



Escola Politècnica Superior  
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## GRAU EN ENGINYERIA D'EDIFICACIÓ PROJECTE FINAL DE GRAU

### CRITERIS D'EXECUCIÓ I CONTROL DE QUALITAT EN LA CONSTRUCCIÓ EN TERRA D'UN HABITATGE UNIFAMILIAR A MARTORELLES

**Projectista/es:** Morera Roca, Gisela i Pallarès Madrid, Àngels  
**Director/s:** Hormias, Emili i Bestraten, Sandra  
**Convocatòria:** Març del 2012

<b>1. Prefaci</b>	Pàg.7
<b>2. Introducció</b>	Pàg.9
<b>3. Antecedents i situació actual de la construcció en terra</b>	
3.1. Antecedents històrics	Pàg.11
3.2. Situació actual	Pàg.11
3.3. Marc legislatiu	Pàg.12
<b>4. La terra com a material de construcció</b>	
4.1. La terra	Pàg.14
4.2. Tècniques constructives	Pàg.14
4.2.1. Tàpia	Pàg.14
4.2.2. Tova	Pàg.14
4.2.3. BTC. Bloc de terra comprimida	Pàg.14
4.2.4. Cob	Pàg.15
4.3. Propietats i beneficis de la construcció en terra	Pàg.15
<b>5. Seguiment de l'execució dels murs de tàpia de l'habitatge unifamiliar a Martorelles</b>	
5.1. Projecte arquitectònic	Pàg.16
5.1.1. Dades generals	Pàg.16
5.1.1.1. Objectiu del projecte	
5.1.1.2. La casa	
5.1.1.3. Sol·licitant. Propietaris	
5.1.1.4. Arquitectes, tècnics i col·laboradors	
5.1.2. Dades de l'entorn i climàtiques	Pàg.17
5.1.3. Descripció de l'edifici	Pàg.17
5.1.3.1. Solar	
5.1.3.2. Planta baixa	
5.1.3.3. Planta semisoterrani	
5.1.3.4. Superfícies	
5.1.4. Memòria constructiva	Pàg.18
5.1.4.1. Estructura	
5.1.4.2. Façanes i coberta	
5.1.4.3. Distribució interior	
5.1.4.4. Acabats	
5.1.4.5. Instal·lacions	
5.2. Execució d'obra. Tàpia	Pàg.20
5.2.1. Procediment	Pàg.20
5.2.1.1. Eines i aparells necessaris	
5.2.1.2. Procediment i tècnica constructiva	

5.2.2. Rendiment	Pàg.25
5.2.2.1. Encofrat	
5.2.2.2. Barreja, trasllat i compactació	
5.2.2.3. Execució del mur	
5.3. Pla de control	Pàg.26
5.3.1. Introducció	Pàg.26
5.3.2. Criteris de control adoptats	Pàg.27
5.3.2.1. Control dels components	
5.3.2.2. Control d'execució de la barreja	
5.3.2.3. Procés d'execució dels murs de tàpia	
5.4. Assajos i anàlisi de les dades obtingudes	Pàg.31
5.4.1. Introducció	Pàg.31
5.4.2. Assajos <i>in situ</i>	Pàg.31
5.4.2.1. Assajos organolèptics	
5.4.2.2. Assaig de consistència	
5.4.2.3. Assaig de la caiguda de la bola	
5.4.2.4. Índex de rebot. Escleròmetre	
5.4.2.5. Índex de rebot. Martell Schmitz	
5.4.3. Assajos laboratoris	Pàg.35
5.4.3.1. Anàlisi granulomètric de sòls per tamisatge	
5.4.3.2. Determinació del límit líquid d'un sòl pel mètode de l'aparell de <i>Casagrande</i>	
5.4.3.3. Determinació del límit plàstic d'un sòl.	
5.4.3.4. Assaig de compactació. Proctor modificat	
5.4.3.5. Determinació del contingut de matèria orgànica oxidable d'un sòl pel mètode del permanganat potàssic	
5.4.3.6. Contingut de sals solubles en un sòl	
5.4.3.7. Contingut de components amb tires reactives	
5.4.3.8. Assaig organolèptic	
5.4.3.9. Comportament tèrmic. Conductivitat tèrmica, difusió tèrmica i calor específica per densitat.	
5.4.3.10. Índex de rebot. Escleròmetre	
5.4.3.11. Assaig de resistència a compressió	
5.4.4. Anàlisi de les provetes PA-H i BTC1-10 i comparativa d'aquestes amb les provetes P1-17.	Pàg.70
5.4.4.1. Comportament tèrmic	
5.4.4.2. Índex de rebot. Escleròmetre	
5.4.4.3. Assaig de resistència a compressió	
5.4.5. Comparativa de la tàpia analitzada amb altres tècniques constructives.	Pàg.79

5.5. Evolució i estat actual dels murs de tàpia	Pàg.81
5.5.1. Inspecció visual	Pàg.81
5.5.1.1. Esquerdes tipus 1	
5.5.1.2. Esquerdes tipus 2	
5.5.1.3. Zones amb poca densitat	
5.5.2. Causes	Pàg.81
5.5.2.1. Esquerdes tipus 1	
5.5.2.2. Esquerdes tipus 2	
5.5.2.3. Zones amb poca densitat	
5.5.3. Conclusions	Pàg.82
5.6. Pressupost dels murs de tàpia	Pàg.83
<b>6. Proposta de pla de control</b>	Pàg.84
<b>7. Conclusions</b>	Pàg.86
<b>8. Bibliografia</b>	Pàg.88
<b>9. Agraïments</b>	Pàg.93
ANNEX A. Antecedents històrics	Pàg.97
ANNEX B. Situació actual	Pàg.100
ANNEX C. Marc legislatiu	Pàg.102
ANNEX D. Projecte arquitectònic	Pàg.107
ANNEX E. Execució d'obra. Tàpia	Pàg.109
ANNEX F. Pla de control	Pàg.135
ANNEX G. Assajos <i>in situ</i>	Pàg.136
ANNEX H. Assajos laboratori	Pàg.140
ANNEX I. Anàlisi de les provetes PA-H i BTC1-10 i comparativa d'aquestes amb les provetes P1-17	Pàg.212
ANNEX J. Evolució i estat actual dels murs de tàpia	Pàg.233
ANNEX K. Pressupost dels murs de tàpia	Pàg.236
ANNEX L. Fitxes	Pàg.244
ANNEX M. English section: precedents, current situation, architectural project and constructive procedure.	Pàg.317

## 1. PREFACI

La construcció en terra ha adquirit una notable importància degut al seu creixent ús, en els últims anys. El present projecte s'ha realitzat per ajudar en la introducció de tècniques de construcció més sostenibles que utilitzen la terra com a matèria primera. La tècnica en la qual se centra aquest projecte és la tàpia.

La motivació per la qual s'ha realitzat aquest projecte ha estat l'interès personal de les autores en l'àmbit de la construcció sostenible.

## 2. INTRODUCCIÓ

En un món ple de prejudicis és fa difícil concebre la terra com a material de construcció, però des de fa milers d'anys, la terra, ha estat l'element més important i més abundant en la majoria de regions del món. Aproximadament la meitat de la població mundial viu en cases de fang, la majoria en països en vies de desenvolupament, per tant, és fàcil associar la terra com a material per a construccions pobres.

Actualment la consciència creixent envers la conservació del medi, fa pensar i investigar en noves tècniques i nous materials més sostenibles i ecològics, però no sempre són materials nous, simplement es torna a pensar en materials naturals, com són la terra, la canya, la palla, etc. Els termes ecologia, construcció sostenible, arquitectura ecològica, estalvi energètic, agafen més pes en la societat. La construcció en terra requereix un consum energètic més baix que la majoria de materials utilitzats en la construcció, a més a més aquesta té propietats bioclimàtiques i és reciclable, per tant, encaixa perfectament amb les noves tendències.

L'habitatge unifamiliar aïllat de Martorelles és un projecte bioclimàtic i bioconstructiu. Aquest manté les característiques d'edificació de baix impacte ambiental combinant la construcció de materials autòctons i saludables. Per exemple, s'utilitza la terra del solar com a matèria primera per a la construcció dels murs, minimitzant, així, els residus produïts durant la construcció.

El present projecte té com a objectiu redactar el pla de control de qualitat dels murs de tàpia de l'habitatge unifamiliar de Martorelles, ja que, actualment, aquest control no està especificat ni regulat en cap document tècnic. El què es pretén és redactar les comprovacions adoptades durant el seguiment de l'execució dels murs de tàpia, suficients per verificar la conformitat de l'estructura, en relació amb els requisits mínims per els quals ha estat dissenyada.

Els resultats obtinguts dels assajos descrits en el pla de control seran estudiats per tal de caracteritzar i conèixer el comportament del material emprat, és a dir, conèixer els seus avantatges i inconvenients. Per altra banda, s'intentarà verificar l'ús de l'escleròmetre com assaig no destructiu, per obtenir la resistència d'aquest material. La tècnica constructiva de la tàpia es compararà amb altres materials, com per exemple el bloc de terra comprimida o el formigó. La comparativa amb el formigó té per objectiu justificar l'ús de la tàpia com a material més sostenible.

Finalment, un cop realitzat el seguiment de l'execució de l'obra, duent a terme el pla de control establert, estudiats tots el resultats i comprovat l'estat actual dels murs, es proposaran uns criteris de control de qualitat generals per a les construccions en tàpia.

### 3. ANTECEDENTS I SITUACIÓ ACTUAL DE LA CONSTRUCCIÓ EN TERRA

#### 3.1. Antecedents històrics

La terra és un material de construcció tradicional utilitzat des de fa a prop de 10000 anys, oblidat durant el procés d'industrialització del segle XIX i XX, i recuperat, actualment, pel seu caràcter sostenible i el seu baix impacte ambiental.

Els primers indicis de construccions en terra daten del període del neolític, al voltant d'uns 6000-10000 anys d'antiguitat, i es troben a Mesopotàmia. En totes les cultures antigues es va utilitzar la terra per fer habitatges, fortaleses i obres religioses. En són un exemple els habitatges troglodites de Capadocia (Fig.1, annex A), les muralles de Nínive (Fig.2, annex A), o les ciutats de Tarim (Fig.3, annex A), Shibam (Fig.4, annex A) i Sanaa (Fig.5, annex A) que encara avui perduren al Yemen. La presència de la terra en la construcció també es troba a Àsia on el 500 aC es va construir una de les fortificacions més conegudes: la Muralla Xinesa (Fig.6, annex A).

L'arquitectura en terra es va estendre pel mediterrani, gràcies a la colonització romana i a la colonització àrab. Com a conseqüència, existeix un ampli patrimoni arquitectònic en terra, tant en el continent africà com en el continent europeu. Les zones d'Egipte i el Magreb es caracteritzen per les construccions de les voltes i cúpules de tova com es van trobar en el Temple Mortuori de Ramses II a Gournà (Fig.7, annex A). A l'Àfrica moltes mesquites es van construir en terra, com per exemple la Gran Mesquita de Mopti, a Mali (Fig.8, annex A).

A Espanya ja s'havia utilitzat la terra en assentaments neolítics preibèrics, però posteriorment, també es va utilitzar la tàpia per fer fortaleses i habitatges, com per exemple les muralles de l'Alhambra de Granada (Fig.9, Annex A) o les masies de la província de Lleida. La tècnica de la tàpia va ser molt utilitzada a França des del segle XV fins a mitjans del segle XIX, sobretot en habitatges (Fig.10, annex A). Aquesta tècnica es va difondre fins a Alemanya i, actualment, encara existeixen un gran nombre d'habitatges amb parets de càrrega fetes de terra (Fig.11, annex A).

A Amèrica del Sud va aparèixer la tova entre el 500 aC i el 600 aC, juntament amb altres tècniques. Una de les construccions on es van utilitzar aquestes i que encara avui perduren les restes arqueològiques és la ciutat de Chan Chan, a Perú (Fig.12, annex A). Més tard, durant la colonització espanyola es va introduir la tàpia, per aquest motiu moltes esglésies i finques estan fetes amb aquesta tècnica (Fig.13, annex A).

#### 3.2. Situació actual

La construcció en terra ha ressorgit pel seu baix impacte ambiental, en un moment en què el medi ambient, la sostenibilitat i l'ecologia són termes importants a considerar. Des de principis del segle XXI, l'ús d'aquest material ha anat creixent a tot el món i ha passat de ser un material considerat pobre, a ser un material interessant per l'ús en la construcció.

L'interès per la terra ha fet créixer el nombre d'institucions, centres d'investigació i universitats on s'estudia i es treballa amb aquest material, en són un exemple la Universitat CRAterre, a Grenoble; la Universitat Politècnica de Catalunya, a Barcelona; o diversos centres d'investigació americans com el de ININVI. Però, no només ha atret aquests organismes, sinó que durant les últimes dècades, molts arquitectes han optat per introduir aquest material en els seus projectes, augmentant així, el patrimoni arquitectònic en terra.

Els projectes que s'han realitzat darrerament, han ajudat a modificar les tècniques tradicionals, modernitzant-les i adaptant-les a les necessitats actuals. Gràcies a aquests nous processos de fabricació s'han millorat les propietats del material per obtenir-ne, així, una millor qualitat, una major fiabilitat i optimitzar-ne el rendiment durant la posada en obra. Aquests projectes s'han dut a terme tant en climes càlids com en climes freds, i són habitatges, centres educatius, construccions religioses, d'aparença tradicional o moderna, sofisticats, austers, etc. Això, indica que la terra té un caràcter polifacètic i que és capaç d'adaptar-se a diversos entorns i tipologies constructives.

Existeixen moltes edificacions actuals en terra, per exemple habitatges, com són la residència Tucson a Arizona, Estats Units (Fig. 1, annex B); casa de camp a San Pablo, Brasil (Fig.2, annex B); el Condominio a Stein in the Rhin, Suïssa (Fig. 3, annex B); o equipaments, com per exemple la Sala d'Exhibicions a Nova Delhi, Índia (Fig. 4, annex B); la Capella de la Reconciliació a Berlin, Alemanya (Fig. 5, annex B); la Piscina municipal, Toro, Espanya (Fig. 6, annex B); entre d'altres.

A Catalunya, aquest tipus de construccions van ressorgir durant els anys 80 amb l'idea d'introduir una arquitectura ecològica. Actualment, hi ha diversos exemples, entre ells l'escola Bressol de Santa Eulàlia de Ronçana (Fig.7, annex B) o l'habitatge, estudiat, de Martorelles (Fig. 8, annex B).

### 3.3. Marc legislatiu

Existeix un ampli ventall de normativa arreu del món. Les tècniques tractades a cada normativa varien en funció del país i de la tradició arquitectònica (Taula 1-1, annex C). L'abast territorial dels documents no és el mateixa en tots els casos, per exemple, Espanya (Ref.2.1-15, annex C) compta amb normatives d'aplicació nacional; Itàlia (Ref.2.1-14, annex C) amb documents d'abast regional. Mèxic (Ref.2.1-4, annex C) disposa de reglaments i per últim, normatives experimentals com a França (Ref.2.1-13, annex C).

La tècnica constructiva que compta amb un nombre més elevat de normatives vigents és el BTC. En són exemples països com Colòmbia (Ref. 2.1-2, annex C), Brasil (Ref.2.1-1, annex C), Índia (Ref. 2.1-5, annex C), Tunis (Ref. 2.1-6, annex C), Espanya (Ref. 2.1-15, annex C), etc.; En segon lloc, es troba la construcció amb tova, procedent de Perú (Ref. 2.1-3, annex C) i Turquia (Ref. 2.1-7, annex C). En canvi, les edificacions realitzades en tàpia, són les que disposen de menys documents, i la majoria es troben a Brasil (Ref.2.1-1, annex C), a la India (Ref. 2.1-5, annex C) i a Zimbabwe (Ref. 2.1-8, annex C). (Gràfica.1-1, annex C)

La majoria de normatives només tracten una tècnica. En el cas d'Estats Units (Ref. 2.1-4, annex C) i Nova Zelanda (Ref.2.1-10, annex C) tracten dues tècniques constructives (Gràfica 1, annex C). Aquestes especifiquen les condicions que ha de complir el producte, i com a conseqüència els assajos que s'han de realitzar per aconseguir un resultat òptim en la construcció; així com en les condicions que ha de complir la terra. El procediment per a la realització dels assajos és molt diferent segons el país d'on sigui originària la normativa. Altres conceptes com la construcció, la definició i la fabricació del producte i el disseny, no estan tan regulats. (Gràfica 1-2, annex C)

Pel que fa als estabilitzants, es recomana el seu ús, encara que no sempre sigui necessari, degut a les bones condicions del sòl emprat. Els més utilitzats són el ciment i la calç. Algunes normatives només regulen tècniques amb terra estabilitzada com en el cas de Brasil (Ref.2.1-1, annex C), Colòmbia (Ref. 2.1-2, annex C), India (Ref. 2.1-5, annex C), etc. Documents com els de Nova Zelanda (Ref.10, annex C) i Espanya (Ref. 2.1-15, annex C), fixen una quantitat màxima d'aquest component, mentre que el d'Estats Units (Ref. 2.1-4, annex C), fixa una quantitat mínima d'estabilitzant.



Tot i que la normativa referent a la construcció en terra és nombrosa arreu del món, Espanya només compta amb la normativa UNE 41410: 2008 que regula els blocs de terra comprimida. Altres tècniques constructives que utilitzen la terra, com per exemple la tàpia, no estan regulades per cap document legislatiu. Malgrat això el Ministerio de Vivienda, juntament, amb l'Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja estan treballant en la redacció d'una guia per al compliment del Codi Tècnic de l'Edificació per a construccions en terra.

## 4. LA TERRA COM A MATERIAL DE CONSTRUCCIÓ

### 4.1. La terra

La terra és el resultat de la descomposició de les roques superficials de l'escorça terrestre. L'erosió es genera, principalment, per la polvorització de les roques, provocada pels moviments glacials de l'aigua i del vent, per l'expansió i la contracció tèrmica, pels àcids orgànics de les plantes i per les reaccions químiques produïdes per l'aigua i l'oxigen. La terra és una barreja d'argila, llims i sorra que a vegades contenen agregats majors com grava i pedres. Generalment, les partícules es defineixen segons el seu diàmetre:

PARTÍCULA	DIÀMETRE (mm)
Argila	< 0,002
Llim	0,002 - 0,06
Sorra	0,06 - 2
Grava i pedra	> 2

Taula 4.1. Diàmetre de les diverses tipologies de partícules.

La composició i la varietat de les propietats de la terra depenen del lloc on es troba, per tant, els podem classificar en sòls argilosos, llimosos i arenosos, segons quin sigui el component predominant. En alguns casos la terra pot contenir components orgànics que poden alterar les característiques de la terra amb el temps. Per tant, terres amb components orgànics no són gens aconsellables en cas d'utilitzar-se com a material de construcció.

Els sòls muntanyosos tenen un alt contingut de grava, aquest és més apropiat per a tècniques de terra comprimida, sempre que hi hagi una quantitat suficient d'argila. En canvi, els sòls propers a zones de rius, generalment, són més llimosos i, per tant, són menys resistents a les inclemències del temps i a la compressió.

### 4.2. Tècniques constructives en terra

Actualment es coneixen moltes tècniques constructives utilitzades en diferents punts del món. Algunes d'aquestes tècniques han experimentat un procés de recuperació i d'industrialització important, per tant, aquestes garanteixen unes millors qualitats.

#### 4.2.1. Tàpia

La tàpia és una tècnica de construcció de murs de terra monolítics que consisteix en amassar i compactar la terra a dins d'un encofrat, en tongades de 10-15 cm. La granulometria utilitzada, segons Navarro (2010) és d'un 0-15% de grava, un 40-50% de sorra, un 20-35% de llims i un 15-25% d'argila.

#### 4.2.2. Tova

La tova és una peça prismàtica de fang barrejat, generalment, amb palla i assecada a l'aire. Pot tenir diverses dimensions i s'utilitza per formar murs de fàbrica. La granulometria que s'utilitza, generalment, per a la fabricació de toves és d'un 65% de sorra, un 18% de llims i un 20% d'argila (Navarro, 2010).

#### 4.2.3. BTC. Blocs de terra comprimida

El bloc de terra comprimit és un prisma premsat mecànicament i assecat a l'aire per formar murs de fàbrica. En la seva dosificació s'hi afegeix un petit percentatge de ciment o calç. Per a la fabricació dels BTC s'utilitza un sòl amb la granulometria següent (Navarro, 2010): 15% de grava fina, 50% de sorra, 15% de llims, 20% argila.

#### 4.2.4. Cob

La tècnica del cob consisteix en construir murs monolítics apilant una massa de fang amb palla. El modelatge és fa directament en el mur. La granulometria recomanada per a la realització d'elements de cob, segons Navarro (2010) és d'un 0-15% de grava, un 40-50% de sorra, un 20-35% de llims, un 15-20% d'argila i fibres vegetal.

#### 4.3. Propietats i beneficis de la construcció en terra

La terra utilitzada com a material de construcció aporta molts avantatges en comparació a altres materials industrialitzats. És capaç de regular el clima interior de les edificacions gràcies a la seva capacitat d'absorbir i alliberar humitat en un temps menor que altres materials. Per tant, és capaç de mantenir el balanç d'humitat dins uns paràmetres adients, això beneficia la salut de les persones. Gràcies a la seva baixa humitat d'equilibri i alta capil·laritat, la terra manté secs els elements de fusta i altres elements orgànics, preservant-los quan estan en contacte directe amb ell. Per tant, els insectes no poden malmetre la fusta o la palla, ja que no es donen les condicions òptimes per a què els insectes puguin desenvolupar-se.

Per altra banda, per garantir el clima interior, la terra té molta capacitat tèrmica, és a dir, la capacitat d'emmagatzemar calor. Això dona un valor afegit en zones on les diferències de temperatura són àmplies o en llocs on és necessari emmagatzemar el guany tèrmic. (Minke, 2010, p.16)

Els elements de terra tenen un baix impacte ambiental, ja que durant el procés de preparació i conformació d'aquests s'utilitza un volum d'energia inferior a la necessària en altres materials, per tant, la utilització de la terra redueix la contaminació ambiental generada en el procés de fabricació.

Les construccions de terra són reutilitzables, és a dir, un cop ja han exhaurit la seva vida útil, no són un residu contaminat, sinó el material que un cop triturat i humidificat pot tornar a ser la matèria primera per a una nova construcció.

La terra és un material abundant i considerat com a residu a les obres, sobretot, un cop s'ha fet l'excavació de la fonamentació. En comparació amb altres materials, es poden disminuir els costos considerablement, si aquesta es considera com a matèria primera i no com a residu, ja que s'elimina el cost de transport el d'obtenció de nous materials i el de la gestió de residus.

## 5. SEGUIMENT DE L'EXECUCIÓ DELS MURS DE TÀPIA DE L'HABITATGE UNIFAMILIAR A MARTORELLES

### 5.1. Projecte arquitectònic

#### 5.1.1. Dades generals

##### 5.1.1.1. Objectiu del projecte

L'objectiu d'aquest projecte és construir un habitatge de baix impacte ambiental, per tant, es consideraran aspectes com la sostenibilitat i l'ecoeficiència. Es combinaran materials d'una baixa petjada de carboni, autòctons i reutilitzats, garantint així, l'eficiència energètica, la minimització de residus i el reciclatge de material i elements.

##### 5.1.1.2. La casa

La construcció és un habitatge unifamiliar aïllat ubicat a la població de Martorelles. Consta de dues plantes, una planta soterrani i una planta pis. La superfície construïda és de 230 m<sup>2</sup>.

El disseny de l'habitatge s'ha realitzat tenint en compte les condicions climàtiques i aprofitant els recursos disponibles com el sol, la pluja, etc. Tot això per reduir els consums d'energia.

##### 5.1.1.3. Sol·licitant. Propietaris

Cristina Sánchez Miret i Ferran Navarrete Navarrete.

##### 5.1.1.4. Arquitectes, tècnics i col·laboradors

- **Arquitectes**

*Bestraten Hormias Arquitectura S.L.P.* Arquitectes: Sandra Bestraten i Emilio Hormias.  
*Ecoarquitectura.* Arquitecte: Gabi Barbeta.

- **Arquitectes tècnics**

*Escobar, Miquel; Penades, Antoni.*

- **Col·laboradors**

*Morera, Gisela; Pallarès, Àngels;* seguiment i control de qualitat de l'habitatge.

- **Constructora**

*Bioterre.* Fonaments i parets de càrrega de BTC.

*Canal, Josep.* Parets de càrrega de tàpia.

*NIX PROFUSTA, S.L.* Muntatge de forjats, divisòries interiors i escales de fusta contralaminada.

## 5.1.2. Dades de l'entorn i climàtiques

La casa està ubicada al carrer Santiago Tiffon número 22, a la cruïlla amb el carrer Domingo Milà, de Martorelles. Es troba en una zona residencial urbanitzada amb ordenació unifamiliar aïllada.

L'habitatge està situat al sud de la zona climàtica mediterrània prelitoral central. Aquesta zona climàtica es caracteritza per unes precipitacions mitjanes anuals entre 600 i 900 mm, i aquestes es concentren majoritàriament a la tardor i a la primavera amb menys intensitat. Les temperatures mitjanes anuals oscil·len entre 12 i 15 ° C.

## 5.1.3. Descripció de l'edifici

### 5.1.3.1. Solar

El solar té una superfície de 605,7 m<sup>2</sup>. Aquest es caracteritza per una forma quadrada, amb un dels costats en forma de xamfrà.

La parcel·la té accés pel costat nord, pel carrer Tiffon (Fig. 1.1-1, annex D), i pel costat est, pel carrer Domingo Milà (Fig.1.1- 2, annex D). El solar està delimitat, tant en el costat oest com sud, per dues parcel·les amb el mateix tipus i ús que aquesta. En aquest solar hi ha tres pins d'alçada considerable situats al llinard del carrer Tiffon. Aquests es mantindran com a vegetació.

### 5.1.3.2. Planta baixa

La planta baixa es troba al nivell de la cota del carrer Santiago Tiffon, on hi ha l'accés principal de l'habitatge (Fig. 1.1-3, annex D). Aquesta planta té forma quadrada.

A la part Est, hi ha la zona de dia que compta amb la sala d'estar, el menjador i la cuina, des d'on es pot accedir i contemplar el porxo i la piscina. Aquesta distribució es deu a l'aprofitament de la llum solar en les zones de dia. Com a conseqüència, aquest espai disposarà de més obertures per a permetre l'entrada de la llum. (Esquema 1.2-1, annex D)

A la part Oest, es troba la zona de nit, que compta amb tres dormitoris, dos banys i un vestidor. En aquesta part, els tancaments seran molt més opacs que en la zona de dia, ja que els raigs solars incideixen directament durant les últimes hores de la tarda. (Esquema 1.2-1, annex D) A la part central de la planta hi ha un pati, envoltat per les escales d'accés al soterrani. El distribuïdor està cobert per una claraboia.

### 5.1.3.3. Planta semisoterrani

Aquesta planta no conserva la forma quadrada de la planta baixa, sinó que adopta una forma rectangular. S'hi ubiquen el garatge, el traster i un bany auxiliar. (Fig. 1.1-4, Annex D)

### 5.1.3.4. Superfícies

- *Superfícies construïdes*

Planta	Habitació	Superfície (m <sup>2</sup> )
Semisoterrani	Planta	64,40
	Porxo 4	1,48
	Porxo 5	1,78
Baixa	Planta	151,40
	Porxo 1	2,33
	Porxo 2	2,88
	Porxo 3	8,25
<b>TOTAL</b>		<b>232,50</b>

Taula 5.1.3.4-1. Superfícies construïdes

## 5.1.4. Memòria constructiva

### 5.1.4.1. Estructura

- *Terrenys i fonamentació*

L'estudi geotècnic realitzat per a caracteritzar els diversos estrats del solar, determina que l'estrat resistent està format per sorres i té una resistència de  $2,9 \text{ Kg/cm}^2$ . Segons els assaigs realitzats al laboratori, es determina la presència de dos tipus de sòls, una sorra de tipus argilós i una sorra.

La cota de l'estrat resistent és diferent segons la situació en el solar, ja que en la zona de la planta baixa es troba a cota 17,90 m, i en la zona de la planta soterrani es troba a cota 16,60 m. Com a conseqüència, la fonamentació es divideix en dues zones, la de planta baixa i la de planta soterrani.

La fonamentació de la planta baixa consisteix en sabates corregudes sobre les que descansen els murs de tàpia. En aquesta planta s'utilitzen pous de formigó pobre per arribar a la cota del nivell resistent. La fonamentació haurà de sobresortir 20 cm per sobre del terreny i s'haurà d'impermeabilitzar per evitar la presència d'humitat per capil·laritat en els murs de tàpia.

A la planta semi soterrani, la fonamentació també consisteix en sabates corregudes. Els murs de càrrega estan realitzats amb blocs de formigó alleugerit. El tancament interior és d'un full de maó, deixant una cambra d'aire entre el maó i la terra on se situarà l'aïllament tèrmic, la làmina impermeabilitzant, i el sistema de drenatge. La cambra d'aire que queda entre la terra i l'impermeabilitzant quedarà lleugerament ventilada.

El forjat sanitari estarà realitzat amb el sistema de peces prefabricades de plàstic tipus Daliforma, incloent tots els elements necessaris per a la seva execució i garantint la ventilació de la cambra.

- *Estructura portant*

L'estructura portant de l'habitatge consisteix en la combinació de murs de tàpia i blocs de terra comprimida a la planta soterrani (Fig. 1.1-5, annex D), i de murs de tàpia a la planta baixa (Fig. 1.1-6, annex D). Els murs de tàpia seran de 50 cm d'espessor, i els de BTC seran de 30 cm d'espessor.

L'estructura també consta de dos pilars de fusta contra laminada a la planta semi soterrada per a transmetre els esforços del forjat existent a la zona del porxo.

- *Forjat*

El forjat consistirà en plaques de fusta contra laminada de 2 metres d'amplada per 14 metres de llargada, amb un gruix de 18 cm (Fig. 1.1-7, annex D). Aquesta solució de forjat permet una disminució de les càrregues que es transmeten a l'estructura. Els panells tenen un pes de  $85,72 \text{ kg/m}^2$ , mentre que un forjat de formigó armat té un pes que oscil·la entre 300 i 500  $\text{kg/m}^2$ .

La disposició creuada de les capes que el formen, permet repartir les càrregues sobre la tàpia en totes direccions, sense que es produeixin càrregues puntuals procedents de les bigues. Per tant, no serà necessària la utilització de bigues de coronament i llindes. A més permet una execució ràpida, degut a que les peces són transportades i col·locades mitjançant una grua.

#### 5.1.4.2. Façanes i coberta

- **Façanes**

Les façanes estan realitzades de murs de tàpia de 50 cm de gruix, coincidint amb l'estructura portant i de trava. A la planta soterrani existeixen tancaments exteriors realitzats amb murs de BTC.

Les obertures de l'habitatge ocupen els espais entre dos murs de tàpia contigus o es troben a les cantonades, evitant així, obrir forats en els murs de tàpia un cop realitzats.

- **Coberta**

La coberta de tipus enjardinada constarà d'un aïllament tèrmic consistent en suro natural granular barrejat amb la terra que servirà de reblert. Per sobre d'aquest es col·locarà una capa impermeabilitzant de poliolefines tipus Texalon i una barrera de vapor.

Les plantes utilitzades per a la coberta seran de tipus *sedum*, amb una capa de terra vegetal d'entre 8 i 15 cm. El sistema de reg funcionarà per degoteig.

La coberta realitzarà l'evacuació d'aigües mitjançant quatre boneres connectades als baixants exteriors d'acer galvanitzat.

- **Fusteria**

La fusteria es realitzarà amb fusta de pi laminat de Flandes qualitat I, o equivalent. El bastiment de fusta anirà fixat als premarcs, col·locats durant l'execució dels murs de tàpia.

Les portes i finestres exteriors seran de tipus Climalit Planistar de 3-12-4+4 mm, amb tractament de baixa emissivitat. Les persianes seran de lamel·les del mateix tipus de fusta de portes i finestres. Les portes corredisses es realitzaran mitjançant guies Klein o similars. A la façana sud, les obertures faran la funció de mur Trombe i s'utilitzarà vidre laminat 4+4.

#### 5.1.4.3. Distribució interior

- **Envans**

La distribució dels espais interiors es realitzarà amb envans de fusta contra laminada de 10 cm de gruix, del mateix tipus i qualitat que la utilitzada en el forjat.

- **Fusteria interior**

Les portes de pas seran llises i semi massisses, envernissades per ambdues cares, xapades amb fusta de roure, de 45 mm de gruix. El premarc serà de fusta de pi de 45 mm de gruix. Les tapetes seran de DM o equivalent i es xaparan amb fusta de roure. Les frontisses seran de llautó de 9,5 mm, amb una capa de vernís anticorrosius. Els mecanismes d'obertura seran manetes de palanca de llautó, i compliran amb la normativa d'accessibilitat.

La majoria de les fusteries serà corredissa, amb guies Klein, ocultes amb doble envà o ocultant només la guia amb tapetes de fusta, segons el cas.

#### 5.1.4.4. Acabats

- **Paviments**

El paviment exterior serà de tova de 30x30x2 cm adherida amb morter M-40, sobre una llosa de formigó armat de 20cm de gruix. Per a l'accés rodat, el paviment serà de lloses perforades tipus Checkerblock d'Escofet, damunt de llit de sorra. El paviment interior serà el mateix forjat de fusta contra laminada tractada amb una capa vernís. A la cuina i als banys els paviments seran de gres.

• **Revestiments**

Els murs de tàpia rebran un revestiment, tant en la cara exterior com interior, de silicat per evitar que la humitat arribi a l'interior del mur.

A l'interior del murs realitzats amb BTC es revestiran amb una capa de morter M-40 B ¼ amb acabat llis i es pintaran amb pintures al temple, a la calç i pintures de silicats de por obert rentables i transpirables.

Els envans de fusta seran vistos. A les zones humides com el bany i la cuina, el tractament serà diferent ja que s'hi aplicarà un tractament impermeabilitzant i s'enrajolarà.

**5.1.4.5. Instal·lacions**

L'habitatge disposa dels serveis d'instal·lació elèctrica, abastiment d'aigua, aigua calenta sanitària, sanejament i calefacció per subministrament de xarxa. Es disposarà d'un dipòsit d'emmagatzematge d'aigua pluvial de dos mil litres per aprofitar-la per al reg, per això la recollida d'aigües pluvials serà independent de la xarxa de sanejament.

La producció d'aigua calenta sanitària provindrà de l'energia solar tèrmica, complementada amb una caldera de biomassa.

**5.2. Execució d'obra. Tàpia**

**5.2.1. Procediment**

Les parets de càrrega de l'habitatge de Martorelles estan fetes de tàpia. En aquest apartat es descriurà el procés d'execució d'aquestes, indicant-ne les diverses fases i les eines utilitzades en cada activitat.

**5.2.1.1. Eines i aparells necessaris**

Les eines i els aparells necessaris en cada una de les fases, per a l'execució dels murs de tàpia, són diverses. En la taula següent es mostren els elements utilitzats a cada fase.

FASE		EINA/ ELEMENT
Tasques prèvies		Làmina de protecció de neoprè (Fig. 1.1-1, annex E).
Encofrat	Plaques i elements complementaris	Plaques 1x3 m alumini i p. fenòlics "Súper-lleugera, Cofresa" (Fig.1.1- 2, annex E).
		Plaques 0,50x3 m alumini i p. fenòlics " Súper-lleugera, Cofresa"(Fig. 1.1-3, annex E).
		Plaques de 0,50.x3 m. de fusta (Fig. 1.1-4, annex E).
		Llistons de fusta de 2,5 cm de costat (Fig. 1.1-5, annex E).
		Taps de plàstic per a tapar perforacions (Fig. 1.1-6, annex E).
		Llistons de fusta, secció en forma de quart de cilindre 5 cm. de radi (Fig. 1.1-7, annex E).
		Matavius de fusta per arestes aixamfranades de 5 cm. de costat (Fig. 1.1-8, annex E).
		Juntes verticals d'acer (Fig. 1.1-9, annex E).
		Suport metàl·lic per juntes verticals (Fig. 1.1-10, annex E).
		Peces per a la subjecció
	Mordassa per a unió extensible "Sèrie Cofenol, de Cofresa" (Fig. 1.1-12, annex E).	
	Mordassa per a unió extensible curta "Sèrie Cofenol, de Cofresa" (Fig. 1.1-13, annex E).	
	Mordasses de fabricació pròpia del constructor (Fig. 1.1-14, annex E).	
	Rosques fixes de 95 mm. de diàmetre (Fig. 1.1-15, annex E).	
	Rosques giratòries de diàmetre 95 mm. (Fig. 1.1-16, annex E).	
	Barres d'acer corrugat de diàmetre 15,5 mm. (Fig. 1.1-17, annex E).	
	Passa tubs de PVC (Fig. 1.1-18, annex E).	
	Serjants (Fig. 1.1-19, annex E).	
	Puntals (Fig. 1.1-20, annex E).	



