

Tècniques per a la conservació- restauració d'estructures arqueològiques *in situ*. Aproximació a la bibliografia publicada

Quan es parla de protecció de les estructures arqueològiques que han de romandre a la intempèrie *in situ*, entrem en un dels problemes més greus al qual han de fer front els arqueòlegs, els conservadors i els arquitectes.

La conservació-restauració de les troballes arqueològiques és un tema complex i molt ampli, ja que a l'hora d'exposar al públic els jaciments són importants nombrosos factors. S'ha de valorar conjuntament aspectes tan diversos com les seves funcions didàctiques, els problemes tècnics i de criteris estètics que planteja, sense oblidar les qüestions polítiques i econòmiques que regeixen la gestió del patrimoni.

Ara bé, en aquest article, s'ha optat per deixar de banda els punts més teòrics i abordar els aspectes primordialment tècnics i pràctics; pensant que això podria ser útil als professionals en els quals recau el difícil i compromès paper de conservar-restaurar els jaciments.

Aquest article vol ser una introducció a la problemàtica tècnica a partir de la bibliografia existent sobre el tema. La amplitud de la qüestió i l'espai reduït d'un article impediran tractar els diferents capítols amb tota la seva complexitat. S'intentarà, però, centrar els seus diversos aspectes i, en cada un d'ells, recollir les opinions i solucions exposades per diferents autors que han tractat la preservació *in situ* dels jaciments.

Qualsevol intervenció sobre les estructures excavades s'ha de regir per la *Carta del Restauro* de 1972 (BRANDI 1988, 128-149). Aquesta carta és una normativa que va ser redactada a Itàlia pel Ministeri d'Instrucció Pública i que obligava al seu compliment a totes les parts interessades en la restauració. Actualment, tota la comunitat europea està adherida a aquest document i és comunament acceptat per tots els professionals encarregats de custodiar el patrimoni històric-artístic.

L'esperit d'aquest document busca imposar, en els tractaments de conservació-restauració, el màxim respecte i menor perjudici per les estructures i peces antigues. Entre els criteris que enuncia, cal destacar l'ús de materials i tècniques que siguin com més reversibles millor i que garanteixin la resistència i efectivitat del procés. També és important l'obligació de diferenciar clarament les parts originals de les reconstruïdes i la necessitat de realitzar una documentació exhaustiva d'abans, durant i després de la intervenció.

I. Els processos de degradació de les estructures arqueològiques

Les estructures arquitectòniques enterrades, igual que les peces, pateixen un procés d'adaptació al medi mentre estan sota terra. Les condicions de l'enterrament

influiran en aquesta evolució. Els materials s'aniran acomodant al nou medi que els envolta, generalment mitjançant processos de degradació, fins arribar a un equilibri a partir del qual la destrucció es ralentitza. Quan les estructures es desenterren durant una excavació i queden exposades a la intempèrie, es tornen a engegar els processos d'envelliment per efecte sobretot dels agents atmosfèrics. Els resultats quasi sempre molt més greus que els que han patit durant el soterrament.

Per entendre millor l'estat en què es troben les estructures, és interessant conèixer l'entorn que les envoltava sota terra, és a dir, el sòl i el clima. Amb l'estudi edàfic del sòl, es podran determinar alguns factors que incideixen en la degradació dels materials que hi són colgats. És important tenir dades com la seva acidesa o alcalinitat, composició, resistència, densitat, porositat, el seu contingut hídric i en sals i la presència o inexistència de nivells freàtics.

La humitat del sòl es considera un dels factors primordials en la descomposició de les estructures i està molt lligada a la climatologia, sobretot a les variacions de temperatura i a la freqüència i intensitat de les pluges.

A més de la humitat, existeixen altres causes de degradació que caldrà valorar en el moment d'estudiar l'estat de conservació de les estructures. Mai hi ha un sol agent causant de la seva degeneració, els processos acostumen a ser complexos, combinant-se diferents factors alhora. Al mateix temps, aquestes factors s'han d'avaluar tenint en compte les característiques físiques i químiques dels materials que componen les estructures.

1. Les estructures de pedra¹

Les construccions arqueològiques fetes amb pedra es van aixecar antigament, usant tècniques i materials diversos segons les zones geogràfiques i les èpoques. Generalment, aquestes estructures són elements heterogenis que estan formats per les pedres i el morter o l'argila que serveix de lligam entre elles. També s'ha donat la construcció amb pedra seca, on els carreus no es subjecten amb cap morter ni altre tipus d'aglutinant. Els morters i l'argila també han servit, des de l'antiguitat, per enlluir i per fer arrebossats, destinats a protegir del medi ambient degradant l'interior i exterior de les estructures.

A Egipte es va utilitzar ja el morter i l'arrebossat de guix cap al principi del tercer mil·lenni aC. L'ús del morter de calç es va donar en les civilitzacions minoica i micènica (1.700 aC) i, força més tard a Egipte, cap a l'any 300 aC (TORRACA 1988, 65-67). A Grècia, i durant l'època romana, es desenvolupà molt l'ús del morter hidràulic a base de calç i s'utilitzà àmpliament en totes les construccions arquitectòniques i d'enginyeria. El descobriment del ciment portland l'any 1824, va revolucionar i marcar el desenvolupament de la construcció des de llavors fins avui dia, ja que va substituir de forma decisiva els morters tradicionals.

1. Principals referències bibliogràfiques d'aquest capítol: ADAM, BOSSOUTROT 1990, 348-350; LABORDE 1986, 45-54; TORRACA 1988, 19-51; VALENTÍN 1990.

1.1. Causes de degradació

Com s'ha dit, no es pot aïllar un sol agent com a responsable de la degradació de les estructures pètries. Les causes de degeneració són moltes i normalment actuen en combinació. A més, els efectes dels factors externs dependran també dels materials que formen les restes arqueològiques, és a dir, de la naturalesa química i mineralògica dels carreus i dels components del morter o argamassa usat com a lligant.

La porositat dels murs, junt amb les seves propietats hídriques i mecàniques, marcaran i condicionaran la seva forma de reaccionar davant dels agents de degradació que es descriuran a continuació.

a) Pèrdua d'ús

Les estructures excavades a qualsevol jaciment van ser abandonades en algun moment. En no tenir un manteniment i, sobretot, en perdre la coberta i l'arrebossat que asseguraven la seva protecció enfront els factors ambientals, va començar una ràpida destrucció que les va anar convertint en ruïnes.

La fragilització de les pedres i la descomposició dels morters van ajudar a aquesta degradació. Les estructures van anar perdent cohesió, es van anar debilitant i es tornaren permeables per l'acció agressiva de l'entorn durant els segles d'enterrament: cristallització de sals solubles, canvis d'humitat, penetració i instal·lació de la vegetació, activitat dels rosegadors...

b) Clima

Poden tenir incidència sobre els murs excavats els factors climàtics com les variacions de temperatura, el cicle gel/desgel, el vent i la pluja (que es veurà més endavant en tractar l'acció de l'aigua).

En transportar càrregues sòlides, el vent realitza una acció abrasiva sobre les superfícies del mur. La seva incidència i poder de descomposició dependrà de la situació del monument a un emplaçament més o menys protegit, ja sigui, per defenses naturals (com arbres o accidents geogràfics) o per altres construccions.

Els canvis de temperatura provoquen canvis dimensionals per l'expansió tèrmica produïda per la calor i per la contracció generada pel fred. Els coeficients de dilatació de les roques són molt baixos, però es pot donar una diferència de temperatura entre el seu nucli intern i la superfície, que és la part més exposada als agents climàtics externs. Es provocaran, així, canvis volumètrics causants de tensions internes, que si superen la resistència del material arribaran a comportar trencaments. Alhora, si els diferents elements que formen una estructura estan limitats i no poden expandir-se, s'originaran tensions que donaran deformacions i fissures als paraments. També les juntures entre les pedres es poden obrir i després difícilment es tornaran a tancar totalment, produint-se una esquerda que després s'anirà obrint més i més.

Amb les baixes temperatures, l'aigua de l'interior dels materials pot arribar a gelar-se. Aquest procés comporta mecanismes de tensió interna que provoquen esclatxes i fractures. La congelació de les

substàncies portades per l'aigua i dipositades en el porus, causarà pressions molt més grans que les produïdes pel mateix gel.

c) Acció de l'aigua

Com ja s'ha dit, l'aigua i la humitat són els factors més importants a l'hora d'afavorir els processos de degradació, ja que comporten fenòmens com erosió, atacs químics, creixement de vegetació i migració de sals solubles. La presència d'aigua en les estructures es pot donar per la pluja, els nivells freàtics, la capil·laritat des del sòl o per la seva condensació sobre les superfícies del mur.

L'aigua afavoreix nombrosos processos químics quan prové de la pluja o de la condensació sobre la superfície. L'aigua de la pluja és una mica àcida perquè reacciona amb el CO_2 de l'aire i forma àcid carbònic, que encara que sigui un àcid dèbil, sota algunes condicions pot transformar els carbonats de calci i magnesi dels morters de calç, de la pedra calcària o del marbre, en bicarbonats i dissoldre'ls lentament.

Als indrets on hi ha contaminació atmosfèrica, la condensació, sobre la superfície dels murs, de l'aigua en petites gotes que porten tota mena d'agents de pol·lució de l'atmosfera (pols, sutge,...), origina l'acció àcida d'aquests agents durant la fase humida i, en la fase seca, la cristallització dels contaminants i productes de reacció que aniran formant crostes fosques sobre els paraments.

L'aigua filtrada de la pluja o ascendent per capil·laritat també produeix tensions a l'interior dels murs.

Els efectes destructius derivats de la capil·laritat d'origen freàtic es produeixen pel moviment de l'aigua per dintre del mur. L'aigua provinent del subsòl afecta primer a la base dels murs i de les columnes i penetra a través d'ells, en intensitat variable depenent de la porositat del material. Després s'eleva per difusió a més o menys alçada i, finalment, deixa la construcció per evaporació. Aquesta aigua pot dissoldre els ciments que mantenen units els grans del material petri, en funció del seu grau de solubilitat, provocant la pèrdua de cohesió dels carreus que formen el mur.

d) Sals solubles

L'origen de les sals solubles presents en les estructures arqueològiques pot ser divers: la mateixa composició mineral de la pedra, els materials de construcció (morters, arrebossats, argamasses...), el sòl, d'on són arrossegades per capil·laritat cap a l'interior dels murs, o bé, de la reacció amb els contaminants atmosfèrics. Cal detectar, no solament la presència de sals, sinó també analitzar la seva procedència, naturalesa i tipus, per conèixer millor els seus efectes sobre les restes i poder estudiar com eliminar-les.

Els processos cíclics de mullat/assecat de les estructures provoca la migració de sals solubles. Aquestes sals són portades per l'aigua, on estan dissoltes, cap a dins del mur en mullar-se i cap a les seves cares externes en assecar-se i evaporar-se la humitat, cristallitzant les sals sobre la superfície (eflorescències) o just sota ella (erosió alveolar).

La cristallització suposa la creació de tensions dintre dels porus dels materials, per això, si es dona sobre la cara de la paret, l'efecte destructiu és menor. Encara que les sals cristallitzades poden formar part de crostes superficials nocives per la pedra i, a més, aquestes sals ja cristallitzades, poden tornar a dissoldre's amb l'aigua de la pluja i penetrar de nou cap a l'interior del mur, iniciant-se de nou el cicle.

L'erosió alveolar és més greu que la superficial, perquè la disgregació produïda per les tensions causades amb la formació de sals, es dona just sota la superfície. Es provoquen disgregacions granulars i descamacions que es convertiran en cavitats sobre els paraments de l'estructura.

e) Biodegradació

La biodegradació de les estructures arqueològiques és deguda a l'acció destructiva de la vegetació, dels animals rosegadors i dels microorganismes.

El pitjor efecte destructiu que es pot donar sobre les estructures és la combinació de la humitat amb la vegetació: l'aigua obre esquerdes a l'estructura que són aprofitades per la penetració de les arrels i després aquestes arrels es nodriran de la mateixa humitat per anar creixent i engrandint-se, perjudicant encara més el mur.

Jean Pierre Adam i Anne Bossoutrot (1990, 348-349) diferencien tres maneres de manifestar-se els efectes destructius de la vegetació:

La primera forma de degradació es dona quan la vegetació s'instal·la sobre la part alta dels murs, que és la més exposada, creix, i les arrels i el pes desmunten la construcció.

La segona es produeix quan la vegetació es desenvolupa al llarg de les parets, enfonsant les seves arrels dins l'arrebossat perquè busquen suports sòlids on fixar-se. Es provoquen inflaments i esquerdes que són noves vies de penetració per a la humitat, la terra i la vegetació. Els paraments que envolten el límit de l'excavació són els que més pateixen aquesta situació mecànicament perillosa per la seguretat del mur.

Finalment, la tercera forma de degradació l'origina la vegetació que creix sobre la paret, a partir de les arrels del terra. És el cas de les plantes enfiladisses com l'heura. El seu creixement i pes causa l'arrencament dels arrebossats i carreus. Aquestes plantes poden obrir-se pas per les esclotxes dels revestiments i reaparèixer a un nivell superior, produint una línia de ruptura vertical.

Les algues, líquens i molses, com les plantes superiors, poden introduir-se en els murs i, encara que tenen un creixement superficial, retenen aigua i causen una degradació que s'accentua amb les esquerdes i trencaments afavorits pels cicles de gel/desgel.

Existeix també una degradació química dels microorganismes i de les plantes superiors, relacionada amb els productes del seu metabolisme: àcids orgànics, àcids inorgànics i substàncies quelants. A més del problema que origina l'acció d'aquests àcids, es provoca una alteració del pH del medi i canvis freqüents de pigmentació causats per nombroses espècies microbianes, algues i líquens.

Les estructures degradades també són terreny favorable per a la instal·lació d'animals excavadors. Són generalment rosegadors, però també poden ser ocells, rèptils o insectes. Les cavitats i passadissos que fan, creen zones fràgils i línies de trencament, que sovint es combinen amb els efectes devastadors deguts a l'acció conjunta de la humitat i la vegetació.

f) Acció de l'home

Activitats humanes com l'agricultura poden provocar problemes a l'estabilitat de les restes arqueològiques. Així doncs, els camps de conreu del voltant del jaciment solen causar perjudicis perquè els regs i els tractaments del sòl cultivat (fertilitzants i biocides), suposen problemes afegits d'humitat i de sals, amb els processos de degradació que aquests agents comporten.

A més, en les últimes dècades, l'ús de processos extractius més agressius, encarats a buscar el màxim rendiment de les terres, han comportat que es llauri amb solcs molt profunds o es dessequin aiguamolls i, algunes vegades, això ha suposat remoure o afectar restes de jaciments.

Altres activitats producte del desenvolupament humà, com la construcció de carreteres i d'edificis i la pol·lució atmosfèrica, són capaços així mateix d'afectar els jaciments. També el turisme que visita l'excavació és possible que provoqui danys si no existeixen uns camins de pas ben delimitats o proteccions. I, finalment, l'home pot infringir desperfectes intencionats, com el furt o el vandalisme.

2. Les estructures de terra²

Des de sempre, la humanitat ha utilitzat la terra com a material per a la construcció. El tovet i els materials afins assecats al sol són els primers que l'home va usar per edificar i es coneix el seu ús des del període neolític (9.000 - 3.000 aC).

L'antiguitat d'aquesta tècnica s'explica per la mateixa naturalesa de la primera matèria: fàcil de trobar en abundància, de baix cost i que no necessita, com el guix, la calç o el ciment, energia per la seva fabricació.

