



Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Projecte/Treball Final de Carrera

Estudi: Enginyeria Tècnica Química Industrial

Títol:

Desenvolupament de pastes ceràmiques per a la fabricació de rajoles de baixa porositat

Document: Memòria (i Pressupost)

Alumne: Abel Pérez i Fuertes

Director/Tutor: Pere Roura Grabulosa

Departament: Física

Àrea: Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica

Convocatòria: Juny 2004

Índex

MEMÒRIA	4
1. INTRODUCCIÓ.....	4
1.1. ANTECEDENTS	4
1.1.1. <i>Classificació dels materials ceràmics</i>	4
1.1.2. <i>Propietats dels materials ceràmics</i>	5
1.1.3. <i>Conformació de ceràmiques</i>	5
1.2. OBJECTE	6
1.3. ESPECIFICACIONS I ABAST	6
2. DESCRIPCIÓ DE LA RAJOLA INDUSTRIAL	7
2.1. CARACTERÍSTIQUES DE LA RAJOLA CUITA	7
2.1.1. <i>Absorció d'aigua</i>	7
2.1.2. <i>Densitats real i aparent</i>	7
2.1.3. <i>Porositats oberta i total</i>	7
2.1.4. <i>Microestructura</i>	7
2.2. COMPOSICIÓ DE LES PASTES I PAPER DE CADA COMPONENT.....	9
2.3. ASSECATGE I COCCIÓ.....	10
2.3.1. <i>Forn d'assecatge</i>	10
2.3.2. <i>Història tèrmica als forns túnel</i>	10
2.3.3. <i>Retraccions</i>	11
2.3.4. <i>Pèrdues de massa per calcinació</i>	12
3. FABRICACIÓ DE LES NOVES RAJOLES AMB PÓLVORES DE VIDRE	13
3.1. ORIGEN I PREPARACIÓ DEL VIDRE.....	13
3.2. PREPARACIÓ DE LES PASTES	14
3.3. CONFORMACIÓ	15
3.4. ASSECATGE I COCCIÓ.....	16
3.4.1. <i>Descripció del forn de laboratori i comparació amb els túnel</i>	16
3.5. IDENTIFICACIÓ DE LES RAJOLES.....	19
3.6. RESULTATS.....	20

3.6.1. Absorció d'aigua	20
3.6.2. Densitats real i aparents	21
3.6.3. Porositat oberta i total	23
3.6.4. Retraccions	24
3.6.5. Pèrdues de massa per calcinació	28
3.6.6. Microscòpia, macroscòpia, i talls transversals.....	28
3.7. ANÀLISI.....	36
3.7.1. Absorció d'aigua	36
3.7.2. Densitat aparent en sec	37
3.7.3. Densitat aparent en cuit	37
3.7.4. Densitat real	38
3.7.5. Porositat oberta.....	38
3.7.6. Porositat total.....	38
3.7.7. Retracció moll - sec	39
3.7.8. Retracció sec - cuit	39
3.7.9. Pèrdues de massa per calcinació	40
3.7.10. Microscòpia.....	40
3.7.11. Corbes de cocció	40
3.7.12. Pólvores de vidre.....	41
4. FABRICACIÓ DE LES RAJOLES AMB VIDRE D'AMPOLLA.....	42
4.1. PREPARACIÓ DEL VIDRE.....	42
4.2. RESULTATS I ANÀLISI	43
4.2.1. Absorció d'aigua	43
4.2.2. Densitat aparent en sec	44
4.2.3. Densitat aparent en cuit	45
4.2.4. Porositat oberta.....	46
4.2.5. Retracció moll - sec	47
4.2.6. Retracció sec - cuit	49
4.2.7. Pèrdues de massa per calcinació	51
4.2.8. Microscòpia.....	51
5. EXPERIMENTS D'ANÀLISI TÈRMICA.....	54

5.1. TERMOGRAVIMETRIA DE L'ARGILA W	55
5.2. TERMOGRAVIMETRIA DE L'ARGILA X.....	57
5.3. TERMOGRAVIMETRIA DE L'ARGILA Y.....	58
5.4. TERMOGRAVIMETRIA DE L'ARGILA Z	59
5.5. TERMOGRAVIMETRIA DEL FELDSPAT	60
5.6. TERMOGRAVIMETRIA DEL CARBONAT DE BARI	61
5.7. TERMOGRAVIMETRIA DE LES PÓLVORES DE VIDRE	63
5.8. POSSIBLES EFECTES DEL CARBONAT DE BARI EN LA RETRACCIÓ.....	64
5.9. POSSIBLES EFECTES DEL FERRO EN LA RETRACCIÓ	64
6. RESUM DEL PRESSUPOST.....	65
7. CONCLUSIONS.....	66
8. BIBLIOGRAFIA	68
A. DADES DE COCCIONS AMB VIDRE ALS FORNS TÚNEL	69
B. DADES DE COCCIONS AL FORN DE LABORATORI.....	73
C. MICROGRAFIES	79
D. IMATGES AMB LA LUPA.....	90
PRESSUPOST	99

Memòria

1. Introducció

1.1. Antecedents

1.1.1. Classificació dels materials ceràmics

Material ceràmic és el material on domina l'enllaç químic iònic i/o covalent. Segons el tipus d'enllaç existeixen dos grups de materials ceràmics:

- Ceràmiques covalents, entre elements electronegatius.
- Ceràmiques iòniques, entre elements metàl·lics i no metàl·lics.

Segons l'estructura cristal·lina i de processat es classifiquen en:

- Ceràmiques. Materials policristal·lins obtinguts per sinterització de pólvores.
- Vidres. Materials amorfs.
- Vitroceràmiques. Ceràmiques policristal·lines obtingudes a partir d'un vidre.
- Ciments. Ceràmiques que adquireixen consistència mecànica per reacció química de les pólvores, a temperatura ambient.

També es poden classificar de la següent forma:

- Ceràmiques tradicionals. Fabricades a partir d'argila, feldspat i quars.
- Ceràmiques avançades. De composició química molt ben definida. Presenten major duresa i temperatures de fusió més elevades.

1.1.2. Propietats dels materials ceràmics

En general, les temperatures de fusió són elevades. La causa és l'enllaç químic fort. Com a conseqüència, presenten elevades rigidesa i duresa, baixes dilatació tèrmica i tenacitat, un comportament fràgil, i ductilitat inexistent.

Els materials ceràmics solen trencar-se per canvis bruscos de temperatura. També presenten fractura fràgil per fatiga estàtica.

Com que el metall de les ceràmiques iòniques es troba total o parcialment oxidat, els materials ceràmics són els més resistents a la corrosió.

1.1.3. Conformació de ceràmiques

La tècnica usada universalment per a la conformació de ceràmiques és la sinterització. Les etapes bàsiques del procés són la preparació del material, la conformació, el tractament tèrmic per assecatge, la cocció i el refredament.

La preparació del material comprèn la trituració, la granulació, la introducció d'additius, la barreja amb aigua...

Les tècniques més emprades per a la conformació són el premsat, el colatge i l'extrusió. En el primer cas s'aboquen les pólvores dins un motlle de geometria convenient i es compacta. En el segon, s'introdueixen les pólvores en forma de suspensió dins un motlle porós, de manera que extreu l'aigua per capil·laritat. Amb l'extrusió s'obtenen objectes de perfil constant tot fent fluir la pasta ceràmica a través d'una obertura o dau.

El tractament tèrmic d'assecatge serveix per eliminar l'aigua i els plastificants. L'eliminació de l'aigua es realitza a temperatura propera als 100 °C i durant 24 h. Pels plastificants la temperatura es troba dins el rang de 200 a 300 °C.

La cocció es realitza a temperatures elevades (superiors a 1000 °C). Com a resultat s'obté la soldadura dels grans.

El refredament s'ha de fer curosament (lentament) per tal d'evitar tensions tèrmiques.

1.2. Objecte

L'objectiu principal d'aquest treball és el desenvolupament de noves formulacions de pastes ceràmiques per a la fabricació de rajoles ceràmiques no esmaltades per a paviments amb les següents característiques:

- baixa porositat,
- elevada resistència a flexió, i
- baixa absorció d'aigua.

La porositat oberta a la superfície de les rajoles és un dels paràmetres que caracteritzen la qualitat de les rajoles ceràmiques. Normalment es quantifica per mitjà de l'absorció d'aigua en condicions normalitzades. A més, una baixa porositat s'associa a una major resistència a flexió, duresa, resistència a les gelades i als agents agressius externs (productes químics, de neteja...).

Les noves formulacions han de disminuir la porositat, però sense perjudicar l'aspecte extern de les rajoles ceràmiques. L'ús de fundents acostuma a comportar aquest efecte secundari indesitjat. És per això que s'estudia la introducció de vidre triturat. Les partícules de vidre reduirien la interconnexió entre porus i presentarien una reactivitat mínima amb la resta de components de la rajola. Aquest fet, i el color del vidre escollit, disminuiria el canvi d'aspecte extern.

El segon objectiu, i per ajudar a la realització del primer, és la determinació de la influència que té cadascun dels paràmetres del procés (barreja, extrusió, assecatge, cocció i refredament) sobre les característiques anteriorment citades del producte final.

1.3. Especificacions i abast

Les especificacions s'han citat al subapartat anterior, ja que formen part dels objectius. El treball fa referència a les indústries ceràmiques fabricants de rajoles no esmaltades per a paviments.

2. Descripció de la rajola industrial

2.1. Característiques de la rajola cuita

2.1.1. Absorció d'aigua

Els valors que es donen a continuació corresponen al període de temps gener - octubre de l'any 2003 per a les rajoles de 30 x 30 cm.

L'absorció d'aigua mitjana és del 5,22 %, amb una desviació estàndard del 0,55 %. Per tant, aquest tipus de rajoles responen al grup AII segons la norma UNE 67-186.

2.1.2. Densitats real i aparent

Aquests paràmetres no es controlen habitualment. Per tant, els valors corresponen als obtinguts en estudis anteriors.

La densitat real és 2,73 g/cm³. La densitat aparent és 2,21 g/cm³.

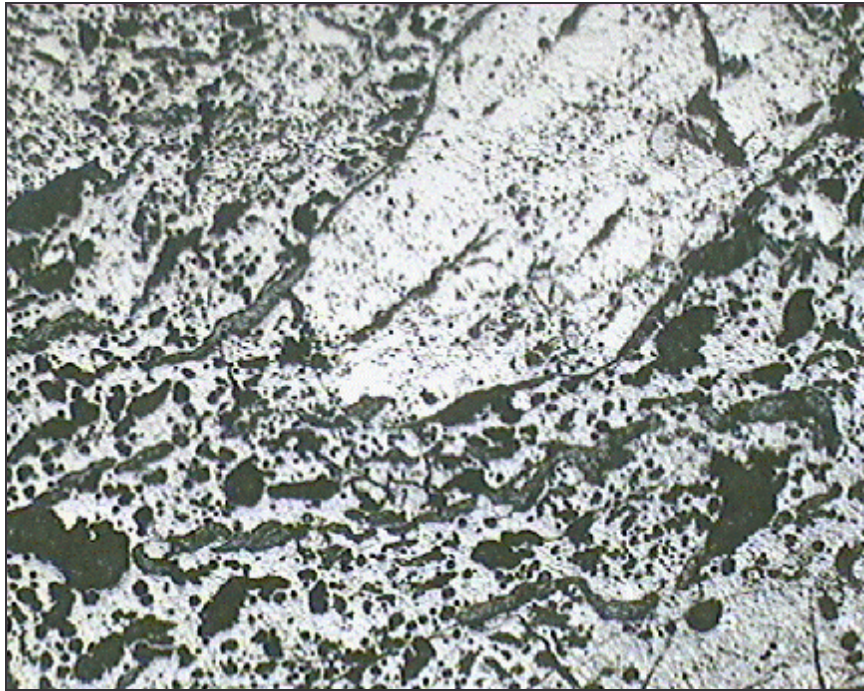
2.1.3. Porositats oberta i total

Els següents valors també corresponen a estudis anteriors.

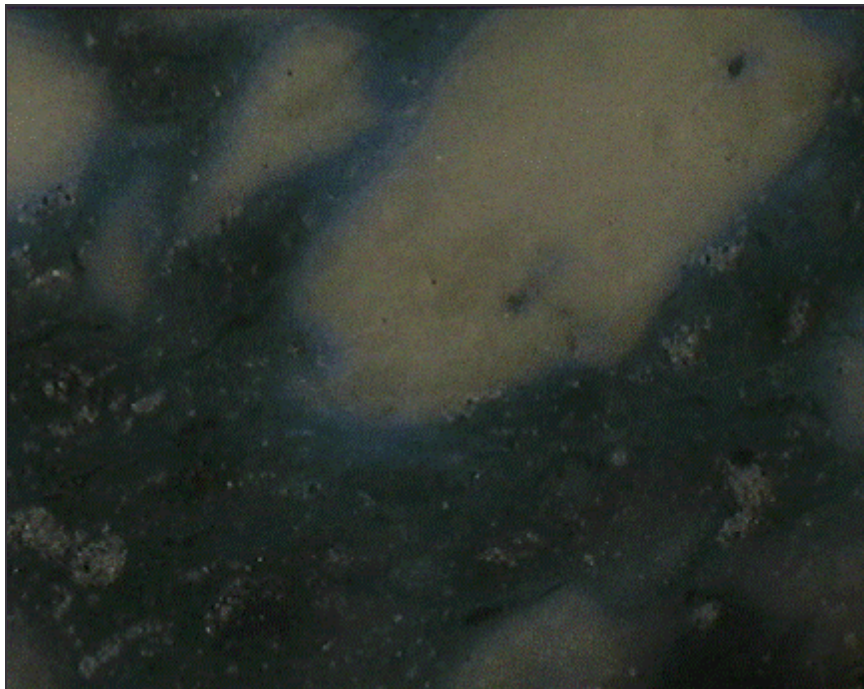
La porositat oberta és del 8,0 %, i la total del 19 %.

2.1.4. Microestructura

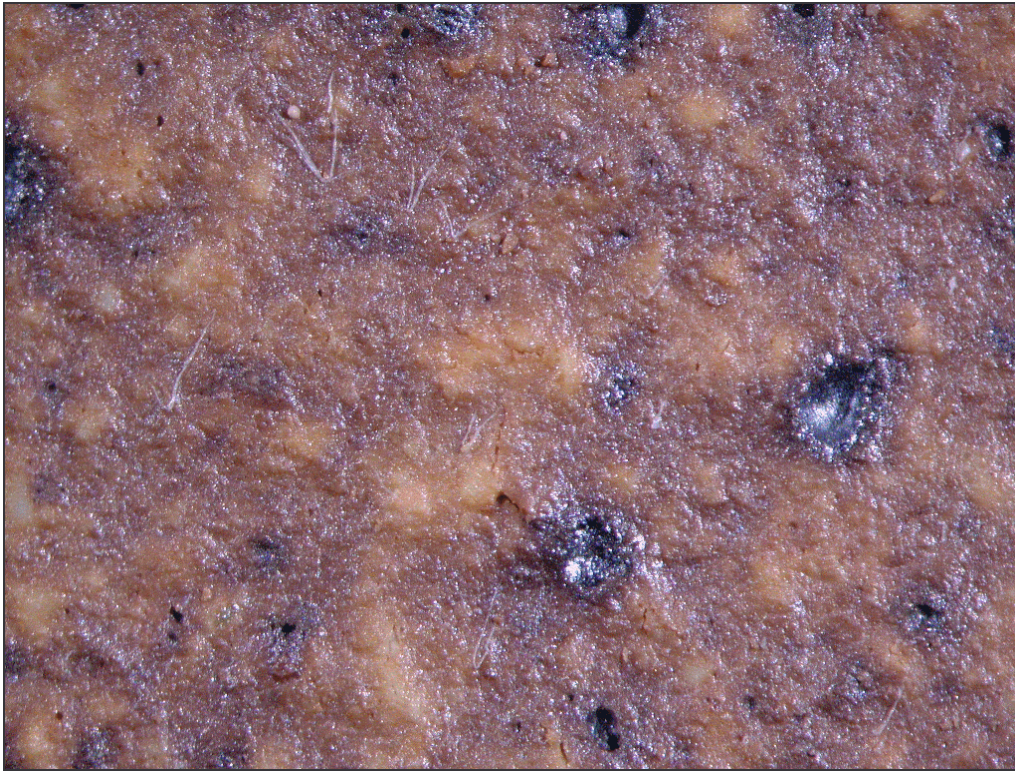
A la Micrografia 1 s'observa que els porus es troben allargats segons la direcció d'extrusió de la rajola. La Micrografia 2 (en camp fosc) permet distingir les partícules inerts que es troben tant a la superfície polida com a l'interior. Semblaria que les partícules "inerts" no arriben a tocar-se. La Imatge 1 mostra la superfície cuita d'una rajola de gres industrial, on es poden observar algunes esquerdes. En estudis anteriors es va demostrar que aquestes esquerdes no tenen un efecte significatiu sobre l'absorció d'aigua.



Micrografia 1. Vista general del gres. (x5, la longitud real de la base és d'1,5 mm)



Micrografia 2. Vista general del gres amb camp fosc. (x5, 1,5 mm reals de base)



Imatge 1. Superfície de gres vista amb lupa. La longitud real de la base és de 6,75 mm.

2.2. Composició de les pastes i paper de cada component

Les pastes ceràmiques són compostes de:

- pólvores reactives
- pólvores inerts

Les argiles i el feldspat són pólvores reactives. La xamota és una pólvora inert.

Les pólvores reactives uneixen les pólvores inerts. I omplen els espais buits.

Les pólvores inerts s'empaqueten dins la peça deixant espais intersticials. En principi es pressuposa que per a minimitzar la porositat es mesclen pólvores de diferent mida, omplint les més fines els espais buits entre les més grans. Tanmateix en un estudi anterior aquesta relació entre porositat i granulometria de les partícules inerts va quedar descartada. La

xamota s'usa com a desengreixant, i fa disminuir la plasticitat de les pastes ceràmiques. És a dir, assegura la consistència en moll, de la peça verda i durant la cocció.

El carbonat de bari (BaCO_3) aporta el ió Ba^{2+} que es combina amb les sals que contenen les argiles, evitant que passin a la superfície de la peça. Aquestes sals facilitaríen l'aparició superficial d'eflorescències, donant un aspecte desagradable a la peça.

La composició de les rajoles de gres industrial es troba a la Taula 1. Cada 100 g d'aquestes pólvores es barregen amb 15 g d'aigua.

Component	Percentatge en massa
Pólvores inerts	38,25 %
Argiles	57,82 %
BaCO_3	0,50 %
Feldspat	3,43 %

Taula 1. Composició del gres industrial.

En les rajoles de gres estudiades es mesclen quatre argiles en diferents percentatges.

2.3. Assecatge i cocció

2.3.1. Forn d'assecatge

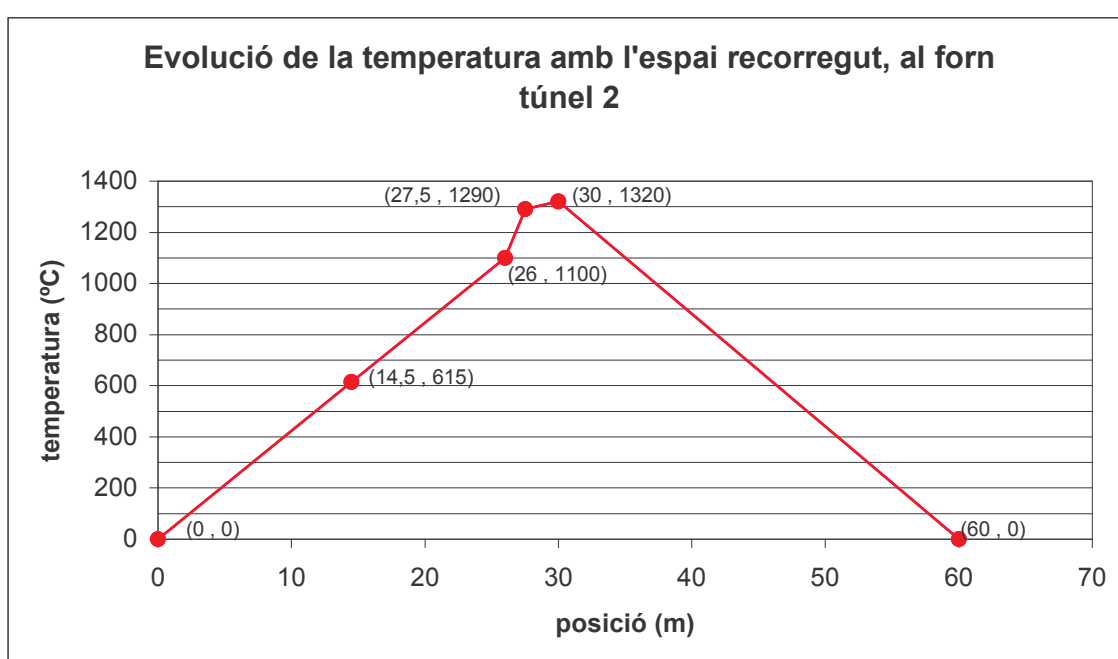
Per tal d'eliminar l'aigua, les rajoles passen per un forn d'assecatge que es troba a temperatura lleugerament superior als 100 °C (punt d'ebullició de l'aigua). S'hi mantenen les peces durant un període de dotze hores.

2.3.2. Història tèrmica als forns túnel

El forn túnel 2 (FT-2) té una llargada de 60 m i hi caben 21 vagonetes. Cada dia n'entren (i en surten) 20. Per tant, cada vagoneta passa 25 hores i 12 minuts a l'interior del forn, avançant a una velocitat constant de 2,38 m/h.

Primerament es fa un preescalfament, seguit de l'escalfament que inclou la reducció, després ve la cocció i, finalment, el refredament. La temperatura inicial no és exactament 0 °C. És la de l'ambient. Per altra banda, les peces no surten del forn a 0 °C, sinó que surten

molt més calentes (possiblement a uns pocs centenars de °C), i es refreden a l'exterior del túnel. El perfil tèrmic aproximat es troba representat a la Gràfica 1. La temperatura màxima es determina amb un con piromètric col·locat enmig de la vagoneta, mentre que les temperatures intermèdies s'han mesurat amb sondes de termoparell col·locades a la paret del forn. S'observa que la temperatura de cocció habitual es mou entre 1310° i 1320 °C i dura 1 h 40 min, mentre que l'etapa prèvia de reducció es realitza entre 1100 i 1290 °C durant 40 minuts. La representació de la temperatura en funció del temps apareix al subapartat 3.4.1.



Gràfica 1. Història tèrmica del forn túnel 2.

2.3.3. Retraccions

La retracció no es controla normalment sobre la mateixa peça en procés. Però es pot obtenir una mitjana de la retracció moll - cuit a partir de les mesures del conjunt de rajoles de 30x30 cuites durant el període gener - octubre de l'any 2003.

Les rajoles crues amiden 32,79 cm de longitud i 32,61 cm d'amplada, essent 0,06 i 0,05 cm, respectivament, les desviacions estàndard. Les cuites, 30,33 cm de longitud i 30,26 cm d'amplada, amb desviacions de 0,11 i 0,16 cm. Per tant, la retracció sec - cuit mitjana de la longitud és del 7,24 % i la de l'amplada és del 7,20 %.

S'ha mesurat el gruix en moll, en sec, i en cuit de dues rajoles de gres industrial 30x30. Els valors i les retraccions es troben a la Taula 2.

mides (cm)			retraccions (%)		
moll	sec	cuit	moll - sec	sec - cuit	moll - cuit
1,57	1,51	1,46	3,82	3,31	7,01
1,58	1,52	1,46	3,80	3,95	7,59

Taula 2. Mides i retraccions del gruix de la rajola industrial de 30x30.

S'aprecia que la retracció del gruix és inferior a la de les altres dues dimensions (amplada i longitud). El valor de la retracció sec - cuit d'aquestes dimensions és semblant a la retracció moll - cuit del gruix.

2.3.4. Pèrdues de massa per calcinació

En no ser un control habitual, es va fer el seguiment de quatre rajoles. La pèrdua de massa per calcinació mitjana és del 5,62 %, amb una desviació estàndard del 0,36 %.

Es poden prendre aquests valors com a representatius ja que les pèrdues estan relacionades amb el contingut de carbonats i d'argiles de les pastes, el qual es manté fixat.

3. Fabricació de les noves rajoles amb pólvores de vidre

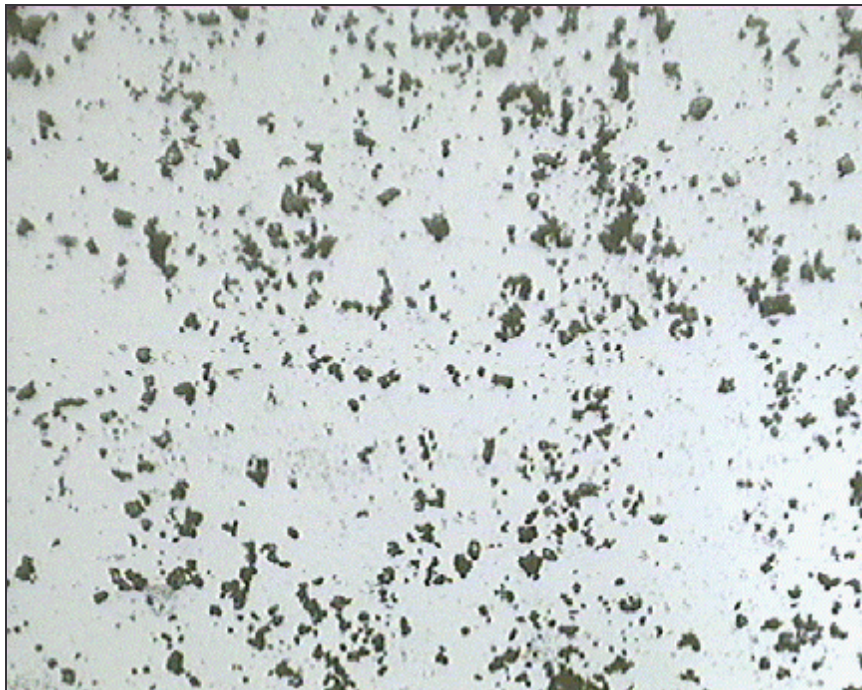
3.1. Origen i preparació del vidre

En l'estudi s'han utilitzat pólvores de vidre. Aquestes pólvores provenen del procés de polit de peces de vidre en una indústria externa.

Per a la preparació del vidre són necessaris els passos següents:

- assecatge a l'estufa per tal d'eliminar la humitat
- disgregació dels aglomerats amb un martell, ja que la baixa densitat no permet usar el molí
- tamisatge amb el sedàs de llum de 500 μm , per aprofitar les partícules de mida inferior.

A la Micrografia 3 es poden veure aquestes pólvores de vidre. La mida de les partícules es troba al voltant de 20 μm , fent inadequat l'ús del sedàs de 500 μm .



Micrografia 3. Pólvores de vidre. (x10, 0,75 mm reals de base)

3.2. Preparació de les pastes

Al molí hi ha tots els components necessaris per a la preparació de les pastes. Primerament s'ha d'eliminar la humitat, a l'estufa, de les argiles i de les pólvores inerts. Una vegada estan secs i freds, es procedeix de manera diferent en cada cas.

Les argiles es passen pels rodets per a triturar les partícules més grans i, seguidament, pel molinet. Es recull l'argila de mida inferior als 500 µm. Les pólvores inerts, el feldspat i el BaCO₃ no necessiten cap preparació específica.

Sabent la composició percentual de les pastes, es procedeix a pesar la quantitat necessària per tal de sumar 300 g, és a dir, el pes just per a poder pastar una parella de rajoles. És important mesclar bé tots els components, fent una lleugera pressió amb els dits, per tal que quedi una pasta ben homogènia. S'ha de tenir especial cura de barrejar els components minoritaris, és a dir, el feldspat i el carbonat de bari. Per a comprovar que no queda cap grumoll es posa a vibració durant 2 minuts, desfent qualsevol acumulació de partícules amb els dits.

En aquest estudi s'han pastat, a més de les rajoles patró, rajoles al 5 % i al 10 % en vidre, mantenint la massa de xamota i BaCO₃ constant i disminuint proporcionalment la resta de components, i rajoles al 5 % i 10 % en vidre afegit a les pastes patró. Els percentatges de cada component varien en cada cas, com s'observa a la Taula 3, respecte del patró.

	patró	5 %	+ 5 %	10 %	+ 10 %
Pólvores inerts	38,25 %	37,06 %	36,34 %	35,87 %	34,42 %
Argiles	57,82 %	54,22 %	54,93 %	50,63 %	52,04 %
BaCO ₃	0,50 %	0,50 %	0,47 %	0,50 %	0,45 %
Feldspat	3,43 %	3,22 %	3,26 %	3,00 %	3,09 %
Vidre	0,00 %	5,00 %	5,00 %	10,00 %	10,00 %

Taula 3. Composició de les diferents rajoles estudiades.

3.3. Conformació

El material necessari per la conformació (a preparar abans de començar) és:

- una proveta amb 100 mL d'aigua,
- un comptagotes,
- un motlle doble,
- folis (usats per una cara),
- un punxó metàl·lic,
- un peu de rei,
- una base metàl·lica de gruix conegut (9,60 mm),
- una peça metàl·lica prima, i,
- si es vol, es poden usar guants de làtex.

L'aigua es va afegint, poc a poc, a la mescla de components. Es pasta a trossos i després s'ajunten, amb l'ajuda d'uns mL d'aigua aportats amb el comptagotes. Per exemple, se'n pasten tres trossos i se n'ajunten dos. Es divideix el gran i s'uneix al solt, i així fins a obtenir una pasta ben homogènia. Una vegada compactat es separa la pasta en dues meitats d'igual massa (diferències menors a 1 g) i es col·loca cadascuna a l'interior del motlle (situat sobre els folis usats). S'aplana la pasta, procurant que arribi a tots els racons i picant per a compactar-la i repartir-la. Si queda alguna petita esquerda a la superfície, s'afegeix alguna gota d'aigua. Tot seguit es desemmotlla i es marca, amb el peu de rei a 10,00 cm, per a poder mesurar la retracció un cop seca i un cop cuita. Per a realitzar aquesta mateixa mesura en una altra direcció (el gruix), es fa una marca a un gruix conegut (9,60 mm): es col·loca la rajola al costat de la base metàl·lica i es recolza la peça metàl·lica en aquesta. També s'hi punxa el número que servirà per a la identificació de la rajola. És important anotar el pes moll, així com l'aigua aportada, quantitat variable segons la composició de la pasta (del 18 al 20 %).

3.4. Assecatge i cocció

Les peces molles s'assequen durant 24 h a l'estufa a una temperatura d'uns 70 °C. Un cop seques, s'anota el pes sec, i es fa la mesura de la marca realitzada en moll amb el peu de rei.

Les rajoles s'introdueixen al forn on tindrà lloc la cocció en les condicions programades.

3.4.1. Descripció del forn de laboratori i comparació amb els túnel

Les coccions de les noves pastes es realitzen al forn de laboratori, que usa com a combustible gas natural i com a comburent aire comprimit. Treballa en condicions d'oxidació. L'escalfament i el manteniment són programats i el refredament és inercial, és a dir, que no s'ajuda ni es retarda.

Les temperatures de cocció programades i les assolides (llegides a posteriori amb els cons piromètrics) són diferents. Ambdues es recullen a la Taula 4. Es pot observar que hi ha casos on la diferència és notable, i d'altres on és imperceptible.

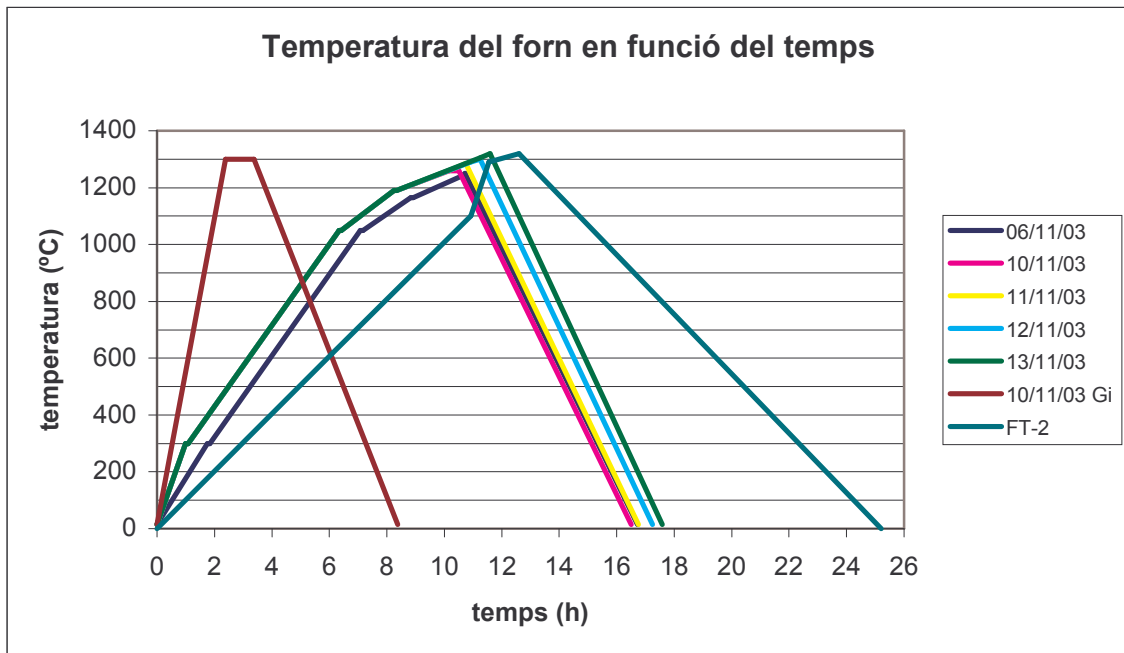
Data de cocció	T programada (°C)	T assolida (°C)
06-11-2003	1240	1250
10-11-2003	1260	1260
11-11-2003	1270	1285
12-11-2003	1290	1300
13-11-2003	1305	1320

Taula 4. Temperatures de les coccions realitzades.

El temps total del procés de cocció i refredament dura al voltant de 17 hores en el cas del forn de laboratori, enfront de les més de 25 del forn túnel. A la Gràfica 2 es pot veure que:

1. el preescalfament i l'escalfament són més ràpids al forn de laboratori,
2. la velocitat és major al FT en aproximar-se a la temperatura de cocció,
3. el temps a temperatura de cocció és més llarg al forn túnel,
4. el temps de refredament al forn de laboratori és molt més curt que al túnel.

Al forn elèctric de la UdG ("Gi" a la Gràfica 2) s'ha escalfat molt ràpidament (9 °C/min; 2 h 23 min), i el temps de manteniment a la temperatura de cocció ha estat superior (1 h). El refredament natural és similar al forn de laboratori.



Gràfica 2. Comparativa entre les diferents fornades realitzades i el forn túnel.

Els valors de la temperatura en cada instant de temps i per a cada cocció es troben a la Taula 5.

Cocció 06/11/03		Cocció 10/11/03		Cocció 11/11/03		Cocció 12/11/03	
t (h)	T (°C)	t (h)	T (°C)	t (h)	T (°C)	t (h)	T (°C)
0	15	0	15	0	15	0	15
1,75	300	1,00	300	1,00	300	1,00	300
1,83	300	1,08	300	1,08	300	1,08	300
7,08	1050	6,33	1050	6,33	1050	6,33	1050
7,17	1050	6,42	1050	6,42	1050	6,42	1050
8,83	1165	8,25	1190	8,25	1190	8,25	1190
8,92	1165	8,33	1190	8,33	1190	8,33	1190
10,58	1240	10,17	1260	10,42	1270	10,92	1290
10,72	1250	10,50	1260	10,75	1285	11,25	1300
16,72	15	16,50	15	16,75	15	17,25	15
Cocció 13/11/03		Cocció 10/11/03 (Gi)		Cocció FT-2			
t (h)	T (°C)	t (h)	T (°C)	t (h)	T (°C)		
0	15	0	15	0	0		
1,00	300	2,38	1300	6,09	615		
1,08	300	3,38	1300	10,92	1100		
6,33	1050	8,38	15	11,55	1290		
6,42	1050			12,6	1320		
8,25	1190			25,2	0		
8,33	1190						
11,25	1305						
11,58	1320						
17,58	15						

Taula 5. Temperatures de les coccions realitzades segons el temps.

3.5. Identificació de les rajoles

Per tal d'identificar cadascuna de les rajoles, se'ls enganxa una etiqueta com la mostrada a la Taula 6, on hi consten:

- un número de dues xifres corresponent a l'ordre de preparació,
- la data de cocció amb el format de ddmmaa,
- el tipus de pasta (patró, amb un cert percentatge del component x,...),
- el forn on s'ha cuit (FT, FLab, FGi) i les condicions (oxidació, reducció),
- la programació de temperatura de cocció i temps de manteniment a aquesta temperatura,
- la temperatura assolida, indicada pels cons,
- el valor de l'absorció d'aigua,
- els valors de les retraccions moll - sec i sec - cuit, també pel gruix (segons la rajola).

Codi	Data de cocció	Tipus		
Forn / Condicions		Temperatura programada + temps de manteniment Temperatura assolida (con)		
Absorció aigua	Δm (%)	Δm (%)		
Retracció moll - sec	$\Delta L/L_{m-s}$ (%)	$\Delta L/L_{m-s}$ (%)	$\Delta L/L_{m-s}$ (%)	$\Delta L/L_{m-s}$ (%)
Retracció sec - cuit	$\Delta L/L_{s-c}$ (%)	$\Delta L/L_{s-c}$ (%)	$\Delta L/L_{s-c}$ (%)	$\Delta L/L_{s-c}$ (%)

Taula 6. Model d'etiqueta identificativa per a les rajoles pastades manualment.

Les dades en vermell corresponen a la peça etiquetada; les dades en negre corresponen a la parella d'aquesta peça.

