

Delors B. B. B.

Senyalització fotogramètrica per a la determinació de coordenades amb precisió

I. Colomina

Desembre 1987

1 Introducció

Aquest document justifica i descriu els requeriments per a la ubicació i senyalització de punts objecte en blocs fotogramètrics de precisió. Es consideren les configuracions habituals per a les xarxes fotogramètriques de densificació: 60% de recobriment longitudinal; 60% de recobriment transversal i una distància focal d'aproximadament 152mm. Com és també habitual es considera la senyalització pels 3 tipus següents de punts:

- punts de recolzament (és a dir els punts de coordenades ja conegudes),
- punts de densificació (punts de coordenades no conegudes objecte dels treballs de densificació),
- i punts involucrats en observacions topogràfiques cas que hagin de ser processades simultàniament amb el bloc.

En general, la senyalització d'un punt millora sensiblement la precisió de les coordenades que se n'obtidran (punts de densificació) o que se n'extrauran (punts de recolzament) i contribueix positivament a la qualitat global de la xarxa. Dins el marc delimitat pels condicionants econòmics i de temps és aconsellable la senyalització del màxim nombre possible de punts.

Les exigències i recomanacions presentades han de considerar-se pròpies d'un treball d'alta precisió, essencialment diferent d'un treball de triangulació aèria destinat exclusivament a la posterior compilació estereoscòpica.

2 Simbols, convencions i estructura del bloc ideal

S'ha dit que es consideren blocs amb un recobriment longitudinal del 60% i transversal del 60%. Considerarem que l'objectiu és del tipus gran angular (152mm). Les dimensions d'una imatge seran 23cm x 23cm. Si hom suposa un vol exactament regular en què els centres de projecció -coordenades (X, Y)- defineixen una quadrícula de n_p passades i n_i imatges per passada -tot plegat un bloc de $n_p n_i$ imatges- i en què el terreny és pla, llavors es pot considerar una quadrícula de n_0 punts objecte sobre el terreny on

$$n_0 = (n_p + 2)(n_i + 2) - 4. \quad (1)$$

Aquesta quadrícula és tal que:

- té $n_p + 2$ files i $n_i + 2$ columnes;

Percentage	No. d'imatges
48 %	9
22 %	6
2 %	4
22 %	3
5 %	2

Table 1: Multiplicitat en l'observació dels punts objecte

- li manquen els quatre punts de les cantonades;
- i llevat dels punts del perímetre del bloc, existeix un punt objecte per cada centre de projecció (i les coordenades horitzontals del punt i el centre de projecció són les mateixes).

Es defineixen les següents variables.

f : distància focal de la cambra (en aquest cas 152mm).

H : alçada dels centres de projecció (valor únic per a tot el bloc).

h : alçada dels punts del terreny (s'ha suposat el terreny pla i, per tant, també es tracta d'un valor únic).

m_i : escala de l'imatge on

$$m_i = \frac{f}{H - h} \quad (2)$$

b_0 : la coneguda *base*, o distància entre dos centres de projecció consecutius d'una passada (que en el supòsit establert de xarxa coincideix amb la distància entre dues passades consecutives).

b_i : la base a escala de l'imatge ($b_i = b_0 m_i$).

Per a configuracions de la xarxa com la considerada es verifiquen

$$b_i = 9.2cm, \quad (3)$$

$$b_0 = \frac{9.2}{m_i}cm. \quad (4)$$

En aquestes condicions ideals, $(n_p - 2)(n_i - 2)$ dels n_0 punts objecte poden ésser observats a 9 imatges, $2n_p + 2n_i - 8$ poden ésser observats a 6 imatges, 4 ho poden ser a 4 imatges, $2n_p + 2n_i - 8$ a 3 imatges i, 8 punts només poden ésser observats a 2 imatges. Així, per exemple, en un bloc de 9 passades de 13 imatges cadascuna hi ha 117 imatges i 161 punts objecte repartits segons que indica la taula 1. Per a la determinació de coordenades amb alta precisió només són acceptables els punts observats 4 o més vegades. En altres paraules, cal rebutjar tots els punts de la frontera del bloc (vegis la figura 1). Si per altres raons s'han

