



TORRE DE VALLFEROSA, TORÀ
EXPLORACIÓ GERODAR PER CARACTERITZACIÓ
D'ELEMENTS CONSTRUCTIUS

Memòria d'intervenció

Roger Sala
Helena Ortiz-Quintana

Expedient nº:

TORRE DE VALLFEROSA, TORÀ

EXPLORACIÓ GERADAR PER CARACTERITZACIÓ D'ELEMENTS CONSTRUCTIUS

RESUM DE LA INTERVENCIÓ

Resum	<u>Objectiu</u>	Exploració elements constructius no accessibles
	<u>Metodologia</u>	Prospecció georadar
	<u>Conclusions</u>	Es mesuren els gruixos del doble parament i es detecten interfases en estructura interna
Municipi	Torà	
Comarca	Les Garrigues	
Coordenades UTM i m.s.n.m		
Superfície avaluada	-	
Estat de conservació	-	
Tipus d'intervenció	Prospecció georadar alta freqüència	
Tipus d'activitat	-	
Dates d'execució		
Promotor	Ajuntament de Torà	
Director	Roger Sala	
Paraules claus	Georadar alta freqüència, Restauració, mesura de gruixos de paraments, detecció cavitats	

Taula 1: Fitxa de la intervenció

1. MOTIVACIÓ I OBJECTIUS DE LA INTERVENCIÓ

En el marc del present projecte de restauració i recerca entorn de la torre de Vallferosa (Torà, Les Garrigues) s'han plantejat l'ús de diferents tècniques i mètodes en la caracterització arquitectònica i arqueològica d'aquest edifici singular.

L'estat de conservació poc freqüent de l'edifici, les seves dimensions i les peculiaritats constructives aplicades, el converteixen en un cas d'estudi tant en termes històrics com arquitectònics.

En aquest context, la direcció del projecte ha plantejat l'aplicació d'una prospecció amb georadar per tal d'obtenir dades relatives al parament de l'edifici i la seva estructura interna de manera no destructiva.

En concret, s'han explorat dos àmbits des de l'interior de l'edifici (planta Latrines i Planta nivell 3), obtenint seccions transversals dels murs des de l'interior.

Des de l'exterior de l'edifici s'ha generat una secció vertical que ha cobert bona part de l'alçat de la torre, i també seccions horitzontals sobre un dels orificis de desguas documentats en l'aixecament fotogramètric de l'edifici per tal de documentar una possible connexió d'aquest amb una conducció.

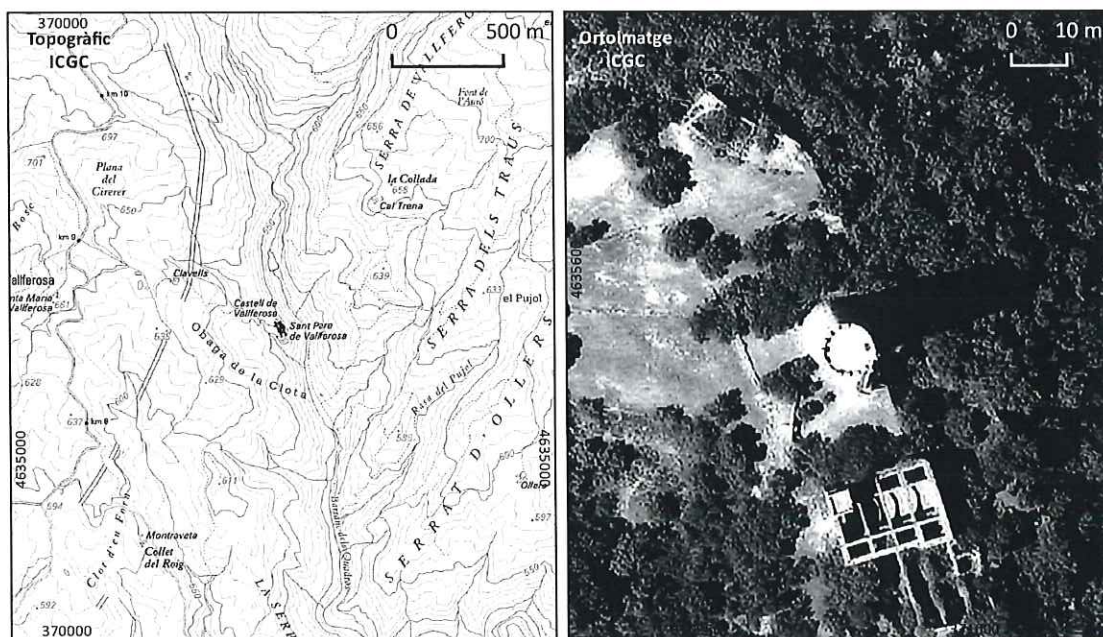


Figura 1: Ubicació de la Torre de Vallferosa, al municipi de Torà.

2. ÀREES EXPLORADES

Com s'ha esmentat, s'han obtingut dades en 4 àmbits de l'edifici (figura 1). A l'espai interior es va aprofitar l'estructura de fusta interior per obtenir seccions horitzontals del sistema constructiu a les plantes anomenades Latrines i nivell pis 3, respectivament. Aquestes seccions van cobrir la part accessible dels dos nivells, cobrint en cada cas dades de prop del 40% del perímetre intern de la torre.

A l'exterior es va obtenir una secció vertical composta per 14 perfils individuals que van cobrir els 31m d'alçada de la torre, excepte els trams on la bastida instal·lada per les tasques de restauració no va permetre l'accés al mur o bé presentava problemes de seguretat en l'accés al mateix.

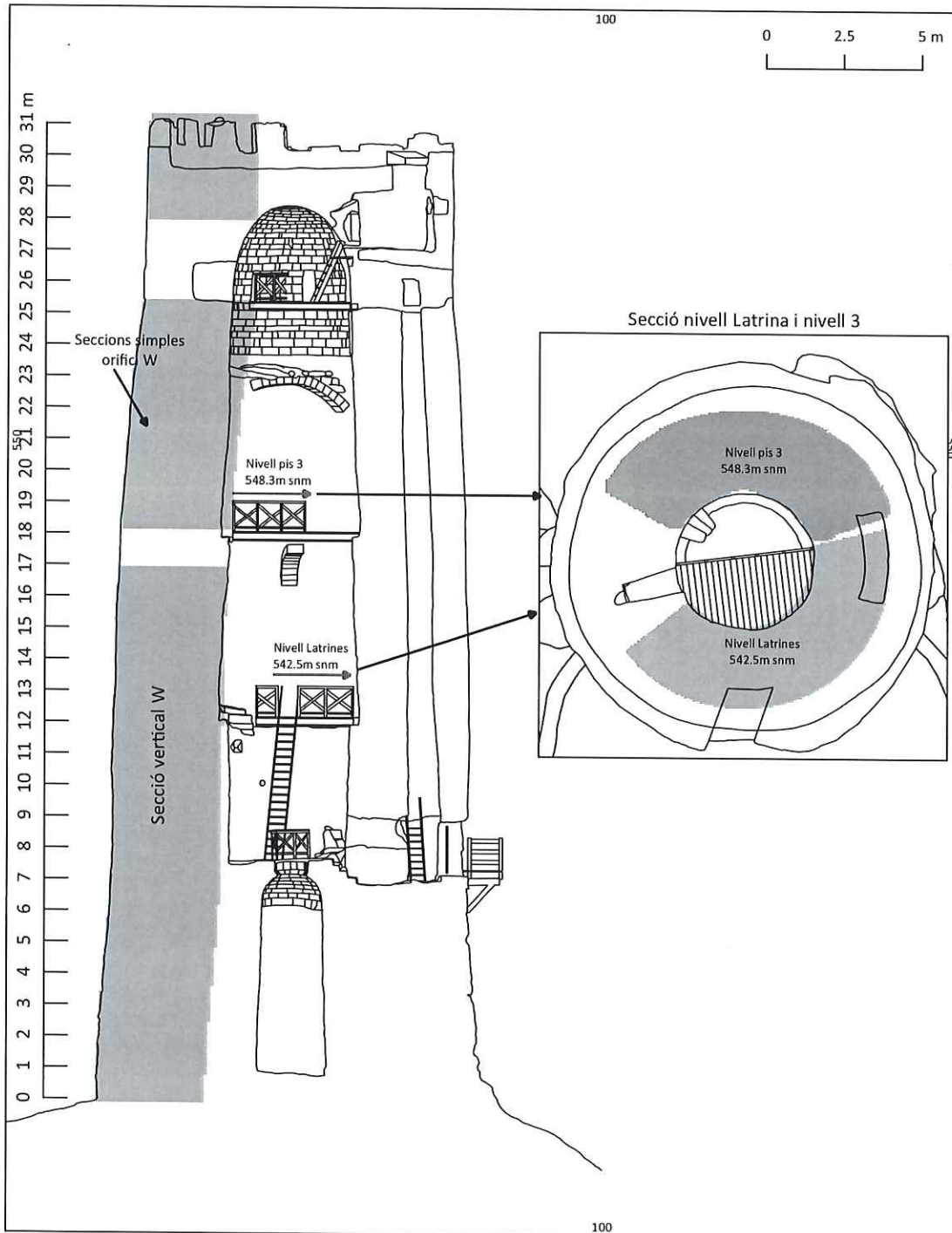


Figura 2: Alçat de la torre des del sud, amb indicació de les àrees explorades. Topogràfic aportat per la direcció del projecte

El darrer punt explorat correspon a la banda oest de la torre, on s'aprecia una obertura rectangular atribuïda a un possible desguàs. L'objectiu d'aquesta darrera exploració consisteix en la detecció de possibles cavitats internes al mur que es poguessin atribuir a una conducció relacionada amb el possible desguas. Degut a la distància entre el mur i la bastida en aquesta

zona no es va poder realitzar una exploració en extensió, i només es van obtenir dos perfils simples per sobre del desguas.