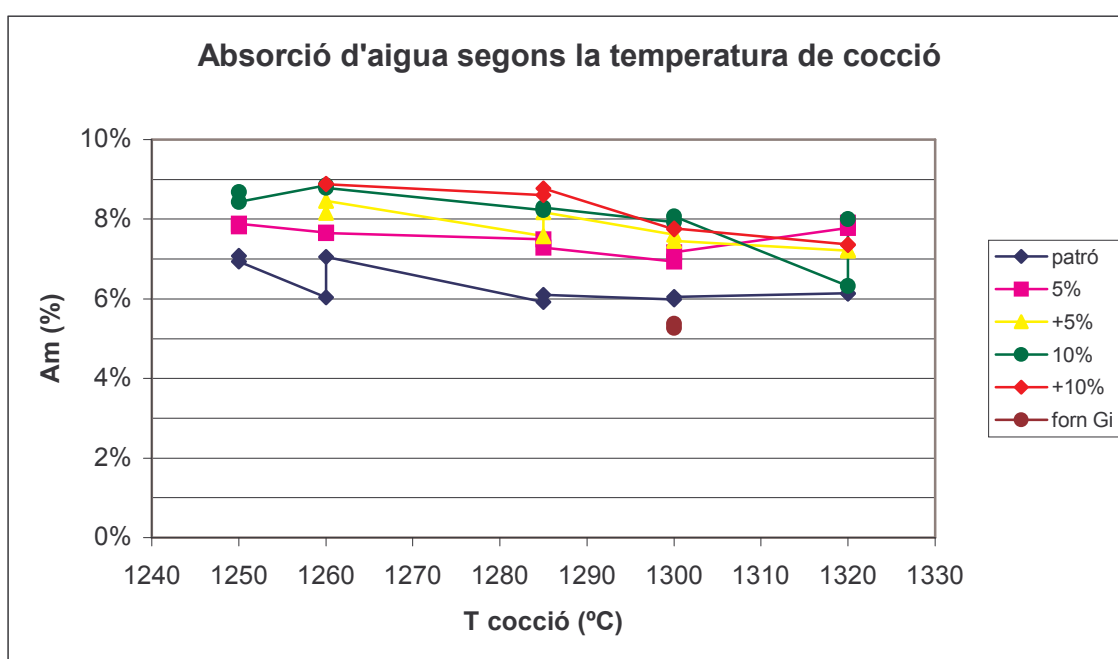
La mida de l'etiqueta és de 2,35 cm d'alçada i 3,70 cm d'amplada.

3.6. Resultats

3.6.1. Absorció d'aigua

A la Gràfica 3 es mostra els valors de l'absorció d'aigua segons la temperatura de cocció per a cada composició de pasta diferent. A més, es diferencien les dues rajoles cuites a la UdG per ser diferent el forn i la corba de cocció.

Les absorcions d'aigua s'han obtingut seguint el procediment descrit a la norma UNE-EN ISO 10545-3.



Gràfica 3. Absorció d'aigua segons la temperatura de cocció, el contingut en vidre, i el forn.

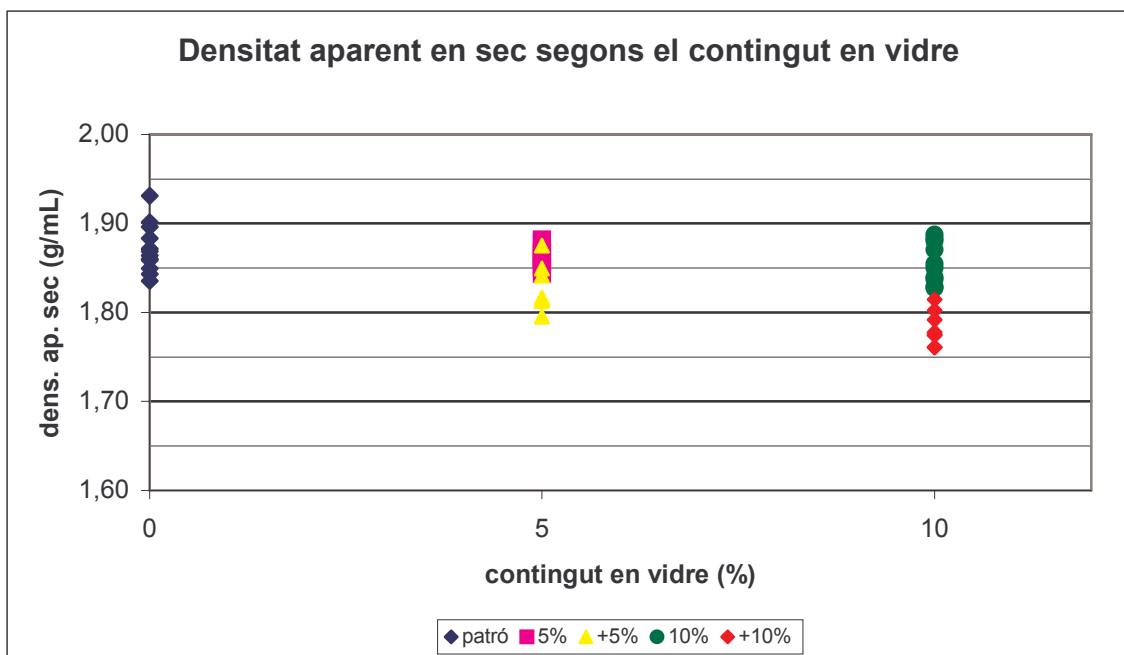
3.6.2. Densitats real i aparents

A partir de les masses en sec i en cuit, del volum del motlle, i de les retraccions moll - sec i moll - cuit, es determinen les densitats aparents en sec i en cuit de les noves rajoles, segons l'equació:

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V_{motlle} \cdot (1 - 3 \cdot \Delta L/L)} \quad (\text{Eq. 1})$$

on m és la massa (seca o cuita) expressada en grams, V_{motlle} el volum del motlle en cm^3 , i $\Delta L/L$ és la retracció (moll - sec o moll - cuit) en tant per u. Per a les rajoles +5% i +10%, el volum és la suma del volum d'una rajola patró i el volum de pólvora de vidre afegida, 15,79 g (o 33,33 g) per $2,5 \text{ g/cm}^3$ (densitat del vidre).

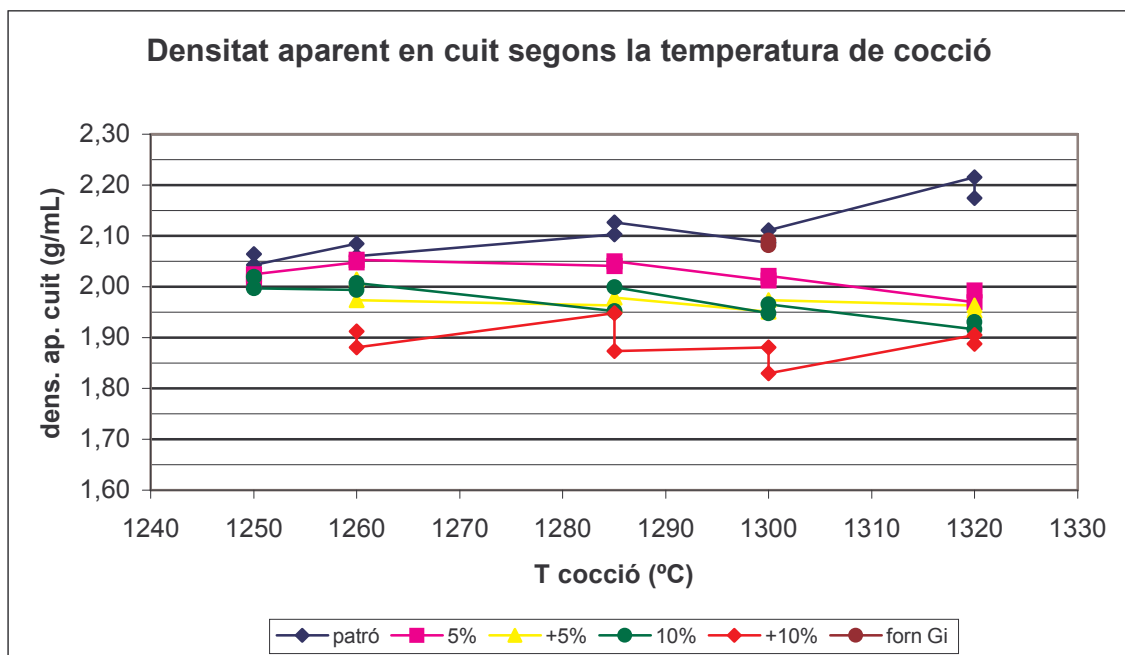
A la Gràfica 4 s'observen els valors de la densitat aparent en sec. La tendència majoritària és a disminuir en augmentar la quantitat de vidre a la rajola.



Gràfica 4. Densitat aparent en sec de les rajoles segons el contingut en vidre.

A la Gràfica 5 apareixen les densitats aparents en cuit. Com en l'anterior cas, a major quantitat de vidre, menor densitat aparent.

En ambdós casos s'ha de tenir en compte que l'ordenada a l'origen de la representació gràfica no és nul·la. A l'eix d'ordenades, la diferència entre els valors màxim i mínim és de 0,2 g/mL en la densitat aparent en sec i de 0,4 g/mL en cuit.



Gràfica 5. Densitat aparent en cuit de les rajoles segons la temperatura de cocció i el contingut en vidre.

El valor de la densitat real en cuit, així com el de la densitat aparent en cuit segons tres mètodes diferents, s'ha trobat simultàniament a la realització de les fornades de noves rajoles a partir de rajoles corresponents a l'Annex A. La densitat real s'obté per picnometria de sòlids, prenent com a mostra la rajola triturada. Les aparents per càlcul a partir de:

1. pes en cuit, el volum del motlle, i la retracció moll - cuit,
2. per picnometria de sòlids prenent com a mostra un tros de la peça que entri pel coll del picnòmetre,
3. per mesura de volum d'un tros amb cares paral·leles.

A la Taula 7 es reuneixen tots els valors per les rajoles patró (011203), 8 % de vidre amb poca absorció d'aigua (111203), 8 % amb elevada absorció d'aigua (121203), i 16 % de vidre (131203). La 121203 és cuïta al forn túnel 2, mentre que la resta corresponen al FT-1.

Codi (% vidre)	ρ real (g/mL)	ρ ap. 1 (g/mL)	ρ ap. 2 (g/mL)	ρ ap. 3 (g/mL)
011203 (0 %)	2,67	2,02	2,17	2,26
111203 (8 %)	2,58	1,89	1,90	2,05
121203 (8 %)	2,65	1,72	2,08	2,13
131203 (16 %)	2,57	1,83	1,80	1,95

Taula 7. Densitats aparents i real de les rajoles estudiades. La $\rho_{ap.1}$ s'obté de l'eq.1, la segona per picnometria d'un petit tros de rajola, i la tercera per mesura de les dimensions.

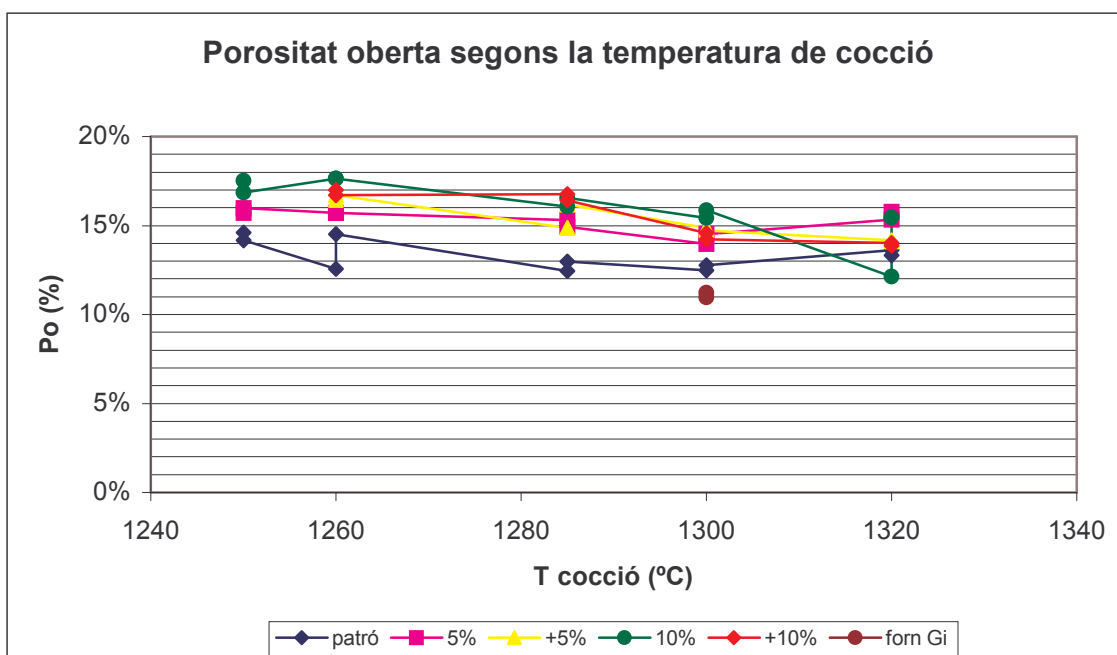
En les rajoles pastades a mà la retracció no és uniforme i, com a conseqüència directa, els valors de la densitat aparent 1 no són representatius. Les peces tallades pel càlcul de la tercera densitat aparent no tenen les cares paral·leles dos a dos, degut al perfil no uniforme. Així que tampoc és aquesta densitat la representativa. Finalment, la determinació per picnometria no depèn d'un volum més o menys definit. Per tant, es pren com a densitat aparent més precisa la segona. L'únic error possible vindria determinat per la representativitat del tros tallat respecte de la rajola sencera.

3.6.3. Porositat oberta i total

A partir de l'absorció d'aigua i de la densitat aparent (en cuit) trobada anteriorment, s'obté el valor de la porositat oberta usant l'equació 2.

$$P_o = \Delta m \cdot \frac{\rho_{ap}}{\rho_{aigua}} \quad (\text{Eq. 2})$$

A la Gràfica 6 s'observa, en tots els casos de composició i per sota de 1300 °C, una tendència a disminuir la porositat oberta en augmentar la temperatura de cocció i a augmentar-la en augmentar el percentatge de vidre.



Gràfica 6. Porositat oberta de les rajoles segons la temperatura de cocció i el contingut en vidre.

Per a conèixer el valor de la porositat total, és necessària la densitat real, tal i com indica l'equació 3.

$$P_{tot} = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \right) 100 \quad (\text{Eq.3})$$

A la Taula 8 apareixen els valors de la porositat oberta, la total, i la tancada (diferència entre la total i la oberta), de les quatre rajoles a les que s'ha determinat la densitat real.

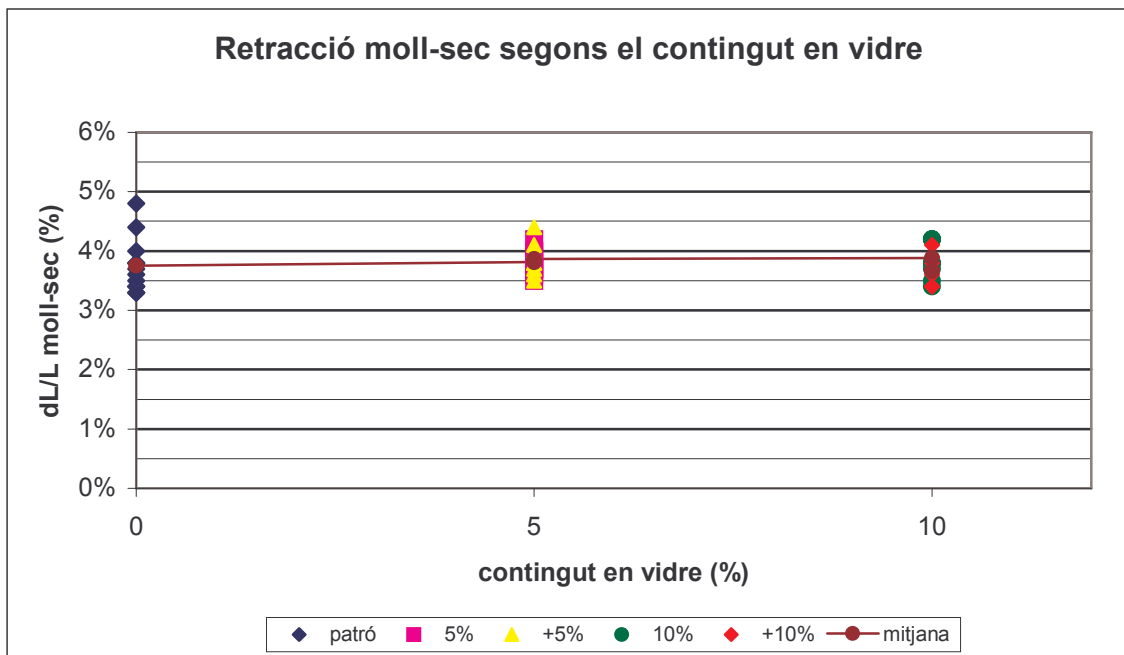
Codi (% vidre)	ρ_r (g/mL)	ρ_{ap} (g/mL)	Δm (%)	P_{oberta} (%)	P_{total} (%)	$P_{tancada}$ (%)
011203 (0 %)	2,67	2,17	5,45	11,87	18,68	6,81
111203 (8 %)	2,58	1,90	2,00	3,80	26,40	22,60
121203 (8 %)	2,65	2,08	6,88	14,31	21,57	7,26
131203 (16 %)	2,57	1,80	4,36	7,86	29,89	22,03

Taula 8. Porositats oberta, total i tancada de les rajoles estudiades.

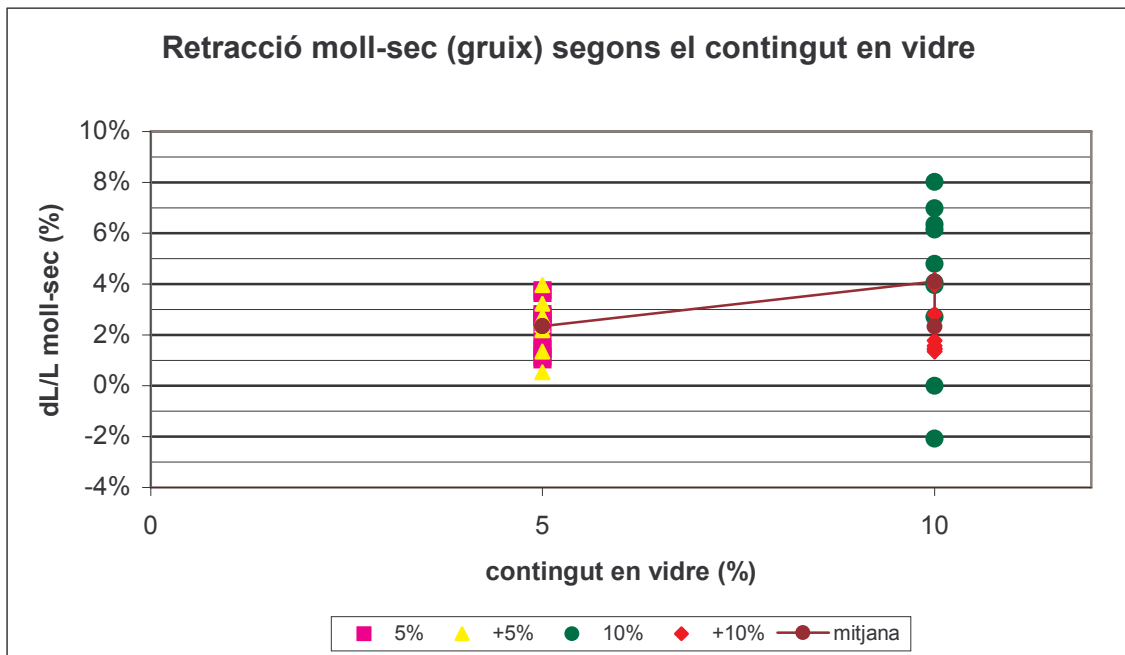
3.6.4. Retraccions

Per tal d'obtenir les retraccions moll – sec i sec – cuit de cada rajola, es mesura la marca feta en moll a 10 cm amb el peu de rei. A més, a les rajoles amb vidre es mesura el gruix (marcat inicialment a 9,60 mm).

A la Gràfica 7 es poden observar les retraccions moll – sec per a cada tipus de rajola, així com la mitjana en cada cas. No es representa en funció de la temperatura de cocció, ja que aquesta no té cap influència sobre el procés d’assecatge previ. A la Gràfica 8 es donen les retraccions moll – sec corresponents al gruix.



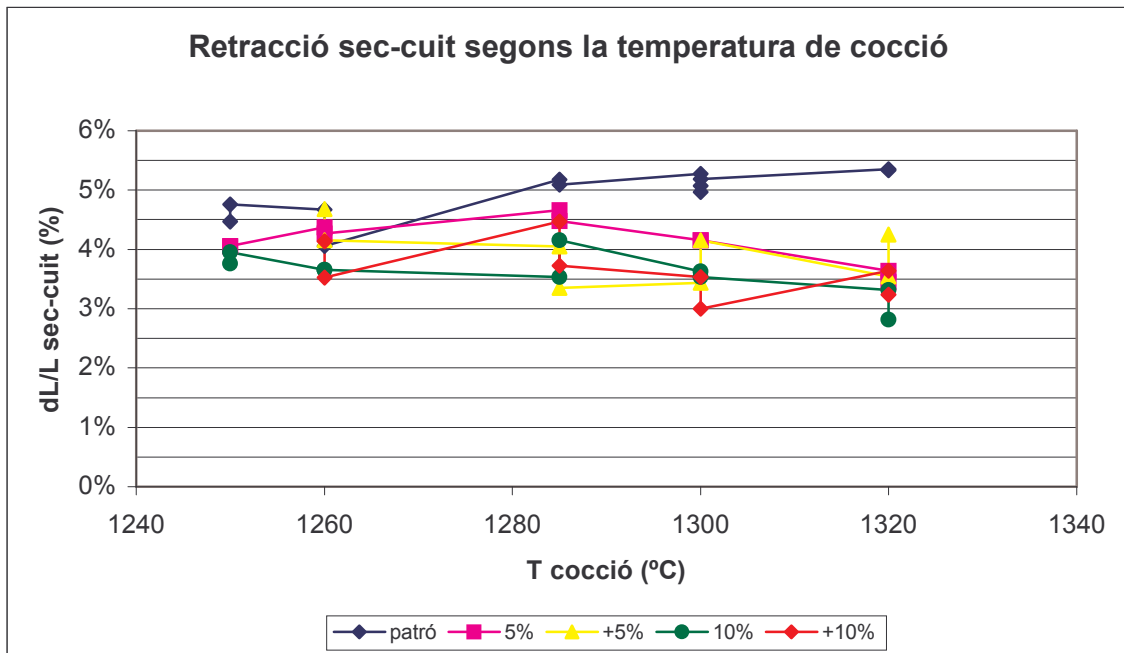
Gràfica 7. Retracció moll – sec segons el contingut en vidre.



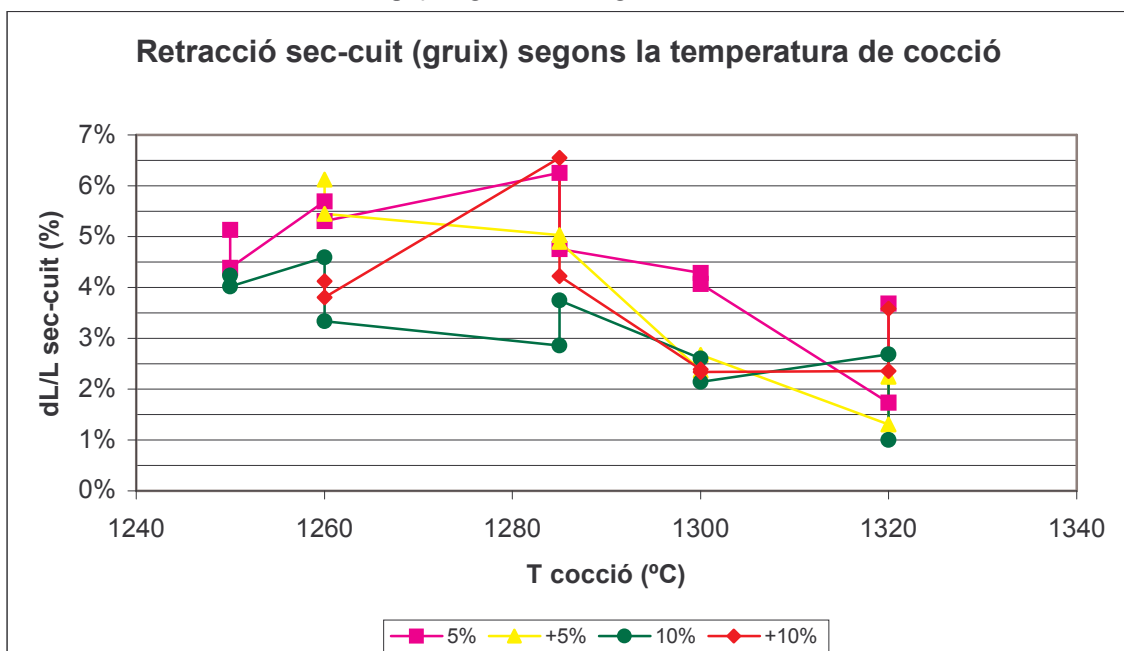
Gràfica 8. Retracció moll – sec del gruix de la peça segons el contingut en vidre.

El que crida més l'atenció és l'aparició d'un valor nul i un de negatiu a la Gràfica 8. Podria ser un indicatiu de la imprecisió en la mesura de gruix, però també podria ser resultat de l'anisotropia de la pasta en el procés d'assecatge.

La retracció sec – cuit depèn de la temperatura de cocció. A la Gràfica 9 apareixen aquests valors. Sembla que el vidre fa disminuir la retracció ajudat per la temperatura de cocció. A la Gràfica 10 s’observa la retracció sec – cuit corresponent al gruix de les rajoles.



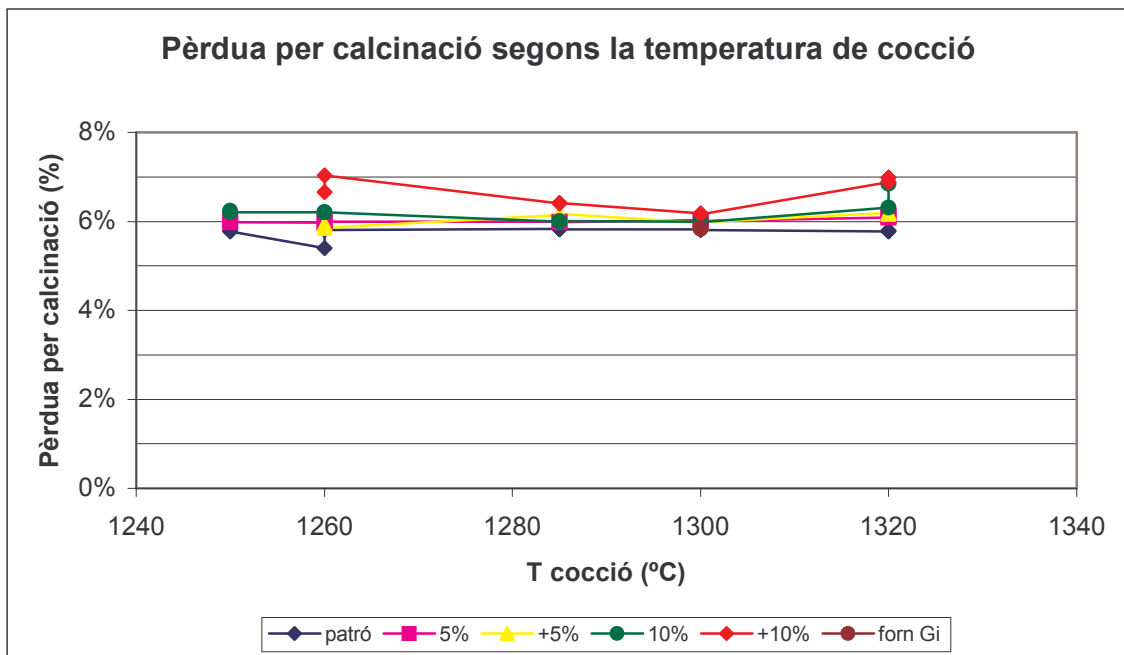
Gràfica 9. Retracció sec – cuit de la peça segons el contingut en vidre.



Gràfica 10. Retracció sec – cuit del gruix de la peça segons el contingut en vidre.

3.6.5. Pèrdues de massa per calcinació

Les pèrdues de massa per calcinació corresponen a la diferència de massa entre la rajola seca i la rajola cuita. A la Gràfica 11 es comparen aquestes pèrdues segons la temperatura de cocció i el contingut de vidre. La tendència general és el manteniment.



Gràfica 11. Pèrdua de massa per calcinació segons el contingut en vidre i la temperatura de cocció.

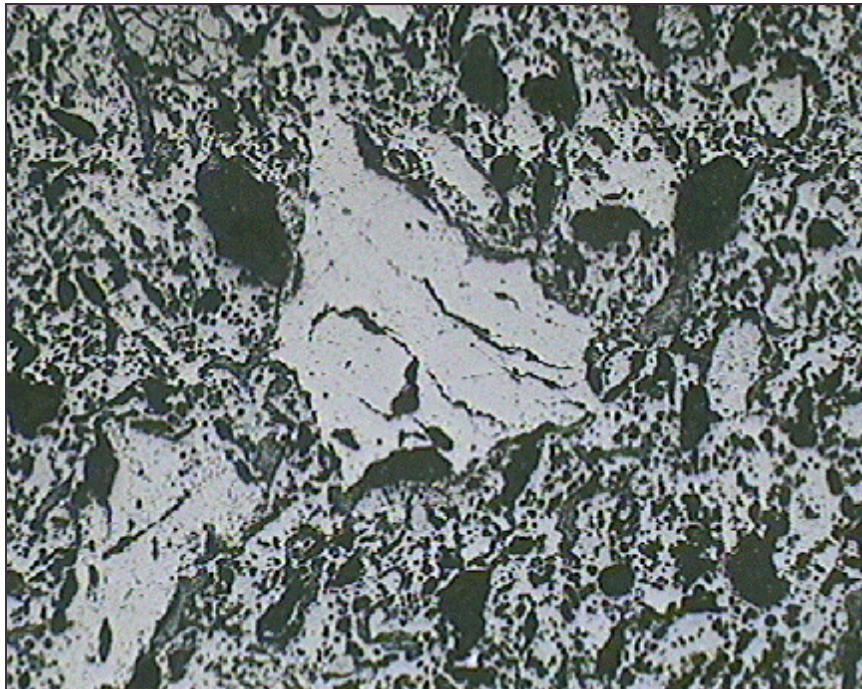
3.6.6. Microscòpia, macroscòpia, i talls transversals

La preparació de provetes per l'anàlisi d'imatges al microscopi òptic respon al mètode exposat a l'Annex A del PTFC "Determinació de la porositat en ceràmiques tradicionals" de Carles Baeza Félez (ETIM, juliol 2001). Les mostres observades són tres:

- una rajola patró pastada a mà i cuita al FT-1 (151203),
- una rajola amb un 8 % de vidre pastada a mà i cuita al FT-1 (171203),
- una rajola de gres industrial pastada per extrusió i cuita, per segona vegada, amb una gota de vidre al damunt.

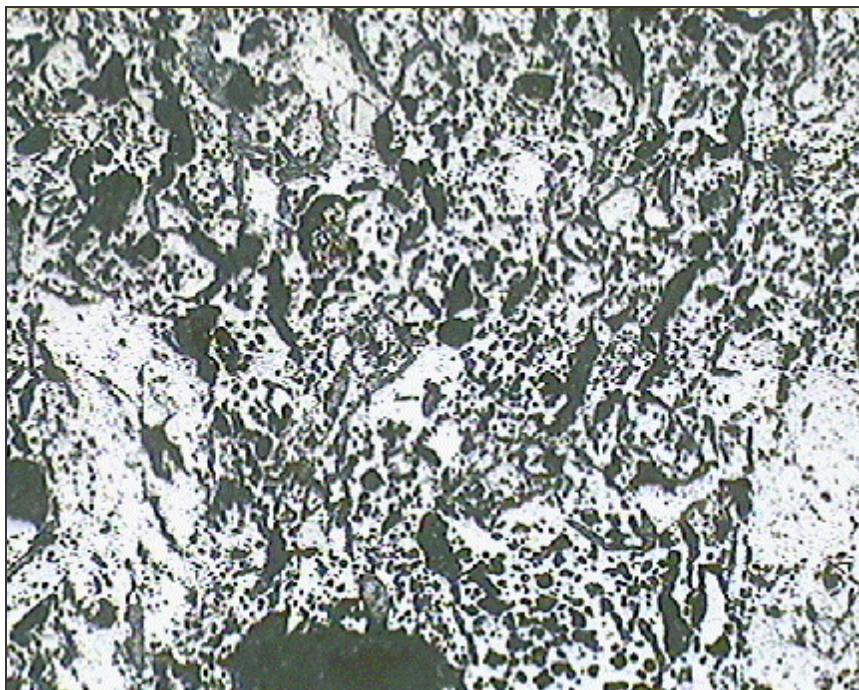
Aquesta última rajola també s'ha observat a la lupa binocular, de la que se'n pot treure més informació del vidre.

Les Micrografies 4 i 5 corresponen a la mostra patró (151203). S'observa grans porus rodons, possible conseqüència de la forma de pastar. Hi ha una certa orientació dels porus, però poc accentuada comparativament a la rajola industrial (Micrografia 10). A la Micrografia 4 s'aprecia una partícula gran i amb esquerdes.

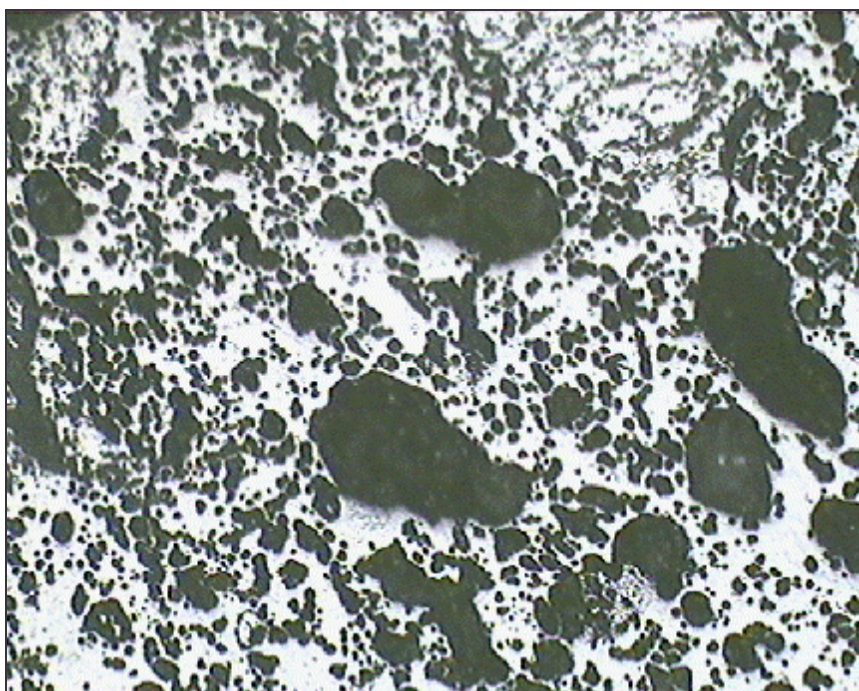


Micrografia 4. Vista general d'una rajola de gres patró pastada manualment i cuita al forn túnel. Grans porus rodons, i partícula esquerdada. Absorció d'aigua: 5,50 %. (x5, 1,5 mm reals de base)

Tant la Micrografia 6 com la 7 pertanyen a la rajola 171203, amb un 8 % de vidre. En aquest cas s'observen porus encara més rodons i també de mida més gran.

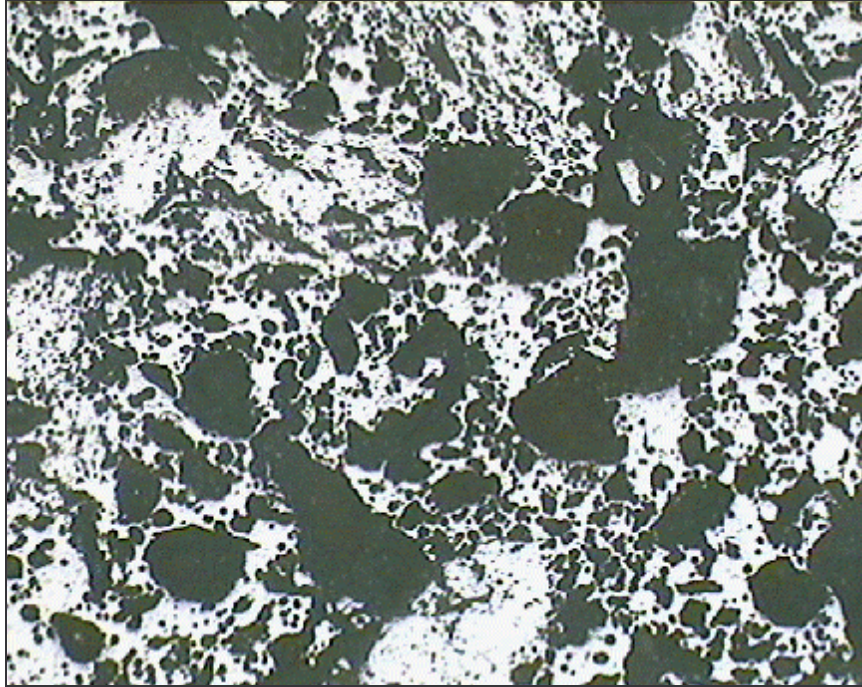


Micrografia 5. Vista general d'una rajola de gres patró pastada manualment i cuita al forn túnel. Grans porus rodons i poca orientació. Absorció d'aigua: 5,50 %.
(x5, 1,5 mm reals de base)

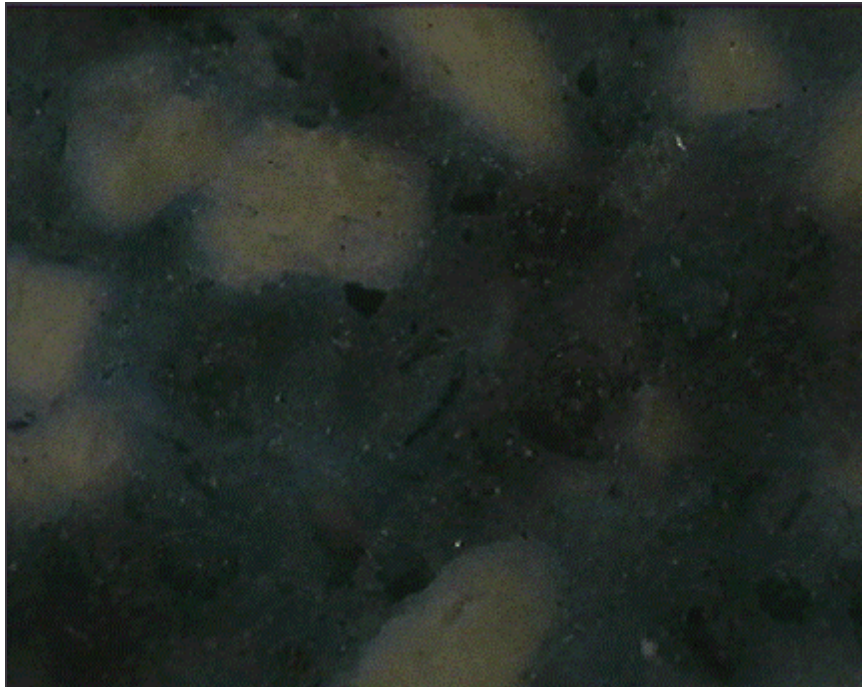


Micrografia 6. Vista general d'una rajola de gres 8 % vidre pastada manualment i cuita al forn túnel. Grans porus, i porus rodons. Absorció d'aigua: 5,05 %.
(x5, 1,5 mm reals de base)

L'ús del camp fosc és de gran ajuda per a definir els límits de les partícules. La Micrografia 8 és la mateixa que la 7, però en camp fosc. Les zones més clares són les partícules.

