



UNIVERSITAT DE BARCELONA



# DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN CORRELADOR ÒPTIC DUAL INTEGRANT LES ARQUITECTURES DE VANDERLUGT I DE TRANSFORMADES CONJUNTES

Universitat de Barcelona  
Departament de Física Aplicada i Òptica

Ignasi Labastida i Juan

## Capítol 6

# Disseny i muntatge del correlador òptic dual

En aquest capítol s'explica com s'ha muntat el processador òptic dual amb les pantalles de cristall líquid de resolució VGA i es presenten els resultats experimentals obtinguts, així com una aplicació al reconeixement d'objectes tridimensionals. Aquest muntatge combina l'arquitectura del correlador convergent de VanderLugt amb la del JTC. Hem emprat aquestes LCDs perquè ens permeten utilitzar imatges més grans amb un control acurat píxel a píxel, i a més aconseguim una reducció en la longitud total del sistema, degut a les dimensions del pixelat. Com a inconvenient més destacable cal esmentar la poca modulació en fase que poden oferir aquests moduladors, així com la necessitat de realitzar muntatges més complexos per obtenir resultats de correlació semblants als que oferien els correladors amb pantalles CGA.

La llargària final del correlador ve determinada per l'arquitectura del tipus VanderLugt, és per això que s'ha fet un estudi per aconseguir escurçar-lo al màxim tenint en compte els requeriments dels factors d'escala involucrats. L'anàlisi matemàtica d'aquest muntatge ens ha dut a determinar les condicions necessàries per tal d'aconseguir un correlador de dimensions reduïdes.

Com ja s'havia apuntat en capítols anteriors, la utilització de teleobjectius és fonamental per aconseguir reduir la longitud total del correlador. Un teleobjectiu simple només consta d'una lent convergent i una lent divergent, i com explicarem a continuació, la distància focal d'aquesta darrera és la que determinarà la llargària dels difractòmetres que componen el correlador.

## 6.1 Anàlisi matemàtica del correlador òptic de llargària reduïda

Abans de construir un processador òptic la longitud del qual sigui petita, cal fer-ne el disseny i analitzar tots els components que en determinaran la llargària total. Les dimensions d'un correlador òptic coherent de VanderLugt que utilitza dispositius pixelats per mostrar les imatges ve determinada principalment per la separació entre les dues pantalles, la d'entrada on es visualitza l'escena, i la del pla de Fourier on hi ha el filtre. Aquest espai entre ambdós moduladors ha de ser l'adiant per tal que l'escala de la transformada òptica coincideixi amb la del filtre, generat digitalment a partir del motiu a reconèixer. De fet aquesta condició es redueix a tenir suficientment separats en el pla de Fourier els ordres de difracció produïts per la utilització de dispositius pixelats. En tots els processos de difracció es pot definir una constant  $K$  que és la relació entre les periodicitats dels dos plans esmentats anteriorment. Així doncs, la condició de tenir suficientment separats l'escena i el filtre es pot escriure matemàticament en funció de les relacions de periodicitat i la constant de difracció:

$$K = p_e N_f p_f \quad (6.1)$$

on  $p_e$  i  $p_f$  són les periodicitats del modulador d'entrada i del pla de Fourier, respectivament, i  $N_f$  el nombre de píxels del filtre (Figura 6.1).

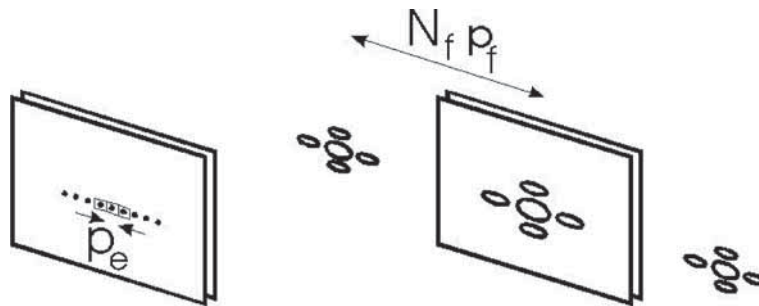


Figura 6.1: Condició de difracció entre les periodicitats de les pantalles

Com hem vist en el Capítol 5 hi ha diferents tipus de correladors de VanderLugt, que tindran longituds diferents quan s'hagi de complir la condició precedent. Històricament el primer muntatge que va aparèixer és el  $4f$  [Van64] que rep aquest nom per la distància existent entre el pla d'entrada i el de sortida. La constant de difracció d'aquest correlador es pot escriure com el factor d'escala que hi ha entre els dos plans ( $K = \lambda F$ ) i per tant, seguint l'Equació 6.1, la distància focal de les lents serà:

$$F = \frac{p_e N_f p_f}{\lambda} \quad (6.2)$$

Aquest resultat ens determina la separació entre els dos moduladors, que en aquest cas és  $2F$ .

Una manera d'escurçar aquest correlador és el d'utilitzar imatges més petites, és a dir valors de  $N_f$  menors, o emprar dispositius amb pixelats menors. Però si hem de mantenir el mateix factor d'escala, podem reduir les dimensions del muntatge construint un correlador convergent [JL82]. En aquest sistema òptic, la constant de difracció ve definida per  $K = \lambda Z$ , on ara  $Z$  és la distància existent entre les dues pantalles, i tindrà el següent valor si es vol mantenir l'anterior factor:

$$Z = \frac{p_e N_f p_f}{\lambda} \quad (6.3)$$

El valor resultant de la distància  $Z$  és el mateix que el valor que necessitàvem per a la focal de les lents convergents en el cas del correlador  $4f$ . Ara bé, cal tenir en compte que en el  $4f$  la separació entre plans és  $2F$  mentre que en el convergent és  $Z$ , tal i com es pot veure en les Figures 5.1 i 5.2, respectivament. Per tant, el muntatge CCVL redueix l'esmentada separació a la meitat, però encara es treballa amb distàncies grans. Cal buscar un muntatge alternatiu que ens permeti disminuir la longitud tot mantenint les escales. La solució més senzilla és la utilització de teleobjectius, és a dir la combinació de lents convergents i divergents com a elements difractius [FBLC86, DWB<sup>+</sup>89]. S'han fet diversos estudis per avaluar el funcionament dels teledifractòmetres [BVJFM92, JVB92] i la viabilitat de construir correladors de longituds reduïdes [BCG90, CCG91, CGC91].

El nostre objectiu és trobar les condicions necessàries per fer un correlador del tipus VanderLugt d'una llargària mínima i estudiar la possibilitat de muntar-lo amb el material que disposem. L'esquema del nostre sistema òptic és el que es pot veure en la Figura 6.2.

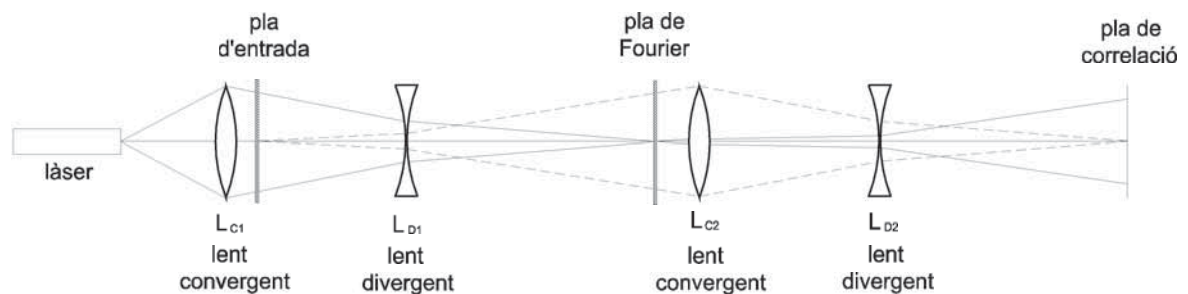


Figura 6.2: Esquema d'un correlador convergent de VanderLugt amb teleobjectius

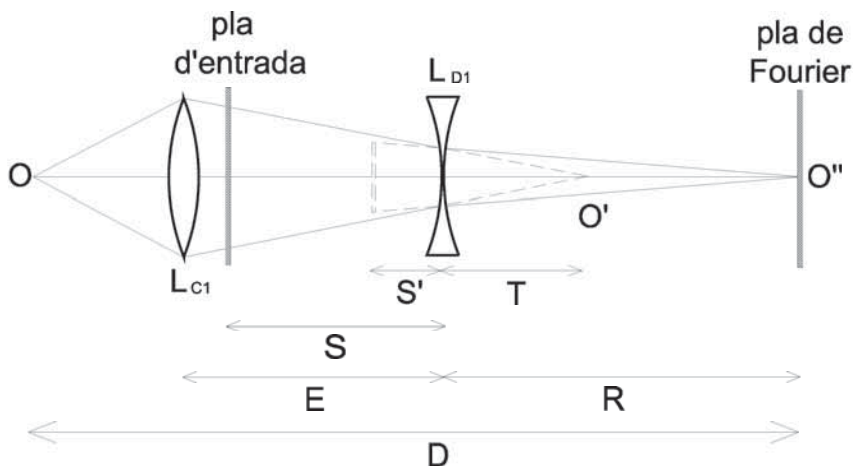
El muntatge òptic de la Figura 6.2 es pot avaluar com l'acoblament de dos teledifractòmetres. Per analitzar matemàticament tot el correlador podem dividir-lo en

aquestes dues parts i buscar les condicions necessàries per tal d'aconseguir la mínima longitud a partir d'una sèrie de requeriments com per exemple la constant de difracció. En les dues seccions següents estudiem cada difractòmetre per separat i en minimitzem la llargària en funció d'algun dels paràmetres que hi intervenen.

### 6.1.1 Primer teledifractòmetre

En aquesta primera secció analitzarem el primer dels dos teledifractòmetres que el componen, el que produeix òpticament la transformada de Fourier de la imatge de l'escena, que està situada en la primera pantalla de cristall líquid. Aquesta imatge es difracta gràcies a la lent convergent i a la lent divergent, i en el pla de Fourier aquesta difracció esdevé la transformada multiplicada per un factor de fase, tal i com s'explica en l'Apèndix A.

En la Figura 6.3 es mostra aquesta primera part del muntatge òptic i s'hi indiquen les distàncies que hi intervenen. En l'anàlisi matemàtica que farem a continuació cal tenir en compte que hem considerat que les lents són primes, i hem escrit les expressions amb tots els paràmetres en valor absolut.



**Figura 6.3:** Esquema del primer difractòmetre d'un correlador convergent de VanderLugt amb teleobjectius

L'objectiu d'aquesta anàlisi és el de trobar les condicions que s'han d'imposar en les distàncies i els elements del muntatge per tal de minimitzar la longitud total del sistema. El primer que cal aconseguir és la reducció de la distància total ( $D$ ) d'aquest difractòmetre. Aquesta llargària ve determinada principalment per les distàncies focals de les lents, que són les responsables de formar imatge i produir les transformades òptiques, així com per la separació existent entre aquestes lents. Per tant hem

d'estudiar quin és el funcionament de les lents.

La lent convergent  $L_{C1}$  forma la imatge del punt  $O$  en el punt  $O'$ . Si considerem que la distància focal d'aquesta lent és  $F_{C1}$ , es compleix l'equació següent:

$$\frac{1}{D - E - R} + \frac{1}{E + T} = \frac{1}{F_{C1}} \quad (6.4)$$

on  $E$  és la separació entre les dues lents,  $R$  és la distància entre la lent divergent i el pla de Fourier, i  $T$  la distància que hi ha entre aquesta segona lent i el punt  $O'$ , tal i com es pot veure en la Figura 6.3.