Però la terra té un desavantatge important: la seva poca resistència i fragilitat enfront de l'aigua. Això fa que s'utilitzi molt més en regions seques que en zones humides. Ara bé, sota condicions favorables i amb un manteniment continuat, les estructures d'aquests materials són molt durables i sòlides i han permès construir des de senzilles vivendes fins a grans i elaborades estructures monumentals decorades amb relleus, pintures i mosaics, com les construïdes a Mèxic i Perú a l'època pre-colombina.

2.1. Característiques

L'argila, que és el material lligant del sòl, té la capacitat de tornar-se plàstica, és a dir, moldejable i treballable si s'hi afegeix aigua. Però l'argila en assecar-se es contrau massa i s'esquerda. Si es vol fer servir com a material de construcció, és necessari afegir càrregues per reduir aquesta contracció i permetre-li fer front a l'acció destructiva de l'aigua. Les càrregues poden ser materials inorgànics, com la sorra, o materials orgànics fibrosos, com la palla, el fenc, les clofolles d'arròs o el cabell animal; també es poden emprar materials orgànics lleugerament adhesius, com els fems. El fenc s'usa sobretot en els arrebossats a base d'argila i la palla en la realització d'elements estructurals.

Els materials de construcció de terra més emprats han estat el tovet i la tàpia. El tovet és una barreja de sorra, llims i argila que es mescla amb aigua fins obtenir una consistència plàstica. A aquesta barreja se li pot donar forma treballant-la a mà o, si es vol aconseguir una forma determinada, es poden fer servir motlles de fons obert. Després es deixa assecar al sol perquè s'endureixi. A vegades, s'hi afegeix material orgànic fibrós com la palla, el cabell animal o els fems, perquè el tovet guanyi resistència mecànica, no pateixi trencaments en assecar-se i tingui més resistència a l'aigua. També pot contenir quantitats variables de petites pedres o grava.

Un lligant de composició similar s'usa normalment per unir els tovots i aixecar els murs. Els tovots ajuntats amb argamassa d'argila permeten que les estructures pateixin en el seu conjunt molt menys moviments, perquè formen una unitat força homogènia. És una tècnica amb què s'han fet grans construccions, fins i tot s'han arribat a construir així edificis de vuit pisos.

Un altre tipus de tecnologia amb terra és la tàpia, que té una composició semblant al tovet: barreja de terra argilosa i sorrenca amb aigua fins aconseguir una consistència una mica humida que permeti treballar-la. S'hi afegeixen com a aglutinant graves, sorres i petits còdols calcaris. Es construeixen els murs fent esferes toques que després es posen en la posició desitjada i es pressionen. En aquesta tècnica es poden utilitzar encofrats, que són planxes desmuntables que defineixen i aguanten verticalment l'estructura a aixecar fins que s'assequi.

També es feien amb tovet o amb terra moldejada i compactada, elements constructius de l'interior de les cases com llars, banquetes, paviments, forns i suports per recipients.

En la construcció d'estructures, el tovet i l'argila s'ajunten normalment amb altres materials per vèncer l'evident debilitat dels murs de terra. D'aquesta manera s'afegeix fusta i encanyissat per alçar les parets. S'utilitza pedra per construir fonaments i sòcols en els murs exteriors, protegint així la zona on la pluja tendeix a estancar-se. També es fan arrebossats de calç, guix o argila, a vegades reforçats amb materials fibrosos (fenc, palla, clofolles d'arròs), per preservar internament i externament els murs dels agents atmosfèrics.

Aquests arrebossats actuen com a superfícies de sacrifici, és a dir, són les superfícies que pateixen totes

2. Referències bibliogràfiques fonamentals d'aquest capítol: ALVA, CHIARI 1984, 114-115; BROWN, CLIFTON 1978; BROWN et al. 1979; DE CHAZELLES 1993; PALMA 1993a, 1993b; TORRACA 1988, 97-106.

les agressions impeding que arribin a l'estructura de terra. Necessiten un manteniment constant i, quan es fan malbé, s'han de reparar o refer si es vol preservar l'estructura de terra.

Els enlluïts omplen les irregularitats dels paraments i asseguren els lligams dels murs entre ells, entre els murs i el terra i aïllen de la capil·laritat. Aquests enlluïts interiors i exteriors es diferencien i tenen diferents espessors, nombre de capes i composició. Tant els uns com els altres, poden estar acolorits amb barbotines de colors o decorats amb motius geomètrics, antropomorfs i zoomorfs.

Generalment, el resultat d'un tovot depèn, en gran part, de la seva composició i mida de les seves partícules. En els estudis edàfics, les partícules es classifiquen en: sorra fina (2-0,02 mm), llims (0,02-0,002 mm), argila (menor de 0,002 mm) i grava o sorra grossa (més de 2 mm) (PORTA et al. 1987, 20).

La composició del tovot varia segons la regió, però la presència tant d'un excés de grava com d'un excés d'argila, té efectes adversos per la conservació de les estructures d'aquest material. L'argila és la primera responsable de l'expansió del tovot en absorbir humitat i de la seva contracció en assecar-se. Un excés d'argila dona inestabilitat dimensional a les estructures quan pateixen un cicle de mullat/assecat. A més, certs minerals argilosos, com les montmorilloïtes, que es troben en quantitats variables en la majoria dels sòls de les zones temperades i mediterrànies, magnifiquen aquesta característica per la seva elevada capacitat d'absorció d'aigua. Aquest tipus d'argiles es troben sotmeses a fluctuacions volumètriques importants en funció del seu contingut hídric.

L'argila i, en menor importància, el llim d'un sòl actuen com a lligant en el tovot, formant una matriu en la qual les partícules de sorra estan travades. Si es troben partícules de grava, el seu excés pot ser perillós perquè el seu pes pot guanyar les forces vinculants de la matriu de llim i argila i causar trencaments.

El tovot dimensionalment estable, en general, té una alta proporció de sorra enfront del llim i de l'argila i una mínima quantitat de grava: 70-80% de sorra fina, 10-15% de llim-argila. En algunes construccions antigues, les terres amb gran quantitat de llim i argila, es barrejaven amb quantitats addicionals de sorra per aconseguir un tovot satisfactori.

La quantitat apropiada d'aigua necessària per fer tovots o parets de tàpia, depèn primordialment del seu contingut d'argila i llim. S'ha determinat que una proporció òptima seria de 25-30% per un tovot i d'un 12-15% per construccions de tàpia.

2.2. Causes de degradació

La degradació de les estructures de terra està originada pels trencaments causats pels moviments d'expansió i contracció de la terra, l'erosió, la descamació de la base i la pèrdua de les propietats mecàniques.

En molts casos, aquest procés de degradació està directament o indirectament relacionat amb la presència d'un excés d'humitat. El tovot s'inflen en absorbir aigua i es contrauen en assecar-se, trencant-se. Quan

aquests cicles d'humitat/sequedat es donen durant llargs períodes de temps, la mida de les esquerdes es va engrandint, fins a posar en perill l'estructura. A més, el contingut d'humitat disminueix la resistència i cohesió del tovot, fent que la base de les parets, que aguanta tot el pes, tendeixi a disgregar-se un cop embeguda d'aigua. El contingut en aigua també afavoreix que les estructures pateixin el cicle gel/desgel.

Aquests processos de degradació relacionats amb la humitat de les estructures arqueològiques edificades amb terra estan provocats per diferents factors:

a) Pluja

L'acció de la pluja és la pitjor causa de degradació de les construccions de terra perquè actua sobre tota l'estructura. Primer, sobre la part superior dels murs, formant profundes fissures i trencaments. Després, sobre les parets, perquè l'argila humida es torna impermeable i fa que l'aigua de la pluja corri sobre la superfície. Aquesta aigua porta matèria en suspensió que afavoreix l'erosió i la formació de canals que encara destrueixen més ràpidament les construccions. Alhora els paraments perden resistència mecànica en estar humits.

Les precipitacions en forma de pluja o neu actuen també sobre la base de les estructures, que es veuen afectades per l'acumulació de la humitat. Generalment, aquesta acumulació es veu afavorida pel fet que les excavacions estan més baixes que el terreny del voltant.

L'efecte d'un procés on es combini l'acció de la pluja sobre les parts superiors, les parets i les bases dels paraments, és tan destructiu que pot derruir totalment un mur de terra acabat d'excavar en només un o dos anys.

b) Humitat ascendent

En les estructures de terra, la capil·laritat és baixa i només afecta fins a una alçada d'entre els 30 i 60 cm. Això és degut a la mida dels porus de l'argila i que aquest material en mullar-se s'infla i bloqueja l'ascens de la humitat. Ara bé, les aigües subterrànies poden ser especialment perjudicials, perquè la base dels murs no acostumen a tenir fonaments resistents a l'aigua. A més les aigües subterrànies solen portar dissolts alts continguts de sals solubles que, com en les estructures de pedra, provoquen greus processos de degradació.

c) Condensació sobre la superfície

La contracció i expansió cíclica que suposa la condensació de la humitat sobre els paraments de terra pot provocar esquerdes i despeniments.

d) Sals solubles

La degradació originada per la cristallització de les sals dissoltes en l'aigua absorbida per l'estructura, normalment dels corrents subterranis, es desencadena associada al procés d'assecat/mullat del tovot.

Quan es produeix l'evaporació de la humitat, després d'assecar-se la superfície, la humitat interior del mur es mou cap a la zona d'evaporació. Depenent del ritme de l'evaporació, les sals poden cristal·litzar sobre la superfície del mur (eflorescències) o, el que encar és més perillós, en els porus sota la superfície (subflorescència o erosió alveolar). En cristal·litzar, les sals augmenten de volum i provoquen el despeniment de crostes superficials.

Quan els murs es tornin a mullar, les sals es dissoldran i tornaran a migrar cap a l'interior de l'estructura, començant de nou el cicle.

A més dels agents de degradació relacionats amb la humitat, existeixen altres causes que influeixen en l'estat de les construccions de terra com són:

e) Pèrdua d'ús

Les estructures en terra encara necessiten més que les de pedra un manteniment constant dels arrebossats i sobretot de les teulades. La pèrdua d'ús i, per tant, del manteniment d'aquests elements de protecció, deixen al descobert el tovet i la tàpia que, despullats, són elements molt fràgils i fàcilment atacables per l'entorn climàtic (sol, pluja, vent,...).

f) Sol

D'una part, actua indirectament combinant-se amb l'aigua i incidint en el cicle moll/sec, però també, pot produir despeniments per una dilatació tèrmica diferencial entre la superfície i l'interior de les estructures de terra.

g) Vent

Pot provocar el despeniment de parts soltes o causar abrasió, sobretot quan arrossega sorra, ja que és un material més dur que la terra crua. També pot portar sals solubles si les estructures estan situades prop del mar.

El vent pot augmentar el ritme d'evaporació sobre la cara d'una paret humida, fins el punt d'impedir la formació d'una pel·lícula d'aigua líquida sobre la superfície. L'evaporació es produeix llavors immediatament sota aquesta superfície, és a dir, en els porus, on l'efecte destructor de la cristallització de les sals és màxim (subflorescència o erosió alveolar).

h) Biodegradació

Les algues, els líquens, l'herba, els arbres i també els ocells, amb els seus excrements i nius, i altres animals com els rosegadors, rèptils i insectes són agents que, de la mateixa manera que en les construccions de pedra, contribueixen a la degradació de les estructures de terra.

i) Acció de l'home

L'acte mateix d'excavar suposa una ruptura de l'equilibri aconseguit durant l'enterrament i posa

seriosament en perill les fràgils estructures de terra, que queden a la mercè dels agents destructius de la intempèrie.

Com en les estructures de pedra, l'agricultura, els visitants, el vandalisme, la construcció de carreteres i edificis i la polució atmosfèrica són possibles agents de degradació provocats per l'home que poden afectar a les restes arqueològiques de terra.

II. Protecció de les estructures durant l'excavació

Per garantir una millor conservació, convé planificar la intervenció, sobretot si l'objectiu final és la presentació del jaciment al públic. És aconsellable excavar i conservar alhora, perquè així es garantirà una òptima preservació del jaciment. Paral·lelament, es beneficiarà al mateix procés d'excavació ja que si les estructures estan reforçades, aguantaran més bé entre campanyes i els arqueòlegs podran treballar millor i amb més seguretat.

Jean Pierre Adam i Anne Bossoutrot (1990, 343-347) propo-sen algunes recomanacions per salvaguardar les estructures de pedra durant l'excavació. Ells creuen convenient, per la seguretat i la bona conservació del jaciment, establir uns camins de circulació i accessos i, si cal, instal·lar barreres de protecció per ordenar el trànsit tant de les persones de l'excavació com dels visitants.

També expliquen que en les estructures de pedra, les zones més fràgils són els límits del jaciment i les bermes. En aquestes parts, és on hi ha més perill d'enfonsaments, per la penetració de l'aigua, els efectes del gel i el pas repetit de la gent. Quan s'excava no s'han de fer neteges exagerades de la base de les estructures perquè això pot perjudicar al seu bon assentament.

Finalment, aquests autors expliquen que en alguns casos, si la paret vertical o el tall té una gran alçada, pot ser imprescindible apuntalar-lo. Els especialistes són els que han d'establir la disposició dels puntals, perquè ells investigaran l'assentament de les construccions i calcularan la seva resistència en funció de l'alçada conservada, l'amplada de la cimentació, el seu estat de conservació i la naturalesa del sòl. També s'haurà d'estudiar el drenatge i canalització de l'aigua per minimitzar els efectes de la pluja.

Les estructures de terra estan preservades mentre estan enterrades, quan s'excaven necessiten una immediata protecció degut a la seva debilitat enfront dels agents externs. Per això, en alguns simposis internacionals (Segon Simposi Internacional per la Conservació de Monuments de Tovot celebrat a Iran l'any 1976 i Tercer Simposi Internacional sobre la Preservació del Tovot celebrat a Turquia el 1980) es va aconsellar donar una protecció temporal immediata al material de terra recentment excavat i es va establir, com a principal recomanació, una mesura que es pot qualificar de força radical.

En aquesta recomanació, es va exhortar a no excavar estructures de terra quan no existeixi una política de conservació ben definida i no s'hagi aprovat el pla de preservació a aplicar al jaciment en concret.

En aquest pla, a més del tractament que es vol emprar, cal que s'especifiquin els mitjans financers i tècnics de conservació disponibles a l'excavació (ALVA I CHARI 1984, 113 i 114).

La radicalitat de la recomanació dels simposis s'explica perquè de moment no s'ha trobat cap solució definitiva als problemes de conservació del tovot i els tractaments, que fins ara s'han estat realitzant, són complicats, cars i de curta durada. Per tant, en moltes circumstàncies caldria plantejar-se seriosament si no és més convenient no excavar, per així assegurar millor la permanència de les restes estructurals de terra crua.

El primer pas per conservar és conèixer els processos de degradació que afecten a les estructures excavades. Això, ens permetrà disminuir i, si és possible, eliminar les causes de la destrucció. D'aquesta manera, durant l'excavació, es poden prendre algunes mesures provisionals de protecció, com cobertes temporals, drenatges i superfícies de sacrifici, encaminades a minvar els perjudicis provocats per l'acció dels agents externs.

1. Cobertes temporals de protecció i drenatges

Els jaciments a mig excavar es poden fer malbé durant l'excavació i entre dues campanyes. Una bona solució per evitar-ho pot ser protegir-los amb cobertes. Aquestes cobertes permetran resguardar les troballes mentre duri l'estudi de les estructures i dels materials. Alhora, permetrà analitzar les condicions ambientals del jaciment, donant temps per decidir les intervencions de conservació-restauració a realitzar a llarg termini. Les cobertes temporals també podran ser un pas intermedi abans de fer la coberta definitiva.