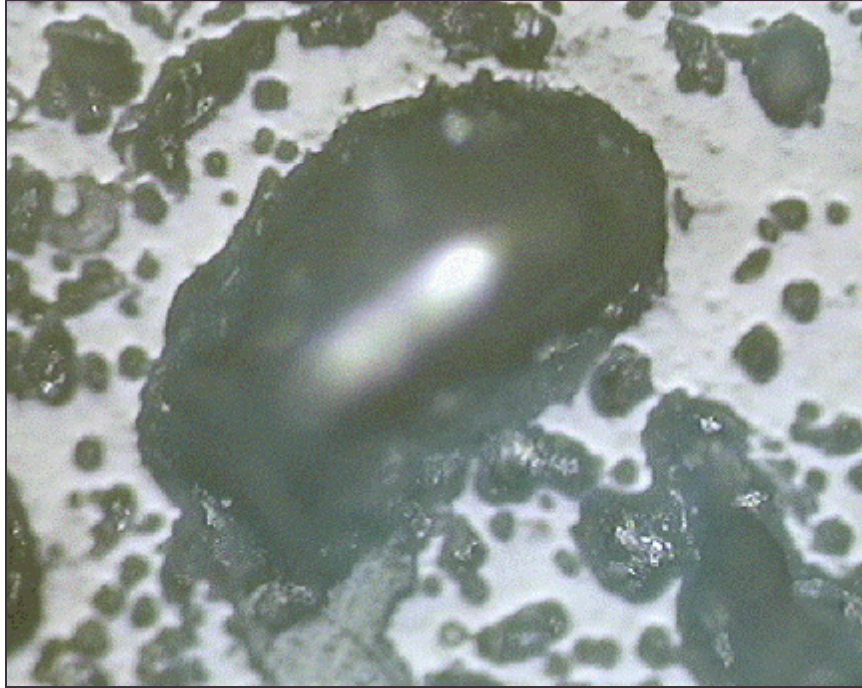


Micrografia 7. Vista general d'una rajola de gres 8 % vidre pastada manualment i cuita al forn túnel. Absorció d'aigua: 5,05 %. (x5, 1,5 mm reals de base)



Micrografia 8. Vista general d'una rajola de gres 8 % vidre pastada manualment i cuita al forn túnel. Camp fosc. Les zones clares corresponen a partícules. Absorció d'aigua: 5,05 %. (x5, 1,5 mm reals de base)

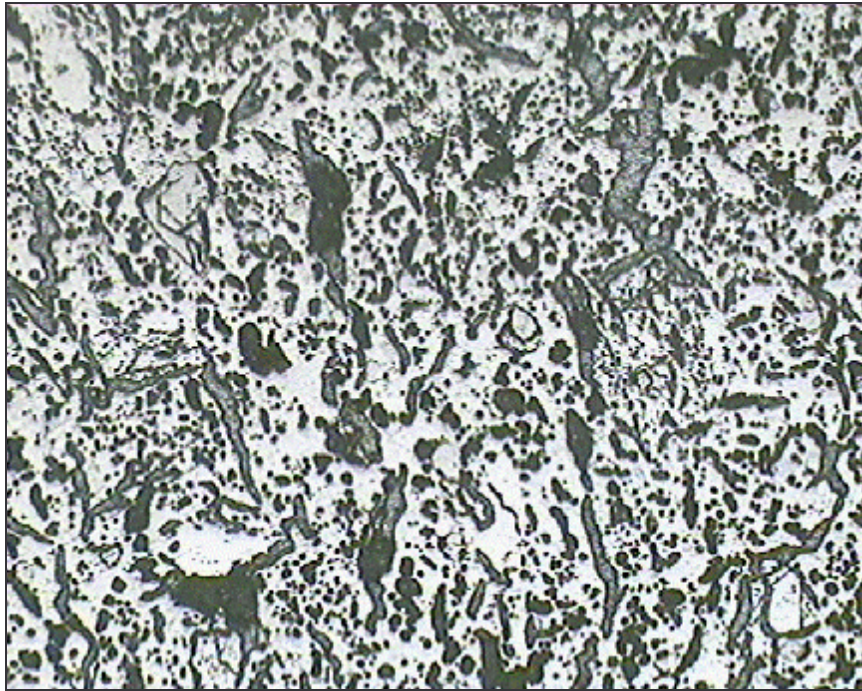
La Micrografia 9 és un porus vist a 20 augments. Es pot observar que és un porus rodó, i la seva profunditat. S'ha de tenir en compte que al microscopi el color és ataronjat.



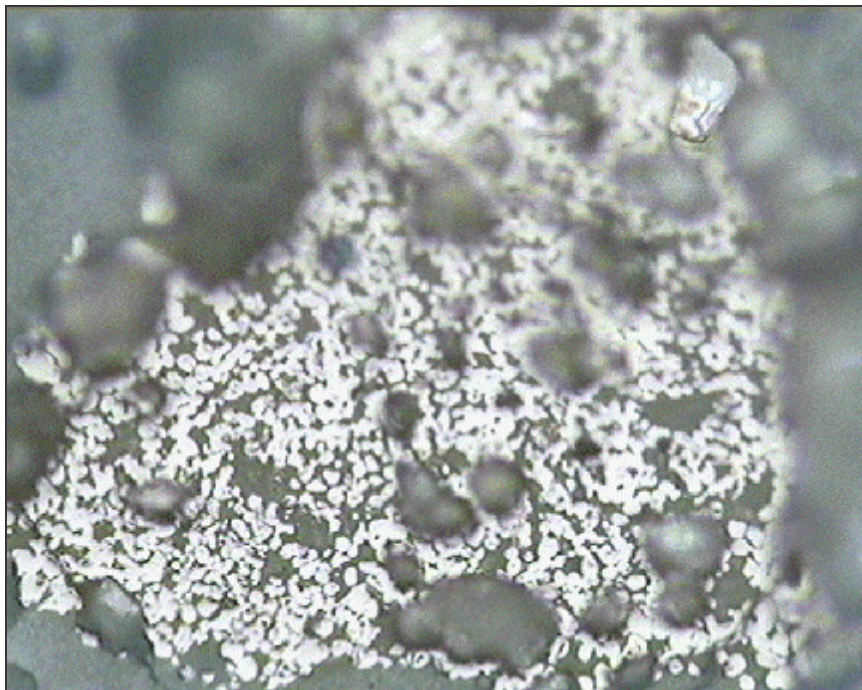
Micrografia 9. Porus d'una rajola de gres 8 % vidre pastada manualment i cuita al forn túnel. Absorció d'aigua: 5,05 %. (x20, 0,375 mm reals de base)

La Micrografia 10 pertany a la rajola industrial. Es pot observar que els porus no són tant rodons com a les rajoles pastades a mà i estan orientats en la direcció d'extrusió.

La Micrografia 11 mostra un precipitat metàl·lic, amb la forma característica que adopta després de fondre, és a dir, en solidificar.

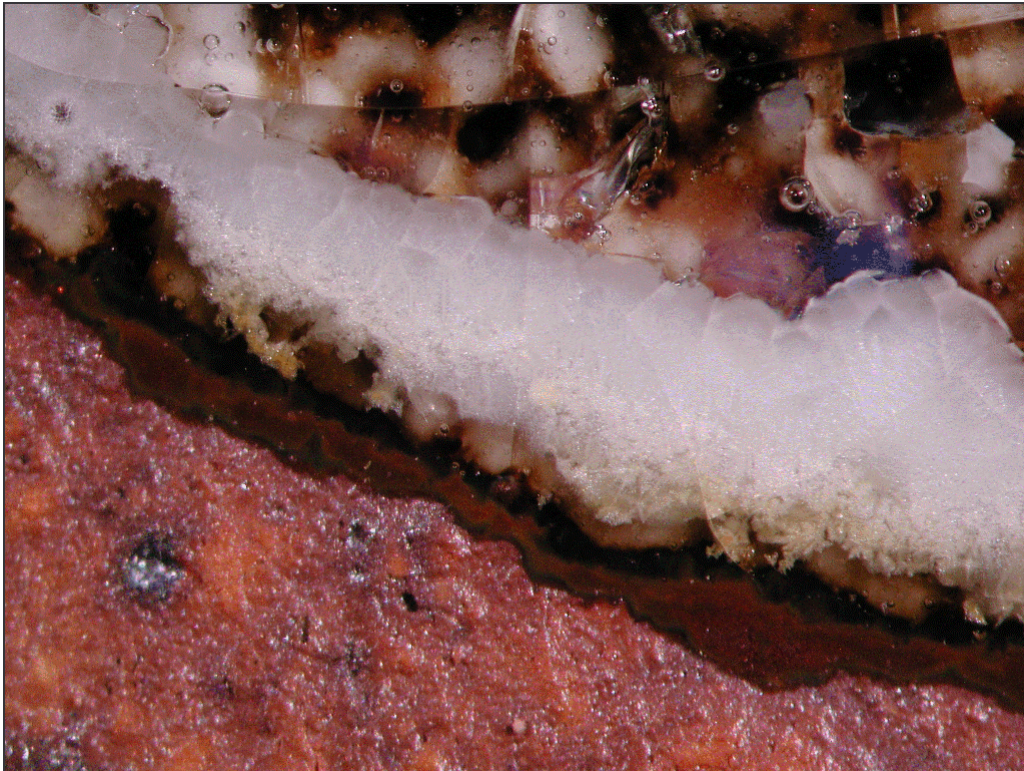


Micrografia 10. Vista general d'una rajola de gres industrial. Els poros no són rodons, i estan orientats en la direcció d'extrusió. (x5, 1,5 mm reals de base)



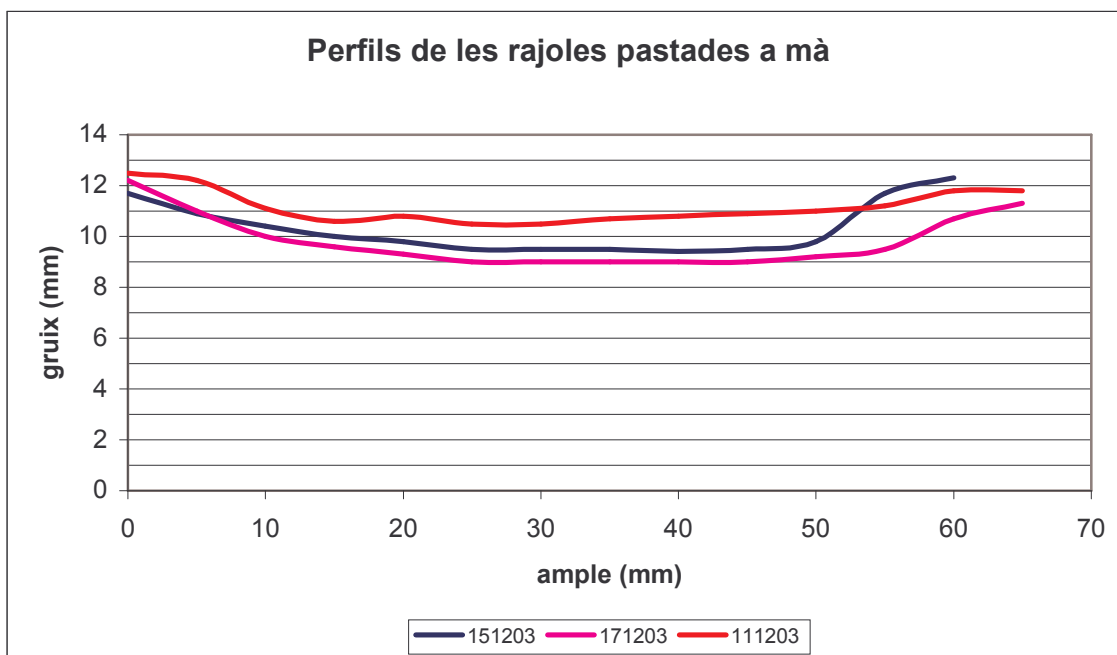
Micrografia 11. Precipitat metàl·lic en una rajola industrial de gres. (x50, 0,15 mm reals de base)

A la Imatge 2 es distingeix la superfície de gres industrial, el vidre, i la zona d'unió entre els dos (de color blanc). A l'interior del vidre hi ha bombolles d'aire, i està completament esquerdat. A la superfície del gres s'observen porus i petites esquerdes.

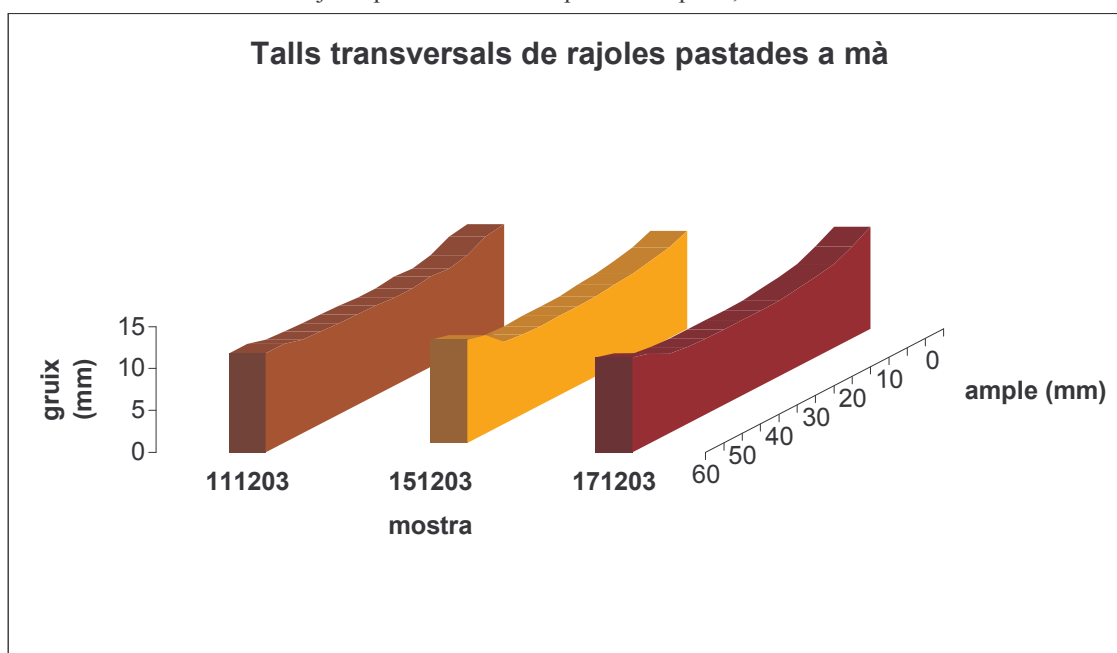


Imatge 2. Gota de vidre sobre rajola de gres industrial. La mida real de la base és de 6,75 mm.

S'ha observat que els perfils de les rajoles pastades a mà són molt irregulars. El gruix és major als costats de la rajola que al centre. A la Gràfica 12 es poden veure tres exemples. I a la Gràfica 13, en tres dimensions.



Gràfica 12. Perfils de tres rajoles pastades a mà. La primera és patró, i les altres dues al 8 % de vidre.



Gràfica 13. Talls de tres rajoles pastades a mà. La més clara és patró, i les altres dues al 8 % de vidre.

3.7. Anàlisi

3.7.1. Absorció d'aigua

- Les rajoles amb vidre presenten una absorció d'aigua més elevada que les patró, independentment de la temperatura de cocció.
- Fins a 1300 °C, a major percentatge de vidre major absorció d'aigua. Però a 1320 °C, les rajoles amb el 10 % (no + 10 %) tenen una absorció inferior a les 5 % i + 5 %.
- La tendència del patró i del 5 % és, primerament, disminuir l'absorció en augmentar la temperatura de cocció, però a partir de 1300 °C la tendència s'inverteix, augmentant l'absorció d'aigua.
- La resta de rajoles tendeixen a disminuir l'absorció d'aigua en augmentar la temperatura de cocció.
- Les dues rajoles patró cuites al forn elèctric de la UdG presenten una absorció d'aigua molt inferior (0,7 % menys que les patró a 1300 °C), donant un valor molt proper al 5,22 % de mitjana de la rajola industrial.
- De la comparació dels valors d'absorció d'aigua del present estudi (realitzat al forn de laboratori en condicions d'oxidació) amb les dades de l'Annex A (realitzat als forns túnel i amb reducció) s'extreuen dos punts:
 1. Els valors d'absorció d'aigua són, en gairebé tots els casos, superiors en l'estudi present.
 2. La tendència a la reducció a partir d'un cert percentatge de vidre no s'observa en l'estudi present. Contràriament, les rajoles al 10 % absorbeixen més aigua que les del 5 %.

3.7.2. Densitat aparent en sec

- La densitat aparent en sec disminueix en augmentar el percentatge de vidre.
- La disminució és més accentuada a les rajoles on no s'ha mantingut constant el percentatge de xamota.
- La dispersió en els valors de la densitat aparent en sec és molt gran. Aquest fet prové de la gran dispersió de valors en la retracció moll - sec (Gràfica 7).
- Els valors són superiors als de l'Annex A.

3.7.3. Densitat aparent en cuit

- La densitat aparent en cuit disminueix en augmentar el percentatge de vidre. La disminució és menys accentuada a les rajoles on s'ha mantingut constant el percentatge de xamota.
- La densitat aparent dels patrons augmenta en augmentar la temperatura de cocció.
- Les rajoles amb vidre disminueixen la densitat aparent en cuit en augmentar la temperatura de cocció (a excepció de l'última temperatura per al + 10 %).
- Aquestes tendències no provenen de la dispersió observada a la Gràfica 4, corresponent a la densitat aparent en sec.
- A 1320 °C (temperatura de cocció del FT) el valor de la densitat aparent en cuit és el mateix que a la rajola industrial (2,20 vs 2,21 g/mL).
- Les rajoles de l'Annex A presenten valors inferiors en tots els casos. Encara que, a la Taula 7, s'ha comentat que els valors de l'Annex no són els correctes. En aquest cas, la densitat aparent en cuit disminueix en augmentar el contingut en vidre, confirmant la tendència observada a la Gràfica 5.

3.7.4. Densitat real

- Els valors de la densitat real presenten una lleugera disminució amb l'augment del percentatge de vidre.
- La densitat real de la rajola patró (corresponent a l'Annex A) és semblant a la industrial (2,67 vs 2,73 g/mL).

3.7.5. Porositat oberta

- La tendència general és a disminuir la porositat oberta fins als 1300 °C. A partir d'aquesta temperatura augmenta per les rajoles patró i 5 % i segueix disminuint en la resta.
- Normalment, la presència de més vidre augmenta la porositat oberta. En les rajoles de l'Annex A la tendència és inversa, tot i la gran dispersió de valors.
- A 1320 °C és el punt on totes les porositats obertes són més semblants.
- Les rajoles amb menor porositat oberta són les cuites a Girona (≈ 11 %).
- En tots els casos la porositat oberta és molt superior que a la rajola industrial (8 %). La porositat oberta del patró a 1320 °C és del 13,5 %.

3.7.6. Porositat total

- La porositat total és major a major percentatge de vidre a la pasta.
- La porositat total de la rajola patró (011203) és del 18,68 %, semblant al 19 % de la rajola industrial.
- Les rajoles amb menor absorció d'aigua són les que presenten major porositat total. La majoria de la seva porositat és tancada, per oclusió de l'aire i CO₂ i expansió durant la cocció.

3.7.7. Retracció moll - sec

- La retracció moll - sec augmenta en augmentar el percentatge de vidre, exceptuant el cas del + 10 %, on la mitjana és inferior a la patró. Tot i això, cap valor unitari es troba per sota del mínim del patró.
- La tendència de les rajoles de l'Annex A és la contrària: en augmentar el percentatge de vidre disminueix la retracció.
- Del gruix torna a destacar que la retracció del + 10 % és la mínima i la del 10 % la màxima.
- Hi ha una parella de rajoles del 10 % que donen una retracció nul·la i negativa. Possiblement la retracció longitudinal comporta una expansió del pla perpendicular (gruix).

3.7.8. Retracció sec - cuit

- La retracció disminueix, seguint la teoria, en augmentar el contingut en vidre (també a les rajoles de l'Annex A).
- En el cas del patró augmenta junt a la temperatura de cocció.
- En el cas del vidre disminueix amb la temperatura de cocció.
- Pel que fa al gruix succeeix de forma semblant: la retracció disminueix en augmentar el percentatge de vidre i la temperatura de cocció.
- Tot i la poca precisió en la determinació de la retracció segons el gruix, queda clar que la retracció és altament anisòtropa (depèn de la direcció) i, tal i com s'observa als perfils de les Gràfiques 12 i 13, altament inhomogènia.
- La retracció moll - cuit de les rajoles patró a 1320 °C és molt superior a la industrial (9,70 % vs 7,22 %).

3.7.9. Pèrdues de massa per calcinació

- Les pèrdues per calcinació augmenten en augmentar el percentatge de vidre, tant a l'estudi present com a les dades de l'Annex A.
- La temperatura de cocció elevada fa augmentar les rajoles amb més vidre (10 % i + 10 %). La resta mantenen les pèrdues.
- Pel patró a 1320 °C les pèrdues són lleugerament superiors a les de la rajola industrial (5,8 % vs 5,6 %).

3.7.10. Microscòpia

- Les rajoles pastades a mà presenten porus més rodons i menys orientats que els de les rajoles extrusionades.
- Els porus són de mida superior si hi ha presència de vidre.
- S'observen precipitats metàl·lics.
- L'ús del camp fosc permet observar que les partícules inerts no estan en contacte.

3.7.11. Corbes de cocció

- El preescalfament i l'escalfament són més ràpids al forn de laboratori (i al Gi) que al forn túnel.
- La velocitat és major al forn túnel en aproximar-se la temperatura de cocció.
- El temps a temperatura de cocció és més llarg al forn túnel (i al Gi).
- La velocitat de refredament al forn de laboratori és superior.

3.7.12. Pólvores de vidre

- La mida de partícula de les pólvores és d'uns 20 μm .
- El color del vidre fos (en condicions d'oxidació) es torna verdós.
- El vidre forma precipitats de color (vermell, taronja, groc) observables al microscopi òptic.

4. Fabricació de les rajoles amb vidre d'ampolla

Per finalitzar l'estudi s'han realitzat rajoles amb vidre d'ampolla triturat. Les rajoles en cada fornada han estat:

- 5 % de vidre de mida de partícula inferior a 125 μm ,
- 5 % de vidre de mida de partícula d'entre 125 i 300 μm ,
- 10 % de vidre de mida de partícula inferior a 125 μm , i
- 10 % de vidre de mida de partícula d'entre 125 i 300 μm .

S'han realitzat tres fornades a 1250 °C, 1320 °C i 1325 °C. La fornada de 1325 °C es va programar a 1320 °C, però la velocitat d'escalfament i la temperatura màxima van ser superiors a les establertes. Aquest fet pot tenir incidència sobre els resultats i, per aquest motiu, es va realitzar de nou una fornada a 1320 °C.

S'ha considerat innecessària la presència de patrons ja que les condicions del forn de laboratori són fàcilment reproduïbles. Tampoc s'han realitzat parelles de cocció, ja que les dues rajoles es col·loquen al mateix lloc (a diferència del forn túnel), essent les diferències inapreciables.

4.1. Preparació del vidre

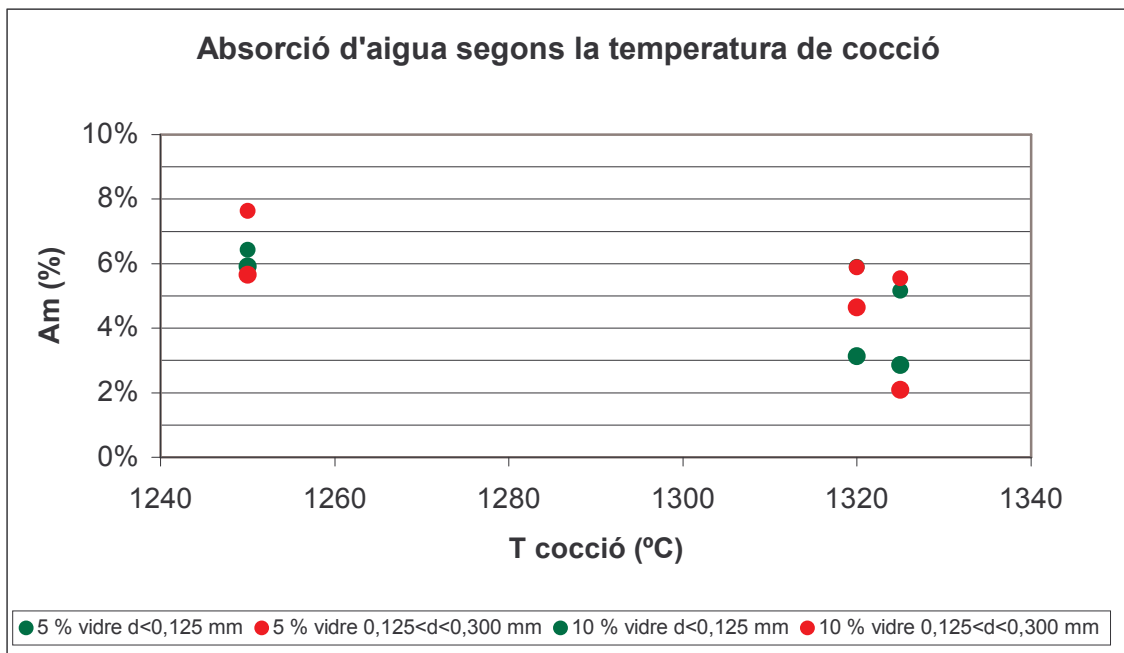
El procés per a la preparació del vidre consisteix en:

- trencar, amb un martell, les ampolles de vidre,
- passar els trossos pels rodets, fent disminuir l'espai entre aquests progressivament,
- introduir al molinet,
- tamisar amb els sedassos de 125 i 300 μm ,
- separar la fracció de diàmetre inferior a 125 μm de la fracció d'entre 125 i 300 μm .

4.2. Resultats i anàlisi

4.2.1. Absorció d'aigua

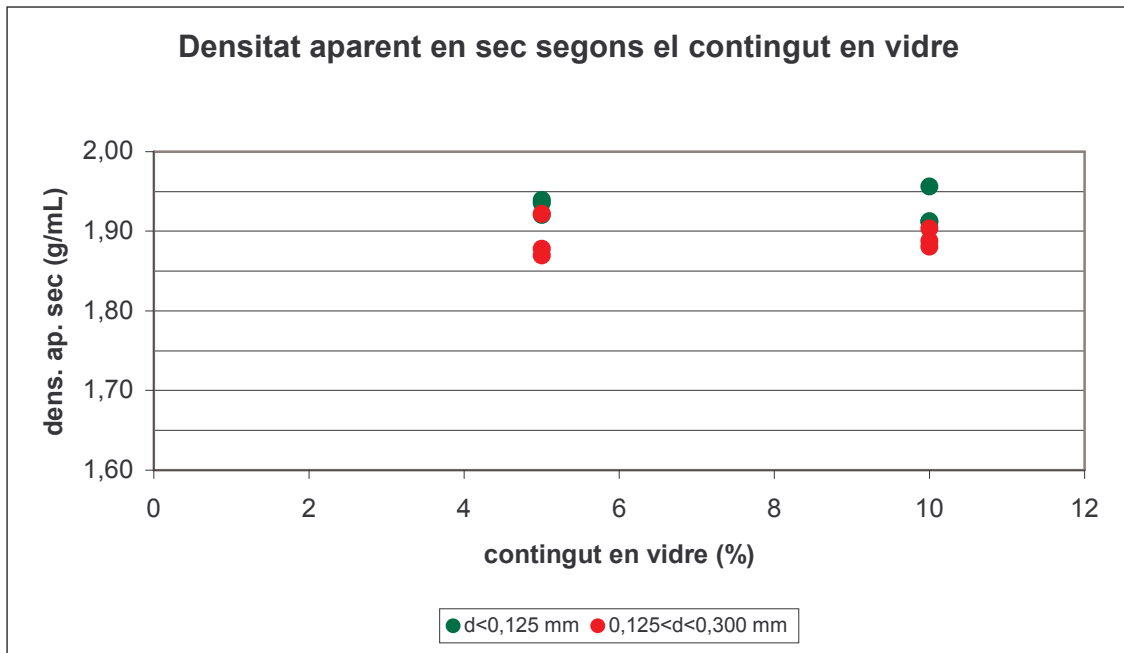
A la Gràfica 14 s'observa que s'han aconseguit els valors d'absorció d'aigua que es cercaven (inferiors al 3 %). A la temperatura de cocció de 1320 °C el valor mínim d'absorció de les rajoles amb pólvores de vidre (Gràfica 3) és superior a tots els valors obtinguts amb el vidre d'ampolla. A major percentatge de vidre i pel vidre fi, menor absorció d'aigua.



Gràfica 14. Absorció d'aigua segons el tipus de vidre (fi o bast), el percentatge i la temperatura de cocció.

4.2.2. Densitat aparent en sec

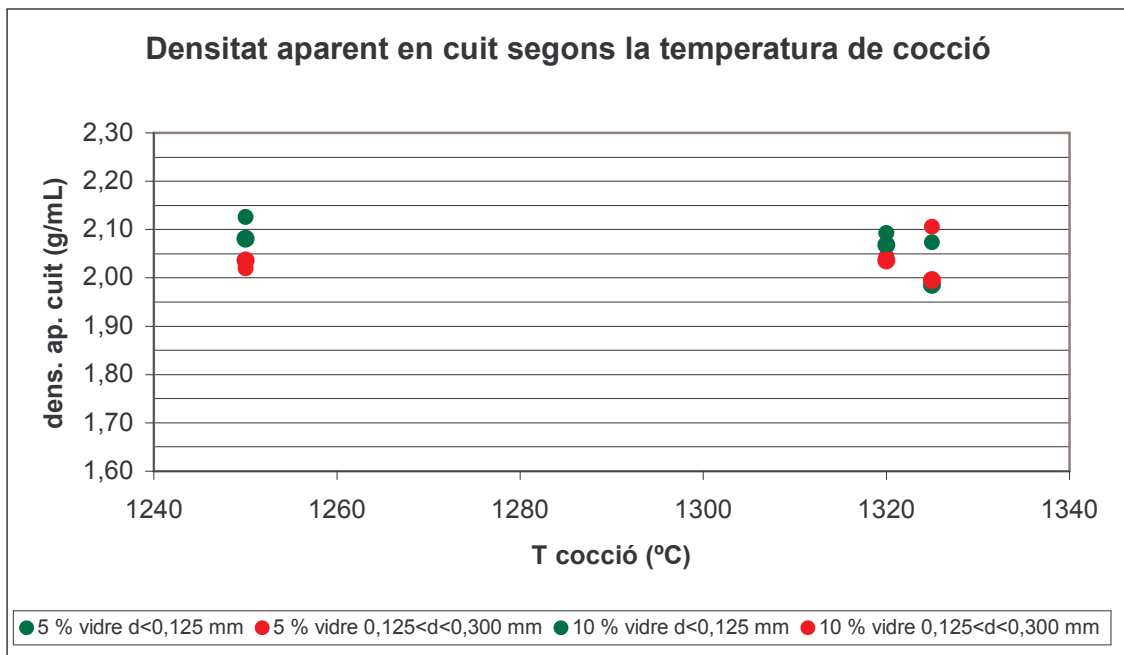
A la Gràfica 15, la densitat aparent en sec és superior per les rajoles amb vidre d'ampolla. La tendència continua essent la de disminuir la densitat en augmentar el percentatge de vidre. El vidre fi comporta densitats en sec més elevades.



Gràfica 15. Densitat aparent en sec segons el contingut en vidre i el tipus (fi o bast).

4.2.3. Densitat aparent en cuit

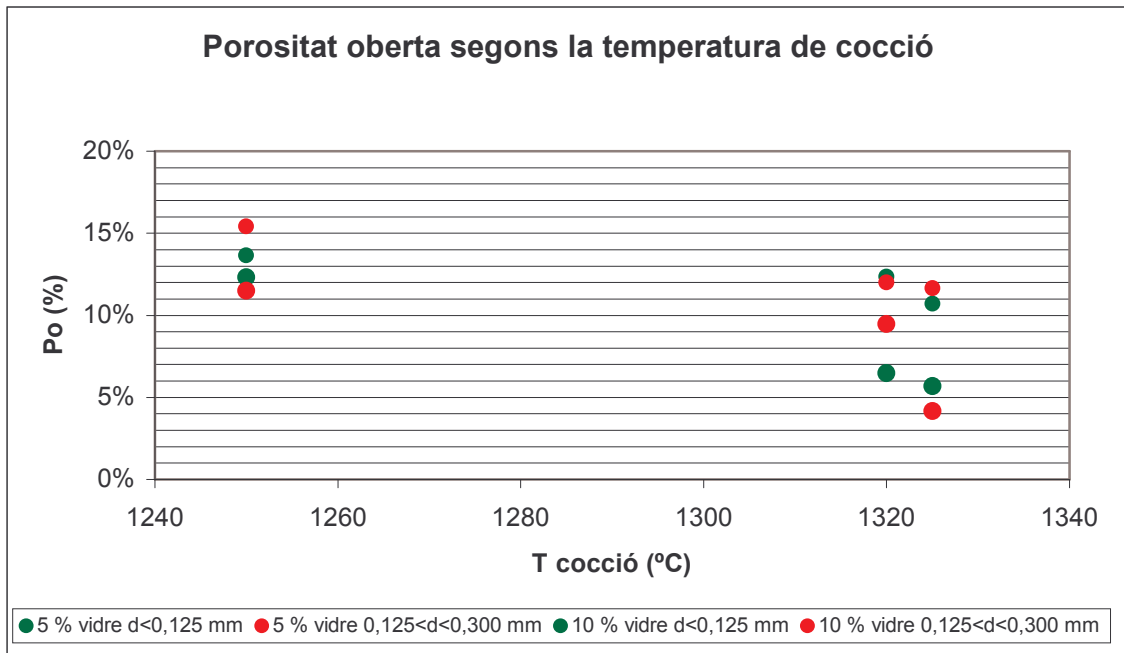
A la Gràfica 16, la densitat aparent en cuit també obté valors superiors als obtinguts amb les pólvores de vidre (Gràfica 5). A 1320 °C, la densitat és major en el cas del vidre fi. A 1325 °C l'efecte del contingut en vidre és més important, i densifica més el vidre bast.



Gràfica 16. Densitat aparent en cuit segons la temperatura de cocció, el contingut en vidre i la mida.

4.2.4. Porositat oberta

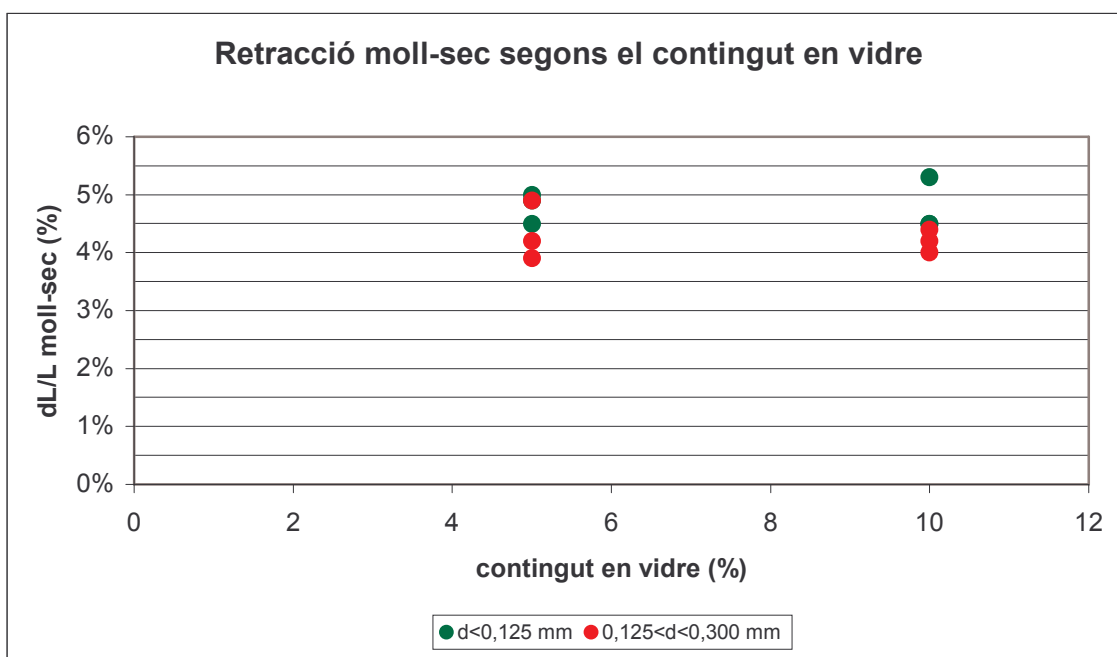
A la Gràfica 17 destaca el valor de la porositat oberta en el cas de la rajola cuita a 1320 °C, amb el 10 % de vidre fi, doncs és inferior a la porositat oberta de la rajola industrial (< 8 %).