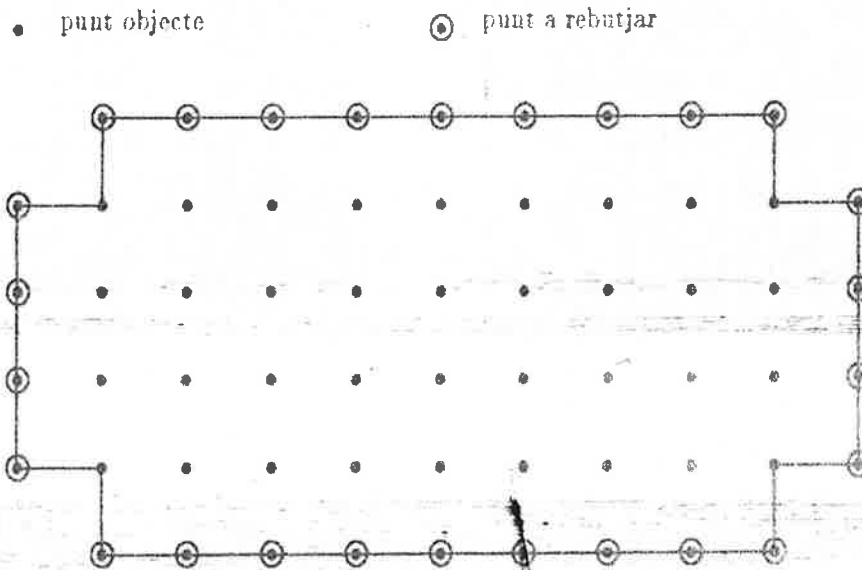


Figure 1: Els punts del perímetre s'han de rebutjar

de determinar coordenades de més punts no constituents de l'esmentada quadricula de n_0 punts, cal tenir present la figura 2. A la figura 2 les xifres indiquen el nombre d'imatges que cobreixen l'àrea corresponent. Aquesta figura és vàlida per a les zones interiors del bloc i no per a les fronteres (vegis figura 3). Llevat d'aquestes zones frontereres, es pot dir que la superfície útil del terreny coberta per la xarxa fotogramètrica es pot dividir segons els percentatges donats a la taula 2.

En altres paraules, si el vol s'apropa (ja es definirà que tant *a prop* no és *poc a prop*) prou a l'estructura anterior, aproximadament un 75% del bloc és cobert amb un nombre *òptim* d'imatges (≥ 6) i el 25% ho és amb un nombre *acceptable* (≥ 4).

Val a dir que, al menys aquests n_0 punts han d'ésser mesurats, ja siguin punts de densificació o no, i que la situació desitjable és aquella en què els punts de densificació coincideixin

