

## Treball final de màster

**Estudi: Màster en Enginyeria Industrial**

**Títol:** COMUNICACIÓ CAM-CNC PER CONTROL DE MÀQUINA EINA I DISSENY DE SISTEMA DE SUBJECCIÓ DE MATERIAL PER A OPERACIONS DE DEFORMACIÓ INCREMENTAL.

**Document: DOCUMENT 1. MEMÒRIA**

**Alumne:** Albert Segade Peleteiro

**Tutor:** Maria Luisa García-Romeu de Luna / Isabel Bagudanch Frigolé

**Departament:** Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Enginyeria dels Processos de Fabricació

**Convocatòria (mes/any):** Juny 2015

## ÍNDEX

1.	INTRODUCCIÓ.....	4
1.1.	Peticionari.....	4
1.2.	Antecedents .....	4
1.2.1.	Base teòrica .....	4
1.2.2.	Equipament existent.....	9
1.3.	Situació de partida.....	10
1.3.1.	Control CNC.....	10
1.3.2.	Plataforma elevadora.....	10
1.4.	Resum .....	12
1.5.	Objecte .....	13
1.6.	Abast .....	13
1.7.	Requeriments.....	13
1.7.1.	Programa de control CNC.....	14
1.7.2.	Sistema de subjecció de làmines de material .....	15
2.	SOLUCIÓ ADOPTADA.....	16
2.1.	Programa de control.....	16
2.2.	Sistema de subjecció de làmines de material. ....	18
2.2.1.	Dimensions funcionals .....	25
3.	PROVES DE VALIDACIÓ.....	28
3.1.	Dades prèvies .....	28
4.	RESUM DEL PRESSUPOST .....	34
5.	CONCLUSIONS.....	35
5.1.	Conclusions.....	35
5.2.	Treball futur .....	36
5.3.	Tancament projecte.....	38
5.3.1.	Programa de control CNC.....	38
5.3.2.	Sistema de subjecció de làmines de material de partida .....	39
6.	RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	42
7.	REFERÈNCIES .....	42
7.1.	BIBLIOGRÀFIQUES.....	42
7.2.	PÀGINES WEB .....	42

## ÍNDIX DE FIGURES

FIGURA 1. Descripció del procés de deformació incremental. ....	4
FIGURA 2. Esquema explicatiu del procés de conformat incremental.....	5
FIGURA 3. Exemple de deformació negativa.....	5
FIGURA 4. Exemple de deformació positiva. ....	5
FIGURA 5. Trajectòria eina. Font: .....	6
FIGURA 6. Single Point Incremental Forming .....	7
FIGURA 7. SPIF-ND Single Point Incremental Forming Negative Die .....	7
FIGURA 8. TPIF-PD Two Point Incremental Forming with Partial Die .....	7
FIGURA 9. Two Point Incremental Forming with Complete Positive Die .....	7
FIGURA 10. Centre de mecanitzat KONDIA HS1000. ....	9
FIGURA 11. Control CNC FIDIA C1. ....	9
FIGURA 12. Sistema de subjecció làmines de material de partida. Font: GREP.....	9
FIGURA 13. Plataforma elevadora .....	10
FIGURA 14. Botonera armari principal .....	11
FIGURA 15. Variadors, sistema de potència i control .....	11
FIGURA 16. Botonera de control.....	11
FIGURA 17. Esquema modificacions a realitzar sobre programa de control .....	17
FIGURA 18. Vista general muntatge complet.....	19
FIGURA 19. Perfils estructurals d'alumini.....	20
FIGURA 20. Pinça tancament ràpid .....	20
FIGURA 21. Estructura de guies .....	20
FIGURA 22. Muntatge perfil 30x30x1050.....	21
FIGURA 23. Muntatge guies transversals .....	21
FIGURA 24. Muntatge guies longitudinals superiors.....	22
FIGURA 25. Muntatge base prensora pinces ràpides .....	22
FIGURA 26. Muntatge complet sobre plataforma mòbil .....	23
FIGURA 27. Base simple pinça prensora.....	23
FIGURA 28. Base elevada pinça prensora.....	23
FIGURA 29. Planta i alçats muntatge complet .....	24
FIGURA 30. Mides mínimes material i mides funcionals.....	25
FIGURA 31. Mides màximes material i mides funcional.....	25
FIGURA 32. Espai hàbil per peces i matrius. ....	26
FIGURA 33. Recorregut màxim plataforma. Posició mínima i màxima. ....	27
FIGURA 34. Motllo matriu positiva per deformació incremental doble punt .....	28
FIGURA 35. Resultat teòric .....	28
FIGURA 36. Simulació trajectòries per deformació incremental. ....	30
FIGURA 37. Muntatge motllo sobre taula de mesures .....	30

FIGURA 38. Muntatge motllo vista superior .....	30
FIGURA 39. Material amb un sol lateral pinçat .....	31
FIGURA 40. Làmina col·locada i subjectada.....	31
FIGURA 41. Inici operació deformació incremental.....	31
FIGURA 42. Procés de deformació .....	32
FIGURA 43. Peça final .....	32
FIGURA 44. Vista inferior peça conformada .....	33
FIGURA 45. Sistema d'esquadra d'unió actual .....	37
FIGURA 46. Esquadra brida amb maneta de bloqueig .....	37
FIGURA 47. Prensor pinça actual i proposat.....	37
FIGURA 48. . Muntatge complet amb material estacat .....	41
FIGURA 49. Vista frontal muntatge .....	41
FIGURA 50. Vista detall pinces ràpides .....	41

## ÍNDIX DE TAULES

TAULA 1. Operacions de Deformació Incremental SPIF i TPIF .....	7
TAULA 2. Avantatges i inconvenients sistemes tradicionals i deformació incremental.....	8
TAULA 3. Prescripcions tècniques per modificació programa del control CNC .....	14
TAULA 4. Prescripcions tècniques Sistema subjecció de làmines de material de partida .....	15
TAULA 5. Dimensions mínimes i màximes admissibles.....	25
TAULA 6. Espai màxim disponible per matrius i peces .....	26
TAULA 7. Gruixos deformables. Font. Especificacions màquina AMINO DIELESS DLNC-PC	29
TAULA 8. Especificacions material proves i paràmetres d'operació. ....	29
TAULA 9. Control de compliment de requisits programa del control CNC .....	38
TAULA 10. Control de compliment de requisits sistema de subjecció de làmines de material ....	39

## 1. INTRODUCCIÓ

### 1.1. Peticionari

El peticionari del present projecte és el Grup de recerca en Enginyeria de Producte, Procés i Producció (GREP), pertanyent a la Universitat de Girona.

### 1.2. Antecedents

Una de les línies de recerca del GREP es centra en les operacions de deformació incremental.

#### 1.2.1. Base teòrica

Aquest tipus d'operació es basa en la deformació de planxes de diversos materials per a conformar peces que tradicionalment s'han realitzat, principalment, per embotició o estampació; aquestes tècniques es basen en l'ús de premses i matrius; aquests sistemes permeten una alta productivitat però són rendibles per a grans sèries de producció però inviàbles econòmicament en la fabricació de sèries curtes, prototips o peces funcionals úniques.

El procés de deformació incremental (Incremental Sheet Forming en anglès, ISF) es basa principalment en la deformació de planxes de materials diversos per mitjà d'un punxó amb forma semiesfèrica controlada per control numèric. Aquest procés s'inicia a partir d'un fitxer CAD 3D amb la geometria de la peça; es basa en el principi de conformat per capes, on el model està dividit seccions horitzontals. La trajectòria de l'eina CNC es prepara segons aquestes capes. Aquestes trajectòries s'executen a diferents profunditats, i amb la suma total de les trajectòries s'obté la geometria desitjada (FIGURA 1 i FIGURA 2).



FIGURA 1. Descripció del procés de deformació incremental.  
Font. [www.micromanufacturing.net](http://www.micromanufacturing.net)

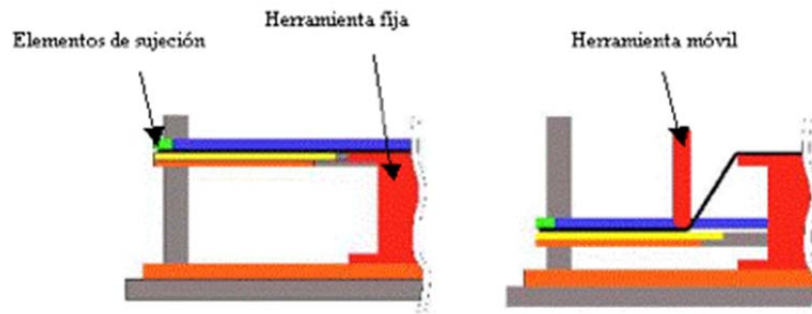


FIGURA 2. Esquema explicatiu del procés de conformat incremental  
Font. [www.micromanufacturing.net](http://www.micromanufacturing.net)

Es classifica principalment en dos tipus de conformat:

- Deformació negativa: el punxó deformant està en contacte amb la pell interior de la peça. En aquest procés es controlen les dimensions i toleràncies de la geometria interior de la peça. En aquest cas, el punxó va penetrant en la geometria que es va generant progressivament (FIGURA 3). Aquesta operació té dues variants principals, la deformació del material sense matriu o amb matriu negativa.

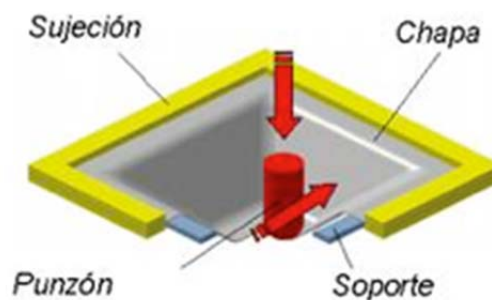


FIGURA 3. Exemple de deformació negativa  
Font. [www.micromanufacturing.net](http://www.micromanufacturing.net)

- Deformació positiva: el punxó deformant està en contacte amb la pell exterior de la geometria. En aquest procés es controlen les dimensions i toleràncies externes de la peça. Per a realitzar aquesta operació, el suport perimetral, de subjectió del material, es desplaça descendint sobre una matriu positiva (total o parcial, veure FIGURA 4).

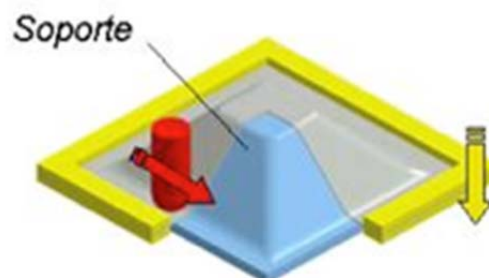


FIGURA 4. Exemple de deformació positiva.  
Font. [www.micromanufacturing.net](http://www.micromanufacturing.net)

Existeixen diferents tipus d'operacions de Deformació Incremental, classificats en tres grups principals:

- SPIF: "Single Point Incremental Forming", en anglès. (Deformació Incremental Monopunt)
- TPIF: "Two Point Incremental Forming", en anglès. (Deformació Incremental per Dos Punts)
- DPIF: "Double Point Incremental Forming", en anglès. (Deformació Incremental de Doble Punt)

La transició entre capes es pot realitzar de diverses maneres. FIGURA 5.

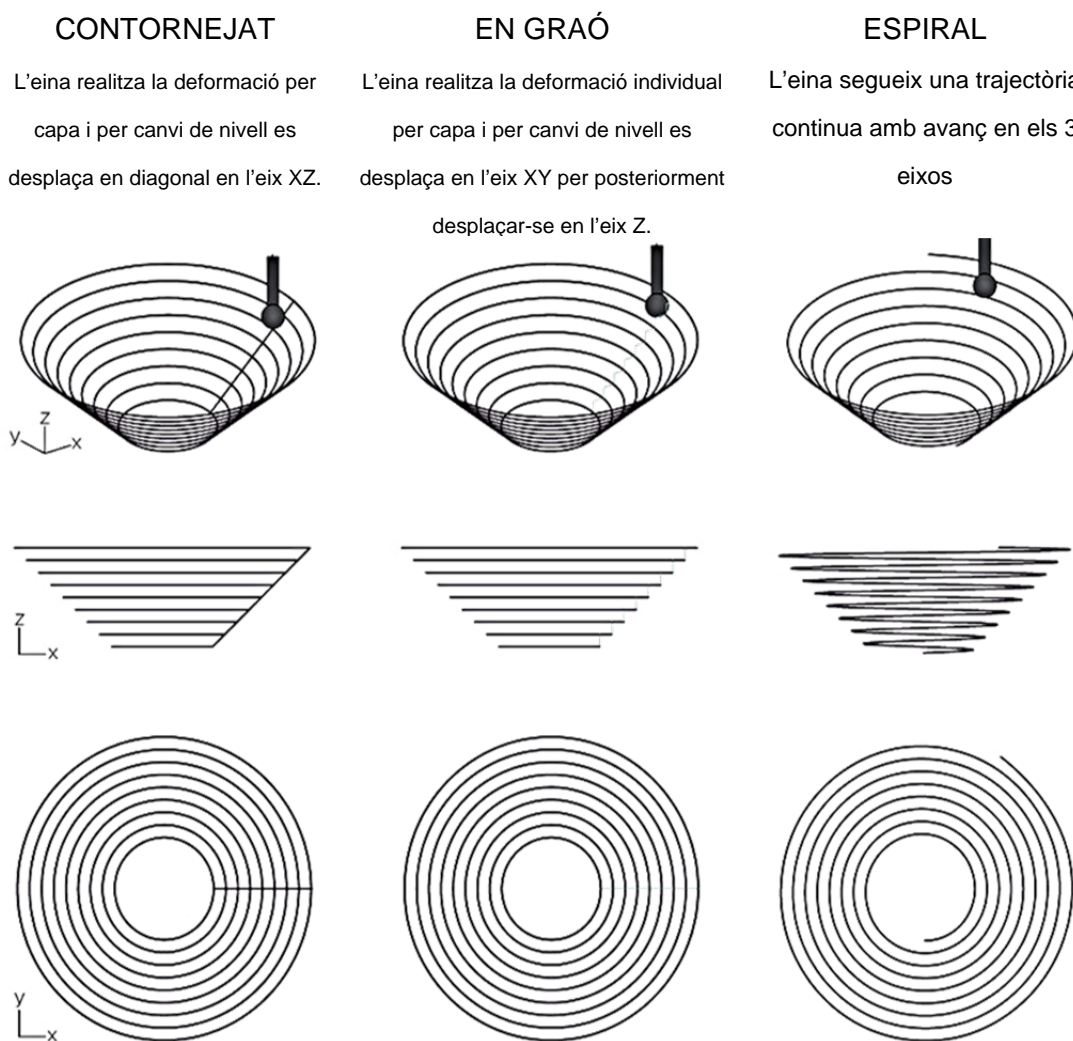


FIGURA 5. Trajectòria eina. Font:

Les trajectòries no han de tenir un sentit únic, en les dues primeres formes, sinó que poden variar en sentit horari o antihorari segons la geometria a crear i el tipus de material; amb aquest canvi de sentit en les trajectòries horitzontals per capa es busca compensar la recuperació natural d'alguns materials així com la distribució d'esforços de deformació.