En el Tercer Simposi Internacional sobre la Preservació del Tovot de Turquia, es van donar algunes pautes de com ha de ser aquesta coberta temporal (ALVA, CHARI 1984, 116 i 117):

- «usar materials i tècniques disponibles en el lloc;
- ha de proporcionar una protecció adequada contra l'erosió directa produïda per la pluja o la neu en procés de desgel;
- ha de tenir un aïllant tèrmic suficient per evitar condensacions o l'efecte hivernacle i ser permeable al vapor d'aigua;
- ha de ser fàcil treure-la i tornar-la a posar per quan s'hagin de fer inspeccions i/o estudis;
- ha de tenir una vida útil com a mínim de cinc anys, amb un manteniment periòdic (s'ha de tenir en compte que les cobertes temporals tendeixen a convertir-se en definitives);
- ha d'incloure instal·lacions per drenar l'aigua i evitar l'erosió en els fonaments dels murs;
- pot incloure l'ús d'estores de palla, jonc o altres materials vegetals tapats amb guix, fang o terra, i també es pot cobrir sobrepassant les vores superiors dels murs per evitar la caiguda de l'aigua sobre les superfícies verticals».

La bibliografia especialitzada (BARKER 1986; PALMA 1993a, 211-212; STEVENS 1986) dona diverses solucions a aquestes cobertes temporals.

En aquests articles i comunicacions es valoren positivament les cobertes inflables perquè poden donar un entorn estable i protecció adient enfront dels agents ambientals i perquè són útils en excavacions a curt termini en instal·lar-se fàcilment. Al mateix temps, protegeixen de la llum solar directa tant a l'excavació com als excavadors i, amb una ventilació controlada, serveixen per proporcionar un espai més o menys airejat.

També poden ser recomanables els túnels hortofructícoles, les teulades ondulades de plàstic sobre suports de metall i les veles sobre estructures flexibles. Tots aquests cobriments preservaran al jaciment de la llum solar directa i de la pluja.

Les estructures tradicionals o les tècniques indígenes locals poden ser cobertes provisionals perfectes. Molts cops, es tracta només de reconstruir l'estructura existent originàriament: teulades d'estores i terra col·locades sobre pals de fusta; parets o suports de bambú i cobertes vegetals; bases de fusta o joncs, combinant terra seca i gavelles de palla al teulat.

S'haurà de tenir en compte el sistema de canaleres o conductes direccionals en aquestes cobertes, o bé, fer teulats dissenyats amb una o dues vessants perquè l'aigua de la pluja caigui fora de les restes arqueològiques. També s'han de conduir les aigües subterrànies fora dels murs i desguassar lluny la pluja, per evitar que es formin bassals a la base dels paraments o a les foses excavades.

Les cobertes han d'estar ben conservades i planificar un seguiment del seu estat i un manteniment periòdic. No s'han d'abandonar durant anys, com es fa amb freqüència, sobretot en les excavacions menys rellevants, perquè sinó, en degradar-se o derruir-se, poden malmetre les estructures que se suposa que han de protegir. Si s'usen elements metàl·lics, caldrà pintar-los convenientment o utilitzar materials no oxidables.

Encara que amb les cobertes es protegeixen les estructures arqueològiques de la pluja, molts cops quedarà per resoldre el problema de la condensació sobre les superfícies, sobretot, sobre les parets exposades als vents dominants. Si no es pren alguna mesura, s'aniran escamant i caient lentament. Es pot solucionar donant a les superfícies exposades un producte de protecció, o bé, tancant el lateral afectat amb algun tipus de paravent.

2. Soterrament de les estructures

La mesura més senzilla per protegir un jaciment de les variacions climàtiques entre dues campanyes és tornar-lo a enterrar. També pot ser una solució definitiva per algunes restes arqueològiques amb greus problemes de conservació i, sobretot, per les estructures fetes de terra crua. És el mètode de conservació més eficaç i menys costós.

S'ha de realitzar amb molt de compte i sense utilitzar equips mecànics. També és important que, abans d'enterrar de nou, es faci una documentació exhaustiva i completa per escrit i amb imatges de les restes que es tornen a tapar.

Paolo Mora (1984, 108-110) proposa un mètode per soterrar pintura mural, estucs decoratius i mosaics

excavats aplicable també a les estructures de terra i pedra.

Primer, considera la necessitat d'aïllar les superfícies amb materials de reompliment impermeables a l'aigua i alhora permeables a la humitat. No s'ha de posar mai una làmina de plàstic directament sobre la superfície, ja que en ser massa estanca provocaria la condensació de la humitat i, per tant, una activitat microbiològica que seria nefasta per a la conservació de les estructures. S'han d'usar materials naturals o una xarxa plàstica que deixi passar la humitat.

Segons l'autor, per reomplir són acceptables l'argila i la sorra neta sense sals. Però és més recomanable la putzolana en forma de terrossos grans, perquè l'argila i la sorra tenen tendència a compactar-se i espesseir-se en ser humides i això farà que sigui difícil remoure-les quan es vulgui reobrir el jaciment.

Paolo Mora proposa la següent estratigrafia de capes de materials per tornar a soterrar les troballes arqueològiques (fig. 1):

1. Malla plàstica, amb un teixit relativament tupit (per exemple, la malla usada per protegir de la cala-

marsa o la tela mosquitera), estesa sobre el paviment i recolzada de forma lliure sobre les superfícies verticals que s'han de protegir.

2. Una divisió vertical paral·lela a la superfície a preservar. S'ha de col·locar abans de posar el material de reompliment, a una distància d'uns 20 cm i servirà per contenir les capes d'aquest reompliment. Es pot fer amb plaques d'uns 2 cm d'espessor d'un material innocu, com pot ser el polietilè expandit. Perquè s'aguanti dret es faran unes bases del mateix material.

3. Argila dilatada en un estrat horitzontal de 15 a 20 cm. Aquest material és adient per cobrir paviments i mosaics, però és massa dur per superfícies delicades com els estucs i pintures. En aquest cas, es pot usar la vermiculita que és un material aïllant molt emprat en la construcció.

4. Malla plàstica, estesa sobre l'argila dilatada en la part exterior de la divisió vertical.

5. Vermiculita, per ocupar els espais entre les superfícies a protegir i la divisió.

6. Terra tractada amb biocides adequats, per omplir parcialment l'excavació.

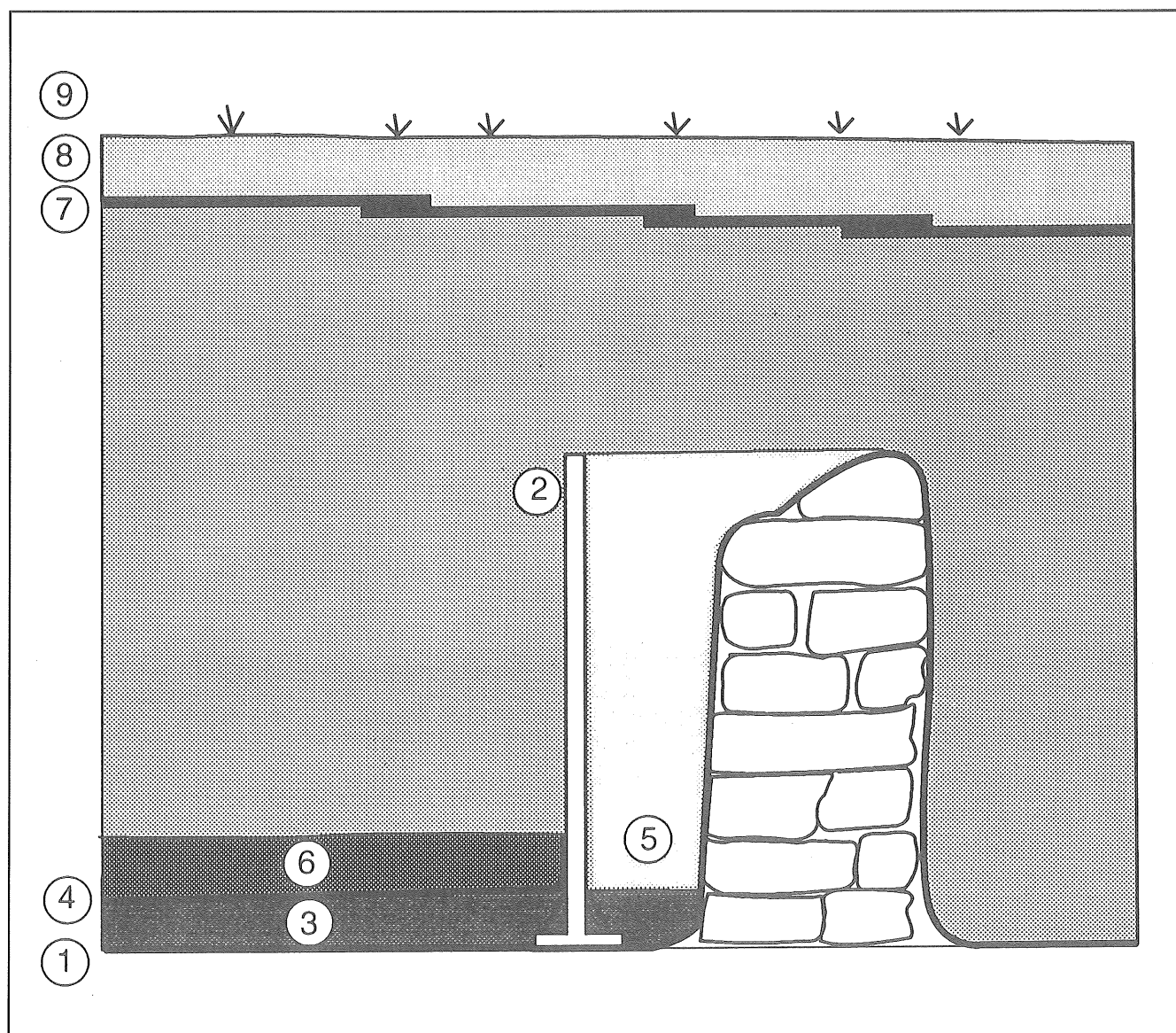


Figura 1. - Seqüència seccionada de les capes de reompliment. Dibuix d'Isabel Gil a partir de Mora (1984, 109).

7. Bentonita (argila principalment del tipus montmorilloïtes, de propietats molt absorbents) en làmines o planxes per evitar la penetració de l'aigua de la pluja a les capes inferiors.

8. Terra, pel reompliment final, a un nivell més alt que el nivell de la terra del voltant.

9. Plantació seleccionada de vegetació nativa de l'indret amb arrels poc profundes, per evitar que el material del reompliment es dipersi amb el vent.

Les malles plàstiques (nivells 1 i 4) estan pensades per facilitar obrir de nou el jaciment i es poden eliminar si l'enterrament és definitiu. Des de fa uns anys, s'ha començat a utilitzar per aquesta funció un nou material, el geotèxtil, un teixit sintètic que té de 2 a 3 cm de gruix, és dur, no permet el pas de les arrels i deixa transpirar la humitat.

Alguns autors, com Alejandro Alva i Giacomo Chiari (1984, 116) proposen procediments més senzills i menys costosos que el de Paolo Mora per restes menys importants o poc delicades. Ells plantegen només estendre una capa de sorra sense sals, per facilitar el desenterrament en la pròxima campanya i després omplir-les de nou amb la mateixa terra extreta del lloc durant l'excavació.

Per conservar elements i estructures fets amb terra com foses excavades, unitats estratigràfiques negatives, forats de pal, talls d'excavació, paviments d'habitació, llars, etc., Jean Pierre Adam i Anne Bossoutrot (1990, 346) proposen posar primer una malla o geotèxtil damunt les estructures, protegir-les amb una capa de material aïllant com el poliuretà, l'argila dilatada o la sorra tractada i després cobrir el conjunt amb la mateixa terra extreta durant l'excavació. Amb aquesta forma d'enterrament es facilitarà la reobertura del jaciment, perquè la descoberta del límit entre el sòl i el reompliment de terra serà immediat.

Philip Barker (1986, 49) proposa també enterrar aquests elements i estructures de terra durant llargs períodes amb sorra neta i, si no es pot, tapar amb la mateixa terra de l'excavació garbellada. Si els elements són especialment importants o delicats, proposa que es cobreixin amb un full de polietilè perforat, per permetre el pas de la humitat i impedir que el terreny es pudreixi i després posar damunt de 7 a 10 cm de sorra neta o terra garbellada. Sobre la zona, convé plantar vegetació perquè, sense ella, s'acceleraria l'erosió del terreny. Però no posar mai plantes d'arrels profundes que podrien penetrar massa i malmetre les estructures.

Aquest mateix autor proposa, per aconseguir una bona protecció contra l'acció gel, posar sobre el full de polietilè bales de palla o trossos de polietilè expandit. Els trossos de polietilè expandit són un bon aïllant, són fàcils de treure i es poden tornar a utilitzar, ara bé, s'hauran d'embolicar per impedir que es saturin o s'escampin.

Alessandra Melucco (1986, 6) recorda que en soterrar de nou els paviments, mosaics, revestiments d'estuc o pintures al fresc, cal que els conservadors-restauradors abans fixin els elements que es desprenen o disgreguen i reforcin les vores de les llacunes.

Katherine Dowdy i Michael Romero Taylor (1993) han portat a terme un estudi força interessant, on valoren els avantatges i desavantatges de tornar a enterrar les estructures de terra, pedra i fusta amb la

mateixa terra extreta durant l'excavació. Segons els autors, quan es tapa de nou, hi ha un intent de retornar al jaciment a l'entorn que li és més beneficiós i que les restes trobin un altre cop un estat d'equilibri similar al de les condicions d'abans de l'excavació.

Segons l'estudi, els jaciments enterrats estan en millors condicions que els que queden exposats als agents externs perquè, encara que no s'eliminin del tot, es disminueixen els efectes de degradació de les sals solubles, pluja, neu, vent, sol i l'impacte de les activitats humanes.

Ara bé, si les restes estan a només uns 30 cm per sota de la superfície, encara poden ser afectats pel clima (cicles humit/sec, gel/desgel) i patir la degradació produïda per l'activitat dels rosegadors i insectes i pel creixement de les arrels de les plantes. Els autors arriben a la conclusió que generalment un mínim d'un metre de terra per sobre les estructures, sembla suficient per reduir l'impacte del clima, els rosegadors, les plantes i les activitats humanes.

3. Superfícies de sacrifici

Un bon exemple d'interrelació entre excavació i conservació és l'experiència al jaciment urbà de la *Cripta Balbi* de Roma (NARDI 1986; CONSTANZI 1986), on es va portar alhora l'excavació i les tasques de conservació d'una estructura de tovot. De les intervencions realitzades durant aquesta excavació és interessant recollir algunes experiències.

La protecció de les restes arqueològiques de l'acció de la pluja es va fer amb una coberta construïda amb una teulada de plàstic ondulat sostinguda per tubs metàl·lics. Els laterals es van flanquejar amb una mampara de bambú, per evitar que el sol directe escalfés i assequés el tovot.

Durant un període de temps llarg en el qual no es va excavar, es van impedir l'assecatge i el conseqüent esquarterament de les estructures de tovot, mantenint-les humides mitjançant un enginy que produïa un goteig automàtic d'aigua sobre els murs. L'enginy anava dosificant aquesta aigua impedit la inundació de les estructures i s'hi va afegir un producte biocida per prevenir el possible desenvolupament d'algues afavorit per la humitat existent.