FASE	EINA/ ELEMENT
Elements auxiliars	Plomada (Fig. 1.1-21, annex E).
	Metre de 5 metres. (Fig.1.1- 22, annex E).
	Maça (Fig. 1.1-23, annex E).
	Nivell (Fig. 1.1-24, annex E).
	Escarpa (Fig. 1.1-25, annex E).
	Trepant (Fig. 1.1-26, annex E).
	Líquid desencofrant: 75% oli de llinosa 25 % oli de trementina (Fig. 1.1-27, annex E).
	Esponja de cotó natural (Fig. 1.1-28, annex E).
Realització de la barreja	Planxes metàl·liques de 1,5 x 3 m (Fig. 1.1-29, annex E).
	Motocultor " Model MOB, Wolf Jardin", 135 rpm i 7 CV de potència (Fig. 1.1-30, annex E)
	Pala (Fig.1.1-31, annex E).
	Aixada (Fig. 1.1-32, annex E).
	Rasclet (Fig. 1.1-33, annex E).
	Paleta (Fig. 1.1-34, annex E).
	Mànega amb pistola de reg multi funcional amb dutxa (Fig. 1.1-35, annex E).
	Regadora de 5L. de capacitat (Fig. 1.1-36, annex E).
Transport i abocament de la barreja	Cubells de plàstic amb capacitat 5 L. (Fig. 1.1-37, annex E).
	Carretó metàl·lic (Fig. 1.1-38, annex E).
	Bastida mòbil metàl·lica amb rampa (Fig. 1.1-39, annex E).
Compressió	Compressor aire gasoil, 7 m <sup>3</sup> "Demarg SC20DS-2, Mannesmann" (Fig. 1.1-40, annex E).
	Picó pneumàtic de 700 rpm " KPT-5 Kawasaki", superfície 10 cm <sup>2</sup> (Fig. 1.1-41, annex F).
	Prisma de fusta (Fig. 1.1-42, annex E).
	Maça (Fig. 1.1-23, annex E).
Conservació humitat	Sacs d'espart (Fig. 1.1-43, annex E).
	Regadora de 5L. de capacitat (Fig. 1.1-36, annex E).
Tractament superfície acabada	Paleta (Fig. 1.1-34, annex E).
	Rascador per rebaixar la terra (Fig. 1.1-44, annex E).
	Escombra (Fig. 1.1-45, annex E).

*Taula 5.2.2.1-1. Eines i aparells utilitzats en cada activitat per a la construcció dels murs de tàpia de l'habitatge de Martorelles.*

### 5.2.1.2. Procediment i tècnica constructiva

- *Tasques prèvies*

#### *Replanteig dels murs*

El replanteig dels murs de tàpia es fa en el mateix moment que el replanteig de la fonamentació, si aquests descansen sobre la base de formigó. En el cas que el mur de tàpia descansi sobre una base de fusta, el replanteig es farà sobre el forjat, un cop aquest hagi estat col·locat.

#### *Realització de la base*

Primerament, s'ha de realitzar el que anomenarem base de la tàpia (Fig.1.3-1, annex E). Aquesta evita la presència d'humitat per capil·laritat als murs, anul·lant el contacte directe d'aquests amb el terreny. El material utilitzat ha estat el formigó o la fusta, segons el cas.

La fonamentació de la planta semisoterrani està solucionada amb sabates contínues. Aquests elements es prolonguen 20 cm per sobre del nivell del forjats, ja que també tindran la funció de base per als murs de tàpia. Per tant, les bases per als murs de la planta semisoterrani seran de formigó armat. (Esquema 1.2-1, annex E)

En la planta baixa hi ha murs amb base de formigó, que descansen en la fonamentació, i murs amb base de fusta. Aquest últims es realitzaran sobre una base de fusta contra laminada de 18 cm d'espessor (Fig. 1.3-2, annex E) fixada al forjat. Per absorbir els possibles moviments, generats per les dilatacions del material, es col·loca una làmina de neoprè entre la base i el forjat. (Esquema 1.2-2, annex E)

- **Encofrat**

La majoria de les plaques de l'encofrat utilitzades són d'alumini. Aquestes tenen unes dimensions de 1x3 m i pesen 63 kg. Gràcies a aquestes dimensions i pes, poden ser manipulades i transportades per dues persones, per tant, no és necessari l'ús de maquinària d'elevació. (Fig. 1.3-3, annex E)

Les plaques es col·loquen sobre peces auxiliars per arribar a la cota de la base de formigó de la tàpia. (Fig. 1.3-4, annex E) Aquests panells d'encofrat es disposen en una direcció determinada segons la llargada del mur, tal com es detalla a continuació.

La disposició dels encofrats de cada mur es mostra als esquemes de l'apartat 5.2.1 de l'annex E.

***Col·locació de les plaques en murs de llargada  $\geq 3$  metres***

En aquest cas les plaques d'encofrat es col·loquen en direcció horitzontal als panys del mur. (Fig. 1.3-5, annex E)

***Col·locació de les plaques en murs de llargada  $\leq 3$  metres***

Les plaques d'encofrat es col·loquen en direcció vertical als panys del mur (Fig. 1.3-6, annex E). En aquest cas també s'hi inclouen els laterals del mur. (Fig. 1.3-7, annex E)

***Col·locació de les plaques en murs cantonada***

Les plaques d'encofrat es col·loquen seguint el criteri anterior, de la llargada del mur, adaptant la solució a les dimensions. (Fig. 1.3-8; 1.3-9; 1.3-10, annex E)

***Fixació de les plaques mitjançant tirants i rosques***

En un primer moment, la fixació serà provisional per tal de mantenir les plaques col·locades i poder-les aplomar. Per tal de fixar-les, s'utilitzen dos sistemes que es complementen.

El primer tracta d'una barra d'acer corrugat que travessa el mur en el seu gruix, horitzontalment. Està protegida per un passa tubs de PVC (Fig. 1.3-11, annex E) i es fixa amb rosques. En cada barra s'utilitzen dos tipus de rosques, a una banda és fixa (Fig. 1.1-15, annex E) i a l'altre és giratòria (Fig. 1.1-16, annex E), d'aquesta manera s'evita el desgast de l'alumini pel fregament generat per les rosques.

Es col·loquen a una distància vertical de 90 cm, coincidint amb les juntes de les plaques i a una distància horitzontal de 80 cm. (Fig. 1.3-12, annex E)

***Fixació de les plaques mitjançant mordasses***

S'utilitzen unes mordasses, fixes i extensibles, que subjecten les plaques entre elles. A les unions verticals es disposen amb una separació de 30 cm. En canvi, a les unions horitzontals es col·loquen amb una separació de 50-60 cm entre elles. (Fig. 1.3-13; 1.3-14, annex E)

A les cantonades, es fan servir uns mordasses especials (Fig. 1.3-15, annex E) o, en algunes ocasions, perfils d'acer en escaire fixats a les plaques d'encofrat.

- ***Col·locació de la làmina de neoprè***

Es col·locarà una lamina de neoprè sobre la base per evitar la humitat per capil·laritat al murs de tàpia. Aquesta tindrà la mateixa superfície que la de la base. (Fig. 1.3-16, annex E)

- **Col·locació de peces especials i de juntes**

Per garantir la durabilitat del mur, les arestes es realitzen en forma de xamfrà (Fig. 1.3-17, annex E). Es col·loquen llistons de fusta en forma de triangle equilàter de 2,5 cm de costat. Aquest llistó s'anomena matavius i es fixa als encofrats mitjançant cargols (Fig. 1.3-18, annex E). En cas de cantonades interiors s'hi col·loca un llistó en forma de quart de cilindre de radi 5 cm. Aquest es fixa a les plaques mitjançant cargols. (Fig. 1.3-19, annex E)

Per a la col·locació posterior de la fusteria, a l'encofrat s'hi fixen uns llistons de secció quadrada de 2,5 cm de costat. (Fig. 1.3-20; 1.3-21, annex E)

Les juntes verticals utilitzades són metàl·liques i estan subjectades a l'encofrat amb uns suports amb forma de T, per tal de mantenir la verticalitat. Aquests estan fixats amb cargols a una distància horitzontal entre elles de 80 cm. (Fig. 1.3-22; 1.3-23, annex E) Els suports de les juntes es van desplaçant verticalment durant l'execució del mur fins a la seva finalització. Aquests es retiren, però les juntes metàl·liques no es recuperen, sinó que formen part del conjunt final del mur.

- **Aplomar i fixació final**

Un cop col·locades les primeres plaques i la làmina impermeabilitzant, es comprova la verticalitat de les plaques amb una plomada (Fig. 1.3-24 annex E). Quan les peces estan col·locades correctament es fixen definitivament.

- **Pintat de l'interior de les parets amb desencofrant.**

Les parets interiors de l'encofrat es pinten amb una barreja composta per un 75 % d'oli de llinosa amb assecants i un 25 % d'oli de trementina. El desencofrant s'aplica amb l'ajuda de cotó natural. (Fig. 1.3-25; 1.3-26, annex E) És important pintar bé tot l'interior de les plaques i totes les peces auxiliars que es trobaran en contacte amb la terra (Fig. 1.3-27, annex E), perquè en el moment de retirar l'encofrat la terra es podria quedar enganxada en aquests.

- **Realització de la barreja de terra, ciment i arlita**

Per a fer la barreja, s'ha d'adequar una zona de l'obra. Per fer-ho s'utilitzen dues plaques metàl·liques de 3x1 m com a base per delimitar la terra (Fig. 1.1-29, annex E). Així s'aconsegueix que no s'afegeixi terra de la zona on es fa la barreja i que la barreja tingui la dosificació especificada.

Els murs s'han executat amb dues dosificacions diferents, ja que es va decidir afegir un nou component quan l'obra ja estava avançada. Les dosificacions utilitzades es mostren a la Taula 5.2.1.2-1 i s'especifica quina es fa servir als murs de tàpia de l'habitatge de Martorelles a l'Esquema 1.2-3 de l'annex E.

COMPONENT	DOSIFICACIÓ 1	DOSIFICACIÓ 2
Terra tipus 1	45%	40%
Terra tipus 2	45%	40%
Ciment	10%	10%
Arlita	-	10%

Taula 5.2.1.2-1. Dosificacions utilitzades en els murs de tàpia de l'habitatge de Martorelles.

Els dos tipus de terra s'han de traslladar des de la zona d'emmagatzematge fins a la zona adaptada per a fer la barreja. Per al trasllat s'utilitza un carretó (Fig. 1.3-28, annex E). Tot seguit, s'afegeixen el ciment blanc i l'arlita en les proporcions adequades, i es barregen amb el motocultor fent cercles.(Fig. 1.3-29; 1.3-30, annex E)

Un cop la barreja ja és homogènia s'hi afegeix l'aigua amb una mànega escampant-la per tota la barreja (Fig. 1.3-31, annex E). Es rega la superfície de la terra per aspersió, fent una

circumferència i a la vegada es porta la terra exterior cap a l'interior amb l'ajuda d'una pala. Així, tota la terra rep humitat. (Fig. 1.3-32; 1.3-33, annex E) A continuació es passa el motocultor i es continua afegint aigua. La humitat s'anirà controlant regularment fins a tenir l'adient. (Fig. 1.3-34; 1.3-35, annex E) Per a conservar la humitat es cobrirà la barreja amb sacs humits. (Fig. 1.3-36, annex E)

- **Trasllat del material fins a l'encofrat**

Per traslladar la barreja fins a l'encofrat, es fan servir cubells i un carretó metàl·lic. (Fig. 1.3-37, annex F) Es realitzaran tants viatges com sigui necessari fins a esgotar la barreja preparada.

- **Abocament de la terra i repartiment d'aquesta**

La barreja s'aboca dins de l'encofrat i es reparteix homogèniament. (Fig. 1.3-38, annex E) A les zones on es troben barres d'acer corrugat, encarregades de subjectar les dues plaques d'encofrat, s'han de cobrir amb una quantitat important de terra.

- **Compressió de la terra**

Es comprimeix la terra amb el picó pneumàtic en tongades de 10 o 15 cm. (Fig. 1.3-39; 1.3-40, annex E) Si es considera necessari, s'afegeix aigua amb una regadora.

A la zona on es troba el passa tub de la barra d'acer corrugat que fixa les plaques, s'ha de posar especial atenció, ja que si rep un cop, l'encofrat que subjecta podria perdre la posició. (Fig. 1.3-41, annex E) Durant la formació del mur, es fan comprovacions de la verticalitat de l'encofrat mitjançant la plomada per tal de fer les correccions necessàries.

Un cop s'ha acabat de compactar la tongada, es mulla la superfície i es cobreix amb sacs humits. (Fig. 1.3-42, annex E) Mentre, es torna a fer la barreja per a la següent tongada. Quan es reprèn l'execució s'extreu la terra de la part que queda en contacte amb l'encofrat per a difuminar la unió entre les diferents capes. (Fig. 1.3-43, annex E) Aquest últim pas també es realitzarà en cas que la temperatura sigui molt elevada. A les zones properes a les juntes o les cantonades, la compressió es complementa amb l'ajuda d'una maça i un prisma de fusta. (Fig. 1.1-42, annex E)

A mesura que el mur va creixent, es desplacen verticalment els suports de les juntes (Fig. 1.3-44, annex E). Les peces metàl·liques que formen la junta de dilatació no s'extreuen del mur. També es van afegint les peces de l'encofrat, consecutivament, fins arribar a la part superior del mur. (Fig. 1.3-45, annex E)

Es continuen fent tongades fins a arribar a l'alçada desitjada. Mitjançant un rascador i la paleta, s'anivella la superfície i es retira tota la terra disgregada que pugui quedar. (Fig. 1.3-46; 1.3-47; 1.3-48, annex E) Llavors es mulla la superfície (Fig. 1.3-49, annex E) i es cobreix amb sacs humits.

- **Morter anivellant**

Un cop els murs estan realitzats, es procedeix a l'anivellació de la superfície superior d'aquests. Es realitza mitjançant morter anivellant. Un cop aquest estigui sec, s'acaba d'anivellar a mà amb un regle metàl·lic. (Fig. 1.3-50, annex E)

Per recolzar el forjat sobre els murs de tàpia, es col·loca una làmina de neoprè sobre el mur per evitar el contacte directe amb el forjat. (Fig. 1.3-51, annex E) En el cas que no es col·loqui aquesta làmina, s'ha de treballar, des de la part de sobre del forjat. Es realitzen unes perforacions en el forjat, coincidint sobre el mur (Fig. 1.3-52 annex E). S'aboca un líquid anivellant disposant un encofrat en la trobada del mur de la planta inferior i el forjat

(Fig. 1.3-53, annex E). Posteriorment s'hauran d'omplir els buits que hagin quedat amb morter ràpid. (Fig. 1.3-54, annex E)

- **Desencofrat**

Un cop els murs estan realitzats en la seva totalitat, i passat un període entre 10 i 15 dies, es retirarà l'encofrat. (Fig. 1.3-55, annex E)

## 5.2.2. Rendiment

El rendiment és molt important per a calcular el pressupost o per a la correcta organització del projecte. Actualment, a l'ITEC no s'hi especifica cap rendiment referent a la tàpia. Per aquest motiu, es realitzarà el càlcul del rendiment de les diferents fases de l'execució de l'obra de Martorelles amb les condicions esmentades a la Taula 5.2.1-1.

INFORMACIÓ I CARACTERÍSTIQUES DE LA MÀ D'OBRA	
Núm. Treballadors	- Un oficial de 1 <sup>a</sup> - Un operari
Jornada laboral diària	8 hores
Jornada laboral setmanal	40 hores

*Taula 5.2.2-1. Característiques de la mà d'obra que ha executar els murs de tàpia de l'habitatge de Martorelles.*

Els murs dels quals s'ha analitzat el seu rendiment, són els que pertanyen a la planta baixa, anomenats amb les lletres de la A la H, tal com es detalla a l'Esquema 3-1 de l'annex E.

### 5.2.2.1. Encofrat

Per fer el càlcul del rendiment de la col·locació i fixació de l'encofrat, s'han utilitzat dues dades obtingudes durant el seguiment d'obra: el període d'execució i la superfície vertical dels murs, que cobrirà l'encofrat. Els valors obtinguts a l'obra i els rendiments es troben a la Taula 3-1 de l'annex E.

S'ha obtingut una mitjana de rendiment d'1,08 m<sup>2</sup>/h, sent el valor més alt 1,16 m<sup>2</sup>/h, corresponent al mur E. El rendiment més baix és el del mur B, amb un valor d'1 m<sup>2</sup>/h.

Per a comparar aquests resultats amb un mur de formigó s'ha consultat la base de dades de l'ITEC. En el procés d'encofrat el rendiment calculat d'un oficial de 1<sup>a</sup> és de 0,5 m<sup>2</sup>/h i el d'un ajudant és de 0,45 m<sup>2</sup>/h. La suma d'aquests és 0,95 m<sup>2</sup>/h.

Els resultats obtinguts a l'obra, són semblants que els que estableix la base de dades de l'ITEC per a l'encofrat de murs de formigó. Per tant, la col·locació dels encofrats de la tàpia s'efectua de manera més ràpida que en els cas del formigó, encara que la diferència no sigui notable. Aquest resultat es donen degut a que, els valors de la base de dades, corresponen a encofrats pesats que requereixen l'ús de maquinària especial. En canvi els encofrats utilitzats a l'obra són lleugers i permeten la col·locació manual.

### 5.2.2.2. Barreja, trasllat i compactació

Els temps utilitzats en cada fase han estat comptats a l'obra, per tal de calcular-ne el rendiment. Els valors obtinguts i els rendiments es troben a la Taula 3-2 de l'annex E. Per a la fase de la realització de la barreja, s'ha obtingut un rendiment de 0,26 m<sup>3</sup>/h i per al trasllat de la barreja, de 0,21 m<sup>3</sup>/h. Per a la compactació el rendiment resultant és de 0,49 m<sup>3</sup>/h.

### 5.2.2.3. Execució del mur

En aquest apartat, es farà el càlcul del rendiment de la realització de la barreja, del trasllat de la barreja fins a l'encofrat i de la compactació d'aquesta. Els valors obtinguts a l'obra i els rendiments es troben a la Taula 3-3 de l'annex E.

Els valor mitjà del rendiment resultant a l'obra, per a l'execució del mur, és de 0,12 m<sup>3</sup>/h, sent 0,09 m<sup>3</sup>/h el valor més baix i corresponent al mur F. El valor més alt de rendiment és el del mur G, amb un rendiment de 0,19 m<sup>3</sup>/h.

Per últim es compararan els resultats amb un mur de formigó, consultant la base de dades de l'ITEC. En el procés de formigonat, el rendiment calculat d'un oficial de 1<sup>a</sup> és de 0,06 m<sup>3</sup>/h i el d'un ajudant és de 0,24 m<sup>3</sup>/h. La suma d'aquests és 0,3 m<sup>3</sup>/h.

Els resultats obtinguts a l'obra, són inferiors que els establerts a la base de dades de l'ITEC per al formigonat de murs de formigó, en condicions semblants a les dels murs de tàpia. En aquest cas, el rendiment és de 0,14 m<sup>3</sup>/h.

El rendiment és inferior, ja que el procés de d'elaboració i compactació de la barreja no està tant industrialitzada com en el cas del formigó. S'ha de tenir em compte que la barreja de terra i ciment es fa amb el motocultor, en quantitats més petites que el formigó i que es realitzarà l'abocament en tongades de poc espessor.

## 5.3 Pla de control

### 5.3.1. Introducció

El control de qualitat de les construccions en terra, actualment, no està especificat ni regulat en cap document tècnic. És per aquest motiu que s'han escollit un criteris de control en funció de la facilitat d'obtenció de dades i dels materials utilitzats, així com, les eines disponibles.

El què es pretén és redactar les comprovacions adoptades de control, suficients per verificar la conformitat de l'estructura, en relació amb els requisits mínims per els quals ha estat dissenyada.

Les comprovacions es realitzen tant *in situ*, sobretot, durant el procés d'execució per a poder comprovar el requisits establerts en el projecte; com al laboratori, per a caracteritzar el sòl i determinar la resistència i la durabilitat de l'estructura.

El nivell de control escollit és intens, ja que d'aquesta manera permetrà tenir més resultats per consultar i contrastar, i així, tenir una major fiabilitat.

### 5.3.2. Criteris de control adoptats

Els criteris de control adoptats a l'obra de Martorelles que es descriuran a continuació, es poden consultar a la Taula resum 1 de l'annex F.

#### 5.3.2.1. Control dels components

Els components utilitzats per a la fabricació del fang que conformarà els murs, han de complir unes especificacions i qualitats òptimes. Per tal de garantir-les, s'estudiaran els component, entesos com a matèria primera, extraient-ne mostres i realitzant assajos, tant *in situ* com al laboratori.

- **Terra**

La terra del solar serà la que s'utilitzarà com a matèria primera per a la fabricació dels murs. En primer lloc, s'haurà de realitzar un estudi geotècnic per tal de saber de quin tipus de sòl es disposa.

Un cop s'ha determinat la tipologia, es faran un seguit d'assajos per especificar la dosificació i la humitat òptima per a la realització dels murs, ja que les característiques d'aquesta determinaran la qualitat, la resistència i la durabilitat de les parets.

**Control en obra**

Els criteris de control adoptats per a la terra durant la seva extracció seran:

- a) Emmagatzematge de la terra. Es controlarà que la col·locació de la terra sigui en una zona adequada, i s'assegurarà que no entri en contacte amb terra d'altres estrats, evitant així, la possible modificació de les dosificacions dels murs.

**La presa de mostres**

La presa de mostres es realitzarà a l'obra, al punt d'emmagatzematge de la terra, un cop hagi estat excavada.

- a) Terra tipus 1. Extracció d'una mostra aproximada de 10 kg. Conservar-la en un recipient estanc.
- b) Terra tipus 2. Extracció d'una mostra aproximada de 10 kg. Conservar-la en un recipient estanc.

**Assajos "in situ"**

- a) Organolèptiques. Un cop la terra hagi estat excavada i emmagatzemada, es realitzaran un seguit de proves organolèptiques per determinar-ne el color, la textura i l'olor. Aquest assaig es realitzarà un cop per a cada tipus de terra.

**Assajos laboratoris**

- a) Anàlisi granulomètric de sòls per tamisat, segons UNE 103-101. Amb aquest assaig es determinaran les diferents mides de les partícules que conformen el sòl. Aquest assaig es realitzarà un cop per a cada tipus de terra.

- **Ciment**

L'estabilitzant utilitzat és el ciment. Aquest component ve de fàbrica, per tant, es controlarà que tingui els segells i marques de qualitat oficials CE.

- **Arlita**

L'additiu que s'ha afegit a la barreja és l'arlita, aquesta també ve de fàbrica. Es comprovarà que tingui el marcatge CE i es procedirà a la verificació documental dels valors que ha de complir segons les especificacions del projecte.

- **Aigua**

L'aigua utilitzada és provinent de la xarxa pública, per tant, en aquest cas no caldrà que sigui sotmesa a cap control complementari.

**5.3.2.2. Control d'execució de la barreja**

- **Fang**

El fang és l'element que més control rebrà, ja que depèn, en bona part d'aquest, la qualitat final dels murs.

### **Control en obra**

El control de qualitat del fang es realitzarà durant la conformació de la barreja, en el mateix punt d'obra. Les activitats i les freqüències de control adoptades han estat les següents:

- a) Zona de treball. Es controlarà que la barreja es realitza en un lloc adequat. Aquesta zona de treball ha de ser neta, llisa i ha de garantir que no es barrejarà amb altres components que no hagin de ser utilitzats.  
El control es realitzarà una vegada.
- b) Dosificació. Es comprovarà la dosificació utilitzada per a cada component, i es verificarà que sigui la especificada en el projecte.  
El control serà intens, serà del 50% de les barreges.
- c) Humitat. Es comprovarà que la humitat del fang sigui la especificada en el projecte.  
El control serà igual que el de la dosificació, és a dir, del 50%.
- d) Temps de barreja. Es controlarà que el temps emprat per a barrejar els diversos component sigui el necessari per garantir una barreja homogènia.  
En aquest cas, el control serà del 50% de les barreges.

### **La presa de mostres**

La barreja dels components que conformen el fang es realitza en obra, per tant, s'ha realitzat un control exhaustiu per verificar la dosificació establerta en el projecte.

- a) Barreja sense ciment. Extracció de dues mostres, aproximadament, de 10 kg. És a dir s'extrauran 10 kg de barreja sense ciment cada 20 m<sup>3</sup> de barreja. Conservar-les en recipients estancs.

### **Assajos "in situ"**

Aquests assajos permetran saber en obra, d'una manera orientativa, la dosificació i la quantitat d'humitat que conté la barreja.

- a) Assaig de consistència. Es determinarà el valor de la consistència, per tal de comprovar que sigui l'adequada. Aquest assaig es realitzarà un cop per mur.
- b) Assaig de la caiguda de la bola. Amb aquest assaig es podrà controlar, en obra, la capacitat aglutinant de la barreja. Aquest assaig es realitzarà un cop per mur.

### **Assajos laboratoris**

Per poder determinar les característiques de la terra, s'han realitzat un seguit d'assajos al laboratoris seguint les normatives UNE. Aquests assajos es realitzaran 1 cop cada 20 m<sup>3</sup>. Les mostres assajades són les dues barreges sense ciment. Per a cada una d'elles s'ha realitzats els següents assajos:

- a) Anàlisi granulomètric de sòls per tamisat, segons UNE 103-101. Amb aquest assaig es determinaran les diferents mides de les partícules que conformen el sòl.
- b) Anàlisi granulomètric de sòls fins per sedimentació. Mètode del densímetre, segons UNE 103-102.
- c) Determinació del límit líquid d'un sòl pel mètode de l'aparell *Casagrande*. UNE 103-103-94. Es determinarà la humitat en la qual el sòl perd la plasticitat i passa a ser líquid.



- d) Determinació del límit plàstic d'un sòl. UNE 104-93. Es determinarà la mínima quantitat d'aigua per a què aquest sòl sigui modelable.
- e) Assaig de compactació. *Proctor*. UNE 103-501-94. S'utilitzarà per especificar la densitat màxima seca i la seva humitat corresponent, anomenada òptima.
- f) Determinació del contingut de matèria orgànica oxidable d'un sòl pel mètode del permanganat potàssic, segons UNE 103-204-93. Amb aquest mètode es determinarà el percentatge de matèria orgànica de la mostra.
- g) Determinació del contingut de sals solubles d'un sòl, segons UNE 103250. Es determinarà el contingut de matèria
- h) Determinació del contingut de sulfats. Tires reactives. El resultat obtingut és un valor orientatiu del percentatge de sulfats existents en la mostra.
- i) Determinació del contingut de clorurs. Tires reactives. El resultat obtingut és un valor orientatiu del percentatge de clorurs existents en la mostra.
- j) Determinació del contingut de nitrats i nitrits. Tires reactives. El resultat obtingut és un valor orientatiu del percentatge de nitrats i nitrits existents en la mostra.

### **5.3.2.3. Procés d'execució dels murs de tàpia**

El control d'execució té per objectiu comprovar els processos realitzats durant la construcció dels murs de càrrega. El control serà intens per tal de comprovar i garantir les indicacions establertes en el projecte.

- **Control en obra**

Les activitats i les freqüències adoptades per al seguiment de la construcció dels murs de càrrega d'aquest habitatge, tenint en compte que és un control intens, és la següent:

- a) Replanteig dels murs. Es comprovarà que els eixos dels elements, les cotes i la geometria de les seccions presenten la posició i les magnituds dimensionals especificades en el projecte, respectant les toleràncies permeses en aquest. El control serà del 100%.
- b) Encofrat. Es comprovarà que la geometria de les seccions és la establerta en el projecte. Acceptant-la sempre que es trobi a dins de les toleràncies especificades en el projecte. També es verificaran els ancoratges encarregats de mantenir l'estabilitat dels encofrats. Finalment, abans de començar l'abocament de la terra, s'hauran de comprovar que les superfícies estiguin totalment netes abans de l'aplicació del desencofrat. El control serà total, és a dir, el 100%.
- c) Motlles. Es comprovarà que l'estat, la ubicació i la fixació dels motlles sigui la correcta. Es comprovarà el 100% dels motlles.
- d) Juntes de dilatació. Es comprovarà que els encofrats tinguin les eines necessàries per a realitzar juntes de dilatació verticals, contínues en tot el mur. Respectant el nombre de juntes per metre lineal especificat en el projecte. Es controlaran el 100% de les juntes.
- e) Impermeabilització. Abans de començar el reomplert de terra, es comprovarà que la làmina impermeabilitzant cobreixi tota la base del mur. Es comprovaran el 100% dels murs.

- f) Revisió dels estris i maquinària. Prèviament, abans del procés de piconament, s'hauran de revisar que totes les eines i maquinària són adequats i disponibles. En cas de temperatures extremes, es comprovarà que s'han pres les mesures necessàries. El control serà en la seva totalitat, un 100%.
- a) Temps de piconament. Es controlarà que el temps de piconament sigui el necessari per garantir la resistència especificada en el projecte. El control serà del 50% de les premsades.
- g) Alçada i nivell de les tongades. Es comprovarà que totes les tongades siguin, aproximadament, entre 10 i 15 cm. d'alçada. També es comprovarà que el nivell d'aquestes, comprovant que no sigui superior al 3% en horitzontalitat o superior a 10 cm en total. Seran controlades el 50% de les tongades.
- h) Alçada del mur. Un cop acabat el mur es comprovarà l'alçada d'aquest sigui la prescrita en el projecte, acceptant una variació de les dimensions de 25 a 40 mm. Es controlarà el 100% dels murs.

- **Preses de mostres**

La presa de dades durant l'execució del mur consisteix en realitzar provetes testimoni amb la mateixa barreja utilitzada per executar el mur.

- a) Provetes testimoni. Es realitzaran entre 1-3 provetes testimoni de cada un dels murs amb la barreja utilitzada en cada un d'ells, d'unes dimensions aproximades de 25x35x20. Com a mínim una per a cada 2 m<sup>3</sup>.

- **Assajos realitzats "in situ"**

Els assajos que s'han utilitzat *in situ* ajudaran a verificar els valors de càlcul establerts en el projecte.

- a) Índex de rebot. Escleròmetre. Aquest assaig no destructiu donarà uns valors orientatius sobre la resistència dels murs de tàpia durant el procés d'execució. Aquest assaig es realitzarà entre 3 i 5 vegades per mur.
- b) Índex de rebot. Martell Schmidt. L'assaig amb el martell Schmidt permetrà saber quina és la resistència a compressió dels murs de tàpia un cop s'ha piconat. Posteriorment, aquestes dades es compararan amb els resultats de l'escleròmetre a les provetes, obtenint així, una relació de la resistència un cop piconat i la resistència final del mur. Aquest assaig es realitzarà entre 3 i 5 vegades per mur.

- **Assajos realitzats a laboratori a les provetes**

Els assajos realitzats al laboratori a les provetes testimoni, permetran tenir una idea general del comportament dels murs. Els assajos que es duran a terme són els següents:

- a) Organolèptiques. Es realitzarà una inspecció física de cada una de les provetes, anotant-ne les dimensions i el pes, per tal de calcular-ne la densitat.
- b) Comportament tèrmic. Conductímetre. Es realitzarà aquest assaig per a obtenir la conductivitat tèrmica, la difusió tèrmica i el calor específic per densitat. Aquest assaig es realitzarà en dos punts de la peça: el cantell i el través.

- c) Índex de rebot. Escleròmetre. Aquest assaig no destructiu donarà uns valors orientatius sobre la resistència de les provetes. Es mesurarà l'índex de rebot en els 4 mesos de des de la fabricació en posició horitzontal i vertical de l'escleròmetre. Finalment, es tornarà a mesurar horitzontalment als 5 mesos des de la seva fabricació.
- d) Resistència a compressió. Premsa. Aquest assaig s'utilitzarà per avaluar la seguretat de l'estructura. Les provetes es sotmetran a una càrrega superior a la de servei, augmentant-la fins a la ruptura de la mostra.

## 5.4 Assajos i anàlisi de les dades obtingudes

### 5.4.1. Introducció

En aquest apartat s'analitzaran els resultats obtinguts en els assajos *in situ* i al laboratori, per tal de caracteritzar la terra i per analitzar-ne el seu comportament com a material de construcció. Els resultats i les fotografies de les mostres es poden consultar a les fitxes 1-20 de l'annex L.

### 5.4.2. Assajos in situ

#### 5.4.2.1. Assajos organolèptics

- **Objectiu**

L'objectiu d'aquest conjunt de proves és realitzar una primera determinació sobre la composició de la terra, a l'obra. Les mostres analitzades 1 i 2 pertanyen als dos tipus de terra que s'han trobat al solar, tipus terra 1 i tipus terra 2, respectivament.

- **Resultats**

Els materials i el procediment utilitzats per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 1.1, 1.2 i 1.3 de l'annex G. En aquest assaig s'han utilitzat tres tipus d'identificació: la primera de manera visual, observant la mida, el color i la lluentor de la terra. La segona de forma tàctil, determinant si es noten les partícules al fregar la terra entre les mans. Finalment, es realitza una identificació olfactiva per a determinar si conté matèria orgànica. Els resultats de l'assaig es poden veure a la Taula 5.4.2.1-1 i a la Taula 5.4.2.1-2.

IDENTIFICACIÓ	PROVA	RESULTAT
Visual	Mida partícules	Partícules de mida mitjana i petita.
	Color	Color marró clar, tirant a rogenc.
	Lluentor	Superfície opaca.
Tàctil	Textura	Es noten les partícules. Dificultat mínima d'eliminar la terra de les mans.
Olfactiva	Olor	No té olor.

Taula 5.4.2.1-1. Resultats dels assaigs *in situ* referents a la composició de la Mostra 1.

IDENTIFICACIÓ	PROVA	RESULTAT
Visual	Mida partícules	Partícules de mida mitjana i petita.
	Color	Color marró clar, tirant a rogenc.
	Lluentor	Superfície opaca.
Tàctil	Textura	Es noten les partícules. Dificultat mínima d'eliminar la terra de les mans.
Olfactiva	Olor	No té olor.

Taula 5.4.2.1-2. Resultats dels assaigs *in situ* referents a la composició Mostra 2.

- **Conclusions**

Els assajos *in situ* no estan regulats per cap normativa, per aquest motiu s'ha utilitzat el procediment establert al llibre *Manual de Construcción en Tierra* (Minke, G. 2010).

Durant la inspecció visual dels dos tipus de terra s'han pogut distingir partícules de mida mitjana i petita, de color marró clar tirant a rogenc i de superfície opaca. La mida de les partícules, determinada durant la inspecció tàctil, és mitjana. Posteriorment, les mostres s'han fregat amb les mans, per tal de valorar la dificultat d'eliminar la terra. En el cas del tipus de terra 1 hi ha hagut una dificultat molt baixa. En el cas del tipus de terra 2, la dificultat ha estat nul·la. La prova de l'olfacte, ha determinat que el sòl és inodor. Els sòls que desprenen olor, contenen matèria orgànica, per tant el sòl analitzat no en conté.

Les proves realitzades *in situ* permeten fer una primera determinació sobre el tipus i la composició dels dos tipus de terres que emprats per a la construcció dels murs de tàpia. Degut a les seves característiques, la Mostra 1 correspon a un sòl sorrenc amb baix contingut de fins. En el cas de la Mostra 2, es tracta d'un sòl sorrenc amb un contingut molt baix de fins. Aquests assajos només donen una primera caracterització qualitativa de la terra que s'ha de completar amb els assajos al laboratori: UNE 103101. *Análisis granulométrico de suelos por tamizado*, UNE 103-102-95: *Análisis granulométrico de suelos finos por sedimentación* i la UNE 10320493. *Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico*.