% del terreny	No. d'imatges
25 %	9
50 %	6
25 %	4

Table 2: Multiplicitat en l'observació dels punts objecte

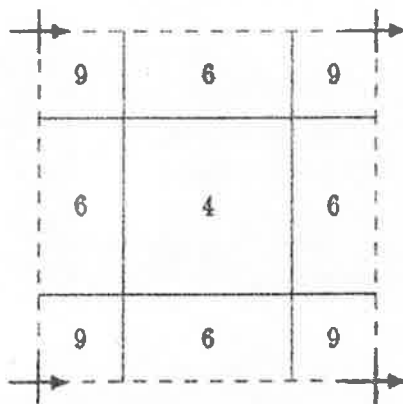


Figure 2: Àrees de diferent multiplicitat entre 4 centres de projecció

Recobriment lateral: 60%

Recobriment transversal: 60%

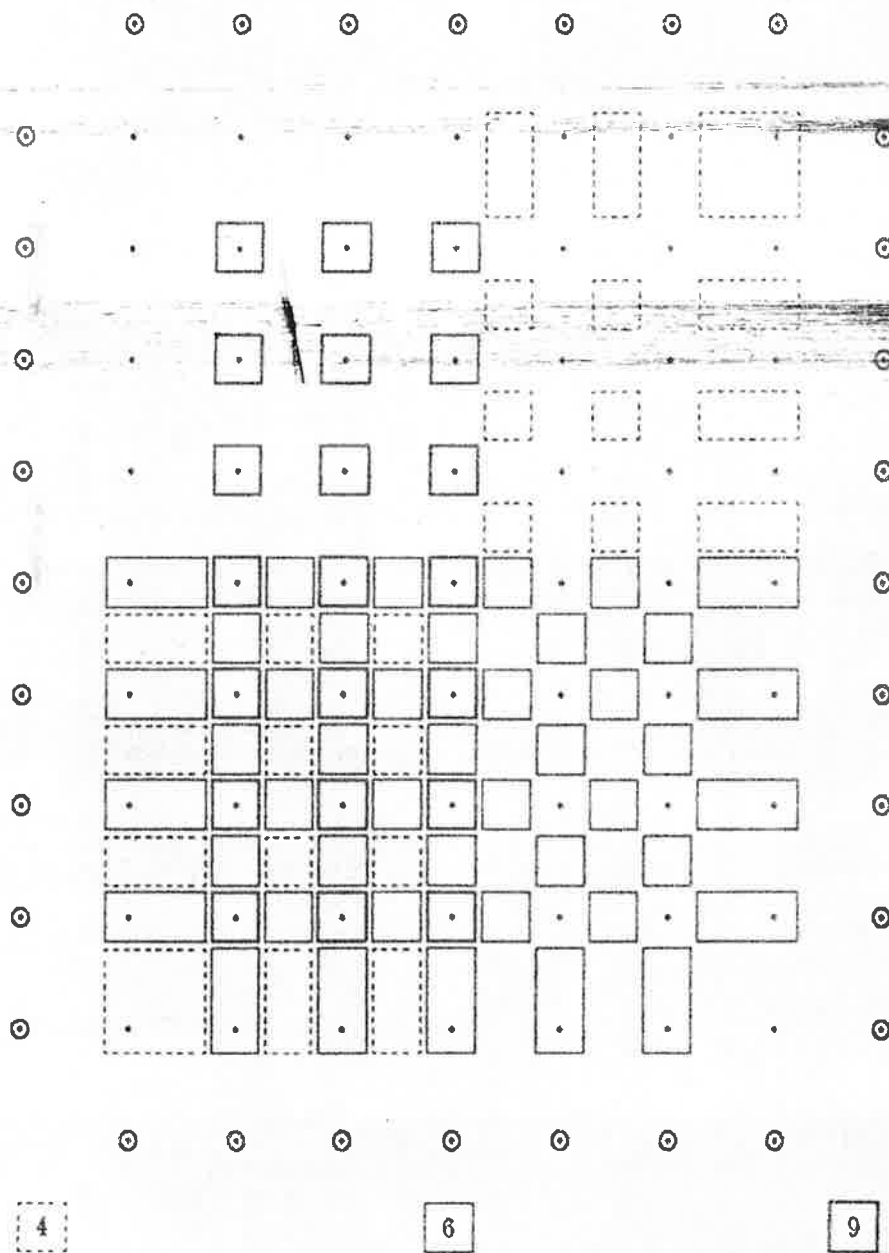


Figure 3: Àrees de diferent multiplicitat dins el bloc

(siguin un subconjunt) amb els punts observats 9 vegades. També s'ha d'observar que a partir dels n_0 punts bàsics es poden afegir amb gran flexibilitat (aquí la flexibilitat val exactament 0.75) tants punts de densificació com calgui amb l'única despesa addicional de la senyalització.¹

El bloc fotogramètric considerat fins aquí ha estat *ideal* en el sentit que un bloc *real* ha d'adaptar-se al terreny variant la distància entre passades i l'altitud dels centres de projecció amb el propòsit de mantenir l'estructura regular de recobriment descrita en aquesta secció. En ocasions resulta difícil, si no impossible, d'aconseguir estructures ideals del bloc.

3 Dues condicions essencials

L'objecte d'una densificació de qualitat és la determinació no esbiaixada (absència d'errors sistemàtics) i precisa (desviació estàndard petita) de coordenades. Els dos factors que determinen les característiques de qualitat del bloc són la configuració de la xarxa (imatges i punts) i la pròpia qualitat de les observacions. En un bloc de triangulació aèria de precisió la configuració és la descrita a la secció 2. També hi ha la possibilitat de voler amb un 20% de recobriment longitudinal i un 20% de recobriment transversal però volant en direccions creuades; és a dir, el bloc és la suma de dos subblocs en què eixos de passades de subblocs diferents formen un angle recte. No es considera aquesta darrera possibilitat.

