena celulósica, de terminales de varios tipos, y por ello estas sustancias son también llamadas *Éteres de Celulosa*.

Entre las sustancias más conocidas de este grupo esta la **Carboximetilcelulosa** (donde algunos grupos terminales son ácidos carboxílicos) y el hidroxipropilcelulosa (el ya mencionado **Klucel G**). Estas moléculas, no obstante siendo hidrófilas, son demasiado grandes para hablar de una verdadera y propia solubilización, y se habla de hinchado en agua, y también en disolventes muy polares.

Gracias al elevadísimo grado de sustitución (2,5 sobre un máximo teórico de 3), la **ETILCELULOSA N 300** resulta ser un material lipofilo insoluble en agua, que se hincha en los disolventes orgánicos a polaridad media y baja formando con la mayor parte de ellos unos geles.

Respecto a otras sustancias usadas hasta ahora, la **ETILCELULOSA N 300** presenta la ventaja de espesar también algunos disolventes apolares (Esencia de Trementina, aromáticos), mientras para otros todavía (aquellos extremadamente apolares como el White Spirit D 40) el hinchamiento no lleva a una gelificación. Además, gracias a su elevado peso molecular y a su elevada pureza, se reducen notablemente las cantidades necesarias respecto a las otras etilcelulosas.

Respecto al Carbopol Ultrez 21, la **ETILCELULOSA N 300** tiene un mayor poder adhesivo, característica que se tiene que tener siempre en cuenta para la eliminación de los residuos, que resulta entonces más dificultosa.

Presenta por otro lado la ventaja de una preparación mucho más simple. De hecho, la **ETILCELULOSA N 300** debe de añadirse al disolvente, o mezcla de disolventes, sin ningún añadido de otros componentes, manteniendo todo bien agitado..

Si se deja secar el **ETILCELULOSA N 300** forma un film con índice de refracción 1,47 e índice de dureza Sward 52-61, calculado sobre un film de 75 micrómetros. Normalmente no se usa este producto como sustancia filmógena o como adhesivo, porqué se tienen dudas sobre su estabilidad en la oxidación. En este caso es preferible usar el Klucel G.



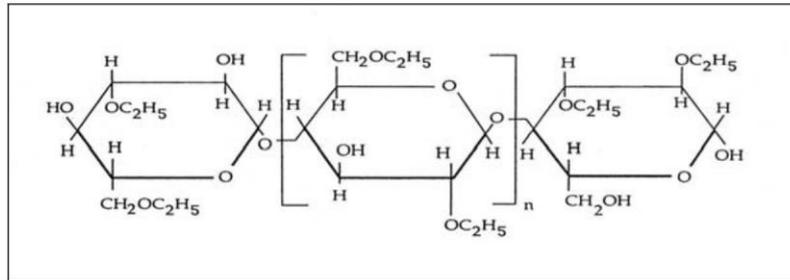
C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración

C/ Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 Getafe - Madrid

Tel: +34 91 601 16 40 (4 líneas) / Fax: +34 91 601 03 33



Estructura de la etilcelulosa

KLUCEL G

Se trata de una celulosa modificada, una hidroxipropilcelulosa, que permite espesar tanto soluciones acuosas como disolventes orgánicos polares con fd comprendido entre 25 y 45, como el Alcohol etílico, las aminas, el Dimetilsulfoxido.

EN un gel acuoso a base de **Klucel G** pueden añadirse solo pequeñas cantidades de disolventes apolares, que varían des disolvente a disolvente.

Tiene un poder adhesivo medio, y se usa como adhesivo para papel y cartones.

Por encima de 40°C el gel colapsa y se forma una solución blanquecina, fluida. Esta propiedad puede resultar útil para preparar geles muy viscosos: se calienta y se mezcla el polvo en el líquido, después se deja refrescar, y se forma el gel transparente.

Es estable en el intervalo de pH 2-12, y permite después espesar todos los ácidos y las bases utilizables en el sector de la restauración.

VANZAN NF-C

El Vanzan es un espesante para sistemas acuosos constituidos por un polímero natural, la goma xantano, extraída de la bacteria *Xanthomonas Campestris*.

Su estructura es muy similar a la de la estructura celulosa, con la presencia de cadenas laterales ácidas.

