

CONSTRUCCIÓ D'UN LÀSER DE DIÒXID DE CARBONI,
TOTA UNA AVENTURA.

JOSEP ARASA I MARTI
Escola Universitària d'Optica de Terrassa.
Universitat Politècnica de Catalunya
TERRASSA (Barcelona)

ABSTRACT

The different parts required to construct a laser from start to finish are discussed. The reason why a Carbon Dioxide laser was selected is also explained.

Without going into minute details of the laser, the different options available to solve the problems arising from its construction are compared and the advantages and disadvantages of each option are assessed.

RESUM

En el present article s'expliquen les diferents parts necessàries per a construir un làser, des de la idea fins a la seva consecució. També s'explica la raó per la qual s'ha escollit un làser de diòxid de carboni.

No es pretén arribar fins a l'última peça del làser en aquest article, sinó tan sols conèixer les diferents opcions que hi ha per a solucionar els problemes que presenta la construcció del làser esmentat, tot exposant els avantatges i desavantatges que tenen cada una d'elles.

LA IDEA

Quan ara farà dos anys una empresa de Barcelona m'encarregà la construcció d'un làser de diòxid de carboni, amb finalitats mèdiques i industrials, vaig acceptar sense fer-m'ho pregar gaire.

La idea semblava atractiva i interessant. És el que sempre havia desitjat, i ben poca idea tenia de la infraestructura industrial que regna en aquest país, encara que tothom m'havia parlat del molt difícil que podia arribar a ésser.

ELECCIÓ DEL TIPUS DE LÀSER

En primer lloc, prenguérem conjuntament la decisió del tipus de làser que es volia construir. Atesa l'actual situació del mercat internacional del làser (companyies molt fortes per a la producció de làsers d'alineació (He-Ne), que et barren el pas, ja que per a ésser competitiu s'ha de produir una quantitat ingent d'aquest tipus de làsers; companyies amb uns recursos molt grans per a la construcció de làsers de potències molt elevades; companyies super-especialitzades en la construcció de làsers per a aplicacions científiques, etc.) es prengué la decisió de construir un làser de potència mitjana -polivalent- de flux continu de gas.

Aquest tipus de làser és un dels de construcció més elemental, no tant pel fet que tingui menys exigències al moment de calcular els paràmetres, sinó al moment de construir-lo, ja que la longitud d'ona principal, 10.6 micròmetres, fa que les alineacions siguin menys crítiques que amb altres sistemes de làser.

Presca la decisió, s'havia de portar a la pràctica.

La primera part no fou gaire difícil, el càlcul de la cavi-

tat necessària, la barreja de gasos que hi entren, la reflexió que ha de tenir l'òptica que en forma part. Tot això no deixa d'ésser pur càlcul i com a tal, amb més o menys paciència, es dugué a terme.

Però tota la sèrie de càlculs anteriors no són sinó un bonic exercici si després no són contrastats amb les mesures experimentals que s'han de fer amb un primer prototip.

DISSENY DEL PROTOTIP

Per a la construcció del prototip és necessària tota una colla de col.laboracions entre diferents branques de la tècnica: hi entra una part important de treball de mecànica de precisió, una part no menys important de treball elèctric amb tensions i corrents de funcionament no gaire usuals, una aportació electrònica més que elemental i dos factors més que són crucials: una bona cavitat òptica delimitada per les òptiques del làser i un continent del plasma ben estudiat.

Si desglossem el projecte en les seves diferents parts ens trobem amb la situació següent:

ELS COMPONENTS MECÀNICS DEL PROTOTIP

La part mecànica és el suport de la cavitat òptica i el mitjà amb el qual s'aconsegueix fer l'alineació d'aquesta. En conseqüència s'ha de decidir quin dels tres tipus fonamentals de cavitat emprarem:

- 1.- La cavitat forma part inseparable del continent del plasma.
- 2.- La cavitat està separada absolutament del plasma.
- 3.- La cavitat forma part activa amb el continent del plasma però en pot ésser separada.

Al primer cas, la cavitat forma part inseparable del continent del plasma, i la mecànica pot ésser realment senzilla, l'únic treball que ha de fer és mantenir la cavitat ben subjecta a l'aparell i procurar-li una protecció passiva.