Aquest punt  $O'$  té una imatge  $O''$  situada en el pla de Fourier, que es forma mitjançant la lent divergent  $L_{D1}$ . Si aquesta segona lent té una focal  $-F_{D1}$ , la relació entre les distàncies serà:

$$-\frac{1}{T} + \frac{1}{R} = -\frac{1}{F_{D1}} \quad (6.5)$$

Així doncs, aquest tercer punt  $O''$  és la imatge del punt origen  $O$  a través del sistema òptic que formen les dues lents. Seguint el desenvolupament matemàtic de l'Apèndix A, aquest punt està situat en el pla de Fourier i per tant, en aquesta posició apareix la transformada òptica del pla d'entrada a més d'un factor de fase.

La lent divergent influeix en el factor d'escala de la transformada ja que en variar la posició del pla de Fourier intervé en la determinació de la constant de difracció  $K_1$ , l'expressió de la qual escriurem posteriorment. A més cal tenir en compte la modificació del pla d'entrada a través d'aquesta segona lent. L'escena que es visualitza a l'entrada està situada a una distància  $S$  d'aquesta lent, per tant es formarà una imatge virtual a una separació  $-S'$ . D'aquesta manera, podem escriure una tercera equació que relacioni aquestes distàncies amb la focal de la lent divergent:

$$\frac{1}{S} - \frac{1}{S'} = -\frac{1}{F_{D1}} \quad (6.6)$$

Un cop determinades les equacions que relacionen les distàncies del muntatge i les focals de les lents, cal que analitzem altres paràmetres que intervenen en el procés de difracció i que també determinen la longitud final del muntatge.

El primer paràmetre que estudiarem és la constant de difracció  $K_1$  que ens determina el factor d'escala de la transformada de Fourier. Si només utilitzéssim la lent convergent d'aquest muntatge aquesta constant seria:

$$K_{conv} = \lambda(S + T) \quad (6.7)$$

és a dir, el producte de la longitud d'ona  $\lambda$  de la llum coherent utilitzada en el correlador, per la distància que hi ha entre el pla d'entrada i el de Fourier, ara ubicat en el punt  $O'$ .

En canvi, considerant les dues lents l'expressió d'aquesta constant queda modificada notablement. Primer cal tenir en compte el procés de formació d'imatge del pla d'entrada a través de la lent divergent, que produirà un augment lateral. I un cop ja s'ha format aquesta imatge, la distància entre ella i el pla de Fourier ja no és la mateixa que en el cas anterior. Així doncs, la constant de difracció  $K_1$  d'aquest primer difractòmetre serà:

$$K_1 = \lambda(S' + R) \frac{S}{S'} \quad (6.8)$$

Un segon paràmetre que podem tenir en compte és l'augment lateral  $M_1$  entre el punt final  $O''$  i l'inicial  $O$ . En aquest cas el valor final d'aquest factor ve determinat pel producte dels augments generats per cadascuna de les lents:

$$M_1 = \left( \frac{E + T}{D - E - R} \right) \left( \frac{R}{T} \right) \quad (6.9)$$

El que cal fer ara és relacionar les cinc equacions (Equacions 6.4, 6.5, 6.6, 6.8 i 6.9) per determinar com es pot assolir la mínima llargària del correlador a partir d'algun paràmetre que es pugui o s'hagi de fixar.

La primera condició que hem d'aplicar en construir el muntatge és la d'aconseguir que els diferents ordres de difracció que apareixen en el pla de Fourier, deguts al pixelat de les pantalles, estiguin suficientment separats. La mínima separació requerida ha de ser igual a la grandària de la imatge del filtre, per tant el valor de  $K_1$  queda determinat pel pixelat de les pantalles i les dimensions de les imatges emprades en el procés de correlació de la manera següent:

$$K_1 = p_e \times Np_f \quad (6.10)$$

on  $p_e$  és el pixelat de la LCD d'entrada i  $Np_f$  és la grandària del filtre.

També podem considerar l'augment lateral  $M_1$  com un paràmetre fixat ja que ens determina la grandària que tindrà la imatge del punt  $O$  en el pla de Fourier. Les dimensions inicials d'aquest punt dependran del tipus de filtrat espacial que es faci a la llum coherent utilitzada. Així doncs, considerant  $K_1$  i  $M_1$  com a constants fixades del nostre problema podem començar a buscar una solució que ens determini les condicions per obtenir una llargària mínima.

A partir de la Figura 6.3, es pot deduir una primera condició per assolir el nostre objectiu, la de tenir la LCD d'entrada el més proper possible a la lent convergent. Això es tradueix en què les distàncies  $S$  i  $E$  han de coincidir ( $S = E$ ). En aquesta situació, i combinant les Equacions 6.6 i 6.8, la constant  $K_1$  es pot reescriure de la manera següent:

$$K_1 = \lambda(S' + R) \frac{E}{S'} = \lambda \left( E + R + \frac{ER}{F_{D1}} \right) \quad (6.11)$$

Per fer les simplificacions i substitucions necessàries en les equacions precedents, definim un nou paràmetre  $Q_1$ :

$$Q_1 = \frac{K_1}{\lambda} \quad (6.12)$$

D'aquesta manera podem arribar a una sèrie d'expressions per a determinats paràmetres que quedaran en funció d'unes variables, que en aquest cas són la distància  $R$  i la focal  $F_{D1}$ .

La primera distància que podem escriure és la separació entre les dues lents que adquireix la forma següent:

$$E = \frac{Q_1 - R}{R + F_{D1}} F_{D1} \quad (6.13)$$

Pel que fa a l'equació que relaciona la distància focal de la lent convergent amb les esmentades variables és la següent:

$$F_{C1} = \frac{Q_1 F_{D1}}{R + (M_1 + 1) F_{D1}} \quad (6.14)$$

Finalment l'expressió que determina la longitud total del primer difractòmetre és:

$$D = \frac{Q_1}{M_1} + \frac{Q_1 F_{D1} + R^2}{R + F_{D1}} \quad (6.15)$$

El nostre objectiu és el de trobar un valor mínim per a aquesta distància  $D$  per tant podem derivar aquesta expressió en funció de la distància  $R$ , obtenint:

$$\frac{\partial D}{\partial R} = \frac{R^2 + 2R F_{D1} + Q_1 F_{D1}}{(R + F_{D1})^2} \quad (6.16)$$

Igualant aquesta darrera equació a zero podem aconseguir la condició que cerquem:

$$\frac{\partial D}{\partial R} = 0 \rightarrow R = \sqrt{F_{D1}^2 + Q_1 F_{D1}} - F_{D1} \quad (6.17)$$

El resultat de l'Equació 6.17 ens indica que cal fixar un valor per a la distància focal de la lent divergent a partir del qual quedaran determinades les distàncies del muntatge òptic. A partir d'aquesta relació entre la distància  $R$  i la focal de la segona lent,  $F_{D1}$ , podem escriure de nou les expressions dels paràmetres involucrats.

El primer valor que ens interessa és justament la distància total d'aquest difractòmetre, que hem determinat que fos mínima. Amb aquestes condicions la longitud  $D$  és:

$$D_{min} = \frac{Q_1}{M_1} + 2R \quad (6.18)$$

Un cop s'ha fixat  $F_{D1}$  i s'ha trobat la distància  $R$  que minimitza la llargària total, es pot determinar la focal de la lent convergent, seguint l'Equació 6.14.



La separació entre lents, que havíem anomenat  $E$ , haurà de ser la mateixa que l'existente entre la lent divergent i el pla de Fourier, la distància  $R$ , ja que si substituïm el valor de  $R$  a l'Equació 6.13 tenim:

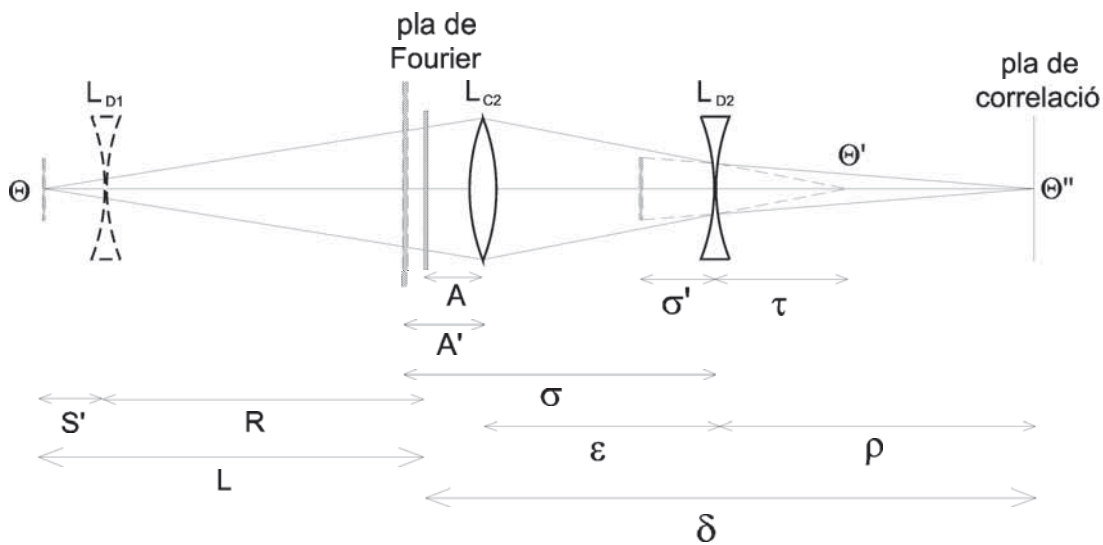
$$E = \frac{Q_1 - R}{R + F_{D1}} F_{D1} = R \quad (6.19)$$

Com a conclusió d'aquesta anàlisi matemàtica podem dir que la longitud final del primer difractòmetre ve determinada per la tria de la lent divergent. Com més petita sigui la seva distància focal més petita serà la llargària del muntatge però cal anar en compte perquè es poden presentar problemes d'aberracions [BCG90].

### 6.1.2 Segon teledifractòmetre

De la mateixa manera que en la secció anterior hem estudiat el primer teledifractòmetre ara podem analitzar les distàncies involucrades en el segon difractòmetre i trobar les condicions per aconseguir que tingui una longitud mínima a partir de la tria d'algun paràmetre determinat.

Si ens fixem en la Figura 6.2 podem separar-ne l'última part del muntatge i estudiar els elements i les distàncies que el formen. Aquest segon teledifractòmetre es el que es mostra en la Figura 6.4. Cal dir que algunes distàncies d'aquesta segona part ja venen determinades pel primer difractòmetre, és el cas dels valors de  $S'$  i  $R$ , la suma de les quals anomenarem  $L$ .



**Figura 6.4:** Esquema del segon difractòmetre d'un correlador convergent de VanderLugt amb teleobjectius

Com hem fet en el cas anterior podem començar per escriure el comportament de les lents que componen aquest muntatge. Les dues lents,  $L_{C2}$  i  $L_{D2}$ , estan separades una distància  $\varepsilon$ . Si ens fixem amb la lent convergent  $L_{C2}$ , veiem que intervé en dos processos de formació d'imatge. El fet de tenir el pla de Fourier per davant de la lent a una distància  $A$ , fa que aquesta en formi imatge a  $A'$  seguint la expressió següent:

$$\frac{1}{A} - \frac{1}{A'} = \frac{1}{F_{C2}} \quad (6.20)$$

on  $F_{C2}$  és la distància focal de l'esmentada lent.