En la TAULA 1 hi ha un petit resum explicatiu de les característiques principals dels dos primers

grups (són els grups inclosos en la línia de recerca del GREP).

TAULA 1. Operacions de Deformació Incremental SPIF i TPIF

TIPUS	DENOMINACIÓ / ESQUEMA	DEDESCRIPCIÓ
-------	-----------------------	--------------

**SPIF** DEFORMACIÓ INCREMENTAL MONOPUNT

**SPIF** Deformació Incremental Monopunt Negativa. FIGURA 6



FIGURA 6. Single Point Incremental Forming

FONT: www.alexjfischer.com

La làmina de material queda fixada perimetralment sobre una estructura que deixa al material "flotant" a l'aire; la deformació es realitza sense cap tipus d'empremta sota el material. Una eina esfèrica per deformació segueix el contorn de la geometria desitjada. El suport es fixe.

**SPIF-ND** Deformació Incremental Monopunt amb matriu empremta negativa. FIGURA 7

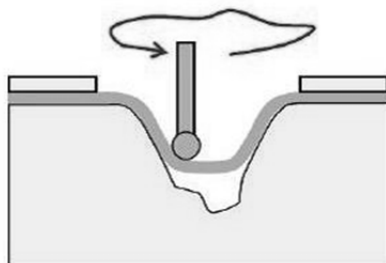


FIGURA 7. SPIF-ND Single Point Incremental Forming Negative Die

FONT: www.alexjfischer.com

La làmina de material queda fixada perimetralment sobre una estructura que col·loca el material sobre la matriu negativa. Una eina esfèrica per deformació segueix el contorn de la geometria desitjada.

El suport per subjecció del material es fixe durant el procés.

**TPIF** DEFORMACIÓ INCREMENTAL DE DOS PUNTS

**TPIF-PD** Def. Inc. de Dos Punts amb motllo parcial. FIGURA 8

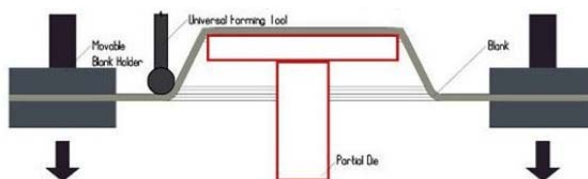


FIGURA 8. TPIF-PD Two Point Incremental Forming with Partial Die

FONT: www.alexjfischer.com

En aquest tipus de deformació, s'utilitza un motllo parcial que permet garantir major exactitud dimensional en la base de la peça a conformar, mentre es conforma la resta de peça l'igual que amb el SPIF. El suport del material és mòbil i es desplaça verticalment durant l'operació.

**TPIF-CPD** Def. Inc. de Dos Punts amb matriu d'empremta positiva. FIGURA 9



FIGURA 9. Two Point Incremental Forming with Complete Positive Die

FONT: www.alexjfischer.com

En aquest tipus de deformació, s'utilitza un motllo complet amb matriu positiva i es realitza la deformació sobre el mateix.

El suport del material és mòbil i es desplaça verticalment durant l'operació.



Aquests sistemes presents avantatges i inconvenients en referència als sistemes tradicionals així com entre ells mateixos. En la TAULA 2 es troba una comparativa entre els sistemes tradicionals i els dos de deformació incremental en estudi en aquest projecte.

TAULA 2. Avantatges i inconvenients sistemes tradicionals i deformació incremental

FONT: G.Pármao and A. Benítez, "Deformación incremental de lámina sin matriz (dieless) como alternativa viable a procesos de conformación de láminas convencionales", INGE CUC, vol. 9, no. 1, pp. 115-128, Jun, 2013.

		SISTEMES TRADICIONALS				DEFORMACIÓ INCREMENTAL	
		EMBUTIT	SUPER-FORMAT	ESTAMPAT	REPUJAT	SPIF	TPIF
QUALITAT	Acabat superficial	BONA	BONA	ALTA	ALTA	MITJA	MITJA
	Geometria	BONA	BONA	ALTA	BONA	MITJA	MITJA
	Gruixos	CONSTANT	CONTROLAT	CONSTANT	CONTROLAT	BAIXA	MITJA
GEOMETRIES	Complexitat	MITJA	MITJA	MITJA	MITJA	BAIXA	MITJA
PRODUCCIÓ	Sèries llargues	ALTA	MITJA-ALTA	ALTA	ALTA	NO VIABLE	NO VIABLE
	Sèries curtes	NO VIABLE	NO VIABLE	NO VIABLE	VIABLE	VIABLE	VIABLE
	Prototips	NO VIABLE	NO VIABLE	NO VIABLE	VIABLE	VIABLE	VIABLE
	Personalitzades (1 o molt poques unitats)	NO VIABLE	NO VIABLE	NO VIABLE	NO VIABLE	VIABLE	VIABLE
COST	Inversió inicial (màquina)	ALT	ALT	ALT	ALT	ALT	ALT
	Producció	BAIX	BAIX	BAIX	BAIX	BAIX	BAIX
	Utiltatge	ALT	ALT	ALT	BAIX	BAIX/MITJÀ	BAIX/MITJÀ
ESPECIALITZACIÓ	Disseny	ALT	ALT	ALT	ALT	MITJÀ	ALT
	Ajust	ALT	ALT	ALT	ALT	MITJÀ	ALT
	Operació	BAIX	BAIX	BAIX	ALT	MITJÀ	ALT
	Modificació	ALT	ALT	ALT	ALT	MITJÀ	ALT
ADAPTABILITAT/FLEXIBILITAT	BAIXA	BAIXA	BAIXA	MITJA	BAIXA / MITJANA	MITJANA	
"TIME TO MARKET"	ALT	MITJÀ/ALT	ALT	BAIX/MITJÀ	BAIX	BAIX/MITJÀ	

### 1.2.2. Equipament existent

El GREP disposa d'un centre de mecanitzat adaptat per a realitzar operacions de deformació incremental; es tracta del model KONDIA HS1000 (FIGURA 10) amb control CNC de la casa FIDIA model C1 (FIGURA 11).



FIGURA 10. Centre de mecanitzat KONDIA HS1000.

Font: GREP



FIGURA 11. Control CNC FIDIA C1.

Font: GREP

Es disposa d'una plataforma mòbil amb moviment lineal en un sol eix paral·lel l'eix Z del centre de mecanitzat; aquesta plataforma es controla actualment de manera independent mitjançant variadors de freqüència programables que controlen els servomotors que permeten realitzar moviment de pujada i baixada de dita plataforma. Aquest equipament és compartit amb altres línies de recerca del GREP, concretament de tecnologies de fabricació làser.

D'altra banda, les operacions realitzades fins a la data, han consistit en operacions de deformació incremental monopunt (Single Point Incremental Forming en anglès, SPIF) i per a tal efecte es disposava d'un sistema de subjecció fixe per a les làmines de material de partida, consistent en un marc quadrat format per dues peces bessones que mitjançant unions cargolades premsen les provetes en tot el perímetre de les mateixes (FIGURA 12).

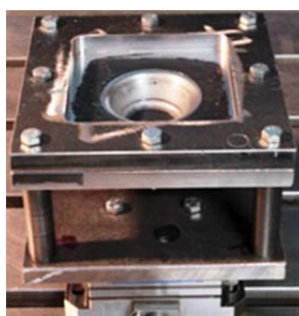


FIGURA 12. Sistema de subjecció làmines de material de partida. Font: GREP

### 1.3. Situació de partida

Per a fer el plantejament de la situació de partida, es planteja en dues vessants: la del control CNC i la de la plataforma elevadora existent.

#### 1.3.1. Control CNC

El control propi del centre de mecanitzat és un FIDIA C1; aquest control és relativament antic però totalment funcional per a les operacions que es volen realitzar tant en la deformació incremental com en les operacions amb el làser.

Aquest control permet l'operació en 3 eixos associats al moviment del capçal.

#### 1.3.2. Plataforma elevadora

La plataforma elevadora (FIGURA 13) és un equipament que forma part de dues línies de recerca principals: deformació incremental i fabricació làser. Degut a les necessitats específiques de cadascun dels dos sistemes hi ha variacions en la programació de la seqüència de moviment de la plataforma però amb el mateix tipus de moviment, és a dir un moviment vertical amb un control d'elevació de la mateixa.

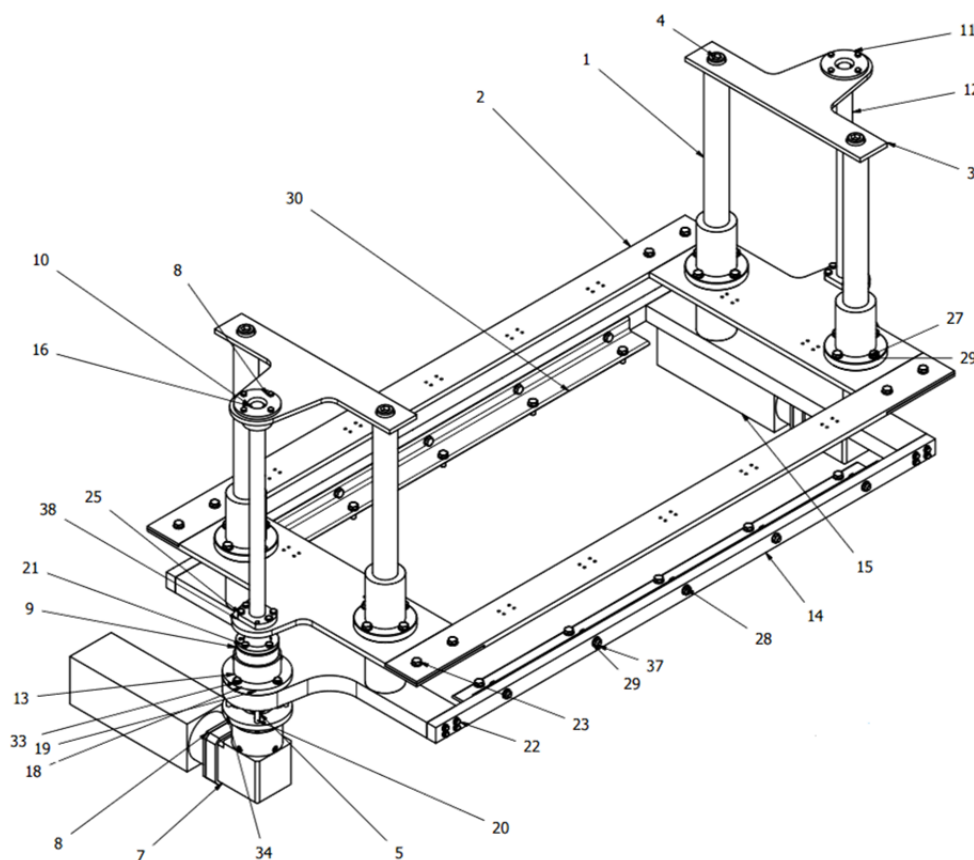


FIGURA 13. Plataforma elevadora

La plataforma consta de tres parts principals:

- Estructura fixa per muntatge sobre taula del centre de mecanitzat formada per una estructura rectangular per suport del conjunt i unió amb la taula del centre de mecanitzat, quatre eixos guia verticals, dos cargols sens fi i dos servomotors dotats ambdós amb reductors i que fan girar els cargols sens fi.
- Estructura mòbil consistent en una estructura rectangular a base de passamans i planxa d'acer, dolles per guiatge pels eixos verticals i dues dolles per transformació del moviment de rotació dels cargols sens fi a moviment lineal.
- Sistema de control del moviment i automatització de la seqüència de treball segons les necessitats d'operació (desplaçament controlat amb valor controlat). Aquest sistema es basa principalment en dos variadors UNIDRIVE SP1403 programables (FIGURA 14) i muntatge en armari independent (FIGURA 15) amb la part corresponent a potència i comandament de la plataforma així com en una botonera mòbil (FIGURA 16) per a control directe de l'operativitat de la plataforma per part de l'operador durant el procés de mecanitzat.



FIGURA 14. Botonera armari principal



FIGURA 15. Variadors, sistema de potència i control

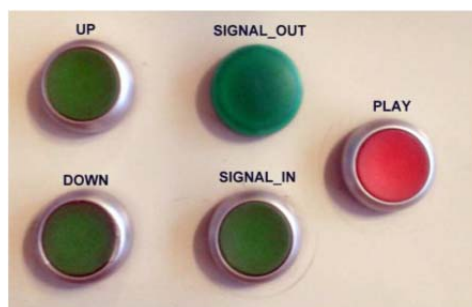


FIGURA 16. Botonera de control

Aquest sistema de control permet la següent operativitat dividida en tres parts principals:

- Preparació: per a iniciar l'operativitat de la plataforma es disposa del polsador "play" de la botonera independent, automàticament la plataforma es desplaça verticalment fins a la posició més baixa de la mateixa i torna a pujar per assolir la posició de "home plataforma" en la posició d'elevació màxima de la plataforma mòbil.  
A partir d'assolir aquesta posició, l'operador pot situar la plataforma mòbil en la posició "home peça" (posició 0 en eix vertical de la peça) mitjançant l'operació de la botonera independent amb els polsadors marcats com "up" i "down".
- Producció: durant el procés de mecanitzat, la plataforma baixa de manera controlada i predeterminada una distància prèviament programada en el variador a raó de 50µm per un factor multiplicador introduït com una variable fins a un valor màxim de 25 mm. Aquest moviment s'activa amb l'operació de la botonera amb el polsador "signal-in" i s'executa la seqüència de moviment desitjada, parant automàticament la plataforma fins a la següent pulsació.
- Finalització: una vegada finalitzada la mecanització de la peça, es retorna la plataforma a la posició de "home plataforma" per a permetre la retirada de la peça acabada.

En el punt de partida del projecte, la plataforma és independent del centre de mecanitzat, és a dir, la seva operativitat està controlada manualment i de manera independent del control per part de l'operador.

#### **1.4. Resum**

La necessitat del present projecte deriva de les limitacions que tenen els equipaments existents per a la realització d'operacions de deformació incremental (TPIF) que requereixen que la plataforma mòbil realitzi els cicles programats en la mateixa (moviment vertical amb carrera controlada), així com un sistema de subjecció de material sobre la mateixa plataforma.

## 1.5. Objecte

L'objecte del present projecte té una doble finalitat: en primer lloc realitzar la programació del control del centre de mecanitzat; aquesta programació fa que el sistema de plataforma mòbil realitzi automàticament una seqüència de moviment prèviament programada en el seu propi sistema, i per altra banda un sistema de subjecció de les làmines de material de partida que permeti la subjecció de les mateixes d'una manera més ràpida així com que permeti diverses dimensions de material a deformar.

No és objecte d'aquest projecte l'anàlisi de resultats de les peces de les proves de validació, limitant-se a la comprovació del funcionament del programa així com que el sistema de subjecció de les làmines de material és adequat per a suportar les forces aplicades durant el procés de deformació sense desplaçament del material respecte la posició original.