Al segon cas, la cavitat és realment crucial, car dependran d'ella els paràmetres de qualitat últims del làser a fabricar, però té a favor seu que en el càlcul només s'han de tenir presents efectes mecànics i tèrmics, cosa que en facilita de gran manera la construcció.

Al tercer i últim cas, la cavitat és igualment crucial i també depenen d'ella els paràmetres últims de qualitat, però, encara que calgui tenir en compte els efectes mecànics i tèrmics en la seva construcció, com que forma part del continent del plasma, també s'han de considerar els efectes de pèrdues de gas, de penetració d'impureses, de reaccions químiques induïdes pel plasma i d'efectes elèctrics i magnètics derivats de l'excitació del propi plasma.

EXCITACIÓ DE LA BARREJA GASOSA

Quant al treball elèctric que hi ha dins la construcció de l'aparell, és condicionat per la manera d'excitar la barreja gasosa per a produir el plasma: sigui com sigui la manera escollida, està relacionada directament o indirectament amb fenòmens elèctrics, i n'hi ha dues d'especialment útils en aquest tipus de làsers. L'excitació per radiofreqüència i l'excitació per alta tensió.

L'excitació per radiofreqüència té un avantatge fonamental sobre totes les altres: no hi ha contacte físic entre la font de radiofreqüència i el plasma que es crea per a produir l'efecte làser. Això afavoreix una vida més gran del tub i al mateix temps

fa que les reaccions químiques plasma-possibles elèctrodes siguin inexistents. Però d'altra banda té dos inconvenients també importants, a saber:

1.- S'ha de tenir especial cura amb l'apantallament de tot el dispositiu per evitar l'emissió d'ones de radiofreqüència, incloses les fugues d'aquestes per la línia d'alimentació de l'aparell.

2.- El sistema de control és altament sofisticat i la potència màxima que poden subministrar els làsers que activen el plasma d'aquesta manera és forçosament baixa.

Quant a l'excitació per alta tensió, presentarà com és lògic els seus propis inconvenients i els seus avantatges, entre els quals cal anomenar:

El material de què estan fets els elèctrodes ha d'ésser estable químicament, cosa no tan senzilla com sembla a primera vista, ja que dins el continent els gasos estan en estat de plasma amb tot el que això implica, i en particular als làsers de diòxid de carboni hi ha oxigen atòmic lliure dins el plasma com a resultat de la descàrrega elèctrica, que en produeix dins la cavitat.

Té com a principal avantatge que és relativament senzill de controlar, ja que manipula quantitats petites de corrent, encara que a altes tensions, i no hi ha pràcticament límit per la potència que es pot subministrar al plasma i en conseqüència al làser.

Si tenim ara present que l'electrònica que entra en aquest procés és més o menys la mateixa en qualsevol de les opcions que s'escullin i ve donada més per les prestacions que se'n vulguin obtenir que de les pròpies necessitats de control de l'aparell, això sí, amb un mínim necessari en tots els casos per a poder

obtenir una estabilitat al llarg del temps amb el fenomen làser apreciable.

EL PLASMA I LA CAVITAT ÒPTICA

Parlem ara dels dos punts últims, la cavitat òptica i el continent del plasma:

La cavitat òptica està formada o bé per la suma d'una part mecànica i uns miralls o bé per la suma del continent del plasma i uns miralls. En tots dos casos la peça clau són els miralls.

Els miralls que tanquen la cavitat són diferents segons sigui el seu paper: el mirall posterior sol ésser reflector en un 100 % , o al més a prop possible (99.98 %), a la longitud o longituds d'ona a què hagi de treballar el làser. En el cas del diòxid de carboni, treballant als 10.6 micròmetres no hi ha especial problema i amb un bon recobriment d'or s'aconsegueix l'efecte desitjat.

El mirall anterior té un altre paper força diferent: necessàriament ha de deixar passar part del feix làser, car en cas contrari no obtindríem cap potència del làser, però d'altra banda ha de tenir un coeficient de reflexió prou elevat perquè s'ultrapassi el llindar d'oscil·lació del làser, valor per sota del qual, per més que subministrem potència al làser, mai no comença a funcionar, car les pèrdues internes de la cavitat superen el guany que se n'obté. Com que el llindar d'oscil·lació és funció de la longitud d'ona amb què treballem, el grau de reflexió del primer mirall també depèn d'aquesta última.