La segona acció de la lent convergent és la de formar la imatge del punt  $\Theta$ , que es troba a una distància  $L + A$ , en el punt  $\Theta'$ , que està situat a  $\delta - A - \rho + \tau$  de la lent.

$$\frac{1}{L + A} + \frac{1}{\delta - A - \rho + \tau} = \frac{1}{F_{C2}} \quad (6.21)$$

El punt  $\Theta$  correspon a la posició on es troba la imatge del pla d'entrada que s'ha format mitjançant la lent  $L_{D1}$  de la primera part del muntatge.

Passem ara a examinar el comportament de la lent divergent  $L_{D2}$ , que podem considerar de focal  $-F_{D2}$ . Com en el cas de la lent anterior, té més d'una funció. La primera és la de formar imatge de la imatge del pla de Fourier a través de la lent convergent. Aquesta imatge que actua d'objecte per a aquesta segona lent es troba a una distància  $\sigma$  i se'n forma imatge a  $\sigma'$  de la lent divergent, segons la relació següent:

$$\frac{1}{\sigma} - \frac{1}{\sigma'} = -\frac{1}{F_{D2}} \quad (6.22)$$

Cal fer notar que la distància  $\sigma$  és la suma de  $A'$  i  $\varepsilon$  amb la qual cosa l'Equació 6.22 es pot rescriure com:

$$\frac{1}{A' + \varepsilon} - \frac{1}{\sigma'} = -\frac{1}{F_{D2}} \quad (6.23)$$

La lent divergent també forma imatge del punt  $\Theta'$  en el punt  $\Theta''$ . Aquestes dues posicions estan separades de la lent una distància  $\tau$  i  $\rho$ , respectivament, i es relacionen amb la distància focal seguint l'equació següent:

$$-\frac{1}{\tau} + \frac{1}{\rho} = -\frac{1}{F_{D2}} \quad (6.24)$$

Un cop escrites les equacions que descriuen el comportament de les lents d'aquesta segona part del muntatge, podem analitzar altres paràmetres que intervenen com és el cas de la constant de difracció i l'augment lateral.

En el cas de la constant  $K_2$  cal tenir en compte els augments causats per les dues lents. Així doncs, podem escriure-la de la següent manera:

$$K_2 = \lambda(\sigma' + \rho) \left( \frac{\varepsilon + A'}{\sigma'} \right) \left( \frac{A}{A'} \right) \quad (6.25)$$

Com en el desenvolupament matemàtic realitzat en la secció anterior podem utilitzar una simplificació d'aquesta constant:

$$Q_2 = \frac{K_2}{\lambda} \quad (6.26)$$

Pel que fa a l'augment lateral, prenem la relació existent entre els punt  $\Theta''$  i  $\Theta$ , tenint en compte l'efecte de les dues lents:

$$M_2 = \left( \frac{\varepsilon + \tau}{L + A} \right) \left( \frac{\rho}{\tau} \right) \quad (6.27)$$

Ara cal combinar totes les equacions precedents per tal d'arribar a trobar alguna condició que determini la mínima longitud d'aquesta segona part del muntatge. El primer que podem fer és apropar el pla de Fourier a la lent convergent fins a fer que la separació sigui inexistente, amb la qual cosa l'Equació 6.20 no tindrà sentit ja que  $A = A' = 0$ . En aquestes condicions caldrà reescriure les anteriors expressions. Pel que fa a la lent convergent, l'equació de la formació d'imatge del punt  $\Theta$  en  $\Theta'$  (Equació 6.21) s'haurà de modificar per:

$$\frac{1}{L} + \frac{1}{\delta - \rho + \tau} = \frac{1}{F_{C2}} \quad (6.28)$$

Una altra relació que s'ha de canviar és la de l'Equació 6.23 on es relacionen les distàncies que intervenen en la formació d'imatge del pla de Fourier mitjançant la lent divergent:

$$\frac{1}{\varepsilon} - \frac{1}{\sigma'} = -\frac{1}{F_{D2}} \quad (6.29)$$

També cal modificar les expressions que havíem escrit per la constant de difracció  $K_2$  i l'augment lateral  $M_2$ . Pel que fa a l'Equació 6.25, l'hem de reescriure com:

$$K_2 = \lambda(\sigma' + \rho) \left( \frac{\varepsilon}{\sigma'} \right) \quad (6.30)$$

Mentre que l'Equació 6.27 de l'augment lateral queda:

$$M_2 = \left( \frac{\varepsilon + \tau}{L} \right) \left( \frac{\rho}{\tau} \right) \quad (6.31)$$

El valor de la constant  $K_2$  està determinat per la utilització d'un modulador pixelat com a pla de Fourier, així com el dispositiu que es col·loqui en el pla de correlació. Com abans, volem que els ordres difractats en el pla de sortida estiguin prou espaiats o sigui que la distància entre els ordres de difracció sigui equivalent a la grandària de la imatge final en el pla de correlació:

$$K_2 = p'p'' = p_f \times Np_s \quad (6.32)$$

on  $p_f$  és el pixelat de la LCD on hi ha el filtre i  $Np_s$  és la grandària del pla de correlació. Com hem fet en analitzar el primer difractòmetre, podem escriure una sèrie de paràmetres en funció d'unes variables, que de manera equivalent al primer cas, seran la distància  $\rho$ , que és la que hi ha entre la lent divergent i el pla de correlació, i la focal  $F_{D1}$  d'aquesta darrera lent.

La primera expressió que hem trobat és la corresponent a la separació existent entre les dues lents, que hem anomenat  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{Q_2 - \rho}{\rho + F_{D2}} F_{D2} \quad (6.33)$$

Una altra expressió interessant és la que relaciona la distància focal de la lent convergent amb les esmentades variables:

$$F_{C2} = \frac{Q_2 F_{D2} L}{Q_2 F_{D2} + L(\rho + F_{D1})} \quad (6.34)$$

D'aquesta darrera relació cal dir que intervé la distància  $L$  que està fixada per l'optimització de la primera part del muntatge.

La llargària total del correlador és la suma de  $D$  i  $\delta$ , per tant cal escriure l'expressió per a la longitud  $\delta$ , que serà la funció a minimitzar en relació a algun paràmetre. Combinant les diferents equacions arribem a:

$$\delta = \frac{Q_2 F_{D2} + \rho^2}{\rho + F_{D2}} \quad (6.35)$$

Per minimitzar aquesta longitud, derivem  $\delta$  en funció de la distància  $\rho$ :

$$\frac{\partial \delta}{\partial \rho} = \frac{\rho^2 + 2\rho F_{D2} + Q_2 F_{D2}}{(\rho + F_{D2})^2} \quad (6.36)$$

Finalment per buscar el mínim, igualem aquesta darrera equació a zero i obtenim una expressió per a  $\rho$  en funció de la distància focal de la lent divergent  $L_{D2}$ :

$$\frac{\partial \delta}{\partial \rho} = 0 \rightarrow \rho = \sqrt{F_{D2}^2 + Q_2 F_{D2}} - F_{D2} \quad (6.37)$$

Aquest resultat és l'equivalent a la condició que minimitzava la llargària del primer difractòmetre (Equació 6.17), i per tant podem dir que totes les distàncies queden en funció de l'elecció de les lents divergents.

Un cop es fixa la focal de la lent divergent es determinen la resta de paràmetres del muntatge començant per la distància  $\delta$ :

$$\delta_{min} = \frac{Q_2 F_{D2} + \rho^2}{\rho + F_{D2}} = 2\rho \quad (6.38)$$

De la mateixa manera es pot trobar la separació que hi ha entre les dues lents en aquestes condicions, substituint el valor de  $\rho$  en l'Equació 6.33:

$$\varepsilon = \frac{Q_2 - \rho}{\rho + F_{D2}} F_{D2} = \rho \quad (6.39)$$

El resultat obtingut per a aquesta distància és equivalent al que ha quedat determinat en el primera secció del correlador. Quan la longitud total del difractòmetre ha de ser mínima la separació entre lents ha de ser la mateixa que la que hi ha entre la divergent i el pla on s'esdevé la transformada, en un cas el de Fourier i en l'altre el de correlació. Finalment podem fixar la focal de la lent convergent a partir dels valors de  $\rho$  i  $F_{D2}$  segons l'Equació 6.34.

## 6.2 Muntatge experimental del correlador convergent de VanderLugt minimitzat

A partir de l'estudi de les distàncies involucrades en el muntatge d'un correlador convergent de VanderLugt amb teleobjectius, se n'ha dissenyat un amb les lents que es disposen per tal de reduir al màxim possible la llargària total.

El primer que cal fixar són les magnituds que estan determinades a priori, la constant de difracció del primer difractòmetre,  $K_1$ , i l'augment lateral  $M_1$  corresponent a aquesta part del correlador.

En aquesta primera part del muntatge cal que els ordres de difracció del pixelat de la pantalla estiguin prou espaiats, com a mínim una distància igual a la grandària de la imatge del filtre (Figura 6.1). Aquesta separació determinarà la constant de difracció segons l'Equació 6.1, a partir del pixelat de les pantalles i les dimensions de les imatges. Les pantalles utilitzades en aquest muntatge tenen una distància entre píxels de  $42 \mu\text{m}$  (Secció 3.1.1), mentre que la grandària de les imatges emprades és de  $512 \times 512$  píxels. A partir d'aquests valors, la constant  $K_1$  queda fixada de la següent manera:

$$K_1 = 42 \times (512 \times 42) \rightarrow Q_1 \approx 1427 \text{ mm} \quad (6.40)$$

Pel que fa a l'augment lateral, ens interessa que la mida de la imatge del punt origen  $O$  no superi la grandària d'un píxel. Cal tenir en compte que la font de llum no és puntual sinó que es tracta d'un *pin-hole* amb un diàmetre d'unes dimensions determinades. Si utilitzem un filtre espacial amb un *pin-hole* de  $10 \mu\text{m}$ , i tenint en compte la grandària dels píxels de les LCDs, podem arribar a un augment  $M_1$  d'un valor aproximat de 4.

De l'estudi matemàtic hem deduït que totes les distàncies depenen del valor de la distància focal de la lent divergent, per tant hem de començar per triar aquest element òptic. No només cal triar la lent en funció de la focal sinó que cal no oblidar les aberracions [BCG90], i per tant s'ha d'arribar a un valor de compromís entre ambdós factors. Així doncs, hem disposat d'una lent divergent de focal -20 mm, amb la qual podem fixar tots els paràmetres que intervenen en el muntatge tenint en compte que hi ha dues magnituds,  $K_1$  i  $M_1$ , que ja estan determinades. La primera distància que podem calcular és  $R$ , és a dir la longitud que hi ha des de la lent divergent al pla de Fourier:

$$R = \sqrt{F_{D1}^2 + Q_1 F_{D1}} - F_{D1} \approx 150 \text{ mm} \quad (6.41)$$

Amb aquest valor podem calcular la distància total d'aquest difractòmetre seguint l'Equació 6.18:

$$D_{min} = \frac{Q_1}{M_1} + 2R \approx 657 \text{ mm} \quad (6.42)$$

Un altre paràmetre que cal tenir en compte és la distància focal de la primera lent convergent que ve fixada per l'Equació 6.14 i que en aquest cas hauria de ser de:

$$F_{C1} = \frac{Q_1 F_{D1}}{R + (M_1 + 1)F_{D1}} \approx 114 \text{ mm} \quad (6.43)$$

Finalment, una distància que també cal tenir en compte és la separació existent entre les dues lents,  $E$ , que en el cas més favorable coincidirà amb la que hi ha entre la pantalla d'entrada i la lent divergent. Com s'ha deduït anteriorment, quan la distància total és mínima aquesta separació coincideix amb  $R$ , o sigui que en aquest cas ideal  $E = 150 \text{ mm}$ .

