



**EPS**

Escola Politècnica  
Superior

## Projecte/Treball Fi de Carrera

**Estudi:** Enginyeria Tècn. Ind. Mecànica. Pla 2002

**Títol:** Selecció dels paràmetres de fabricació per CN per obtenir acabats òptims mitjançant una eina CAM

**Document:** 1. Memòria

**Alumne:** Jordi Delgado i Sanglas

**Director/Tutor:** M<sup>a</sup>Luisa Garcia-Romeu de Luna

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

**Àrea:** Enginyeria dels processos de fabricació

**Convocatòria** (mes/any): setembre / 2007

Vull agrair la col·laboració a totes aquelles persones que han fet possible que aquest projecte fos possible.

Especialment destacar a la família: Pere Delgado, M<sup>a</sup>Àngels Sanglas i Xavier Delgado per tot el suport que m'han donat constantment al llarg de la carrera i del projecte.

A la Laura Constansó que m'ha animat en els moments difícils i que sempre ha estat al meu costat quan ha fet falta.

Finalment donar les gràcies a l'àrea d'Enginyeria dels Processos de Fabricació que sense el seu suport no hagués estat possible, molt especialment, a la M<sup>a</sup>Luisa Romeu-Garcia per confiar amb mi i a l'ajuda que m'ha donat en tot moment.

Moltes gràcies

## Índex

|   |    |
|---|----|
| Índex.....  | 1  |
| 1. INTRODUCCIÓ .....  | 3  |
| 1.1 Antecedents .....   | 3  |
| 1.2 Objecte general del projecte .....  | 7  |
| 1.3 Especificacions i abast del projecte .....  | 7  |
| 2. DISSENY D'EXPERIMENTS.....   | 9  |
| 2.1 Disseny del sistema .....   | 9  |
| 2.1.1 Factors .....   | 9  |
| 2.1.2 Nivell .....  | 11 |
| 2.1.3 Dimensió de l'experiment.....   | 12 |
| 2.1.4 L'efecte del factor.....  | 14 |
| 2.1.5 Recorregut dels factors.....  | 15 |
| 2.1.6 Soroll.....   | 16 |
| 2.1.7 Robustesa.....  | 16 |
| 2.1.8 Validesa .....  | 17 |
| 2.2 Metodologia Taguchi.....  | 17 |
| 2.3 Definicions prèvies.....  | 19 |
| 2.4 Matriu resultant .....  | 21 |
| 3. ANÀLISI I DISCUSIÓ DE RESULTATS .....  | 22 |
| 3.1 Resultats obtinguts sense considerar els efectes de les interseccions .....   | 23 |
| 3.1.1 Caixera quadrada.....   | 25 |
| 3.1.2 Buidat caixaera quadrada .....  | 28 |
| 3.1.3 Caixera circumferència .....  | 31 |
| 3.1.4 Buidat caixaera circumferència .....  | 34 |
| 3.1.5 Caixera claveta .....   | 37 |
| 3.1.6 Buidat caixaera claveta.....  | 40 |
| 3.1.7 Taula resum visualització gràfiques sense intersecció dels factors.....   | 42 |
| 3.2 Resultats obtinguts considerant els efectes de les interseccions .....  | 43 |
| 3.2.1 Taules per aconseguir els resultats de les interseccions de cada factor per cada geometria i factor resposta..... | 44 |
| 3.2.2 Taula resum amb el càlcul de les interseccions dels factors .....   | 45 |
| 3.3 Discussió dels resultats obtinguts.....   | 45 |
| 3.3.1 Discussió sense intersecció dels factors.....   | 45 |
| 3.3.2 Discussió amb intersecció dels factors .....  | 46 |

---

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.3.3    | Discussió per l'optimització de l'experimentació..... | 47 |
| 4.       | CONCLUSIONS .....                                     | 53 |
| 5.       | LÍNIES FUTURES .....                                  | 57 |
| 6.       | DOCUMENTS DEL PROJECTE .....                          | 58 |
| 7.       | BIBLIOGRAFIA.....                                     | 59 |
| ANNEX A. | CÀLCUL.....   | 61 |
| A.1      | Quadrat .....   | 62 |
| A.1.1    | Dades caixa quadrada .....                            | 62 |
| A.1.2    | Dades buidat caixa quadrada .....                     | 65 |
| A.2      | Circumferència.....                                   | 68 |
| A.2.1    | Dades caixa circumferència.....                       | 68 |
| A.2.2    | Dades buidat caixa circumferència .....               | 71 |
| A.3      | Claveta.....  | 74 |
| A.3.1    | Dades caixa claveta.....                              | 74 |
| A.3.2    | Dades buidat caixa claveta .....                      | 77 |
| ANNEX B. | ESQUEMA PEÇA .....                                    | 80 |
| ANNEX C. | RUGOSÍMETRE .....                                     | 81 |
| ANNEX D. | INFORMÀTIC CD.....                                    | 82 |

## 1. INTRODUCCIÓ

### 1.1 Antecedents

L'ús dels sistemes CAD/CAM s'ha fet un lloc important a dins les indústries en les que intervenen els processos de mecanització, ja que aquests softwares redueixen el temps per crear un programa de control numèric i permeten mecanitzar superfícies complicades de dues i tres dimensions.

La introducció en el mercat d'aquests sistemes CAM (Computer Aided Manufacturing o fabricació assistida per computadora) ha fet que apareguessin un elevat nombre de paràmetres de control associats a cada un dels cicles de mecanització.

Actualment, els operaris o enginyers poden escollir aquests cicles en funció de l'experiència, de la posició en què es troben cadascun a dins el programa o fins i tot aleatòriament, sense saber si han escollit la millor opció o si acabaran per obtenir el resultat dins les toleràncies que li són demanades. L'elecció del cicle i dels paràmetres repercutirà també en el temps de tall, l'acabat superficial, la vida i el desgast de l'eina i en el preu final de la peça entre d'altres.

Per altra banda, l'equip d'investigació del GREPP (Grup de Recerca en Enginyeria de Procés, Producte i Producció) va fer un estudi previ de diferents paràmetres, controlant 4 estratègies de mecanització i 3 paràmetres de procés, del sistema CAM per tal d'obtenir el millor acabat superficial, és a dir, amb la menor variabilitat de factors, segons les estratègies i els paràmetres citats anteriorment per una caixa quadrada de 50 x 50.

Els resultats obtinguts per l'equip de recerca del GREPP eren resultats de primer ordre, és a dir, només tenien en compte el comportament de les variables d'estudi i no captaven el comportament de les interaccions entre aquestes. .

Les estratègies utilitzades pel grup d'investigadors del GREPP van ser:

- Caixa sentit espiral.
- Caixa amb mecanització trocoïdal.
- Buidat de caixa en direcció paral·lela.
- Buidat de caixa en direcció a 45°.

I els paràmetres escollits per a cada estratègia van ser:

- Diàmetre de l'eina ( 6 i 12 mm).
- Recobriment de l'eina (0.5 i 1).
- Velocitat d'avanç (1500 i 3500 mm/min).

Per tal de tenir una idea de la quantitat de paràmetres que es poden escollir amb el sistema CAM del GOelan es mostra les diferents figures(de la 1 fins a la 6) únicament pel fresatge.

La Figura 1 fa referència als cicles de mecanitzats possibles que apareixen en el fresatge, si es volgués fer un contornejat, trepat o roscat sortarien uns altres cicles de mecanització diferents.

A la Figura 2 s'observa el nom de les diferents tecnologies predefinides en la mecanització de la caixaera, aquestes tecnologies poden ser modificades o bé es poden predefinir nous cicles de mecanització, per fer-ho, cal entrar a dins les propietats de l'estratègia de mecanització (Figura 3), el moviment de la mecanització (Figura 4), la tecnologia de mecanització (Figura 5) i finalment les opcions de mecanització (Figura 6).