Si aquests miralls, tant l'anterior com el posterior, no formen part del continent del plasma, no són necessàries exigències especials contra agressions químiques o implantacions iòniques del plasma; però si, al contrari, són part del continent,

caldrà una cura especial en llur estructura de multicapes per tal que aquestes no quedin afectades massa de pressa pels efectes agressius del plasma.

Quant a la cavitat, ha de complir dues funcions importants: mantenir retinguda la barreja de gasos que componen el plasma i proporcionar una estructura geomètrica que afavoreixi el transport de calor del plasma al refrigerant, líquid o gasós, del làser.

Pel que fa a l'efecte de manteniment de la barreja de gasos, aquest no és tan fútil com sembla a primera vista: pensem que entre aquests gasos hi ha heli, element amb una fugacitat elevadíssima, i l'estanqueïtat s'ha d'assolir durant un nombre elevat d'hores si hom vol que el làser sigui comercial. En conseqüència, els materials que s'han d'emprar no són qualssevol sinó que han d'ésser triats amb tota cura.

De més a més s'ha de tenir present que, sigui amb les òptiques, sigui amb unes finestres del material apropiat, aquesta cavitat ha de tenir els dos extrems adaptats perquè el feix làser pugui passar-hi a través: això dona problemes importantíssims, car, al mateix temps que els materials dels extrems han de poder contenir sense fugues la barreja de gasos, han d'ésser transparents a la radiació infraroja.

Un problema secundari que sol aparèixer és com fer el segellat entre les dues parts de la cavitat, el cos i els dos extrems, ja que aquest segellat també ha d'ésser estanc a la barreja de gasos.

CONSTRUCCIÓ DEL PROTOTIP

Si parlem finalment de la configuració geomètrica òptima per a evacuar la calor sobrant del plasma, cal dir que aquesta ha

d'ésser compatible amb la rigidesa que ha de tenir tot el conjunt (unes parets molt primes evacuarien molt bé la calor però serien extremadament fràgils), alhora que ha de continuar proporcionant una bona estanqueïtat als gasos del plasma.

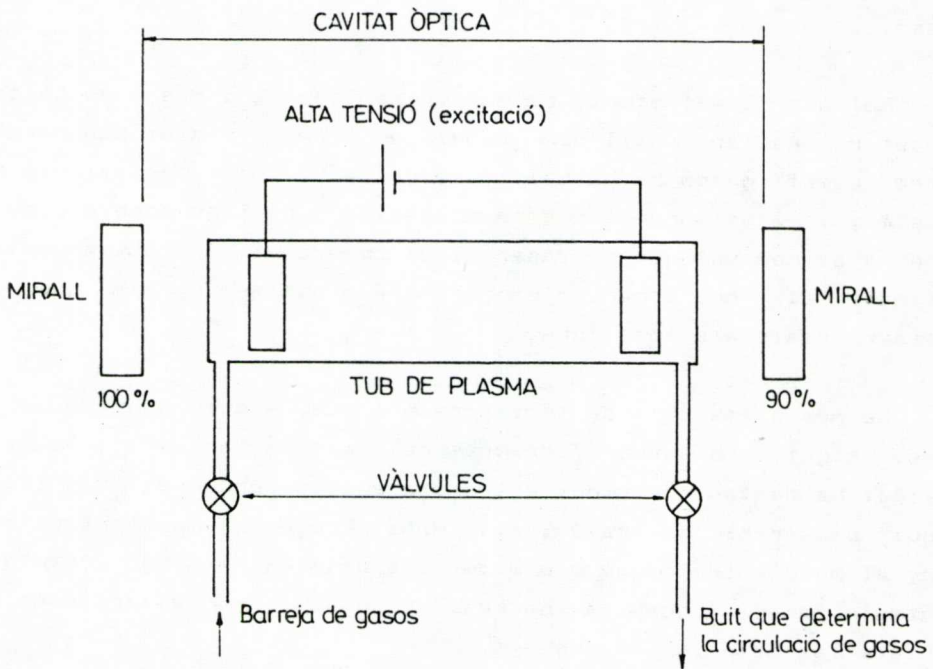


Fig 1: Esquema d'un làser de CO₂ amb circuit obert

Després de tots aquests raonaments adoptarem el criteri de fabricar un làser obert, és a dir, amb el flux continu de gas a través d'ell, car aquest procediment resolva el problema d'estanqueïtat que produïen els materials encarregats de fer el segellat del cos del continent del plasma amb els extrems del mateix continent.