Per preservar els estucs amb relleu i els enlluïts conservats a les parets, es va realitzar una tècnica de conservació força senzilla i pràctica. Els murs només estaven excavats per una cara i rebien les aigües amb sals solubles que provenien dels terrenys del seu darrera. Per impedir la degradació causada per la cristallització de les sals sobre les pintures i enlluïts, es va prendre l'exemple dels arrebossats dels murs de terra que fan de superfície de sacrifici i es va deixar una capa prima de brutícia sobre els revestiments.

Així, mentre no es va excavar l'altre cantó de les parets, la crosta de sals es va anar dipositant sobre la superfície de brutícia, sense malmetre les pintures ni els enlluïts. Després, un cop eliminat el problema de la migració de la humitat amb les sals, es va procedir a la seva neteja i consolidació.

A més d'impedir la cristallització de sals sobre les superfícies delicades, deixar una capa de brutícia pot ser útil per la preservació d'estructures de terra quan

hagin d'estar durant un espai curt de temps a la intempèrie, abans d'adoptar mesures protectores més duradores. La capa de brutícia serà la que patirà i concentrarà els efectes destructius de l'entorn (vent, pluja, condensació de la humitat atmosfèrica, acció dels àcids de la contaminació,...), mentre la superfície de la construcció que cal conservar està a resguard.

III. Intervencions a llarg termini sobre les estructures arqueològiques

Abans de començar una intervenció directa sobre una estructura arqueològica, s'ha d'analitzar l'estat de les estructures i les causes de la seva degradació. Cada excavació és diferent, amb uns problemes generats per la pròpia naturalesa i característiques de les estructures i per les peculiaritats climàtiques de la zona.

Un cop avaluat l'estat de l'estructura i les seves causes de degradació, es decidirà el seu tractament. Aquest tractament pot anar des de la mínima intervenció, com és el cas de tornar a enterrar o protegir amb cobertes o edificis, o bé procedir a actuar directament sobre les construccions amb processos d'estabilització, reforçament i reconstrucció. En tots els casos és important documentar bé el procés de conservació-restauració i el comportament de les estructures durant i després de la intervenció.

Les actuacions directes sobre les estructures arqueològiques, seguint les normes de la *Carta del Restauro* de 1972, han de ser moderades, respectuoses i evidenciar de prop les parts afegides, encara que de lluny el material nou ha de quedar ben integrat al conjunt. És millor utilitzar materials tradicionals enfront dels de producció recent, perquè encara no es coneixen prou bé els seus resultats a llarg termini.

1. Coberta definitiva

La coberta definitiva dels jaciments, ja sigui mitjançant teulats o amb la seva musealització *in situ* dins d'un edifici, tenen el greu problema d'alterar totalment l'entorn de les restes arqueològiques i descontextualitzar el jaciment. Ara bé, com recorda Gabriel José Palma (1993, 212), es tracta d'optar entre sacrificar els valors ambientals a favor dels protectors o fer l'avaluació al contrari. Però s'ha de tenir en compte, que, en molts casos, aquesta pot ser l'única forma viable de conservar el jaciment. És una solució sobretot per les estructures molt dèbils, com les de terra crua o les decorades amb estuc i pintura mural, que no poden aguantar bé la intempèrie i que, per alguna raó, no és possible tornar-les a enterrar.

Les opcions a l'hora de fer una coberta definitiva són infinites i dependrà de la forma dels jaciment, de la seva ubicació a zones rústiques o urbanes, del clima del lloc, del gust de qui faci el disseny i d'altres moltes variables.

Javier Cortés (1989) defensa que, de forma general, la coberta definitiva ha de respectar al màxim les restes arqueològiques conservades, és a dir, ha de ser per damunt de tot eficaç quant a la seva funció protectora. Per a ell, aquest és el punt essencial que ha de regir l'actuació i la major o menor bellesa del tancament

o la seva adequació a l'entorn són valors subjectius i secundaris.

Aquest autor creu que per aconseguir una bona relació entre les restes i l'edifici és convenient i molt important que l'arquitecte i l'arqueòleg treballin plegats. També considera que pot ser molt útil consultar a un paleta local aspectes concrets de la zona que poden incidir en un millor resultat de la nova construcció. Ell podrà informar sobre la intensitat del vent i la seva direcció dominant, les temperatures extremes, la intensitat i duració de les pluges i el tipus de material de la contrada que serà millor i més barat.

L'autor també recorda que en l'edificació d'espais tancats pels jaciments, s'han de tenir molt en compte els drenatges, perquè normalment les excavacions arqueològiques queden a un nivell inferior respecte a les terres del voltant i això pot comportar problemes d'humitat greus. S'ha de controlar la humitat ascendent, la condensació sobre els murs i fer canals que eliminin l'aigua de la pluja fàcilment i lluny de les estructures que es volen conservar.

André Stevens (1986) té un punt de vista diferent pel que fa a l'estètica de les cobertes definitives. Al contrari que Javier Cortés, opina que, malauradament, la tendència dels darrers anys ha relegat massa aquest aspecte estètic, concentrant-se en excés en les preocupacions més immediates de conservació. Per a ell, pocs teulats protectors es distingeixen per una arquitectura de qualitat apropiada al jaciment o per una audàcia en la utilització de tècniques i materials contemporanis.

Aquest autor creu que els jaciments no pertanyen només als arqueòlegs, als arquitectes restauradors o als conservadors-restauradors, les restes arqueològiques també han de ser domini dels arquitectes paisatgistes, que tenen un paper a jugar, tant en la protecció com en l'embelliment dels llocs històrics.

Per a André Stevens, l'ús de materials nous es pot justificar si cal cobrir grans extensions o simplement si hi ha una voluntat deliberada de fer arquitectura contemporània. Per protegir totalment o en part els jaciments, es poden fer teulats amb armadures, pòrtics amb metall o fusta lamel·lada, estructures tèxtils tridimensionals en forma de tenda, cúpules o teulats plans. Els hangars dels aeroports, les grans construccions industrials, agrícoles o esportives i les naus d'exposicions poden inspirar de manera útil i profitosa als responsables de preservar els jaciments arqueològics.

En el seu article John H. Stubbs (1985, 90-101) també recull alguns exemples i experiències de cobertes definitives per jaciments: estructura amb grans finestrals, dotada de passarel·les elevades per visitar el jaciment; estructura tancada que reconstrueix de forma abstracta els volums de la vil·la; substituir les parets i teulats originals per pannells translúcids de plàstic units per una armadura lleugera de metall, adaptant-hi una bona ventilació per impedir l'efecte hivernacle en el seu interior.

Mario Lolli-Ghetti (1982, 264) explica el projecte de cobertura ideat per salvaguardar el jaciment de Tharros (Cerdanya). En aquesta excavació es va proposar d'instal·lar un sistema de protecció senzilla a base de robes suspeses, sostingudes per carcasses

lineals de pals de metall i barnilles d'unió, sense recolzar-se en les estructures arqueològiques.

En el projecte, la col·locació i orientació de les robes es van estudiar perquè preservessin els murs arqueològics de la pluja, de l'impacte dels vents predominants i de l'acció directa del sol. El disseny es va basar en components modulars per simplificar la seva instal·lació i per facilitar la feina de desmuntar i substituir les parts espatllades. Es va donar molta importància al fet que la coberta s'avingués de forma harmònica amb l'entorn i respectés les característiques orogràfiques del terreny.

2. Eliminació de la vegetació

En parlar de la biodegradació de les estructures excavades, s'han vist els efectes destructius que pot tenir la vegetació que s'instal·la sobre les estructures arqueològiques; caldrà, doncs, prendre mesures per eliminar-la i impedir el seu creixement.

La supressió de la vegetació amb arrels que creix sobre els murs s'ha de fer amb molta cura, sobretot si les parets tenen arrebossats o estan decorades amb estucs en relleu o pintures murals. S'ha d'eliminar manualment, a poc a poc i sense usar cap mena d'utilitatge mecànic.

Darrerament, s'ha estès molt l'ús de productes biocides, que són compostos químics que eliminen organismes biòtics de tota mena. Però aquests productes presenten problemes, ja que poden provocar alteracions químiques del material constructiu (emblanquinaments, enfosquiments o decoloracions), són altament tòxics per qui els manipula i perquè, després del tractament, en no existir cap espècie que destorbi, el creixement i desenvolupament de nova vegetació serà extraordinari.

Per això, Nieves Valentín (1990) defensa que cal usar-los només quan no hi ha més remei i aconsella que primer s'intenti fer front a les causes de la biodegradació, mitjançant sistemes que redueixin factors de risc com la humitat, la temperatura o la llum.

Si es fa imprescindible l'ús d'algun producte biocida, s'ha de ser conscient del perill que suposa la seva utilització abusiva o inadequada. Aquests biocides han de reunir una sèrie de condicions: ser altament tòxic per actuar sobre el més ampli rang d'espècies vegetals, tenir una mínima toxicitat per les persones, produir una baixa pol·lució ambiental, ser poc solubles en aigua (a fi d'evitar que siguin transportats per aigües infiltrades a sectors conreuats), ser compatible amb altres productes aplicats (com els consolidants), ser econòmic i fàcil d'aplicar i no alterar els materials de les estructures.

Existeixen al mercat un gran nombre de productes comercials per eliminar tot tipus de vegetació. Jean Pierre Adam i Anne Bossoutrot (1990, 350-352) proposen alguns productes comercials herbicides que reuneixen les condicions exigides i que són aconsellats per l'INRA (*Institut National de la Recherche Agonomique* de França).

Els diferencien dos tipus d'herbicides, segons si la seva finalitat és pre-creixement o postcreixement.

Els productes pre-creixement serveixen per evitar la germinació de les llavors i eliminar les arrels que

hagin pogut quedar després d'arrencar la vegetació de superfície. Aquests productes han de ser actius en el sòl durant un cert temps, fixar-se a poca profunditat i no ser solubles en l'aigua. Els productes aconsellats són el Gesatope de la marca Ciba-Geigy a base de sinazina (cloro-2 bis (etilamínic) 4,6 triazina 1-3-5) i el Seppic de la marca Karmex a base de diuron ((dicloro -3-4 fenil) 3-dimetil-1-1-urea). No es pot usar el clorat de sosa (NaClO_3), utilitzat àmpliament com «desherbant total», perquè és molt tòxic i soluble en aigua.

Els productes postcreixement estan destinats a lluitar contra la vegetació en tots els seus estats de creixement. Els dos productes proposats per l'INRA són: el glifosat ($\text{C}_3\text{H}_8\text{NOP}$, àcid fosfomutilamínic -2-acètic) que es polvoritza sobre les fulles i emigra ràpidament cap al vegetal, destruint-lo. Es degrada en el sòl i, en ser poc soluble en aigua, no hi ha perill que sigui transportat per la pluja i les capes freàtiques subterrànies. L'altre producte és el 2-4-D. Es tracta d'una fitohormona que s'aplica mitjançant injeccions. És un producte particularment eficaç per a la destrucció de les arrels integrades als paraments, especialment les de l'heura.

Finalment, per eliminar els líquens i les molses, molt freqüents als llocs humits, Jean Pierre Adam i Anne Bossoutrot proposen el tractament següent: primer, polvoritzar sobre la paret o impregnar amb brotxa, una dissolució de formol (HCHO) al 10%, per destruir la vegetació. Un cop suprimida, netejar amb un raspall mullat de niló o llautó. Finalment, polvoritzar o impregnar amb una dissolució de sals orgàniques de zenc, per prevenir el nou creixement de la vegetació i donar una certa impermeabilització a la paret.

3. Estructures de pedra

Les estructures fetes amb pedra són les que amb més freqüència es troben a les excavacions arqueològiques. Es tracta d'estructures arrasades de les quals queden en peu poques filades i on molts cops els murs han caigut o estan a punt de fer-ho. Aquestes construccions, que es troben en estat de ruïna, difícilment podran aguantar bé les condicions de la intempèrie.

Generalment, per conservar les estructures de pedra es porten a terme una sèrie d'actuacions que incideixen directament en els murs i que busquen estabilitzar-los i reforçar-los mitjançant l'ús de morters o argamasses, injeccions de morter líquid o impregnació amb consolidants.

Ara bé, alguns autors com Mario Lolli-Ghetti (1982, 262-265) defensen que és millor potenciar els tractaments «tous», i no usar tan sistemàticament aquests mètodes i tècniques de «contacte directe». Per a ell, seria millor prendre mesures preventives per contenir l'acció dels agents climàtics i meteorològics, és a dir, operar directament sobre les causes més que sobre els efectes de la seva desintegració. La millor solució per aquest autor, després d'aquesta fase preliminar indispensable d'inspecció i contenció dels factors externs, seria aplicar només mesures de consolidació i instal·lar cobertes.

Però les intervencions «toves», senzilles i poc agressives tenen una vida curta i perquè siguin efectives

caldrà planificar una inspecció periòdica i establir la necessitat d'un manteniment continuat, ja que sovint s'hauran de reparar o refer les actuacions realitzades.

3.1. Reforçament de les estructures

Si es decideix enfortir les estructures de pedra excavades, es poden valorar diferents mesures d'intervenció directa sobre el mur:

a) Donar-li resistència, reforçant les parts superiors del mur que són les que més pateixen. Això es pot fer de dues maneres:

— La primera, tornant-lo a aixecar amb tres o quatre filades. Si s'aplica aquesta solució, cal deixar el recreixement amb esglaons perquè estèticament és més proper a les ruïnes i, sobretot, marcar clarament quines són les parts antigues i quines les noves. Aquesta distinció es pot portar a terme encastant línies de separació de plom, encara que és un procediment car i hi ha el perill que robin el metall. És millor fer una ratlla de divisió entre la zona antiga i l'aixecament nou amb un material constructiu diferenciatiu i innocu, com totxos o material petri d'un color proper al de l'estructura.

— La segona, construint una capa protectora arrodonida de morter que protegirà les parts superiors de les infiltracions de l'aigua i de l'acció disgregant dels agents atmosfèrics. Aquesta solució es rebutja molts cops per raons estètiques.

b) Substituir les parts perdudes i reforçar els murs amb intervencions estructurals fetes amb materials i tècniques modernes ben visibles i diferenciades de les antigues (paret de formigó, cortina de maons, parament en bloc,...).

c) Reemplaçar els blocs caiguts, enganxar els carreus esquerdatats i reforçar el mur amb injeccions de morter líquid. Els blocs perduts es poden substituir per material vell caigut o amb material nou. Si es fa amb blocs vells, es poden crear ambigüitats d'interpretació de l'estructura, confonent la part original amb la restaurada. Aquest tercer tractament és el que menys distorsiona l'aspecte de les restes, però cal assegurar-se que les estructures tinguin un mínim d'estabilitat i resistència per poder aguantar la intempèrie.

Encara que, segons la normativa de la *Carta del Restauro* de 1972, es pot usar qualsevol mètode constructiu modern per reforçar un monument, s'ha vist que alguns tractaments que s'han realitzat no han estat eficaços i fins i tot han empitjorat l'estat de la construcció arqueològica.

Aquest ha estat el cas d'una pràctica molt estesa en la reconstrucció d'estructures de pedra, com és l'ús de morters i formigons realitzats amb ciment portland. El ciment té molts avantatges, perquè és un lligant segur i d'enduriment ràpid i, alhora, és un material dur i poc permeable als líquids i als gasos. Però al costat de materials antics més dèbils com els arqueològics, provoca tensions i introdueix greus causes de degradació.

