



Treball de Fi de Grau

GRAU D'ENGINYERIA INFORMÀTICA

**Facultat de Matemàtiques
Universitat de Barcelona**

DESENVOLUPAMENT DE SOFTWARE PER A MAQUINÀRIA D'ESMOLAT D'EINES DE TALL

Ramon Bonet Torres

Directora:

Inmaculada Rodríguez Santiago

Realitzat a:

Departament de Matemàtica

Aplicada i Anàlisi. UB

Barcelona, 25 de juny de 2015

Índex

| | |
|---|----|
| 1. Introducció | 6 |
| 2. Antecedents | 7 |
| 2.1. Conceptes relacionats | 7 |
| 2.2. El model CU PRO | |
| 2.2.1. Visió global i parts essencials..... | 9 |
| 2.2.2. Versions del model CU PRO..... | 11 |
| 2.2.3. Procés d'esmolat i eines de tall associades..... | 13 |
| 3. Objectius | 16 |
| 3.1. Estudi i anàlisi de l'estructura i funcionament de les màquines | 16 |
| 3.2. Estudi i anàlisi de control de components, llibreries i entorn de programació | |
| 3.2.1. Components analitzats..... | 16 |
| 3.2.2. Entorn de programació..... | 16 |
| 3.2.3. Temàtiques i llibreries emprades..... | 17 |
| 4. Anàlisi | 19 |
| 4.1. Diagrama de casos d'ús..... | 19 |
| 4.2. Arrencada..... | 20 |
| 4.3. Menú secret..... | 20 |
| 4.4. Menú inicial..... | 22 |
| 4.5. Valors de procés..... | 23 |
| 4.6. Moviments manuals de màquina..... | 24 |
| 4.7. Configuració d'esmolat..... | 25 |
| 4.8. Posicionament de mola..... | 29 |
| 4.9. Detecció automàtica d'eina..... | 30 |
| 4.10. Procés d'esmolat automàtic..... | 30 |
| 5. Disseny | 32 |
| 5.1. Inicialització de màquina..... | 33 |
| 5.2. Sistema d'arrencada..... | 34 |
| 5.3. Mòdul de la font d'alimentació..... | 36 |
| 5.4. Moviments manuals de màquina..... | 37 |
| 5.5. Posicionament de mola..... | 39 |
| 5.6. Esmolat d'eines planes..... | 42 |
| 5.7. Avenç del procés d'esmolat pla..... | 44 |
| 6. Implementació | 46 |
| 6.1. Arquitectura hardware..... | 46 |
| 6.2. Arquitectura software..... | 48 |
| 6.3. Referenciat d'eixos..... | 49 |
| 6.4. Generació d'acceleracions suavitzades..... | 50 |
| 6.5. Introducció al GRBL..... | 51 |

| | |
|---|-----------|
| 7. Cronograma de desenvolupament i vendes..... | 53 |
| 8. Costos i beneficis..... | 54 |
| 9. Conclusions i propostes de millora..... | 55 |
| 10. Bibliografia..... | 55 |

Índex de figures

| | |
|---|----|
| Figura 1: visió completa d'esmoladora de fulles planes CU PRO..... | 9 |
| Figura 2: panell de control del model CU PRO..... | 10 |
| Figura 3: model CU PRO a un taller en ple procés d'esmolat..... | 10 |
| Figura 4: vista general de capçal bàsic (panell, mola)..... | 11 |
| Figura 5: vista del capçal en moviment amb el nou eix per a l'esmolat específic..... | 12 |
| Figura 6: il·lustració d'un model CU PRO destacant els eixos, les moles i les eines..... | 13 |
| Figura 7: eina de tall plana en màquina model CU PRO, en ple procés d'esmolat..... | 13 |
| Figura 8: moviments simplificats d'un procés d'esmolat d'eines planes..... | 14 |
| Figura 9: cinta parcialment dentada en procés d'esmolat..... | 15 |
| Figura 10: cas d'ús 0: diagrama general de casos d'ús..... | 19 |
| Figura 11: cas d'ús 1: arrancada de màquina..... | 20 |
| Figura 12: cas d'ús 2: menú secret..... | 20 |
| Figura 13: cas d'ús 3: menú secret..... | 22 |
| Figura 14: cas d'ús 4: valors de procés..... | 23 |
| Figura 15: cas d'ús 5: moviments manuals de màquina..... | 24 |
| Figura 16: cas d'ús 6: passos de configuració d'un programa d'esmolat..... | 25 |
| Figura 17: cas d'ús 6.1: configuració d'etapes d'esmolat..... | 25 |
| Figura 18: cas d'ús 6.2a: configuració d'esmolat d'eina plana..... | 26 |
| Figura 19: cas d'ús 6.2b: configuració de dentat de cinta..... | 27 |
| Figura 20: cas d'ús 6.3: funcionalitats i accions finals de configuració d'esmolat..... | 28 |
| Figura 21: cas d'ús 7: posicionament de mola..... | 29 |
| Figura 22: cas d'ús 8: detecció automàtica d'eina..... | 30 |
| Figura 23: cas d'ús 9: procés d'esmolat automàtic..... | 30 |
| Figura 24: diagrama de flux 1: part de programa "Inicialització màquina"..... | 33 |
| Figura 25: diagrama de flux 2.1: bloc 1 del sistema d'arrencada..... | 34 |
| Figura 26: diagrama de flux 2.2: bloc 2 del sistema d'arrencada..... | 35 |
| Figura 27: protocol de comunicació entre Programa i mòdul de programa..... | 36 |
| Figura 28: diagrama de flux 4.1: inicialització de moviments manuals de màquina.... | 37 |
| Figura 29: diagrama de flux 4.2: moviments manuals de màquina..... | 38 |
| Figura 30: diagrama de flux 5.1: inicialització de posicionament de mola..... | 39 |
| Figura 31: diagrama de flux 5.2: part del programa "posicionament de mola"..... | 40 |
| Figura 32: diagrama de flux 6.1: part del programa "Procés d'esmolat pla"..... | 42 |
| Figura 33: diagrama de flux 6.2: presa de decisions per avançar l'esmolat pla..... | 44 |
| Figura 34: arquitectura hardware de l'aplicació..... | 46 |
| Figura 35: protocol de comunicació entre Co-processor i HMI..... | 47 |
| Figura 36: arquitectura software amb programa central ampliat..... | 48 |
| Figura 37: referenciat d'un eix..... | 49 |
| Figura 38: corba en forma de S en les etapes d'acceleració i desacceleració..... | 50 |
| Figura 39: implementació de l'acceleració en corba de S..... | 51 |
| Figura 40: dents de serra amb trajectòria de mola per a esmolar-les..... | 51 |
| Figura 41: exemple de comunicació entre programa central i grbl..... | 52 |
| Figura 42: cronograma de desenvolupament i entrega de màquines..... | 53 |
| Figura 43: gràfic de distribució de vendes model CU PRO..... | 53 |

Índex de taules

| | |
|--|----|
| Taula 1: versions del model CU PRO en funció dels seus complements..... | 21 |
| Taula 2: estats dels leds de la font d'alimentació i el seu significat..... | 37 |
| Taula 3: preus de venda al públic del model CU PRO..... | 54 |
| Taula 4: cost de desenvolupament de l'aplicació en hores i euros..... | 54 |

1. Introducció

En el món industrial, existeixen nombrosos sectors on a fi de generar el seu producte, necessiten incorporar a les seves instal·lacions maquinària i eines que permetin tallar, laminar o doblegar materials. Sectors com el del paper, la fusta, el reciclatge, l'automoció, l'aeronàutica, el tèxtil o el vidre, acostumen a necessitar aquests processos de modelatge per elaborar els seus productes.

Per a poder realitzar el tall, cal una eina que incorpori una o varies zones afilades anomenades fulles, encarregades de tallar. Aquestes eines s'anomenen eines de tall.

Existeixen molts tipus d'eines de tall. En qualsevol cas però, totes elles tenen un punt en comú: les seves fulles perden esmolat i es deterioren, fent perdre així efectivitat de tall a mesura que s'utilitzen

Per a poder allargar-ne la vida útil, les empreses generalment envien les seves eines a tallers especialitzats en esmolat, dotades de maquinària preparada per tal efecte, tot i que en cas d'empreses grans, també s'ho fan elles mateixes.

Per satisfer les necessitats d'esmolat, "Elite Corte y Afilado" (www.elite.cat), l'empresa on s'ha desenvolupat aquest projecte, es dedica a construir maquinària pròpia dedicada a l'esmolat i rectificat de fulles d'eines de tall.

Per tal efecte, s'ha format un grup de treball que avarca la totalitat del personal, de 5 membres: un cap de projectes, i quatre persones especialitzades cadascuna en un camp: un comercial per potenciar la venda, un mecànic encarregat del muntatge, un electrònic/electricista dedicat al disseny de les plaques electròniques, i finalment l'informàtic encarregat de generar software específic per maquinària d'esmolat, que permeti realitzar esmolats automàtics precisos a través d'un control dels diferents components físics implicats, d'una interfície d'usuari senzilla i d'uns serveis útils que aportin comoditat en l'esmolat.

Fins a l'actualitat, s'han creat diferents models de màquina i prototips de màquina. Cada model serveix per esmolar un tipus concret d'eines de tall, i necessita, per tant, un procés d'esmolat pròpi. Per aquest motiu també, s'ha desenvolupat un programa propi per a cada model de màquina. Dit això i per focalitzar el contingut, el present projecte està centrat en l'anàlisi i desenvolupament de software d'esmolat per el model CU PRO.

2. Antecedents

Degut a que el desenvolupament d'aquest projecte va lligat a unes màquines físiques que, més enllà del personal dels tallers d'esmolat o dels fabricants de maquinària resulta un món desconegut, és necessari fer una descripció general del model que ens ocupa, la CU PRO, i dels conceptes que s'hi relacionen.

2.1. Conceptes relacionats

- Procés d'esmolat

Procés de fer agut el tall o punta d'una eina. En el cas que ens ocupa, fa referència al conjunt d'elements físics i de programa que permeten a les màquines esmoladores, esmolar o fer agut el tall.

- Encoder

Dispositiu en forma circular que permet a l'usuari de la màquina d'esmolat interactuar amb la mateixa. En el cas de les màquines que ens ocupen, hi ha dos tipus d'encoders: un es pot girar en sentit horari i antihorari, generant inputs de direcció, i a més es pot pitjar, generant inputs de confirmació. S'utilitza per navegar dins el sistema del programa. L'altre, només té inputs giratoris de direcció però més precisos, utilitzat per generar polsos motors.

- Barra de subjecció

Element prismàtic i allargat que serveix com a suport per fixar-hi les eines de tall a sobre i poder-les esmolar. N'hi ha dos tipus, la mecànica i la magnètica.

La barra mecànica és una barra simple. Per fixar-hi les eines de tall, l'usuari no té més remei que muntar motlles mecànics sobre els quals fixar les eines, i fixar aquests motlles a la barra. És una fixació manual que requereix bastant temps de muntatge.

La barra magnètica és una barra amb una gran bobina al seu interior. Per fixar-hi les eines de tall, l'usuari només ha de col·locar les eines de tall i prémer un botó. De la feina restant se n'ocupa el programa, generant un camp magnètic que fixa les eines, i anul·lant aquest camp per poder-les treure.

- Mola

Utensili de material abrasiu, que quan es rota sobre el seu propi eix permet polir i perfilar eines de tall. És l'eina bàsica del procés d'esmolat.

- Sensor

Dispositiu sensible a determinats estímuls, que quan els capta produeix senyals elèctriques. En el present projecte, es fa menció a tres tipus de sensors:

Els sensors finals de carrera, són sensibles al magnetisme. Generen senyals digitals que transmesos al programa, permeten establir els dos extrems del recorregut de la part mòbil de la màquina (el capçal) en l'eix X (veure Figura 6, secció [2.2.3](#)).

Els sensors de vibració, detecten vibracions d'alta freqüència i generen senyals analògiques en funció de la magnitud de la vibració. Permet detectar la vibració produïda per la mola quan aquesta entra en contacte amb les eines.

Els sensors de temperatura, generen senyals analògiques en funció de la magnitud de la temperatura. Permet detectar si el sistema de plaques electròniques assoleix una temperatura massa alta.

- Posicionament de mola

Procés consistent en fer apropar la mola en rotació, a una de les eines de tall fixades a la barra, fins que hi entra lleugerament en contacte. Permet saber el punt inicial de càrrega d'esmolat.

- Càrrega d'esmolat

Representa la quantitat de material, en profunditat, que serà polit i perfilat a les fulles de les eines de tall. Per aplicar una càrrega d'esmolat a les eines de tall, cal desplaçar la mola en l'eix que la fa moure amunt i avall. S'expressa en micròmetres (10^{-6} metres).

- Passada d'esmolat

Nom donat a l'acció de desplaçar la mola en l'eix que la fa moure d'esquerra a dreta, per poder-la situar a sobre de totes les eines de tall. Aquest desplaçament permet situar la mola a sobre de totes les eines de tall, fent que la càrrega d'esmolat quedi aplicada en totes elles.

- Referenciat

Procés d'anar a buscar la posició 0 de cada eix amb l'ajut dels sensors finals de carrera. S'executa sempre que es reinicia la màquina.

- Etapas d'esmolat

Són les parts en què es divideix un procés d'esmolat. N'hi ha tres, el desbast, l'acabat i el lapejat.

El desbast és l'etapa pensada per començar l'esmolat de les eines de tall prioritzant més la quantitat de càrrega aplicada a les eines, que no pas el nivell de polit. Genera un esmolat ràpid que "arrenca" bastant material a les eines de tall, però no deixa molt ben acabat el tall. D'aquí que se l'anomeni desbast.

Si es vol deixar les eines de tall més ben acabades, es pot configurar una segona etapa d'esmolat anomenada "acabat". Genera un esmolat més lent, amb poca càrrega d'esmolat. Arrenca poc material perquè està pensada per deixar ben perfilat el tall.

Si es vol deixar les eines encara més ben polides, existeix una última etapa anomenada "lapejat". Per aconseguir-ho, aquesta etapa realitza passades d'esmolat però sense augmentar la càrrega d'esmolat, fent que la mola no "arrenqui" més material sinó que únicament el poleixi.

- EEPROM

És la memòria interna no volàtil, on el programa guarda, recupera i esborra certes variables. "Electrically-erasable programmable read-only memory".

2.2. El model CU PRO

2.2.1. Visió global i parts essencials

A la Figura 1 es pot veure l'aspecte físic d'una esmoladora model CU PRO (Cuchillas Profesional), en versió bàsica. Les diferents versions de model es detallen al punt [2.2.2](#)



Figura 1: visió completa d'esmoladora de fulles planes CU PRO

Els tres cercles de la figura distingeixen les tres parts fonamentals: el panell de control (1), la banyera (2) i el capçal (3).

o Part 1: panell de control

És la zona de control d'es d'on l'usuari interactua amb la màquina. Disposa de dos botons polsadors, dos encoders i una pantalla.

La pantalla permet visualitzar informació i orientar-se entre les diferents opcions que el programa va oferint a l'usuari. Els polsadors i els encoders permeten navegar pel programa, executar accions i controlar moviments motoritzats.

A la Figura 2 es pot veure un panell de control complet. Els quatre cercles de la figura identifiquen els components: la pantalla (1), els polsadors (2), l'encoder de navegació (3) i l'encoder de motors (4).



Figura 2: panell de control del model CU PRO

o Part 2: la banyera

És l'element que s'allarga en tot el pla horitzontal de la màquina. La seva funció és ubicar les eines de tall al seu interior per a ser esmolades. Les eines al seu torn, van fixades sobre una barra de subjecció capacitada per mantenir-les immòbils durant el procés d'esmolat.

La Figura 3 mostra l'interior d'una banyera, amb una renglera d'eines a l'interior fixades a la barra de subjecció i un capçal de color vermell a l'extrem final. La màquina està esmolant, i es pot diferenciar la franja de les eines que s'està esmolant pel seu color més clar, assenyalat en el cercle:



Figura 3: model CU PRO a un taller en ple procés d'esmolat

- Part 3: Capçal

Estructura que conté el panell de control a la part superior i la mola esmoladora a la part inferior. Representa la part mòbil de la màquina; desplaçant-se de punta a punta del recorregut de la banyera, permet que la mola contacti amb totes les eines de tall i les vaig esmolant. Té dos sensors finals de carrera mòbil que permeten ajustar el recorregut màxim del capçal.

La Figura 4 mostra un capçal bàsic en repòs. El cercle apunta a la mola:



Figura 4: vista general de capçal bàsic (panell, mola)

2.2.2. Versions del model CU PRO

Una versió de model es diferencia d'una altra per tenir en el sí de la seva estructura física algun component que les altres no tenen, i que provoca alteracions en el seu funcionament.

De cara a la venda al client, aquests components físics són extres que fan pujar el valor de la màquina, ja que aporten comoditat i estalvien temps a l'usuari. Des d'un punt de vista informàtic, són canvis físics que alteren el flux del programa implementat en les màquines, i per tant és bo explicar breument en què consisteixen.

- Versió amb barra de subjecció magnètica

Consisteix en muntar a la màquina una barra de subjecció magnètica, en detriment de la barra de subjecció mecànica estàndard. Permet fixar les eines de tall a la barra prement un sol botó, estalviant a l'usuari haver de collar-les mecànicament una per una. La Figura 7 del punt [2.2.3](#) mostra una eina fixada sobre barra magnètica.

- Versió amb detecció automàtica d'eina

Consisteix en col·locar una petita placa electrònica amb un sensor de vibracions estratègicament a prop de la mola, per tal que el posicionament de mola es faci de forma automàtica prement un sol botó. Estalvia a l'usuari haver de d'ajustar aquest procés de forma manual amb l'encoder.

- Versió amb sistema d'esmolat alternatiu

Consisteix en afegir en el lateral del capçal un mecanisme format per un nou eix motoritzat i una mola, que permet utilitzar les màquines model CU PRO per realitzar un esmolat alternatiu sobre un tipus d'eines de tall que el model estàndard no pot fer. Per als clients que tenen aquest tipus d'eines, resulta una versió molt interessant.

La Figura 5 mostra el mecanisme adherit al capçal estàndard de la màquina. El cercle 1 identifica l'eix motoritzat que es mou en el pla profunditat. El cercle 2, la mola per esmolar associada a l'eix.

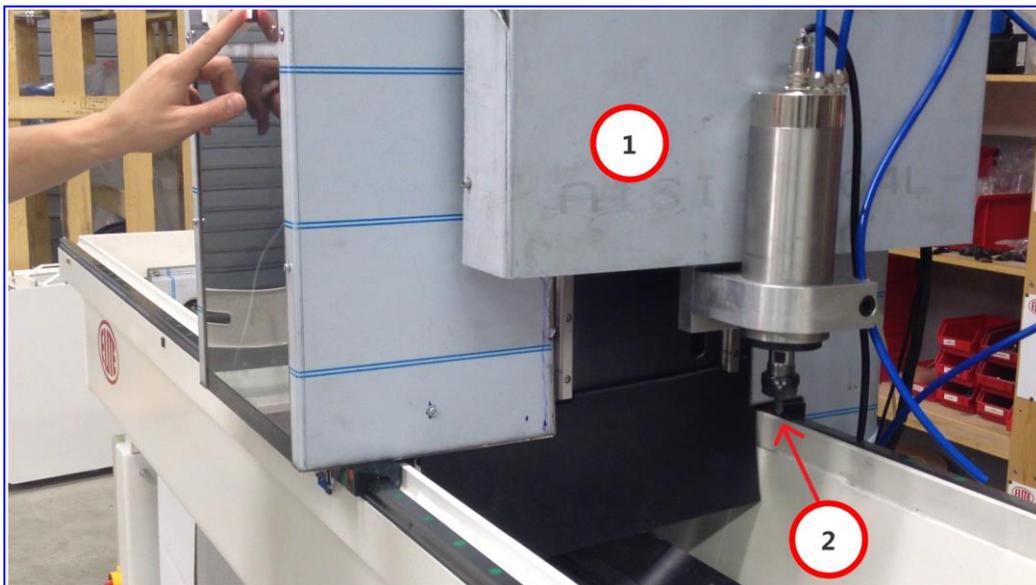


Figura 5: vista del capçal en moviment amb el nou eix per a l'esmolat específic

2.2.3. Procés d'esmolat i eines de tall associades

L'esmolat és la finalitat última de qualsevol màquina, alhora que part imprescindible del programa. Com es realitza doncs, un procés d'esmolat?

