



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

DEL DESGAST A LA PRESERVACIÓ

COMPROVACIÓ *IN SITU* DE CONSOLIDANTS A LA PEDRA DEL MÈDOL

Autora: Júlia Marta Guinovart

NIUB: 20543272

Treball Final de Grau

Grau en Conservació-Restauració de Béns Culturals

Tutor: Lucía López-Polín Dolhaberriague

Curs: 2024-2025

*Lapides loquuntur*¹

"La arquitectura es el testigo insobornable de la historia."

— Octavio Paz, *Los privilegios de la vista*, 1994.²

Vull agrair a la meva tutora, Lucía López-Polín, pels seus consells clars, la dedicació constant i la paciència amb què m'ha acompanyat al llarg de tot el procés. També a la Núria Guasch, pel seu suport, temps i generositat a l'hora de compartir coneixements i facilitar-me recursos essencials per al desenvolupament d'aquest projecte.

Gràcies a Luciana Macedo i Jérôme Rouch per oferir-me espai i materials per fer proves durant les pràctiques, i a la meva família i amics, pel seu suport constant i per fer més lleuger aquest camí.

¹ Expressió llatina que significa "les pedres parlen".

² (Paz, 1994)

RESUM

La pedra del Mèdol, utilitzada àmpliament en el patrimoni arquitectònic de Tarragona, pateix un procés accelerat de disgregació provocat per factors ambientals i antropogènics, cosa que compromet l'estabilitat i la conservació dels monuments. Aquest treball té per objectiu avaluar l'eficàcia de tres consolidants — un silicat d'etil (CTS Estel 1000®), un producte basat en nanopartícules de sílice (Nanoestel®) i un altre basat en nanopartícules de carbonat de calci (Nanorestauro®) —, i establir un protocol metodològic *in situ* senzill per determinar-ne la compatibilitat amb el substrat i l'efectivitat. S'ha combinat una revisió teòrica de les propietats químiques dels consolidants amb proves pràctiques sobre mostres de pedra. Les proves inclouen l'anàlisi d'absorció d'aigua, la prova de la gota i l'*Scotch tape test*. Els resultats mostren que tots els productes han millorat la cohesió superficial, tot i que el silicat d'etil ha provocat alteracions significatives en les propietats hidrofíliques del substrat, fet que en desaconsella l'ús. Nanoestel® i Nanorestauro® es presenten com a alternatives més compatibles amb el substrat, tot i que caldria ampliar la mostra i incorporar tècniques d'anàlisi complementàries — com la mesura de la velocitat de transmissió del vapor d'aigua — per validar i consolidar els resultats obtinguts.

Paraules clau: Consolidació, Pedra del Mèdol, *In situ*, Silicat d'etil, Carbonat càlcic.

ABSTRACT

The Mèdol stone, widely used in the architectural heritage of Tarragona, is undergoing an accelerated disintegration process caused by environmental and anthropogenic factors, which threatens the stability and preservation of monuments. This study aims to evaluate the effectiveness of three consolidants — an ethyl silicate (CTS Estel 1000®), a product based on silica nanoparticles (Nanoestel®), and another based on calcium carbonate nanoparticles (Nanorestauro®) — and to establish a simple *in situ* methodological protocol to assess their compatibility with the substrate and overall effectiveness. A theoretical review of the chemical properties of the consolidants was combined with practical tests on stone samples. The tests included water absorption analysis, the drop test, and the Scotch tape test. The results show that all products improved surface cohesion, although the ethyl silicate significantly altered the hydrophilic properties of the substrate, making its use inadvisable. Nanoestel® and Nanorestauro® appear to be more compatible alternatives, although a broader sample set and additional analytical techniques — such as water vapor transmission rate measurements — are needed to validate and consolidate the results.

Keywords: Consolidation, Mèdol Stone, *In situ*, Ethyl Silicate, Calcium Carbonate.

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	8
Objectius específics.....	9
Rellevància de l'estudi	10
Alineació amb els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS).....	11
MARC TEÒRIC I ANTECEDENTS.....	12
1. Descripció petrogràfica i processos de degradació	12
1.1. Litologia i composició.....	12
1.2. Mecanismes de degradació.....	13
1.3 Patologies principals observades:.....	14
2. Ubicació geogràfica i zones d'extracció històriques	18
2.1. Context geogràfic	18
2.2. Litotips i variacions segons la zona d'extracció.....	20
3. Importància monumental i ús en el patrimoni arquitectònic	21
3.1. Paper en la construcció de Tàrraco.....	21
3.2 . Conservació i reptes actuals	23
4. ELS CONSOLIDANTS	23
4.1 Avaluació de Consolidants.....	24
4.2 Tècniques d'Avaluació <i>In Situ</i>	25
METODOLOGIA	27
Part Teòrica	27
Part Pràctica	28
A. Obtenció de mostres	28
B. Realització de proves:.....	30
C. Aplicació del consolidant	37
RESULTATS	40
Prova de la gota.....	43

Assaig d'absorció d'aigua	44
Scotch tape test.....	46
Observacions durant l'experimentació	47
DISCUSSIÓ DELS RESULTATS.....	49
CONCLUSIONS.....	53
BIBLIOGRAFIA.....	56
ANNEXOS.....	60
Annex 1: Fitxes de caracterització de la pedra Mèdol	60
Annex 2: Fitxes tècniques dels consolidants.....	60

INTRODUCCIÓ

La **pedra natural** és un dels materials constructius més antics i àmpliament utilitzats al llarg de la història. S'ha emprat en tota mena d'edificacions, des d'habitatges fins a temples i monuments. La seva abundància, proximitat i relativa facilitat d'extracció l'han convertida en un recurs fonamental per a l'arquitectura en diferents èpoques. (Navarro Ezquerro, 2007)

Les roques sedimentàries han estat les més utilitzades en la construcció, tot i que les roques plutòniques i metamòrfiques també s'han emprat amb finalitats ornamentals i constructives. L'ús de les diferents roques depenia de la seva disponibilitat local, la seva resistència i la facilitat per treballar-les, segons les eines disponibles a cada època. A més, el transport de grans blocs era complicat i costós, fet que va propiciar que moltes ciutats s'edifiquessin amb la pedra de l'entorn immediat, influint així en l'estètica urbana. Es coneix com a "**pedra tradicional**" aquella que s'ha utilitzat de manera contínua en la construcció d'una localitat, definint-ne la **textura** i el **color** (Fort González, 2012). A Tarragona, la lumaquel·la del Mèdol, una calcària d'origen miocènic amb tonalitats ocres i fragments de petxines, exemplifica perfectament aquest concepte. Emprada ja en època romana en icones com les muralles i l'amfiteatre (Patrimoni de la Humanitat, UNESCO des de l'any 2000), aquesta pedra s'ha consolidat com un element identitari de l'arquitectura local (Brull Casadó, 2015) (Albalat Vázquez & Ossó, 2012).

Tanmateix, com tota pedra natural, la lumaquel·la està subjecta a **processos de degradació** que s'acceleren per factors ambientals com els cicles d'humitat i temperatura, la cristallització de sals solubles i, especialment, l'impacte de la contaminació atmosfèrica (Charola, 2024; Prada, 1995; Winkler, 2013). Aquests fenòmens provoquen descohesió granular, pèrdua de material i alteracions cromàtiques, que comprometen tant la integritat estructural com el valor patrimonial dels monuments.

En l'àmbit de la **conservació-restauració** del patrimoni, una estratègia fonamental per frenar o reduir la degradació natural de la pedra és la **consolidació**³. Aquest procés consisteix en l'aplicació d'un material líquid (consolidant) que penetra en profunditat a la roca, millorant la cohesió interna, les propietats mecàniques i l'adhesió de les capes alterades amb el substrat sa

³ En aquest TFG, el terme "consolidació" es referirà exclusivament a la tècnica de conservació de la pedra mitjançant l'aplicació d'un producte que millora la cohesió interna del material. Cal destacar que en altres contextos, la paraula també pot fer referència a tècniques de consolidació estructural (reforç estructural).

(Navarro Ezquerro, 2007; *Proyecto COREMANS*, s. f.). La consolidació és especialment necessària quan la pedra ha perdut cohesió i cal unir els grans minerals solts, reforçant la unió entre la capa alterada i la sana.

Tot i que la consolidació és una pràctica acceptada i eficaç, cal tenir present que suposa una intervenció destinada a aturar un procés natural de degradació. Com apunta el llibre *El culto a lo moderno de los monumentos* (Riegl, 2007), aquesta actuació pot entendre's com una intromissió en el domini de les lleis naturals, fet que ressalta la importància d'un enfocament prudent i respectuós.

En aquest sentit, abans d'aplicar un consolidant en una obra patrimonial, és essencial avaluar-ne l'eficàcia i la compatibilitat amb el material original, ja que es tracta d'un procediment **irreversible**. Un estudi previ permet determinar si el producte millora realment la resistència de la pedra sense alterar-ne les propietats físiques, químiques o estètiques, assegurant així que la intervenció sigui adequada i sostenible a llarg termini.

Aquest treball se centra en l'avaluació de consolidants per a la pedra del Mèdol mitjançant proves senzilles *in situ*. L'anàlisi s'organitza en fases seqüencials: caracterització inicial, selecció de productes compatibles i aplicació monitorada en àrees controlades, garantint l'eficiència en recursos i la reproductibilitat dels assaigs. Mitjançant proves poc destructives com l'absorció, l'angle de contacte i el Scotch Test, i amb una mostra base per comprovar els canvis de color, es determina la millora en la resistència mecànica i la preservació de l'autenticitat del material. El document està estructurat en diverses seccions que abasten la revisió teòrica, la metodologia detallada, la presentació de resultats, la seva discussió i les conclusions finals, facilitant així una comprensió integral de l'estudi.

L'objectiu d'aquest treball és **desenvolupar una metodologia senzilla i econòmica per a l'avaluació de consolidants**, basada en proves que es puguin realitzar *in situ* i que facilitin la selecció de productes compatibles amb el substrat. Així, es pretén garantir una intervenció **eficient, objectiva i recolzada per dades** concretes, contribuint a la conservació del patrimoni.

Objectius específics

1. Avaluar l'eficàcia i la compatibilitat de tres consolidants comercials (CTS Estel 1000®, Nanoestel® i Nanorestauro®) aplicats a la pedra del Mèdol.

2. Desenvolupar un protocol de proves *in situ* senzill, replicable i econòmic que permeti valorar tant la millora de la cohesió com les possibles alteracions estètiques de la pedra tractada.
3. Identificar els principals agents de degradació que afecten la lumaquel·la, amb especial atenció a la seva estructura porosa i composició bioclàstica.
4. Proposar una metodologia d'avaluació transferible a altres monuments construïts amb materials petris de característiques similars.

Rellevància de l'estudi

La conservació de materials petris, especialment en entorns patrimonials com el de Tarragona, requereix metodologies que garanteixin tant **l'eficàcia dels tractaments** com el **respecte per l'autenticitat** del material. En aquest context, la selecció d'un consolidant adequat esdevé una **decisió crítica**, atesa la seva **escassa reversibilitat** i la potencial afectació a les propietats fisicoquímiques de la roca.

El present estudi aporta una contribució en aquest camp, no només per la seva proposta metodològica **accessible i objectiva**, sinó també per la seva vocació **pràctica i transferible**. La metodologia plantejada prioritza l'eficiència, la simplicitat i la viabilitat econòmica, responent a les limitacions habituals de temps i pressupost que afecten molts projectes de conservació.

Un dels valors destacats del treball és la seva orientació cap a una presa de decisions més informada, basada en dades objectives obtingudes abans de la intervenció. Això permet no només reduir riscos, sinó també fomentar una **cultura professional que combini l'experiència del restaurador amb l'aval de l'experimentació científica** (Beck, 1997). En aquest sentit, aquest enfocament pot contribuir a sistematitzar criteris, facilitant l'estandardització i la comparabilitat entre casos.

Amb la posterior evolució i validació d'aquesta proposta, es podrien establir pautes útils per a la conservació de roques calcàries en diversos contextos climàtics i ambientals, ampliant-ne així l'abast i l'impacte en el sector del patrimoni construït.

Alineació amb els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS)

En el context actual de degradació progressiva del patrimoni a causa de factors ambientals i antropogènics (Winkler, 2013), la conservació dels materials esdevé una **prioritat** (Beck, 1997)⁴. Aquest treball no només aborda una problemàtica específica del patrimoni de Tarragona, sinó que s'inscriu també en els esforços globals per **preservar la memòria històrica i cultural**. En aquest sentit, el present estudi s'alinea amb dos **Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS)** de les Nacions Unides.

D'una banda, l'**ODS 11: Ciutats i comunitats sostenibles**, i en particular la **meta 11.4**, promou la **protecció i salvaguarda del patrimoni cultural i natural**. L'avaluació de l'eficàcia i compatibilitat de diferents consolidants per a la pedra del Mèdol pretén contribuir a una metodologia de conservació més eficaç, sostenible i respectuosa amb les característiques materials originals, afavorint així la preservació dels monuments històrics per a les generacions futures.

D'altra banda, el treball connecta també amb l'**ODS 12: Producció i consum responsables**, i especialment amb la **meta 12.4**, centrada en la gestió ecològicament racional dels productes químics durant tot el seu cicle de vida. L'estudi reflecteix la necessitat de seleccionar consolidants que no només siguin eficaços, sinó també compatibles químicament amb el substrat, sostenibles i segurs per a l'entorn i les persones.⁵



Figura 1. Icones oficials dels ODS obtingudes de les Nacions Unides (Departament d'Afers Econòmics i Socials - DESA).⁶

⁴ Segons Beck (1994, p. 9), "A veces la restauración en sí misma no solo es deseable sino incluso esencial."

⁵ (Recursos comunicatius, s. f.) (United Nations, s. f.)

⁶ URL: <https://sdgs.un.org/goals>

MARC TEÒRIC I ANTECEDENTS

1. Descripció petrogràfica i processos de degradació

1.1. Litologia i composició

La pedra del Mèdol, també coneguda com a **lumaquel·la del Mèdol**, és una **calcarenita bioclàstica** formada durant el **Miocè inferior (Serraval·lià)**, i s'integra dins la **Unitat Ardenya de la Sèrie Depositional de Tarragona** (Porta J. i Civis . J, 1990). Aquesta roca es caracteritza per una alta **heterogeneïtat** litològica que es reflecteix tant en la seva composició com en les seves propietats mecàniques i texturals. El terme *lumaquel·la* prové del llatí *lumachella*, que significa “petxina petita” (Vera, J.A., 2004), en referència als fragments fossilitzats de petxines que conté aquesta pedra.

La lumaquel·la presenta una **textura bioclàstica** amb abundants fragments de mol·luscs, corals i petxines en una **matriu calcítica escassament detrítica**. Les seves tonalitats varien **entre ocres i groguenques**, amb zones més fosques per la presència d'òxids de ferro. Aquesta combinació de factors li confereix una porositat significativa, amb valors mitjans del **24%**, i una estructura interna complexa, on predomina la **porositat moldica** i en menor mesura del tipus “vug”. La presència de ciment “drusy” parcialment consolidat contribueix a la fragilitat estructural de la pedra. (Álvarez Pérez & Institut Català d'Arqueologia Clàssica, 2009)

Els estudis petrogràfics (Brull Casadó, 2015; Prada, 1995) han identificat dues varietats principals:

- Una de baixa porositat (entorn del 15%), més compacta.
- Una altra de porositat mitjana-alta (fins al 24%), més porosa i amb una estructura polimodal.

Aquesta porositat, especialment efectiva (connectada), afavoreix la circulació de l'aigua i, per tant, l'entrada de sals solubles. Els porus, sovint amples però connectats per canals estrets, contribueixen a processos de deteriorament com l'arenització, el rentat diferencial i la formació d'alveolització superficial. Cal destacar que, a diferència d'altres calcarenites com les del Llorito, la varietat Mèdol **no presenta capacitat d'inflament per argiles** expansives.

La resistència mecànica també és variable segons la compactació i el tipus litològic. S'han registrat valors de compressió que oscil·len entre **96 i 243 kp/cm²**, amb un valor mitjà entorn dels **300 kp/cm²** i punts màxims puntuals de fins a 500 kp/cm² en estrats més densos (Prada, 1995)

Aquest comportament diferencial fa necessari caracteritzar acuradament les mostres abans d'aplicar-hi tractaments, ja que la porositat, la textura i el grau de cimentació condicionen la resposta als agents externs i als productes consolidants.

Taula 1. Propietats físiques de la lumaquel·la del Mèdol

Propietat	Valor/Descripció
Resistència a compressió	Entre 96 i 243 kp/cm ² (mitjana ≈ 300 kp/cm ² , màxims puntuals fins a 500 kp/cm ²)
Duresa	3 (equivalent a la calcita, component principal)
Textura	Rugosa, amb fragments bioclàstics visibles
Porositat	Moderada a alta; depèn de la compactació i del grau de cimentació
Tipus de porositat	Predominantment mòldica; també porus del tipus "vug"
Estructura porosa	Polimodal; macroporus connectats per canals estrets
Porositat efectiva	Alta; afavoreix la circulació d'aigua i la penetració de sals solubles
Inflament	No presenta capacitat d'inflament
Litotips principals	Inferior: més compacte i homogeni. Superior: més porós i amb bioclats visibles

1.2. Mecanismes de degradació

Tot i la seva relativa resistència inicial, la lumaquel·la del Mèdol és especialment vulnerable als processos de degradació relacionats amb la seva elevada porositat i composició bioclàstica. Aquests mecanismes, molt estudiats en la literatura tècnica (Amoroso, G. G., & Fassina, 1991; Charola, 2024; *Proyecto COREMANS*, s. f.; Winkler, 2013) són especialment actius en entorns urbans mediterranis.

- **Humitat i cicles hídrics:** L'aigua és el principal agent d'alteració. La seva infiltració a través dels porus dissol el carbonat càlcic i transporta **sals solubles**. En cristal·litzar a l'interior, aquestes sals generen tensions que condueixen a fenòmens com l'**arenització** i a l'**escatament superficial**. Els processos es veuen intensificats per la capil·laritat i l'evaporació irregular.