Per tal d'evitar l'ús del material específic per a la construcció dels extrems del tub de plasma, s'adoptà el criteri, molt estès, de fer servir les òptiques de la cavitat a aquest efecte, i així la cavitat automàticament va haver d'ésser del tipus 3, és a dir, formant part del tub, però amb la possibilitat d'alinèar correctament l'òptica.

Això comportava problemes mecànics més seriosos que en els altres casos però l'esforç valia la pena car els elements terminals de les cavitats són costosos i difícils de manipular.

Quant al tipus d'excitació del plasma, s'escolli el mètode de l'alta tensió, encara que per la potència triada per al prototip, 30 W, podia ésser perfectament el mètode de radiofreqüència, però com que la filosofia inicial era d'anar pujant de potència a mesura que ho anessin demanant les exigències, el fet de triar l'excitació per alta tensió facilitava la progressió en potència dels prototips posteriors.

L'execució del projecte estigué plagada de problemes: cal anomenar, perquè fou el més corrent, el de la qualitat dels elements:

En un principi es triaren sempre que fou possible elements de fabricació nacional. Però malauradament, tret de comptades ocasions, aquests elements no estaven suficientment comprovats per a poder-se'n fiar en l'ús d'un projecte d'aquesta importància, i després de provar-los una i altra vegada hagueren d'ésser substituïts per elements d'importació.

El segon entrebanc en el projecte fou el sistema de treball. Tenim, i dic tenim perquè qui més qui menys tots patim del mateix defecte, el mal vici de pensar que les coses que són per a assaig no cal que siguin fetes amb la mateixa cura que les dedicades a

producció, quan és realment tot al contrari: les peces dedicades a fer assaigs han d'ésser executades amb moltíssima més cura que totes les altres perquè en el moment de fer mesures hom ha de poder-se fiar absolutament del material que fa servir. Posteriorment potser part d'aquells refinaments seran excessius i, per exemple, un forat que en l'assaig s'ha fet de 4.00 mm en la producció només pot ser de 4.0 mm, encara que el fet de passar d'una tolerància a una altra ha d'ésser estudiat amb serietat per tal de no produir productes de baixa qualitat, que abunden tant al nostre país.

Superada aquesta fase de construcció del primer prototip, s'ha de passar a la comprovació de paràmetres al mateix temps que s'ha de veure la dispersió de les previsions efectuades pel càlcul amb els resultats obtinguts amb l'execució de l'obra.

S'ha de dir que la dispersió fou petita i sobretot deguda al fet que les exigències del mercat obligaren a canviar algun dels components calculats, i sobretot, que les exigències de manipulació i els graus de tolerància en el treball del vidre amb què es construí el continent del gas imposaren modificacions en el disseny primitiu.

Tot i això, el primer prototip funcionà correctament segons els plans previstos i a partir d'ell es pogué dissenyar el segon prototip, més complet i sobretot amb mesures de protecció per la gent que hi treballàvem, car en el primer dels muntatges, amb les presses d'obtenir resultats, ens estalviàrem quasi totes les mesures de seguretat, fins i tot aquella tan elemental de posar una estructura metàl·lica connectada a terra de manera que protegís tota la zona d'alta tensió. Això donà lloc a més d'un espant i a algunes picades que, encara que lleus, haurien pogut ésser molt més importants.

SISTEMES DE MESURA I SEGURETAT

Amb un temps realment curt a partir d'aquest moment, es contruí el segon prototip, aprofitant en gran part tota la feina ja efectuada en el primer i incorporant parts senceres del primer al segon; per damunt de tot, el segon prototip fou proveït de mesures de seguretat molt més efectives i amb ell es passà al segon punt de desenvolupament del projecte, que era la construcció d'aquells elements auxiliars i de mesura que tot equip làser d'aquestes característiques ha de dur.

Es desenvoluparen tres equips d'aquests: el sistema d'alineació auxiliar, el sistema de mesura de potència i el sistema de control de la pressió de treball de gas dins el tub de plasma.