La Figura 6 dóna una visió gràfica de la màquina amb tots els elements implicats en l'esmolat, que ajudarà a entendre'n el funcionament. Hi ha representats els eixos (X,Y,Z,A), les dues moles (cercle 1), les eines de tall (cercle 2).

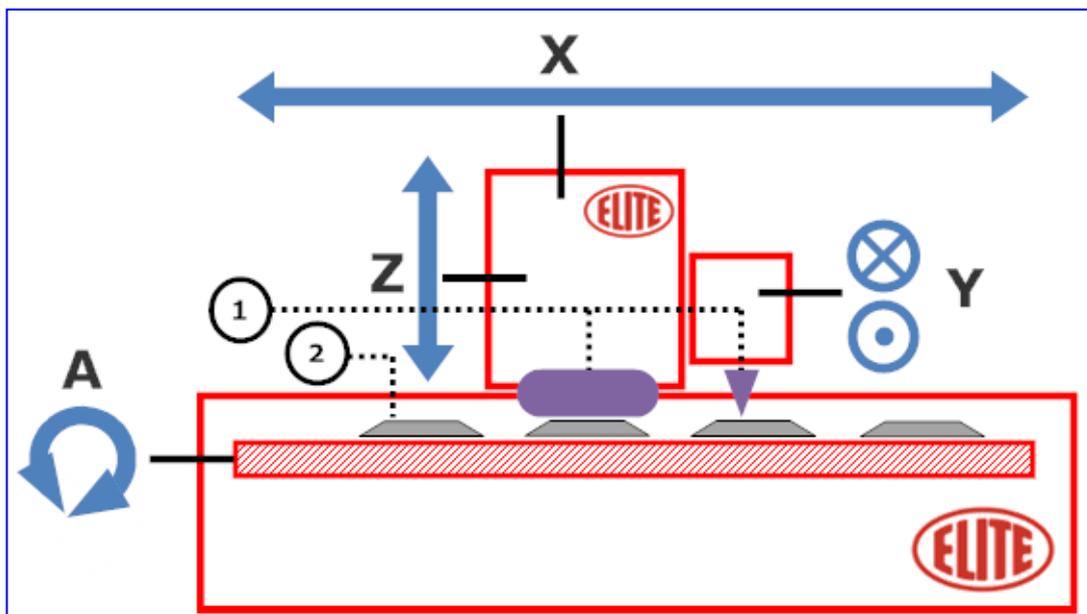


Figura 6: il·lustració d'un model CU PRO destacant els eixos, les moles i les eines

o Esmolat d'eines de tall planes

És l'esmolat estàndard del model que ens ocupa. Realitza esmolats rectes en el pla horitzontal sobre eines de fulla plana. Esmola amb una precisió de micres de metre. Utilitza la mola gran de les dues indicades amb el cercle 1 de la Figura 6.

La Figura 7 mostra una eina de tall plana, fixada sobre barra magnètica. El cercle 1 assenjala la mola, que l'està esmolant:

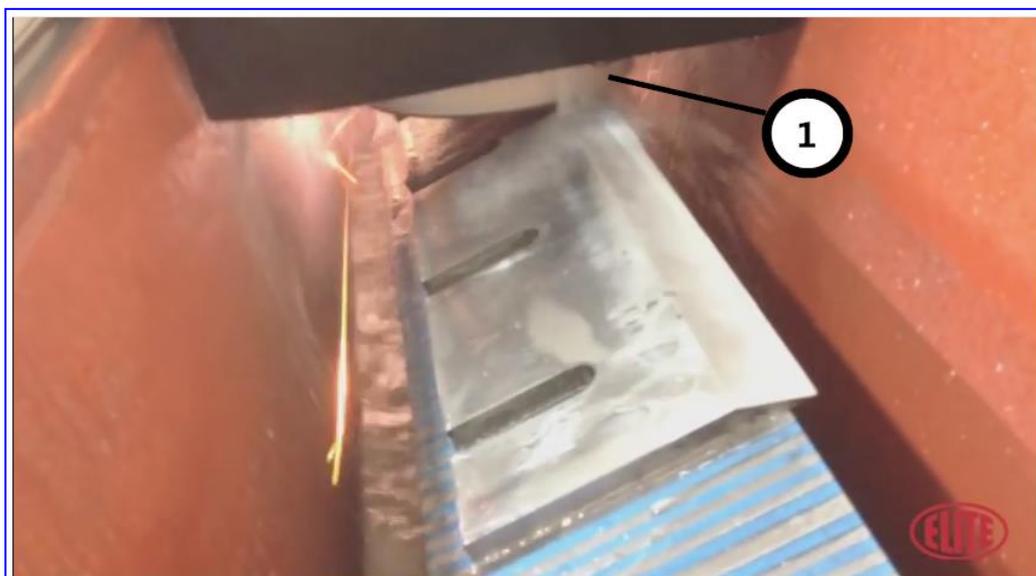


Figura 7: eina de tall plana en màquina model CU PRO, en ple procés d'esmolat

Els passos principals d'un esmolat són els següents:

Pas 1: L'usuari col·loca les eines (cercle 2 de la Figura 6) en fila sobre la barra de suport, les fixa mecànicament o per magnetisme, i executa l'ordre d'esmolat. Per poder esmolar vàries eines alhora, cal col·locar-les de forma que totes les seves fulles estiguin alineades en un mateix pla, de forma que la mola pugui lliscar sobre una pista recta de fulles.

Pas 2: La barra de suport (eix A de la Figura 6) s'inclina els graus necessaris per situar en un mateix pla la mola i l'eina de tall.

Pas 3: S'executa el posicionament de mola (eix Z de la Figura 6), ja sigui manualment amb l'ajut de l'usuari, o a través de la detecció automàtica d'eina.

Pas 4: Establert el contacte entre mola i eina, el capçal se situa a un extrem de la banyera (eix X de la Figura 6) per començar l'esmolat des de la primera eina de la filera, obtenint així la posició inicial d'esmolat.

Pas 5: Un cop situats a la posició inicial d'esmolat, comença el procés d'esmolat. Consta de diferents etapes que s'explicaran en detall a la secció de disseny del projecte. A grans trets, es resumeix en uns moviments com els representats a la Figura 8:

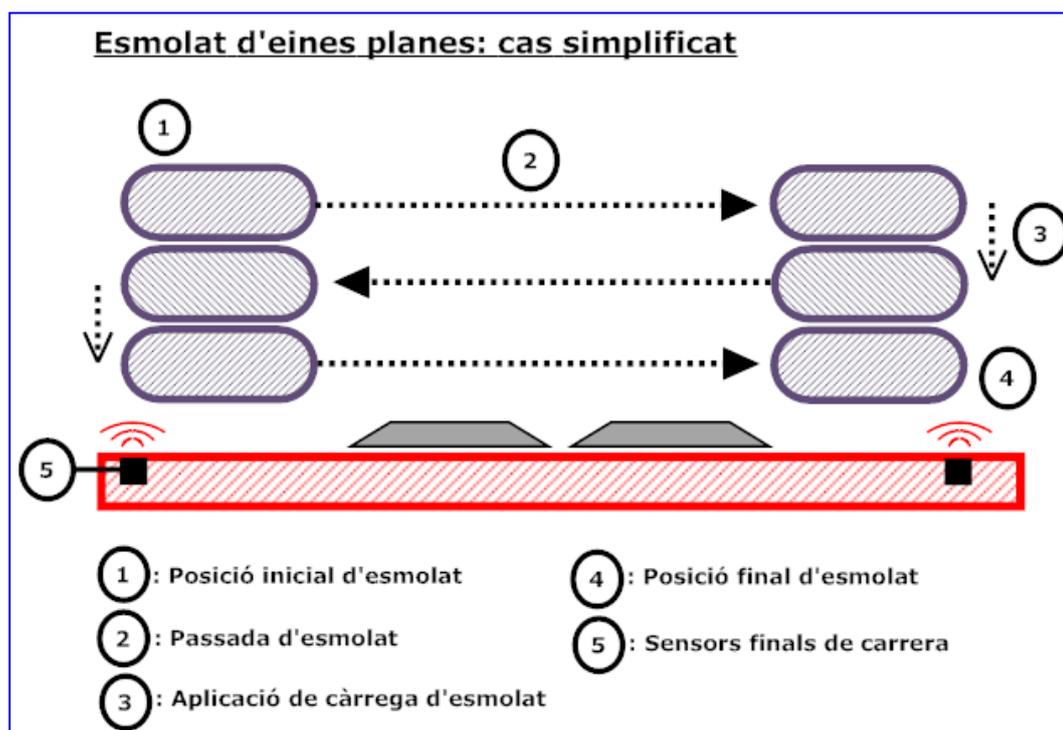


Figura 8: moviments simplificats d'un procés d'esmolat d'eines planes

La mola, moguda pel moviment de capçal, es desplaça al llarg de les eines (eix X de la Figura 6) en un recorregut limitat pels sensors finals de carrera (cercle 5 de la Figura 8), generant les passades d'esmolat (cercle 2 de la Figura 8).

Quan una passada finalitza, s'aplica una càrrega d'esmolat (cercle 3 de la Figura 8), fent que la mola baixi les micres de metre per càrrega estipulades, i inicia la següent passada d'esmolat. En cada passada, les fulles de les eines queden tan esmolades com micres de càrrega hi ha acumulades.

Quan s'han aplicat totes les càrregues d'esmolat, la mola arriba a la posició final d'esmolat i el procés finalitza.

Cal esmentar que dels cinc passos explicats, el programa desenvolupat en aquest projecte hi intervé en tots ells a excepció de la col·locació d'eines a la barra del 1er pas.

- Esmolat per al dentat de cintes

És l'esmolat que realitza la versió amb sistema d'esmolat alternatiu, esmentat en la secció [2.2.2](#), del model de màquina que ens ocupa. Està pensat per a dentar cintes metàl·liques com la mostrada a la Figura 9. De les dues moles mostrades a la Figura 6 (cercle 1) utilitza la petita triangular, amplificada en la Figura 9 (cercle 2):

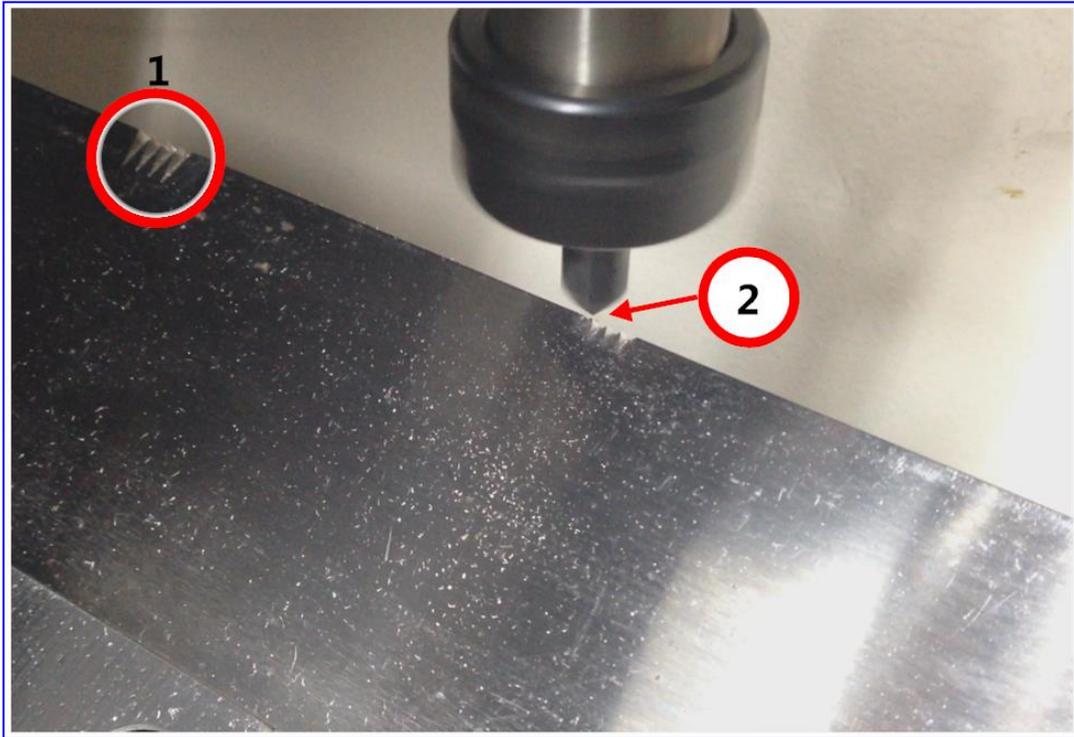


Figura 9: cinta parcialment dentada en procés d'esmolat

Els passos inicials són com els de l'esmolat d'eines planes; es col·loca la cinta metàl·lica sobre la barra de subjecció, es fixa mecànicament o per magnetisme, s'inclina la barra els graus estipulats (eix A de la Figura 6) i es realitza el posicionament de mola.

En el procés d'esmolat de cintes, les passades d'esmolat es fan en profunditat (eix Y de la Figura 6), i quan s'han aplicat totes les càrregues d'esmolat, el procés haurà format una dent com les que es pot veure al cercle 1 de la Figura 9.

Per poder formar totes les dents, al finalitzar la dent actual el capçal desplaça la mola (eix X de la Figura 6) al punt d'inici de la següent, fins a finalitzar el procés.

3. Objectius

L'objectiu d'aquest projecte és la creació de software per al control de la màquina d'esmolat CU PRO. Aquest objectiu es descompon en dos subobjectius que es detallen a les següents subseccions.

3.1. Estudi i anàlisi de l'estructura i funcionament de les màquines

Per poder començar a analitzar la problemàtica des d'un punt de vista informàtic i dissenyar un programa per a fer funcionar una màquina d'esmolat, abans fou imprescindible entendre com funciona aquestes màquines. Aquest fou, doncs, el primer objectiu.

L'estudi i anàlisi es centrà, en primer lloc, a prendre coneixement de les parts físiques bàsiques d'una màquina esmoladora, en definitiva de l'estructura. Per al model de màquina que ens ocupa, aquest anàlisi està recollit en els punts [2.2.1](#) i [2.2.2](#) d'aquest projecte. on s'analitza el model CU PRO i les seves versions.

En segon terme, l'estudi es centrà en entendre com es duu a terme un procés d'esmolat i quina seqüència de passos s'han de seguir per a què es produeixi. Per al model que ens ocupa, aquest anàlisi està introduït en el punt [2.2.3](#) d'aquest projecte.

3.2. Estudi i anàlisi de control de components, llibreries i entorn de programació

El segon objectiu fou, en primer terme, fer un estudi dels components físics i electrònics que cal controlar, analitzar quines necessitats generen, i organitzar aquestes necessitats en temàtiques.

En segon terme, l'objectiu fou buscar llibreries adequades per satisfer, a nivell de programa, les necessitats sorgides del previ anàlisi de components, així com un entorn de programació pensat per aquest tipus de problemàtiques, que permetin implementar una aplicació per a controlar el model de màquina que ens ocupa.

3.2.1. Components analitzats

Els components físics a controlar són: 1 pantalla 40x4, 2 botons polsadors, 2 encoders, 2 llums de botons, 4 motors de control numèric, 2 motors de mola, 5 sensors finals de carrera, 1 sensor de vibracions, 1 sensor de temperatura, una bomba d'aigua i una bobina magnetitzable.

Els components electrònics a controlar són: 3 microprocessadors, memòria interna, pins in/out de microprocessador i externs, pins d'interruptió i rellotge intern.

3.2.2. Entorn de programació

Es va escollir [arduino](#) com a entorn de codi obert d'implementació de software. Arduino ofereix un entorn hardware i software per al control de diferents actuadors físics. En el nostre cas però, s'utilitza un hardware alternatiu (plaques electròniques) apte per ús industrial.

Tot i prescindir de la part hardware d'arduino, es fa ús del seu entorn de programació perquè és compatible amb els microprocessadors de les màquines, és senzill, i té un ampli catàleg de llibreries oficials i de tercers que satisfà les necessitats de desenvolupament.

3.2.3. Temàtiques i llibreries emprades

Aquesta secció introdueix les diferents temàtiques en les que s'ha treballat en aquest projecte. Para cada temàtica s'especifica: funció, llibreries i components de la màquina d'esmolat associats.

i. Comunicació

La primera problemàtica plantejada és el tractament de les comunicacions tan entre usuari i màquina com internes de la pròpia màquina, que es desglossa en tres punts:

- Comunicació màquina->usuari

Per comunicar la màquina amb l'usuari s'ha de desenvolupar una interfície gràfica que mostri informació per pantalla. Llibreria utilitzada: [LiquidCrystal](#). Component associat: pantalla de 40x4 caràcters.

- Comunicació usuari->màquina

Per a que l'usuari pugui enviar ordres a la màquina, s'han de gestionar les lectures vinculades a les entrades d'informació externa. Llibreries utilitzades: llibreria [Encoder](#) i mètode [digitalRead](#) del catàleg d'arduino. Components associats: els 2 encoders i els 2 polsadors

- Comunicació entre microprocessadors

Existeix un tercer element en la comunicació que és la comunicació interna de la màquina, en la qual s'ha de compartir informació i enviar ordres entre microprocessadors. Llibreries utilitzades: llibreria [Wire](#) per a comunicació I2c, i llibreria [Serial](#) per a comunicació sèrie. Components associats: microprocessadors.

ii. Moviments motoritzats

La segona gran problemàtica és la relacionada amb el tractament dels eixos motoritzats, la qual queda dividida en dos punts:

- Motors sense control de posició

Per a moure eixos que no necessiten un control de posició, els motors s'han de gestionar sense mantenir un control de passos. Llibreries utilitzades: mètodes [tone](#), [noTone](#) i [digitalWrite](#) del catàleg d'arduino. Components associats: motors de les moles, i motor de l'eix X (Figura 6).

- Motors amb control de posició

En el cas de moviments que requereixen un control de posició, cal mantenir un control de passos dels motors utilitzats. Llibreria utilitzada: [AccelStepper](#). Components associats: Motors d'eixos X, Y, Z i A (Figura 6).

iii. Memòria interna

Hi ha dades que han de perdurar en el temps i per tant s'han de poder guardar i recuperar més enllà de l'apagat de màquina. Per tant aquesta és una problemàtica a solucionar. Llibreria utilitzada: llibreria [EEPROM](#). Component associat: memòria interna dels microprocessadors.

iv. Pins: lectura i escriptura

Par controlar els components físics que requereixen un sol pin de control, s'han de gestionar els pins de lectura i escriptura. Llibreries utilitzades: mètodes [pinMode](#), [digitalWrite](#) i [digitalRead](#) del catàleg d'arduino. Components associats: els sensors, els encoders, els polsadors, les llums de polsadors i la bomba d'aigua.

v. Flux de processos i temps d'execució

Un aspecte important a tractar és poder controlar la duració de qualsevol procés intern del programa, alterar temporalment el flux del programa i tenir coneixement de data i hora. Llibreries utilitzades: llibreria [RTC \(real time clock\)](#) i mètodes [millis](#), [delay](#) i [delayMicroseconds](#) del catàleg d'arduino. Component associat: rellotge intern.

vi. Interrupcions prioritàries

L'última problemàtica a tractar és poder executar ordres a l'instant sense dependre del flux del programa, aprofitant els pins del microprocessador dedicats a interrupcions. Llibreria utilitzada: mètode [attachInterrupt](#) del catàleg d'arduino.

4. Anàlisi

Fent un plantejament del programa a desenvolupar des de la perspectiva de la interacció de l'usuari amb el sistema, es formen 9 grups de casos d'ús: **arrancada**, **menú secret**, **menú inicial**, **valors de procés**, **moviments manuals de màquina**, **configuració d'esmolat**, **posicionament de mola**, **detecció automàtica d'eina**, i **procés d'esmolat**.