#### 5.4.2.2. Assaig de consistència

- **Objectiu**

L'objectiu d'aquest assaig és la determinació *in situ* de la presència d'argila, llims, sorra i matèria orgànica del sòl utilitzat en l'execució dels murs de tàpia de l'habitatge de Martorelles.

- **Resultats**

Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 2.1, 2.2 i 2.3 de l'annex G. El control de l'execució de la barreja s'ha dut a terme per a cada mur, tal com es presenta a la Taula 5.4.2.1-1, amb els resultats corresponents. En aquest assaig el factor valorat és la dificultat de trencar la bola amb els dits.

ASSAIG CONSISTÈNCIA		
Mur	Dificultat de trencar la bola	Composició de la terra
1	La bola s'esmicola i es fissura	Baix contingut d'argila i alt contingut de llims i sorra.
2	La bola s'esmicola i es fissura	Baix contingut d'argila i alt contingut de llims i sorra.
A	La bola s'esmicola i es fissura	Baix contingut d'argila i alt contingut de llims i sorra.
B	La bola s'esmicola i es fissura	Baix contingut d'argila i alt contingut de llims i sorra.
C	La bola s'aixafa fàcilment i es fissura	Terra argilosa llimosa, sorrenca, o sorrenca argilosa.
D	La bola s'esmicola i es fissura	Baix contingut d'argila i alt contingut de llims i sorra.
E	La bola s'esmicola i es fissura:	Baix contingut d'argila i alt contingut de llims i sorra.
F	La bola s'aixafa fàcilment i es fissura	Terra argilosa llimosa, sorrenca, o sorrenca argilosa.
G	La bola s'esmicola i es fissura	Baix contingut d'argila i alt contingut de llims i sorra.
H	La bola s'aixafa fàcilment i es fissura	Terra argilosa llimosa, sorrenca, o sorrenca argilosa.

Taula 5.4.2.1-1. Resultats de l'assaig de consistència.

- **Conclusions**

Com a referència per a realitzar l'assaig, s'ha utilitzat el llibre *Manual de Construcció en Tierra* (Minke, 2010), ja que les normatives consultades, com per exemple la UNE 41410 o la SAZS 724 no tracten ni especifiquen cap resultat sobre assajos *in situ*. Les mostres assajades presenten un baix contingut d'argila, ja que en la majoria dels casos la bola s'esmicola i es trenca. En els resultats s'hi observa una gran presència de llims i sorra. Aquestes característiques són pròpies d'un sòl sorrenc. Per tant, el sòl de Martorelles és un sòl sorrenc amb un baix contingut de fins. Aquest assaig és qualitatiu i cal completar-lo amb l'assaig per a la determinació de la granulometria del sòl, regulat per la normativa *UNE EN 103-101: Análisis granulométrico de suelos por tamizado*.

### 5.4.2.3. Assaig de la caiguda de la bola

- **Objectiu**

L'objectiu d'aquest assaig és donar una informació sobre la capacitat aglutinant de la terra analitzada, en concret la proporció aproximada de l'argila que conté.

- **Resultats**

Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 2.1, 2.2 i 2.3 de l'annex G. En aquest assaig es valorarà l'estat de la bola després de la caiguda. L'assaig s'ha realitzat una vegada per a cada mur, tal com es presenta a la Taula 5.4.2.1-1, amb els resultats corresponents.

ASSAIG CAIGUDA DE LA BOLA		
Mur	Estat bola després caiguda	Contingut d'argila
1	S'esmicola completament	Baix
2	S'esmicola completament	Baix
A	S'esmicola completament	Baix
B	S'esmicola completament	Baix
C	Es deforma, però no es fissura excessivament.	Òptim
D	S'esmicola completament	Baix
E	S'esmicola completament	Baix
F	Es deforma, però no es fissura excessivament.	Òptim
G	S'esmicola completament	Baix
H	Es deforma, però no es fissura excessivament.	Òptim

Taula 5.4.2.1-1. Resultats de l'assaig de caiguda de la bola.

- **Conclusions**

Les normatives consultades són SAZS-724, la PIET 70 i el document *Bases para el diseño y construcción con tapial* (Bauluz, 1992). Però, aquests no contempen assajos *in situ*. És per aquest motiu que s'ha utilitzat, com a referència, el procediment establert al llibre *Manual de Construcció en tierra* (Minke, 2010).

La majoria de les mostres analitzades tenen un baix contingut d'argila, exceptuant les mostres preses als murs C, F i H que en tenen més quantitat. Les que presenten un contingut baix d'argila, tenen una deficiència en el material aglutinant i, per tant, poca plasticitat. Per aquest darrer motiu, s'hi ha d'afegir un material que aporti aquesta capacitat aglutinant, com per exemple el ciment. Aquest assaig només és qualitatiu i cal completar-lo amb l'assaig per a la determinació de la granulometria del sòl, regulat per la normativa *UNE EN 103-101: Análisis granulométrico de suelos por tamizado* i la *UNE 103-102-95: Análisis granulométrico de suelos finos por sedimentación*.

#### 5.4.2.4. Índex de rebot. Escleròmetre

- **Objectiu**

L'objectiu d'aquest assaig és verificar l'ús de l'escleròmetre com a assaig no destructiu per tal de determinar-ne la resistència. L'assaig es realitzarà immediatament després de la finalització de la compactació de la tongada. Durant l'anàlisi dels resultats, aquests es relacionaran amb la densitat de cada una de les provetes. D'aquesta manera s'intentarà establir una relació entre l'índex de rebot i la densitat, i així poder determinar uns valors orientatius d'aquesta dels murs de tàpia durant la seva execució.

- **Resultats**

Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 4.1, 4.2 i 4.3 de l'annex G. Durant l'assaig s'han obtingut uns valors nuls, ja que l'escala de l'escleròmetre marcava zero. Això és degut a la presència d'humitat de la terra acabada de compactar. Aquesta té molt poca consistència i com a conseqüència la tija de l'escleròmetre fa un forat a la terra, tal i com es pot veure a la Fig. 4.4-1 de l'annex G.

- **Conclusions**

L'escleròmetre és un aparell creat per a determinar l'índex de rebot del formigó endurit, tal com indica la normativa *UNE-EN 12504-2 (2002)*. Per tant, aquest aparell no és apte per a materials com la terra compactada immediatament després de la seva compactació. Aquesta té molt poca consistència i, com a conseqüència, els resultats obtinguts són nuls. Per aquest motiu, no s'han pogut relacionar els resultats de l'índex de rebot amb la densitat de les provetes de tàpia. Per tal de poder mesurar l'índex de rebot dels murs durant la seva execució, es podria fer servir un altre aparell més sensible, capaç de mesurar resistències més baixes. Aquest aparell podria ser el Martell Schmidt tipus PT, utilitzat per a formigons lleugers.

#### 5.4.2.5. Índex de rebot. Martell Schmidt

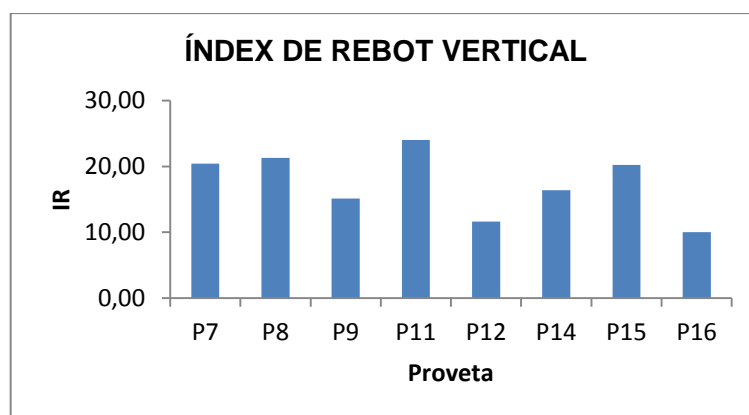
- **Objectiu**

L'objectiu d'aquest assaig és verificar l'ús del martell Schmidt com a assaig no destructiu per tal de determinar-ne la resistència. L'assaig es realitzarà a diverses tongades de cada mur immediatament després de la finalització de la compactació d'aquesta. Durant l'anàlisi dels resultats, aquests es relacionaran amb la densitat de cada proveta corresponent a cada un dels murs. S'intentarà establir una relació entre l'índex de rebot i la densitat, per tal de determinar uns valors orientatius de la densitat dels murs de tàpia durant la seva execució.

- **Resultats**

Els materials i el procediment utilitzats per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 5.1, 5.2 i 5.3 de l'annex G. L'assaig s'ha realitzat en diverses tongades dels murs, exceptuant els murs 1, 2, A i B. En cada assaig s'han efectuat 8 impactes i s'ha calculat la mitjana dels resultats obtinguts, com es mostra a la Taula 5.4-1 de l'annex G.

A la Gràfica 5.4-1, s'hi pot observar que les provetes tenen una mitjana d'índex de rebot entre 10 i 24 unitats de l'escala de l'aparell. La proveta amb l'índex de rebot més baix és la P16, mentre que la proveta amb l'índex de rebot més alt és la P11.

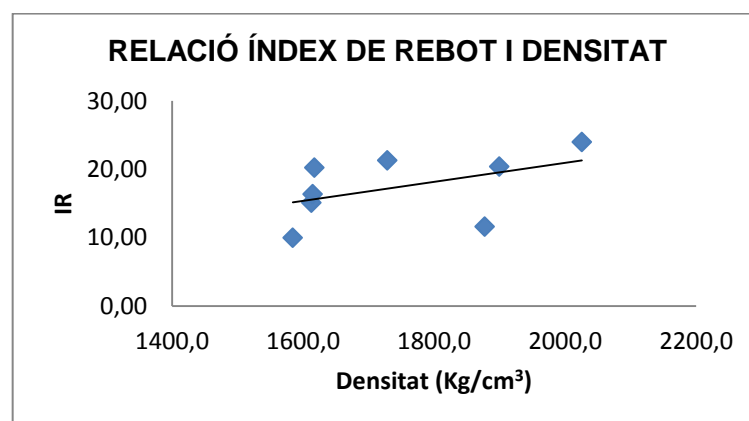


Gràfica 5.4.-1. Mitjanes dels resultats de l'assaig de l'índex de rebot de cada proveta.

#### Relació de l'índex de rebot amb la densitat

Les dades obtingudes en aquest assaig s'han relacionat amb la densitat de cada proveta, obtenint la regressió lineal que es mostra a la Gràfica 5.4-2. La pendent de la línia de tendència és positiva. Això vol dir que quan augmenta la densitat, l'índex de rebot també incrementa. El coeficient de correlació lineal,  $R^2$ , indica en tant per u, la relació que hi ha entre les dades. Per a aquesta recta, el coeficient de correlació és igual a 0,225. Si s'expressa en tant per cent, el resultat és del 22,5%. La funció de la recta de regressió resultant és la següent:

$$y = 0,0139x - 6,9528$$



Gràfica 5.4-2. Relació de la densitat i l'índex de rebot obtingut amb el martell Schmidt.

La proveta amb un índex de rebot més baix és la P16, com s'ha comentat anteriorment. La densitat d'aquesta és de  $1584 \text{ kg/m}^3$  i l'índex de rebot és de 10 unitats de l'escala de l'aparell. La peça P11 presenta un índex de rebot de 24 unitats, el més elevat dels valors obtinguts a l'assaig, i una densitat de  $2025 \text{ kg/m}^3$ .

- **Conclusions**

El martell Schmidt és un tipus d'escleròmetre que s'utilitza per a mesurar l'índex de rebot en formigons lleugers. El resultat de l'índex de rebot obtingut amb el martell Schmidt varia en funció de la compactació i del grau d'humitat que conté la barreja. Els coeficients de correlació, obtinguts de les rectes de regressió lineal, són molt baixos, per tant no es pot considerar que el material es comportarà seguint les línies de tendència. Per altra banda, com posteriorment es descriurà, amb un baix o elevat contingut d'humitat s'aconsegueix una densitat més baixa que amb la humitat òptima, per tant, aquest assaig no és viable per a obtenir informació sobre la densitat dels murs durant la seva execució.

### 5.4.3. Assajos laboratoris

#### 5.4.3.1. Anàlisi granulomètric de sòls per tamisatge

- **Objectiu**

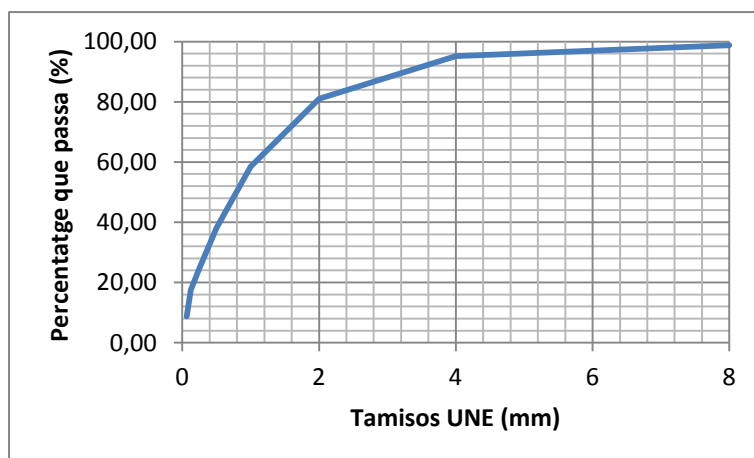
L'objectiu d'aquest assaig és determinar les diferents mides de les partícules del sòl presents en el solar de l'habitatge de Martorelles, ja que aquest serà la matèria primera utilitzada per a la construcció dels murs. Per altra banda, aquest assaig s'utilitzarà per a controlar que la dosificació utilitzada en obra sigui l'especificada en el projecte.

- **Resultats**

Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 1.2, 1.2 i 1.3 de l'annex H. Durant la realització de l'assaig s'han pesat les masses retingudes en cada un dels tamisos. Amb aquests resultats s'han realitzat unes taules on es mostren: el pesos retinguts, el pesos acumulats, i finalment, la massa i el % retingut en cada un dels tamisos. Els percentatges retinguts en cada tamís permetran definir una corba granulomètrica que identificarà la tipologia de sòl de què es disposa. Primerament, es comentaran els dos tipus de sòl trobats en el solar, és a dir, els anomenats terra tipus 1 i terra tipus 2, per tal de definir-ne la seva tipologia. A continuació, es comentaran els resultats referents a les mostres extretes durant l'execució de l'obra, barreja 1 i barreja 2, i així, saber quina dosificació s'ha utilitzat en obra i verificar si és l'especificada en el projecte.

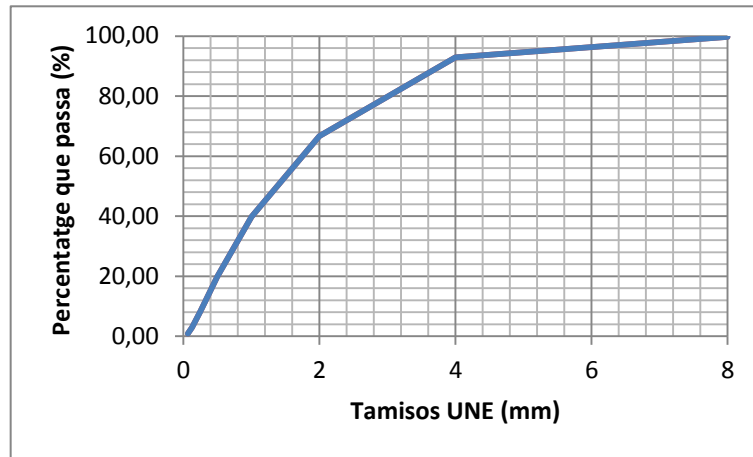
La mostra de terra tipus 1, segons els resultats de l'assaig granulomètric que es mostren en la Taula 1.4-1 de l'annex H, està composta per un 91,24% d'arena i un 8,76 % de llims i argila (Gràfica 5.4.3.1-1). Per tant, es tracta d'un sòl sorrenc. La terra tipus 2 està formada, com es mostren en la Taula 1.4-2 de l'annex H i en la corba de la Gràfica 5.4.3.1-2, per un 99,10% d'arena i un 0,9% de llims i argila, per tant, com en el cas anterior també es tracta d'un sòl sorrenc.

Els resultats referents a la barreja tipus 1 es mostren a la Taula 1.4-3 de l'annex H i mitjançant una corba granulomètrica (Gràfica 5.4.3.1-3). Aquesta està formada per un 97,79% d'arena i un 2,21% de llims i argila, és a dir, es tracta d'un sòl sorrenc. La barreja 2, com en els casos anteriors, és un sòl sorrenc, compost per un 98,19% d'arena i un 1,81% de llims i argila, tal i com s'observa en els resultats de la Taula 1.4-4 de l'annex H. La corba granulomètrica de la barreja 2 està representada a la Gràfica 5.4.3.1-1.

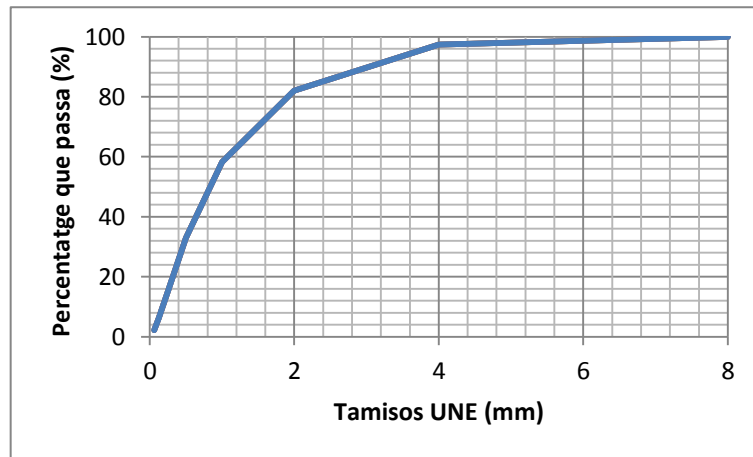


Gràfica 5.4.3.1-1. Corba granulomètrica de la terra tipus 1.

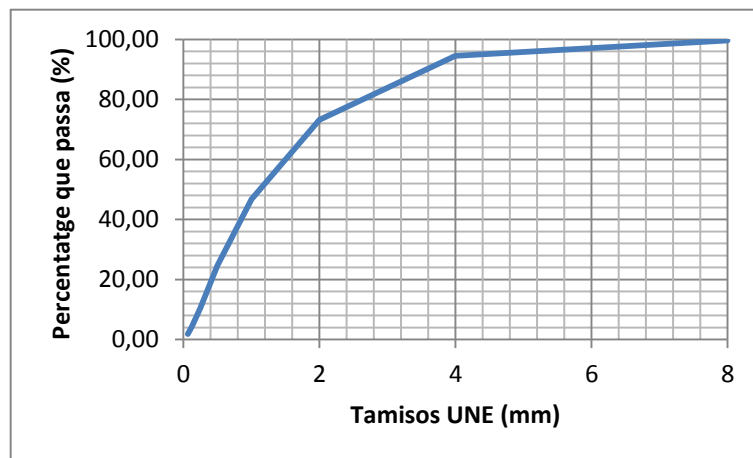




Gràfica 5.4.3.1-2. Corba granulomètrica de la terra tipus 2.



Gràfica 5.4.3.1-3. Corba granulomètrica de la barreja 1.



Gràfica 4. Corba granulomètrica de la barreja 2.

- **Conclusions**

Actualment, a l'Estat no existeix cap normativa per regular la construcció en tàpia. Per aquest motiu, s'han consultat normatives estatals d'altres tipologies constructives i normatives d'altres països que fan referència a la tàpia.

La normativa Piet 70, referent a la construcció en tàpia, recomana la utilització d'un sòl amb una dosificació d'un 10-40% d'argila, un 20-40% de llims, un 10-40% de sorra i 10-20% de grava fina. Aquesta dosificació és semblant a altres normatives, com per exemple la mexicana NMAC o SAZS724 de Nova Zelanda. També s'ha consultat la UNE41410, referent a la construcció en BTC. En aquesta no s'hi especifica una granulometria concreta, sinó que recomana utilitzar una granulometria entre uns límits representats a la Gràfica 1.4-1, annex H. Per altra banda, s'ha consultat la revista *Informes de la construcció* (Bestraten, 2002), on els valors especificats són molt semblants als de les normatives. En totes les fonts consultades, existeix una gran diversitat de granulometries, però totes coincideixen, aproximadament, amb l'indicada a continuació: 0-15% grava, 40-50% sorra, 20-35% llims, 15-25% argila.

La terra del solar de Martorelles és un sòl sorrenc amb un contingut de sorra superior al 90% i un contingut de llims i argila inferior al 10%. Els resultats obtinguts s'han comparat amb els resultats de l'estudi geotècnic (Fig.1.4-1, Fig.1.4-2, Fig.1.4-3, Fig.1.4-4). En aquestes figures s'hi pot veure que a més profunditat menys fins conté el sòl. És a dir, amb els resultats de l'assaig de granulometria es pot afirmar que s'ha utilitzat el sòl de 2-3 m de profunditat, i aquest és un sòl amb molt poc contingut de fins i amb presència de grava.

La dosificació especificada en projecte, segons el mur executat, és del 40% de la terra tipus 1, el 40% de la terra tipus 2 i el 10% d'arilita. El 10% restant és el contingut de ciment. Aquest estabilitzant s'utilitza per augmentar la capacitat aglutinant i la resistència a compressió dels elements, ja que el sòl conté un baix contingut de llims i argiles i la capacitat aglutinat és molt baixa. Degut a la poca quantitat de fins no es realitzarà l'assaig de l'anàlisi granulomètric de sòls fins per sedimentació, segons UNE 103-102, ja que la capacitat aglutinat de la barreja no dependrà d'aquests, sinó del ciment.

El sòl emprat no es troba en les granulometries recomanades en les normatives consultades, tal i com es pot veure a la Gràfica 1.4-1 de l'annex H. Malgrat això, en les proves de densitat i resistència, que més endavant s'analitzaran, la dosificació emprada ha donat bons resultats. Per tant, s'ha comprovat que una granulometria amb un percentatge menor del 10% d'argila i amb un 10% de ciment dóna resultats satisfactoris. Segons els resultats obtinguts a l'assaig es pot afirmar que no s'ha utilitzat la dosificació especificada en projecte, ja que el contingut de llims i argila és d'un 2% i aquest hauria de ser superior. El problema és que no es va separar adequadament la terra durant la seva extracció. Per altra banda s'haurien d'introduir sistemes mecànics per realitzar la barreja i garantir, així, la dosificació establerta al projecte.

#### **5.4.3.2. Determinació del límit líquid d'un sòl pel mètode de l'aparell de Casagrande**

- **Objectiu**

L'objectiu d'aquest assaig és determinar el límit líquid del sòl utilitzat per a la construcció dels murs de l'habitatge de Martorelles. El límit líquid és el percentatge d'aigua afegida al sòl que fa que aquest no tingui la suficient resistència mecànica per a ser modelada.

• **Resultats**

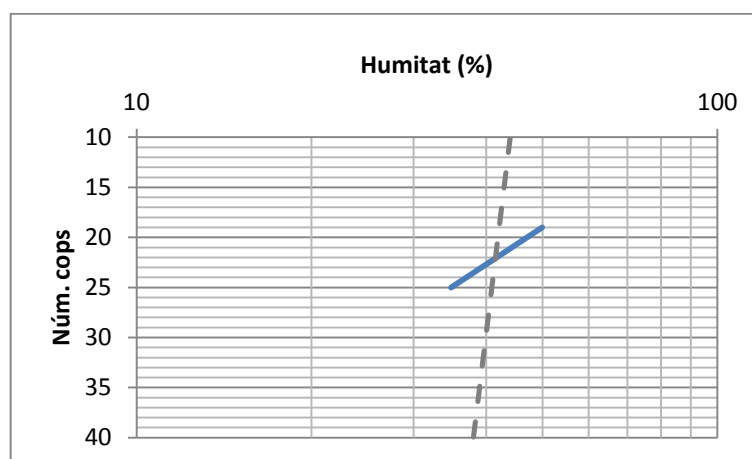
Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 2.1, 2.2, 2.3 de l'annex H. El límit líquid indica la quantitat d'humitat necessària per a què aquest sòl es comporti com a un líquid. Per tant, seguidament, s'analitzaran les dades obtingudes per tal d'establir el límit líquid d'aquest sòl.

En la següent taula es mostren els resultats obtinguts de la barreja 1, és a dir la humitat de la terra per a cada una de les determinacions realitzades.

MOSTRA BARREJA 1	DETERMINACIONS		
	Entre 35-15 cops	Entre 25-15 cops	Entre 35-25 cops
Número cops	28	19	25
Pes humit (g)	9,00	10,00	10,00
Pes sec (g)	7,00	6,67	7,42
Pes de l'aigua (g)	2,00	3,33	2,58
Humitat %	28,57	49,93	34,77

Taula 5.4.3.2-1. Resultats de l'assaig de la determinació del límit líquid de la barreja 1.

Els resultats de la barreja 1 s'han representat a la Gràfica 5.4.3.2-1, on a les abscisses s'hi representen el nombre de cops, i a les ordenades la humitat, aquest últim en escala logarítmica. En aquesta s'hi ha traçat una recta amb línia discontinua i un pendent de -0,117 que disti la mateixa distància entre les determinacions de 25-15 i 35-25 cops. En la intersecció de la recta discontinua i l'ordenada de 25 cops és la humitat del límit líquid. Com es pot veure el límit líquid d'aquesta mostra és 40,5% d'humitat.

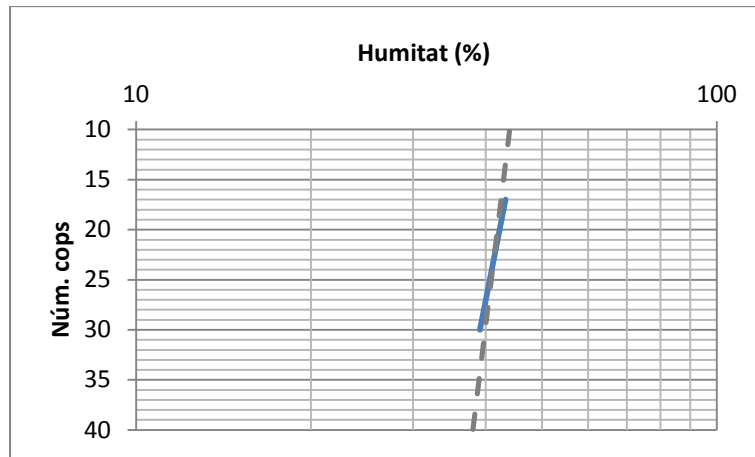


Gràfica 5.4.3.1-1. Determinació del límit líquid de la barreja 1.

Els resultats obtinguts per a la barreja 2 es mostren a la Taula 5.4.3.2-2. Repetint el mateix procediment que s'ha utilitzat per a la barreja 1, s'han representat els valors corresponents a la barreja 2 en la Gràfica 5.4.3.1-2. Com en el cas anterior, la barreja 2 té un límit líquid de 40,5%.

MOSTRA BARREJA 2	DETERMINACIONS		
	Entre 35-15 cops	Entre 25-15 cops	Entre 35-25 cops
Número cops	24	17	30
Pes humit (g)	10,00	10,00	10,00
Pes sec (g)	6,62	6,98	7,19
Pes de l'aigua (g)	3,38	3,02	2,81
Humitat %	51,06	43,27	39,08

Taula 5.4.3.2-2. Resultats de l'assaig de la determinació del límit líquid de la barreja 2.



Gràfica 5.4.3.1-2. Determinació del límit líquid de la barreja 2.

- **Conclusions**

Les normatives consultades estableixen uns límits lleugerament diferents, per exemple, en la UNE 41410 s'especifica un límit líquid del 25-50%. Segons l'Institut tecnològic de Sant Domingo el límit líquid ha de ser inferior al 45%. La normativa australiana HB 195-2002 ha de ser inferior al 35-45% o segons Houben & Guillaud (1994) ha d'estar entre el 25 i el 50%. Per altra banda, el CRAterre estableix uns valors del límit líquid segons la tipologia de sòl. És a dir, per a un sòl sorrenc, com és el cas estudiat, determina un límit líquid entre el 0 i el 30%. Per tant, el valor obtingut durant l'assaig, corresponent a un límit líquid del 40,5%, és un valor acceptat en moltes de les normatives consultades.

### 5.4.3.3. Determinació del límit plàstic d'un sòl

- **Objectiu**

L'objectiu d'aquest assaig és determinar el límit plàstic, és a dir, especificar el percentatge mínim d'aigua per tal que el sòl, utilitzat en els murs de l'habitatge de Martorelles, sigui modelable.

- **Resultats**

Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als 3.1, 3.2, 3.3 de l'annex H. Per obtenir el límit plàstic s'ha de fer la mitjana aritmètica de les humitats de les dues determinacions, sempre que aquestes dues no difereixin de més d'un 2%.

En primer lloc, s'analitzaran les dades de la barreja 1. L'assaig s'ha realitzat per a una  $M_1$  i una  $M_2$ , tal i com estableix la normativa. A la Taula 5.4.3.2-1 es mostren les dades obtingudes de la barreja 1, on el límit plàstic de  $M_1$  és 26,4 i el de  $M_2$  és 24,5. Per tant, el límit plàstic de la barreja 1 és del 25,5% d'humitat.

BARREJA 1	PES HUMIT (g)	PES SEC (g)	HUMITAT(g)	HUMITAT (%)
M1	4,98	3,94	1,0	26,4
M2	5,59	4,49	1,1	24,5

Taula 5.4.3.3-1. Resultats de l'assaig de determinació de la barreja 1.

El límit plàstic de la barreja 2, seguint el mateix procediment que en la barreja 1, s'aconsegueix fent la mitjana aritmètica dels resultats obtinguts de  $M_1$  i  $M_2$ . Tal com es reflexa a la Taula 5.4.3.3-2, el valors obtinguts durant l'assaig han estat d'un 26,2% en la  $M_1$  i un 27,9% en la  $M_2$ . És a dir, el límit plàstic de la barreja correspon al 27,1% d'humitat.

BARREJA 2	PES HUMIT (g)	PES SEC (g)	HUMITAT(g)	HUMITAT (%)
M1	6,59	5,22	1,37	26,2
M2	4,99	3,90	1,09	27,9

*Taula 5.4.3.3-2. Resultats de l'assaig de determinació de la barreja 1.*

Un cop coneguts els límits de plasticitat de les barreges i el límits líquids, aquests últims determinats a l'assaig anterior, es podrà conèixer l'índex de plasticitat. L'índex de plasticitat és la diferència entre el límit líquid i el límit plàstic. La Taula 5.4.3.3-3 mostra els límits i l'índex de plasticitat de cada una de les barreges. En aquesta s'hi pot observar que la barreja 1 té un índex de plasticitat del 15,1%, en canvi, la barreja 2 és del 13,4%.

MOSTRA	LÍMIT LÍQUID	LÍMIT PLÀSTIC	ÍNDEX PLASTICITAT
Barreja 1	40,5	25,4	15,1
Barreja 2	40,5	27,1	13,4

*Taula 5.4.3.3-3. Índex de plasticitat de les barreges.*

- **Conclusions**

La insuficient normativa dedicada a la construcció de terra vigent a l'Estat, ha fet que s'hagin consultat normatives d'altres països. En la majoria d'aquestes no s'estableix un valor de límit plàstic, sinó que directament es refereixen a l'índex de plasticitat. Aquest índex és el resultat de la diferència entre el límit líquid i el límit plàstic. Per exemple, segons l'Institut tecnològic de Santo Domingo l'índex de plasticitat ha de ser inferior al 18%. En la normativa australiana HB 195-2002 ha de ser inferior al 15-30% o segons Houben & Guillaud (1994) ha d'estar entre el 2 i el 30%. També s'ha consultat la NBR 13553, on especifica un límit igual o inferior al 18%. En la normativa UNE 41410 s'hi presenta una gràfica amb la zona recomanada de la plasticitat de les terres, aquesta es troba a la Gràfica 3.4-1 de l'annex H. En aquesta s'hi ha situat el punt on es troba el sòl de l'habitatge de Martorelles, i aquest queda fora de la zona recomanada.

Per tant, l'índex de plasticitat de la terra, utilitzada en els murs de tàpia de l'habitatge de Martorelles, entra a dins dels valors establerts en la majoria de les normatives, excepte la UNE 41410. Això vol dir que les partícules <0,063 mm, que conformen aquest sòl, tenen un comportament adequat per a ser utilitzades com a material de construcció.

#### 5.4.3.4. Assaig de compactació. Proctor modificat

- **Objectiu**

L'objectiu d'aquest assaig és determinar la relació entre la densitat seca i la humitat, per una energia de compactació de 2,632 J/cm<sup>3</sup>, per tal de definir la densitat seca màxima i la seva humitat corresponent, anomenada humitat òptima. És important conèixer aquesta relació, ja que depèn d'aquesta aconseguir una màxima densitat en el murs. Com a conseqüència, aquests murs presentaran una menor porositat, garantint-ne la durabilitat i la resistència mecànica. Amb aquest assaig també es pretén determinar la humitat utilitzada en obra durant l'execució dels murs de tàpia.

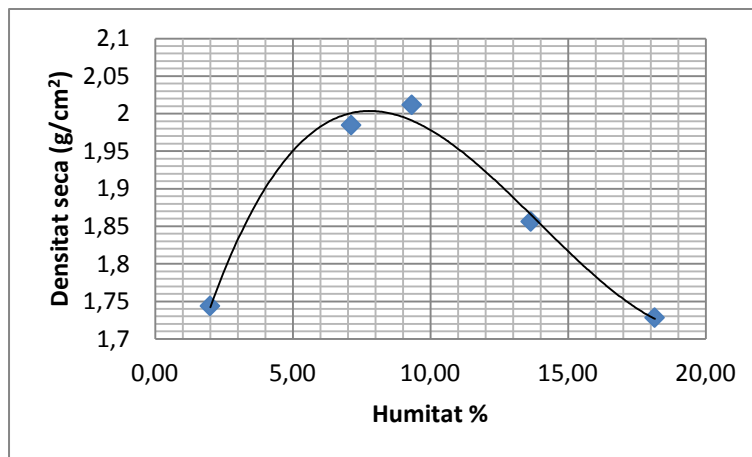
- **Resultats**

Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 4.1, 4.2 i 4.3 de l'annex H. Els resultats s'obtenen de seguir la seqüència d'operacions que s'estableixen a l'annex A de la normativa UNE 103-501-94. A les Taules 4.4-1 i 4.4-2 de l'annex H es mostren les taules completes per a les barreges analitzades. A continuació es mostraran les taules resumides amb els resultats obtinguts de les densitats per a cada percentatge d'humitat. A la Taula 5.4.3.4-1 és mostren els resultats dels les cinc

determinacions realitzades per a la barreja 1. Com es pot veure, la densitat més elevada és de 2,01 g/cm<sup>3</sup>. Aquesta correspon a una humitat de 9,33%.

Núm. Proctor	Densitat seca (g/cm <sup>3</sup> )	Humitat (%)
1	1,743984	2,00
2	1,984826	7,13
3	2,011855	9,33
4	1,856464	13,65
5	1,728486	18,15

Taula 5.4.3.4-1. Resultats de l'assaig de compactació, Proctor modificat, de la barreja 1.



Gràfica 5.4.3.4-1. Resultats obtinguts en l'assaig de compactació en la Barreja 1 i amb la corresponent línia de tendència polinòmica de tercer ordre.

A la Gràfica 5.4.3.4-1, s'hi ha representat una corba polinòmica de tercer ordre amb els punts determinats en l'assaig, per tal de conèixer la corba que formen aquests. La corba de tendència obtinguda correspon a l'equació següent:

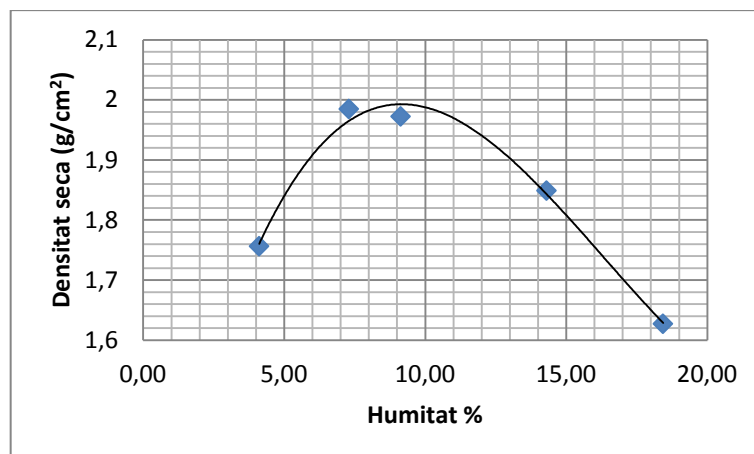
$$y = 0,0003x^3 - 0,0135x^2 + 0,1509x + 1,4917$$

També s'ha extret la R<sup>2</sup> que és 0,9887. La R<sup>2</sup> ens indica el grau d'ajust del model obtingut amb la regressió polinòmica, on el resultat d'aquesta es dona en tant per u. Per tant, la humitat òptima, segons el model, és del 8%, aconseguint una densitat seca de 2,0 g/cm<sup>3</sup>.