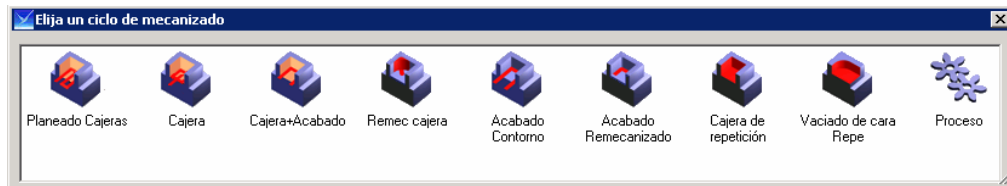


Figura 1 Cicle de mecanització

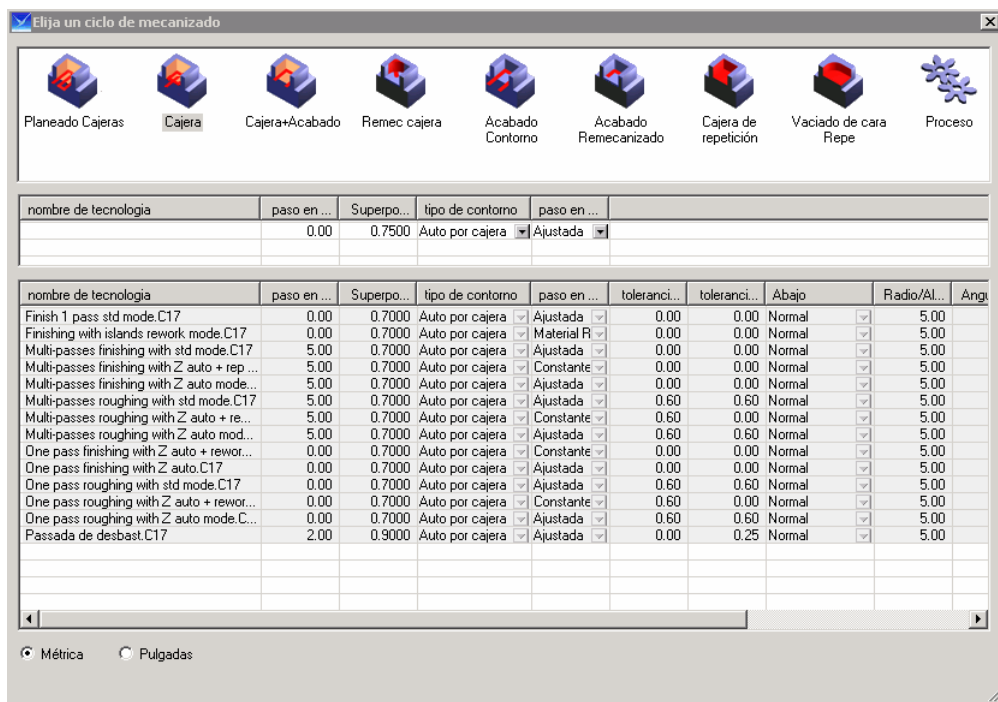


Figura 2 Nom de les diferents tecnologies en la caixaera

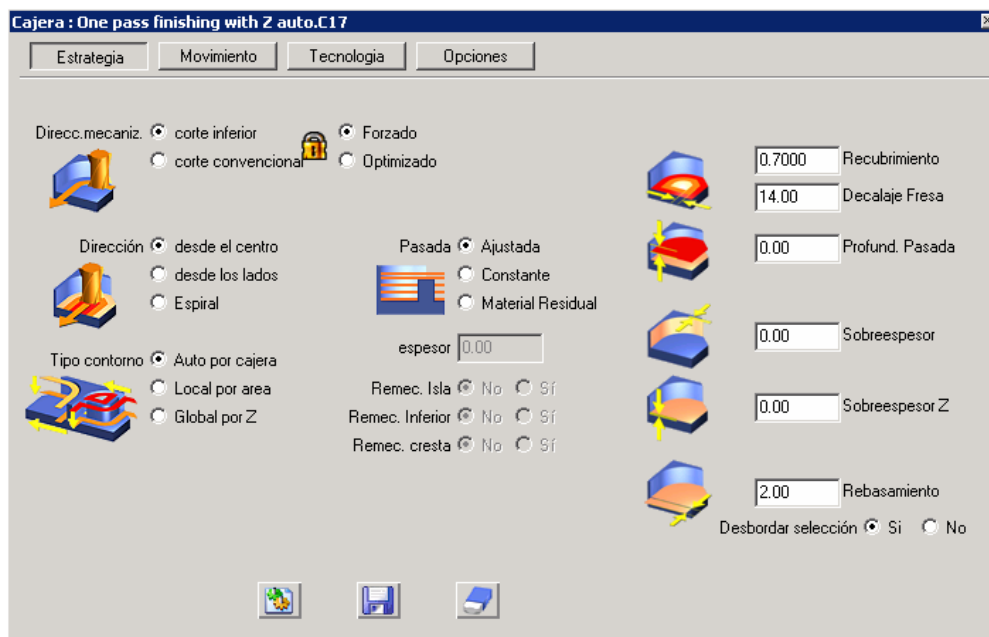


Figura 3 Estratègia de mecanització en la caixa

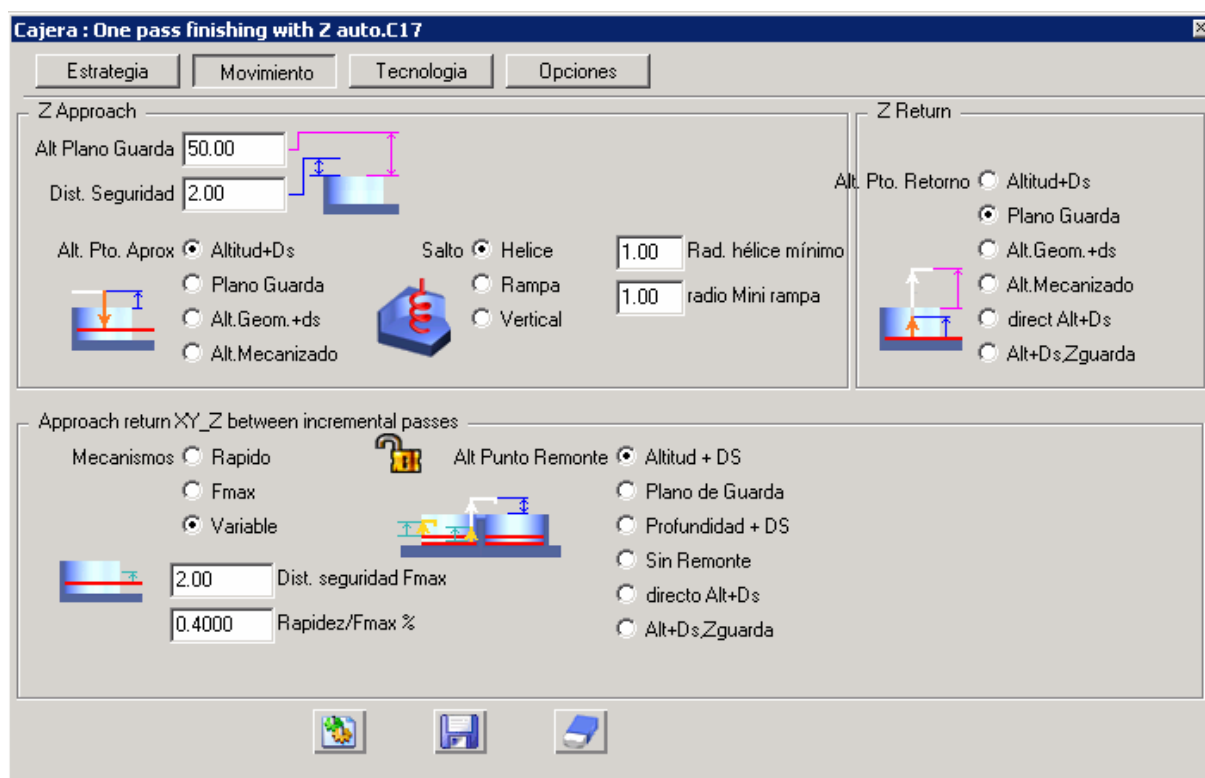


Figura 4 Moviment de mecanització en la caixa

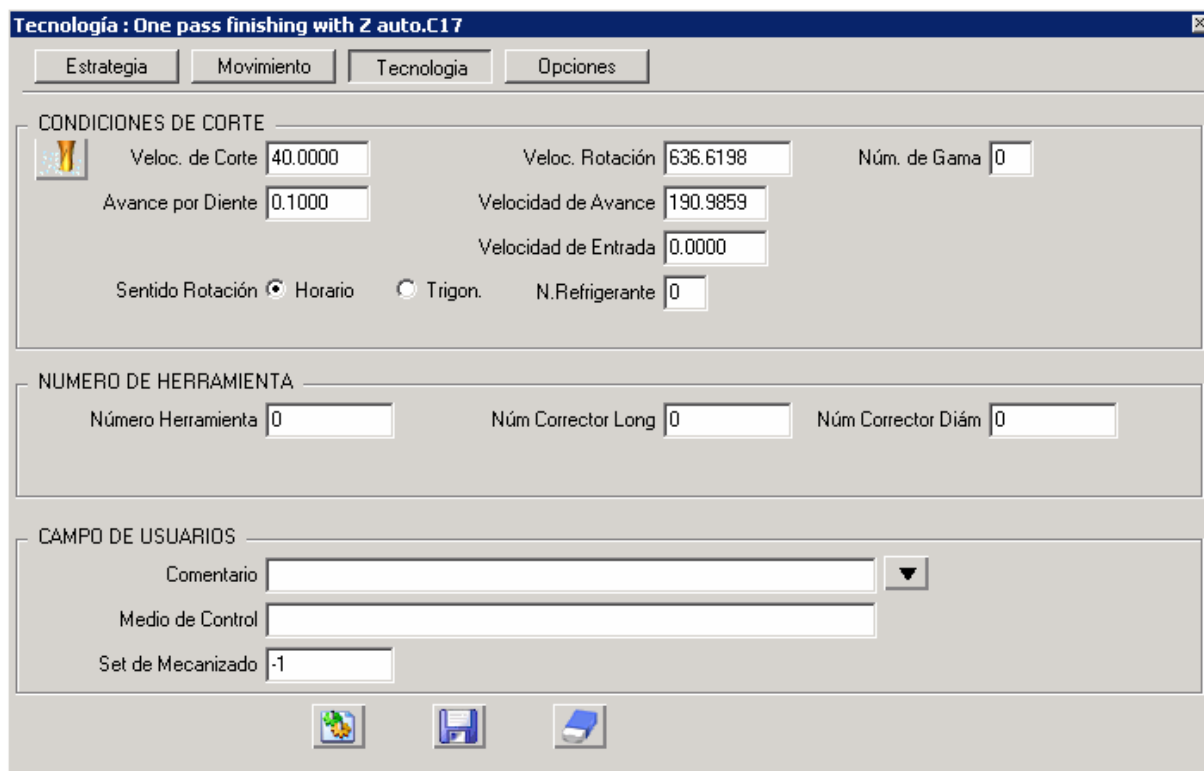


Figura 5 Tecnología de la mecanització en la caixa

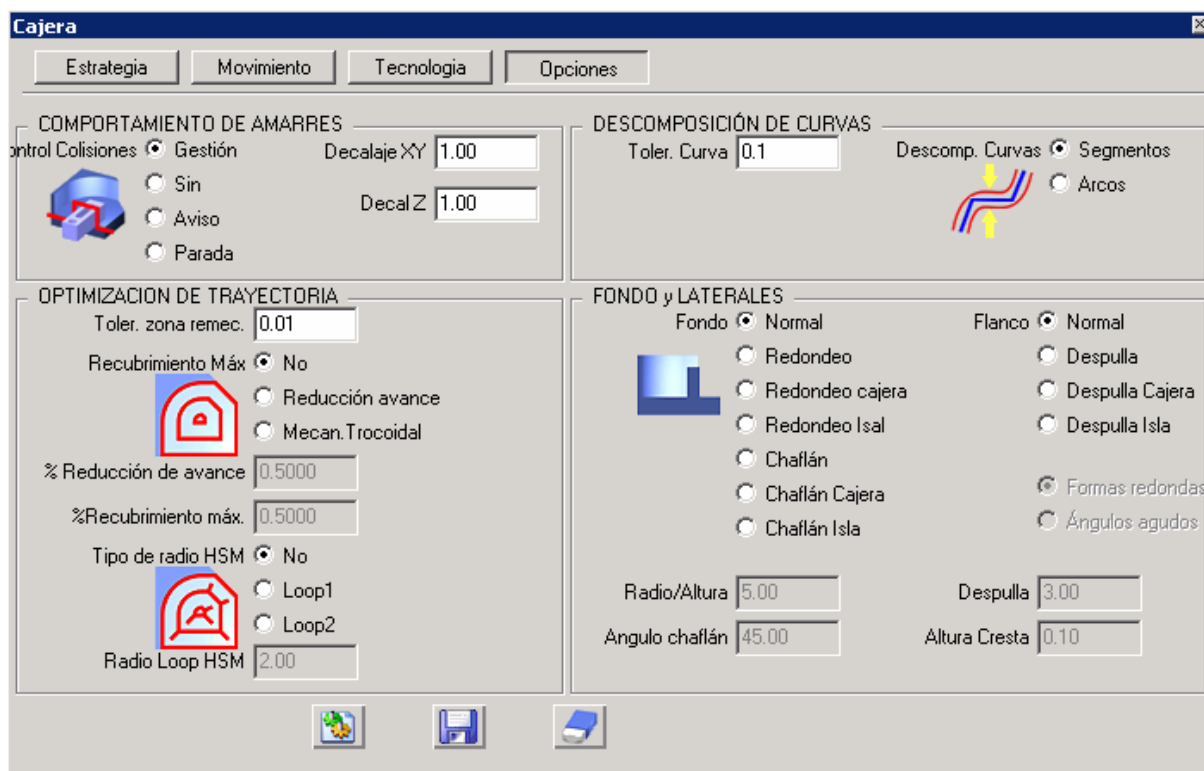


Figura 6 Opciones de mecanització en la caixa



Com es pot observar, la gran majoria de paràmetres fan variar el temps de tall i la rugositat superficial. Aquests paràmetres, que es mostren en les diferents figures extretes del GOelan, serveixen majoritàriament per determinar la posició i la velocitat que han d'efectuar les diferents operacions de mecanització.