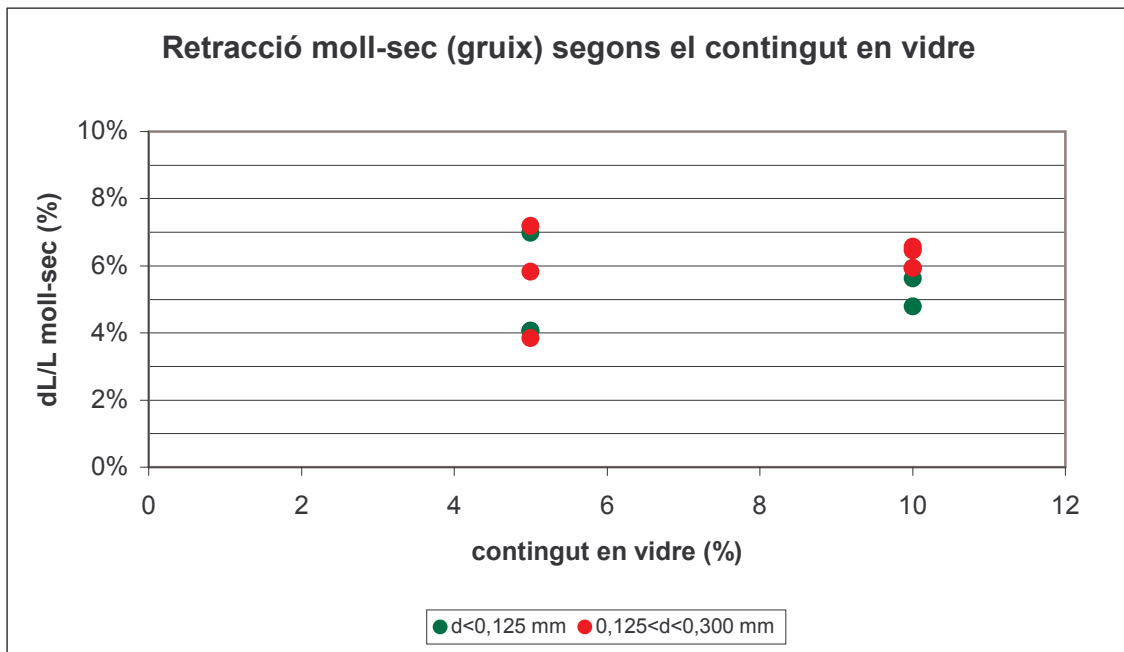
Gràfica 17. Porositat oberta segons la temperatura de cocció, el contingut en vidre i la seva mida.

4.2.5. Retracció moll - sec

La retracció moll - sec supera la de les rajoles amb pólvores de vidre (Gràfica 7) en més de mig punt (del 0,5 % al 0,75 %). Tal i com s'observa a la Gràfica 18, la retracció és superior en el cas del vidre fi. Pel que fa al gruix, els valors de retracció moll - sec són superiors als de la Gràfica 18. Encara que, a la Gràfica 19, s'observa una major dispersió. També s'observa que la retracció del gruix és superior en les rajoles amb vidre bast.



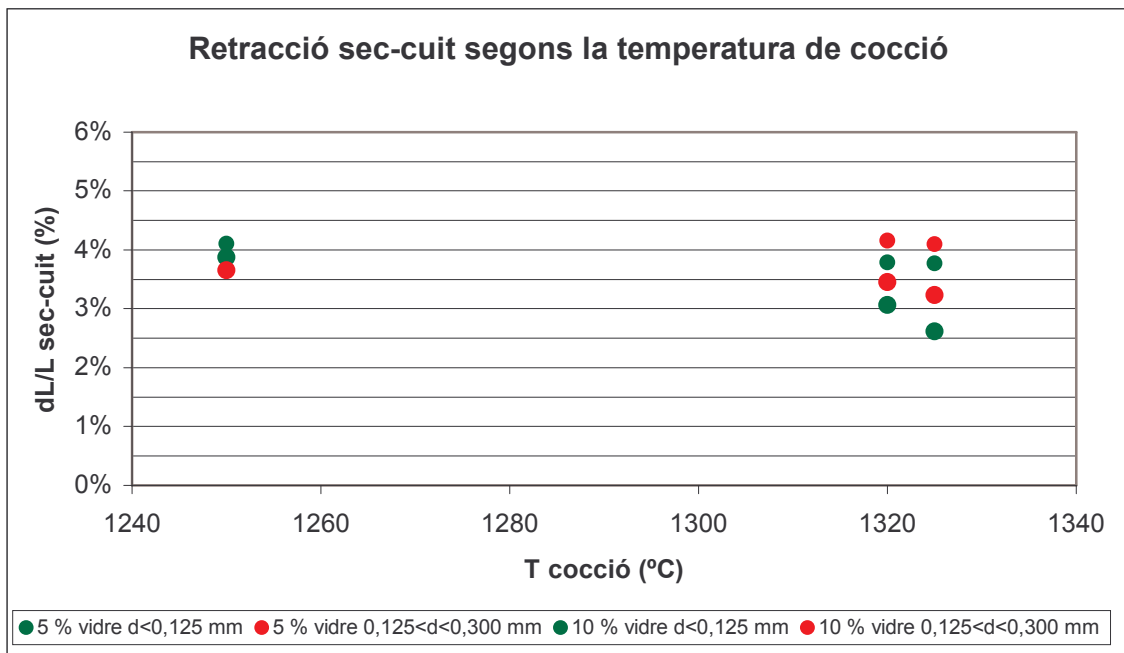
Gràfica 18. Retracció moll - sec segons el contingut en vidre i la seva mida.



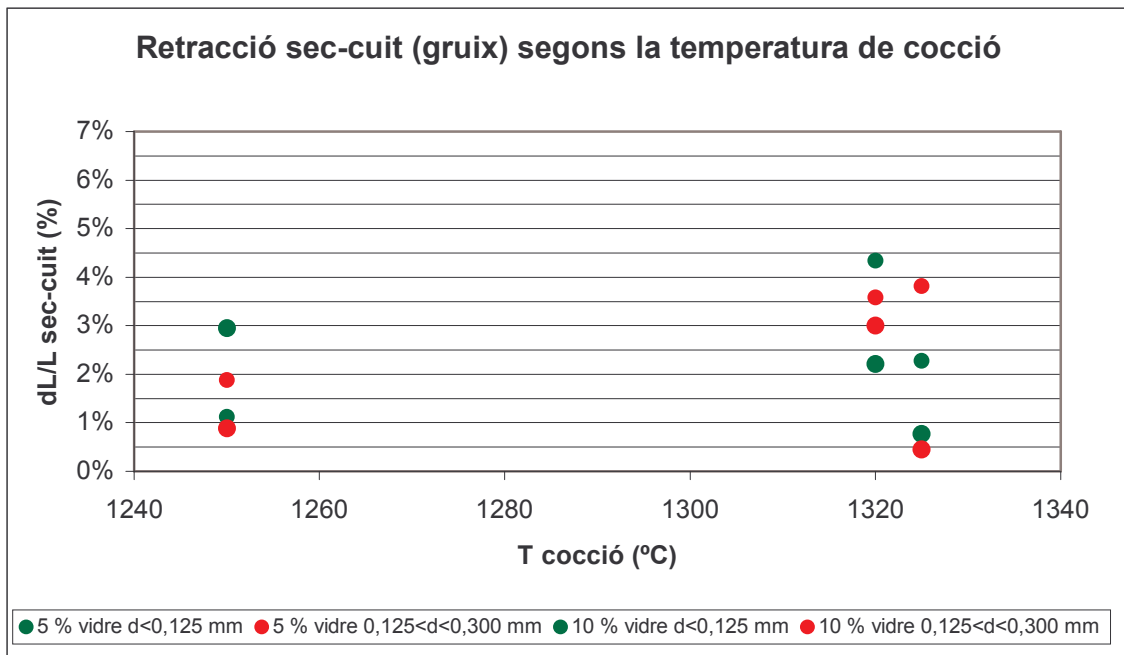
Gràfica 19. Retracció moll - sec, del gruix, segons el contingut en vidre i la seva mida.

4.2.6. Retracció sec - cuit

A la Gràfica 20 s'observa que els valors de la retracció sec - cuit són similars als de l'estudi amb pólvores de vidre (Gràfica 9). La retracció és major a menor contingut en vidre, i pel vidre bast. A la Gràfica 21 es constata que la retracció sec - cuit del gruix és inferior a la de la resta de dimensions.



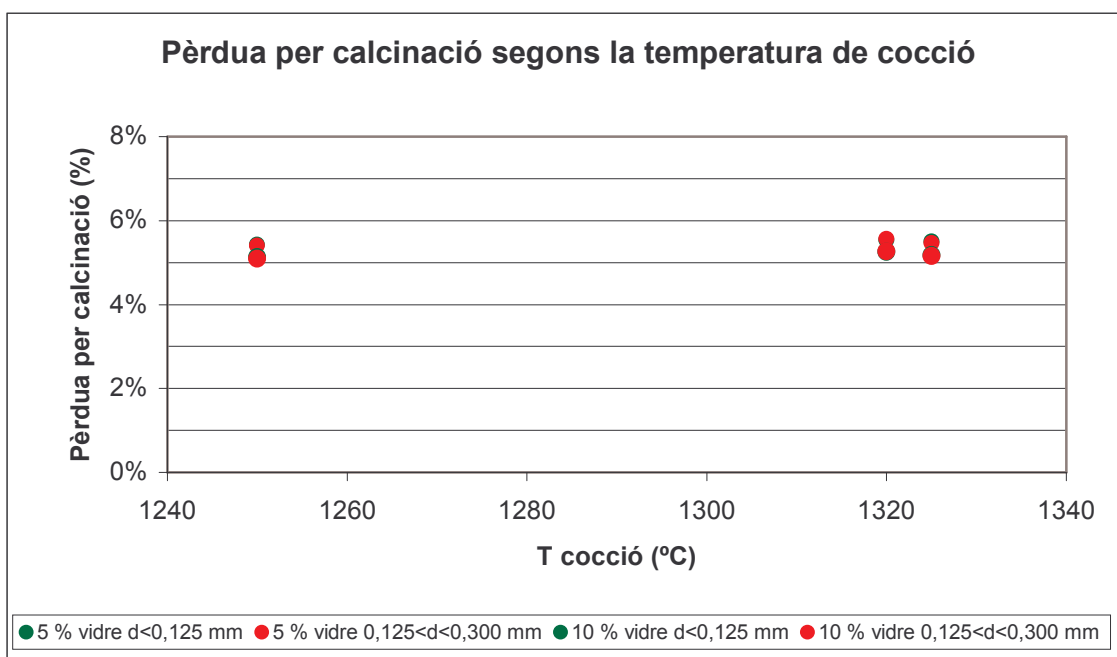
Gràfica 20. Retracció sec - cuit segons la temperatura de cocció, el contingut en vidre i la seva mida.



Gràfica 21. Retracció sec - cuit, del gruix, segons la temperatura de cocció, el contingut en vidre i la mida.

4.2.7. Pèrdues de massa per calcinació

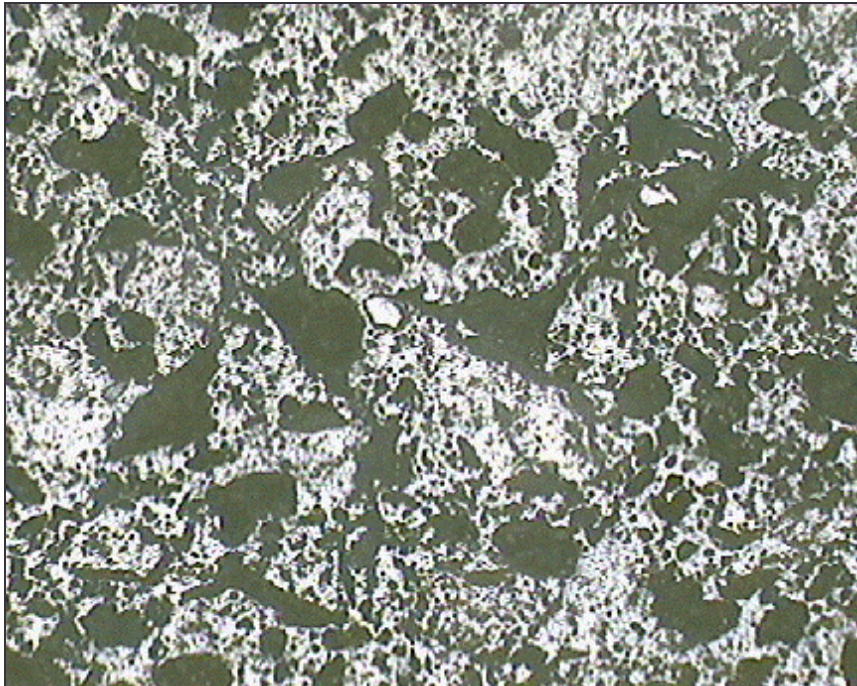
Els valors de la pèrdua de massa per calcinació (Gràfica 22) són inferiors a les rajoles amb vidre d'ampolla. La diferència segons la mida de partícula del vidre és inapreciable.



Gràfica 22. Pèrdua de massa per calcinació segons la temperatura de cocció, el contingut en vidre i la mida.

4.2.8. Microscòpia

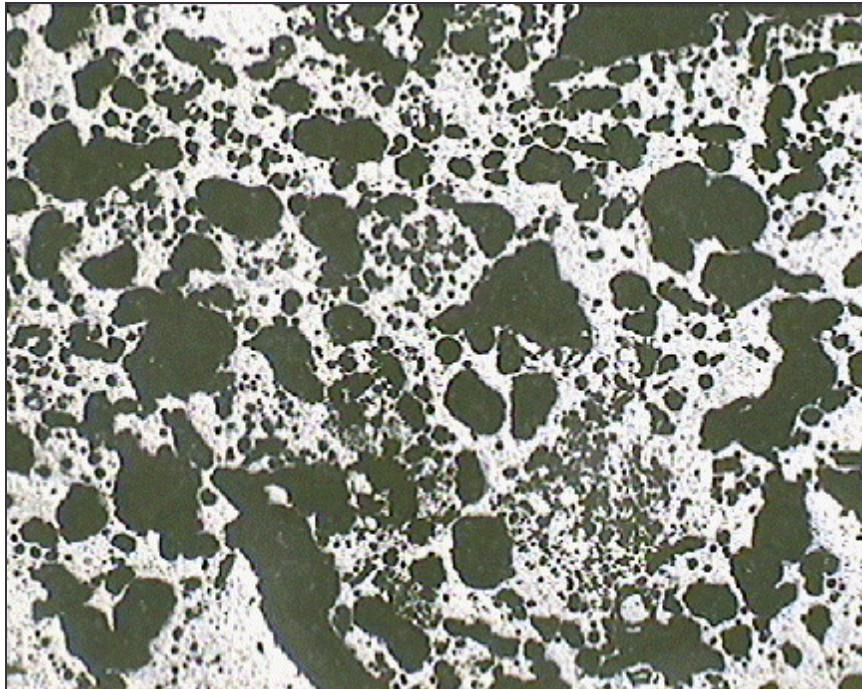
S'han preparat quatre provetes, una de cada tipus de rajola, per a observar al microscopi òptic. La del 10 % en vidre bast correspon a la temperatura de cocció de 1325 °C, per presentar el valor mínim d'absorció d'aigua (2,09 %). Les altres tres corresponen a la cocció realitzada a 1320 °C. A les següents micrografies s'observa que la porositat (zona negra) és inferior a les rajoles amb major contingut en vidre (Micrografia 14 i Micrografia 15). També es pot observar una lleugera tendència a la major mida dels porus a les rajoles amb vidre bast (Micrografia 13 i Micrografia 15). Tot i semblar que la rajola del 5 % en vidre bast (Micrografia 13) és menys porosa que la del 5 % en vidre fi (Micrografia 12), els valors de l'absorció d'aigua són iguals (5,88 % i 5,90 %, respectivament).



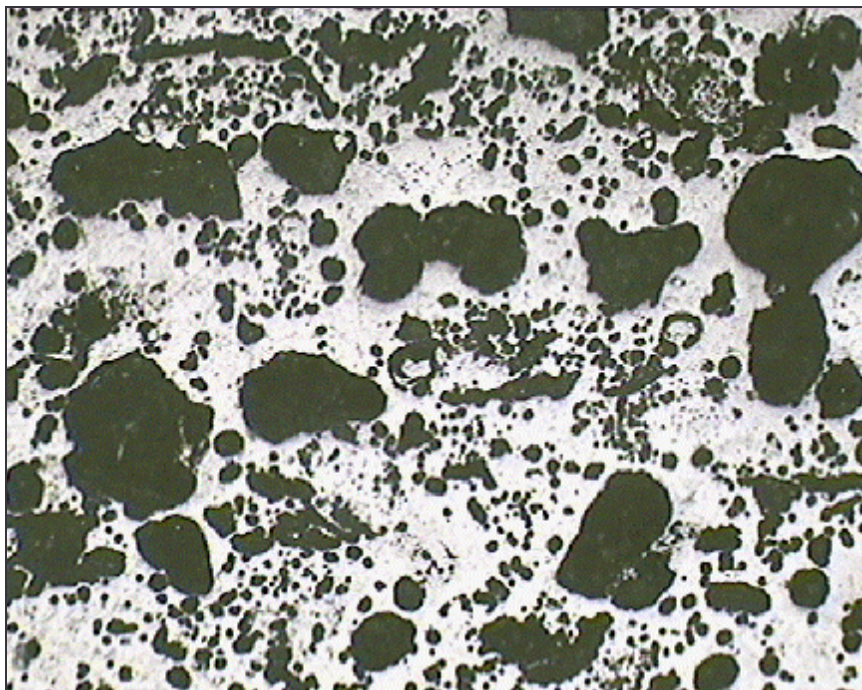
Micrografia 12. Vista general d'una rajola de gres 5 % vidre d'ampolla de mida inferior a 125 µm cuita al forn de laboratori a 1320 °C. Absorció d'aigua: 5,90 %. (x5, 1,5 mm reals de base)



Micrografia 13. Vista general d'una rajola de gres 5 % vidre d'ampolla d'entre 125 i 300 µm cuita al forn de laboratori a 1320 °C. Absorció d'aigua: 5,88 %. (x5, 1,5 mm reals de base)



Micrografia 14. Vista general d'una rajola de gres 10 % vidre d'ampolla de mida inferior a 125 µm cuita al forn de laboratori a 1320 °C. Absorció d'aigua: 3,13 %. (x5, 1,5 mm reals de base)



Micrografia 15. Vista general d'una rajola de gres 10 % vidre d'ampolla d'entre 125 i 300 µm cuita al forn de laboratori a 1325 °C. Absorció d'aigua: 2,09 %. (x5, 1,5 mm reals de base)

5. Experiments d'anàlisi tèrmica

Per tal de saber la influència de la temperatura sobre la quantitat de cada component present en les rajoles de gres, s'han realitzat termogravimetries de cadascuna de les pólvores reactives, del carbonat de bari, del feldspat, i de les pólvores de vidre.

També és important poder estudiar el senyal tèrmic i comparar-lo amb la derivada del senyal màssic. Així, s'han tractat les dades per obtenir les corbes corresponents.

A la Taula 9 es troben reunides les pèrdues de massa de cadascun dels components estudiats.

Component	Massa inicial (mg)	Massa final (mg)	Massa perduda (mg)	Massa perduda (%)
Argila W	88,8	77,3	11,5	13,0
Argila X	163,5	144,5	19,0	11,6
Argila Y	169,6	152,9	16,7	9,8
Argila Z	120,1	108,7	11,4	9,5
Feldspat	172,2	171,0	1,2	0,7
BaCO ₃	198,5	155,1	43,4	21,9
Pólvores vidre	44,0	38,9	5,1	11,6

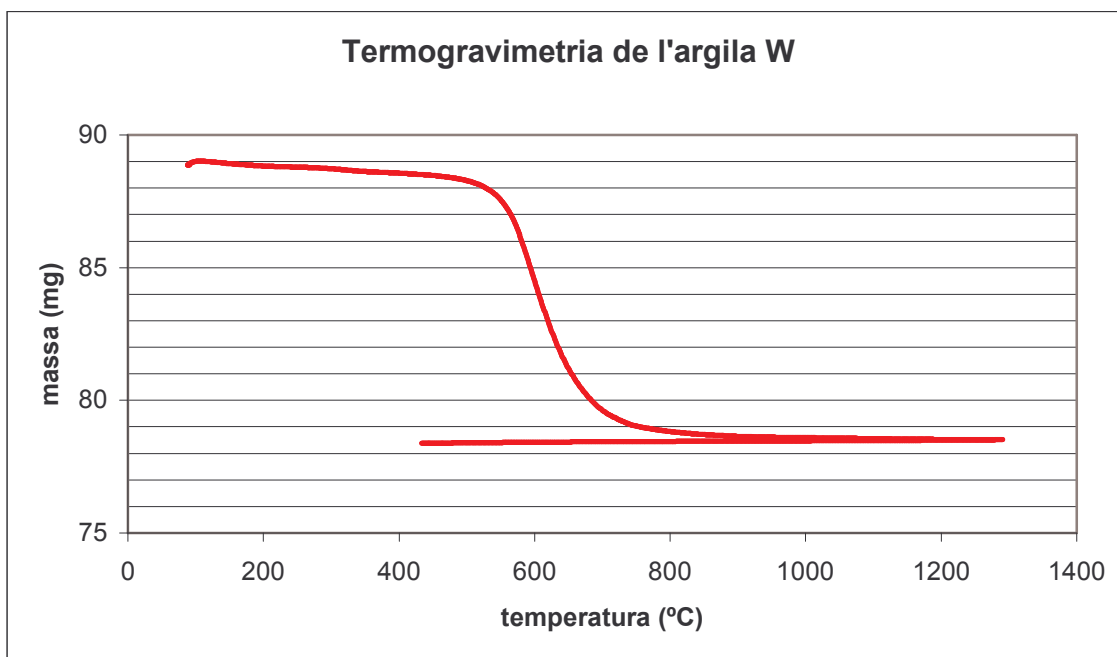
Taula 9. Pèrdues de massa en les termogravimetries dels diferents components del gres.

Les pèrdues de les quatre argiles i les de les pólvores de vidre són semblants. Les majors són les del carbonat de bari. Pel que fa al feldspat, les pèrdues són mínimes.

S'ha de tenir en compte que la termogravimetria del carbonat de bari s'ha realitzat fins a 1500 °C, ja que a 1300 °C continua la tendència a perdre massa.

5.1. Termogravimetria de l'argila W

A la Gràfica 23 s'observa la pèrdua de massa de l'argila W en funció de la temperatura.

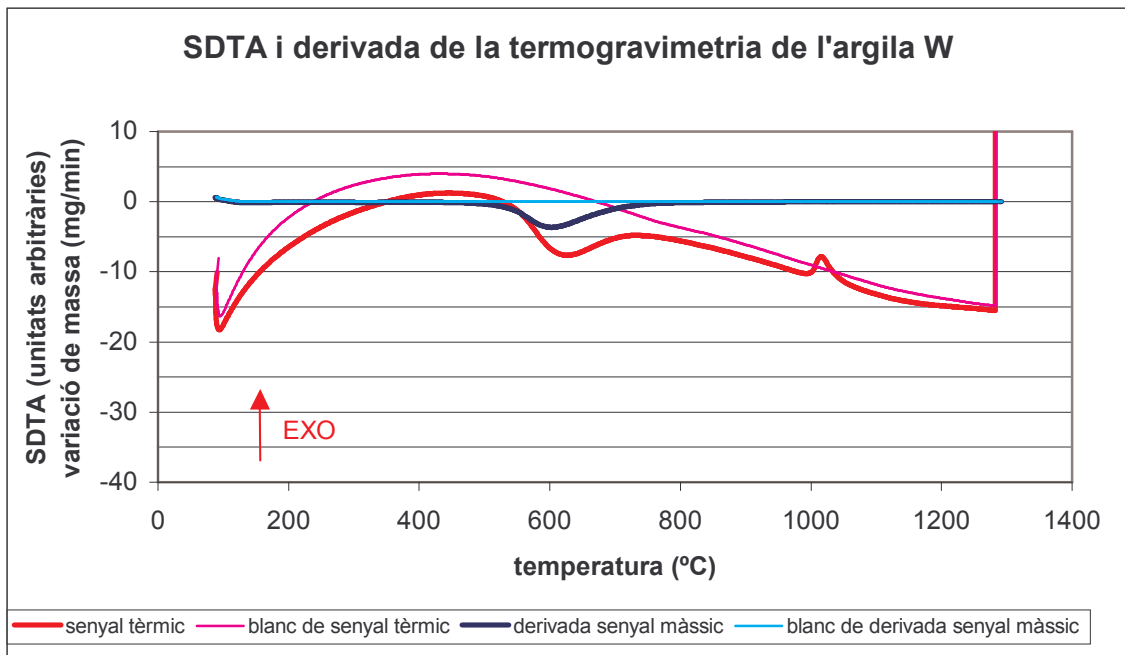


Gràfica 23. Termogravimetria de l'argila W. Les pèrdues de massa són del 13,0 %.

Durant l'experiment, la massa de l'argila W ha disminuït 11,5 mg, quantitat que representa el 13,0 % de la massa inicial. La major part de la massa s'ha perdut entre les temperatures de 500 i 700 °C i correspon als grups hidroxils.

A la Gràfica 24 es representa el senyal tèrmic (SDTA) de la termogravimetria de l'argila W, així com la derivada del senyal màssic de la Gràfica 23 respecte al temps. També les corresponents corbes de blanc.

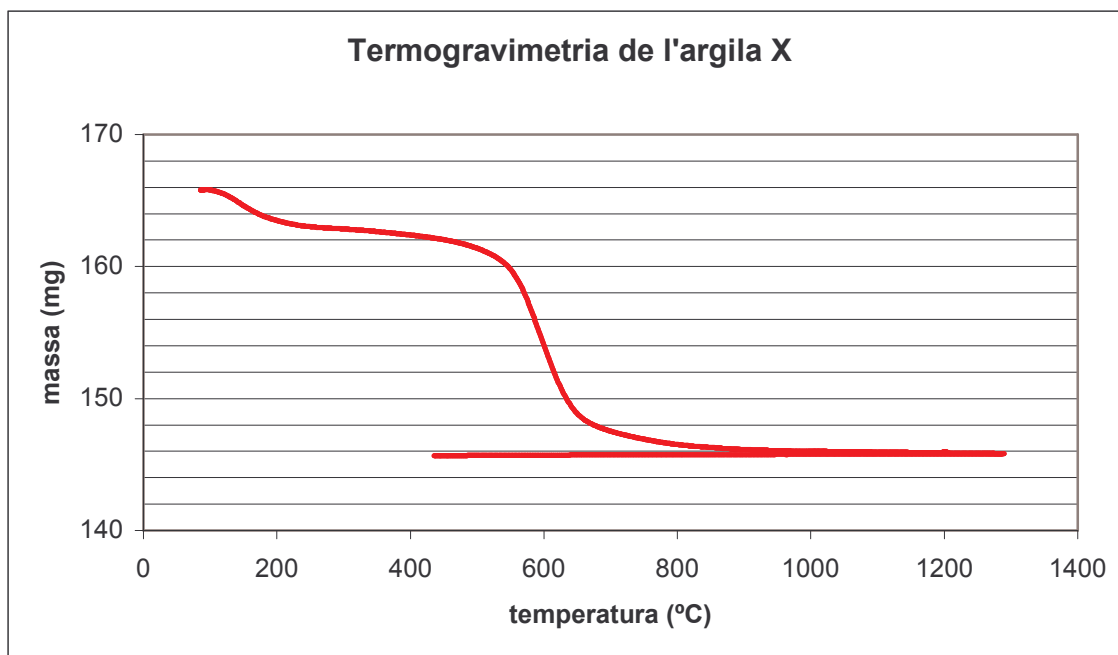
A 600 °C té lloc un procés endotèrmic que correspon a la pèrdua d'aigua combinada, i a 1000 °C, un d'exotèrmic que correspon a la formació de mullita. A les gràfiques corresponents a la resta d'argiles s'observa la mateixa forma en la corba corresponent.



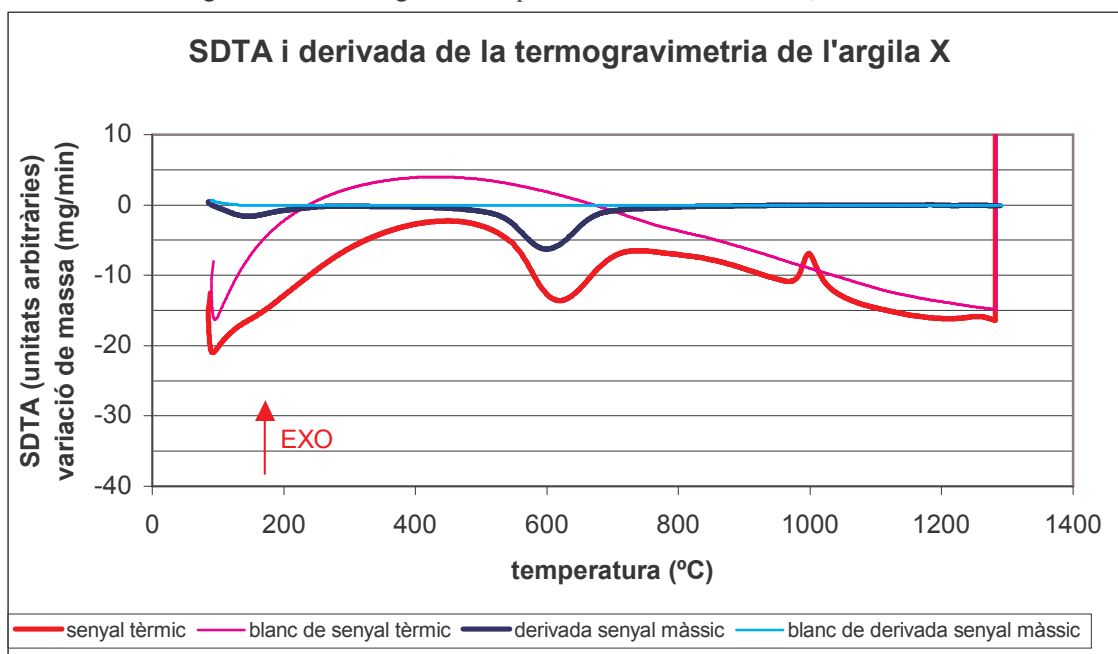
Gràfica 24. SDTA i derivada de la termogravimetria de l'argila W.

5.2. Termogravimetria de l'argila X

Les Gràfiques 25 i 26 corresponen a l'argila X. S'hi observa la pèrdua de massa de l'11,6 % i els processos característics de les argiles a 600 i 1000 °C.



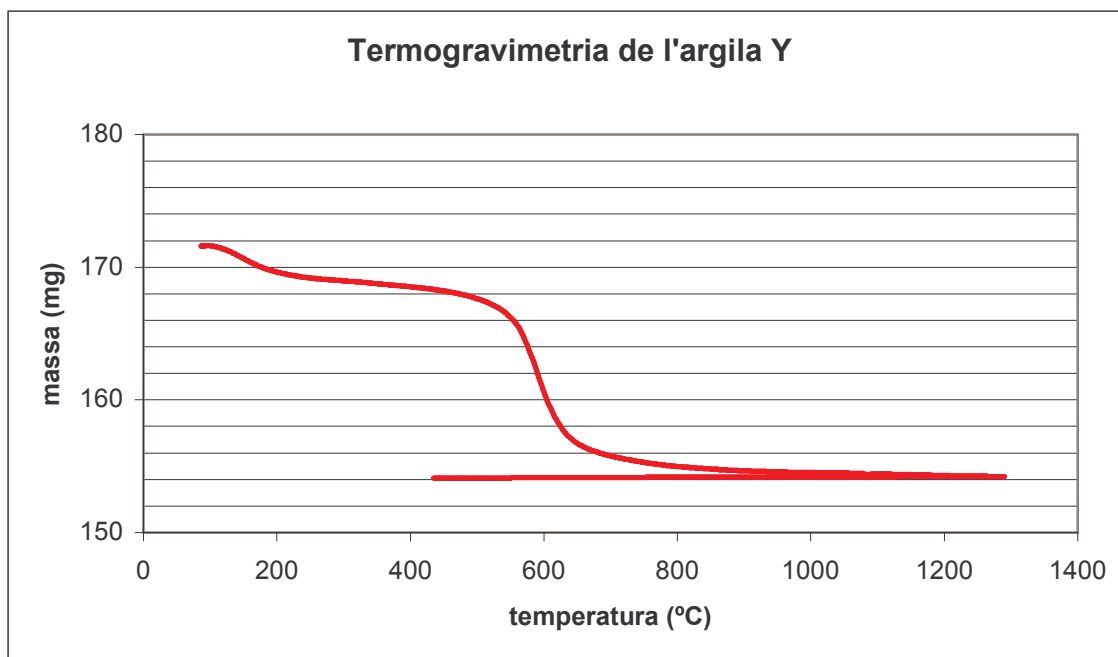
Gràfica 25. Termogravimetria de l'argila X. Les pèrdues de massa són del 11,6 %.



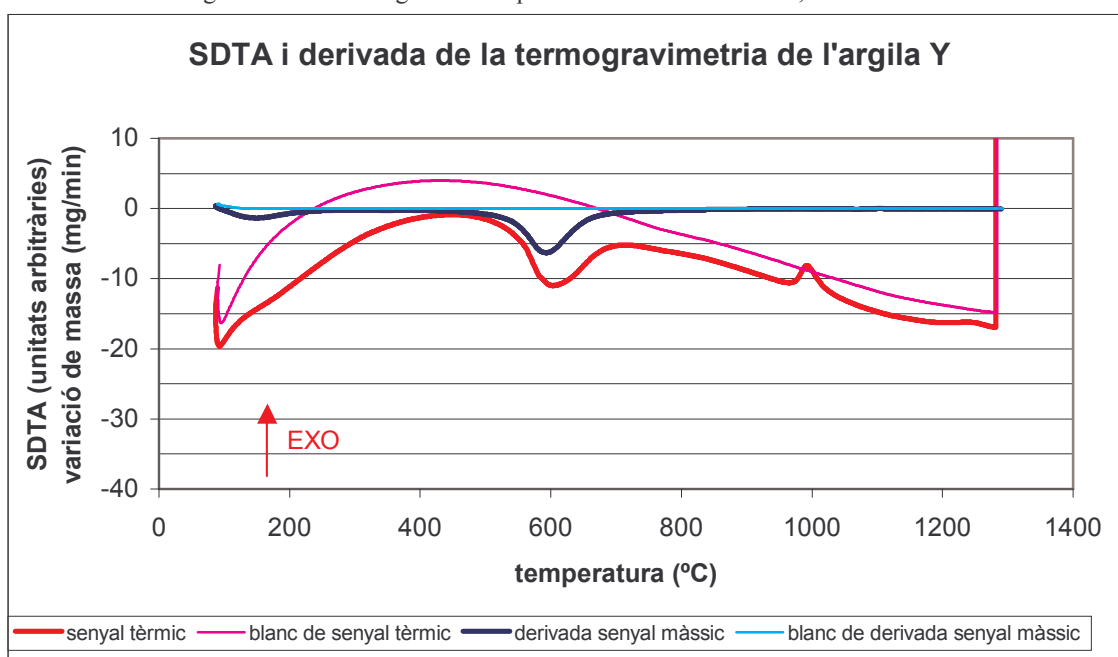
Gràfica 26. SDTA i derivada de la termogravimetria de l'argila X.

5.3. Termogravimetria de l'argila Y

La Gràfica 27, corresponent a l'argila Y, mostra les pèrdues de massa d'aquest component, que són del 9,8 %. A la Gràfica 28 s'observen, altra vegada, els processos a 600 i 1000 °C.



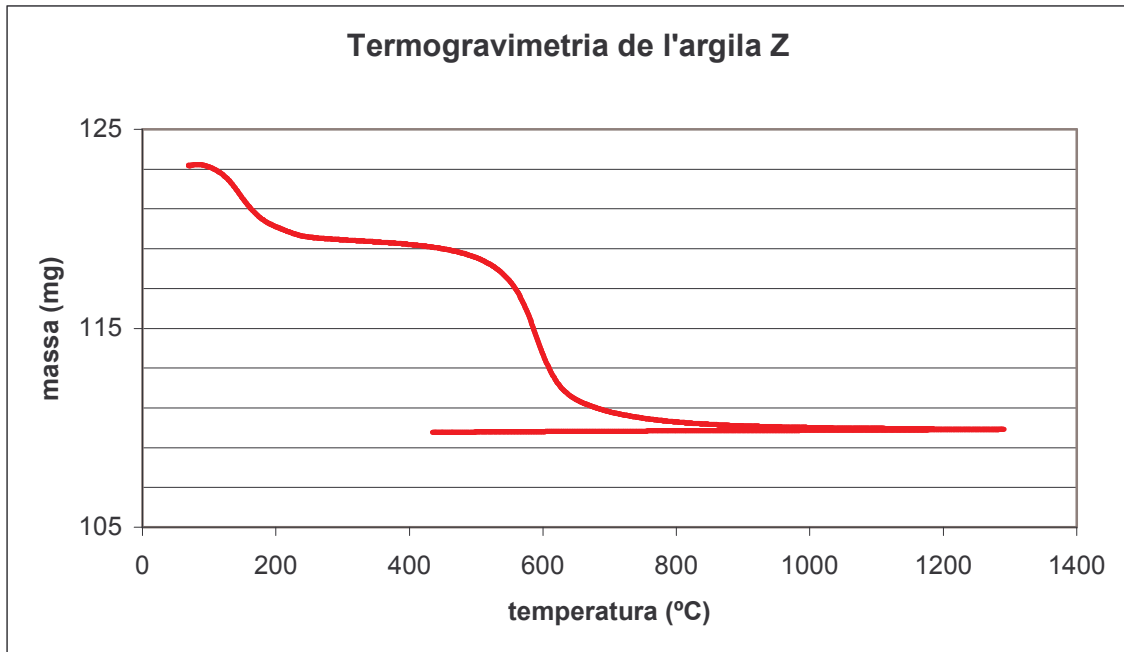
Gràfica 27. Termogravimetria de l'argila Y. Les pèrdues de massa són del 9,8 %.