4.1. Diagrama de casos d'ús

Per tal de tenir un mapa de tots els casos d'ús implicats en l'anàlisi, el cas d'ús 0 mostra el cas d'ús general d'interacció entre usuari i màquina:

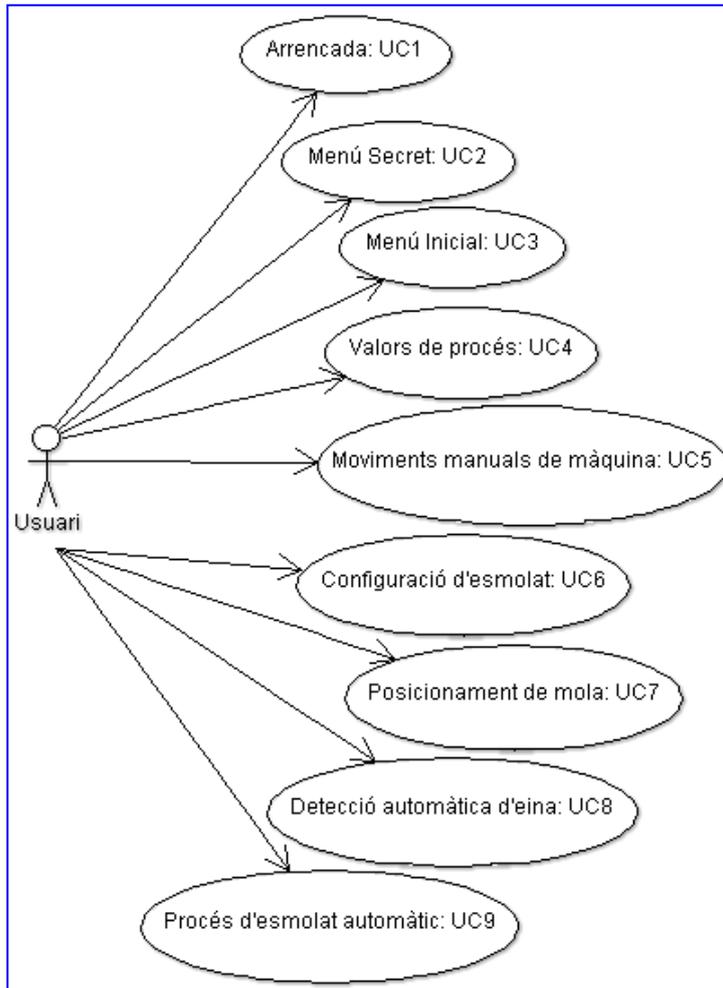


Figura 10: cas d'ús 0: diagrama general de casos d'ús

Els casos que s'hi identifiquen es detallen a les següents seccions del projecte.

4.2. Arrencada

Quan l'usuari arrenca la màquina, pot iniciar el programa de forma normal, o bé pot entrar a una zona restringida anomenada "menú secret". El cas d'ús 1 mostra la interacció de l'usuari amb el sistema durant el sistema d'arrencada:

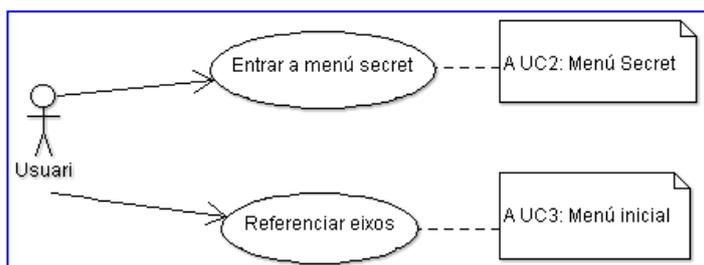


Figura 11: cas d'ús 1: arrencada de màquina

Per defecte l'usuari només té el coneixement d'iniciar normalment. En aquest cas, procedeix a la referenciació d'eixos i al finalitzar, el programa duu l'usuari al menú inicial.

El menú secret és una zona reservada per al servei tècnic o bé per al client sempre sota supervisió d'un tècnic, on es tracten variables de sistema delicades. Realitzant els passos correctes, l'usuari hi pot accedir.

4.3. Menú secret

És una secció que per ser d'accés restringit, no permet saltar a altres parts del sistema, i per sortir-ne cal reiniciar la màquina. El cas d'ús 2 mostra la interacció de l'usuari amb el sistema quan es troba al menú secret:

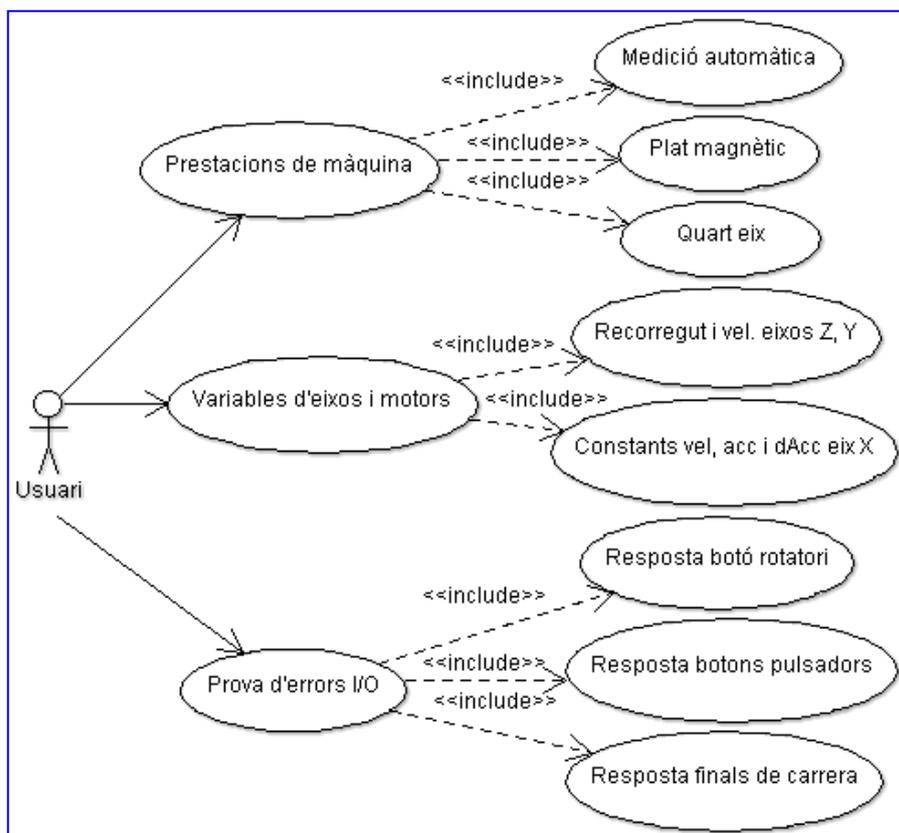


Figura 12: cas d'ús 2: menú secret

L'usuari pot editar variables de sistema i d'eixos i motors. Les variables de prestacions de màquina (mesurament automàtic, plat magnètic i quart eix) són les que determinen a nivell de programa la versió de màquina (detecció d'eina automàtica, barra de suport magnètic i sistema d'esmolat alternatiu) comentades en el punt 2.2.2. En total existeixen una combinació de 2³ versions, mostrades a la taula 1 de menys a més completes:

| Plat magnètic (barra magnètica) | Mesurament automàtic (detecció automàtica d'eina) | Quart eix (sistema d'esmolat alternatiu) | Versió (de - a + complerta) |
|--|--|---|------------------------------------|
| NO | NO | NO | Bàsica |
| SI | NO | NO | 1 complement |
| NO | SI | NO | 1 complement |
| NO | NO | SI | 1 complement |
| NO | SI | SI | 2 complements |
| SI | NO | SI | 2 complements |
| SI | SI | NO | 2 complements |
| SI | SI | SI | Màxima |

Taula 1: versions del model CU PRO en funció dels seus complements

Les variables d'eixos i motors són paràmetres que alteren el funcionament d'aspectes delicats com el recorregut o les velocitats dels eixos motoritzats, i que cal modificar amb compte. Aquestes variables són:

- Increment de velocitat: és una constant que modifica la velocitat de l'eix X. El seu valor depèn del driver que controla físicament el motor.
- Velocitat eix Z: magnitud que determina la velocitat de l'eix Z. El seu valor també depèn del driver associat a l'eix.
- Temps d'acceleració i desacceleració: gradua la força d'acceleració i desacceleració del moviment en l'eix X. Expressada en milisegons
- Recorreguts en els eixos Y i Z: Estableix la distància màxima, partint de la posició zero del referenciat, a la que poden moure's els eixos. Expressats en nombre de steps motors.

Adicionalment, el menú secret també mostra les hores de treball acumulades.

L'usuari també pot entrar en un mode de proves I/O, que permet fer un testeig ràpid del funcionament dels inputs i outputs principals de la màquina, per comprovar-ne l'estat. Es tracta d'una pantalla senzilla que informa de l'estat actual dels pins de l'encoder de navegació, dels polsadors i dels sensors finals de carrera, mostrant per a cadascun un 1 si el pin està en estat alt (amb corrent), i un 0 si està en estat baix (sense corrent).

4.4. Menú inicial

El cas d'ús 3 mostra la interacció de l'usuari amb el sistema quan es troba al menú inicial:

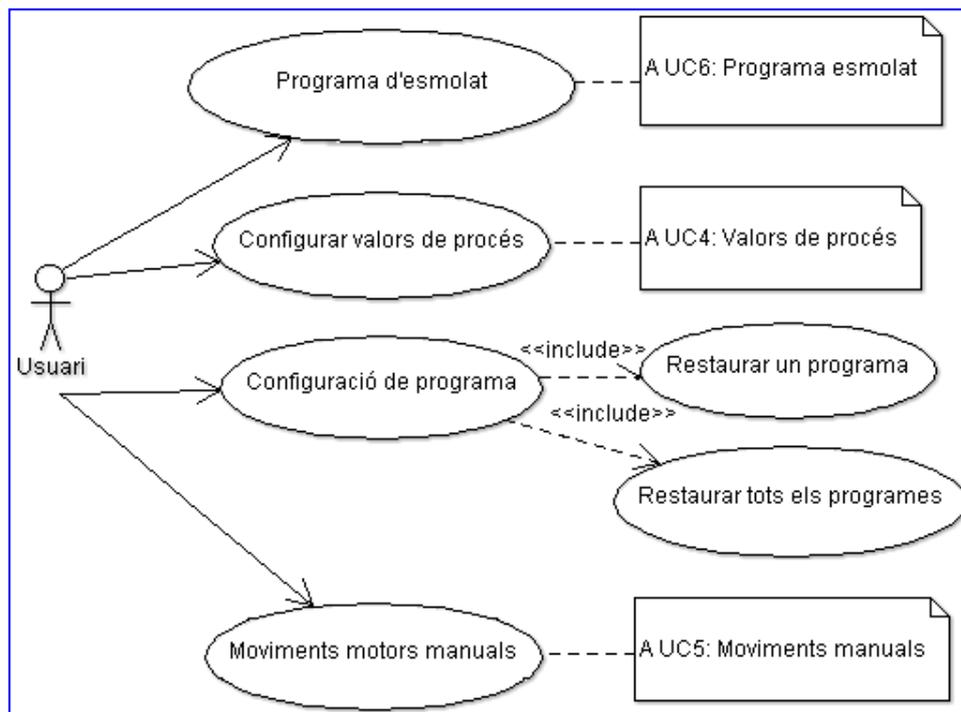


Figura 13: cas d'ús 3: menú secret

El menú inicial és el punt de partida del sistema, des d'on l'usuari pot accedir, directament o en alguns passos, a la resta de casos d'ús.

El programa d'esmolat és la secció on l'usuari configura els paràmetres d'esmolat, i posteriorment executa el procés d'esmolat. Té a la seva disponibilitat un total de 12 programes d'esmolat diferents, 8 reservats a l'esmolat d'eines planes, i 4 al dentat de cintes metàl·liques. D'aquesta manera el sistema permet guardar i recuperar les configuracions d'esmolat més utilitzades per l'usuari.

Els valors de procés és la secció on s'editen variables de màquina o de sistema, però a diferència del menú secret, aquestes variables no són comprometedores i el client les pot editar pel seu compte.

La configuració de programa permet restaurar la configuració dels diferents programes d'esmolat disponibles.

Els moviments motors manuals, és la secció on l'usuari pot moure lliurement qualsevol dels eixos.

4.5. Valors de procés

El cas d'ús 4 mostra la interacció de l'usuari amb el sistema quan es troba a valors de procés:



Figura 14: cas d'ús 4: valors de procés

En aquesta secció l'usuari pot editar variables de màquina, i tornar al menú inicial. Les variables de màquina editables són les següents:

- Número de sèrie software: és un codi que si bé té aquest nom, la seva funció real és bloquejar la funció d'esmolat de la màquina, en casos d'impagaments; si el client ha esmolat una quantitat d'hores estipulades i encara no ha efectuat tot el pagament, s'activa un bloqueig automàtic que no permet esmolat, i només es desbloqueja entrant, en aquesta variable, el codi correcte. Val a dir, que encara no ha estat necessari utilitzar-lo mai.
- On/Off bomba d'aigua: activa o desactiva el circuit d'aigua en la secció de moviments manuals de màquina. La circulació d'aigua és essencial en el procés d'esmolat per evitar que el material no es cremi. No obstant, també pot ser útil tenir un sortidor d'aigua a la secció de moviments manuals per netejar la banyera.
- Offset respecte l'angle 0 de l'eix A: permet alterar la posició de referenciat de l'eix A, per tal que el referenciat deixi la barra de subjecció físicament recte del tot, sense

cap grau d'inclinació. És un valor molt important perquè un error de tan sols 0.5 graus en l'esmolat pot malmetre les eines de tall. Expressat en dècimes de grau.

- Sensibilitat de la detecció automàtica d'eines: permet graduar el grau de sensibilitat amb què el programa llegirà la senyal analògica del sensor de vibracions, en la detecció automàtica d'eines. Segons el material de la mola i de l'eina de tall, cal reduir o augmentar aquesta sensibilitat.
- Compensació detecció automàtica d'eines: estableix una petita distància que s'aplicarà al punt inicial de càrrega d'esmolat obtingut amb la detecció automàtica d'eines, fent que el procés d'esmolat pugui començar amb una càrrega d'esmolat més suau. Això evita que algunes de les eines fixades a la barra pateixin un esmolat inicial massa fort. Expressada en micròmetres.
- Velocitat eix X en mode manual: és el valor de velocitat de l'eix X per moviments manuals, que juntament amb el valor d'increment de velocitat del menú secret, generen la velocitat final.
- Avanç per instrucció dels eixos Y i Z: determina la quantitat de micròmetres que els motors dels eixos Y i Z es mouran per cada instrucció de moviment donada per l'usuari.

4.6. Moviments manuals de màquina

El cas d'ús 5 mostra la interacció de l'usuari a l'apartat de moviments manuals:

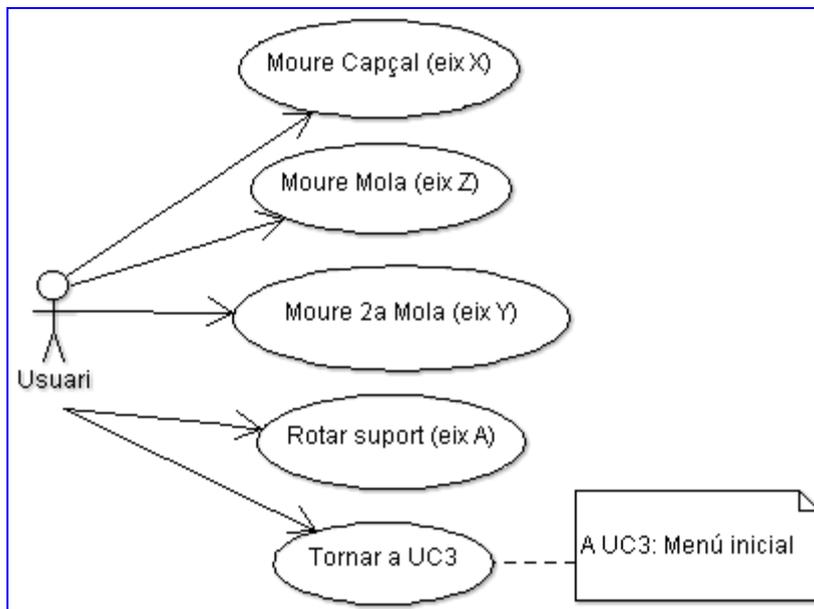


Figura 15: cas d'ús 5: moviments manuals de màquina

En aquesta secció, l'usuari pot moure lliurement tots els eixos motoritzats de forma individual, dins els límits de recorregut establerts per a cada eix. Quan finalitza, pot tornar al menú inicial.

4.7. Configuració d'esmolat

El cas d'ús 6 mostra el mapa general de la interacció de l'usuari en l'apartat de configuració de programa d'esmolat:

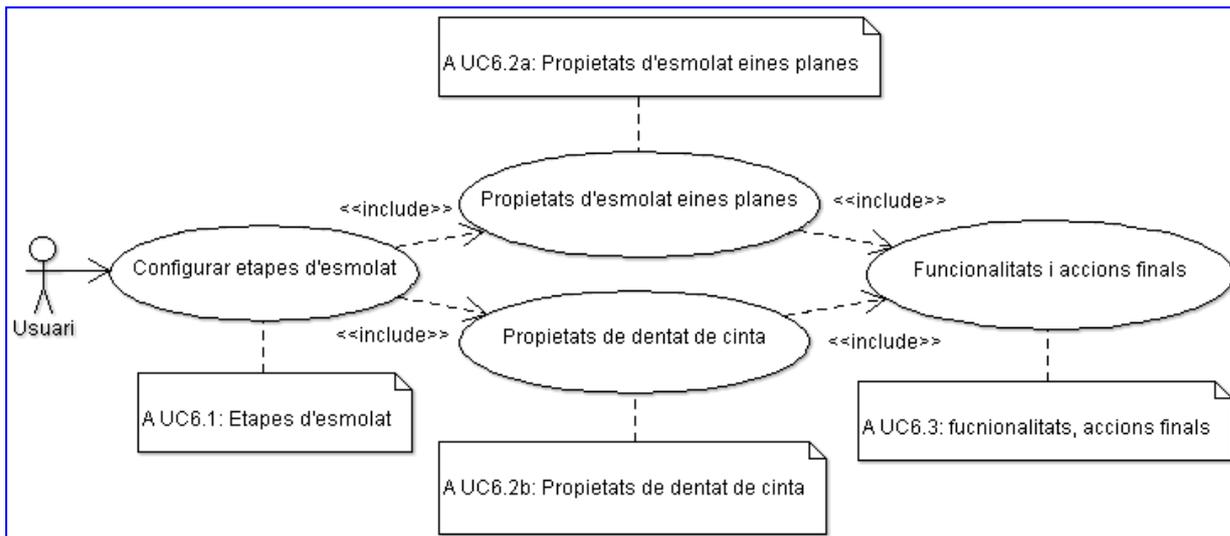


Figura 16: cas d'ús 6: passos de configuració d'un programa d'esmolat

En un primer pas, el sistema permet configurar les etapes d'esmolat. Seguidament, l'usuari entra a configurar les propietats de l'esmolat d'eines planes, o bé a les de dentat de cinta, en funció de si l'esmolat que realitzarà és el d'eines planes, o el de dentat de cinta. Com a pas final, l'usuari entra a un últim pas de selecció de serveis i accions que s'explicaran en el cas d'ús associat.