Segons el cicle de mecanització que es desitgi o es necessiti realitzar apareixen més o menys paràmetres de control. L'estratègia de mecanització (Figura 3) és la interfície que més canvia segons el cicle de mecanització de fresatge que s'esculli, ja que, les altres opcions apareixen bastant semblants en tots els cicles.

## 1.2 Objecte general del projecte

L'objecte del projecte final de carrera és fer noves experimentacions de la investigació iniciada pel grup de recerca del GREPP, ampliant les geometries i algun factor de control per tal de tenir un major nombre de dades i així, poder saber el comportament que tenen aquests factors en el temps de tall i la rugositat superficial.

## 1.3 Especificacions i abast del projecte

| Nom         | R/D | Descripció  |
|-------------|-----|---|
| Objectiu:   | R   | El projecte ha d'ampliar la geometria d'estudiada pel GREPP i ha de donar una informació més detallada dels factors individuals i de les interseccions que controlem  |
| Funció:     | R   | Calcular l'efecte de cadascun dels paràmetres de control que intervenen en el procés de mecanització de cada geometria escollida ja sigui un efecte individual o un efecte amb intersecció.                               |
|             | R   | Determinar el procés que ens dóna el temps de tall inferior o determinar quins nivells han d'agafar els factors per aconseguir els resultats de temps òptims, tanmateix, també realitzar-ho amb la rugositat superficial. |
| Dimensions: | R   | Les dimensions de la placa és de 250 x 250 x 10 mm per cada geometria.  |
| Recursos:   | D   | Tots els recursos que es faran servir seran els que hi hagi en el laboratori de l'àrea de processos de fabricació.  |
|             | R   | El software que s'utilitzarà és el GOelan versió 5.6.   |
|             | R   | El centre de mecanització que s'utilitzarà és la Deckel Maho 64V linear amb control Fanuc 180i.   |
|             | R   | El rugosímetre que s'utilitzarà és el Mitutoyo Surfes SV-2000   |

|                 |   |   |
|-----------------|---|---|
| Material:       | R | El material ha de ser fàcil de mecanitzar, disposar-ne ràpidament i que s'utilitzi en el camp de motlles i matrius.   |
|                 | R | La mecanització es faran amb eines de 6 i de 12 mm d'acer ràpid amb aliatge de cobalt de dues dents, model 191080 de la marca Garant.   |
| Metodologia:    | R | El projecte ha d'emprar el mètode de Taguchi.   |
| Terminis:       | R | El projecte final de carrera haurà de ser fet amb dos mesos.  |
| Experimentació: | R | Ordre dels experiments aleatoris.   |
|                 | D | Repetició dels experiments  |
| Costos:         | R | Minimitzar el cost del treball d'investigació del projecte final de carrera.<br>Només es mecanitzarà la passada d'acabat per mirar el temps de tall i la rugositat superficial. |

Taula 1 Especificacions del projecte

L'abast del projecte és realitzar l'experiment mitjançant el mètode de Taguchi, que inclou el disseny estadístic d'experiments, i treure les conclusions de cada factor en les diferents geometries estudiades. D'aquest experiment, s'aconseguirà un procés de mecanització més robust que farà que hi hagi una disminució de les inspeccions de les peces produïdes i, per tant, una major qualitat i disminució en el preu final del producte.

El resum econòmic per posar en funcionament el treball realitzat no es veu reflectit en la memòria del projecte perquè aquest no té un cost d'instal·lació, ja que no hi ha modificacions ni maquinària nova que s'hagi de realitzar a l'empresa a on s'implanti el resultat obtingut, és una metodologia de treball.

## 2. DISSENY D'EXPERIMENTS

### 2.1 Disseny del sistema

Dissenyar un sistema o fer un experiment suposa deliberadament fer un tractament de diferents dades per tal d'observar la resposta. D'aquest disseny en dependran els resultats que s'obtenen i també del tractament que es pot fer d'aquestes dades. Per tal que l'experiment sigui adequat, s'ha d'efectuar un bon disseny, és a dir, fer un bon dimensionat de la matriu d'experiments, dels factors a tractar i triar el nombre de nivells que es volen per a cada factor.

Els factorials complets o la matriu completa determina tots els possibles casos que es poden experimentar a l'hora de fer un anàlisi experimental, tanmateix, si hi ha un gran nombre de factors farà augmentar el nombre d'assaigs molt ràpidament però, conseqüentment es podrà analitzar tots els efectes principals i totes les interaccions possibles sense tenir cap ambigüitat.

En l'experiment que es realitza, s'utilitza un factorial fraccionat o una matriu fraccionada, ja que així es disminueix el nombre d'assaigs i el preu de l'experimentació. El fet de disminuir aquesta matriu comporta una pèrdua d'informació, que es pot tractar mitjançant el disseny estadístic d'experiments, en aquest cas, no es podrà analitzar tots els efectes principals i interaccions possibles. En qualsevol cas, es donarà el nivell que ha d'agafar cada factor per tal de tenir una petita variabilitat i obtenir l'acabat superficial o temps de tall que s'espera.

Per tenir un bon disseny del sistema s'ha de tenir una matriu ortogonal (tenir el mateix número d'assaig per a cada nivell de factor que s'experimenta) per aconseguir un bon tractament de les dades enregistrades per cada experimentació i així reduir una part de tots els assaigs possibles.

#### 2.1.1 Factors

Els factors o variables són tots els elements que intervenen en un experiment ja siguin controlats o no, durant el procés. Per aquest motiu, en cada experiment hi ha diferents tipus de factors segons l'ús que se'n fa o les repercussions que tenen sobre aquest, per tant, trobarem els factors experimentals, els factors de control o resposta i altres factors no controlats.

Aquests factors poden ser de molts tipus, però els més importants són els factors continus que poden variar el valor de forma progressiva, també anomenats quantificats i llavors es troben els factors discrets que ens permeten identificar a un element, per tant, són factors qualificatius.

Els factors experimentals o independents són els elements que es van controlant mitjançant elements de control, aquests factors es decideixen amb l'experiència o fent estudis previs i descartant aquells que es creuen que tenen menys repercussió. Durant l'assaig, l'experimentador ha d'observar que els valors no variïn del valor que se'ls ha determinat.

A continuació, es detallen els factors que s'han tingut en compte com a factors experimentals en aquest treball:

- Estratègia de mecanització (factor A)
- Diàmetre de l'eina (factor B)
- Recobriment de l'eina (factor C)
- Velocitat de tall (factor D)

Els factors de control o resposta són els elements o senyals que donen un valor o una característica de la realitat i que depenen del nivell que agafi cada factor, és a dir, és la variable dependent del sistema. El canvi en la resposta d'aquests factors pot estar causat per el canvi de nivell d'un factor o bé per la interacció d'aquest factor amb un altre factor. És possible que en l'experimentació hi hagi més d'un factor de control que s'hagi de tenir en compte.

A continuació, es detallen els factors que s'han tingut en compte pels factors de control.

- Temps de tall
- Rugositat superficial

Els factors que es mantenen constants durant tot l'experiment són:

- Velocitat de rotació del capçal, 12000 rpm
- Màquina, Deckel Maho 64V linear i el rugosímetre Mitutoyo Surfest SV-2000
- Software informàtic, GOelan 5.6
- Material, alumini 5083
- Taladrina, si

Els factors no controlats són les variables que no s'observen els valors que van assolint durant el procés de mecanització. Aquests factors poden ser no controlats per dues raons, perquè es creu que no són influents amb els factors de resposta o la inversió per tal de controlar-los no surt a compte pel seu alt cost, per tant, poden tenir una influència important en els factors de control.

A continuació, es detallen alguns dels factors que no s'han controlat durant l'experimentació.

- Temperatura ambient.
- Temperatura de l'eina.
- Temperatura de la placa.
- Humitat.
- Desgast de l'eina.
- Vibracions de la màquina

### 2.1.2 Nivell

Els nivells són els diferents valors que agafen cada factor experimental en els diferents assaigs. Cada cop que es faci un assaig, s'haurà de variar almenys un nivell d'una variable per tal d'observar la resposta del sistema, això suposa, que a major nombre de nivells més assaigs s'haurà de realitzar per l'experimentació. Quan un factor agafa més d'un valor, aquest s'ha de determinar mitjançant el nivell alt (2) i el nivell baix (1), en el cas d'haver-hi més de 2 nivells, aquests es van numerant segons un ordre establert (1,2,3,...). És important assignar els nivells de manera que aquests estiguin ordenats de menor a major ja que així cada nivell va correlatiu amb el seu número i a l'hora de tractar les dades és molt més fàcil no tenir confusions.