ALINEACIÓ

Com que aquest tipus de làser, que té la longitud d'ona (de 10.6 micròmetres) fora de la zona d'emissió de llum visible, és enormement perillós d'utilitzar en zones no protegides sense un raig auxiliar que vagi en la mateixa direcció i que sigui visible, perquè les potències que emet són importants, es dotà el làser d'un sistema d'alineació amb llum vermella de 633 nanòmetres provinent d'un làser d'He-Ne. El problema que es planteja al fer aquest tipus de combinació és que els materials que es comporten correctament als 633 nanòmetres del làser d'He-Ne no ho fan amb els 10.6 micròmetres del làser de diòxid de carboni, a menys que les potències posades en joc pel làser de diòxid de carboni siguin febles.

En el nostre prototip, les potències del làser de diòxid de carboni eren modestes, però com que la nostra intenció era continuar augmentant la potència del làser, la utilització de làmines de germani per a combinar en un sol raig els dos feixos, vàlida en aquest prototip, deixaria d'ésser-ho en incrementar la po-

tència; en conseqüència, ja des del primer moment s'optà per la solució del problema complet canviant el mètode de la combinació d'un feix de làser d'He-Ne amb un de diòxid de carboni pel mètode de proporcionar al feix del làser de diòxid de carboni uns altres dos feixos de làser d'He-Ne que anessin per l'exterior del primer feix al més a prop possible; això s'aconseguí mitjançant un sistema de miralls i prismes.

MESURA DE LA POTÈNCIA EMESA

El sistema de mesura de potència que tot làser industrial o quirúrgic ha de dur incorporat pot actuar per diferents principis i pot ésser acoblat de maneres molt diverses.

És necessari que aquest tipus d'equipament el portin els làsers industrials i quirúrgics perquè les feines que han de dur a terme estan relacionades directament amb la seva potència i tant les unes com les altres no admeten gaires errors.

Dins el tipus de mesuradors adaptats als làsers de diòxid de carboni hi ha dues famílies, les d'efecte tèrmic i les d'efecte termoconductor; les primeres són les més adequades per a mesurar potències mitjanes lentament variables i les segones queden quasi exclusivament reservades a la mesura d'efectes pulsants, no perquè no siguin útils en els altres casos, sinó perquè els preus les fan no competitives amb el primer mètode.

En conseqüència, nosaltres adoptarem el mètode de l'efecte tèrmic. En el moment d'aplicar aquest tipus de mesuradors a un làser es poden escollir dos mètodes diferenciats:

- 1.- Dividir el feix del làser en dos: un (el que porta quasi tota l'energia) per a complir la tasca assignada a l'aparell, i l'altre (només un petit tant per cent de la potència total), que es desvia al detector. Aquest mètode també es pot utilitzar can-

viant lleugerament la reflectància del mirall posterior de la cavitat i alhora construïnt el seu suport amb un material transparent a l'infraroig de 10,6 micròmetres; d'aquesta manera el mesurador es pot incorporar darrera la cavitat per la zona del mirall posterior sense haver de partir el feix del làser que surt pel mirall semireflector.

2.- Desviar tot el raig sobre el detector mentre duri la lectura de la potència i, òbviament, durant aquest temps el làser no pot treballar.

Nosaltres adoptarem el segon mètode car s'havia escollit com a element reflector de la part posterior de la cavitat un mirall de base de coure i aquest material és opac a l'infraroig. Tanmateix, el segon mètode té l'avantatge en la construcció del detector, ja que les energies que hi arriben són molt més importants i no cal amplificar en excés el senyal que ens dona el mesurador, i per tant la mesura és més fiable, si es fa correctament. Per contra, té l'inconvenient important de no permetre dotar el làser d'un mecanisme de control de potència de sortida del làser continu, ja que no podem mesurar la potència contínuament i, en lògica conseqüència, el sistema de regulació del làser ha d'ésser molt més estable que en els altres tipus d'adaptació de mesuradors, que permeten una elasticitat més gran en el mecanisme de regulació.

El detector és fonamentalment un element opac a la radiació infraroja, tractat superficialment perquè el seu grau de reflectància sigui el més baix possible i, doncs, es puguin detectar les variacions més petites de potència rebuda. Per tal d'aconseguir una temperatura en relació directa a la potència rebuda pel detector, s'acondiciona aquest últim de manera que tingui un punt fred a temperatura constant i coneguda, i es mesura la potència del làser en funció de la diferència de temperatura entre el punt fred i el punt calent, que és el d'impacte del làser, mitjançant

l'auxili d'un sistema de termoparells.