El cas d'ús 6.1 mostra la interacció de l'usuari en l'edició d'etapes d'esmolat:

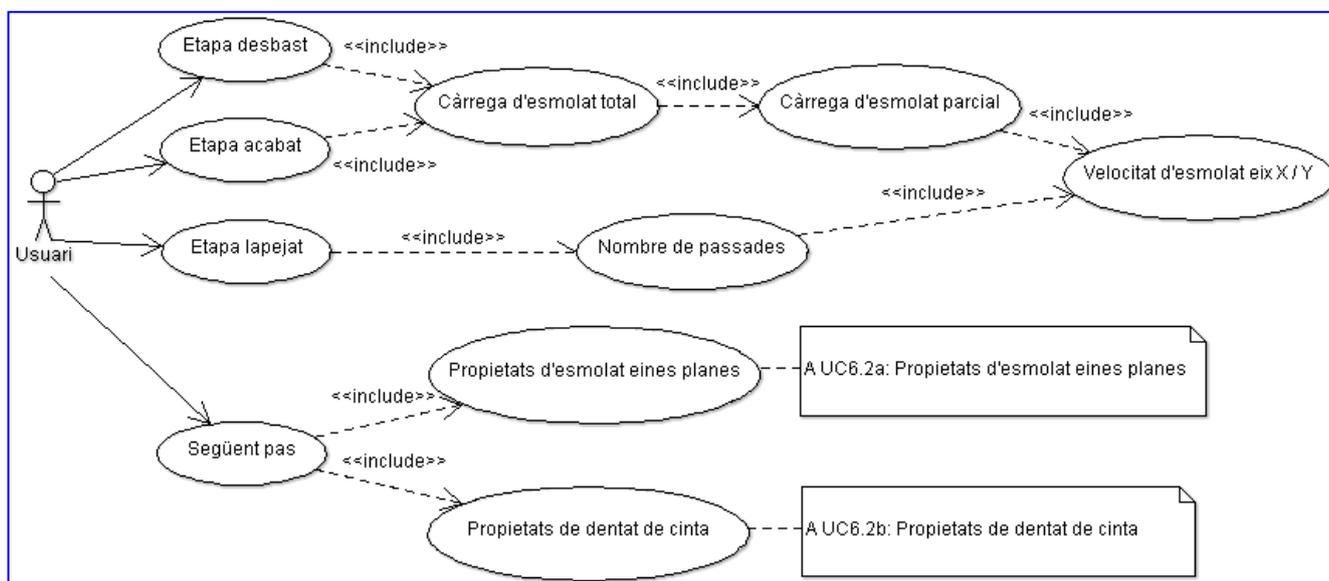


Figura 17: cas d'ús 6.1: configuració d'etapes d'esmolat

Les etapes de desbast i acabat tenen una càrrega d'esmolat total, que es divideix pel nombre de càrregues parcials que tinguin. Cada passada d'esmolat aplica una càrrega d'esmolat parcial, que es van acumulant. Quan arriben a la suma de la càrrega total, l'etapa d'esmolat actual finalitza. S'expressen en micres de metre.

L'etapa de lapejat, al no tenir càrregues es basa en passades sense càrrega. Quan hagi aplicat totes les passades d'esmolat, haurà finalitzat.

Les tres etapes al seu torn, tenen una velocitat d'esmolat associada a les passades. Com més ràpida passi la mola per sobre les eines de tall, menys polides queden.

El cas d'ús 6.2a mostra la interacció de l'usuari en l'edició de les propietats d'esmolat sobre eines planes:

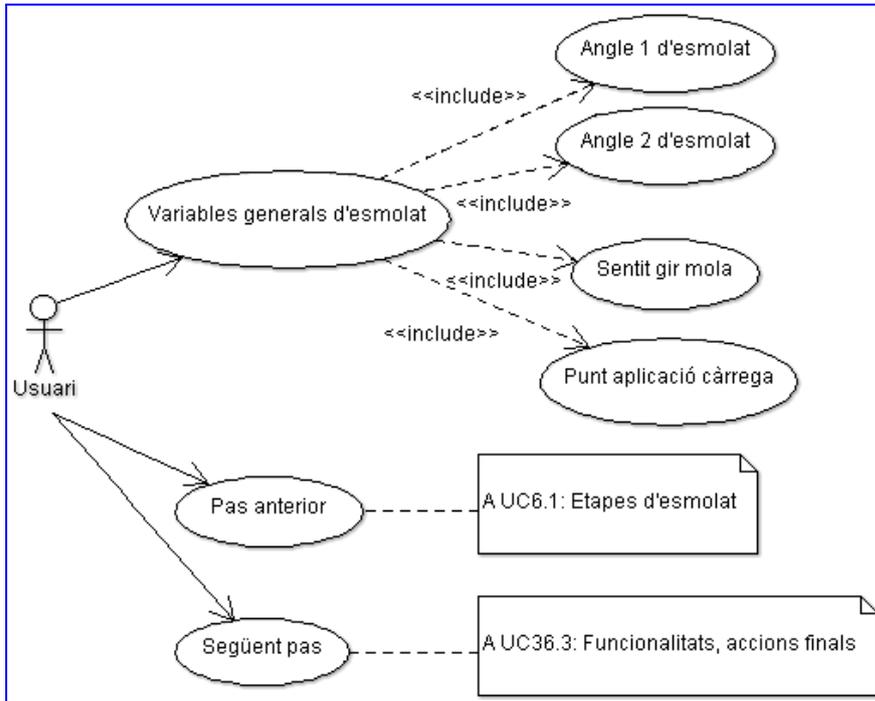


Figura 18: cas d'ús 6.2a: configuració d'esmolat d'eina plana

Els dos angles indiquen el grau d'inclinació sobre el qual la mola esmolatà les fulles. Si es configuren dos angles d'esmolat, vol dir que les fulles de les eines s'han d'esmolat des de dos posicions, i per tant les etapes d'esmolat s'executaran dos cops, un per cada angle. En altres paraules, s'executaran dos processos d'esmolat consecutius. Expressats en dècimes de graus.

El sentit de gir de la mola (horari o antihorari) s'ha de establir en funció de l'orientació de les fulles.

El punt d'aplicació de càrrega, indica en quin dels extrems del recorregut de la mola sobre les eines (eix X de la Figura 6) s'aplicarà la següent càrrega i passada d'esmolat associada. En el cas d'escollir l'extrem dret, cada passada d'esmolat fa un viatge d'anada i tornada des d'aquest extrem. En cas d'escollir ambdós extrems, cada passada fa només un trajecte d'extrem a extrem oposat.

Finalitzat aquest pas, l'usuari pot tornar al pas anterior o anar al següent.

El cas d'ús 6.2b mostra la interacció de l'usuari en l'edició de propietats de dentat sobre cintes:

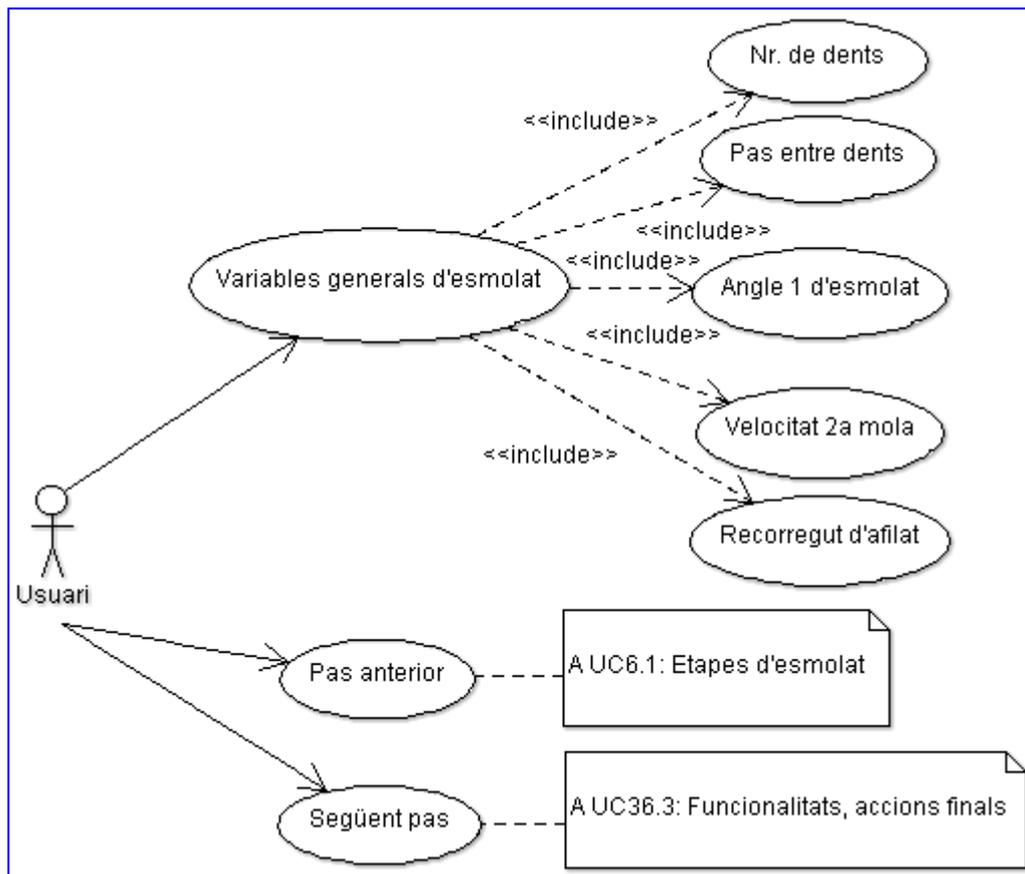


Figura 19: cas d'ús 6.2b: configuració de dentat de cinta

Com ja s'ha esmentat en el punt [2.2.3](#), el dentat de cintes metàl·liques es basa en el nombre de dents que cal dentar, per lo que ha de ser una variable configurable. També ho ha de ser el pas entre dents, que marca la separació, en dècimes de mil·límetre.

A diferència de l'esmolat d'eines planes, el dentat només es realitza en un grau d'inclinació, expressat en dècimes de grau. L'altre diferència notable, és que la mola vinculada al dentat pot tenir diferents velocitats de gir, expressades en rpm (revolucions per minut). L'última variable configurable és el recorregut d'afilat, que marcarà la longitud de les dents formades.

Finalitzat aquest pas, l'usuari pot tornar al pas anterior o anar al següent.

El cas d'ús 6.3 mostra la interacció de l'usuari en el pas final de configuració d'esmolat:

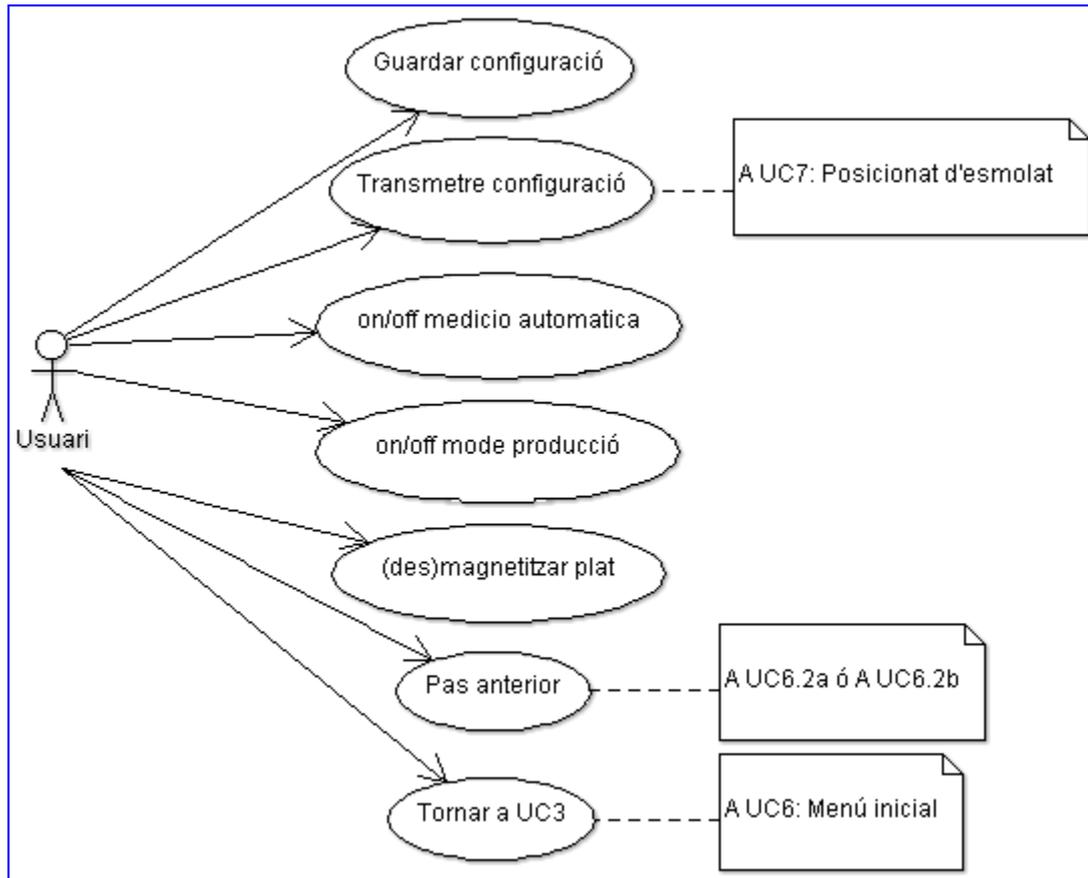


Figura 20: cas d'ús 6.3: funcionalitats i accions finals de configuració d'esmolat

És la secció prèvia al posicionament de mola. Les funcionalitats i accions vinculades a l'esmolat que l'usuari pot editar en aquest últim pas són les següents:

- Guardar i transmetre: El guardat permet salvar la configuració del programa d'esmolat actual a memòria interna. El transmetre, a més de guardar "transmet" el programa d'esmolat actual cap al procés d'esmolat, iniciant el posicionament de mola.
- Activar medicio automàtica: fa referència a la detecció automàtica d'eina. Les versions que disposen d'aquest complement, en poden fer ús o no.
- Magnetitzar plat: fa referència al magnetitzar de la barra de subjecció d'eines de tall, exclusiu per a les versions amb barra magnètica. Si la barra encara no està magnetitzada, ara és el moment de fer-ho.
- Activar mode producció:

El mode producció fa referència a l'automatització del propi procés d'esmolat. Si està desactivat, quan el procés d'esmolat finalitza el sistema torna a aquesta secció; si es vol iniciar un nou procés d'esmolat, cal repetir novament el posicionament de mola.

Si el mode producció està activat, quan el procés d'esmolat finalitza el sistema es manté per defecte dins de la secció de procés d'esmolat, mantenint la configuració d'esmolat transmesa i el posicionament de mola aplicat, a l'espera de realitzar un

procés d'esmolat idèntic a l'anterior. És de molta utilitat qual l'usuari vol esmolar més eines idèntiques a les prèviament polides.

Finalment, en aquest punt l'usuari també pot anar al pas anterior, o bé sortir al menú inicial.

4.8. Posicionament de mola

El cas d'ús 7 mostra la interacció de l'usuari en el posicionament de mola:

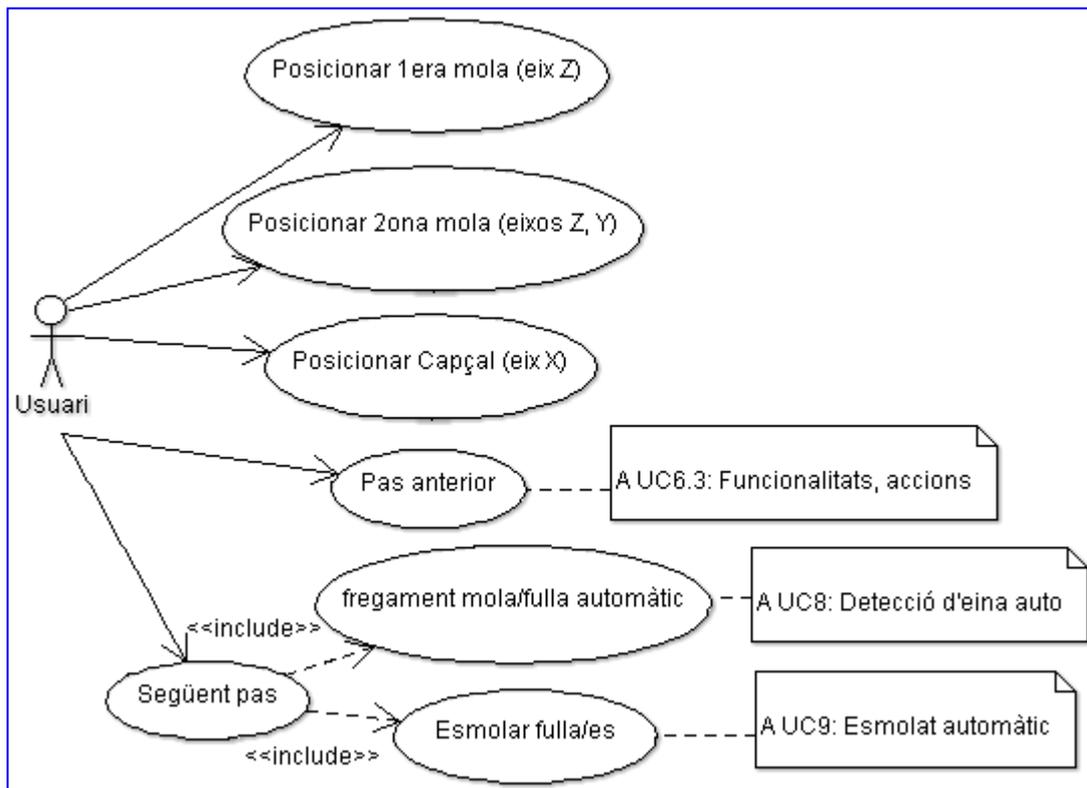


Figura 21: cas d'ús 7: posicionament de mola

Per tal d'establir el contacte entre mola i eina, l'usuari pot moure lliurement els eixos X i Z per a l'esmolat d'eines planes, i a més l'eix Y si es tracta de dentat de cintes. En cas d'esmolat d'eines planes, si la medició automàtica està activada només és necessari situar la mola en l'eix X, ja que en l'eix Z és tasca de la detecció automàtica d'eina.

Quan l'usuari ho decideix, pot iniciar el procés d'esmolat automàtic. Si la medició està activada, abans entra a la detecció automàtica d'eina. En qualsevol cas també, l'usuari té l'opció de cancel·lar el posicionament de mola i tornar al cas d'ús 6.3

4.9. Detecció automàtica d'eina

El cas d'ús 8 mostra la interacció de l'usuari en el sistema de detecció d'eina:

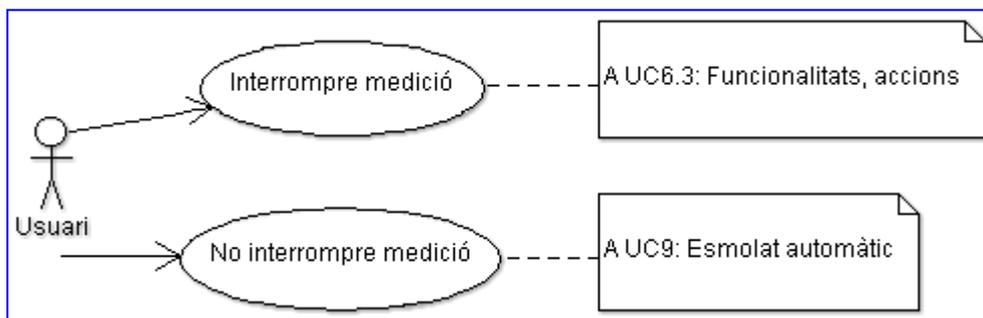


Figura 22: cas d'ús 8: detecció automàtica d'eina

La detecció d'eina és un procés automàtic on l'usuari no intervé. No obstant, sempre té l'opció de cancel·lar el procés en qualsevol moment i tornar al cas d'us 6.3. Si no intervé l'usuari, quan la detecció finalitza el sistema entra al procés d'esmolat.