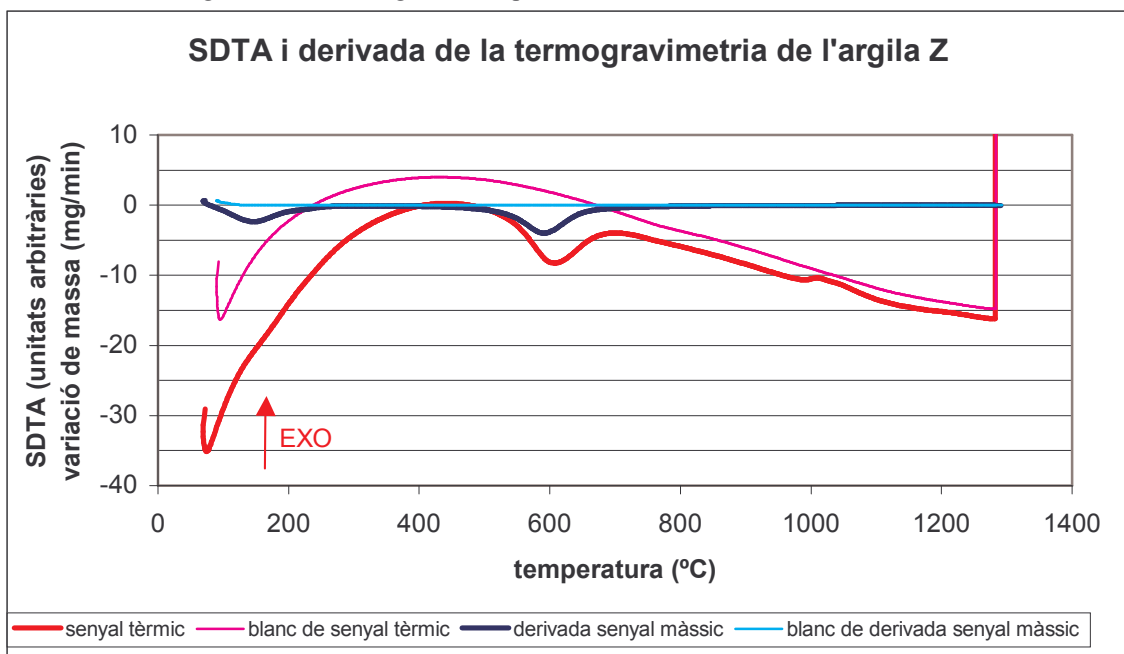
Gràfica 28. SDTA i derivada de la termogravimetria de l'argila Y.

5.4. Termogravimetria de l'argila Z

Les gràfiques 29 i 30 mostren la termogravimetria corresponent a l'argila Z. A la primera s'observen les pèrdues del 9,5 %. A la segona, els processos característics a 600 i 1000 °C.



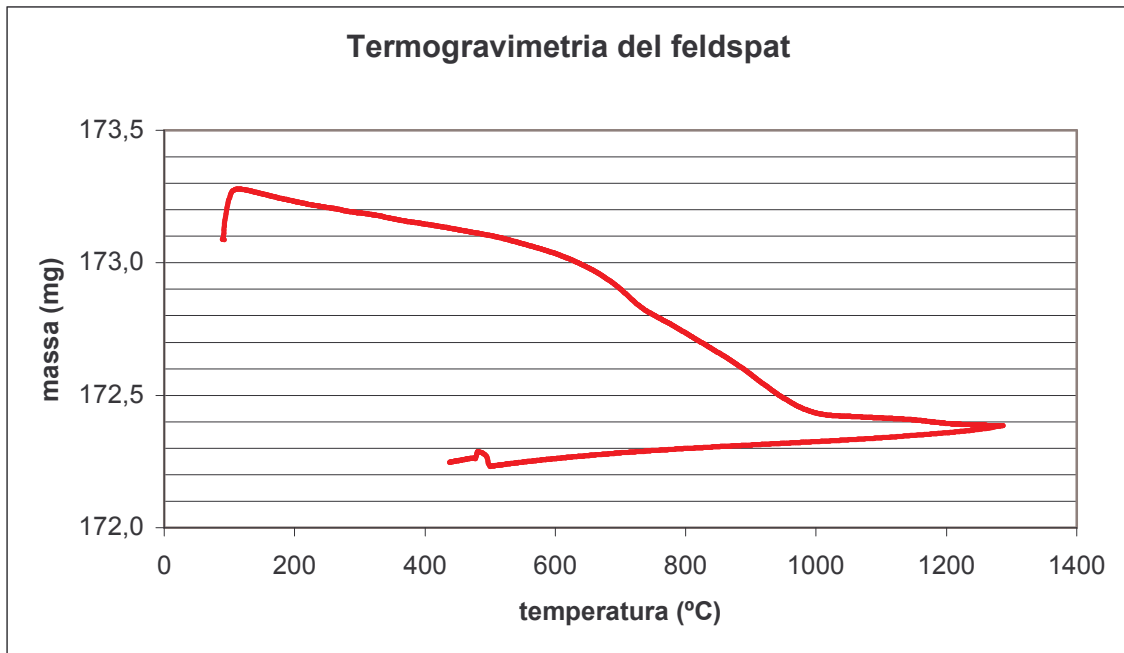
Gràfica 29. Termogravimetria de l'argila Z. Les pèrdues de massa són del 9,5 %.



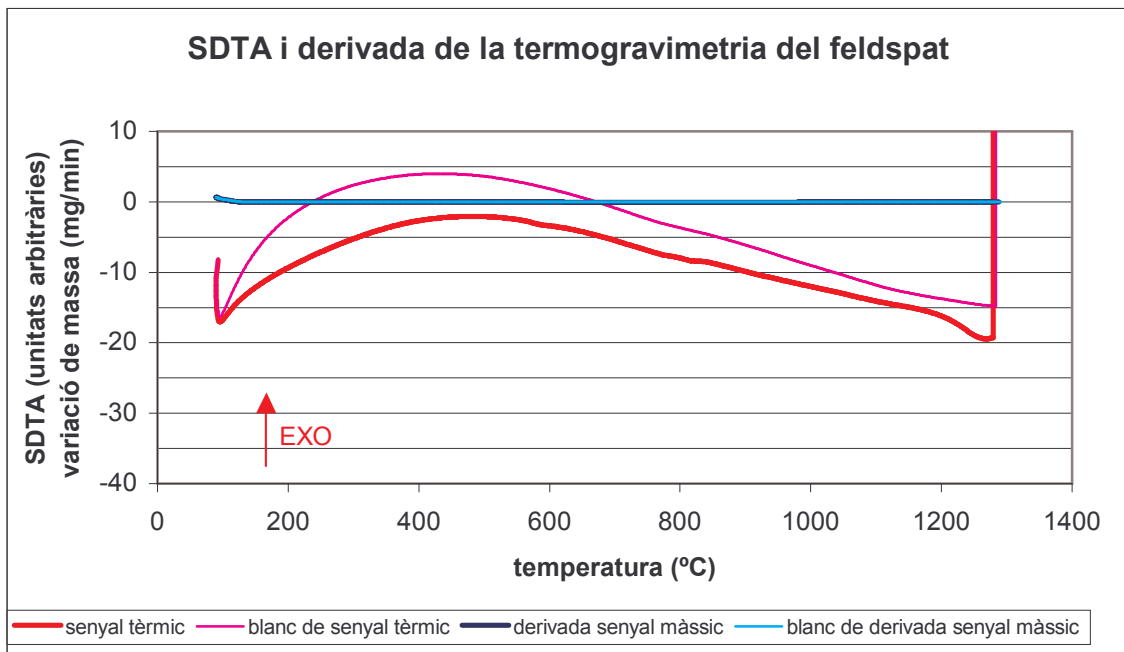
Gràfica 30. SDTA i derivada de la termogravimetria de l'argila Z.

5.5. Termogravimetria del feldspat

A la Gràfica 31 s'observa que les pèrdues de massa del feldspat són molt reduïdes, tan sols del 0,7 %. Aquest fet es corrobora en la corba de la derivada a la Gràfica 32; és una recta situada sobre el valor zero. I no es dona cap procés ni exotèrmic ni endotèrmic.



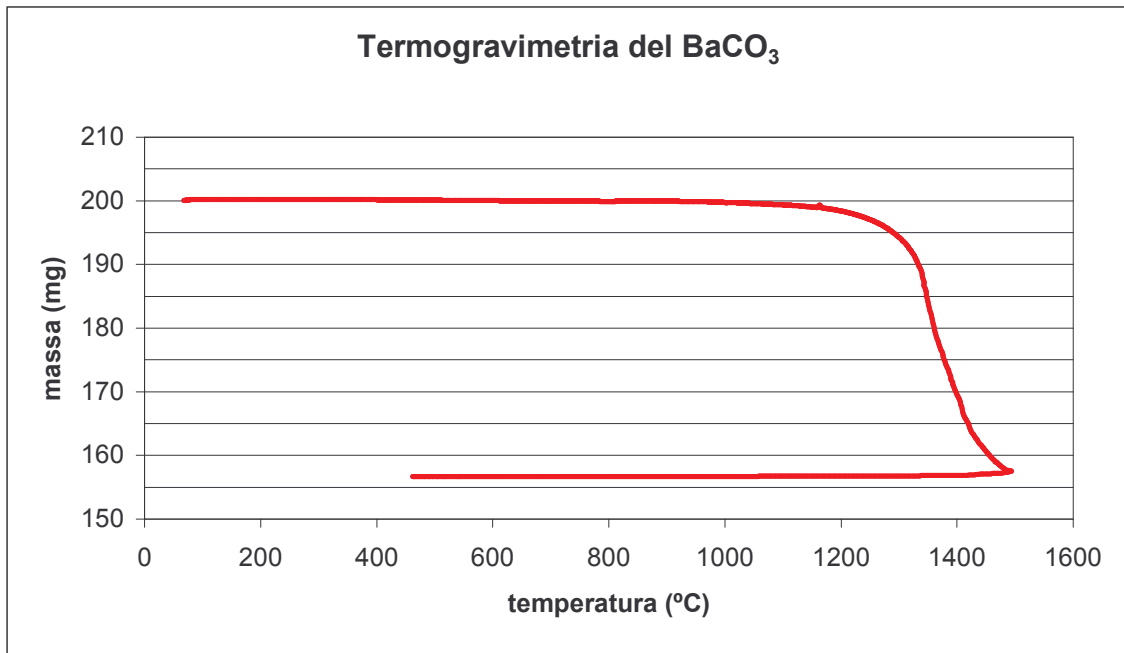
Gràfica 31. Termogravimetria del feldspat. Les pèrdues de massa són del 0,7 %.



Gràfica 32. SDTA i derivada de la termogravimetria del feldspat.

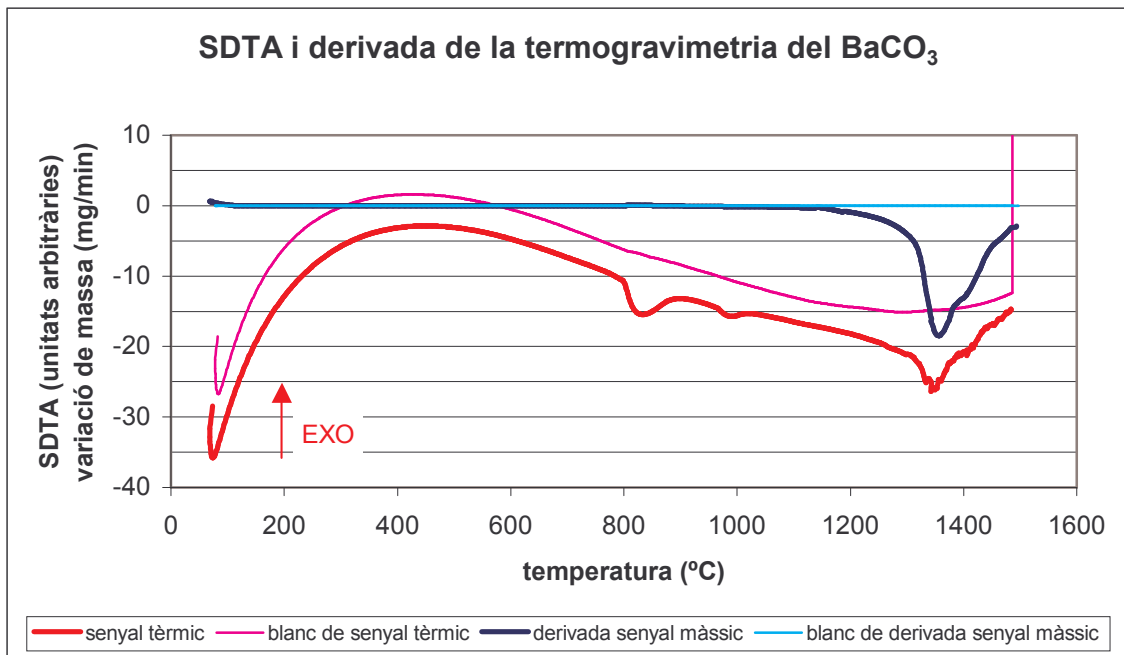
5.6. Termogravimetria del carbonat de bari

A la Gràfica 33 es pot apreciar que, a 1300 °C, tot just s'inicia la fase de pèrdua de massa del carbonat de bari. És per aquest motiu que la termogravimetria d'aquest component s'ha realitzat fins a 1500 °C.



Gràfica 33. Termogravimetria del carbonat de bari. Les pèrdues de massa són del 21,9 %.

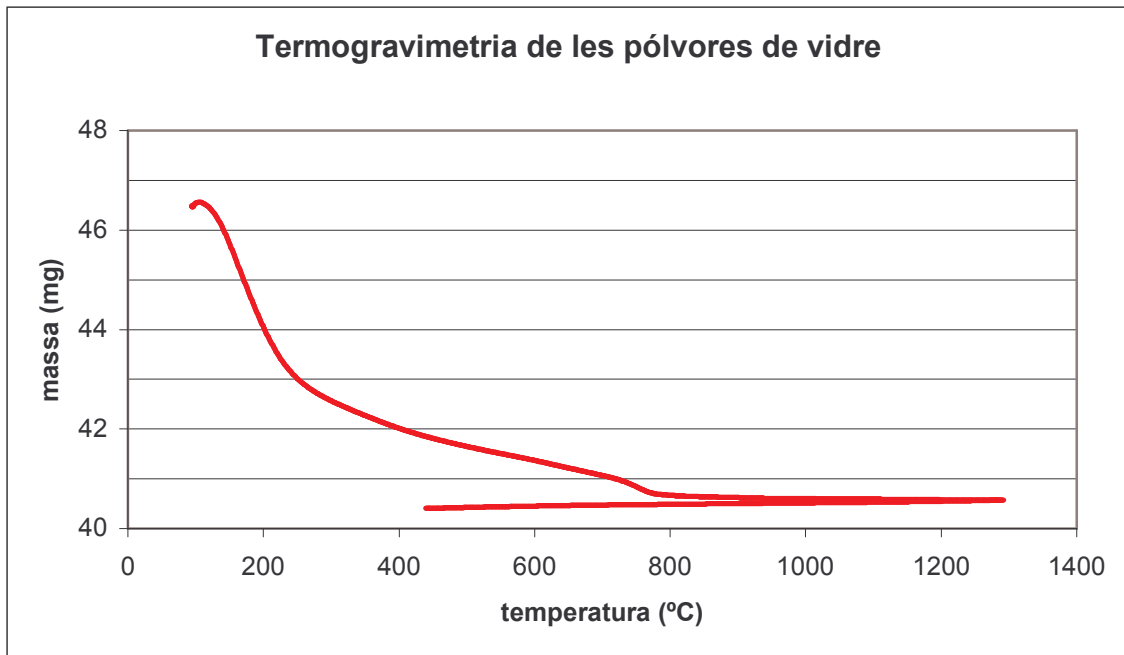
A la Gràfica 34 s'observa una variació entre les temperatures de 800 i 900 °C que correspon a la fusió del carbonat de bari, un procés endotèrmic. I a partir de 1300 °C es dona la descomposició del carbonat de bari en òxid de bari i diòxid de carboni (que es desprèn en forma de gas).



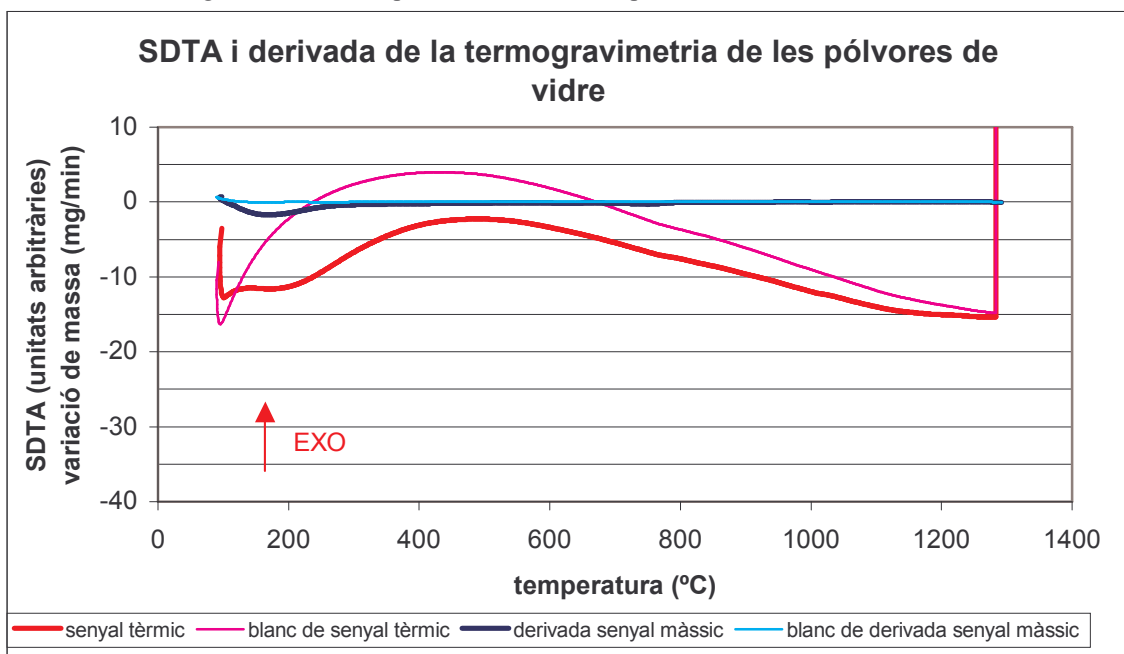
Gràfica 34. SDTA i derivada de la termogravimetria del carbonat de bari.

5.7. Termogravimetria de les pólvores de vidre

Les pólvores de vidre experimenten gran pèrdua de massa (18,1 %), tal i com s'observa a la Gràfica 35, deguda, en gran part, a la major humitat inicial. Les pèrdues són de l'11,6 %.



Gràfica 35. Termogravimetria de les pólvores de vidre. Les pèrdues de massa són de l'11,6 %.



Gràfica 36. SDTA i derivada de la termogravimetria de les pólvores de vidre.

5.8. Possibles efectes del carbonat de bari en la retracció

La descomposició del carbonat de bari es dona a partir de 1300 °C, aproximadament, segons la reacció química següent:



Així, les pèrdues de massa corresponen a diòxid de carboni després en forma de gas.

La temperatura de cocció habitual és de 1320 °C. A aquesta temperatura, segons la termogravimetria realitzada, les pèrdues de massa són del 3,9 %. Per a una rajola patró de 150 g, aquestes pèrdues representen un volum de gas de 86,8 mL, volum un 30 % superior al de la rajola cuita (63,1 mL). Aquest fet fa pensar en una possible influència negativa en la retracció de la rajola.

5.9. Possibles efectes del ferro en la retracció

La presència de ferro en forma d'òxid de ferro (III) a les argiles i la cocció en condicions reductores comporten la reducció d'aquest òxid a òxid de ferro (II), segons la següent reacció:



L'oxigen després en forma de gas dificultarà la retracció de la rajola. La quantitat de ferro present en la rajola és d'entre el 4 % i el 5 % d'òxid de ferro (III).

Tant en el cas del carbonat de bari com en el de l'òxid de ferro, s'ha de tenir en compte el grau en que es dona la reacció (molt inferior al 100 %). De ser així, es desprendrien 497,4 mL de diòxid de carboni i 2,8 L d'oxigen (a 1320 °C i 1 atm). A més, tot i que la quantitat de ferro és superior a la de carbonat de bari, per a obtenir un mol de gas (ja sigui diòxid de carboni, ja sigui oxigen) es necessiten 197 g de carbonat de bari o 320 g d'òxid de ferro (III).

6. Resum del pressupost

Concepte	Cost (€)
<i>Mà d'obra</i>	2289,54
Remuneració del becari	1072,20
Assegurança del becari	96,75
Remuneració del tutor	523,27
Tècnic de laboratori.....	229,74
Tècnic de l'empresa.....	367,58
<i>Material i instal·lacions</i>	2878,04
Termogravimetries	1568,61
Microscòpia òptica	176,23
Lupa.....	66,53
Inclusions.....	20,91
Imprevistos	1045,76
TOTAL	5167,58 €

7. Conclusions

- Les pólvores de vidre usades en la primera part de l'estudi no són adequades per assolir l'objectiu plantejat, disminuir la porositat de les rajoles.
- El vidre d'ampolla, de mida superior a les pólvores, aproxima més els valors d'absorció d'aigua als desitjats (inferiors al 3 %) corresponents al grup I de la norma UNE 67-186. La raó és que, a major mida, menys partícules en la mateixa massa. Per tant, el vidre ha de fluir sobre distàncies més llargues, permetent que a temperatura propera a la cocció restin porus oberts per on poden escapar-se els gasos.
- La disminució de l'absorció d'aigua es dona per a percentatges de vidre superiors al 5 %. Aquesta disminució va lligada a l'arrodoniment i augment de mida dels porus (observat a les micrografies).
- L'aspecte visual de les rajoles no acaba de ser el desitjat, però amb el vidre d'ampolla s'assembla més a l'actual rajola industrial. No obstant, les condicions oxidants o reductores de la cocció tenen una gran influència sobre la coloració de les rajoles.
- Per sobre de 1100 °C la densificació de les pastes disminueix sensiblement. Un dels causants seria el carbonat de bari, doncs la seva descomposició a partir d'aquesta temperatura desprèn diòxid de carboni, gas que inflaria els porus, impeding la retracció. En atmosfera reductora també s'ha de tenir en compte el possible efecte del ferro present en les pastes en forma d'òxid de ferro (III), que es redueix, en part, a òxid de ferro (II), desprenent oxigen gas, que inflaria els porus.
- La retracció és altament anisòtropa, depèn de la direcció en que es mesuri. Així, la retracció del gruix és inferior a les retraccions de l'amplada i de la llargada.

Les perspectives de futur són:

- Comprovar la validesa dels resultats obtinguts amb major quantitat de rajoles.
- Realitzar coccions en les mateixes condicions que el procés industrial, bé sigui directament als forns túnel, bé sigui reproduïnt les condicions al forn de laboratori.
- Millorar el procés d'obtenció manual de les rajoles, aproximant-lo a l'industrial.
- Experimentar amb rajoles amb diferents continguts de carbonat de bari per tal de trobar el probable efecte d'aquest sobre la retracció.
- Estudiar les possibles reaccions entre els components de les pastes.
- Estudiar els efectes dels paràmetres de coccio sobre la porositat i la densificació.
- Un cop trobada la rajola que compleixi amb els valors d'absorció d'aigua requerits, comprovar que les propietats mecàniques són les adequades.

Nom i Cognoms:

D.N.I.:

Data:

Signatura:

8. Bibliografia

ARÉVALO, R. Optimització de la granulometria i contingut en argila de les pastes per a l'obtenció de rajoles de baixa absorció d'aigua. Projecte / Treball Fi de Carrera. Enginyeria Tècnica Industrial en Química Industrial. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. Juliol 2002.

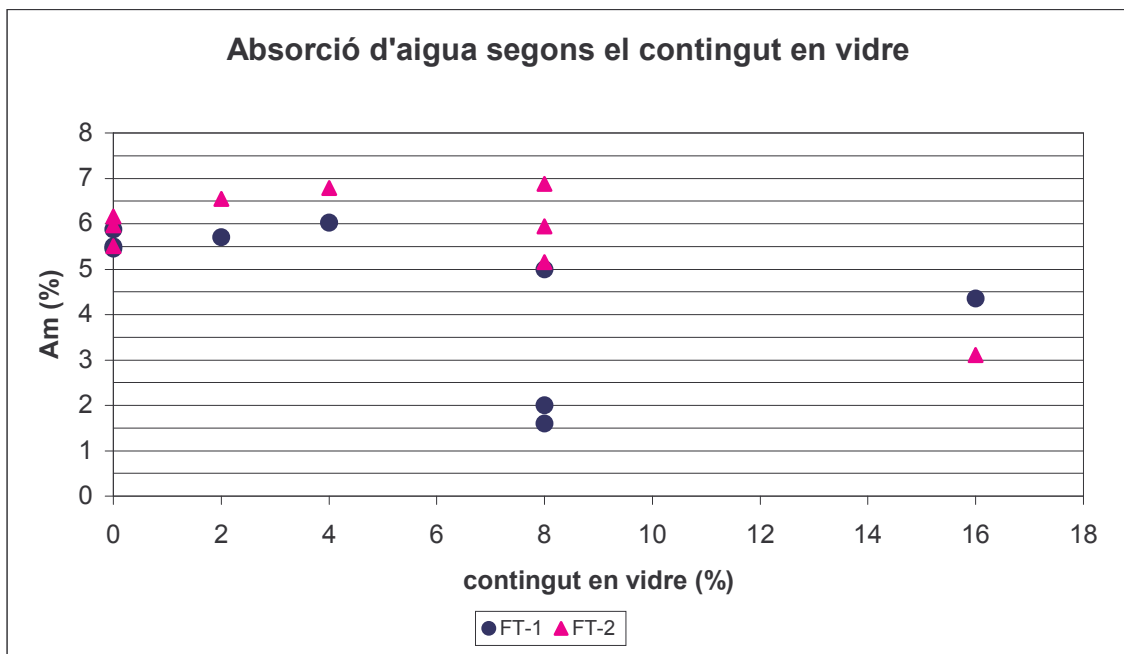
BAEZA, C. Determinació de la porositat en ceràmiques tradicionals. Projecte / Treball Fi de Carrera. Enginyeria Tècnica Industrial Mecànica. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. Juliol 2001.

SÁNCHEZ-MUÑOZ, L., CARDA, J.B. Materias primas y aditivos cerámicos. Faenza Editrice Ibérica, S.L. Castellón, 2003.

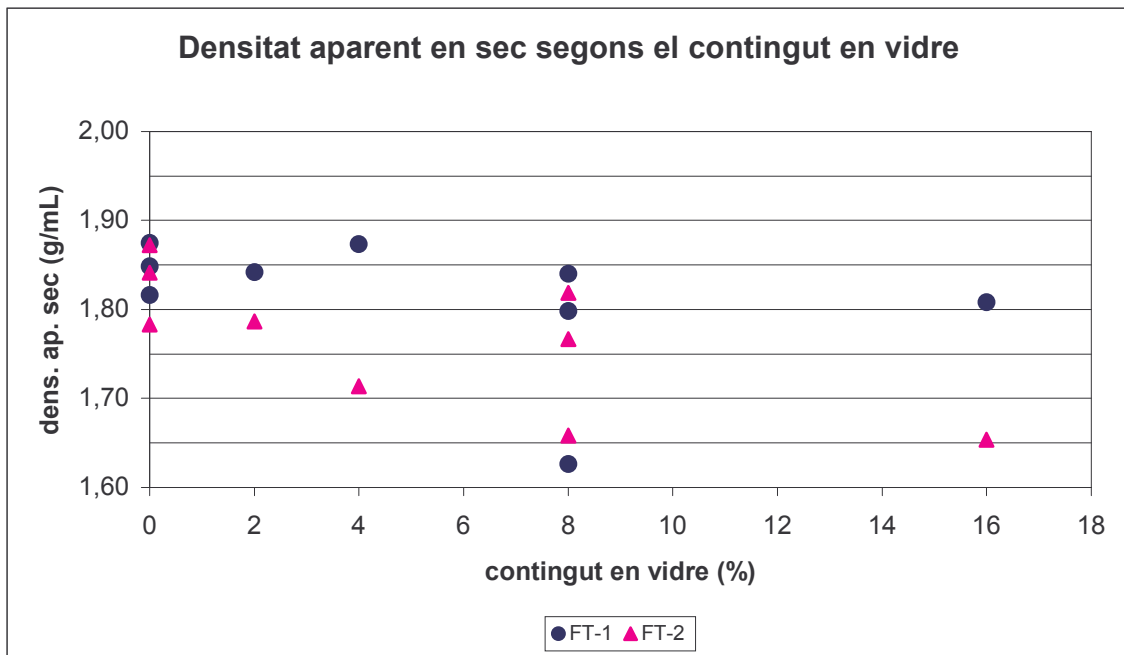
A. Dades de coccions amb vidre als forns túnel

Les dades corresponen a rajoles cuites en ambdós forns túnel. Els codis de les rajoles van del 011203 al 181203. Al forn túnel 1 es van coure les rajoles amb valor imparell de les dues primeres xifres (01, 03...). La resta, al forn túnel 2.

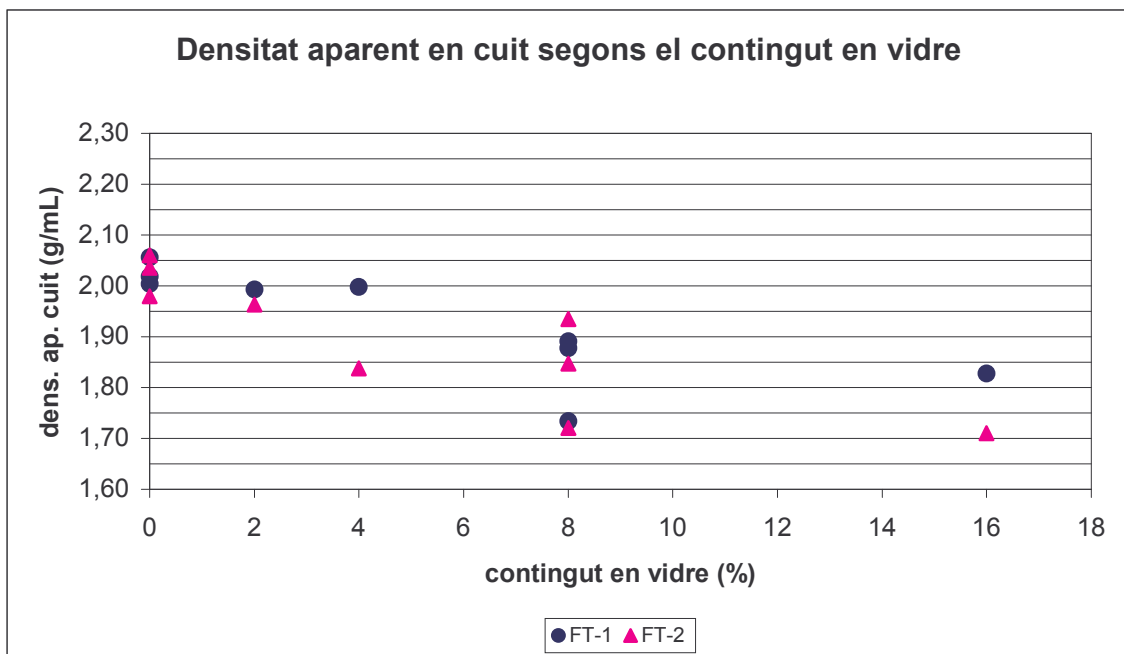
Les dades s'ordenen en funció del forn de cocció, i en format gràfic.



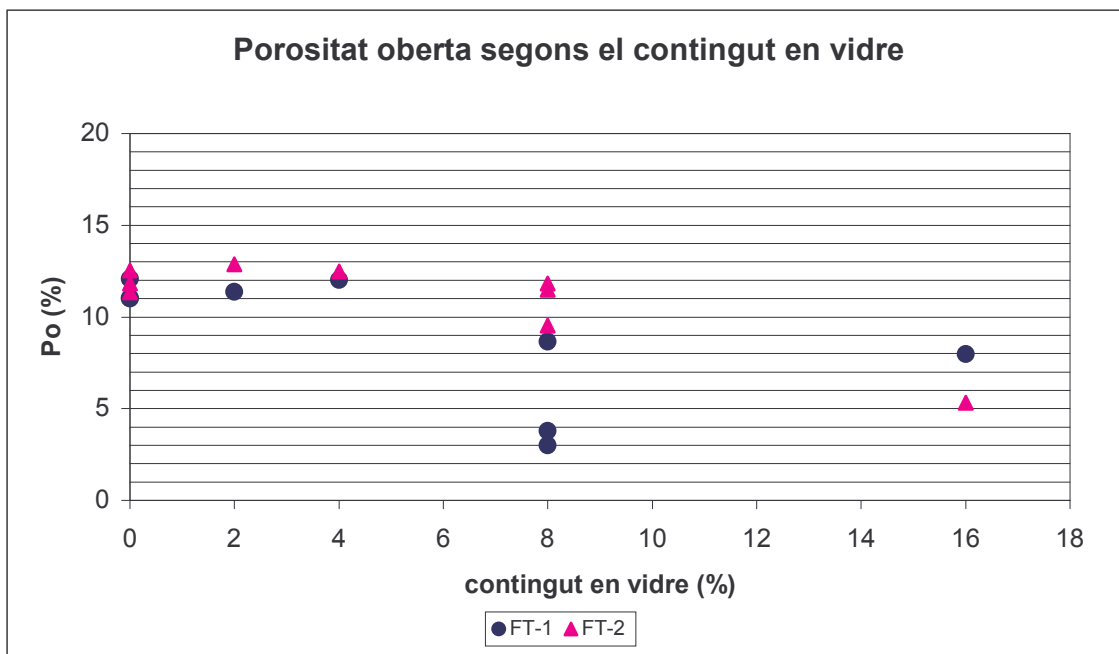
Gràfica 37. Absorció d'aigua en funció del contingut en vidre. Tendència a la disminució amb l'increment del percentatge de vidre.



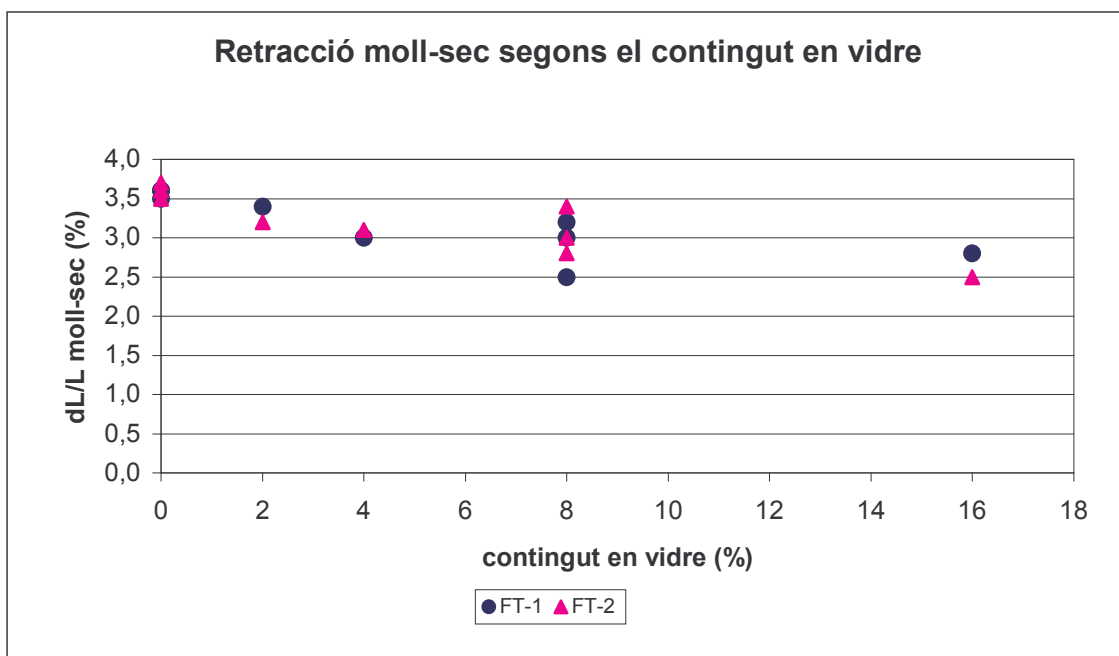
Gràfica 38. Densitat aparent en sec en funció del contingut en vidre. Tendència a la disminució amb l'increment del percentatge de vidre. Gran dispersió de valors.



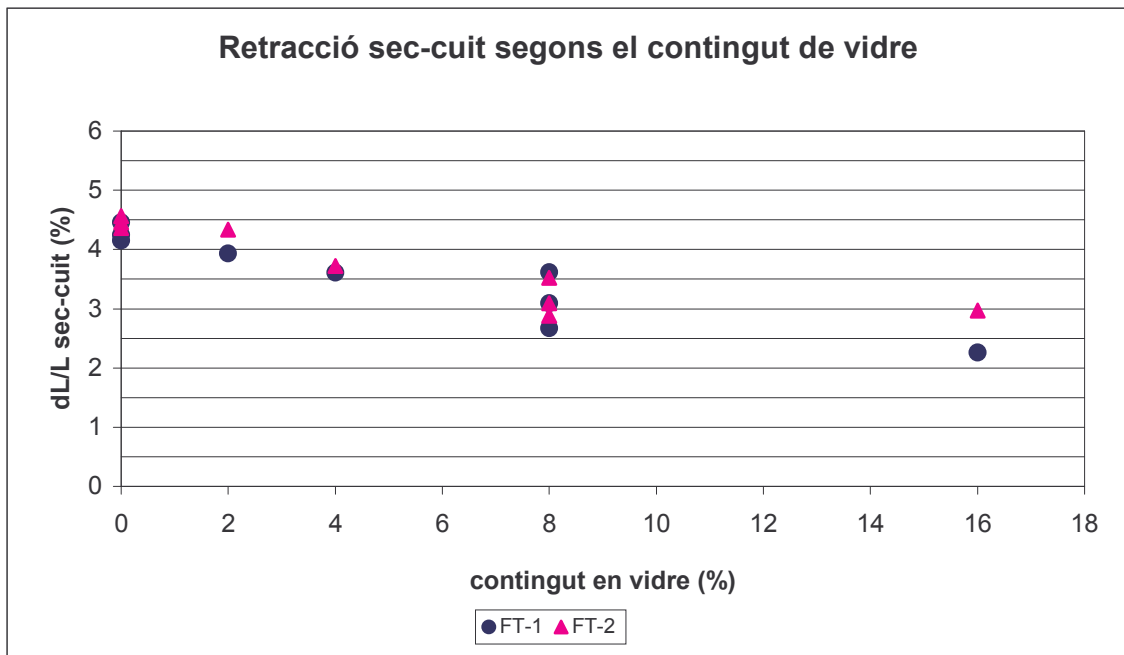
Gràfica 39. Densitat aparent en cuit en funció del contingut en vidre. Tendència a la disminució amb l'increment del percentatge de vidre, tal i com diu la teoria.