- **Contaminació atmosfèrica:** Els gasos àcids com el diòxid de sofre (SO_2) i els òxids de nitrogen (NO_x), típics de zones urbanes, reaccionen amb el carbonat de calci formant sulfats i nitrats. Aquestes reaccions donen lloc a **crostejats i escamacions** per acumulació de guix i salitre.
- **Cicles termohigromètrics:** Les variacions diürnes i estacionals de temperatura i humitat provoquen **expansions i contraccions** en la matriu mineral. Aquest fenomen genera **esquerdes microestructurals** i facilita la penetració d'aigua i contaminants.
- **Biodeterioració:** La colonització per líquens, fongs, bacteris i algues genera alteracions cromàtiques (taques verdes, negres o marrons), **crostes biològiques** i degradació per àcids orgànics que descalcifiquen la superfície de la pedra.

1.3 Patologies principals observades:

La interacció d'aquests mecanismes genera un conjunt de patologies típiques en la pedra del Mèdol. Algunes d'elles són:

- **Alteració alveolar:** Es tracta de la formació de cavitats irregulars a la superfície de la pedra, resultat de la pèrdua progressiva de material granular per processos de rentat i erosió selectiva, generalment afavorits per la humitat i l'impacte de l'aigua de pluja o condensació. Aquesta morfologia erosiva no només té un impacte visual, sinó que debilita estructuralment la superfície. A la calcarenita del Mèdol aquest fenomen és especialment prevalent.
- **Exfoliació (o deslaminació):** Consisteix en la separació de làmines o escates paral·leles a la superfície de la pedra, deguda a tensions internes generades principalment per la cristallització repetida de sals solubles dins els porus. Aquestes sals es dissolen amb la humitat i solidifiquen en evaporar-se l'aigua, generant pressions que trenquen la cohesió entre capes. És un mecanisme típic de degradació en climes amb cicles d'humitat/assecat marcats. (*Cristalización de sales en calcarenitas: aplicación al monasterio de San Jeronimo: Granada, s. f.*) (Cardell, C., & Rodríguez-Navarro, C. 2002)
- **Costres negres:** Són incrustacions de color fosc (negre grisós) que es formen per l'acumulació de partícules contaminants (com els òxids de sofre, carboni i metalls pesants) provinents de la combustió urbana i el trànsit. Aquestes partícules reaccionen amb components del substrat (com el carbonat càlcic), donant lloc a guix i altres productes secundaris, sovint associats amb matèria orgànica i colònies microbianes.

Encara que poden actuar com una “crosta protectora”, la seva presència indica un entorn altament contaminat i poden afavorir altres formes d’alteració subjacent.

- **Pèrdua de massa:** Fenomen que fa referència a la disminució del volum del bloc de pedra, ja sigui per erosió, exfoliació, fracturació o desaparició d’elements formats per materials més dèbils. En zones estructurals, la pèrdua de massa pot comprometre greument l’estabilitat del monument. Aquest tipus d’alteració sol començar amb microfissures i porositat elevada, que evolucionen en fractures més grans i eventual pèrdua.
- **Colonització biològica:** Implica la presència d’organismes com líquens, algues, fongs i bacteris que colonitzen la superfície de la pedra. Aquests éssers vius generen àcids orgànics i agents quelants que descalcifiquen el carbonat càlcic, debiliten el substrat i produeixen alteracions cromàtiques (en verd, negre, taronja o blanc). A més, les crostes biològiques poden retenir humitat, afavorint altres formes d’alteració química i física.
- **Piconat:** Aquesta forma d’alteració es manifesta com petites depressions arrodonides, sovint agrupades, que afecten zones superficials de la pedra. Sol aparèixer per descalcificació diferencial —per exemple, en àrees amb menys ciment calcari o més exposició a l’aigua— i es veu afavorit per una composició heterogènia i una porositat moldica. Amb el temps, el piconat pot evolucionar cap a formes més desenvolupades d’alveolització superficial.
- **Dejeccions d’aus:** Les excrecions d’aus, riques en àcids (com l’àcid úric), sals i compostos nitrogenats, tenen un efecte altament corrosiu sobre la pedra calcària. El contacte prolongat amb aquestes substàncies afavoreix la formació de taques irreversibles, la dissolució del carbonat càlcic i la desintegració de les capes superficials. Aquest tipus d’alteració és especialment problemàtic en zones urbanes i monuments exposats a colònies de coloms o gavines.



Figura 2. Fotografia de detall d'una eflorescència salina a l'interior d'un alvèol.



Figura 3. Fotografia d'un carreu on ressalta la rugositat superficial (piconat).



Figura 4. Fotografia on es destaca, per una banda, la reducció de massa de dos carreus respecte als del voltant, i per l'altra, l'elevada presència d'alvèols.



Figura 5. Fotografia on s'observen fractures que podrien derivar en grans pèrdues de material, així com dejeccions d'aus.



Figura 6. Fotografia on destaca la presència de colonització biològica, responsable d'una alteració cromàtica fosca i verdosa.

● **Localització de les fotografies:** Totes les imatges utilitzades en aquest apartat corresponen a trams de la **Muralla romana de Tarragona**, concretament a la **Baixada del Roser** i al **Passeig Arqueològic**, zones on la presència de pedra extreta del **Mèdol** és especialment significativa. (Prada, 1995) .

2. Ubicació geogràfica i zones d'extracció històriques

2.1. Context geogràfic

La pedra del Mèdol s'extreu principalment de la **pedrera del Mèdol**, situada a l'**Ager Tarraconensis** (actual entorn de Tarragona) (Monclús & Duran, 2010), dins d'un districte picapedrer que incloïa altres jaciments (veure mapa de les pedreres. Figura 7) . Aquesta zona, declarada Patrimoni de la Humanitat per la UNESCO (2000) com a part del conjunt arqueològic de Tàrraco, va abastir les necessitats constructives de la ciutat romana gràcies als seus afloraments de **calcarenita accessibles i de qualitat**. (Álvarez Pérez & Institut Català d'Arqueologia Clàssica, 2009)

De manera col·loquial, es fa servir el nom “**Mèdol**” per referir-se a diverses pedres de construcció d'origen miocènic utilitzades a l'àrea de Tarragona. Tot i això, cal destacar que sota aquesta denominació s'inclouen materials amb característiques litològiques diverses, que no són exactament equivalents entre si.

Les calcarenites del tipus “Mèdol” són roques generalment massives, força poroses (amb una porositat moderada), amb una gran abundància de fragments de mol·luscs i una baixa proporció de components detrítics. El ciment espàrtic pot variar en quantitat, i sempre hi ha presència d'òxids de ferro, tot i que aquests poden ser molt variables tant entre pedreres com dins d'una mateixa sèrie estratigràfica. (Brull Casadó, 2015; Prada, 1995)

Aquest tipus de pedra s'extreu de les següents pedreres:

- **El Mèdol**
- Mas del Marquès
- Punta de la Creueta
- Platja de l'Arrabassada



Figura 7. Mapa geològic original de l'ICGC amb modificacions pròpies per ressaltar en groc les zones d'aflorament de la lumaquel·la. (Cartografia geològica | icgc, s. f.)

En blau s'indica la ubicació de les pedreres d'on s'extreu la pedra tipus Mèdol.

A més del tipus “Mèdol”, cal esmentar també el **litotip Llorito**, que presenta característiques pròpies i diferenciades dins del conjunt de materials utilitzats en la construcció històrica a la regió. Aquest litotip és rellevant per la seva composició i comportament petroquímic, fets que en condicionen tant l'ús constructiu com la resposta davant dels processos d'alteració. Habitualment, la pedra del Llorito s'ha utilitzat conjuntament amb la del Mèdol en diverses construccions, complementant-se mútuament en funció de les seves propietats i de la seva disponibilitat.

Cal destacar que fora dels àmbits especialitzats sovint es dona per suposat que totes les construccions de la Tàrraco romana es van edificar amb pedra del Mèdol. Aquesta simplificació no reflecteix la realitat, ja que moltes de les pedres emprades provenen de pedreres diferents i presenten litologies clarament diferenciades. De fet, com s'ha indicat la pedra del Llorito mostra característiques petrogràfiques i comportaments mecànics força diferents respecte a la del Mèdol, la qual cosa té implicacions tant en la diagnosi com en la conservació del patrimoni construït.



Figura 8. Fotografia de la pedrera romana del Mèdol. Crèdit fotogràfic: Irene Marta Guinovart.
(Fundació Abertis, s. f.)

2.2. Litotips i variacions segons la zona d'extracció

Litotip 1 – Calcàries biocalcarenítiques (part inferior): La base de la pedrera presenta unes calcàries de naturalesa biocalcarenítica amb una abundància significativa de bioclasts. S'hi identifiquen fragments de bivalves, principalment del grup dels pectínids, així com restes d'equínids —com plaques i radioles— i, en menor mesura, alguns foraminífers. Aquest tipus de roca mostra una porositat mòldica, resultat de la dissolució diferencial de determinats components fòssils. En algunes àrees, aquesta porositat ha estat parcialment reomplerta per ciment carbonatat de tipus esparític, donant lloc a una textura aparentment compacta. Tanmateix, aquest farciment pot afavorir, a llarg termini, la disgregació del material i el desenvolupament de fenòmens d'alveolització (Brull Casadó, 2015)

Litotip 2 – Sorrenques calcàries laminades (part superior): La unitat superior està formada per sorrenques calcàries amb laminació interna molt evident. Es poden observar fòssils ben conservats, especialment equínids del tipus *scutella*, sovint sencers o lleugerament fragmentats. Aquesta unitat mostra indicis d'activitat bioturbadora, atribuïble a organismes excavadors, típica d'ambients de dunes costaneres. La porositat és elevada i força variable, cosa que afavoreix una marcada disgregació del material. Aquest procés d'erosió diferencial està estretament relacionat amb la seva estructura laminada, resultat d'una sedimentació en un entorn escullenc amb corrents suaus que generen laminació creuada (Brull Casadó, 2015)

3. Importància monumental i ús en el patrimoni arquitectònic

3.1. Paper en la construcció de Tàrraco

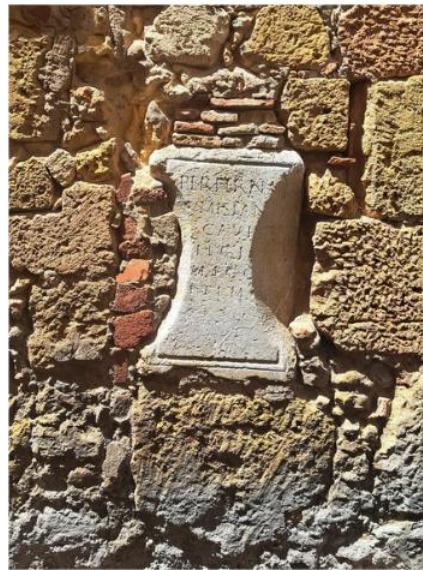
La lumaquel·la del Mèdol va ser el material predominant en l'arquitectura romana de Tàrraco, present en diverses tipologies constructives. Es va utilitzar en **infraestructures públiques** com les muralles romanes, l'amfiteatre i el Fòrum Provincial, així com en **elements decoratius**, incloent sarcòfags, estatuària i inscripcions epigràfiques. També va ser emprada en arquitectura domèstica, especialment en vil·les periurbanes i paviments. (*La pedra que va construir Tarraco*, 2019) (Álvarez Pérez & Institut Català d'Arqueologia Clàssica, 2009)

La seva tonalitat ocre característica i la facilitat amb què podia ser treballada amb les eines de l'època la van convertir en un element constructiu i estètic identitari de la ciutat, encara visible avui en molts indrets. (Brull Casadó, 2015)

Tot i que el seu ús va ser especialment intens durant l'època romana, la lumaquel·la del Mèdol també es va reutilitzar en construccions posteriors. Moltes restes d'estructures romanes s'han integrat en edificis moderns, mantenint viva la presència d'aquest material a l'arquitectura urbana. Alguns exemples destacats són Ca l'Agapito o la Casa Corderet, on murs de carreus romans formen part de l'estructura actual d'habitatges o establiments com restaurants, creant un **diàleg directe entre passat i present**.



Figures 9 i 10. A l'esquerra, fotografia de les restes del Fòrum Provincial d'època romana, i a la dreta, una de la Torre del Pretori, una construcció romana amb modificacions d'èpoques posteriors.



Figures 11 i 12 . En ambdues imatges es pot observar la integració de la pedra en construccions més modernes. A l'esquerra es veu com s'integra amb les cases de la plaça de Santiago Rusinyol i, a la dreta, amb altres materials constructius, com el maó, al lateral de casa Corderet (botiga).



Figura 13. En aquesta imatge, a l'esquerra es veu Cal Sefus (XVII) i a la dreta Ca l'Agapito (construcció romana amb modificacions posteriors).

3.2 . Conservació i reptes actuals

La vulnerabilitat de la pedra del Mèdol, combinada amb la seva exposició constant a agents ambientals i antropogènics, fa imprescindible l'aplicació d'intervencions de conservació específiques. Estudis recents, com el Pla Director de les Muralles de Tarragona (Brull Casadó, 2015) remarquen la importància de documentar les patologies mitjançant tècniques no destructives —com la fotogrametria i la termografia—, garantir la compatibilitat dels consolidants amb la porositat i l'estètica originals del substrat, i monitorar l'evolució de les alteracions tant en entorns urbans com naturals per tal d'ajustar les estratègies de conservació de manera eficient.

En aquest context, el capítol dedicat a la "**Consolidació**" a la pàgina 297 del Pla exposa els diferents processos als quals es sotmetrà la muralla, incloent la selecció de productes com **silicats, nanopartícules de carbonat càlcic i nanopartícules d'hidroxiapatita**. Tot i això, s'hi assenyala que les proves necessàries per avaluar l'eficàcia d'aquests tractaments són difícils de dur a terme dins del marc d'una obra concreta d'intervenció. Segons el text, aquests assaigs requereixen períodes de temps **més llargs que els habituals** en les fases d'execució de les actuacions de conservació.

Davant d'aquesta limitació, el document proposa que sigui una **institució especialitzada** qui dugui a terme les proves corresponents, amb l'objectiu de garantir una avaluació rigorosa i aplicable a futures intervencions. Aquesta situació reflecteix una **problemàtica recurrent** en la gestió del patrimoni: la dificultat d'integrar processos científics llargs en calendari i pressupostos d'obra públics, sovint ajustats.

4. ELS CONSOLIDANTS

L'ús de **consolidants** per a la conservació del patrimoni arquitectònic ha estat un tema central en la recerca i pràctica de la restauració en els últims anys. Aquests productes són essencials per a reforçar estructures de pedra deteriorades per factors com l'exposició a condicions climàtiques extremes, la contaminació ambiental o el pas del temps. Els consolidants actuen reforçant la cohesió dels materials, prevenint-ne la disgregació i contribuint a la conservació de l'estructura a llarg termini. Per això, és fonamental avaluar-ne la seva eficàcia i compatibilitat abans de la seva aplicació a l'obra patrimonial, amb l'objectiu de garantir que no afecten les propietats físiques, químiques o estètiques de la roca original.

4.1 Avaluació de Consolidants

En els darrers anys, diversos estudis han analitzat l'eficàcia dels consolidants aplicats a diferents tipus de pedra, posant especial èmfasi en la compatibilitat, la durabilitat i el respecte pel substrat original. Un exemple destacat és l'estudi realitzat sobre la pedra de Novelda, on es van avaluar consolidants basats en nanopartícules. Aquesta recerca va demostrar que aquests productes poden augmentar la cohesió de la roca sense alterar-ne les característiques estètiques, fet que permet una intervenció menys invasiva i més respectuosa amb el material original (Ripoll et al., 2022). Els resultats van contribuir a establir protocols per a la conservació de materials calcaris porosos com els utilitzats en nombrosos edificis històrics.

A més, cal destacar que la marca CTS —utilitzada en aquest treball— col·labora activament en estudis científics per avaluar l'eficàcia i la compatibilitat dels seus propis productes. Entre els treballs més rellevants s'inclouen estudis desenvolupats per institucions com la Universitat di Parma (Licchelli et al., 2011), la Università degli Studi di Napoli (Angelici et al., 2013) i el Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa (Borsoi et al., 2013). Aquests treballs han contribuït a validar l'ús de nanopartícules, com la nano-sílíce, per millorar la consolidació de pedres calcàries i morters històrics.

En aquesta mateixa línia, el projecte europeu **NANO-CATHEDRAL** (2015–2018) va centrar-se en el desenvolupament de nanomaterials per a la conservació del patrimoni arquitectònic europeu. Es van crear consolidants i protectors superficials basats en nanopartícules com nano-sílíce, nano-calcita i nano-hidroxiapatita, els quals van ser testats en monuments rellevants com les catedrals de Pisa, Viena, Colònia, Gant i Vitoria-Gasteiz, així com a l'Òpera d'Oslo. El projecte va establir criteris comuns per a la caracterització petrogràfica i mineralògica de les pedres i per avaluar els mecanismes d'alteració i la resposta als tractaments aplicats (CORDIS, 2018; Lazzeri et al., s.d. (González Muñoz et al., 2015)). La comparació entre diferents tipus de pedra i condicions ambientals va proporcionar dades de gran valor transferibles a altres contextos patrimonials.

Paral·lelament, s'està desenvolupant una tendència creixent cap a l'ús de consolidants més **sostenibles i ecològics**, com ara formulacions lliures de dissolvents orgànics, productes basats en calç o sílice modificat de baix impacte ambiental. Aquests productes busquen reduir l'impacte sobre la salut dels operaris i l'entorn, i millorar la compatibilitat amb substrats històrics (ICOM-CC Publications Online, s. f.).

Una línia d'investigació especialment innovadora és l'**ús de processos biotecnològics com la consolidació mitjançant bacteris carbonatogènics**, que indueixen la precipitació de carbonat càlcic dins la porositat de la pedra, augmentant-ne la resistència sense alterar-ne l'aparença. Aquest mètode, conegut com a **bioconsolidació**, ha estat aplicat amb èxit en diversos contextos patrimonials (González Muñoz et al., 2015), i s'està posicionant com una alternativa prometedora per a la conservació sostenible de substrats calcaris i silicis.