4.10. Procés d'esmolat automàtic

El cas d'ús 9 mostra la interacció de l'usuari en el procés d'esmolat automàtic. S'hi inclou tan l'esmolat d'eines planes com el dentat de cintes:

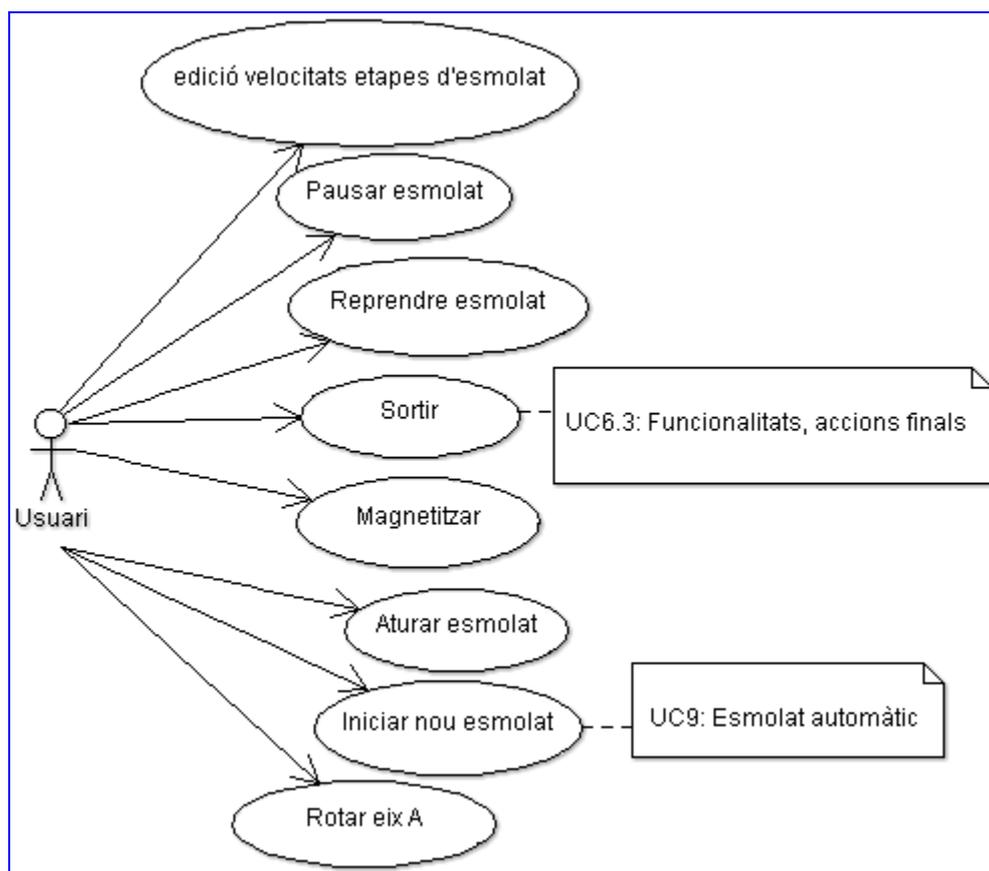


Figura 23: cas d'ús 9: procés d'esmolat automàtic

Si bé el procés d'esmolat es fa automàticament, l'usuari té un ventall d'accions disponibles per intervenir-hi.

Si l'usuari està realitzant un esmolat pla, pot editar dinàmicament la velocitat de les passades d'esmolat de les tres etapes (desbast, acabat i lapejat); si s'està executant el acabat per exemple, i s'edita la velocitat de l'acabat, els efectes dels canvis són immediats.

També té l'opció de rotar la barra de subjecció (eix A de la Figura 6) a dos posicions: angle 0° (per a treure les eines de tall sense inclinació) i angle d'esmolat (l'estipulat a la part del sistema de configuració d'esmolat).

Si la màquina disposa de barra de subjecció magnètica, existeix una última opció de magnetitzar o desmagnetitzar la barra.

L'usuari pot pausar o aturar el procés en qualsevol moment.

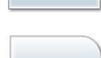
Si l'atura i el mode producció està desactivat, el sistema torna al cas d'ús 6.3. Si per contra el mode producció està activada o bé l'usuari pausa el procés, el sistema roman a la secció en estat de repòs.

Quan el procés està en mode pausat, pot reprendre l'esmolat en el punt on l'ha aturat, o sortir al cas d'ús 6.3. Quan el procés està en mode aturat, l'usuari pot iniciar ràpidament un nou esmolat o bé sortir novament al cas d'ús 6.3.

5. Disseny

En aquesta secció del projecte es presenta el disseny aplicat per les parts més importants del programa a desenvolupar, a través de diagrames que n'il·lustren el seu flux.

Per tal d'aclarir i fer més fàcil la lectura dels diagrames de flux, prèviament s'explica la funció que tenen els diferents 'shapes' que hi apareixen:

-  Inici / Fi del programa
-  Processos o rutines executades
-  Subprocessos o subrutines d'un procés executat
-  Punt de decisió
-  Informació mostrada per pantalla
-  Lectura de dades (Inputs)
-  Escriptura de dades (Outputs)
-  Loop
-  Detenció de flux (delay)
-  Escriptura a memòria interna
-  Diagrama de flux

5.1. Inicialització de màquina

El diagrama de flux 1 representa el flux del programa en la inicialització de màquina:

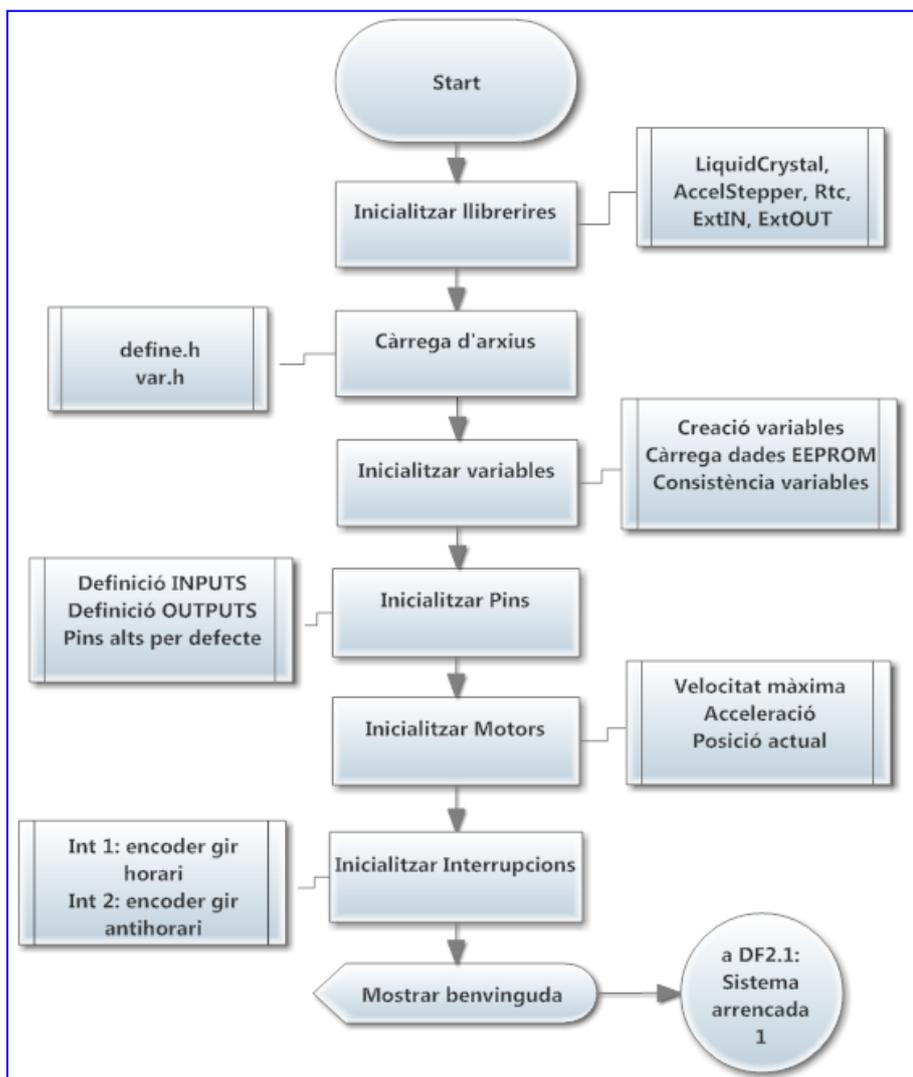


Figura 24: diagrama de flux 1: part de programa "Inicialització màquina"

En la càrrega d'arxius, "var.h" conté totes les variables globals. "define.h" conté totes les constants i identificadors dels pins IN/OUT.

En la inicialització de variables, és necessari comprovar els valors recuperats de la EEPROM, per tal de detectar inconsistències degudes a possibles defectes de memòria. En tal cas, a les variables perjudicades se les assigna un valor per defecte.

Les interrupcions inicialitzades, són les vinculades a detectar els moviments giratoris dels encoders.

Finalitzada la inicialització, el flux duu l'execució l'arrencada de màquina.

5.2. Sistema d'arrencada

El sistema d'arrencada és la part del programa que, un cop inicialitzats tots els paràmetres, s'encarrega d'avaluar certes condicions que cal comprovar quan el sistema s'inicia, i de dur a l'usuari al flux principal del programa.

El diagrama de flux 2.1 representa el primer bloc del flux del programa en l'arrencada de màquina:

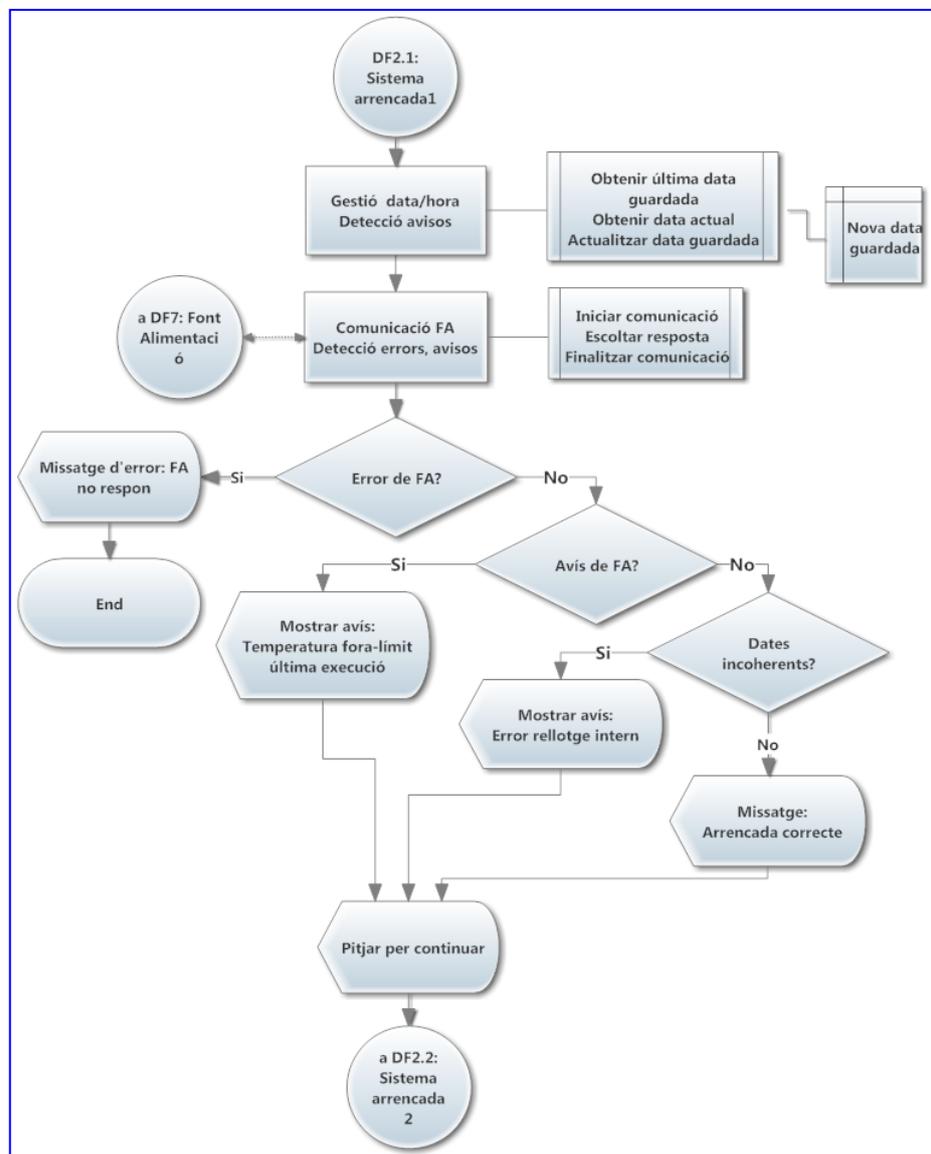


Figura 25: diagrama de flux 2.1: bloc 1 del sistema d'arrencada

En un primer pas, comprova la data actual del rellotge intern amb l'última data registrada, i en cas d'error temporal, prepara un avís de rellotge.

En un segon pas, el programa espera a rebre informació de la font d'alimentació. El programa té un mòdul independent, carregat a un microprocessador a part situat a la placa de la Font d'Alimentació (a partir d'ara, FA). L'esquema hardware i de microprocessadors s'explica en el punt 6.1 del projecte, i el flux d'aquest mòdul en el punt 5.3. Per ara, només cal saber que una de les missions d'aquest mòdul situat a la FA, és donar una resposta al punt actual del flux que ens ocupa.

Seguidament, el programa gestiona la resposta de la FA i l'avís de rellotge:

Si no s'ha rebut una resposta de la FA en un temps prudencial, el programa entén que ha passat quelcom inesperat, mostrant un missatge d'error i finalitza. En cas contrari, es mostra a l'usuari el resultat correcte de l'arrencada. El resultat correcte pot tenir tres estats: sense defectes, amb avís de temperatura de la FA, i amb avís d'error de rellotge.

Mostrat el missatge d'arrencada, s'espera a que l'usuari premi l'encoder. El diagrama de flux 2.2 mostra el segon bloc del flux del sistema d'arrencada:

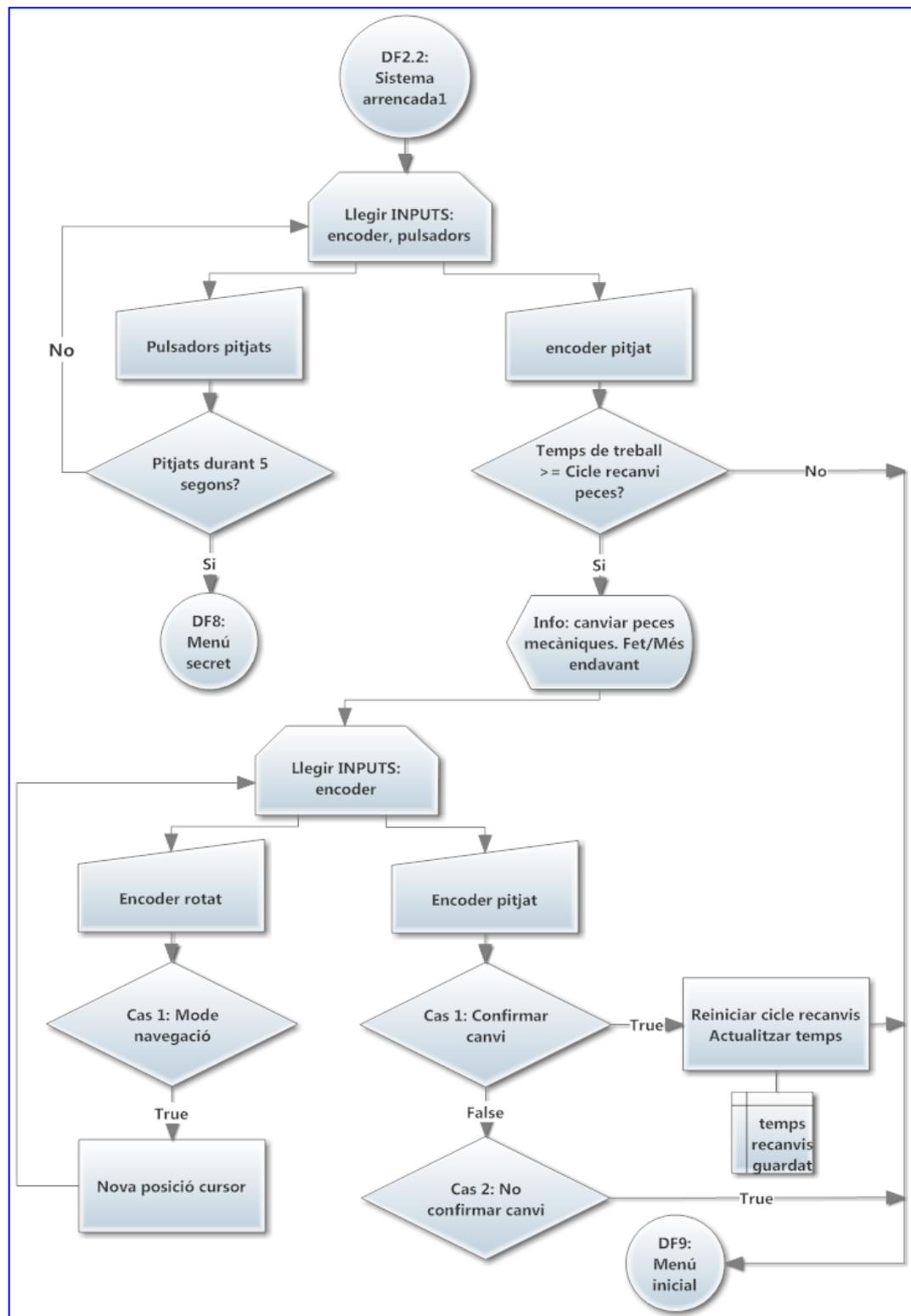


Figura 26: diagrama de flux 2.2: bloc 1 del sistema d'arrencada

En aquest punt, l'usuari pot accedir al flux normal del programa (menú inicial) pitjant l'encoder, o accedir al menú secret pitjant els botons polsadors durant 5 segons.

Si vol accedir al menú inicial, prèviament es comprova el nombre d'hores treballades que la màquina ha acumulat. En cas de no excedir el límit, el flux continua normalment. Si ja ha excedit el límit, s'indica a l'usuari que és el moment de canviar certes peces mecàniques per motius d'ús, i se n'espera una resposta.

Si l'usuari respon afirmativament, s'entén que ha realitzat els canvis, es reinicia el temporitzador d'hores treballades guardant el nou valor a memòria interna, i el flux va al menú inicial. Si l'usuari respon negativament, també accedeix al menú inicial, però fins que no respongui afirmativament se li mostrarà aquest avis en cada arrencada de màquina.

5.3. Mòdul de la font d'alimentació

En aquesta secció es detalla el flux del mòdul del programa dedicat a la FA, mencionat en l'apartat [5.2](#) anterior. El seu objectiu és tractar aspectes bàsics de determinen la viabilitat de posar en marxa la màquina. Aquest mòdul és un procés que corre en paral·lel, i en la seva arrencada estableix un protocol de comunicació amb la resta del programa com el mostrat a la Figura 27:

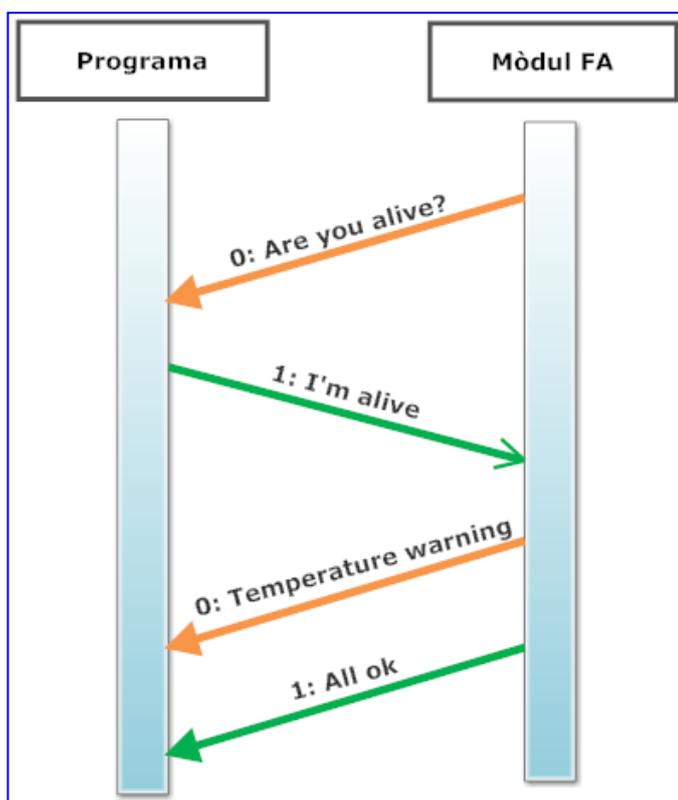


Figura 27: protocol de comunicació entre Programa i mòdul de programa

Tan bon punt la font d'alimentació rep corrent, el mòdul inicia el seu flux. Un dels seus primers passos, és aplicar corrent a la placa on està la resta del programa, fent que aquest també s'iniciï.

En aquest punt, el mòdul com a màster envia una petició al programa per saber si està viu. Si rep una resposta, entén que pot seguir normalment, i després de comprovar la temperatura (amb l'ajut del sensor de temperatura), envia el resultat i finalitza la comunicació. Aquesta resposta està comentada al diagrama de flux del punt [5.2](#).