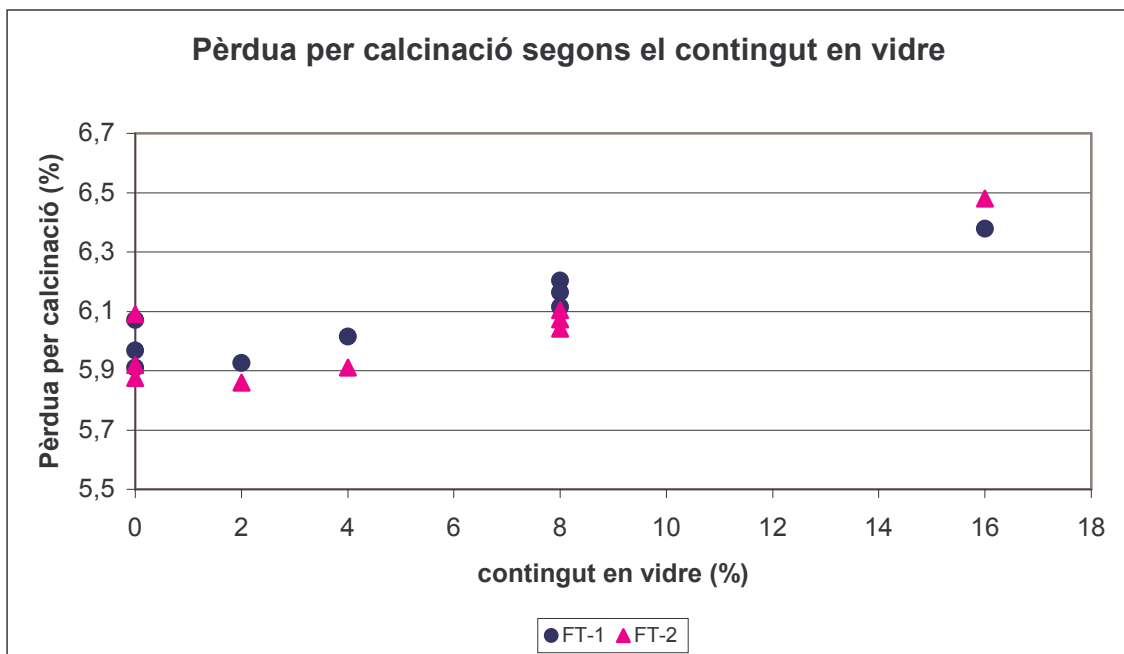
Gràfica 40. Porositat oberta en funció del contingut en vidre. Tendència a la disminució amb l'increment del percentatge de vidre. Destaquen dos valors molt petits que pertanyen a rajoles del 8 % en vidre.



Gràfica 41. Retracció moll - sec en funció del contingut en vidre. Tendència a la disminució amb l'increment del percentatge de vidre.



Gràfica 42. Retracció sec - cuit en funció del contingut en vidre. Disminució amb l'increment del percentatge de vidre.



Gràfica 43. Pèrdues de massa per calcinació en funció del contingut en vidre. Augmenta lleugerament en augmentar el percentatge de vidre.

B. Dades de coccions al forn de laboratori

Les dades de les taules següents corresponen a les fornades realitzades al forn de laboratori, a partir de les quals s'han realitzat les gràfiques incloses en la memòria.

composició	codi / data	form/atmosfera	temperatura	pes moll (g)	pes sec (g)	pes cuit (g)	aigua abs. (g)	humitat (%)	abs. aigua (%)	pèrdues cal. (%)	aigua apor. (%)
patró	01/13/103	F.Lab/Ox.	1320 °C	173,67	147,11	138,62	147,14	18,05%	6,15%	5,77	18,66%
patró	02/13/103	F.Lab/Ox.	1320 °C	173,37	146,87	138,35	146,83	18,04%	6,13%	5,80	18,66%
patró	03/06/103	F.Lab/Ox.	1250 °C	170,42	147,59	139,06	148,9	15,47%	7,08%	5,78	18,33%
patró	04/06/103	F.Lab/Ox.	1250 °C	170,07	147,2	138,71	148,34	15,54%	6,94%	5,77	18,33%
patró	05/10/103	F.Gi/Ox.	1300 °C	189,56	147,77	139,15	146,62	14,75%	5,37%	5,83	17,67%
patró	06/10/103	F.Gi/Ox.	1300 °C	170,07	147,79	139,13	146,45	15,08%	5,26%	5,86	17,67%
patró	07/10/103	F.Lab/Ox.	1260 °C	172,36	147,86	139,88	148,32	16,57%	6,03%	5,40	18,67%
patró	08/10/103	F.Lab/Ox.	1260 °C	173,01	148,5	139,87	149,73	16,51%	7,05%	5,81	18,67%
patró	09/11/103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	172,59	148,05	139,41	147,67	16,58%	5,92%	5,84	18,33%
patró	10/11/103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	172,85	148,49	139,85	148,39	16,41%	6,11%	5,82	18,33%
patró	11/12/103	F.Lab/Ox.	1300 °C	173,15	148,64	139,99	148,36	16,49%	5,98%	5,82	18,33%
patró	12/12/103	F.Lab/Ox.	1300 °C	172,97	147,97	139,38	147,82	16,90%	6,06%	5,81	18,33%
5 %	13/06/103	F.Lab/Ox.	1250 °C	173,05	147,53	138,67	149,51	17,30%	7,82%	6,01	18,67%
5 %	14/06/103	F.Lab/Ox.	1250 °C	172,72	147,36	138,54	149,47	17,21%	7,89%	5,99	18,67%
5 %	15/10/103	F.Lab/Ox.	1260 °C	173,41	146,15	137,42	147,96	18,65%	7,67%	5,97	19,67%
5 %	16/10/103	F.Lab/Ox.	1260 °C	174,14	147,1	138,29	148,87	18,36%	7,65%	5,99	19,67%
5 %	17/11/103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	173,91	146,84	138,04	148,39	18,44%	7,50%	5,99	19,00%
5 %	18/11/103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	173,54	146,3	137,55	147,57	18,62%	7,28%	5,98	19,00%
5 %	19/12/103	F.Lab/Ox.	1300 °C	172,89	146,57	137,73	147,28	17,96%	6,93%	6,03	19,00%
5 %	20/12/103	F.Lab/Ox.	1300 °C	174,05	147,2	138,36	148,29	18,24%	7,18%	6,01	19,00%
10 %	21/06/103	F.Lab/Ox.	1250 °C	174,5	146,81	137,65	149,6	18,86%	8,68%	6,24	19,33%
10 %	22/06/103	F.Lab/Ox.	1250 °C	173,72	146,26	137,19	148,76	18,77%	8,43%	6,20	19,33%
10 %	23/10/103	F.Lab/Ox.	1260 °C	173,52	145,46	136,45	148,53	19,27%	8,85%	6,21	19,00%
10 %	24/10/103	F.Lab/Ox.	1260 °C	174,43	146,47	137,38	149,46	19,09%	8,79%	6,21	19,00%
10 %	25/11/103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	173,5	144,85	136,16	147,37	19,78%	8,23%	6,00	19,67%
10 %	26/11/103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	174,13	145,53	136,79	148,13	19,65%	8,29%	6,01	19,67%
10 %	27/12/103	F.Lab/Ox.	1300 °C	173,83	145,67	136,94	147,79	19,33%	7,92%	5,99	19,33%
10 %	28/12/103	F.Lab/Ox.	1300 °C	174,2	145,87	137,15	148,22	19,42%	8,07%	5,98	19,33%
+5 %	29/10/103	F.Lab/Ox.	1260 °C	182,21	153,27	144,18	155,95	18,88%	8,16%	5,93	19,63%
+5 %	30/10/103	F.Lab/Ox.	1260 °C	181,57	153,06	144,1	156,3	18,63%	8,47%	5,85	19,63%

composició	codi / data	form/atmosfera	temperatura	pes moll (g)	pes sec (g)	pes cuit (g)	aigua abs. (g)	humitat (%)	abs. aigua (%)	pèrdues cal. (%)	aigua apor. (%)
+10 %	31/10/1103	F.Lab/Ox.	1260 °C	192,75	163,12	152,25	166,79	18,16%	8,89%	6,66	18,90%
+10 %	32/10/1103	F.Lab/Ox.	1260 °C	192,75	163,56	152,06	165,57	17,85%	8,88%	7,03	18,90%
+5 %	33/11/1103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	183,42	154,47	144,98	155,96	18,74%	7,57%	6,14	19,63%
+5 %	34/11/1103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	183,55	155,12	145,55	157,45	18,33%	8,18%	6,17	19,63%
+10 %	35/11/1103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	193,23	161,16	150,85	163,83	19,90%	8,60%	6,40	20,10%
+10 %	36/11/1103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	193,32	161,82	151,44	164,72	19,47%	8,77%	6,41	20,10%
+5 %	37/12/1103	F.Lab/Ox.	1300 °C	182,67	154,44	145,21	156,27	18,28%	7,62%	5,98	19,00%
+5 %	38/12/1103	F.Lab/Ox.	1300 °C	181,58	153,83	144,63	155,42	18,04%	7,46%	5,98	19,00%
+10 %	39/12/1103	F.Lab/Ox.	1300 °C	191,97	161,39	151,41	163,14	18,95%	7,75%	6,18	18,60%
+10 %	40/12/1103	F.Lab/Ox.	1300 °C	192,5	161,82	151,86	163,66	18,96%	7,77%	6,15	18,60%
5 %	41/13/1103	F.Lab/Ox.	1320 °C	171,8	146,31	137,4	148,09	17,42%	7,78%	6,09	18,33%
5 %	42/13/1103	F.Lab/Ox.	1320 °C	172,06	146,39	137,43	148,3	17,54%	7,91%	6,12	18,33%
10 %	43/13/1103	F.Lab/Ox.	1320 °C	173,42	146,02	136,8	145,45	18,76%	6,32%	6,31	18,67%
10 %	44/13/1103	F.Lab/Ox.	1320 °C	173,32	146,28	136,26	147,17	18,49%	8,01%	6,95	18,67%
+5 %	45/13/1103	F.Lab/Ox.	1320 °C	182,35	154,61	145,04	155,5	17,94%	7,21%	6,19	19,00%
+5 %	46/13/1103	F.Lab/Ox.	1320 °C	180,97	153,13	143,69	154,08	18,18%	7,23%	6,16	19,00%
+10 %	47/13/1103	F.Lab/Ox.	1320 °C	194,18	162,84	151,63	162,8	19,25%	7,37%	6,88	20,10%
+10 %	48/13/1103	F.Lab/Ox.	1320 °C	194,15	162,84	151,46	162,59	19,23%	7,35%	6,99	20,10%
5% <125	49/17/1203	F.Lab/Ox.	1250 °C	173,92	146,68	138,72	147,63	18,57%	6,42%	5,43	19,67%
5% <125	50/19/1203	F.Lab/Ox.	1325 °C	174,43	147,82	139,69	146,9	18,00%	5,16%	5,50	19,67%
5% 125-300	51/17/1203	F.Lab/Ox.	1250 °C	174,07	146,09	138,19	148,74	19,15%	7,63%	5,41	19,67%
5% 125-300	52/19/1203	F.Lab/Ox.	1325 °C	173,79	145,91	137,94	145,58	19,11%	5,54%	5,46	19,67%
10% <125	53/17/1203	F.Lab/Ox.	1250 °C	174,85	147,17	139,61	147,88	18,81%	5,92%	5,14	19,33%
10% <125	54/19/1203	F.Lab/Ox.	1325 °C	174,54	147,22	139,59	143,58	18,56%	2,86%	5,18	19,33%
10% 125-300	55/17/1203	F.Lab/Ox.	1250 °C	172,54	146,84	139,36	147,24	17,50%	5,65%	5,09	18,67%
10% 125-300	56/19/1203	F.Lab/Ox.	1325 °C	172,85	147,31	139,72	142,64	17,34%	2,09%	5,15	18,67%
5% <125	57/07/104	F.Lab/Ox.	1320°C	174,94	146,9	138,76	146,95	19,09%	5,90%	5,54	19,33%
5% 125-300	58/07/104	F.Lab/Ox.	1320°C	173,11	146,9	138,73	146,89	17,84%	5,88%	5,56	19,33%
10% <125	59/07/104	F.Lab/Ox.	1320°C	174,85	146,44	138,75	143,09	19,40%	3,13%	5,25	20,00%
10% 125-300	60/07/104	F.Lab/Ox.	1320°C	173,7	147,05	139,3	145,78	18,12%	4,65%	5,27	18,67%

composició	codi / data	form/atmosfera	temperatura	mida moll (cm)	mida sec (cm)	mida cuit (cm)	ret.m-s (%)	ret.s-c (%)	ret.m-c (%)
patró	01/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	10,00	9,52	9,01	4,80%	5,36%	9,90%
patró	02/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	10,00	9,56	9,05	4,40%	5,33%	9,50%
patró	03/061103	F.Lab/Ox.	1250 °C!	10,00	9,62	9,19	3,80%	4,47%	8,10%
patró	04/061103	F.Lab/Ox.	1250 °C!	10,00	9,67	9,21	3,30%	4,76%	7,90%
patró	05/101103	F.Gi/Ox.	1300 °C	10,00	9,67	9,16	3,30%	5,27%	8,40%
patró	06/101103	F.Gi/Ox.	1300 °C	10,00	9,66	9,17	3,40%	5,07%	8,30%
patró	07/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	10,00	9,63	9,18	3,70%	4,67%	8,20%
patró	08/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	10,00	9,60	9,21	4,00%	4,06%	7,90%
patró	09/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	10,00	9,65	9,15	3,50%	5,18%	8,50%
patró	10/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	10,00	9,62	9,13	3,80%	5,09%	8,70%
patró	11/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	10,00	9,66	9,18	3,40%	4,97%	8,20%
patró	12/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	10,00	9,64	9,14	3,60%	5,19%	8,60%
5 %	13/061103	F.Lab/Ox.	1250 °C!	10,00	9,64	9,25	3,60%	4,05%	7,50%
5 %	14/061103	F.Lab/Ox.	1250 °C!	10,00	9,62	9,23	3,80%	4,05%	7,70%
5 %	15/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	10,00	9,60	9,18	4,00%	4,38%	8,20%
5 %	16/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	10,00	9,60	9,19	4,00%	4,27%	8,10%
5 %	17/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	10,00	9,65	9,20	3,50%	4,66%	8,00%
5 %	18/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	10,00	9,61	9,18	3,90%	4,47%	8,20%
5 %	19/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	10,00	9,63	9,23	3,70%	4,15%	7,70%
5 %	20/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	10,00	9,63	9,23	3,70%	4,15%	7,70%
10 %	21/061103	F.Lab/Ox.	1250 °C!	10,00	9,58	9,22	4,20%	3,76%	7,80%
10 %	22/061103	F.Lab/Ox.	1250 °C!	10,00	9,62	9,24	3,80%	3,95%	7,60%
10 %	23/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	10,00	9,58	9,23	4,20%	3,65%	7,70%
10 %	24/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	10,00	9,58	9,23	4,20%	3,65%	7,70%
10 %	25/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	10,00	9,62	9,28	3,80%	3,53%	7,20%
10 %	26/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	10,00	9,63	9,23	3,70%	4,15%	7,70%
10 %	27/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	10,00	9,65	9,30	3,50%	3,63%	7,00%
10 %	28/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	10,00	9,62	9,28	3,80%	3,53%	7,20%
+5 %	29/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	10,00	9,62	9,17	3,80%	4,68%	8,30%
+5 %	30/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	10,00	9,62	9,22	3,80%	4,16%	7,80%

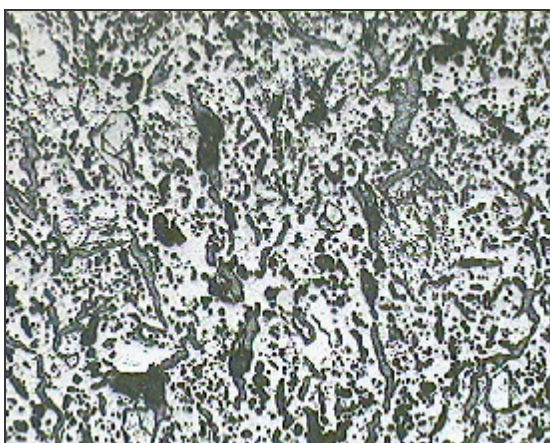
composició	codi / data	form/atmosfera	temperatura	mida moll (cm)	mida sec (cm)	mida cuit (cm)	ret.m-s (%)	ret.s-c (%)	ret.m-c (%)
+10 %	31/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C	10,00	9,66	9,26	3,40%	4,14%	7,40%
+10 %	32/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C	10,00	9,64	9,30	3,60%	3,53%	7,00%
+5 %	33/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	10,00	9,64	9,25	3,60%	4,05%	7,50%
+5 %	34/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	10,00	9,56	9,24	4,40%	3,35%	7,60%
+10 %	35/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	10,00	9,62	9,19	3,80%	4,47%	8,10%
+10 %	36/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	10,00	9,66	9,30	3,40%	3,73%	7,00%
+5 %	37/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	10,00	9,60	9,27	4,00%	3,44%	7,30%
+5 %	38/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	10,00	9,63	9,23	3,70%	4,15%	7,70%
+10 %	39/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	10,00	9,63	9,29	3,70%	3,53%	7,10%
+10 %	40/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	10,00	9,66	9,37	3,40%	3,00%	6,30%
5 %	41/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	10,00	9,63	9,28	3,70%	3,63%	7,20%
5 %	42/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	10,00	9,58	9,25	4,20%	3,44%	7,50%
10 %	43/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	10,00	9,66	9,34	3,40%	3,31%	6,60%
10 %	44/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	10,00	9,58	9,31	4,20%	2,82%	6,90%
+5 %	45/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	10,00	9,59	9,25	4,10%	3,55%	7,50%
+5 %	46/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	10,00	9,65	9,24	3,50%	4,25%	7,60%
+10 %	47/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	10,00	9,61	9,26	3,90%	3,64%	7,40%
+10 %	48/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	10,00	9,59	9,28	4,10%	3,23%	7,20%
5% <125	49/171203	F.Lab/Ox.	1250 °C	10,00	9,50	9,11	5,00%	4,11%	8,90%
5% <125	50/191203	F.Lab/Ox.	1325 °C	10,00	9,55	9,19	4,50%	3,77%	8,10%
5% 125-300	51/171203	F.Lab/Ox.	1250 °C	10,00	9,58	9,23	4,20%	3,65%	7,70%
5% 125-300	52/191203	F.Lab/Ox.	1325 °C	10,00	9,51	9,12	4,90%	4,10%	8,80%
10% <125	53/171203	F.Lab/Ox.	1250 °C	10,00	9,55	9,18	4,50%	3,87%	8,20%
10% <125	54/191203	F.Lab/Ox.	1325 °C	10,00	9,55	9,30	4,50%	2,62%	7,00%
10% 125-300	55/171203	F.Lab/Ox.	1250 °C	10,00	9,58	9,23	4,20%	3,65%	7,70%
10% 125-300	56/191203	F.Lab/Ox.	1325 °C	10,00	9,60	9,29	4,00%	3,23%	7,10%
5% <125	57/070104	F.Lab/Ox.	1320°C	10,00	9,51	9,15	4,90%	3,79%	8,50%
5% 125-300	58/070104	F.Lab/Ox.	1320°C	10,00	9,61	9,21	3,90%	4,16%	7,90%
10% <125	59/070104	F.Lab/Ox.	1320°C	10,00	9,47	9,18	5,30%	3,06%	8,20%
10% 125-300	60/070104	F.Lab/Ox.	1320°C	10,00	9,56	9,23	4,40%	3,45%	7,70%

composició	codi / data	form/atmosfera	temperatura	gruix moll (mm)	gruix sec (mm)	gruix cuit (mm)	ret.m-s (%)	ret.s-c (%)	ret.m-c (%)
patró	01/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C						
patró	02/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C						
patró	03/061103	F.Lab/Ox.	1250 °C!						
patró	04/061103	F.Lab/Ox.	1250 °C!						
patró	05/101103	F.Gi/Ox.	1300 °C						
patró	06/101103	F.Gi/Ox.	1300 °C						
patró	07/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!						
patró	08/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!						
patró	09/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C						
patró	10/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C						
patró	11/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C						
patró	12/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C						
5 %	13/061103	F.Lab/Ox.	1250 °C!	9,60	9,36	8,88	2,50%	5,13%	7,50%
5 %	14/061103	F.Lab/Ox.	1250 °C!	9,60	9,34	8,93	2,71%	4,39%	6,98%
5 %	15/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	9,60	9,49	8,95	1,15%	5,69%	6,77%
5 %	16/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	9,60	9,24	8,75	3,75%	5,30%	8,85%
5 %	17/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	9,60	9,43	8,84	1,77%	6,26%	7,92%
5 %	18/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	9,60	9,46	9,01	1,46%	4,76%	6,15%
5 %	19/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	9,60	9,33	8,93	2,81%	4,29%	6,98%
5 %	20/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	9,60	9,34	8,96	2,71%	4,07%	6,67%
10 %	21/061103	F.Lab/Ox.	1250 °C!	9,60	9,22	8,83	3,96%	4,23%	8,02%
10 %	22/061103	F.Lab/Ox.	1250 °C!	9,60	9,21	8,84	4,06%	4,02%	7,92%
10 %	23/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	9,60	9,14	8,72	4,79%	4,60%	9,17%
10 %	24/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	9,60	8,99	8,69	6,35%	3,34%	9,48%
10 %	25/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	9,60	9,80	9,52	-2,08%	2,86%	0,83%
10 %	26/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	9,60	9,60	9,24	0,00%	3,75%	3,75%
10 %	27/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	9,60	8,83	8,60	8,02%	2,60%	10,42%
10 %	28/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	9,60	9,34	9,14	2,71%	2,14%	4,79%
+5 %	29/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	9,60	9,47	8,89	1,35%	6,12%	7,40%
+5 %	30/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C!	9,60	9,55	9,03	0,52%	5,45%	5,94%

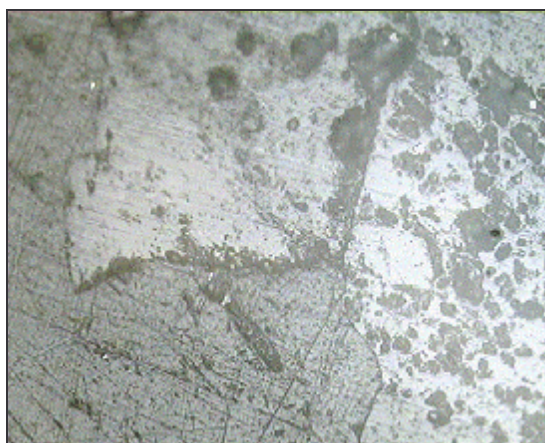
composició	codi / data	form/atmosfera	temperatura	gruix moll (mm)	gruix sec (mm)	gruix cuit (mm)	ret.m-s (%)	ret.s-c (%)	ret.m-c (%)
+10 %	31/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C	9,60	9,45	9,06	1,56%	4,13%	5,62%
+10 %	32/101103	F.Lab/Ox.	1260 °C	9,60	9,46	9,10	1,46%	3,81%	5,21%
+5 %	33/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	9,60	9,34	8,87	2,71%	5,03%	7,60%
+5 %	34/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	9,60	9,39	8,93	2,19%	4,90%	6,98%
+10 %	35/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	9,60	9,47	8,85	1,35%	6,55%	7,81%
+10 %	36/111103	F.Lab/Ox.	1280-1285 °C	9,60	9,46	9,06	1,46%	4,23%	5,62%
+5 %	37/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	9,60	9,29	9,07	3,23%	2,37%	5,52%
+5 %	38/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	9,60	9,36	9,11	2,50%	2,67%	5,10%
+10 %	39/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	9,60	9,20	8,98	4,17%	2,39%	6,46%
+10 %	40/121103	F.Lab/Ox.	1300 °C	9,60	9,43	9,21	1,77%	2,33%	4,06%
5 %	41/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	9,60	9,25	9,09	3,65%	1,73%	5,31%
5 %	42/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	9,60	9,50	9,15	1,04%	3,68%	4,69%
10 %	43/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	9,60	8,93	8,69	6,98%	2,69%	9,48%
10 %	44/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	9,60	9,01	8,92	6,15%	1,00%	7,08%
+5 %	45/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	9,60	9,22	9,10	3,96%	1,30%	5,21%
+5 %	46/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	9,60	9,37	9,16	2,40%	2,24%	4,58%
+10 %	47/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	9,60	9,33	9,11	2,81%	2,36%	5,10%
+10 %	48/131103	F.Lab/Ox.	1320 °C	9,60	9,22	8,89	3,96%	3,58%	7,40%
5% <125	49/171203	F.Lab/Ox.	1250 °C	9,60	8,93	8,83	6,98%	1,12%	8,02%
5% <125	50/191203	F.Lab/Ox.	1325 °C	9,60	9,21	9,00	4,06%	2,28%	6,25%
5% 125-300	51/171203	F.Lab/Ox.	1250 °C	9,60	9,04	8,87	5,83%	1,88%	7,60%
5% 125-300	52/191203	F.Lab/Ox.	1325 °C	9,60	8,91	8,57	7,19%	3,82%	10,73%
10% <125	53/171203	F.Lab/Ox.	1250 °C	9,60	9,14	8,87	4,79%	2,95%	7,60%
10% <125	54/191203	F.Lab/Ox.	1325 °C	9,60	9,06	8,99	5,62%	0,77%	6,35%
10% 125-300	55/171203	F.Lab/Ox.	1250 °C	9,60	9,03	8,95	5,94%	0,89%	6,77%
10% 125-300	56/191203	F.Lab/Ox.	1325 °C	9,60	8,97	8,93	6,56%	0,45%	6,98%
5% <125	57/070104	F.Lab/Ox.	1320°C	9,60	9,21	8,81	4,06%	4,34%	8,23%
5% 125-300	58/070104	F.Lab/Ox.	1320°C	9,60	9,23	8,90	3,85%	3,58%	7,29%
10% <125	59/070104	F.Lab/Ox.	1320°C	9,60	9,03	8,83	5,94%	2,21%	8,02%
10% 125-300	60/070104	F.Lab/Ox.	1320°C	9,60	8,98	8,71	6,46%	3,01%	9,27%

C. Micrografies

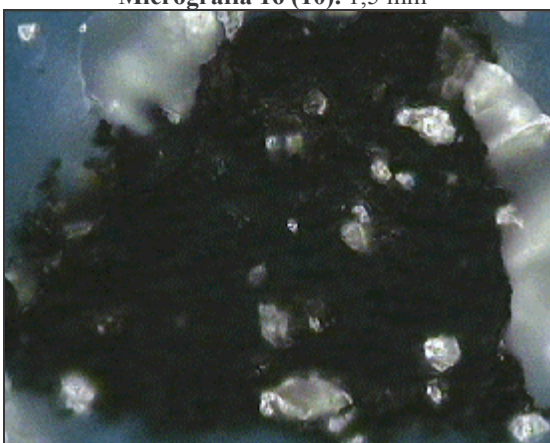
Les següents micrografies corresponen a una rajola de gres comercial. A sota de cada micrografia hi ha la mida real de la base.



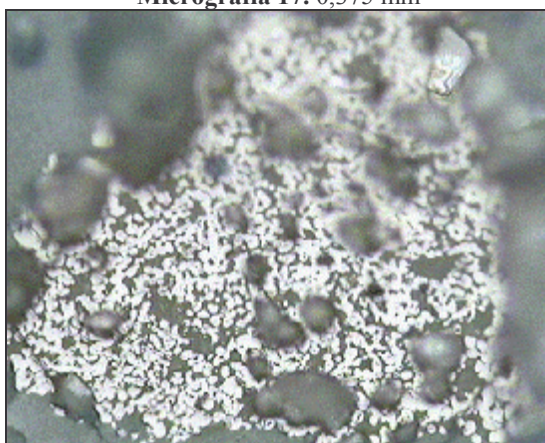
Micrografia 16 (10). 1,5 mm



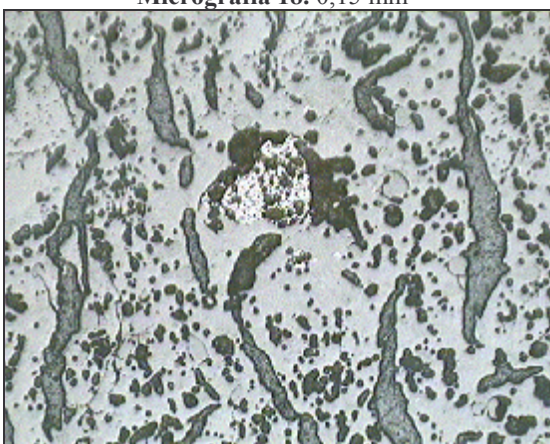
Micrografia 17. 0,375 mm



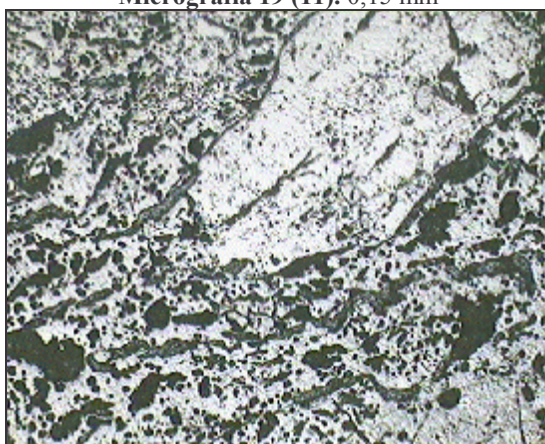
Micrografia 18. 0,15 mm



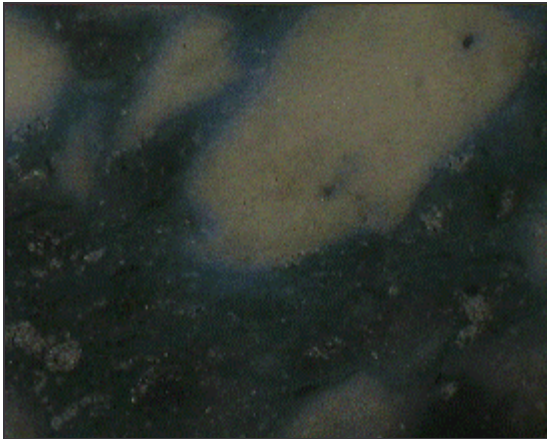
Micrografia 19 (11). 0,15 mm



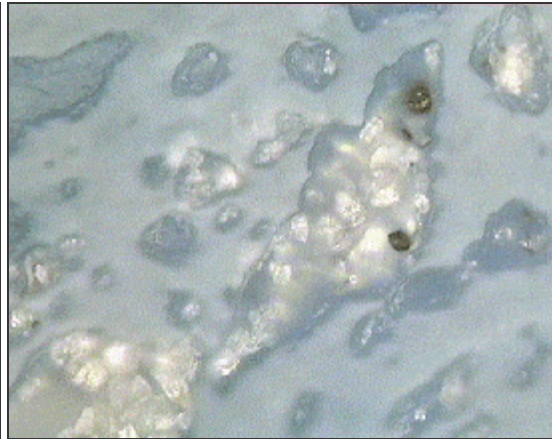
Micrografia 20. 0,75 mm



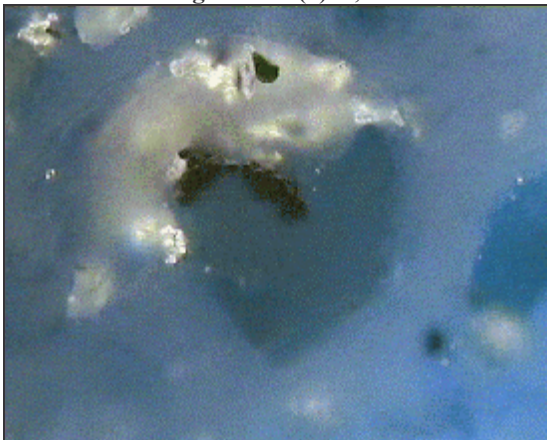
Micrografia 21 (1). 1,5 mm



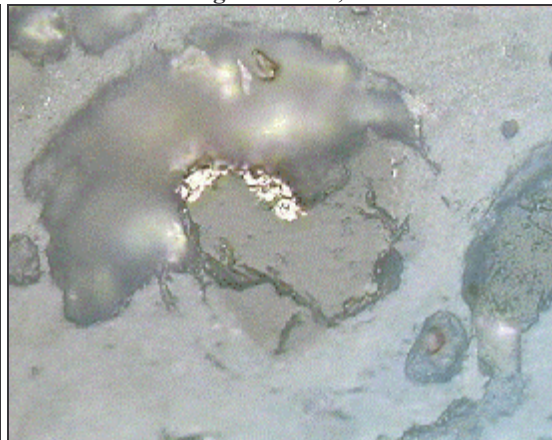
Micrografia 22 (2). 1,5 mm



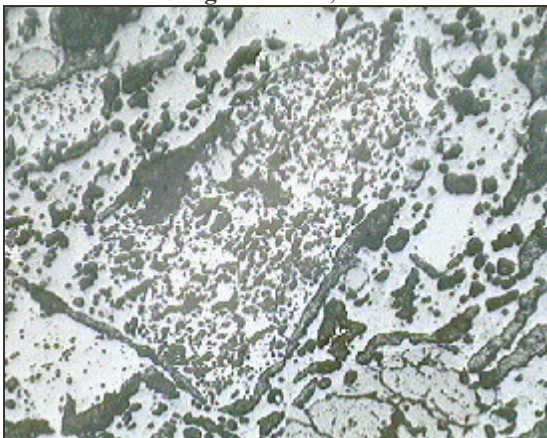
Micrografia 23. 0,15 mm



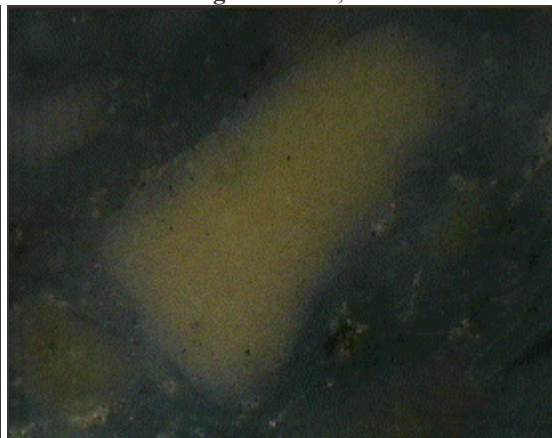
Micrografia 24. 0,15 mm



Micrografia 25. 0,15 mm



Micrografia 26. 0,75 mm

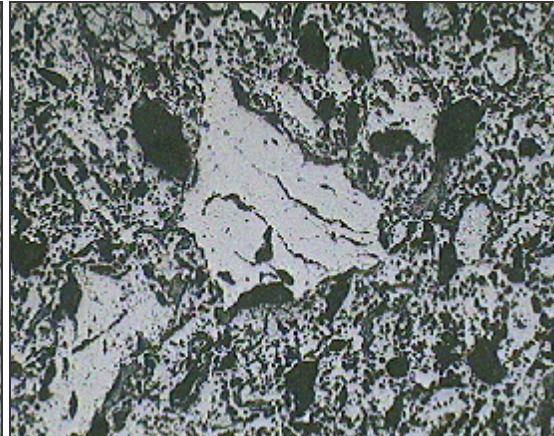


Micrografia 27. 0,75 mm

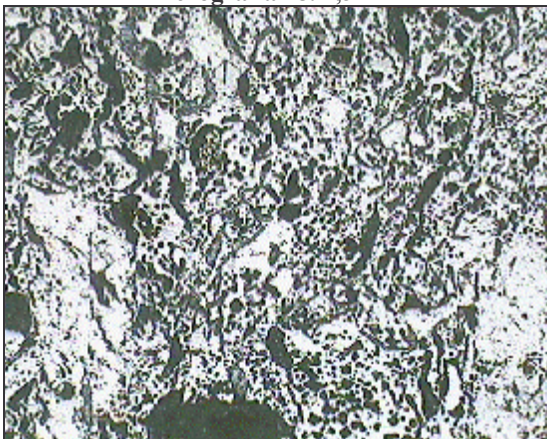
Les següents micrografies corresponen a una rajola de gres patró pastada manualment i cuita al forn industrial. L'absorció d'aigua és del 5,50 %. A sota de cada micrografia hi ha la mida real de la base.