Aquest conjunt d'investigacions reforça la necessitat de metodologies rigoroses, però també accessibles i adaptables, per a la selecció de consolidants eficaços, compatibles i respectuosos amb el patrimoni.

4.2 Tècniques d'Avaluació *In Situ*

L'avaluació *in situ* dels consolidants és una fase **clau** per comprovar-ne l'eficàcia real un cop aplicats sobre el substrat original. Tot i que els assaigs de laboratori permeten controlar les condicions ambientals i obtenir dades molt precises, sovint **no reflecteixen fidelment les condicions reals** d'envelliment i interacció amb l'entorn. Per contra, l'experimentació *in situ* permet observar com respon el material tractat davant els agents ambientals propis del lloc, tot conservant l'autenticitat del context patrimonial.

L'avaluació habitual de l'eficàcia dels consolidants es fa mitjançant assaigs de laboratori complets, normalitzats i sovint llargs i costosos. Aquests permeten determinar amb alta precisió aspectes com la resistència mecànica, la durabilitat a llarg termini, la interacció química amb el substrat o l'envelliment accelerat dels productes consolidants. (Randazzo et al., 2020) No obstant això, aquestes condicions com s'ha esmentat poden no reflectir amb total fidelitat la complexitat de l'entorn real, ni el comportament del material un cop exposat a l'atmosfera urbana o natural.

Per aquest motiu, en aquest estudi s'ha optat per una estratègia d'avaluació que es pugui dur a terme *in situ* mitjançant tècniques senzilles, no destructives i econòmicament accessibles, escollides per la seva facilitat d'aplicació directa sobre el terreny i el seu valor diagnòstic. Tot i no ser mètodes desenvolupats específicament per a la valoració de consolidants, poden oferir indicadors rellevants i orientatius sobre la seva compatibilitat i eficàcia en condicions reals d'exposició, especialment en fases inicials de diagnòstic o en intervencions de baix pressupost. Aquest conjunt de proves pot ser reproduït fàcilment en altres contextos patrimonials amb problemàtiques similars.

Les tècniques aplicades han estat les següents:

- **Assaig d'absorció capil·lar:** Mesura la capacitat d'absorció d'aigua de la pedra abans i després de l'aplicació del consolidant, amb l'objectiu de valorar si s'ha reduït significativament la porositat oberta del material.
- **Mesura de l'angle de contacte:** Mitjançant el dipòsit d'una gota d'aigua sobre la superfície consolidada, s'avalua el grau d'hidrofobicitat adquirit, un paràmetre clau per entendre la nova relació del material amb la humitat ambiental.
- **Assaig d'adhesió amb cinta adhesiva (Scotch tape test):** Prova visual que permet detectar la pèrdua de granulat superficial i comprovar si hi ha hagut una millora en la cohesió mecànica del suport tractat.
- **Control cromàtic amb mostra base:** A través de la comparació visual amb una mostra no tractada, es detecten possibles alteracions en el to o la saturació del color, aspecte crític per preservar l'estètica original del material.

Aquest conjunt de tècniques s'emmarca en una línia metodològica avalada per diversos estudis internacionals. El manual elaborat per A. Elena Charola, Jorge Otero, Paula T. DePriest i Robert J. Koestler recull una sèrie de proves senzilles aplicables directament *in situ* (Charola et al., 2021), especialment pensades per a contextos on l'accés a laboratoris o equipaments sofisticats és limitat. Inclou mètodes com el *Scotch tape test*, l'absorció capil·lar amb tub RILEM, proves amb tires reactives o corbes d'evaporació, tots amb aplicació directa sobre materials històrics.

D'altra banda, l'estudi de Christine Blaeuer, Christoph Franzen i Véronique Vergès-Belmin, *Simple Field Tests in Stone Conservation* (Blaeuer, s. f.), destaca la utilitat de tècniques de camp fàcils de replicar com el *drop test*, *brush test*, *resonance pointer* i *strip test*. Aquests mètodes són pensats per ser utilitzats per conservadors i tècnics sobre el terreny, posant en valor l'accessibilitat i la immediatesa en la presa de decisions.

Així, l'estratègia d'avaluació emprada en aquest estudi combina l'eficiència i senzillesa d'aquestes metodologies validades internacionalment amb una aplicació directa a la pedra del Mèdol, proporcionant informació rellevant per valorar la compatibilitat i l'eficàcia dels consolidants en condicions reals d'exposició.

METODOLOGIA

Per oferir una visió completa, es planteja una metodologia teoricopràctica. La part teòrica es basarà en la recopilació d'informació i treballs relacionats amb els productes testats, amb especial èmfasi en aquells aspectes que no es podran observar directament durant el procés, com ara l'envelliment. La part pràctica té com a objectiu analitzar els canvis a curt termini, posant especial atenció en aquells que, a llarg termini, podrien ser perjudicials, com un augment significatiu de la porositat de la pedra.

Part Teòrica

La part teòrica es fonamenta en la revisió i comparació de **fitxes tècniques dels productes**, manuals tècnics i estudis previs relacionats amb els consolidants aplicats a pedres calcàries. L'objectiu principal és recollir informació sobre aspectes que no es podran observar directament durant la part experimental, com ara el **comportament a llarg termini** dels materials consolidants.

Un dels eixos d'aquesta fase ha estat l'elaboració de **taules comparatives** entre diversos consolidants, tenint en compte criteris com:

- Composició química i mecanisme d'acció
- Compatibilitat amb el substrat (pedres poroses com la lumaquel·la)
- Durabilitat i envelliment esperat
- Permeabilitat al vapor d'aigua
- Reversibilitat del tractament
- Impacte estètic (canvis de color, brillantor o textura)
- Cost i accessibilitat

Aquesta anàlisi permet establir una base argumentada per escollir els materials més adequats abans d'iniciar l'experimentació. A més, forma part essencial del procés de presa de decisions per a qualsevol intervenció en patrimoni arquitectònic.

Part Pràctica

La part pràctica té com a finalitat avaluar els canvis a curt termini produïts per l'aplicació dels consolidants, amb una atenció especial als efectes que podrien esdevenir perjudicials amb el pas del temps, com ara un augment de la porositat, una pèrdua de cohesió superficial o alteracions cromàtiques. Tot i que els efectes a llarg termini només poden ser estudiats amb seguiments prolongats o assaigs accelerats de laboratori, l'observació immediata in situ permet detectar possibles incompatibilitats inicials entre el producte aplicat i el substrat, fet essencial per garantir la seguretat i reversibilitat de la intervenció.

A. Obtenció de mostres

- **Revisió bibliogràfica geològica i arqueològica:** Es van analitzar treballs rellevants en els camps de la geologia i l'arqueologia relacionats amb la pedra del Mèdol, per tal d'identificar les zones d'aflorament i les pedreres actives, així com la seva importància històrica i arquitectònica. Es van utilitzar fonts com els mapes geològics oficials de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) (*Cartografia geològica | icgc*, s. f.) i estudis arqueològics sobre l'ús tradicional d'aquest material en la construcció romana de Tarragona. (Álvarez Pérez & Institut Català d'Arqueologia Clàssica, 2009)
- **Localització dels punts de mostreig:** Amb ajuda de professionals de la rehabilitació del patrimoni de Tarragona, es va seleccionar una àrea propera a la pedrera del Mèdol. Aquesta ubicació permet accedir a mostres representatives del litotip utilitzat històricament en la construcció romana i posteriors. Concretament, es va triar un camí adjacent a la pedrera, conegut també per ser un lloc habitual de recollida de mostres per part d'estudiants d'arqueologia. (*Aquesta última informació ha estat transmesa verbalment per tècnics locals i no consta en fonts escrites disponibles.*)
- **Recollida de mostres:** Es van obtenir diverses mostres garantint la seva homogeneïtat litològica, per assegurar la validesa i representativitat dels resultats de les proves. Es va seleccionar un fragment de dimensions considerables, caracteritzat per una abundància de bioclasts, atribuït al litotip 1 (part inferior) identificat en la bibliografia. (Brull Casadó, 2015)

- **Tall i preparació de mostres:** El fragment recollit va ser tallat en cubs de 4 cm de costat, seguint les pràctiques habituals en estudis de caracterització de materials porosos i segons la normativa europea vigent per a la prova d'absorció (AENOR, 2016, 2020). Aquesta operació es va dur a terme amb l'assistència d'un picapedrer professional ubicat a Alcover.
- **Selecció final de mostres:** Dels 12 blocs tallats, es va realitzar una anàlisi per determinar-ne l'aptitud per a les diferents proves. Es van descartar 2 mostres per presentar fissures que comprometien la seva integritat en la prova d'absorció. Nou mostres van ser destinades a les proves de consolidants, mentre que una es va reservar com a mostra testimoni, que no va ser sotmesa a cap tractament per tal de servir de referència.

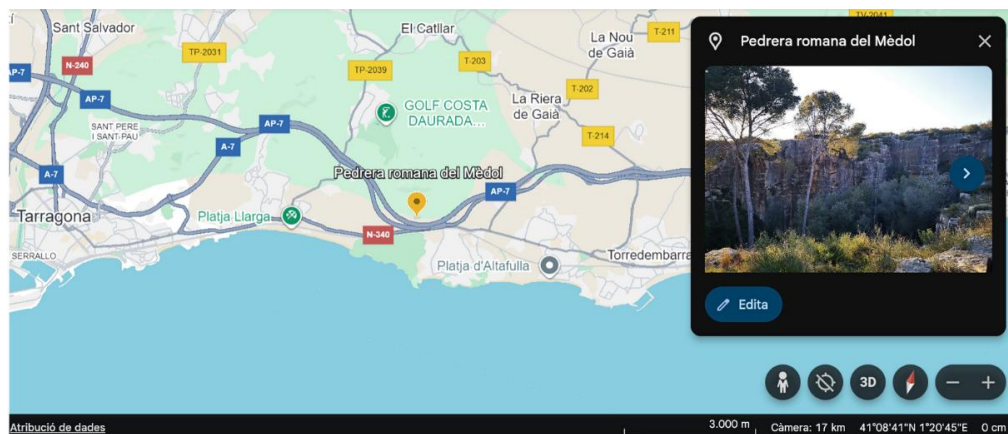
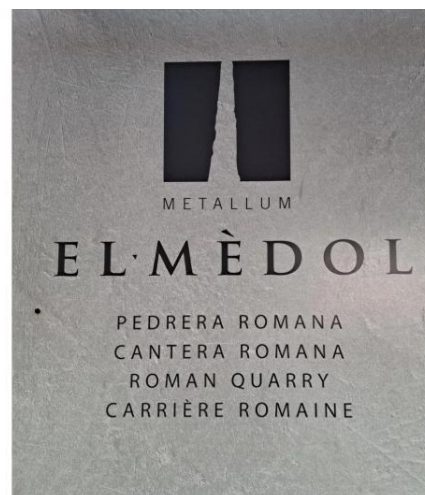
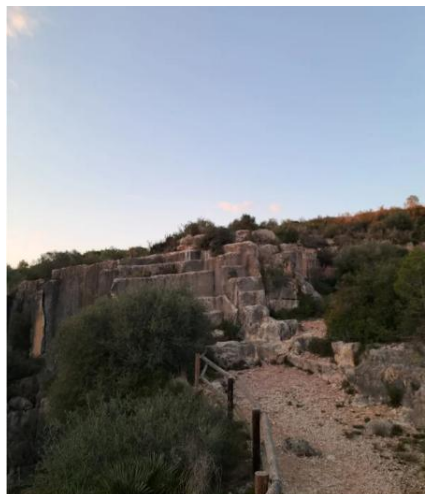


Figura 14 . Captura de Google Earth on es mostra la ubicació exacta de la pedrera del Mèdol



Figures 15 i 16 . En la primera imatge (esquerra) es pot veure la part superior de la pedrera del Mèdol; propera a aquesta zona, i fora del recinte protegit, es va agafar la pedra. Al costat, una fotografia del cartell informatiu situat a la zona d'interpretació.

Pedres Naturals d'Alcover

Tel 674 085 737
pedresnaturalsalcover@hotmail.com
Magatzem i exposició
Antiga ctra Alcover Reus C-142, km 19



Figures 17 i 18. A l'esquerra, enganxina amb la informació del lloc on es van tallar els cubs, i a la dreta, els cubs.



Figura 19 i 20 . A la primera imatge es mostren els 12 cubs agrupats, i a la segona s'aprecia amb detall l'elevada presència de fòssils.

B. Realització de proves:

Les proves s'han realitzat, en la mesura del possible, d'acord amb les normatives i recomanacions establertes per RILEM i la Unió Europea.(AENOR, 2016, 2016; American Society for Testing and Materials, 2023; RILEM TC 25-PEM, 1980)

PROVA DE LA GOTA

Objectiu

La prova de la gota d'aigua permet determinar si una superfície de pedra, morter o pintura mat és hidrofòbica o no. En aquest cas, s'utilitza per avaluar l'eficàcia dels tractaments consolidants i si aquests varien les propietats de la superfície del material petri.

Materials

- Recipient petit per degotar (ampolla de plàstic o de vidre amb comptagotes, pipeta micropipette Eppendorf, xeringa amb agulla de Tefló o vareta de vidre fina). El volum de les gotes ha de ser d'entre 5 i 10 μL .
- Aigua desmineralitzada.
- Cronòmetre

Procediment

Aplicació de la gota

1. Aplicar una petita gota d'aigua a la superfície de la pedra amb suavitat per no alterar les propietats superficials.
2. Observar el comportament de la gota al llarg del temps:
 - **Superfície altament hidrofòbica:** La gota forma una esfera gairebé perfecta i llisca sobre superfícies verticals.
 - **Superfície hidrofòbica:** La gota forma una calota esfèrica amb un angle de contacte $\geq 90^\circ$.
 - **Superfície parcialment hidrofòbica o impermeable:** La gota penetra lentament, formant una taca humida més gran que el diàmetre inicial.
 - **Superfície porosa i no hidrofòbica:** La gota penetra ràpidament, formant una taca humida similar al diàmetre inicial.
 - **Superfície humectable però impermeable:** La gota s'estén per la superfície sense penetrar-hi de manera apreciable.

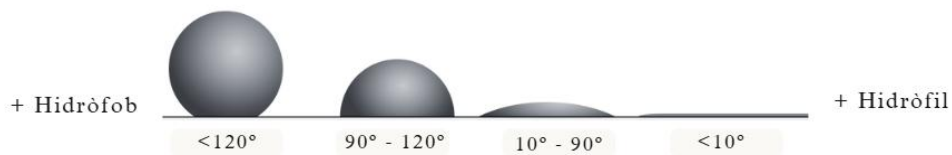


Figura 21. Esquema visual dels angles que determinen la denominació de la superfície d'un material.

Quantificació del temps d'absorció

1. Iniciar el cronòmetre quan la gota entra en contacte amb la superfície.
2. Mesurar el temps que triga la gota a ser completament absorbida (quan desapareix l'aspecte brillant).

Repetir la prova un mínim de 9 vegades en diferents punts i calcular la mitjana del temps d'absorció.



Figures 22 i 23. En la fotografia de l'esquerra es mostren els materials específics emprats en la prova, i al costat, una fotografia del procés.

ASSAIG D'ABSORCIÓ D'AIGUA

Objectiu

L'objectiu d'aquest assaig és determinar la taxa d'absorció d'aigua de la pedra del Mèdol mitjançant el mètode de la pipeta, d'acord amb la Norma Europea (AENOR, 2016). Aquest assaig quantifica la capacitat d'absorció d'aigua de materials inorgànics porosos en condicions controlades.

Materials

- Mostra de pedra del Mèdol amb superfície plana, homogènia i sense fissures visibles.
- Pipeta graduada (precisió de 0,1 ml).
- Plastilina (per a la fixació de la pipeta).
- Aigua destil·lada.
- Cronòmetre.

PROCEDIMENT

Preparació de la mostra

1. Seleccionar una mostra representativa amb superfície plana i homogènia.
2. Netejar la superfície amb aigua destil·lada i deixar assecar completament.

Fixació de la pipeta

1. Col·locar la pipeta en posició vertical amb l'extrem inferior en contacte directe amb la pedra.
2. Fixar la pipeta amb plastilina, assegurant una unió hermètica.

Inici de l'assaig

1. Introduir 4 ml d'aigua destil·lada a la pipeta.
2. Engregar el cronòmetre quan l'aigua entri en contacte amb la pedra.

Mesura del descens del nivell d'aigua

1. Registrar el nivell d'aigua:
 - Cada 30 segons durant els primers 5 minuts.
 - Cada 5 minuts durant la primera hora.
2. **CÀLCUL DE LA TAXA D'ABSORCIÓ** La taxa d'absorció d'aigua (Q) es calcula amb la següent expressió:

$$Q = \frac{V}{A \cdot t}$$

On:

- **Q** = Taxa d'absorció (mL/cm²·s).
- **V** = Volum d'aigua absorbit (mL).
- **A** = Àrea de contacte de la pipeta amb la pedra (cm²).
- **t** = Temps transcorregut (s).

Consideracions

- Realitzar l'assaig en condicions ambientals controlades.
- Assegurar que la pipeta estigui ben segellada.

Repetir l'assaig almenys tres vegades per garantir la precisió.



Figures 24 i 25. A l'esquerra es veuen els materials específics emprats en la prova d'absorció, i a la dreta, el procés d'aplicació sobre la mostra.

SCOTCH TAPE TEST

Objectiu

L'objectiu d'aquest assaig és quantificar la pèrdua de material superficial (mg/cm^2) per determinar el grau de deteriorament de la pedra. També es busca comparar l'efectivitat de tractaments consolidants mitjançant la reducció de material després del post-tractament.

Materials

- Cinta adhesiva de doble cara de la marca Scotch®
- Balança analítica (± 0.01 g de sensibilitat).
- Paper mil·limetrat (per muntar les tires).
- Bosses plàstiques hermètiques o caixes per emmagatzemar les tires.
- Microscopi digital/estereoscòpic (opcional, per anàlisi visual).
- Tisores i regle (per tallar tires de dimensions exactes).