Entre aquestes causes de degradació cal destacar els alts percentatges de substàncies alcalines que porta el ciment i que poden causar la formació de sals solubles. Les sals solubles del ciment es transmeten,

mitjançant la humitat, als materials més porosos, que acostumen a ser els antics, ocasionant els seriosos processos de destrucció que s'han descrit anteriorment.

A més, el ciment provoca tensions mecàniques perquè té un coeficient d'expansió tèrmica i una resistència més gran que la majoria de materials antics de construcció. Del diferent grau dels moviments tèrmics entre el ciment i els materials antics en resulten tensions que, lògicament, acaben afectant el material més dèbil. Alhora, es formen esquerdes i fissures al voltant de la zona on s'ajunta el material nou i el vell.

També cal destacar la baixa porositat del ciment portland, ja que encara que això pot ser bo, perquè impedeix l'entrada de l'aigua de pluja dins de l'estructura, origina l'acumulació de la humitat al costat de les capes de ciment que no evaporen.

Finalment, també es pot parlar d'un inconvenient estètic a l'hora d'usar el ciment en les estructures arqueològiques. L'aspecte d'aquest material no s'adiu gaire amb el color i textura de la pedra i dels paraments antics i dona un aspecte poc agradable als murs.

El rebuig del ciment portland és prou generalitzat entre els autors de la bibliografia especialitzada. Ells aconsellen que, com a norma bàsica per qualsevol actuació sobre estructures arqueològiques, sempre que sigui possible, s'utilitzin les tècniques i materials de construcció tradicionals. Quan existeixin impediments per emprar-los, el millor és treballar amb les mínimes modificacions possibles, de la manera més propera als procediments antics.

3.1.1. Morters

La qüestió de l'ús del morter en les restes arqueològiques és important pel paper essencial que juga dins del funcionament dels murs i estructures. Cal seguir el principi bàsic que el material usat en la restauració ha de ser d'una fermesa comparable o menor que la del material original. Així, els morters adequats seran aquells que no siguin més densos o adherents que el component més tou de la construcció a conservar (STUBBS 1984, 88).

El morter és un material aglomerat format per un lligant (calç, ciment, guix) i un material inert (sorra, àrids, pedra o totxo triturat, còdols, pols de marbre, ...) empastat amb aigua, que solidifica en poc temps i un cop endurit dona lloc a un material per a la construcció. El lligant engloba l'esquelet mineral format pels elements inerts. Al morter s'hi poden afegir additius (plastificants, lubricants, impermeabilitzants, antigels,...) que li conferiran requisits particulars. El morter es pot usar per nombroses qüestions: per donar estabilitat, estucar, integrar el mur o la superfície, tapar esquerdes per impedir infiltracions i anidacions de llavors i animals, etc. (TUFANI 1987, 17, 31, 44).

En la preparació de morters per restauració primer cal investigar el morter antic. Un bon coneixement de les tècniques i materials emprats en la construcció de les restes a reforçar és imprescindible si es vol trobar el morter més adient. En les recomanacions del «Simposi sobre Morters, Ciments i Beurades usats en la Conservació d'Edificis Històrics» celebrat a Roma

l'any 1981 per l'ICCROM (1982, 403-414) es va proposar unificar i estandarditzar els tipus d'estudis i anàlisis dels morters i argamasses antics. En la publicació de les comunicacions del simposi es recullen diferents experiències d'aquests estudis.

A més de conèixer les característiques del lligant vell, a l'hora de fer un morter de restauració s'hauran de valorar algunes propietats que aquest haurà d'acomplir:

- ser compatible amb el material amb el qual ha d'estar en contacte i, per tant, tenir qualitats mecàniques i tèrmiques semblants als components de la construcció antiga;
- ser fàcilment treballable;
- garantir rapidesa i seguretat en la seva col·locació, tant en ambients humits com en secs;
- absència de contracció;
- un contingut mínim en sals solubles.

Sovint, s'han fet els morters de reparació amb ciment portland o amb resines sintètiques perquè comparant-los amb la calç, que és el lligant tradicional, donen una unió més segura i produeixen una millor adhesió, solidesa i resistència al clima. Però com diu Ingmar Holmström (1982, 20), aquests beneficis no compensen els greus problemes i efectes negatius que causen als edificis, originats pel comportament discordant del material nou i l'antic.

Els morters usats per reparar estructures arqueològiques només seran semblants a l'original i tindran la mateixa solidesa, adhesió, flexibilitat i porositat, si s'utilitza el mateix lligant usat antigament, és a dir, la calç. Els morters de calç/sorra són els més idonis si posseeixen les propietats avinents, una bona qualitat i estan ben fets.

Malauradament, aconseguir aquestes propietats és difícil perquè el morter de calç presenta alguns problemes i pot proporcionar resultats insatisfactoris. D'una banda, aquest morter té una treballabilitat difícil: s'ha de barrejar i tractar correctament o el procés d'enduriment a base de la seva carbonatació serà pobre i de solidesa desigual. Requereix, així doncs, una considerable habilitat per part del paleta que ha de trobar l'equilibri entre l'aigua i la calç; ja que si bé l'aigua afavoreix el treball amb el morter, ahora rebaixa la resistència mecànica de la barreja.

També les condicions climàtiques han de ser les adequades durant el procés d'enduriment. Aquesta mena de morter té una presa lenta, que pot durar setmanes, i necessita un entorn sec. En les construccions antigues, la humitat és freqüent i la calç no pren totalment i ho fa de manera pobre. Al mateix temps, la presa de la calç depèn de la seva reacció amb el CO_2 de l'aire. Per això, en estructures gruixudes, la carbonatació de nucli és extremadament lenta i, molts cops, irrealitzable.

Ingmar Holmström (1982, 22) reconeix que és difícil fer un morter com l'original, perquè encara que es posi el mateix tipus de calç i sorra i es barregin en les mateixes proporcions, es pot no obtenir el mateix resultat. En el procés influeixen el tractament de les primeres matèries, la barreja i de com aquesta es treballa. Així, només és possible fer morters semblants o amb ingredients similars als antics que, en mesclar-los, es confia que siguin iguals a l'original. Ara bé, encara que a vegades aquests intents fallen,

tal com diu l'autor, es té l'avantatge que amb una intervenció d'aquesta mena no es perjudica l'edifici i que és possible eliminar-la i fer un nou intent.

Aquest mateix autor, Ingmar Holmström (1982, 21), explica la seva experiència substituint entre un 30 i un 100% la sorra natural dels morters de restauració per dolomita triturada (carbonat de calci i magnesi), amb la intenció de millorar l'enduriment i fixació del morter. La presència d'aquest material servirà també per augmentar la quantitat total de carbonat i, així, el morter guanyarà més resistència enfront de la pol·lució àcida. Ara bé, la dolomita dona una superfície més rugosa que la sorra i això afecta a l'hora de treballar el morter fresc. L'autor destaca que no es tenen gaires anys d'experiència i que, per tant, no es coneix encara massa com serà l'envelliment d'aquesta barreja.

Per millorar la treballabilitat del morter de calç i per donar-li major resistència, Giorgio Torracca (1988, 80-81) proposa afegir una petita quantitat de ciment a la calç hidratada, per exemple, en una proporció de 1:4 en volum. Les barreges d'aquesta mena eliminen alguns dels defectes del morter de ciment i, ahora, són més fàcils i segurs en el moment d'usar-los que els morters purs de calç. Ara bé, per eliminar al màxim el perill de la formació de sals solubles nocives, cal usar un ciment baix en àlcali com pot ser el griffi.

L'ICCROM entre els anys 1979 i 1981 va portar a terme un programa d'investigació centrat en els morters. Es van estudiar els morters de calç, de calç/ciment (amb un ciment baix en àlcali per reduir els inconvenients de les sals), de calç/putzolana i calç/pols de totxo i va quantificar, tant com va ser possible, les seves característiques mecàniques i físico-químiques relacionant-les amb els problemes de conservació. Els resultats demostren que és possible preparar morters fàcils d'aplicar i amb propietats no massa diferenciades dels materials tradicionals (PERONI et al. 1982).

Angela Tufani (1987, 32-62) recull en el seu llibre una sèrie d'estudis realitzats per trobar el morter adient segons les necessitats de la intervenció. Els morters proposats en aquest llibre han d'acomplir els requisits de tenir una harmonia estètica amb la naturalesa del mur, ser reversibles i usar les primeres matèries més pures possibles, més tradicionals i les que tinguin la màxima durabilitat.

Segons el resultat que es vulgui aconseguir, el morter tindrà una composició i dosificació. L'autora proposa diferents fórmules de morter dividides en dos grups. El primer grup recull les mescles que tenen bona resistència a la comprensió, avinents per treballar en murs portants, fonaments i pavimentacions. En el segon grup s'apleguen les barreges que no tenen una elevada resistència, però sí altres propietats com la de ser aïllants, decoratives o protectores. Aquests morters serveixen per realitzar, entre altres funcions, estucats de diferent consistència i tonalitat de color, reintegracions de superfícies i d'arrebossats de murs no portants i per fer superfícies de sacrifici de les troballes arqueològiques.

Finalment, per acabar aquesta part del capítol, destacar que per aconseguir integrar les parts reconstruïdes en el conjunt de les estructures, pot ser important obtenir una coloració del morter nou semblant o proper al de l'antic. Això, es pot obtenir

barrejant-hi pigments inorgànics estables com són les terres naturals. També caldria remarcar, que les juntures entre els carreus realitzades amb el morter han d'evitar la retenció d'aigua. Per aconseguir-ho, el millor és fer-les amb forma de V o còncaues i mai deixar-les enrasades, sobresortints o enfonsades (SORIANO 1990, 9-11).

3.1.2. Injeccions de morter líquid

La injecció d'un morter força fluid o d'una beurada a pressió dins d'una estructura és una tècnica que s'aplica sovint en el tractament dels sòls inestables o en la reparació del formigó fisurat. Aquesta tècnica s'ha volgut adaptar a la restauració de construccions antigues per aconseguir el seu reforçament intern.

Ara bé, els primers intents de portar-ho a la pràctica no van ser completament satisfactoris. Primer, perquè normalment les injeccions es feien amb resines o amb ciment i aquests materials són inadequats per la restauració d'estructures arqueològiques. Així, les barreges amb resines eren massa fortes i molt impermeables, mentre que les mescles amb ciment tenien una contracció massa elevada i formaven substàncies alcalines no desitjables. Tampoc la pressió necessària per una bona penetració de la injecció de morter líquid era suportada per les estructures antigues massa febles, que es deformaven per la pressió intersticial creada durant el treball.

Segons FERRAGNI et al. (1982, 186), les característiques més importants que han d'acomplir els morters fluids injectables per usar en la conservació d'estructures antigues són:

- bona penetrabilitat per injecció a baixa pressió i un període força llarg, durant el qual, aquesta penetrabilitat sigui bona;
- contracció d'enduriment mínima;
- bona adherència a les parets dels forats a reomplir;
- resistència mecànica i porositat comparables a la dels materials a reparar. També un coeficient de dilatació el més pròxim possible al dels materials vells;
- aportació mínima de sals solubles o altres matèries nocives a les estructures antigues.

Per trobar la millor tècnica d'injecció i la barreja de materials òptima per aconseguir un morter líquid aplicable a la restauració d'estructures antigues, s'han portat a terme auralucis investigacions. Al «Simposi sobre Morters, Ciments i Beurades usats en la Conservació d'Edificis Històrics» organitzat per l'ICCROM (1982) es van recollir dues d'aquestes experiències.

En la primera, realitzada als mateixos laboratoris d'aquest organisme, es van fer assaigs per trobar una barreja que tingués tots els requisits abans exposats. Entre els noranta tipus de mescles a base de ciment analitzades, se'n van escollir dues: una amb portland putzolànic i l'altra amb un ciment d'alt contingut en sílice. A les dues barreges es va afegir com a inert pols de marbre i per fluidificar gluconat de sodi. Però encara que aquests ciments poden reduir molt la quantitat de sals alcalines que es posa en circulació dins de les construccions antigues, el volum encara és tres vegades superior al que s'extrau d'un morter de calç pura (FERRAGNI et al. 1982).

La segona experiència, exposada per Alain Boineau i Jean Rocard (1982), tracta de l'estudi i els resultats de la investigació portada a terme pel CEBTP (*Centre Expérimental du Bâtiment et des Travaux Publics*) de París, per obtenir un morter líquid d'injecció utilitzable en el reforçament d'edificis de les regions del NE de França.

Per aquests autors, la decisió d'injectar és molt delicada i no es pot prendre més que després d'una anàlisi completa dels elements que constitueixen l'estructura. D'aquesta manera, abans d'iniciar qualsevol intervenció, cal estudiar el mur (el seu espessor, l'estat del morter, la distribució i mida dels buits en el seu interior,...). L'estat de conservació de les estructures definirà les pressions d'injecció que pot admetre, perquè una pressió molt forta pot destruir una estructura antiga per desunió del parament i una pressió massa fluixa no permet que el morter líquid s'infiltri dins dels capilars prims del morter a consolidar. També caldrà valorar que l'aportació d'aigua a un morter antic pot provocar l'inflament del mur o crear una pressió hidrostàtica al seu interior. Els dos efectes comportarien nous desordres en els paraments i es produirien esquerdes, fissures i enfonsaments.

Alain Boineau i Jean Rocard centren el seu estudi en la regeneració dels morters completament descomposats, on la sorra i els altres elements que el formaven resten al lloc. En aquest cas, el medi posseeix una permeabilitat feble i juga un paper de filtre envers el morter líquid, aturant el material injectat i impedit-li progressar cap a l'interior del mur.

Els morters líquids o beurades de ciment o calç no són gaire recomanables perquè es bloquegen ràpidament i no es difonen en el material. Caldrà recórrer a l'ús de més d'una mescla que atapeeixi primer les cavitats grans i després les més petites.

L'addició d'una petita quantitat de bentonita al ciment permet realitzar morters injectables estables amb una bona resistència a la compressió. D'altra banda, els morters líquids com els gels durs de silicat de sosa i de lignocrom són susceptibles d'anar a tots els buits per la seva elevada fluïdesa.

Després d'assajar diferents composicions, els autors van escollir un morter líquid a base de bentonita/ciment i un altre a base de silicat de sosa. Van observar que el primer, el de bentonita/ciment, no obtura més que els buits superiors al mig mil·límetre i no es difon pel morter de terra, mentre el morter fluid de silicat de sosa sí que impregna els buits més petits.

Jean Pierre Adam i Anne Bossoutrot (1990, 352-356) reprenen aquesta experiència d'Alain Boineau i Jean Rocard, però substitueixen a les fórmules de les dues beurades el ciment per la calç hidràulica.³ La calç, com

3. Les fórmules dels morters líquids que ells aconsellen són les següents:

<i>Primera beurada</i>	
calç hidràulica	50 kg
bentonita hidratada a 1.000%	15 kg
fluidificant	1 kg
aigua	40 l
<i>Segona beurada</i>	
silicat de sosa, tipus 3.3/38/40°	50 %
Durcisseur 2000 (Rhône-Poulenc)	10 %
aigua a uns 20°C	40 %

ja s'ha vist en parlar dels morters, és preferible al ciment perquè forma una combinació més homogènia amb els constituents del mur, en tenir unes característiques mecàniques molt més properes a la construcció original.

Els autors defensen que l'ús del ciment només s'ha de reservar per fer reforçaments del sòl i dels fonaments i per la realització d'elements com pilars, travessers, bigues o enllosats.