És clar, doncs, que un cop dissenyat el vol només es pot contribuir a una bona configuració de la xarxa observant cada punt a un nombre suficient de fotogrames. I, anàlogament, un cop decidit l'aparell de mesura (mono- o estereo-comparador) només es pot contribuir a una bona qualitat de les observacions mitjançant una senyalització adequada realitzada *abans* del vol i un procediment precís de transferència de punts -evitant la transferència artificial o *punxat*- per medi del croquisat o la correlació digital.

Aquest document es limita a l'aspecte de la senyalització, tant pel que afecta la configuració del bloc (ubiquació dels senyals) com pel que afecta la qualitat de les observacions (mides i característiques del senyal). En aquest punt ja s'adverteix que les condicions per a la ubiquació del senyal no es reduïxen a establir una circumferència de tolerància dins la que hagi d'estar el senyal, sinó que s'extenen a les característiques de fàcil identificació i visibilitat *aèria*, així com finalment, a les toleràncies geomètriques del vol respecte el disseny ideal.

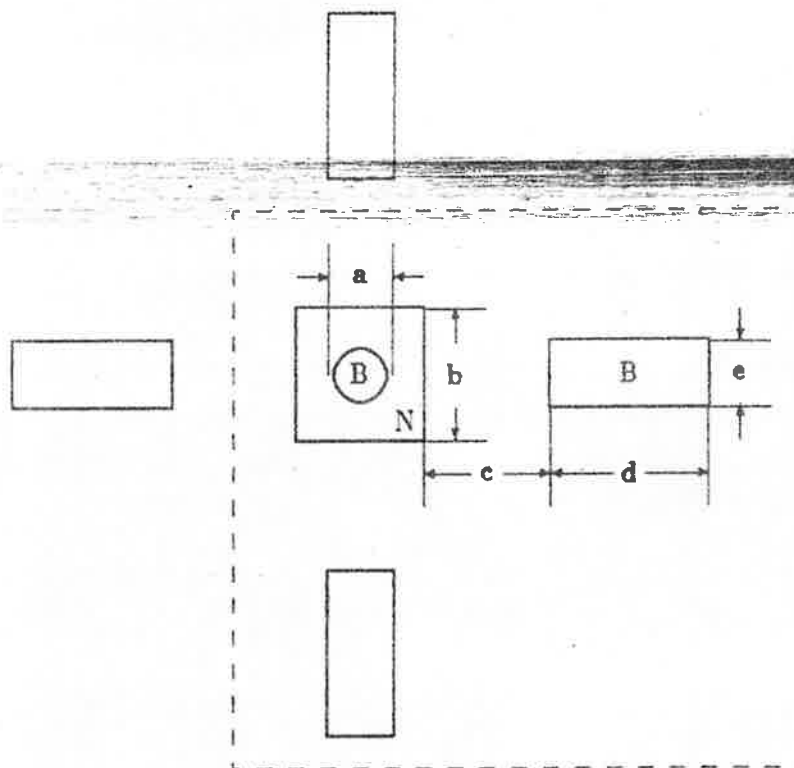
4 El senyal fotogramètric

Existeixen dissenys d'acceptació general que es poden trobar a la literatura especialitzada habitual. El senyal que s'aconsella és el descrit a (Grün et al., 87). La raó de l'elecció és que s'ha tingut l'oportunitat de discutir l'assumpte amb els autors i s'han recollit les seves suggerències i experiència.

En qualsevol dels dissenys referenciats es veu que el senyal fotogramètric té dos elements diferenciats: l'*element de localització* (la creu o barres exteriors) i l'*element de punteria fina* (la diana). Cas que la localització del punt sigui fàcil i no es disposi d'espai per a col·locar l'element de localització, el senyal es pot reduir a l'element de punteria.

4.1 Disseny

Geomètricament, el senyal proposat és el de la figura 4. En la taula 3 es donen intervals de valors entre els que poden oscil·lar els factors d'escala $a(m_1)$ per a les escales de vol habituals



- $a = 0.6 c(m_i)$
- $b = 1.2 c(m_i)$
- $c = 1.2 c(m_i)$
- $d = 1.5 c(m_i)$
- $e = 0.6 c(m_i)$

B: blanc.

N: negre.

- les unitats de la taula són en metres.
- el requadre defineix la configuració mínima del senyal.