PROCEDIMENT

Preparació de les Tires de Cinta

A. Tall de les Tires

- Dimensions: Tallar 9 tires de 4×2 cm (superfície útil: 8 cm^2 per tira).

B. Muntatge

- Enganxar un costat de la cinta al paper mil·limetrat, deixant 1 cm lliure a un extrem per a la manipulació.
- Retirar la banda protectora del costat adhesiu lliure.

C. Pesada Inicial

- Pesar el paper
- **Pesada col·lectiva:** Col·locar les 9 tires en el paper i pesar-les juntes.
- **Càlcul del pes per tira:**

$$\text{Pes inicial per tira} = \frac{\text{Pes total inicial} - \text{Pes del paper}}{9}$$

Aplicació de les Tires a la Superfície - Condicions Previaes

- La superfície ha d'estar seca, neta de pols gruixuda i en condicions ambientals estables (registrar temperatura, humitat relativa, etc.).
- Evitar aplicar tires en àrees adjacents per evitar interferències.

Procediment d'Adherència

- **Aplicació:** Premre la cinta amb el costat adhesiu lliure sobre la superfície amb pressió uniforme.
- **Temps d'adherència:** Deixar actuar durant 1 minut.
- **Extracció:** Traure la cinta a 10 mm/s i en un angle de 90°.

5. Anàlisi de les Mostres

Pesada Final

- **Pesada col·lectiva post-aplicació:** Tornar a pesar les 9 tires juntes amb la bossa.
- **Càlcul del material retirat:**

$$\Delta W (\%) = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor postractament}}{\text{Valor inicial}} \times 100$$

Anàlisi Visual (Alternativa sense Balança)

- Utilitzar un microscopi digital (ex: Dino-Lite) per:
 - Quantificar el nombre de partícules per cm².
 - Identificar els tipus de partícules (ex: grans minerals, pols)



Figures 26 i 27 . A l'esquerra es mostren els materials específics emprats en el Scotch tape test, i a la dreta, el procés d'aplicació de la cinta sobre la mostra (prova).

C. Aplicació del consolidant

Per dur a terme les proves de consolidació, es va procedir en primer lloc a la recopilació dels productes consolidants i dels dissolvents necessaris, seleccionats segons les especificacions tècniques indicades per cada fabricant.

Els tres consolidants seleccionats —un **silicat d'etil (CTS Estel 1000®)**, un producte basat en **nanopartícules de sílice (Nanoestel®)** i un altre amb **nanopartícules de carbonat de calci (Nanorestauro®)**— són àmpliament emprats en l'àmbit de la conservació de pedra calcària i han estat objecte de diversos estudis internacionals. El silicat d'etil, com el CTS Estel 1000®, és una solució consolidant clàssica, ben documentada per la seva eficàcia en substrats calcaris perosos. Les nanopartícules de sílice, com les que incorpora el Nanoestel®, han mostrat bons resultats en termes de consolidació i compatibilitat amb calcarenites poroses com la pedra de Novelda (Ripoll et al., 2022). Finalment, el Nanorestauro®, basat en nano-calcita, s'alinea amb les últimes tendències en conservació sostenible i biomimètica, i ha estat validat com a opció prometedora per la seva afinitat i compatibilitat química amb materials calcaris (He et al., 2024; Navarro Ezquerro, 2007; Navarro Moreno et al., 2023).

Les solucions es van preparar en una proporció de 1:2 (una part de consolidant per dues parts de dissolvent), una formulació habitual per a substrats porosos. Aquesta proporció es va definir seguint tant les fitxes tècniques com les recomanacions de professionals del sector. Cal assenyalar, però, que en el cas concret del silicat d'etil CTS Estel 1000®, el fabricant indica que pot aplicar-se directament sense dilució prèvia. No obstant això, en aquest estudi es va optar per preparar-lo en dissolució 1:2 per facilitar-ne l'aplicació i garantir-ne una distribució més homogènia en condicions experimentals.

Les dissolucions es van transferir a esprais manuals per assegurar una aplicació controlada i uniforme sobre les mostres.

Consolidant	Composició principal	Dissolvent utilitzat	Proporció
CTS Estel 1000®	Silicat d'etil	White spirit	1:2
Nanoestel®	Nanopartícules de sílice	Aigua destil·lada	1:2
Nanorestauro®	Nanopartícules de carbonat de calci	Alcohol isopropílic (IPA)	1:2

L'aplicació es va realitzar en una estança ben ventilada per garantir tant la seguretat de l'operació com una evaporació adequada dels dissolvents. Les mostres es van disposar sobre una superfície

neta i estable, i el producte es va aplicar en capes fines successives, deixant intervals entre aplicacions per afavorir la penetració del consolidant i evitar la formació de pel·lícules superficials no desitjades.

Un cop aplicat el producte, les mostres es van deixar reposar durant quatre setmanes, temps indicat per la fitxa tècnica del CTS Estel 1000® com a necessari per completar la reacció del producte en condicions ambientals estàndard (20 °C i 40–50 % d'humitat relativa). Un cop transcorregut aquest període, es van repetir les proves de caracterització descrites prèviament per tal d'avaluar els canvis produïts per l'aplicació dels consolidants.

Aquesta metodologia assegura una intervenció respectuosa amb les propietats físiques, químiques i estètiques de la pedra, alhora que proporciona un marc fiable per valorar el comportament dels productes consolidants en condicions simulades d'ús real.

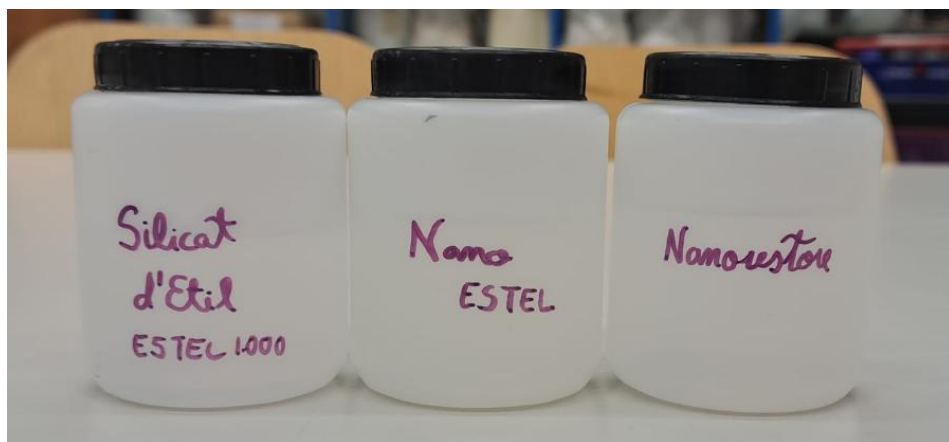
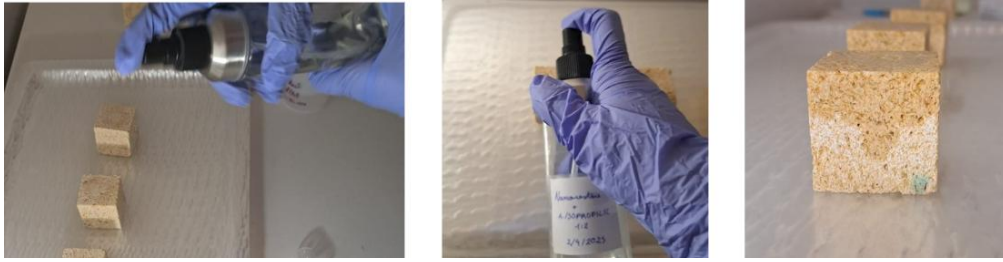


Figura 28. Imatge dels pots on es van recollir les mostres de consolidants a testar.



Figures 29 i 30. A l'esquerra, el procés d'elaboració de la dissolució 1:2; a la dreta, el procés d'etiquetatge corresponent.



Figures 31,32 i 33. En les tres imatges es mostra el procés d'aplicació del consolidant. Destaca la imatge de més a la dreta, on s'observa com el producte s'infiltra progressivament en el cub.



Figura 34. Els cubs amb els seus respectius esprais amb la dissolució de consolidant i dissolvent. En aquesta posició, els cubs es van deixar reposar durant un mes.

RESULTATS

A. Part teòrica

1. Composició química i mecanisme d'acció

Producte	Composició	Mecanisme d'acció
Estel® 1000	Èsters etílics de l'àcid silícic dissolts en white spirit D40 (75% principi actiu).	Reacciona amb la humitat atmosfèrica formant gel de sílice i etanol. El gel estableix unions químiques amb el substrat, millorant-ne les propietats mecàniques.
Nano estel®	Dispersió col·loïdal aquosa de diòxid de silici (<20 nm), estabilitzada amb NaOH (<0,5%), pH alcalí (9,8–10,4), 30% residu sec.	Després d'evaporar l'aigua, les nanopartícules formen un gel de sílice per unió entre partícules, similar als silicats d'etil, però amb presa molt més ràpida (3–4 dies).
Nanorestore®	Nanocal apagada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ en dispersió) en alcohol isopropílic. Residuu sec molt baix (0,5%).	El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ penetra per capil·laritat i reacciona amb CO_2 atmosfèric formant microcristalls de calcita (CaCO_3), millorant la resistència sense afegir materials aliens.

2. Compatibilitat amb el substrat (pedres poroses com la lumaquel·la)

Producte	Compatibilitat
Estel® 1000	Alta compatibilitat amb substrats silícics i carbonàtics (lumaquel·la, terracota, maó, arrebossats). Aplicació fins al nucli sa.
Nano estel®	Apte per materials porosos, amb penetració inferior als silicats d'etil. En estudi la resistència a llarg termini.
Nanorestore®	Altament compatible amb materials de matriu carbonàtica, adequat en frescos i substrats fràgils, com a preconsolidant o consolidant superficial.

3. Durabilitat i envelliment esperat

Producte	Durabilitat
Estel® 1000	Reacció completada en 4 setmanes a 20 °C i HR 40–50%. Estudis (Universitat de Trento) confirmen durabilitat elevada sense alteracions UV.
Nano estel®	Reacció en 3–4 dies. Resistència a llarg termini encara en estudi, especialment com a morter.
Nanorestore®	Carbonatació en 5–7 dies. Alta durabilitat a curt i mitjà termini superficial, però amb penetració limitada.

4. Permeabilitat al vapor d'aigua

Producte	Permeabilitat
Estel® 1000	Manté permeabilitat al vapor d'aigua, fonamental per a la salut del substrat.
Nano estel®	Reducció mínima degut a la naturalesa del gel de sílice format.
Nanorestore®	Molt permeable al vapor d'aigua, ideal per substrats delicats on cal evitar barreres físiques.

5. Reversibilitat del tractament

Producte	Reversibilitat
Estel® 1000	No reversible un cop endurit. Excés de producte es pot retirar només abans de la presa amb solvents orgànics.
Nano estel®	Reversibilitat parcial abans de la presa amb compreses d'aigua desmineralitzada. El pH pot interferir amb pintures sensibles.
Nanorestore®	Altament reversible abans de la carbonatació. Veladures es poden eliminar amb aigua, molt útil en restauració pictòrica.

6. Impacte estètic (color, brillantor, textura)

Producte	Impacte
Estel® 1000	No produeix canvis cromàtics visibles ni pel·lícules brillants. Manté l'aspecte original.
Nano estel®	Possible efecte segons dilució i suport. Recomanat fer tests previs. Compatible amb pigments per acabats opacs.

Nanorestore®	Veladures blanques eliminables. Disenyat per minimitzar impacte visual i mantenir aspecte original.
---------------------	---

7. Cost i accessibilitat

Producte	Comentaris
Estel® 1000	Disponible en formats 1, 5 i 25 litres. Inflamable i tòxic (conté solvents). Manipulació amb precaucions.
Nano estel®	Formats 1, 5 i 25 kg. No inflamable ni tòxic. Menor cost logístic i ambiental (aigua com a dissolvent).
Nanorestore®	Format 1 litre. Alta qualitat, accés limitat. Inflamable.

Taula resum de les propietats descrites en les fitxes tècniques

Criteri	ESTEL 1000	NANO ESTEL	NANORESTORE®
Composició base	Silicat d'etil	Nano-Sílice en dispersió aquosa	Nanocal en alcohol isopropílic
Substrat compatible	Silícics i carbonàtics	Minerals porosos	Carbonàtics, frescos
Durabilitat	Alta	En estudi	Mitjana, consolidació superficial
Permeabilitat	Conservada	Conservada	Molt alta
Reversibilitat	Baixa	Mitjana (abans de la presa)	Alta
Impacte estètic	Nul	Depèn de la dilució	Nul o reversible
Cost i logística	Elevat, manipulació especial	Reduït, fàcil ús	Alt, accés restringit

Tota la informació prové de les fitxes tècniques oficials dels productes: ESTEL 1000, NANO ESTEL i NANORESTORE®, consultades en data recent. Es poden consultar en els Annexos.

B. Part pràctica

Prova de la gota

Els valors d'angle de contacte presentats a continuació corresponen a la mitjana dels tres mesuraments realitzats per a cada producte consolidant, aplicats sobre les mostres de pedra del Mèdol. En tots els casos, es van utilitzar provetes cúbiques prèviament preparades i sotmeses al mateix protocol experimental. Les dades inclouen també la desviació estàndard ($\pm\sigma$), que permet valorar la variabilitat dels resultats i la seva fiabilitat estadística. Aquesta metodologia busca garantir una comparabilitat rigorosa entre els diferents consolidants, tant abans com després de l'aplicació del tractament.

Consolidant	Angle abans ($^{\circ}$) $\pm \sigma$	Angle després ($^{\circ}$) $\pm \sigma$
estel 1000®	$40.7^{\circ} \pm 0.6^{\circ}$	$89.0^{\circ} \pm 2.9^{\circ}$
nano estel®	$54.3^{\circ} \pm 4.9^{\circ}$	$63.7^{\circ} \pm 4.8^{\circ}$
nanorestore®	$55.3^{\circ} \pm 4.5^{\circ}$	$64.7^{\circ} \pm 4.8^{\circ}$

Abans de l'aplicació dels consolidants, totes les mostres (tres per producte, nou en total) presentaven un temps d'absorció inferior als **10 segons**. Després del tractament, els resultats van variar segons el producte utilitzat. El consolidant **estel 1000®** va generar una superfície **totalment repel·lent a l'aigua**, sense absorció visible de la gota en cap de les mostres. Per contra, els consolidants **nano estel®** i **nanorestore®** van mostrar un **augment moderat del temps d'absorció**, amb una mitjana al voltant dels **15 segons**.



Figures 35, 36, 37, 38, 39 i 40 . Fotografies representatives de la prova de la gota, en què s'observen els angles de contacte mesurats. Les imatges superiors corresponen a les mostres **abans** de l'aplicació dels consolidants, mentre que les imatges inferiors mostren les mateixes mostres **després del tractament**.

D'esquerra a dreta: Estel 1000®, Nano estel® i Nanorestore®.

Assaig d'absorció d'aigua

Taula 1. Volum d'aigua absorbit (ml) segons el temps - Pel que fa al temps d'absorció, es va registrar el temps necessari per a la completa absorció de 4 ml d'aigua en cada mostra. Abans de l'aplicació dels consolidants, totes les pedres absorben l'aigua en un període comprès entre **2 i 3 minuts**. Després de l'aplicació, es va observar una disminució notable de la capacitat d'absorció: *Estel 1000®* va impedir totalment l'absorció de l'aigua en totes les mostres, mentre que *Nano estel®* i *Nanorestore®* van mostrar una absorció més lenta (4 i 7,6 minuts respectivament).

Consolidant	Abans de l'aplicació (min)	Després de l'aplicació (min)
<i>Estel 1000®</i>	2,5 ± 0,6	No absorció observada
<i>Nano estel®</i>	2,8 ± 0,6	4,0 ± 0,6
<i>Nanorestore®</i>	2,7 ± 0,6	7,6 ± 0,6

Temps (s)	Estel 1000 Abans (ml)	Estel 1000 Després (ml)	Nanoestel Abans (ml)	Nanoestel Després (ml)	Nanorestore Abans (ml)	Nanorestore Després (ml)
0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
30	0.6 ± 0.7	0.0 ± 0.0	0.6 ± 0.7	0.5 ± 0.7	0.6 ± 0.7	0.3 ± 0.7
60	1.2 ± 0.7	0.0 ± 0.0	1.2 ± 0.7	1.0 ± 0.7	1.1 ± 0.7	0.7 ± 0.7
90	1.8 ± 0.7	0.0 ± 0.0	1.6 ± 0.7	1.5 ± 0.7	1.5 ± 0.7	1.0 ± 0.7
120	2.4 ± 0.7	0.0 ± 0.0	2.4 ± 0.7	2.2 ± 0.7	1.9 ± 0.7	1.5 ± 0.7
150	3.1 ± 0.7	0.0 ± 0.0	3.0 ± 0.7	2.9 ± 0.7	2.5 ± 0.7	2.1 ± 0.7
180	3.7 ± 0.7	0.0 ± 0.0	3.6 ± 0.7	3.6 ± 0.7	3.1 ± 0.7	3.0 ± 0.7
210	3.9 ± 0.7	0.0 ± 0.0	3.9 ± 0.7	4.0 ± 0.7	3.7 ± 0.7	4.0 ± 0.7
240	4.0 ± 0.7	0.0 ± 0.0	4.0 ± 0.7	4.0 ± 0.7	4.0 ± 0.7	4.0 ± 0.7
270	-	0.0 ± 0.0	-	4.0 ± 0.7	-	4.0 ± 0.7
300	-	0.0 ± 0.0	-	4.0 ± 0.7	-	4.0 ± 0.7
330	-	0.0 ± 0.0	-	4.0 ± 0.7	-	4.0 ± 0.7
360	-	0.0 ± 0.0	-	4.0 ± 0.7	-	4.0 ± 0.7
...						
450	-	0.0 ± 0.0	-	-	-	4.0 ± 0.7
480	-	0.0 ± 0.0	-	-	-	4.0 ± 0.7

Degut a la nula absorció observada amb l'*Estel 1000*®, es va decidir aturar l'experiment al cap d'una hora, ja que no es van registrar canvis en el volum absorció.