## 1.6. Abast

L'abast del present projecte es divideix en tres parts principals:

- Primera part: programació del control del centre de mecanitzat per a què doni l'ordre d'actuació de la plataforma mòbil de manera automàtica segons línia de codi.
- Segona part: disseny i fabricació del sistema de subjecció de làmines de material de partida.
- Tercera part: realització de proves de funcionament de les modificacions del control i d'idoneïtat del sistema de subjecció amb la realització d'assaigs de TPIF.

## 1.7. Requeriments

Els requeriments es divideixen en dues parts principals, les corresponents a la programació del control i una segona corresponent al sistema de subjecció de material per a realitzar les operacions de deformació incremental. En els requeriments referents al control es fa referència al làser encara que no sigui objecte específic d'aquest projecte; aquest fet és deu a què per tal de no duplicar la programació i assegurar la no interferència entre programes, es va determinar que es fes una única programació que considerés els aspectes específics i les necessitats dels dos sistemes de fabricació. A continuació es llisten els requeriments d'acord amb aquesta separació, separats en dos subapartats:

1.7.1. Programa de control CNC:

1.7.2. Sistema de subjecció de làmines de material de partida

1.7.1. Programa de control CNC

En forma de taula es llisten els requeriments per a la programació del programa de control del CNC (TAULA 3), en aquesta taula hi ha el registre del tipus de requeriment indicant amb “R” si es tracta d’un requeriment principal i no modificable sense justificació o amb “D” si es tracta d’un requeriment desitjable però no principal.

TAULA 3. Prescripcions tècniques per modificació programa del control CNC

CONCEPTE	TIPUS	DESCRIPCIÓ
Funció	R	Activació del sistema de control independent de la plataforma per a la realització d’una seqüència de moviment segons ordre d’operació del programa de mecanitzat.
Materials	R	Software. Modificació del programa base del control numèric FIDIA C1.
Característiques crítiques	R	<p>El control ha de poder configurar-se en tres modes concrets diferenciats, al introduir una funció en una línia de codi en el programa ISO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mode 1 ESTANDAR: funcionament primitiu del control (original)</li> <li>- Mode 2: funcionament per a operacions de deformació incremental.</li> <li>- Mode 3: funcionament per a treballs amb làser.</li> </ul> <p>Per cada mode es definiran uns Límits de treball:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mode 1: límits ja configurats del centre de mecanitzat.</li> <li>- Mode 2: límits determinats per operacions de deformació incremental en la zona disponible de la plataforma elevadora.</li> <li>- Mode 3: límits determinats per treball amb làser en la zona disponible de la plataforma elevadora.</li> </ul> <p>ENGEGAT centre de mecanitzat:                      Per defecte el mode de funcionament al engegar el centre de mecanitzat ha de ser el mode 1 (ESTANDAR).</p> <p>ESPECIFICACIONS SEGONS MODE</p> <hr/> <p>MODE 1    Al fer RESET CNC o PARADA D’EMERGÈNCIA no canviarà l’estat en què es trobi fins que la màquina no es reiniciï per evitar possibles interferències de capçal amb els elements muntats en aquell moment.</p> <hr/> <p>MODE 2    Definir funcions per al control de la plataforma elevadora que permeti l’activació d’un cicle de funcionament de la plataforma elevadora.</p> <hr/> <p>MODE 3    Al entrar en aquest mode, han de quedar anul·lades en el control CNC les funcions de rotació del fus, refrigerant de mecanització i canvi d’eina.                      Definir noves funcions que habilitin diverses noves operacions:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Activació xarxa elèctrica làser</li> <li>- Desactivació xarxa elèctrica làser</li> <li>- Activació mode STANDBY del làser</li> <li>- Desactivació làser (STANDBY):</li> <li>- Activar làser</li> <li>- Desactivar làser</li> <li>- Activació Electrovàlvula</li> </ul> <p>Al fer RESET o PARADA EMERGÈNCIA es desactivaran aquestes funcions.</p>

Documentació	R	Manual d'operació del centre de mecanitzat i del control CNC. Manual d'operació de la plataforma mòbil. No es disposa del manual de programació d'alt nivell del centre de mecanitzat.
Costos	D	Es pretén minimitzar els costos de programació del control numèric realitzat la mateixa per mitjans propis, és a dir, amb aquest projecte.

### 1.7.2. Sistema de subjecció de làmines de material

En forma de taula es llisten els requeriments per al disseny del sistema de subjecció a instal·lar sobre la plataforma mòbil (TAULA 4), en aquesta taula hi ha el registre del tipus de requeriment indicant amb R si es tracta d'un requeriment principal i no modificable sense justificació o amb D si es tracta d'un requeriment desitjable però no principal.

TAULA 4. Prescripcions tècniques Sistema subjecció de làmines de material de partida

CONCEPTE	TIPUS	DESCRIPCIÓ
Funció	R	Sistema estàtic ajustable per a diferents dimensions de làmines de material. Sistema ràpid de subjecció (pinçament perimetral). Augmentar la rigidesa dels perfils longitudinals laterals (passamans de 70x10 i amb una longitud de 1200 mm; peça núm. 2, FIGURA 12) per a reduir al mínim la flexió durant les operacions de deformació incremental: FLETXA MÀXIMA 1 mm (dada estimada a confirmar segons assaigs posteriors).
Muntatge	R	El sistema de subjecció de làmines de material ha de poder ser muntat i desmuntat, total o parcial, de la plataforma elevadora. (Aquest requisit es fonamental, ja que aquesta plataforma té un ús compartit en diverses línies de recerca i el muntatge fixe del sistema de subjecció impossibilitaria el treball amb el làser).
Materials	R	Ús prioritari de peces de comerç. Minimitzar la diversitat de peces i les dimensions de la cargolaria. Peces de fabricació específica: acer o alumini.
Característiques crítiques	R	<u>Dimensions:</u> El sistema de subjecció ha de permetre la subjecció de provetes planes de diversos materials amb unes dimensions: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mínimes: 110x110 mm</li> <li>- Màximes: les màximes assolibles segons el disseny del sistema i els límits propis de la plataforma existent.</li> </ul> L'espai de treball disponible de la plataforma mòbil queda determinat amb els següents valors: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pla de treball (eixos X i Y): 460x900 mm</li> <li>- Alçada per sobre i per sota pla de treball (eix Z): de -100 a 100 mm.</li> </ul> <u>Estabilitat estructural:</u> s'ha de garantir la rigidesa estructural del sistema de forma que no es superi un valor de fletxa de 1mm en les condicions de treball més desfavorables.
Documentació	R	Es disposa de documentació de la plataforma mòbil tant en format paper com digital.
Costos	D	Els mínims possibles, buscant materials i peces estandarditzades així com la màxima reducció d'operacions de mecanitzat en la fabricació de peces específiques del sistema de subjecció de material.



## **2. SOLUCIÓ ADOPTADA**

En aquest apartat es defineixen les solucions adoptades per al compliment dels requisits especificats anteriorment, considerant els possibles problemes i limitacions al ser una adaptació d'un sistema ja existent.

Es separa en dos subapartats independents les solucions adoptades, concretament els apartats: 2.1. Programa de control i 2.2 Sistema de subjecció de làmines de material.

### **2.1. Programa de control**

Per a la modificació del programa de control i tenint en compte la manca d'informació sobre el llenguatge d'alt nivell, s'ha realitzat una extracció del programa original, un estudi del funcionament del mateix de forma bàsica i s'ha procedit a la modificació del mateix amb l'assessorament tant del Servei Oficial de FIDIA a Espanya com per part d'una empresa especialitzada en la modificació i programació de centres de mecanitzat i màquines-eina.

El plantejament de les necessitats i característiques específiques per a donar compliment als requeriments sobre el programa de control queda determinat en l'esquema de la FIGURA 17.

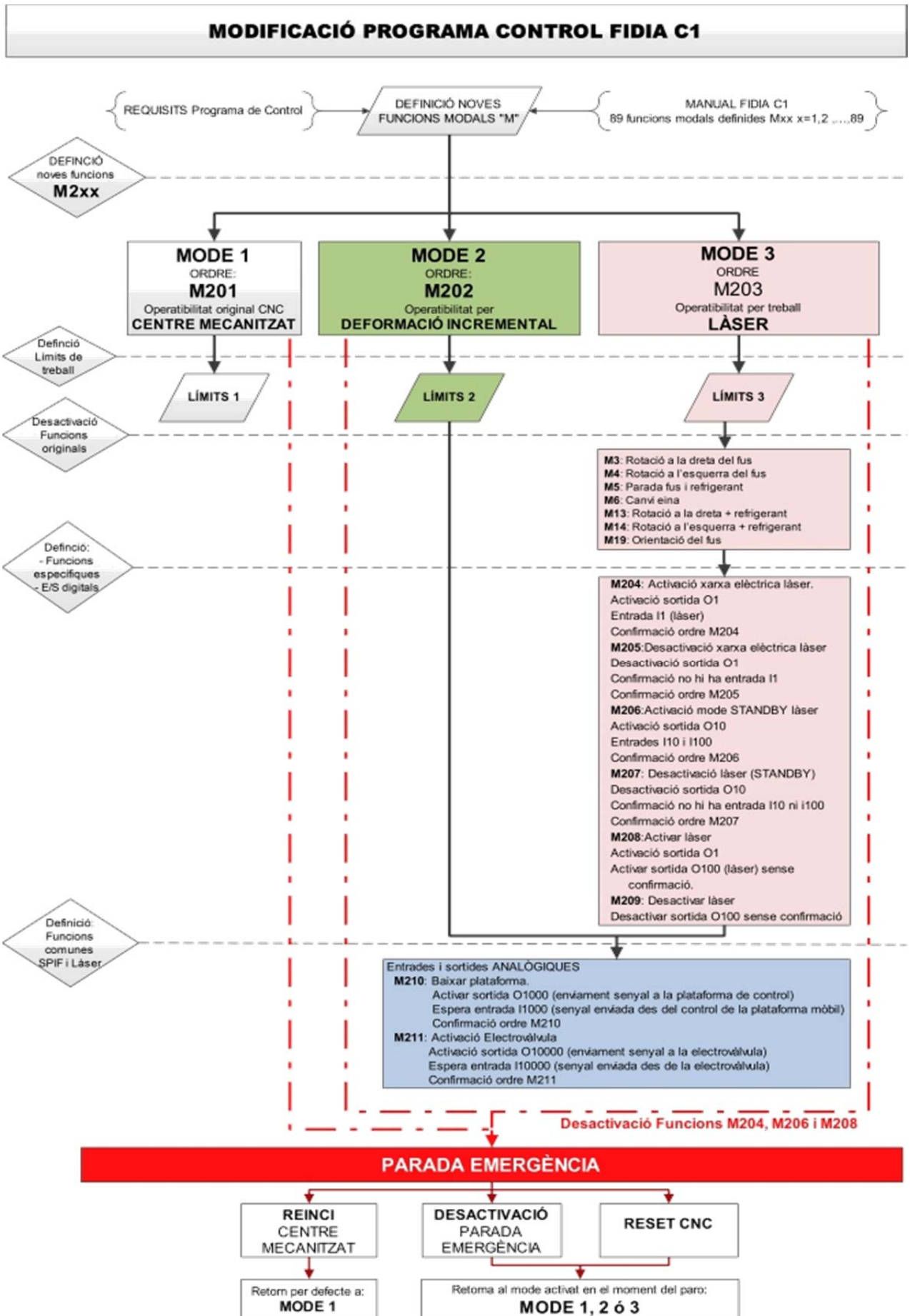


FIGURA 17. Esquema modificacions a realitzar sobre programa de control

Per a les operacions de deformació incremental, només són d'aplicació les modificacions realitzades següents:

- Al iniciar el centre de mecanitzat aquesta arrenca per defecte amb ús de capçal original i Límits 1.
- Al fer RESET CNC o PARADA D'EMERGÈNCIA no canviarà l'estat en què es trobi (M201, M202, M203), fins que la màquina no reiniciï, per evitar possibles interferències de capçal amb els elements muntats en aquell moment.
- Al introduir en el programa de mecanitzat l'ordre M202, el centre de mecanitzat treballa amb els límits 2 establerts per a la deformació incremental i ja predeterminats en programa així com l'operativa normal del capçal segons ordres primitives del control.
- Al introduir en el programa de mecanitzat l'ordre M210, s'envia senyal analògica (O1000) al quadre principal de control de la plataforma elevadora, s'activa automàticament la seqüència de moviment de la mateixa realitzat i la plataforma baixa la distància programada, s'atura i envia senyal analògica al control CNC (I1000); el sistema de control queda en espera d'una nova senyal d'entrada per a realitzar una nova seqüència de moviment.

El programa modificat complet es troba en l'ANNEX A PROGRAMA DE CONTROL COMPLET (es llista només la part de programa corresponent a les modificacions realitzades, no s'inclouen els arxius de definició de variables ni de llenguatge propi de màquina).

## **2.2. Sistema de subjecció de làmines de material.**

Per al disseny del sistema de subjecció de les làmines de material, s'ha partit de dades teòriques d'esforços proporcionades pels responsables del departament, a partir de dades experimentals, i que consideren que la càrrega màxima aplicada pel punxó deformant és d'un màxim de 5000N.

Aquesta càrrega es considera aplicada en la seva totalitat en les operacions de deformació incremental monopunt, en les que el material es deforma directament a l'aire i per tant es considera com el cas més desfavorable.

Tenint en compte que a partir del disseny de partida i que l'aplicació de les forces de deformació varien de posició durant el procés de deformació, s'accepta l'existència d'una petita diferència d'alçada entre els perfils oposats de la plataforma elevadora; especificant aquest efecte, quan el punxó estigui deformant en una cantonada, aquesta punta de l'estructura tindrà una diferència d'alçada negativa respecte a la cantonada oposada. Aquesta diferència d'alçada es considera

menyspreable per a les càrregues aplicades però a tenir en compte en cas que el valor d'aquestes sol·licitacions augmentin considerablement.

A partir dels requisits, de les característiques específiques de la plataforma elevadora existent així com de la càrrega màxima determinada, i després d'haver valorat conjuntament amb els responsables de la línia de recerca, diverses opcions (veure ANNEX B. SOLUCIONS DESCARTADES) s'ha determinat l'ús de perfil estructural d'alumini de comerç (FIGURA 19) de diverses seccions per a la fabricació de l'estructura suport del sistema de subjecció que consisteix principalment en pinces de tancament ràpid també de comerç (FIGURA 20).

El resultat final del sistema dissenyat en muntatge sobre màquina es pot veure a la FIGURA 18.