La font d'alimentació disposa de 4 leds en fila que indiquen el seu estat. Durant l'arrencada el mòdul va comprovant diferents aspectes. Per cada un que generi resposta negativa, s'activen uns leds o altres i la màquina no arrenca. La taula 2 mostra els diferents estats dels leds i el seu significat:

| Estat Leds | Significat |
|--|--|
| [1,0,0,0] | Botó d'emergència activat. Màquina no arrenca |
| [0,1,0,0] | Temperatura actual excessiva. Màquina no arrenca |
| [0,0,1,0] | Programa no respon. Màquina no arrenca |
| [1,1,1,1] (2 segons) | Mòdul arrenca OK. S'aplica corrent i màquina arrenca |
| [0,0,0,0] (després d'arrencada) | Estat normal de màquina funcionant. |

Taula 2: estats dels leds de la font d'alimentació i el seu significat

Durant el funcionament normal de la màquina, el mòdul de la font d'alimentació segueix funcionant. A cada minut llegeix la temperatura actual i en cas de trobar-ne una d'excessiva, no fa aturar la màquina, sinó que guarda un avís de temperatura, que serà enviat al programa a través del protocol de comunicació anteriorment esmentat.

5.4. Moviments manuals de màquina

El diagrama de flux 4.1 mostra la inicialització de la secció de moviments manuals:

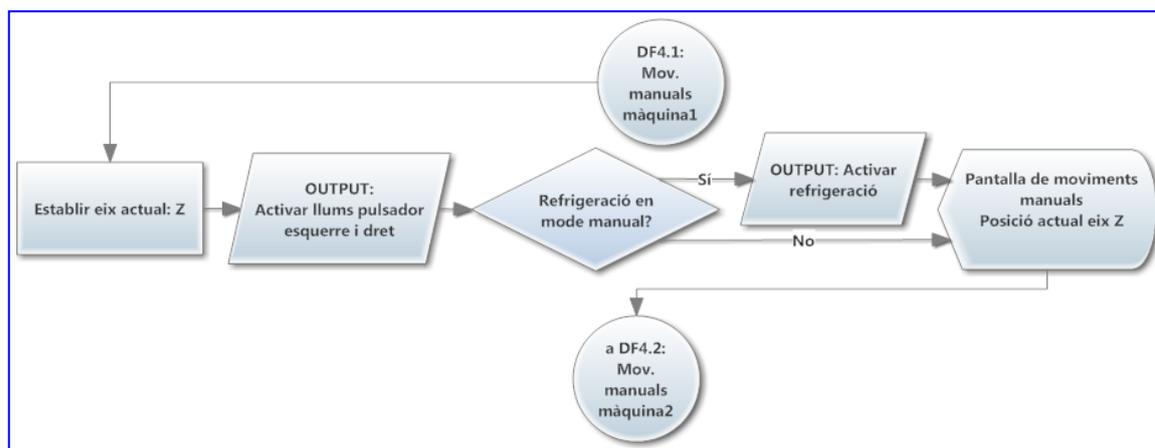


Figura 28: diagrama de flux 4.1: inicialització de "Moviments manuals de màquina"

Al entrar a la secció de moviments manuals, el programa estableix l'eix Z com a eix que per defecte es podrà començar a moure. Les llums dels pulsadors s'encenen indicant que ara tindran una acció associada, moure l'eix X. Es comprova si la refrigeració en mode manual esta activa i en tal cas, s'activa la bomba d'aigua per a que l'aigua circuli per la banyera.

Fianlment, es mostra la pantalla dels moviments manuals amb la posició actual de l'eix Z. La posició dels eixos s'actualitza sempre que aquests es mouen, per tant el valor de posició mostrat és coherent tant amb els moviments que es produeixen en aquesta secció, com en els produïts al posicionament de mola o al procés d'esmolat.

El diagrama de flux 4.2 mostra el flux del programa en els moviments manuals:

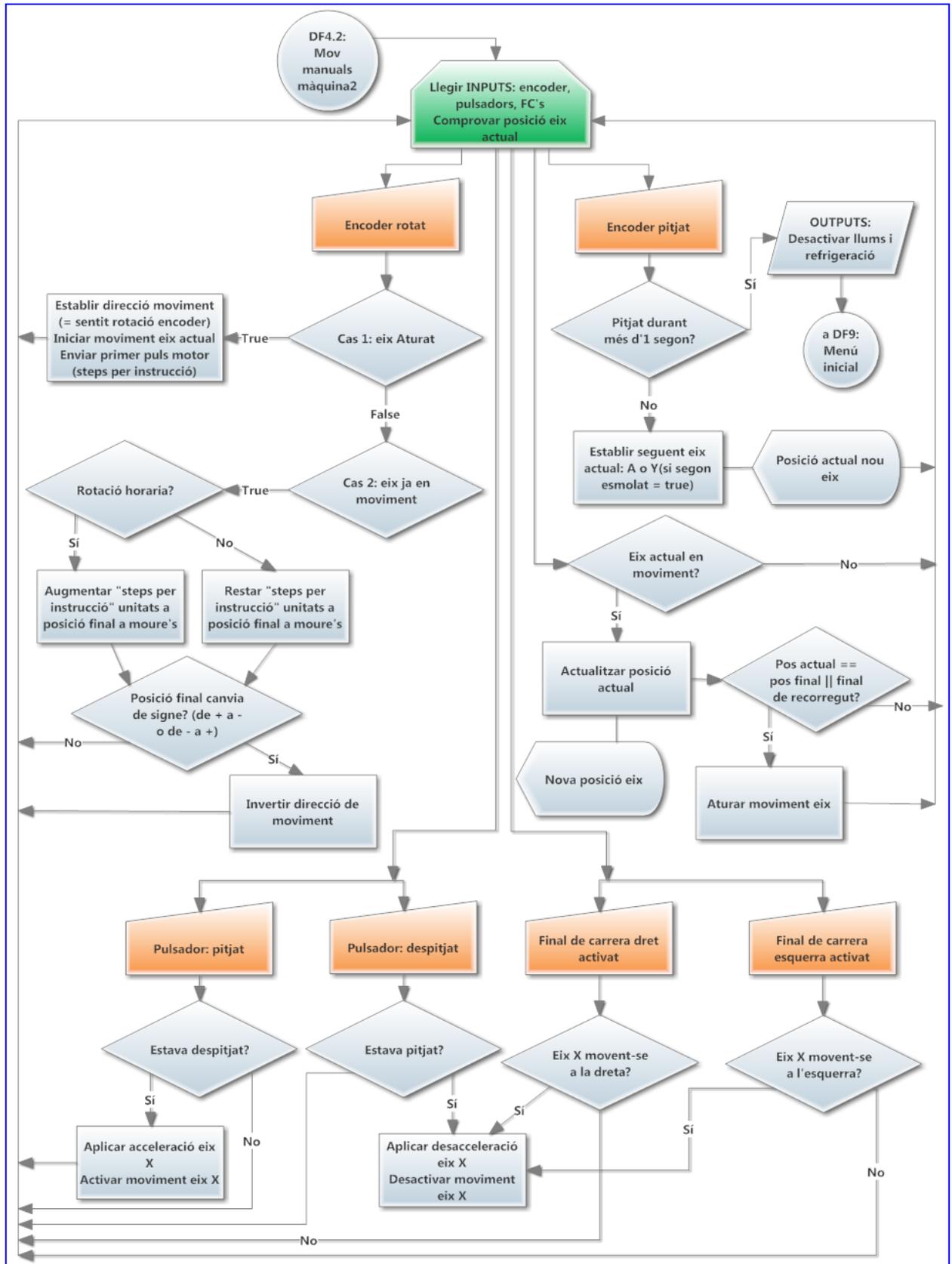


Figura 29: diagrama de flux 4.2: moviments manuals de màquina

El flux dels moviments manuals de màquina és bàsicament un loop (shape pintat en verd) de constants comprovacions de pins d'entrada (Inputs). Seguidament, es detalla la funció de cada input (shapes pintats en vermell):

○ Input de rotació de l'encoder detectat:

Mou els eixos motoritzats Y, Z o A en un sentit o en un altre aplicant polsos motors. La rotació horària augmenta la distància a desplaçar en un sentit, i la anit horària en l'altre.

Aquests eixos que controla l'input de rotació de l'encoder tenen control de posició, per tant no necessiten finals de carrera per saber quan aturar-se. La posició d'eix es va actualitzant cada fracció de temps sempre que encara resti moviment.

○ Input de pitjat d'encoder detectat:

Té dues funcions associades: si es pitja i es despitja ràpidament, substitueix l'eix actual a moure pel següent, fent un cicle de crides Z->A->Y->Z.

Si es pitja durant un segon o més, El flux de programa surt al menú inicial novament. Val a dir que per temes de seguretat només es pot canviar d'eix o sortir si tots els motors estan en repòs.

○ Input dels botons pulsadors detectat:

Mou l'eix X sense control de posició, i per tant necessita un final de carrera a cada extrem per saber els seus límits de recorregut.

Mentre estigui un dels dos pulsadors pitjats, el motor mourà l'eix X en la direcció associada al pulsador (pulsador dret, eix cap a la dreta) fins que l'usuari despremi el pulsador o bé s'activi el final de carrera associat a la direcció actual, moment en què el motor s'atura. Val a dir que per temes de fiabilitat de posició i velocitat del microprocessador, només es pot moure un eix simultàniament.

Els moviments que es generen per a l'eix X no venen accelerats per defecte, per lo que les seves acceleracions i desacceleracions s'han d'implementar. Aquesta problemàtica queda recollida en el punt [6.4](#).

5.5. Posicionament de mola

El diagrama de flux 5.1 mostra la inicialització del posicionament de mola:

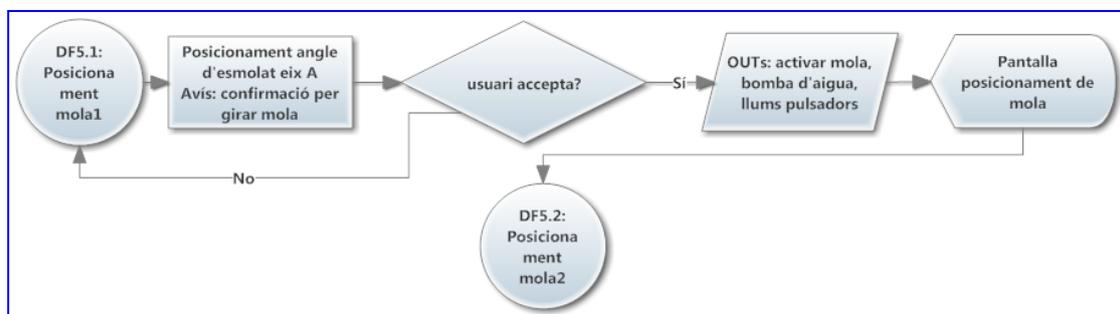


Figura 30: diagrama de flux 5.1: inicialització de posicionament de mola

Quan l'usuari transmet una configuració d'esmolat per a ser esmolada, la barra de subjecció es posiciona al primer angle d'esmolat. Abans d'entrar al posicionament de mola s'avis a l'usuari per seguretat que la mola començarà a girar. Si accepta, el programa continua endavant, en cas contrari torna a la secció anterior.

Acceptat l'avís, s'activen mola, llums botons, l'aigua comença a circular a la zona on s'esmolrà i es mostra per pantalla la informació relativa al posicionament de mola.

El diagrama de flux 5.2 mostra el flux del programa al posicionament de mola:

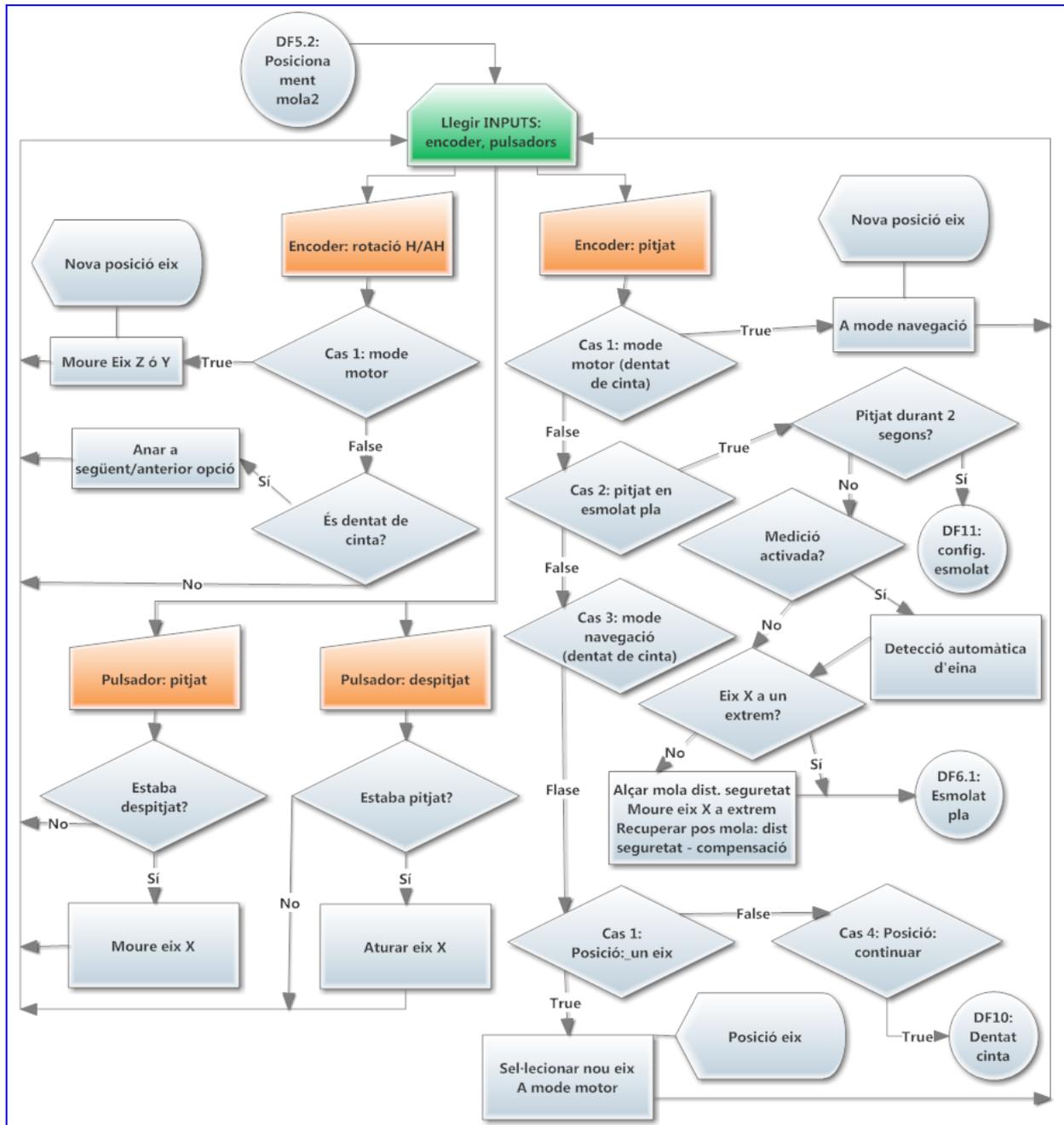


Figura 31: diagrama de flux 5.2: part del programa "posicionament de mola"

El flux fa una lectura constant dels encoders i els pulsadors, decidint en cada moment què fer. Tot seguit, es mostra la presa de decisions en funció dels inputs detectats (shapes vermells):

- Rotació d'encoder detectada:

Si el programa està en mode motor, l'encoder motor fa moure l'eix Actual (Z o Y) en la direcció indicada. Si està en mode navegació per pantalla, el cursor es mou a la següent opció disponible.

- Encoder pitjat durant menys de dos segons en un posicionament d'esmolat pla:

Si es pitja durant menys de dos segons, el programa realitza la detecció automàtica d'eina en cas de medicció activada, obtenint la posició inicial d'esmolat.

Seguidament, si el capçal no està en un dels extrems del recorregut de l'eix X (això és, no es detecta final de carrera), el capçal s'hi ha de desplaçar per a iniciar el procés d'esmolat des de la primera eina fixada a la barra. Per tal de no afectar a les eines durant aquest recorregut, abans de moure's la mola s'alça uns mil·límetres de seguretat, i un cop situada a un extrem, recupera la posició inicial d'esmolat, tenint en compte el valor de compensació (explicat en el punt [4.4](#)) que rectifica lleugerament aquesta posició.

Posicionat el capçal a un extrem, s'inicia el procés d'esmolat.

- Encoder pitjat durant menys de dos segons en posicionament de dentat de cinta:

Si el programa estava en mode motor, torna al mode navegació per pantalla i esborra la posició de l'eix que s'estava movent. Si estava en mode navegació i en posició de seleccionar eix, entra en mode motor i mostra la posició de l'eix acabat d'escollir. Per últim si en mode navegació es pitja a l'opció de continuar, entra al procés de dentat de cinta.

- Encoder pitjat durant més de dos segons en posicionament d'esmolat pla:

En aquest cas, el programa surt del posicionament de mola i torna a la configuració d'esmolat.

- Polsadors pitjats:

Com en la secció de programa de moviments manuals, serveixen per a moure el capçal en l'eix X al llarg del recorregut marcat pels finals de carrera.

Mentre el procés d'esmolat s'executa, el flux del programa fa una lectura constant de l'encoder de navegació, els pulsadors i els finals de carrera de l'eix X, decidint en cada moment què fer. Tot seguit, es mostra la presa de decisions en funció dels inputs detectats (shapes vermells) :

- Rotació d'encoder detectada:

Si el programa està en mode navegació per pantalla, el cursor es mou per les diferents opcions comentades al punt 4.9: modificar velocitat d'esmolat (en l'eix X) de les tres etapes d'esmolat (desbast, acabat i lapejat), rotar la barra i magnetitzar la barra.

Si està en mode edició, altera la variable velocitat actual. Si a més el procés d'esmolat està en execució, i l'etapa d'esmolat actual es correspon amb la velocitat modificada, s'aplica el canvi de velocitat a l'eix X al moment.

- Pitjat d'encoder detectat amb el procés d'esmolat aturat:

Si la màquina disposa de barra magnètica, i el cursor de navegació està situat a l'opció de magnetitzar, l'usuari pot magnetitzar la barra, si prèviament estava desmagnetitzada, o bé desmagnetitzar la barra. En cas de desmagnetitzar-la, es comprova que la barra estigui a 0 graus, i en cas contrari se la fa rotar a aquesta posició.

Si el cursor de navegació està situat a alguna de les velocitats, el programa entra en mode edició de variable.

Finalment, si el cursor es troba a l'opció de moure el la barra (eix A), rota la barra a 0 graus si estava als graus d'esmolat, o bé als graus d'esmolat si es trobava a 0 graus.

- Pitjat d'encoder detectat amb el procés d'esmolat pausat:

Ofereix les mateixes opcions que en el cas d'esmolat aturat, a excepció del magnetitzat, que no es permet. El motiu és que el desmagnetitzat s'utilitza per treure les eines un cop ja s'han esmolat, i en mode pausat el procés d'esmolat encara està a mitges.

- Pitjat d'encoder detectat amb el procés d'esmolat en execució:

En aquest cas, s'activa una petició de pausar o aturar l'esmolat, que es durà a terme quan el capçal (eix X) arribi a un extrem del recorregut.

- Pitjat de pulsadors detectat:

La funció de prémer els pulsadors en un procés d'esmolat està vinculada a les accions de pausar, aturar, reprendre, sortir, o iniciar un nou procés d'esmolat.

El pulsador dret en mode esmolat aturat permet iniciar un nou esmolat amb la configuració d'esmolat actual. El comptador de temps de treball (que mostra el temps de duració) s'inicia, s'activa la mola, la bomba d'aigua i els pulsadors, i arrenca un nou esmolat.

El pulsador dret en mode esmolat pausat reprèn l'esmolat que havia quedat pausat. Activa els mateixos elements físics que l'acció d'iniciar, desbloqueja el comptador de temps de treball i reprèn l'esmolat.

El pulsador esquerre transporta l'usuari a la secció de configuració d'esmolat del programa, tan en mode aturat com en mode pausat.

- Final de carrera detectat:

Quan el capçal (eix X) arriba a un dels extrems s'inicia un entramat de decisions que fan avançar el procés d'esmolat. Aquestes decisions s'expliquen al diagrama de flux d'avenç de procés d'esmolat.