Càlcul de la taxa d'absorció (Q)

Per al càlcul de la taxa d'absorció Q s'ha considerat l'àrea de contacte corresponent al diàmetre d'una xeringa de 10 ml, que és aproximadament 1,54 cm². La taxa Q s'ha calculat segons la fórmula:

$$Q = \frac{V}{A \cdot t}$$

On V és el volum d'aigua absorbit en mil·lilitres, A és l'àrea de contacte en centímetres quadrats i t és el temps en segons.

Els resultats obtinguts a 120 segons mostren una disminució significativa en la taxa d'absorció després de l'aplicació dels consolidants. Abans del tractament, els valors de Q eren molt similars per als tres consolidants, situant-se entorn de $8,1$ a $9,2 \times 10^{-5}$ ml/cm²·s. Després de la consolidació, s'observa una reducció notable, especialment per a l'**Estel 1000**, que presenta una taxa d'absorció pràcticament nul·la (0 ml/cm²·s).

Taula de resultats resumits

Consolidant	Q abans (ml/cm²·s)	Q després (ml/cm²·s)
Estel 1000	$9,2 \times 10^{-5}$	0
Nanoestel	$8,7 \times 10^{-5}$	$2,7 \times 10^{-5}$
Nanorestauro	$8,1 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-5}$

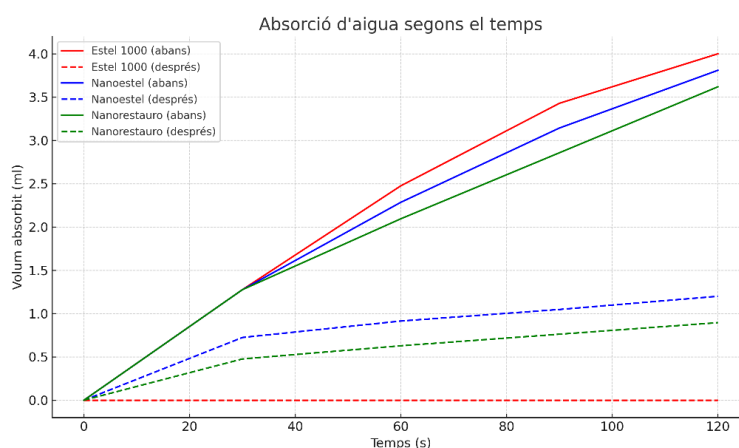


Figura 41. Gràfic d'absorció

Scotch tape test

Dades conegudes:

- Nombre total de tires: 9
- Pes total de tires: 5,04 g
- Pes del paper i cinta: 4,02 g
- → Pes net del material: $5,04 \text{ g} - 4,02 \text{ g} = 1,02 \text{ g}$
- Pes per tira: $1,02 \text{ g} / 9 = 0,113 \text{ g}$ (has indicat 0,12 g, així que prenem aquest valor com a referència)
- Nombre de tires per tractament: 3
- → Pes inicial per tractament: $3 \times 0,12 \text{ g} = 0,36 \text{ g}$

Taula 1. Aplicació de cinta adhesiva a una arenisca deteriorada abans i després del tractament consolidant.

Les tires mesuren $4 \times 2 \text{ cm}$ (8 cm^2); $\Delta W (\%) = (\text{valor inicial} - \text{valor post-tractament}) \times 100 / \text{valor inicial}$.

Condicció de la superfície	Material retirat (mg/cm^2)	$\Delta W (\%)$
Arenisca sense tractar	20.83	n/a
Tractada amb Silicat d'etil	4.17	80.00
Tractada amb NanoEstel	1.39	93.33
Tractada amb Nanorestore (CTS)	1.39	93.33

Taula 2. Pes de cinta adhesiva abans i després d'aplicació a mostres tractades amb consolidants.

Tractament consolidant	Pes abans (g)	Pes després (g)	Diferència pes (mg)	Material retirat (mg/cm ²)
Arenisca sense tractar	4,02	5,04	1.020	14,17
Silicat d'etil	0,36	0,21*	150	2,08
NanoEstel	0,36	0,35	10	0,139
Nanorestore (CTS)	0,36	0,35	10	0,139

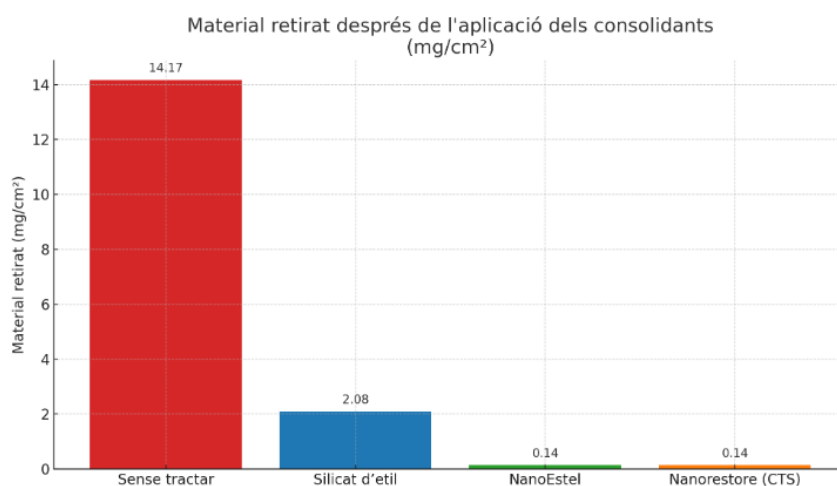


Figura 42. Gràfic del material enretirar a Scotch tape test

Observacions durant l'experimentació

Durant l'aplicació i seguiment dels consolidants, es van registrar diverses diferències pel que fa al comportament dels dissolvents i als efectes visuals immediats sobre la pedra.

En el cas del *silicat d'etil* (CTS Estel 1000®), dissolt en *white spirit*, es va observar que el dissolvent va trigar un mínim de tres setmanes a volatilitzar-se completament. Durant aquest període, la pedra va presentar una tonalitat més saturada, especialment durant les primeres setmanes. A més, es va detectar una olor intensa característica del dissolvent, la qual encara era discernible en el material després de dos mesos des de l'inici de l'experiment.

El consolidant a base de *nanopartícules de sílice* (Nanoestel®), amb aigua com a dissolvent, va deixar les superfícies laterals de les mostres enganxifoses després de l'aplicació. L'aigua va trigar aproximadament 24 hores a evaporar-se.

Pel que fa al producte basat en *nanopartícules de carbonat de calci* (Nanorestauro®), dissolt en *isopropanol*, el dissolvent es va volatilitzar completament al cap d'una hora. Apaarentemnt no s'han mostrat altres resultats destacables.



Figura 43. *Tres cubs mostrats d'esquerra a dreta corresponents als consolidants:*

Estel 1000®, Nanoestel® i Nanorestauro®.

Es destaca que el cub de l'esquerra (Estel 1000®) presenta un color més intens i saturat.

DISCUSSIÓ DELS RESULTATS

Els resultats obtinguts abans de l'aplicació dels consolidants confirmen que la pedra del Mèdol presenta una **elevada porositat efectiva** i una **alta connectivitat capil·lar**, dues característiques que expliquen la ràpida absorció d'aigua observada en els assaigs inicials. Aquesta resposta és coherent amb les propietats pròpies de la lumaquel·la, una **calcària de matriu fràgil i rica en components biogènics** (Prada, 1995). Els valors d'angle de contacte, clarament **inferiors als 90°**, reflecteixen un comportament **hidrofílic marcat**, indicatiu d'una superfície exposada, sense tractaments protectors previs i, per tant, **altament vulnerable a processos de degradació** com la cristal·lització de sals (Charola, 2024).

En la part teòrica s'ha vist que els **consolidants** més utilitzats per a la conservació de pedres poroses, com la lumaquel·la, presenten diferències importants en composició i comportament. El silicat d'etil (Estel® 1000) ofereix una **alta durabilitat i compatibilitat** amb **substrats silícics i carbonàtics**, mantenint la permeabilitat al vapor d'aigua i sense alterar l'aspecte original del material. Tot i això, presenta **baixa reversibilitat** un cop consolidat i requereix manipulació amb precaució a causa dels solvents tòxics i inflamables que conté.

D'altra banda, els consolidants basats en nanopartícules de sílice (Nanoestel®), amb aigua com a dissolvent, resulten més **segurs, econòmics i sostenibles**, amb **bona permeabilitat i reversibilitat parcial** abans de la presa. No obstant això, la seva durabilitat a llarg termini encara està en estudi, i l'impacte estètic pot variar depenent de la dilució i el suport.

Finalment, els productes basats en nanocal (Nanorestore®) són **especialment compatibles amb materials carbonàtics** i frescos, presentant **alta permeabilitat i bona reversibilitat**, però amb penetració limitada i un cost més elevat, amb accés restringit.

Per tant, s'ha de tenir en compte no només l'eficàcia tècnica sinó també la seguretat, la facilitat d'aplicació i, **molt especialment, el cost, ja que aquest sovint és un factor clau en la decisió** final en projectes de restauració i conservació. També que aquesta informació no sempre s'ajusta a la realitat.

Pel que fa a la **cohesió superficial**, la prova de la cinta adhesiva (Scotch Tape Test) va evidenciar en estat original una **pèrdua mitjana de 20,83 mg/cm²**, fet que indica una desagregació important del material i justifica la necessitat d'aplicar tractaments de consolidació. Després del tractament, es va observar una **millora substancial**: el silicat d'etil (CTS Estel 1000®) va reduir la pèrdua a

4,17 mg/cm², una reducció del **80%** respecte al valor inicial. Els nanoconsolidants, tant Nanoestel® (nanopartícules de sílice) com Nanorestauro® (nanopartícules de carbonat càlcic), van mostrar una eficiència encara més gran, amb només **1,39 mg/cm²** de material retirat, corresponent a una reducció del **93,33%**.

Aquestes dades indiquen que tots tres productes milloren eficaçment la cohesió superficial en el curt termini, però que els **consolidants basats en nanotecnologia** presenten un rendiment lleugerament superior. Aquesta efectivitat pot fer que els **nanoconsolidants siguin especialment adequats en contextos patrimonials** que requereixen màxima estabilització amb mínim impacte físic i estètic. Tanmateix, **aquesta prova només valora l'efecte superficial immediat** i no proporciona informació sobre la **profunditat d'actuació** ni la **durabilitat a llarg termini**. Per aquest motiu, es recomana complementar l'estudi amb **proves de tall i observació interna**, que permetin verificar la penetració real dels productes consolidants en el material.

Quant a la **interacció amb l'aigua**, es van detectar diferències marcades entre els productes. El **silicat d'etil** va provocar un augment de l'angle de contacte fins als **90°**, indicant un **comportament hidrofòbic** que impedeix l'absorció d'aigua i transforma la superfície en una **barrera impermeable**. En canvi, les mostres tractades amb Nanoestel® i Nanorestauro® van mostrar només increments moderats de l'angle de contacte, mantenint una **certa capacitat d'absorció**. Aquesta diferència es corrobora amb els resultats de l'assaig d'absorció capil·lar: mentre que les mostres amb nanoconsolidants **augmenten el temps d'absorció** (de 3 a 6 minuts aproximadament), les mostres tractades amb Estel 1000® **no absorbeixen aigua ni després d'una hora**.

Aquestes observacions apunten que **el silicat d'etil actua com a agent impermeabilitzant**, obturant els porus, mentre que els nanoconsolidants funcionen com a **omplidors porosos**, mantenint una certa **permeabilitat al vapor d'aigua**, essencial per a la **transpiració del substrat**. Aquesta propietat és fonamental en **estructures patrimonials** com muralles amb rebler intern humit, on una barrera impermeable podria dificultar l'evaporació de l'aigua cap a l'exterior, provocant **acumulacions d'humitat, pressions internes, formació de salnitres i microfisuració**.

A més dels aspectes físics, cal tenir en compte la **compatibilitat química dels consolidants**. En el cas del silicat d'etil, es va detectar una **olor persistent** durant gairebé un mes després de l'aplicació, probablement a causa d'una polimerització lenta o d'un procés químic incomplet.

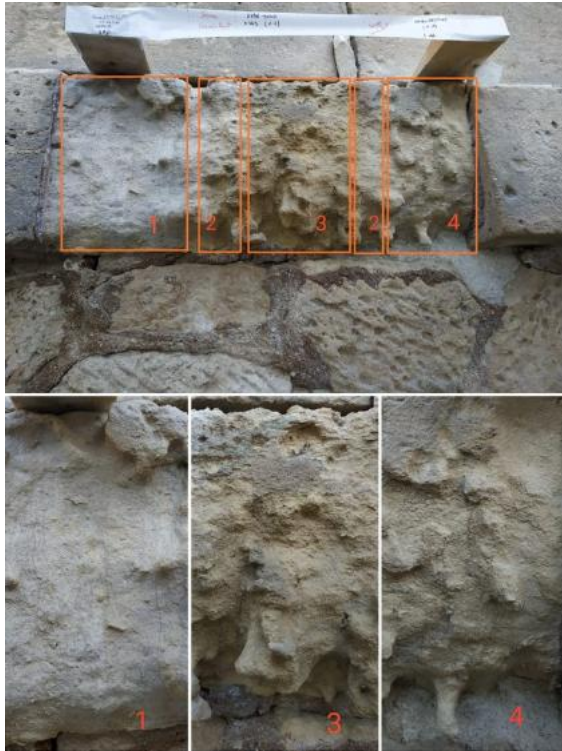
Aquest fet pot **limitar-ne l'ús** en entorns interiors o sensibles, on l'olor pot resultar molesta o ser indicativa de reaccions no desitjades.

Segons l'**Objectiu de Desenvolupament Sostenible (ODS) 12.4**, és essencial gestionar de manera ambientalment segura els productes químics i els residus per minimitzar els impactes negatius sobre la salut i el medi ambient. En l'actualitat, cal valorar que existeix una part de la població amb **elevada sensibilitat química**, que pot experimentar efectes adversos fins i tot amb exposicions a compostos amb límits legals de concentració baixíssims.

Tot i que el white spirit, utilitzat com a dissolvent en aquest consolidant, té un **Valor Límit Ambiental (VLA) nul**, s'ha documentat que pot causar efectes com **mals de cap, irritació respiratòria i altres molèsties** en persones sensibles. Per tant, l'ús de productes amb white spirit ha de ser gestionat amb **precaució**, especialment en espais tancats o amb persones amb sensibilitat química, per evitar problemes de salut i garantir un ambient segur.

Un altre fenomen rellevant es va observar en una prova paral·lela realitzada al Pont de França del Vendrell, on es va aplicar Nanoestel® sobre pedra de Calafell (miocènica). En aquest cas, es va formar una capa blanquinosa superficial deguda a la cristal·lització de sals solubles mobilitzades per l'aigua emprada com a dissolvent del consolidant. Aquest fenomen posa de manifest la **necessitat d'una neteja prèvia exhaustiva** del substrat abans de l'aplicació de qualsevol tractament, amb l'objectiu d'evitar alteracions visuals i possibles compromisos en la durabilitat del producte consolidant. Aquesta pràctica està en línia amb les recomanacions establertes pel COREMANS (descrites a baix).

D'altra banda, tot i que es van aplicar els altres dos consolidants, els resultats obtinguts no van ser satisfactoris, ja que l'elevada humitat durant el procés va impedir que el consolidant actués correctament (pluja). Aquesta situació reforça la decisió acertada de mantenir les proves en un entorn interior controlat, com es va decidir inicialment, ja que l'exposició a condicions meteorològiques adverses, com el període intens de pluges en el moment d'iniciar les proves, hauria compromès l'eficàcia del tractament consolidant. No obstant, això no significa que no sigui possible realitzar tractaments *in situ*, sinó que cal tenir un estricte control i consideració de les condicions atmosfèriques per garantir l'eficàcia i la durabilitat del procés.



Figures 44, 45, 46 i 47. Imatges de la prova realitzada al Pont de França.

Els números corresponen als següents consolidants:

1 - Nanorestauro® 1:2

2 - Estel 1000® 1:2

3 - Nanoestel® 1:2

Els crèdits fotogràfics corresponen a Jérôme Rouch.

Finalment, l'anàlisi de la **documentació tècnica dels fabricants** revela que les fitxes tècniques, tot i ser útils, sovint tenen un **caràcter massa genèric**. En aquest estudi, la instrucció d'aplicar el silicat d'etil "tal com surt de fàbrica" hagués resultat segurament en una **impermeabilització excessiva**, inadequada per a les condicions de la pedra del Mèdol. Aquest cas exemplifica la necessitat de **realitzar assaigs previs específics** adaptats a cada cas i reforça el paper fonamental del **restaurador com a tècnic qualificat** amb criteri científic.

CONCLUSIONS

Aquest estudi ha permès donar resposta als objectius plantejats i aprofundir en la problemàtica de la degradació de la pedra del Mèdol, així com en la valoració de possibles solucions de consolidació compatibles i eficaces.

1. **Avaluació de l'eficàcia i compatibilitat dels consolidants:** L'aplicació dels tres consolidants estudiats —silicat d'etil (CTS Estel 1000®), Nanoestel® i Nanorestauro®— ha demostrat una millora significativa de la cohesió superficial de la pedra, tal com reflecteixen els resultats del Scotch Tape Test. No obstant això, el silicat d'etil ha generat alteracions notables en la hidrofília del substrat, fet que pot comprometre el seu comportament a llarg termini, desaconsellant-ne l'ús en contextos patrimonials on la transpirabilitat és essencial. Per contra, Nanoestel® i Nanorestauro® han mostrat millor compatibilitat química i estètica, tot i que caldria validar aquests resultats amb assajos de permeabilitat al vapor i en un context temporal més ampli.
2. **Desenvolupament d'un protocol senzill *in situ*:** L'estudi ha permès dissenyar i aplicar un protocol pràctic, econòmic i replicable per a l'avaluació de consolidants *in situ*, mitjançant proves no destructives com l'absorció, l'angle de contacte i el Scotch Test. Aquest sistema ha facilitat l'obtenció de dades fiables sobre la resposta del material, i pot ser adaptat a altres contextos amb recursos limitats, afavorint així una presa de decisions més informada i responsable en la intervenció patrimonial.
3. **Identificació dels agents de degradació:** La caracterització prèvia del substrat ha confirmat que la pedra del Mèdol presenta una estructura altament porosa i una composició bioclàstica fràgil, fet que la fa especialment vulnerable a agents com els cicles d'humitat, la cristallització de sals solubles i la contaminació atmosfèrica. Aquesta diagnosi justifica la necessitat de consolidació en moltes zones exposades i reforça la importància d'un tractament preventiu basat en dades específiques del material.
4. **Transferibilitat de la metodologia:** El protocol proposat és potencialment transferible a altres monuments construïts amb litotips similars, especialment dins l'àmbit de les calcàries poroses. Tot i que l'estudi se centra en la pedra del Mèdol, es recomana ampliar les proves a altres materials, com el litotip Llorito, també d'alta alterabilitat i àmpliament present en el patrimoni de Tarragona. Aquesta ampliació contribuiria a consolidar un sistema d'avaluació adaptable a diverses pedreres i cronologies constructives.