Així doncs, ara ja tenim calculades totes les distàncies que intervenen en el correlador tenint en compte que cal fixar tres paràmetres. Ara cal veure si és viable fer aquest muntatge. El primer inconvenient que se'ns presenta és el fet de no disposar de la lent convergent de la focal determinada. La que més s'hi assembla és una de 135 mm però haurem de refer els càlculs, fixant aquest valor, per tal de veure quina longitud total tindrà aquesta primera part del muntatge.

Mantenim fixes les magnituds  $K_1$  i  $M_1$  i ara no busquem la distància  $R$  que minimitza la llargària total sinó que la determinem a partir de l'Equació 6.14 on les focals de les dues lents estan determinades. Amb els valors que tenim, la distància  $R$  val:

$$R = Q \frac{F_{D1}}{F_{C1}} - (M + 1)F_{D1} \approx 111 \text{ mm} \quad (6.44)$$

A partir d'aquesta distància podem calcular la longitud total  $D$  i la separació entre lents  $E$  que ara no coincidirà amb  $R$ . Per calcular  $D$  no podrem utilitzar l'Equació

6.18, sinó que haurem d'emprar l'Equació 6.15:

$$D = \frac{Q_1}{M_1} + \frac{Q_1 F_{D1} + R^2}{R + F_{D1}} \approx 669 \text{ mm} \quad (6.45)$$

Si comparem aquest resultat amb el que s'obtidria si disposéssim de la lent convergent ideal veiem que la diferència és 12 mm.

Pel que fa a la distància  $E$ , si prenem l'Equació 6.13 obtenim el valor següent:

$$E = \frac{Q_1 - R}{R + F_{D1}} F_{D1} \approx 201 \text{ mm} \quad (6.46)$$

De la mateixa manera podem avaluar el que succeeix en la segona part del muntatge, és a dir el segon telediffractòmetre. Primer cal analitzar la situació ideal i després les diferències amb el cas que ens serà possible construir. Com en el primer muntatge, mantenim fixos els paràmetres  $K_2$  i  $M_2$ , que ara tindran valors diferents.

La constant de difracció vindrà determinada pel pixelat de la pantalla on s'hi col·loca el filtre i per la grandària de la càmera CCD, en aquest cas una PULNIX TM-765, que ha estat caracteritzada en un treball previ [MB98]. Aquest darrer dispositiu està constituït per píxels quadrats separats  $11\mu\text{m}$  entre centre i centre. Així doncs, i seguint el criteri exposat abans de tenir els ordres de difracció prou separats, la constant  $K_2$  tindrà el valor següent:

$$K_2 = 42 \times (512 \times 11) \rightarrow Q_2 \approx 374 \text{ mm} \quad (6.47)$$

Pel que fa a l'augment  $M_2$ , cal que no superi el valor de 0.26, que és la relació entre les dimensions del pixelat de la càmera i la pantalla (11/42).

De l'estudi teòric realitzat anteriorment, ja hem deduït que hi ha una sèrie de condicions que cal tenir en compte. Si ens fixem en la Figura 6.4, veiem que hi ha una distància, que hem anomenat  $L$ , que està determinada pels càlculs del primer telediffractòmetre. Un altre factor que ens permet reduir la longitud final del muntatge és el fet d'acostar la lent convergent a la pantalla ubicada en el pla de Fourier, és dir que les distàncies  $A$  i  $A'$  siguin pràcticament nul·les. Amb aquestes consideracions, podem analitzar els resultats teòrics que obtenim si considerem que disposem d'una segona lent divergent amb una distància focal de -50 mm. A partir d'aquest valor calcularem tots els altres. El primer és la separació que hi ha entre aquesta lent i el pla de correlació, que hem anomenat  $\rho$  (Equació 6.37):

$$\rho = \sqrt{F_{D2}^2 + Q_2 F_{D2}} - F_{D2} \approx 95.6 \text{ mm} \quad (6.48)$$

Com en el cas del primer diffractòmetre, aquesta distància coincideix amb la que hi ha entre les dues lents (que hem anomenat  $\varepsilon$ ) quan es compleixen les condicions ideals.

La distància  $\delta$  que hem minimitzat queda determinada

$$\delta = \frac{Q_2 F_{D2} + \rho^2}{\rho + F_{D2}} \approx 191 \text{ mm} \quad (6.49)$$

Aquesta distància sumada a la distància  $D$  calculada pel primer difractòmetre ens donarà la longitud total del muntatge que en el cas ideal serà d'uns 850 mm, aproximadament. Per fer possible aquests valors encara ens cal determinar quina lent convergent hem de posar en aquesta segona part del correlador, aquest càlcul l'hem de fer mitjançant l'Equació 6.34:

$$F_{C2} = \frac{Q_2 F_{D2} L}{Q_2 F_{D2} + L(\rho + F_{D2})} = \frac{18700L}{18700 + 145.6L} \quad (6.50)$$

Observem que l'elecció de la lent convergent no depèn només dels valors determinats per aquest segon difractòmetre sinó que cal tenir en compte les distàncies de la primera part. La distància  $L$  fixarà la distància focal que necessitem, per tant si prenem els resultats anteriors  $L \approx 129.2 \text{ mm}$  ( $R + S' \approx 111 + 18.2 \text{ mm}$ ):

$$F_{C2} = \frac{18700L}{18700 + 145.6L} \approx 64.4 \text{ mm} \quad (6.51)$$

En aquest darrer resultat ja hem tingut en compte que el valor de  $L$  no és l'òptim sinó que és el possible, el que hem obtingut amb les lents de 135 mm i -20 mm.

Si no disposem d'una lent convergent amb una distància focal de 64.4 mm, en podem prendre una amb un valor semblant i veure com canvien les distàncies del muntatge. Per exemple, si n'agafem una de 55 mm de focal, haurem de determinar quant valen les separacions  $\rho$  i  $\varepsilon$ , així com la longitud  $\delta$ .

A partir de l'Equació 6.34 podem escriure  $\rho$  en funció de les dues distàncies focals  $F_{C2}$  i  $F_{D2}$ , i per tant trobar el seu nou valor:

$$\rho = \frac{Q_2 F_{D2}}{F_{C2} L} (L - F_{C2}) - F_{D2} \approx 145 \text{ mm} \quad (6.52)$$

Pel que fa a la longitud  $\delta$  que hi ha entre el pla de Fourier i el de correlació, que era el paràmetre que volíem minimitzar, ara serà de:

$$\delta = \frac{Q_2 F_{D2} + \rho^2}{\rho + F_{D2}} \approx 204 \text{ mm} \quad (6.53)$$

Comparant aquest resultat amb la llargària mínima d'aquesta segona part, calculada prèviament, observem que la diferència és d'uns deu mil·límetres, molt semblant a la que hem obtingut pel fet d'utilitzar una lent convergent en el primer difractòmetre que tampoc corresponia al valor òptim.



Una altra magnitud que queda modificada en canviar la distància focal de la lent convergent és la distància entre les lents que formen aquest segon telediffractòmetre. En les condicions òptimes aquesta separació  $\varepsilon$  és igual a la distància  $\rho$  que hi ha entre la divergent i el pla de correlació, però ara és:

$$\varepsilon = \delta - \rho \approx 59 \text{ mm} \quad (6.54)$$

Amb aquests resultats ja tenim la longitud total del nostre correlador. En la primera part hem calculat que la distància entre el pinhole i el pla de Fourier és de 669 mm mentre que la separació entre aquest darrer pla i el de sortida hem calculat ara que és de 204 mm, per tant la llargària total és de 873 mm, és a dir que el correlador tindrà uns noranta centímetres de longitud.

		Primer Diffractòmetre	Segon Diffractòmetre
Focals	Lent convergent	135 mm	55 mm
	Lent divergent	-20 mm	-50 mm
Distàncies		$D = 669 \text{ mm}$	$L + \delta = 333.2 \text{ mm}$
		$E + R = 312 \text{ mm}$	$\delta = 204 \text{ mm}$
Constant de difracció		$K_1 = 0.90 \text{ mm}^2$	$K_2 = 0.24 \text{ mm}^2$

Taula 6.1: Dades del processador

### 6.3 Resultats experimentals amb el correlador de VanderLugt minimitzat

A partir dels valors numèrics que s'han obtingut en les seccions precedents, s'ha muntat un correlador convergent de VanderLugt amb teleobjectius. En la Figura 6.5 es mostra el muntatge final, la llargària total del qual és d'uns noranta centímetres i els moduladors que s'utilitzen per mostrar les imatges són les LCD-VGA extretes del videoprojector EPSON EMP-3000, en concret les corresponents als canals blau i vermell.

Per verificar el correcte funcionament del sistema s'ha dut a terme un procés de correlació com el descrit en el Capítol 5. Hem agafat com a escena la imatge de la Figura 6.6 on hi ha tres senyals de trànsit semblants, i l'hem enviada a la LCD-VGA blava,

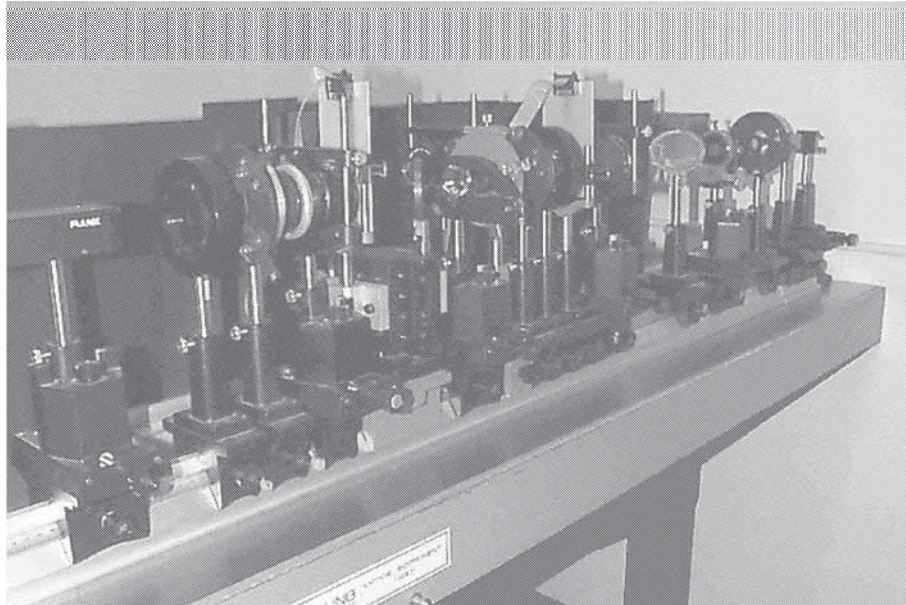


Figura 6.5: Fotografia del correlador convergent de VanderLugt amb la mínima llargària possible

situada en el pla d'entrada i treballant en configuració d'alt contrast. L'objectiu és identificar cadascun dels senyals per separat utilitzant el filtre  $\pi$ -POF explicat en la Secció 5.4.1. Els filtres que s'han generat digitalment es visualitzen en la LCD-VGA vermella que hi ha en el pla de Fourier del muntatge. La corba operativa d'aquest modulador és la de  $[0-\pi]$  només fase que requereix que la llum que travessa la pantalla estigui polaritzada el·lípticament.