La barreja 2, també ha estat sotmesa a aquest assaig. Els resultats es mostren a la Taula 5.4.3.4-2. En aquest cas, s'observa que la densitat més alta és en el segon cas, on la humitat òptima és 9,13% i una densitat seca de 1,98 g/cm<sup>3</sup>.

Núm. Proctor	Densitat seca (g/cm <sup>3</sup> )	Humitat (%)
1	1,756381	4,11
2	1,984826	7,29
3	1,972407	9,13
4	1,848917	14,30
5	1,627236	18,43

Taula 5.4.3.4-2. Resultats de l'assaig de compactació, Proctor modificat, de la barreja 2.



**Gràfica 5.4.3.4-2. Resultats obtinguts en l'assaig de compactació en la Barreja 2 i amb la corresponent línia de tendència polinòmica de tercer ordre.**

La corba obtinguda amb els diversos proctors de la barreja 2, s'ha representat a la gràfica 5.4.3.4-2. En aquesta s'hi ha traçat una línia de tendència polinòmica de tercer ordre, expressada per l'equació següent:

$$y = 0,0003x^3 - 0,0169x^2 + 0,2223x + 1,1072$$

El grau d'ajust,  $R^2$ , del model obtingut amb la regressió polinòmica és 0,9905%. Per tant, la humitat òptima, segons el model creat a partir dels punts obtinguts durant l'assaig, és del 9,2%, aconseguint una densitat seca de 1,99 g/cm<sup>3</sup>.

- **Conclusions**

El grau de compactació necessari, determinat per l'assaig Proctor modificat, varia en funció del tipus de terra i, molt especialment, de la seva humitat. L'augment d'humitat correspon, fins a un punt anomenat òptim, un reblaniment del terreny que en facilita la compactació; però passat aquest límit, l'aigua que ocupa els porus, en ser pressionada, tendeix a separar les partícules sòlides i, així, disminueix la densitat. Per tant, aquest assaig s'hauria de realitzar per a cada projecte.

Les normatives consultades, per exemple la UNE 41410 o la NBR 12023, no estableixen cap quantitat d'humitat per a compactar la terra, ja que per a cada tipus de sòl i cada esforç de compactació existeix una humitat òptima. Amb aquesta humitat s'obtenen les condicions per aconseguir una major compactació, és a dir, la densitat màxima. Quan el sòl assoleix la densitat màxima aquest presenta una menor porositat, caracteritzant així un material més durable i més resistent mecànicament.

Amb els valors obtinguts durant l'assaig s'ha establert un model, corresponent a una línia de tendència polinòmica per a cada una de les mostres, ja que només amb els valors obtinguts no es podria definir correctament la humitat òptima per la falta de punts. Un cop representades les corbes de tendència, s'han determinat les humitats òptimes per a cada una de les barreges assajades. La humitat òptima per a la barreja 1 és del 8%, obtenint una densitat de 2,0 g/cm<sup>3</sup>. En el cas de la barreja 2, la humitat òptima del 9,2%, aconseguint una densitat de 1,99 g/cm<sup>3</sup>.

Per tant, la humitat òptima del sòl de l'habitatge de Martorelles correspon al 8-9% , aquesta és més baixa que el 10% especificat en diverses fonts, (Espanya, 1999), (Font, 2011). Aquest percentatge inferior és degut a la baixa proporció de fins, ja que aquests necessiten una elevada quantitat d'aigua per activar les forces aglutinants. Cal tenir en compte que la humitat òptima, del 8-9%, serà la mínima utilitzada en obra, ja que en la barreja s'hi afegirà el 10% de ciment, i aquest necessita una gran quantitat d'aigua per hidratar-se. Tal i com s'especifica en el projecte la humitat afegida al sòl, per a compactar-lo, serà del 14%. Durant

la inspecció de les provetes a l'apartat 5.4.3.9 s'ha obtingut una mitjana de 1700 Kg/m<sup>3</sup>, per tant, es pot afirmar que en els murs de tàpia de Martorelles s'ha utilitzat una humitat del 17%, superior a la òptima.

### 5.4.3.5. Determinació del contingut de matèria orgànica oxidable d'un sòl pel mètode del permanganat potàssic

- **Objectiu**

L'objectiu d'aquest assaig és determinar el contingut de matèria orgànica del sòl utilitzat en la construcció dels murs de tàpia de l'habitatge de Martorelles. Els sòls que contenen unes quantitats importants de matèria orgànica, tenen unes característiques que canvien amb el temps, per exemple poden deixar porositat i, per tant, disminuir la resistència a compressió. Aquesta tipologia de sòls també poden proporcionar una certa cohesió, però no és ni important ni permanent. Tot això, comporta un factor de risc de descomposició, gens aconsellable en cas d'utilitzar-se com a material de construcció.

- **Resultats**

Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als 5.1, 5.2 i 5.3 de l'annex H. En primer lloc, s'ha realitzat la preparació de la solució de permanganat potàssic i la solució d'àcid oxàlic. A les Taules 5.4-1 i 5.4-2 de l'annex H hi ha les quantitat de permanganat utilitzades per tal de determinar les dues solucions. Els factors de normalitat obtinguts, mitjançant les fórmules de l'apartat 5.2 de l'annex H es mostren a la Taula 5.4.3.5-1:

FACTOR NORMALITAT SOLUCIÓ PERMANGANAT POTÀSSIC (f)	FACTOR NORMALITAT SOLUCIÓ ÀCID OXÀLIC (F)
0,97496389	1,169956668

Taula 5.4.3.5-1. Factors de normalitat de les solucions de permanganat potàssic i d'àcid oxàlic.

Un cop obtinguts els factors de normalitat de les solucions i realitzat l'assaig, s'ha procedit a l'obtenció dels resultats de les dues barreja mitjançant la fórmula descrita en aquesta normativa:

$$MO_i = \frac{0,1032 \cdot C_i \cdot f}{M_i}$$

A les Taules 5.4.3.5-2 i 5.4.3.5-3 es mostren els grams assajats (C<sub>i</sub>) i el percentatge de matèria orgànica present en la barreja. En el cas de la barreja 1 el contingut de matèria orgànica és d'un 1,81%, en canvi per al barreja 2 és de 1,61%.

MOSTRA	MASSA C <sub>i</sub> (g)	MATÈRIA ORGÀNICA (%)	MATÈRIA ORGÀNICA BARREJA 1 (%)
M1	0,25	2,01	1,81
M2	0,25	1,61	

Taula 5.4.3.5-2. Resultats de la determinació del contingut de matèria orgànica de la barreja 1.

MOSTRA	MASSA C <sub>i</sub> (g)	MATÈRIA ORGÀNICA (%)	MATÈRIA ORGÀNICA BARREJA 2 (%)
M1	0,25	1,61	1,61
M2	0,25	1,61	

Taula 5.4.3.5-3. Resultats assaig de determinació del contingut de matèria orgànica de la barreja 2.



- **Conclusions**

Els resultats d'aquest assaig s'han contrastat amb diverses de normatives, tant estatals com d'altres països. En primer lloc, s'han comparat amb normatives estatals vigents, com per exemple el CTE DB-Fàbrica i l'EHE. Però, en aquests documents no s'hi especifica cap percentatge màxim de matèria orgànica en el sòl utilitzat per a la fabricació de maons o del formigó armat, respectivament. Per altra banda, en la UNE 41410, referent a la construcció en BTC, s'hi indica un valor màxim del 2% de matèria orgànica.

En segon lloc, s'han consultat normatives vigents d'altres països, totes elles referents a la construcció en tàpia. Moltes d'aquestes, per exemple la NZS 4298, de Nova Zelanda, no defineixen un percentatge concret. La normativa NMAC, de Mèxic, especifica un valor inferior de 2% de contingut de matèria orgànica. També s'han comparat, els resultats, amb el 3% especificat en la revista *Ciencia y Sociedad* de l'Institut Tecnològic de Sant Domingo, República Dominicana.

El sòl utilitzat per a l'execució dels murs conté una mitjana de 1,71% de matèria orgànica, valor inferior a qualsevol de les normatives consultades que marquen uns percentatges menors al 2-3%. Per tant, es pot afirmar que el contingut de matèria orgànica no serà perjudicial, tant en termes de durabilitat com de resistència, per als mus de tàpia.

#### 5.4.3.6. Contingut de sals solubles en un sòl

- **Objectiu**

L'objectiu d'aquest assaig és la determinació de la presència de sals solubles del sòl utilitzat en la construcció dels murs de tàpia de l'habitatge de Martorelles. És important conèixer el percentatge de sals solubles que conté el sòl, ja que si aquest fos molt elevat podrien aparèixer lesions de caràcter químic, causant una descomposició del material i afectant a la seva durabilitat.

- **Resultats**

Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 6.2, 6.2 i 6.3 de l'annex H. Les mostres analitzades són la barreja 1 i la barreja 2 i els resultats de l'assaig es mostren a les Taules 5.4.3.6-1 i 5.4.3.6-2, respectivament. Per a l'obtenció del contingut de sals solubles s'ha utilitzat l'expressió següent:

$$\text{Sals solubles en } 1000 \text{ cm}^3 \text{ d'extracte aquós} = 1000 \frac{r}{v}$$

La barreja 1 conté 0,55 g/l, això vol dir que aquesta mostra conté 550 mg/l, o bé un 0,055% de sals soluble. La barreja 2 conté 0,75 g/l, per tant, aquesta mostra té un percentatge més elevat que l'anterior, igual al 0,075%.

Mostra	Volum inicial V (cm3)	Volum de líquid filtrat v (cm3)	Massa residus càpsula r (g)	Massa inicial de la terra seca P (g)	Sals solubles en 100 g de terra	
					(g)	Mitjana (g)
B1M1	500	100	0,05	50	0,5	0,55
B1M2	500	100	0,06	50	0,6	

Taula 5.4.3.6-1. Resultats assaig de contingut de sals solubles de la barreja 1.

Mostra	Volum inicial V (cm3)	Volum de líquid filtrat v (cm3)	Massa residus càpsula r (g)	Massa inicial de la terra seca P (g)	Sals solubles en 100 g de terra	
					(g)	Mitjana (g)
B2M1	500	100	0,07	50	0,7	0,75
B2M2	500	100	0,08	50	0,8	

Taula 5.4.3.6-2. Resultats assaig de contingut de sals solubles barreja 2.

- **Conclusions**

Actualment, no existeix una normativa específica referent a la construcció en tàpia que marqui un percentatge màxim de sals solubles. Per aquest motiu, s'han comparat els resultats amb diverses normatives vigents, tant estatals com d'altres països. Primerament, s'ha consultat la norma UNE 41410, referent a la construcció amb BTC. Aquesta estableix un valor màxim del 2% de sals solubles. També s'ha consultat el CTE, concretament amb el DB- Fàbrica, però aquest no marca un contingut màxim de sals solubles per a la realització dels maons. En el cas de l'EHE-08 referent al formigó armat, s'estableix un valor màxim de 0,08% de sulfats solubles continguts als àrids gruixuts i fins. Aquest valor és més baix, ja que alts continguts de sals malmetrien l'armadura.

Unes de les normatives consultades vigents d'altres països són, per exemple, la de Mèxic (NMAC) que estableix un màxim d'un 2% de sals solubles o la de Nova Zelanda (SAZS 724), però aquesta última no especifica cap valor concret. Per tant, segons els valors obtinguts en l'assaig, inferiors al 0,08%, es pot afirmar que el sòl és òptim per a ser utilitzat com a material de construcció, ja que totes les normatives descrites estableixen valors permesos més elevats que els obtinguts a l'assaig.

#### 5.4.3.7. Contingut de components amb tires reactives

- **Objectiu**

L'objectiu d'aquest assaig és la determinació del contingut de clorurs, nitrats, nitrits i sulfats del sòl utilitzat en la construcció dels murs de tàpia de l'habitatge de Martorelles. És important conèixer el percentatge dels elements esmentats que conté el sòl, ja que si aquest fos molt elevat podrien aparèixer lesions de caràcter químic i, per tant, causar una descomposició del material afectant la seva durabilitat.

- **Resultats**

Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 7.1, 7.2 i 7.3 de l'annex H. Les mostres analitzades són la barreja 1 i la barreja 2. Per a cada una d'elles s'ha realitzat l'assaig per a M<sub>1</sub> i M<sub>2</sub>. Els resultats de l'assaig es mostren a les Taules 5.4.3.7-1 i 5.4.3.7-2. La barreja 1 té un contingut de 750 mg/l de clorurs, 10 mg/l de nitrats, 5 mg/l de nitrits i més de 400 mg/l de sulfats. En percentatge, els valors són: 0,075% de clorurs, 0,001% de nitrats, 0,0005% de nitrits i més del 0,04% de sulfats.

CONTINGUT DE COMPONENTS AMB TIRES REACTIVES				
Mostra	Clorurs (mg/l)	Nitrats (mg/l)	Nitrits (mg/l)	Sulfats (mg/l)
M <sub>1</sub>	1000	10	5	>400
M <sub>2</sub>	500	10	5	>400
<b>Mitjana</b>	<b>750</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>&gt;400</b>

Taula 5.4.3.7-1. Resultats del contingut de components amb tires reactives de la barreja 1.

La barreja 2 conté 500 mg/l de clorurs, 10 mg/l de nitrats, 1 de nitrits mg/l i menys de 200 mg/l de sulfats. En percentatge, els valors són: 0,05% de clorurs, 0,001% de nitrats, 0,0001% de nitrits i menys del 0,02% de sulfats.

CONTINGUT DE COMPONENTS AMB TIRES REACTIVES				
Mostra	Clorurs (mg/l)	Nitrats (mg/l)	Nitrits (mg/l)	Sulfats (mg/l)
M <sub>1</sub>	500	10	1	<200
M <sub>2</sub>	500	10	1	<200
<b>Mitjana</b>	<b>500</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>&lt;200</b>

Taula 5.4.3.7-2. Resultats del contingut de components amb tires reactives de la barreja 2.

- **Conclusions**

Actualment, no existeix una normativa específica referent a la construcció en tàpia que marqui un percentatge màxim de clorurs, nitrats, nitrits i sulfats. Per aquest motiu, aquests s'han comparat l' EHE-08, referent al formigó armat. Aquesta determina que el contingut màxim d'ions de clorur, no podrà ser major al 0,05% en massa de l'àrid i que el contingut màxim de sulfats solubles en àcids serà inferior o igual al 0,8 % del pes de la mostra. Els resultat de clorurs de la barreja 1 és superior al màxim que determina la normativa, per tant, no seria acceptable per a la construcció. Malgrat això, la normativa consultada regula el formigó armat i aquest, conté armadures que són sensibles a ser malmeses per les sals. Pel que fa als clorurs de la barreja 2, el percentatge obtingut és del 0,05% i aquest és el màxim que estableix la norma, per tant, el contingut de clorurs de la mostra és acceptable per a la construcció.

El contingut de sulfats és a la barreja 1 i 2, del 0,04% i inferior al 0,02%. Aquests valors són inferiors al màxim que estableix la normativa EHE-08, per tant, la terra és adequada per a la construcció. Aquests assajos s'ha de completar amb l'assaig UNE 103205, que determina el contingut de sals solubles d'un sòl.

El contingut de nitrits i nitrats, no està regulat per cap normativa referent a la construcció. Aquestes sals que formen part del cicle del nitrogen, són perjudicials per al consum humà i per a altres espècies, en nivells alts. El contingut de nitrats és del 0,001% per a les dues barreges analitzades i el de nitrits és del 0,0001% a la barreja 1 i del 0,0005% a la barreja 2. Els percentatges obtinguts són molt baixos, per tant, en afirmar que no es tracta d'una quantitat nociva per a la construcció.

#### 5.4.3.8. Assaig organolèptic

- **Objectiu**

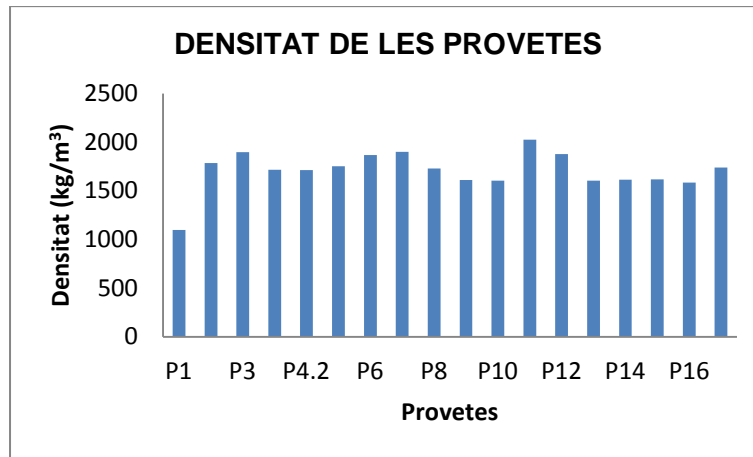
L'objectiu d'aquest assaig és inspeccionar les provetes, per determinar-ne les característiques dimensionals i la massa, i així, calcular-ne la densitat.

- **Resultats**

Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 8.1, 8.2 i 8.3 de l'annex H. Un cop mesurades l'amplada, la llargada i l'alçada de cada una de les provetes, s'ha calculat el seu volum, considerant-les una figura prismàtica. Però, durant la inspecció, s'ha observat que les peces havien perdut una quantitat de volum important degut al transport i a la manipulació. És per aquest darrer motiu que del volum de càlcul se'ls hi ha restant el volum que havia perdut cada una, obtenint així, un volum aparent. Tot seguit, s'ha determinat la massa de les mostres mitjançant la cèdula de càrrega. Finalment, s'ha calculat la densitat d'aquestes, amb l'expressió que s'indica a continuació, on  $\rho$  és densitat expressada en  $\text{Kg/m}^3$ ;  $m$  és la massa expressada en Kg; i  $V$  és el volum expressat en  $\text{m}^3$ .

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Els resultats obtinguts en aquest assaig, es mostren a la Taula 8.4-1, de l'annex H. A la Gràfica 5.4.3.8-1 s'hi ha representat la densitat de cada una de les provetes. En aquesta s'hi pot observar que la densitat més baixa és  $1100 \text{ Kg/m}^3$  i la més alta és  $2025 \text{ Kg/m}^3$ . Aquests valors corresponen a les provetes P1 i P11 respectivament. La densitat mitjana de les provetes és  $1700 \text{ Kg/m}^3$ .



Gràfica 5.4.3.8-1. Densitat de càlcul de les provetes P1-P17.

- **Conclusions**

El rang en el què es mouen els valors de la densitat de les provetes és bastant gran, ja que la diferència entre el valor més gran i el més petit és de  $900 \text{ Kg/m}^3$ . Durant la inspecció de les provetes es va observar que la peça P1 no s'havia realitzat amb la dosificació l'adequada, ja que el material es disgregava durant la seva manipulació. Per tant, si es descarta la P1, el rang en el què es mou la densitat disminueix fins a uns valors mínims i màxims de densitat de  $1584 \text{ Kg/m}^3$  i de  $2025 \text{ Kg/m}^3$ , respectivament. És a dir, la diferència entre els valors mínim i màxim és de  $450 \text{ Kg/m}^3$ .

Actualment, no existeix normativa que reguli la construcció en tàpia, per aquest motiu s'han consultat normatives d'altres tècniques i document de tipus informatiu. Primerament, s'ha consultat la normativa UNE 41410 referent a la construcció amb BTC, però aquesta no especifica una densitat mínima. Gernot (2010) estableix que la densitat ha d'estar entre  $1700 \text{ Kg/m}^3$  i  $2200 \text{ Kg/m}^3$ . La revista *Informes de la Construcción* (Bestraten, 2011) especifica que la densitat de la tàpia ha d'estar entre  $1400 \text{ Kg/m}^3$  i  $2200 \text{ Kg/m}^3$ . Per tant, la densitat de les provetes es troba dins dels valors acceptables per a la construcció en tàpia.

#### 5.4.3.9. Comportament tèrmic. Conductivitat tèrmica, difusió tèrmica i calor específic per densitat

- **Objectiu**

L'objectiu d'aquest assaig és determinar el comportament tèrmic dels murs de tàpia, mitjançant la comprovació de diversos paràmetres a les provetes testimoni. Aquestes tenen la mateixa dosificació, humitat i temps de compactació que els murs de l'habitatge de Martorelles. Els factors estudiats són la conductivitat tèrmica que és la propietat dels materials que mesura la capacitat de conducció de la calor a través d'ells; la difusió tèrmica que defineix la velocitat en què un material absorbeix i perd calor; i finalment, la calor específica que és la quantitat d'energia, en forma de calor, necessària per escalfar  $1 \text{ kg}$  de massa d'un material  $1^\circ\text{C}$ .

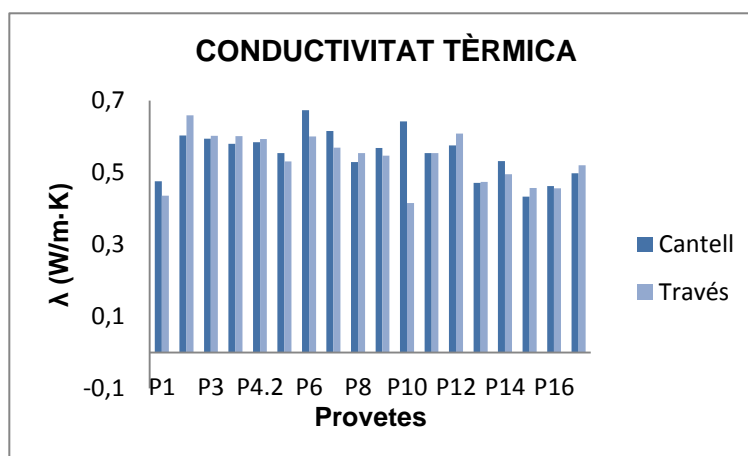
- **Resultats**

Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 9.1, 9.2 i 9.3 de l'annex H. Els factors estudiats s'han determinat en dues de les cares de cada proveta, aquestes són el cantell i el través de la peça.

### Conductivitat tèrmica

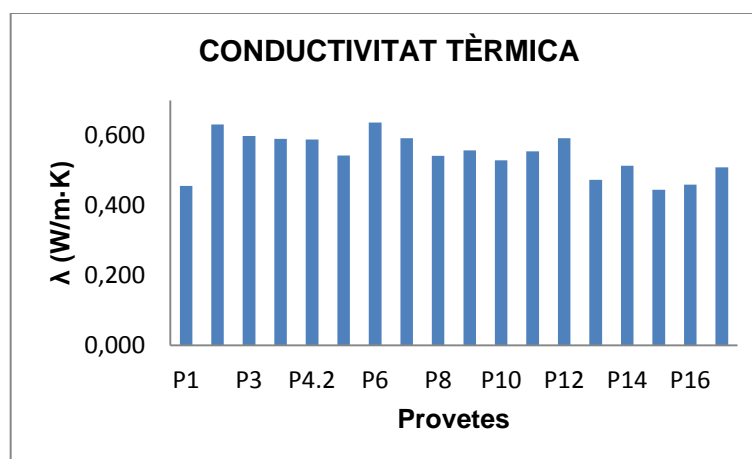
Els resultats obtinguts per a cada punt es mostren a la Taula 9.4-1 de l'annex H. En aquesta també es mostren les mitjana de cada proveta i la variació entre els punts estudiats. A la Gràfica 5.4.3.9-1 es mostra una comparativa entre els resultats dels dos punts assajats en cada una de les proveta. La proveta amb una conductivitat tèrmica més elevada és la P6, amb 0,673 W/m·K al cantell. Per altra banda, la proveta amb menys conductivitat tèrmica és la P10, amb un resultat de 0,415 W/m·K al través. La conductivitat tèrmica mitjana ( $\lambda$ ) de les provetes assajades és de 0,552 W/m·K en el cantell i de 0,537 W/m·K en el través.

La proveta que presenta més variació entre els resultats dels dos assajos és la P10 amb un 22,7%. En canvi, la proveta P11 no té variació, ja que als dos assajos s'ha obtingut el mateix resultat. La variació mitjana entre els dos punts de la mateixa mostra és del 3,75%.



Gràfica 5.4.3.9-1. Conductivitat tèrmica de les provetes segons la cara analitzada.

Tal i com es mostra a la Gràfica 5.4.3.9-2 la proveta que té una conductivitat tèrmica mitjana més elevada és la P2 de 0,631 W/m·K. Per altra banda, la peça amb una mitjana més baixa és la P15 amb 0,445 W/m·K. La mitjana entre els dos punts estudiats és de 0,5445 W/m·K.



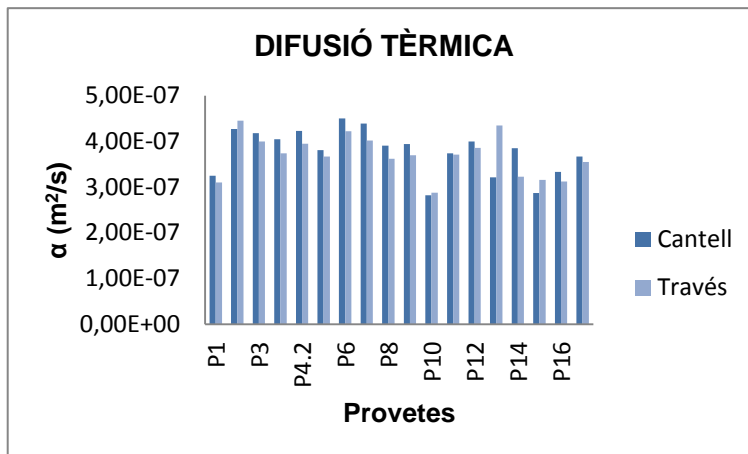
Gràfica 5.4.3.9-2. Conductivitat tèrmica mitjana de les provetes.

### Difusió tèrmica

Els resultats, tant del cantell com del través de la peça, de la difusió tèrmica es mostren a la Taula 9.4-2 de l'annex H, així com les mitjanes i les variacions entre els punts estudiats de cada peça. La gràfica 5.4.3.9-3 mostra una comparativa entre els resultats obtinguts en els dos punts de cada proveta. La proveta amb una difusió tèrmica més elevada és la P6, amb  $4,5 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s al cantell. Per altra banda, la proveta amb menys difusió tèrmica és la P10,

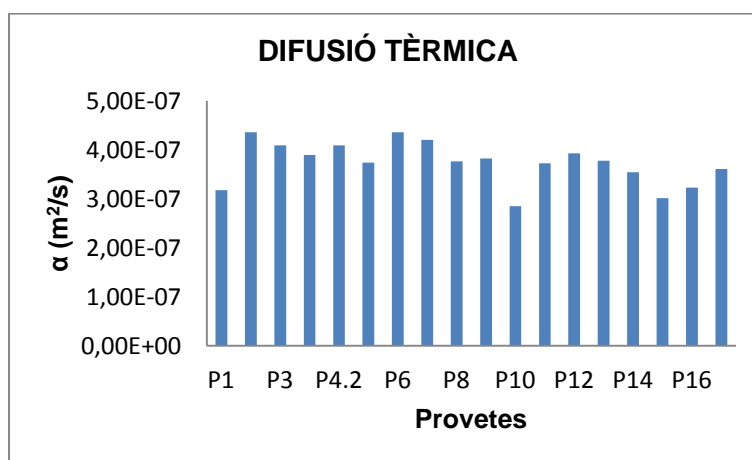
amb un resultat de  $2,82 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  al cantell. Les mitjanes obtingudes són de  $3,78 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  al cantell i  $3,69 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  al través.

La variació mitjana dels valors entre les dues cares de la mostra és d'un 2,8%. La proveta amb un percentatge de variació més elevat és la P13, amb un 11,4%. En canvi, la proveta amb una alteració més baixa és la P11, amb un 0,3%.



Gràfica 5.4.3.9-3. Difusió tèrmica de les provetes segons la cara analitzada.

A la Gràfica 5.4.3.9-4 es pot veure que les provetes amb una difusió tèrmica mitjana més elevada són la P2 i la P6 amb  $4,36 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ . Per altra banda, la mostra amb una difusió tèrmica mitjana més baixa és la P10 amb  $2,85 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ . La mitjana entre els dos punts estudiats de totes les provetes és  $3,73 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

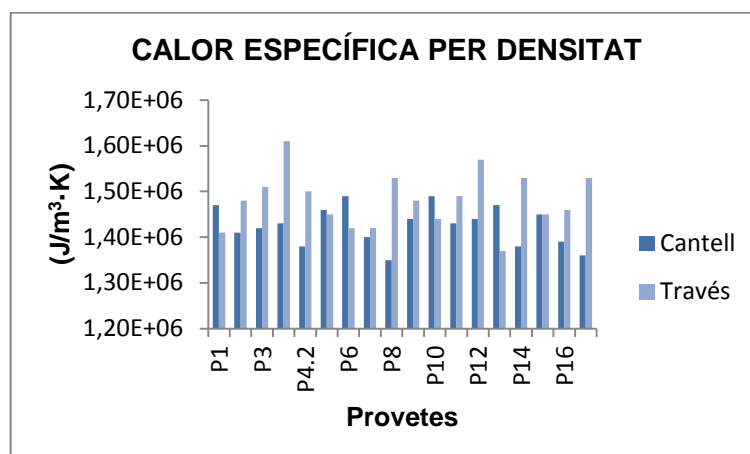


Gràfica 5.4.3.9-4. Difusió tèrmica mitjana de les provetes.

### Calor específica per densitat

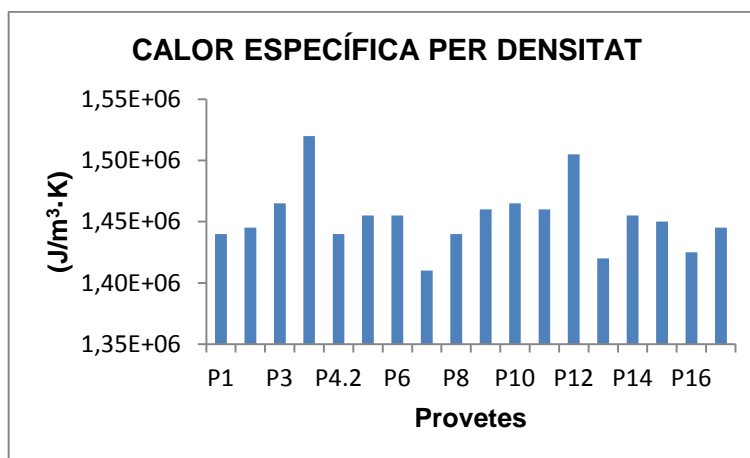
Els resultats de la calor específica per densitat obtinguts es mostren a la Taula 9.4-3 de l'annex H. En aquesta també es mostren les mitjanes de cada proveta i la variació entre els punts estudiats. A la gràfica 5.4.3.9-5 es mostra una comparativa entre els resultats obtinguts en els dos punts de cada proveta. En aquesta s'hi pot veure que la proveta amb una difusió tèrmica més elevada és la P4.1, amb  $1,61 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$  al través i la més baixa és P8 amb  $1,35 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$  al cantell. La mitjana de la calor específica per densitat és de  $1,455 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ , sent  $1,43 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$  en el cantell i  $1,48 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$  per al través de la proveta.

La proveta que presenta una major variació és la P4.1 i la P8, amb un 18%. La P15 és la única mostra que no presenta variació entre els punts estudiats. La variació mitjana obtinguda entre els dos punts de cada peça és de 8,7%.



Gràfica 5.4.3.9-5. Calor específica de les provetes segons la cara analitzada.

A la Gràfica 5.4.3.9-6 s'observa que la proveta amb una calor específica per densitat mitjana més elevada és la P4.1 amb  $1,52 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ . En canvi, la peça amb un valor més baix és la P7 amb  $1,41 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ . La mitjana obtinguda entre els dos punts estudiats de totes les provetes és  $1,45 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ .



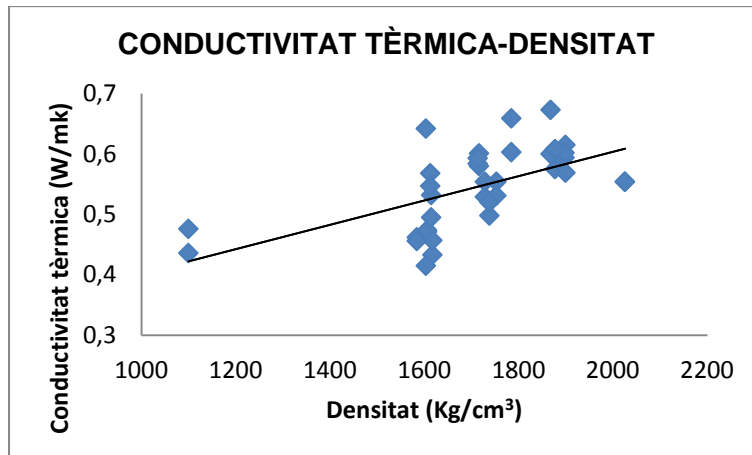
Gràfica 5.4.3.9-6. Calor específica mitjana de les provetes.

#### Relació dels paràmetres analitzats amb la densitat

A continuació, s'han relacionat els valors obtinguts de la conductivitat tèrmica de cada proveta amb les seves respectives densitats. A la gràfica generada (Gràfica 5.4.3.9-4) s'hi ha traçat una recta de regressió representada segueix l'expressió matemàtica següent:

$$y = 0,0002x + 0,2005$$

La  $R^2$  de la línia de regressió correspon a 0,3507, en tant per u.

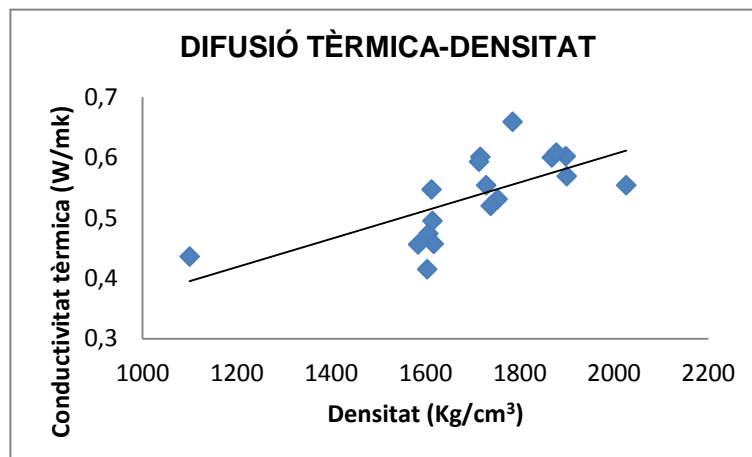


Gràfica 5.4.3.9-7. Relació de la conductivitat tèrmica i la densitat de les provetes. Representació de tots els punts assajats.

La difusió tèrmica mesura la velocitat en què un material perd i guanya calor, per tant, també s'ha relacionat amb la densitat. A la Gràfica 9.4-1 de l'annex H es mostra la recta de regressió obtinguda de relacionar els valors de la difusió tèrmica, determinats en el cantell de les peces, i la densitat de cada una d'aquestes. També s'ha analitzat la difusió tèrmica, determinada en el través de les peces, i la densitat de cada una d'aquestes. Aquesta darrera relació es mostra en la Gràfica 9.4-2 de l'annex H. Finalment, a la Gràfica 5.4.3.9-5 es relacionaran els dos valors obtinguts de cada proveta amb les seves densitats, és a dir els punts representats en les dues gràfiques analitzades anteriorment. En aquesta gràfica s'hi ha representat una recta de regressió representada segueix l'expressió matemàtica següent:

$$y = 0,0002x + 0,1382$$

La  $R^2$  de la línia de regressió correspon a 0,4509, en tant per u.



Gràfica 5.4.3.9-8. Relació de la difusió tèrmica i la densitat de les provetes. Representació de tots els punts assajats.