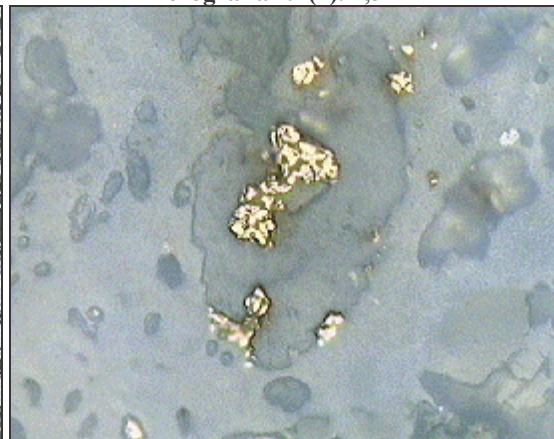
Micrografia 28. 1,5 mm



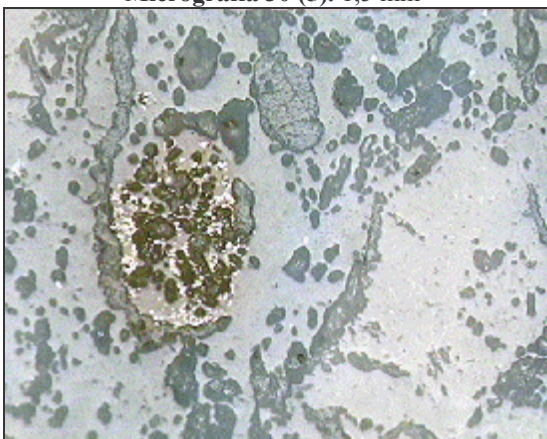
Micrografia 29 (4). 1,5 mm



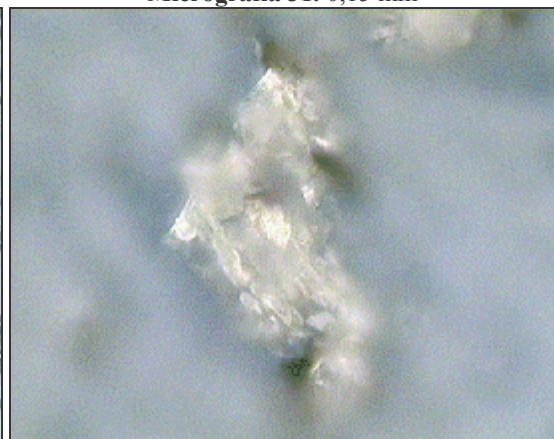
Micrografia 30 (5). 1,5 mm



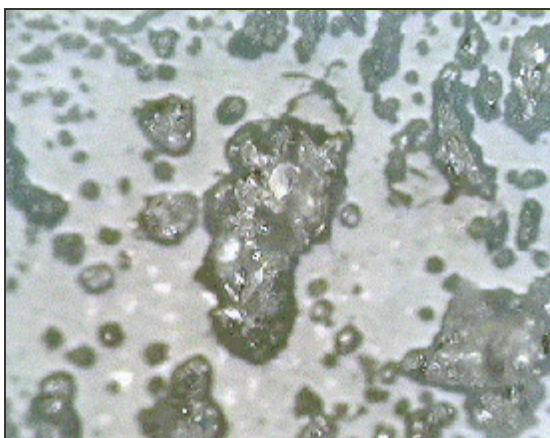
Micrografia 31. 0,15 mm



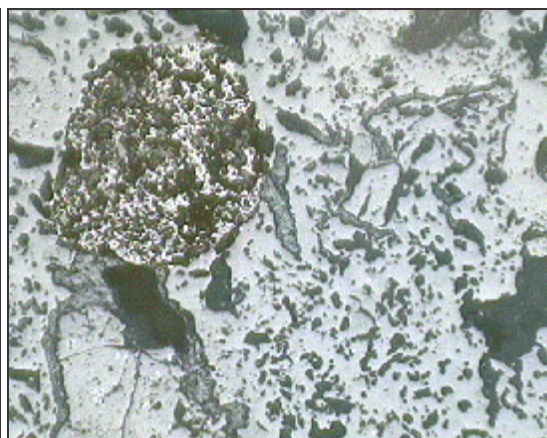
Micrografia 32. 0,375 mm



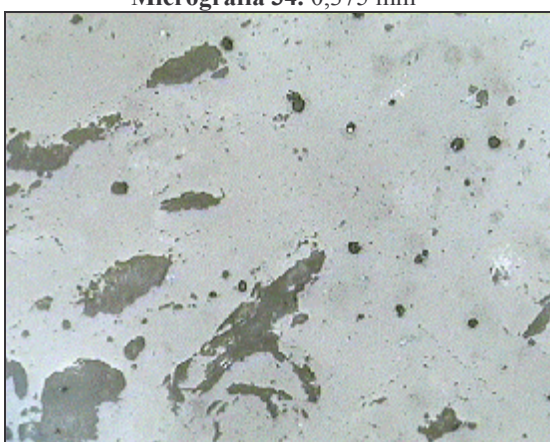
Micrografia 33. 0,15 mm



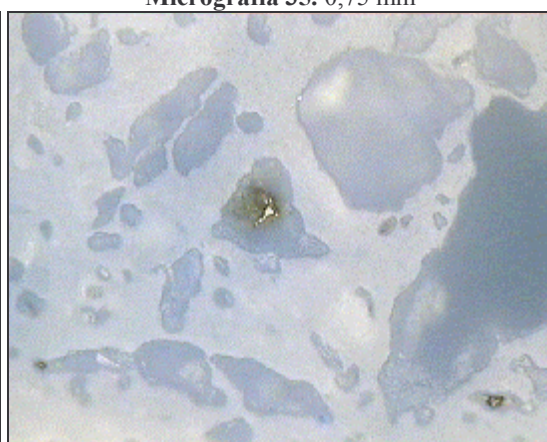
Micrografia 34. 0,375 mm



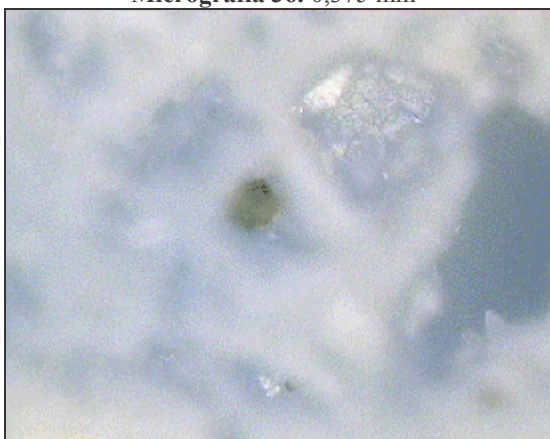
Micrografia 35. 0,75 mm



Micrografia 36. 0,375 mm



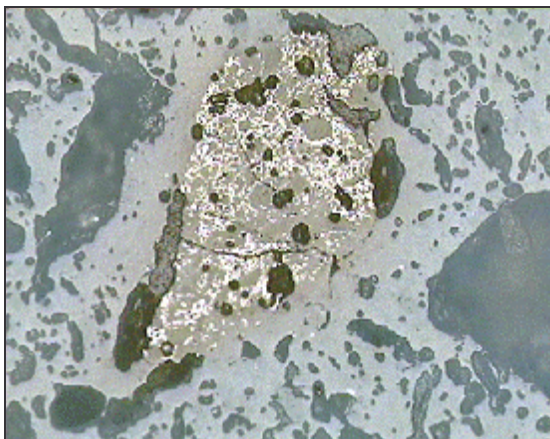
Micrografia 37. 0,15 mm



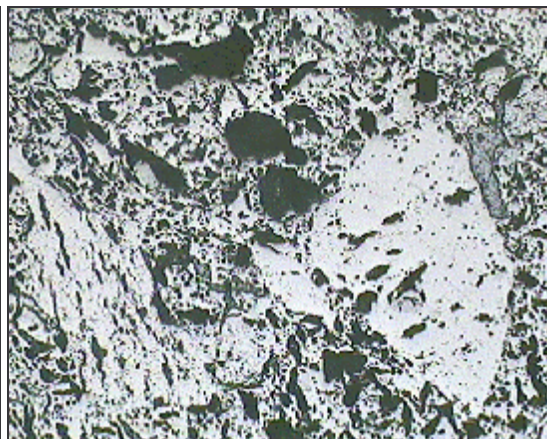
Micrografia 38. 0,15 mm



Micrografia 39. 0,15 mm

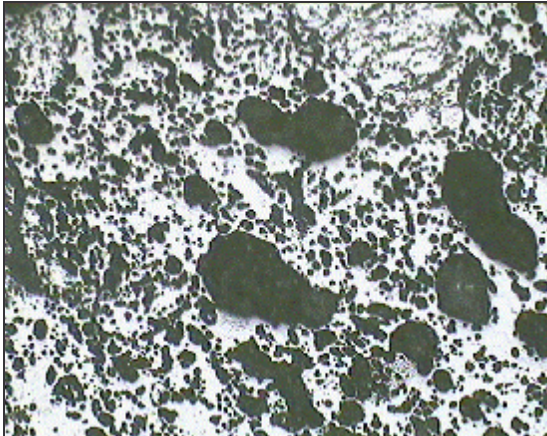


Micrografia 40. 0,375 mm

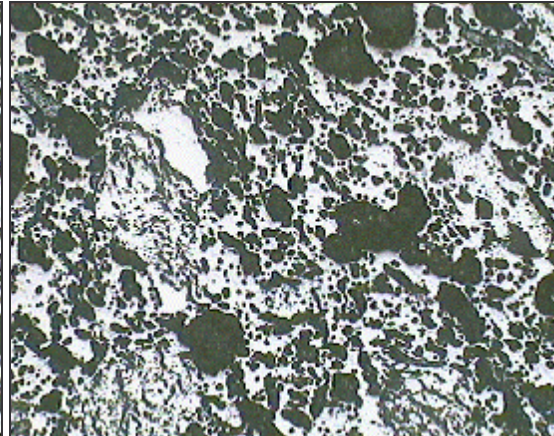


Micrografia 41. 1,5 mm

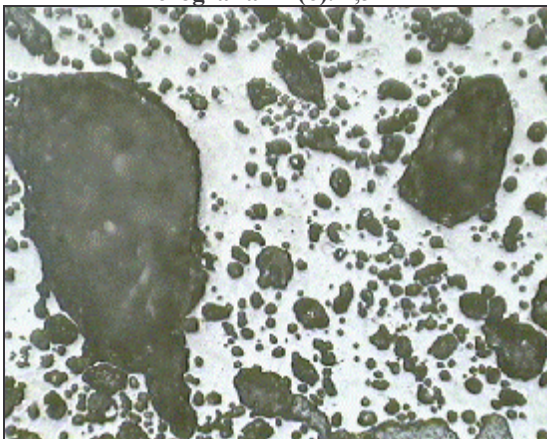
Les següents micrografies corresponen a una rajola de gres amb un 8 % de pólvores de vidre pastada manualment i cuita al forn industrial. L'absorció d'aigua és del 5,05 %. A sota de cada micrografia hi ha la mida real de la base.



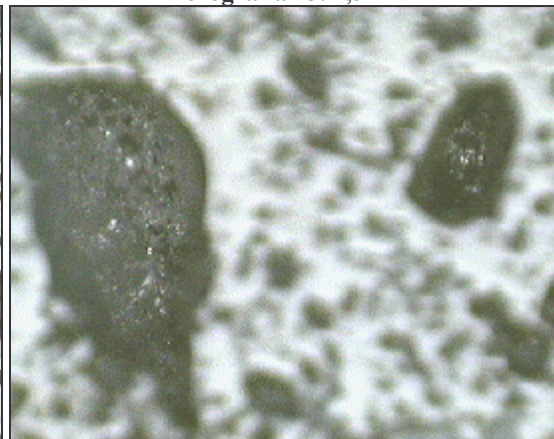
Micrografia 42 (6). 1,5 mm



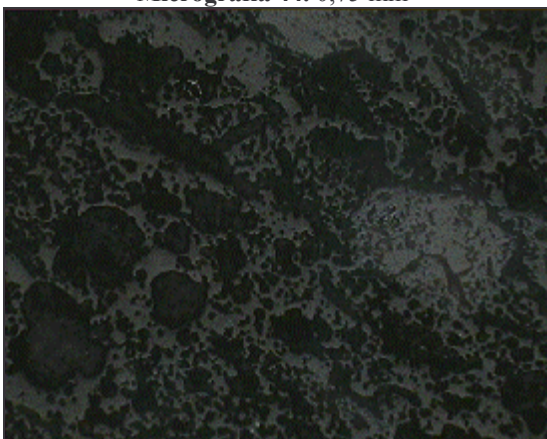
Micrografia 43. 1,5 mm



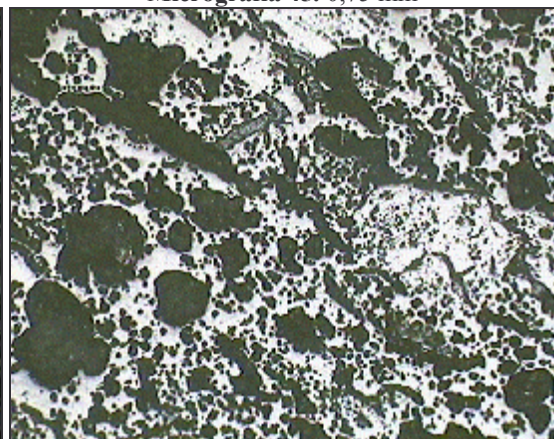
Micrografia 44. 0,75 mm



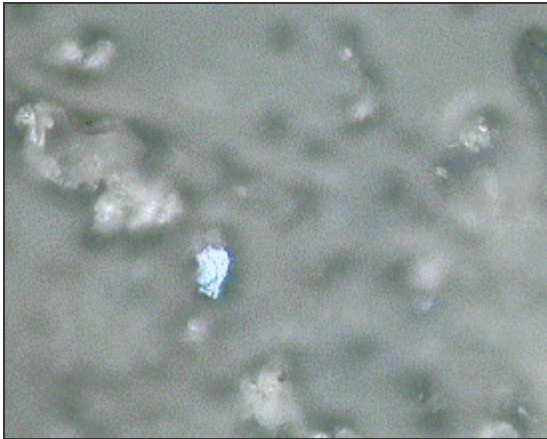
Micrografia 45. 0,75 mm



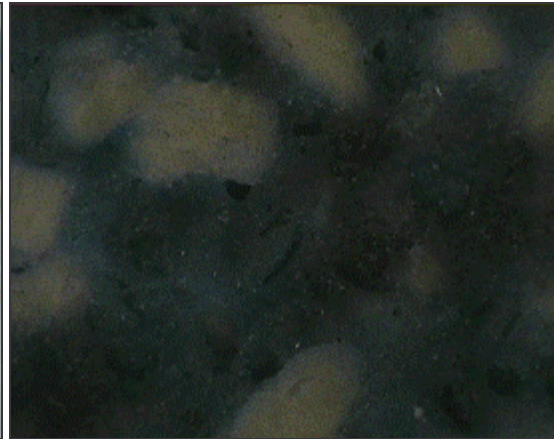
Micrografia 46. 1,5 mm



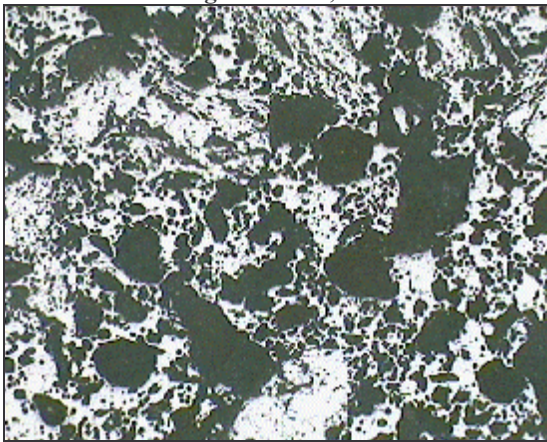
Micrografia 47. 1,5 mm



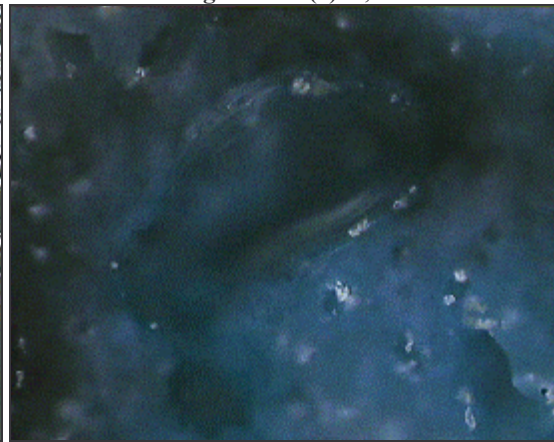
Micrografia 48. 0,15 mm



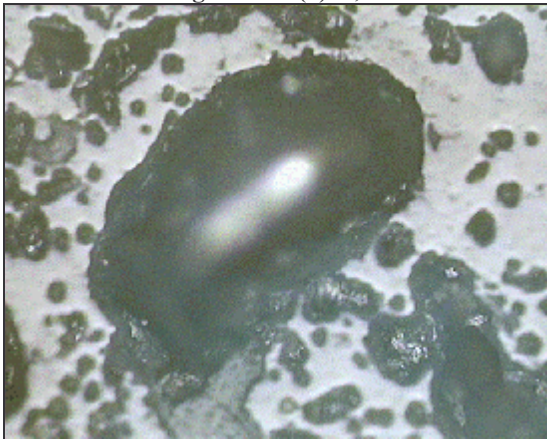
Micrografia 49 (8). 1,5 mm



Micrografia 50 (7). 1,5 mm



Micrografia 51. 0,375 mm

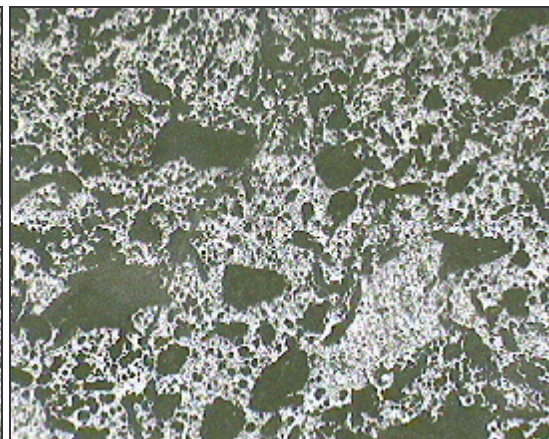


Micrografia 52 (9). 0,375 mm

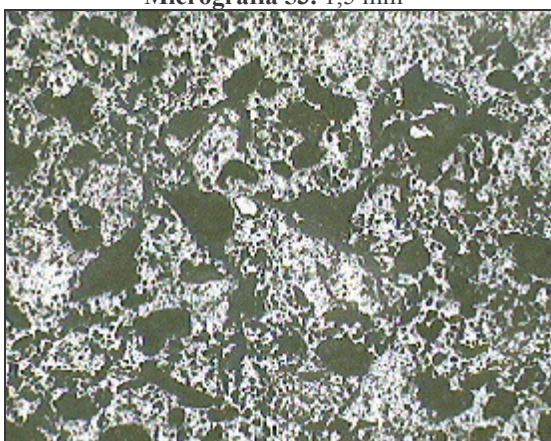
Les següents micrografies corresponen a una rajola de gres amb el 5 % de vidre d'ampolla de mida inferior a 125 µm pastada manualment i cuita al forn de laboratori a 1320 °C. L'absorció d'aigua és del 5,90 %. A sota de cada micrografia hi ha la mida real de la base.



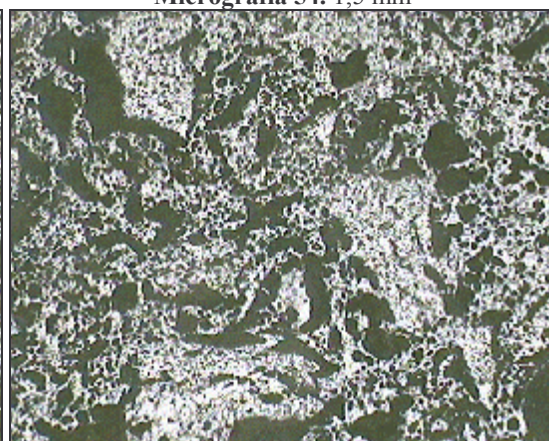
Micrografia 53. 1,5 mm



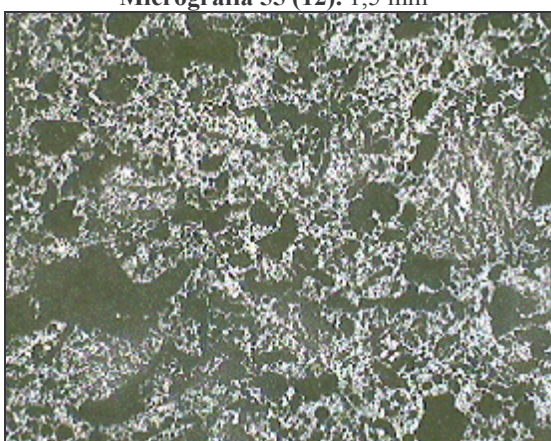
Micrografia 54. 1,5 mm



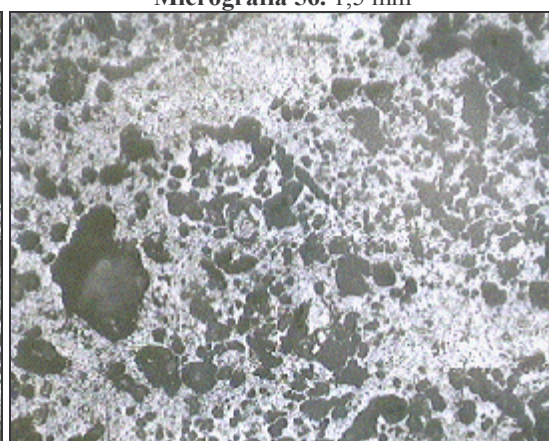
Micrografia 55 (12). 1,5 mm



Micrografia 56. 1,5 mm



Micrografia 57. 1,5 mm

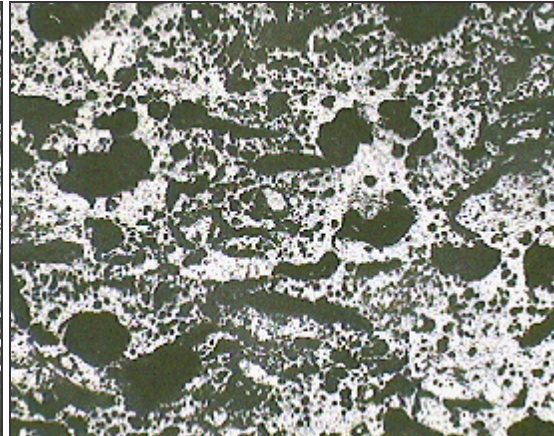


Micrografia 58. 0,75 mm

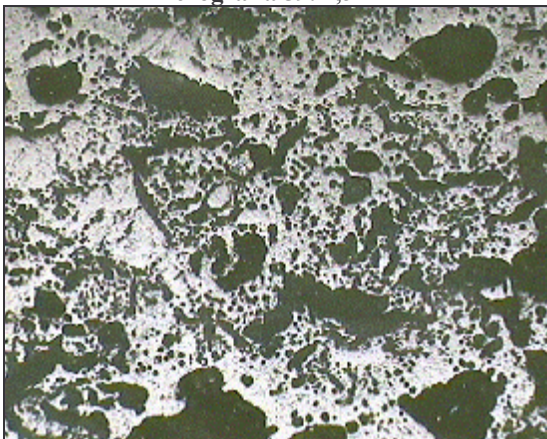
Les següents micrografies corresponen a una rajola de gres amb el 5 % de vidre d'ampolla d'entre 125 i 300 µm pastada manualment i cuita al forn de laboratori a 1320 °C. L'absorció d'aigua és del 5,88 %. A sota de cada micrografia hi ha la mida real de la base.



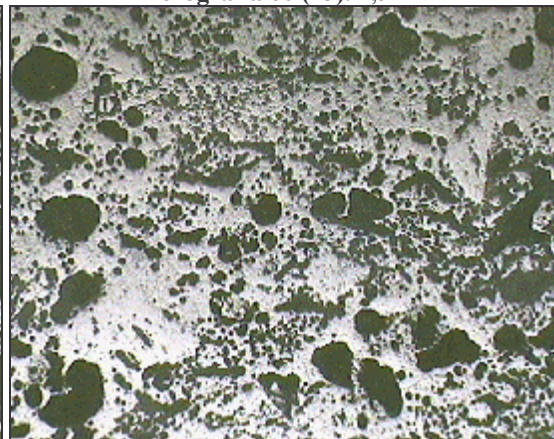
Micrografia 59. 1,5 mm



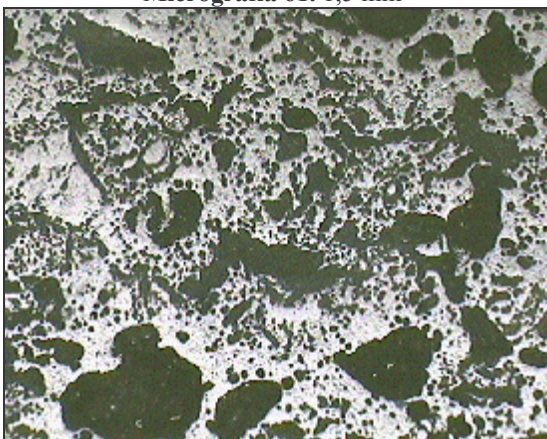
Micrografia 60 (13). 1,5 mm



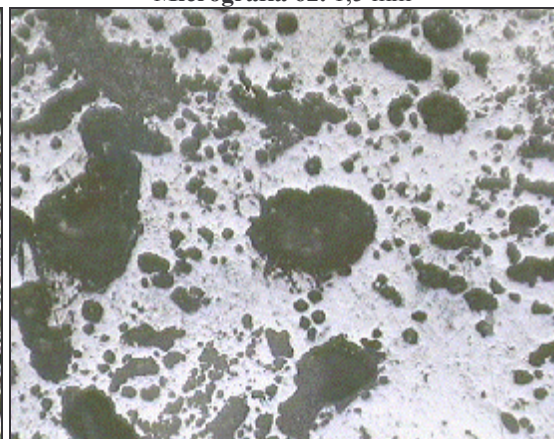
Micrografia 61. 1,5 mm



Micrografia 62. 1,5 mm

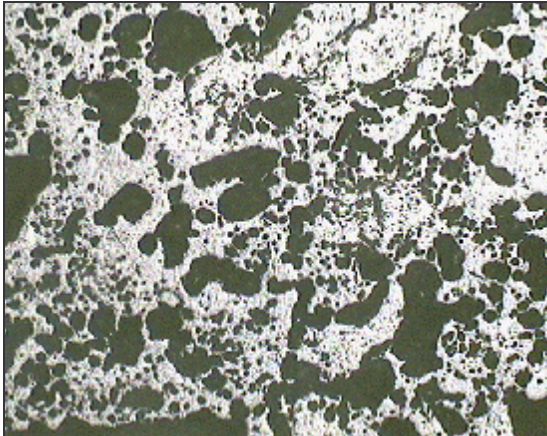


Micrografia 63. 1,5 mm

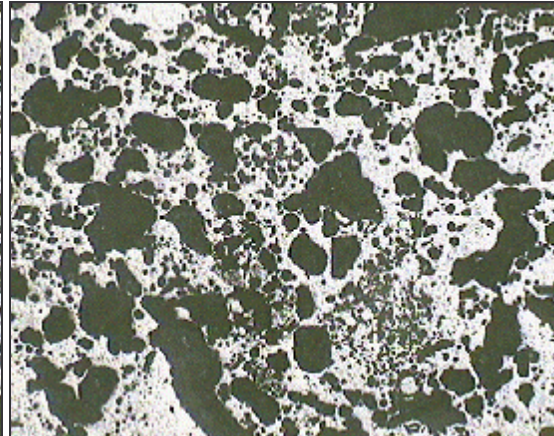


Micrografia 64. 0,75 mm

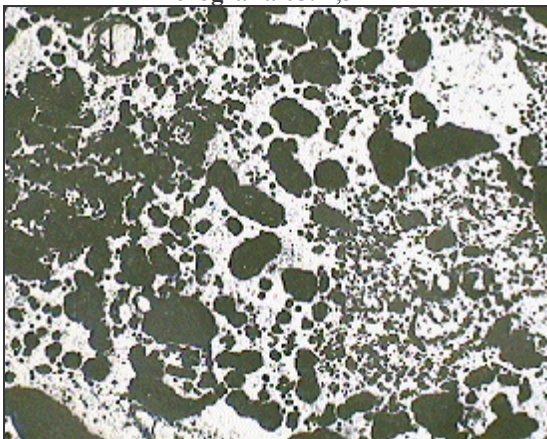
Les següents micrografies corresponen a una rajola de gres amb el 10 % de vidre d'ampolla de mida inferior a 125 µm pastada manualment i cuita al forn de laboratori a 1320 °C. L'absorció d'aigua és del 3,13 %. A sota de cada micrografia hi ha la mida real de la base.



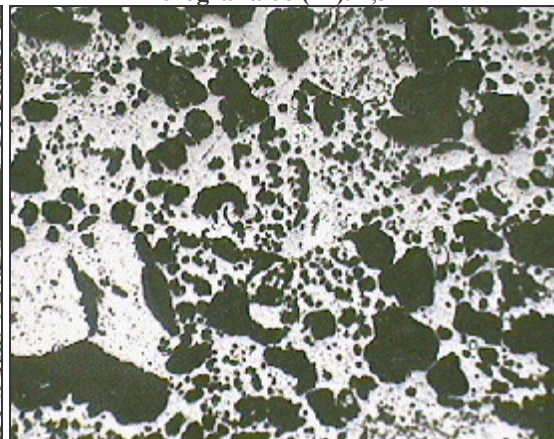
Micrografia 65. 1,5 mm



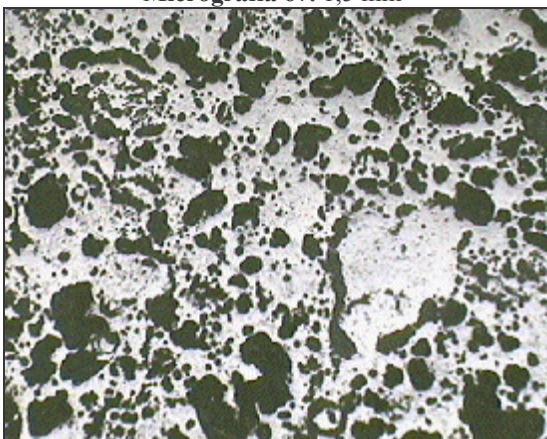
Micrografia 66 (14). 1,5 mm



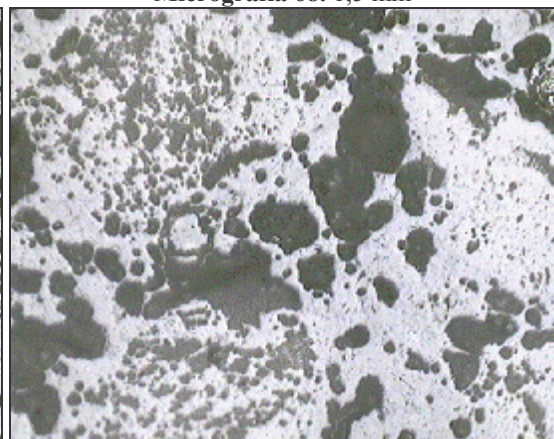
Micrografia 67. 1,5 mm



Micrografia 68. 1,5 mm

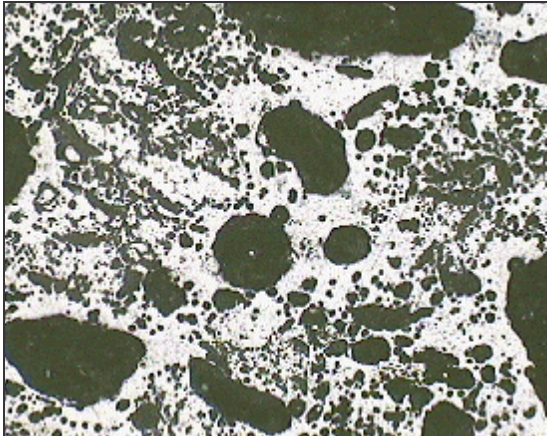


Micrografia 69. 1,5 mm

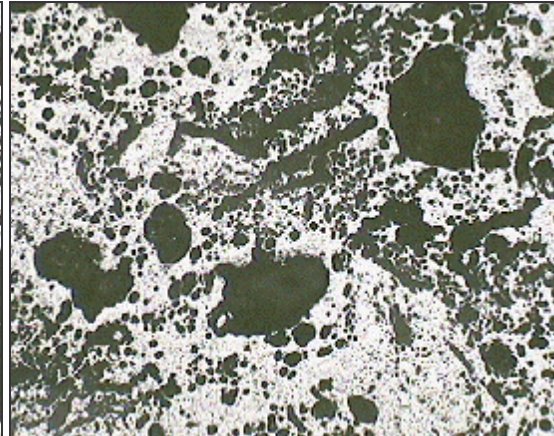


Micrografia 70. 0,75 mm

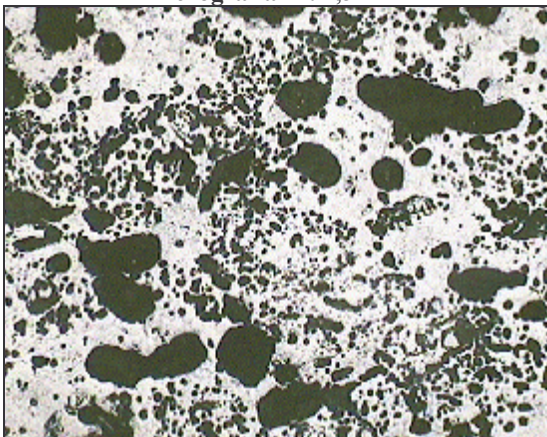
Les següents micrografies corresponen a una rajola de gres amb el 10 % de vidre d'ampolla d'entre 125 i 300 µm pastada manualment i cuita al forn de laboratori a 1325 °C. L'absorció d'aigua és del 2,09 %. A sota de cada micrografia hi ha la mida real de la base.



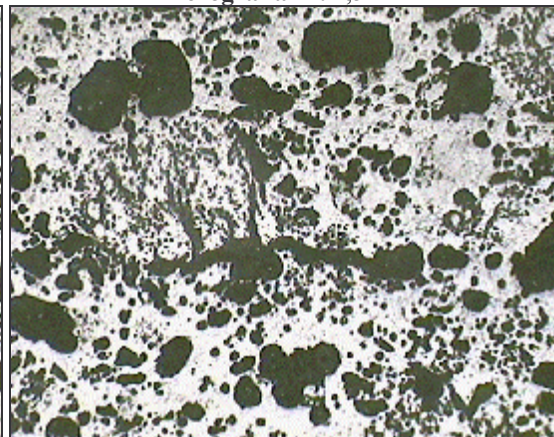
Micrografia 71. 1,5 mm



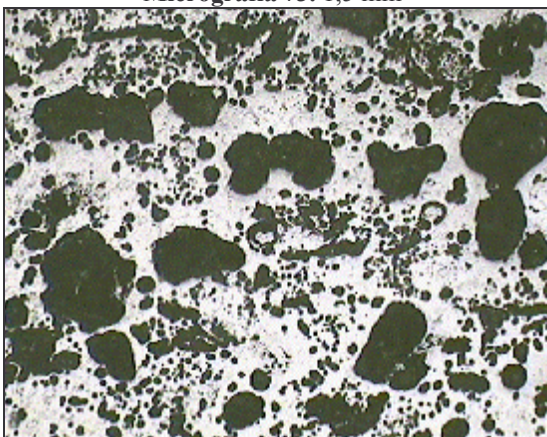
Micrografia 72. 1,5 mm



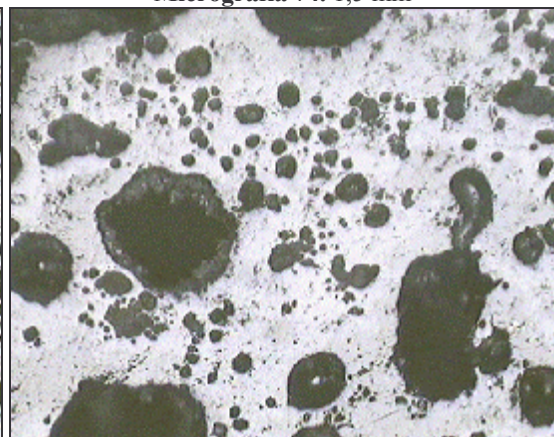
Micrografia 73. 1,5 mm



Micrografia 74. 1,5 mm



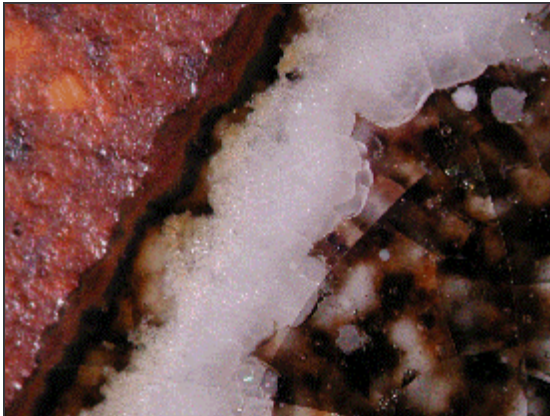
Micrografia 75 (15). 1,5 mm



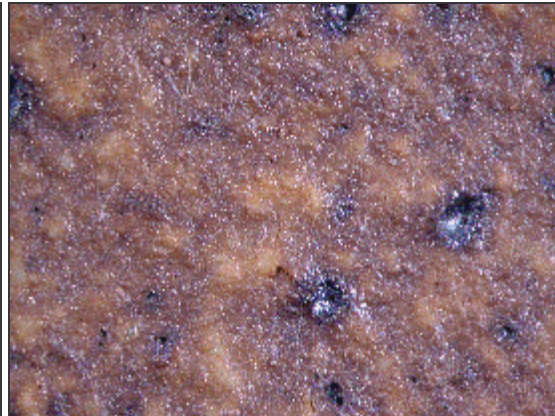
Micrografia 76. 0,75 mm

D. Imatges amb la lupa

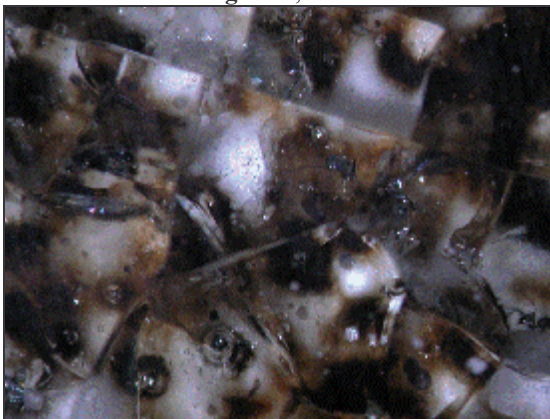
Les següents imatges corresponen a diferents vistes de la superfície d'una rajola de gres comercial recuita amb una gota de vidre a sobre. A sota de cada imatge hi ha la mida real de la base.