3. ESTRATÈGIA DE PROSPECCIÓ I METODOLOGIA

D'acord amb les característiques de l'edifici i la informació a obtenir, un dels problemes metodològics més importants consisteix en la dificultat d'obtenir seccions precises de l'interior del mur i assolir una profunditat d'investigació suficient per travessar el parament complet.

Com és sabut, un dels aspectes importants de la Torre de Vallferosa és el seu sistema constructiu, constituït per dos paraments concèntrics que sumen un gruix variable d'entre 5.1m a la base i entorn a 3.5m als pisos centrals. Degut a aquesta dimensió no existeix un sistema de georadar actual que permeti abastar aquesta profunditat d'investigació al mateix temps que ofereix informació rellevant de l'interior dels murs.

En conseqüència, es va optar per l'aplicació d'un sistema de georadar IDS equipat amb una antena monostàtica de 600MHz. Això havia de permetre cobrir al menys la meitat del gruix (2.2-2.5m) dels murs a la part central de la torre amb la garantia que es podrien localitzar anomalies internes dins de la construcció amb suficient detall. Per completar la validació interna de les dades es va comprovar que els resultats de les seccions preses des de l'interior i des de l'exterior de l'edifici ofereixen gruixos consistents els uns amb els altres (Figures 3 i 4).

3.1 Sistemes aplicats i ajustaments

La prospecció georadar s'ha realitzat amb el sistema de georadar IDS RIS HI-MOD, equipat amb una antena de 600MHz. Les dades s'han obtingut amb una resolució de unja lectura per centímetre, amb una velocitat de propagació calculada d'entre 0.13 i 0.14m per nanosegon.

Mètode	Georadar		
Sistema	RIS HI-MOD (IDS)		
Sensor	TR600 FW		
N de sensors	1		
Separació entre sensors	-		
Data logger	Panasonic CF-18		
Propietat mesurada	Amplituds (SI)		
Configuració	Freqüència	Finestra temps	N de mostres per traça
	600MHz	40ns-60ns	512
Resolució	100 lectures / metre		
Posicionament de les dades	Encoder integrat i coordenades locals		

Taula 2: Paràmetres de l'adquisició de les dades de georadar.

La cal·libració de la velocitat de propagació en relació a la profunditat s'ha extret del perfil obtingut al nivell Latrines, on les dades han permès comparar la posició relativa del buit de les escales interiors de l'est de la torre (figura 4).

En les dades obtingudes s'han establert una penetració màxima estimada de 2.5m.

3.2 Processament de dades

Dades georadar

El procés de les dades consisteix en dues fases, la correcció d'errors i interferències de les dades, i la seva posterior integració en un sol bloc de dades tridimensional. La correcció de les dades s'ha realitzat aplicant un filtre de deriva de fase (wobble) i un filtre de background, per eliminar sorolls constants del sistema.

Els perfils simples de georadar (radargames) recollits expressen el trajecte dels polsos electromagnètics per l'interior dels sòlids i els retorns produïts pels canvis de composició i propietats del mateix. Per tal de generar visualitzacions més intuïtives i que responguin al volum i propietats de les estructures detectades, s'ha generat una visualització derivada dels perfils originals, consistent a la transformació de les dades obtingudes a energia reflexada (transformació de Hilbert).

D'aquesta manera, s'han obtingut representacions dels canvis interns dels murs explorats i s'han adaptat a la forma dels murs de l'edifici, per obtenir dades geomètricament coherents.

4. RESULTATS

Secció vertical

La secció vertical sobre el parament exterior es va realitzar a través de la bastida instal·lada a l'oest de la torre, cobrint 31.5m d'alçada amb interrupcions en les àrees no accessibles per la presència de la mateixa bastida o en els espais on aquesta es trobava a una distància excessiva de la façana per obtenir dades amb seguretat.

Els resultats de la integració dels 15 perfils i la seva interpretació es mostren als gràfics adjunts i a la figura 3 del text.

En primer terme, cal remarcar les característiques de la resposta obtinguda. Les dades mostren en bona part dels casos un reflector paral·lel al mur exterior, situat entre 1.37 i 1.83m per l'interior. Aquest reflector s'ha identificat amb la interfase entre els dos paraments concèntrics descrits en estudis previs.

En cap dels perfils simples que es van recollir s'ha reconegut la reflexió corresponent a la cara interior del mur, evidenciant que la penetració efectiva dels polsos del georadar no ha assolit el gruix total del parament (entre 2.8 i 3.6m).

En conseqüència, cal considerar que les dades més fiables corresponen a un rang d'entre 1.8 i 2m de profunditat dins del mur.

Dins de la secció s'han apreciat diferents anomalies en la reflexió, corresponents a canvis de propietats dins del parament.

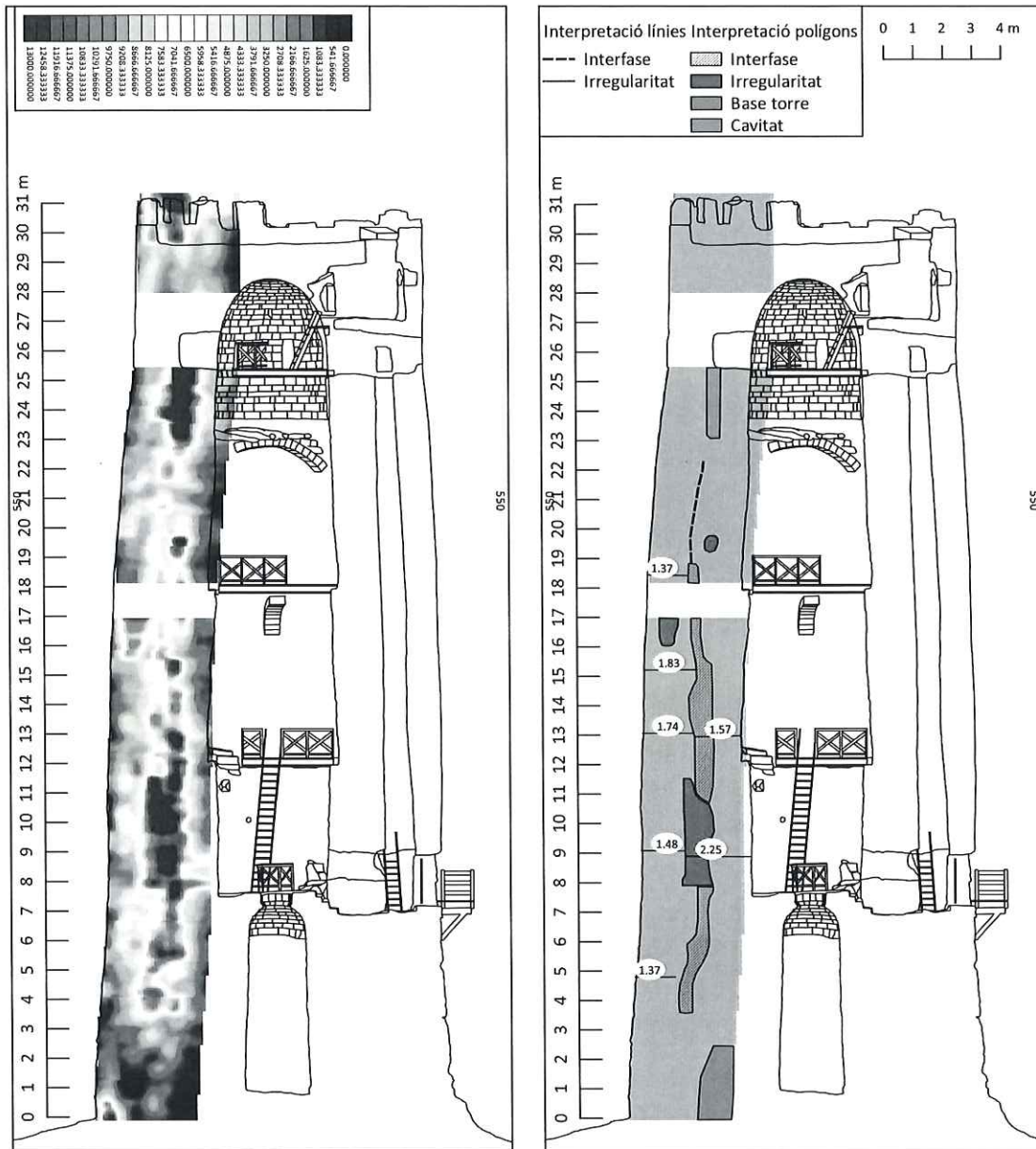


Figura 3: Secció vertical per l'oest. A l'esquerra es representa la reflexió obtinguda. A la dreta, esquema d'interpretació.

Partint de les cotes més baixes, s'ha apreciat una caiguda en la reflexió en els primers 3m d'alçada, que s'ha identificat amb el possible contacte del mur amb la base geològica de gresos.

Entre els 4 i els 8m d'alçada s'aprecia un reflector que s'ha identificat amb la interfase entre els dos murs que formen el parament. La potència de la reflexió indica que possiblement hi hagi un espai buit entre els dos murs. Entre 8 i 12m d'alçada s'aprecia una resposta reflectiva potent a prop de 1.5m de profunditat. S'interpreta aquesta anomalia com a producte de la presència d'una cavitat interior entre els murs o un espai reomplert amb materials no compactats. En cotes superiors, entre 12 i 17m es continua enregistrant una anomalia en una posició similar, però de menor entitat, que s'ha atribuït novament a la interfase entre els dos murs que formen el parament.

Després de la interrupció en les dades entre 17 i 18.5m d'alçada, la resposta identificada amb la interfase es fa més feble i desapareix en algunes zones, indicant una major cohesió entre els dos murs paral·lels que formen la torre.

Entre 23 i 25.5m d'alçada s'aprecia una forta anomalia situada a 1.50m de profunditat, que s'interpreta com una possible cavitat. És possible que aquesta cavitat respongui a les obertures laterals del darrer pis, que tenen una trajectòria obliqua respecte al cercle de la torre.

El darrer tram explorat, entre 28 i 31m d'alçada no ha ofert anomalies significatives, fora de la confluència amb els merlets, on s'aprecia una anomalia produïda per l'aire, un cop aquests s'han travessat.

Seccions horitzontals nivell Latrines i Nivell 3

Un segon àmbit d'intervenció es va ubicar des de l'interior de l'edifici, per obtenir dades del sistema constructiu des de l'interior. En els dos espais explorats, es van obtenir seccions horitzontals des d'una alçada de 1.2m sobre el nivell del sòl (542.5m snm en el nivell Latrines i 548.3m snm al nivell del pis 3).

Donat que no es disposa d'una secció topogràfica precisa dels nivells de latrines ni del nivell 3 en les cotes on es van prendre dades, s'han expressat els resultats sobre una secció a nivell de l forjat de fusta del nivell Latrines per apreciar la geometria dels elements detectats.

Les dades corresponents al nivell Latrines han proporcionat la detecció d'un element conegut, corresponent a la cavitat de les escales interiors de la torre, que ha permès calibrar la resta de dades obtingudes en la prospecció.

Tal com s'aprecia a la figura 4, les dades reproduïxen un reflector intermitent, situat entre 1.6 i 1.74m de profunditat, interpretat com a producte de la interfase entre els dos murs, que coincideix també amb cara interior de les escales de la Torre. Cal remarcar que la resposta de reflexió atribuïda a la interfase és molt menor que la cavitat de les escales, fet que permet inferir que la separació o transició entre els dos aparells constructius no presenta cavitats apreciables.

Les dades també permeten apreciar irregularitats internes al mur en cotes d'entre 0.9 i 1m de profunditat.

Les dades obtingudes al pis 3 mostren resultats interessants també. Per una banda, es detecta un cop més l'anomalia paral·lela a la superfície, que s'atribueix a la interfase entre els dos elements del sistema constructiu. En aquest cas, però, les anomalies es mostren més potents i amb un gruix aparent major, fet que s'atribueix a una possible cavitat entre els dos murs o bé a una capa intermitja d'un material poc compacte. En aquesta secció s'aprecien uns gruixos lleugerament més grans que al nivell de Latrines, d'entre 1.79 i 1.84m. És interessant remarcar la coincidència d'aquests gruixos amb els obtinguts en el perfil vertical des de l'exterior de la torre.

Es detecta un reflector més proper a la cara interna de la torre, entre 0.77 i 0.94m de profunditat, que s'ha atribuït a una possible irregularitat del parament intern.

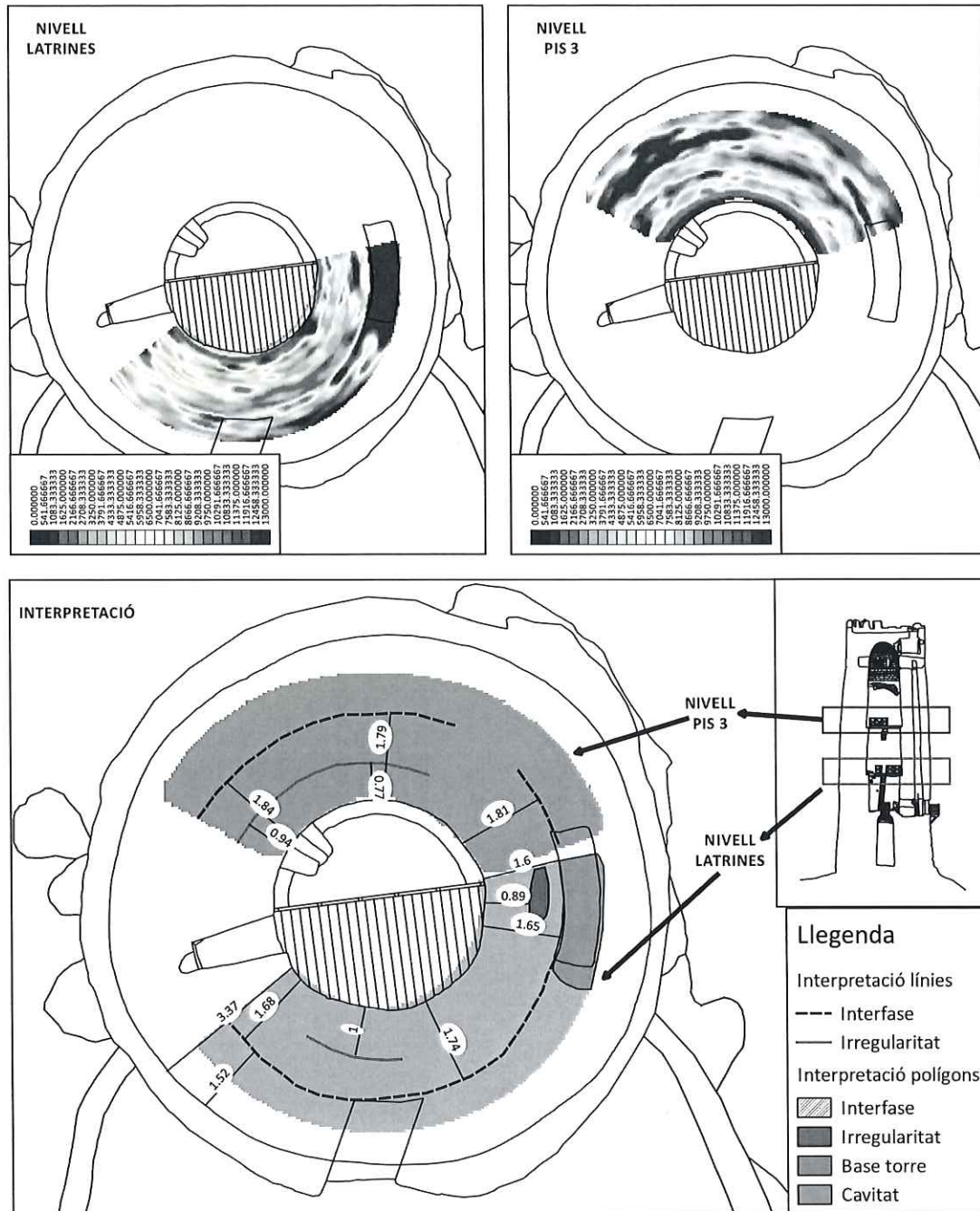


Figura 4: Seccions obtingudes des de l'interior de la torre. A dalt, seccions de reflexió corresponents al nivell de Latrines i al Pis 3. a baix esquema comparatiu amb les interpretacions de les dades de les dues seccions.

Seccions simples façana oest

D'acord amb la direcció tècnica del projecte es van obtenir dades també a l'entorn d'una obertura situada a la façana oest de la torre, amb l'objectiu de detectar una possible conducció relacionada amb aquesta obertura (figura 5).

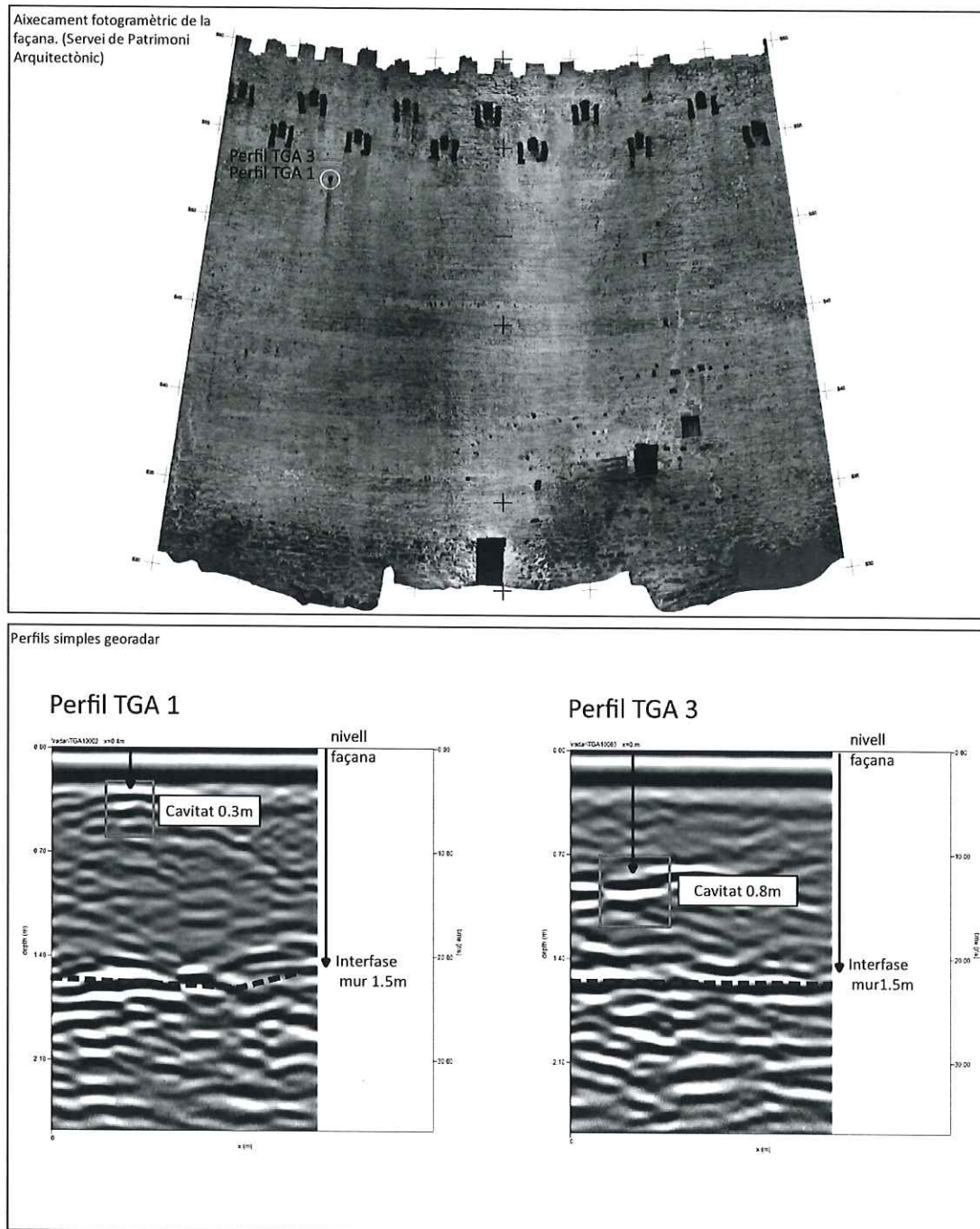


Figura 5: Seccions simples obtingudes per sobre de l'orifici de la façana oest. A dalt aixecament fotogramètric de la torre, amb indicació de la posició de les seccions simples. Aixecament fotogramètric aportada per la direcció del projecte.

Precisament aquest àmbit presentava una dificultat en l'accés al mur, atès que la instal·lació de la bastida deixava un espai massa allunyat de la posició de l'orifici. D'aquesta manera, es van assajar diversos perfils simples per la impossibilitat de realitzar una exploració en extensió. Dels obtinguts, situats entre 0.7 i 1.5m per sobre de l'orifici només s'han considerat els perfils TGA1 i TGA3 amb qualitat suficient pel seu anàlisi.

El perfil TGA 1, obtingut transversalment sobre la façana de la torre a una alçada aproximada de 0.7m per sobre de l'orifici, es detecta una possible cavitat de petites dimensions a escassos

0.3m de profunditat dins del mur. Aquesta cavitat és compatible amb la seva identificació amb un conducte intern.

El perfil TGA 3, obtingut aproximadament 1.5m per sobre de l'orifici, permet detectar una anomalia a prop de 0.8m de profunditat. Tot i que aquesta anomalia presenta una part identificable amb una cavitat, també mostra altres anomalies associades a ambdós costats, fet pel qual la seva identificació amb la possible conducció és dubtosa, atès que es podria interpretar també com una irregularitat interna del mur.

5. CONCLUSIONS

D'acord amb les dades obtingudes en les exploracions amb georadar, s'han pogut identificar tant des de l'exterior com de l'interior les respostes corresponents a la divisió entre els dos murs concèntrics que conformen l'aparell constructiu.

A les seccions exteriors s'han obtingut gruixos d'entre 1.37 a 1.83m de gruix, mentre que des de l'interior s'han mesurat gruixos d'entre 1.6 i 1.84m. La comparació de les dades obtingudes posa de manifest una tendència a un major gruix del mur interior (1.6-1.84m) i un gruix menor del mur exterior, en bona part entorn als 1.45-1.5m.

En tots els casos s'ha observat una cohesió desigual en el contacte entre els dos murs. En els casos que aquesta resposta era més reflectiva s'ha interpretat la presència d'una cavitat o d'un material no cohesionat entre els dos murs, mentre que en les zones menys reflectives (nivell Latrines) s'ha inferit un contacte directe entre els dos aparells.

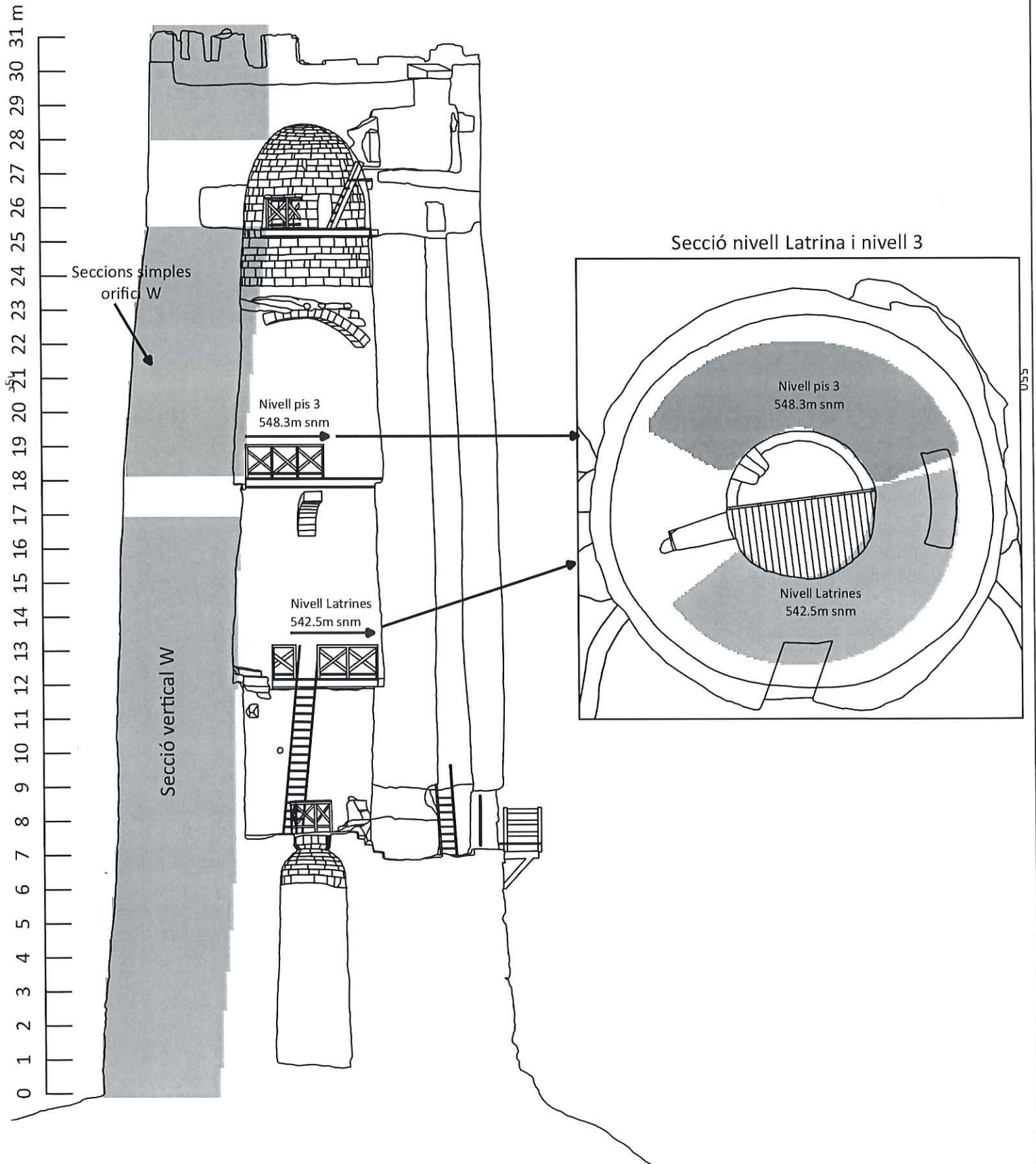
En la secció vertical s'ha apreciat un important canvi de resposta entre 8 i 11.6m d'alçada (537 i 540.6m snm). Tal com s'aprecia a la figura 3, la forma i magnitud d'aquesta anomalia difereix de la produïda per la interfase entre els dos paraments de l'edifici en la seva posició i magnitud. S'ha atribuït aquest element a un canvi intern que podria correspondre tant a una cavitat com a un espai on el mur ha perdut cohesió i presenta espais buits al seu interior.

Les dificultats d'accés en la posició de l'obertura a estudiar al parament exterior no han ofert dades concloents respecte a la presència d'una conducció interna que comuniqui aquesta obertura amb l'interior. Si bé en un dels perfils la detecció és clara, en el segon cas, la resposta obtinguda no és suficientment clara i presenta una distància relativa a la superfície del mur molt superior.

Gener 2017

6. BIBLIOGRAFIA

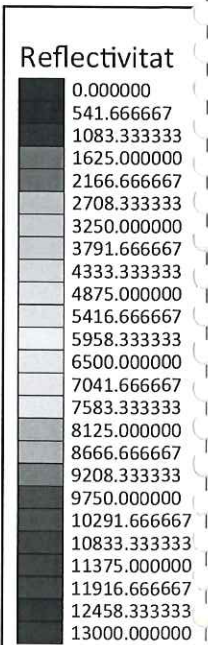
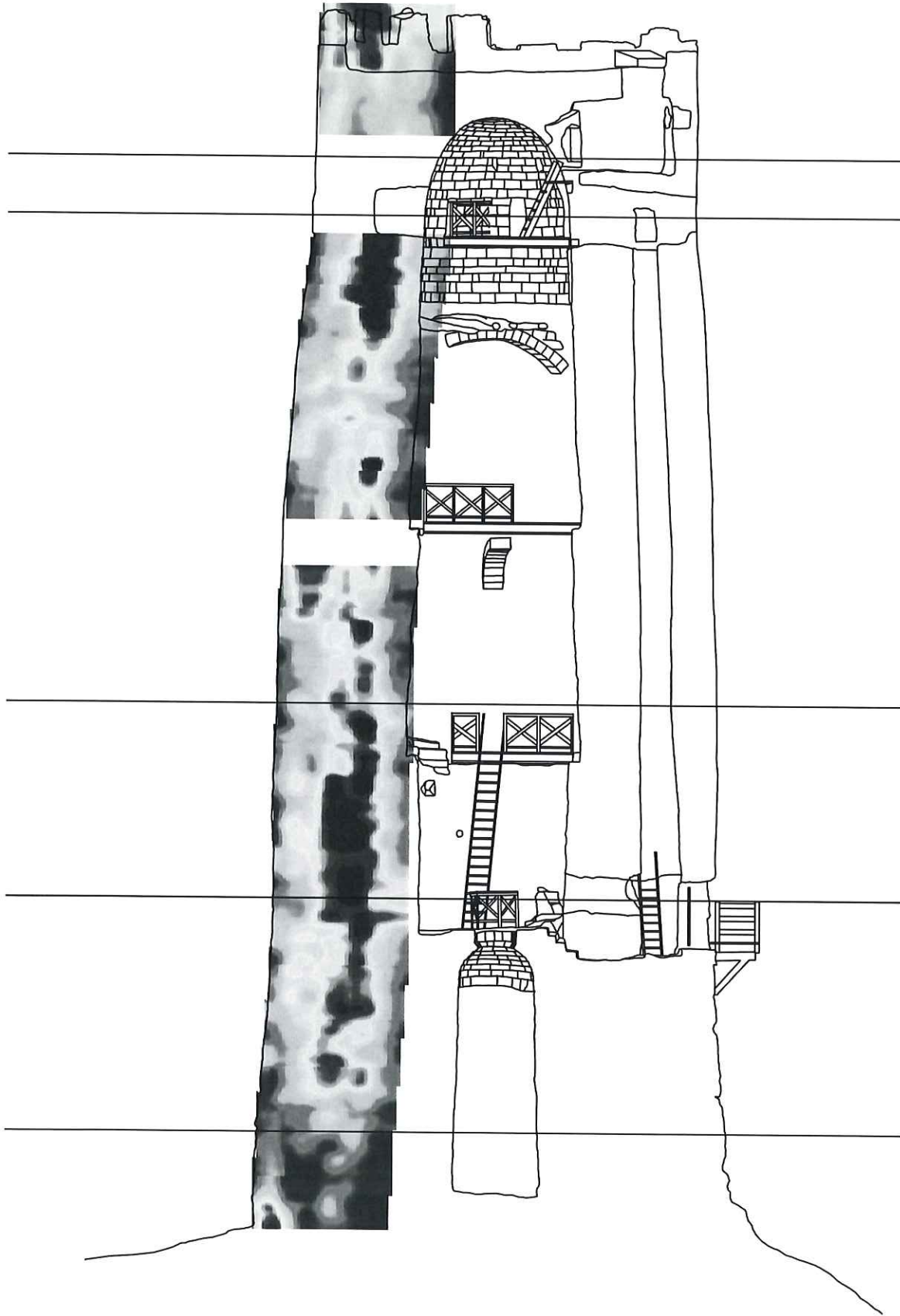
- Annan, A. P. (2009). Electromagnetic Principles of Ground Penetrating Radar. In H. M. Jol (Ed.), *Ground Penetrating Radar Theory and Applications* (pp. 1–40). Amsterdam: Elsevier. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-53348-7.00001-6>
- Sala, R., Garcia, E., & Tamba, R. (2012). Archaeological Geophysics--From Basics to New Perspectives. In I. Ollich-Castanyer (Ed.), *Archaeology, New Approaches in Theory and Techniques* (Dr. Imma O., pp. 133–166). InTech. doi:10.5772/45619
- Sala, R., Tamba, R., & Garcia-Garcia, E. (2016). Application of Geophysical Methods to Cultural Heritage. *Elements*, 12(1), 19–25. doi:10.2113/gselements.12.1.19
- Schmidt, A., & Ernenwein, E. (2011). *Geophysical data in archaeology: a guide to good practice* (2nd. ed., p. 81). Oxford: Oxbow Books.



100

550

550

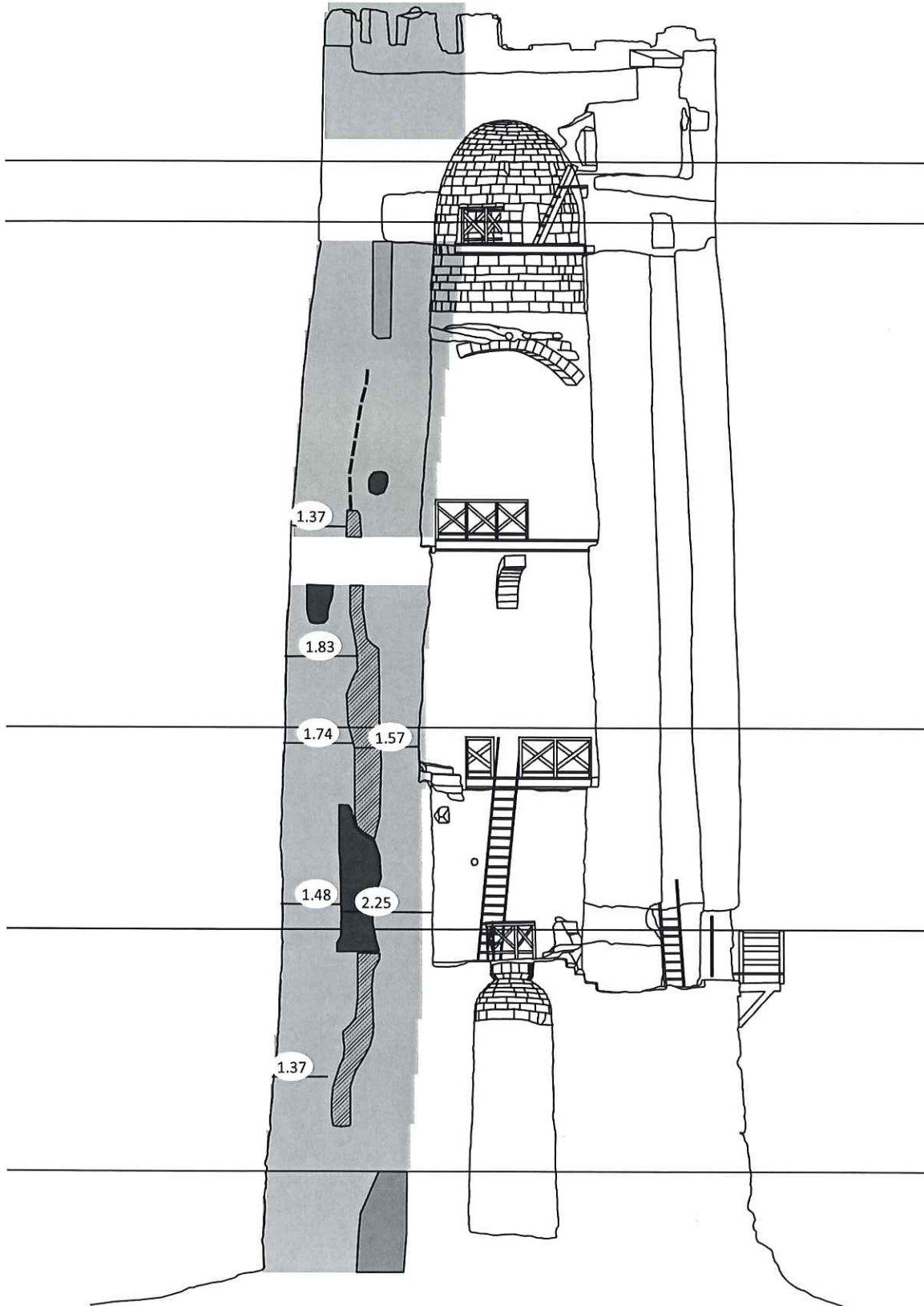


100

100

550

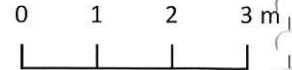
550



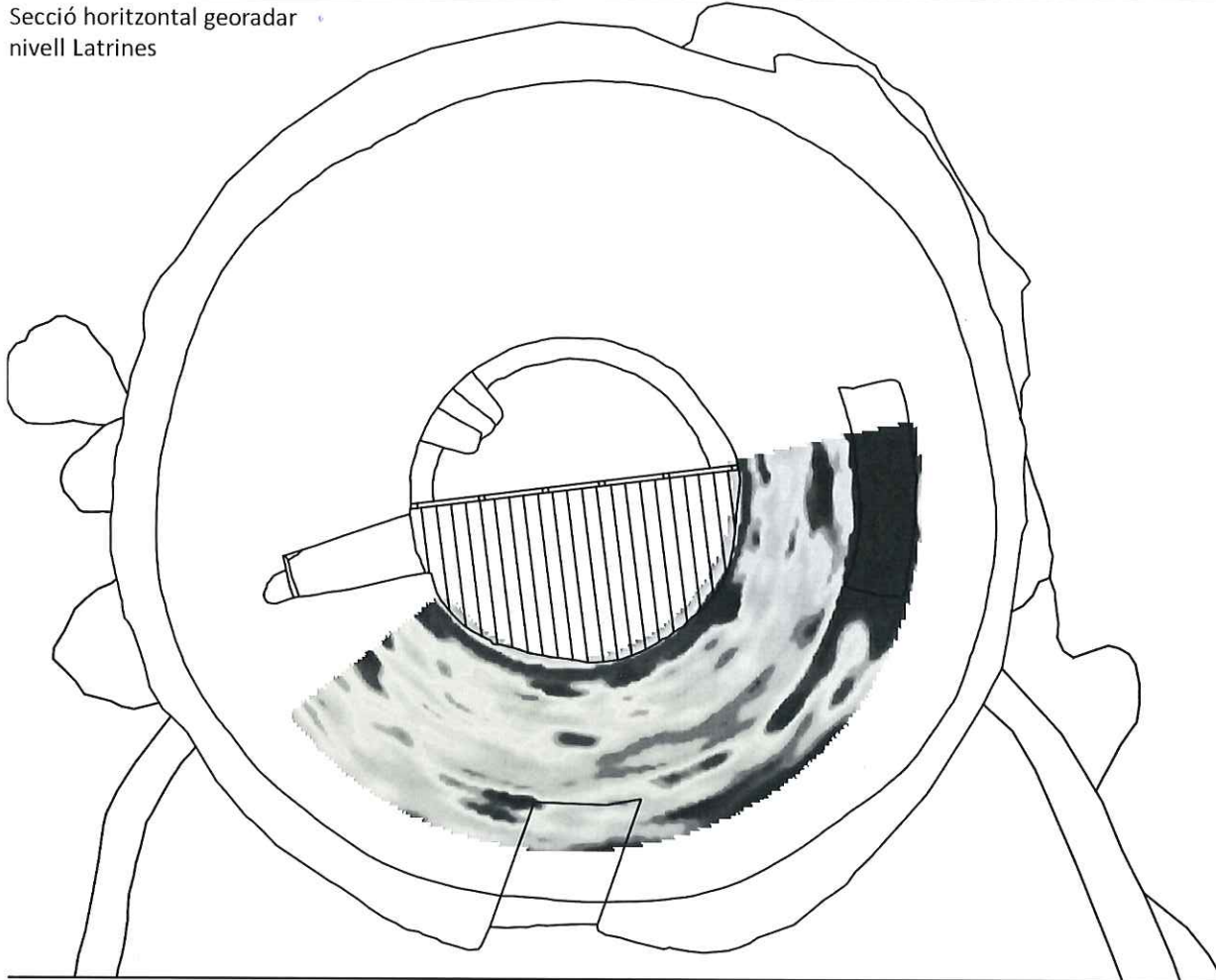
Llegenda

- linies_interp
- Interfase
- Irregularitat
- interp_polig
- Interfase
- Irregularitat
- Base torre
- Cavitat