#### Càlcul de la transmitància tèrmica

Un cop analitzades totes les dades obtingudes, es calcularà la transmitància tèrmica mitjana (U) dels murs de tàpia de l'habitatge de Martorelles, segons el CTE DB-HE.

$$U = 1/R$$

On,  $R_{TOTAL} = R_{se} + R_1 + R_{si}$



Les resistències tèrmiques superficials dels murs de l'habitatge s'han consultat a la *taula E.1 de l'annex E del DB-HE*. Aquest estableix que en aquest cas  $R_{se}=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  i  $R_{si}=0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ . La resistència tèrmica del mur és calcularà amb l'expressió següent:

$$R_1 = e/\lambda$$

On,  $e$  és l'espessor en metres del mur i la  $\lambda$  és la conductivitat tèrmica mitjana obtinguda en l'assaig. La resistència tèrmica dels murs de tàpia és:

$$R_1 = 0,5 / 0,5445 = 0,9182 \text{ m}^2\text{K/W}$$

És a dir, la resistència tèrmica total és:

$$R_T = 0,04 + 0,9182 + 0,13 = 1,08827 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Per tant, la transmitància tèrmica corresponent al murs és:

$$U = 1 / 1,08827 = 0,9188 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- **Conclusions**

La conductivitat tèrmica de la tàpia, segons *Informes de la construcció (Bestraten, 2011)*, és 0,6-1,6 W/m·K. Per tant, els murs de tàpia de Martorelles, amb un 0,5445 W/m·K, tenen més bon comportament tèrmic, ja que la capacitat per conduir calor a través d'ells és més baixa que els valors que estan establerts com a estàndard. També s'ha pogut comprovar que la conductivitat tèrmica va relacionada amb la densitat, ja que com més baixa és la densitat, és a dir, com més porós és el material, menys conductivitat té el material.

La difusió tèrmica també es pot relacionar amb la densitat, ja que com més densitat té el mur més elevada serà la difusió. El calor específic per densitat ja ve relacionat amb la densitat, per tant, com més densitat tinguin els murs, més energia farà falta per a què augmentin de temperatura.

El CTE DB-HE és la normativa vigent a l'Estat que fa referència en el comportament tèrmic del paraments verticals dels habitatges. Per tant, s'ha realitzat la zonificació climàtica de l'habitatge. Segons la taula D.1. de l'apèndix D de l'apartat *Limitació de demanda energètica* del DB HE del CTE, Martorelles es troba a la zona C2. Un cop feta la zonificació, s'ha consultat la taula 2.2 de l'apartat 2 anomenat *Caracterització i quantificació de les exigències*, del DB HE. En aquesta taula s'especifica la transmitància límit mínima que han de complir les façanes en aquesta zona, on  $U_{Mim}=0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Per tant, les provetes estudiades no compleixen la normativa, ja que  $0,9188 \text{ W/m}^2\text{K} > 0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

El murs de tàpia de l'habitatge tenen un bon comportament tèrmic, però malgrat això, no compleixen el CTE DB-HE. Per tant, s'hauria de buscar una altra solució constructiva, per exemple, incrementant-ne el gruix o introduint-hi una cambra d'aire. També es podria modificar la dosificació afegint-hi un additiu per tal d'augmentar el comportament tèrmic.

#### 5.4.3.10. Índex de rebot. Escleròmetre

- **Objectiu**

L'escleròmetre permet conèixer la resistència d'un material mitjançant la realització de l'assaig no destructiu de l'índex de rebot, és a dir, partint d'una correspondència entre les lectures que proporciona l'aparell i la resistència del material. Per tant, L'objectiu d'aquest assaig és verificar l'ús de l'escleròmetre com a assaig no destructiu per a l'obtenció de la resistència de la tàpia.

Es realitzarà l'assaig tres vegades a cada provetes, en els 4 (horitzontalment i vertical) i en els 5 (horitzontalment) mesos des de la seva fabricació. Aquesta última data coincideix amb dia de l'assaig a compressió per tal de poder-ne relacionar els resultats. Durant l'anàlisi dels resultats, aquests es relacionaran amb la densitat de cada una de les provetes. D'aquesta manera s'intentarà establir una relació entre l'índex de rebot i la densitat, i així intentar determinar uns valors orientatius sobre la densitat dels murs de tàpia sense recórrer a assajos destructius.

- **Resultats**

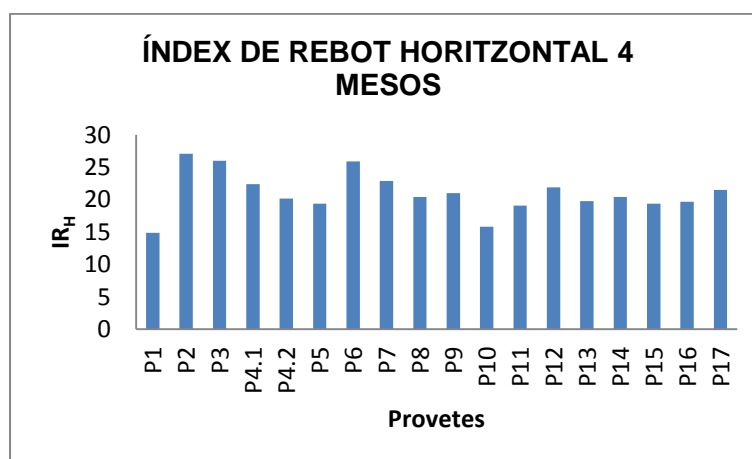
Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 10.1, 10.2 i 10.3 de l'annex H. L'assaig s'ha realitzat tres vegades sobre la mateixa proveta en posicions i dates diferents, els paràmetres establerts són els següents:

1. Horitzontalment, després de quatre mesos des de la seva fabricació.
2. Verticalment, després de quatre mesos des de la seva fabricació.
3. Horitzontalment, després de cinc mesos des de la seva fabricació. Coincidint amb el dia en què es sotmetia a l'assaig de compressió.

En cada assaig s'ha disparat l'escleròmetre fins a arribar a 10 cops. De les lectures obtingudes cal eliminar els valors anormalment baixos o alts, és a dir, tots aquells que difereixin més de 6 unitats de la mitjana de les lectures realitzades. En el cas del 5 mesos no s'ha pogut realitzar l'assaig verticalment, ja que les mostres han estat refrentades, tant per la cara superior com per l'inferior, per tal de ser sotmeses a l'assaig de resistència a compressió.

A la Taula 10.4-1 de l'annex H, corresponent a l'assaig dels 4 mesos en posició horitzontal, s'hi poden veure els resultats obtinguts. En aquest assaig no s'ha eliminat cap lectura, perquè cap d'aquestes difereix més de 6 punts de la mitjana de cada proveta. En la Gràfica 10.4-1 de l'annex I es mostra la freqüència dels valors obtinguts en les lectures.

A la Gràfica 5.4.3.10-1 s'hi pot veure que la proveta amb un índex de rebot més alt és la P3, l'IR mitjà és igual a 27,1 unitats. En el cas oposat, la proveta amb un menor índex de rebot és la P1, amb un IR mitjà de 14,9, seguida de la P10 amb un IR de 15,8. La majoria de provetes tenen una mitjana d'índex de rebot entre 20 i 22 unitats de l'escala de l'escleròmetre, sent la mitjana total de 20,9 unitats.

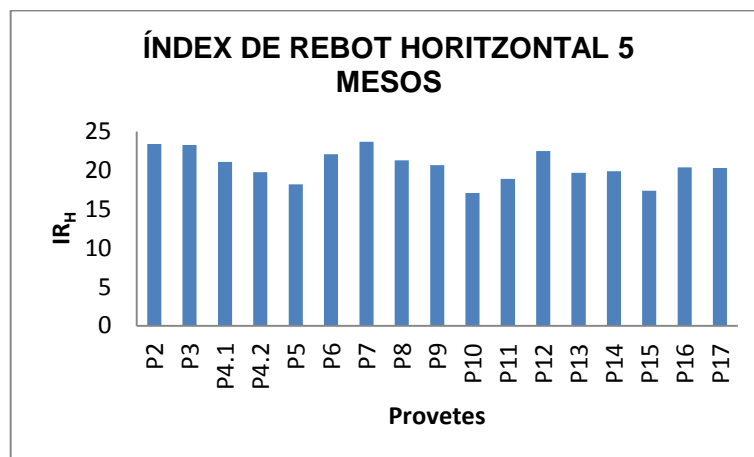


Gràfica 5.4.3.10-1. Resultats l'IR<sub>H</sub> als 4 mesos amb els valors mitjans de cada mostra.

Tot seguit, s'analitzaran les dades obtingudes durant l'assaig horitzontal en els 5 mesos després de la fabricació de les mostres. Els resultats es mostren a la Taula 10.4-2 de l'annex H. En aquest assaig tampoc no s'ha eliminat cap lectura, ja que cap d'aquestes difereix més de 6 punts de la mitjana de cada proveta. A la Gràfica 10.4-2 de l'annex H es mostra la freqüència dels valors obtinguts en les lectures. Els valor més repetits són el 19, el 20 i el 21.

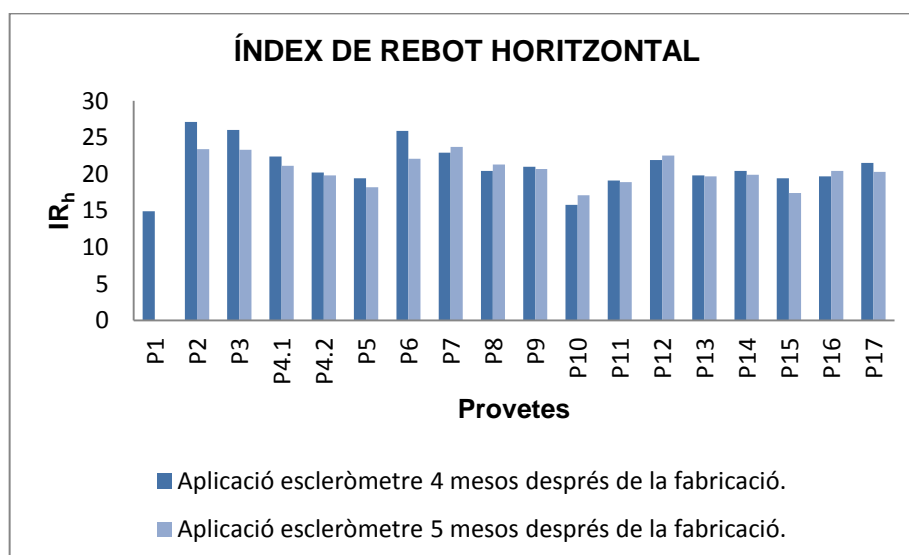
Per tant, la mitjana de l'índex de rebot durant l'assaig en posició horitzontal (5 mesos) és de 20,58 unitats de l'escala de l'escleròmetre utilitzat.

En aquesta Gràfica 5.4.3.10-1 s'hi pot veure que la majoria de provetes tenen una mitjana d'índex de rebot entre 18 i el 20 unitats de l'escala de l'escleròmetre. La proveta amb un índex de rebot més alt, coincidint amb l'assaig als 4 mesos, és la P2 amb 23,4. En el cas oposat, la proveta amb un menor índex de rebot és la P10, amb un IR mitjà de 17,1. També s'hi pot veure que no s'ha realitzat l'assaig a la proveta P1, ja que en el moment que es va decidir fer aquest assaig, aquesta ja s'havia sotmesa a l'assaig de trencament.



Gràfica 5.4.3.10-2. Resultats l'IR<sub>H</sub> als 5 mesos amb els valors mitjans de cada mostra.

A la gràfica 5.4.3.10-3 es mostra una comparativa de l'IR<sub>h</sub> als 4 mesos i l'IR<sub>h</sub> als 5 mesos. En aquesta s'hi pot veure que els índex de rebot obtinguts són molt semblant. Les provetes que tenen l'IR<sub>h</sub> 4 mesos < IR<sub>h</sub> 5 mesos són: P7, P8, P10, P16. En canvi les peces que tenen l'IR<sub>h</sub> 4 mesos > IR<sub>h</sub> 5 són: P2, P3, P4.1, P4.1, P5, P6, P9, P11, P12, P13, P14, P15 i la P17. És a dir, veu una tendència clara a disminuir en el segon assaig. Com ja s'ha comentat anteriorment, no es va poder realitzar l'assaig a la P1, ja que havia estat sotmesa a l'assaig de resistència a compressió.

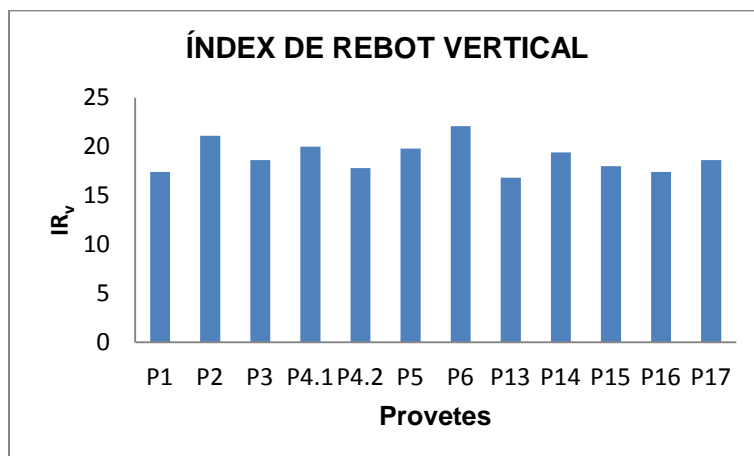


Gràfica 5.4.3.10-3. Comparativa l'IR<sub>h</sub> als 4 i 5 mesos, amb els valors mitjans de les provetes.

La proveta que presenta una variació més elevada és la P6 amb una variació de 3,8 unitats. La proveta que té una variació més petita és la P13, de 0,1 unitats, per tant, és una variació gairebé nul·la. A la Taula 10.4-3 de l'annex H es mostren les variacions de cada peça. La variació mitjana és 5,67 unitats de l'escleròmetre.

Els resultats de l'índex de rebot i les mitjana de les mostres assajades es mostren a la Taula 10.4-4 de l'annex H, per l'assaig de l'aplicació vertical de l'escleròmetre després de 4 mesos de fabricació de les provetes. Com en el cas anterior, no s'ha eliminat cap lectura, perquè cap d'aquestes difereix més de 6 punts de la mitjana de la seva proveta. A la Gràfica 10.4-3 de l'annex H es mostren les freqüències de per a cada una dels valors obtinguts de les lectures. El valor més repetit en aquest assaig és el 19. Per tant, la mitjana de l'índex de rebot durant l'assaig en posició vertical (4 mesos) és de 18,92 unitats de l'escala de l'escleròmetre utilitzat.

La Gràfica 5.4.3-4, mostra d'una manera visual els resultats de l'índex de rebot mitjans de cada proveta. La mostra amb un índex de rebot més alt és la P6, amb 22,1 unitats de l'escleròmetre. En canvi, la peça amb un índex de rebot més baix és la P1, ja que té una mitjana de 16,5 unitats de l'escleròmetre.



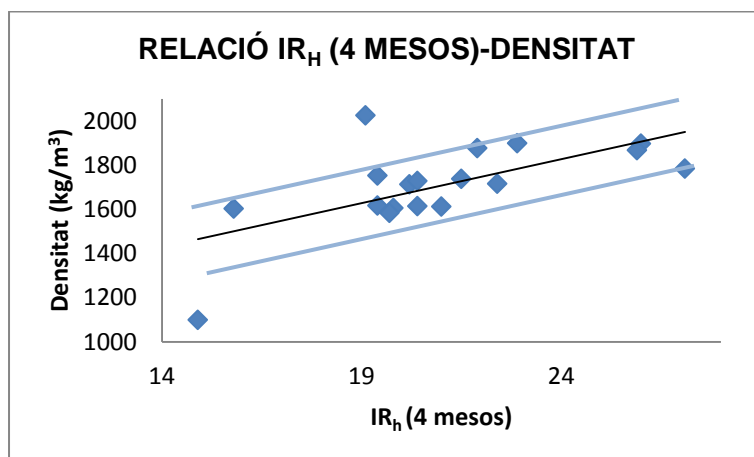
Gràfica 5.4.3.10-4. Resultats l'IR<sub>v</sub> als 4 mesos amb els valors mitjans de cada mostra.

#### Relació de l'índex de rebot amb la densitat

Les dades obtingudes en aquest assaig s'ha relacionat amb la densitat corresponent a cada proveta, per tal de generar una recta de regressió lineal. A la Gràfica 5.4.3.10-5 s'hi pot veure que els valors relacionats tenen una certa correlació, és a dir, tendeixen a formar una recta. Aquesta recta de regressió lineal segueix l'expressió matemàtica següent:

$$y = 39,862x + 871,01$$

El coeficient de correlació, R<sup>2</sup>, corresponent a aquesta recta és 0,404, en tant per u. Per tant, es pot afirmar que com més gran és l'índex de rebot més densitat té la proveta.



Gràfica 5.4.3.10-5. Relació entre l'índex de rebot horitzontal realitzat als 4 mesos i la densitat.

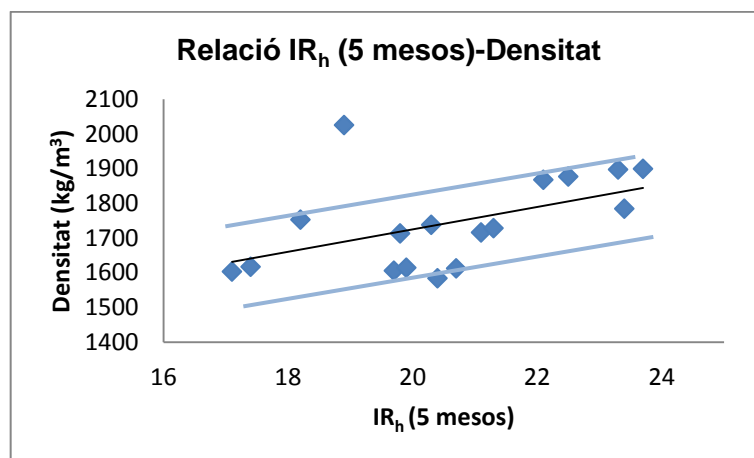
Com ja s'ha comentat anteriorment, la proveta amb un índex de rebot més alt és la P2, amb un IR mitjà de 27,1 unitats i una densitat de 1785 kg/m<sup>3</sup>. I la peça amb un índex de rebot més baix és la P1, amb un IR mitjà de 14,9 i una densitat de 1100 kg/m<sup>3</sup>. Aquestes dues mostres, juntament amb la P11, són les que més allunyades queden de la recta de regressió generada a partir de les dades. La resta de les dades tendeixen a seguir la recta. En aquesta mateixa gràfica, seguint el mateix pendent de la recta s'hi han traçat dues rectes per tal de marcar la zona on es troben la majoria de dades.

A la gràfica 5.4.3.10-6 es pot veure que les lectures obtingudes relacionades amb la densitat tenen una certa correlació, per tant, tendeixen a formar una recta. Aquesta recta de regressió lineal segueix l'equació matemàtica següent:

$$y = 32,25x + 1079,8$$

En aquest cas, R<sup>2</sup>, corresponent a aquesta recta és 0,2412, en tant per u, per tant, en aquest cas, només el 24,12% de la variació està explicada per la recta. Però si s'observen els punts es pot veure una certa tendència créixer, és a dir, quan més elevat és l'índex de rebot més densitat té la proveta.

Com ja s'ha indicat anteriorment, la proveta amb un índex de rebot més elevat és la P2, amb un IR mitjà de 23,4 unitats i una densitat de 1785 kg/m<sup>3</sup>. I la peça amb un índex de rebot més baix és la P10, amb un IR mitjà de 17,1 i una densitat de 1603 kg/m<sup>3</sup>. En aquest cas aquestes estan molt properes a la recta, però com en el cas anterior, la P11 és la peça més allunyada de la recta de regressió. Pel que fa a la resta de les dades tendeixen a seguir la recta, seguint la tendència a augmentar l'IR com més alta és la densitat



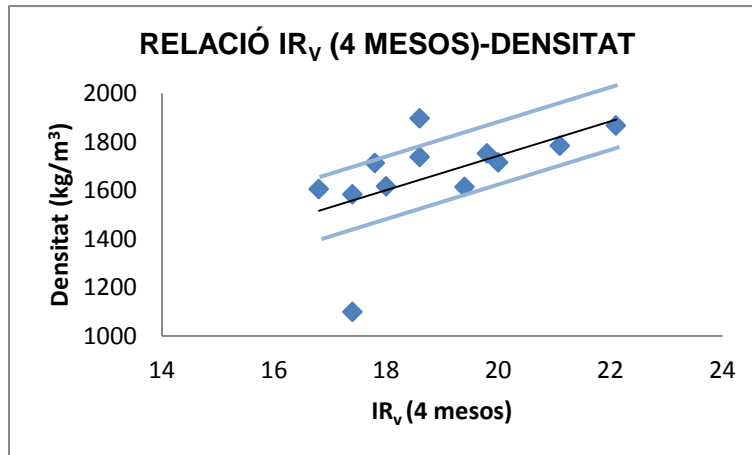
Gràfica 5.4.3.10-6. Relació entre l'índex de rebot horitzontal realitzat als 5 mesos i la densitat.

L'índex de rebot vertical, realitzat als 4 mesos, relacionat amb la densitat de cada una de les provetes ha generat la Gràfica 5.4.3.10-7. En aquesta s'hi pot observar que els punts generats a partir de la relació de dades, estan força propers a la recta de regressió. Aquesta recta segueix l'equació de primer grau, on la correlació lineal, R<sup>2</sup>, és 0,3084, en tant per u.

$$y = 70,774x + 327,14$$

La mostra amb un índex de rebot més alt és la P6, amb 22,1 unitats de l'escleròmetre i una densitat de 1868 kg/m<sup>3</sup>. En canvi, la peça amb un índex de rebot més baix és la P1, ja que té una mitjana de 16,5 unitats de l'escleròmetre i una densitat de 1100 kg/m<sup>3</sup>. Tal i com passava en la relació IR<sub>h</sub> (4 mesos) i la densitat, la peça més allunyada de la recta és la P1.

Com en els casos anteriors, per tal de marcar la zona on es troben la majoria de les dades, s'han traçat dues rectes amb el mateix pendent que el de la recta de regressió resultant de l'anàlisi de les dades.



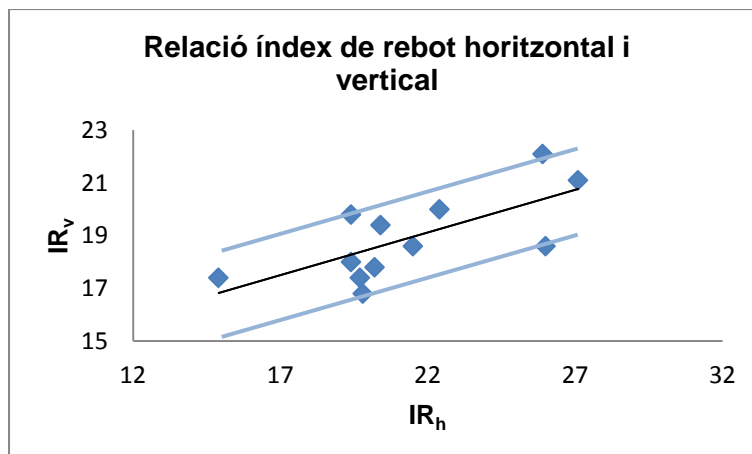
Gràfica 5.4.3.10-7. Relació entre els l'índex de rebot vertical realitzat als 4 mesos i la densitat.

#### Relació de l'índex de rebot horitzontal i vertical

La Gràfica 5.4.3.10-8 mostra la relació entre els índex de rebot horitzontals i verticals (4 mesos), per tal de determinar-ne la correlació. La recta de regressió obtinguda amb els resultats representats en el gràfic segueix la equació que es mostra a continuació:

$$y = 0,324x + 11,985$$

La  $R^2$  és 0,4909, per tant, es pot assegurar que el 49,09% de la variació total de les dades  $y$  està explicada per una relació lineal amb els valors  $x$ . En aquesta gràfica s'hi ha traçat dues línies paral·leles a la línia de regressió, per tal de marcar-ne la zona on estan les dades.



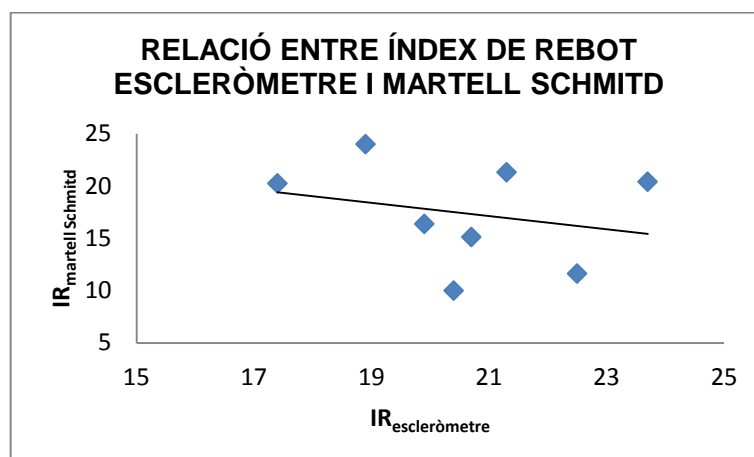
Gràfica 5.4.3.10-8. Relació l'IRh i IRv 4 mesos.

#### Relació de l'índex de rebot de l'escleròmetre i el del martell Schmitz

La Gràfica 5.4.3.10-9 mostra la relació entre l'índex de rebot dels 5 mesos, mitjançant l'escleròmetre, i l'índex de rebot just després de la compactació, realitzat en l'obra amb l'ajuda del martell Schmitz. Per tal de determinar-ne la correlació, s'hi ha traçat una línia de regressió que segueix l'expressió següent:

$$y = -0,6313x + 30,391$$

La  $R^2$  és 0,064, per tant, la correlació entre els punts és nul·la.



Gràfica 5.4.3.10-9. Relació entre índex de rebot escleròmetre i martell Schmitz.

- **Conclusions**

L'escleròmetre permet conèixer la resistència d'un material mitjançant la determinació de l'índex de rebot, partint d'una correspondència entre les lectures que proporciona l'aparell i la resistència del material. Aquest assaig està preparat per a ser utilitzat en formigó, tal i com estableix la normativa UNE-EN 12504-2:2002 *Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 2. Ensayos no destructivos. Determinación del índice de rebote*.

Com ja s'ha comentat anteriorment, no s'ha pogut realitzar l'assaig verticalment en els 5 mesos, perquè les mostres ja estaven preparades per a l'assaig de compressió. Això ha comportat que no s'hagin pogut obtenir per a relacionar l' $IR_H$  i l' $IR_V$ . Però dels resultats obtinguts, s'ha pogut observar que les lectures han estat menors en 5 mesos que en els 4 mesos, però que les provetes amb més i menys IR mitjà són les mateixes per a 4 i 5 mesos.

La utilització d'aquest assaig en provetes de tàpia ha estat el primer cop que s'ha realitzat, ja que aquest assaig està pensat per al control de qualitat del formigó. L'aparell ve acompanyat d'un seguit d'àbacs on s'assenyalen diferents valors de resultat segons la direcció i l'angle que forma amb la posició normal. En la determinació de la resistència a partir de les lectures, en els diversos àbacs adjunts, s'ha pogut comprovar que aquests donen valors que no es corresponen amb les resistències reals de les provetes assajades. Per tant, s'han generat noves gràfiques per a relacionar les lectures amb les resistències de les provetes que es mostraran a l'assaig de resistència a compressió. És per aquest motiu que també s'han realitzat unes gràfiques que permeten relacionar l'índex de rebot amb la densitat. Aquestes gràfiques generen un benefici, ja que es pot saber la densitat aproximada del murs *in situ* mitjançant un assaig no destructiu. Finalment, s'ha relacionat l'índex de rebot horitzontal i el vertical, per tal de determinar-ne la relació que mantenen. Conèixer aquesta relació, permet determinar la resistència o la densitat en obra, indiferentment de la posició de l'aparell.

Tot i les gràfiques obtingudes, el coeficient de correlació és massa baix per a poder-les donar per bones, per aquest motiu s'hi ha representat dues rectes amb el mateix pendent que les respectives rectes de regressió. Aquestes dues rectes marquen un límit mínim i límit màxim de la zona on es troben les dades. Per tant, en cas d'utilitzar aquestes rectes per a l'obtenció de resultat, des de la vessant de la seguretat, es pot utilitzar la mínima.

### 5.4.3.11. Assaig de resistència a compressió

- **Objectiu**

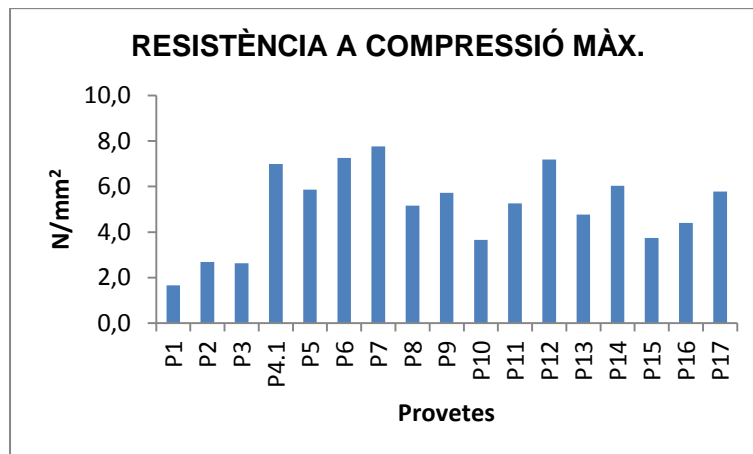
L'objectiu d'aquest assaig és conèixer la resistència de les provetes. Aquestes se sotmetran a una càrrega superior a la de servei, augmentant-la fins a la ruptura de la mostra. El present assaig s'utilitzarà per avaluar la seguretat de l'estructura, ja que les mostres estan realitzades amb el mateix sòl, dosificació i condicions que els murs de tàpia de l'habitatge de Martorelles. Durant l'anàlisi dels resultats, aquests es relacionaran amb la densitat i l'índex de rebot de cada una de les provetes. Per tant, s'intentarà establir una relació entre la resistència a compressió i l'índex de rebot, i així intentar determinar uns valors orientatius sobre la resistència dels murs de tàpia sense recórrer a assajos destructius. Per altra banda, també s'intentaran obtenir uns valors orientatius sobre la resistència dels murs durant la seva execució, relacionant l'índex de rebot realitzat un cop compactada la tongada i la resistència del mur un cop finalitzat.

- **Resultats**

#### *Resistència a compressió*

Els materials i el procediment utilitzat per a l'obtenció de les dades es mostren als apartats 11.1, 11.2 i 11.3 de l'annex H. Els resultats obtinguts durant l'assaig són la càrrega aplicada a la proveta i la deformació presentada, amb una freqüència d'una dada per segon. Aquests es mostren a les Taules 11.4-1/11.4-17 de l'annex H. Amb aquests resultats s'ha calculat la resistència a compressió i la deformació de les provetes.

La Taula 11.4-18 de l'annex H mostra la resistències a compressió de cada peça. Com es pot veure, els resultats obtinguts són poc homogenis, ja que les compressions varien des de 1,7 N/mm<sup>2</sup>, de la P1, fins a 7,8 N/mm<sup>2</sup> de la P7. La mitjana de totes les provetes és de 5,1 N/mm<sup>2</sup>. A continuació es mostrarà una gràfica de barres on es poden comparar les resistències de cada una de les mostres.



Gràfica 5.4.3.11-1. Resistència a compressió màxima de les provetes en N/mm<sup>2</sup>.

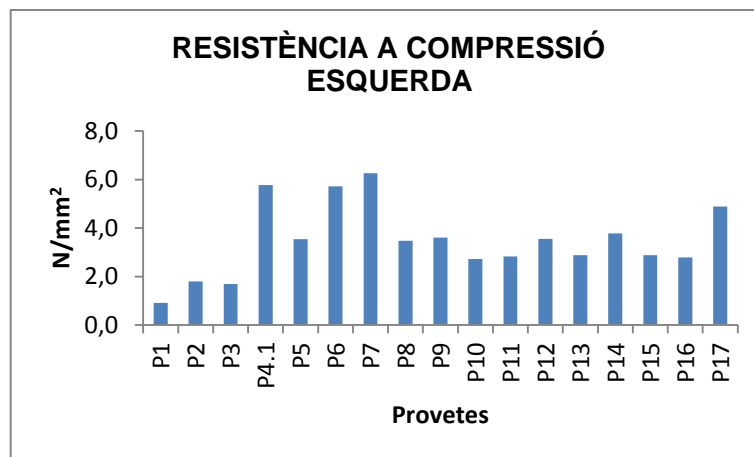
A la Gràfica 5.4.3.11-1 s'observa que les provetes P1, P2 i P3 tenen unes resistències a compressió molt més baixes que les altres. Això és degut a la mala execució d'aquestes, és a dir, per la incorrecta dosificació utilitzada per a realitzar-les.

Amb les dades obtingudes també s'ha calculat la resistència a compressió en el moment en què la proveta comença a presentar esquerdes, tal i com es mostren a la Taula 11.4-19 de l'annex H. A aquesta taula s'hi pot veure que els resultats són molt heterogenis. La proveta que més resistència té sense que apareguin esquerdes és la P7, amb una resistència de 6,3 N/mm<sup>2</sup>. En canvi, la proveta que ha presentat més aviat esquerdes és la P1, amb una



resistència de 0,9 N/mm<sup>2</sup>. La mitjana de la resistència a compressió en el moment que les provetes presenten esquerdes és de 3,7 N/mm<sup>2</sup>.

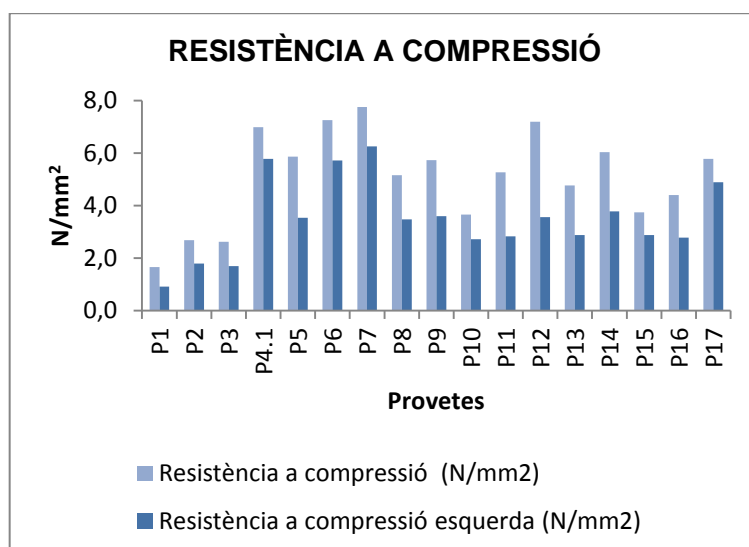
A la Gràfica de barres 5.4.3.11-2 es mostren les resistències de cada una de les mostres en el moment en què apareixen esquerdes a les seves cares. Com en el cas de la resistència màxima, les provetes P1, P2 i P3, presenten unes resistències molt més baixes que la resta, ja que aquestes no s'han realitzat amb la dosificació correcta



Gràfica 5.4.3.11-2. Resistència a compressió quan apareixen esquerdes a les P1-17, en N/mm<sup>2</sup>.