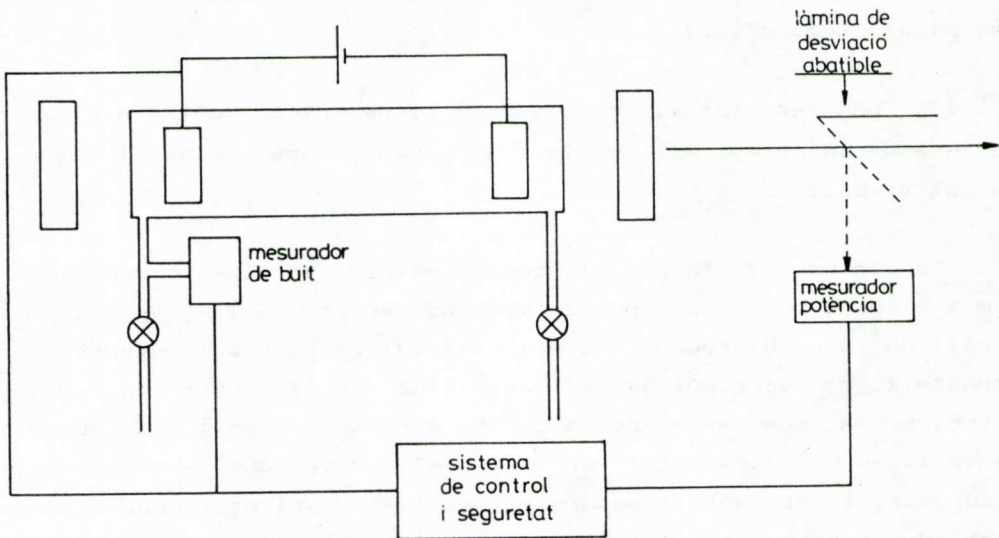


Fig 2: Esquema de la col·locació dels sistemes de mesura i control

MESURA DE LA PRESSIÓ INTERNA

Finalment parlem del mesurador de pressió. Aquest mesurador pot estar incorporat o no a l'equipament d'un làser, car trobada la pressió de treball correcta per a una barreja de gasos, si l'equip està segellat, no ha de presentar variacions de pressió amb el temps, però si l'equip és de circuit obert, tal i com és el nostre cas, el mesurador es fa imprescindible.

Cal fer referència al fet que, tot i que el làser sigui segellat, sempre es fa una comprovació de la pressió interior, ja que per efecte d'absorció i adsorció de gasos aquesta presenta

variacions. En la majoria dels casos n'hi ha prou, per a fer-ho, coneixent una relació tensió-corrent dins el plasma, i, com és lògic, no hi ha necessitat d'emprar un mesurador específic.

Si ho concretem al cas del nostre prototip, el mesurador de pressió és un element clau, car en tot moment entra gas dins la cavitat del plasma i per consegüent és necessari conèixer a quina pressió es fa aquesta entrada de gas. Com molt bé es pot pensar, no és valid cap mètode de mesura en relació a l'atmosfera (sistemes baromètrics comparatius), ja que aquesta presenta oscil·lacions molt importants que farien inútil tota mesura del fenomen; doncs, s'ha de comparar respecte a un recipient tancat a pressió fixa i coneguda, o bé s'han de fer mesures de buit o pressió indirectes, per ex.: conductibilitat tèrmica dels gasos, conductibilitat elèctrica, camí mitjà lliure electrònic.

Potser una de les més simples és la comparació mecànica entre dues pressions i fou aquesta la que es dugué a terme, utilitzant un mesurador de membrana per efecte capacitiu, la informació del qual servia per a tenir la mesura de la pressió interna. Però, com que el contingut és una barreja de gasos, s'ha de fer una calibració de l'aparell per a la composició de gasos escollida, ja que composicions diferents impliquen lectures diferents.

CLOENDA

Amb el conjunt de totes les diferents parts que s'han explicat en aquest article s'assolí finalment el resultat desitjat, un làser de diòxid de carboni de 30 watts de potència de sortida, fiable i amb mecanismes de control segurs.

Finalment voldria dir a tothom que cregués que això de fer làsers és difícilíssim, que està força equivocat. És una feina com tantes d'altres, que requereix uns coneixements específics,

però sobre tot el seu èxit està en la bona relació amb els diferents professionals que han d'intervenir en tot el procés creatiu. La part financera deixem-la de banda, que tots sabem que passa quan s'han de mantenir relacions entre la tècnica i el món del diner.