Jean Pierre Adam i Anne Bossoutrot proposen que abans de començar les injeccions de morter fluid, s'omplin i tapin les juntures i esquerdes del parament a tractar amb morter de calç i sorra, al qual es pot afegir una càrrega acolorida per obtenir un valor cromàtic pròxim a l'original. Aquest reompliment a més d'enfortir el parament, assegurarà la seva estanqueïtat, evitant que es produeixin sortides a l'exterior o una mala difusió de la beurada durant la injecció.

El morter fluid constituït per calç viva pura, junt amb l'argila, no és de fet un morter, és la sorra, la terra o l'antic morter del mur el que servirà d'inert a

coberta superior que impedirà la penetració de l'aigua, l'efecte de les gelades, la formació de fissures i el creixement de la vegetació. Aquesta coberta es pot fer amb una capa de morter barrejat amb un producte estanc i se li dona una forma arrodonida o de dues vessants. Si es considera que és una coberta poc estètica, es pot substituir o tancar amb una o dues filades noves de pedres lligades amb un morter de calç (fig. 2).

3.2. Tractaments de la pedra⁴

Per a l'estabilitat dels murs és important que els carreus de pedra que el conformen no presentin problemes de conservació com disgregacions, esquerdes o trencaments, perquè li fan perdre resistència mecànica i faciliten l'acció dels agents externs de degradació al seu interior.

3.2.1. Productes consolidants

Quan la pedra perd la seva cohesió, es pot desfer fàcilment, escamar o fragmentar. Per impedir aquest procés, es realitzen tractaments de consolidació encaminats a millorar l'adhesió entre els components de la pedra i buscant modificar la seva estructura porosa, per fer-la menys accessible a l'aigua. El material petri consolidat serà més resistent a les agressions ambientals de naturalesa físico-química o química.

Els consolidants poden ser orgànics o inorgànics, presentant, tant uns com els altres, avantatges i inconvenients.

La consolidació amb productes inorgànics (silicats, fluosilicats, carbonatació amb calç, hidròxid de bari,...) es genera per la precipitació dins dels capilars de la pedra d'un nou compost escassament soluble, com a conseqüència de la reacció del consolidant, ja sigui amb algun dels components del material petri, amb el CO_2 de l'aire, o bé, amb l'aigua amb la qual ve en contacte el producte cohesionant.

Els consolidants inorgànics tenen l'avantatge de tenir una bona afinitat amb el material petri, ja que la seva estructura i propietats físiques són semblants. També presenten una persistència superior que les substàncies orgàniques, perquè aguanten millor els efectes de la llum i de l'oxigen. En contra seva, hi ha una baixa resistència mecànica i el fet que alguns formen sals com a subproducte de la reacció de consolidació.

Els consolidants orgànics actuen formant un estrat més o menys continu revestint la paret dels capilars i soldant els components minerals gràcies al seu poder adhesiu. Poden ser resines sintètiques termoenduribles

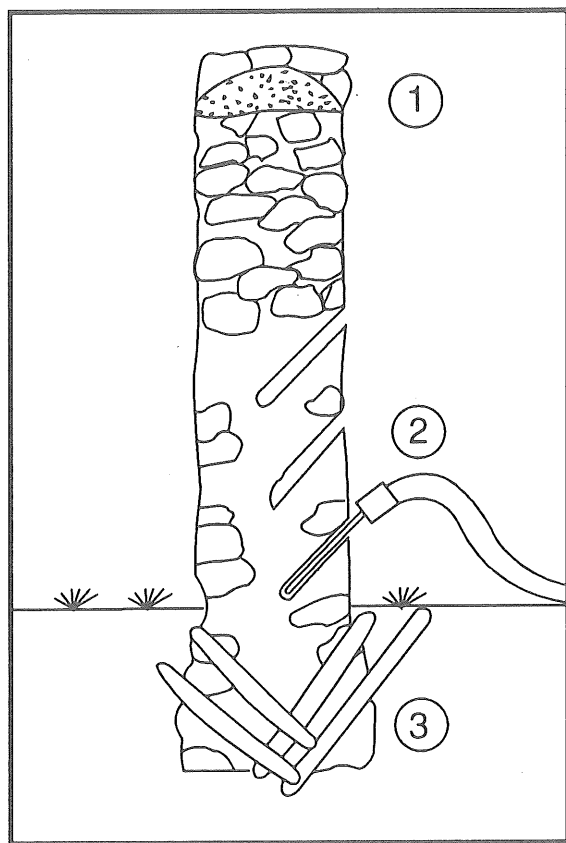


Figura 2. - Injecció de morter líquid de calç en un mur de pedra: — 1. coberta superior de protecció. — 2. mànega connectada a l'aparell d'injecció. — 3. reforçament dels fonaments. Dibuix d'Isabel Gil a partir de Adam, Bossoutrot (1990, 353).

aquest lligant. L'aigua de dissolució de la beurada, present en una proporció molt alta, servirà de vehicle per impregnar l'interior i garantir la presa.

Els autors recomanen que, després de les injeccions de morter líquid, es protegeixin els murs amb una

4. Existeix una extensa bibliografia dedicada a la problemàtica de la conservació-restauració de la pedra, la majoria dedicada a la que forma part de monuments arquitectònics o escultòrics. Per fer una introducció al tema s'han escollit referències de caire general: LAZARINI, LAURENZI 1988, 166-231 i 239-246; PHILIPPON et al. 1992, 119-123; TORRACA 1988, 87-92.

(resines epoxi i de polièster), que s'introdueixen dins la pedra en forma líquida amb un producte que causa l'enduriment dins dels seus porus i esquerdes, o bé, resines sintètiques termoplàstiques (com les resines acríliques), que penetren en estar dissoltes en solvents orgànics i que s'adhereixen amb l'evaporació d'aquest solvent.

Els consolidants orgànics, encara que tenen millor resistència mecànica que els inorgànics, envelleixen més ràpidament durant l'exposició a la intempèrie. Els principals factors provocadors d'aquest envelliment són l'oxigen, les radiacions ultraviolades i tèrmiques del sol, l'aigua i la biodegradació causada per les algues, fongs i bacteris. L'acció d'aquests agents origina un canvi progressiu de color, una reducció de la resistència material i una pèrdua del poder adhesiu i de l'acció hidròfuga. El procés és més lent dins dels porus, on no hi ha llum i poc oxigen.

Un altre inconvenient és la gran diferència química i estructural dels consolidants orgànics respecte al material petri, ja que això determina comportaments desiguals entre la zona impregnada i la no impregnada enfront de les variacions ambientals.

També pot ser problemàtica l'acumulació, al costat de la superfície tractada, de l'aigua que entra per capil·laritat o per la pluja infiltrada a través de juntures, defectes de la capa protectora o canalitzacions defectuoses. Aquesta aigua pot gelar i crear tensions. També les sals solubles que transporta és possible que cristal·litzi al costat de la zona consolidada, provocant noves pressions internes. L'aplicació d'una capa protectora superficial requerirà, doncs, d'un estudi preliminar de la circulació de l'aigua en forma líquida i vapor, per evitar tots aquests problemes.

Les silicones (del tipus silà i siloxà) són materials parcialment orgànics i parcialment inorgànics. S'oxiden més lentament amb la llum i l'oxigen que les resines sintètiques i la seva millor qualitat és que repel·leixen l'aigua. Com que l'aigua és un dels agents de degradació més important en les estructures arqueològiques, aquesta propietat hidròfuga converteix a les silicones en un material molt interessant per la conservació-restauració.

L'èxit de la consolidació dependrà de la profunditat de penetració del producte i de la seva distribució en l'interior del material petri. El material consolidant s'ha d'introduir suficientment per arribar al nucli de la pedra i connectar-lo amb les parts deteriorades. Si la pèrdua de cohesió afecta també al nucli, la penetració ha de ser total. Això és molt difícil d'aconseguir en les estructures arqueològiques *in situ* per les seves grans dimensions, la humitat que amb freqüència tenen els murs i la dificultat de mantenir un bon contacte entre la dissolució i la pedra durant un temps prou llarg.

És relativament fàcil aconseguir una penetració suficient en els objectes aïllats i al laboratori, on es poden aplicar mètodes com la immersió completa dins del producte consolidant o bé impregnar fent el buit. Als jaciments, s'haurà de cercar una forma d'aplicació del producte que garanteixi una penetració satisfactòria.

S'han posat en pràctica diferents maneres d'allargar el temps de contacte dels paraments amb el consolidant i alentir l'evaporació del dissolvent. Un mètode emprat consisteix a ruixar la superfície amb dissolvent pur

perquè després penetri millor el protector o consolidant. També s'ha enganxat amb un adhesiu dèbil sobre la superfície del mur, paper impregnat amb el consolidant durant hores o dies.

Un altre mètode que s'ha utilitzat és posar sobre la superfície un sistema gota-gota durant uns dies. Per millorar els seus resultats, freqüentment, es fa caure el consolidant sobre un envoltori de gasa i cotó posat sobre la pedra i tot es recobreix amb un full de plàstic per evitar l'evaporació. Però aquest procediment té l'inconvenient que es perd molt consolidant i l'ambient se satura de dissolvent.

En alguna ocasió, s'ha posat en pràctica una tècnica per fer el buit *in situ* al mateix jaciment, que consisteix a tapar l'estructura amb fulls de plàstic impermeables i insensibles als dissolvents orgànics i amb una bomba fer un buit parcial entre la superfície de la pedra i el plàstic.

Per al tractament de la pedra degradada no existeix un producte o mètode d'aplicació ideal perquè, com s'ha vist, existeix una gran varietat i és difícil decidir quin és el més adequat per solucionar la problemàtica concreta de cada jaciment.

Actualment, hi ha nombrosos grups de treball interdisciplinars associats a universitats o institucions científiques que estudien l'estat de la pedra i fan estudis comparatius de les propietats dels materials abans i després del tractament, mitjançant assaigs d'envelliment artificial accelerat al laboratori.

Aquests assaigs consisteixen a posar les mostres de material tractat en condicions ambientals extremes: en cicles (tèrmics, d'humitat/sequedat i de gel/desgel), en atmosferes predeterminants (riques amb SO₂ o CO₂, salines,...), sota llum ultraviolada i provocar la cristal·lització de sals. Això serveix per evaluar l'evolució futura de les consolidacions i permet decidir quin és el millor tractament a emprar en cada cas.

El tema del tractament de la pedra és molt problemàtic, a vegades pot perjudicar més que beneficiar. S'ha d'estudiar bé i consolidar només quan sigui absolutament necessari, quan no fer-ho suposi perdre la zona. També s'ha de valorar que aquests productes no són reversibles. Cap consolidant aplicat a la pedra permet una reversibilitat total. A més els productes consolidants i hidròfugs poden millorar la resistència de la pedra als agents de l'entorn, però no sempre li donarà una protecció completa i, en molts casos, encara seran necessàries mesures complementàries com la instal·lació de cobertes.

3.2.2. Adhesius i estucs

Els processos de consolidació donen cohesió a la pedra però no lliguen esquerdes, no enganxen fragments grans i tampoc impedeixen l'accés de l'aigua al seu interior a través de les fissures. Per a la conservació de la pedra i els murs és bàsic que aquesta presenti una superfície ben compacta i contínua davant l'entorn, evitant l'accés de les partícules atmosfèriques i la penetració d'aigua o de dissolucions nocives.

Els fragments despresos dels carreus es poden enganxar col·locant un pern o amb l'aplicació d'un adhesiu. Els perns han de ser d'un material, com el titani o l'acer inoxidable, que garanteixi una estabilitat

total i se subjectaran a la pedra amb algun adhesiu epoxídic. Aquesta resina pot exercir també una funció protectora del metall, al impedir o reduir el seu contacte amb l'aigua que eventualment entri dins de l'estructura porosa del mur. Per a les peces de poc pes, es poden utilitzar perns de fibra de vidre que tenen bona resistència a la tracció, lleugeresa i estabilitat química.

La inserció de perns és sempre una intervenció traumàtica per a la pedra i s'ha d'evitar sempre que sigui possible. Si pot ser, el millor és només enganxar amb un adhesiu. En el cas de material molt porós i amb poca resistència mecànica, abans d'enganxar, s'han de consolidar les vores dels fragments, ja que en ser la pedra més dèbil que l'adhesiu, es podrien produir nous trencaments al costat de la zona enganxada.

Per la baixa resistència dels adhesius epoxídics a la radiació ultraviolada, cal tapar la part exterior de la fractura omplint-la amb un producte estable. Es pot fer amb una resina acrílica carregada amb calç o pols de la mateixa pedra.

Pel que fa a l'operació de reompliment d'esquerdes, s'ha de realitzar amb una barreja formada per un inert i un lligant, que tingui el color, la porositat i la resistència mecànica al més proper possible a la pedra a tractar. La coloració semblant s'aconsegueix emprant pols de la mateixa pedra, barrejada amb una petita quantitat de pigment inorgànic químicament estable (terres naturals) que ajudi a obtenir el color desitjat.

Com a lligant es poden usar adhesius orgànics o substàncies inorgàniques. Els adhesius orgànics utilitzables són les resines acríliques (millor en emulsió) i, quan es necessiti una adhesió amb força, emprar polímers termoenduribles (com les resines epoxi en estat fluid). Per realitzar un estucat de tipus inorgànic, s'ha d'usar com a lligant la calç aèria o hidràulica.

4. Estructures de terra

La conservació-restauració de les estructures de terra ja siguin constructives, elements domèstics (llars, paviments, banquetes, ...) o talls estratigràfics és un tema molt complex i sense solucions definitives. Fins els anys seixanta, no es va començar a investigar als laboratoris i experimentar als jaciments. Actualment, dos entitats destaquen en aquest sentit: *The Getty Conservation Institute* i el laboratori CRATerre-E.A.G. de Grenoble, que junt amb l'ICCROM, promou el projecte Gaia centrat en la preservació de les construccions de terra.

Quan es descobreix una estructura de terra en un jaciment, el primer que cal fer és protegir-la immediatament amb cobertes i fer un bon drenatge, per retardar els processos de degradació. Després s'hauran de planejar amb calma les intervencions a llarg termini, ja que, quan es tracta de restes arqueològiques de terra, els tractaments sempre són complicats i cars.

Existeixen casos en què no es vol alterar les condicions ambientals dels jaciments, mitjançant la col·locació de cobertes definitives o musealitzant les restes dins d'edificis. Altres vegades les estructures no es poden tornar a enterrar, ja sigui pel seu gran interès

o per la impossibilitat de fer-ho, com passa amb les construccions de grans dimensions (piràmides, temples,...) o amb les estructures per sobre el nivell del terra. En aquestes ocasions, s'han de plantejar intervencions directes sobre les estructures, com poden ser els tractaments químics o les diferents tècniques de protecció parcial encaminades a obtenir la cohesió estàtica i mecànica dels murs.

4.1. Tractaments químics

Durant molts anys, s'ha buscat donar fortalesa mecànica i protegir dels agents externs les estructures de terra, usant impregnacions amb productes químics consolidants i hidròfugs a base de resines sintètiques (resines acríliques, resines epoxis, poliuretans i altres substàncies). Però s'ha comprovat que no són eficaços, perquè posseeixen unes característiques físico-químiques molt diferenciades respecte a la terra.