A l'experimentació que s'està realitzant, els nivells de cada factor són els següents.

|                                       | Nivell baix |           |          | Nivell alt |         |          |
|---------------------------------------|-------------|-----------|----------|------------|---------|----------|
|                                       |             | opció     |          |            | opció   |          |
| <b>Estratègia de mecanització (A)</b> | 1           | Trocoïdal | Figura 6 | 2          | Espiral | Figura 3 |
| <b>Diàmetre de l'eina (B)</b>         | 1           | 6         | *        | 2          | 12      | *        |
| <b>Recobriments de l'eina (C)</b>     | 1           | 0'5       | Figura 3 | 2          | 0'95    | Figura 3 |

Taula 2 Nivell dels factors en caixa (opció 2 Figura 1)

\*El diàmetre i el tipus d'eina que s'utilitza en la mecanització s'escull abans d'entrar en el cicle de mecanització que es vol realitzar, és per això, que no surt en les figures mostrades anteriorment, no obstant surt el recobriments i el decalatge de l'eina.

|                                       | Nivell baix |      | Nivell alt |      |
|---------------------------------------|-------------|------|------------|------|
|                                       |             |      |            |      |
| <b>Estratègia de mecanització (A)</b> | 1           | 0°   | 2          | 45°  |
| <b>Velocitat de tall (B)</b>          | 1           | 1500 | 2          | 3500 |
| <b>Recobriments de l'eina (C)</b>     | 1           | 0'5  | 2          | 0'95 |
| <b>Diàmetre de l'eina (D)</b>         | 1           | 6    | 2          | 12   |

Taula 3 Nivell dels factors en buidat caixa (opció 8 Figura 1)

### 2.1.3 Dimensió de l'experiment

La dimensió de l'experiment és una de les parts més importants que s'ha de tenir en compte a l'hora de dissenyar un experiment, aquesta part de l'experimentació té un baix cost de resolució però, comporta en la seva realització gran part del cost d'aquest, ja que s'ha de fer una gran quantitat d'assaigs i normalment són cars de realitzar. Per altre banda també hi apareix un augment dels càlculs per tal d'observar els resultats i treure conclusions.

El nombre d'experiments bé determinat per l'equació (Eq. 1) següent:

$$D = F^N \quad \text{Eq. 1}$$

on D és la dimensió, F és el nombre de factors i N és el nombre de nivells.

El sistema de Taguchi, se'n fa referència més endavant, o el DEE (disseny estadístic d'experiments) ens permet fer una reducció dels assaigs mitjançant els factorials fraccionats. però, com ja s'ha comentat anteriorment, es veu reduït el nivell d'informació que tenim de les diferents interseccions entre factors del sistema, ja que sinó, no s'utilitzaria el mètode de Taguchi o el DEE.

La resolució en funció de la dimensió de la matriu completa i la dimensió de la matriu que es fa l'experiment es defineix com (Saderra, 1993) la suma mínima entre la confusió que hi ha entre factors i interaccions o interaccions amb interaccions.

- Resolució 3: Implica que no hi ha confusió entre factors principals. Sens dubte, hi ha com a mínim, confusió entre un factor principal i una interacció entre dos factors.
- Resolució 4: Implica la resolució 3 i tampoc hi ha confusió entre factors principals amb les interaccions de dos factors, tanmateix es troba confusió entre interaccions de dos factors o bé confusió entre un factor principal i una interacció de 3 factors.
- Resolució 5: Implica la resolució 4 i tampoc hi ha confusió entre interaccions de dos factors, tanmateix es troba confusió entre les interaccions de dos factors i les de tres factors.

A continuació, és mostra a la Taula 4, la matriu que s'hauria de generar per un factorial complet i a la Taula 5 la matriu de l'experimentació.

|                     |    | FACTORS |   |   |   |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |      |
|---------------------|----|---------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|
|                     |    | A       | B | C | D | AB | AC | AD | BC | BD | CD | ABC | ABD | ACD | BCD | ABCD |
| NÚMERO D'EXPERIMENT | 1  | 1       | 1 | 1 | 1 | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 1   | 1   | 1   | 1   | 2    |
|                     | 2  | 2       | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  | 2  | 2   | 2   | 2   | 1   | 1    |
|                     | 3  | 1       | 2 | 1 | 1 | 1  | 2  | 2  | 1  | 1  | 2  | 2   | 2   | 1   | 2   | 1    |
|                     | 4  | 2       | 2 | 1 | 1 | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 2  | 1   | 1   | 2   | 2   | 2    |
|                     | 5  | 1       | 1 | 2 | 1 | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2   | 1   | 2   | 2   | 1    |
|                     | 6  | 2       | 1 | 2 | 1 | 1  | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1   | 2   | 1   | 2   | 2    |
|                     | 7  | 1       | 2 | 2 | 1 | 1  | 1  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1   | 2   | 2   | 1   | 2    |
|                     | 8  | 2       | 2 | 2 | 1 | 2  | 2  | 1  | 2  | 1  | 1  | 2   | 1   | 1   | 1   | 1    |
|                     | 9  | 1       | 1 | 1 | 2 | 2  | 2  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1   | 2   | 2   | 2   | 1    |
|                     | 10 | 2       | 1 | 1 | 2 | 1  | 1  | 2  | 2  | 1  | 1  | 2   | 1   | 1   | 2   | 2    |
|                     | 11 | 1       | 2 | 1 | 2 | 1  | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  | 2   | 1   | 2   | 1   | 2    |
|                     | 12 | 2       | 2 | 1 | 2 | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 1   | 2   | 1   | 1   | 1    |
|                     | 13 | 1       | 1 | 2 | 2 | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 2  | 2   | 2   | 1   | 1   | 2    |
|                     | 14 | 2       | 1 | 2 | 2 | 1  | 2  | 2  | 1  | 1  | 2  | 1   | 1   | 2   | 1   | 1    |
|                     | 15 | 1       | 2 | 2 | 2 | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  | 2  | 1   | 1   | 1   | 2   | 1    |
|                     | 16 | 2       | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2   | 2   | 2   | 2   | 2    |

Taula 4 Matriu completa

|                     |   | FACTORS |     |     |     |    |    |    |   |
|---------------------|---|---------|-----|-----|-----|----|----|----|---|
|                     |   | A       | B   | C   | D   | AB | AC | BC |   |
|                     |   | BCD     | ACD | ABD | ABC | CD | DB | AD |   |
| NÚMERO D'EXPERIMENT | 1 | 1       | 1   | 1   | 1   | 1  | 2  | 2  | 2 |
|                     | 2 | 1       | 1   | 2   | 2   | 2  | 1  | 1  |   |
|                     | 3 | 1       | 2   | 1   | 2   | 1  | 2  | 1  |   |
|                     | 4 | 1       | 2   | 2   | 1   | 1  | 1  | 2  |   |
|                     | 5 | 2       | 1   | 1   | 2   | 1  | 1  | 2  |   |
|                     | 6 | 2       | 1   | 2   | 1   | 1  | 2  | 1  |   |
|                     | 7 | 2       | 2   | 1   | 1   | 2  | 1  | 1  |   |
|                     | 8 | 2       | 2   | 2   | 2   | 2  | 2  | 2  |   |

Taula 5 Matriu fraccionada

Com es pot observar la matriu fraccionada s'ha reduït a una meitat però continua essent ortogonal, és a dir, cada factor té el mateix nombre de 1 que de 2, per ser més concrets, cada factor té 4 repeticions del mateix nivell. La resolució de la matriu és de nivell 4 cosa que fa que tinguem confusió entre factors principals i interaccions de 3 factors (A

amb BCD, B amb ACD, C amb ABD i D amb ABC) o bé, interaccions de 2 factors (AB amb CD, AC amb DB o BC amb AD) com es pot observar a la Taula 5.

Amb l'experimentació que es realitza les interseccions no tenen un fenomen físic que les defineixi amb un nom concret, és per això que es referirà a elles mitjançant la paraula intersecció, això no passaria, per exemple, si l'experiment es realitzes amb els factors pes i volum, ja que llavors és podria anomenar densitat.

S'utilitza la Taula 5 per a cada cicle de mecanització (caixera i buidat caixera) per tal de diferenciar les diferents estratègies de mecanització (trocoïdal, espiral, horitzontal i 45°) i evitar així les confusions que això comporta durant els càlculs, per tant, ens queda una matriu doble de 8 assaigs cadascuna, és a dir, 8 assaigs per caixera i 8 per el buidat caixera.

Per crear la Taula 5 Matriu fraccionada, s'ha utilitzat el DEE, les taules es van omplint a mesura que es van introduint 1 i 2 en els factors principals. Per omplir les interaccions entre factors s'utilitza la Taula 6 i el mateix passa quan aquest s'ha de fer amb les interaccions de 3 factors.

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 1 | · | 1 | = | 2 |
| 1 | · | 2 | = | 1 |
| 2 | · | 1 | = | 1 |
| 2 | · | 2 | = | 2 |

Taula 6 Creació d'interaccions (Saderra, 1993)

#### 2.1.4 L'efecte del factor

L'efecte del factor ens indica la repercussió que té cada factor pel fet de canviar del nivell inferior al nivell superior, per tant, l'efecte del factor es calcula un cop s'ha fet l'experimentació.

Per calcular l'efecte s'ha de restar el nivell superior amb el nivell inferior, per fer-ho, s'agafa la mitjana de cada nivell ja que en l'experimentació que es fa es té 4 valors diferents.

$$\text{Efecte de } A = \text{Mitjana}(A_2) - \text{Mitjana}(A_1) \quad \text{Eq. 2}$$

$$\text{Efecte de } AB = \text{Mitjana}(AB)_2 - \text{Mitjana}(AB)_1 \quad \text{Eq. 3}$$

Per tal d'observar els efectes dels factors és interessant crear gràfiques on es vegin cadascun dels factors amb els seus corresponents efectes, d'aquesta manera es veu de forma més ràpida la repercussió que té cada factor.



Els factors més importants són els factors que obtenen un valor de l'efecte major, això indica que, tenen una major repercussió en l'experimentació, segons el valor obtingut, pot donar-se el cas que no hi hagi efectes significatius, per tal d'acotar-ho, aquest ha de ser superior a l'error experimental (Eq. 4).

Si s'utilitza una matriu fraccionada els efectes es veuen modificats per la composició de les variables, cosa que fa que pugui aparèixer un dels 3 casos següents:

- Els efectes es sumen.
- Els efectes es resten, i per tant, si tenen el mateix valor tingui un efecte nul.
- Una de les interseccions tingui un efecte 0 i que tota la repercussió sigui a causa de l'altre intersecció que hi apareix.

### 2.1.5 Recorregut dels factors

Abans de definir i saber perquè s'utilitza el recorregut, hem de definir la rèplica i la repetició. La replicació és la repetició de tota una sèrie d'assaigs on es torna a començar inicialment des de zero, per tant, es torna a reproduir les condicions inicials de la primera experimentació. La repetició és tornar a fer un mateix procés que ja s'ha realitzat una vegada sense tornar a l'inici, és a dir, es mantenen les condicions operatives constants i es realitzen les mesures durant un espai curt de temps amb la mateixa posada a punt inicial. En aquest projecte, la replicació és utilitzada quan es gira la placa d'alumini i es torna a mecanitzar els diferents assaigs una altra vegada i per a cada geometria i, per altra banda, la repetició es troba en la presa de dades en l'acabat superficial, per tant, s'obté 4 dades de l'acabat superficial per a cada assaig, 2 rèpliques amb 2 repeticions cadascuna.