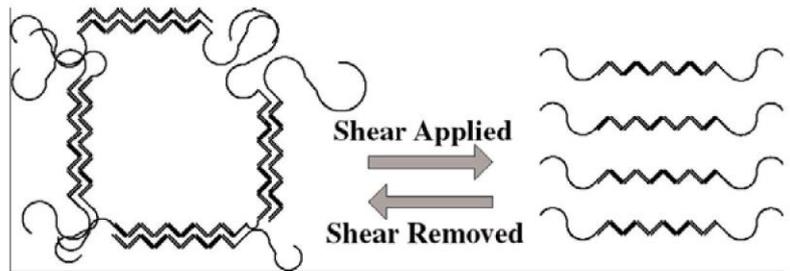
Su principal característica es la de pasar a una conformación de las cadenas "ovillo casual", a una ordenada, en donde las cadenas se disponen en hélice, formando unas estructuras responsables de la tixotropiedad del gel.

La acción mecánica (movimiento con pincel o tampón) en estas estructuras lleva a su rotura parcial, con disminución de la viscosidad. Cuando la solución se deja en reposo las estructuras se reforman, con aumento de la viscosidad (propiedad **pseudoplástica**).

Además la estabilidad hasta 60°C hace que se pueda usar para aplicar **geles calientes** (cosa no realizable con las soluciones de Klucel G, que pierden viscosidad por encima de 30°C).

Además es posible añadir a las soluciones acuosas hasta el 40% de alcoholes o de glicoles, sin que el gel se mezcle.

La eliminación de eventuales residuos que permanecen en la superficie puede efectuarse usando bastoncillos de algodón secos o ligeramente mojados en agua desmineralizada.



CARACTERISTICAS QUIMICO FISICAS DEL VANZAN NF-C

Aspecto	Polvo blanco finísimo
pH de una solución al 1%	6,0-8.0
Viscosidad Brookfield de una solución al 1% (mPa.s)	1300-1700*
Viscosidad Brookfield de una solución al 0,5% (mPa.s)	500-550*

*Nota_ El Vanzan permite obtener viscosidades más altas que el Klucel G, que al 2% tiene una viscosidad de solo 150-400 mPa.s,



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración

C/ Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 Getafe - Madrid

Tel: +34 91 601 16 40 (4 líneas) / Fax: +34 91 601 03 33

CARBOGEL

Basándose sobre la experiencia de la gelificación de los disolventes con ácido poliacrílico salificado **CTS** ha desarrollado un nuevo soportante para el sector de los frescos, denominado **CARBOGEL**, que presenta características peculiares.

El punto fuerte del **CARBOGEL** es su **alta capacidad de retención del agua**, que evapora así en tiempos muy largos. Puede añadirse a papetas de pulpa de celulosa para alargar los tiempos de secado en ambientes secos o con elevada temperatura y ventilación.

Por este motivo es posible utilizar este gel incluso sobre soportes sensibles al agua. De hecho, el agua está en este caso fuertemente unida al **CARBOGEL**, y se queda una mínima parte en el soporte. Esto lo hace ideal para la limpieza de soportes de madera decorados o muros y frescos que contengan sales solubles, o bien para el **hinchado de residuos de cola pasta** de la parte de atrás de telas, sin riesgo de cesiones de líquido a los estratos pictóricos.

PREPARACIÓN DEL GEL ACUOSO

La preparación es muy simple: una vez preparada la solución acuosa de los reagentes (Amonio Carbonato, Amonio Bicarbonato, EDTA, etc....) en la concentración querida, se añade del 0,5% al 4% en peso de **CARBOGEL**, después se mezcla todo. En el caso de que lo añadido sea excesivo (y se haya obtenido un gel demasiado viscoso), se puede fácilmente compensar con el añadido de otra solución, mientras un gel demasiado fluido puede hacerse más viscoso añadiendo otro **CARBOGEL**.

En el caso de elevadas concentraciones de disuelto pueden existir dificultades de espesar.

Una solución al 0,3% (fluido viscoso) tiene un pH = 7,5 aproximadamente, o sea débilmente alcalino.

No se pueden añadir disolventes (con la excepción de alcohol etílico en mezcla con agua, con relaciones inferiores a 1:2), para los que se recurre a los ya citados **CARBOPOL® ULTREZ 21/ETHOMEEN®**.

APLICACIÓN Y ELIMINACIÓN DEL GEL

El gel puede aplicarse por medio de una espátula o de un pincel sobre la superficie previamente protegida con papel japonés, dejándolo actuar durante tiempos que deben de ser determinados por el usuario, como para las compresas tradicionales. La transparencia del gel permite observar los fenómenos en acto sobre la superficie. Proceder después a la eliminación del papel japonés (y del gel), y sucesivamente se limpia con pequeñas esponjas naturales o tampones siempre empapados con agua desmineralizada. Dado que el **CARBOGEL** tiene **escasísimas capacidades adhesivas** sobre cualquier tipo de estuco, sea liso o rugoso, es simple obtener la completa eliminación de los residuos.