#### Relació entre la resistència a compressió màxima i en el moment que apareixen esquerdes a les provetes

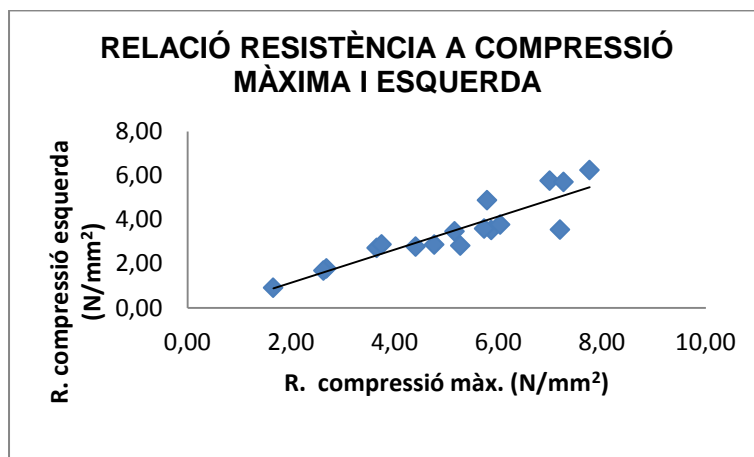
A la Gràfica 5.4.3.11-3 es mostra una comparativa entre les resistències màximes i les resistències en el moment en què apareixen esquerdes de cada proveta. Tal i com es pot veure, les provetes amb més i menys resistència a compressió màxima, P7 i P1, respectivament, són les que més i menys resistència a compressió tenen quan apareixen les esquerdes. La proveta que té més variació entre les dues resistències és la P12, ja que té una diferència de 3,6 N/mm<sup>2</sup>. Això vol dir que al 50% de la seva resistència màxima apareixen esquerdes. En canvi, la que presenta menys variació és la P4.1, amb una diferència de 1,2 N/mm<sup>2</sup>. Per tant, en la P4.1 han aparegut les esquerdes al 83% de la seva resistència màxima.



Gràfica 5.4.3.11-3. Resistència a compressió màxima i quan apareixen esquerdes les P1-17.

La Taula 11.4-20 de l'annex H conté els percentatges de variació. El percentatge mitjà de variació entre les dues resistències de les provetes és de 72,8%. És a dir, les esquerdes apareixen al 72,8% de la resistència màxima de les provetes. A la Gràfica 5.4.3.11-4 s'han relacionat les dades obtingudes de la resistència a compressió màxima i la resistència de la proveta en el moment en què apareix la primera esquerda. El coeficient de correlació,  $R^2$  d'aquesta gràfica és 0,8164, això vol dir que hi ha una correlació del 81,64% entre els punts. El coeficient s'ha obtingut de la línia de tendència que segueix l'expressió:

$$y = 0,7516x - 0,3519$$

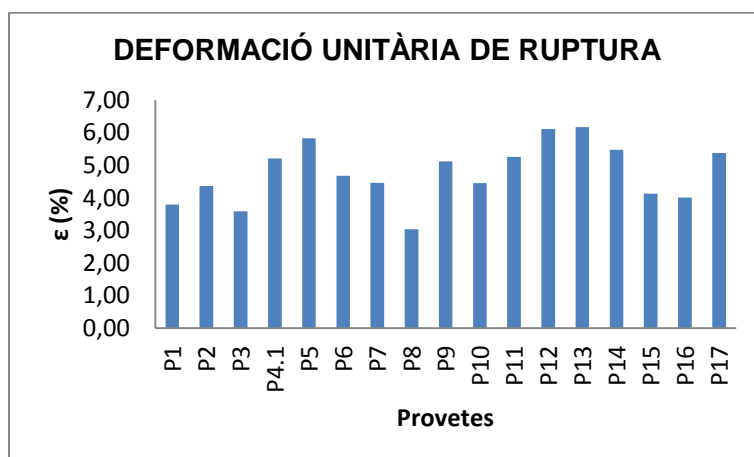


Gràfica 5.4.3.11-4. Relació resistència a compressió màxima i resistència a compressió quan apareixen esquerdes a les provetes, en  $N/mm^2$ .

### Deformació

Les Taules 11.4-11 i 11.4-12 de l'annex H mostra la deformació unitària que ha patit la proveta, tant la de ruptura com la en el moment d'aparició de les esquerdes.

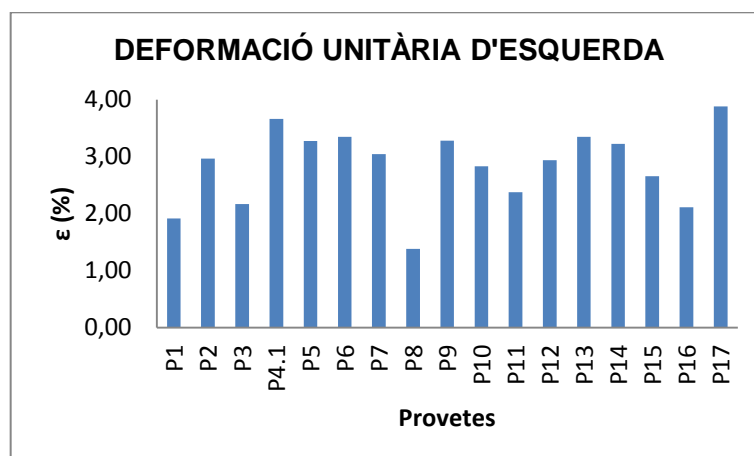
A continuació es mostrarà una gràfica de barres on es poden comparar les deformacions unitària de ruptura de cada una de les peces (Gràfica 5.4.3.11-5). Com es pot veure a la gràfica anterior, la proveta que més ha deformat ha estat la P13, amb una reducció del 6,17% de la seva alçada inicial. La proveta que menys ha reduït l'alçada ha estat la P8, amb una deformació unitària del 3,04%. La mitjana de deformació unitària en el moment de la ruptura és de 4,65%.



Gràfica 5.4.3.11-5. Deformació unitària de ruptura de les provetes, en %.

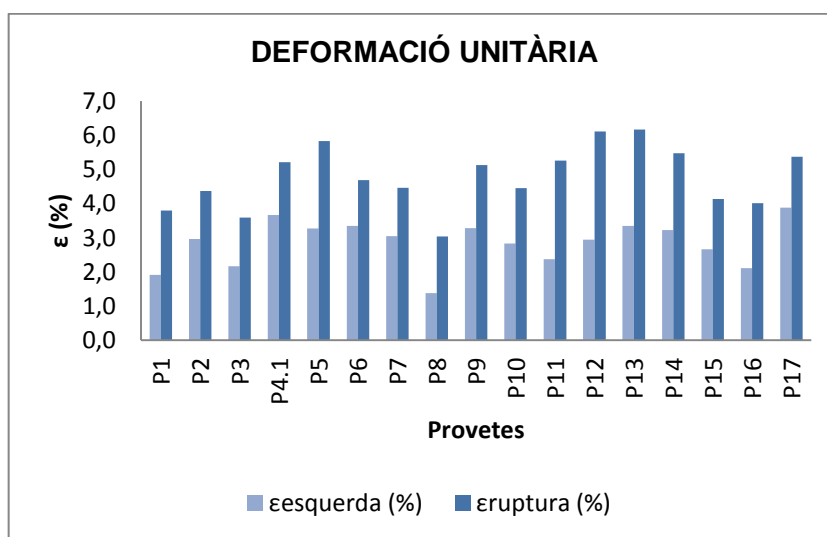
A la Gràfica 5.4.3.11-6 s'hi han representat les deformacions unitàries de les peces en el moment en què apareixen les esquerdes. En aquesta gràfica s'hi pot veure que la proveta que ha patit més deformació és la P17, amb un escurçament del 3,88%. En canvi, la peça

que ha patit menys deformació ha estat la P8, amb una reducció de la seva alçada inicial del 1,38%. La mitjana de la deformació unitària quan aquestes presenten esquerdes és 2,85%.



Gràfica 5.4.3.11-6. Deformació unitària quan apareixen les esquerdes de les provetes, en %.

A la Gràfica 5.4.3.11-7 es mostra una comparativa entre la deformació unitària en el moment de la ruptura i en el de l'aparició de les esquerdes. La peça que ha patit menys deformació, tant en la ruptura com quan apareixen les esquerdes, és la P8. En canvi les que han patit més deformacions són la P13 en el moment de ruptura i la P17 en el moment d'aparició de les esquerdes.



Gràfica 5.4.3.11-7. Deformació unitària de ruptura i en l'aparició de les esquerdes, en %.

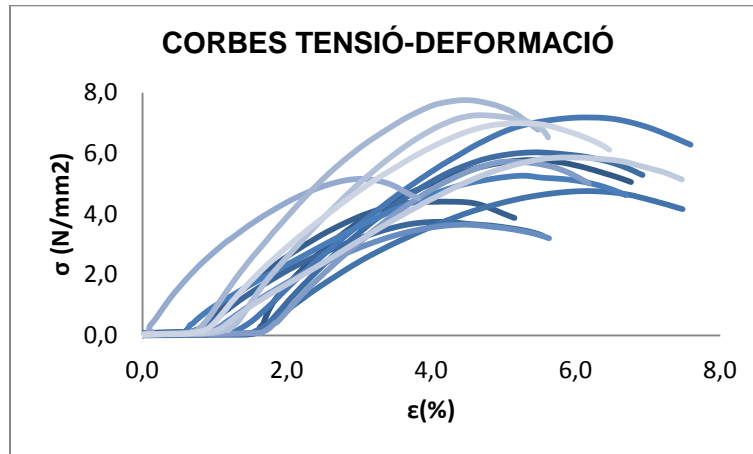
Els percentatges de variació es mostren a la Taula 11.4-23 de l'annex H. La proveta que té més variació entre les dues deformació és la P17, ja que té una diferència d'un 1,5. Això vol dir que al 72,3% de la seva deformació a ruptura apareixen esquerdes. En canvi, la que presenta menys variació és la P8, amb una diferència de 1,7. Per tant, a la P8 han aparegut les esquerdes al 45,5% de la seva deformació a ruptura.

#### Mòdul d'elasticitat i límit elàstic

Les corbes de tensió-deformació de les provetes s'han generat a partir de les dades obtingudes en aquest assaig, la càrrega en kg i la deformació en mm i mitjançant les fórmules següents:

$$\sigma = \frac{P}{\Omega}; \quad \varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$$

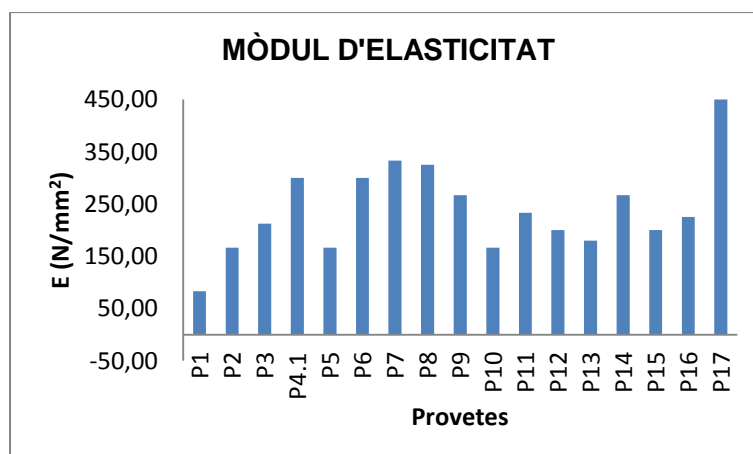
Aquestes corbes es mostren a les Gràfiques 11.4-1 a la 11.4-17 de l'annex H. A la Gràfica 11.4-18 de l'annex H s'hi ha representat totes les gràfiques de tensió-deformació de les provetes per tal de comparar-ne el comportament. Com es pot veure totes les corbes segueixen un mateix partit, exceptuant la P8. Com ja s'ha comentat anteriorment, les provetes P1, P2 i P3 s'han executat de manera incorrecta. Per tant, si aquestes s'eliminen de la gràfica el resultat és la Gràfica 5.4.3.11-8.



Gràfica 5.4.3.11-8. Corbes de tensió deformació de totes les provetes, eliminant P1 P2, P3.

A aquesta gràfica s'hi pot veure una zona ben definida, on es troben les corbes de tensió-deformació de les provetes. Com es pot veure la resistència màxima es troba en un interval del 3 i 6% de deformació. En aquestes gràfiques s'hi observa una zona, on amb una càrrega molt petita, de 0,1 i 0,2 N/mm<sup>2</sup>, la proveta pateix molta deformació. Aquesta deformació varia entre el 0,6 o l'1,7% segons la proveta. És a partir d'aquesta deformació que el material comença a comportar-se com un sòlid, formant la corba tensió-deformació.

A les gràfiques de tensió-deformació de cada proveta s'hi ha traçat una recta tangent a la corba, per tal de calcular-ne el pendent i obtenir-ne el mòdul d'elasticitat E en N/mm<sup>2</sup>. Els resultats obtinguts dels mòduls d'elasticitat es mostren numèricament a la Taula 11.4-24 de l'annex H, així com gràficament a la Gràfica 5.4.3.11-9. Com es pot veure en la gràfica, la proveta amb un mòdul d'elasticitat més petit és la P1 amb un mòdul de 83,3 N/mm<sup>2</sup>. En canvi, la proveta amb un mòdul d'elasticitat més gran és la P17, amb un mòdul de 450 N/mm<sup>2</sup>. El mòdul d'elasticitat mitjà de les mostres és de 239,97 N/mm<sup>2</sup>.



Gràfica 5.4.3.11-9. Mòdul d'elasticitat de les provetes P1-17, en N/mm<sup>2</sup>.

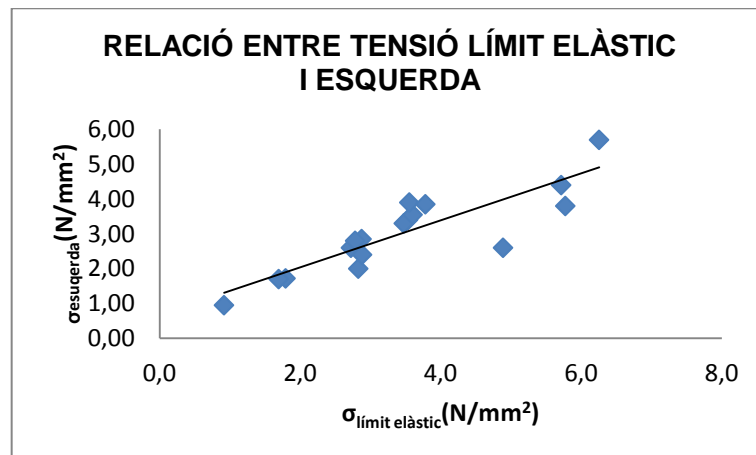
Un cop calculat el pendent de la recta, s'ha traçat una paral·lela a una equidistància del 0,2% respecte a la recta tangent de la corba. El punt on la paral·lela talla amb la corba és el

límit elàstic. A les Gràfiques 11.4-1 a la 11.4-17 i a la Taula 11.4-25 de l'annex H es mostren els valors obtinguts de tensió i deformació en el límit elàstic.

Tot seguit és compararan els valors, tant de tensió com de deformació unitària, en el moment en què apareix l'esquerda i en el límit elàstic. Es resultats es mostren a la taula 11.4-26 de l'annex H. Com es pot observar a les Gràfiques 5.4.3.11-10 i 5.4.3.11-11 existeix una gran relació entre el moment del límit elàstic i l'aparició de les esquerdes. En la Gràfica 5.4.3.11-10 s'hi ha representat una línia de tendència que segueix l'expressió:

$$y = 0,6762x + 0,681$$

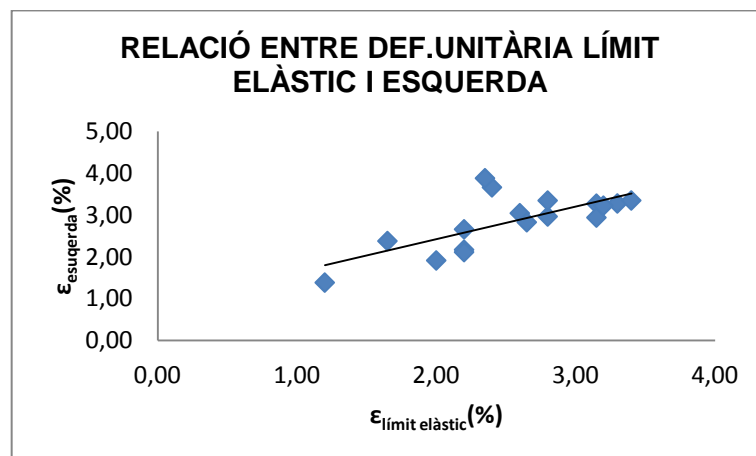
El coeficient de correlació d'aquesta línia de regressió és  $R^2 = 0,7514$ , això vol dir que hi ha una correlació del 75,14% entre els punt.



Gràfica 5.4.3.11-10. Relació entre la tensió del límit elàstic i la de l'esquerda de les P1-17.

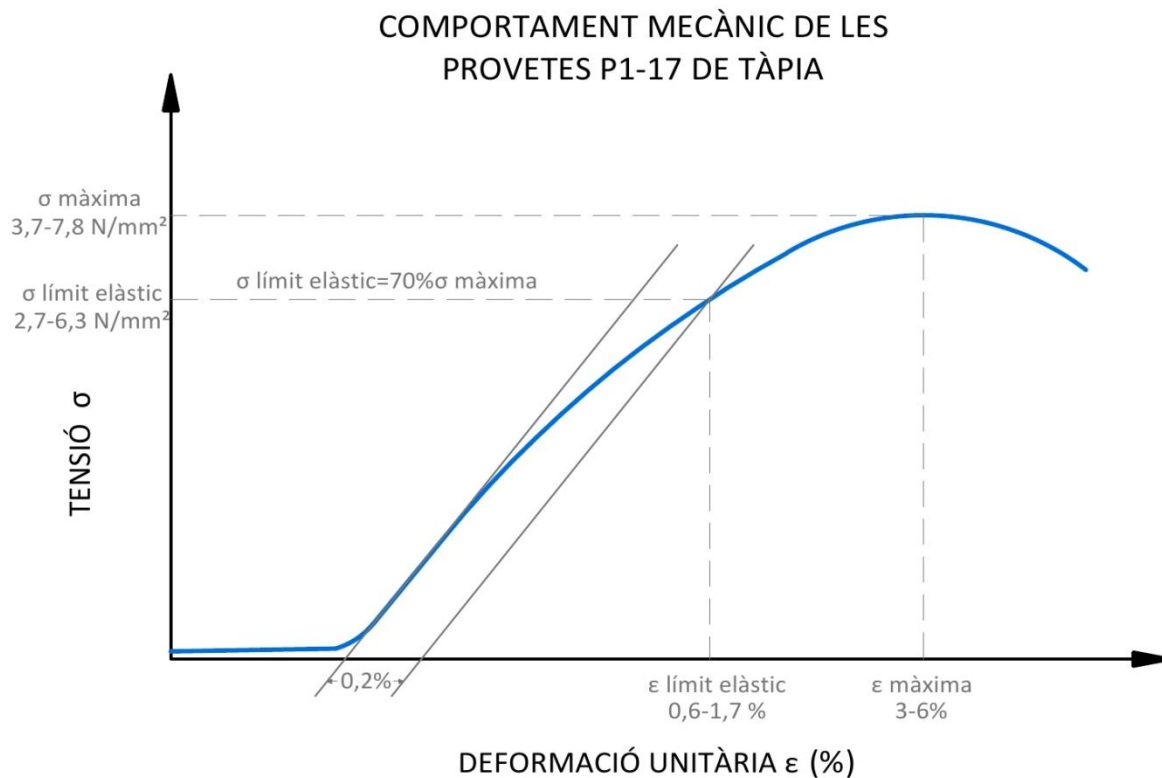
El coeficient de correlació d'aquesta línia de regressió de la taula 5.4.3.11-11 és 0,5067, en tant per u. És a dir la correlació entre els punts és del 50,67%. La recta de tendència que de la gràfica segueix l'expressió:

$$y = 0,7777x + 0,8695$$



Gràfica 5.4.3.11-11. Relació entre la tensió del límit elàstic i la de l'esquerda de les P1-17.

Finalment, a la figura 5.4.3.11-1 es mostra un resum del comportament de les provetes testimoni P1-17 de tàpia realitzades a l'obra.



*Figura 5.4.3.11-1. Comportament mecànic de les provetes P1-17 de tàpia.*

#### ***Càlcul de la resistència estimada***

Tot seguit es calcularà la resistència estimada,  $f_{est}$  segons la normativa EHE-08 capítol 86.5.4.3 *Criterios de aceptación o rechazo de la resistencia del hormigón*. Per aquest càlcul no s'han tingut en compte les provetes P1, P2 i P3, ja que aquestes estan mal executades i, per tant, no representen els murs.

$$f(\bar{x}) = \bar{x} - k_2 r_N \geq f_{ck}$$

on,  $r_N = x_{(N)} - x_{(1)} = 7,8 - 3,7 = 4,1$ ; i  $K_2 = 0,66$ .

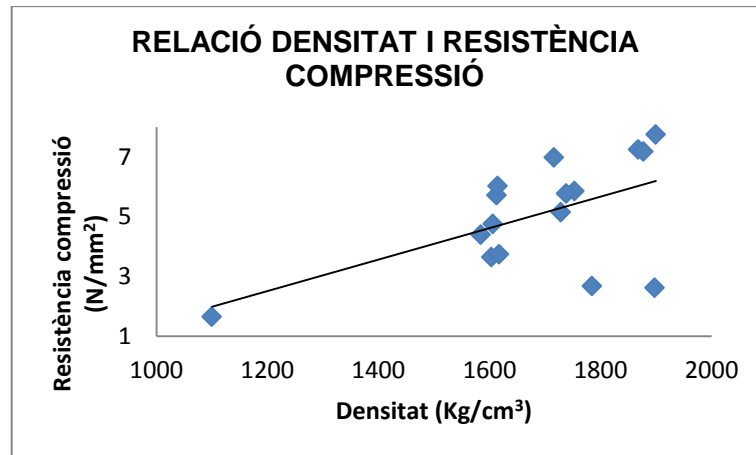
Per tant, com es pot observar en les següents equacions, la  $f_{est}$  és major a la  $f_{ck}$ .

$$f(\bar{x}) = 5,7 - (0,66 \cdot 4,1) \geq f_{ck}$$

$$f(\bar{x}) = 5,4 \text{ N/mm}^2 \geq 2 \text{ N/mm}^2$$

#### ***Relació entre la densitat i la resistència a compressió i la densitat***

Tot seguit es relacionarà la densitat de cada una de les provetes amb la seva resistència a compressió, d'aquesta manera es podrà determinar la correlació que existeix per aquest tipus de sòl. A la Taula 11.4-28 de l'annex H, s'hi poden veure els valors per tal de representar la Gràfica 5.4.3.11-12.



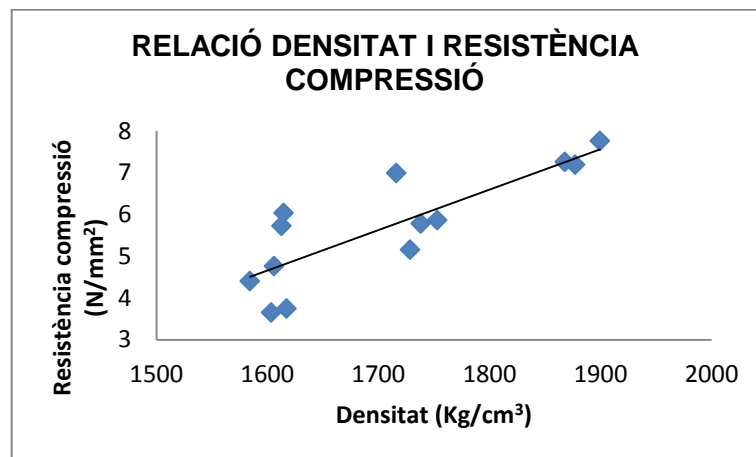
Gràfica 5.4.3.11-12. Relació entre la densitat i la resistència a compressió de les P1-17.

La línia de regressió segueix l'expressió matemàtica següent:

$$y = 0,0053x - 3,8145$$

La  $R^2$  d'aquesta línia de regressió és 0,31, en tant per u. Per tant només un 31% de les dades segueixen aquesta expressió.

Com es pot veure, a la Gràfica 5.4.3.11-13, hi ha quatre punts molt separats de la resta. Aquests corresponen a les provetes P1, P2, P3 i P11. Les tres primeres cal eliminar-les perquè no s'ha executat adequadament, ja que la dosificació utilitzada per a la seva execució no és la correcta. I finalment, la P11 que té una densitat molt elevada, però una resistència relativament baixa. Eliminat aquestes quatre provetes, s'obté la gràfica següent:



Gràfica 5.4.3.11-13. Relació entre la densitat i la resistència a compressió de les provetes assajades. Eliminant les P1-2-3-11 les més baixes i la més alta.

On la línia de regressió segueix l'expressió matemàtica següent:

$$y = 0,0967x - 108,12$$

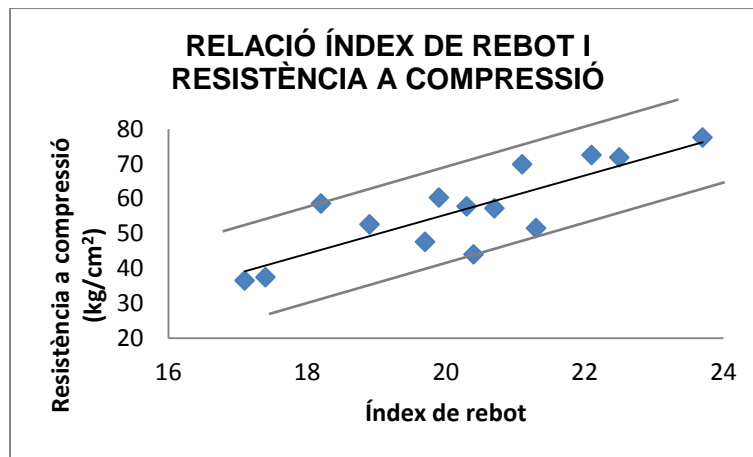
La  $R^2$  d'aquesta línia de regressió és 0,6809, en tant per u. Per tant només un 68,09% de les dades segueixen aquesta expressió.

### Relació entre resistència a compressió i l'índex de rebot de l'escleròmetre

En l'assaig anterior, índex de rebot mitjançant l'escleròmetre, s'han obtingut unes mitjanes de les lectures efectuades per a cada proveta. Aquestes es relacionaran amb la resistència de compressió. La Taula 11.4-29 de l'annex H s'hi mostren les dades utilitzades per a la realitzar la Gràfica 5.4.3.11-14. La línia de regressió segueix l'expressió matemàtica següent:

$$y = 5,6164x - 56,801$$

La  $R^2$  d'aquesta línia de regressió és de 0,6802, en tant per u. Per tant 68,02% de les dades segueixen aquesta expressió. Aquesta recta defineix millor els resultats obtinguts. En aquesta s'hi ha traçat dues línies paral·leles a al recta de regressió. Aquestes dues marquen els límits màxim i mínim d'aquesta correlació.

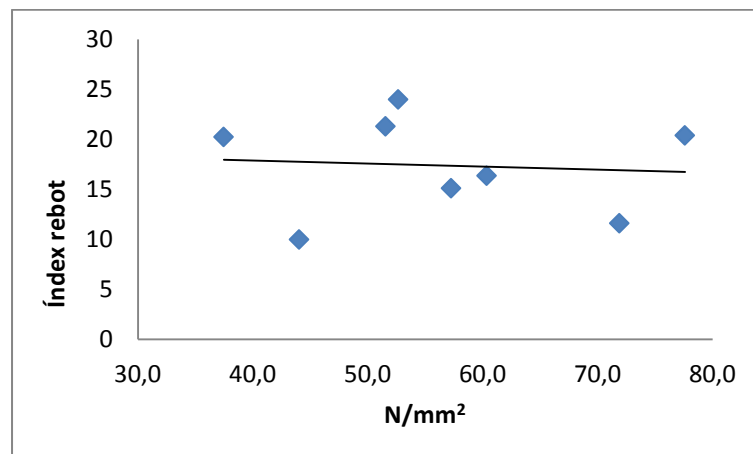


Gràfica 5.4.3.11-14. Relació entre l'índex de rebot i la resistència a compressió de les P1-17.

### Relació entre la resistència a compressió i l'índex de rebot del martell Schmidt

Les dades obtingudes en l'assaig de l'índex de rebot, s'han relacionat amb la resistència a compressió de les provetes, aquests resultats es mostren a la taula 11.4-30. A la Gràfica 5.4.3.11-15 s'ha representat la recta de regressió per tal de determinar-ne la correlació. En aquest cas, la línia de tendència té un pendent negatiu. La funció matemàtica que la defineix, és la següent:

$$y = -0,0302x + 19,097$$



Gràfic 5.4.3.11-15. Relació de la resistència i l'índex de rebot obtingut amb el martell Schmidt.



El coeficient de correlació resultant de relacionar l'índex de rebot amb la resistència,  $R^2$ , és 0,0067 en tant per u. És a dir, que un 0,67% de la variació està representada per la recta de tendència. És a dir la correlació és nul·la.

- **Conclusions**

Actualment, no hi ha cap normativa que reguli la resistència de la tàpia. Per aquest motiu i per les característiques que presenta en la dosificació s'ha consultat l'EHE-08. La resistència característica segons el projecte és de 2-3 N/mm<sup>2</sup>. La resistència a compressió mitjana obtinguda és de 5,7 N/mm<sup>2</sup>, eliminant les provetes mal executades. La resistència més baixa és de 3,7 N/mm<sup>2</sup> i la més alta és de 7,8 N/mm<sup>2</sup>. La mitjana obtinguda és molt superior a la resistència a compressió especificada en projecte. Per tal d'escollir uns criteris de rebuig o d'acceptació de la resistència de la tàpia s'ha seguit el mètode establert en l'EHE-08 per a formigó armat. Aquest mètode penalitza una elevada diferència entre la resistència més alta i la més baixa, generada per una dosificació heterogènia. La resistència estimada obtinguda amb aquest càlcul ha estat 5,4 N/mm<sup>2</sup>, aquesta és major que el de la resistència característica especificada en el projecte, de 2-3 N/mm<sup>2</sup>.

El problema que s'ha detectat en les provetes és que la dosificació utilitzada per fabricar-les és diferent entre elles. Això fa pensar que les dosificacions utilitzades als murs també són diferents, i per tant, les seves resistències a compressió també. Aquest criteri es podria utilitzar per acceptar o rebutjar la resistència de la tàpia, no només per a controlar la resistència, sinó que també per controlar la dosificació. Si s'utilitzés aquest mètode s'hauria d'implantar un sistema de dosificació mecànic a l'obra, i d'aquesta manera tenir un marge d'error menor en la dosificació. Garantint, així, una dosificació i resistència homogènia entre els murs.

La relació obtinguda a partir de comparar les dades de la resistència a compressió màxima i al resistència en el moment que apareixen esquerdes, ha permès generar una recta de regressió amb una  $R^2$  del 0,81, en tant per u. És a dir, el 81% de les dades segueixen la línia de tendència obtinguda. Per tant, les provetes assajades tenen un comportament molt similar. La resistència mitjana en l'aparició d'esquerdes és 3,1 N/mm<sup>2</sup> i el percentatge mitjà de variació entre les dues resistències de les provetes és de 72,8%. És a dir, les esquerdes apareixen al 72,8% de la resistència màxima de les provetes amb una tensió de 3,1 N/mm<sup>2</sup>. La mostra que ha donat un resultat més dolent és la P1, amb un percentatge de variació del 55,4%. És a dir, les esquerdes apareixeran en el 55,4% de la seva resistència a compressió màxima, ja que passat aquest les provetes començaran a presentar esquerdes. Per tant, aquesta darrera dada es pot utilitzar com a coeficient de seguretat, ja que la correlació entre els valors de resistència màxima i el moment en que apareixen esquerdes és del 81%. El coeficient de minoració de la resistència obtingut és del 0,55. L'inversa d'aquest coeficient és 1,8, molt menor que el 3-6 especificat en l'article *Construcció con tierra en el siglo XXI (Bestraten, 2011)*. Aquest coeficient de minoració de la resistència, en cas de tenir una dosificació controlada es podria minorar fins al 0,7, és a dir, un 1,4.

El mòdul elàstic mitjà de les mostres assajades és de 239,74 N/mm<sup>2</sup>, això vol dir que és un material molt poc rígid i fràgil. Això pot comportar assentaments importants quan aquest material entri en càrrega. Segons l'estudi realitzat, les mostres segueixen un mateix model de comportament a nivell mecànic, ja que quan aquestes entren en càrrega, 0,1-0,2 N/mm<sup>2</sup>, pateix una elevada deformació unitària, aproximadament, del 0,6 o l'1,7% de la seva alçada. Aquest tram de la gràfica coincideix amb l'augment de densitat de la proveta, és a dir, aquesta augmenta fins a aconseguir una compactació màxima. És en aquest moment quan el material es comporta com un sòlid.

La tensió i la deformació unitària del límit elàstic s'han relacionat amb la tensió i la deformació unitària en el moment que presenta esquerdes. Això ha permès afirmar que les esquerdes apareixen en el límit elàstic, ja que la correlació entre les dues tensions és del

75%. Per altra banda la correlació entre les deformacions és més baixa, ja que aquesta depèn del grau de compactació de la mostra.

El descens de carregues realitzat es mostra a l'apartat 11.5 de l'annex H. A la Taula 11.5-1 s'hi pot veure que la tensió que suporten els murs és de 0,13 a 0,45 N/mm<sup>2</sup>, depenent del mur. La tensió que poden suportar abans d'arribar a col·lapsar és de 1,7 N/mm<sup>2</sup>, la més desfavorable, i 7,8 N/mm<sup>2</sup> la més elevada, per tant, els murs no tindran problemes per suportar les tensions. Degut a les tensions, els murs tindran una deformació del 0,6-2%, això vol dir que patiran una reducció de la seva alçada de 1,5-5,2 mm. Per altra banda, també es pot afirmar que els murs no presentaran esquerdes generades per la tensió, ja que tots ells suporten càrregues menors a la tensió més desfavorable obtinguda durant l'assaig, de 0,9 N/mm<sup>2</sup>.

En l'article *Construcción con tierra en el siglo XXI*, de la revista *Informes de la Construcción*, s'indica que la resistència a compressió de la tàpia és de 30-40 Kg/cm<sup>2</sup> per una densitat de 1900-2000 kg/m<sup>3</sup>. Per tant, s'observa que en els murs de tàpia de Martorelles s'obtenen unes resistències majors amb una densitat menor.

Abans de realitzar l'assaig a compressió s'ha fet l'assaig de l'índex de rebot amb l'escleròmetre, per tal de relacionar els resultats obtinguts en cada assaig. Com es pot veure en la gràfica generada, existeix una correlació del 68% entre aquests, però aquesta no és prou elevada per ser fiable. A la Gràfica 5.4.3.11-14 es pot veure que les dades estan compreses entre uns límits, marcats per dues paral·leles a la línia de regressió. Des del punt de vista de la seguretat, es pot utilitzar el límit mínim de resistència i així verificar l'ús de l'escleròmetre per a l'obtenció de la resistència a compressió com a assaig no destructiu.

Per altra banda també s'han relacionat els valors de l'índex de rebot realitzats després de la compactació amb els de la resistència. Com s'ha pogut comprovar no existeix cap relació entre les dades comparades, ja que com més humitat conté la barreja més petit és l'índex de rebot. Com s'ha comentat anteriorment, la densitat augmenta fins arribar a la humitat òptima i després descendeix, i aquesta va relacionada amb la resistència. Per tant, aquest assaig no és vàlid per a l'obtenció de resistències en el moment en què la barreja ha estat compactada, ja que varia en funció de la humitat que conté la barreja i no en la resistència final del mur.

Com a conclusió final es pot afirmar que la dosificació utilitzada dona uns valors molt bons a compressió. L'ús de l'escleròmetre, per tal d'obtenir la resistència sense utilitzar mètodes destructius, és viable, sempre i quan es generi una recta de resistència mínima per a la dosificació emprada amb provetes testimoni realitzades en obra.

#### **5.4.4. Anàlisi de les provetes PA-H i BTC1-10 i comparativa d'aquestes amb les provetes P1-17**

Els resultats obtingut en els assajos al laboratori del comportament tèrmic, l'índex de rebot i la resistència a compressió de les provetes P1-P17 es compararan amb els resultats obtinguts d'unes provetes amb dosificacions diferents, PA-F, i per a bolcs de terra comprimida (BTC). Les provetes PA-F i els BTC han estat sotmesos als mateixos assajos que les provetes P1-17, seguint els mateixos procediments i condicions que per aquestes. Les característiques, dosificacions i resultats de cada mostra analitzada en aquest apartat es troben a les seves corresponent de la Fitxa 21 a la 36 de l'annex L.