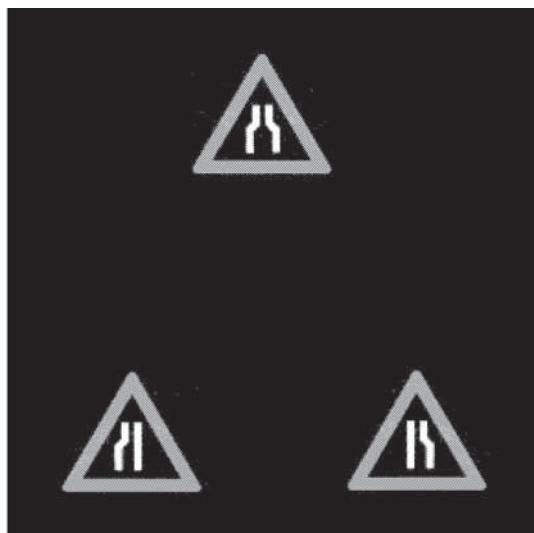
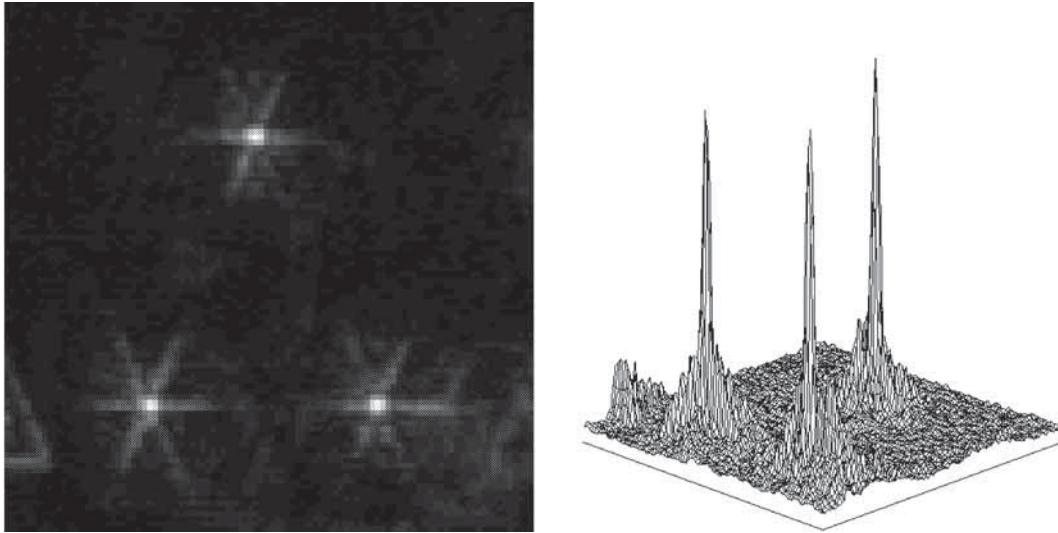


Figura 6.6: Escena utilitzada per comprovar el funcionament del CCVL reduït

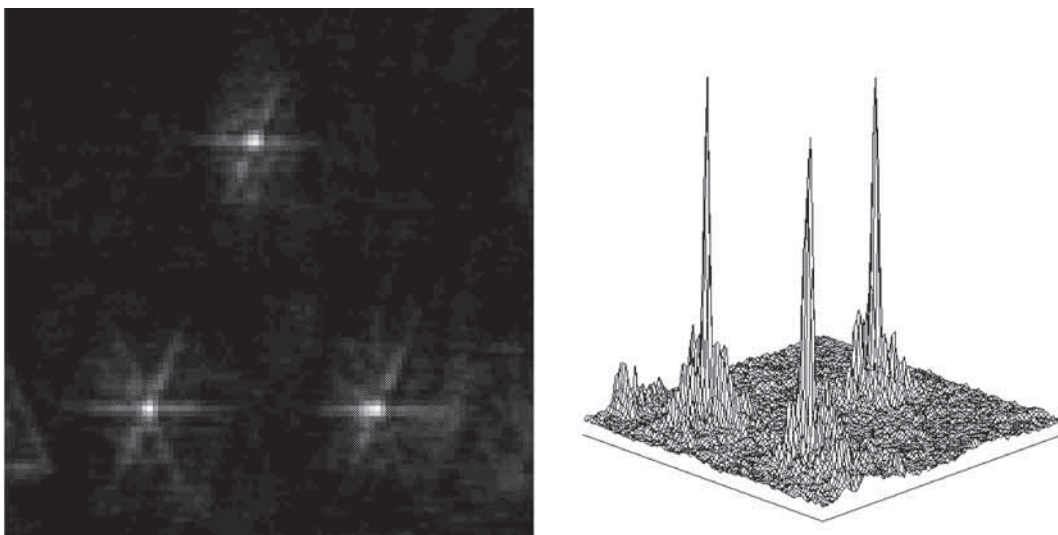
En un primer intent hem provat d'utilitzar el filtre de fase en valor absolut sense afegir-hi el desfasament lineal, però hem vist que els termes de correlació quedaven

emascarats per l'aparició d'altres termes com la convolució o la reconstrucció de l'escena, com era de preveure segons l'anàlisi matemàtica desenvolupada en la Secció 5.4.1. Així doncs hem utilitzat l'expressió de l'Equació 5.22 on hi ha la fase lineal que fa que la correlació aparegui desplaçada en el pla de sortida.

Els resultats de detecció han estat capturats per la càmera CCD i els termes de correlació són el que es mostren en les Figures 6.7, 6.8 i 6.9, així com les respectives representacions tridimensionals.

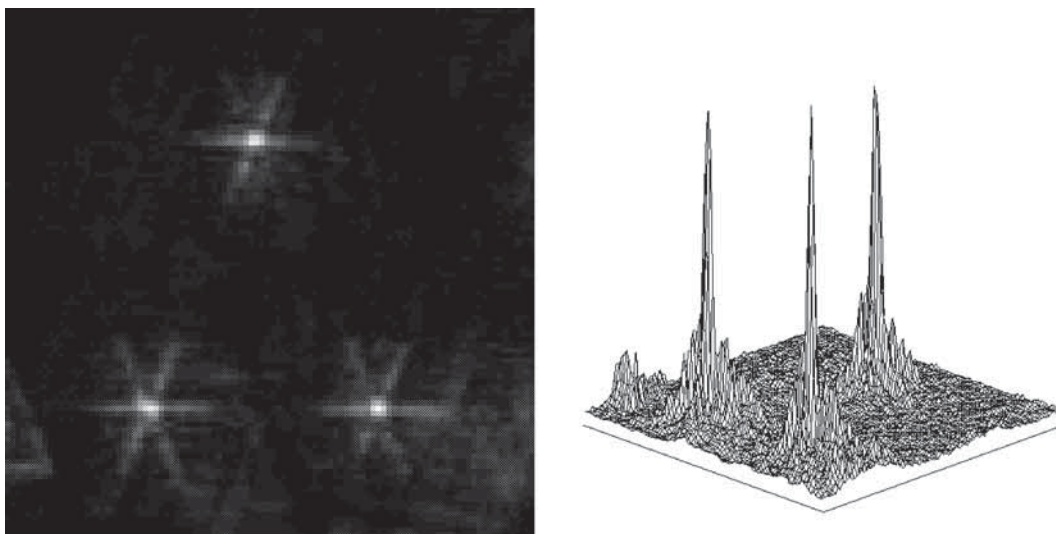


**Figura 6.7:** Pla de correlació i representació tridimensional en detectar el senyal superior



**Figura 6.8:** Pla de correlació i representació tridimensional en detectar el senyal inferior esquerre

Els resultats obtinguts ens mostren una detecció del motiu que es volia reconèixer en cada cas però es pot observar que la discriminació respecte la resta és molt crítica. El



**Figura 6.9:** Pla de correlació i representació tridimensional en detectar el senyal inferior dret

fet de tenir tres objectes tan semblants provoca que les correlacions creuades donin graus de semblança força elevats. A més cal tenir en compte que el pla de correlació apareix desplaçat respecte el centre amb la qual cosa necessitem que l'espai que ocupi l'escena en la LCD d'entrada sigui petit per tal que en el pla de correlació no se superposin els diferents termes que hi apareixen: correlació, convolució i reconstrucció, entre altres.

Si en lloc d'agafar un filtre del tipus FPF, en prenem un que optimitzi algun paràmetre del pla de correlació a més d'ajustar-lo a les corbes operatives de les pantalles, podem aconseguir un pla de correlació centrat. Repetim la detecció dels tres senyals de la Figura 6.6 però ara utilitzem filtres que maximitzen el valor de la intensitat del terme de correlació [JBM94]. Els resultats que s'han obtingut són els que es mostren en les Figures 6.10, 6.11 i 6.12.

Si comparem aquests darrers resultats amb els que hem obtingut amb el filtre  $\pi$ -POF podem veure que la discriminació millora en tots els casos, això és degut al fet que ara podem emprar imatges més grans perquè no cal deixar espai per termes desplaçats i per tant tenim freqüències més altes que ens distingeixen millor els objectes que són força semblants.

Si seguim utilitzant aquests mateixos senyals de trànsit podem realitzar un nou reconeixement. Si ens fixem en la Figura 6.13 podem veure que hi ha un dels objectes que hem emprat en els experiments anteriors.

Si ens fixem amb la fotografia de la Figura 6.13 veiem que el motiu a detectar està en negatiu respecte als objectes que hem emprat en els processos de correlació anteriors.

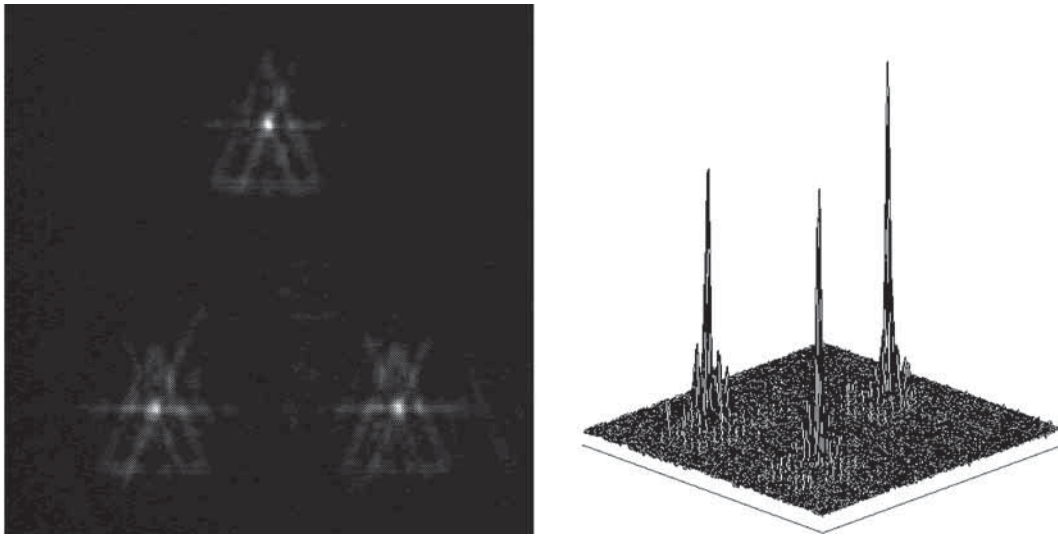


Figura 6.10: Pla de correlació i representació tridimensional en detectar el senyal superior