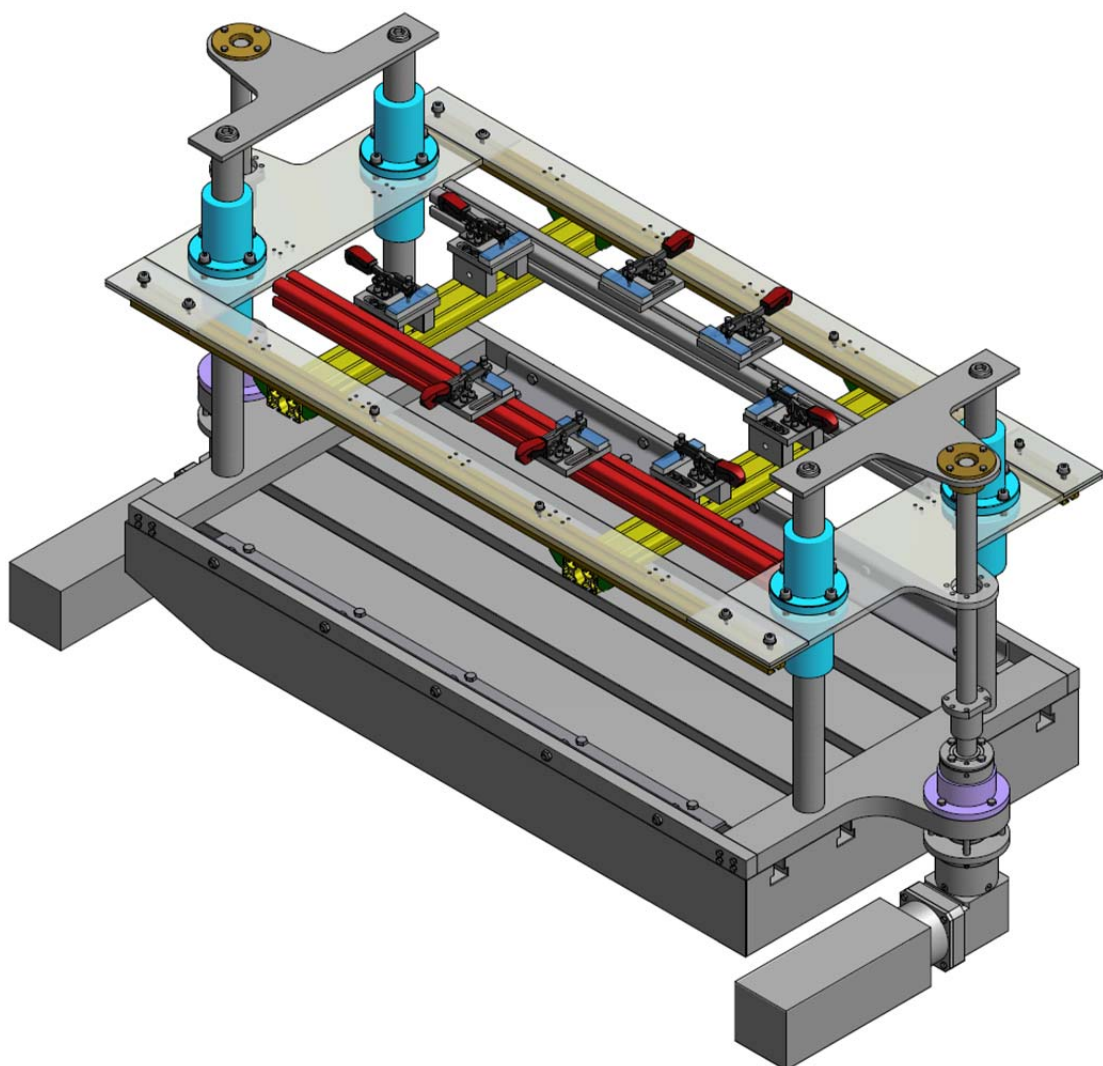


FIGURA 18. Vista general muntatge complet



FIGURA 19. Perfils estructurals d'alumini  
Font: [www.item24.es](http://www.item24.es)



FIGURA 20. Pinça tancament ràpid  
Font: [www.hoffmann-group.com](http://www.hoffmann-group.com)

L'estructura de suport consisteix principalment en 6 perfils estructurals ranurats d'alumini de dimensions 30x30x1150, 30x60x890 i 40x40x560 (FIGURA 21):

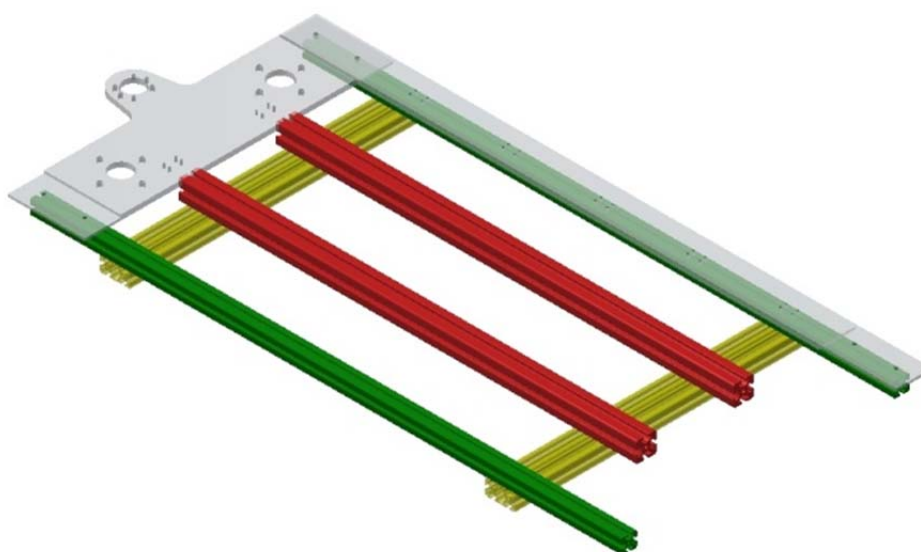


FIGURA 21. Estructura de guies

La selecció dels perfils s'ha realitzat d'acord amb els requeriments especificats i s'ha realitzat un càlcul estructural per a determinar la funcionalitat dels mateixos (veure ANNEX C. CÀLCULS JUSTIFICATIUS).

La subjecció dels perfils laterals de 30x30x1150 es realitza mitjançant unions cargolades (4 per perfil i amb femelles específiques per anar allotjades dins les ranures dels perfils, veure FIGURA 22) als passamans laterals del marc de la plataforma mòbil principal sobre els que s'han mecanitzat dos forats passants de  $\varnothing 6,5\text{mm}$  per perfil i s'han aprofitat els forats roscats existents en punta dels passamans per completar la unió del perfil. Aquests perfils compleixen la doble funcionalitat de servir de guia per als perfils transversals així com la de reforç contra flexió dels perfils longitudinals de la plataforma mòbil augmentant la rigidesa del conjunt.

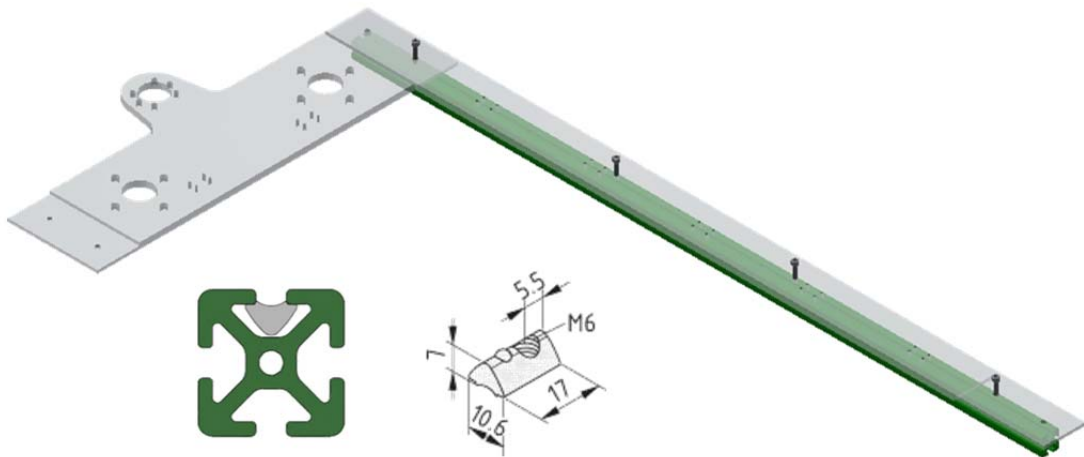


FIGURA 22. Muntatge perfil 30x30x1050

Muntades en la part inferior d'aquestes guies laterals es col·loquen les guies de 30x60x560 transversals mitjançant esquadres que uneixen les guies mitjançant femelles disposades dins de les ranures del perfil i que permetran el desplaçament guiat de les mateixes (FIGURA 23).

L'elecció del perfil ha estat determinada per dos aspectes principalment:

- El primer que sobre aquest perfil es muntaran uns separadors per a que el conjunt de base i pinces ràpides estiguin a la mateixa alçada que les que es col·locaran sobre els perfils longitudinals superiors i provocaran un moment major.
- En segon terme la flexió produïda en condicions més desfavorables de càrrega i que simplificant s'ha considerat la càrrega de 5000N aplicada en el punt mig del perfil, menyspreant el valor del moment provocat per la càrrega.

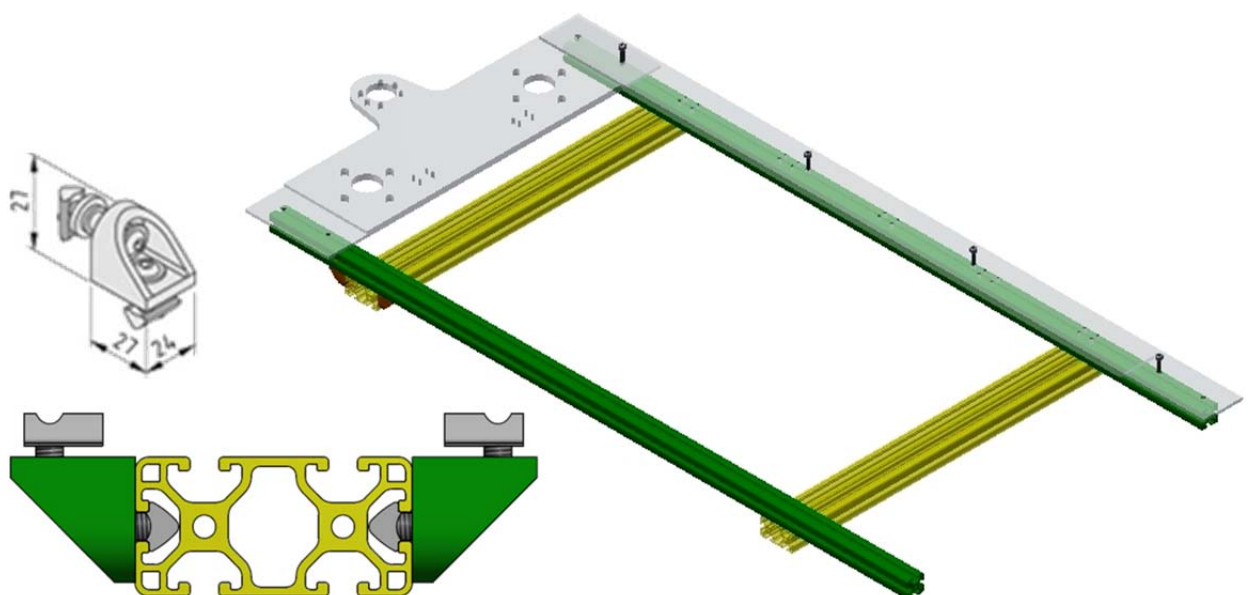


FIGURA 23. Muntatge guies transversals

Per acabar l'estructura principal del sistema de subjecció es munten els perfils longitudinals superiors de 40x40x890 mitjançant peces d'unió específicament fabricades a tal efecte i que formen part del conjunt de suport de les pinces ràpides (FIGURA 24). Aquestes peces d'unió permeten la unió entre perfils mitjançant femelles específiques en dues mides (6 i 8 segons descripció del fabricant i segons el perfil on van allotjades).

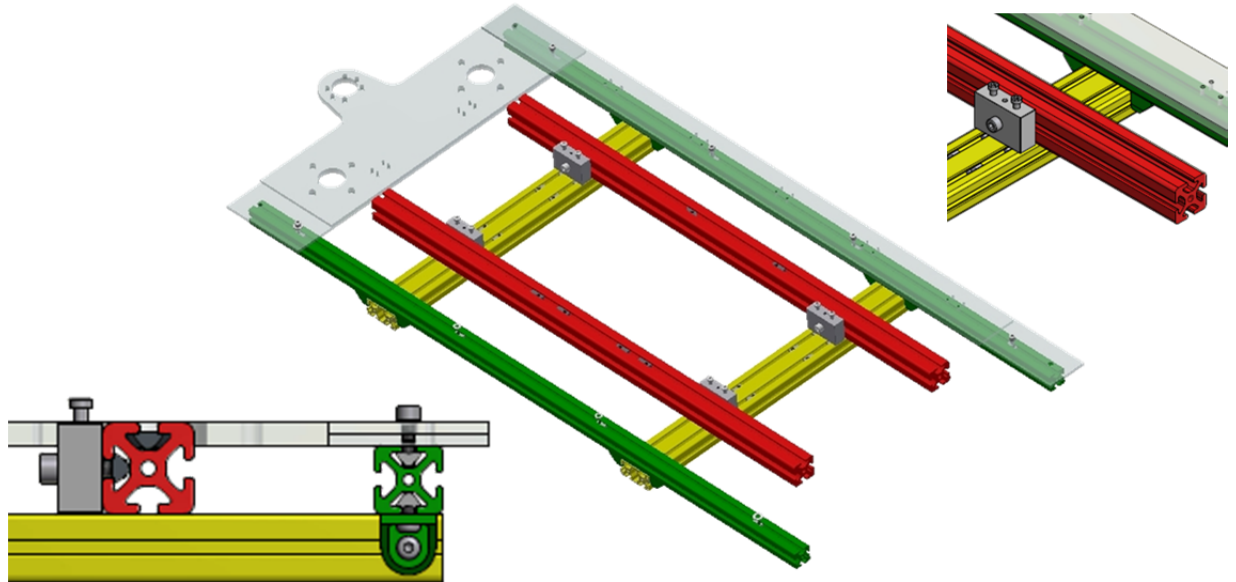


FIGURA 24. Muntatge guies longitudinals superiors

Una vegada muntada l'estructura principal del sistema de subjecció de material, es munten els suports de les pinces ràpides i que realitzen una doble funció: per una banda permetre la col·locació de les mateixes pinces i d'altra banda fer de contra prensor del prensor de les pinces ràpides. Les pinces prensores a muntar sobre els perfils transversals van muntades sobre ponts separadors que compleixen una doble funció, d'una banda col·locar les bases de les pinces a la mateixa alçada que les que van muntades sobre els perfils longitudinals superiors i com a unió dels perfils transversals i longitudinals superiors (FIGURA 25).