Figure 4: Senyal fotogramètric de punteria

$1/m_i$	$c(m_i)$	Diana (h)
2500	0.1 - 0.2	0.12 - 0.24 m
5000	0.2 - 0.3	0.24 - 0.36 m
10000	0.6 - 0.9	0.74 - 1.08 m
15000	0.8 - 1.2	1.28 - 1.44 m
22000	1.0 - 1.4	1.20 - 1.68 m
40000	2.2 - 3.4	2.64 - 4.08 m
60000	3.0 - 4.5	3.60 - 5.40 m

— 0.72
 X 0.96

Table 3: Intervals de variació per a $c(m_i)$

al ICC. El valor a decidir depèn de la qualitat de l'imatge i les mides dels índexs flotants de mesura.

4.2 Fixació del senyal fotogramètric al senyal geodèsic

El centre de l'element de punteria del senyal fotogramètric ha d'estar foradat (cercle perfectament realitzat) per tal de poder fixar-lo al senyal geodèsic del ICC (forat de diàmetre *nmm*) o bé per a poder fixar-lo a la base del senyal geodèsic del IGN tal com s'indica a la figura 5. En tots els casos es mesurarà, i constarà a la ressenya de senyalització fotogramètrica, la distància vertical entre la superfície superior de la diana i la base del monument geodèsic que materialitzi el punt a determinar. Quan la diana no estigui fixada directament al senyal geodèsic (cas de torres d'observació) el centratge s'efectuarà utilitzant una plomada o similar. En aquesta darrera eventualitat d'utilització de torres d'observació es podrà prescindir de l'element de localització del senyal.

4.3 Material a emprar en la construcció del senyal fotogramètric

Els materials han de ser tals que no reflecteixin la llum excessivament (textures *mates*) i tals que resisteixin la humitat i els canvis de temperatura durant el període expressament indicat al plec de condicions.

4.4 Permanència del senyal

Els plecs de condicions fixaran la data en què tots els senyals han d'estar posats per l'equip que ha efectuat la senyalització. Els plecs de condicions també especificaran la periodicitat de les visites de comprovació de l'estat de conservació del senyal cas que la data anterior no pugui ésser establerta exactament.

El ICC organitzarà una campanya de difusió del projecte de densificació explicant les raons i la necessitat de l'existència d'una xarxa geodèsica de qualitat. Aquesta campanya s'adreçarà al conjunt de la població dels municipis afectats en general i als propietaris dels terrenys afectats en particular. A aquests darrers se'ls hi trametrà una carta explicativa i material de divulgació que el ICC haurà d'elaborar.