5.7. Avenç del procés d'esmolat pla

El diagrama de flux 6.2 mostra el flux del programa durant l'avenç de l'esmolat pla:

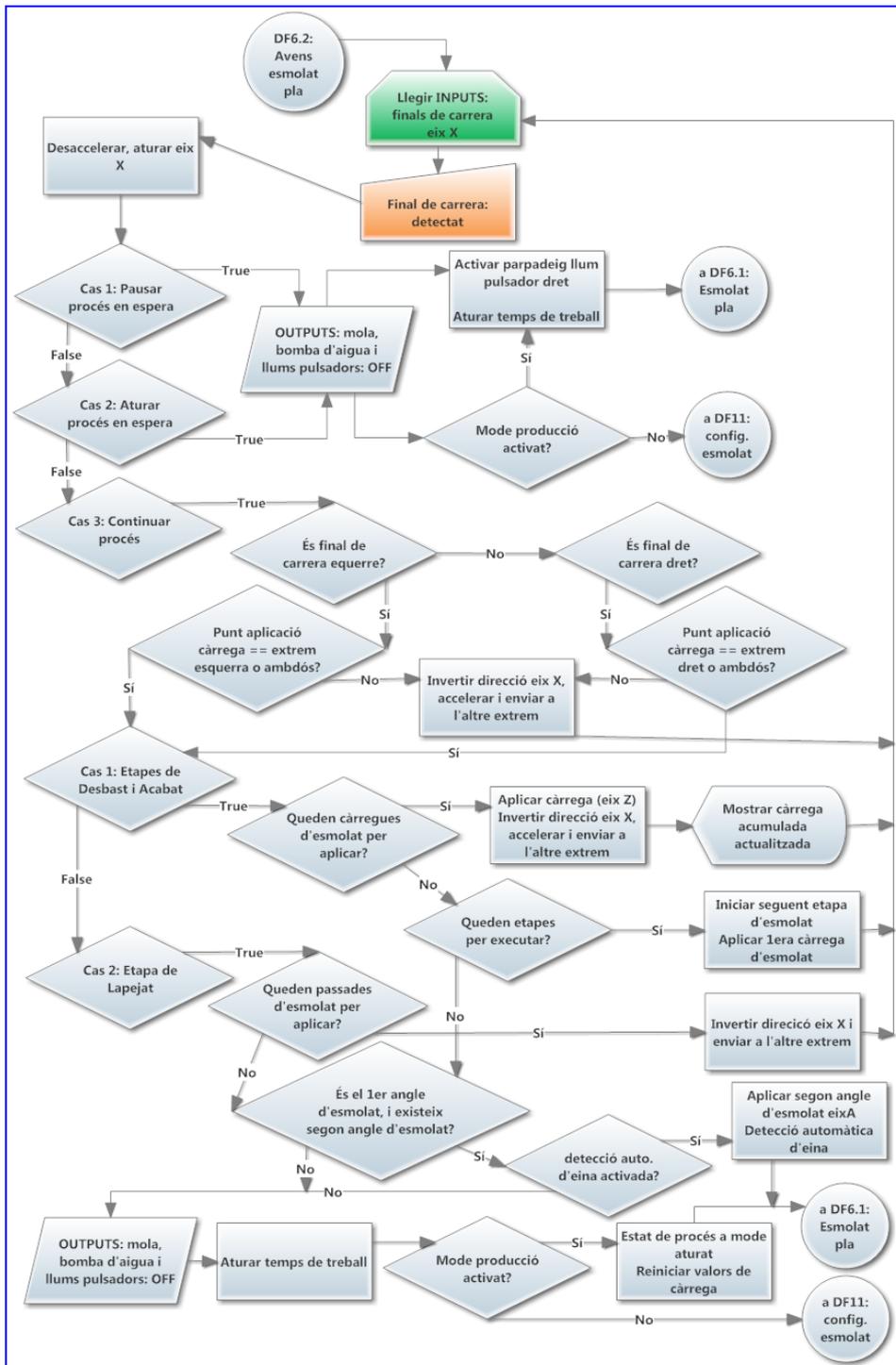


Figura 33: diagrama de flux 6.2: presa de decisions per avançar l'esmolat pla

El flux del programa en l'avenç de l'esmolat pla fa una lectura constant dels finals de carrera de l'eix X, decidint en cada moment què fer. Els sensors finals de carrera són un element clau en l'evolució de l'esmolat, ja que l'inici de noves passades d'esmolat i càrregues d'esmolat es produeixen quan el capçal se situa en un dels extrems de l'eix X.

El primer pas quan es detecta el final de carrera, és aturar el capçal. Després, comença la presa de decisions en funció dels finals de carrera i de les etapes d'esmolat, explicades a continuació:

- Final de carrera detectat, i pausar procés o aturar procés en espera:

Si en algun moment l'usuari a decidit pausar o aturar l'esmolat, ara és el moment de dur-se a terme.

En el cas de pausar, es desactiven mola, bomba d'aigua i llum dels polsadors. Seguidament, s'encén intermitentment la llum del polsador dret, tot ressaltant a l'usuari l'opció de reprendre l'esmolat, i s'atura el comptador de temps de treball.

En el cas d'aturar, si el mode de producció (explicat en el punt 4.6) està activat s'executen les mateixes accions que en el pausar. En aquest cas però, la llum intermitent ressalta l'opció d'iniciar nou esmolat. Amb mode producció desactivat es transporta l'usuari a la secció de programa de configuració d'esmolat.

- Final de carrera detectat, i esmolat executant-se:

Si el final de carrera detectat no es correspon amb el valor de la variable "punt d'aplicació de càrrega" (explicada en el punt 4.6), estem en el cas que l'extrem a on ha arribat el capçal no està associat a aplicar nova càrrega d'esmolat o nova passada. L'eix X fa moure el capçal cap a l'altre extrem.

Si el final de carrera detectat es correspon amb el punt d'aplicació de càrrega, cal decidir què fer:

- Etaques de desbast o acabat en execució

Si queden càrregues per aplicar en l'etapa actual, s'aplica la càrrega d'esmolat (eix Z baixa les micres de metre estipulades per càrrega), es mostra per pantalla la càrrega actualitzada, i s'envia el capçal a l'altre extrem.

Si no queden càrregues, l'etapa actual finalitza. En tal cas, si resten etapes per fer, el programa passa a la següent, n'aplica la primera càrrega d'esmolat (si no és lapejat), i envia el capçal a l'altre final de carrera.

Si no resten etapes per fer, comprova si hi ha un segon angle d'esmolat a realitzar i la detecció automàtica d'eina (medició) està activada. En cas afirmatiu, és posiciona el segon angle d'esmolat (eix A), s'aplica la detecció automàtica, i s'inicia el segon procés d'esmolat de forma automàtica.

En cas de no disposar de detecció automàtica d'eina o tenir un segon angle d'esmolat amb valor menor que el primer, s'atura el procés d'esmolat i el programa surt o es manté en esmolat aturat en funció del valor del mode producció.

- Etapa de lapejat en execució

Pren les mateixes decisions, però comptant passades en comptes de càrregues.

6. Implementació

En aquesta secció del projecte s'il·lustren les arquitectures hardware i software sobre les quals es fonamenta l'aplicació, així com aspectes rellevants d'implementació relacionats amb el referenciat d'eixos, la generació d'acceleracions i desacceleracions i la utilització del controlador de motors GRBL.

6.1. Arquitectura hardware

El programa de la màquina està repartit en 4 microprocessadors, distribuïts en 3 plaques electròniques. La Figura 34 en mostra la distribució i com es comuniquen entre ells:

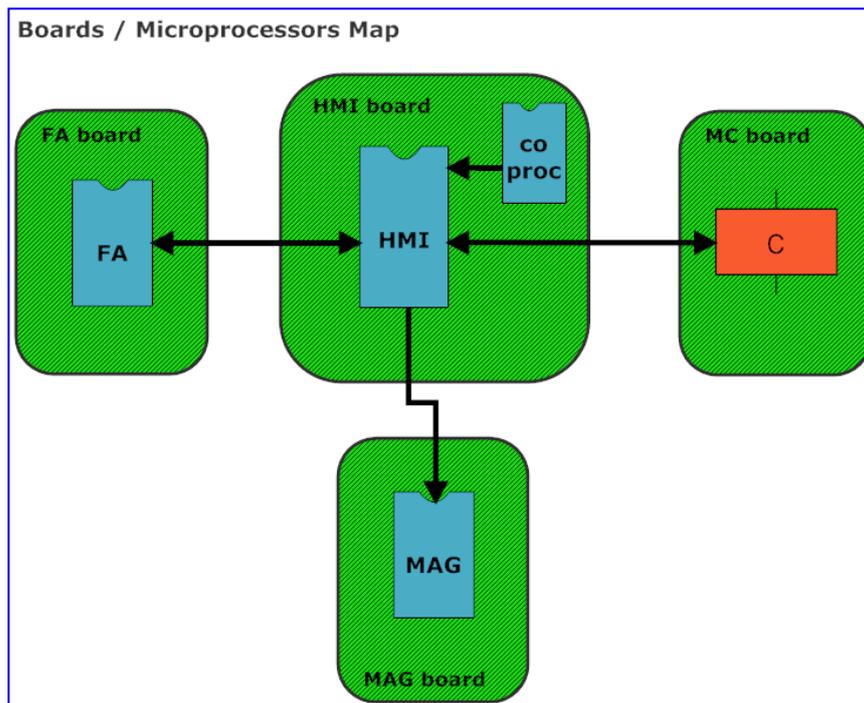


Figura 34: arquitectura hardware de l'aplicació

Tot seguit es descriu l'arquitectura en funció de la distribució de les plaques electròniques:

- Placa electrònica de la Font d'alimentació (FA):

Aquesta placa té el microprocessador a on es carrega el mòdul del programa dedicat a determinar la viabilitat de posar en marxa la màquina, explicat en el punt 5.3 del projecte. Es comunica amb la HMI a través de la llibreria [Wire](#) per establir una comunicació sèrie master(FA)-slave(HMI) explicat en el punt 5.3.

- Placa electrònica de la Human-Machine Interface (HMI):

A la placa electrònica de la Interfície màquina-home (HMI) s'hi ubiquen els microprocessadors HMI i Co-proc. El HMI té carregat el mòdul central del programa encarregat de tots els processos a excepció dels delegats als altres tres microprocessadors.

D'una banda, rep i envia informació de la FA i del processador de control motor (MC, Motor Control), amb qui es comunica a través de la llibreria [Serial](#) de comunicació Sèrie.

D'altre banda, rep dades del Co-proc a través dels pins d'interrupció, i envia ordres al microprocessador de la placa electrònica de Magnetisme (MAG) a través d'outputs estàndards. El Co-proc, conté el mòdul del programa encarregat de tractar les senyals rotatòries dels encoders. La seva fita és alliberar feina al programa central i millorar el temps de resposta dels encoders. La Figura 35 mostra el protocol de comunicació entre el Co-Processador i la HMI:

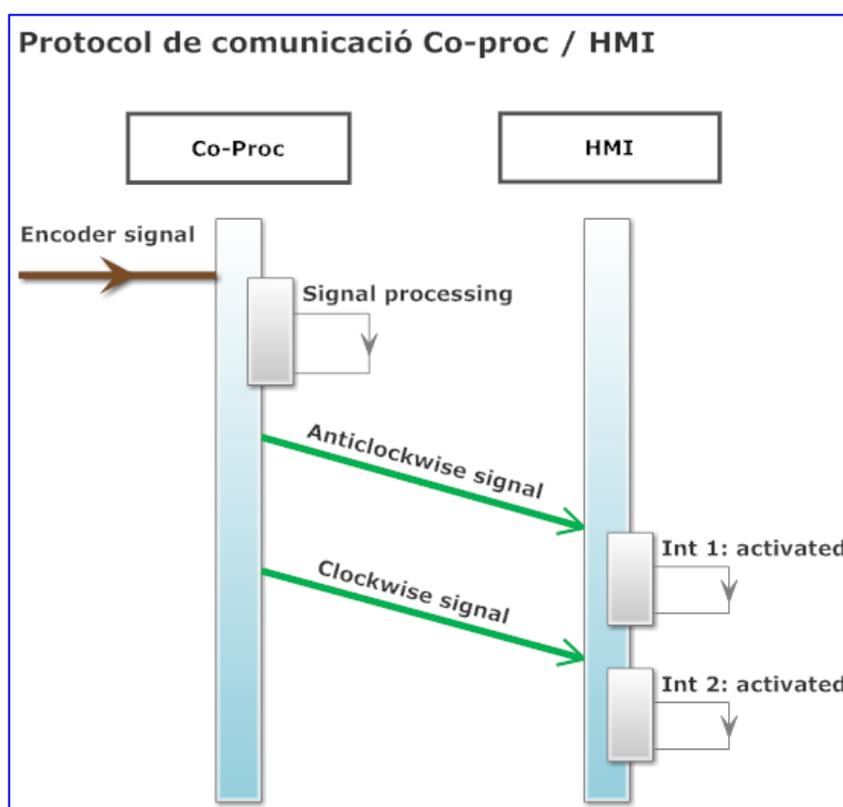


Figura 35: protocol de comunicació entre Co-processador i HMI

Quan arriba una senyal de l'encoder, el Co-processador l'analitza i decideix si es tracta d'un gir horari o un d'antihorari. Analitzat el senyal envia la resposta a la HMI a través de dos pins de sortida, cadascun dedicat a un tipus de gir.

Des del programa central de la HMI, hi ha implementades dues interrupcions que, utilitzant els dos pins del microprocessador dedicats a interrupcions, gestiona al moment les senyals rebudes del Co-processador i determina com afecten en el flux del programa.

- Placa electrònica del magnetisme (MAG) i del control motor (MC):

A la placa electrònica MAG s'hi ubica el microprocessador a on es carrega el mòdul del programa dedicat a generar i anular un camp magnètic a la bobina de la barra de subjecció de la màquina, per magnetitzar-la i desmagnetitzar-la.

Per últim, el microprocessador de la placa MC utilitza el software controlador de motors [GRBL](#) per executar moviments motors interpolats. El model de màquina CU PRO que ens ocupa no l'utilitza, però sí d'altres models. S'introdueix en el punt [6.5](#).

6.2. Arquitectura software

L'aplicació implementada està escrita en llenguatge C/C++, desenvolupat sobre l'entorn software d'[arduino](#) i estructurada en diferents mòduls. Tan el programa central com els seus mòduls, tenen el següent format: un arxiu de variables, un arxiu de constants i l'arxiu principal d'execució.

Els arxius principals estan dividits en dues funcions per defecte d'incorporació obligada, [setup\(\)](#) i [loop\(\)](#), per inicialitzar el programa i per a executar-lo respectivament, a l'interior de les quals incorporar el codi generat.

El codi generat està basat en funcions, que s'agrupen en blocs segons la tasca que desenvolupen. Aquests blocs es corresponen i són fàcilment identificables a les seccions [4](#) (Anàlisi) i [5](#) (Disseny) de la memòria.

La Figura 36 mostra el mapa software del programa central (Programa) dividit per blocs (Loop), així com els mòduls del programa (Mòduls) i el controlador de motors (Grbl).

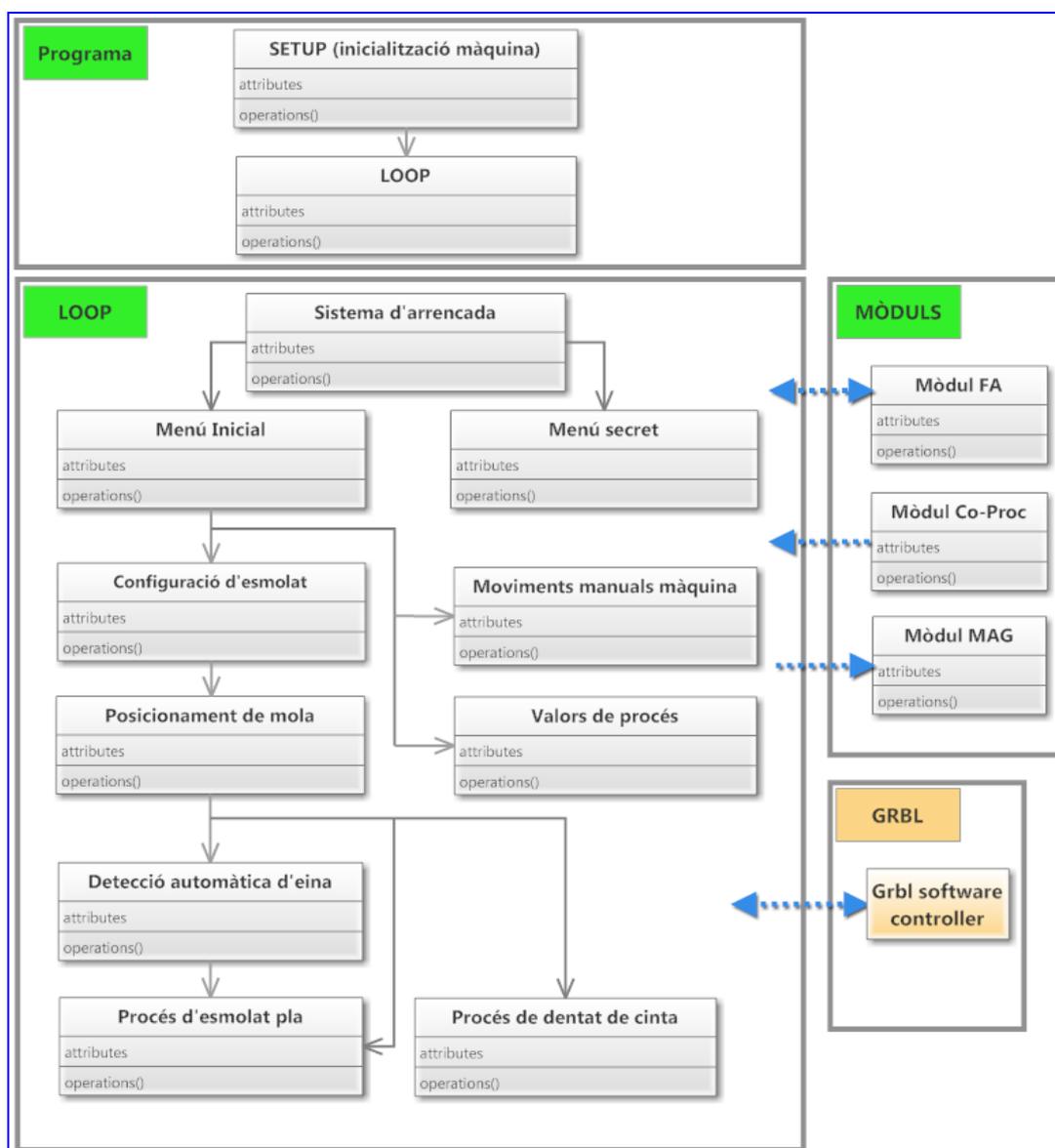


Figura 36: arquitectura software amb programa central ampliat

6.3. Referenciat d'eixos

El referenciat és un procés que necessiten les màquines amb eixos motoritzats de control numèric. L'objectiu és situar els components físics associats a cada eix a una posició inicial en cada arrencada de màquina, a partir de la qual poder establir a nivell de software un recorregut de moviment màxim.