El recorregut és la diferència en valor absolut que s'obté de les respostes obtingudes del primer assaig amb el segon. Després de calcular el recorregut de cadascun dels diferents assaig s'agafa una mitjana d'aquest per tal de calcular l'error experimental, aquest error experimental s'obté per la fórmula (Eq. 4) i és l'error produït per la rèplica, és a dir, que té en compte la repetició de l'assaig i la posada a 0 i que és multiplicat per un coeficient que indica el % de confiança de l'experimentació (Taula 7).

$$E_{\text{exp}} = K \cdot R_{\text{med}} \quad \text{Eq. 4}$$

| <b>Rèpliques</b>     | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Confiança 95%</b> | 3,5      | 2,3      | 1,9      | 1,7      |
| <b>Confiança 99%</b> | 4,6      | 3        | 2,5      | 2,2      |

Taula 7 Valor de la constant K segons l'interval de confiança i les rèpliques.

En el projecte, s'ha agafat el 95% de confiança i s'ha fet dues rèpliques de l'experimentació per tal de no elevar el preu del treball, per tant, la constant  $K$  agafa el valor de 3,5.

#### 2.1.6 Soroll

El soroll o variació són els elements del procés que fan que hi hagi una modificació del sistema un cop es reproduïx l'assaig amb les mateixes condicions, això provoca que s'hagi de fer un control de les peces obtingudes en l'assaig i comporta així, un augment del preu en la peça o producte final. El problema que hi ha en el soroll és que és difícil de saber d'on prové, ja que sinó, es podria intentar tractar per tal de solucionar-ho i després no hi hauria soroll, tanmateix, s'ha introduït alguns exemples de sorolls que podrien causar aquesta variació.

Aquesta variació pot ser de dues tipologies segons les causes que el provoquen, el soroll intern i el soroll extern.

El soroll extern correspon a les causes ambientals i a l'ús del producte, en el cas d'aquest projecte, les causes ambientals podrien ser, entre d'altres, la variació de la humitat, temperatura, pols, vibracions de la màquina, menor quantitat d'emulsió de tall (taladrina). Un altre soroll extern podria ser la incorrecte manipulació de les diferents parts del procés per l'home.

El soroll intern és un altre de les causes de la variació dels processos quan els repetim al llarg del temps. D'aquest soroll se'n distingeixen dues parts: la degradació de les prestacions i les imperfeccions de fabricació.

La degradació de les prestacions és el desgast que podem trobar degut a la utilització d'uns elements durant la fabricació d'aquest. En aquest cas la degradació podria ser causa del desgast del fil de tall de l'eina, la qualitat de la taladrina per refredar el sistema, les imperfeccions del material.

La imperfecció de fabricació és el desajustat de la màquina durant el funcionament, aquest podria ser degut a les vibracions que es produeixen ja sigui per tenir una màquina poc robusta, que entri en ressonància, està per sobre el límit del seu correcte funcionament que fa que tinguem un possible desequilibri intern de la maquinària.

#### 2.1.7 Robustesa

Qualsevol sistema de DEE o de Taguchi busca que en les seves experimentacions el sistema no es vegi alterat per les variacions, això consisteix en aconseguir que el producte o element sigui el menor sensible a aquestes variacions introduint nous factors o variant-los ja que sovint, són molt més econòmics de controlar que no pas intentar extreure del sistema aquest tipus de factors que fan que hi hagi variabilitat.

En el cas que ens ocupa podria ser la temperatura que hi ha en el fil de tall de l'eina i que això afecti a l'acabat superficial de la peça mecanitzada. Controlar la temperatura és molt difícil però si es tira taladrina provocarà un refredament de l'eina i la temperatura no augmentarà tant, en aquest cas, se sap que si es tira taladrina hi ha un refredament però no se sap si l'augment de la temperatura dóna una variabilitat en l'acabat superficial.

#### 2.1.8 Validesa

La validesa d'una experimentació vindrà determinada per diferents components per tal que aquesta sigui correcta.

Que un experiment sigui vàlid significa que és digne de confiança, és a dir, que es pot reproduir l'experiment quan convingui en unes condicions similars, dins la fabricació, i els resultats haurien de ser similars als obtinguts durant l'assaig, ja que es realitzarà amb els nivells dels factors més òptims per tal de produir amb una menor variabilitat i dins els límits que el client ens demana.

Per tal de determinar una bona confiança, l'ordre de l'assaig haurà de ser determinat per algun mètode d'atzar, això farà que hi hagi una protecció sobre l'experiment i no es realitzin una sèrie de paràmetres seguits en el mateix nivell, per aconseguir aquest atzar s'ha creat un programa amb visual bàsic que determina amb nombres aleatoris l'ordre en què es fa cada experiment, d'aquesta manera si es produeix un canvi dels factors no controlats s'obté un resultat que es veu equilibrat amb els altres assaigs. Tanmateix, el programa aleatori fa que no es tendeixi a afavorir un nivell d'algun factor, que sol passar amb molts dels experiments que es realitzen.

Un altre fet que s'ha de tenir en compte és que els factors escollits s'han de poder controlar permanentment, que siguin fàcils de manipular i que es mantinguin constants durant l'assaig.

## 2.2 Metodologia Taguchi

El mètode de Taguchi permet fer experiments i assajar diferents conceptes tenint en compte diversos factors a la vegada per tal d'aconseguir que el producte resultant sigui més robust, ja essent menys sensible a factors canviants o factors que són difícils o molt cars de controlar.

Els passos per fer aquesta optimització del producte són tres:

- Disseny del sistema, en què s'utilitzen els coneixements científics i d'enginyeria per determinar una configuració bàsica (apartat 2.1.1).
- Disseny de paràmetres, determina els valors específics dels components del sistema (apartat 2.1.2)

- Disseny de toleràncies, determina les toleràncies dels paràmetres, per tant, s'ha de determinar un menor marge a aquells paràmetres més sensibles. Per determinar aquesta sensibilitat dels paràmetres s'utilitza el disseny estadístic d'experiments. En el cas que no es compleixin els objectius que es demanen, s'ha d'augmentar la qualitat o categoria dels elements que intervenen en el producte, és a dir, materials més bons, maquinària més potent, amb la qual cosa hi haurà un augment final del producte ja que aquests elements són més cars.

Les pèrdues que realment preocupen són aquelles que passen quan les característiques de la qualitat d'un producte es desvia del valor objectiu desitjat. Les pèrdues segons Taguchi no només es creen quan un producte no entra dins les especificacions desitjades sinó també quan aquestes es desvien de les condicions objectiu, que són 5 condicions:

- Nominal millor (aconseguir l'objectiu desitjat amb una variació mínima respecte el punt òptim).
- Menor millor (minimitzar una resposta)
- Major millor (maximitzar una resposta)
- Atribut (classificar i/o contar dades)
- Dinàmica (la resposta varia segons altres factors).

El temps de tall respon a una característica de menor millor, això comporta mecanitzar un major nombre de peces en un determinat període de temps, si es mecanitza una sola peça normalment es vol que aquesta surti amb el menor temps de la màquina. Altrament, tenir un temps de tall molt petit significa que hi hagi un desgast més ràpid del fil de tall de l'eina i no surt a compte ja que s'ha de canviar més sovint. En aquest treball i en aquest factor de control s'intenta afavorir el menor temps de tall sense tenir en compte com repercuteix amb el desgast i el canvi de l'eina.

La rugositat superficial respon també a una característica de menor millor, això implica que es vol obtenir un acabat que dona més pes aquell assaig on hi ha menys rugositat en la superfície mecanitzada. L'acabat superficial és veu afectat pel desgast del fil de l'eina de manera que es veu influenciat el temps de tall. En aquest treball i en el factor de control de la rugositat s'afavoreix aquella superfície amb una menor rugositat.

Per reduir aquestes variacions i que no es desviïn del seu objectiu s'ha d'utilitzar els mètodes estadístics d'experiments (DEE) per tal d'aconseguir aquesta mínima variabilitat dels factors resposta segons els diferents nivells dels factors experimentals i reduir així, els costos de qualitat.

## 2.3 Definicions prèvies

### Fresadora

La màquina que s'utilitza en l'experimentació és el centre de mecanització Deckel Maho 64VLinear de 3 eixos amb control Fanuc. El centre de mecanització té unes dimensions de 4,5x4,9x3,3 metres. Les dimensions a mecanitzar són de 640x600x500 mm amb una velocitat de fusell de fins a 12000 rpm amb un porta-eines de fins a 30 eines.

### Temps de tall

El temps de tall és el període de temps que transcorre entre que l'eina comença l'arrencament de la ferritja del material a mecanitzar fins que deixa de fer-ho.

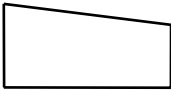

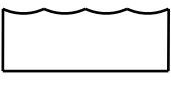
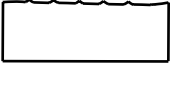
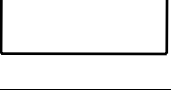
### Rugosímetre

El rugosímetre que s'utilitza en l'experimentació és de la marca Mitutoyo, especialitzada en la fabricació i comercialització d'instruments de mesura, el model és el Surfest SV-2000 amb una carrera de palpació de 800 mm, resolució de 0,1  $\mu\text{m}$ , l'avanç en l'eix x de 100 ó 200 mm capaç de calcular 45 paràmetres en que es vol destacar ( $R_a$ ,  $R_y$  i  $R_z$ ).

### Rugositat superficial

La rugositat superficial és el conjunt d'irregularitats d'una superfície real, definides convencionalment en una secció on els errors de forma i les ondulacions han estat eliminats. La rugositat en les peces mecanitzades per arrencament de ferritja s'aconsegueix determinant el grau d'irregularitats de la superfície que s'ha mecanitzat.