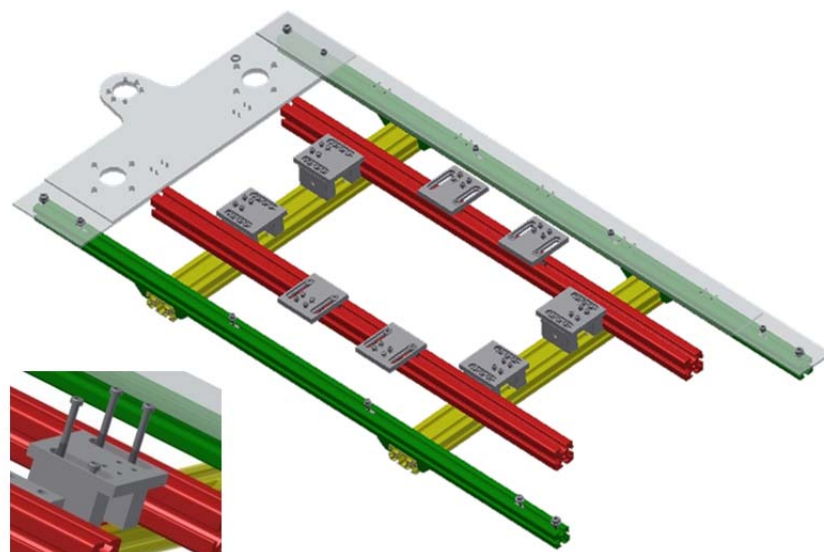


FIGURA 25. Muntatge base prensora pinces ràpides

Es realitza, per últim el muntatge de les pinces de tancament ràpid amb el prensor específicament fabricat (FIGURA 26, FIGURA 27 i FIGURA 28).

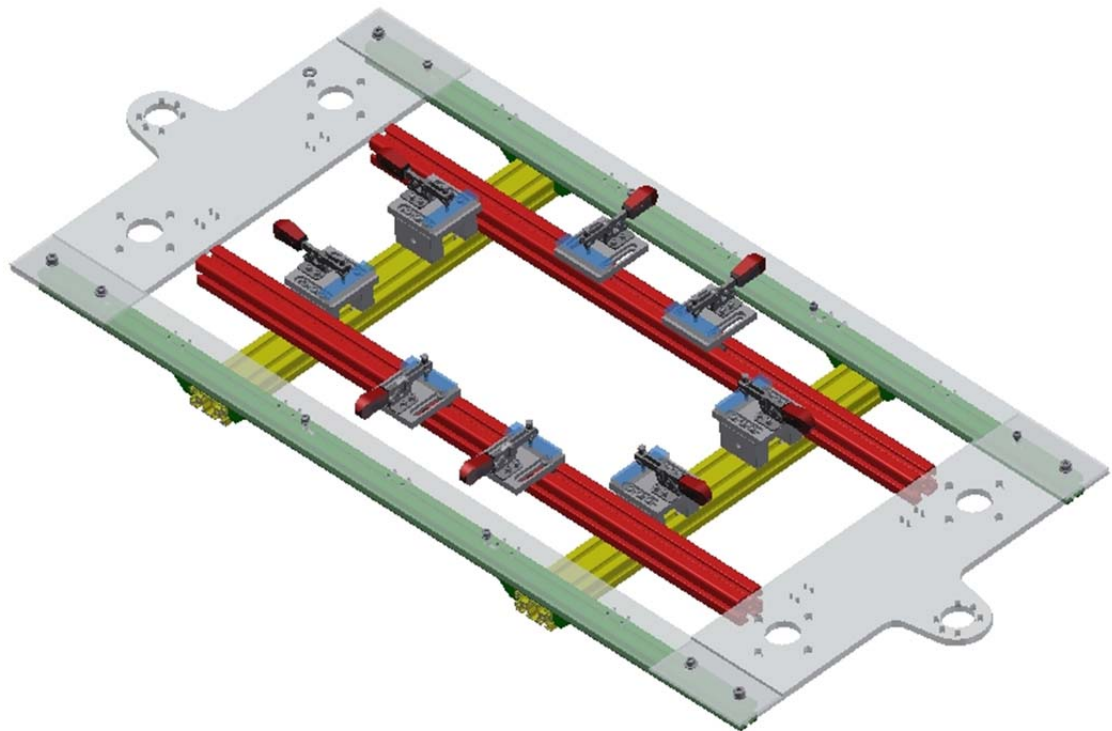


FIGURA 26. Muntatge complet sobre plataforma mòbil



FIGURA 27. Base simple pinça prensora



FIGURA 28. Base elevada pinça prensora

El muntatge en conjunt sobre la plataforma mòbil completa es mostra a continuació en la FIGURA 29



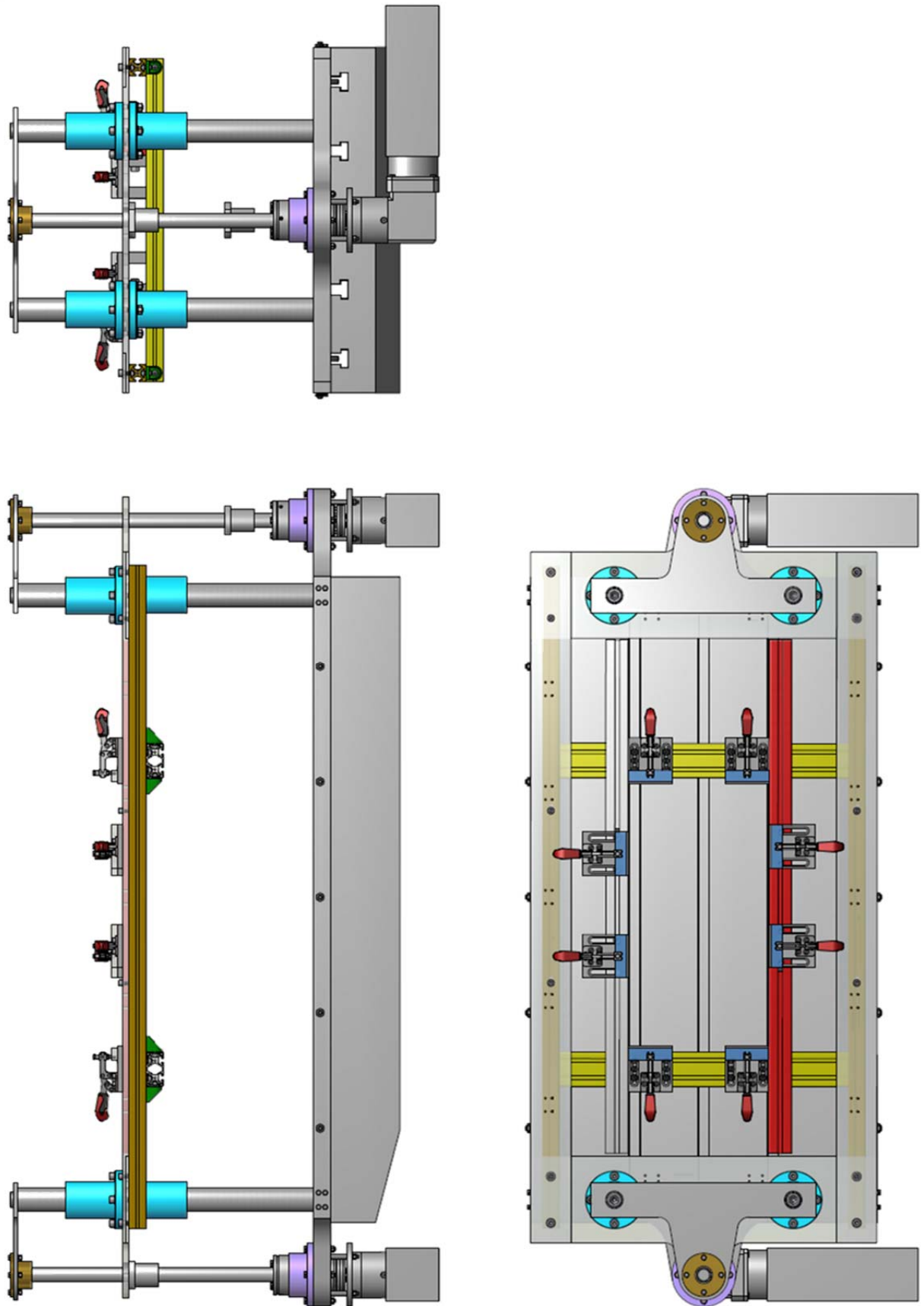


FIGURA 29. Planta i alçats muntatge complet

2.2.1. Dimensions funcionals

Les dimensions funcionals del sistema de subjecció es resumeixen en la TAULA 5.

TAULA 5. Dimensions mínimes i màximes admissibles.

CONCEPTE		Dimensions	Dimensions
		làmina material	deformables làmina
		mm	mm
PLA DE TREBALL (Eixos X i Y)	Mínimes (FIGURA 30)	95x95	75x75 Menys radi punxó
	Màximes (FIGURA 31)	410x755	370x715 Menys radi punxó
GRUIX LÀMINA MATERIAL		fins a 5mm (En funció del material).	

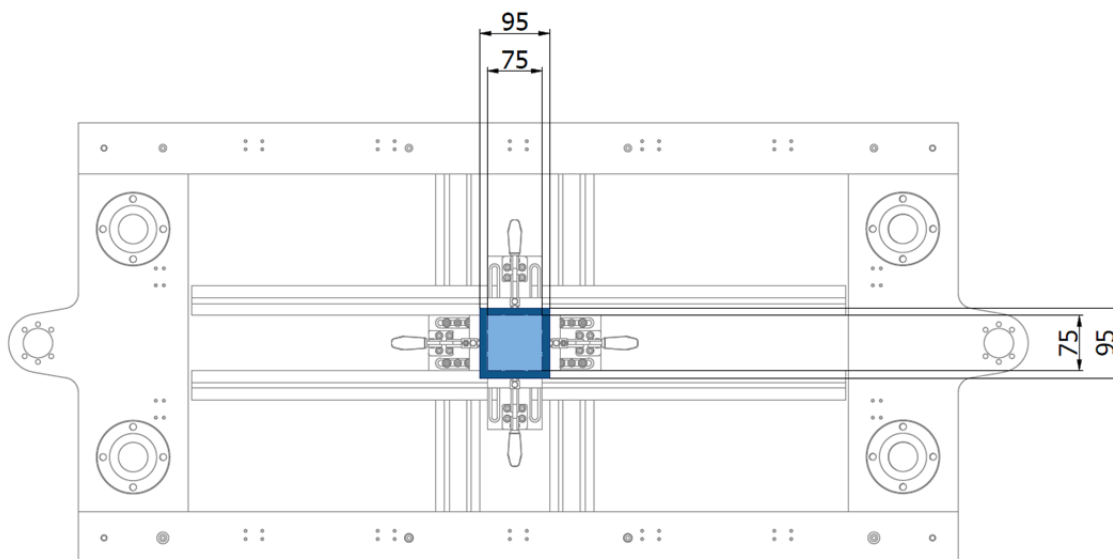


FIGURA 30. Mides mínimes material i mides funcionals.

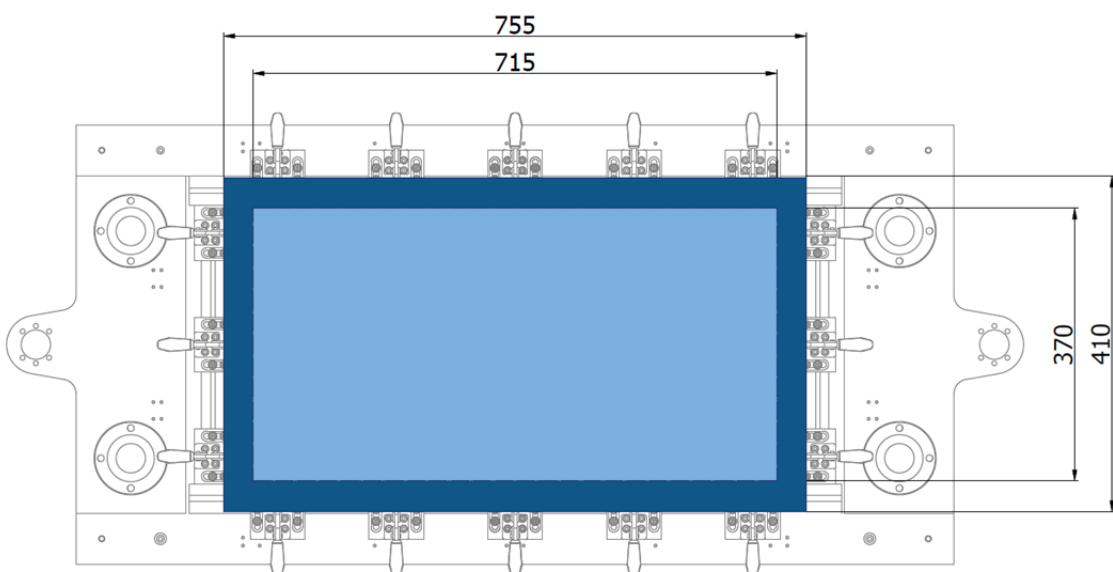


FIGURA 31. Mides màximes material i mides funcional.

Les limitacions dimensionals de les peces a fabricar, així com de les matrius i elements de mesura que es poden instal·lar en el centre de mecanitzat, amb ús de la plataforma elevadora per operacions de deformació incremental amb matriu, queden determinades en la TAULA 6.

TAULA 6. Espai màxim disponible per matrius i peces

CONCEPTE		Dimensions en mm
PEÇA	Pla XY	75x75 Menys radi punxó
	Eix Z	370x715 Menys radi punxó
MATRIU	Pla XY	370x715 Menys diàmetre punxó
	Eix Z	402

En la FIGURA 32 queden reflectits gràficament els límits indicats anteriorment.