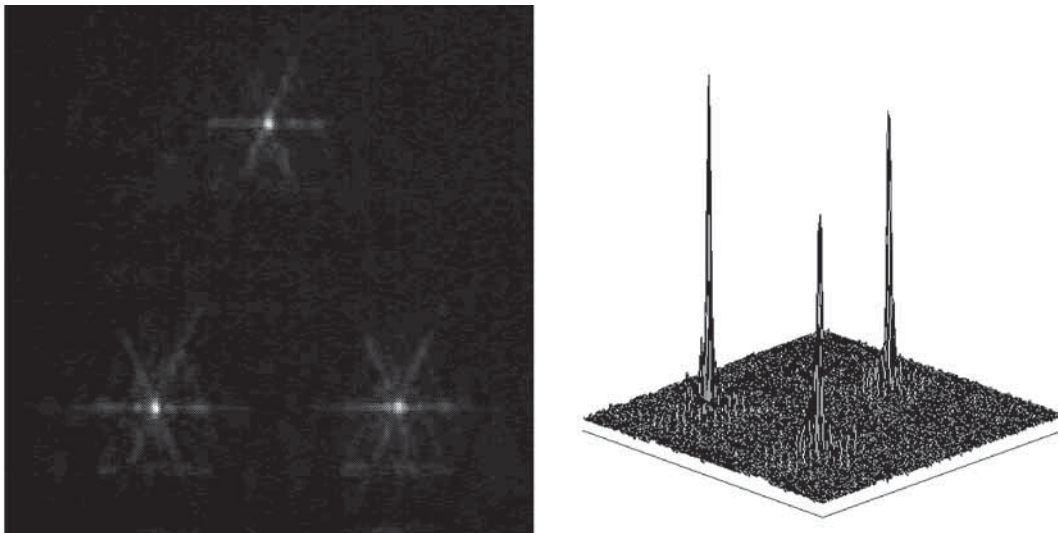


Figura 6.11: Pla de correlació i representació tridimensional en detectar el senyal inferior esquerre

Per tant, el primer que hem de fer és invertir la intensitat de la imatge que utilitzem com escena (Figura 6.13) abans de col·locar-la en la LCD-VGA blava en configuració HC. Si en aquest cas volem emprar el filtre  $\pi$ -POF per detectar necessitem reduir l'escena a dimensions molt petites per tal que en el pla de sortida tinguem suficient espai per separar els diversos termes que apareguin. És per això que prenem el filtre que hem calculat abans i que maximitza la intensitat del terme de correlació. Aquesta imatge es visualitza en la LCD-VGA vermella en configuració  $0-\pi$  Només Fase. En la Figura 6.14 es mostra el pla de correlació que s'obté en realitzar el procés de reconeixement. Cal destacar que hi ha força soroll però que es pot eliminar mitjançant un llindar adient.

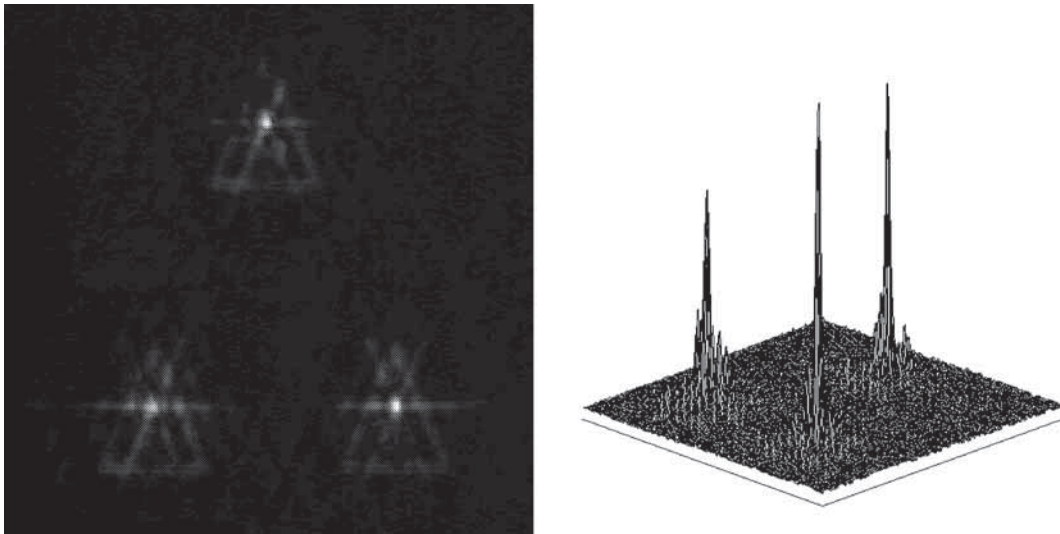


Figura 6.12: Pla de correlació i representació tridimensional en detectar el senyal inferior dret

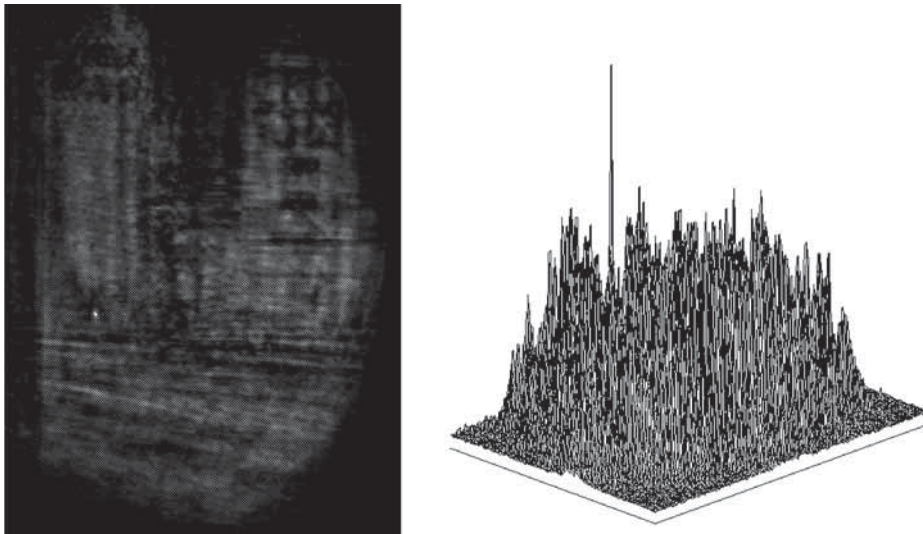


Figura 6.13: Escena per detectar un dels senyals de trànsit de la Figura 6.6

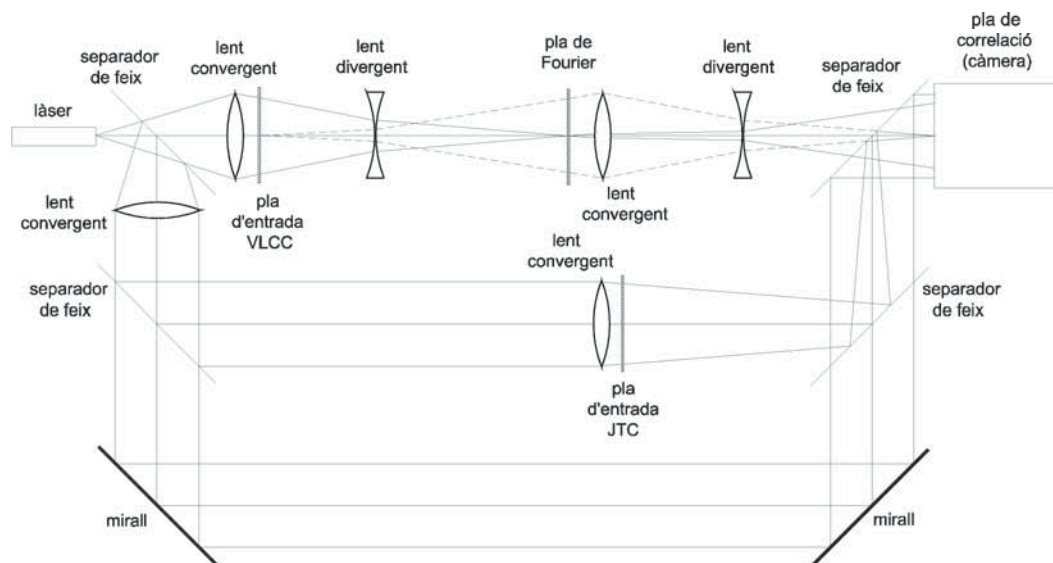
## 6.4 Dissenys de correladors amb arquitectura dual

Un cop provat el muntatge òptic per tal que funcioni com a correlador de Vander-Lugt es pot pensar en afegir-hi els elements necessaris per aconseguir que la mateixa arquitectura serveixi com a JTC.

El primer que podem pensar és afegir-hi una tercera pantalla en un braç paral·lel al muntatge que ja tenim enllestit. Aquest nou sistema pot utilitzar la mateixa càmera sense necessitat de desplaçar-la horitzontalment ja que emprarem el mètode descrit en la Secció 4.3 amb el qual s'obté un únic terme de correlació centrat. Una proposta per al muntatge és la que es mostra en la Figura 6.15.



**Figura 6.14:** Pla de correlació i representació tridimensional en detectar el senyal dins l'escena de la Figura 6.13



**Figura 6.15:** Esquema d'un correlador amb arquitectura dual-1

El principal problema és aconseguir la tercera LCD, però de fet només cal agafar-la del videoprojector, ja que cadascun d'aquests aparells en té tres. No obstant això, caldria caracteritzar aquest nou modulador i trobar les corbes operatives més adients. En el cas de les pantalles VGA, no tindriem cap problema per enviar tres imatges diferents pels respectius canals R, G i B ja que com s'ha explicat en la Secció 5.4 hi ha 5 bits disponibles per canal dels 16 que ofereix la targeta gràfica. Si treballéssim amb les primeres LCDs, les de resolució CGA, perdríem rang dinàmic en les imatges

ja que ara els 8 bits amb els quals permet operar la targeta digitalitzadora s'haurien de repartir en tres canals en lloc dels dos que teníem abans.

En la Figura 6.15 apareix un tercer braç on no hi ha cap element, però que té la seva importància ja que necessitem una ona plana de referència si volem obtenir un sol pic de detecció centrat en la disposició JTC, tal i com s'ha explicat en la Secció 4.3.

Si no volem desmuntar la tercera LCD del videoprojector podem pensar en un muntatge on la pantalla en la qual es visualitza el filtre sigui també el dispositiu d'entrada necessari per mostrar-hi les imatges en el JTC. L'arquitectura que proposem és la de la Figura 6.16, on s'observa que amb dos moduladors és possible combinar ambdós sistemes de correlació.