A la Taula 8 es veuen els diferents defectes d'irregularitats.

| Irregularitats |          |   | Exemples d'origen  |
|----------------|----------|---|--|
| Forma          | 1r ordre |  | Desviació en la subjecció de la peça en la mecanització.               |
| Ondulació      | 2n ordre |  | Oscil·lacions durant la mecanització degudes a la peça o a la màquina. |
| Rugositat      | 3r ordre |  | Forma de l'eina, profunditat i avanç en què treballa                   |
|                | 4t ordre |  | Arrencament de ferritja, deformació de la superfície per perdigonatge. |
|                | 5è ordre |  | Corrosió. Modificació de la superfície per acció química.              |

Taula 8 Tipus d'irregularitats superficials

La unitat de rugositat és la micra ( $1\text{micra} = 1\ \mu\text{m} = 0,001\ \text{mm}$ ) i en els plànols constructius de les peces s'indica mitjançant signes i valors numèrics segons la normativa ISO 1302. Dins la rugositat trobem els diferents nivells tal i com s'indica en la Taula 9. Amb el fons gris s'indica la rugositat superficial típica del fresatge.

|                                  |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |      |       |
|----------------------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| Valor rugositat superficial (Ra) | 50  | 25  | 12,5 | 6,3 | 3,2 | 1,6 | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,025 |
| Classe de rugositat              | N12 | N11 | N10  | N9  | N8  | N7  | N6  | N5  | N4  | N3  | N2   | N1    |

Taula 9 Classe de rugositat superficial

La mitjana de la rugositat en  $\mu\text{m}$  (Ra) és el valor mitjà aritmètic dels valors absoluts de les distàncies del perfil de rugositat de la línia intermèdia de la longitud de mesura. El valor mitjà de rugositat és idèntic a l'altura d'un rectangle on la seva longitud és igual a la longitud total d'avaluació ( $l_m$ ) i això a la vegada és idèntic a la superfície de la suma que existeix entre el perfil de rugositat i la línia intermèdia. On l'Eq. 5 és per fer mesures contínues mentre que l'Eq. 6 per mesures discretes.

$$Ra = \frac{1}{lm} \int_0^{lm} |f(x)| dx \quad \text{Eq. 5}$$

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(f(x_i))| \quad \text{Eq. 6}$$

## 2.4 Matriu resultant

La Taula 10 i la Taula 11 ens indica els diferents assaigs que es mecanitzen amb les diferents experimentacions d'aquest treball de fi de carrera, com es pot observar, és una matriu fraccionada on els paràmetres mantenen la ortogonalitat demanada en el DEE. Com es pot observar, hi ha creades dues matrius on la única diferència que hi ha és l'estratègia de mecanització que s'utilitza, per tant, cada geometria té 16 assaigs que, amb les rèpliques fa que cada geometria sigui mecanitzada 32 vegades.

| Caixera                   |             | Recobriment 50% |         | Recobriment 100% |         |
|---------------------------|-------------|-----------------|---------|------------------|---------|
|                           |             | Trocoïdal       | Espiral | Trocoïdal        | Espiral |
| Velocitat de tall<br>1500 | Diàmetre 6  | x               |         |                  | x       |
|                           | Diàmetre 12 |                 | x       | x                |         |
| Velocitat de tall         | Diàmetre 6  |                 | x       | x                |         |

Taula 10 Matriu caixaera

| Buidat de caixaera        |             | Recobriment 50% |           | Recobriment 100% |           |
|---------------------------|-------------|-----------------|-----------|------------------|-----------|
|                           |             | Paral·lel       | Angle 45° | Paral·lel        | Angle 45° |
| Velocitat de tall<br>1500 | Diàmetre 6  | x               |           |                  | x         |
|                           | Diàmetre 12 |                 | x         | x                |           |
| Velocitat de tall         | Diàmetre 6  |                 | x         | x                |           |

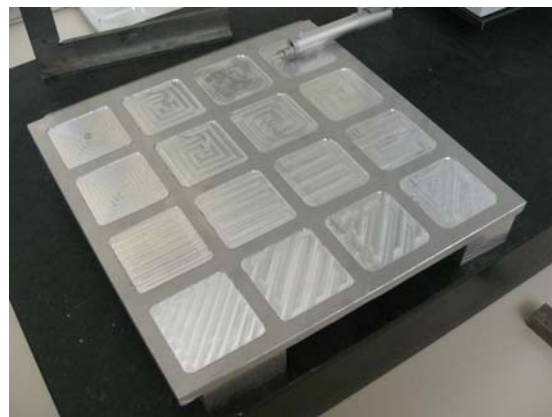
Taula 11 Matriu buidat caixaera

### 3. ANÀLISI I DISCUSIÓ DE RESULTATS

L'experimentació que s'ha realitzat consta de la mecanització de 3 plaques d'alumini de 250x250x3mm en què s'ha calculat el temps de tall, des del centre de mecanització, (Imatge 1) i la rugositat superficial, rugosímetre Mitutoyo (Imatge 2), amb les diferents geometries: quadrada, circumferència i claveta.

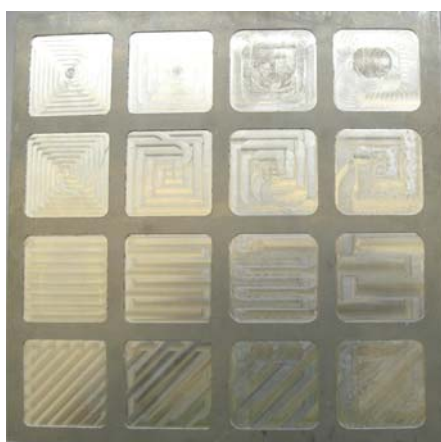


Imatge 1 Centre de mecanització



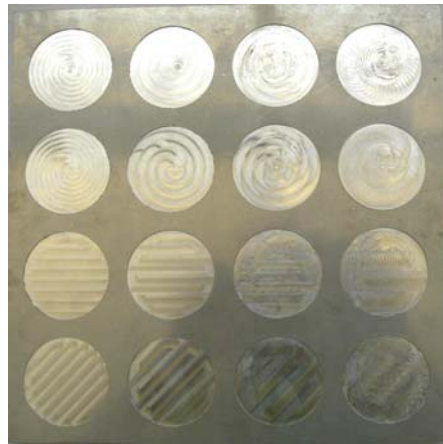
Imatge 2 Rugosímetre

Per tal de determinar el número de cada assaig de l'experimentació la posició de l'assaig queda definit de la següent manera: la part superior esquerra de la foto és l'assaig número 1, llavors, el sentit continua amb les mecanitzacions horitzontals, un cop s'ha acabat, és passa a la línia de sota i es torna a tirar cap a la dreta, de manera, que els 8 primers són les caixeres i els 8 restants el buidat de caixa. L'ordenació és idèntica per la Imatge 3 i la Imatge 4. La placa que hi ha mecanitzades les clavetes (Imatge 5) conté la rèplica en la mateixa cara, de manera, que la tercera fila, és la rèplica de la primera i la quarta és la rèplica de la segona. Les rèpliques del quadrat i la circumferència han estat mecanitzades a l'altre cara de la placa.

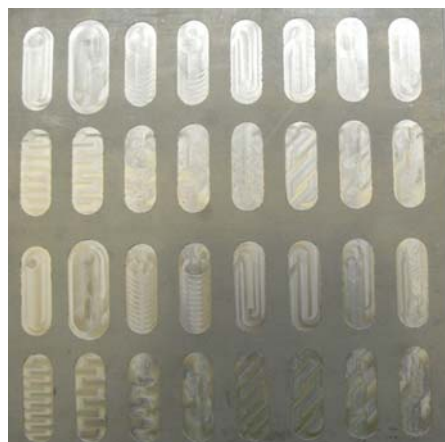


Imatge 3 Quadrat





Imatge 4 Circumferència



Imatge 5 Claveta

### 3.1 Resultats obtinguts sense considerar els efectes de les interseccions

Els resultats que es mostren a continuació s'han extret de l'annex de càlcul on es pot veure totes les dades, càlculs i gràfiques que s'utilitza per fer aquest apartat de la presentació de resultats. Els resultats que es mostren estan realitzats amb un 95% de confiança i amb 2 rèpliques, per tant, la constant que s'utilitza per trobar el soroll és de 3,5.

El temps de mecanització s'ha extret directament del centre de mecanització, al fer dues rèpliques, tenim dos temps de tall (a l'annex A temps 1 i temps 2 respectivament) mentre que en la rugositat superficial s'ha fet les mesures amb el rugosímetre, dues rèpliques amb dues repeticions (a l'annex A rugositat 1.1, rugositat 1.2, rugositat 2.1 i rugositat 2.2).

A l'últim apartat de cada geometria i cicle hi ha escrit la combinació que es desprèn de la visualització de la gràfica degut als efectes dels factors principals, quan l'efecte principal va per la part negativa, agafa el valor 2 mentre, que si va per la part positiva agafa el valor 1,

per tant, al final de cada apartat es troba la combinació  $A_i B_i C_i D_i$  on  $i$  pot tenir el valor de 1 o 2.

En aquesta presentació és fa un anàlisi de les gràfiques obtingudes i no es realitza cap càlcul que no sigui per la creació d'aquestes, per tant, aquesta solució no ha de perquè ser la òptima. La solució òptima està descrita en l'apartat 3.3 ja que hi ha realitzats els càlculs necessaris per acabar obtenint les condicions de temps de tall mínim, rugositat superficial inferior i una relació entre el temps i la rugositat superficial.

Hi ha gràfiques en què no apareix la línia de l'error experimental (línia groga de les gràfiques) per la part negativa o per la part positiva, això és degut perquè no hi ha cap efecte que estigui en aquesta part de la gràfica. S'ha establert així per tal de poder tenir una millor visualització de la gràfica. La línia es crea mitjançant Eq. 4 que es pot trobar en l'apartat 2.1.5.

L'última gràfica de cada estratègia de mecanització hi ha la gràfica de la combinació rugositat – temps en què no apareix la línia de l'error experimental.