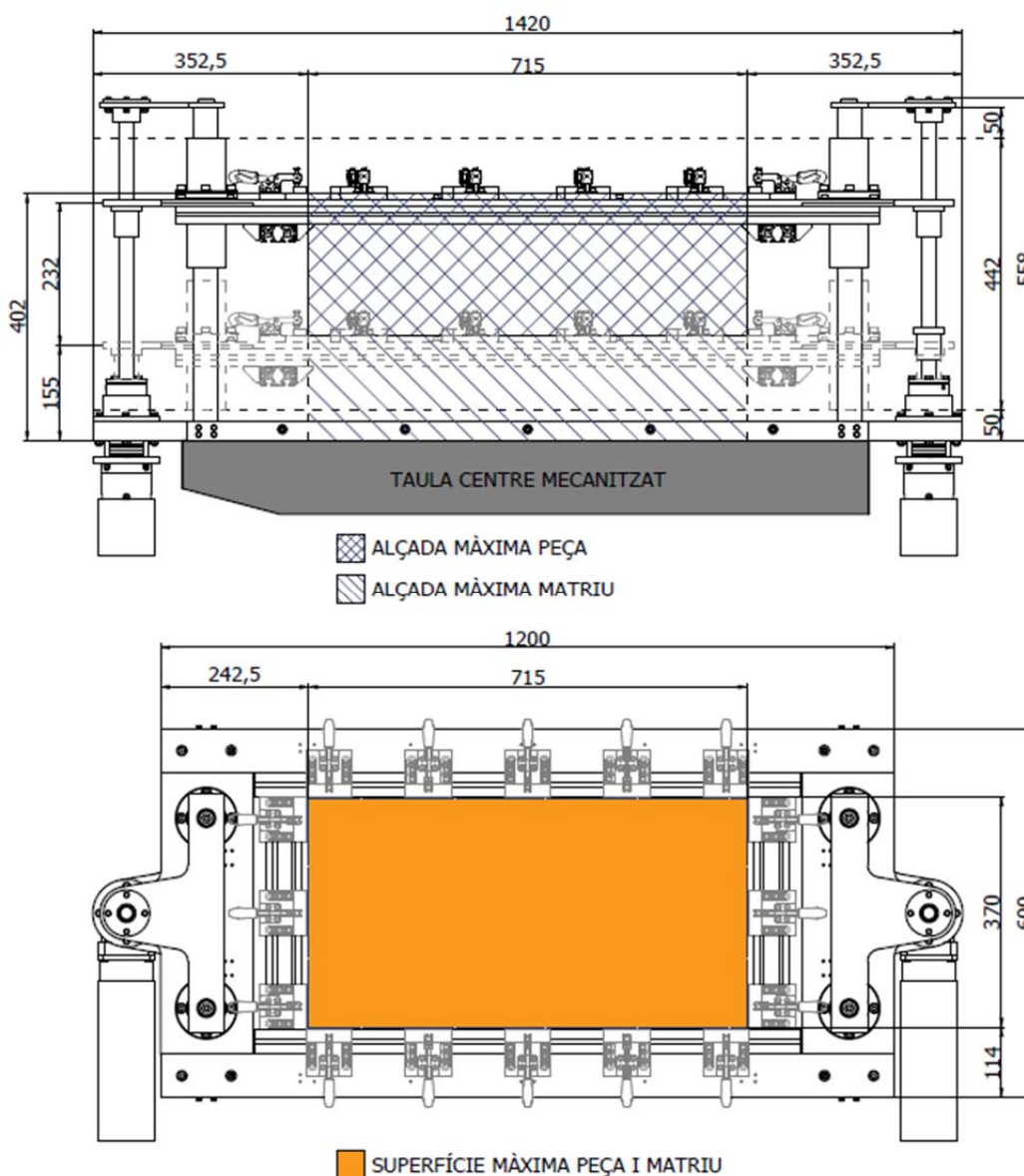


FIGURA 32. Espai hàbil per peces i matrius.

El recorregut màxim que es pot desplaçar la plataforma elevadora és de: 232 mm (FIGURA 33) amb pas incremental unitari de 50 µm (desplaçament vertical de cada cicle de funcionament). El valor del pas incremental es pot variar modificant el paràmetre 20.08 del variador de freqüència MÀSTER del sistema de control de la plataforma mòbil, que és una variable multiplicadora del valor unitari de 50µm.

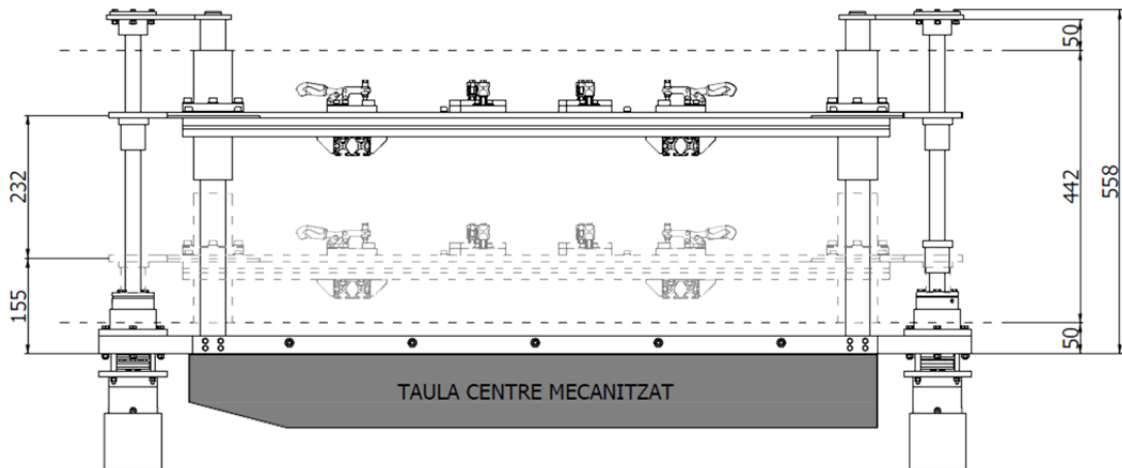


FIGURA 33. Recorregut màxim plataforma. Posició mínima i màxima.

Les dimensions de les làmines de material i les dimensions de la zona deformable, poden ser de la mida desitjada entre les dimensions mínimes i màximes descrites; les làmines de material han de ser, preferiblement, quadrades o rectangulars.

Segons les dimensions de les làmines de material serà necessària la instal·lació o la retirada de més o menys conjunts de base amb pinça prensora, recomanant que la separació màxima entre aquests elements no sigui superior a 50 mm.

### 3. PROVES DE VALIDACIÓ

#### 3.1. Dades prèvies

Per comprovar la validesa de la solució adoptada tant del programa de control com del sistema de subjecció de material, es realitzen proves de deformació incremental de doble punt a partir de motllo de matriu positiva amb planxes d'alumini.

El motllo de matriu positiva és un casquet tipus cúpula no esfèrica tal com es pot veure en la FIGURA 34, en la que es deformarà la part corresponent a les zones corbes i part de la paret perpendicular a la base. FIGURA 35.

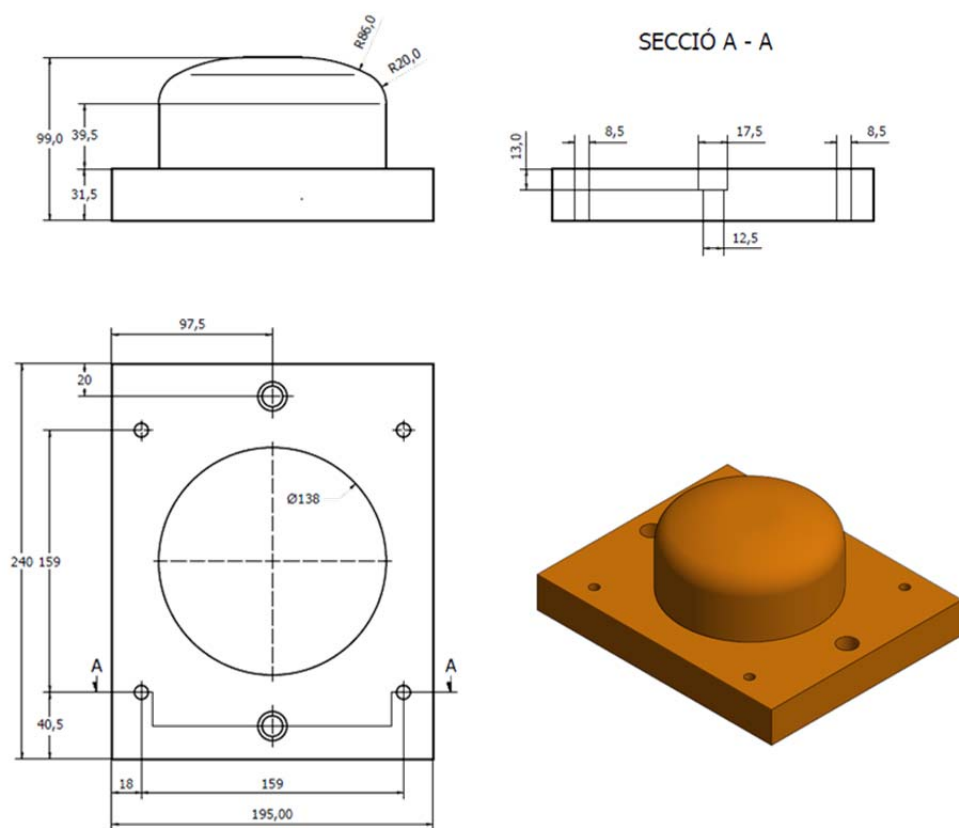


FIGURA 34. Motllo matriu positiva per deformació incremental doble punt

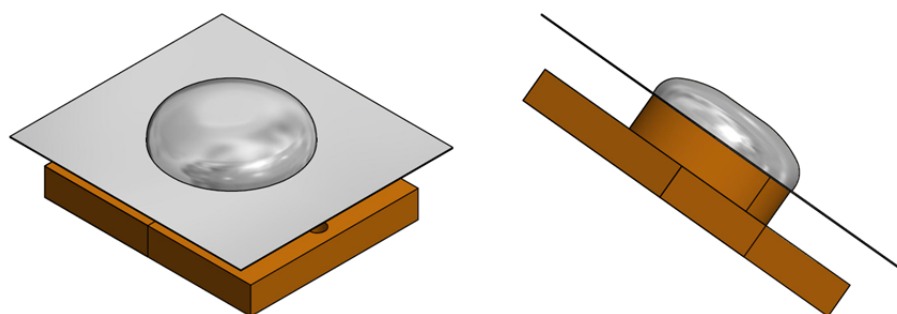


FIGURA 35. Resultat teòric

Per a l'elecció del material s'han tingut en compte els gruixos de deformació mínims i màxims recomanats per operacions de deformació incremental reflectits a la TAULA 7.

TAULA 7. Gruixos deformables. Font. Especificacions màquina AMINO DIELESS DLNC-PC

CONCEPTE	GRUIX	Unitats
	Mínim - Màxim	
Acer baix contingut en carbono	0,5 – 3,2	mm
Acer inoxidable	0,5 – 2,0	mm
Alumini	0,5 – 4,0	mm
Titani	0,5 – 1,5	mm

En la TAULA 8 es llisten els paràmetres emprats en les proves de validació.

TAULA 8. Especificacions material prova i paràmetres d'operació.

CONCEPTE	VALOR	UNITATS
<b>LÀMINA</b>		
Material	Alumini	6061
Dimensions perímetre	390x390	mm
Gruix	1	mm
Acabat superficial	Natural	-
<b>PUNXÓ</b>		
Material	Acer	-
Tipus	Punta semiesfèrica	-
Diàmetre canya	10	mm
Diàmetre punta	10	mm
Longitud punxó	70	mm
Longitud de treball del punxó	50	mm
<b>PARÀMETRES PER DEFORMACIÓ INCREMENTAL</b>		
Dimensions màximes superfície de làmina	390x390	mm
Dimensions màximes de la superfície de conformat	360x360	mm
Profunditat màxima de conformat	33	mm
Límits màxims (si modifiquen Límits 2 per entrada ordre M202)	Eix x Eix y Eix z	350 350 230 <sup>1</sup> mm
Velocitat de rotació / Rotació lliure	Rotació lliure	-
Velocitat d'avanç eixos X i Y		m/min
Tipus d'avanç pas incremental	Diagonal En graó Espiral	
Velocitat d'avanç eix Z	3	m/min
Pas incremental	0,3	mm
Valor del paràmetre variable del variador MÀSTER del sistema de control de la plataforma mòbil (menú 20.08)	6	u

<sup>1</sup> La limitació en eix Z ve determinada pel muntatge de la taula d'adquisició de forces i el muntatge del motllo sobre la mateixa.

A partir del model creat a partir del model físic del motllo de matriu positiva, i utilitzant el programari POWERMILL, s'han descrit les trajectòries i els paràmetres de deformació necessaris per a la creació del fitxer amb el codi ISO (veure ANNEX D. PROGRAMA ISO PER PROVES) que es volca en el control per a fer les proves de deformació (FIGURA 36).

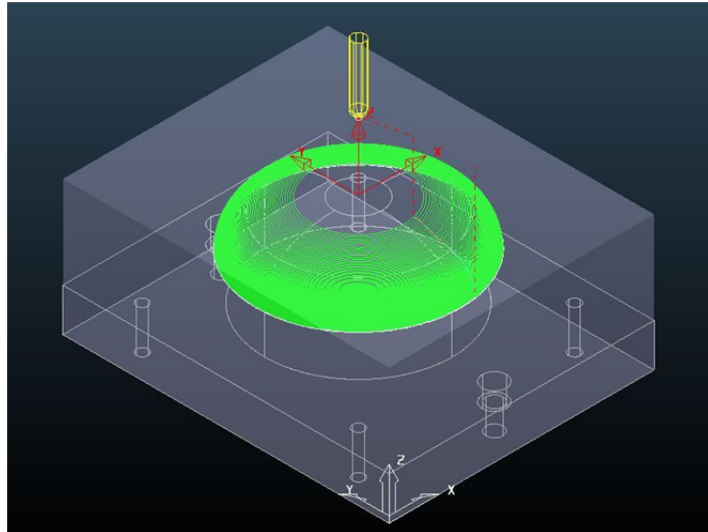


FIGURA 36. Simulació trajectòries per deformació incremental.

El motllo es munta directament sobre la plataforma del sistema de presa de mesures de força aplicada disponible sobre la taula del centre de mecanitzat tal. FIGURA 37 i FIGURA 38.



FIGURA 37. Muntatge motllo sobre taula de mesures

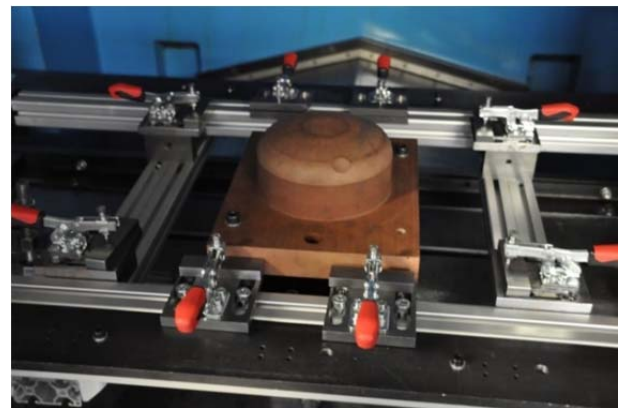


FIGURA 38. Muntatge motllo vista superior

Les guies s'han ajustat per a les dimensions de la làmina de material i s'ha ajustat el prensor per a adequar-se al gruix (les pinces ràpides tenen dos punts de tancament, una primera en la qual la palanca no queda enclavada i una segona en la qual es pinça fortament el material i la palanca queda enclavada).

Una vegada ajustades les guies i tenint en compte que no hi ha elements que puguin interferir amb el moviment de la plataforma (inclosa la taula de mesura de forces), iniciem el cicle de posicionament de la plataforma (aquest cicle realitza el desplaçament vertical de la plataforma mòbil fins a la seva posició inferior i retorna a la posició de "home màquina" en la part superior).

Acabat el cicle de posicionament, carreguem la làmina de material i la subjectem per un dels costats i de manera manual (FIGURA 39), mitjançant la botonera del sistema de control de la plataforma, fem que baixi fins a la posició de “home peça”, és a dir, fins que la làmina de material fa contacte amb el motllo; en aquest punt ja es pot subjectar el material amb la resta de pinces (FIGURA 40) i iniciar el programa per a realitzar la deformació incremental.