### 5.4.4.1. Comportament tèrmic

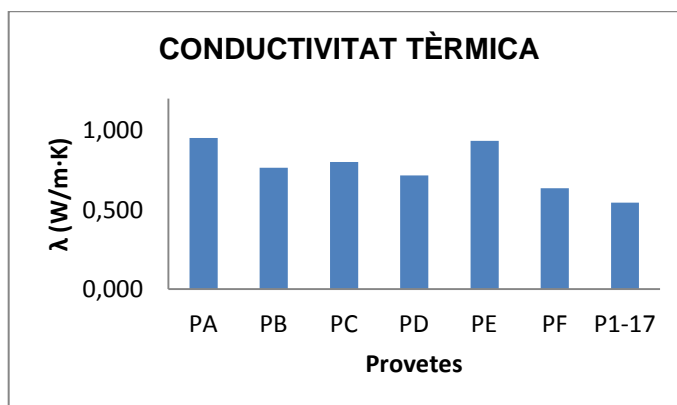
- **Tàpia**

Les provetes PA-F es caracteritzen per tenir unes dosificacions diferents a les utilitzades per a fer els murs de tàpia. L'assaig s'ha realitzat en dos punts de cada mostra, com en el cas de les provetes de l'habitatge de Martorelles. Les dosificacions d'aquestes es mostren a la Taula 5.4.4.1-1. En la PD, la PE i la PF en la seva dosificació s'hi ha afegit un additiu, en el primer cas ha estat la perlita i, en el segon i tercer cas, la vermiculita. El motiu de l'addició d'aquest components ha estat millorar el comportament tèrmic. Tot seguit s'analitzaran els resultats obtinguts.

PROVETES	TERRA TIPUS 1	TERRA TIPUS 2	CIMENT	VERMICULITA	PERLITA
PA	20,00%	16,67%	8,33%	-	-
PB	54,54%	36,36%	9,10%	-	-
PC	36,36%	54,54%	9,10%	-	-
PD	50,00%	16,67%	8,33%	-	25,00%
PE	46,67%	6,67%	6,67%	40,00%	-
PF	50,00%	16,67%	8,33%	25,00%	-

Taula 5.4.4.1-1. Dosificacions de les provetes PA-F.

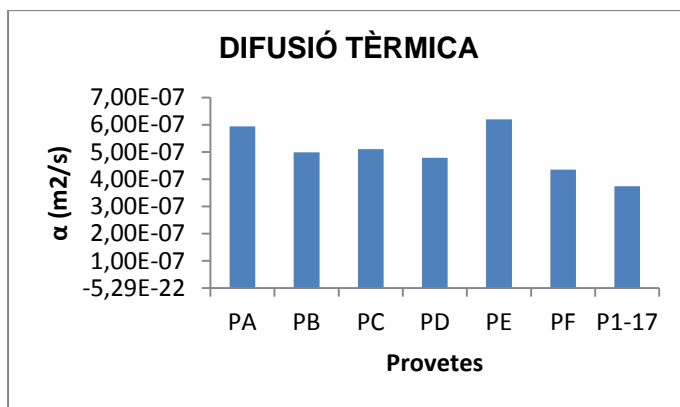
Els resultats obtinguts es mostren a la Taula 1.1-1 de l'annex I. A la Gràfica 5.4.4.1-1 es mostren les mitjanes de la conductivitat tèrmica dels punts assajats de cada peça, juntament, amb la mitjana obtinguda de totes les provetes P1-17. Com es pot veure a la gràfica, les peces amb additius tenen una conductivitat més baixa respecte a les que no en porten. Però, també es pot veure, en el cas de la PE, un augment significatiu de vermiculita no li aporta una millora en la conductivitat, sinó el contrari, ja que aquesta es veu augmentada. Les provetes amb una conductivitat més baixa són les provetes P1-17.



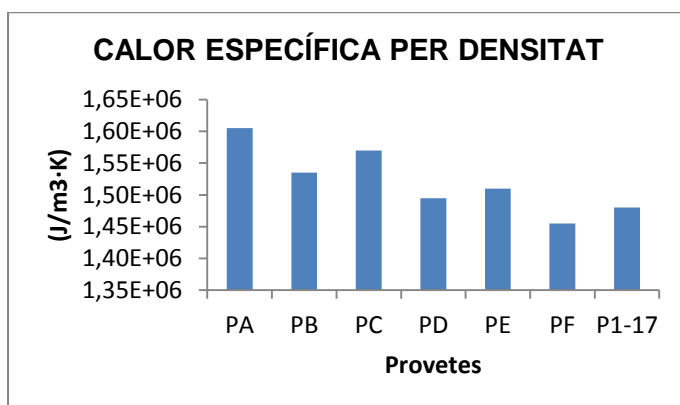
Gràfica 5.4.4.1-1. Conductivitat tèrmica mitjana de les provetes PA-F i P1-17.

La Gràfica 5.4.4.1-2 mostra els resultats de la difusió tèrmica de cada proveta. A aquesta també s'hi ha afegit la mitjana de les P1-17. Com en el cas de la conductivitat, les mostres amb additius tenen una difusió més baixa, excepte en el cas de la PE, ja que la difusió es veu augmentada. Les P1-17 tenen una difusió més baixa que les altres. Això vol dir que les P1-17 tardaran més temps en guanyar i perdre calor, ja que la velocitat és més baixa.

A la gràfica de barres 5.4.4.1-3 s'hi ha representat els valors de la calor específica per densitat de les provetes PA-F i la mitjana de les mostres P1-17. En aquesta gràfica s'hi pot veure que la PA és la que més energia necessita per escalfar 1°C 1kg de massa. En el costat oposat hi ha la PF, ja que segons els resultats aquesta necessita menys energia. La calor específica va directament vinculada amb la densitat de les provetes. Per tant, com més massa molecular té un sòlid més energia es necessita per escalfar-lo. Això, indica que totes les provetes tenen més densitat que les P1-17 o que aquestes contenen humitat.



Gràfica 5.4.4.1-2. Difusió tèrmica mitjana de les provetes PA-F i P1-17.



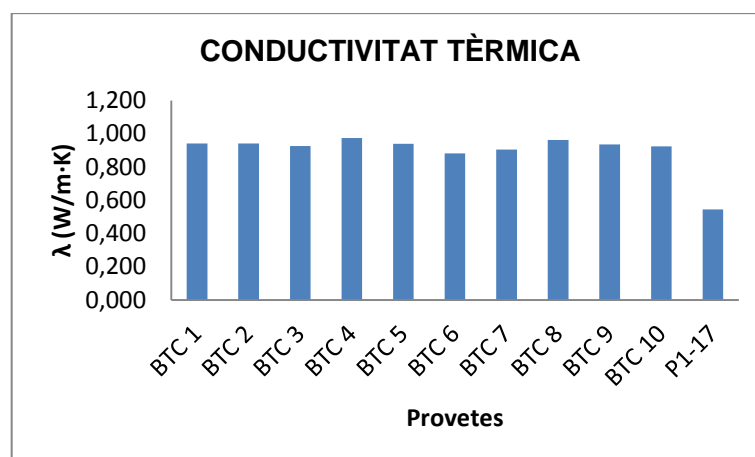
Gràfica 5.4.4.1-3. Calor específica per densitat mitjana de les provetes PA-F i P1-17.

Aquest assaig es va realitzar entre els 2 i 3 mesos des de la seva fabricació. Les peces PA-F es van fabricar durant el mes de febrer, en canvi les P1-17 es van executar durant el mes de juliol. És a dir, el període d'assecat no ha estat en les mateixes condicions, per tant, els resultats no es poden comparar. Tenint en compte que les PA, PB i PC han estat executades amb la mateixa tipologia de terra que les de l'habitatge de Martorelles, es pot arribar a la conclusió que aquestes no estaven sequen en el moment de la realització de l'assaig. La presència d'humitat en aquestes ha alterat els resultats. Però, tal i com es pot veure un percentatge de vermiculita o perlita poden millora el comportament tèrmic de la tàpia. Tot i que una gran quantitat de vermiculita pot empitjorar el comportament tèrmic, ja que a l'hora de compactar la barreja, l'operari necessita més temps per obtenir una compactació òptima. Això fa que la vermiculita perdi la seva expansió, i com a conseqüència el seu bon comportament tèrmic.

- **BTC**

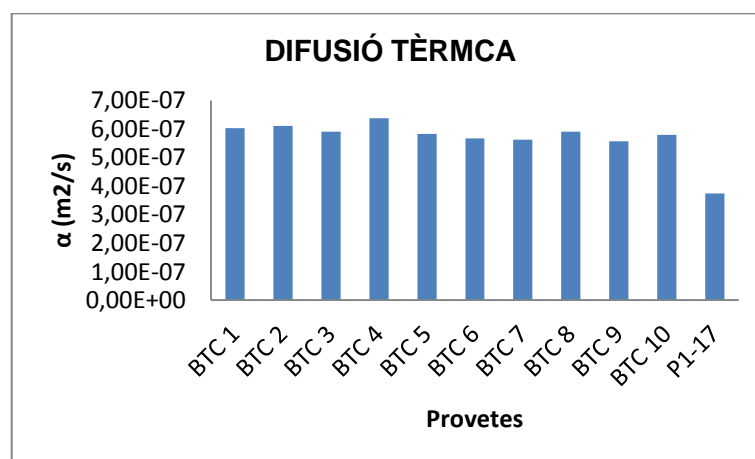
Com ja s'ha comentat anteriorment, en aquesta obra també s'han realitzat parets de càrrega de bloc de terra comprimida, per tant, la presa de mostres s'ha realitzat aleatòriament entre els lots subministrats a l'obra. El nombre de blocs de terra comprimida estudiats és de 10. A les Fitxes 26-35 de l'annex L s'hi mostren les característiques i els resultats dels assajos de cada un dels BTC.

La Taula 1.2-1 de l'annex I, correspon als resultats obtinguts durant l'assaig del diversos blocs de terra comprimida. L'assaig s'ha realitzat a a tres de les cares de la peça: el cantell, el través i el pla. A la Gràfica 5.4.4.1-4 s'hi poden observar uns resultats de conductivitat tèrmica molt homogenis per a totes les peces assajades. Aquests valors es mouen entre 0,882 i 0,975 W/mK. La conductivitat dels BTC és més elevada que l'obtinguda en les provetes de l'habitatge de Martorelles, ja que aquesta última és de 0,5445 W/mK.



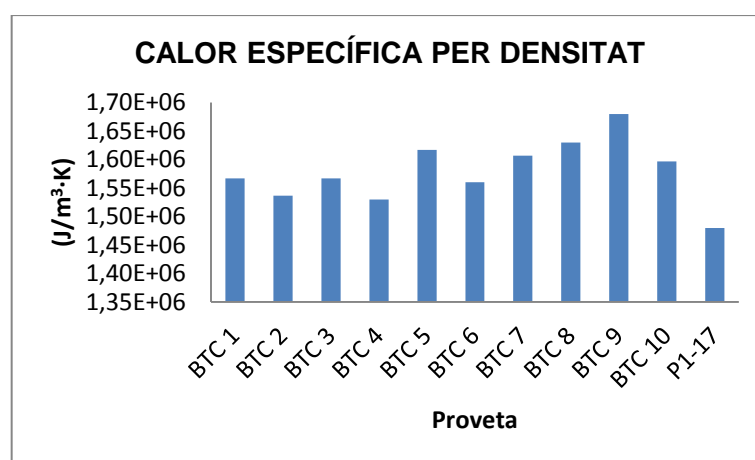
Gràfica 5.4.4.1-4. Conductivitat tèrmica mitjana dels BTC i la mitjana de les provetes P1-17.

A la Gràfica 5.4.4.1-5 referent a la difusió tèrmica de les peces, s'hi pot veure una gran homogeneïtat entre els resultats dels BTC. El rang d'aquests és  $5,57- 6,38 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .



Gràfica 5.4.4.1-5. Difusió tèrmica mitjana dels BTC i la mitjana de les provetes P1-17.

La Gràfica de barres 5.4.4.1-6 correspon als resultats de la calor específica dels BTC. En aquesta també s'hi ha representat el valor mitjà de les provetes P1-17. La calor específica mitjana de les provetes P1-17 és  $3,78 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , per tant, aquesta és més baixa que la dels BTC.



Gràfica 5.4.4.1-6. Calor específica per densitat mitjana dels BTC i mitjana de les provetes P1-17.

En aquest cas es pot veure que els BTC necessiten una quantitat més elevada d'energia per escalfar 1°C 1 Kg de massa. Per tant, es pot deduir que el BTC tenen una densitat major

que les P1-17 o que tenen presència d'humitat. Segons la fitxa tècnica del BTC (Fig.3.1-1, annex I) utilitzats per a la construcció dels murs de càrrega de la planta soterrani, la conductivitat tèrmic és de 0.546 W/m°C. Com es pot observar els valors obtinguts són de  $\pm 0,9$  W/mK. Per tant, tenint en compte que l'assaig es va realitzar durant el mes d'abril, i les mostres no es van assecar abans de realitzar l'assaig, la presència d'humitat en aquestes hagi alterat els resultats.

#### 5.4.4.2. Índex de rebot

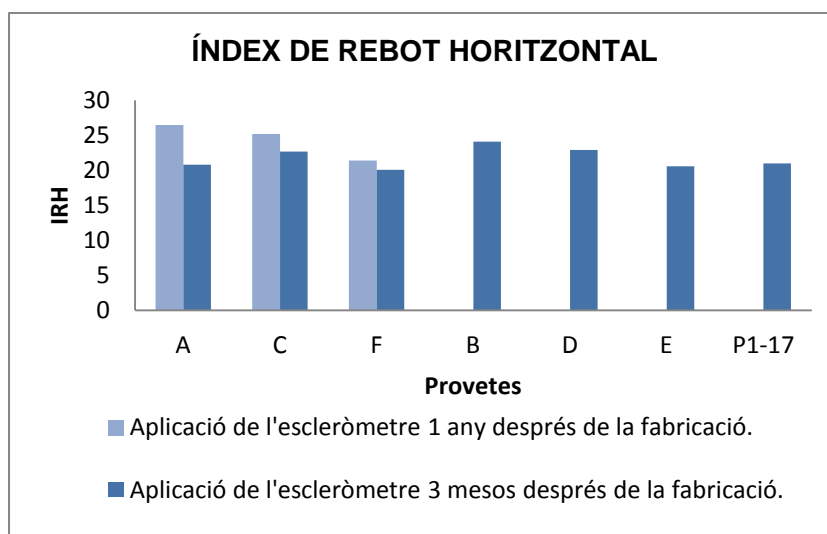
- *Tàpia (diferents dosificacions)*

En aquestes provetes s'hi ha realitzat l'assaig de l'índex de rebot dues vegades, una en els 3 mesos de la seva fabricació i l'altra abans de la realització de l'assaig a compressió. Aquest últim assaig coincideix en un any després de la seva fabricació. A cada assaig s'ha disparat l'escleròmetre 10 vegades. D'aquestes lectures cal eliminar els valors anormalment baixos o alts, és a dir, tots aquells que difereixin més de 6 unitats de la mitjana de les lectures realitzades.

A la Taula 2.1-1 i la Gràfica 2.1-1 de l'annex I, corresponent a l'assaig horitzontal realitzat en els 3 mesos, s'hi pot veure que la majoria de provetes tenen una mitjana d'índex de rebot entre 20 i 22 unitats de l'escala de l'escleròmetre. La proveta amb un índex de rebot més alt és la PB, IR mitjà és igual a 24,1 unitats. En el cas oposat, la proveta amb un menor índex de rebot és la PF, amb un IR mitjà de 20,1. A la gràfica 2.1-2 de l'annex I, es mostra la freqüència de valors d'aquest assaig.

Tot seguit, s'analitzaran les dades obtingudes durant l'assaig horitzontal, data d'un 1 any després de la fabricació de les provetes. Els resultats es mostren a la Taula 2.1-2 i la Gràfica 2.1-3 de l'annex I. En aquestes s'hi pot veure que la proveta amb un índex de rebot més alt és la PA, amb un índex de rebot mitjà de 26,5 unitats de l'escleròmetre. I la més baixa és la PF amb un índex de rebot de 21,4. A la Gràfica 2.1-4 de l'annex I es mostra la freqüència de valors d'aquest assaig.

La Gràfica 5.4.4.2-1 mostra una comparativa de les dades obtingudes, en els 3 mesos i en l'any des de la seva fabricació. La PB, PD, PE, no se'ls hi ha realitzat l'assaig a la data d'1 any, ja que aquestes ja havien estat sotmeses a l'assaig de resistència a compressió quan es va decidir realitzar aquest assaig.



Gràfica 5.4.4.2-1. Comparativa de l'IR<sub>h</sub> als 3 mesos i l'IR<sub>h</sub> a un any, amb els valors mitjans de cada proveta. Representació l'índex de rebot mitjà de l'assaig als 4 mesos de les P1-17.

Com es pot veure a la gràfica, l'índex de rebot de l'any és més alt que en el dels 3 mesos. Això, indica que la resistència d'aquestes ha augmentat. Per altra banda, també s'hi pot veure que l'índex de rebot de les provetes P1-17 en els 4 mesos des de la seva fabricació és de 21 unitats, és a dir és molt semblant a les de les provetes PA-F en els 3 mesos.

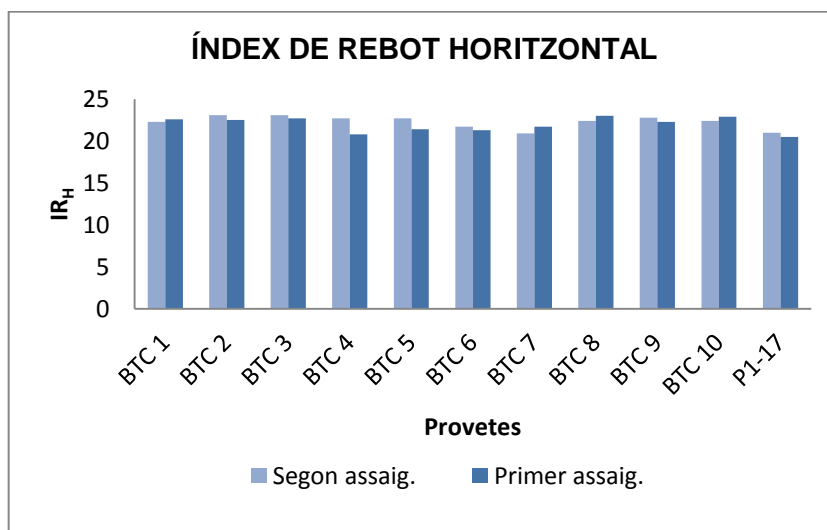
- **BTC**

L'assaig de l'índex de rebot s'ha realitzat dues vegades horitzontalment a cada BTC, una en el mes d'abril del 2011 i l'altra durant el mes de febrer del 2011. Aquest últim assaig coincideix amb la data de l'assaig a resistència a compressió. En cada assaig s'ha disparat l'escleròmetre 10 vegades. D'aquestes lectures cal eliminar els valors anormalment baixos o alts, és a dir, tots aquells que difereixin més de 6 unitats de la mitjana de les lectures realitzades.

A la Taula 2.2-1 i la Gràfica 2.2-1 de l'annex I, corresponents al primer assaig, s'hi pot veure que la majoria de provetes tenen una mitjana d'índex de rebot entre 20 i 22 unitats de l'escala de l'escleròmetre. La proveta amb un índex de rebot més alt són el BTC2 i el BTC3, IR mitjà és igual a 23,1 unitats. En el cas oposat, la peça amb un menor índex de rebot és el BTC7, amb un IR mitjà de 20,9. A la Gràfica 2.2-1 de l'annex I es mostra la freqüència de valors d'aquest assaig.

Les dades obtingudes durant l'assaig horitzontal abans de trencar les peces es mostren a la Taula 2.2-2 i la Gràfica 2.2-3 de l'annex I. En aquestes s'hi pot veure que el BTC amb un índex de rebot més elevat és el BTC8, amb un índex de rebot mitjà de 23 unitats de l'escleròmetre. I la més baixa és el BTC4 amb un índex de rebot de 20,8. A la gràfica 2.2-4 de l'annex I es mostra la freqüència de valors d'aquest assaig.

A la Gràfica 5.4.4.2-2 es mostra una comparativa amb els resultats obtinguts en els dos assajos. Com es pot observar a aquesta, els resultats obtingut, tant en el primer com en el segon assaig, són molt homogenis. En aquesta gràfica també s'hi ha representat les mitjana de les P1-17. Com es pot veure en aquesta gràfica els índex de rebot dels BTC i els de les provetes de tàpia són molt similars.



Gràfica 5.4.4.2-2. Comparativa del índex de rebot amb els valors mitjans de cada una de les provetes. També s'hi ha representat els índex de rebot mitjà de les P1-17.

### 5.4.4.3. Assaig de resistència a compressió

- **Tàpia**

Les provetes de tàpia PA-F no han trencat, ja que les seves dimensions eren massa grans. Per aquest motiu, les provetes testimoni realitzades a l'obra, P1-17, es van fer d'unes dimensions menors, d'aproximadament 25x35x20 cm.

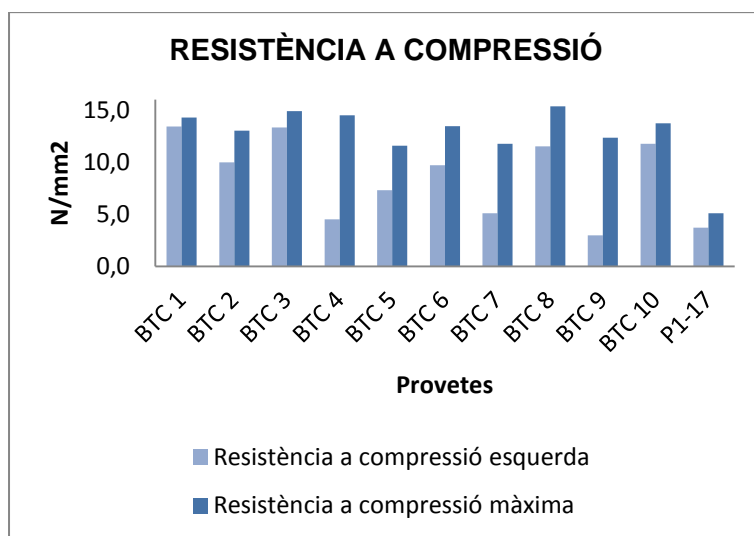
- **BTC**

Per a realitzar aquest assaig s'ha utilitzat el mateix procediment que per a les mostres P1-17, explicat a l'apartat 11.1, 11.2 i 11.3 de l'annex H. Els resultats obtinguts durant l'assaig són la càrrega aplicada a la proveta i la deformació presentada, amb una freqüència d'una dada per segon. Aquests es mostren a les Taules 3.1-1 a la 3.1-10 de l'annex I. Amb aquestes s'ha calculat la resistència a compressió i la deformació de les provetes.

La Taula 3.1-11 i la Gràfica 3.1-1 de l'annex I mostren la resistències a compressió de cada peça. Com es pot veure, els resultats obtinguts són molt homogenis, ja que les resistències varien des de 11,6 N/mm<sup>2</sup>, de la BTC5, fins a 15,8 N/mm<sup>2</sup> de la BTC7. La mitjana de totes les mostres és de 13,5 N/mm<sup>2</sup>.

Tal i com es pot veure a la Taula 3.1-12 i a la Gràfica 3.1-2 de l'annex I, les resistències de compressió quan apareixen les esquerdes són molt heterogenis. El BTC que més resistència té sense que apareguin esquerdes és el BTC1, amb una resistència de 13,4 N/mm<sup>2</sup>. En canvi, la mostra que ha presentat més aviat esquerdes és la P9, amb una resistència de 3 N/mm<sup>2</sup>. La mitjana de la resistència a compressió en el moment que les provetes comencen a presentar esquerdes és de 9 N/mm<sup>2</sup>.

A la Gràfica de barres 5.4.4.3-1 es mostra la comparació entre les resistències de cada una de les mostres, tant la màxima com en el moment que apareixen esquerdes. La proveta que té més variació entre les dues resistències és el BTC9, ja que al 24% de la seva resistència màxima apareixen esquerdes. En canvi, el que presenta menys variació és la P1, ja que han aparegut esquerdes al 94% de la seva resistència màxima. A la Taula 3.1-13 de l'annex I es mostren els percentatges de variació. El percentatge mitjà de variació entre les dues resistències de les provetes és de 66,4%. És a dir, les esquerdes apareixen al 66,4% de la resistència màxima de les provetes.



Gràfica 5.4.4.3-1. Comparativa de les resistències a compressió màxima i a esquerra dels BTC1-10. També s'hi ha representat les mitjanes de les provetes P1-17.

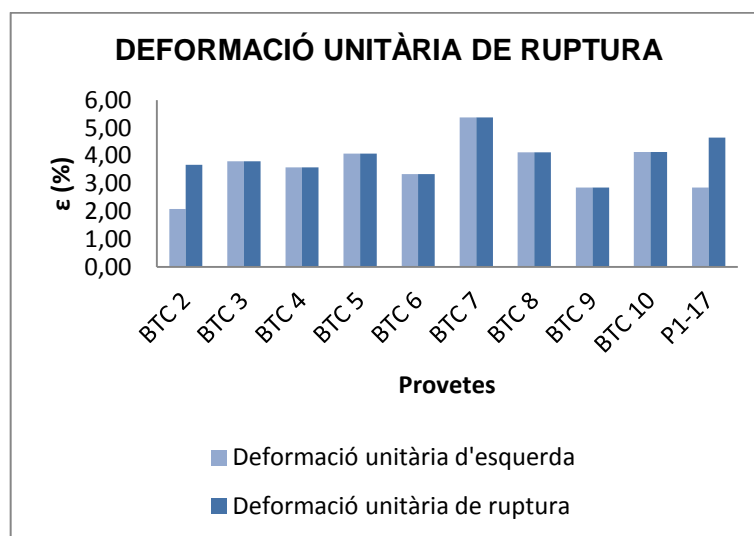


Segons la fitxa tècnica del fabricant (Fig.3.1-1 i 3.1.-2) les peces poden suportar una tensió de  $7,18 \text{ N/mm}^2$ , però els resultats obtinguts han estat superiors amb una mitjana de  $9 \text{ N/mm}^2$

### Deformació

Les taules (3.1-14, 3.1-15) i a les gràfiques (3.1-3, 3.1-4) de l'annex I mostren les deformacions unitàries que ha patit cada bloc de terra comprimida, tant la de ruptura com la que presenta en el moment d'aparició de les esquerdes.

A continuació es mostrarà una gràfica de barres comparativa de les dues deformacions unitàries calculades de cada una de les peces. Com es pot veure a la Gràfica 5.4.4.3-2, la peça que més ha deformat en el moment de ruptura ha estat el BTC7, amb una reducció del 5,38% de la seva alçada inicial. El bloc que menys ha reduït l'alçada ha estat el BTC, amb una deformació unitària del 2,85%. La mitjana de deformació unitària en el moment de la ruptura és de 3,88%.



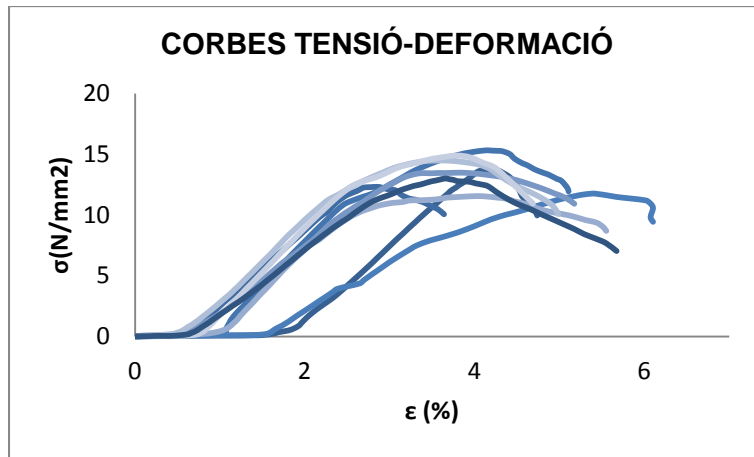
Gràfica 5.4.4.3-2. Deformació unitària a ruptura i a esquerda dels BTC1-10. També s'hi ha representat les mitjanes de les provetes P1-17.

A aquesta gràfica també s'hi pot veure que el bloc que ha patit més deformació és el BTC2, aquest és l'únic que ha presentat esquerdes abans de la ruptura amb una deformació del 2,1%. En canvi, la resta de peces que han presentat esquerdes en el moment de ruptura. La mitjana de la deformació unitària quan els BTC quan presenten esquerdes és de 95,2%. Per tant, el BTC2 ha presentat esquerdes al 56,8% de la seva deformació unitària a ruptura. (Taula 3.1-16, annex I)

### Mòdul d'elasticitat i límit elàstic

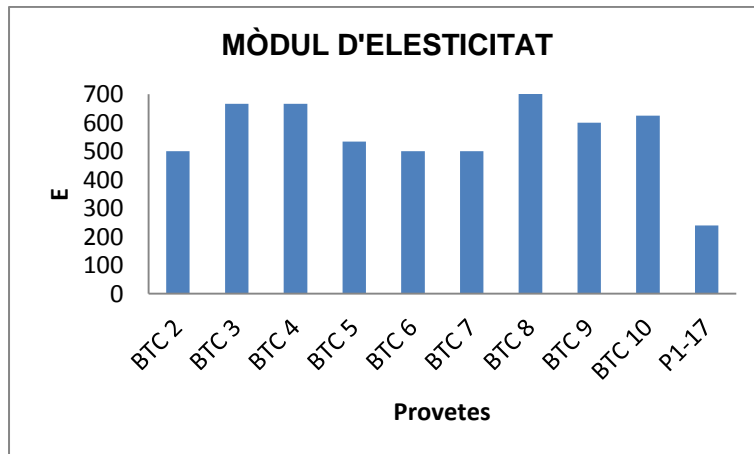
Un cop acabat l'assaig, amb les dades obtingudes s'han representat les gràfiques de tensió-deformació de cada bloc assajats. Aquestes corbes es poden consultar a les Gràfiques 3.1-5/3.1-14 de l'annex I.

A la Gràfica 5.4.4.3-3 s'hi han representat totes les gràfiques de tensió-deformació de les mostres per tal de comparar-ne el comportament. Com es pot veure totes les corbes segueixen el mateix partó que el de les provetes P1-17. Es pot veure clarament una primera zona on hi ha una gran deformació per una tensió de  $0,1-0,2 \text{ N/mm}^2$ . La deformació en aquest tram varia del 0,4-1,6%. Aquesta zona coincideix amb la compactació del BTC fins que comença a comportar-se com un material sòlid.



Gràfica 5.4.4.3-3. Corbes de tensió deformació de totes les peces.

A les gràfiques de tensió-deformació de cada bloc s'hi ha traçat una recta tangent a la corba, per tal de calcular-ne el pendent i obtenir-ne el mòdul d'elasticitat  $E$  en  $N/mm^2$ . Els resultats obtinguts dels mòduls d'elasticitat es mostren numèricament a la Taula 3.1-17 de l'annex I, així com gràficament a la Gràfica 5.4.4.3-4.



Gràfica 5.4.4.3-4. Mòdul d'elasticitat dels blocs de terra comprimida BTC1-10, en  $N/mm^2$ .

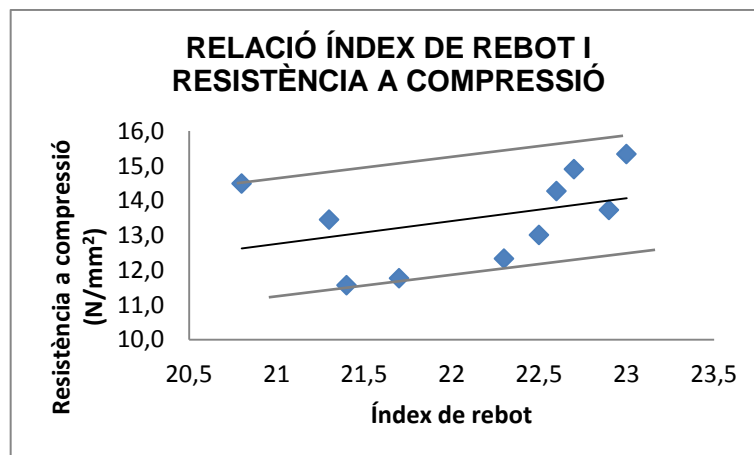
Com es pot veure en la gràfica anterior, el BTC amb un mòdul d'elasticitat més petit és 500  $N/mm^2$  corresponent al BTC2-6-7. En canvi, la mostra amb un mòdul d'elasticitat més gran és el BTC8, amb un mòdul de 750  $N/mm^2$ . El mòdul d'elasticitat mitjà de les mostres és de 594  $N/mm^2$ . En aquesta gràfica també s'hi ha representat el mòdul d'elasticitat mitjà de les provetes P1-17, com es pot veure aquest és molt més baix que el dels BTC. Per tant, els blocs de terra comprimida són més rígids que les provetes de tàpia.

Un cop calculat el pendent de la recta, s'ha traçat una paral·lela a una equidistància del 0,2% respecte a la recta tangent de la corba. El punt on la paral·lela talla amb la corba és el límit elàstic. A les Gràfiques 3.1-5/3.1-14 i a la Taula 3.1-18 de l'annex I es mostren els valors obtinguts de tensió i deformació en el límit elàstic.

Tot seguit és compararan els valors, tant de tensió com de deformació unitària, en el moment en què apareix l'esquerda i en el límit elàstic. Els resultats es mostren a la Taula 3.1-19 i 3.1-20 de l'annex I. Com es pot observar a les Gràfiques 3.1-15 i 3.1-16 de l'annex I no existeix relació entre el límit elàstic i el moment en què apareixen les esquerdes, ja que aquestes apareixen en el moment de ruptura.

### Relació entre resistència a compressió i l'índex de rebot de l'escleròmetre

A l'assaig anterior, l'índex de rebot mitjançant l'escleròmetre, s'han obtingut unes mitjanes de les lectures efectuades per a cada proveta. Aquestes es relacionaran amb la resistència de compressió. La Taula 3.1-21 de l'annex I mostra les dades utilitzades per a la realitzar la Gràfica 5.4.4.3-5. En aquesta gràfica es pot veure la relació de l'índex de rebot i la resistència a compressió de cada una de les provetes.



Gràfica 5.4.4.3-5. Relació entre l'índex de rebot i la resistència a compressió dels BTC assajats.

La línia de regressió segueix l'expressió matemàtica següent:

$$y = 0,6566x - 1,0363$$

La R<sup>2</sup> d'aquesta línia de regressió és de 0,1473, en tant per u. Per tant 14,73% de les dades segueixen aquesta expressió. En la aquesta gràfica s'hi han traçat dues línies paral·leles a al recta de regressió. Aquestes dues marquen els límits màxim i mínim d'aquesta correlació.

En el cas de les provetes de tàpia, la correlació obtinguda és més elevada, del 68%. A més a més, en la gràfica generada per les P1-17, la recta té més pendent, això vol dir que com més gran és l'índex de rebot més resistència presenten les provetes.

#### 5.4.5. Comparativa de la tàpia analitzada amb altres tècniques constructives

Tot seguit es realitzarà una comparativa de la tàpia analitzada de l'habitatge de Martorelles amb altres tècniques constructives, per tal de conèixer els avantatges i els inconvenients de la tàpia estudiada. Les tècniques que es comparen amb la tàpia són: la fàbrica de bloc de terra comprimida, la fàbrica de tova, el formigó en massa i la fàbrica de maó massís, tal i com es mostra a la Taula 5.4.4-1. El BTC i la tova s'han escollit perquè també tenen la base la terra. I les dues restants per ser dues tècniques d'ús generalitzat.

Com es pot comprovar, les dimensions varien en funció de la tècnica constructiva. En els casos de la tàpia i el formigó, l'espessor del mur vindrà donat per l'encofrat, adaptant-se a les necessitats del projecte. En les tècniques en què el mur és una fàbrica, el gruix ve donat per la posició d'aquestes i també serà el especificat al projecte.

Pel que fa a la densitat, el material amb un valor més alt és el formigó, entre 2000 i 5000 Kg/m<sup>3</sup>. La tova té el valor més baix, amb una densitat d'entre 1200 i 1500 Kg/m<sup>3</sup>, seguida de la tàpia i el BTC amb valors entre 1700 i 2100 Kg/m<sup>3</sup>.