Per tal de veure un exemple de com es calcula els efectes d'un factor s'ha de fer els càlculs a partir de les taules on hi ha la matriu fraccionada i dels valors que s'han obtingut del factor resposta. Un exemple, es busca els efectes dels factors i de les interseccions en el temps de tall de la caixa quadrada mitjançant la Taula 12 i Taula 13 que són part de la Taula A.7, Taula A.5 i de la Taula A.6.

| Assaig                  | 1    | 2  | 3    | 4  | 5  | 6    | 7  | 8 |
|-------------------------|------|----|------|----|----|------|----|---|
| <b>Temps 1</b>          | 83   | 51 | 20   | 55 | 13 | 20   | 14 | 4 |
| <b>Temps 2</b>          | 82   | 51 | 19   | 55 | 13 | 19   | 14 | 4 |
| <b>Mitjana temps</b>    | 82,5 | 51 | 19,5 | 55 | 13 | 19,5 | 14 | 4 |
| <b>Recorregut temps</b> | 1    | 0  | 1    | 0  | 0  | 1    | 0  | 0 |

Taula 12 Mitjana i recorregut del temps de la caixa quadrada.

| Caixera              | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>1</b>             | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| <b>2</b>             | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| <b>3</b>             | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| <b>4</b>             | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| <b>5</b>             | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| <b>6</b>             | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| <b>7</b>             | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| <b>8</b>             | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| <b>Temps valor 2</b> | 12,625   | 23,125   | 32,375   | 37,875   | 31,375   | 38,625   | 43,75    |
| <b>Temps valor 1</b> | 52       | 41,5     | 32,25    | 26,75    | 33,25    | 26       | 42,75    |
| <b>Efecte</b>        | -39,375  | -18,375  | 0,125    | 11,125   | -1,875   | 12,625   | 1        |

Taula 13 Temps: efecte produït pels factors en la caixa quadrada

$$\text{Error experimental (Eq. 4)} = 3,5 \cdot \frac{\pm 3}{8} = \pm 1,3125$$

$$\text{Efecte A (Eq. 2)} = \frac{13+19,5+14+4}{4} - \frac{82,5+51+19,5+55}{4} = 12,625 - 52 = -39,375$$

$$\text{Efecte B (Eq. 2)} = \frac{19,5+55+14+4}{4} - \frac{82,5+51+13+19,5}{4} = 23,125 - 41,5 = -18,375$$

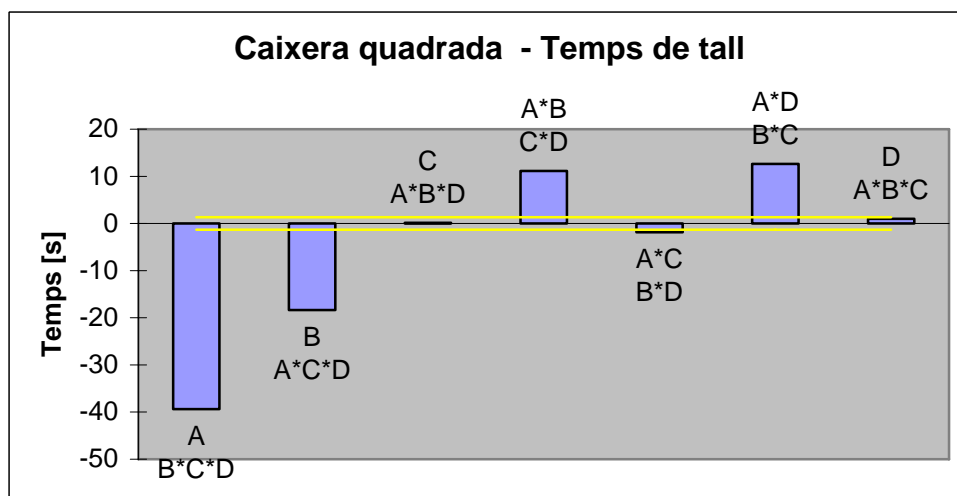
$$\text{Efecte AB (Eq. 3)} = \frac{82,5+51+14+4}{4} - \frac{19,5+55+13+19,5}{4} = 37,875 - 26,75 = 11,125$$

$$\text{Efecte AC (Eq. 3)} = \frac{82,5+19,5+13+14}{4} - \frac{51+55+19,5+4}{4} = 31,375 - 33,25 = -1,875$$

D'aquesta manera s'anirien calculant els altres efectes, utilitzant l'Eq. 2 o l'Eq. 3 segons si calculem els efectes principals o les interseccions dels factors, d'aquesta manera, es van omplint tots els efectes de les diferents geometries (quadrat, circumferència i claveta) i de les diferents respostes que es volen (temps de tall, rugositat i la combinació d'aquestes dues) fins que s'omple tota la taula i finalment es crea la Gràfica A.1.

### 3.1.1 Caixera quadrada

#### Temps de tall caixa quadrada

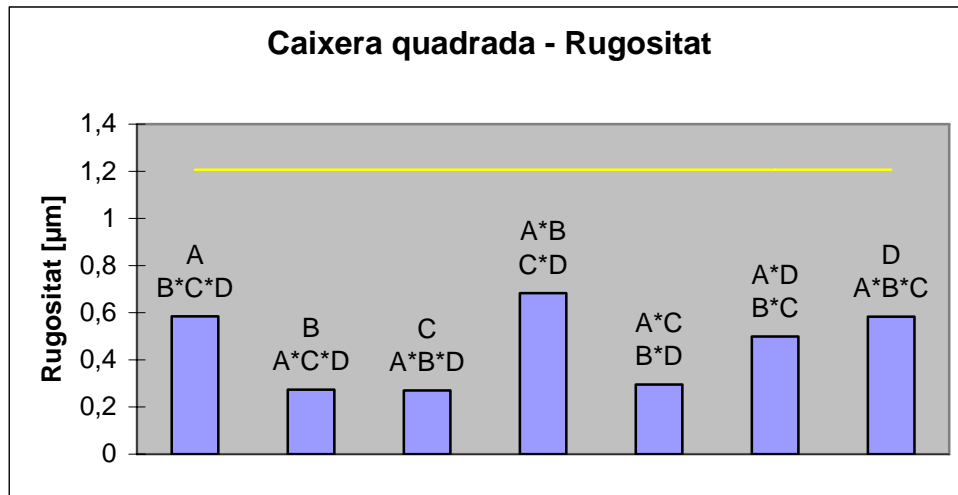


Gràfica 1 Gràfica A.1 Temps: representació dels efectes en la caixa quadrada.

La caixa quadrada té quatre factors molt importants amb el temps de tall, dos són factors principals, estratègia (A) i el diàmetre de l'eina (B) mentre que els altres dos són interseccions (AD o BC i AB o CD). L'ordre d'importància és el que s'ha descrit anteriorment i es troba amb els efectes dels factors i de les interseccions que es pot observar a la Gràfica 1 o bé a la Taula A.7. Hi ha un cinquè factor (AC o BD) que si s'ha de tenir en compte es pot utilitzar però està molt proper a l'error experimental.

Segons la gràfica anterior, els nivells que hauria d'agafar els factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_2B_2C_1D_1$ .

Rugositat caixera quadrada

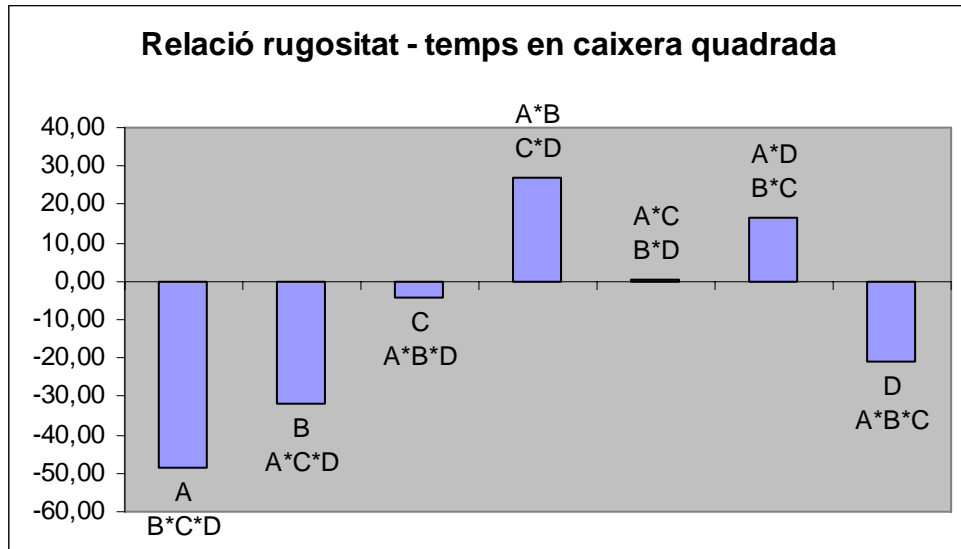


Gràfica 2 Gràfica A.2 Rugositat: representació dels efectes en la caixa quadrada.

La rugositat en la caixa quadrada no té cap factor que sobresurti de l'error experimental, tot i així hi ha la intersecció (AB o CD) que és superior a la resta de factors i després es troben 3 factors (A, D i AD o BC), que destaquen de la resta.

Els efectes dels factors es pot trobar a la Taula A.8. En la rugositat és difícil d'obtenir factors que siguin superiors a l'error experimental ja que el recorregut de les rèpliques és molt elevat.

Segons la gràfica anterior, els nivells que hauria d'agafar els factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_1B_1C_1D_1$ .

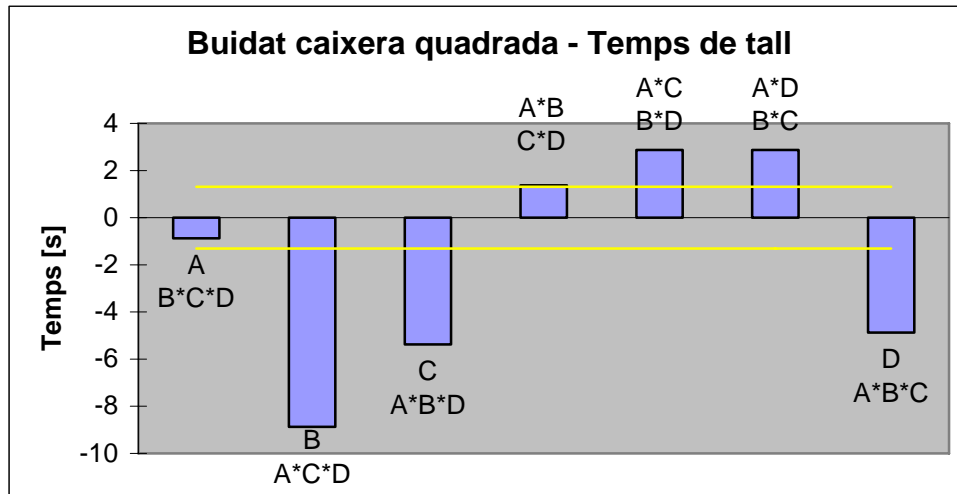
Rugositat - temps caixa quadrada

Gràfica 3 Gràfica A.3 Relació rugositat – temps: representació dels efectes en la caixa quadrada.

La relació rugositat - temps de tall, que no és res més que el producte de multiplicar el temps de tall i la rugositat del mateix assaig, en la caixa quadrada té 3 factors principals importants, l'estratègia de mecanització (A), el diàmetre de l'eina (B) i la velocitat d'avanç (C), després, hi ha dues interseccions que sembla que tinguin un pes important dins la Gràfica 3, aquestes són per ordre d'importància la intersecció (AB o CD) i la (AD o BC). El factor de recobriment (C) i la intersecció (AC o BD) no tenen un pes important ja que no sobresurten dels altres factors, per tant, trobem tres factors bastant definits mentre que el factor de recobriment té un pes poc important i podria ser que canviés de signe per tal de millorar els resultats. S'observa de la Gràfica 3 que els factors agafen la part inferior de la gràfica mentre que les interseccions van per la part superior.