Se recuerda que los espesantes usados en el pasado como la Carboximetilcelulosa, además de necesitar notables cantidades de producto (entre el 4% y el 10% en peso) para dar gel de alta viscosidad, presentaban también fuertes propiedades adhesivas, tanto que hace casi imposible su completa eliminación.

Elevadas cantidades de sales pueden comportar el mezclado del gel. Este fenómeno debe considerarse tanto por la aplicación sobre soportes ricos de sales, como por la gelificación de soluciones a elevadas concentraciones.

PEMULEN TR2

Pemulen TR2 es un polímero acrílico reticulado, con capacidad adesante contra soluciones acuosas.

Como el Carbopol puede ser gelificado utilizando trietanolamina o Ethomeen.

No contiene antioxidantes o conservantes.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-FÍSICAS DEL PEMULEN TR2

Aspecto	Polvo blanco finísimo
pH de una solución al 1%	2.5 – 3.0
Viscosidad Brookfield de una solución al 0,2% (mPa.s), a 25°C	1700 -4500



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración

C/ Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 Getafe - Madrid

Tel: +34 91 601 16 40 (4 líneas) / Fax: +34 91 601 03 33

Toxicidad

Todos los productos descritos (**CARBOPOL® ULTREZ 21**, **KLUCEL G**; **ETILCELLULOSA**, **VANZAN NF-C**, **CARBOGEL**, **PEMULEN TR2**) son productos de baja toxicidad, y pueden manejarse respetando los normales procedimientos, o sea evitando inhalar productos en polvo. Para las aminas **ETHOMEEN®** evitar el contacto cutáneo: es suficiente trabajar con guantes mono uso de látex.

Confecciones

Cargopol Ultres 21:	conf. 1 kg
Ethomeen C/12 e C/25:	conf. 1 lt
Etilcelulosa N 300:	conf. 500 gr
Klucel G:	conf. 500 gr y 2,5 kg
Vanzan NF-C	conf. 500 gr
Carbogel:	conf. 1 kg
Pemulen TR2:	conf. 500 gr

Las indicaciones y los datos descritos en el presente opúsculo se basan sobre nuestras actuales experiencias, sobre pruebas de laboratorio y sobre correcta aplicación. Estas informaciones no deben de sustituirse a las pruebas preliminares que es indispensable efectuar para cerciorarse de la idoneidad del producto en cualquier caso determinado.

La C.T.S. S.r.l. garantiza las cualidades del producto pero no responde de eventuales daños causados por un uso no correcto del material. Además, puede variar en cualquier momento los componentes y las confecciones sin obligación de comunicación alguna.

**CARBOXIMETILCELULOSA**

Sal sódica soluble en agua, con la cual forma un empaste de alta densidad y con elevadísimas propiedades de retención, e insoluble en disolventes orgánicos. La **Carboximetilcelulosa** se utiliza en la preparación de papetas de limpieza para superficies pétreas y frescos, a las cuales confiere propiedades tixotrópicas y condensantes; la papeta de limpieza química más conocida en la cual se utiliza la **CMC** es la AB 57 (formulación del **I.C.R.** de Roma).

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Descripción química:	sal sódica del ácido glicólico de la celulosa (Na CMC)
Aspecto:	polvo blanco - beige
Peso específico:	0,4 ± 0,1 kg/l a 20°C
pH:	7 - 10 en solución acuosa al 1%
Viscosidad al 5% en agua:	6000 - 8000 mPas (a 20°C)
Granulometría:	< 0,18 mm (97% min.)

ENVASES: 1 kg 5 kg

ALGODON HIDROFILO

Algodón hidrófilo 100%, de alto grado de refinado.

ENVASES: 1 kg

GLUТОFIX 600

Metilcelulosa en polvo, exenta de álcalis y ácidos, soluble en agua, utilizada como adhesivo para papel, cartón y piel o como condensante tixotrópico de soluciones acuosas varias.