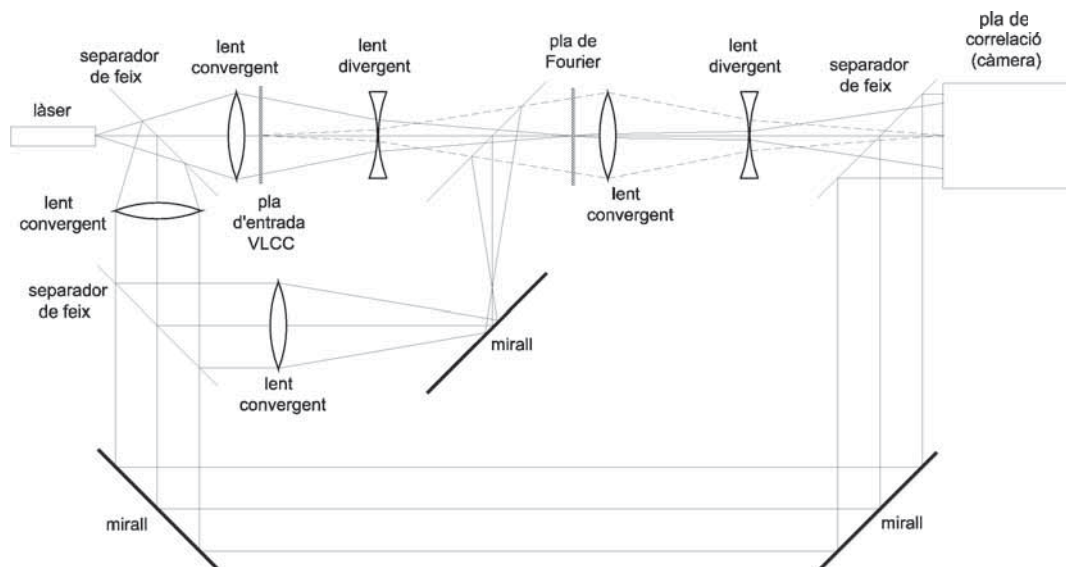
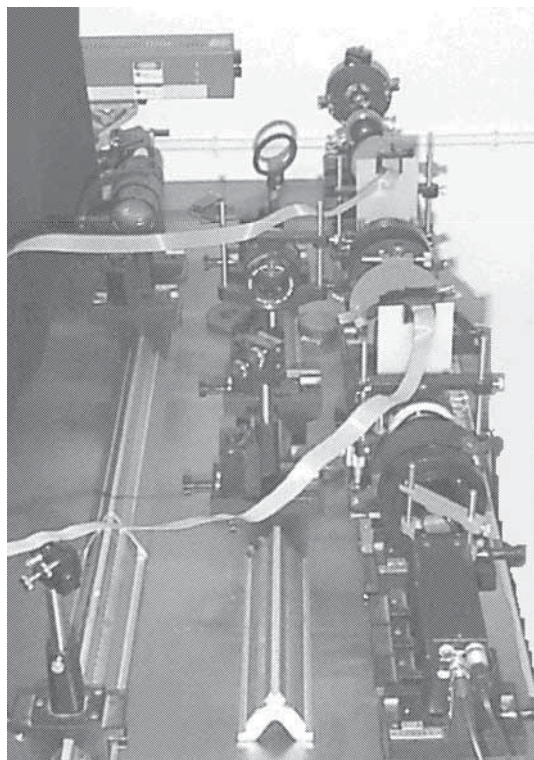


Figura 6.16: Esquema d'un correlador amb arquitectura dual-2

## 6.5 Muntatge del correlador amb arquitectura dual. Resultats experimentals en JTC

El darrer muntatge que hem proposat (Figura 6.16) l'hem construït en el banc òptic a partir del correlador de VanderLugt que havíem muntat emprant les distàncies mínimes calculades. En la Figura 6.17 es pot veure una imatge d'aquesta arquitectura dual on s'aprecien els tres braços que s'havien esquematitzat en la Figura 6.16, tot i que la posició d'alguna de les lents ha variat.





**Figura 6.17:** Fotografia del muntatge amb l'arquitectura dual

A la dreta de la fotografia hi ha el correlador convergent de VanderLugt amb els teledifractòmetres i les dues pantalles. Els dos braços restants, el central i el del costat esquerre, formen part del JTC en eix que requereix la detecció interferomètrica.

Per comprovar el funcionament de la part corresponent al JTC s'han detectat cadascun dels senyals que formen part de la Figura 6.6, que ja hem utilitzat en el mòdul de muntatge que configura l'estructura del correlador convergent de VanderLugt.

Hem utilitzat la LCD-VGA vermella i hem seguit el mètode de l'espectre binari per tal d'assolir una única correlació centrada. La primera part, l'obtenció dels tres espectres, s'ha realitzat amb la pantalla en configuració HC, mentre que en la segona el modulador està en configuració  $0-\pi$  només fase, tal i com s'ha explicat en la Secció 4.3.

En les Figures 6.18, 6.19 i 6.20 es mostren els plans de correlació obtinguts i les seves respectives representacions tridimensionals, un cop s'ha eliminat el fons.

Si comparem els resultats obtinguts amb els anteriors podem afirmar que la discriminació és millor i una de les causes d'aquesta millora és el fet de tractar el JPS en el pas intermedi del procés així com l'eliminació del fons mitjançant una taula de sortida adient. Aquesta supressió és necessària per aconseguir la detecció interferomètrica que ens permet obtenir un únic terme de correlació centrat. Un altre factor a tenir

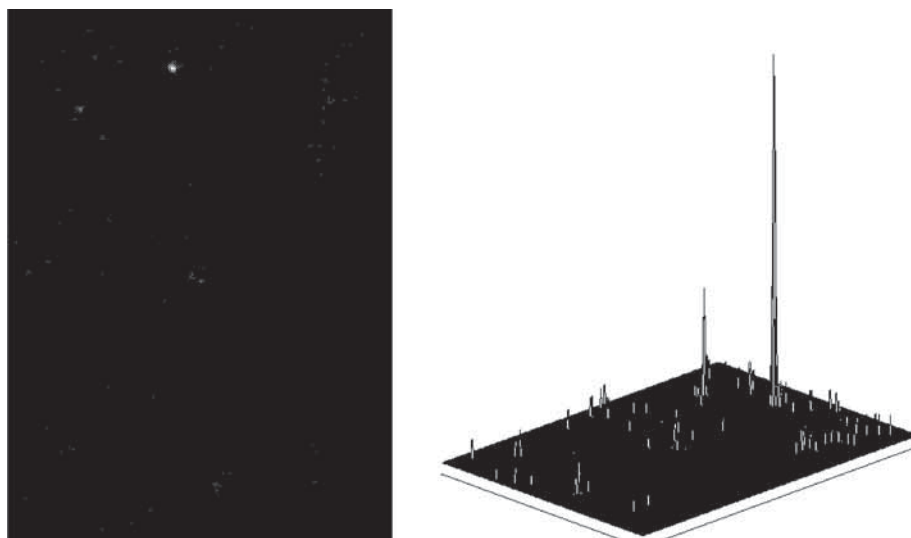


Figura 6.18: Pla de correlació i representació tridimensional en detectar el senyal superior

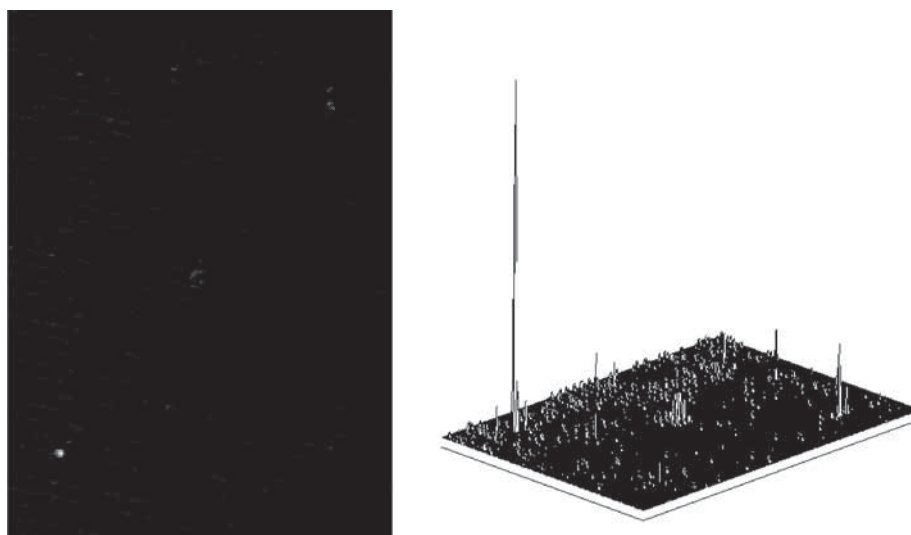


Figura 6.19: Pla de correlació i representació tridimensional en detectar el senyal inferior esquerre

en compte és la grandària de les imatges que afectarà favorablement en el tall de freqüències i el fet de tenir imatges binàries, condició necessària si volem aplicar el mètode descrit en la Secció 4.3. En escenes com la de la Figura 6.13 no podem seguir el procediment descrit del JTC en eix perquè ens trobaríem amb superposicions pel fet de sumar la imatge d'entrada i la de referència. No obstant això, si abans realitzem un procés previ de segmentació podem generar una imatge com la de la Figura 6.6 i emprar l'arquitectura de transformades conjuntes com s'ha fet anteriorment.

Observant els resultats es pot concloure que aquest muntatge pot combinar els dos sistemes de correlació òptica, el JTC i l'arquitectura de VanderLugt, tenint en compte que a la sortida tindrem un únic pla de correlació centrat. La utilització d'una o altra

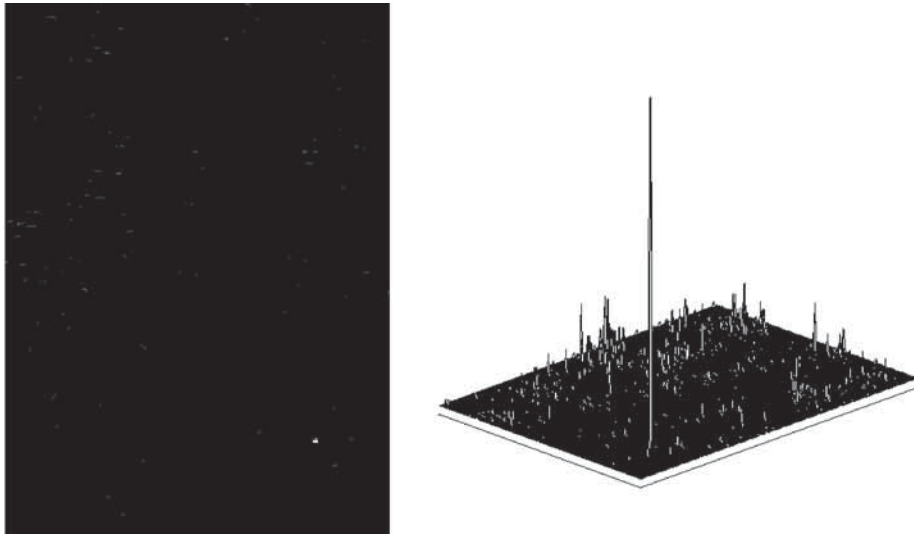


Figura 6.20: Pla de correlació i representació tridimensional en detectar el senyal inferior dret

arquitectura dependrà del procés a realitzar.

## 6.6 Aplicacions al reconeixement d'objectes tridimensionals

El principal desavantatge del reconeixement òptic d'objectes per correlació és el d'emprar imatges bidimensionals en un món tridimensional. Un mateix objecte pot adquirir formes molt diferents depenent del punt de vista des del qual sigui observat. Tots els processos que hem explicat i que s'han desenvolupat en els diferents correladors que hem muntat han estat dissenyats per detectar un objecte en dues dimensions. Aquesta detecció pot donar resultats negatius si el mateix objecte pateix un canvi d'escala o una rotació ja que els filtres que hem emprat no són invariants a aquestes variacions. Dins del camp de recerca sobre filtres se n'han desenvolupat alguns que són invariants a rotació i a canvi d'escala [MUCJ95]. La utilització d'aquests filtres soluciona el problema de reconèixer objectes tridimensionals emprant imatges bidimensionals.