Alguns dels primers intents que es van fer amb impregnacions de resines sintètiques varen fallar perquè el dissolvent de la resina no era l'adequat i, també, perquè aquest producte tenia unes molècules de mida no apropiada. La mida de les molècules impedia que el consolidant és diposités uniformement dins dels porus del tovot i provocava la seva retirada cap a la superfície en evaporar-se el solvent. Així doncs, en no penetrar dins de les estructures, només es formava una pel·lícula superficial i d'aspecte desagradable, que després es podia desprendre fàcilment arrencant la superfície del tovot (FRENCH 1987, 80-81).

A aquestes incompatibilitats, cal afegir l'envelliment que pateixen les resines sintètiques al contacte amb la intempèrie i que ja s'ha comentat en parlar de la consolidació de la pedra.

Actualment, s'estan usant molt compostos que actuen reaccionant amb la sílice que conforma la terra. Un d'aquests mètodes és el proposat per Alejandro Alva i Giacomo Chiari (1984, 118) a base de ruixar les superfícies verticals de les estructures amb silicat d'etil (al voltant d'un litre per metre quadrat). Aquest ester de sílice reacciona amb les partícules d'argila, formant una xarxa tridimensional de ponts de sílice que augmenten la resistència a l'aigua d'aquest material. La superfície manté la seva porositat original, permetent que la humitat interna s'evapori. El tractament té l'inconvenient de ser irreversible, però els autors recorden que per la naturalesa i característiques del tovot, qualsevol producte considerat reversible, difícilment es pot eliminar un cop aplicat als elements constructius fets amb terra.

Els esters de sílice no tenen propietats adherents, per això convé aplicar-los abans que les superfícies es degradin. Si ja han patit danys, Alejandro Alva i Giacomo Chiari proposen usar injeccions d'una emulsió de resina sintètica (acrílica o vinílica) dins del mur, ja que no hi ha perill de formació d'una pel·lícula i es redueix la degradació del polímer orgànic perquè no està exposat a la llum.

El tractament amb silicat d'etil també és efectiu en condicions molt humides. Giacomo Chiari, Thierry Joffroy i Marisa Rigoni (1993), a la catedral de Feltre (Itàlia), van aplicar amb esprai i sense catalitzador un producte comercial (Montosanto Silester ZNS diluït al

1:1 en alcohol etílic; un o dos litres per m²) amb resultats positius.

Es va utilitzar aquest producte perquè, en condicions molt humides, no es poden emprar consolidants a base de resines sintètiques. La humitat té una gran afinitat amb l'alta polaritat de la matèria argilosa, mentre les resines orgàniques no són polars. Això significa que la connexió entre la resina i la superfície no es produeix per raó de la pel·lícula d'aigua que es forma entre elles. Si la quantitat d'humitat augmenta, pot fàcilment infiltrar-se sota la capa de consolidant orgànic i separar-la.

Segons Giacomo Chiari, Thierry Joffroy i Marisa Rigoni el tractament amb silicat d'etil ha de ser al més complet possible per dues raons: la primera, perquè qualsevol punt dèbil per on entri aigua pot espatllar el resultat final i, la segona, perquè, en el cas d'una humidificació massiva de l'estructura, la diferència de color deguda a l'absorció desigual de la humitat entre la part tractada més absorbent i la no tractada, dona un aspecte poc estètic al mur.

Per A. A. Abdurazakov (1986), el tractament amb silicat d'etil és molt car i l'experiència demostra que només s'aconsegueix la saturació de les parets verticals, mentre les horitzontals es destrueixen aviat per efecte de la pluja. Per això, ell creu que és millor usar dissolucions monòmeres i no polímeres, que polimeritzin dins del material de construcció a conservar.

Per aquest autor, els isocianats són els productes més avinents. Aquests compostos entren fàcilment en reacció amb els minerals dels sòls i polimeritzen amb el sol, per infrarrojos i també pel calor de les superfícies i això és molt important quan s'estan tractant estructures *in situ* als jaciments. A més, els productes de la polimerització dels isocianats són extremadament resistents a la intempèrie i asseguren la durabilitat de les restes tractades enfront els canvis climàtics i l'acció de les sals. També fan possible que es produeixi normalment l'intercavi d'aigua entre l'exterior i l'interior del mur; s'assegura així la seva transpiració i s'impedeix l'exfoliació de la pel·lícula de consolidant.

Segons Gabriel José Palma (1993a, 212), el tractament químic és un procés de conservació de les restes arqueològiques de terra *in situ* menys efectiu que la musealització dins d'un edifici. Per ell, la seva eficàcia està molt limitada en el temps i comporta variacions òptiques notables de la superfície tractada.

Aquest autor creu que l'ús del silicat d'etil pot tenir a llarg termini un efecte negatiu sobre les estructures de terra tractades, ja que els murs així impregnats només són provisionalment resistents a la humitat. Abans o després, l'aigua aconsegueix infiltrar-se a través de la superfície tractada, fent que s'infla i caigui. Aquest efecte es podria evitar si s'impregnés l'estructura amb una capa molt espessa, però això, generalment, no es pot realitzar per l'elevat preu dels productes consolidants.

Ara bé, com recull Pamela French (1987, 80-82), els conservadors no es posen d'acord en el tema de quina profunditat de penetració ha de tenir el tractament per donar una protecció adequada al tovot. Mentre, com ja s'ha vist, alguns professionals mantenen la importància d'una impregnació màxima, altres creuen que aquesta augmenta el perill de degradacions posteriors.

Segons aquests últims la consolidació profunda intensifica els problemes causats per la diferència de contracció i expansió tèrmica, entre el nucli del material no impregnat i la superfície impregnada, augmentant la descomposició i causant esquerdes en les zones de contacte. També es forma un límit força marcat entre les dues zones i s'acumulen les sals i l'aigua al costat de la capa de producte.

Per aquestes raons, alguns conservadors defensen l'aplicació d'una capa lleugera, superficial i de sacrifici de repel·lent d'aigua o de consolidant. Ara bé, en el cas d'actuar d'aquesta manera, cal tenir en compte que aquest mètode necessita una inspecció i manteniment periòdic.

Pamela Franch també exposa que existeixen resultats força encoratjadors en el tractament químic de la terra, aconseguits usant esters de silicona i silans d'alcoxi. Aquests materials a més de repel·lir l'aigua, tenen una baixa viscositat que els permet penetrar fàcilment en el material i, el que és més important, «curen» les estructures, ja que els polímers lliguen amb els materials silícics del tovot i li donen cohesió.

Els tractaments químics aplicats a les construccions en terra són encara recents i cal estudiar el seu comportament a llarg termini. És necessari portar a terme molta més investigació al laboratori i sobretot al mateix jaciment, perquè, ara per ara, l'estabilitat i durabilitat de les estructures en terra és força incert. A més, en el cas de troballes molt valuoses, com estructures de terra amb relleus decoratius o pintures murals, aquests tractaments no es poden considerar suficients.

4.2. Reforçament i protecció parcial de les estructures

En explicar les seves causes de degradació, es va veure que la descomposició d'un mur de terra comença per la seva part superior i es va desenvolupant i estenent cap a les cares laterals. Per evitar-ho, alguns conservadors proposen intervencions directes sobre les estructures encaminades a reforçar-les o protegir-les parcialment.

Malauradament, molts cops, per portar a terme aquesta reconstrucció i reforçament de les estructures de terra s'ha utilitzat el ciment. Un bon exemple dels problemes causats per aquest material es descriuen a la comunicació de Francisco Javier Gallego i els seus col·laboradors (1993). En aquest treball s'expliquen els processos de degradació provocats per l'antiga reparació i restauració de la muralla de tàpia de Granada.

En la muralla, el ciment ha provocat una sèrie de descomposicions importants ocasionades per la seva naturalesa discordant amb la tàpia. Així doncs, el ciment, que és un material molt menys porós que la terra, ha generat àrees on no pot respirar la paret original i, alhora, en ser més rígid que la tàpia, ha agreujat la descomposició i aixecament de les parts en contacte amb ell.

En un clima com el de Granada, amb grans variacions de temperatura, l'expansió tèrmica del ciment, que és el doble que la de la terra, ha ocasionat un greu problema de tensions internes que han acabat originant esquerdes i accelerant el procés de caiguda

i ruïna de la paret. De la mateixa manera, han originat estralls l'alta densitat i conductivitat tèrmica del morter de ciment, ja que han provocat l'augment de la humitat i la condensació sobre les superfícies, amb tots els problemes que això comporta per a la conservació. El major contingut de sals solubles i la seva cristal·lització també han agreujat l'estat de desintegració de la tàpia.

Com en les construccions de pedra, si es vol tenir èxit en el reforçament d'estructures de terra, s'han d'usar materials similars als originals, és a dir, materials amb la mateixa resistència, elasticitat i porositat que el tovet i la tàpia.

Les estructures de terra crua que, després de l'excavació, han quedat exposades a la degradació, es poden reforçar i preservar amb diferents mètodes de protecció parcial.

Un d'ells és el proposat per Alejandro Alva i Giacomo Chiari (1984, 117). Es tracta, primer, de col·locar sobre la part superior del mur, que és la més exposada als agents externs, una filada de totxos nous fets amb ciment/terra emmotllats i assecats al sol. Això s'ha de fer en parets força regulars; si són irregulars, és millor protegir-les amb una capa uniforme feta d'aquest ciment/terra.

La fórmula del ciment/terra la dona Giorgio Torraca (1988, 104-106): 8 parts d'argila, 1 part de sorra, 1 part de ciment portland, palla tallada curta i aigua. La quantitat de ciment portland ha de ser mínima, només la necessària per aconseguir resistència a l'aigua i no pot sobrepassar mai el 10%. Per a l'autor, el ciment/terra també es pot usar com a estuc per fer reparacions menors en els murs de terra.

Per completar la protecció parcial de les estructures de terra, Giorgio Torraca proposa reparar l'arrebossat que encara es conservi, ja que aquest era un element que preservava el mur. Es pot fer amb algun tipus de resina vinílica. També aconsella tractar les superfícies verticals amb silicat d'etilè per reforçar els enllaços de l'argila i impedir la seva dispersió amb l'aigua. Finalment, l'autor parla de la necessitat de fer drenatges per eliminar l'aigua de pluja.

Gabriel José Palma (1993a, 212-213) proposa un altre mètode de protecció parcial que també comença amb la construcció d'una coberta sobre el mur. Aquesta coberta ha de sobresortir una mica pels costats de les parets, a fi que l'aigua caigui sense tocar les superfícies laterals. Es pot realitzar amb un material estabilitzat, com pot ser una rajola de terra crua feta amb un 10% de ciment i un 20% de calç. Després de la protecció de la part superior del mur, és necessari crear pendents, drenatges o clavegueres de manera que l'aigua no toqui la base de les estructures.

Les parts perdudes del mur, segons l'autor, es poden reparar amb tovots fets amb unes dimensions diferents o més quadrats que els originals, per distingir-los. També proposa usar totxos d'altres tonalitats o posar una placa identificadora de la intervenció, per tal que es puguin reconèixer clarament les parts originals i les reconstruïdes.

En aquesta fase, l'autor opina que es pot recórrer al tractament químic amb èxit, perquè serà un complement de les solucions arquitectòniques de consolidació i protecció. Ara bé, cal tenir en compte que la impregnació s'ha de repetir abans de 10 anys.

Gabriel José Palma creu que aquest tipus d'intervencions que contrasten fortament amb l'estructura a protegir i alteren el seu aspecte, es justifica només en aquells casos on un tractament d'aquesta mena sigui l'única solució per conservar i no perdre irremissiblement les restes arqueològiques.

Una altra intervenció en aquesta línia de modificar l'aspecte de les restes arqueològiques de terra, és la que proposa Mahmoud Bendakir pel jaciment siri de Mari (1993) dins del projecte Gaia (ICCROM i CRATERRE-E.A.G.).

Després d'un estudi exhaustiu de les causes de degradació, es va arribar a la conclusió que els murs d'aquest jaciment de Síria estaven molt més perjudicats per la humitat produïda per capil·laritat, que per la pluja i el gel. Així doncs, el principal factor d'erosió era la humitat permanent present en el sòl i subsòl, que passava directament al cor dels murs i s'evaporava sobre les superfícies exposades a l'aire, dipositant totes les sals que portava dissoltes. Aquest flux d'humitat també disminuïa la cohesió de les argiles, alterant les propietats mecàniques del material.

La intervenció que es va portar a terme anava dirigida a drenar el peu del mur per aconseguir que s'assequés. Per fer-ho, s'havien de millorar les condicions d'evaporació de la humitat del sòl i reduir la secció capil·lar de la base del mur. La solució aplicada va ser excavar un canal a la part baixa de la paret i tornar a reomplir-lo amb còdols. Aquest llit de còdols havia de permetre l'evaporació de l'aigua del sòl i tallar totalment la capil·laritat ascendent.

Per evitar enderrocaments produïts pel solc excavat a la base del mur i assegurar una millor estabilitat, es van encaixar maons de terra crua estabilitzats amb ciment sobre el drenatge de còdols.

També calia evitar l'erosió de la pluja i es van experimentar, al jaciment, unes cobertes superiors alhora protectores i absorbents. Aquestes cobertes havien d'embeure l'aigua dels xàfecs, resistir el xoc de les gotes de pluja, limitar la rajada per les parets verticals, permetre l'evaporació ràpida de l'aigua absorbida i no ser un obstacle per la humitat del mur que puja per capil·laritat (fig. 3).

Al jaciment de Mari, hi havia uns murs molt gruixuts de 240 cm, on només una intervenció al seu interior podia provocar un assecat significatiu. Per aquesta raó, Mahmoud Bendakir explica que es van obrir uns nínxols sota la part a sanejar, de manera que el pas de la humitat ascendent quedés tallada i els murs s'assequessin progressivament. Per no comprometre l'estabilitat del mur, els nínxols es van haver d'omplir d'un formigó de grava a la vegada resistent, anticapil·lar i permeable a l'aire.