Els resultats obtinguts evidencien la necessitat d'un **enfocament científic i prudent** en la selecció de productes consolidants. Tot i les indicacions generals de les fitxes tècniques dels fabricants, aquest estudi posa de manifest que **cal adaptar els criteris d'aplicació a les condicions específiques del substrat**, ja que una aplicació sense dilució pot alterar greument les propietats hidrofíliques del material, com s'ha observat amb el CTS Estel 1000®.

A més, en contextos amb presència de reblert intern humit, com les muralles de Tarragona, la formació d'una barrera impermeable podria generar efectes contraproductius a llarg termini. Per tant, **la compatibilitat entre el consolidant i la dinàmica interna del mur ha de ser considerada** amb especial atenció.

Aquest treball reforça la importància de **combinar l'experiència professional del restaurador amb dades empíriques** obtingudes a partir de proves rigoroses. Consolidar no és només reparar, sinó assegurar la transmissió d'un patrimoni viu i autèntic per a les generacions futures.

Malgrat ser una tècnica habitual en la conservació de materials petris, la consolidació ha de considerar-se una intervenció excepcional, que només es durà a terme quan sigui estrictament necessària, atesa la seva irreversibilitat i el seu potencial impacte en les propietats del suport. Abans d'aplicar qualsevol consolidant, cal garantir **l'eliminació prèvia de les causes de deteriorament actives**, com ara la humitat o els moviments de sals solubles. Com s'ha exemplificat en el cas del pont de França. La intervenció ha de respectar sempre el principi de **mínima intervenció**, limitant-se a aquelles zones on la pèrdua de cohesió del material comprometí la conservació de l'obra. (*Proyecto COREMANS*, s. f.)

Els requisits fonamentals marcats que ha de complir qualsevol tractament de consolidació són:

- Compatibilitat físico-química amb el material original, evitant la formació de productes nocius o residus.
- No alteració de l'aspecte estètic ni de les propietats cromàtiques del bé (color, brillantor, textura).
- No formació de pel·lícules superficials que impedeixin la transpiració del suport.
- Coeficient de dilatació tèrmica similar al del material tractat.
- Aplicació sota condicions ambientals controlades (temperatura i humitat adequades).
- Realització d'assajos previs normalitzats, que permetin valorar els canvis en les propietats petrofísiques (permeabilitat, succió capil·lar, pes, etc.).

- Seguiment i control de l'eficàcia i durabilitat del tractament durant i després de la seva aplicació.

La selecció del producte consolidant i del sistema d'aplicació s'ha de basar en criteris tècnics rigorosos i estudis de compatibilitat específics, especialment en el cas de noves tecnologies encara en fase de desenvolupament.

Aquestes directrius segueixen els criteris establerts pel COREMANS en matèria de conservació de materials petris i constitueixen una base essencial per garantir la seguretat, la reversibilitat relativa i la sostenibilitat de les intervencions en patrimoni.

Com es reflexa en el llibre *Restauración de Obras de Arte*:

“Necesitamos mucho más diálogo y un sistema de control mucho más seguro antes de embarcarnos en acciones de consecuencias irreparables.” (Beck, 1997)

Aquesta afirmació reforça la necessitat d'abordar la conservació amb un enfocament integrador, basat en l'evidència i la col·laboració multidisciplinària, per assegurar la preservació efectiva i respectuosa del patrimoni cultural.

Per a millorar aquesta metodologia plantejada, caldria principalment **augmentar el nombre de mostres i de litotips estudiats**. A més, és fonamental tenir en compte la pressió de vapor d'aigua, ja que aquesta determina la rapidesa amb què l'aigua s'evapora durant l'aplicació dels consolidants aquosos. La pressió de vapor d'aigua afecta el temps d'assecat i la penetració del producte a la pedra, influenciant directament els resultats visuals i la durabilitat del tractament. Considerar aquesta variable permetria optimitzar les condicions d'aplicació segons el tipus de dissolvent i les característiques de la pedra, millorant així l'eficàcia del consolidant.

BIBLIOGRAFIA

- AENOR. (2016). UNE-EN 16302:2016. Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia a la perforación con un microscopio portátil. Asociación Española de Normalización. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0056787>
- AENOR. (2020). UNE-EN 12370:2020 Métodos de ensayo para piedra natural. Deter... Asociación Española de Normalización. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0064854>
- Álvarez Pérez, A. & Institut Català d'Arqueologia Clàssica. (2009). El Marmore de Tarraco: Explotació, utilització i comercialització de la pedra de Santa Tecla en època romana = Tarraco marmor: the quarrying, use and trade of Santa Tecla stone in Roman times. Institut Català d'Arqueologia Clàssica.
- American Society for Testing and Materials. (2023). ASTM D1876-08(2023) Standard test method for peel resistance of adhesives (T-peel test). ASTM International. <https://www.astm.org>
- Amoroso, G. G., & Fassina. (1991). Stone Decay and Conservation: Atmospheric Pollution, Cleaning, Consolidation and Protection. Elsevier Science Publishers, 11. <https://doi.org/10.2307/1506020>
- Beck, J. H. (with Daley, M.). (1997). La Restauración de obras de arte: Negocio, cultura, controversia y escándalo. Ediciones del Serbal.
- Blaeuer, C. (s. f.). Simple filed test in stone conservation. Recuperado 2 de abril de 2025, de https://www.academia.edu/9969496/Simple_filed_test_in_stone_conservation
- Brull Casadó, C. (2015, octubre). Pla Director de la Muralla. <https://www.tarragona.cat/patrimoni/tarragona-es-arqueologia/pla-director-de-la-muralla>
- Cartografia geològica | icgc. (s. f.). Recuperado 1 de junio de 2025, de <https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Dades-i-productes/Geoinformacio-geologica-i-geofisica/Cartografia-geologica>
- Charola, A. E. (2024). Salts in the Deterioration of Porous Materials: An Overview. ResearchGate. <https://doi.org/10.1179/019713600806113176>
- Charola, A. E., Otero, J., DePriest, P. T., & Koestler, R. J. (2021, septiembre 3). Evaluación del Patrimonio Construido: Manual de Ensayos Preliminares. Open Monographs. <https://doi.org/10.5479/si.16569261.v1>

- Cristalización de sales en calcarenitas: Aplicación al monasterio de San Jeronimo: Granada. (s. f.). Recuperado 2 de junio de 2025, de <https://digibug.ugr.es/handle/10481/26083>
- Fort González, R. (2012). Los materiales pétreos naturales: La piedra natural. Universidad Complutense de Madrid. <https://digital.csic.es/handle/10261/46786>
- Fundació Abertis. (s. f.). El Mèdol, patrimoni de la humanitat. Recuperado 30 de marzo de 2025, de <https://memories2020.fundacioabertis.org/noticias/el-medol-patrimonio-de-la-humanidad/>
- González Muñoz, M. T., Jroundi Mesbahi, F., García Bueno, A., Martín Peinado, B., & Rodríguez Navarro, C. (2015). Bioconsolidación de materiales pétreos y ornamentales mediante carbonatogénesis bacteriana. *La Ciencia y el Arte: Ciencias experimentales y conservación del patrimonio histórico*, Vol. 5, 2015 (La Ciencia y el Arte V. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio), ISBN 978-92-0-000259-5, págs. 80-101, 80-101. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6257716>
- He, J., Otero, J., Crespo-López, L., Monasterio-Guillot, L., Benavides-Reyes, C., Elert, K., & Rodriguez-Navarro, C. (2024). Ethyl silicate–nanolime treatment for the consolidation of calcareous building materials. *Construction and Building Materials*, 418, 135437. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135437>
- ICOM-CC Publications Online. (s. f.). Recuperado 2 de junio de 2025, de <https://www.icom-cc-publications-online.org/5929/Designing-sustainable-consolidants--An-evaluation-of-two-bio-based-consolidants>
- La pedra que va construir Tarraco. (2019). https://www.diaridetarragona.com/tarragona/la-pedra-que-va-construir-tarraco-20191231-0018-HSDT201912310018?utm_source=chatgpt.com
- Monclús, M. P. i, & Duran, J. G. i. (2010). *Ager Tarraconensis*. Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=455440>
- Navarro Ezquerro, A. (2007). Materiales pétreos de construcción y morteros sintéticos. Evaluación del comportamiento de estos materiales frente a los productos de consolidación e hidrofugación. Tesis Doctorals - Departament - Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica. <https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/186906>
- Navarro Moreno, D., Martínez Arredondo, A., García Vera, V. E., & Lanzón Torres, M. (2023). Uso de nanomateriales para la conservación de la piedra del Teatro Romano de Cartagena. *Loggia: Arquitectura y restauración*, 36, 106-119.
- Paz, O. (1994). Los privilegios de la vista (Ed. del autor, [2. ed.], Vols. 6-7). Círculo de Lectores.

- Porta J. i Civis . J. (1990). Events and correlation in the Neogene of Prelitoral Catalanian depression. En Terra abstracts: Vol. Vol. 2.
https://www.researchgate.net/publication/285465816_Events_and_correlation_in_the_Neogene_of_Prelitoral_Catalonian_depression
- Prada, J. L. (1995). Caracterización de formas y procesos de alteración, observadas en la piedra de construcción de edad miocénica del área Monumental Romana de Tarragona. Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica, Facultat de Ciències Geològiques de la Universitat de Barcelona.
- Proyecto COREMANS. (s. f.). Recuperado 1 de junio de 2025, de <https://ipce.cultura.gob.es/difusion/publicaciones/coremans.html>
- Randazzo, L., Venuti, V., Paladini, G., Crupi, V., Majolino, D., Ott, F., Ricca, M., Rovella, N., & La Russa, M. F. (2020). Evaluating the protecting effects of two consolidants applied on Pietra di Lecce limestone: A neutronographic study. *Journal of Cultural Heritage*, 46, 31-41. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.06.013>
- Recursos comunicatius. (s. f.). Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible. Recuperado 1 de junio de 2025, de http://cads.gencat.cat/ca/Agenda_2030/recursos-comunicatius/index.html
- Riegl, A. (with Arjones Fernández, A. & Andalusia Consejería de Cultura). (2007). Alois Riegl: El culto moderno de los monumentos, su carácter y sus orígenes. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura.
- RILEM TC 25-PEM. (1980). Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement / Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. RILEM Publications SARL. https://www.rilem.net/publication/publication/181?id_papier=5218
- Ripoll, A., Rojo, A., & Argandoña, V. G. R. de. (2022). Evaluation of nanoparticulate consolidants applied to Novelda Stone (Spain). *Materiales de Construcción*, 72(347), Article 347. <https://doi.org/10.3989/mc.2022.11621>
- Vera, J.A. (2004). Geología de España (1ª). Sociedad Geológica de España – Instituto Geológico y Minero de España.
- Winkler, E. M. (2013). *Stone: Properties, Durability in Man's Environment*. Springer Science & Business Media.

Altres fonts consultades

- Albalat Vázquez, D., & Ossó, À. (2012, 6 de maig). *Itinerari geològic per la ciutat de Tarragona: Geologia i la Tàrraco romana* [PDF]. Universitat de Salamanca. Recuperat de https://sge.usal.es/archivos_pdf/g12triptico_tarragona.pdf
- Angelici E., Grassini S., Fulginiti D., Parvis M., Segimiro A.; “Compatibilità and efficiency of restoration products for artefacts in neapolitan yellow tuff” *Scienza e Beni Culturali XXIX, Bressanone, 2013*.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2013). UNE-EN 16302:2013. Caracterización de materiales de construcción. Determinación de la absorción de agua por capilaridad. Método de ensayo. Madrid: AENOR.
- Còrdova, M. (2018). *Nanomaterials for conservation of European architectural heritage developed by research on characteristic lithotypes*. CORDIS. Recuperat de <https://cordis.europa.eu/project/id/646178>
- European Commission. (2015). *Nano-Cathedral: Nanomaterials for conservation of European architectural heritage developed by research on characteristic lithotypes* (Grant agreement No. 646178). <https://www.nanocathedral.eu/>
- G. Borsoi, R. Veiga, A. Santos Silva; “Effect of nanostructured lime-based and silica-based products on the consolidation of historical renders”, 3rd Historic Mortars Conference 11-14 September 2013, Glasgow, Scotland
- Lazzeri, A., Coltelli, M.-B., Castelvetro, V., Bianchi, S., Chiantore, O., Lezzerini, M., Niccolai, L., Weber, J., Rohatsch, A., Gherardi, F., & Toniolo, L. (s.d.). *European Project Nano-Cathedral: Nanomaterials for conservation of European architectural heritage developed by research on characteristic lithotypes*. Recuperat de <https://www.nanocathedral.eu/index.php/project-details/>
- Licchelli M., Weththimuni M., Zanchi C.; “*Nanoparticles For the consolidation of Lecce Stone*”, Atti del XXIV Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana, Lecce, 11-16 settembre 2011.
- United Nations. (s. f.). *Materiales de comunicación – Desarrollo sostenible*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/news/communications-material/>

ANNEXOS

Annex 1: Fitxes de caracterització de la pedra Mèdol

- 1.1 Text descriptiu de la roca
- 1.2 Taula d'observació macroscòpica/microscòpica

Annex 2: Fitxes tècniques dels consolidants

- 2.1 Silicat d'Etil (CTS Estel 1000®)
- 2.2 Producte basat en nanopartícules de sílice (Nanoestel®)
- 2.3 Producte basat en nanopartícules de carbonat de calci (Nanorestauro®)

Fitxes de caracterització de la pedra Mèdol

A continuació, es presenta el text d'identificació de la mostra emprat a classe, seguit de la taula de descripció detallada de les seves característiques principals:

EJEMPLO DE DESCRIPCIÓN DE UNA ROCA¹

(a partir del modelo de ficha utilizado en las prácticas)

El material pétreo de la muestra es una roca sedimentaria carbonatada. Su clasificación genética se corresponde con la de una roca bioquímica. Presenta una coloración general blanca a beige claro, con tonalidades amarillentas suaves. Su composición es mayoritariamente carbonato cálcico en forma de fragmentos bioclásticos (restos de organismos marinos).

Su textura genérica es bioclástica; y su textura básica, heterogranular. El tamaño de los granos o cristales oscila entre grano medio y grano grueso, y se pueden clasificar como granos heterogranulares. Predominan las formas con bordes redondeados alargados. Entre los granos se observa cemento calcáreo como fase de unión, con un empaquetamiento elevado.

Por su porosidad, se puede considerar como una roca porosa, en la que predominan los poros intergranulares y móldicos. Su porosidad es principalmente de tipo microporosa y poros visibles con lupa.

Se trata de una roca heterogénea; coherente. En este fragmento también se puede observar la presencia de fisuras que pueden favorecer procesos de alteración física y química.

DESCRIPCIÓN ROCAS

OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA/MICROSCÓPICA SEGÚN TAMAÑO MUESTRA

esquema simplificado (modificado de Alonso, F.J. - Universidad de Oviedo)

Roca	(ej.: granito, mármol, arenisca, conglomerado, caliza, pizarra...)		
Clasificación genética	ígnea	plutónica/intrusiva	
		volcánica/extrusiva	
	sedimentaria	detrítica	
		no detrítica	X
	metamórfica	foliada	
		no foliada	

Color	Amarillento suave u ocre pálido
-------	---------------------------------

Composición	según minerales principales	silicatada	
		carbonatada	X
		yesífera	

		Tipo de observación		M	m
Textura	cristalina				
	cementada			X	
		secuencial I (grano grueso)			
		secuencial II (grano fino)			
		vítrea			
		clástica			
		bioclástica	X		
		cristaloblástica			
		deformada			
	tamaño granos/cristales	grano muy grueso (> 2 mm)			
		grano grueso (2 a 0,6 mm)	X		
		grano medio (0,6 a 0,2 mm)	X		
		grano fino (0,2 a 0,06 mm)			
		grano muy fino (< 0,06 mm)			
	clasificación granos/cristales	equigranulares			
		heterogranulares	X		
	forma bordes granos/cristales	redondeados esféricos			
		redondeados alargados	X		
		angulosos			
		poliédricos			
	sedimentarias	fase de unión	con cemento	X	
			con matriz		
		empaquetamiento	elevado	X	
			bajo		

Porosidad	Tipo de observación		M	m
	cantidad de vacíos	compacta (<i>sin apenas poros</i>)		
		porosa (<i>poros visibles</i>)		X
	tamaños vacíos	poros	visibles sin lupa	
			visibles con lupa	X
		microporos	poros no visibles pero absorbe agua	
		fisuras		
	tipo de vacíos	intergranulares		X
		intragranulares		
		móldicos		X
		vacuolares		
		fisurales		

Homogeneidad	Tipo de observación		M	m
	homogénea			
	heterogénea		X	
	<i>tipo heterogeneidad</i>	variación composición	X	
		variación textura	X	
		discontinuidades		

Coherencia/friabilidad	Tipo de observación		M	m
	coherente		X	
	friable			
	<i>tipo friabilidad</i>	disgregable en granos o polvo		
		fisurada (<i>se rompe con facilidad siguiendo fisuras</i>)		
		fisible (<i>se separa con facilidad en láminas</i>)		

Posibilidad de alteración	La piedra del Mèdol, por ser una roca calcárea con textura bioclástica y porosidad moderada, es susceptible a procesos de alteración física y química. La penetración de agua a través de sus poros puede favorecer la formación de fisuras, que actúan como vías para la entrada de agentes agresivos. Además, la presencia de sales solubles en el agua puede provocar la cristalización y expansión de estos minerales en el interior de las fisuras y poros, lo que genera un efecto mecánico de fractura y desintegración progresiva de la roca. Este proceso, conocido como meteorización salina, es una de las principales causas de deterioro en la piedra del Mèdol, especialmente en ambientes con ciclos repetidos de humedad y secado. Sin embargo, gracias a su buena cementación y coherencia, la piedra mantiene una resistencia significativa si se minimizan estas condiciones adversas.
---------------------------	---



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

ESTEL 1000

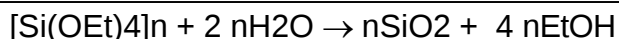
PRODUCTO **CONSOLIDANTE** PARA PIEDRAS NATURALES
INDICADO PARA LA RESTAURACIÓN DE LAPIDEOS DE NATURALEZA SILICATICA Y
CARBONATICA, DE LADRILLOS, DE TERRACOTA E INTONACOS.