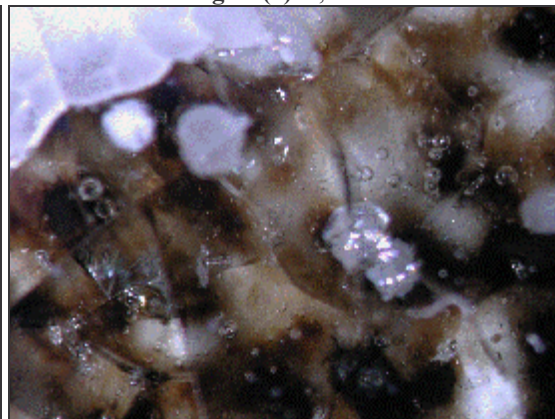
Imatge 3. 6,75 mm



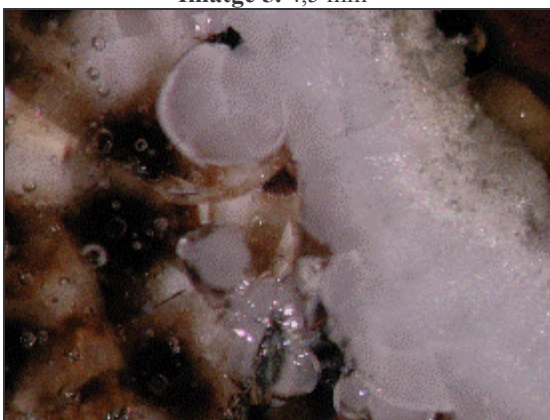
Imatge 4 (1). 6,75 mm



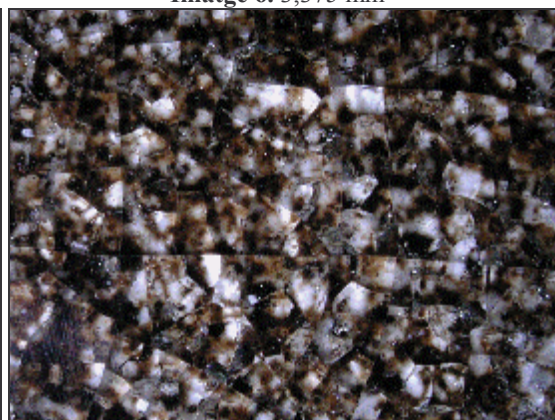
Imatge 5. 4,5 mm



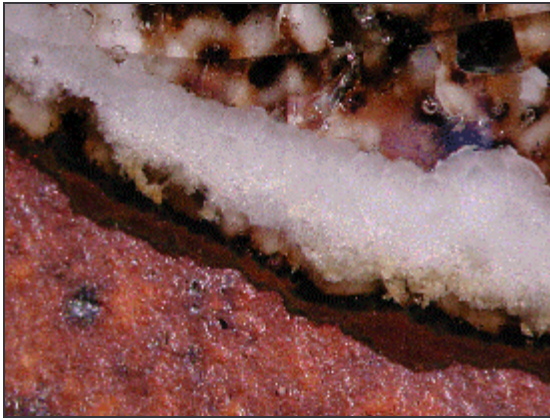
Imatge 6. 3,375 mm



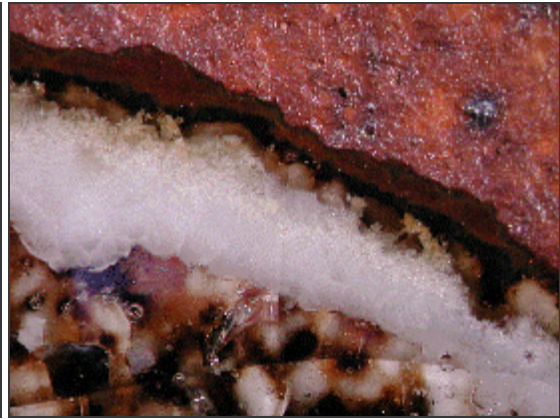
Imatge 7. 3,375 mm



Imatge 8. 16,875 mm

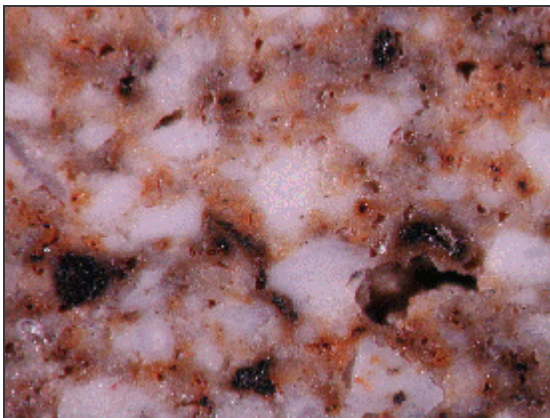


Imatge 9 (2). 6,75 mm

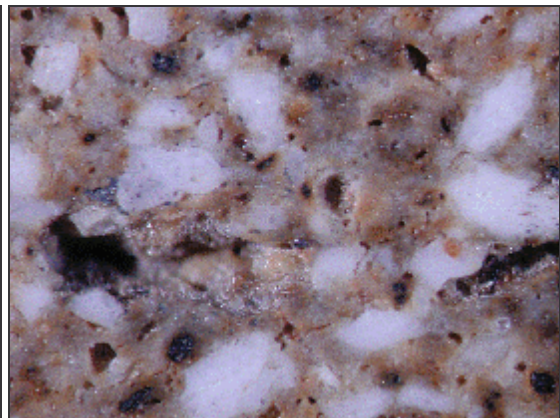


Imatge 10. 6,75 mm

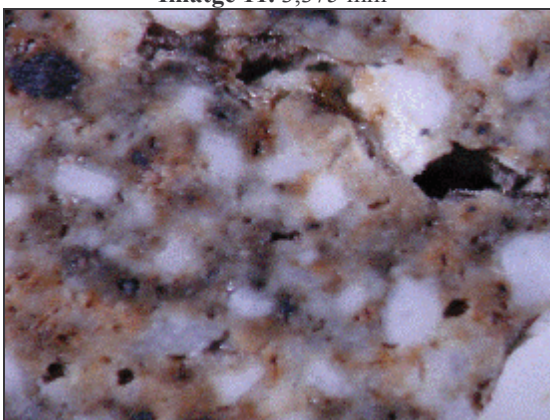
Les següents imatges corresponen a una rajola de gres amb el 5 % de vidre d'ampolla de mida inferior a 125 μm pastada manualment i cuita al forn de laboratori a 1320 °C. L'absorció d'aigua és del 5,90 %. A sota de cada imatge hi ha la mida real de la base. Les quatre primeres corresponen a un tall transversal polit. Les altres quatre a la superfície (per això s'observen tants reflexes).



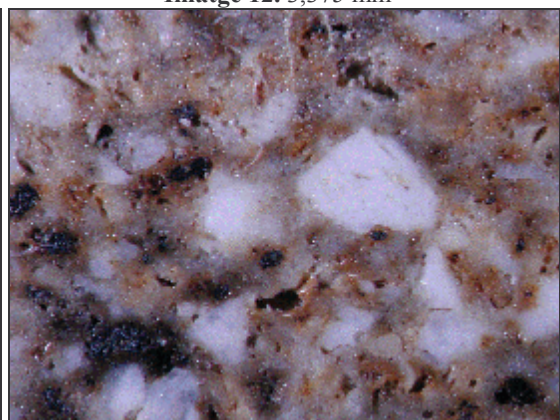
Imatge 11. 3,375 mm



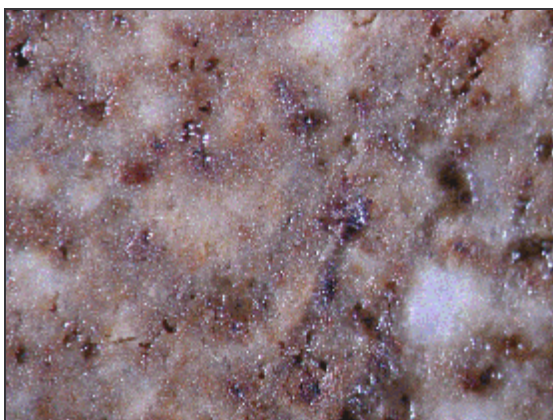
Imatge 12. 3,375 mm



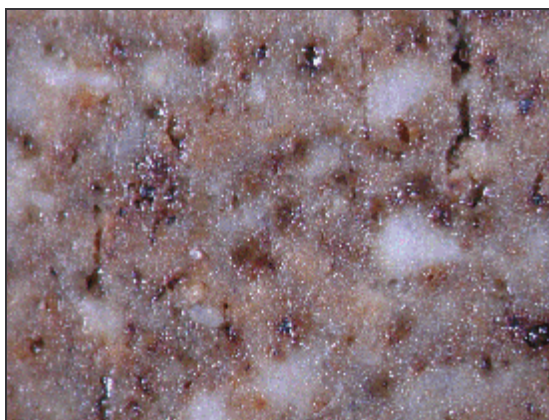
Imatge 13. 3,375 mm



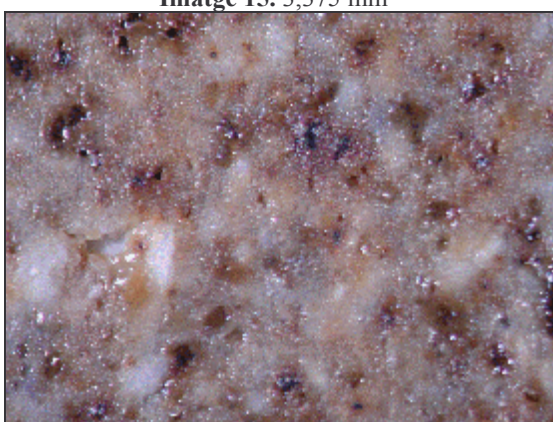
Imatge 14. 3,375 mm



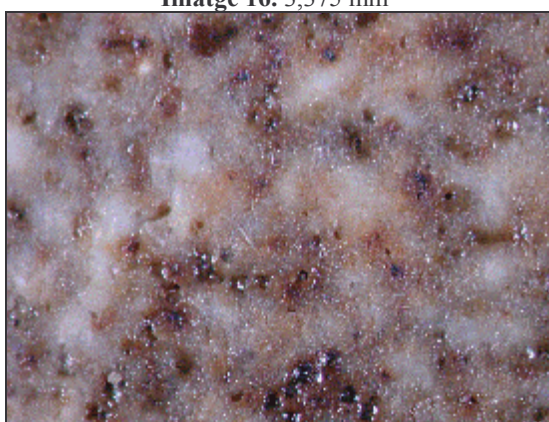
Imatge 15. 3,375 mm



Imatge 16. 3,375 mm

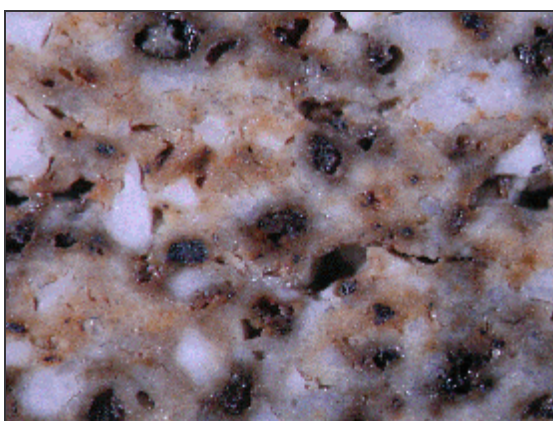


Imatge 17. 3,375 mm

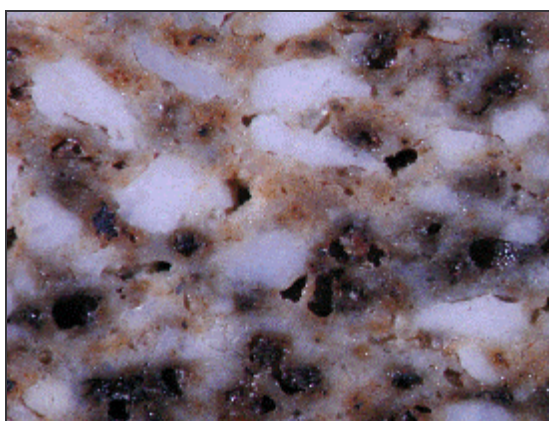


Imatge 18. 3,375 mm

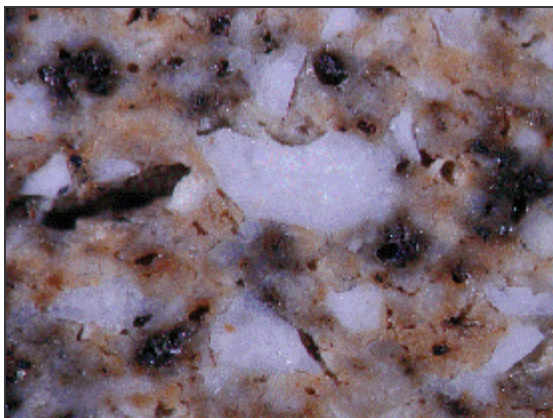
Les següents imatges corresponen a una rajola de gres amb el 5 % de vidre d'ampolla d'entre 125 i 300 μm pastada manualment i cuita al forn de laboratori a 1320 $^{\circ}\text{C}$. L'absorció d'aigua és del 5,88 %. A sota de cada imatge hi ha la mida real de la base. Les cinc primeres corresponen a un tall transversal polit. La resta, a la superfície.



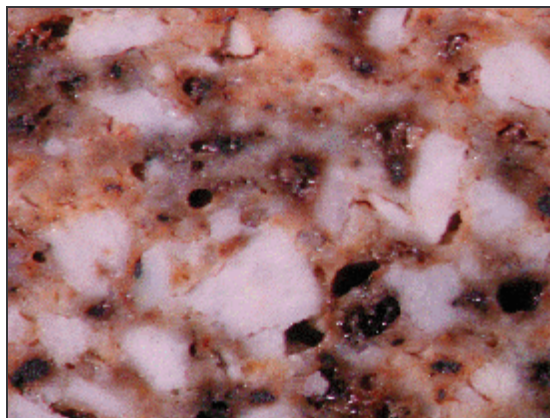
Imatge 19. 3,375 mm



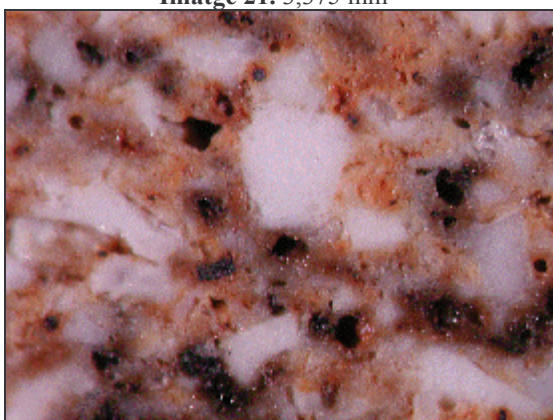
Imatge 20. 3,375 mm



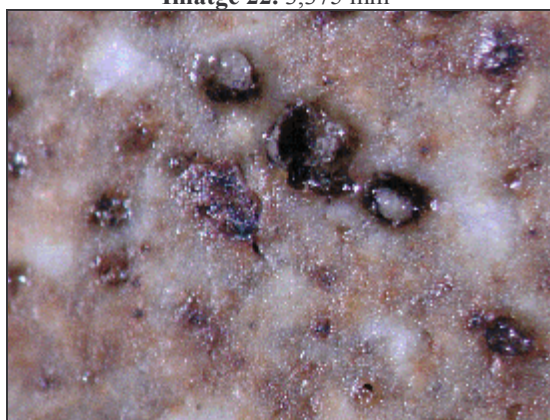
Imatge 21. 3,375 mm



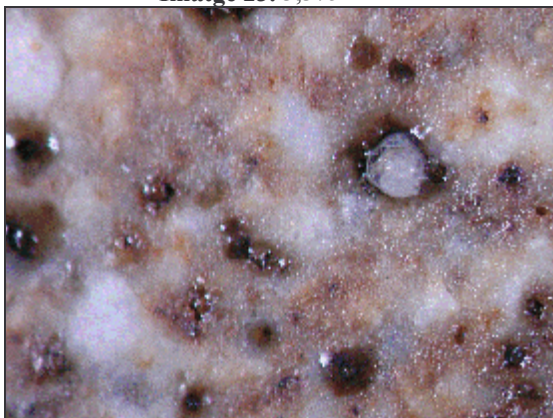
Imatge 22. 3,375 mm



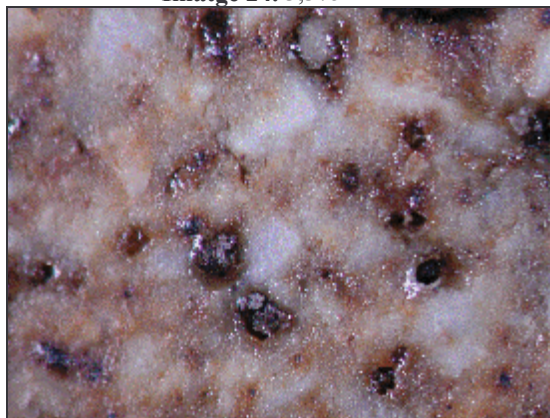
Imatge 23. 3,375 mm



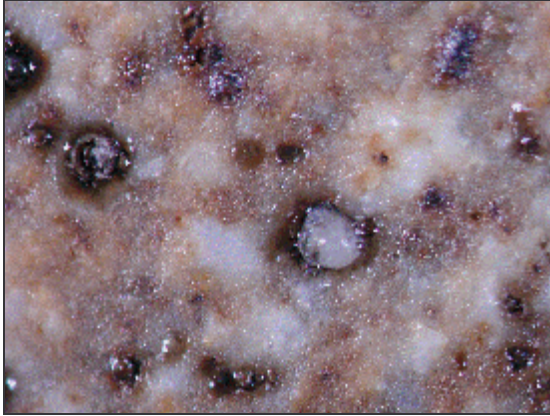
Imatge 24. 3,375 mm



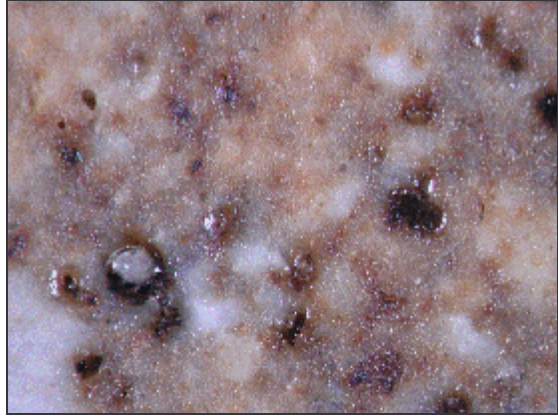
Imatge 25. 3,375 mm



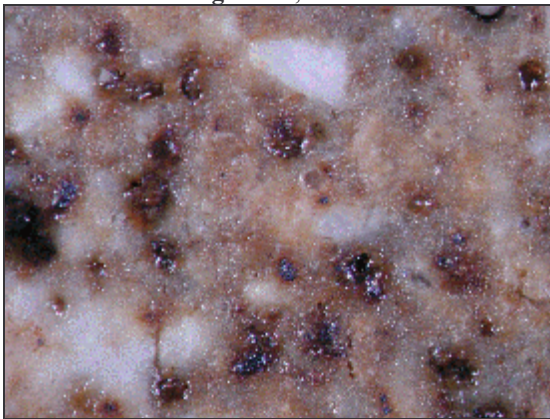
Imatge 26. 3,375 mm



Imatge 27. 3,375 mm

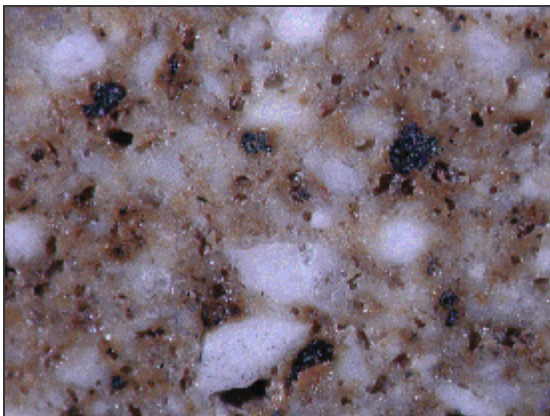


Imatge 28. 3,375 mm

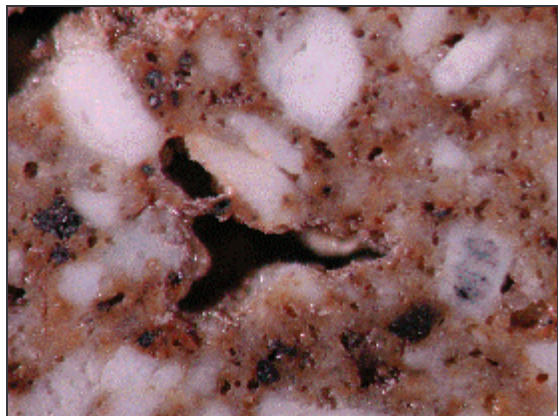


Imatge 29. 3,375 mm

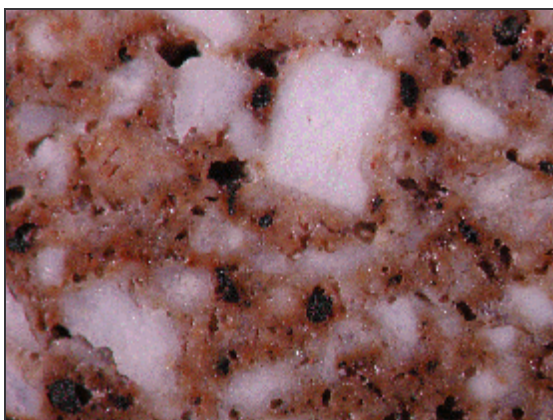
Les següents imatges corresponen a una rajola de gres amb el 10 % de vidre d'ampolla de mida inferior a 125 μm pastada manualment i cuita al forn de laboratori a 1320 $^{\circ}\text{C}$. L'absorció d'aigua és del 3,13 %. A sota de cada imatge hi ha la mida real de la base. Les quatre primeres corresponen a un tall transversal polit. La resta, a la superfície.



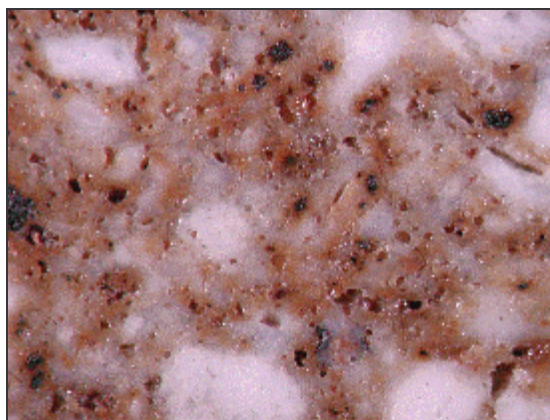
Imatge 30. 3,375 mm



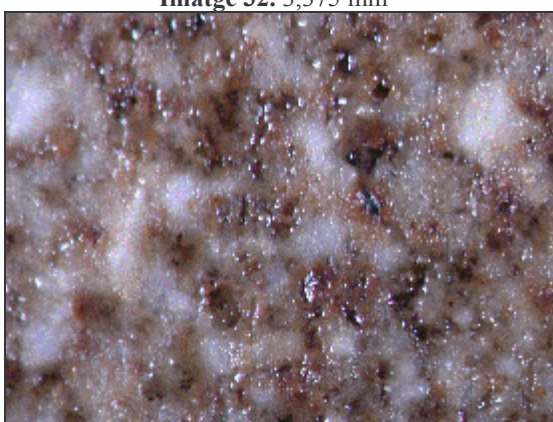
Imatge 31. 3,375 mm



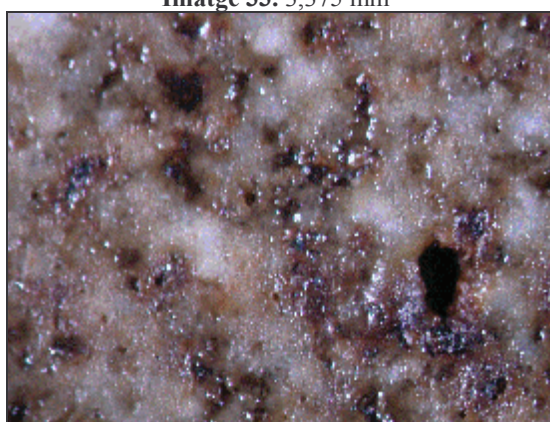
Imatge 32. 3,375 mm



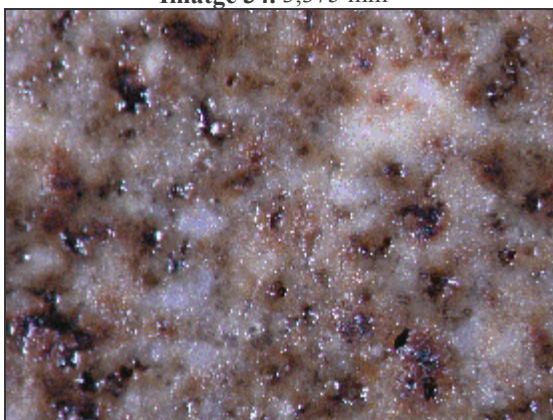
Imatge 33. 3,375 mm



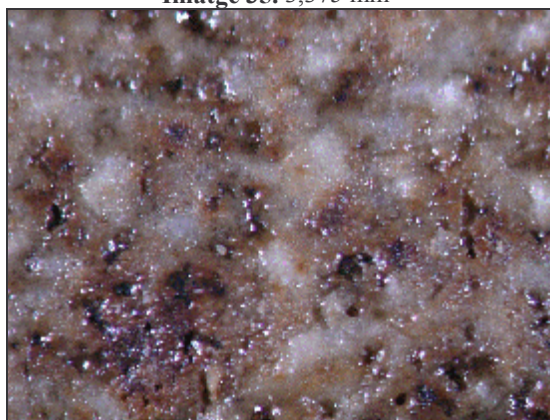
Imatge 34. 3,375 mm



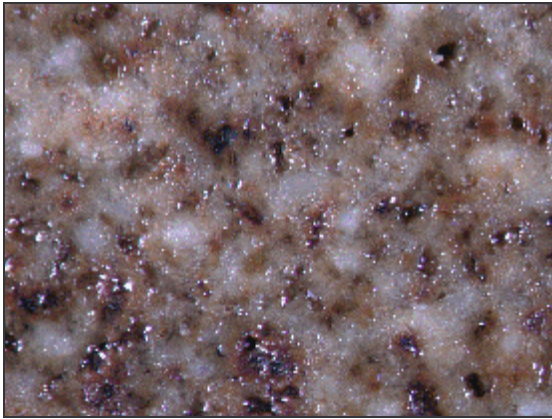
Imatge 35. 3,375 mm



Imatge 36. 3,375 mm

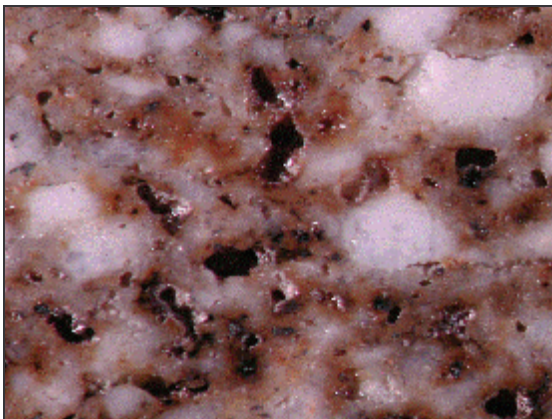


Imatge 37. 3,375 mm

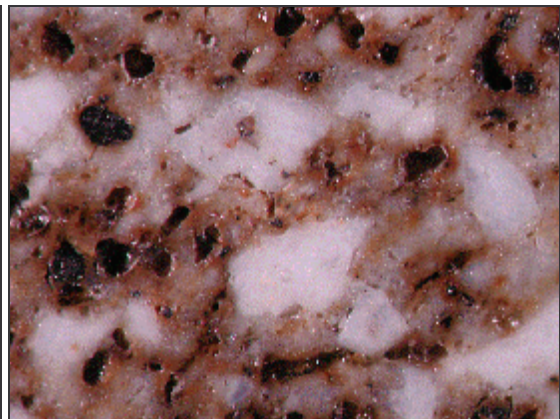


Imatge 38. 3,375 mm

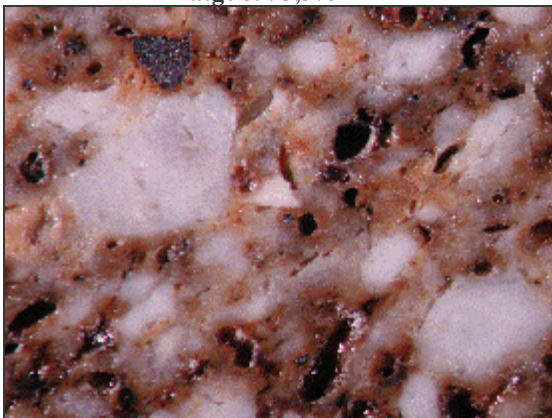
Les següents imatges corresponen a una rajola de gres amb el 10 % de vidre d'ampolla d'entre 125 i 300 μm pastada manualment i cuïta al forn de laboratori a 1325 $^{\circ}\text{C}$. L'absorció d'aigua és del 2,09 %. A sota de cada imatge hi ha la mida real de la base. Les cinc primeres corresponen a un tall transversal polit. La resta, a la superfície.



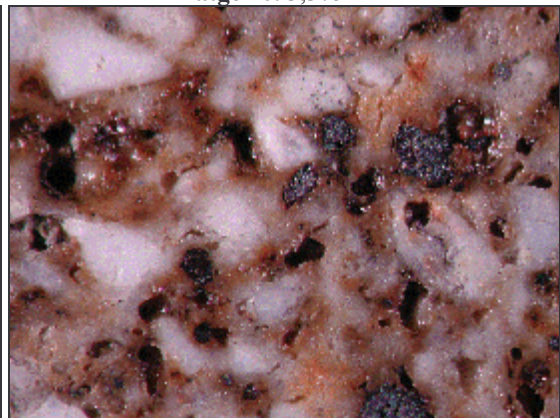
Imatge 39. 3,375 mm



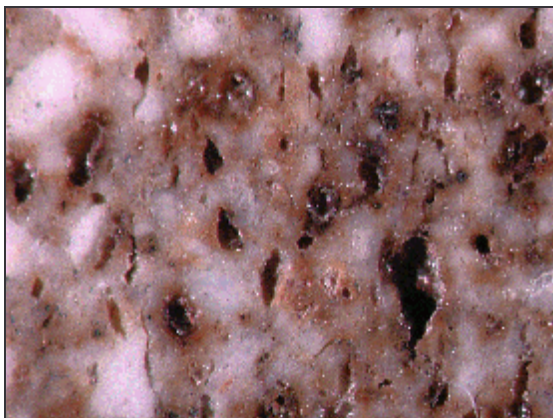
Imatge 40. 3,375 mm



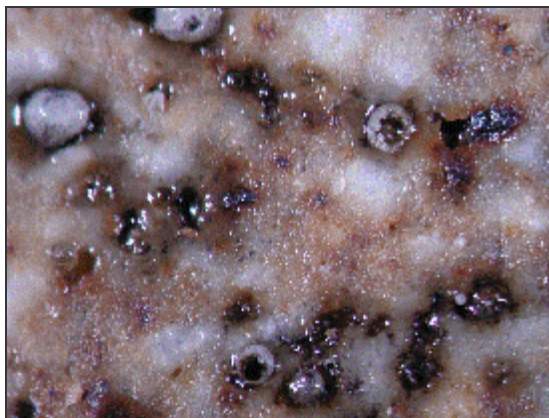
Imatge 41. 3,375 mm



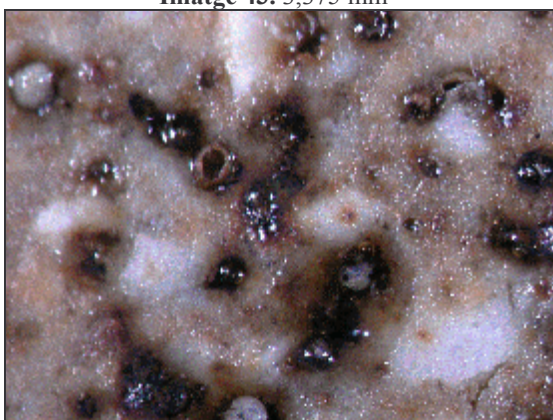
Imatge 42. 3,375 mm



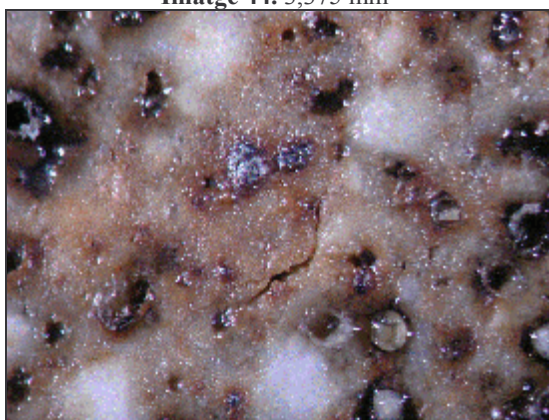
Imatge 43. 3,375 mm



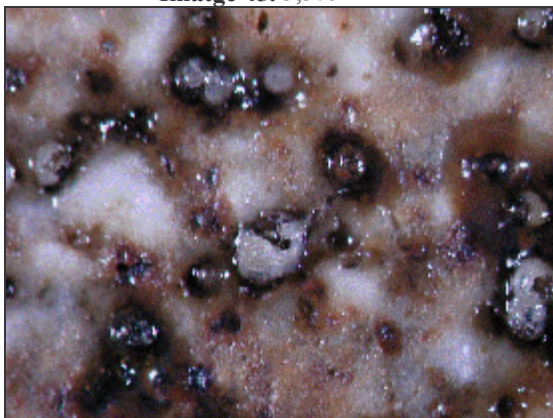
Imatge 44. 3,375 mm



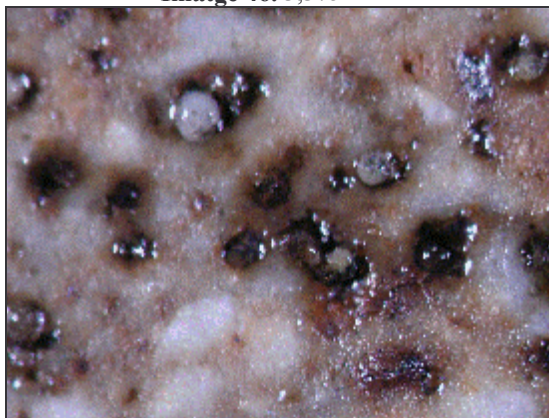
Imatge 45. 3,375 mm



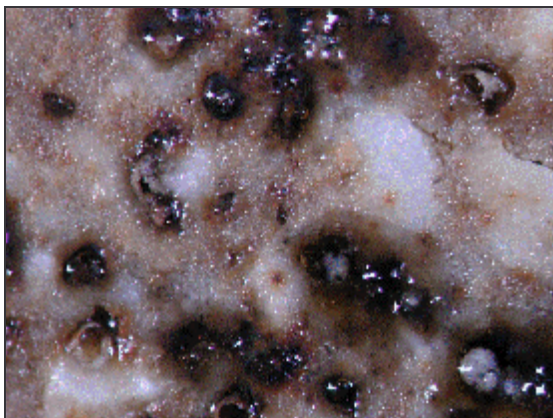
Imatge 46. 3,375 mm



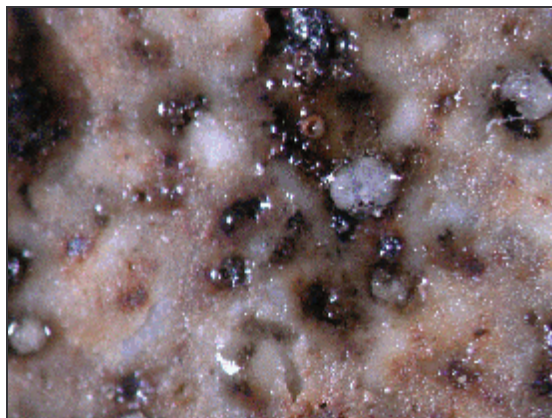
Imatge 47. 3,375 mm



Imatge 48. 3,375 mm



Imatge 49. 3,375 mm



Imatge 50. 3,375 mm

Pressupost

El present treball és un estudi. I, com a tal, ha tingut unes despeses de realització, que són les contemplades en aquest apartat. No és un pressupost. És el cost real de l'estudi.

Els costos unitaris de mà d'obra, material i instal·lacions es troben a la Taula 10.

Concepte	Cost unitari
Remuneració becari	428,88 € / mes
Assegurança becari	38,70 € / mes
Remuneració tutor	209,31 € / mes
Tècnic	45,95 € / h
Microscòpia òptica	22,03 € / h
Lupa	13,30 € / h
Inclusió	2,09 € / u
Termogravimetria	104,57 € / u

Taula 10. Cost unitari de mà d'obra, material i instal·lacions.

La realització de l'estudi té una durada de dos mesos i mig (vint hores setmanals). Per tant, els tres primers conceptes s'han de multiplicar per 2,5. Així, la remuneració total del becari és de 1072,20 €, l'assegurança costa 96,75 €, i la remuneració del tutor és de 523,27 €.

S'ha de diferenciar, com a concepte, les hores del tècnic en microscòpia de les hores del tècnic del forn. La dedicació del primer ha estat de cinc hores; sense I.V.A. són 198,05 €, que corresponen a 229,74 € amb l'impost corresponent. Al segon corresponen vuit hores, és a dir, 316,88 € més el 16 % d'I.V.A., 367,58 €.

Per a la realització de les micrografies ha estat necessari realitzar inclusions de les rajoles i observar-les al microscopi òptic. S'han realitzat un total de deu inclusions que, a 2,09 €

(I.V.A. inclòs) cadascuna, sumen 20,91 €. Les hores d'observació microscòpica han estat vuit i, per tant, el cost és de 151,92 € sense I.V.A. i 176,23 € totals.

Per aconseguir les imatges del gres industrial s'ha fet ús de la lupa. Han estat necessàries cinc hores. El cost és de 57,35 €, 66,53 € amb I.V.A.

L'estudi termogravimètric dels diferents components de les pastes comporta un cost de 1352,25 € sense I.V.A. i 1568,61 € totals, doncs s'han realitzat quinze termogravimetries.

Finalment, i dins l'apartat imprevistos, es compta la reparació del braç del termogravímetre. El seu cost és de 1045,76 € (I.V.A. inclòs).

El cost total de la mà d'obra del present estudi és de 2289,54 €. I el del material i l'ús de les instal·lacions és de 2878,04 €. El cost total de l'estudi és de 5167,58 €.

A la següent pàgina es troben tots aquests totals.

Desenvolupament de pastes ceràmiques per a la fabricació de rajoles de baixa porositat		Pressupost
Concepte		Cost (€)
<i>Mà d'obra</i>		2289,54
Remuneració del becari		1072,20
Assegurança del becari		96,75
Remuneració del tutor		523,27
Tècnic de laboratori.....		229,74
Tècnic de l'empresa.....		367,58
<i>Material i instal·lacions</i>		2878,04
Termogravimetries		1568,61
Microscòpia òptica		176,23
Lupa.....		66,53
Inclusions.....		20,91
Imprevistos		1045,76
TOTAL		5167,58 €

Nom i Cognoms:

D.N.I.:

Data:

Signatura: