



Escola Politècnica Superior  
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# **GRAU EN ENGINYERIA GEOMÀTICA I TOPOGRAFIA**

## **TREBALL DE FI DE GRAU**

### **ESTUDI COMPARATIU DE TÈCNiques PER L'OBTENCIÓ DE MODELS 3D MITJANÇANT PLATAFORMES UAV**

**Projectista/es:** Albert Massó Prat

**Director/s:** Eduard Angelats Company

M<sup>a</sup> Amparo Núñez Andrés

**Convocatòria:** Setembre 2016



## Resum

En el present projecte es realitza un control de la qualitat de diferents núvols de punts generats per fotogrametria, utilitzant el programari fotogramètric Agisoft Photoscan, a partir d'imatges preses amb UAV.

La zona de treball i estudi ha estat el DronLab, que es un espai especialment dissenyat per al vol de UAVs, situat al Campus del Baix Llobregat de la UPC.

En aquest projecte s'estudien dues tècniques diferents pel control de qualitat. La primera, a nivell puntual, basada en punts de suport mesurats sobre l'objecte a modelar. I la segona, utilitzant un núvol de punts de referència obtingut per làser escàner.

En el present projecte s'explica quina ha estat la seqüència de passos per a generar aquests núvols de punts i per realitzar el control de qualitat.

## Índex de contingut

1	Introducció .....	5
2	Estat de la literatura .....	6
3	Característiques de la zona d'estudi .....	7
4	Equip utilitzat .....	9
4.1	Equip de camp.....	9
4.2	Equip de gabinet.....	12
5	Metodologia .....	13
6	Planificació .....	14
6.1	Aixecament per làser escàner.....	14
6.2	Punts de control i punts de suport.....	16
6.2.1	Mesura dels punts .....	16
6.2.2	Quantitat i distribució .....	16
6.3	Pla de vol.....	19
6.4	Tractament de les gravacions .....	22
6.5	Calibratge geomètric de la càmera .....	23
7	Processat.....	25
7.1	Selecció de punts de suport i control dins el programari fotogramètric.....	26
7.2	Mètodes de processat:.....	28
7.3	Control de la qualitat.....	29
8	Resultats.....	30
8.1	Anàlisi a partir d'una sèrie de punts de suport .....	31
8.1.1	Anàlisi per blocs.....	31
8.1.2	Anàlisi conjunt .....	34
8.1.3	Comparativa .....	37
8.2	Anàlisi a partir d'un núvol de punts de referència.....	39
8.2.1	Anàlisi per blocs.....	39
8.2.2	Anàlisi conjunt .....	39
9	Conclusions .....	40
10	Bibliografia .....	42
11	Agraïments.....	43
12	ANNEX: Resultats de l'anàlisi a partir d'un núvol de punts de referència .....	44
12.1	Anàlisi per blocs.....	45
12.2	Anàlisi conjunt.....	54

## Índex de figures

Figura 1 Ubicació DronLab. Font: ICGC.....	7
Figura 2 Espai DronLab. ....	7
Figura 3 DJI Phantom 3. ....	9
Figura 4 GoPro Hero3.....	9
Figura 5 Exemple de distorsió provocada per la lent. Font: info.photodeler.com.....	10
Figura 6 Làser escàner GLS-2000. ....	10
Figura 7 Camp de calibratge del CTTC.....	11
Figura 8 Posicions escaneig. ....	14
Figura 9 Núvol de punts obtingut amb el làser escàner.....	15
Figura 10 Distribució dels punts mesurats a la façana A. ....	17
Figura 11 Distribució dels punts mesurats a la façana B. ....	17
Figura 12 Distribució dels punts mesurats a la façana C. ....	18
Figura 13 Pla de vol. ....	19
Figura 14 Orientació del sensor. ....	20
Figura 15 Esquema passades. ....	21
Figura 16 Imatge abans d'aplicar la correcció. ....	22
Figura 17 Imatge després d'aplicar la correcció. ....	22
Figura 18 Camp de calibratge.....	23
Figura 19 Esquema calibratge ....	23
Figura 20 Punts de suport a la façana A. ....	26
Figura 21 Punts de suport a la façana B. ....	27
Figura 22 Punts de suport a la façana C. ....	27
Figura 23 Exemple de núvol de punts.....	30
Figura 24 Diferència entre núvol de punts de referència i fotogramètric, en la façana A (anàlisi per blocs).....	31
Figura 25 Diferència entre núvol de punts de referència i fotogramètric, en la façana B (anàlisi per blocs).....	32
Figura 26 Diferència entre núvol de punts de referència i fotogramètric, en la façana C (anàlisi per blocs).....	32
Figura 27 Diferència entre núvol de punts de referència i fotogramètric, en la façana A (anàlisi conjunt).....	34
Figura 28 Diferència entre núvol de punts de referència i fotogramètric, en la façana B (anàlisi conjunt).....	35
Figura 29 Diferència entre núvol de punts de referència i fotogramètric, en la façana C (anàlisi conjunt).....	36

---

Figura 30 Diferències per la façana A. ....	37
Figura 31 Diferències per la façana B. ....	37
Figura 32 Diferències per la façana C. ....	38
Figura 33 Façana A, núvol de punts sense calibratge. ....	45
Figura 34 Façana A, núvol de punts amb calibratge automàtic. ....	46
Figura 35 Façana A, núvol de punts amb calibratge. ....	47
Figura 36 Façana B, núvol de punts sense calibratge. ....	48
Figura 37 Façana B, núvol de punts amb calibratge automàtic. ....	49
Figura 38 Façana B, núvol de punts amb calibratge. ....	50
Figura 39 Façana C, núvol de punts sense calibratge. ....	51
Figura 40 Façana C, núvol de punts amb calibratge automàtic. ....	52
Figura 41 Façana C, núvol de punts amb calibratge. ....	53
Figura 42 Façana A (Conjunt), núvol de punts sense calibratge. ....	54
Figura 43 Façana A (Conjunt), núvol de punts amb calibratge automàtic. ....	55
Figura 44 Façana A (Conjunt), núvol de punts amb calibratge. ....	56
Figura 45 Façana B (Conjunt), núvol de punts sense calibratge. ....	57
Figura 46 Façana B (Conjunt), núvol de punts amb calibratge automàtic. ....	58
Figura 47 Façana B (Conjunt), núvol de punts amb calibratge. ....	59
Figura 48 Façana C (Conjunt), núvol de punts sense calibratge. ....	60
Figura 49 Façana C (Conjunt), núvol de punts amb calibratge automàtic. ....	61
Figura 50 Façana C (Conjunt), núvol de punts amb calibratge. ....	62

## Índex de Taules

Taula 1 Valors del calibratge. ....	24
Taula 2 Valors estadístics de les diferències. ....	38
Taula 3 Anàlisi per blocs. ....	39
Taula 4 Anàlisi conjunt. ....	39

# 1 Introducció

Actualment es tenen a l'opció de l'usuari moltes eines per a la generació de núvols de punts, en trobem d'open-source com Bundler, Apero-Micmac o VisualSFM, i d'altres més potents però comercials com Pix4D i Agisoft Photoscan. Tots aquests programes tenen en comú que parteixen d'imatges, ja siguin des de terra, en avió o Unmanned Aerial Vehicle (UAV) per generar núvols de punts.

El present projecte ve motivat per la dificultat de tenir un indicador de la qualitat dels núvols de punts generats a partir de seqüències d'imatges. Els programaris actuals, tant comercials com open-source, no ofereixen un valor que reflecteixi la qualitat del conjunt de núvols de punts generats.

Per tant, a l'hora de generar un núvol de punts, ens hem de conformar amb els residus calculats per cada punt de control que haguem utilitzat. Però en cap cas podrem estimar si hi ha deformacions en el núvol de punts, si no es troben properes a aquests punts de control.

El projecte també ve motivat per l'ús, cada vegada més freqüent, de UAVs amb càmera integrada, donat que els preus són més assequibles que fa uns anys quan era una barrera per al seu ús. La seva utilització augmenta les possibilitats a l'hora de prendre imatges i evitar en molts casos oclusions inevitables en la fotogrametria terrestre, i per altra banda el fet de tenir imatges a diferents alçades ens pot ajudar a fer un model 3D en aquells edificis que no es pugui tenir accés.

Basant-nos en els paràgrafs anteriors, el projecte té com a objectiu la realització d'un model 3D a partir de seqüències d'imatges preses amb UAV, i a la vegada fer un control de qualitat del núvol de punts fotogramètric aconseguit. El projecte inclou un estudi sobre quina és la millor distribució dels punts de suport i de control, el pla de vol, el calibratge de la càmera, i un control de qualitat final dels núvols de punts generats.

S'ha dut a terme un control de qualitat dels núvols de punts fent servir dues estratègies diferents:

- Anàlisi a partir d'una sèrie de punts de suport.
- Anàlisi a partir d'un núvol de punts de referència, obtingut amb làser escàner terrestre, que sabem que es geomètricament molt precís.

## 2 Estat de la literatura

Actualment trobem diversos programaris fotogramètrics tant open-source com comercials que generen núvols de punt a partir de seqüències d'imatges. En aquest primer apartat es dona una visió general de diferents programes i les seves principals característiques.

Insight3d [9], calcula posicions i orientacions de les fotos i els paràmetres de calibratge de la càmera, crea un núvol de punts dispers i permet crear models 3D amb textures. VisualSFM [10], té el mateix flux de treball que el Insight3d, però en aquest cas disposa d'una eina per crear núvols de punts densos i permet importar i exportar punts homòlegs entre imatges, no disposa però de eines per generar una malla ni una textura. Bundler pren un conjunt d'imatges, característiques de les imatges, i punts homòlegs entre imatges com a entrada i produeix una reconstrucció 3D de la càmera i la geometria de l'escena com a sortida [11]. Apero-Micmac [12] és una col·lecció d'eines dissenyada per treballar sobre elements pràcticament plans, com en la fotogrametria aèria, i destaca per la densitat dels núvols de punts que genera.

Un cop vists els programes open-source, trobem els programes comercials com Agisoft Photoscan [8], que ha sigut el programa emprat en el projecte, que treballa a partir de seqüències d'imatges, permet introduir el calibratge de la càmera i punts de control, i permet extreure núvols de punts densos, models 3D, textures i ortoimatges, alhora que permet fer edicions en tots ells. Per altra banda, dins dels més utilitzats, trobem també el Pix4D [13] que és un programa més orientat al tractament de dades obtingudes per UAV. Amb unes característiques i inputs/outputs similars al Photoscan, permet amés extreure models digitals del terreny i mapes de vegetació.

Pel que fa als treballs relacionats amb el control de la qualitat en núvols de punts o models 3D, en l'estudi "*Evaluation of DEM generation accuracy from UAS imagery*" [16] es fa una comparació entre dos models digitals d'elevació obtinguts a partir de dos vols en UAV a diferents alçades, aquesta comprovació es fa a partir de punts de control sobre el terreny. En "*Accuracy assessment in SFM 3D reconstruction from UAV-born images: the influence of the data processing methods*" [17] comparen models generats amb UAV variant la distribució i nombre de punts de control, amb un aixecament amb làser escàner. L'article "*UAV for 3D mapping applications: a review*" [18] presenta una visió general dels sistemes UAV existents, problemes i aplicacions, amb especial atenció al camp de la geomàtica. En particular es presenta la seqüència necessària per adquirir i processar imatges de UAV així com tècniques de calibratge i orientació d'imatges i de reconstrucció de superfícies.



### 3 Característiques de la zona d'estudi

La zona d'estudi on s'han dut a terme les proves i mesures és el DronLab situat al Campus del Baix Llobregat (CBL) de la UPC, entre dos dels edificis de la Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels (Figura 1).

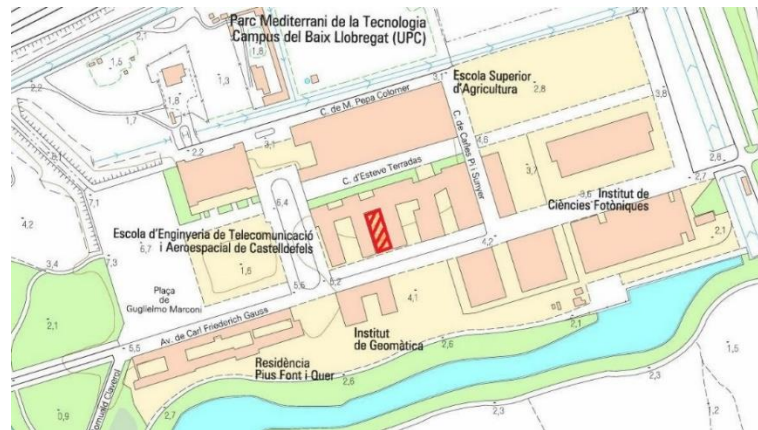


Figura 1 Ubicació DronLab. Font: ICGC.

És un espai construït entre tres de les façanes dels edificis d'aules. Les dues façanes principals estant enfrontades una davant de l'altre i compten amb quatre plantes cada una. La façana secundària és la més curta i uneix ortogonalment les dues anteriors, amb una alçada de dues plantes. La resta del recinte està tancat per una xarxa (Figura 2).



Figura 2 Espai DronLab.

Aquest espai té unes particularitats que han estat indispensables per dur a terme el projecte. La primera i més clara és que és un espai destinat a fer volar UAVs en el seu interior, el que ha permès prendre imatges des de punts de vista diferents. D'altra banda al pertànyer al CBL, se'ns ha permès l'accés de manera gratuïta.

Hi ha hagut però aspectes del recinte que han presentat dificultats en l'execució del treball. Al ser un espai estret no s'ha pogut fer ús d'una estació total per la mesura de punts de control i suport, ja que els elements més elevats de les façanes no eren visibles per l'instrument. Tampoc hi havia bona cobertura GPS fet que ha comportat un vol manual del UAV i la impossibilitat de tenir posicions i orientacions inicials de les imatges.

Per altra banda, com a part més negativa, és un edifici amb estructures repetitives fet que dona dificultats alhora de trobar punts homòlegs entre fotografies, i també compta amb elements sortints que alteren la continuïtat del núvol de punts ja que produeixen ombres.

## 4 Equip utilitzat

### 4.1 Equip de camp

El següent material és el que s'ha utilitzat per la realització de mesures i per l'obtenció d'imatges. La tria d'aquest material s'ha fet basant-se en les característiques del recinte.

#### DJI Phantom 3

El Phantom 3 (Figura 3) de la casa DJI és un UAV multirotor que destaca per ser petit, lleuger i àgil, elements molt útils quan el vol es realitza a l'interior d'edificis o en recintes petits i tancats. L'UAV incorpora un gimbal que permet estabilitzar les imatges o vídeo, i modificar l'orientació de la càmera. [1]



Figura 3 DJI Phantom 3.

#### GoPro Hero3

La càmera GoPro Hero3 (Figura 4) era òptima per equipar-la en un UAV de les característiques del DJI Phantom per la seva mida i pes. Permet l'adquisició d'imatges de 10 MP i la gravació de vídeos a 50 fps amb una resolució de 1080p. [2]



Figura 4 GoPro Hero3.

La lent d'ull de peix de la GoPro fa que les imatges tinguin un camp de visió, field of view o FOV en anglès, molt gran, però per altra banda tenen una component de distorsió radial molt elevada (Figura 5).



Figura 5 Exemple de distorsió provocada per la lent. Font: info.photomodeler.com

### GLS-2000

La sèrie GLS-2000 d'escàners de l'empresa Topcon Positioning (Figura 6) està format per 3 models d'escàner per treballs des de curt fins a llarg abast. Són models lleugers amb capacitat d'escaneig de 360° amb imatges incloses.

El làser escàner permet generar un núvol de punts molt dens a partir d'una sèrie de posicions pre-determinades. La densitat i la quantitat de punts depèn de la velocitat de rotació del escàner, que va lligat amb el temps d'adquisició. [3]



Figura 6 Làser escàner GLS-2000.

### Camp de calibratge

El camp de calibratge del CTTC està instal·lat en una paret i té unes dimensions de 5 x 2.7 m (amplada i alçada). Inclou 34 dianes codificades (ARTag targets) i 56 creus (Figura 7), amb les seves coordenades perfectament conegudes. S'ha utilitzat en el projecte per a poder obtenir els paràmetres de calibratge de la càmera GoPro.

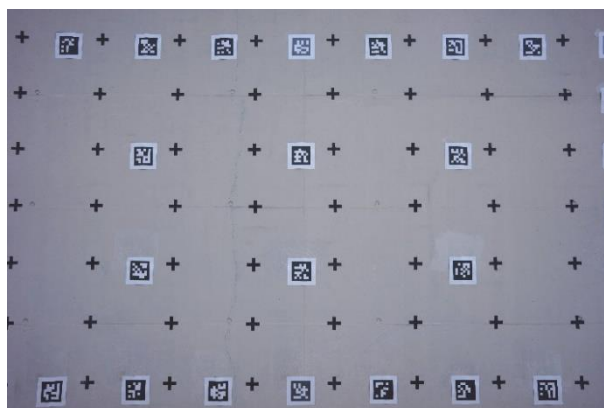


Figura 7 Camp de calibratge del CTTC.

## **4.2 Equip de gabinet**

L'equip de gabinet està format íntegrament pel programari utilitzat, s'ha intentat utilitzar el màxim de eines de codi lliure o d'ús gratuït possible. Tot i que sovint aquestes eines no són tant àgils i potents com les comercials, tenen un codi i uns algoritmes de funcionament accessibles per a l'usuari.

### **Mission Planner**

El Mission Planner és un programari de codi lliure dissenyat tant per realitzar plans de vol com per monitoritzar vehicles autònoms. En el projecte s'ha utilitzat per definir el pla de vol per a l'UAV. [4]

### **VLC media player**

El VLC media player és un reproductor gratuït i de codi obert desenvolupat per VideoLAN. En el projecte s'ha utilitzat per extreure frames de vídeos. [5]

### **GoPro Studio**

GoPro Studio és un programa gratuït per descarregar i editar imatges i vídeos de càmeres GoPro. En el projecte s'ha utilitzat per eliminar les distorsions provocades per la lent de la càmera GoPro. [6]

### **CloudCompare**

CloudCompare és un programari gratuït de processament de núvols de punts 3D. Està pensat principalment per editar, manipular i comparar dos núvols de punts, o un núvol de punts i una malla triangular. En el projecte s'ha utilitzat per fer les comparacions entre els núvols de punt obtinguts per làser escàner i els obtinguts a partir d'imatges. [7]

### **Agisoft PhotoScan**

Agisoft PhotoScan és un programari comercial per a la generació de núvols de punts i models 3D a partir d'imatges. Les fotos poden ser preses des de qualsevol posició, sempre que l'objecte a ser reconstruït sigui visible en almenys dues imatges. Tant l'alineació de la imatge com la reconstrucció del model 3D estan completament automatitzats. En el projecte s'ha utilitzat per generar els núvol de punts del DronLab, per calibrar la càmera i per analitzar les deformacions del núvol de punts en els punts de suport. [8]

## 5 Metodologia

Per aconseguir l'objectiu de realitzar un control de qualitat en els núvols de punts, el flux de treball a seguir el següent ordre:

1. Campanya topogràfica, consistent en els treballs de:
  - a. Aixecament amb làser escàner del recinte.
  - b. Mesura i selecció dels punts de control i suport.
2. Planificació del vol del UAV, consistent en els treballs de:
  - a. Disseny del pla de vol.
  - b. Execució del vol, on es realitzen gravacions de vídeo.
  - c. Pre-processat de les imatges, on es corregeixen les deformacions de la lent i s'extreuen els frames dels vídeos.
3. Calibratge de la càmera.
4. Processat per l'obtenció dels núvols punts.
  - a. Utilitzant o no el calibratge de la càmera.
5. Anàlisi i control de qualitat:
  - a. A nivell de punts de suport.
  - b. A nivell de núvol de punts, comparant-ho amb el làser escàner.

En els següents apartats es mostren de manera detallada tots els punts introduïts.

## 6 Planificació

### 6.1 Aixecament per làser escàner

L'adquisició del núvol de punts amb làser escàner la va du a terme l'empresa Topcon Positioning utilitzant un dels seus escàners GLS-2000. Van realitzar quatre escaneigs des de quatre posicions diferents (Figura 8) per aconseguir un núvol de punts amb el mínim d'ombres possible.

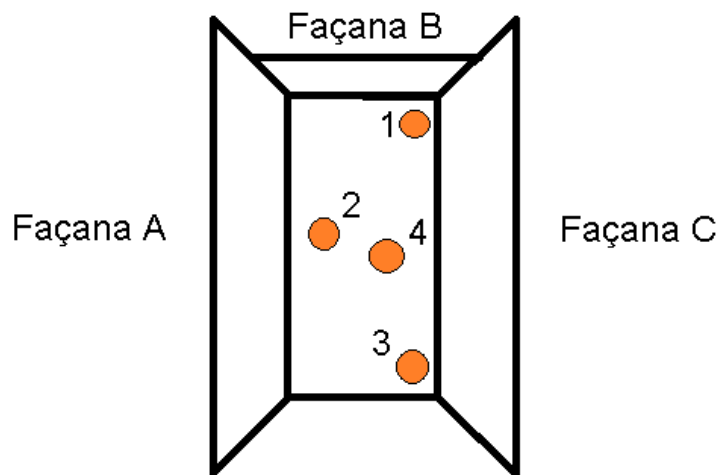


Figura 8 Posicions escaneig.

Es van configurar els escaneigs amb una resolució de 6,3 mm entre punts a 10 metres, i es van recollir també els valors RGB per a cada punt ja que el làser escàner incorpora una càmera. El temps de cada escaneig va ser de 13 minuts i 50 segons, per a cada un dels llocs.

Des de la primera posició d'escaneig es treballava a una distància de 3,5 metres a les façanes B i C, i 11 metres a la façana A. Des de la segona posició es treballava a una distància de 4 metres a la façana A, 13 metres a la façana B i 11 metres a la façana C. En la tercera posició la distància a la façana A era de 12 metres, 24 metres a la B i 3 metres a la C. I per l'últim escaneig, la distància a A era de 8,5 metres, 14 metres a la B i 6,5 metres a la C.

Topcon Positioning va realitzar també el bolcat de dades de l'aparell, va unir els quatre núvols de punts i va realitzar el primer filtratge del núvol de punts per eliminar les zones més allunyades.



Per segmentar el núvol de punts en façanes, per poder fer la comparació entre façanes i la identificació dels punts de suport i control, es va utilitzar el programa CloudCompare [7].



Figura 9 Núvol de punts obtingut amb el làser escàner.

A la Figura 9 es pot veure el núvol de punts obtingut amb làser escàner després de fer-li un filtratge. El núvol de punts subministrat per Topcon té 44.000.000 punts i un cop filtrat es redueix fins als 39.900.000 punts.

En la imatge es pot apreciar com a la façana de l'esquerre hi ha unes franges sense punts, això es causat per els elements que sobresurten de la façana per sobre i per sota les finestres.

## **6.2 Punts de control i punts de suport**

### **6.2.1 Mesura dels punts**

Per a obtenir coordenades dels punts sobre les façanes, originalment es va creure que la manera més òptima era utilitzant una estació total. Però després de fer dues visites a camp amb l'instrumental, es va veure que degut a que el recinte és estret i alt no es podien realitzar mesures de la part superior de les façanes, i que estacionant fora del recinte l'arbrat del carrer no permetia tenir bona visibilitat.

A causa d'aquestes particularitats del recinte i a que es volia fer un anàlisi dels resultats comparat amb el núvol de punts obtingut mitjançant làser escàner, es va veure més ideal seleccionar els punts de control i suport en base a punts identificats en el làser escàner, ja que té molta resolució.

### **6.2.2 Quantitat i distribució**

La quantitat de punts és un paràmetre que està lligat a la dimensió del projecte, en el present cas per les mides de les façanes i la quantitat d'elements diferenciables entre ells, s'han mesurat 31 punts.

Pel que fa a la distribució, per la forma i geometria de les façanes, s'ha buscat una distribució regular de punts tot intentant abastar tota la superfície fins als marges del recinte. Una distribució d'aquest estil pretén evitar que les deformacions que pugui patir el model resultant, siguin causades per una distància alta entre punts de suport.

En el cas de la façana A i com veiem en la Figura 10 la distribució de punts segueix el patró regular de l'edifici, tot aprofitant els elements arquitectònics sortints. En aquest cas s'han optat per 11 punts que eren fàcilment identificables en el núvol de punts de làser escàner i en les imatges. La distància aproximada entre punts oscil·la de 4 a 8 metres.



Figura 10 Distribució dels punts mesurats a la façana A.

Per la façana intermèdia s'han mesurat 8 punts seguint la mateixa metodologia (Figura 11), degut a la seva semblança, que en la primera façana, obtenint una distància mitjana aproximada entre punts de 3 a 8 metres.



Figura 11 Distribució dels punts mesurats a la façana B.

En el cas de la façana C, la última (Figura 12), la distribució de 12 punts no ha quedat tant regular com en els casos anteriors ja que no hi havia elements arquitectònics que destaquessin i fossin identificables en el núvol de punts i en les imatges.

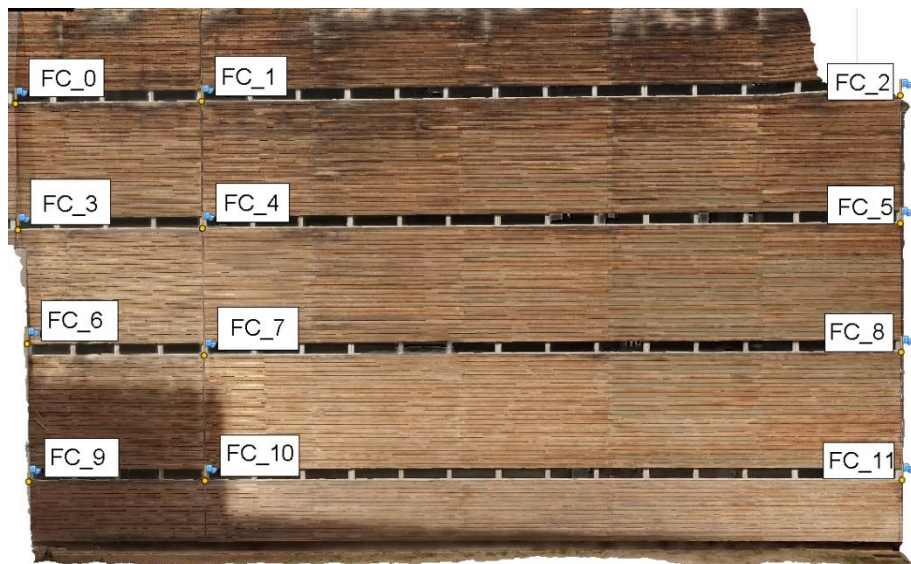


Figura 12 Distribució dels punts mesurats a la façana C.

Aquesta problemàtica queda compensada però pel fet que el tramat de la façana no és tant regular com en les altres façanes, que són bàsicament murs de formigó llisos i finestres, i no dóna tants problemes al programa per trobar punts homòlegs entre imatges.

### 6.3 Pla de vol

El pla de vol es va traçar amb l'objectiu de cobrir les façanes des del màxim de punts de vista possibles per així evitar tenir oclusions, i tenir una continuïtat en el núvol de punts. Es buscava també reduir el temps de vol al mínim ja que així les ombres provocades pels edificis i el sol, no canviessin significativament des de l'inici del vol fins al final.

La missió es va definir utilitzant el programari Mission Planner (Figura 13), per així poder explicar al pilot els passos a dur a terme en el vol.

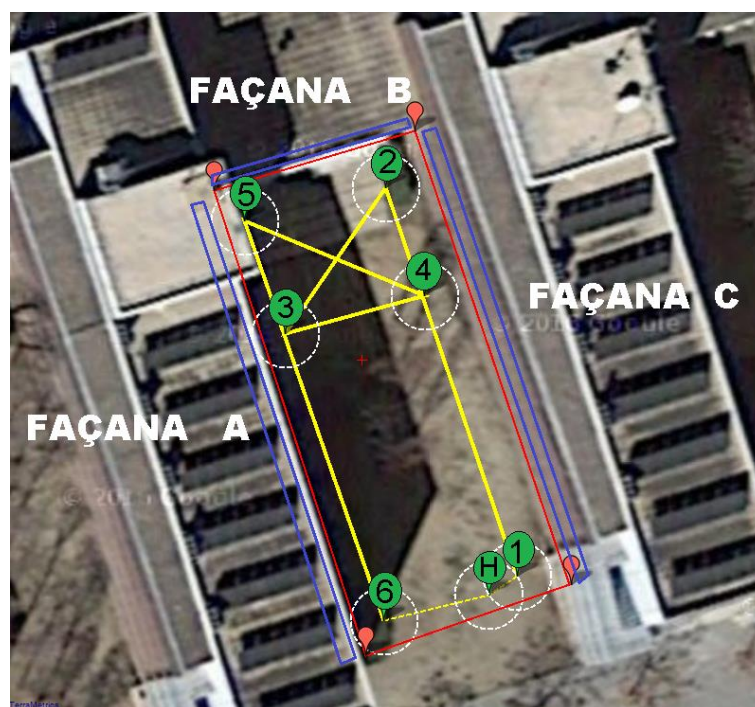


Figura 13 Pla de vol.

A simple vista sembla que els trams 2\_3 i 4\_5 es poden obviar ja que seguint els plans de vol clàssics, només recorrent de manera paral·lela cada façana ja podríem obtenir el núvol de punts complet, però es va observar que al programari fotogramètric li era més difícil trobar punts homòlegs entre dues façanes si se seguia l'esquema clàssic. Es va decidir doncs realitzar unes passades supletòries que afegissin informació sobre les zones d'unió entre façanes, i poder així realitzar el modelat de les tres façanes alhora.

Originalment l'UAV havia de seguir el pla de vol de la imatge partint del punt 1 i acabant al 6 sense variar la seva alçada, i realitzar aquest vol en 3 alçades diferents.

Com que l'UAV portava un gimbal, permetia jugar amb l'orientació de la càmera durant el vol. Per al tram comprès entre el punts de pas 1 i 2, la càmera de l'UAV havia d'estar orientada a la façana A; per procedir al tram de 2 a 3 havia de fer un gir en sentit horari de

45°; per al tram 3\_4 havia de fer altre cop el mateix gir, per orientar el sensor perpendicularment a la façana B, i seguir aquest patró per acabar el tram 5\_6 orientat a la façana C.

A la Figura 14 es pot veure com les fletxes vermelles indiquen la orientació de la càmera per a cada tram.

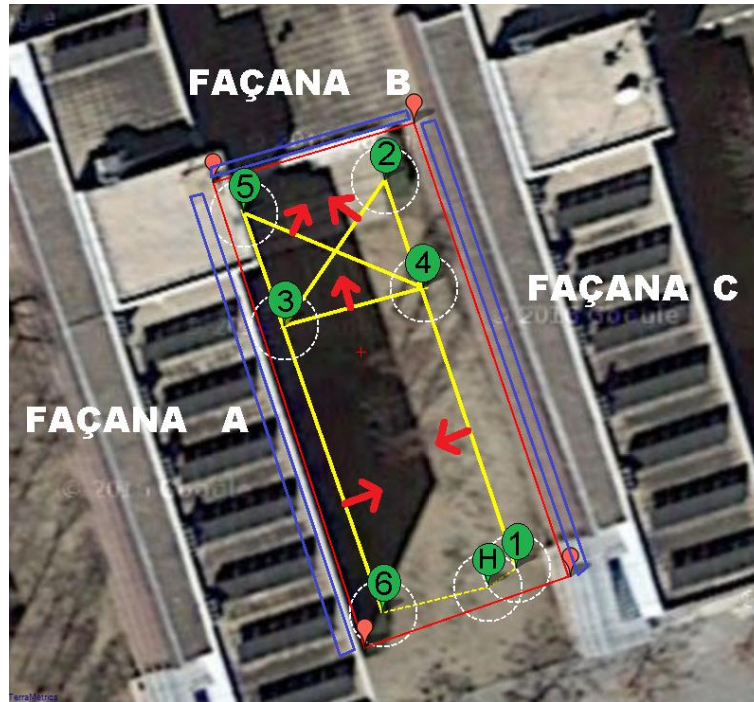


Figura 14 Orientació del sensor.

Malauradament aquest espai es troba en una zona on es produeixen ràfegues constants de vent, especialment a les tardes, que desestabilitzaven l'UAV i afectaven la presa d'imatges.

Degut a això, finalment es va mantenir el traçat i la orientació de la càmera però es va alterar la continuïtat del vol. El traçat ja no es repetia a 3 alçades diferents sinó que es dividien els trams en porcions més reduïdes i l'UAV realitzava la passada verticalment, és a dir, cada certs metres s'aturava l'UAV i llavors pujava i baixava, com es pot veure a la Figura 15.



Figura 15 Esquema passades.

A causa del canvi de pla vol i les condicions de l'espai, es va decidir canviar la manera com s'adquirien les imatges. Es va canviar la presa d'imatges per la gravació d'un vídeo, que donava més flexibilitat per escollir el solapament entre imatges des de gabinet sense la necessitat d'un altre vol.

### Característiques del vol

- Al ser una gravació, la freqüència d'adquisició que permet el sensor és de 50 fps.
- El solapament aproximat entre les passades és del 70% al 80%, de 11 m a 12,5 m, per les passades compreses en els trams de 1\_2 i 5\_6. Per la resta de passades el solapament oscil·la entre el 80% i el 90%.
- La distància focal aproximada de la càmera és de 33 mm.
- El GSD, de l'anglès *Ground sample distance* és la distància entre els centres dels píxels al terreny, varia dels 8 mm en els trams 1\_2 i 5\_6, a 6 mm a la resta de trams.
- La durada del vol és de 23 minuts.

El pilotatge el va du a terme l'empresa HEMAV, que també va cedir l'UAV DJI Phantom 3 i la càmera GoPro Hero 3, per a la realització del vol.

## 6.4 Tractament de les gravacions

Partint de les gravacions es va utilitzar el programari GoPro Studio, desenvolupat pel proveïdor de càmeres GoPro i d'ús gratuït, per tractar els vídeos. Es va utilitzar aquest programari perquè permet, a partir d'un model pre-definit per a lents fish-eye, eliminar parcialment les distorsions de la òptica de la càmera. El model utilitzat és similar al proposat al llibre *Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications* [14] per a càmeres fish-eye.

Per a obtenir els frames dels vídeos es va utilitzar el programari gratuït VLC media player, que permet realitzar aquesta operació escollint la cadència de frames que volem guardar. Es va extreure un frame cada segon, obtenint-ne un total de 800. Després de fer la selecció, en van quedar 220 que són els que s'han fet servir per la generació dels núvols de punts.

Observant la Figura 16 i Figura 17 podem veure el resultat d'eliminar la distorsió de la lent.



Figura 16 Imatge abans d'aplicar la correcció.

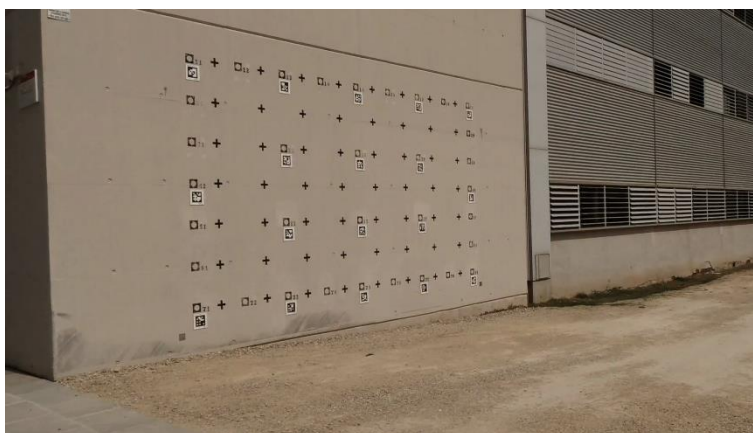


Figura 17 Imatge després d'aplicar la correcció.



## 6.5 Calibratge geomètric de la càmera

El calibratge geomètric de la càmera es va fer el mateix dia del vol perquè els paràmetres interns de la càmera no variessin entre la presa d'imatges per aconseguir el calibratge i el vol. La presa d'imatges es va du a terme al camp de calibratge del que disposa el CTTC, que es troba molt a prop del DronLab. Com es pot veure a la Figura 18, el camp de calibratge està format per una distribució de dianes sobre un dels murs exteriors de l'antic Institut de Geomàtica.



Figura 18 Camp de calibratge.

Per calibrar es va situar la càmera en tres posicions diferents i a dues distàncies diferents de les dianes, es van prendre imatges amb la càmera en posició frontal, i també girant 90 graus sobre l'eix d'observació com es veu en l'esquema de la Figura 19.

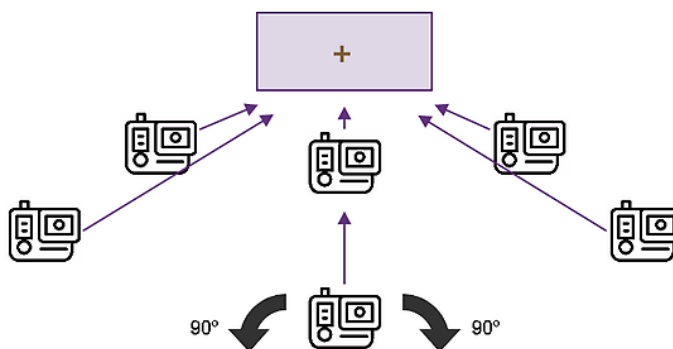


Figura 19 Esquema calibratge.

Es va calibrar en diferents angles i distàncies per evitar que els paràmetres de calibratge tinguessin una correlació entre ells, i evitar així que els valors obtinguts s'ajustessin al

conjunt de fotografies del camp de calibratge, però que no servissin per al modelat d'una altre seqüència d'imatges, provocant distorsions a tot el model.

El programari utilitzat per aconseguir un fitxer de calibratge va ser l'Agisoft PhotoScan ja que ens permet utilitzar-lo no només per aconseguir models 3D, sinó també per aconseguir un calibratge del sensor.

El programa permet utilitzar un model de Conrady-Brown o bé un de fish-eye per el calibratge. S'ha utilitzat el de Conrady-Brown perquè semblava més apropiat després de processar les gravacions amb el GoPro Studio.

Com que s'havien processat els vídeos amb el programa GoPro Studio, que elimina a partir d'un model pre-definit les distorsions de la lent, es van suposar que aquestes distorsions serien properes a zero. I el calibratge es va centrar en trobar els valors de la distància focal i el punt principal la càmera, que es desconeixien. A la Taula 1 es mostren els paràmetres de calibratge calculats.

Distància focal (mm)	33,372
Punt principal x (mm)	20,275
Punt principal y (mm)	10,766
K1 (mm)	-1,264E-07
K2 (mm)	7,833E-09
K3 (mm)	-9,871E-12

Taula 1 Valors del calibratge.

## 7 Processat

El processat de les imatges per a obtenir un núvol de punts s'ha fet utilitzant el programa PhotoScan.

En general, el principal objectiu de processar unes imatges amb PhotoScan es construir un model 3D texturitzat. El processat de les imatges per arribar a aquest fi consta de quatre etapes principals, l'alineació de les càmeres, la construcció del núvol de punts dens, la generació de la malla i per últim la texturització.

Aquests últims dos passos no s'han dut a terme en el present projecte perquè l'objectiu era aconseguir un núvol de punts dens. Per tant, a continuació, s'explicaran els dos primers passos:

1. Alineació de les càmeres: En aquesta etapa el PhotoScan busca punts homòlegs entre fotografies i els compara, alhora que troba una posició estimada de la càmera per a cada imatge i refina els paràmetres de calibratge de la càmera. Com resultat s'obté un núvol de punts dispers i les posicions aproximades de les imatges.

En aquest apartat també es tindrà en consideració, per al càlcul de les posicions aproximades de les imatges, si s'han introduït punts de suport i/o posicions i orientacions prèvies de les fotografies, i les seves respectives toleràncies.

El núvol de punts dispers mostra els resultats de l'alineament de les imatges i no s'utilitza per la construcció del model 3D. Per altra banda, les posicions de les fotografies sí que s'utilitzen en els següents passos.

2. Construcció del núvol de punts dens: es du a terme a partir de les posicions estimades de les imatges. És possible l'edició del núvol de punts resultant abans de procedir a un modelatge 3D.

## 7.1 Selecció de punts de suport i control dins el programari fotogramètric

Els punts de control són els punts utilitzats per referenciar l'objecte que estem modelant. I els punts de suport són punts de comprovació, que serveixen per estimar l'error entre el punt projectat sobre el núvol de punts generat, i el punt mesurat.

Per aquest motiu els punts classificats com a punts de suport no tenen participació en la cadena de processat de les imatges, i s'usaran per la comprovació dels resultats.

Per a la selecció de quins punts s'usen com a punts de control, s'ha buscat que hi haguessin els mínims necessaris per a aconseguir un bon resultat i que ocupessin la màxima superfície possible de les façanes.

Es podria utilitzar tots els punts mesurats, sobre les façanes, com a punts de control en el processat i obtenir així un resultat més bo, però per una banda no podríem fer una control de la qualitat del núvol de punts a nivell puntal, i per altra banda es busca obtenir un resultat òptim utilitzant el mínim de punts possible.

Per a la primera façana s'han utilitzat set punts de control (Figura 20). En aquest cas s'han utilitzat tants punts de control perquè sinó el programa no trobava punts homòlegs per a totes les fotografies. El punt FB\_0, és de la façana B però s'utilitza perquè queda a la unió de les dues façanes, i millorava la distribució. Els punts són: FA\_0,1,2,6,7,8 i FB\_0.



Figura 20 Punts de suport a la façana A.

Per la segona façana s'han utilitzat només quatre punts (Figura 21) ja que per les mides de la façana no eren necessaris més. Els punts són: FB\_0,3,5 i 6.

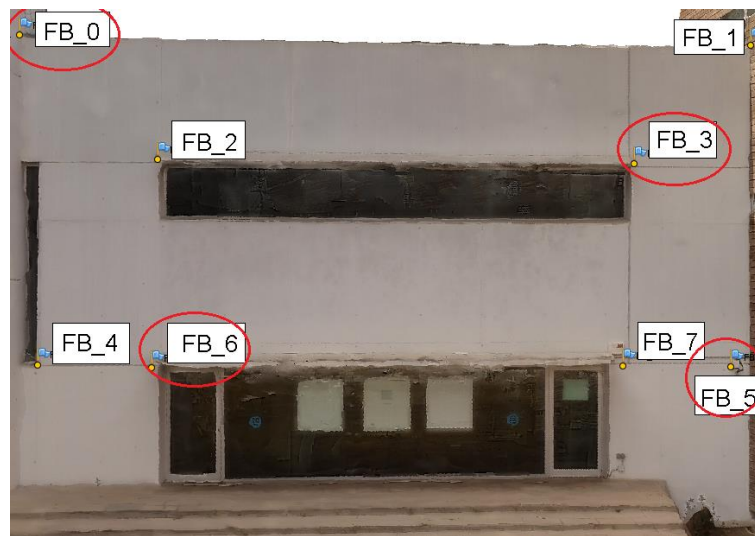


Figura 21 Punts de suport a la façana B.

Per la façana C s'han utilitzat quatre punts de control (Figura 22) perquè, com ja s'ha comentat anteriorment, a causa del tramat de la façana li era més fàcil al programa trobar punts homòlegs que en les altres façanes. Els punts són: FC\_0,5,6,11.

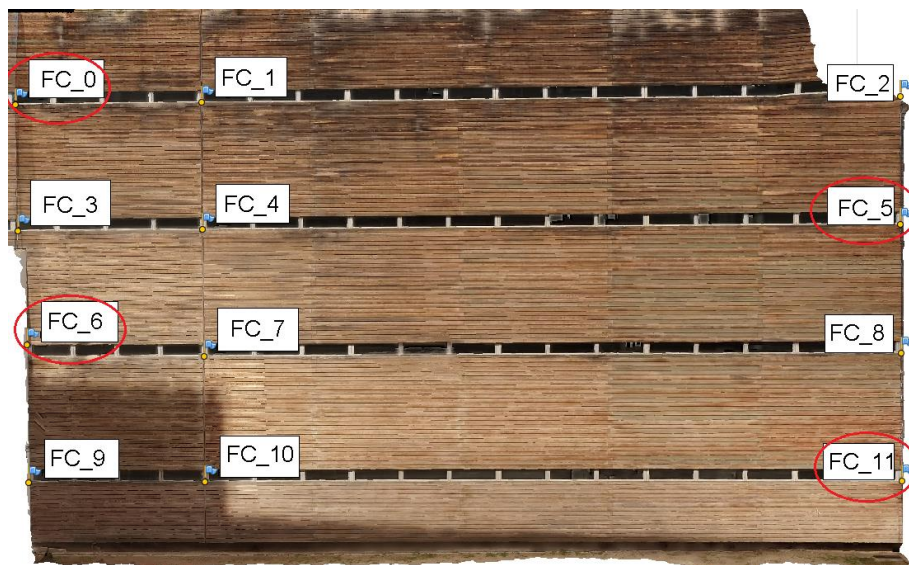


Figura 22 Punts de suport a la façana C.

## **7.2 Mètodes de processat:**

S'han processat les imatges de cada façana per separat, i cada una de les façanes s'ha processat de tres maneres diferents. Aquests tres mètodes de processar diferents estan plantejats des del coneixement o no dels paràmetres de calibratge de la càmera que utilitzem a l'hora de processar:

1. En el primer cas suposem que es desconeixen els paràmetres interns de la càmera i s'utilitza un valor aproximat de la focal, que pot ser el valor de fàbrica, per alinear les imatges.
2. En el segon cas, es realitza el processat en el supòsit de no tenir un calibratge de la càmera, ja pugui ser perquè no es coneix, o perquè es confia en que de la manera que s'han adquirit les imatges i s'han distribuït els punts de control, el programari ho ajustarà i traurà un calibratge de la càmera.
3. Per últim, s'utilitza el calibratge de la càmera obtingut en el camp de calibratge.

Per altra banda també s'han processat totes les imatges alhora, i per consegüent també les tres façanes alhora, seguint els tres mètodes anteriors. Aquest doble processat s'ha realitzat per buscar si hi ha diferències entre processar les façanes per separat o en bloc.

### **7.3 Control de la qualitat**

S'ha realitzat un control de la qualitat del núvol de punts a nivell puntual, utilitzant el programa PhotoScan, a partir dels residus que calcula per a cada un dels punts, tant de suport com de control, que hi ha disponibles dins la zona modelada.

Com que els punts de suport no s'han utilitzat per obtenir el núvol de punts, a priori tindran valors més alts que els punts de control. Altres factors que afecten als valors dels residus són el nombre d'imatges en les que apareix aquell punt i la exactitud amb que s'ha identificat aquell punt en les imatges.

El segon anàlisi dels núvols de punts resultants s'ha fet comparant els núvols de punts obtinguts per fotogrametria amb el núvol de punts adquirit amb làser escàner.

Per poder comparar dos núvols de punts s'ha utilitzat el programa CloudCompare. Com que les coordenades dels punts de suport i control han estat extretes del núvol de punts del làser escàner, tots els núvols de punts que es comparin estaran en el mateix marc de referència.

Els avantatges de realitzar un anàlisi a nivell puntual i un a nivell de núvol de punts, són que el primer anàlisi és més acurat per conèixer la magnitud dels errors en el núvol de punts, i en el segon ens permet fer una anàlisi més visual d'on es troben les deformacions més grans i també ens permet identificar deformacions que per la seva forma no es vegin reflectides en el primer anàlisi.

## 8 Resultats

La Figura 23 és un exemple dels núvols de punts que s'han generat, en aquest cas concret es pot veure les 3 façanes que formen el recinte, i per tant és un dels núvols de punts generats utilitzant totes les imatges.



Figura 23 Exemple de núvol de punts generat per fotogrametria.

Aquest exemple ens permet apreciar com la façana de la dreta i la central estant molt ben generades i no presenten gairebé deformacions, i com la façana esquerra, que és més complexa, és més sorollosa. En els resultats que es mostren més endavant es pot apreciar com la façana de l'esquerra (A) és la que té unes discrepàncies més grans amb el núvol de punts obtingut amb làser escàner.



## 8.1 Anàlisi a partir d'una sèrie de punts de suport

### 8.1.1 Anàlisi per blocs

#### Façana A

Per la façana A tenim 5 punts de suport o comprovació, els FA\_3, FA\_4, FA\_5, FA\_9 i FA\_10.

En el següent gràfic (Figura 24) es pot observar la diferència entre el núvol de punts i els punts de suport, de color blau quan no s'ha utilitzat el calibratge de la càmera, de color taronja quan s'ha calibrat alhora d'alinear les imatges i de color gris quan introduïm el fitxer de calibratge.

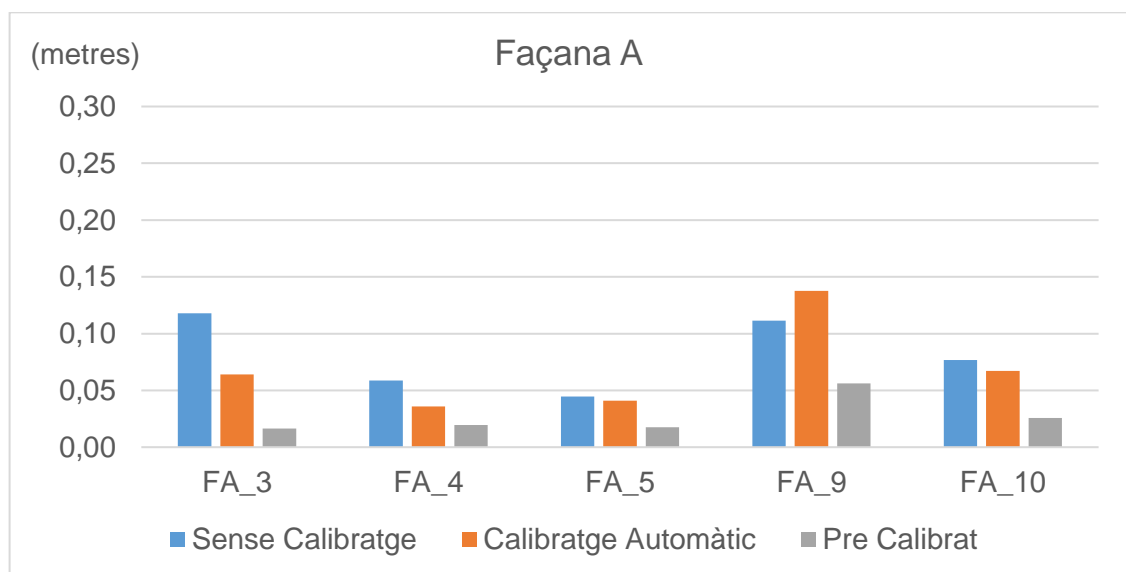


Figura 24 Diferència entre núvol de punts de referència i fotogràmic, en la façana A (anàlisi per blocs).

Quan no es té calibratge, l'error mig entre els punts de comprovació és de 8,2 cm mentre que la desviació estàndard és de 3,2 cm.

Amb calibratge automàtic l'error mig és de 6,9 cm i la desviació estàndard és de 4,1 cm.

Quan es té calibratge, l'error mig és de 2,7 cm i la desviació estàndard és de 1,7 cm.

#### Façana B

Per la façana B tenim quatre punts de comprovació, els FB\_1, FB\_2, FB\_4 i FB\_7. En el següent gràfic (Figura 25) es manté el mateix sistema de colors que en l'anterior.

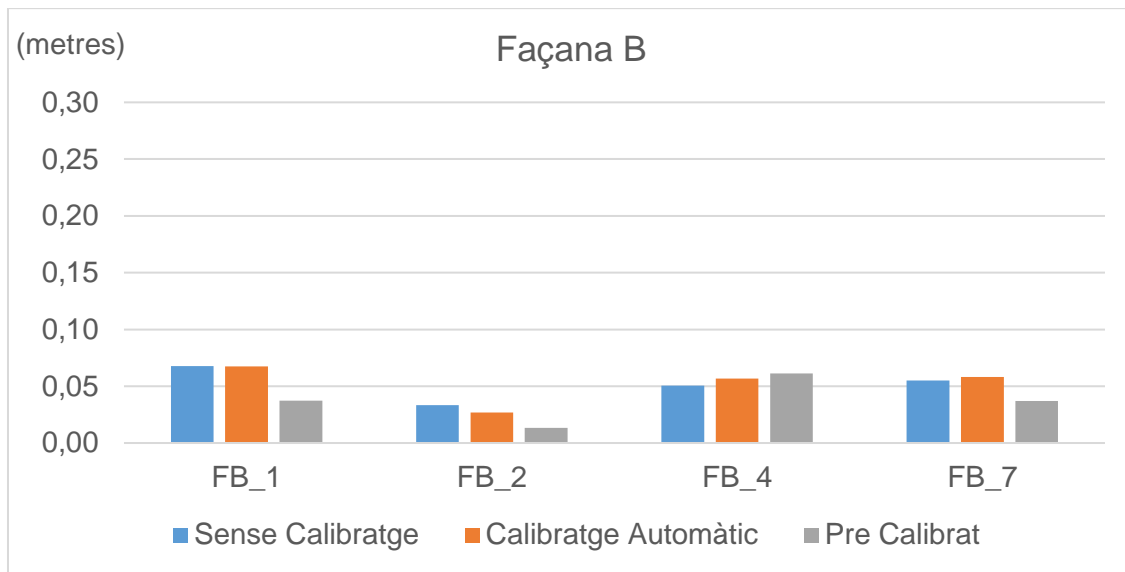


Figura 25 Diferència entre núvol de punts de referència i fotogramètric, en la façana B (anàlisi per blocs).

Sense calibratge, l'error mig és de 5,2 cm mentre que la desviació estàndard és de 1,4 cm.

Amb calibratge automàtic l'error mig és de 5,2 cm i la desviació estàndard és de 1,8 cm.

Quan es té calibratge, l'error mig és de 3,7 cm i la desviació estàndard és de 2 cm.

### Façana C

En la façana C (Figura 26) és en la que disposem de més punts de suport, el FC\_1, FC\_3, FC\_4, FC\_7, FC\_8, FC\_9 i FC\_10.

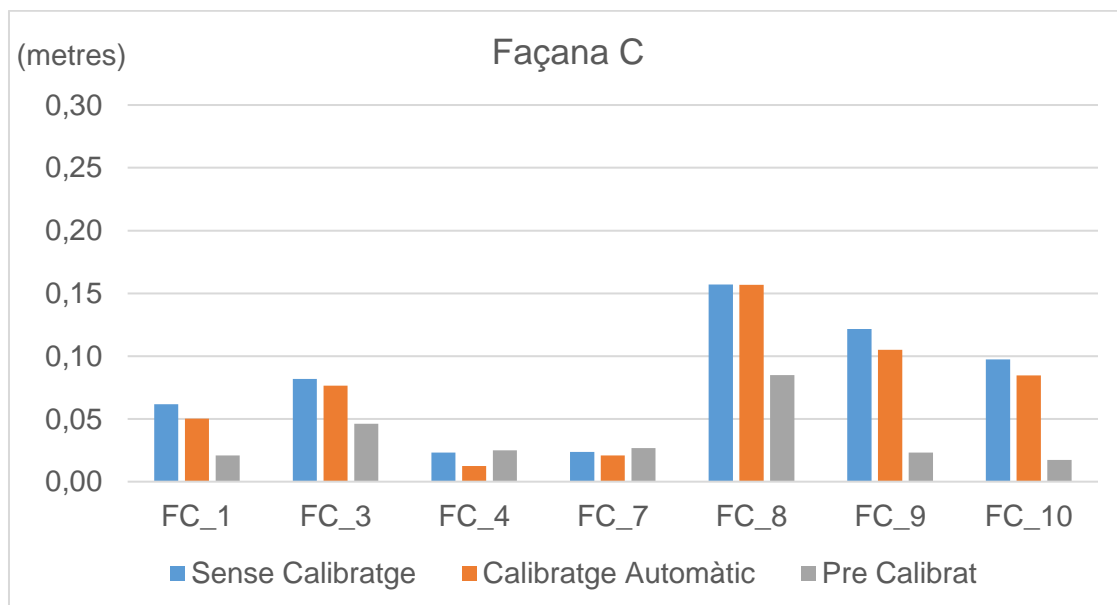


Figura 26 Diferència entre núvol de punts de referència i fotogramètric, en la façana C (anàlisi per blocs).

Quan no es té calibratge, l'error mig és de 8,1 cm mentre que la desviació estàndard és de 4,9 cm.

Amb calibratge automàtic l'error mig és de 7,2 cm i la desviació estàndard és de 5 cm.

Quan es té calibratge, l'error mig és de 3,5 cm i la desviació estàndard és de 2,4 cm.

### 8.1.2 Anàlisi conjunt

Per l'anàlisi quan s'han processat les façanes en conjunt s'ha dividit els resultats per façanes, com es veu en el Figura 27, Figura 28 i Figura 29, per fer-los comparables amb els resultats obtinguts de processar les façanes per separat.

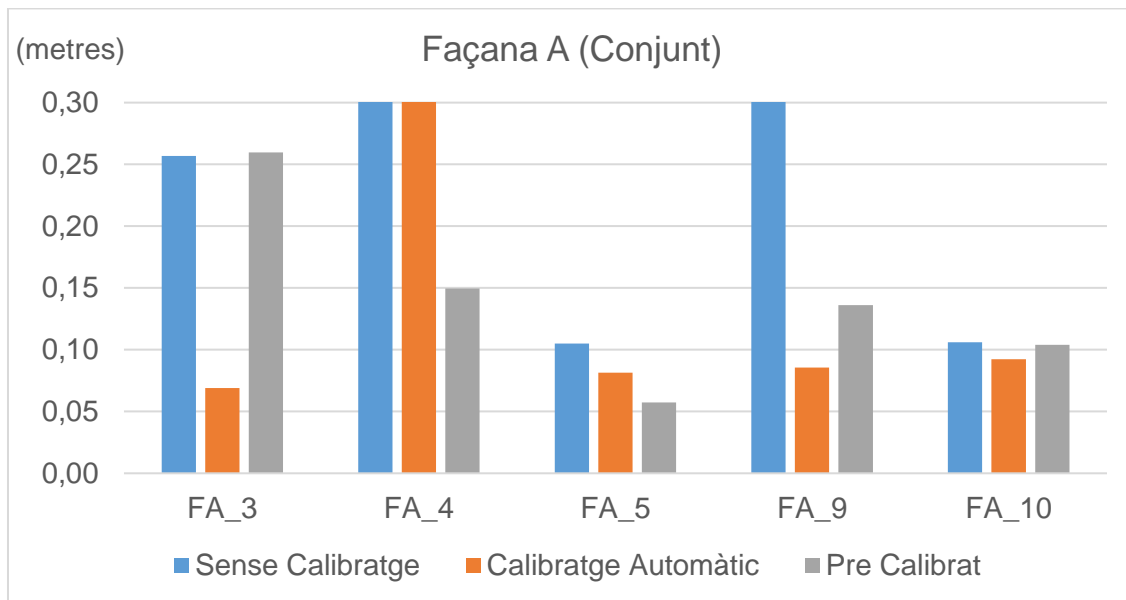


Figura 27 Diferència entre núvol de punts de referència i fotogramètric, en la façana A (anàlisi conjunt).

Façana A:

- Sense calibratge:
  - L'error mig és de 28,2 cm
  - Desviació estàndard és de 18,6 cm
- Calibratge automàtic:
  - L'error mig és de 23,1 cm
  - Desviació estàndard és de 33,1 cm
- Amb calibratge:
  - L'error mig és de 14,1 cm
  - Desviació estàndard és de 7,5 cm

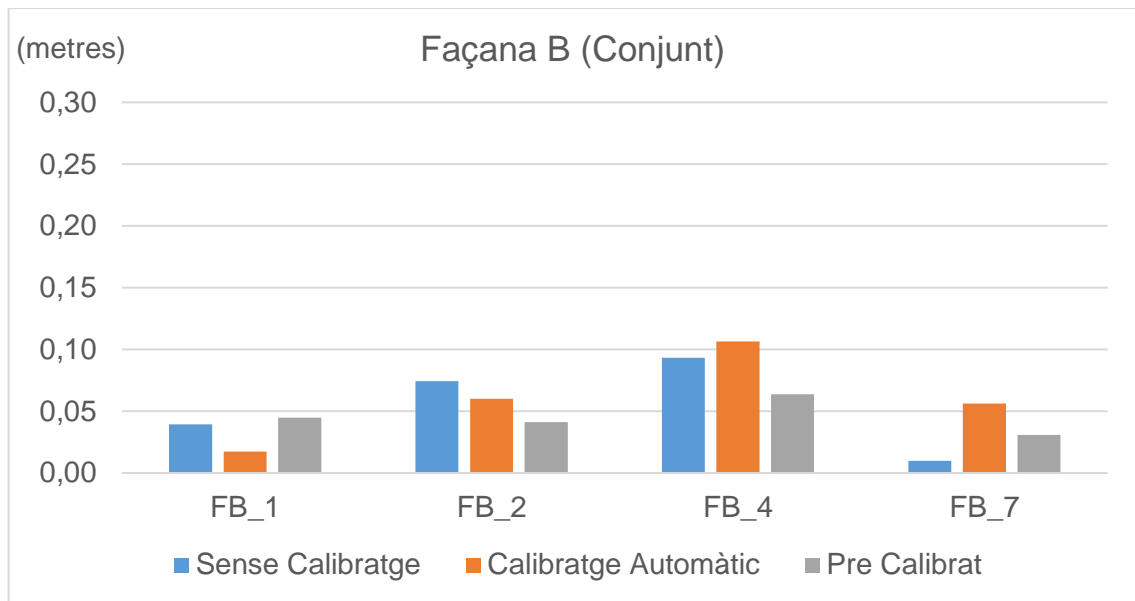


Figura 28 Diferència entre núvol de punts de referència i fotogramètric, en la façana B (anàlisi conjunt).

#### Façana B:

- Sense calibratge:
  - L'error mig és de 5,4 cm
  - Desviació estàndard és de 3,7 cm
- Calibratge automàtic:
  - L'error mig és de 6 cm
  - Desviació estàndard és de 3,6 cm
- Amb calibratge:
  - L'error mig és de 4,5 cm
  - Desviació estàndard és de 1,4 cm

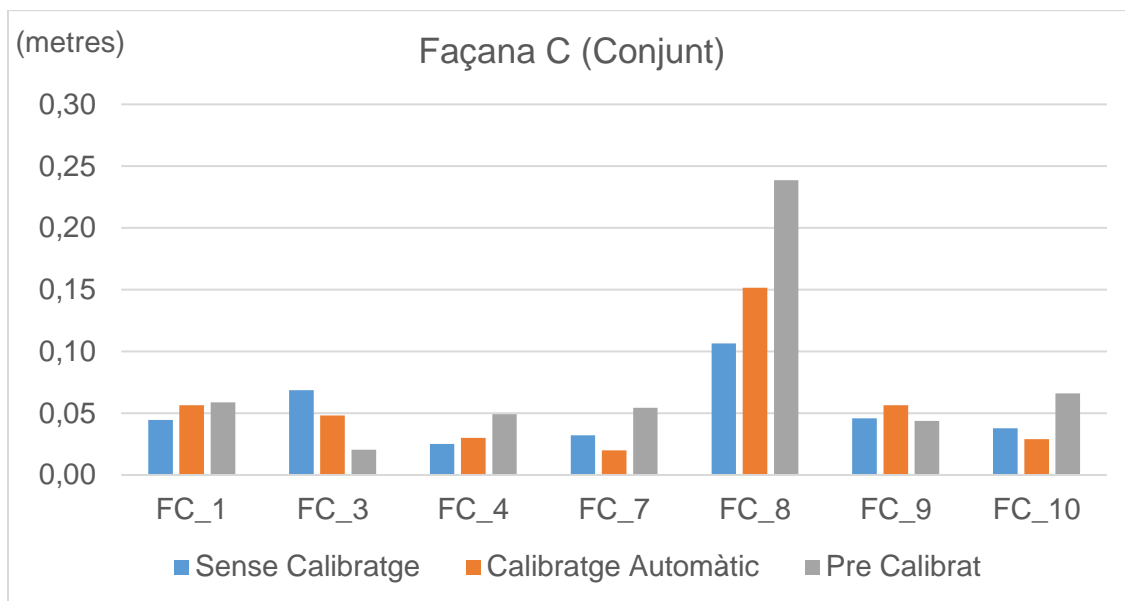


Figura 29 Diferència entre núvol de punts de referència i fotogramètric, en la façana C (anàlisi conjunt).

#### Façana C:

- Sense calibratge:
  - L'error mig és de 5,1 cm
  - Desviació estàndard és de 2,8 cm
- Calibratge automàtic:
  - L'error mig és de 5,6 cm
  - Desviació estàndard és de 4,5 cm
- Amb calibratge:
  - L'error mig és de 7,6 cm
  - Desviació estàndard és de 7,3 cm

### 8.1.3 Comparativa

En aquesta secció es compara els resultats de processar les imatges en conjunt a fer-ho per separat en façanes.

Els següents Figura 30, Figura 31 i Figura 32 mostren la diferència entre els dos mètodes, els valors positius reflecteixen un error més gran en el processat conjunt i els valors negatius representen un error més gran en el processat per blocs.

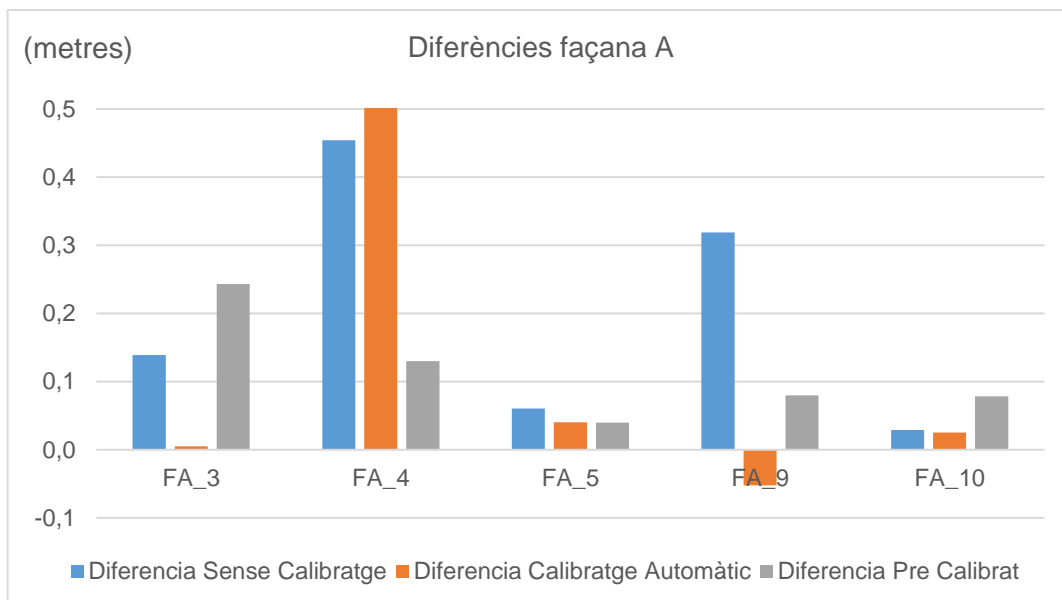


Figura 30 Diferències per la façana A.

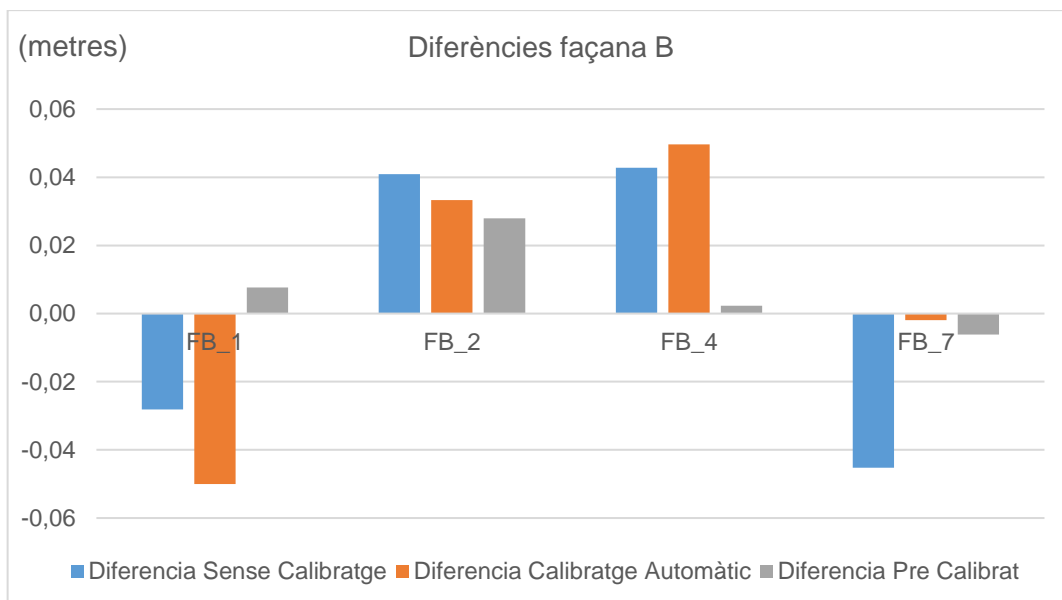


Figura 31 Diferències per la façana B.

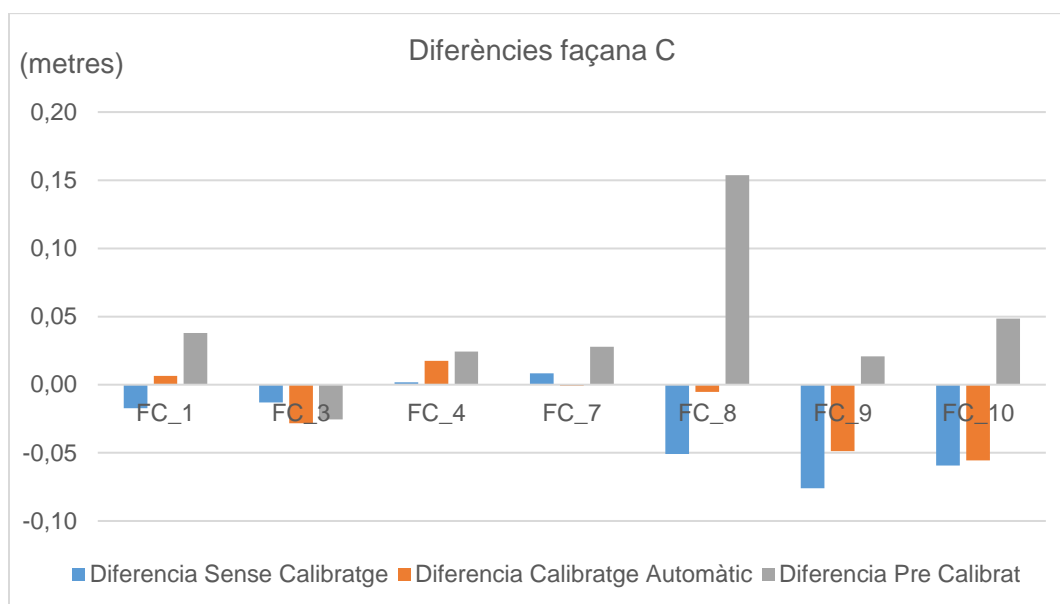


Figura 32 Diferències per la façana C.

Els valors estadístics, mitjana i desviació estàndard, calculats per a les diferències estan representats a la següent Taula 2:

		Sense Calibratge	Calibratge Automàtic	Pre Calibrat
Façana A	Mitjana (Cm)	20,0	16,2	11,4
	Desv. Est. (Cm)	18,1	35,3	7,9
Façana B	Mitjana (Cm)	0,3	0,8	0,8
	Desv. Est. (Cm)	4,6	4,4	1,5
Façana C	Mitjana (Cm)	-2,9	-1,6	4,1
	Desv. Est. (Cm)	3,2	2,8	5,5

Taula 2 Valors estadístics de les diferències.

De la Taula 2 podem extreure que quan la façana A es tracta en conjunt els resultats empitjoren en comparació a les altres façanes. Per la façana C es pot veure com els residus són més bons quan es processa en conjunt, i no tenim uns paràmetres de calibratge de la càmera o es deixa que autocalibri el programa.



## 8.2 Anàlisi a partir d'un núvol de punts de referència

En aquest apartat es mostra la comparació entre el núvol de punts obtingut en l'aixecament per làser escàner i el núvol de punts obtingut per fotogrametria. El programa utilitzat és el CloudCompare.

Als annexos es troben les imatges dels resultats d'aquest apartat.

### 8.2.1 Anàlisi per blocs

En aquesta secció s'han comparat les façanes processades per separat amb els núvols de punts obtinguts per làser escàner.

A la Taula 3 es mostren els resultats estadístics per a cada una de les façanes, els valors fan referència a la distància entre núvols de punts. El càlcul d'aquests valors els realitza el propi programa CloudCompare.

		Sense Calibratge	Calibratge Automàtic	Pre Calibrat
Façana A	Mitjana (cm)	12,5	14,1	12,6
	Desv. Est. (cm)	11,0	11,7	11,4
Façana B	Mitjana (cm)	5,5	8,2	7,9
	Desv. Est. (cm)	5,8	9,2	9,4
Façana C	Mitjana (cm)	8,5	8,1	4,2
	Desv. Est. (cm)	7,3	7,1	6,2

Taula 3 Anàlisi per blocs.

### 8.2.2 Anàlisi conjunt

En aquest cas es van processar les façanes alhora, però per poder comparar els resultats s'han separat els núvols de punts en façanes i s'ha comparat amb l'aixecament per làser escàner, de la mateixa manera que en l'apartat anterior. La Taula 4 mostra els resultats estadístics per a cada una de les façanes:

		Sense Calibratge	Calibratge Automàtic	Pre Calibrat
Façana A	Mitjana (cm)	21,9	14,9	12,6
	Desv. Est. (cm)	13,3	12,4	11,5
Façana B	Mitjana (cm)	12,2	5,9	5,2
	Desv. Est. (cm)	6,1	5,9	6,3
Façana C	Mitjana (cm)	10,5	4,3	4,0
	Desv. Est. (cm)	6,1	6,6	4,8

Taula 4 Anàlisi conjunt.

## 9 Conclusions

L'ús d'un UAV ha estat un factor clau en el desenvolupament del projecte, ja que ha permès poder realitzar núvols de punts sense ombres, i tenir fotos d'un mateix element des de molts punts de vista.

Trobo necessari destacar que les façanes A i B no han sigut elements fàcilment modelables, segurament pel fet de ser parets de formigó llises i per estar a l'ombra quan es va fer el vol. Un altre dels motius que també pot haver afectat és el fet que les imatges adquirides i utilitzades només estiguessin preses des de la banda contrària de la façana, i que en façanes complexes, com és el cas de la façana A, es necessiten més fotos a diferents distàncies per tal de reduir el soroll en el núvol de punts. Tot plegat ha provocat que els núvols de punts tinguessin més soroll que els de la façana C.

L'aixecament amb làser escàner ha estat de molta utilitat, tant per poder mesurar punts de suport i control com per fer el control de qualitat, sobretot gràcies a la precisió que ofereix. Per contraposició s'ha vist limitat per la morfologia del recinte, i el fet de no poder escanejar a diferents alçades.

A partir dels resultats obtinguts en els dos anàlisi es pot concloure que en la façana A els resultats són millors quan es processa per blocs, i en canvi les altres façanes mostren lleugeres millores en el processat conjunt.

Pel que fa al coneixement del calibratge de la càmera queda comprovat, ja que era previsible, que tenir la càmera calibrada millora els resultats significativament, en aquest projecte a millorat els resultats des de 2 cm a 10 cm depenent del cas.

Entrant més en detall en els resultats:

- Anàlisi a partir d'una sèrie de punts de control:
  - Blocs: En l'anàlisi per blocs les tres façanes han donat resultats prou satisfactoris, amb un error mitjà de 5 a 6 centímetres.
  - Conjunt: En l'anàlisi conjunt es pot veure com la façana A dona valors molt grans, de l'ordre de 15 cm més de mitjana, en contraposició als obtinguts en l'anàlisi per blocs. En canvi les altres façanes donen valors similars.

- Anàlisi a partir d'un núvol de punts de referència:
  - Blocs: En la comparació per blocs no es pot apreciar una diferència significativa entre utilitzar o no calibratge en les façanes A i B. Per la façana C sí que es veu com el núvol de punts es deforma més per la part de la dreta, i que quan s'utilitza un valor aproximat de focal i quan es deixa calibrar al programa, els resultats són molt semblants. En canvi, utilitzant el fitxer de calibratge les deformacions són més lleus.
  - Conjunt: En l'anàlisi conjunt cal destacar dos factors, el primer és que la façana A dona resultats pitjors, tal i com s'ha comentat a l'apartat anterior, i l'altre és que els resultats obtingut quan es deixa auto-calibrar al programa són millors que quan es processa per blocs. Això és degut al fet que processar tot el bloc d'imatges alhora, millora el calibratge que calcula el programa quan orienta les imatges.

## 10 Bibliografia

### Pàgines web

- [1] [www.dji.com/es/phantom-3-standard](http://www.dji.com/es/phantom-3-standard) (2016).
- [2] [es.gopro.com/support/articles/hero3plus-camera-comparison](http://es.gopro.com/support/articles/hero3plus-camera-comparison) (2016).
- [3] [www.topconpositioning.com/mass-data-and-volume-collection/laser-scanners/gls-2000](http://www.topconpositioning.com/mass-data-and-volume-collection/laser-scanners/gls-2000) (2016).
- [4] [ardupilot.org/planner/index.html](http://ardupilot.org/planner/index.html) (2016).
- [5] [www.videolan.org/vlc/](http://www.videolan.org/vlc/) (2016).
- [6] [gopro.com/help/GoPro-Studio](http://gopro.com/help/GoPro-Studio) (2016).
- [7] [www.danielgm.net/cc/](http://www.danielgm.net/cc/) (2016).
- [8] [www.agisoft.com](http://www.agisoft.com) (2016).
- [9] [insight3d.sourceforge.net](http://insight3d.sourceforge.net) (2016).
- [10] [ccwu.me/vsfm/](http://ccwu.me/vsfm/) (2016).
- [11] [hwww.cs.cornell.edu/~snave/bundler/](http://hwww.cs.cornell.edu/~snave/bundler/) (2016).
- [12] [logiciels.ign.fr/?Telechargement,20](http://logiciels.ign.fr/?Telechargement,20) (2016).
- [13] [pix4d.com/](http://pix4d.com/) (2016).

### Treballs i llibres

- [14] Luhmann, T.; Robson, S.; Kyle, S.; Boehm, J. (2007). *Close Range Photogrammetry: Principle, Methods and Applications*. 1st Edition.
- [15] McGlone, J.; Mikhail, E.; Bethel, J.; Mullen, R. (2004). *Manual of Photogrammetry*. 5th Edition.
- [16] Santise, M.; Fomari, M.; Forlani, G.; Roncella, (June 2014). R. *Evaluation of DEM generation accuracy from UAS imagery*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5, ISPRS Technical Commission V Symposium.
- [17] Caroti, G.; Martínez-Espejo Zaragoza, I.; Piemonte, A. (30 Aug - 02 Sep 2015). *Accuracy assessment in structure from motion 3d reconstruction from UAV-born images: the influence of the data processing methods*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W4. International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics. Toronto, Canada.
- [18] Nex, F.; Remondino, F. (2014). *UAV for 3D mapping applications: a review*. Applied Geomatics, n.6, pp.1-15.

## 11 Agraïments

En primer lloc vull agrair a l'Eduard Angelats tot l'esforç, hores i voluntat que ha dedicat perquè aquest projecte tirés endavant.

En segon lloc li vull agrair a l'Ariadna i als meus pares i germans tot el que han fet i el suport que m'han donat durant aquests cinc anys a la Universitat.

També vull agrair al CTTC i la gent que el forma per haver-me acollit per tirar endavant aquest projecte i haver-me cedit el seu material i temps. Agrair també a les empreses HEMAV i Topcon per la seva col·laboració i temps invertit.

## **12 ANNEX: Resultats de l'anàlisi a partir d'un núvol de punts de referència**

## 12.1 Anàlisi per blocs

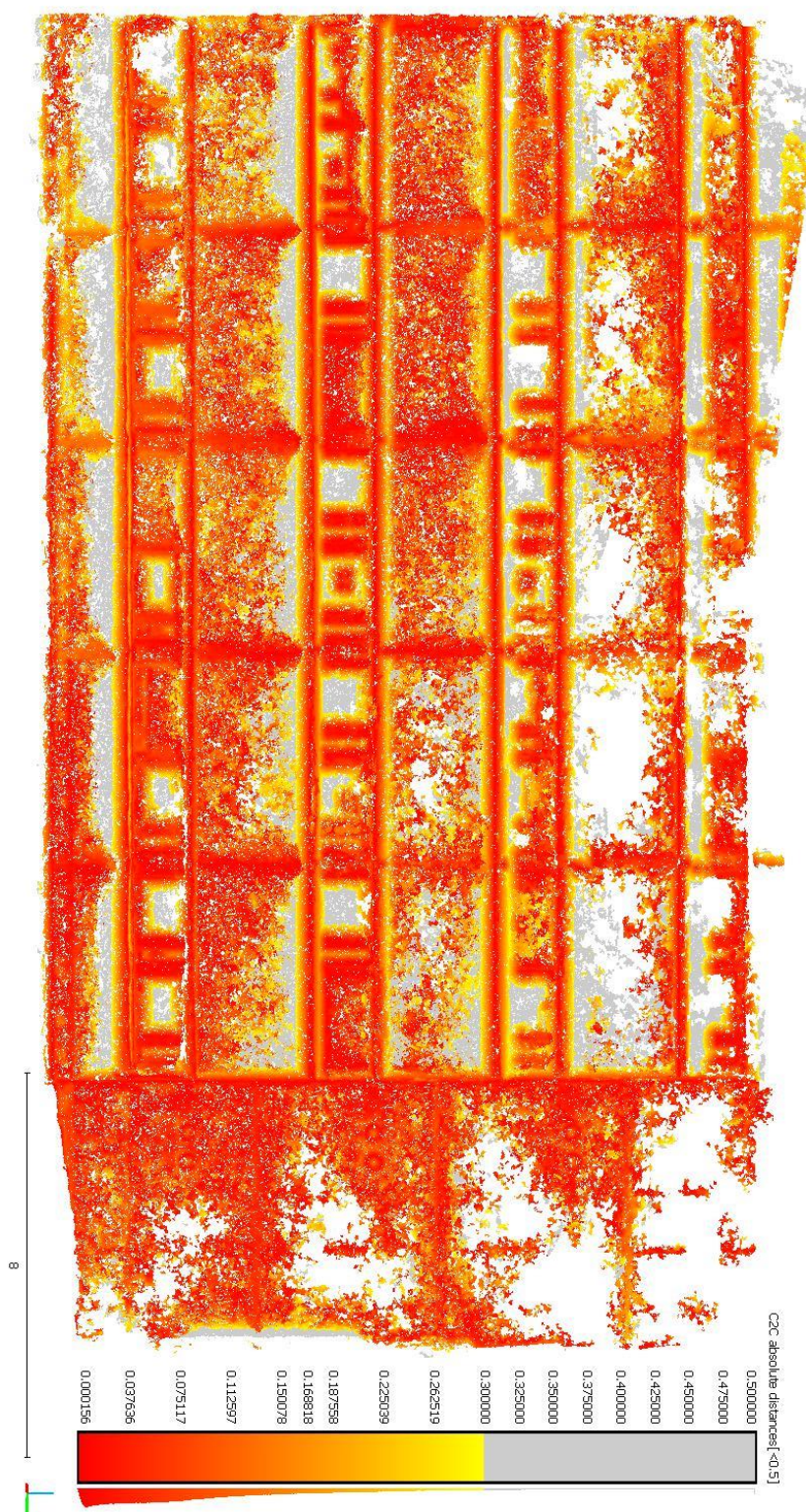


Figura 33 Façana A, núvol de punts sense calibratge.

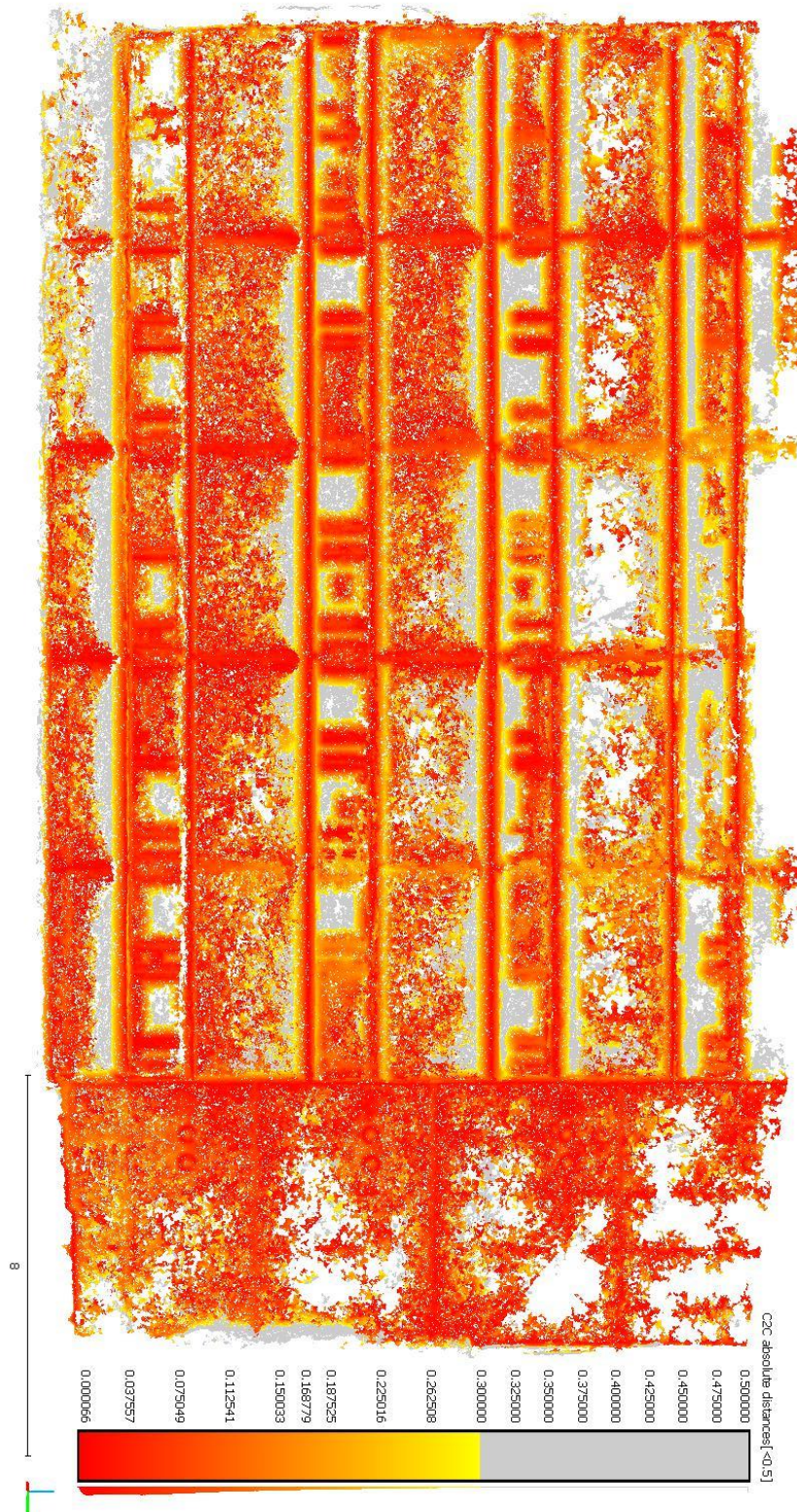


Figura 34 Façana A, núvol de punts amb calibratge automàtic.



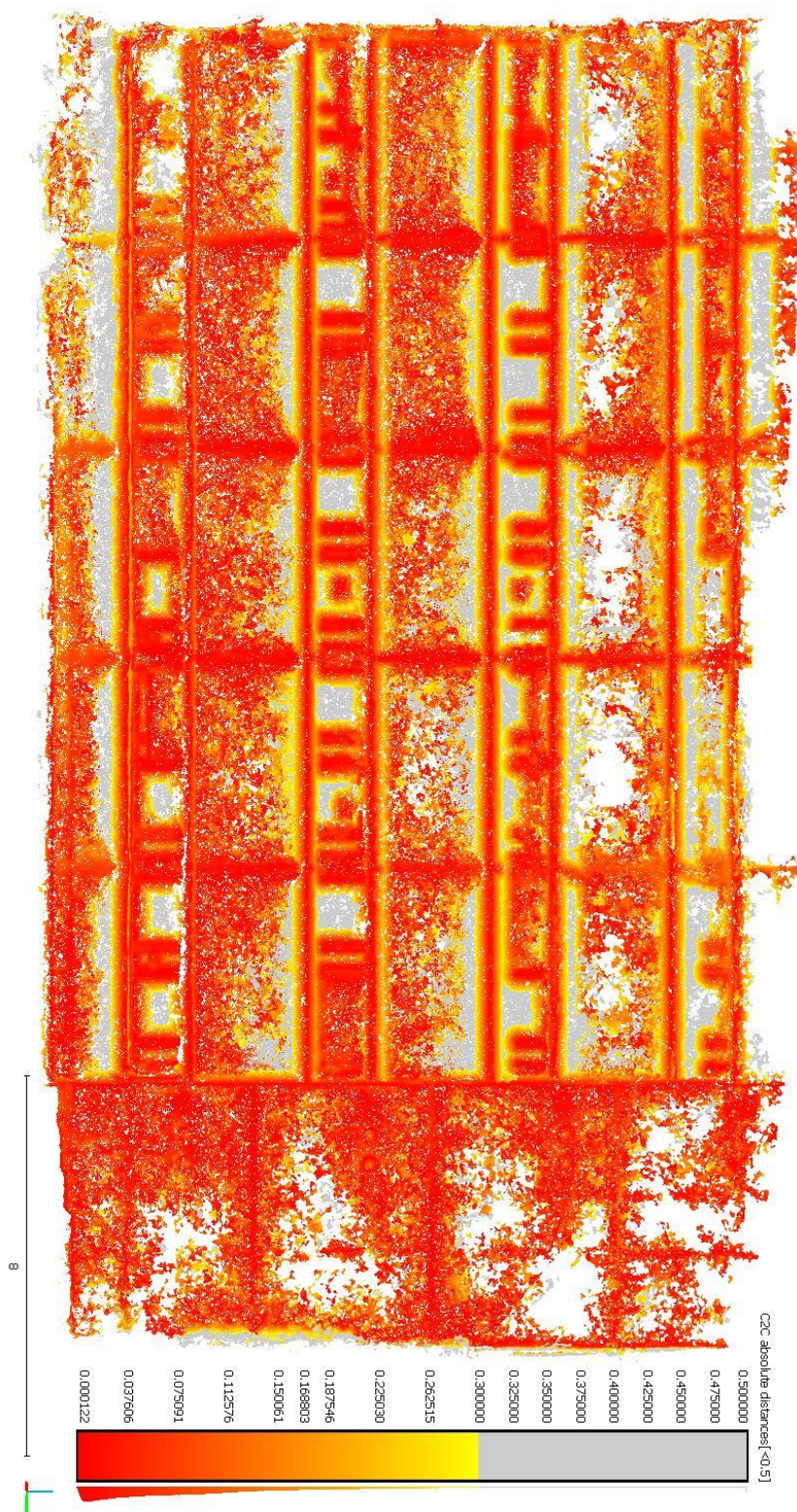


Figura 35 Façana A, núvol de punts amb calibratge.

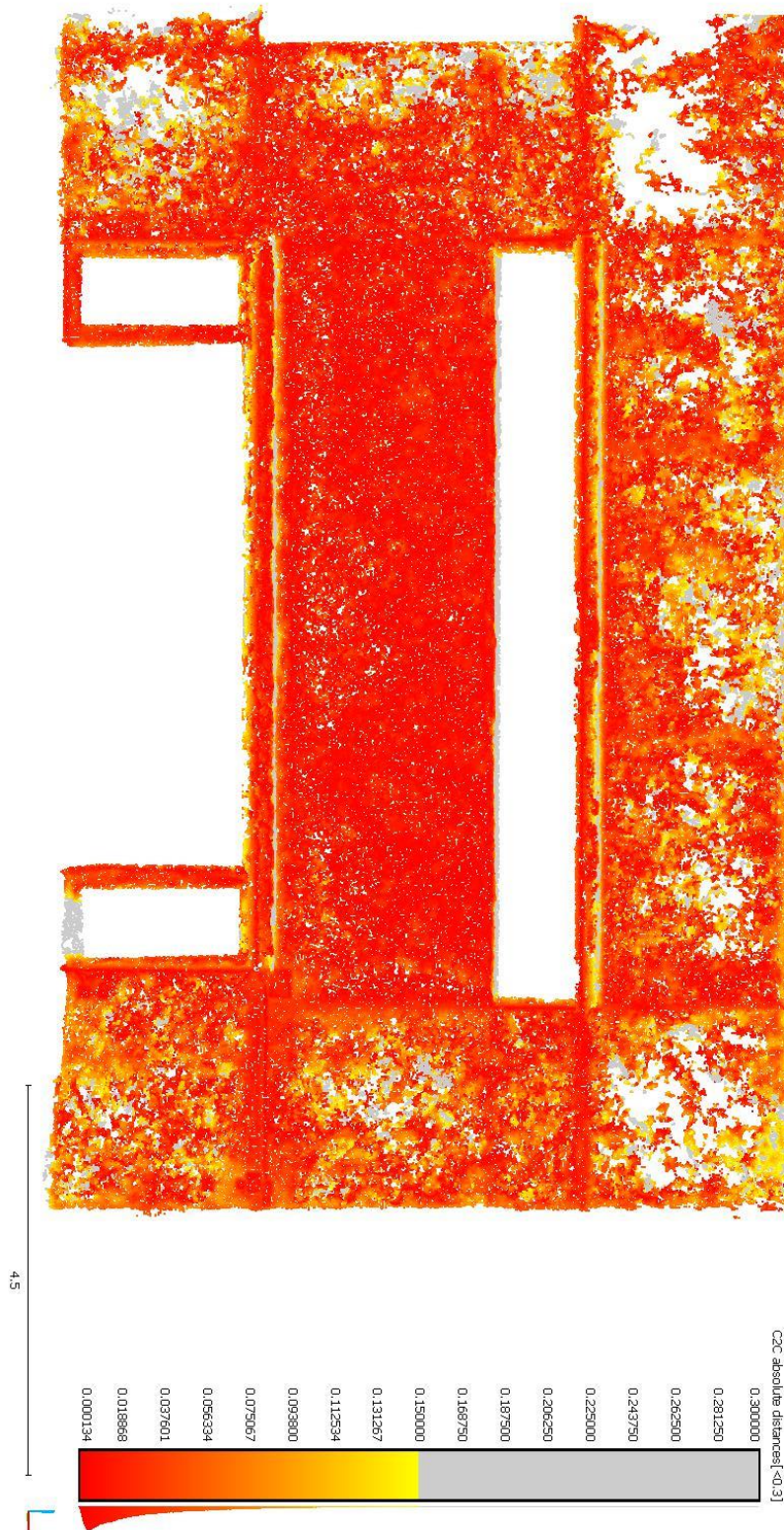


Figura 36 Façana B, núvol de punts sense calibratge.

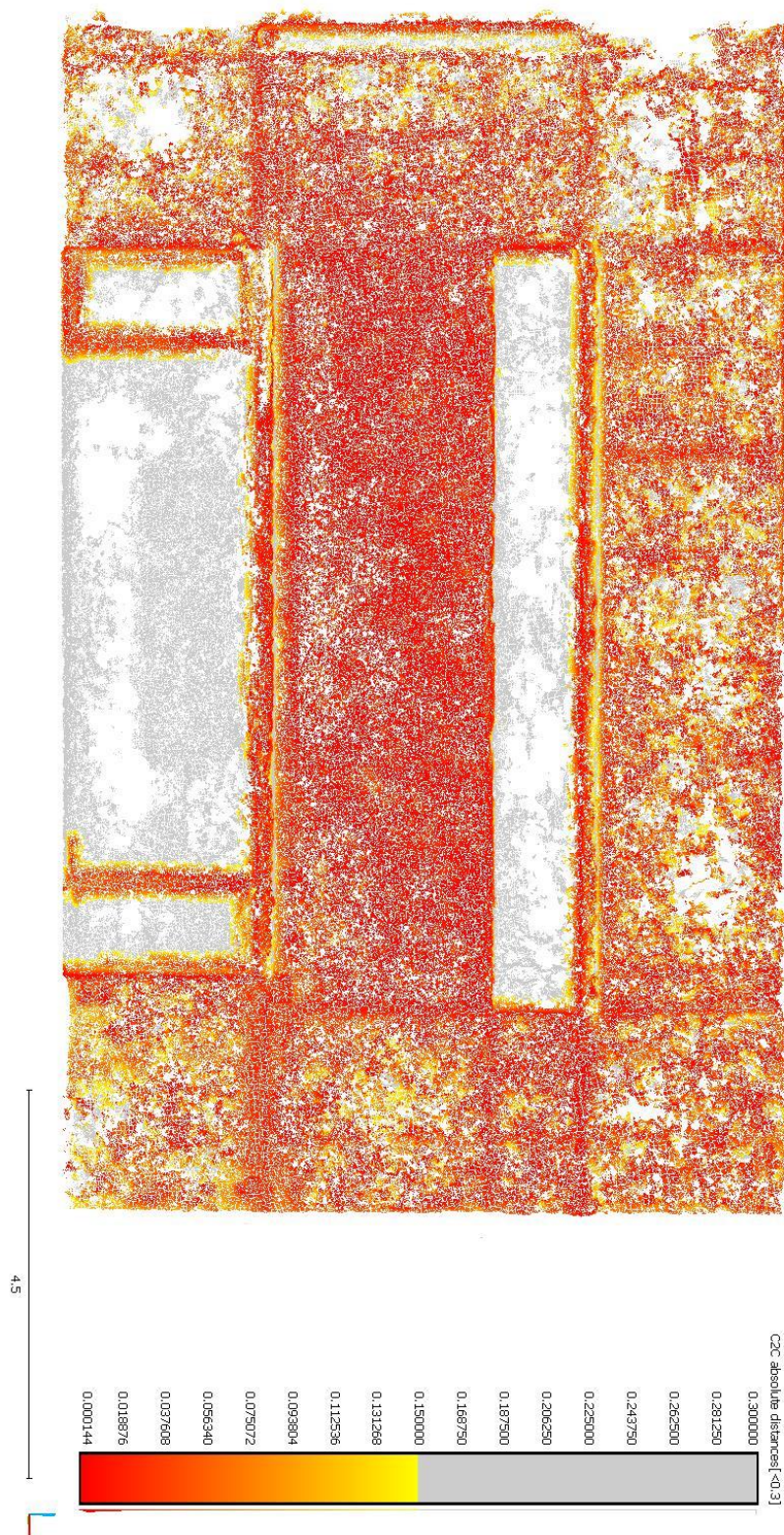


Figura 37 Façana B, núvol de punts amb calibratge automàtic.

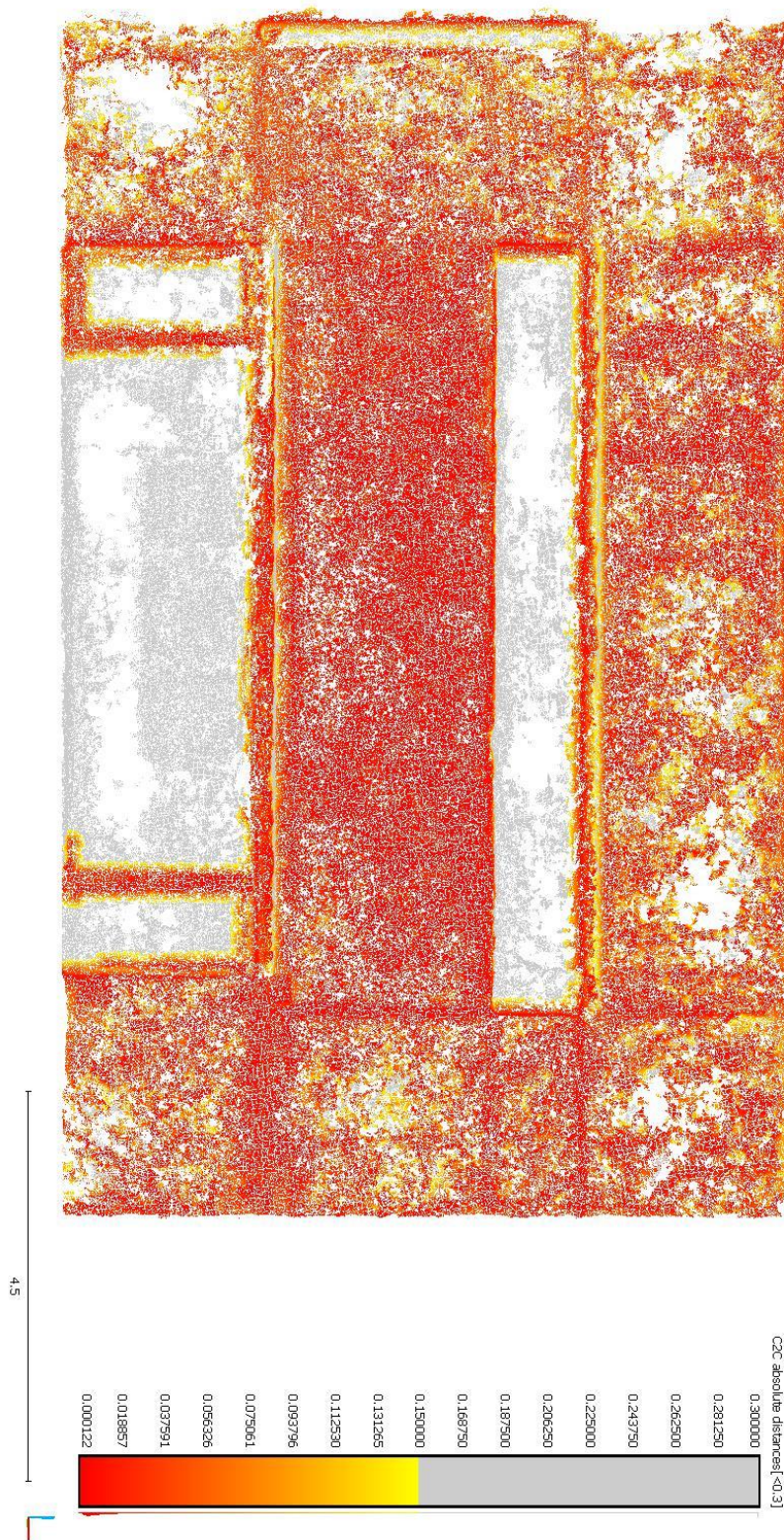


Figura 38 Façana B, núvol de punts amb calibratge.

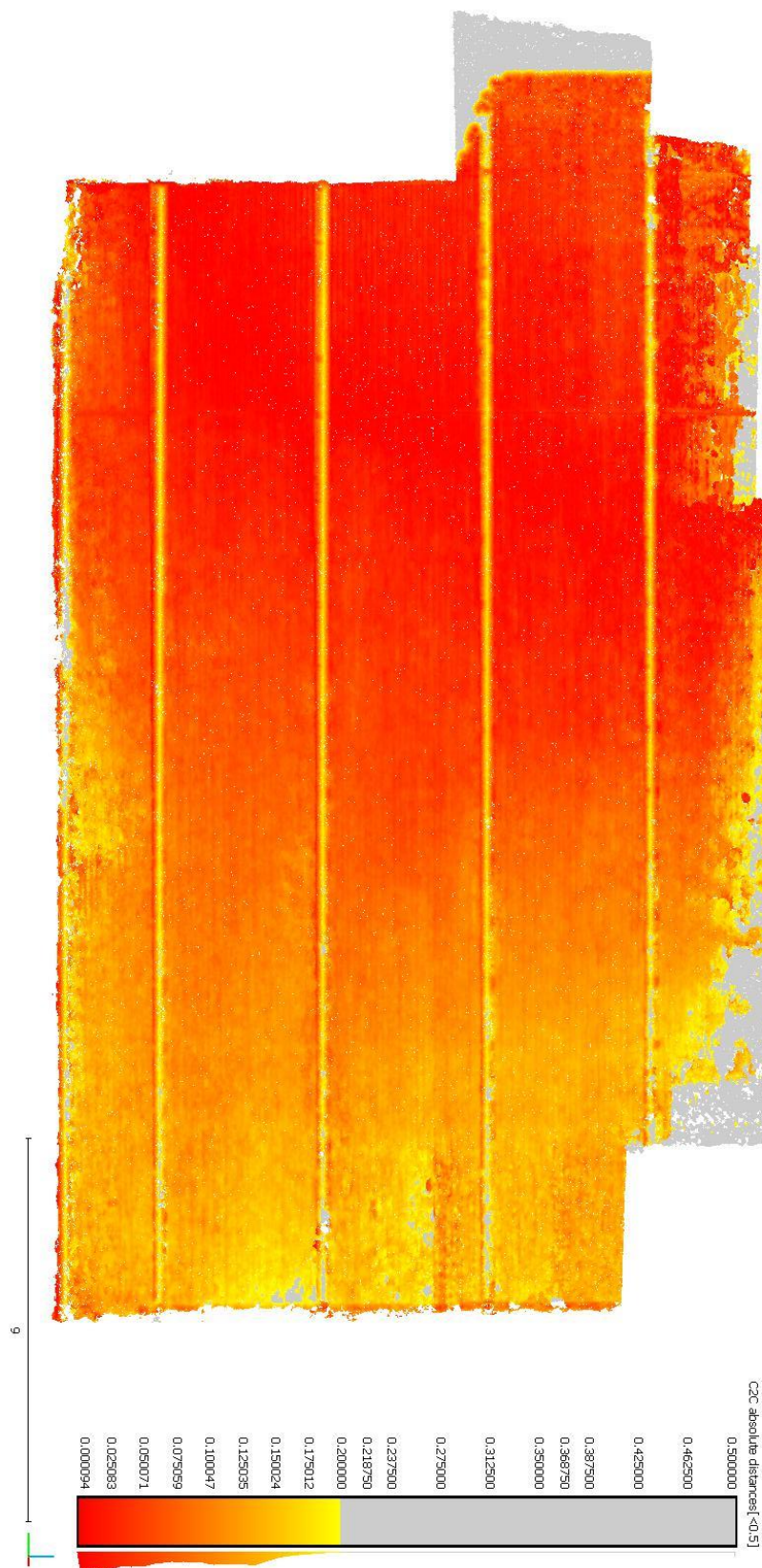


Figura 39 Façana C, núvol de punts sense calibratge.

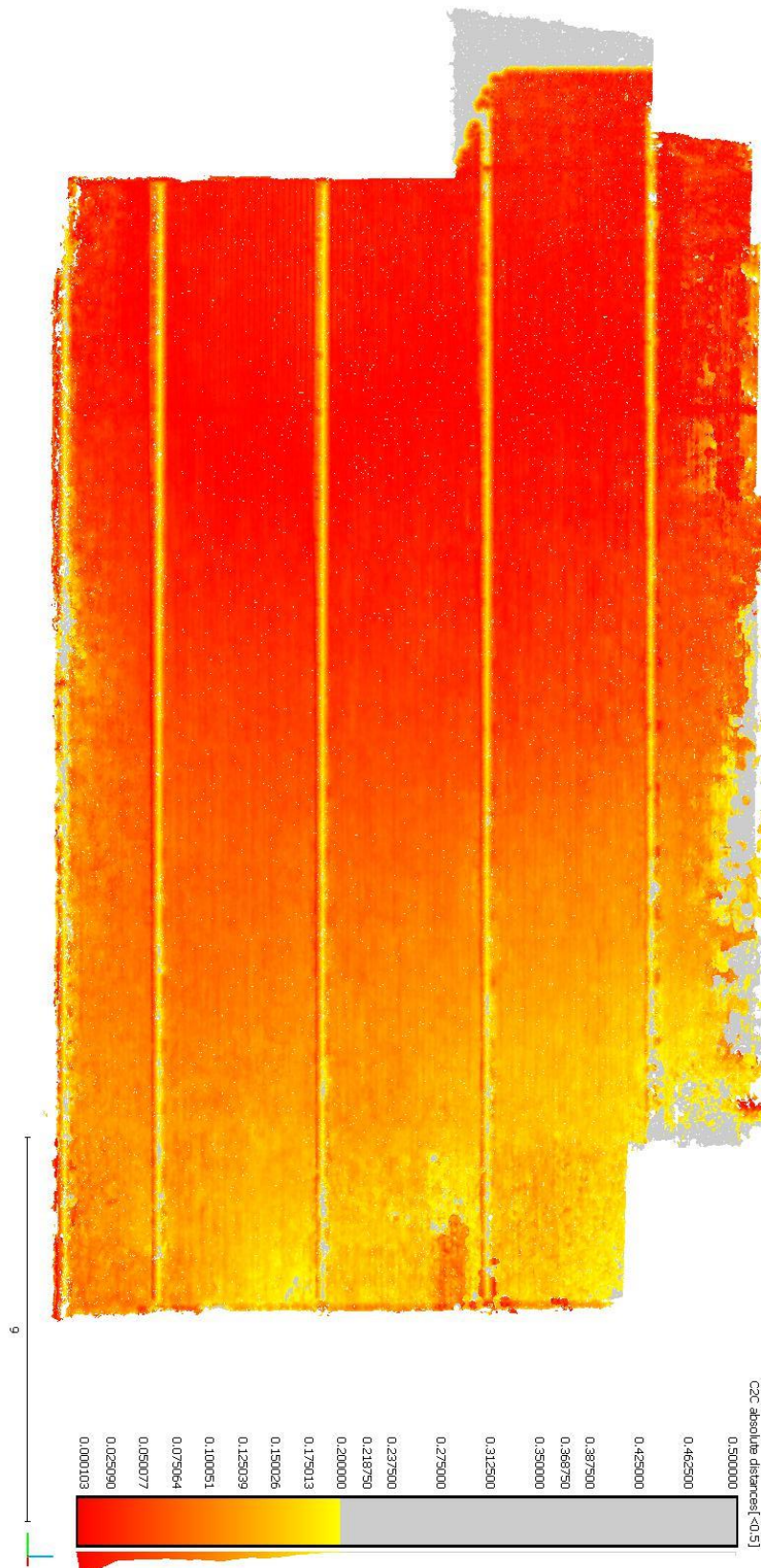


Figura 40 Façana C, núvol de punts amb calibratge automàtic.



Figura 41 Façana C, núvol de punts amb calibratge.

## 12.2 Anàlisi conjunt



Figura 42 Façana A (Conjunt), núvol de punts sense calibratge.



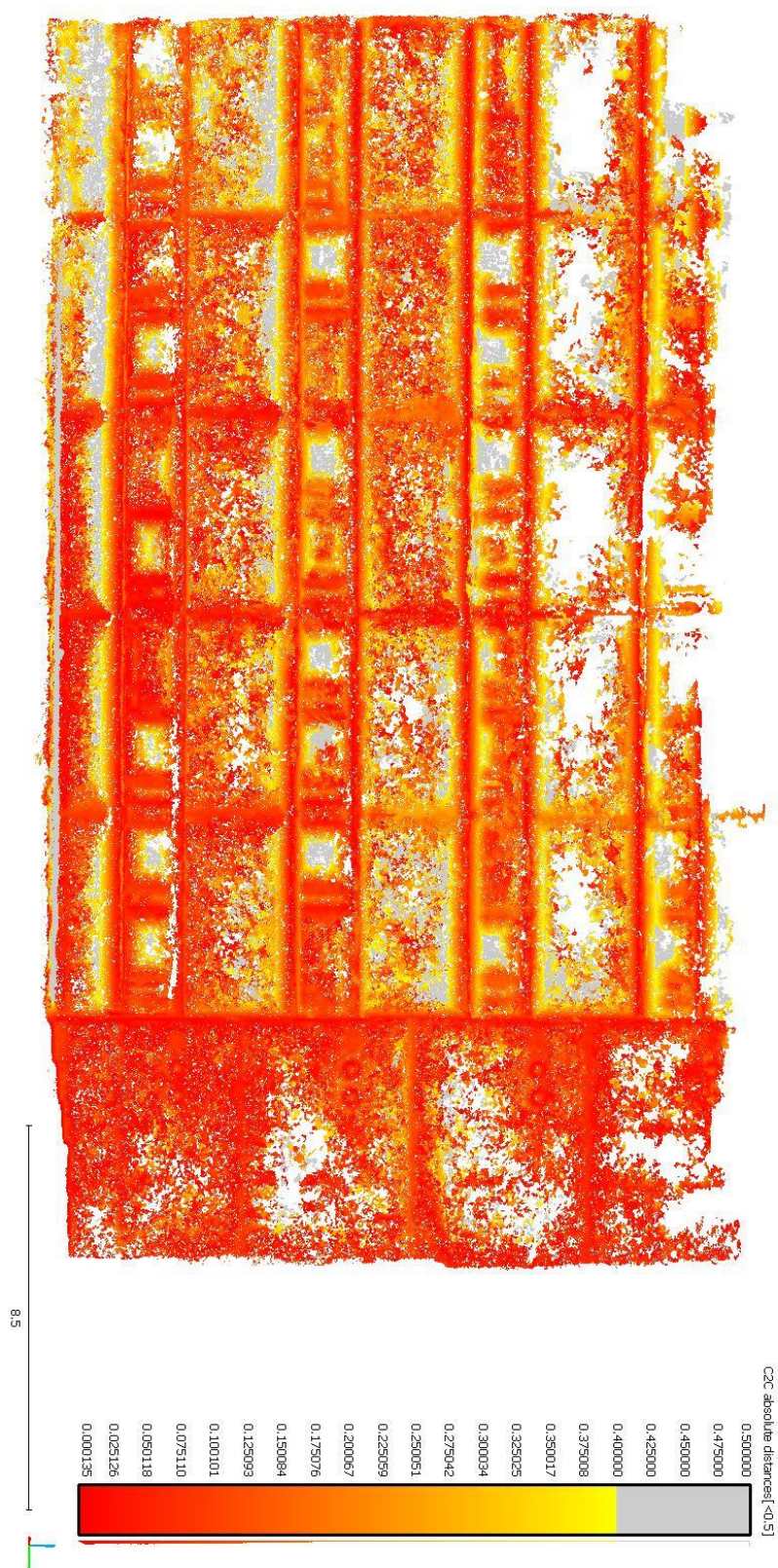


Figura 43 Façana A (Conjunt), núvol de punts amb calibratge automàtic.

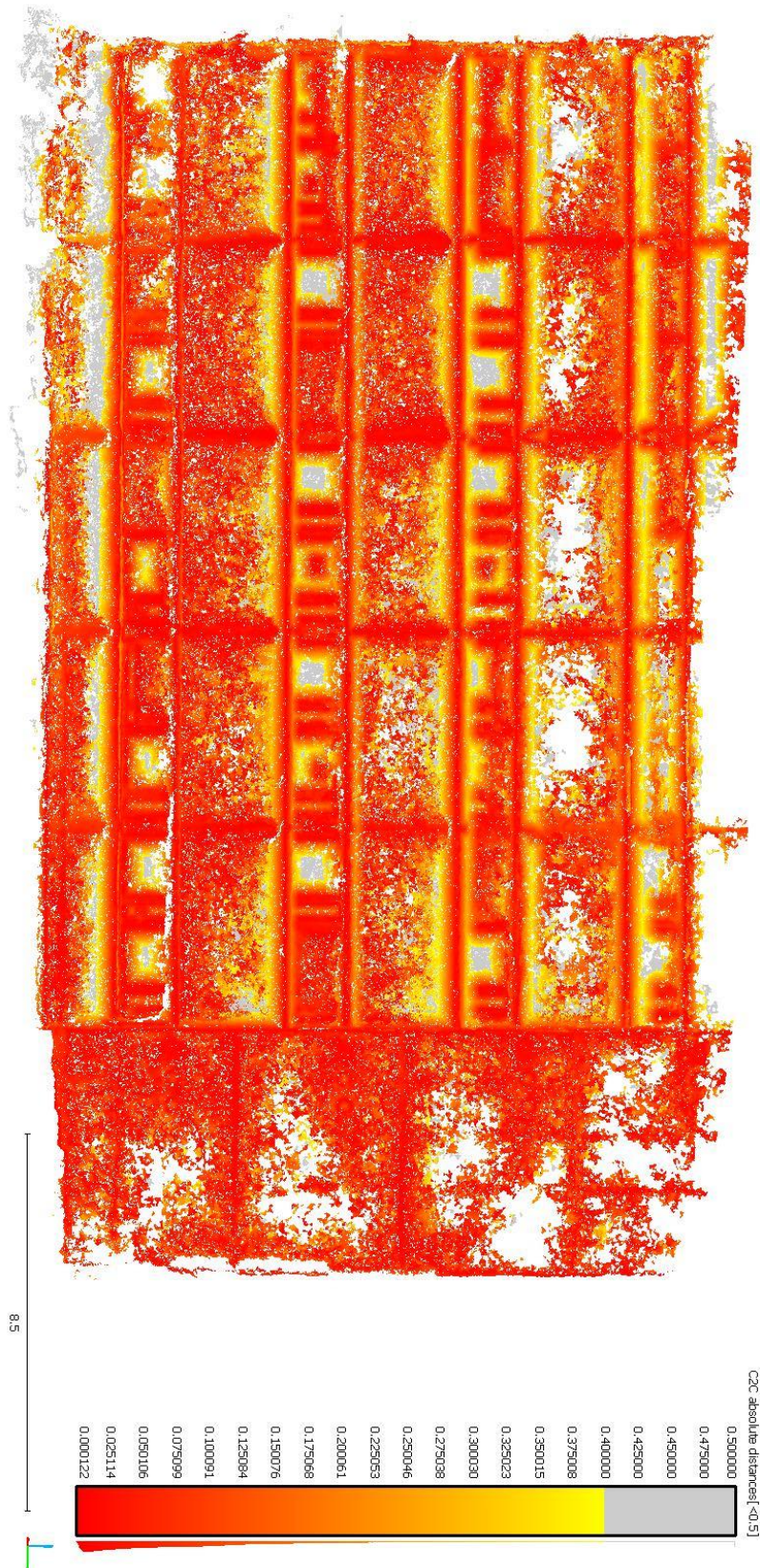


Figura 44 Façana A (Conjunt), núvol de punts amb calibratge.

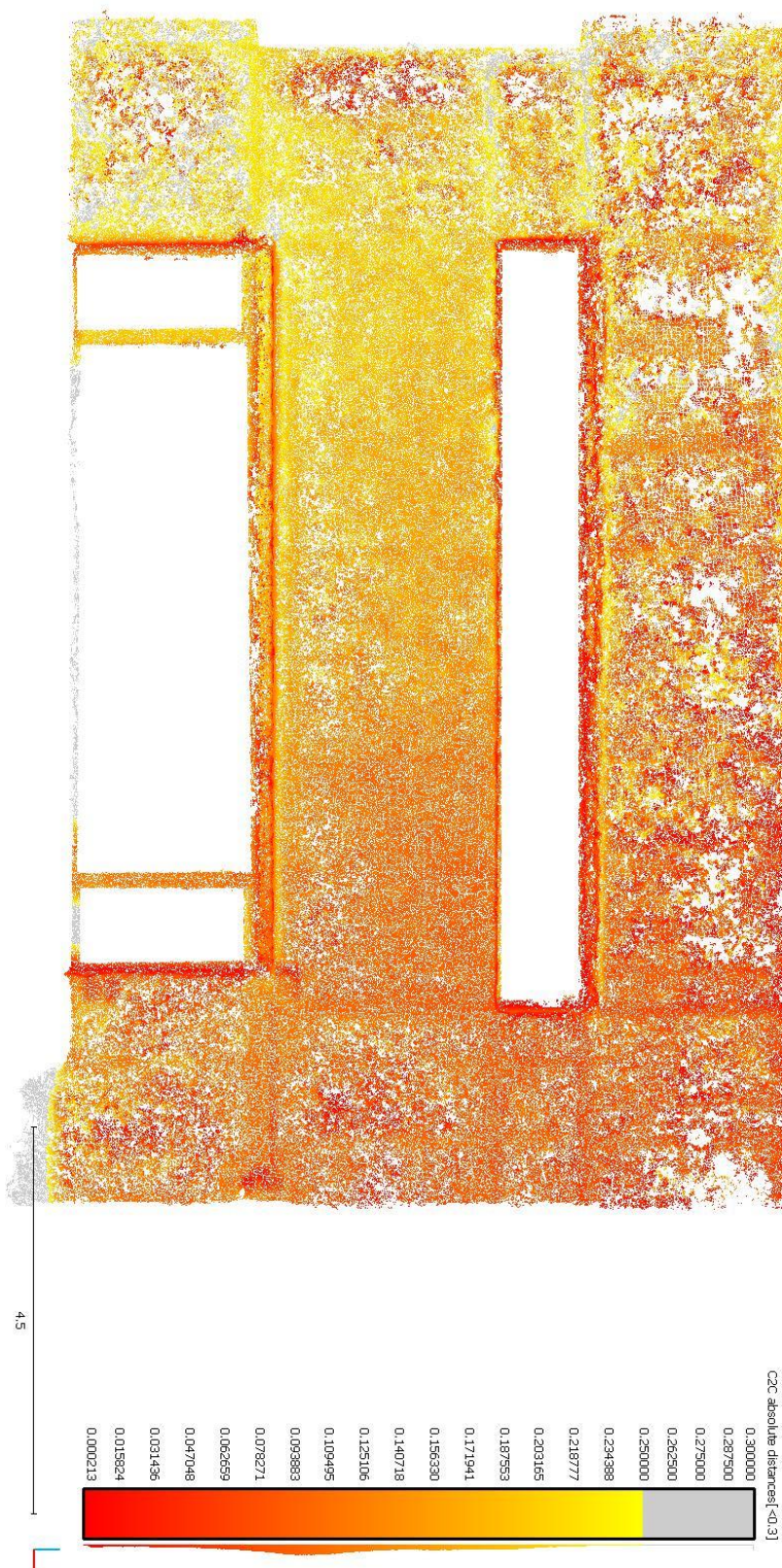


Figura 45 Façana B (Conjunt), núvol de punts sense calibratge.