100



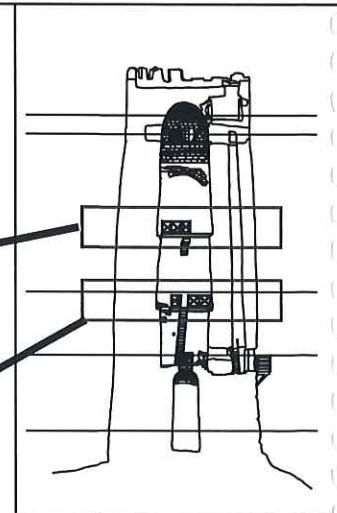
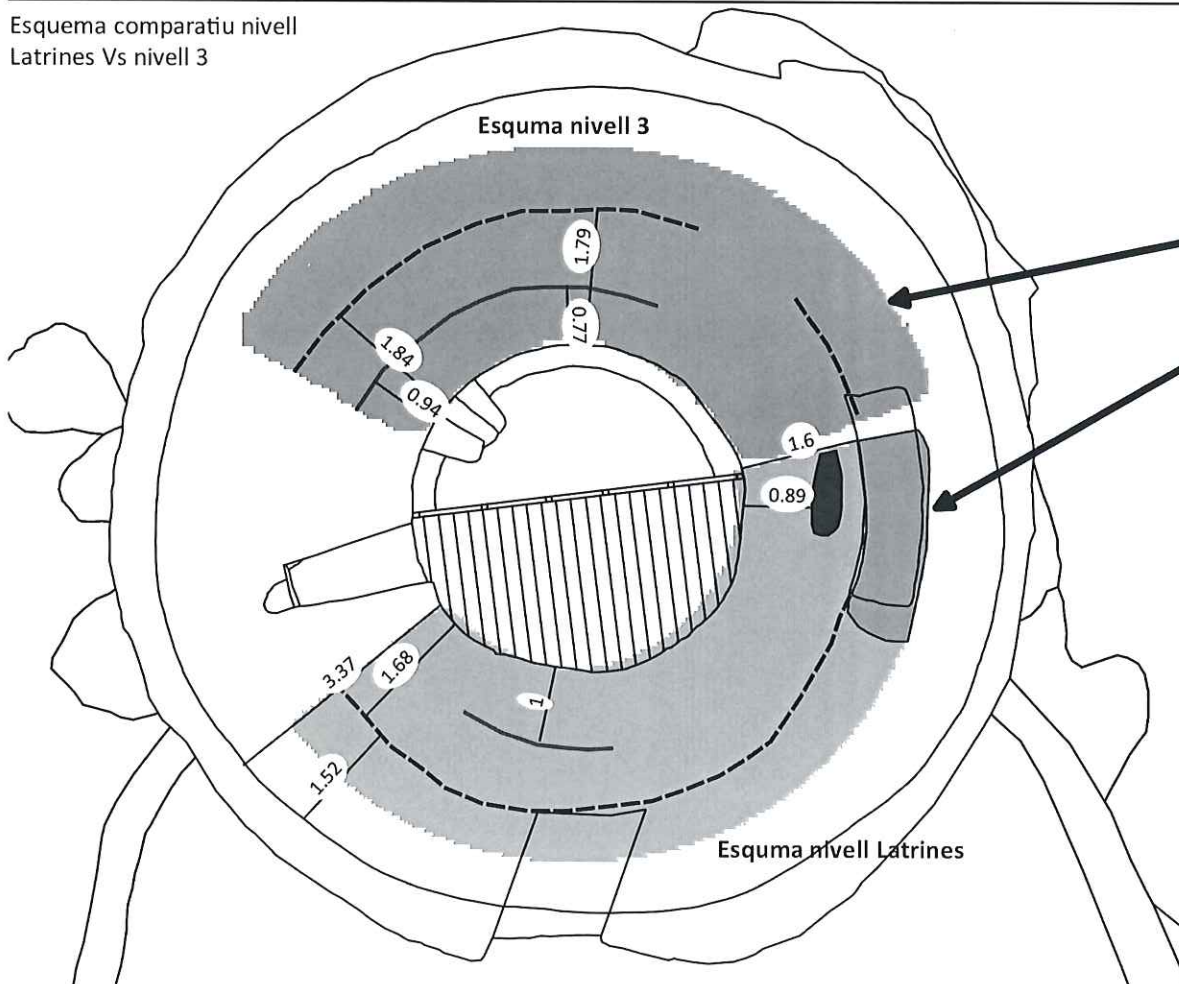
Secció horitzontal georadar
 nivell Latrines



Reflectivitat

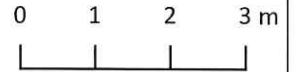
0.000000
541.666667
1083.333333
1625.000000
2166.666667
2708.333333
3250.000000
3791.666667
4333.333333
4875.000000
5416.666667
5958.333333
6500.000000
7041.666667
7583.333333
8125.000000
8666.666667
9208.333333
9750.000000
10291.666667
10833.333333
11375.000000
11916.666667
12458.333333
13000.000000