També es va observar que les condicions d'evaporació, així com el fort contingut en sals de l'aigua del sòl de la zona, eren les causes del descalçament del peu dels murs. Calia aconseguir que l'evaporació i la cristal·lització de les sals es produís lluny de les estructures, en un material resistent a la seva acció. Per això, es van fer dos tipus de sòcols, uns amb cotó en brut, que era un material disponible en abundància en el lloc del jaciment i l'altre amb geotèxtil. Aquests materials es van embeure amb barbotina de terra i s'aplicaren fins formar un afegit continu (fig. 4). El geotèxtil permeable també es pot usar en cobertes

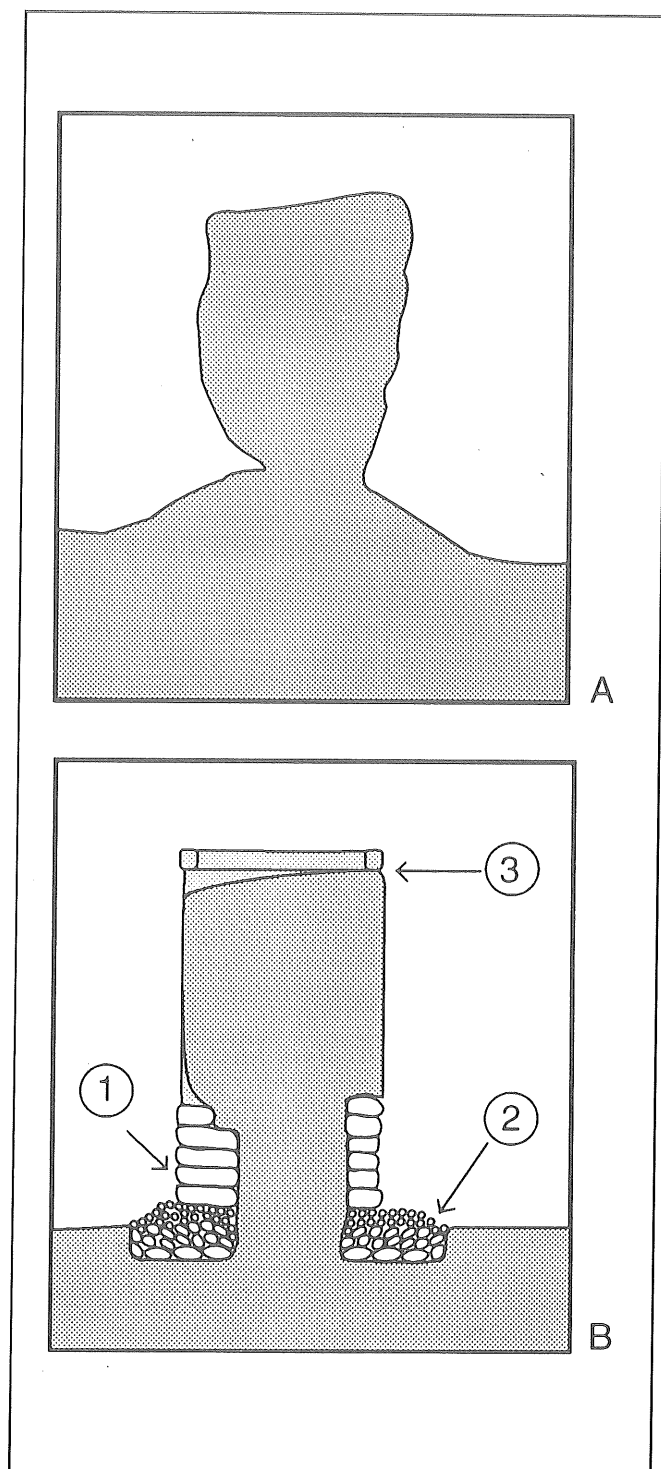


Figura 3. - Protecció parcial d'un mur de terra:
A) Secció de l'estat del mur després de patir els agents degradants externs. B) Secció després de la intervenció:
— 1. maons de terra crua estabilitzants amb ciment.
— 2. llit de còdols. — 3. coberta superior absorbent.
Dibuix d'Isabel Gil a partir de Bendakir (1993, 319).

superiors absorbents. Després d'un any de l'intervenció, s'ha constatat que s'ha aconseguit el comportament desitjat i que el contingut de sals és més important en el sòcol que en el mur.

Aquestes intervencions tan radicals sobre les estructures arqueològiques de terra, s'han de considerar en casos especials, on sigui important no canviar l'entorn del jaciment o on no sigui possible tornar a

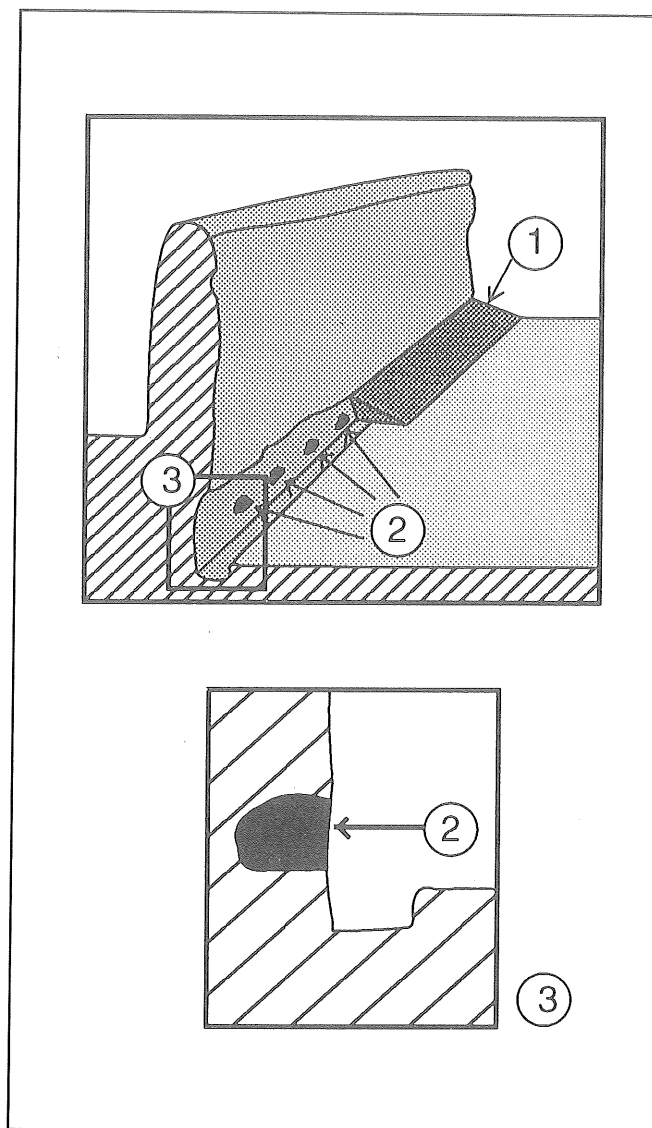


Figura 4. - Protecció parcial d'un mur gruixut de terra. Mur en perspectiva: — 1. sòcol. — 2. nínxols aeris de formigó de grava. — 3. secció dels nínxols aeris.
Dibuix d'Isabel Gil a partir de Bendakir (1993, 322)

enterrar les restes. En totes les altres situacions, caldria veure si compensa modificar l'aspecte del mur fins aquest grau o, si és millor, optar entre soterrament, esperant que en el futur es trobin millors solucions a llarg termini, o escollir protegir amb cobertes i musealitzacions *in situ*.

IV. Algunes consideracions finals

La degradació de les restes arqueològiques és un procés dinàmic que mai no s'atura totalment. No hi ha solucions concloents per als problemes de conservació-restauració de les estructures de pedra i, encara menys, pels de les estructures de terra. La seva efectivitat no es pot perllongar indefinidament i s'ha d'anar intervenint per neutralitzar els efectes del temps. Com ja s'ha anat dient al llarg de tot l'article, es necessita una inspecció i manteniment periòdic de tots els sistemes protectors usats, ja siguin teulats, edificis, impregnacions de productes o reforçaments estructurals.

Els tractaments a realitzar per preservar un jaciment s'han de valorar segons la seva problemàtica concreta si es vol assegurar la seva eficàcia. Com que el camp de la tècnica de la conservació-restauració és molt ampli, són necessaris equips interdisciplinars que estudiïn i analitzin els materials antics (pedra, morters, tovot,...) i els seus entorns ambientals per poder escollir millor les solucions a portar a la pràctica. També cal que s'analitzin els materials nous a emprar (productes consolidants i hidròfugs, morters, argamasses, morters líquids d'injecció...) i les diferents tècniques d'aplicació perquè tinguin més efectivitat. A més de tots els estudis de laboratori, cal, sobretot, conèixer el resultat i l'experimentació pràctica dels tractaments als jaciments.

En plantejar qualsevol intervenció sobre restes arqueològiques, no s'ha d'oblidar el respecte per les estructures i la norma de la mínima intervenció, així com una documentació exhaustiva de l'estat de les estructures abans de la intervenció, dels materials i mètodes emprats, com aconsella la *Carta del Restauro* de 1972.

Carme Prats
Servei d'Arqueologia
Universitat de Lleida
Rambla d'Aragó, 37
25003 Lleida

Bibliografia

ABDURAZAKOV 1986

A. A. Abdurazakov, «Conservation experience of clay construction in Uzbekistan», dins: *Preventive measures during excavation and site protection*, ICCROM, 81-90.

ADAM, BOSSOUTROT 1990

J. P. Adam i A. Bossoutrot, «Restauration architecturale et préservation des sites archéologiques», *La conservation en archéologie*, París, 333-366.

ALVA, CHIARI 1984

A. Alva Balderrama i G. Chiari, «Protección y conservación de estructuras excavadas de adobe», dins: *La conservación en excavaciones arqueológicas*, ICCROM, 113-123.

BARKER 1986

P. Barker, «Temporary shelter and site protection», *Preventive measures during excavation and site protection*, ICCROM, 45-49.

BENDAKIR 1993

M. Bendakir, «Méthodologie de recherche pour la préservation du site archéologique de Mari (Syrie)», 7a. *Conferência Internacional sobre o Estudo e Conservação da Arquitectura de Terra* (Portugal, 1993), 317-323.

BOINEAU, ROCARD 1982

A. Boineau i J. Rocard, «Renforcement des maçonneries par injections de coulis dans la Région Nord-Est de la France», *Symposium Mortars, Cements and Grouts Used in the Conservation of Historic Buildings* (Roma, 1981), 165-184.

BRANDI 1988

C. Brandi, *Teoría de la restauración*, Alianza Forma, 72, Madrid.

BROWN, CLIFTON 1978

P. W. Brown i J. R. Clifton, «Adobe I: The properties of adobe», *Studies in Conservation*, 23, 139-146.

BROWN et al. 1979

P. W. Brown, C. R. Robbins i J. R. Clifton, «Adobe II: Factors affecting the durability of adobe structures», *Studies in Conservation*, 24, 23-39.

CEDILLO 1987

L. Cedillo Álvarez, «Stucco: A report on the methodology developed in Mexico», *In situ. Archaeological Conservation*, The Getty Conservation Institute, Mèxic, 90-97.

DE CHAZELLES 1993

C.-A. de Chazelles, «Savoir-faire indigènes et influences coloniales dans l'architecture de terre antique de l'Extrême-Occident (Afrique du Nord, Espagne, France Meridionale)», 7a. *Conferência Internacional sobre o Estudo e Conservação da Arquitectura de Terra* (Portugal, 1993), 159-165.

CHIARI et al. 1993

G. Chiari, T. Joffroy i M. Rigoni, «Ethyl silicate treatments and humidity», 7a. *Conferência Internacional sobre o Estudo e Conservação da Arquitectura de Terra* (Portugal, 1993), 422-425.

COLES 1987

J. M. Coles, «The preservation of archaeological sites by environmental intervention», *In situ. Archaeological*

Conservation, The Getty Conservation Institute, Mèxic, 32-55.

CONTANZI 1986

A. Contanzi Cobau, «Excavated wall plasters: Conservation problems», *Preventive measures during excavation and site protection*, ICCROM, 103-110.

CORTÉS 1989

J. Cortés, «Sistemas de cobertura de mosaicos conservados *in situ*», *I Coloquio Nacional de Conservación de Mosaicos* (Palència, 1989), 143-149.

DOWDY, ROMERO TAYLOR 1993

K. Dowdy i M. Romero Taylor, «Investigations into the benefits of site burial in the preservation of prehistoric plasters in archaeological ruins», *7a. Conferência Internacional sobre o Estudo e Conservação da Arquitetura de Terra* (Portugal, 1993), 480-487.

FERRAGNI et al. 1982

D. Ferragni, J. Malliet, S. di Martino, M. Forti, A. Alva i G. Torracca, «Essais de laboratoire sur des coulis à base de ciment», *Symposium Mortars, Cements and Grouts Used in the Conservation of Historic Buildings* (Roma, 1981), 185-203.

FRENCH 1987

P. French, «The problems of in situ conservation of mudbrick and mud plaster», *In situ. Archaeological Conservation*, The Getty Conservation Institute, Mèxic, 78-83.

GALLEGO et al. 1993

F. J. Gallego, I. Valverde, J. M. López, A. M. de los Santos, M. J. Martín, E. Ontiveros i R. Fajardo, «The city walls of Granada (Spain). Use, conservation and restoration», *7a. Conferência Internacional sobre o Estudo e Conservação da Arquitetura de Terra* (Portugal, 1993), 272-277.

HOLMSTRÖM 1982

I. Holmström, «Mortars, cements and grouts for conservation and repair. Some urgent needs for research», *Symposium Mortars, Cements and Grouts Used in the Conservation of Historic Buildings* (Roma, 1981), 19-24.

ICCROM 1982

ICCROM, *Symposium Mortars, Cements and Grouts Used in the Conservation of Historic Buildings* (Roma, 1981).

LABORDE 1986

A. Laborde, *Conservación y restauración en yacimientos prehistóricos (restos óseos, madera, piedra)*, Girona.

LAZZARINI, LAURENZI 1986

L. Lazzarini i M. Laurenzi Tabasso, *Il restauro della pietra*, Pàdua.

LOLLI-GHETTI 1982

M. Lolli-Ghetti, «Tharros (OR): Conservation of the

Punic Ditch. Diversification of technologies», *Symposium Mortars, Cements and Grouts Used in the Conservation of Historic Buildings* (Roma, 1981), 255-266.

MELUCCO 1986

A. Melucco, «Archéologie de fouille et conservation: Limites et domaine d'intervention, respectivement de l'archéologue et du restaurateur», dins: *Preventive measures during excavation and site protection*, ICCROM, 1-12.

MORA 1984

P. Mora, «Conservación de revoques, estucos y mosaicos excavados», *La conservación en excavaciones arqueológicas*, ICCROM, 103-112.

NARDI 1986

R. Nardi, «Conservation on the excavation: The Crypt of Balbus in Rome», *Preventive measures during excavation and site protection*, ICCROM, 91-102.

PALMA 1993a

G. J. Palma Dias, «A conservação das estruturas antigas em terra crua», *7a. Conferência Internacional sobre o Estudo e Conservação da Arquitetura de Terra* (Portugal, 1993), 210-214.

PALMA 1993b

G. J. Palma Dias, «A terra crua como material de construção», *7a. Conferência Internacional sobre o Estudo e Conservação da Arquitetura de Terra* (Portugal, 1993), 304-309.

PERONI et al. 1982

S. Peroni, C. Tersigni, G. Torracca, S. Cerea, M. Forti, F. Guidobaldi, P. Rossi-Doria, A. de Rege, D. Picchi, F. J. Pietrafitta i G. Benedetti, «Lime based mortars for the repair of ancient masonry and possible substitutes», *Symposium Mortars, Cements and Grouts Used in the Conservation of Historic Buildings* (Roma, 1981) 63-99.

PHILIPPON et al. 1992

J. Philippon, D. Jeannette i R.-A. Lefevre, *La conservation de la pierre monumentale en France*, Presses du CNRS, París.

PORTA et al. 1987

J. Porta, J. M. Alcañiz, E. Castells, R. Cruañas, R. Danés, M. T. Felipó, J. Sánchez i N. Teixidor, *Introducció al coneixement del sòl. Sòls dels Països Catalans*, Barcelona.

SORIANO 1990

J. Soriano, «Características y alteración de los morteros de construcción», dossier del *II Curso sobre metodología y técnicas de estudio aplicadas a la conservación de las rocas monumentales* (Universidad de Oviedo, 1-5 octubre 1990).

STEVENS 1986

A. Stevens, «Structures nouvelles de protection des sites archéologiques du Tiers Monde», *Preventive*

measures during excavation and site protection, ICCROM, 225-244.

STUBBS 1984

J. H. Stubbs, «Protección y exhibición de estructuras excavadas», *La conservación en excavaciones arqueológicas*, ICCROM, 85-101.

TORRACA 1988

G. Torraca, *Porous building materials*, ICCROM, Roma.

TUFANI 1987

A. Tufani, «Le malte nel restauro. Studi, ricerche e operatività», *Arte e restauro*, 6, Todi.

VALENTÍN 1990

N. Valentín, «Biodeterioro en rocas monumentales», dossier del *II Curso sobre metodología y técnicas de estudio aplicadas a la conservación de las rocas monumentales* (Universidad de Oviedo, 1-5 octubre 1990).