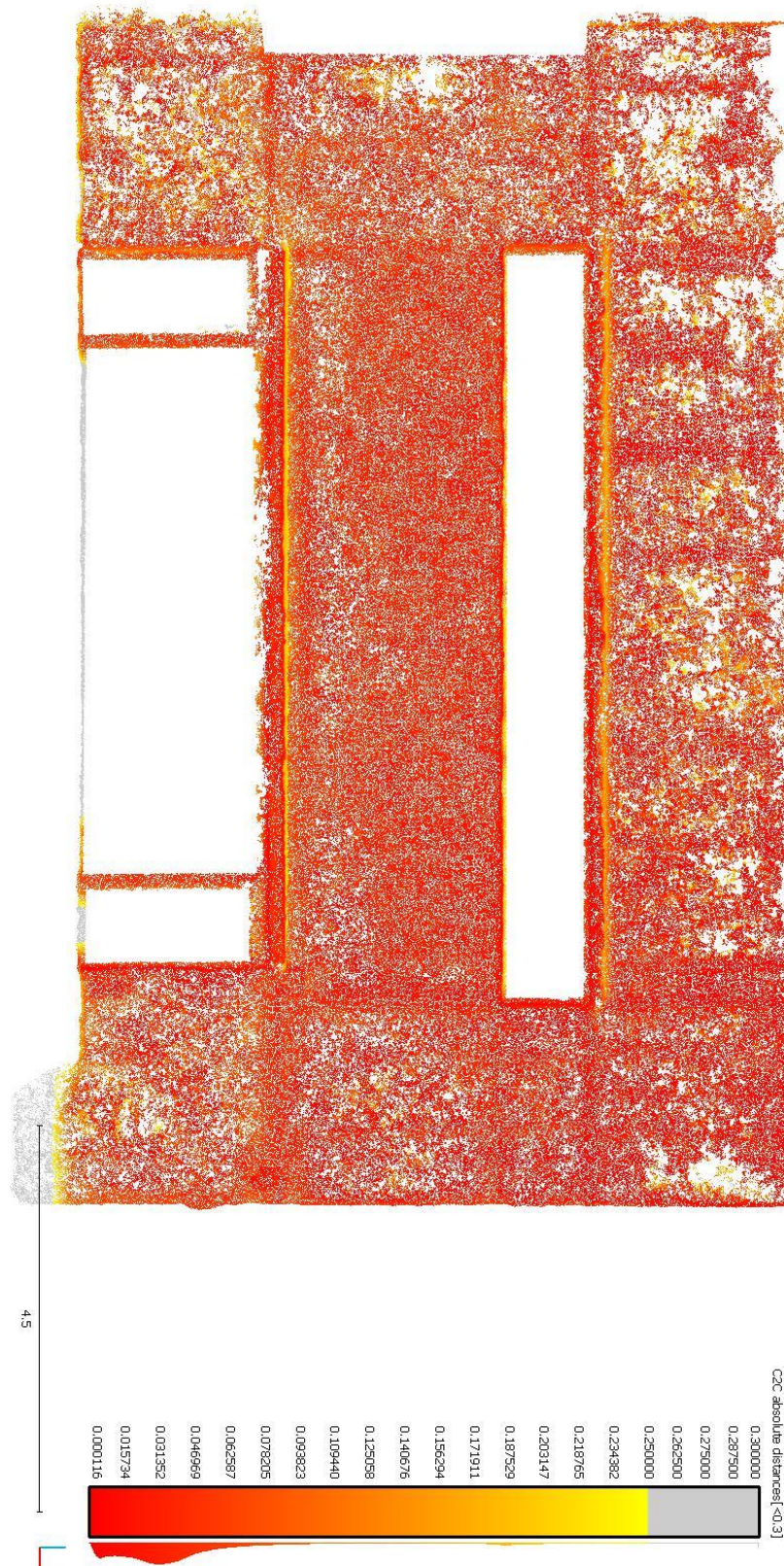


Figura 46 Façana B (Conjunt), núvol de punts amb calibratge automàtic.

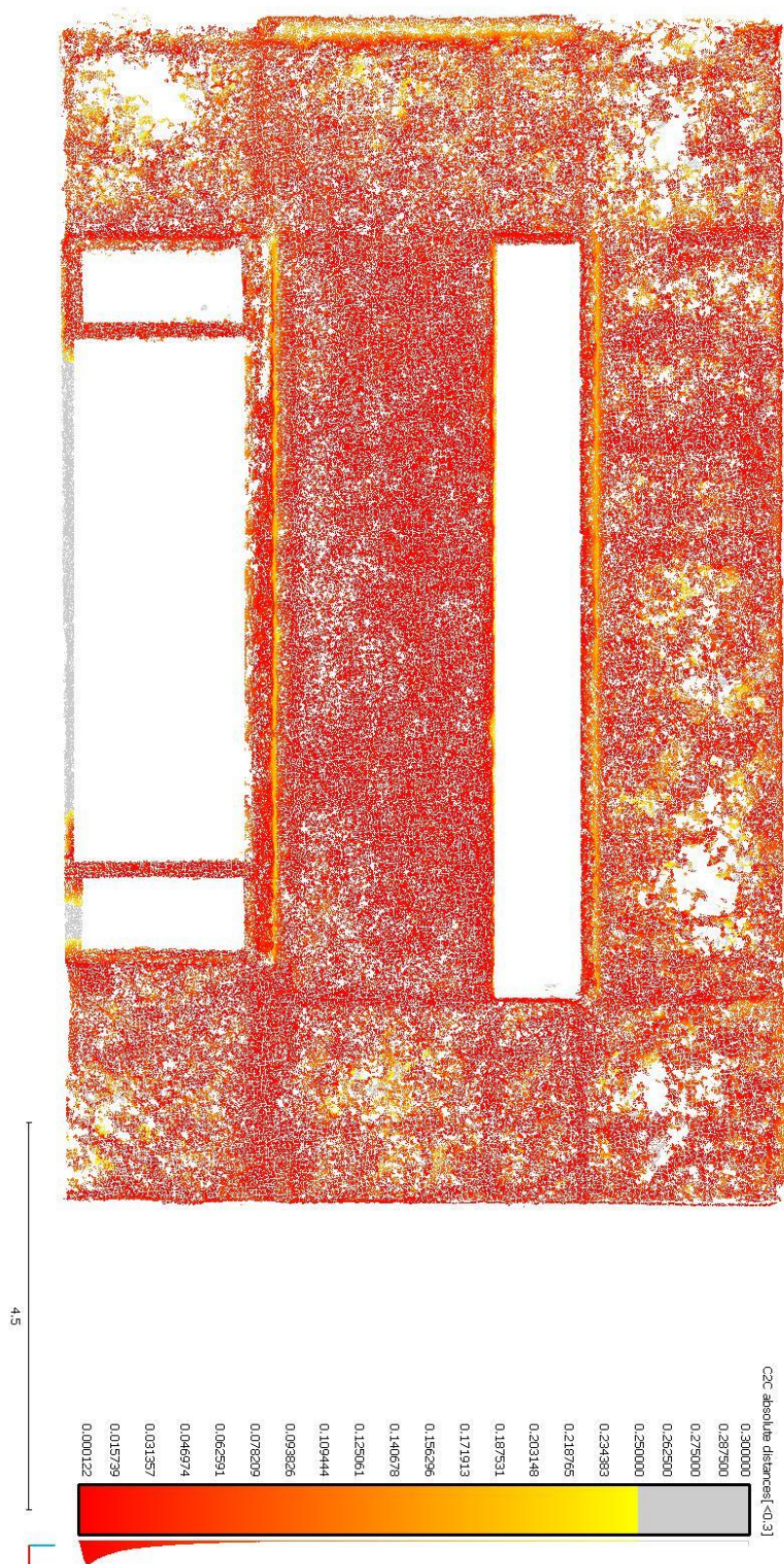


Figura 47 Façana B (Conjunt), núvol de punts amb calibratge.

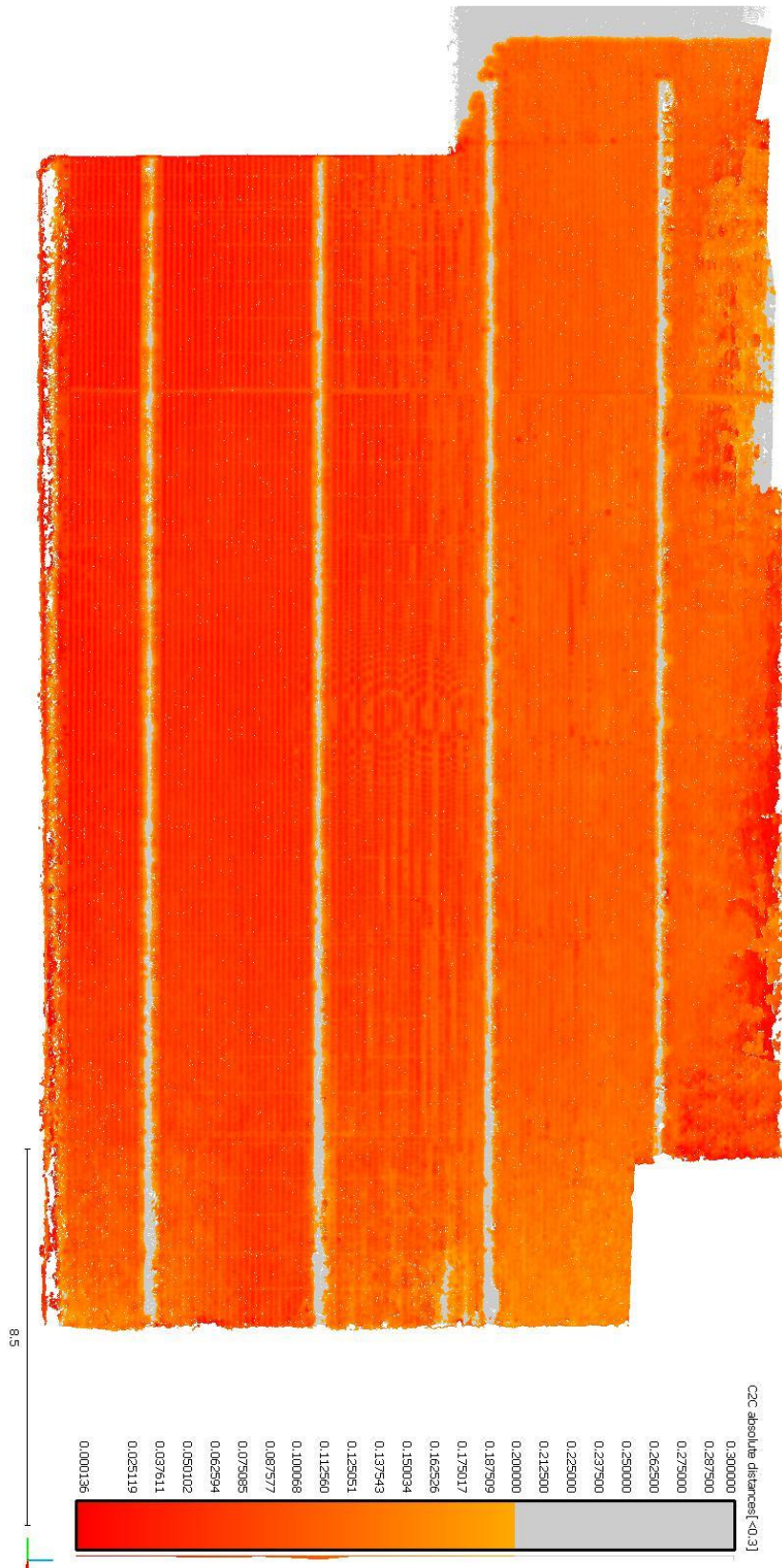


Figura 48 Façana C (Conjunt), núvol de punts sense calibratge.

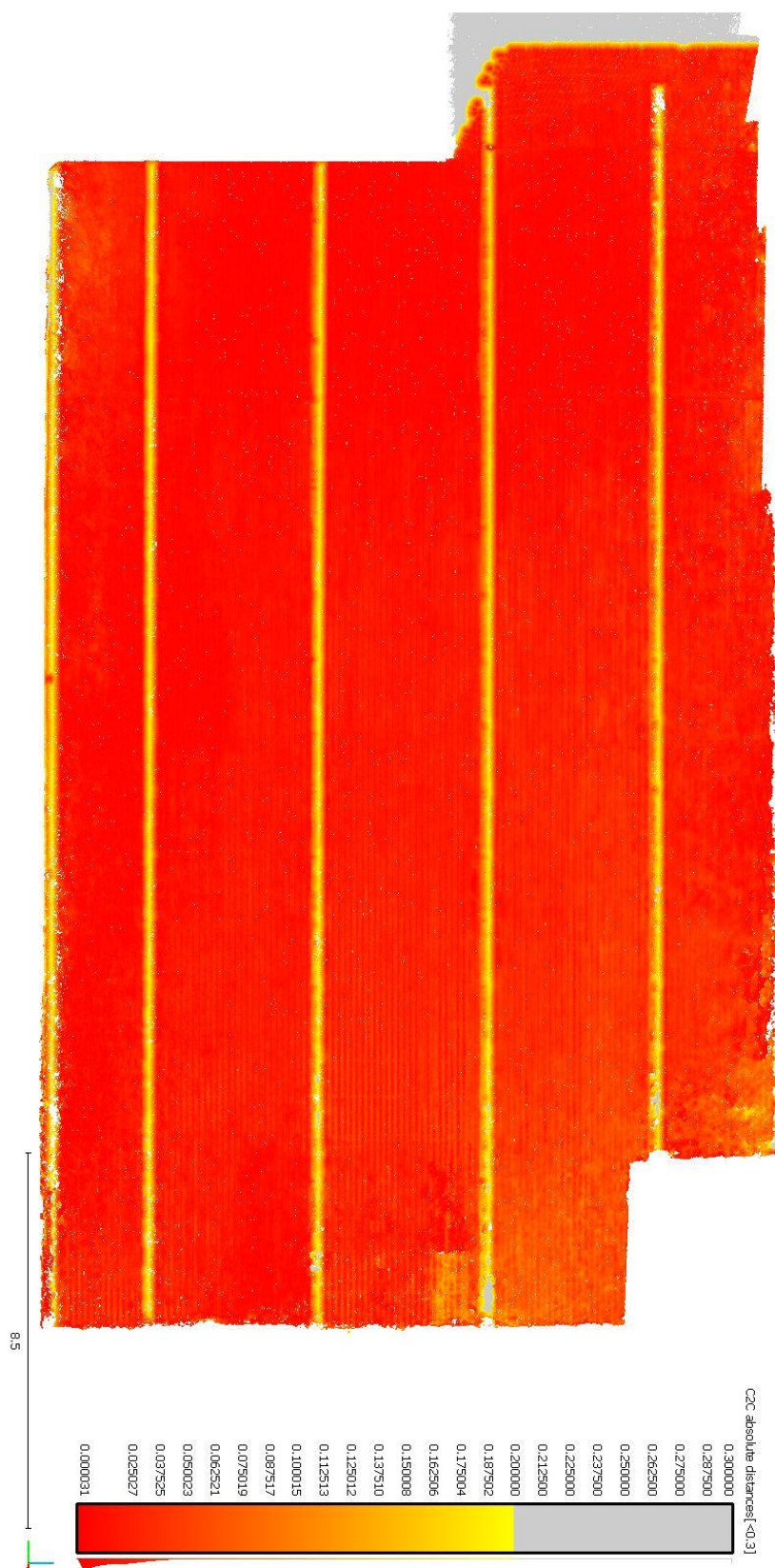


Figura 49 Façana C (Conjunt), núvol de punts amb calibratge automàtic.

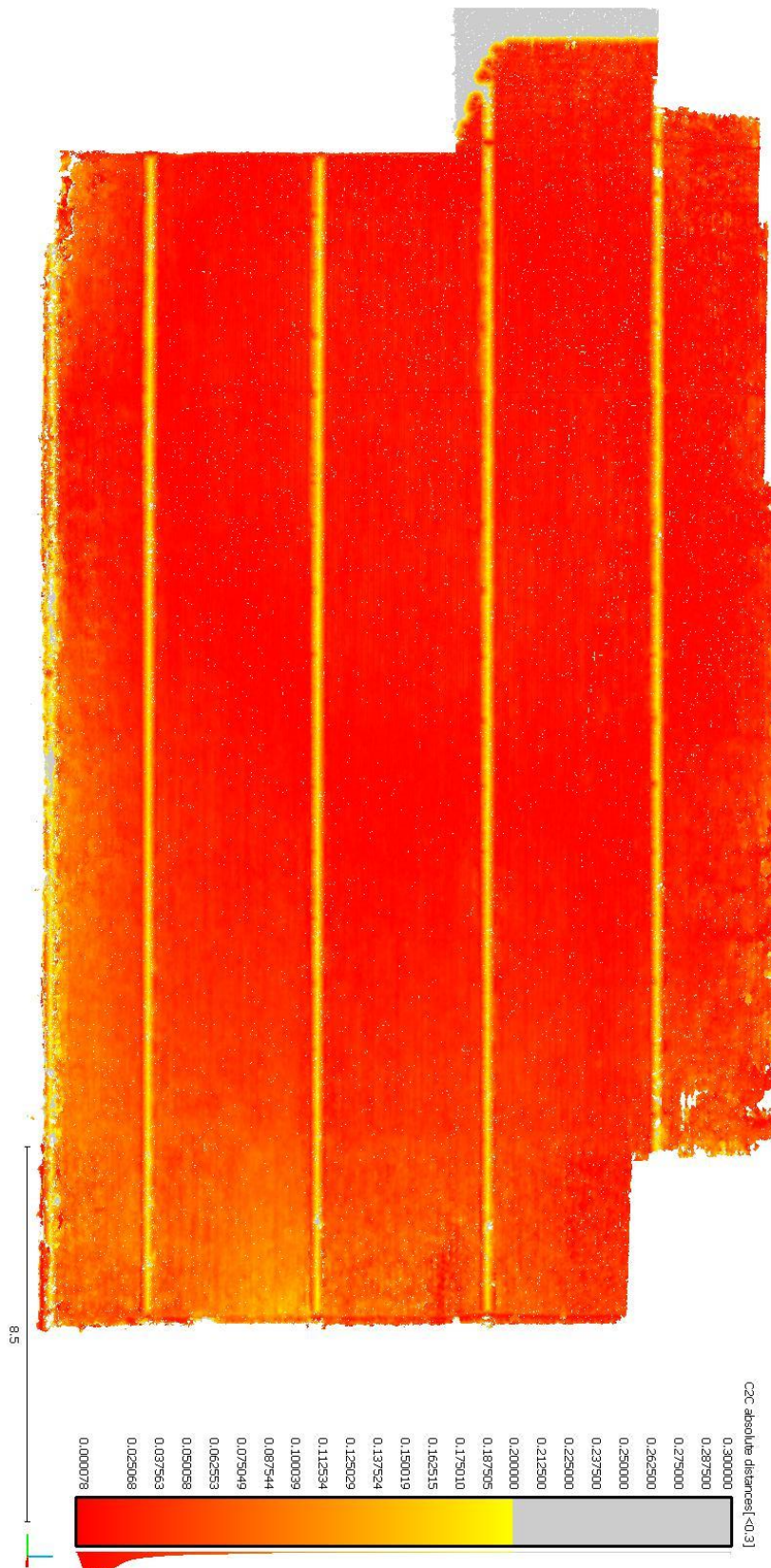


Figura 50 Façana C (Conjunt), núvol de punts amb calibratge.