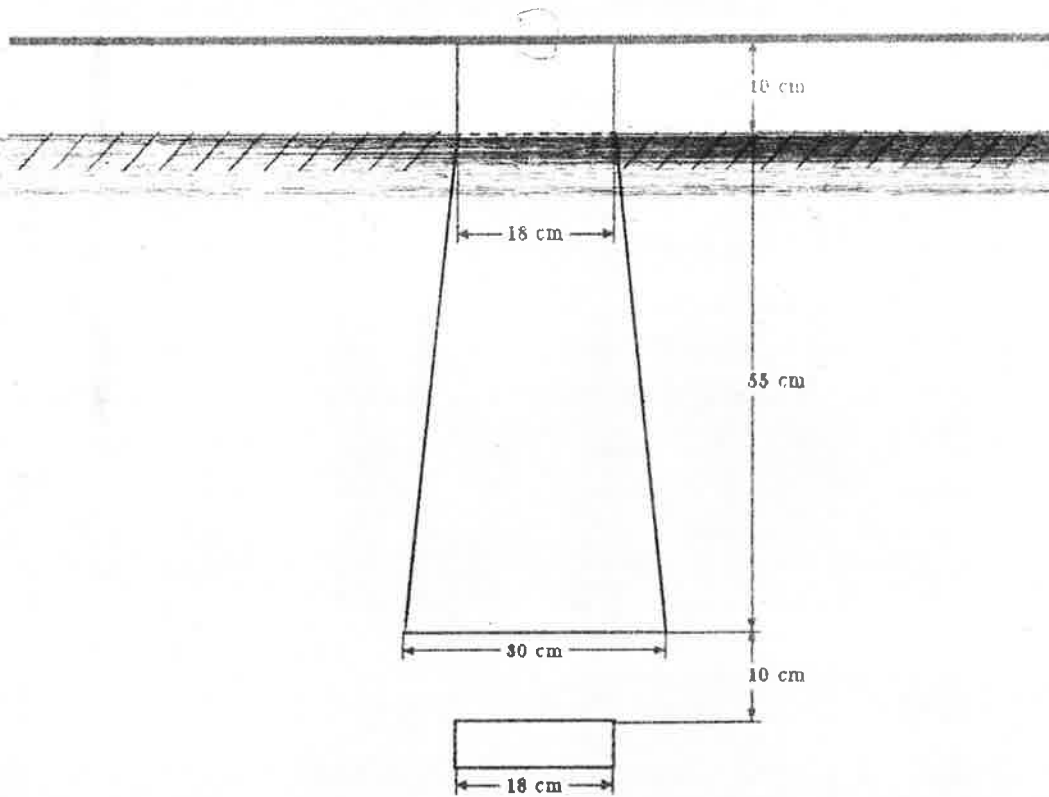


Figure 5: Fixació del senyal fotogràfic al senyal geodèsic

Com a ajut a la permanència dels senyals s'acompanyarà el senyal d'una placa informativa del projecte i de la conveniència de no destruir-lo. També es demanarà de comunicar al ICC qualsevol defecte o desplaçament observats.

5 Geometria del vol fotogramètric

No és l'objecte d'aquest document l'establir les toleràncies del vol, però cal destacar que són fixades per tal d'assegurar que el nombre mínim de fotogrames previst en què estigui representat un punt objecte es mantingui.

~~El criteri que se segueix és el d'imposar la verificació de la desigualtat~~

$$b_0 > 4\sqrt{t_1^2 + \dots + t_n^2} \quad (5)$$

on t_1, \dots, t_n , són els desplaçaments sobre el terreny causats per errors iguals a les toleràncies establertes per a:

- ~~• Ubiquació dels punts.~~
- el desplaçament horitzontal del centre de projecció en una de les dues direccions x o y ;
- el desplaçament vertical del centre de projecció;
- i els desplaçaments deguts a desviacions dels paràmetres d'actitud.

6 Requeriments geomètrics en l'ubiquació del senyal

El senyal s'haurà de col·locar dins de l'àrea continguda en una circumferència imaginària de centre la situació determinada en el predisseny del bloc (vegis la secció 8 d'aquest document) i de radi $.06 \times b_0$, on b_0 és la base fotogramètrica especificada al predisseny.

La justificació de l'expressió anterior es troba a la fórmula 5 i a la resta de les toleràncies expressades al document *Disseny de blocs fotogramètrics per a densificació geodèsica*.

7 Requeriments de visibilitat en l'ubiquació del senyal

El senyal se situarà en un lloc prou visible des de l'aire, és a dir, no hi hauran obstacles en el con de visibilitat aèria definit per un angle zenital no menor de 40° i vèrtex al centre de l'element de punteria del senyal. Es procurarà que els elements de localització del senyal verifiquin les mateixes condicions de visibilitat aèria.

Es procurarà, especialment, que es verifiquin les condicions de visibilitat exigides per a la col·locació de senyals geodèsics per a un eventual posterior aprofitament en treballs topogràfics.

En general, tant en els treballs efectuats per geodesistes com en aquells efectuats per fotogrametristes es tindran presents els requeriments globals i no només els seus en particular.

8 Material que el ICC lliurarà a l'equip de senyalització i/o reconeixement

El ICC lliurarà la següent documentació per a la realització dels treballs de senyalització.

Cas de tractar-se de treballs exclusius de senyalització, es lliuraran:

- Ressenyes dels monuments o senyals geodèsics on s'hagin d'instal·lar els senyals fotogramètrics:

Cas de tractar-se de treballs de reconeixement es lliuraran:

- Les coordenades proposades per a cadascun dels punts a senyalitzar i que definiran els centres de les circumferències imaginàries de tolerància. Aquestes coordenades podran ser proporcionades en llistats o altres tipus de suport informàtic, i d'acord amb els estàndards pels formats d'arxius de punts del ICC.