El nostre futur correlador compacte, ràpid i reduït tindrà unes pantalles de cristall líquid capaces de mostrar unes mil imatges per segon. Aquesta velocitat de mostreig ens permet no haver d'utilitzar filtres invariants. La nostra estratègia serà la d'emprar un gran nombre de filtres generats a partir d'un mateix motiu tridimensional però des de diferents punts de vista. Per crear tots aquests filtres hem iniciat una nova línia de recerca dins del nostre grup. Hem construït un escàner tridimensional per tal d'obtenir models d'objectes mitjançant tècniques d'estereovisió [Tud00]. A partir

d'aquests models podem generar els filtres que vulguem des de qualsevol punt de vista possible [RM98, RMTMU<sup>+</sup>00].

Com a exemple d'aquest reconeixement d'objectes tridimensionals mostrem la detecció de les dues naus que apareixen en la Figures 6.21. En aquestes dues escenes es veuen els dos objectes des de dos punts de vista diferents.

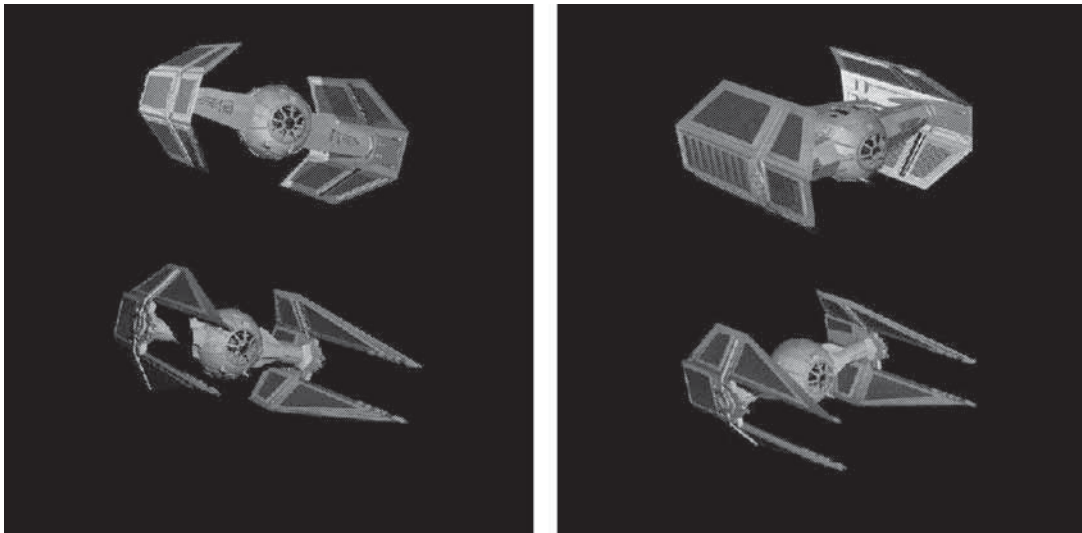


Figura 6.21: Escenes emprades per detectar objectes tridimensionals

La detecció d'aquests motius s'ha realitzat emprant l'estructura de VanderLugt del correlador òptic dual que hem muntat amb les pantalles VGA amb la qual cosa el procés no s'ha fet a la velocitat que es farà en el futur. L'escena s'ha col·locat en la LCD-VGA blava en configuració HC mentre que els filtres s'han visualitzat en la LCD-VGA vermella en les condicions de la corba operativa de  $0-\pi$  Només Fase.

Hem emprat filtres òptims que maximitzen la intensitat del terme de correlació.

En un primer procés de reconeixement volem detectar la nau que es troba en la part inferior en les dues escenes de la Figura 6.21. Hem creat dos filtres per a aquest mateix objecte però emprant les dues imatges bidimensionals generades des dels diferents punts de vista. Els resultats experimentals assolits en el reconeixement d'aquest motiu en les dues escenes de la Figura 6.21 són els que es mostren en les Figures 6.22 i 6.23.

Repetim el procés per tal de reconèixer la segona nau, la que es troba en la part superior de les escenes. Els resultats obtinguts en aquest segon cas són els que es mostren en les Figures 6.24 i 6.25.

Així doncs, la generació de diferents filtres a partir d'un mateix objecte però visualitzat des de diversos punts de vista serà l'estratègia que seguirem per tal d'iden-

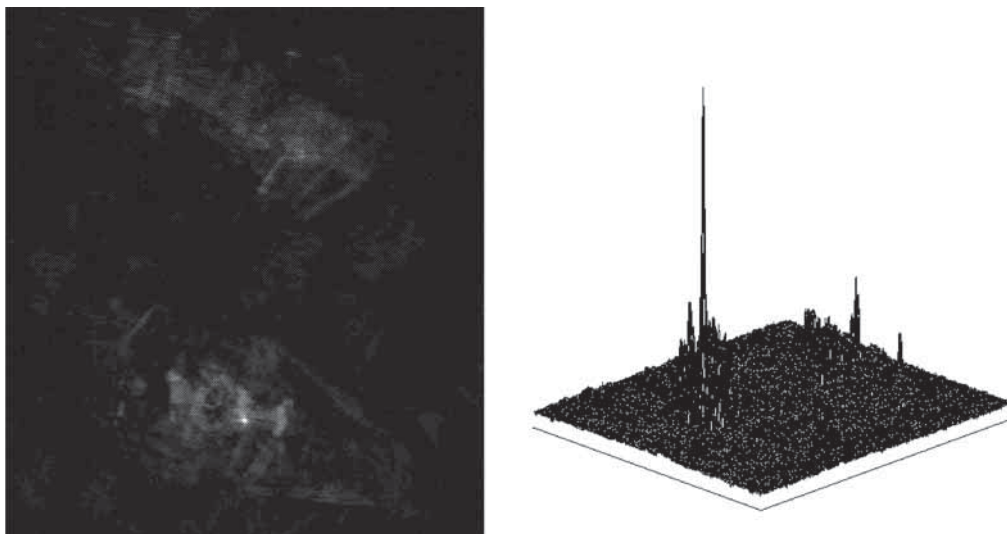


Figura 6.22: Pla de correlació i representació tridimensional en detectar l'objecte inferior

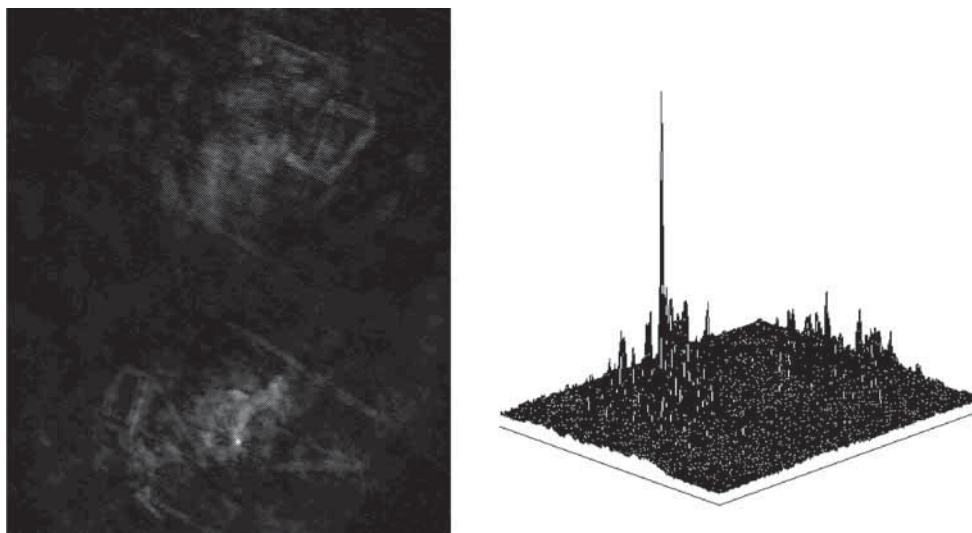


Figura 6.23: Pla de correlació i representació tridimensional en detectar l'objecte inferior

tificar objectes tridimensionals mitjançant la correlació òptica. Aquest procediment serà posat en pràctica en un futur proper quan tinguem enllestit el nou correlador compacte i ràpid.

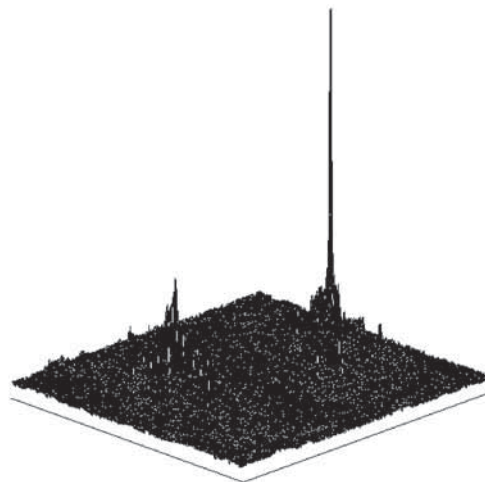
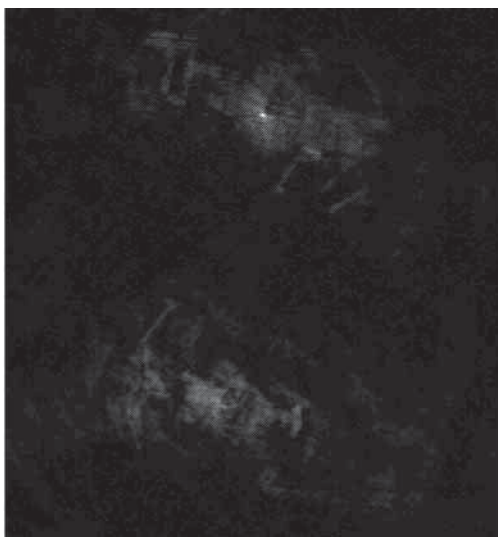


Figura 6.24: Pla de correlació i representació tridimensional en detectar l'objecte superior

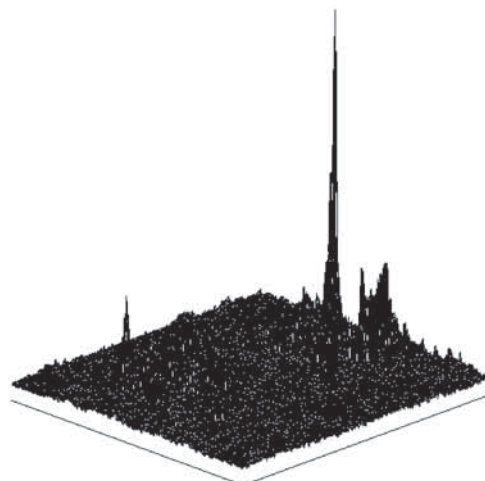
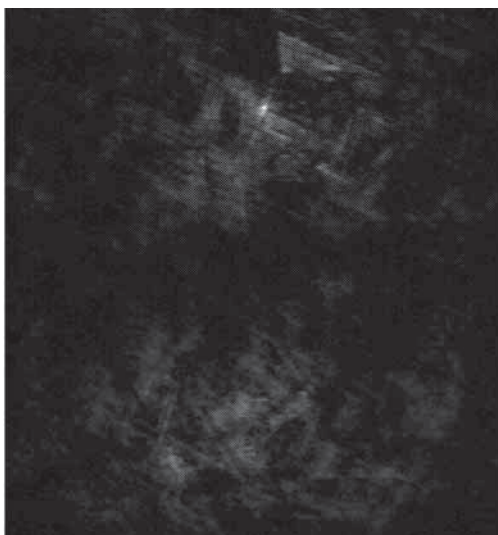


Figura 6.25: Pla de correlació i representació tridimensional en detectar l'objecte superior