FIGURA 39. Material amb un sol lateral pinçat

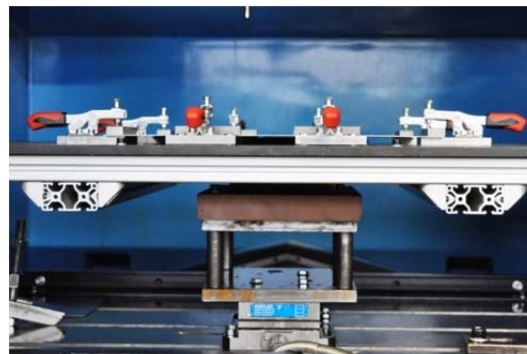


FIGURA 40. Làmina col·locada i subjectada

Prèviament a l'inici del programa de mecanitzat, es configura el variador de freqüència màster per a què cada cicle que realitzi correspongui al pas incremental desitjat, en aquest cas 0,3 mm; aquesta operació es realitza entrant directament en el menú del variador en la funció 20.08 i es modifica el valor ja que, es tracta d'un factor multiplicador, en aquest cas s'introdueix un valor de 6 (la fórmula de càlcul programada en el variador és  $h = F \cdot 50\mu\text{m}$  on F és el valor introduït i h el valor que es desitja que es desplaci la taula), s'accepta el canvi i es dona l'ordre d'engegada del sistema.

S'inicia el programa i comença la deformació de la làmina (FIGURA 41) una vegada completa la primera trajectòria, el programa segueix amb la línia de codi que conté la funció M210, enviant senyal al sistema de control de la plataforma i aquesta es realitza 1 seqüència de moviment, és a dir, baixa 0,3 mm. El programa de control rep la senyal de final de cicle des del variador de freqüència i continua el cicle de deformació.

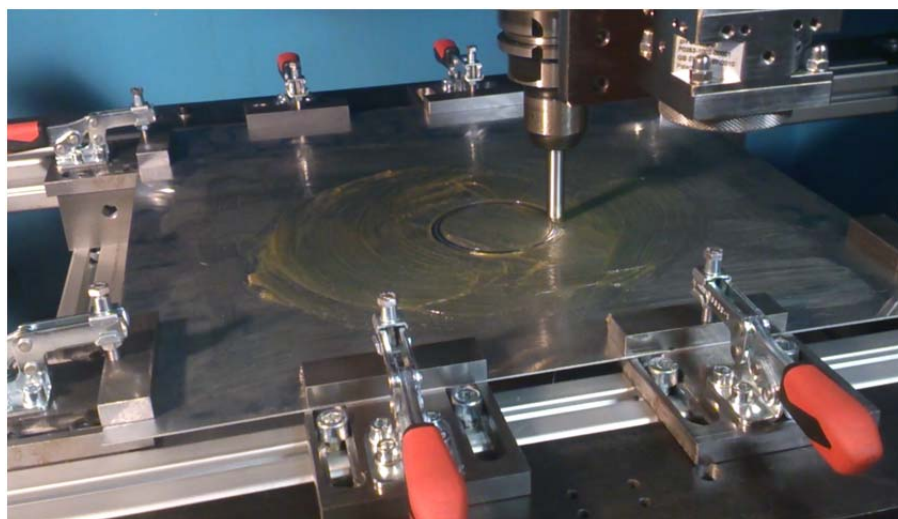


FIGURA 41. Inici operació deformació incremental.



El programa continua operant fins al final, i la peça queda conformada. FIGURA 42, FIGURA 43 i FIGURA 44.

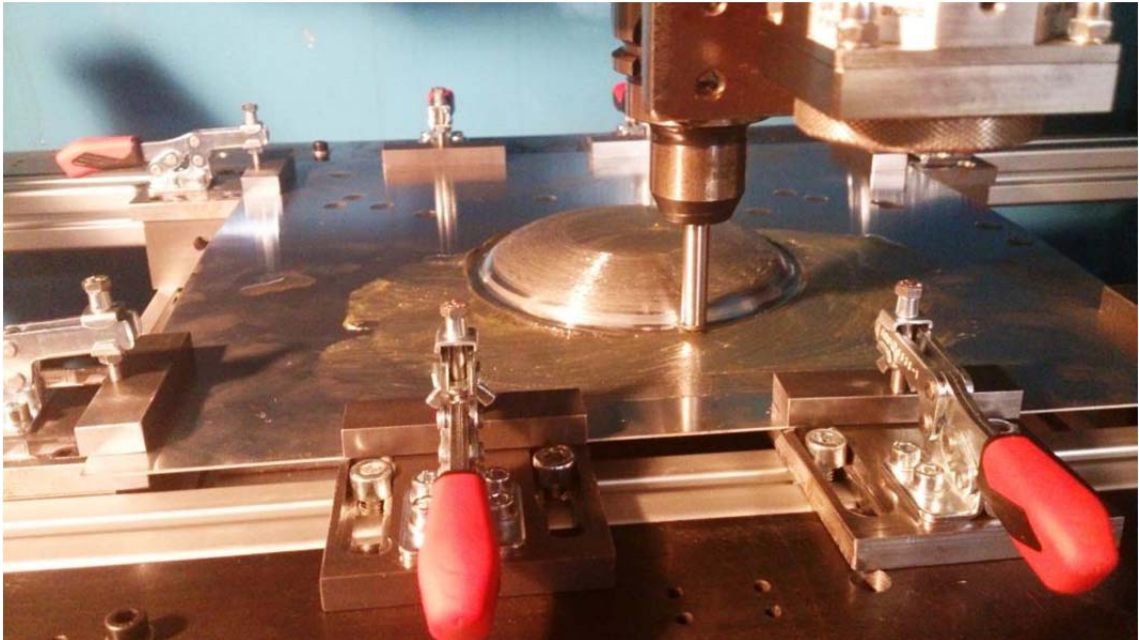


FIGURA 42. Procés de deformació

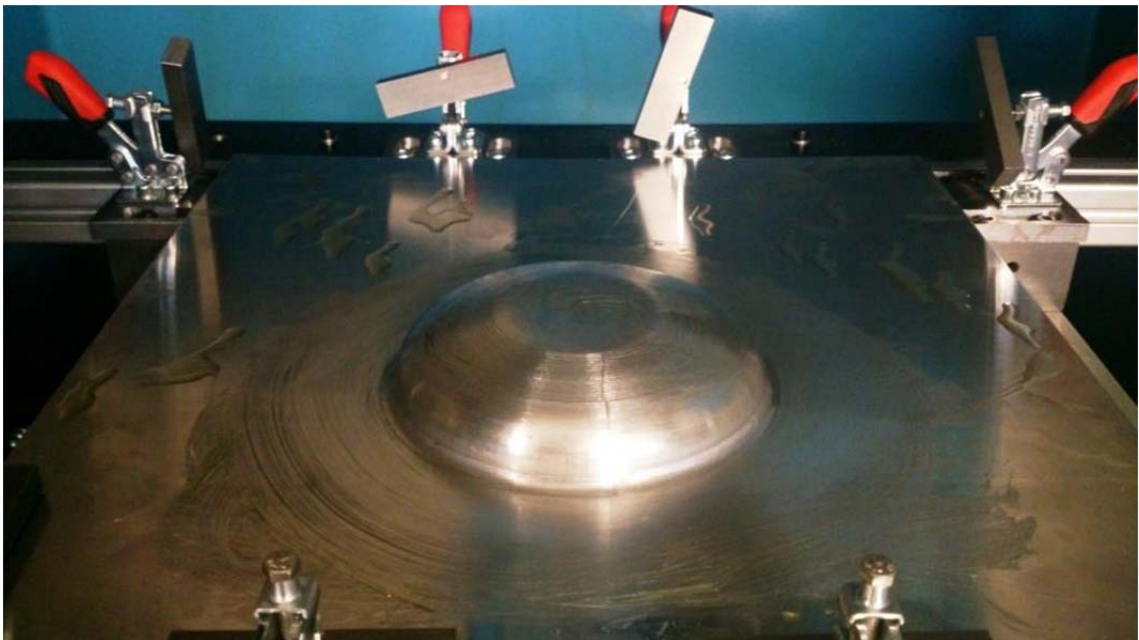


FIGURA 43. Peça final



FIGURA 44. Vista inferior peça conformada

El resultat obtingut en la prova realitzada ha estat satisfactori en quant a el sistema de subjecció i el funcionament del programa de control.

El sistema ha realitzat automàticament les seqüències programades de baixada de la plataforma.

Les forces aplicades i enregistrades donen com a resultat un màxim de 1996 N, valor inferior al requerit i és de 5000 N.

La peça final queda pendent d'anàlisi dimensional, tanmateix queda pendent la realització de proves amb materials i gruixos diversos, encara que els responsables de la línia de recerca donen per validats el sistema de subjecció de material i la modificació del programa de control.

Com a prova addicional s'ha creat un programa fictici (no hi ha peça a fabricar) amb el que s'ha comprovat l'activació o desactivació d'ordres, límits, i altres funcions segons el mode de treball en el qual entrem (M201 – mode normal primitiu de la màquina, M-202 – Operacions de deformació incremental i M-203 – Operacions de treball amb làser).

#### 4. RESUM DEL PRESSUPOST

El pressupost per a la modificació del programa de control i fabricació del sistema de subjecció de làmines de material de partida es resumeix en:

Pressupost: 636,59 € + 5% = **668,42 €**

Sobre el pressupost per a la fabricació s'ha d'afegir el cost del present estudi i els treballs d'assessoria realitzats i a realitzar incloent les despeses de desplaçament, despeses administratives, i que en total ascendeix a **3.649,00 €**

## 5. CONCLUSIONS

En aquest apartat es troben les conclusions sobre els dos punts objectiu del projecte així com els treballs futurs i el tancament del projecte.

### 5.1. Conclusions

Enfront dels requeriments donats per a cobrir les necessitats de modificació dels equipaments existents per a part la línia de recerca sobre Deformació Incremental, s'ha buscat en tot moment que les solucions adoptades siguin les més simples possibles però que, al mateix temps, proporcionin la funcionalitat demandada.

El fet que el punt de partida fos amb equipaments existents ha representat avantatges i inconvenients; els avantatges han estat el fet que no s'ha hagut de dissenyar des de zero el sistema de plataforma mòbil i que aquesta tenia un disseny adequat per a les operacions de Deformació Incremental. D'altra banda els inconvenients principals han estat els propis del disseny a partir d'equips ja construïts: limitacions dimensionals, limitacions per muntatge, així com tots aquells relacionats amb la possible interferència amb altres equipaments que també han de ser instal·lats sobre la mateixa plataforma; encara que aquests inconvenients han estat un repte alhora de realitzar el disseny del sistema de subjecció de material, no han estat majors dels que es troben en qualsevol projecte en el que hi hagi un disseny.

El punt més crític en el desenvolupament del projecte ha estat la part de la modificació del programa de control; aquesta part ha representat un repte degut a la manca de coneixement específic sobre la programació del control CNC del centre de mecanitzat. Aquesta manca d'expertesa en la programació, així com la manca del manual de programació d'alt nivell, ha portat a una tasca de recerca i d'estreta col·laboració amb els especialistes amb els quals s'ha contactat per a l'elaboració de la solució final.

La implementació final ha estat realitzada per FIDIA per manca de programari. Aquest últim aspecte ha estat per evitar el cost d'una possible errada o omissió de paràmetres de seguretat, i que podria haver representat malmetre el centre de mecanitzat o, el que hagués estat més greu, compromesa la seguretat de l'operador de màquina durant les operacions que es realitzen habitualment.

En resum, el resultat final tant del sistema de subjecció de material com de la modificació del programa de control del CNC, es consideren totalment vàlides encara que, com tot, hi haurà aspectes millorables, a adaptar segons s'avanci en la línia de recerca i segons les necessitats que presentin possibles línies de recerca futures.

## 5.2. Treball futur

Com a accions futures a realitzar es separa la part de control de la part del sistema de subjecció de material així com es fa un petit incís sobre l'equip de la plataforma elevadora.

### Programa de control:

Sobre el programa de control, s'han realitzat accions amb el servei oficial de FIDIA en referència a quines serien les modificacions a realitzar en el centre de mecanitzat, en concret en el control CNC, per a controlar directament el moviment de la plataforma mòbil, eliminant la programació del paràmetre de desplaçament així com la necessitat del posicionament de la mateixa en les posicions de "home plataforma" i "home peça", eliminar la necessitat de senyals d'entrada i de sortida actuals per a la comunicació entre els dos sistemes.

Aquest control consistiria en crear un nou eix en el centre de mecanitzat que correspongués a la plataforma (eix paral·lel l'eix Z propi del centre de mecanitzat) i que es tractés de la mateixa manera que la resta d'eixos, és a dir, que els paràmetres de moviment siguin programats directament en el codi ISO.

D'altra banda el mateix control CNC integraria el control dels detectors de límit inferior i límit superior (aquest últim no està instal·lat actualment en la plataforma, i per tant només es disposa de detector per a controlar que la plataforma pari en quant arribi a la posició inferior límit); es valorarà si és preferible la instal·lació d'un segon detector i el control del mateix, o bé la creació d'un nou paràmetre (Límits 4) per a determinar els posicionaments límit de la plataforma. La recomanació per part de l'enginyer autor del present projecte, és la d'integrar els dos sistemes davant la possibilitat que la plataforma treballi independentment en treballs de recerca futurs o bé que sigui utilitzada en un altre centre de mecanitzat.

### Sistema de subjecció de làmines de material:

Comprovada la funcionalitat del sistema de subjecció de material arran de les proves realitzades, es plantegen com accions futures els següents punts:

- Estructura principal a base de perfils estructurals: en el cas futur que les forces de deformació aplicades augmentin per sobre del valor de 5000N i això impliqui que queda compromesa la rigidesa del suport, o que el valor de fletxa màxima fos superior al admissible, es poden substituir els perfils estructurals per altres de la mateixa amplada i major cantell (principalment els perfils longitudinals inferiors).

- Fabricació de 12 nous conjunts de base-pinça prensora de dos tipus:
  - o 8 conjunts de base simple pinça prensora (Figura 25 i plànol nº M4) i
  - o 4 conjunts de base elevada (Figura 26 i plànol M3)
  
- Valorar la modificació del sistema de subjecció del perfil longitudinal inferior i el transversal, substituint el cargol que colla en la femella del perfil longitudinal inferior per un sistema de tancament ràpid amb maneta o directament tota l'esquadra d'unió (aquest punt seria interessant si es realitzen molts canvis en les mides de les làmines de material). FIGURA 45 i FIGURA 46.

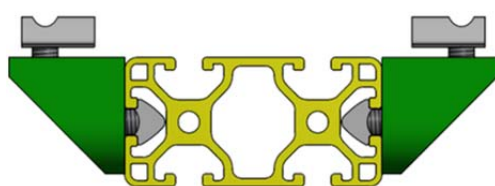


FIGURA 45. Sistema d'esquadra d'unió actual

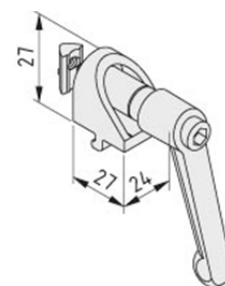


FIGURA 46. Esquadra brida amb maneta de bloqueig  
 Font 1. www.item24.es

- Modificació del sistema de regulació de l'alçada del prensor de la pinça prensora per a permetre un ajust més ràpid segons el gruix de la làmina de material sobre la que es realitza la deformació incremental. Aquesta modificació queda pendent de la realització del disseny en cas que l'interessat o demanés.
  