Els referenciats basen la seva condició d'aturada amb els sensors finals de carrera. Es requereix un final de carrera per cada eix per a poder referenciar. Quan el referenciat inicia el procés fora de l'abast del final de carrera, el funcionament és com el que mostra la Figura 37:

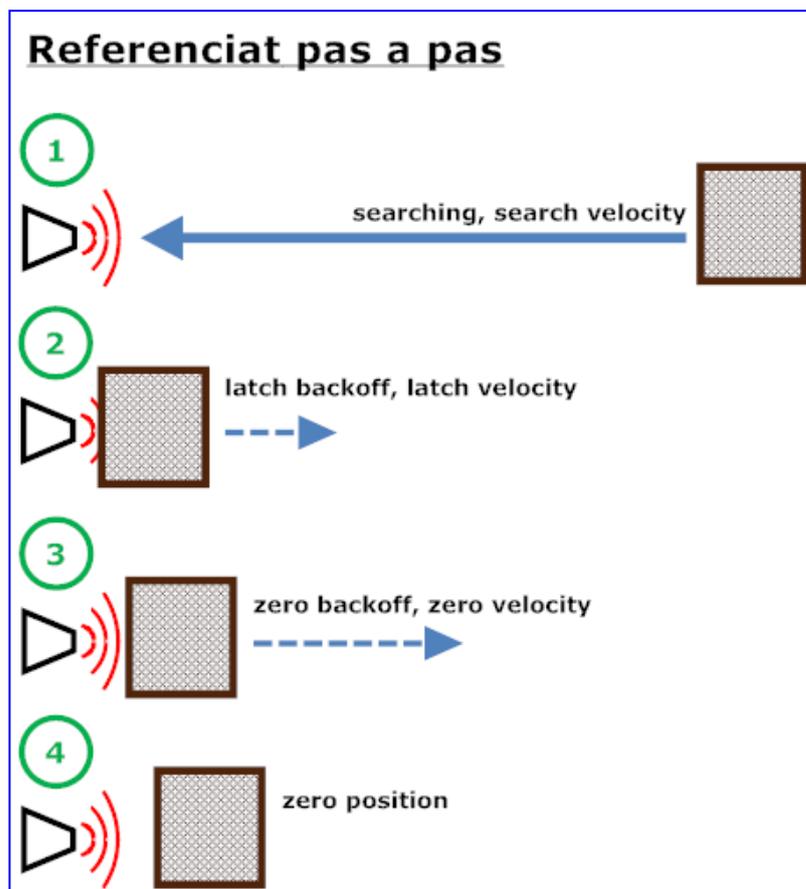


Figura 37: referenciat d'un eix.

El pas 1 consisteix en apropar el component físic (quadrat) cap al sensor, situat a l'esquerra, fins a detectar-lo. Aquesta etapa s'anomena de cerca, i la seva velocitat (velocitat de cerca) al no ser una etapa comprometedora, pot ser relativament alta per accelerar el procés.

El pas 2 consisteix el component en direcció contrària al final de carrera, fins a no detectar-lo. L'objectiu és que finalitzat el referenciat, el sensor no s'activi més en cap ocasió. Aquesta etapa s'anomena "latch" perquè simbòlicament "assegura" la no detecció posterior. La velocitat en aquesta etapa, ha de ser lenta.

El pas 3 consisteix en aplicar un desplaçament addicional, en direcció oposada al sensor, per tal d'establir una posició inicial zero més personalitzada. La velocitat en aquesta etapa pot ser més ràpida. Així, s'obté la posició definitiva de referència.

Si el procés de referenciat comença dins de l'abast del sensor, el primer pas s'obvia i s'inicia des de l'etapa latch.

6.4. Generació d'acceleracions suavitzades

En els moviments motors sense control de posició, les úniques ordres que s'envien al motor són les de direcció, velocitat, activar-se i desactivar-se. En altres paraules, no hi ha acceleracions. Aquest és el cas de l'eix X del model CU PRO.

L'eix X transporta un capçal que supera els 80kg de pes, i si s'intenta moure de velocitat 0 a la velocitat indicada des del primer puls motor, el motor col·lapsa. Cal doncs, implementar una acceleració i desacceleració que permetin arribar a la velocitat desitjada progressivament.

L'objectiu és generar un augment de velocitat que no generi estrès al sistema físic i el motor no es vegi més forçat del compte. Per aconseguir-ho, l'augment ha de ser especialment suau al iniciar el moviment, que és quan més força ha de fer el motor, i abans d'arribar a la velocitat objectiu, per no aturar de cop l'augment de velocitat.

Aquest augment de velocitat s'assoleix aplicant l'anomenada "acceleració en corba de S". La Figura 38 mostra el gràfic de com funciona:

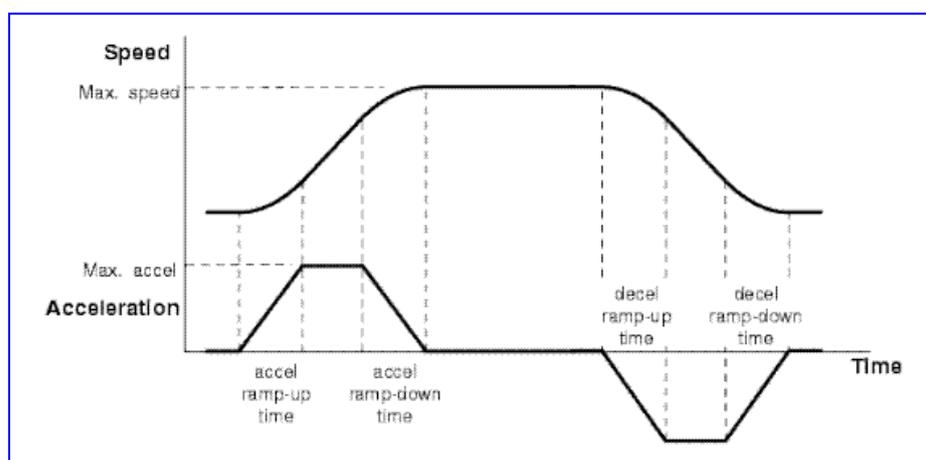


Figura 38: corba en forma de S en les etapes d'acceleració i desacceleració

S'estableix una franja de temps a l'etapa d'augment i disminució de velocitat, a on es produirà un increment/decrement de l'acceleració. La Figura 39 mostra el codi que la implementa l'acceleració. En aquest exemple, s'arriba a una velocitat de valor 3000 durant una acceleració de 800 milisegons.

```
// ramp_time: Franja de temps (mil·lisegons) d'augment/reducció de l'acceleració.  
int ramp_time = 800;  
int velFinal = 3000;  
int currentVel;  
for(int i=1; i <= ramp_time; i++){  
    // Càlcul velocitat actual a aplicar  
    currentVel = velFinal * (3 - 2*(i/ramp_time)) * (i/ramp_time) * (i/ramp_time);  
}
```

Figura 39: implementació de l'acceleració en corba de S

6.5. Introducció al GRBL

El GRBL és un software controlador de motors, que permet generar moviments interpolats per, en el cas del sector industrial de l'esmolat, polir diferents dentats de serra. Per a fer-ne ús, cal enviar-li instruccions en el llenguatge [Gcode](#).

Si bé el model de màquina descrit en el projecte no l'utilitza, hi ha models de màquina actualment en fase de desenvolupament que sí utilitzen aquest sistema. És el cas del model prototip SC PRO (SerraCintes Professional), que disposa dels eixos X i Y (entre d'altres) per realitzar una trajectòria interpolada que esmola els dos tipus de dents mostrats a la Figura 40:

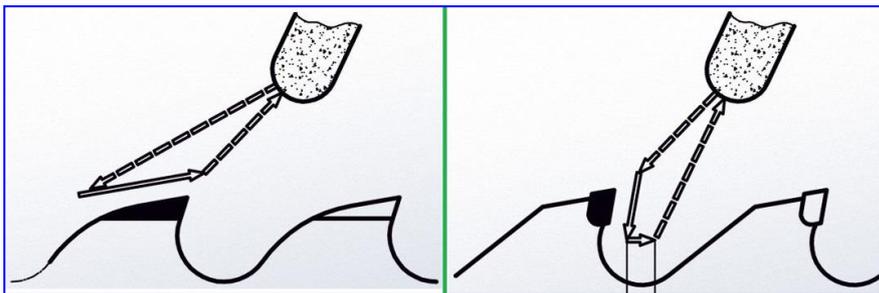


Figura 40: dents de serra amb trajectòria de mola per a esmolar-les

Una de les problemàtiques principals està en saber quan enviar des del programa central ubicat a la HMI, i quan no, les diferents instruccions Gcode al GRBL ubicat al microprocessador MC a través del bus Sèrie.

Per atendre la problemàtica correctament, tenint en compte que el GRBL poc acumular instruccions pendents a executar i que aquest alhora treballa més eficientment si té el buffer d'instruccions en espera més ple que buit, s'han de tenir en compte 3 aspectes:

1. La mida en caràcters de cada instrucció Gcode enviada
2. La capacitat del bus sèrie (127 caràcters)
3. Saber quan finalitza l'última instrucció en espera del GRBL

La Figura 41 mostra un esbós de les comunicacions entre el programa central i el GRBL:

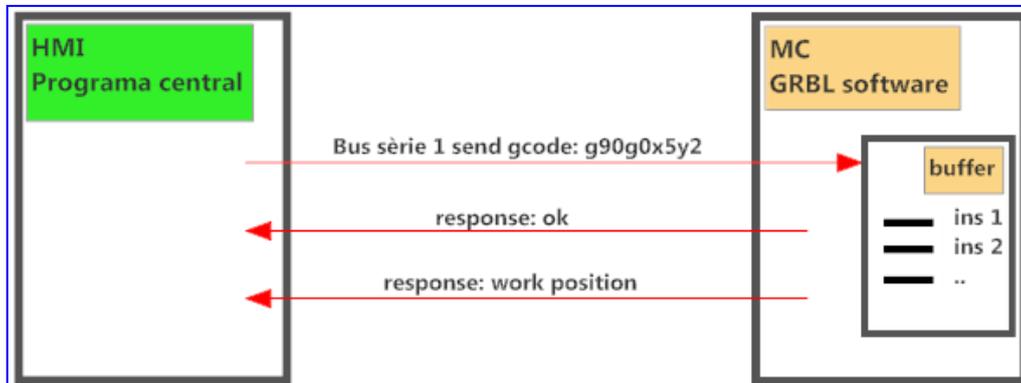


Figura 41: exemple de comunicació entre programa central i grbl

En l'exemple de la figura, s'envia una instrucció de moviment lineal a velocitat màxima (g0) en distàncies absolutes (g90) del punt actual al punt x5y2. La resposta que per defecte sempre retorna el controlador motor és un "ok". Les respostes informant de la posició de treball actual dels eixos es rep si prèviament s'envia la instrucció de petició.

La resposta "ok" informa al programa que el GRBL acaba d'alliberar del bus sèrie tots els caràcters de la instrucció més antiga acumulada en el bus. D'aquesta forma, es pot controlar no saturar el bus sèrie. La resposta de posició dels eixos, permet saber si el GRBL ha finalitzat totes les instruccions de moviment: quan les dos últimes respostes de posició indiquen que la posició dels eixos no ha variat, el procés d'esmolat ha finalitzat.

7. Cronograma de desenvolupament i vendes

La Figura 42 mostra el cronograma de temps de desenvolupament de l'aplicació i les dates d'entrega de les màquines venudes:

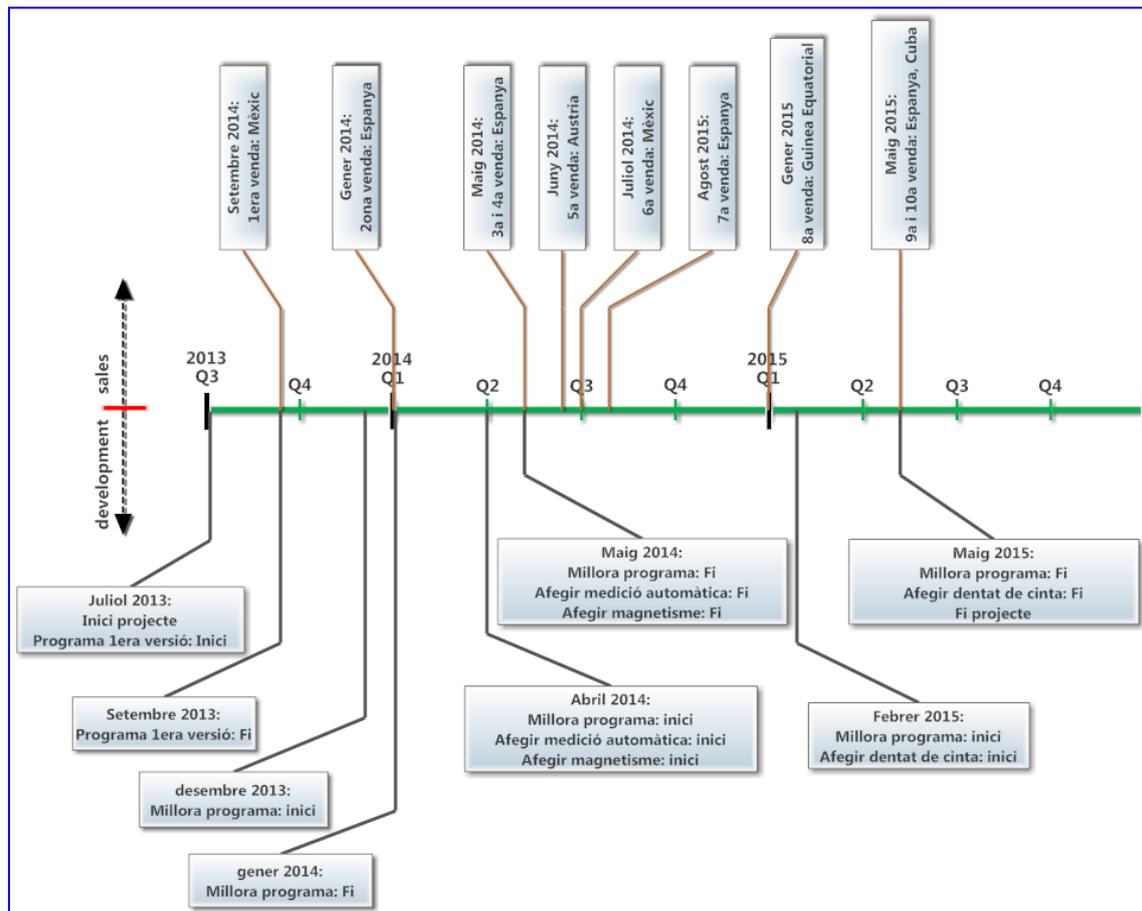
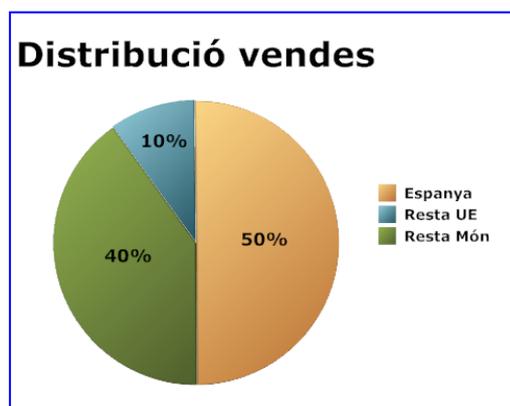


Figura 42: cronograma de desenvolupament i entrega de màquines

El temps necessitat per a desenvolupar l'aplicació ha estat, aproximadament, d'uns 7 mesos, tenint en compte que, a més d'adaptar el codi a les noves prestacions que s'afegien a les màquines (esmentades en el punt [2.2.2](#)), s'ha aprofitat cada nova represa en la programació per a realitzar millores internes del codi.

Fins a data d'avui, s'han venut 10 models CU PRO en menys en 22 mesos. Les perspectives de vendes en un futur són optimistes, tenint en compte que les prestacions afegides són un incentiu per al client. La Figura 43 mostra el gràfic de la distribució de vendes al món:



- Vendes a mercat interior: 5.
- Vendes a Unió Europea: Àustria(1).
- Vendes a resta del món: Mèxic(2), Cuba(1), Guinea Equatorial(1).

Figura 43: gràfic de distribució de vendes model CU PRO

8. Costos i beneficis

La taula 3 mostra els preus de venda al públic del model CU PRO:

| Referència | Descripció | Preu (€) |
|--------------------------------------|---|------------|
| CU PRO 1000 | Versió estàndard, 1000 mm de recorregut esmolable | 9.990,0 € |
| CU PRO 2000 | Versió estàndard, 2000 mm de recorregut esmolable | 13.990,0 € |
| CU PRO 3000 | Versió estàndard, 3000 mm de recorregut esmolable | 17.900,0 € |
| CU PRO 4000 | Versió estàndard, 4000 mm de recorregut esmolable | 21.490,0 € |
| Barra magnètica | Extra: Barra magnètica, en substitució de la mecànica | 2.150,0 € |
| Detecció automàtica d'eina | Extra: mesurament d'eina automàtic incorporat | 540,0 € |
| Dentat de cintes metàl·liques | Extra: sistema de dentat de cintes incorporat | 8.950,0 € |

Taula 3: preus de venda al públic del model CU PRO

Si bé per norma general s'apliquen descomptes en el preu final, els preus ronden des dels 9.990€ el model més bàsic, fins als 33.130€ el model de 4 metres amb totes les prestacions incorporades.

Els beneficis per màquina són, actualment i de forma aproximada, d'un 25% sobre el preu final de venda. Per tant, els costos sumen un 75%. Si suposem un cas entremig de venda d'un model de 2 metres amb detecció automàtica d'eina i plat magnètic, amb un 20% de descompte, tenim un preu final de $16.6870 * 0,8 = 13344€$, del qual en surt un benefici de $13344 * 0,25 = 3336€$.

Val a dir que el 25% de beneficis actual no sempre ha estat tan alt. Tot i que no està registrat, se sap que el cost de desenvolupament de la primera màquina superà el preu de venda, i fins la 3era o 4ta màquina no començà a haver-hi beneficis. S'espera que en un futur el marge de beneficis es mantingui i inclús augmenti una mica.

En aquests càlculs els costos de mà d'obra no es contemplen, ja que els sous mensuals no es compten per preu/hora sinó per repartiment de beneficis obtinguts cada mes. No obstant això, estipulant una distribució d'hores i un preu/hora concret la taula 4 mostra el cost de desenvolupament de l'aplicació:

| | Hores | Preu/hora (€) | Preu total (€) |
|--------------------------|--------------|---------------|----------------|
| Formació | 40 | 10 | 400 |
| Anàlisi i disseny | 90 | 20 | 180 |
| Implementació | 140 | 20 | 280 |
| Test | 130 | 10 | 130 |
| Documentació | 50 | 20 | 100 |
| Total | 450 h | | 1090 € |

Taula 4: cost de desenvolupament de l'aplicació en hores i euros

9. Conclusions i propostes de millora

Actualment, el projecte d'aplicació per a la CU PRO està finalitzat. No ha estat però un model de màquina tancat i finalitzat des de la primera que es construí, sinó tot el contrari; gairebé per a cada nova màquina fabricada, part del funcionament, part de la seva estructura física i part de la forma amb que ha d'interaccionar amb l'usuari ha estat repensat. Això provocà que el desenvolupament de l'aplicació del model s'allargués i estigués en constant finalització, represa i canvi. Per a cada nou canvi a més, era necessària una nova etapa de testeig. Aquestes etapes d'evolució de model han durat un any i mig i han permès anar perfeccionant l'aplicació tan internament com a nivell de serveis a oferir.

Tot i no haver actualment millores a curt termini per al model CU PRO, no es descarta doncs la possibilitat que en un futur en tornin a haver, o es repensi novament algun dels seus aspectes.

Si es mira més enllà del model descrit en el projecte i es consideren els prototips de màquines actualment en alguna fase de fabricació o disseny, llavors sí que existeixen millores a fer. De fet, es pot dir que hi ha feina en desenvolupament informàtic per a dos anys o més.

Com a exemple de millora més rellevant que actualment està en fase de desenvolupament d'aplicació, és la que s'ha introduït en el punt [6.5](#) de la memòria referent a esmolar formes de dents, que requereixen interpolació d'eixos a través del software controlador de motors GRBL.

Existeixen altres millores que han sorgit com a idees en alguna ocasió, però que tenen possibilitats de ser posades en pràctica en un futur a llarg termini. Una d'elles, és la de substituir la pantalla d'interfície actual, de 40x4 caràcters i monocolor, per una de més gran, en color i millor resolució. L'altre idea, aquesta més complicada per termes de cost de fabricació, és la d'incorporar un braç robot mòbil a alguns models de màquines que agafi les eines de tall i les col·loqui per a ser esmolades.

10. Bibliografia

Editor de casos d'ús:

<http://argouml.tigris.org/>

Editor de diagrames i gràfics:

<http://www.smartdraw.com/diagrams/>

Coneixement de màquines:

Experiència adquirida a l'empresa (<http://www.elite.cat>)

Llenguatge arduino i llibreries:

<http://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>

<http://www.arduino.cc/en/Reference/Libraries>

<http://www.airspayce.com/mikem/arduino/AccelStepper/>

Tutorial C/C++:

<http://www.cprogramming.com/tutorial.html>

Tutorial de GRBL:

<https://github.com/grbl/grbl/wiki>