ENVASES: 125 g

LAPONITE® RD

Laponite RD es una arcilla coloidal integrada por una mezcla de silicatos de sodio, magnesio y litio, en polvo. Cuando se añade agua desmineralizada se infla formando un gel transparente, tixotrópico, estable al calor, utilizable para la limpieza de papel, pergamino, tejidos y otros soportes.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Aspecto:	polvo blanco
pH:	9,8 en dispersión al 2%
Contenido de humedad:	3,0-10,0%

ENVASES: 1 kg 25 kg

**CARBOXIMETILCELULOSE**

Sal de sódio solúvel em água, com a qual forma uma pasta de alta densidade e com elevadísimas propriedades de retenção, e insolúvel em solventes orgânicos. A **Carboximetilcelulose** é utilizada na preparação de cataplasmas ou compressas de limpeza para superfícies pétreas e frescos, às quais confere propriedades tixotrópicas e espessantes. A compressa de limpeza química mais conhecida, na qual é utilizada a **CMC**, é a AB 57 (formulação do **I.C.R.** de Roma).

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Descrição química:	sal de sódio do ácido glicólico da celulose (Na CMC)
Aspetto:	pó branco - bege
Peso específico:	0,4 ± 0,1 kg/l a 20°C
pH:	7 - 10 em solução aquosa a 1%
Viscosidade a 5% em água:	6000 - 8000 mPas (a 20°C)
Granulometria:	< 0,18 mm (97% min.)

EMBALAGENS: 1 kg 5 kg

ALGODÃO HIDRÓFILO

Algodão hidrófilo 100%, com alto grau de refinamento.

EMBALAGENS: 1 kg

GLUТОFIX 600

Metilcelulose em pó, isenta de álcalis e ácidos, solúvel em água, utilizada como adesivo para papel, cartão e peles ou como espessante tixotrópico de diversas soluções aquosas.

EMBALAGENS: 125 g

LAPONITE® RD

Laponite RD é uma argila coloidal constituída por uma mistura de silicatos de sódio, magnésio e lítio, em pó. Quando se adiciona água desmineralizada, dilata-se formando um gel transparente, tixotrópico, estável ao calor, utilizável na limpeza de papel, pergamino, tecidos e outros suportes.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Aspetto:	pó branco
pH:	9,8 em dispersão a 2%
Conteúdo de humidade:	3,0-10,0%

EMBALAGENS: 1 kg 25 kg



C.T.S. ESPAÑA
Productos y Equipos para la Restauración
C/ Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos
28906 Getafe - Madrid
Tel: +34 91 601 16 40 (4 líneas) / Fax: +34 91 601 03 33

GELLANO KELCOGEL

El Gellano Kelcogel es un hidrocoloidal natural con propiedades espesantes constituido por un polisacárido complejo.

La base del Gellano Kelcogel son: beta-D-glucosio, L-ramnosio e D-acido glucurónico.

La principal característica del Gellano Kelcogel es la de hacer un gel termoreversible, análogamente al Agar, pero con un mayor grado de transparencia, que permite una mejor visión de los fenómenos en curso en la zona de contacto del gel. Aplicando calor la cadena pasa a una estructura de "madeja casual", y se forma una solución fluida, que puede ser vertida para formar, después del enfriamiento, "hojas" de algunos milímetros de espesor. Con este enfriamiento las cadenas se ordenan, disponiéndose en hélice y formando así los tubos en los cuales la molécula de agua es fuertemente sostenida, la parte terminal de estos tubos permanecen desordenada. Estos terminales se ligan a los terminales de las cadenas cercanas, formando la estructura responsable del característico gel rígido, y en cuyo interior la molécula de agua puede moverse.

El proceso de gelificación puede invertirse indefinidamente calentando o enfriando, es por esto que se llama gel termoreversible.

Estos geles son objetos de estudio para la limpieza de obras de papel [1,2,3].

CARACTERÍSTICAS QUÍMICO FÍSICAS DEL GELLANO KELCOGEL

Aspecto	De blanco a pardo claro
Transmisión	>76%

Preparación y aplicación

El polvo de Gellano Kelcogel se añade a la solución acuosa a espesar, en porcentaje variable entre el 1 y el 5 % (a determinar en base al efecto que se necesite), y se lleva a una temperatura comprendida entre 75 y 100°C (usando microondas, baño maría, o también por calentamiento directo), por un tiempo comprendido entre 6 y 30 minutos.

Dejándolo enfriar se obtiene el gel que puede hacerse nuevamente líquido mediante calor.

El gel rígido de Gellano Kelcogel puede aplicarse directamente sobre la superficie, absorbiendo la suciedad contenida por las fibras del papel, con el efecto secundario de humidificar sin liberación de agua.

Seguridad

El Gellano Kelcogel es un aditivo alimentario (E418), libre de bacterias patógenas y metales pesados (<20 ppm), y por lo tanto, no presenta ningún riesgo si se ingiere.