- Fabricació de 20 prensors pinça amb rebaix inferior per a subjecció garantir la subjecció en cas d'ús de materials amb baix coeficient de fricció i que els prensors actuals no garantissin la subjecció dels mateixos. FIGURA 47.

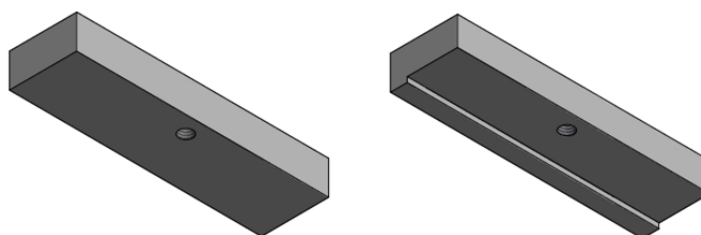


FIGURA 47. Prensor pinça actual i proposat

#### Plataforma elevadora:

En referència a la plataforma elevadora, es recomana la instal·lació de sistema de detecció de posicionament de la plataforma mòbil en la posició màxima superior (actualment es realitza per mitjà de programació de límit de recorregut a partir de la detecció de posició màxima inferior).

Es considera interessant la possibilitat de muntar un sistema de mesura de posició agafant com a referència la part superior de la taula, per controlar en cada moment en quina posició així com

quin és el desplaçament per seqüència de treball (actualment es comprova mitjançant rellotge comparador) de la plataforma mòbil i permetre la detecció de possibles variacions a ajustar ja sigui des de el punt de vista de programació com dels elements físics que conformen la plataforma.

D'altra banda és una opció interessant la modificació del programa propi de control de la plataforma mòbil; es pot estudiar el fet de crear un control en temps real amb un petit programari. Aquest programa permetria modificar els paràmetres crítics del funcionament de la taula elevadora, directament en pantalla segons les necessitats de cadascuna de les línies de recerca; aquests paràmetres serien principalment el control de velocitat de desplaçament, el recorregut a realitzar en cada seqüència de treball, un comptador de seqüències realitzades, registre de dades de velocitat, recorregut total realitzat, així com tot allò que es consideri convenient controlar o que sigui un paràmetre a ajustar.

### 5.3. Tancament projecte

Com a tancament de projecte, es plantegen tres punts principals:

- Validació punt per punt dels requisits de la modificació de programa de control.
- Validació punt per punt dels requisits del sistema de subjecció de les làmines de material.
- Recull fotogràfic del resultat final del sistema de subjecció de material en muntatge a màquina.

#### 5.3.1. Programa de control CNC

En la TAULA 9 es realitza la validació punt per punt del programa de control modificat; queden ressaltats aquells requisits que han estat comprovats (la resta pertanyen al sistema làser).

TAULA 9. Control de compliment de requisits programa del control CNC

CONCEPTE	TIPUS	DESCRIPCIÓ	VAL
Funció	R	Activació del sistema de control independent de la plataforma per a la realització d'una seqüència de moviment segons ordre d'operació del programa de mecanitzat.	✓
Materials	R	Software. Modificació del programa base del control numèric FIDIA C1.	✓
Característiques crítiques	R	<p>El control ha de poder configurar-se en tres modes concrets diferenciats, al introduir una funció en una línia de codi en el programa ISO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mode 1 ESTANDAR: funcionament primitiu del control (original)</li> <li>- Mode 2: funcionament per a operacions de deformació incremental.</li> <li>- Mode 3: funcionament per a treballs amb làser.</li> </ul> <p>Per cada mode es definiran uns Límits de treball:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mode 1: límits per treball com a centre de mecanitzat .</li> <li>- Mode 2: límits determinats per operacions de deformació incremental en la zona disponible de la plataforma elevadora.</li> <li>- Mode 3: límits determinats per treball amb làser en la zona disponible de la</li> </ul>	✓

plataforma elevadora.

ENGEGAT centre de mecanitzat: per defecte el mode de funcionament al engegar el centre de mecanitzat ha de ser el mode 1 (ESTÀNDARD).

ESPECIFICACIONS SEGONS MODE

MODE 1	Al fer RESET CNC o PARADA D'EMERGÈNCIA no canviarà l'estat en el qual es trobi fins que la màquina no es reiniciï per evitar possibles interferències de capçal amb els elements muntats en aquell moment.	✓
MODE 2	Definir funcions per al control de la plataforma elevadora que permeti l'activació d'un cicle de funcionament de la plataforma elevadora.	✓
MODE 3	Al entrar en aquest mode, han de quedar anul·lades en el control CNC les funcions de rotació del fus, refrigerant de mecanització i canvi d'eina.  Definir noves funcions que habilitin diverses noves operacions: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Activació xarxa elèctrica làser</li> <li>- Desactivació xarxa elèctrica làser</li> <li>- Activació mode STANDBY del làser</li> <li>- Desactivació làser (STANDBY):</li> <li>- Activar làser</li> <li>- Desactivar làser</li> <li>- Activació Electrovàlvula</li> </ul> Al fer RESET o PARADA EMERGÈNCIA es desactivaran aquestes funcions.	✓

S'ha comprovat amb les proves de validació del correcte funcionament del programa de control a excepció d'aquells paràmetres relacionats amb l'activació i desactivació del làser, ja que aquest equipament requereix personal qualificat per a la seva operació.

Costos	D	Es pretén minimitzar els costos de programació del control numèric realitzat la mateixa per mitjans propis, és a dir, amb aquest projecte.	✓
--------	---	--	---

Encara que per a la programació ha estat necessària l'ajuda del servei oficial de FIDIA, els costos de modificació han estat inferiors a la contractació directa d'aquest punt amb el servei oficial.

### 5.3.2. Sistema de subjecció de làmines de material de partida

En la TAULA 10 es mostra una revisió, amb validació punt per punt, dels requisits del sistema de subjecció de material.

TAULA 10. Control de compliment de requisits sistema de subjecció de làmines de material

CONCEPTE	TIPUS	DESCRIPCIÓ	VAL.
Funció	R	Sistema estàtic ajustable per a diferents dimensions de làmines de material. Sistema ràpid de subjecció (pinçament perimetral). Augmentar la rigidesa dels perfils longitudinals laterals (passamans de 70x10 i amb una longitud de 1200 mm; peça núm. 2 FIGURA 12) per a reduir al mínim la flexió durant les operacions de deformació incremental: FLETXA MÀXIMA 1 mm (dada estimada a confirmar segons assaigs posteriors).	✓

El sistema ha millorat la rigidesa estructural del conjunt (veure ANNEX C) i permet la modificació de les dimensions funcionals de subjecció de forma ràpida. Tanmateix ha quedat comprovada la funcionalitat de les pinces presores pel material utilitzat en les proves (per altres materials queda pendent de validació).



		<p>El sistema de subjecció de làmines de material ha de poder ser muntat i desmuntat, total o parcial, de la plataforma elevadora. (Aquest requisit es fonamental ja que aquesta plataforma té un ús compartit en diverses línies de recerca i el muntatge fixe del sistema de subjecció impossibilitaria el treball amb el làser).</p>	✓
<p>El sistema de subjecció de material no ha de ser retirat completament de la plataforma per a permetre els treballs amb el làser; enretirant les bases de pinça prensora instal·lats sobre els perfils transversals, queden alliberats els perfils longitudinals superiors que també s'enretiren i desplaçant cap als extrems els perfils transversals, queda lliure la part interior de la plataforma elevadora.</p>			
Materials	R	<p>Ús prioritari de peces de comerç.                  Minimitzar la diversitat de peces i les dimensions de la cargolaria.                  Peces de fabricació específica: acer o alumini.</p>	✓
<p>Els materials emprats han estat principalment peces de comerç per a l'estructura i el sistema de pinça prensora; les peces de fabricació específica han estat fabricades en acer i en el taller propi del GREP.</p>			
Característiques crítiques	R	<p><u>Dimensions:</u>                  El sistema de subjecció ha de permetre la subjecció de provetes planes de diversos materials amb unes dimensions:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mínimes: 110x110 mm</li> <li>- Màximes: les màximes assolibles segons el disseny del sistema i els límits propis de la plataforma existent.</li> </ul> <p>L'espai de treball disponible de la plataforma mòbil queda determinat amb els següents valors:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pla de treball (eixos X i Y): 460x900mm</li> <li>- Alçada per sobre i per sota pla de treball (eix Z): de -100 a 100mm.</li> </ul> <p><u>Estabilitat estructural:</u> s'ha de garantir la rigidesa estructural del sistema de forma que no es superi un valor de fletxa de 1 mm en les condicions de treball més desfavorables.</p>	✓
<p>Es compleix amb els requisits dimensionals tal com queda descrit en el punt 2.2.1. Dimensions funcionals.</p>			
Costos	D	<p>Els mínims possibles, buscant materials i peces estandarditzades així com la màxima reducció d'operacions de mecanitzat en la fabricació de peces específiques del sistema de subjecció de material.</p>	✓
<p>L'elecció de perfils estructurals d'alumini de comerç, així com diversos elements d'unió també de comerç, ha reduït el nombre de peces de fabricació específica i per tant es considera reduït al mínim possible el cost de fabricació del sistema segons el disseny validat.</p>			

El compliment dels requisits del programa de control en referència a les modificacions realitzades en relació amb la tecnologia làser, queden en espera de validació pels responsables de la línia de recerca en concret; el que ha estat comprovat és l'activació dels límits i la invalidació de la funcionalitat del capçal en el moment en què es demana treballar amb el làser.

El sistema de subjecció ha estat fabricat i muntat sobre la màquina. A continuació es mostren una sèrie de fotografies que mostren el resultat final (FIGURA 48, FIGURA 49 i FIGURA 50)

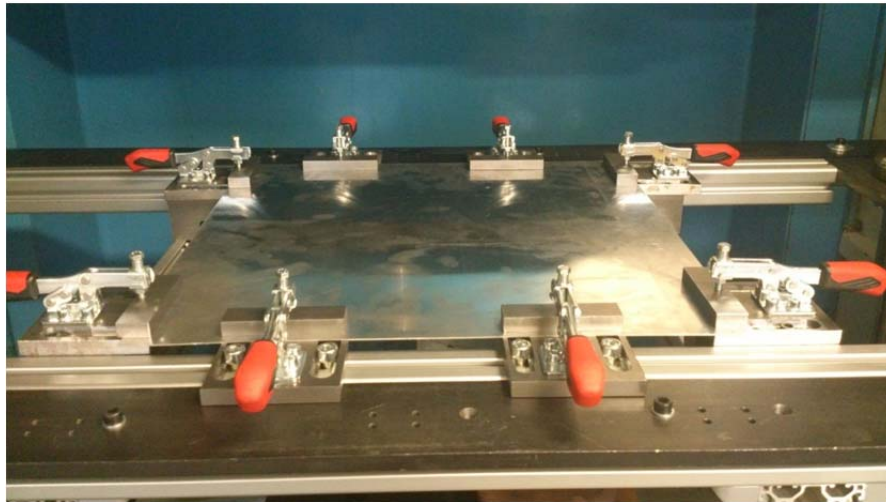


FIGURA 48. . Muntatge complet amb material estacat

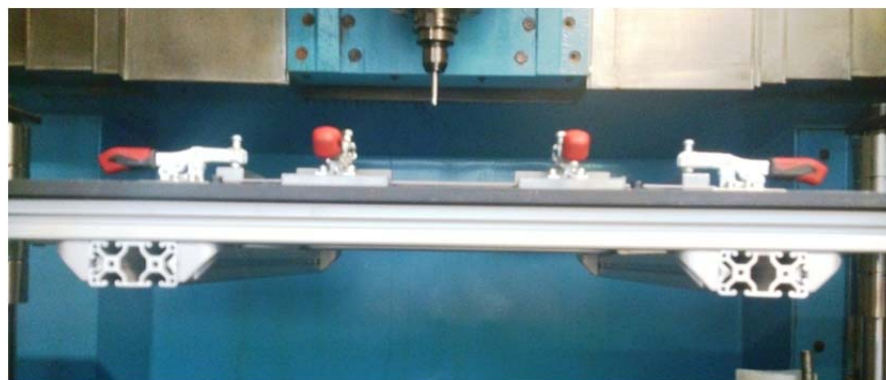


FIGURA 49. Vista frontal muntatge

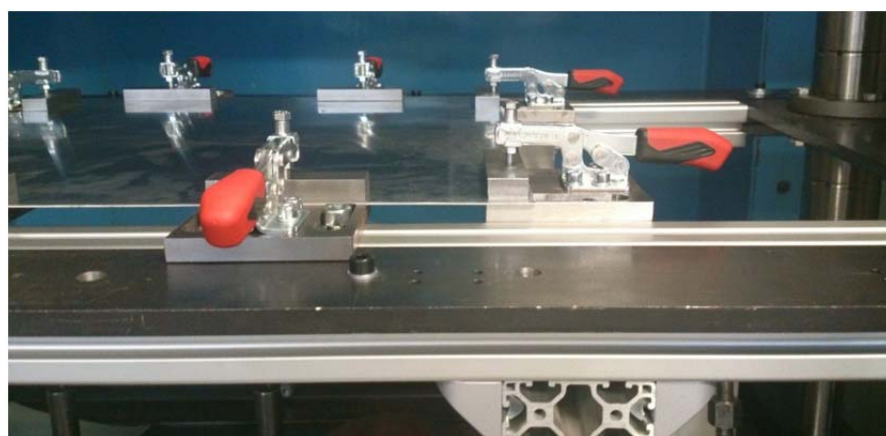


FIGURA 50. Vista detall pinces ràpides

## 6. RELACIÓ DE DOCUMENTS

DOCUMENT 1: MEMÒRIA.

DOCUMENT 2: PLÀNOLS.

DOCUMENT 3: PLEC DE CONDICIONS.

DOCUMENT 4: AMIDAMENTS.

DOCUMENT 5: PRESSUPOST.

DOCUMENT 6: ANNEXOS.

ANNEX A. PROGRAMA DE CONTROL MODIFICAT.

ANNEX B. SOLUCIONS DESCARTADES.

ANNEX C. CÀLCULS JUSTIFICATIUS.

ANNEX D. PROGRAMA ISO PER PROVES.

ANNEX E. CARACTERÍSTIQUES PECES DE COMERÇ.

## 7. REFERÈNCIES

### 7.1. BIBLIOGRÀFIQUES

- G.Pármao and A. Benítez, "Deformación incremental de lámina sin matriz (dieless) como alternativa viable a procesos de conformación de láminas convencionales", INGE CUC, vol. 9, no. 1, pp. 115-128, Jun, 2013.

### 7.2. PÀGINES WEB

- [www.micromanufacturing.net](http://www.micromanufacturing.net)
- [www.alexjfisher.com](http://www.alexjfisher.com)
- [www.item24.es](http://www.item24.es)
- [www.hoffmann-group.com](http://www.hoffmann-group.com)
- [www.aenor.es](http://www.aenor.es)

L'Enginyer autor del projecte

Albert Segade Peleteiro

JUNY 2015