CARACTERÍSTICAS

El producto consolidante **ESTEL 1000** está compuesto de Esteres Etílicos del ácido Silícico disueltos en Ras Mineral para un óptimo grado de absorción hasta el núcleo sano de la piedra.

Los **Esteres Etílicos del ácido Silícico** $[\text{Si}(\text{OEt})_4]_n$ reaccionan con la humedad atmosférica y se transforman en **gel de Sílice** y alcohol etílico.

La reacción de policondensación puede ser esquematizada en el siguiente modo:



El **gel de Sílice** gracias a la fuerte unión química que se establece con el soporte otorga a la superficie tratada **nuevas propiedades mecánicas**.

Estudios efectuados en colaboración con el **Departamento de Ingeniería de los Materiales de la universidad de los Estudios de Trento**, han permitido verificar que el producto consolidante **ESTEL 1000** responde a los siguientes requisitos:

- no provoca la formación de subproductos secundarios dañinos;
- es uniformemente absorbido por la piedra y alcanza todo el material alterado, uniéndolo a la parte sana más interna;
- deja el material tratado permeable al vapor de agua;
- deja inalterado el aspecto exterior de la piedra evitando formaciones de manchas o películas brillantes y amarilleo bajo la acción de las radiaciones UV.

EMPLEO

El producto consolidante **ESTEL 1000** está listo para su uso, de fácil y seguro empleo, apto a la aplicación sobre cada tipo de soporte mineral absorbente.

La superficie a tratar debe **estar seca, limpia** curada de eventuales sales eflorescentes presentes y la temperatura atmosférica debe estar comprendida entre 10°C y 25°C. La superficie a tratar no debe estar expuesta a la radiación directa del sol. Después del tratamiento, la superficie no se debe exponer a la lluvia, por lo menos 1 semana

El producto consolidante **ESTEL 1000** puede ser aplicado por inmersión, mediante brochas de cerda o también rociada con pulverizadores de baja presión (0,5 bares max.)



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 función de los tipos de material a tratar se debe considerar la conveniencia de una aplicación hasta el desecho del producto consolidante, o una impregnación parcial, pero el tratamiento siempre debe ser llevado a cabo con el fin de alcanzar el núcleo sano.

El producto consolidante **ESTEL 1000** completa su reacción después de aproximadamente **cuatro semanas** con temperatura ambiente de 20°C y humedad relativa del 40-50%.

ADVERTENCIAS

A causa de la heterogeneidad de los materiales existentes, a pesar de una experiencia casi veintañal desarrollada sobre el empleo de ésteres etílicos del ácido silícico sobre varios tipos de piedra, es indispensable ejecutar tests preliminares sobre muestras del material que se quiere tratar para poder verificar:

- el grado del efecto reforzante que se consigue
- la cantidad de material a emplear (generalmente comprendida entre 0,5-3,0 l/m²)
- la ausencia de variaciones cromáticas sobre el material lapídeo tratado

El producto reacciona con la humedad atmosférica; es por lo tanto indispensable cerrar herméticamente los recipientes después del uso.

En el caso de dosificación excesiva de material es posible eliminar el exceso, antes del endurecimiento, con compresas empapadas en solventes orgánicos minerales (White Spirit, ras mineral, etc..).

DATOS FÍSICOS

Principios activos	Tetra-etil-orto-silicato
Contenido principios activos (%)	75
Solvente	White Spirit D40
Viscosidad (cp 25°C)	10
Densidad (Kg/l)	0,98 aprox (a 20° C)
* Residuo seco (%)	mínimo 35

(*) Determinación efectuada según normativa BRITISH BOARD OF AGREEMENT ESTANDAR (BBA)

CONFECCIONES

Estel 1000 disponible en confecciones de 1 - 5 - 25 litros.

ALMACENAJE

6 Meses en recipientes originales herméticamente cerrados y protegidos de la humedad.

(1) El C.T.S. España S.L. puede proporcionar a los Organismos Públicos que estén interesados una copia completa de la relación técnica del producto consolidante ESTEL 1000.

Las indicaciones y los datos indicados en el presente folleto se basan en nuestra experiencia actual, sobre pruebas de laboratorio y su correcta aplicación. Estas informaciones no deben en ningún caso sustituirse a las pruebas preliminares que es indispensable efectuar para cerciorarse de la idoneidad del producto a cada caso determinado.

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

**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

A continuación les reportamos algunas **referencias** recogidas sobre la línea “E S T E L” :

Nombre del monumento / obra	Localidad – Provincia (País)
Chiesa San Cristoforo	Piacenza
Chiesa S. Maria della Pace	Roma
Palazzo Minghetti	Bologna
Biblioteca Marciana	Venezia
Università di Trento	Trento
Scuola Materna Baccelli	Marsala (TP)
Casa della Carità	Scilla (RC)
Abbazia di Rosazzo	Manzano (UD)
Scavi Archeologici	Sovizzo (VI)
Bastione Velasco	Marsala (TP)
Biblioteca Zambeccari	Bologna
Palazzo Papale e Duomo di Orvieto	Orvieto (TR)
Chiesa Santa Chiara	Lecce
Palazzo Chigi	Formello (ROMA)
Mure di Cittadella	Cittadella (PD)
Torre Civica	Este (PD)
Complesso Guglielmo II	Monreale (PA)
Museo Cà de Noal	Treviso
Tabularium	Roma
Complesso S. Michele Arcangelo	Palermo
Biblioteca Comunale	Palermo
Monastero dei Benedettini	Cagli (PU)
Santuario di Mongiovino	Tavernelle di Panicale (PG)
Chiesa S. Maria in Montedoro	Montefiascone (VT)
Largo Sette Fontane	Paola (CS)
Porta Maggiore	Roma
Passetto Castel S. Angelo	Roma
Fori Imperiali / Mercati di Traiano	Roma
Cattedrale S. Giusto di Susa	Susa (TO)
Palazzo Pitti	Firenze
Parco della Regina Caterina	Altivole (TV)
Palazzo Boveri	Borgo Val di Taro (PR)
Villa Olmo	Como
Campanile di Pieve d'Alpago	Pieve d'Alpago (BL)
Monumento ai Caduti	Ravenna
Palazzo Budini Gattai	Firenze
Chiesa S.S. Quattro Coronati	Roma
Palazzo dei Priori	Assisi (PG)
Arco della Pace	Milano
Parrocchia San Lorenzo	Cellio (VC)
Teatro Verdi	Maniago (PN)
Torre del Cassero	Castel Raimondo (MC)
Cisternino e Cisternone del Poccianti	Livorno
Chiesa Parrocchiale di Predazzo	Predazzo (TN)
Parco Archeologico Scolacium	Roccelletto di Borgia (CZ)
Palazzo Franci	Siena



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

Nombre del monumento / obra	Localidad – Provincia (País)
Anfiteatro Romano	Cividate (BS)
Palazzo Antinori	Firenze
Museo Archeologico di Altino	Quarto di Altino (VE)
Chiesa Lauretana di Sonvico	Lugano (CH)
Teatro Sociale	Trento
Palazzo dei Rioni Falconi	Fermo (AP)
Cimitero Monumentale	Messina
Chiesa di Santo Mobono	Catanzaro
Fattoria di Torregalli	Scandicci (FI)
Scalinata del Pincio	Bologna
Chiesa di San Giovanni	Parma
Palazzo Spada	Roma
Facciata della Vecchia Posta – Museo degli Uffizi	Firenze
Forte di Belvedere	Firenze
Campanile Eremo di Camaldoli	Arezzo
Palazzo Reale di Castello	Firenze
Palazzo Archiginnasio e Porta Galliera	Bologna
Cattedrale di S.Giusto	Trieste
Fontana di Piazza Pretoria	Palermo
Facciata di Palazzo Parenzi	Lucca
Abside Pieve di Gropina	Arezzo
Chiesa Madre di S.Bartolomeo	Ispica (RG)
Villa Pettinenga	Ceretto Castello Cossato (BI)
Badia di Cava dei Tirreni	Salerno
Palazzo dell'Arcivescovado	Firenze
Palazzo Vescovile	Lucera (FG)
Mure Sud di Montagnana	Montagnana (PD)
Chiesa SS.Salvatore	S.Angelo di Brolo (ME)
Cattedrale di Giuliano di Roma	Frosinone
Palazzo San Demetrio	Catania
Basilica di S.Maria Maggiore	Bergamo
Rocca dei Papi e Chiesa di S.Pancrazio	Montefiascone (VT)
Facciata di Palazzo Medici Riccardi	Firenze
Cattedrale di Noto	Noto (SRI)
Loggia dei Lanzi	Firenze
Palazzo Piccolomini	Peina (SI)
Palazzo Guadagni Strozzi Sacrati	Firenze
Duomo di Sassari	Sassari
Abside e Campanile Pieve Romanica	Gropina (AR)
Esterno Cappelle Medicee – S.Lorenzo	Firenze
Torre Civica	Treviso
Basilica di San Martino	Martina Franca (TA)
Duomo di Modena	Modena
Palazzo del Broletto	Brescia
Palazzo Torri	Macerata
Chiesa di San Domenico	Umbertide (PG)
Palazzo della Prefettura	Ortigia (SR)
Cortile Platamone del Complesso San Placido	Catania



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

Nombre del monumento / obra	Localidad – Provincia (País)
Facciata della chiesa di S. Maria Novella	Firenze
Palazzo Fisicaro	Buccheri (SR)
Volte in mattoni della vecchia filanda	Mesenzana (VA)
Villa Cicogna	S.Lazzaro di Savena (BO)
Palazzo del Broletto	Brescia
Facciata del Duomo	Modena
Basilica Palladiana	Vicenza
Collegio dei Gesuiti	Alcamo (TP)
Palazzo Gondi	Firenze
Elementi lapidei della facciata di Villa Corsini	Firenze
Castello di Agliè	Agliè (TO)
Basilica di Galliano	Cantù (CO)
Basilica di Colle Maggio	L'Aquila
Municipio	Castiglion del Lago (PG)
Chiesa ex-Annunziata	Foligno (PG)
Chiesa di San Giovanni	Modica Alta (RG)
Scavi Trans Kemonia	Palermo
Basamento del campanile di San Frediano	Lucca
Villa Poggi	Firenze
Villa Rasponi	Firenze
Castello Giovannelli	Luzzana (BG)
Cupola del Duomo	Siena
Palazzo di Giustizia	Mantova
Palazzo Caffari	Fermo (AP)
Aula Ottagona delle Terme di Diocleziano	Roma
Mole Vanvitelliana	Ancona
Sacrario di Marzabotto	Marzabotto (BO)
Campanile di Santo Spirito	Firenze
Atrio di Palazzo Giriodi	Costigliole Saluzzo (CN)
Palazzo Terni De' Gregori	Crema
San Giorgio in Lemine	Almenno San Salvatore
Chiesa di San Barnaba	Milano
Castello di Luzzana	Luzzana (BG)
Palazzo Stanga alle Punte	Cremona
Grand Hotel	S.Pellegino Terme (BG)
Rocca Anguissola Scotti	Agazzano(PC)
Resti archeologici delle Terme Romane	Riva del Garda (TN)
Palazzo Serbelloni	Milano
Palazzo Bondenti Terni	Crema(CR)
Portale e colonne dell'Ospedale di S.Maria Nuova	Firenze
Duomo e facciata del Palazzo Arcivescovile	Cortona (AR)
Mura e Torre del Soccorso della Rocca	Vicopisano (PI)
Chiesa di Sant'Apollinare (capitelli esterni)	Trento
Mura di Castiglione di Paludi (studio comparativo Estel 1100, 1000 + Silo 111)	Cosenza
Barchesse di Villa Cordellina	Montecchio Maggiore (VI)
Facciata principale del Duomo	Vicenza

**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

Nombre del monumento / obra	Localidad – Provincia (País)
Castello Sforzesco Corte Ducale/facciata Bertarelli/cortile Rocchietta/Cortile Fontana	Milano
Chiesa di San Giovanni	Avezzano (AQ)
Chiesa di Santa Corona	Vicenza
Tempio Di Selinunte	Trapani (TP)
Valle Dei Templi	Agrigento (AG)
Chiesa S. Nicolo'	Catania (CT)
Basilica di San Leone	Assoro (EN)
Teatro Politeama	Palermo (PA)
Villa di Nerone	Anzio (RM)
Chiesa di Santa Croce	Arezzo
Cappella Tenuta Trenzanesio	Rodano(MI)
Statue Monastero di Astino	Bergamo (BG)
Palazzo Vescovile	Crema (CR)
Villa Sironi	Oggiono (LC)
Scavi della Metropolitana	Napoli

A continuación les reportamos algunas **referencias en España** recogidas sobre la línea “E S T E L” :

Nombre del monumentos / obra	Localidad – Provincia (País)
Medallones de la Plaza Mayor de Salamanca	Salamanca (E)
Convento Santo Domingo de Silos	Burgos (E)
Catedral de Sevilla - Portadas	Sevilla (E)
Catedral de Tarazona	Saragoza (E)
Catedral de Segovia	Segovia (E)
Portada Barroca de la Catedral	Girona (E)
Palacio Marques de dos Aguas	Valencia (E)
Iglesia de San Andres	Sevilla (E)
Palacio Foral de Vizcaya	Bilbao (E)
Concatedral Santa Maria	Caceres (E)
Monasterio de la Victoria	Puerto de Santa Maria – Cadiz (E)
Castillo de Morella	Morella - Castellon (E)
Monasterio de Santa Maria La Real	Najera – La Rioja (E)
Convento de Santa Paula	Granada (E)
Catedral	Segovia (E)
Claustro de la Iglesia de Los Jeronimos	Madrid (E)
Conjunto Arqueologico Madinat Al-Zhara	Cordoba (E)
Parlamento de Andalucía	Sevilla (E)
La Mezquita – Catedral de Cordoba	Cordoba (E)
La Alhambra de Granada	Granada (E)
Basílica de la Peña	Graus – Huesca (E)
Puerta del Sol	Medina Sidonia – Cadiz (E)
Convento de las Trinitarias	Sevilla (E)
Catedral de Toledo	Toledo (E)



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

Nombre del monumentos / obra	Localidad – Provincia (País)
Iglesia de San Lorenzo	Toro – Zamora (E)
Casa de Asia – Palau Cuadras	Barcelona (E)
Casa Oliva	Caravaca de La Cruz – Murcia (E)
Castillo de las Guardas	El Castillo de las Guardas-Sevilla (E)
Campanario de Montaverner	Montaverner – Valencia (E)
Archivo de Indias	Sevilla (E)
Murallas de Tarragona	Tarragona (E)
Basilica La Seu de Manresa	Manresa – Barcelona (E)
Catedral de Murcia y Campanario	Murcia (E)
Ayuntamiento de Villena	Villena - Alicante (E)
Iglesia de San Pedro	Avila (E)
Yacimiento Arqueologico de Carranque	Carranque – Toledo (E)
Catedral de Granada – Portada del Perdon	Granada (E)
Teatro Romano de Malaga	Malaga (E)
Torre del Camarin de la Iglesia de Santo Domingo	Malaga (E)
Iglesia de Santa Maria Magdalena	Zaragoza (E)
Torre del Oro	Sevilla (E)
Catedral – Portada Principal	Malaga (E)
Puente Romano de Cordoba	Cordoba (E)
Teatro Romano	Cartagena (E)
Basilica del Pilar – Fachada y Portada Principal	Zaragoza (E)
Catedral de Tarazona - Portada Principal	Tarazona - Zaragoza (E)
Iglesia de Santiago	Jumilla- Murcia (E)
Torre de la Calahorra y Iglesia de San Agustin	Cordoba (E)
Templete Cruz del Campo	Sevilla (E)
Conjunto arqueologico Baelo Claudia y Tia Norica	Tarifa- Cadiz
Yacimiento arqueologico Motilla del Azuer	Daimiel – Ciudad Real
Casa de la Rusa	San Pedro del Pinatar - Murcia
Iglesia de San Esteban	Cuellar - Segovia
Ruinas de Santa Maria	Cazorla - Jaen
Mirador del Alcalde	Barcelona
Fachada principal Iglesia Santa Maria in Foris	Huesca
Obra Iglesia de Sant Boi de Llucanes	Llucanes - Barcelona
Yacimiento arqueologico Canteia	San Roque - Cadiz
Torre de Guzman	Arcos de la Frontera -Cadiz
Fachada Seminario Metropolitano	Zaragoza (E)
Muralla del Castillo de Bujalance	Bujalance– Cordoba
Fachada Iglesia de Santa Maria de la Huerta	Magallon - Zaragoza (E)
Santuario de la Balma	Zorita del Maestrazgo - Castellon
Fachada del Instituto Tecnológico de la Carne	Guijuelo - Salamanca
Monumento a Martinez Montanes	Sevilla (E)
Monumento a Maquez	Cartagena - Murcia
Iglesia de Santa Maria de Los Reales Alcazares	Ubeda - Jaen (E)
Teatro Infantil Daoiz y Belarde	Madrid (E)
Convento Madre de Dios	San Lucar de Barrameda
Consolidacion del Yacimiento Romano de Caparra	Oliva de Plasencia - Caceres
Consolidacion de La Fachada de la Antigua Maternidad de O'Donell	Madrid
Consolidacion de la Fachada del Palacio de Congresos de Salamanca	Salamanca
Catedral de Sigüenza	Sigüenza - Guadalajara
Consolidacion de la Fachada Principal del Museo de	Murcia