Confección

Gellano Kelcogel está disponible en **confecciones de 250 gr.**

Publicaciones de referencia

1. Iannuccelli S., Sotgiu S., Missori M.; "La chinea di Papa Clemente VIII del 1598: pulitura del supporto cartaceo, tecniche di lavaggio e diagnosi ottica dei risultati", Atti del II Congresso Nazionale "Lo stato dell'arte", Torino (2004).
2. Iannuccelli S., Sotgiu S.; "La pulitura superficiale di opere grafiche a stampa con gel rigidi", Progetto Restauro 14 (2009), 15.
3. Iannuccelli S., Sotgiu S.; "L'impiego di gel rigidi polisaccaridici per il trattamento di pulitura di opere grafiche a stampa", Atti del VII Congresso Nazionale "Lo stato dell'arte", Napoli (2009).

La información contenida en esta ficha está basada en nuestros conocimientos y pruebas de laboratorio en la fecha de la última versión. El usuario debe verificar la idoneidad del producto en relación con cada uso específico de las pruebas preliminares, y está obligado a cumplir con las leyes y los reglamentos sobre higiene y seguridad.

C.T.S. garantiza la calidad constante del producto, pero no se hace responsable de los daños causados por un uso incorrecto del material. Producto diseñado exclusivamente para **uso profesional**. Además, se pueden cambiar en cualquier momento los componentes y los envases sin ningún tipo de comunicación alguna.



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración

C/ Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 Getafe - Madrid

Tel: +34 91 601 16 40 (4 líneas) / Fax: +34 91 601 03 33

ARBOCEL

PULPA DE PAPEL

La Pulpa de Papel Arbocel se constituye de fibras de pura celulosa, y puede usarse como apoyo para compresas para la limpieza de materiales de piedra naturales y artificiales, frescos, revoques, estucos.

Puede también utilizarse como carga inerte para la preparación de maltas y estucos.

Están disponibles tres tipos diferentes de Arbocel, que se diferencian entre ellos según la longitud de las fibras de celulosa.

CARACTERISTICAS

	ARBOCEL BWW 40	ARBOCEL BC 200	ARBOCEL BC 1000
Aspecto	fibras blancas		
Contenido de celulosa (%)	99.5		
pH	6.5±1	6±1	
Índice de blanco (%)	85.5±4.5	86±5	
Longitud media de las fibras (μ)	200	300	700
Espesar medio de las fibras (μ)	20	20	20
Densidad aparente (Kg/l)	0.12-0.155	0.07-0.09	0.035-0.0.05

APLICACIÓN

La pulpa de papel puede ser añadida solo con agua desmineralizada o con soluciones de carbonato o bicarbonato de amonio, EDTA, etc.... Una vez obtenido una pasta homogénea debe de extenderse sobre la superficie con el eventual auxilio de espátulas, asegurándose que la adhesión sea continua (sin vacíos de aire que pueden causar deshogeneidad de la limpieza). El espesar puede variar de 1 a 2 cm.

La interposición de un folio de papel japonés facilita la eliminación de la compresa y reduce la penetración de las fibras en sustratos muy porosos. El completo secado de la compresa debe de evitarse normalmente.

En el caso de elevada ventilación o climas secos se pueden disminuir la velocidad de evaporación protegiendo la compresa con un film de polietileno. La velocidad de evaporación puede reducirse también mezclando a la pulpa de papel sepiolite.

Una vez eliminada la compresa se puede proceder a un lavado de agua desmineralizada o con otros sistemas dependientes bien del tipo de apoyo o bien de sustancia a eliminar. De hecho la compresa puede causar el hinchamiento de algunas sustancias, que deben de eliminarse mecánicamente.

CONFECIONES

Arbocel BWW 40 Sacos de 17.5 Kg.

Arbocel BC 200 Sacos de 20 Kg.

Arbocel BC 1000 Sacos de 15 Kg.

Las indicaciones y los datos descritos en la presente ficha se basan sobre nuestras experiencias actuales, sobre pruebas de laboratorio y sobre la correcta aplicación.

Estas informaciones no deben de sustituirse por las pruebas preliminares que es indispensable efectuar para asegurarse a la idoneidad del producto a cualquier caso determinado.

C.T.S. S.r.l. garantiza la calidad constante del producto pero no responde de eventuales daños causados por un uso no correcto del material. Además, puede variar en cualquier momento los componentes y las confecciones sin obligación de comunicación alguna.