- ~~Un gràfic dels punts anteriors sobre pel·lícula transparent i tantes còpies (fins a 10) sobre paper com sol·liciti l'equip de senyalització.~~

El ICC designarà un coordinador dels treballs al que l'equip de comunicarà periòdicament el curs de realització dels treballs així com qualsevol eventualitat que exigeixi una solució no contemplada als plecs d'especificacions.

Per tal de facilitar la tasca dels equips, el ICC proporcionarà als seus membres les credencials corresponents als propietaris o arrendataris dels terrenys afectats. El ICC també facilitarà documentació de divulgació (algun tipus de prospecte) de la xarxa de quart ordre que l'equip lliurará en el moment de presentació de les credencials. En general, es procurarà concertar les entrevistes amb els afectats amb prou antelació.

9 Material que l'equip de senyalització i/o reconeixement lliurará al ICC

L'equip de senyalització lliurará una ressenya de senyalització fotogramètrica per a cada punt senyalitzat en què constaran les dades que segueixen.

- L'accés al senyal cas que no figurés aquesta informació a la ressenya geodèsica.
- Fotografia del senyal un cop instal·lat.
- Cas que es procedeixi a una revisió de l'estat de conservació dels senyals només caldrà lliurar una nova fotografia quan el senyal hagi estat col·locat de nou.

L'equip de reconeixement lliurará a la ressenya.

- Les coordenades aproximades obtingudes a partir de la situació del punt senyalitzat sobre un full d'escala major o igual que la 1 : 50000, expressades en el sistema UTM o en el sistema de referència el·lipsoidal indistintament. Les coordenades altimètriques s'obtidran de la mateixa manera i es referiran al sistema d'altituds reglamentari.
- L'accés al senyal.

10 Exemple de condicions de senyalització i/o reconeixement per a un vol a escala 1:15000

Tot queda definit si hom observa que en aquest cas la base b_0 val 1380m i si fixem per a $c(m_i)$ el valor 1.2.

En aquest supòsit d'escala el màxim desplaçament d'un punt respecte la ubicació proposada al predisseny és d'aproximadament 80m.

Plec de condicions tècniques per a la senyalització fotogramètrica de la Prova Pilot de Densificació

Institut Cartogràfic de Catalunya

Desembre 1987

1 Introducció

En aquest plec es presenten les condicions tècniques que cal observar en l'elecció de l'ubiquació i la col·locació dels senyals fotogramètrics per a l'experiència pilot de densificació de quart ordre.

Donat que en el cas particular d'aquesta experiència els senyals fotogramètrics han d'ésser instal·lats sobre senyals geodèsics prèviament existents, les condicions de visibilitat que s'exigeixen en aquest plec s'hauran de considerar com a condicions addicionals a les del *Plec de condicions tècniques per a la col·locació de senyals geodèsics de vèrtex de la Prova Pilot de quart ordre de Catalunya*.

2 Requeriments geomètrics en l'ubiquació del senyal

El senyal s'haurà de col·locar dins de l'àrea continguda en una circumferència imaginària de centre la situació determinada en el predisseny del bloc i de radi 80m.

Cas que no sigui possible assolir aquest requeriment es posarà en coneixement del coordinador dels treballs per part del ICC.

3 Requeriments de visibilitat en l'ubiquació del senyal

El senyal se situarà en un lloc prou visible des de l'aire, és a dir, no hi hauran obstacles en el con de visibilitat aèria definit per un angle zenital no menor de 40° i vèrtex al centre de l'element de punteria del senyal. Es procurarà que els elements de localització del senyal verifiquin les mateixes condicions de visibilitat aèria.

Es procurarà, especialment, que es verifiquin les condicions de visibilitat exigides per a la col·locació de senyals geodèsics per a l'eventual posterior aprofitament en treballs topogràfics.

Igual que abans, cas que no sigui possible assolir aquest requeriment es posarà en coneixement del coordinador dels treballs per part del ICC.

4 Execució dels treballs

Un cop comprovades les condicions geomètriques i de visibilitat anteriors, es procedirà a la fixació del senyal fotogramètric al senyal geodèsic.

Pels senyals geodèsics del tipus 1, 2 i 3 es centrarà l'element de punteria respecte del centre del senyal geodèsic que materialitza el vèrtex. La distància màxima horitzontal tolerable entre el centre de la diana i el vèrtex geodèsic serà de 2mm.