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

Nombre del monumentos / obra	Localidad – Provincia (País)
Bellas Artes de Murcia	
Consolidacion Excavacion Arqueologica del Alcazar de Jerez	Jerez De La Frontera - Cadiz
Fachada del Teatro de Tarrasa	Terrassa – Barcelona
Iglesia de San Juan de Barbalos	Salamanca
Consolidacion de la Muralla de San Vicente de la Sonsierra	San Vicente de La Sonsierra – la Rioja
Palacio de Correos Ayuntamiento	Madrid
Banco Urquijo - Fachada	Valencia
Iglesia de Santa Maria de Ripoll – Claustro	Ripoll – Gerona
Muralla del Castillo de Burgalimar	Baños de la Encina - Jaen
Catedral Seu Vella	Lerida
Torre de Santa Cruz	Ecija - Sevilla
Catedral de Jerez - Cubierta	Jerez de la Frontera - Cadiz
Excavacion Arqueologica Cerro de las Cabezas	Valdepeñas – Ciudad Real
Parque Arq. Recopolis	Zorita de los Canes-Guadalajara
Hotel Helmantico	Villares de la Reina-Salamanca
Catedral Tarragona	Tarragona
Catedral de Palencia	Palencia
Monasterio del Escorial	Madrid
Catedral Seu Manresa	Manresa-Barcelona
Fachada Paseo de Gracia	Barcelona
Biblioteca Municipal	San Vicenç Dels Horts – Barcelona
Iglesia de San Jose	Cadiz
Edificio de la Bolsa	Madrid
Parc Camps Elises	Lleida
Iglesia de los Geronimos	Madrid
Jardines Romanticos Monforte	Valencia
Claustro de Santo Domingo	Jerez de la Frontera – Cadiz
Palacio de Bendaña	Haro-La Rioja
Sagrada Familia	Barcelona
Muralla Medieval Castillo de Aitzortz	Guipuzkoa
Pinturas Murales del Claustro Catedral	Toledo
Catedral de Tarragona	Tarragona
Museo Elisa Cendrero	Ciudad Real
Fachadas Edificio Avda. Pio XII	Madrid
Cartoixa Sta. Maria Escalade	Escaladei
Castillo de San Felipe	La Coruña
Murallas Merinies	Ceuta
Vivienda Jaime Bayon	Peñafiel-Valladolid
Humilladero de Fuensanta	Cordoba
Muralla de Fuente Salada	Medina Sidonia – Cadiz
Catedral de Sevilla – Portada del Perdon	Sevilla
Esculturas Romanas Museo Arqueologico Sevilla	Sevilla
Fachada Principal de la Iglesia de la Asuncion	Luque – Cordoba
Castillo de Huelma	Huelma – Jaen
Santuario de San Juan de Avila	Montilla – Cordoba
Cartoixa de Santa Maria	Escaladei – Tarragona
Alcazar del Rey Don Pedro	Carmona – Sevilla
Iglesia de la Trinidad	Ubeda – Jaen
Museo de Santa Clara	Murcia
Conjunto Arqueologico de la Tia Norica	Cadiz



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

<i>Nombre del monumentos / obra</i>	<i>Localidad – Provincia (País)</i>
Iglesia Parroquial de Villanueva de los Infantes	Ciudad Real
Torreon Arabe De Sorihuela de Guadlimar	Jaen
Filmoteca de Castilla y Leon	Salamanca
Castillo de Burgalimar	Baños de la Encina (Jaen)
Torre Mezquita Catedral de Cordoba	Cordoba



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

N A N O E S T E L

PRODUCTO CONSOLIDANTE Y FIJATIVO PARA PIEDRAS NATURALES, LADRILLO, TERRA COTA, MORTEROS E INTONACOS.

CARACTERISTICAS

NANO ESTEL es una dispersión acuosa coloidal de sílice con dimensiones nano métricas, en torno a 10-20 nm.

Estas dimensiones son inferiores a las de las micro emulsiones acrílicas (40-50 nm), y a las de la nano cal (200 nm).

Se presenta como un líquido muy fluido, también con un residuo seco del 30%, y siendo estabilizado con NaOH (<0,5%) presenta un pH alcalino (pH = 9,8-10,4).

Después de la evaporación del agua las partículas se ligan entre si formando el gel de sílice, similar a lo que ocurre con el silicato de etilo y consiguiéndose así el efecto consolidante.

VENTAJAS

Respecto al silicato de etilo **ESTEL 1000**, la dispersión de sílice puede aplicarse en ambientes húmedos, y presenta un tiempo de toma reducido (3 - 4 días).

Siendo una dispersión acuosa **NANO ESTEL** no es inflamable y no presenta símbolos de toxicidad, con la consiguiente reducción de los factores de riesgo en laboratorio y en obra, y reduciendo los costes de transporte y almacenamiento.

A diferencia de los silicatos alcalinos no provoca la formación de subproductos secundarios dañinos (con los silicatos de sodio y potasio se forman respectivamente soda y potasa, que carbonatan con el aire formando sales solubles).

Dada la naturaleza del gel de sílice la reducción de permeabilidad al vapor de agua es mínima.

La acción consolidante debido a la formación del sílice permite el empleo de **NANO ESTEL** también como ligante de inertes para realización de morteros, para pequeños estucados, o con pigmentos, obteniendo una superficie opaca y químicamente estable.

LIMITES

La capacidad de penetración es reducida respecto al silicato de etilo, el nivel del poder de consolidación es todavía objeto de estudio. También la resistencia en el tiempo de los morteros obtenidos está por valorar.

EMPLEO

NANO ESTEL es un producto concentrado, con un 30% de residuo seco, a diluir con 1-2 partes de agua desmineralizada, llevando así el porcentaje de materia activa al 10-15%. Se aconseja efectuar test de prueba para determinar el rapor exacto de dilución, que en algunos casos puede ser distinto de lo indicado, en base al soporte y al efecto que se quiere obtener.

La superficie a tratar debe estar limpia y saneada de eventuales sales eflorescentes presentes.

La temperatura atmosférica y de la superficie a tratar debe estar comprendida entre 5°C y 35°C.

Por debajo de 5° C la reacción no se produce.

El producto puede aplicarse también en presencia de elevados valores de humedad, o también sobre superficies húmedas (aunque esto hace dificultosa la penetración)



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

NANO ESTEL puede aplicarse por inmersión, pincel o pulverizado a baja presión y finalmente inyectado mediante jeringas en fisuras.

Su reacción se completa después de aproximadamente **tres - cuatro días** con temperatura ambiente de 20°C. aproximadamente.

Para acelerar la toma se aplica antes alcohol etílico Mostanol, después **NANO ESTEL** diluido en agua desmineralizada.

Debido a la heterogeneidad de los materiales existentes, es indispensable realizar test preliminares sobre una muestra del material que se quiera tratar con el fin de verificar:

- el grado del efecto consolidante que se obtiene;
- la cantidad de material a utilizar;
- la ausencia de variaciones cromáticas sobre el material pétreo tratado.

ADVERTENCIAS

La gelificación de **NANO ESTEL** se puede obtener con los siguientes sistemas:

- Haciendo evaporar el agua (método normal)
- Cambiando el pH (por ejemplo mezclado con cal se cementa de repente)
- Mezclando con disolventes hidrosolubles (alcohol, acetona)
- Añadiendo una sal (método desaconsejado para el sector restauración)

Es entonces necesario valorar la influencia de estos parámetros antes de proceder a la aplicación.

En el caso de sobre dosificación es posible retirar el exceso, antes del endurecimiento, con papetas empapadas en agua desmineralizada.

Dado el pH alcalino el efecto sobre algunos tipos de película pictórica puede ser negativo: verificar con cuidado antes de la aplicación.

DATOS FISICOS

Principios activos	Bióxido de silicio de dimensiones nano metricas
Contenido de principio activo (%)	30
Viscosidad dinámica (mPas a 20°C)	6-8
Densidad (g/cm3 a 20°C)	1,1-1,3
Tensión de vapor (hPa a 25°C)	32
Dimensiones de las partículas (nm)	<20
Superficie específica (m2/g)	260
pH	9,5-10,4

CONFECCIONES

NANO ESTEL está disponible en envases de 1 - 5 - 25 kg.

ALMACENAJE

12 meses en recipientes originales herméticamente cerrados. Conservar entre 5° C y 40 °C

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 higiene 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. Este producto está destinado exclusivamente para uso profesional. Además, pueden cambiar en cualquier momento de los componentes y los envases sin ningún tipo de comunicación.



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

A continuación les reportamos algunas referencias recogidas sobre la línea “**NANO ESTEL**”

Nombre del monumento/obra	Localidad – Provincia (País)
Calcestruzzo dell’acquedotto romano	Sesto Fiorentino (I)
Cimborrio della Cattedrale di Barcellona	Barcellona (E)
Capilla de los Sastres – Cattedrale di Terragona	Terragona (E)
Portale in arenaria Galleria Ricci Oddi	Piacenza (I)
Ritocco pittorico sull’orologio del Campanile di Lavis	Lavis – Trento (I)
Concotti in terracotta provenienti dal sito palafitticolo di Lucone di Polpenazze	Lucone – Brescia (I)

Los estudios científicos realizados por la Universidad

Università di Parma

Licchelli M., Weththimuni M., Zanchi C.; “*Nanoparticles For the consolidation of Lecce Stone*”, Atti del XXIV Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana, Lecce, 11-16 settembre 2011.

Università degli Studi di Napoli

Angelici E., Grassini S., Fulginiti D., Parvis M., Segimiro A.; “Compatibilità and efficiency of restoration products for artefacts in neapolitan yellow tuff” *Scienza e Beni Culturali XXIX, Bressanone, 2013.*

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa

G. Borsoi, R. Veiga, A. Santos Silva; “Effect of nanostructured lime-based and silica-based products on the consolidation of historical renders”, 3rd Historic Mortars Conference 11-14 September 2013, Glasgow, Scotland



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

NANORESTORE®

Dispersiones de nanocal en alcohol isopropílico desnaturalizado
Patente Italiana Consorcio CSGI-Universidad de los Estudios de Florencia
n° FI/96/A/000255, 31/10/1996

CARACTERÍSTICAS

Dada la naturaleza absolutamente innovadora del producto, el Consorcio CSGI, inventor de la formulación, ofrece consultoría técnica con fines científicos para individuar las mejores condiciones aplicativas (para información contactar con el personal CSGI en la siguiente dirección: direttore@csgi.unifi.it).

Nanorestore® se presenta como el consolidante compatible por excelencia para frescos y piedras de matriz carbonática, estando constituidas por partículas de cal apagada con dimensiones en el dominio de los materiales nanoestructuradas dispersas en alcohol isopropílico.

El alcohol garantiza una óptima penetración en los materiales porosos (gracias a su baja tensión superficial) por succión capilar; y penetrando en la matriz porosa transporta detrás de si las partículas nano-estructuradas que se insertan en los intersticios y en las porosidades a consolidar inmediatamente por debajo de la superficie.

Una vez transformados en carbonato de calcio por acción del anhídrido carbónico atmosférico, originan una red de micro-cristales de calcita que confieren a la obra nuevas y elevadas propiedades mecánicas sin introducir materiales extraños a la naturaleza química original de la obra. Los espesores de consolidación son estrechamente superficiales, del orden de algunos centenares de micron.

El producto Nanorestore® se presta óptimamente a la aplicación como pre-consolidante de superficies antes de cualquier operación preliminar de limpieza.

CARACTERÍSTICAS QUIMICO -FISICAS

aspecto:	liquido blanco opaco
Viscosidad a 25° C:	2.75 cP
residuo seco:	0,5 %
peso especifico:	ca. 0,8 g/cm ³

MODALIDAD DE APLICACIÓN

Antes de usar agitar vigorosamente el recipiente durante al menos 2 minutos. La dispersión, para uso en frescos, puede ser diluida en el caso de que se evidencien, después de test aplicativos, efectos de veladura blanca que puede, de todas formas, ser fácilmente eliminada con simples compresas de agua.

En el caso de pétreos de matriz carbonática puede no ser necesaria la disolución. La relación de disolución se decide en relación a la capacidad absorbente de la superficie a tratar y del nivel de porosidad de la obra. Se sugieren las siguientes disoluciones:

de 80 a 500 cc en 1 litro

La relación de disolución se decide cada vez en relación a la capacidad absorbente de las matrices porosas. Es evidente que cuanto más diluida es la dispersión más numerosas pueden ser las aplicaciones necesarias. El disolvente a añadir para diluir es el alcohol isopropílico desnaturalizado CTS, tal cual o también, para aplicaciones particulares, una mezcla con agua desmineralizada hasta un contenido máximo de agua similar al 50 % en volumen. El uso de cantidades más o menos relevantes de agua depende de las condiciones de humedad del soporte y del ambiente: cuanto menor sea la humedad mayor cantidad de agua puede añadirse y viceversa. Una vez conseguida la disolución agitar nuevamente el recipiente que contiene la dispersión diluida y proceder a la aplicación mediante pincel o mediante nebulización, con protección de las superficies con papel japonés. Aplicar hasta saturación del soporte ("hasta su rechazo") y esperar el completo secado antes de efectuar una eventual aplicación sucesiva. Efectos apreciables de consolidación se consiguen normalmente después de un número de aplicaciones que está obviamente relacionada a la concentración seleccionada: cuanto más se diluye la dispersión, mayor es el número de aplicaciones necesarias. Se puede aplicar desde 1-2 aplicaciones para la más concentrada a 10-12 para la más diluida. Acabada la última aplicación esperar 5-7 días antes de las pruebas de limpieza y verificación de las propiedades mecánicas de la superficie.

Antes de cualquier aplicación el recipiente que contiene la dispersión debe de agitarse y con igual cuidado se deben tratar las agitaciones de los recipientes de uso durante las aplicaciones.

La superficie tratable con 1 litro de producto no es a priori definible ya que depende tanto de la concentración de uso como de la capacidad absorbente de la matriz del soporte. Antepuesto esto se estima que el producto en concentración standard permite tratar aproximadamente 5-10 m² de



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

superficie pictórica de media porosidad de grado medio de decohesión superficial.

Es oportuno evitar el uso de Nanorestore® en aquellas situaciones en que la porosidad superficial se anula del todo por la presencia de fijativos poliméricos, depósitos consistentes de suciedad.

El uso del producto no como simple pre-consolidante, sino como consolidante final en presencia de sulfatación debe prever en uso preventivo de un tratamiento desulfatante con papetas de soluciones de carbonato de amonio o resina de intercambio iónico Amberlite 4400 OH. El producto Nanorestore® puede a este punto ser usado según las modalidades consabidas también en alternativa a las papetas de solución de hidrato de bario, si bien en este caso es aconsejable contactar con el Consorzio CSGI.

Se señalan sin embargo posibles problemas en caso de presencia de cantidades muy elevadas de sales de magnesio. Se recomienda, en cualquier caso, realizar una mínima investigación diagnóstica, antes de la intervención, finalizada a la determinación de la técnica pictórica y a la valoración de la degradación. Se subraya en fin que es un material que se recomienda adecuado para las partes pintadas "en fresco".

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Nanorestore® no presenta particulares peligros para los usuarios.

En las aplicaciones a nebulización protegerse con máscara de los vapores de alcohol isopropílico y en ambientes muy cerrados facilitar la dispersión de los vapores con aspiradores.

El producto **Nanorestore®** es inflamable. Se manipula y almacena con las precauciones normales relativas a este tipo de productos.

ESTABILIDAD Y ALMACENAMIENTO

Puede formarse sedimento sobre el fondo, se recomienda una vigorosa agitación manual antes del uso

Las confecciones mantenerlas bien selladas y ausentes de aire y humedad tienen una duración de 12 meses.

CONFECCIONES

Nanorestore® está disponible en confecciones de 1 lt.

Las indicaciones y los datos indicados en el presente folleto se basan en nuestra experiencia actual, sobre pruebas de laboratorio y su correcta aplicación.

Estas informaciones no deben en ningún caso sustituirse a las pruebas preliminares que es indispensable efectuar para cerciorarse de la idoneidad del producto a cada caso determinado.

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

A continuación, le indicamos, algunas referencias relativas a la aplicación del **Nanorestore®**:

Nombre del monumentos/obra	Localidad – Provincia (Nación)	Año
Pitture murali del Cappellone degli Spagnoli nella Chiesa di Santa Maria Novella	Firenze (Italia)	1997
Pitture murali della controfacciata della Cattedrale di Santa Maria del Fiore	Firenze (Italia)	1999
Pitture murali di Filippo Lippi nella Cattedrale di Prato	Prato (Italia)	2002-3
Pitture murali medievali (XIII e XIV secolo) nella cripta di San Zeno	Verona (Italia)	2005
Pitture murali in Santa Maria delle Grazie	Gravedona-Como (Italia)	2005
Pitture murali del sito Maya di Calakmul (dichiarato dall'UNESCO World Heritage Site)	Calakmul (Messico)	2005-2008
Affreschi della cappella del podestà al museo del Bargello	Firenze (Italia)	2006
“La leggenda della Vera Croce” di Agnolo Gaddi, Chiesa di Santa Croce	Firenze (Italia)	2007
Pitture murali in Villa del Bene	Volargne-Verona (Italia)	2007
Bassorilievi in pietra d'Angera in Ca' Granda-Università Statale di Milano	Milano (Italia)	2007
Pitture nella chiesa di Vendel	Vendel (Svezia)	2007-2008
Pitture murali del sito Azteca di Tlatelolco	Città del Messico (Messico)	2007-2008
Pitture murali nella cappella dell'Annunciazione	Nazareth (Israele)	2008
Pitture murali del sito Azteca di Cholula	Cholula (Messico)	2008

Aquest Treball Final de Grau segueix els criteris establerts en el
Llibre d'estil de la Universitat de Barcelona.