PROPIETATS	UNITATS	TÀPIA ANALITZADA	BTC ESTABILITZAT	TOVA	FORMIGÓ EN MASSA	MAÓ MASSÍS
Dimensions	cm	Segons projecte	29,5x14x9 <sup>2</sup>	30x15x6	Segons projecte	29x14x5,2/6/7,5
Densitat	Kg/m <sup>3</sup>	1700	1700-2000 <sup>1</sup>	1200-1500 <sup>5</sup>	2000-2500 <sup>6</sup>	1800 <sup>8</sup>
Quantitat ciment per m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	170	-	-	200-500 <sup>6</sup>	-
Quantitat àrid per m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	1450	-	100	175-185 <sup>6</sup>	-
Mòdul de Young	N/mm <sup>2</sup>	160-330	600-980 <sup>3</sup>	120-150 <sup>5</sup>	20000-40000 <sup>6</sup>	2900-4900
Resistència compressió	N/mm <sup>2</sup>	3-7	2-8 <sup>3</sup>	0,53-1,72 <sup>5</sup>	20-50 <sup>6</sup>	4-10 <sup>4</sup>
Resistència flexió	N/mm <sup>2</sup>	-	0,5-0,20 <sup>3</sup>	-	-	0,1-0,20 <sup>4</sup>
Resistència tracció	N/mm <sup>2</sup>	-	0,5-0,20 <sup>3</sup>	-	2-6 <sup>6</sup>	-
Resistència tallant	N/mm <sup>2</sup>	-	0,5-0,20 <sup>3</sup>	-	15 <sup>6</sup>	0,1-1,7 <sup>4</sup>
Conductivitat tèrmica	W/m·K	0,54	0,81 <sup>1</sup>	0,46 <sup>1</sup>	1,65 <sup>6</sup>	1,04 <sup>1</sup>
Emissions CO <sub>2</sub>	Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	150,8 <sup>1-5</sup>	-	74 <sup>1</sup>	320 <sup>7</sup>	301 <sup>7</sup>

Taula 5.4.4-1. Comparativa de la tàpia realitzada a Martorelles i altres tècniques constructives.

El material que té una resistència a compressió més alta és el formigó amb valors de 20 i 50 N/mm<sup>2</sup>, degut a la seva composició. La tècnica amb una resistència a compressió més baixa és la tova amb valors que van de 0,5 a 1,7 N/mm<sup>2</sup>. La tàpia es troba entre aquestes tècniques constructives, amb resistències a compressió de 3-4 N/mm<sup>2</sup>.

Les resistències a tracció, flexió, i tallant, no són molt elevades en els materials analitzats, tenint en la majoria dels casos valors inferiors a 1 N/mm<sup>2</sup>. No obstant, els murs analitzats no estan sotmesos a aquests tipus d'esforços.

Les tècniques que presenten un millor comportament són la tova i la tàpia, amb conductivitats de 0,46 i 0,54 W/m·K, respectivament. Seguidament es troba el BTC amb una conductivitat de 0,93 W/m·K a l'obra i de 0,81 W/m·K segons la fitxa tècnica del material. Els formigó i el maó massís, són els materials amb conductivitats més altes, d'1,65 i 1,06 W/m·K, respectivament.

És interessant conèixer l'impacte mediambiental dels materials i les diferents tècniques constructives. Per això, s'ha cercat la quantitat de ciment que s'utilitza en cada tècnica i les emissions de CO<sub>2</sub> corresponents. La tècnica que requereix una quantitat de ciment major, per metre quadrat és el formigó degut a la seva dosificació. Aquest conté entre 200 i 500 Kg de ciment per metre quadrat. El BTC té un contingut d'entre 200 i 300 Kg de ciment/m<sup>3</sup>. Per últim, la tàpia estabilitzada és la que menys amb una quantitat de 150-200 Kg ciment/ m<sup>3</sup> en el cas de Martorelles.

<sup>1</sup> Bestraten, 2011.

<sup>2</sup> Fitxa tècnica del Bloc BTC Bioterre, fabricant: Grup Planas.

<sup>3</sup> Auroville Earth Institute

<sup>4</sup> España. Ministerio de Fomento (2006). *DB SE-F: Fábrica*.

<sup>5</sup> Bauluz, 1992.

<sup>6</sup> España. Ministerio de Fomento (2008). *Instrucción de hormigón estructural EHE-08*.

<sup>7</sup> Institut de la Tecnologia i la Construcció de Catalunya, 2012.

<sup>8</sup> España. Ministerio de Fomento (2006). *DB SE-AE: Acciones de la edificación. Código Técnico de la Edificación*.

Les emissions del CO<sub>2</sub> també són majors per al formigó amb una quantitat de 320 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, seguida la fàbrica de maó massís amb 301 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. La tàpia genera unes emissions de CO<sub>2</sub> de 150 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. La tova, per la seva composició i execució, és que menys emissions genera, concretament 74 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

Amb les dades de les diferents tècniques constructives, es pot observar que la tàpia, presenta nombrosos avantatges sobre tècniques més esteses com el formigó o la fàbrica de maó. La seva resistència a compressió és inferior que la d'aquestes tècniques, però suficient per a suportar els esforços als que està sotmesa l'estructura.

## 5.5 Evolució i estat actual dels murs de tàpia

Posteriorment a l'execució dels murs de tàpia, s'ha realitzat una inspecció per avaluar el seu estat i analitzar les possibles lesions que presenti l'edifici. L'execució dels murs de tàpia realitzats a l'obra de Martorelles es va dur a terme entre els mesos de maig i juliol de l'any 2011. La visita per comprovar l'evolució de l'edifici s'ha realitzat al mes de març de l'any 2012, 8 mesos després.

### 5.5.1 Inspecció visual

Durant la inspecció visual dels murs de tàpia 1, 2, A-H (Fig. 1-11, Annex J), s'han detectat les lesions descrites a continuació.

#### 5.5.1.1 Esquerdes tipus 1

Murs de tàpia afectats: Tots els murs analitzats, 1, 2, A-H.

Les esquerdes o fissures són de poca profunditat. Formen una xarxa d'esquerdes horitzontals i verticals, a trenca juntes, a tota la superfície del mur. (Fig. 12, Annex J) Tot i que es produeixen en altres zones, algunes de les esquerdes horitzontals que formen la xarxa, coincideixen a la zona de canvi de tongada. (Fig. 13, Annex J)

#### 5.5.1.2 Esquerdes tipus 2

Murs de tàpia afectats: A, D, E, F i H

També es poden observar esquerdes paral·leles als elements de fusta, col·locats durant l'execució (Fig. 14, Annex J) per a la posterior col·locació de la fusteria. Aquestes es presenten en tota la longitud del mur. (Fig. 15, Annex J)

#### 5.5.1.3 Zones amb poca densitat

Murs de tàpia afectats: Tots els murs analitzats, 1, 2, A-H.

En zones puntuals i en els canvis de tongada, s'observa que el material presenta una densitat inferior que en la resta de zones. (Fig. 16, Annex J)

### 5.5.2 Causes

#### 5.5.2.1 Esquerdes tipus 1

Per a l'execució dels murs, es necessària l'aigua per tal que el ciment reaccioni i per activar les forces aglutinants de l'argila. El percentatge d'humitat necessari depèn de la distribució

granulomètrica utilitzada i de l'època de l'any en què es realitza el mur. Degut a l'evaporació, l'aigua desapareix amb una velocitat que depèn de la temperatura de l'ambient. Si la quantitat d'aigua és molt elevada i la pèrdua d'aquesta transcorre en un període curt de temps, es produeix una contracció que obliga a les partícules a aproximar-se entre elles. Això causa una tensió que el material no pot suportar. Aquesta tensió fa que el material de la superfície es trenqui i es formi una xarxa de fissures horitzontals i verticals a trenca juntes.

### 5.5.2.2 Esquerdes tipus 2

Les peces auxiliars utilitzades per a la posterior col·locació de la fusteria de l'habitatge són de fusta. Aquest material és higroscòpic, ja que degut a la seva porositat, és capaç d'absorbir i cedir la humitat de l'ambient en que es troba.

Durant l'execució del mur, a la barreja se li afegeix un percentatge d'humitat. Els elements de fusta, a l'estar en contacte amb aquesta terra humida, absorbeixen part d'aquesta i com a conseqüència augmenten el seu volum. Quan és produeix l'assecat dels murs, les peces de fusta també perden la humitat absorbida, disminuint el seu volum i separant-se del material que l'envolta. Això origina fissures paral·leles a la peça vertical, en la unió d'aquesta amb la tàpia.

### 5.5.2.3 Zones amb poca densitat

La tècnica de la tàpia consisteix en la compactació de la terra per obtenir un mur monolític que treballi com un sol element. En el procés d'execució, la compactació de la barreja es realitza mitjançant un picó pneumàtic i en tongades de 10 a 15 cm.

L'alçada d'algunes de les tongades dels murs afectats és superior a l'especificada al projecte. Per tant, el temps de piconament hauria de ser major per a aconseguir el mateix grau de compactació que en la resta del mur.

## 5.5.3 Conclusions

La quantitat d'aigua afegida durant l'execució dels murs va ser del 17%, una quantitat molt superior al 14% especificat al projecte. El procés d'assecat es va dur a terme a l'estiu i l'encofrat es va retirar amb molt poc interval de temps des de la seva finalització. Un cop retirat l'encofrat no es van protegir els murs per tal que la pèrdua d'humitat no fos tant accelerada. És per aquests motius que han aparegut fissures degudes a la retracció per assecat.

Les esquerdes paral·leles als elements de fusta, són degudes als canvis volumètrics d'aquests per la seva capacitat d'absorbir i cedir humitat a l'ambient o als elements que l'envolten.

Les zones puntuals que presenten menys densitat que les altres, tenen una compactació inferior. En aquestes no es va invertir el suficient temps en la compactació. En les zones coincidents als canvis de tongada, amb una densitat inferior, el problema recau en la pèrdua de la capacitat aglutinat de la barreja, ja que el temps transcorregut entre la finalització de la tongada i l'inici de la següent és massa elevat. En aquest període de temps el material s'ha assecat sense estar completament compactat.

## 5.6 Pressupost

Un dels aspectes importants a l'hora d'escollir una tècnica constructiva, és el seu cost econòmic. Per això s'ha realitzat un pressupost del cost de l'execució dels murs de tàpia. Per a la realització d'aquest, s'han consultat les bases de dades Banco BEDEC, de l'*Instituto de la Tecnología i la Construcción ITEC* i el Generador de preus del CYPE. Les dades del preu d'execució de la tàpia, han sigut extretes de la base de dades del Col·legi d'aparelladors de Guadalajara.

A l'apartat 1 de l'Annex K es mostra el pressupost de l'execució dels murs de tàpia detallat i amb les partides desglossades. A la Taula 5.6-1, podem veure un resum del pressupost de la construcció dels murs de tàpia de l'habitatge de Martorelles.

Partida	Cost
Neteja del terreny	1356,77 €
Excavació de terres per a la realització de la fonamentació	1456,56 €
Fonamentació	4758,01 €
Sobre fonamentació de formigó per als murs de tàpia	1576,88 €
Base dels murs de tàpia de fusta contra laminada	420,91 €
Mur de tàpia de 50 cm de gruix	4868,60 €
<b>COST TOTAL</b>	<b>14437,73 €</b>

*Taula 5.6-1. Resum del pressupost de l'execució dels murs de tàpia de l'habitatge de Martorelles.*

Per tal de comparar el preu de l'execució de la tàpia amb una altra tècnica constructiva que sigui similar a ella, s'ha comparat amb l'execució dels murs de formigó per a l'habitatge de Martorelles. A aquest se li ha afegit una partida d'aïllament tèrmic per a complir els requisits tèrmics establerts al CTE. El pressupost dels murs de formigó detallat i amb les partides desglossades es mostra a l'apartat 2 de l'Annex K.

El cost total dels murs de tàpia és de 14437,73€, mentre que el del formigó és de 21659,65€. El preu de la tàpia és inferior al del formigó, aproximadament un 30% més econòmic. Per tant la diferència del cost de l'execució dels murs de tàpia és considerable respecte els murs de formigó armat, resultant la tàpia la tècnica més econòmica.

## 6. PROPOSTA PLA DE CONTROL

Tot seguit, es mostra la taula resum del pla de control proposat:

FASE	CRITERIS DE CONTROL I FREQUÈNCIA			PRESA DE MOSTRES I FREQUÈNCIA		ASSAIG IN SITU I FREQUÈNCIA		ASSAIG LABORATORI I FREQUÈNCIA	
Components	Terra	Emmagatzematge	1/ 20m <sup>3</sup>	-Terra tipus	10kg/Tipus terra	- Organolèptic	1/ Tipus terra	- Anàlisi granulomètric	-
	Ciment	Marcatge CE	1	-	-	-	-	-	-
	Arlita	Marcatge CE	1	-	-	-	-	-	-
	Aigua	-	-	-	-	-	-	-	-
Execució barreja	Fang	Zona de treball	1/ Planta	-Barreja sense ciment	10kg/ 50m <sup>3</sup>	- Assaig de consistència - Assaig caiguda de la bola	1/ Planta	- Anàlisi granulomètric - Anàlisi granulomètric per sedimentació - Límit líquid - Límit plàstic - Proctor - Contingut de matèria orgànica - Contingut de sals solubles - Contingut de sulfats - Contingut de clorurs - Contingut de nitrats i nitrits	1/ 50m <sup>3</sup>
		Dosificació	1/ 10m <sup>3</sup>						
		Humitat	1/ 10m <sup>3</sup>						
		Temps de barreja	1/ 10m <sup>3</sup>						
Execució murs	Activitats	Replanteig	1/ Planta						
		Encofrat	1/ Planta						
		Motlles	1/ Planta						
		Juntes de dilatació	1/ Mur						
		Impermeabilització	1/ Planta						
		Revisió d'estris i maquinària	1/ Planta						
		Temps piconament	1/ 10m <sup>3</sup>		- Provetes testimoni	1/ Mur o 1/2m <sup>3</sup>			
		Alçada i nivell de les tongades	1/ 10m <sup>3</sup>						
		Alçada mur	1/ 10m <sup>3</sup>						

Taula 1. Criteris de control dels processos d'execució dels murs de tàpia.



La taula 1 conté les comprovacions suficients per verificar la conformitat de l'estructura, en relació amb els requisits mínims per els quals ha estat dissenyada. Aquestes han estat el resultat de l'anàlisi de les dades obtinguts durant seguiment del pla de control redactat per a l'habitatge unifamiliar de Martorelles.

En primer lloc, s'ha comprovat que el nivell de control pot ser menor que l'establert en el pla de Martorelles. Però, cal tenir en compte que si el nivell de control és normal, la dosificació emprada ha d'estar molt més controlada, per exemple, amb la utilització de sistemes mecànics per a la seva realització. Com es pot comprovar, els criteris de control proposats són els mateixos que per el pla de Martorelles, però en freqüències menors, ja que els establerts anteriorment són massa elevats.

La presa de dades dels component i la de l'execució de la barreja s'ha mantingut, ja que aquesta ha estat la mínima. En canvi, la presa de mostres proposada de les provetes testimoni és menor a la utilitzada, ja que si la dosificació està més controlada no farà falta tenir un control tan exhaustiu sobre de la barreja i de l'execució dels murs.

Les comprovacions es realitzen tant *in situ*, durant el procés d'execució per a poder comprovar el requisits establerts en el projecte; com al laboratori, per a caracteritzar el sòl i determinar la resistència i la durabilitat de l'estructura. Com s'ha pogut comprovar, els assajos *in situ* només aporten una informació qualitativa, per tant, la freqüència d'aquests pot ser menor. També s'han eliminat els assajos d'índex de rebot *in situ*, ja que aquests no aporten dades sobre la resistència o la densitat dels murs. D'altra banda els assajos al laboratori s'han mantingut amb les mateixes freqüències, ja que aquests aporten molta informació, tant de la barreja com del comportament dels murs.

## 7. CONCLUSIONS

La terra és utilitzada des de fa milers d'anys per a la construcció d'habitatges, fortaleses i edificacions religioses. Però aquesta, sovint, és considerada un material pobre i utilitzat en països en vies de desenvolupament. Actualment, la terra ha ressorgit com a material de construcció pel seu caràcter sostenible, ecològic i reciclable, aportant, així, un baix impacte ambiental.

Les normatives estatals vigents no contempnen la terra com a material de construcció, però aquestes estan en procés de redacció. Aquest fet, dificulta el seu ús, ja que no existeixen especificacions ni mètodes d'assaig. Alguns països han desenvolupat normatives específiques. Aquests, generalment, coincideixen en les zones on la tradició ha esdevingut un ús habitual d'aquest material. Són aquestes últimes les que s'han consultat per tal de comparar els resultats obtinguts.

El procés constructiu de la tàpia ha donat un pas endavant modernitzant eines i elements, garantint així, una millora de les propietats i un major control durant l'execució. El pla de control redactat ha permès un control molt intensiu per poder treure conclusions sobre el comportament de la terra. En primer lloc, ha permès determinar que la freqüència dels assajos *in situ* no cal que sigui tan elevada, ja que aquests només aporten una informació qualitativa. D'altra banda, els assajos d'índex de rebot realitzats a la barreja acabada de compactar no són viables per obtenir dades de densitat i resistència.

La terra del solar de Martorelles és un sòl sorrenc amb un contingut de llims i argila inferior al 10%. Aquest sòl no es troba en les granulometries recomanades en les normatives consultades. Malgrat això, a les proves de densitat i resistència, la granulometria emprada ha donat bons resultats. Per tant, s'ha comprovat que una granulometria amb un percentatge menor del 10% d'argila i amb un 10% de ciment dóna resultats satisfactoris. La barreja utilitzada no conté sals solubles, matèria orgànica, ni altres components que afavoreixin l'aparició de lesions de caràcter químic i, per tant, causar una descomposició del material afectant la seva durabilitat.

La humitat òptima varia segons la tipologia de sòl, per tant, l'assaig de compactació de la terra s'hauria de realitzar per a cada projecte. La humitat òptima del sòl de Martorelles és del 9%, però aquesta ha de ser lleugerament superior degut a l'ús del ciment com a estabilitzant, aproximadament del 14%. S'ha pogut comprovar que la humitat utilitzada en l'obra ha estat del 17%, causant una disminució de la densitat. La densitat mitjana obtinguda de les provetes és de 1700 Kg/m<sup>3</sup>, aquestes s'han realitzat amb la mateixa dosificació i procediment que l'utilitzat als murs. Per tant, es pot afirmar que la densitat dels murs es troba dins dels paràmetres adients per a aquest ús.

El comportament tèrmic de les mostres assajades és de 0,5445 W/m·K, és a dir, el murs de tàpia de l'habitatge tenen un bon comportament tèrmic, però malgrat això, no compleixen el CTE DB-HE.

L'índex de rebot realitzat a les provetes ha permès generar unes gràfiques per a relacionar les lectures amb la resistència i la densitat d'aquestes. Les gràfiques aporten un benefici, ja que es pot saber la densitat i la resistència aproximada del murs *in situ*. Finalment, s'ha relacionat l'índex de rebot horitzontal i el vertical, per tal de determinar-ne la relació que mantenen. Conèixer aquesta relació, permet determinar la resistència o la densitat en obra, indiferentment de la posició de l'aparell. Tot i les gràfiques obtingudes, el coeficient de correlació és baix, per aquest motiu s'hi han representat dues rectes amb el mateix pendent que les respectives rectes de regressió, marcant un límit mínim i límit màxim de la zona on es troben les dades. Per tant, en cas d'utilitzar aquestes rectes per a l'obtenció de resultat,

des de la vessant de la seguretat, es pot utilitzar la mínima. L'ús de l'escleròmetre per tal d'obtenir la resistència i la densitat sense utilitzar mètodes destructius, és viable, sempre i quan es generi una recta de límit mínim per a la dosificació emprada amb provetes testimoni realitzades en obra.

La resistència mitjana obtinguda és de 5,7 N/mm<sup>2</sup>, molt superior a la tensió que han de suportar els murs. Segons l'estudi realitzat, les mostres segueixen un mateix model de comportament a nivell mecànic, ja que quan aquestes entren en càrrega, 0,1-0,2 N/mm<sup>2</sup>, pateixen una elevada deformació unitària, aproximadament, del 0,6 o l'1,7% de la seva alçada. Aquest tram de la gràfica coincideix amb l'augment de densitat de la proveta, és a dir, aquesta augmenta fins a aconseguir una compactació màxima. És en aquest moment quan el material es comporta com un sòlid. Per tant, els murs de tàpia patiran una reducció important de la seva alçada, aproximadament de 1,5-5,2 mm degut a la tensió. Per altra banda, també es pot afirmar que els murs no presentaran esquerdes generades per la tensió, ja que tots ells suporten càrregues molt inferiors a la 50-70% de la seva resistència a compressió a ruptura. El coeficient de minoració obtingut és 1,8, però aquest pot ser de 1,4 en el cas de tenir una dosificació molt controlada.

Durant l'anàlisi dels assajos s'ha detectat que la dosificació utilitzada per fabricar les provetes és diferent entre elles. Això fa pensar que les dosificacions utilitzades als murs també ho són, i per tant, les seves resistències a compressió també. El mètode establert a l'EHE-08 per a acceptar o rebutjar la resistència del formigó es pot adoptar per als elements de tàpia, no només per a controlar la resistència, sinó que també per controlar la dosificació. La utilització d'aquest mètode obligaria a implantar un sistema de dosificació mecànic a l'obra, i d'aquesta manera s'aconseguiria un marge d'error menor en la dosificació. Garantint, així, una dosificació i resistència homogènia entre els murs.

La comparativa de les provetes P1-17 amb les PA-F i els BTC, ha permès verificar que el conductímetre, si la conductivitat és coneguda, permet saber si el material conté humitat. A més a més, s'ha comprovat que el comportament mecànic del BTC és similar al de la tàpia, però aquest és més rígid. En els bloc de terra comprimida també se'ls hi ha realitzat l'assaig de l'índex de rebot, generant, així, unes gràfiques que permeten obtenir uns valor orientatius sobre la resistència d'aquests. En la comparativa de la tàpia amb altres tècniques, s'ha pogut comprovar que aquesta presenta nombrosos avantatges sobre tècniques més esteses com el formigó o la fàbrica de maó, sobretot en el comportament tèrmic i en la reducció d'emissions de CO<sub>2</sub>.

La vista a l'obra per a comprovar l'estat actual dels murs, ha permès afirmar que la utilització d'un elevat percentatge d'humitat per a realitzar la barreja, un procés d'assecat durant l'estiu i el desencofrat amb molt poc interval de temps des de la seva finalització, han propiciat les fissures degudes a la retracció. Aquests també presenten esquerdes paral·leles als elements de fusta, degudes als canvis volumètrics d'aquests. Les zones puntuals que presenten menys densitat, tenen una compactació inferior, ja que no s'hi va invertir el suficient temps en la compactació. En les zones coincidents als canvis de tongada el problema recau en la pèrdua de la capacitat aglutinat de la barreja, ja que el temps transcorregut entre la finalització de la tongada i l'inici de la següent és massa elevat.

El preu de la tàpia és inferior al del formigó, aproximadament un 30% més econòmic. Per tant la diferència del cost de l'execució dels murs de tàpia és considerable respecte els murs de formigó armat, resultant la tàpia una tècnica més econòmica.

Finalment, després de l'anàlisi de les dades s'ha proposat un pla de control per a ser utilitzat en les construccions en terra. En aquest s'ha reduït la freqüència dels assajos *in situ* i s'han eliminat els assajos d'índex de rebot *in situ*. D'altra banda, si la dosificació està més controlada, els criteris de control poden ser menys freqüents que els proposats inicialment.

## 8. BIBLIOGRAFIA

### 8.1. Llibres, articles i apunts

Arricivita, Àngel. *Apunts de l'assignatura Coneixements de la Construcció i Materials. Arquitectura Tècnica*. Barcelona: Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona, UPC.

Bauluz, G.; Bàrcena, P (1992). *Bases para el diseño y construcción con tapial*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Bestraten, S.; Hormías, E.; Altemir, A (2011). *Construcción con tierra en el siglo XXI*. Informes de la Construcción (Vol 63, N° 523).

Casanovas i Boixereu, Xavier; Castro Villalba, Antonio; González Moreno-Navarro, José Luis; Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (1995). *Manual de diagnosi i intervenció en sistemes estructurals de parets de càrrega*. Barcelona: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona.

Cid, J.; Mazarrón, F.; Cañas, I (2011). *Las normativas de construcción con tierra en el mundo*. Informes de la Construcción (Vol 63, N° 523)

España. Ministerio de Fomento (1999). *Arquitectura de tierra. Encuentros Internacionales Centro de Investigación Navapalos*. Madrid: Centro de publicaciones Secretaria General Tècnica Ministerio de Fomento.

Doat, P.; Hays, Alain; Houben, Hugo; Guillaud, Hubert; Matuk, S.; Vitoux, F (1979). *Construire en terre*. CRATerre. Paris: Editions Alternatives.

Font, F.; Hidalgo, P (1991). *El tapial. Una tècnica constructiva mil·lenària*. Segona edició. Castelló: Fermín Font i Mezquita i Pere Hidalgo i Chulio.

Font, F.; Hidalgo, P (2011). *La tapia en España. Técnicas actuales y ejemplos*. Informes de la Construcción (Vol 43, N° 523).

Guigou, C (2002). *La Tierra como material de construcción*. Tenerife: Colegio Oficial de Arquitectos de Canarias, DL.

Houben, H; Guillaud, H (1995). *Traité de construction en terre*. CRATerre. 2e ed. Marseille: Parenthèses. Marseille.

Hormias, Emili. *Apunts Assignatura Diagnosi d'Elements Estructurals . Accions Singulares en edificis existents II. Enginyeria en Edificació*. Barcelona: Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona, UPC.

Hoz Onrubia, J.; Maldonado Ramos, L.; Vela, F (2003). *Diccionario de construcción tradicional: Tierra*. San Sebastián: Nerea.

Maldonado, L.; Castilla F.; Vela, F (1997). *La técnica del tapial en la Comunidad Autónoma de Madrid. Aplicación de nuevos materiales para la consolidación de muros de tapia*. Informes de la Construcción (Vol 49, N° 452).

Mimó, R.; fotografies de Jordi Esteva (1996). *Fortalezas de barro en el sur de Marruecos*. Madrid: Compañía Literaria.

Minke, G. (2010). *Manual de Construcción en Tierra*. Editorial EcoHabitat V.S., S.L.

Navarro, Antonia. (2010, novembre). "La terra com a material de construcció" A: *Jornades Low Tech 1*. Ponència. Barcelona: Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya.

Rauch, M.; Kapfinger, O (2001). *Rammed earth, Lehm un Architektur*. Basel: Ed. Birkhäuser.

Rauch, M.; von Mag, A (2011). *Paredes de tapial y su industrialización (encofrados y sistemas de compactación)*. Informes de la Construcción (Vol 63, Nº 523).

Rael, R (2008). *Earth architecture*. New York : Princeton Architectural Press.

Rosell, Joan Ramón. (2010). *Apunts Assignatura Processos d'alteració dels materials. Accions Singulares en Edificis I. Enginyeria en Edificació*. Barcelona: Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya.

Steen, A.; Steen, B.; Komatsu, E.; Komatsu, Y. (2003). *Built by hand: Vernacular buildings around the world*. Salt Lake City: Gibbs Smith, cop.

Walker, P.; Keable, R.; Martin, J.; Maniatidis, V (2005). *Rammed earth. Design and construcion guideline*. Watford: BRE.

VV.AA (1987). *La tierra, material de construcción*. Monografías del Instituto Eduardo Torroja, 385-386. Madrid.

## 8.2. Normativa

AEN/CTN 41 SC 10 "Edificación con tierra cruda" de AENOR (2008). *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. UNE 41410*. Madrid: AENOR.

AFNOR (2001). *Compressed earth blocks for walls and partitions: definitions - Specifications - Test methods - Delivery acceptance conditions. XP P13-901*. Saint-Denis La Plaine Cedex: AFNOR.

ARSO. *Compressed earth blocks. ARS 670- ARS 683*. Nairobi, Kenya: African Regional Standard ARSO.

Brasil. Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986-1996). *Conjunto de Normas Técnicas brasileiras NBR* . Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Bureau of Indian Standards (1980). *Code of practice for in-situ construction of walls, in building soil-cement. IS 2110 :1980*. India: Bureau of Indian Standards (BIS).

Bureau of Indian Standards (1982). *Specification for soil based blocks used in general building construction. IS 1725: 1982*. India: Bureau of Indian Standards (BIS).

Bureau of Indian Standards (1993). *Improving earthquake resistance of earthen buildings – Guidelines. IS 13827:1993*. India: Bureau of Indian Standards (BIS).

*Constructuin Industries Division CID of the regulation and Licensing Departament. (2004). New Mexico Earthen Buildings Materials Code. NMAC 14.7.4*. Santa Fe: Construction Industries Division CID of the regulation and Licensing Departament.

Earth Building Association of Australia (2001). *Earth Building Book. Draft for Comment. Draft Code 05/01*. Wangaratta, Australia: Earth Building Association of Australia (EBAA).

España. Ministerio de Fomento (2006). *DB SE-AE: Acciones de la edificación. Código Técnico de la Edificación*. Real Decreto 314/2006. Madrid: Centro de publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Fomento.

España. Ministerio de Fomento (2006). *DB SE-F: Fábrica*. Real Decreto 314/2006. Madrid: Centro de publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Fomento.

España. Ministerio de Fomento (2006). *DB HE: Ahorro de energía. Código Técnico de la Edificación*. Real Decreto 314/2006. Madrid: Centro de publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Fomento.

España. Ministerio de Fomento (2008). *Instrucción de hormigón estructural EHE-08*. Madrid: Centro de publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Fomento.

España. Ministerio de Obras Públicas y Transporte (1993) *UNE 103-204-93: Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

España. Ministerio de Obras Públicas y Transporte (1993) *UNE 103-104-93: Determinación del límite plástico de un suelo*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

España. Ministerio de Obras Públicas y Transporte (1994) *UNE 103-103-94: Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

España. Ministerio de Obras Públicas y Transporte (1994) *UNE 103-501-94: Ensayo de compactación. Proctor modificado*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

España. Ministerio de Obras Públicas y Transporte (1995) *UNE 103-102-95: Análisis granulométrico de suelos finos por sedimentación. Método del densímetro*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

España. Ministerio de Obras Públicas y Transporte (1995) *UNE 103-101: Análisis granulométrico de suelos por tamizado*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

España. Ministerio de Obras Públicas y Transporte (1995). *UNE 103-101: Análisis granulométrico de suelos por tamizado*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

España. Ministerio de Obras Públicas y Transporte (2006) *UNE 103-205: Determinación del contenido de sales solubles de un suelo*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

ICONTEC (2004). *Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega. NTC 5324*. Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

IETcc. (1971). *Obras de Fábrica*, En: Prescripciones del Instituto Eduardo Torroja – PIET-70. Madrid: Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento (IETcc).

INDECOPI (1978a). *Elementos de suelo sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros: Requisitos. NTP 331.201*. Lima: Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.

INDECOPI (1978b). *Elementos de suelos sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros: Métodos de ensayo. NTP 331.202*. Lima: Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.

INDECOPI (1978c). *Elementos de suelos sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros: Muestra y recepción. NTP 331.203*. Lima: Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.

INNORPI. (1996). *Blocs de terre comprimée ordinaires – Spécifications techniques. NT 21.33*. Tunisia: Tunisian Standards.

INNORPI (1996). *Blocs de terre comprimée - Définition, classification et designation. NT 21.35*. Tunisia: Tunisian Standards.

KEABLE, J (1996). *Rammed Earth Structures. A code of Practice*. London: Intermediate Technology Publications.

KEBS (1999). *Specifications for stabilized soil blocks. KS 02-1070:1993*. Nairobi: Kenya Bureau of Standards (KEBS).

Middleton, G.F (1992). *Bulletin 5. Earth Wall Construction*. Fourth Edition, revised by Schneider L. M. in 1987. North Ryde, Australia: CSIRO Division of Building, Construction and Engineering.

Regione Piemonte (2006). *Norme per la valorizzazione delle costruzioni in terra cruda*. L.R. 2/06 Gazzetta Ufficiale (Piemonte n. 2).

SAZ (2001). *Standard Code of Practice for Rammed Earth Structures*. Standards Association Zimbabwe Standard SAZS 724. Harare: Standards Association of Zimbabwe (SAZ).

SENCICO (2000). *Adobe. Norma Técnica Edificación NTE E 0.80*. Lima: SENCICO.

SNZ (1998). *Engineering design of earth buildings. NZS 4297*. Wellington: Standards New Zealand (SNZ).

SNZ (1999). *Earth buildings not requiring specific design. NZS 4299*. Wellington: Standards New Zealand (SNZ).

SNZ (1998). *Materials and workmanship for earth buildings. NZS 4298*. Wellington: Standards New Zealand (SNZ).

Standarts Australia (2002). *HB 195: The Australian earth building handbook*. Sydney, Australia: Standards Australia.

TSE (1985a). *Cement Treated Adobe Bricks*. Turkish Standard TS 537. Ankara: Turkish Standard Institution (TSE).

TSE (1985b). *Adobe Blocks and Production Methods*. Turkish Standard TS 2514 Ankara: Turkish Standard Institution (TSE).

TSE. (1985c). *Adobe Buildings and Construction Methods*. Turkish Standard TS 2515 Ankara: Turkish Standard Institution (TSE).

### 8.3. Consultes WEB

Cambridge University Press (2012). *Cambridge Dictionaries Online* [Diccionari en línia]. Cambridge University Press [Data de consulta: 27 de març de 2012]. <<http://dictionary.cambridge.org/>>

CYPE Ingenieros, S.A (2012). *CYPE Generador de Precios* [Base de dades en línia]. CYPE Ingenieros, S.A. [Data de consulta: 18 de març de 2012]. <<http://www.generadordeprecios.info/>>

Enciclopèdia Catalana (2012). *Diversos articles* [Article en línia]. Enciclopèdia Catalana [Data de consulta : 15 de gener de 2012]. <http://www.enciclopedia.cat>

Institut d'Estudis Catalans. (2012). *Diccionari de la llengua catalana*. [Diccionari en línia]. Institut d'Estudis Catalans. [Data de consulta: 18 de març de 2012]. <<http://dlc.iec.cat/>>

Institut de la Tecnologia i la Construcció de Catalunya (2012). *Banco BEDEC* [Base de dades en línia]. ITEC. [Data de consulta: 18 de març de 2012]. <<http://www.itec.es/nouBedec.e/bedec.aspx>>

KLH Massivholz GmbH. (2012). *Datos técnicos característicos* [Document en línia]. KLH Massivholz GmbH. [Data de consulta: 15 de març de 2012]. <[http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Statik/ES/KLH\\_Datos\\_tecnicos\\_caracteristicos.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Statik/ES/KLH_Datos_tecnicos_caracteristicos.pdf)>

Oxford University (2012). *Oxford Dictionaries* [Diccionari en línia]. Oxford University [Data de consulta: 27 de març de 2012]. <<http://oxforddictionaries.com/>>

Promocions Bioterre, S.L.U. (2012). *Fitxa Tècnica Bloc BTC Bioterre* [Document en línia]. Promocions Bioterre, S.L.U. [Data de consulta: 15 de març de 2012]. <[http://www.bioterre.es/images/ficha\\_bioterre.pdf](http://www.bioterre.es/images/ficha_bioterre.pdf)>



## 9. AGRAÏMENTS

Volem donar les gràcies a totes aquelles persones que ens han ajudat durant la realització d'aquest projecte final de grau, d'una manera o d'una altra, ja que sense elles, no hagués estat possible.

En primer lloc, agrair als tutors del projecte, Emili Hormias i Sandra Bestraten, per la seva ajuda en la realització d'aquest. També hem de donar les gràcies a la Cristina, al Ferran i al Guiu per permetre que fóssim presents durant l'execució del seu futur habitatge; i al Josep i a l'Elouafi per ensenyar-nos tantes coses sobre la tàpia i fer que el seguiment de l'obra fos tant interessant.

A continuació, hem d'agrair l'ajuda que ens ha facilitat el Laboratori de materials i control de qualitat de l'EPSEB en general, sobretot a l'Antonia Navarro, al Marc Tous, a la Laia Haurie, a la Laura, al David i al Vladi. No només per deixar-nos utilitzar les instal·lacions, eines i aparells, sinó també per els coneixements aportats. Finalment, cal donar les gràcies al Roger Morera i a la Laia Mayol per la seva col·laboració al programari.