Pel senyal geodèsic de tipus 4, es podrà substituir la col·locació de la diana per la pintura d'una diana de característiques similars i es mesurarà la diferència d'alçada entre el vèrtex real i la superfície on s'hagi pintat la diana.

En tots els casos es determinarà la distància vertical entre la superfície superior de la diana i el vèrtex geodèsic.

Pels senyals geodèsics del IGN es practicarà un forat al centre de la diana, de manera que aquesta pugui descansar sobre la base del vèrtex i es fixarà la diana de manera que s'eviti qualsevol tipus de moviment o desplaçament. Es mesuraran les distàncies horitzontals i verticals al vèrtex. Les toleràncies són les mateixes que pels vèrtex del ICC.

En tots els casos es donarà el gruix del plafó on és pintada la diana.

5 Material a emprar en la construcció del senyal fotogràmic

Els materials han de ser tals que no reflecteixin la llum excessivament (textures mates) i tals que resistixin la humitat i els canvis de temperatura durant el període expressament indicat al plec de condicions.

6 Terminis per a la realització dels treballs

Els treballs de senyalització hauran d'estar conclusos el dd.mm.aa, la qual cosa significa que en aquesta data tots els senyals han d'estar instal·lats i que en els darrers n'ha procedit a la comprovació de la seva permanència.

7 Permanència del senyal

Cas que no fos possible efectuar el vol fotogràmic en els terminis previstos el ICC podrà encarregar la comprovació de l'estat dels senyals amb un dies d'antelació. L'equip de senyalització ha d'estar disposat a la realització d'aquesta tasca fins 1 mes després de la data fixada per a la finalització dels treballs de senyalització.

8 Material que el ICC lliurarà a l'equip de senyalització

El ICC lliurarà la següent documentació per a la realització dels treballs de senyalització:

- Ressenyes dels monuments o senyals geodèsics on s'hagin d'instal·lar els senyals fotogràmics.
- Credencials en què consti el tipus de treball que es procedirà a realitzar i en què es demani col·laboració.
- Prospectes de divulgació del projecte de construcció de la xarxa de quart ordre de Catalunya.
- Plaques per a situar a la vora del vèrtex un cop s'hagi instal·lat el senyal fotogràmic. En aquestes plaques es descriurà breument el treball que s'està efectuant i la conveniència de no destruir els senyals així com d'informar dels possibles desperfectes.
- Tota aquella informació que faciliti el desenvolupament dels treballs en qüestió, i resulti necessària en opinió del ICC.

El ICC designarà un coordinador dels treballs de al que l'equip de comunicarà periòdicament el curs de realització dels treballs així com qualsevol eventualitat que exigeixi una solució no contemplada als plecs d'especificacions.

9 Material que l'equip de senyalització lliurarà al ICC a la conclusió dels treballs

L'equip de senyalització lliurarà una ressenya de senyalització fotogràmica per a cada punt senyalitzat en què constaran les dades que segueixen.

- L'accés al senyal cas que no figurés aquesta informació a la ressenya geodèsica.
- Fotografia del senyal un cop instal·lat.
- Cas que es procedeixi a una revisió de l'estat de conservació dels senyals només caldrà lliurar una nova fotografia quan el senyal hagi estat col·locat de nou.
- Un esbòs de la situació del senyal fotogramètric respecte del senyal geodèsic en què figuri amb claredat el conjunt de distàncies esmentades a la secció 4 d'aquest plec.

Un cop efectuat el vol fotogramètric el ICC podrà sol·licitar de l'equip de senyalització l'identificació aproximada (circumferències de 1cm de diàmetre) dels punts senyalitzats sobre els fotogrames.

L'equip de senyalització podrà ésser encarregat d'omplir la ressenya de visita de vèrtex geodèsic cas que els treballs de senyalització geodèsica hagin estat realitzats, segons criteri del ICC, amb prou anterioritat com per justificar la comprovació de l'estat del vèrtex.

10 Control i seguiment dels treballs

L'equip de senyalització mantindrà el ICC al corrent de l'evolució dels treballs i comunicarà de forma immediata al ICC qualsevol eventualitat, tècnica, de visibilitat o de qualsevol altre tipus que impedeixi la realització de la senyalització en la forma especificada.

11 Altres condicions