Esquema comparatiu nivell
 Latrines Vs nivell 3

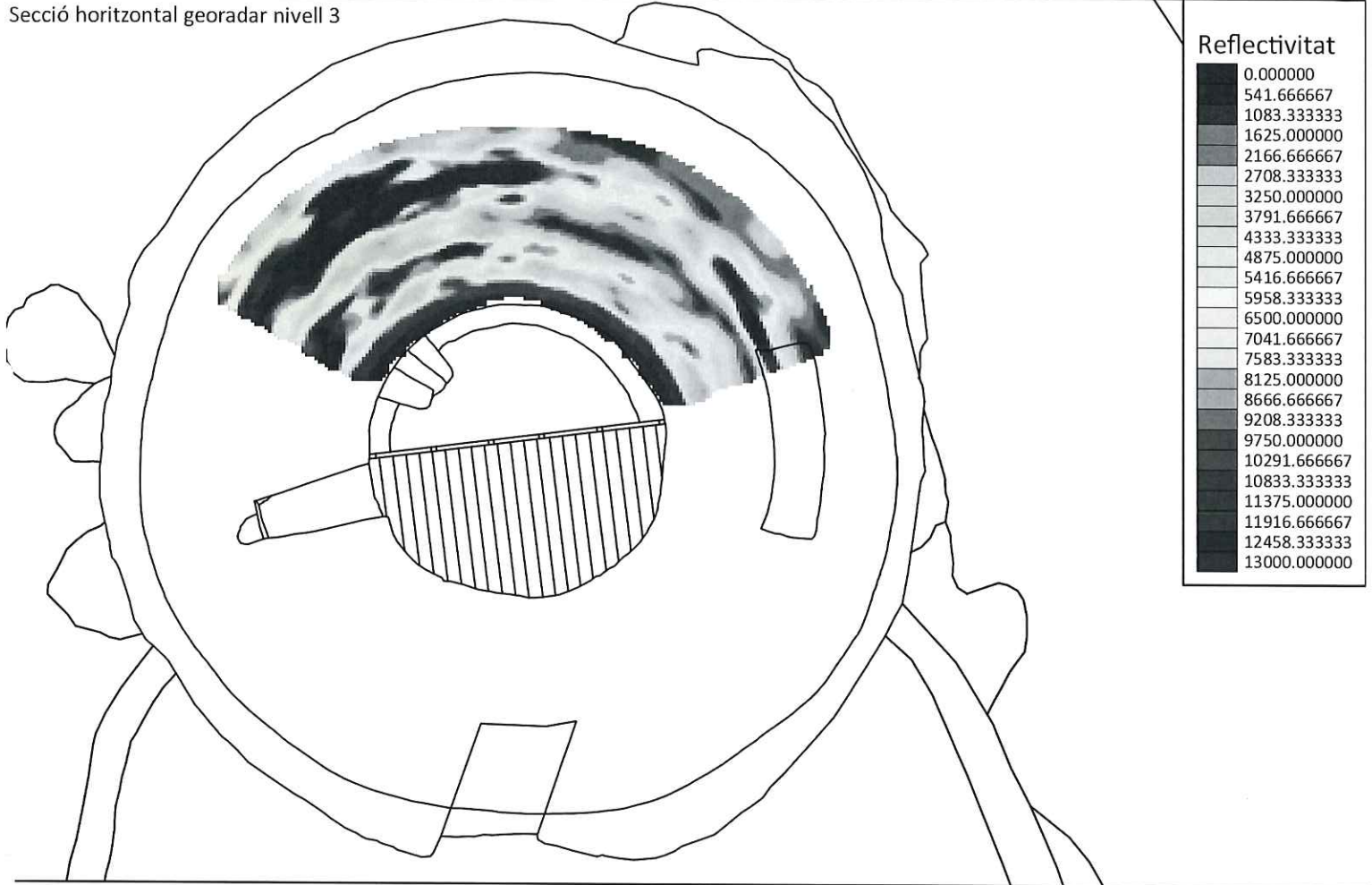


Llegenda

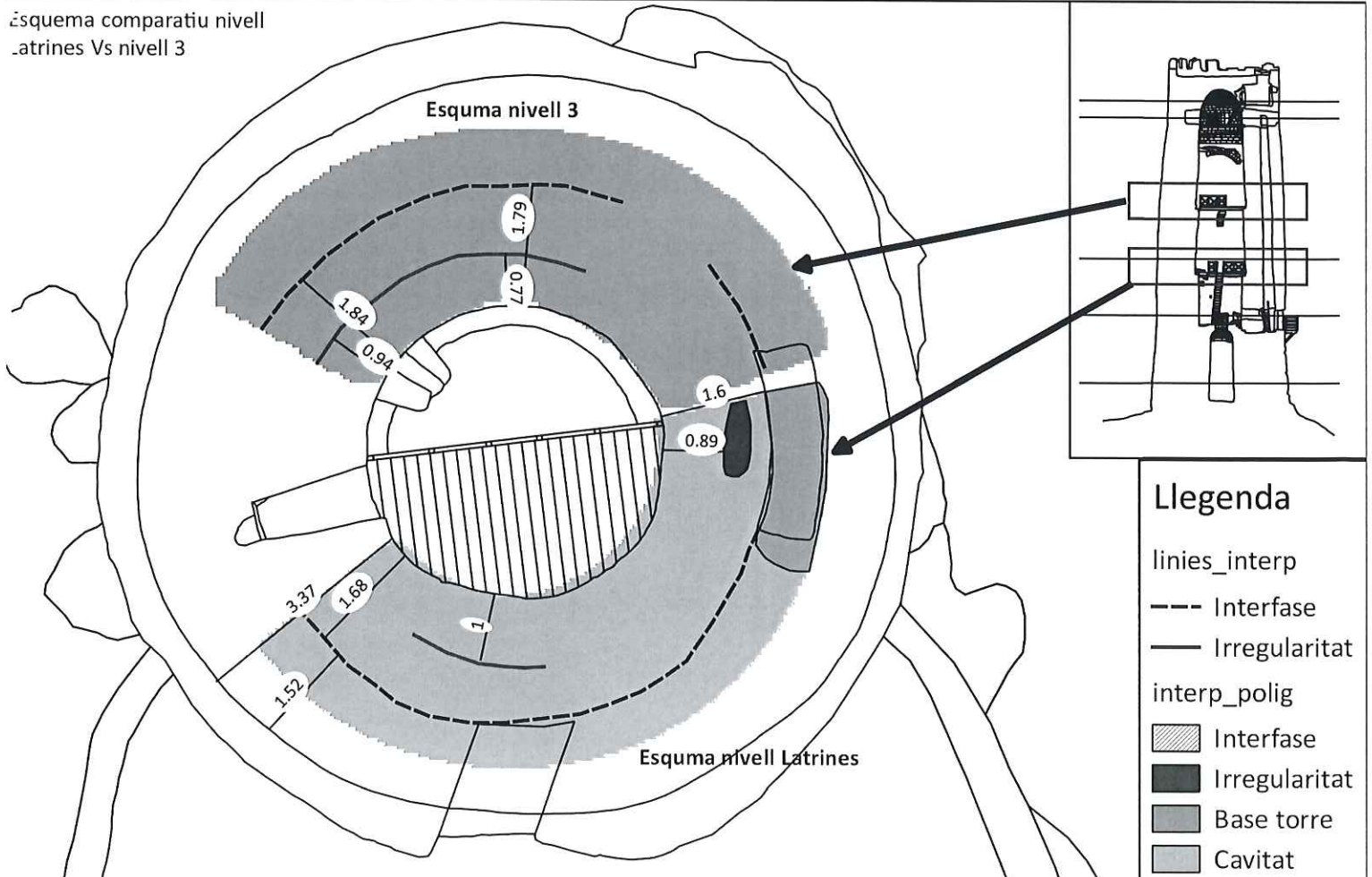
- linies_interp
- Interfase
- Irregularitat
- interp_polig
- Interfase
- Irregularitat
- Base torre
- Cavitat



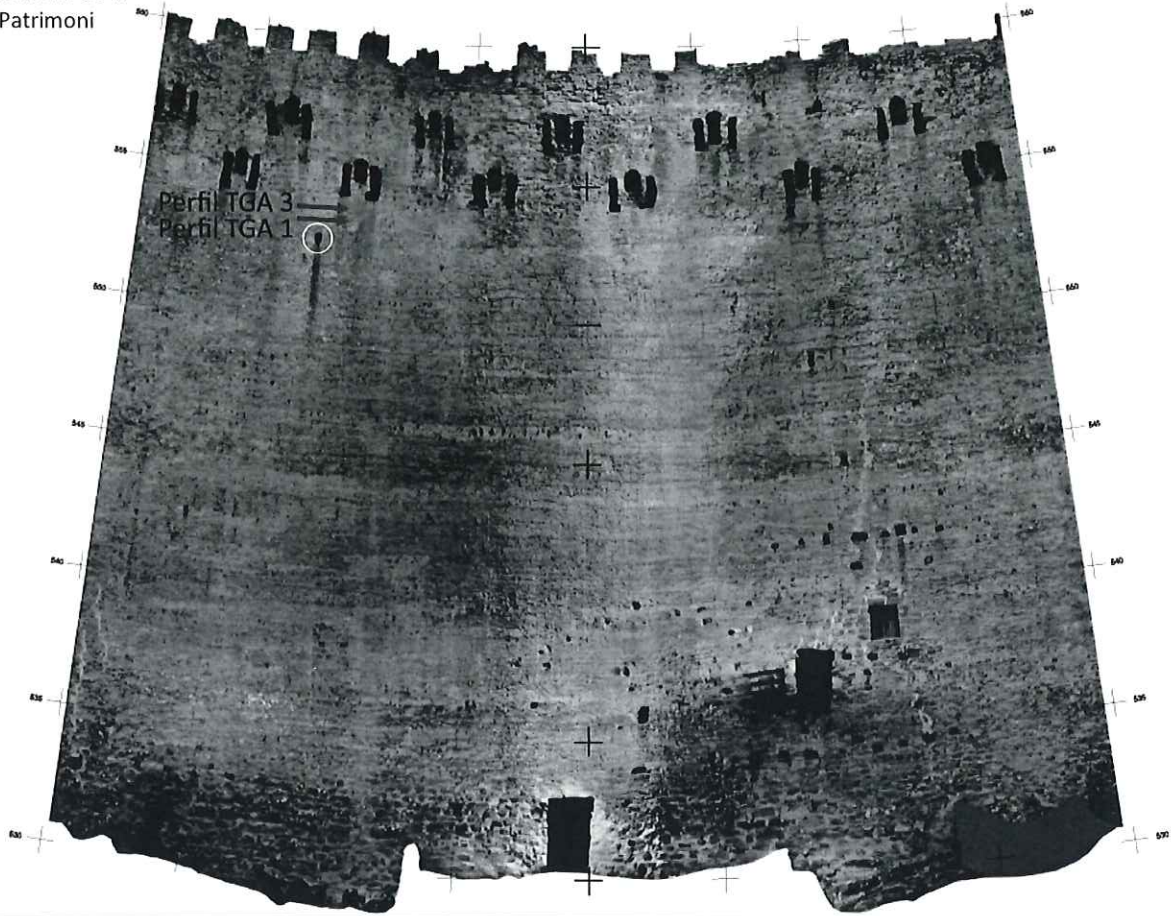
Secció horitzontal georadar nivell 3



Esquema comparatiu nivell
 Latrines Vs nivell 3

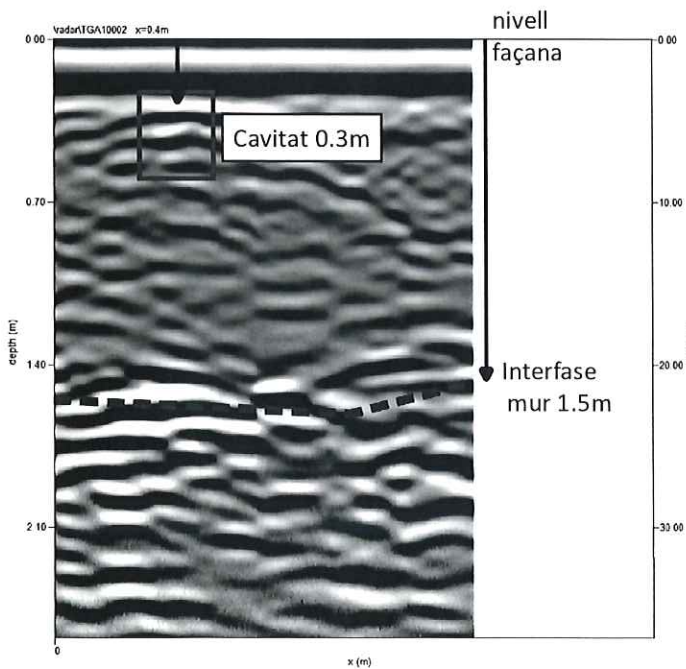


Aixecament fotogramètric de la façana. (Servei de Patrimoni Arquitectònic)



Perfils simples georadar

Perfil TGA 1



Perfil TGA 3