Segons la gràfica anterior, doncs, els nivells que hauria d'agafar els diferents factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_2B_2C_2D_2$ .

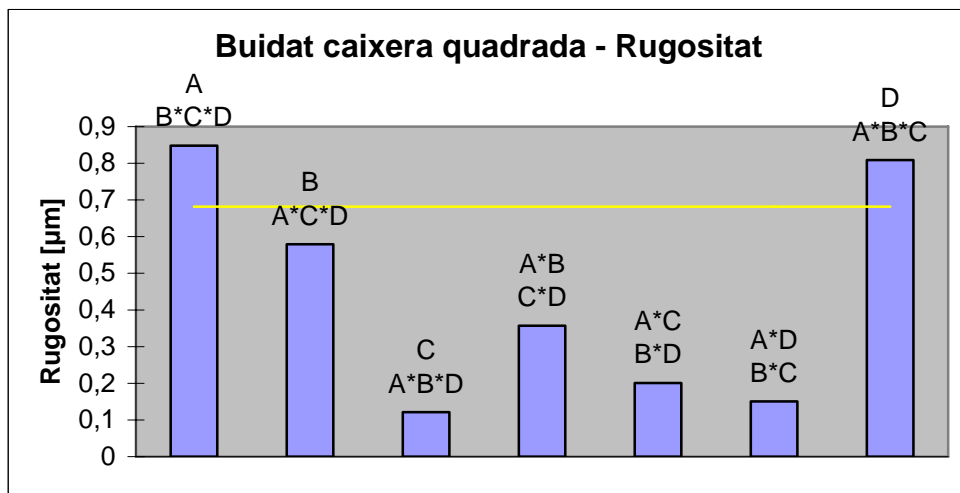
## 3.1.2 Buidat caixaera quadrada

Temps de tall en el buidat de caixaera quadrada

Gràfica 4 Gràfica A.4 Temps: representació dels efectes en el buidat de caixaera quadrada

El buidat de caixaera quadrada té 3 factors principals importants, el diàmetre (B), el recobriment (C) i la velocitat de tall (D), llavors es troben 2 interseccions de factors (AC o BD i AD o BC) que no tenen un significat físic però tanmateix tenen la mateixa importància ja que tenen el mateix efecte. Hi ha una tercera intersecció (AB o CD) que és molt proper a l'error experimental, per tant, s'intentarà evitar per tal de definir els nivells dels factors ja que ja hi ha els altres per fer-ho. Els resultats dels efectes es pot veure a la Taula A.12. S'observa de la gràfica que els factors agafen la part inferior de la gràfica mentre que les interseccions van per la part superior.

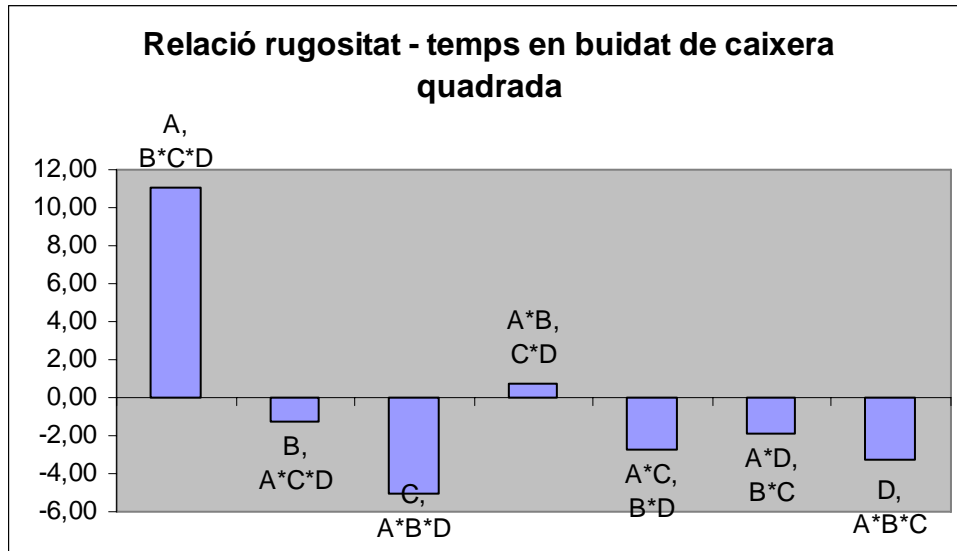
Segons la gràfica anterior, els nivells que hauria d'agafar els factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_2B_2C_2D_2$ .

Rugositat en el buidat de caixaera quadrada

Gràfica 5 Gràfica A.5 Rugositat: representació dels efectes en el buidat de caixaera quadrada

Tot i la dificultat que hi ha en el rugosímetre per evitar un recorregut molt gran dels assaigs, en el buidat de caixaera quadrada, es troben 2 factors principals importants, l'estratègia (A) i la velocitat de tall (D) que traspassen la línia de l'error experimental. En aquesta experimentació, hi ha el factor del diàmetre (B) que tot i no superar la barrera de l'error és molt proper i destaca dels altres factors, per tant, en el cas que no es tingués prou informació seria un dels possibles objectius per tal de determinar els nivells de cada factor. Els valor de la gràfica es poden veure a la Taula A.13.

Segons la gràfica anterior, els nivells que hauria d'agafar els factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_1B_1C_1D_1$ .

Rugositat - temps en el buidat de caixaera quadrada

Gràfica 6 Gràfica A.6 Relació rugositat – temps: representació dels efectes en el buidat de caixaera quadrada.

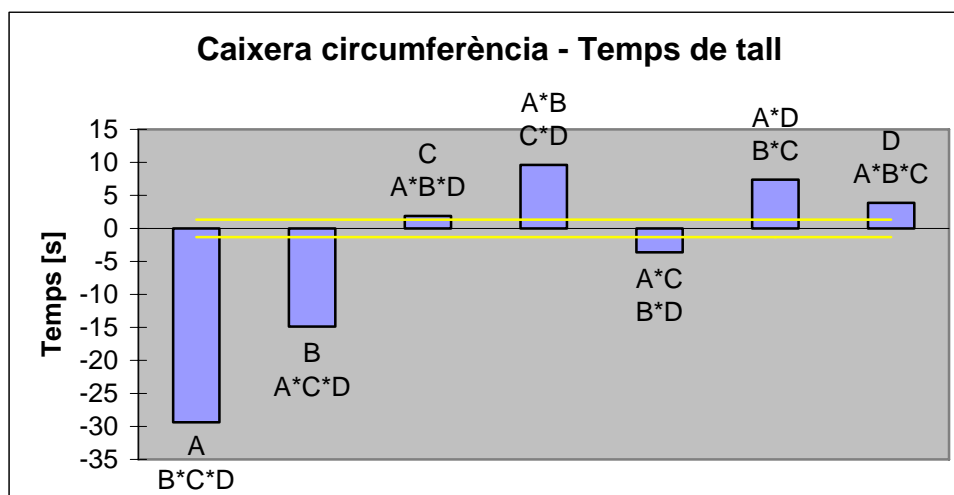
La relació rugositat - temps de tall en el buidat de caixaera quadrada té 1 factor principal important, l'estratègia de mecanització (A), que sobresurt el doble del següent efecte que el segueix, aquest és el recobriment de l'eina (C), la velocitat de tall (D), la intersecció (AC o DB), la intersecció (AD o BC), el diàmetre de l'eina (B) i finalment la intersecció (AB o CD) amb molt poc efecte.

Si s'observa la Gràfica 6, es pot observar que hi ha una estabilitat dels efectes i que aquests no tenen un efecte molt elevat, per tant, l'estratègia de mecanització té un pes important en la relació rugositat - temps.

Segons la gràfica anterior, doncs, els nivells que hauria d'agafar els diferents factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_1B_2C_2D_2$ .



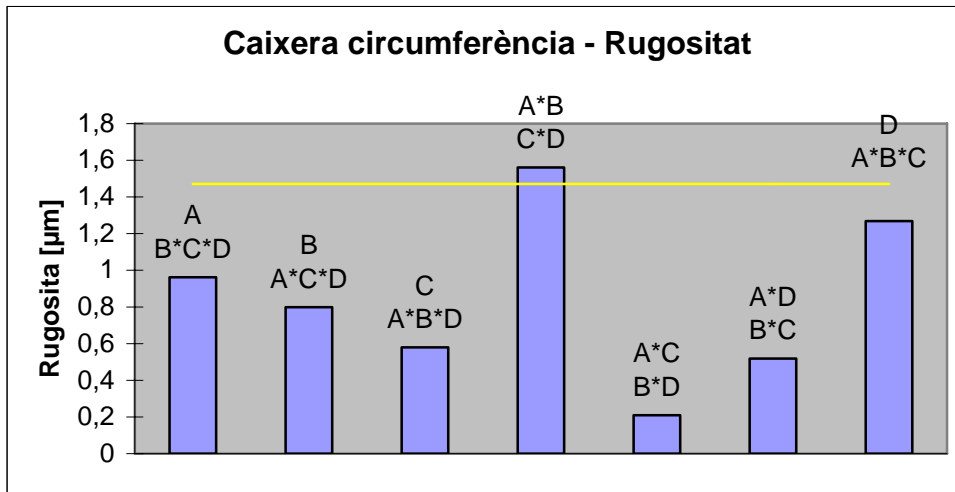
## 3.1.3 Caixera circumferència

Temps de tall caixaera circumferència

Gràfica 7 Gràfica A.7 Temps: representació dels efectes en la caixaera circumferència.

La circumferència mecanitzada amb l'estratègia de caixaera té tots els factors i interseccions per damunt de l'error experimental, això significa que tots els factors són importants. Per tal d'establir l'ordre d'importància es busca l'efecte d'aquests factors i interseccions i s'ordena de major a menor segons el resultat de la Taula A.18. L'ordre en què es trien els nivells dels factors és l'estratègia (A), el diàmetre (B), la intersecció (AB o CD), la intersecció (AD o BC), la velocitat de tall (D), la intersecció (AC o BD) i finalment el recobriment de l'eina (C). Aquest ordre ha de servir d'ajuda però no s'ha de complir estrictament ja que podria ser que no agafessin el mateix nivell els factors amb les interseccions.

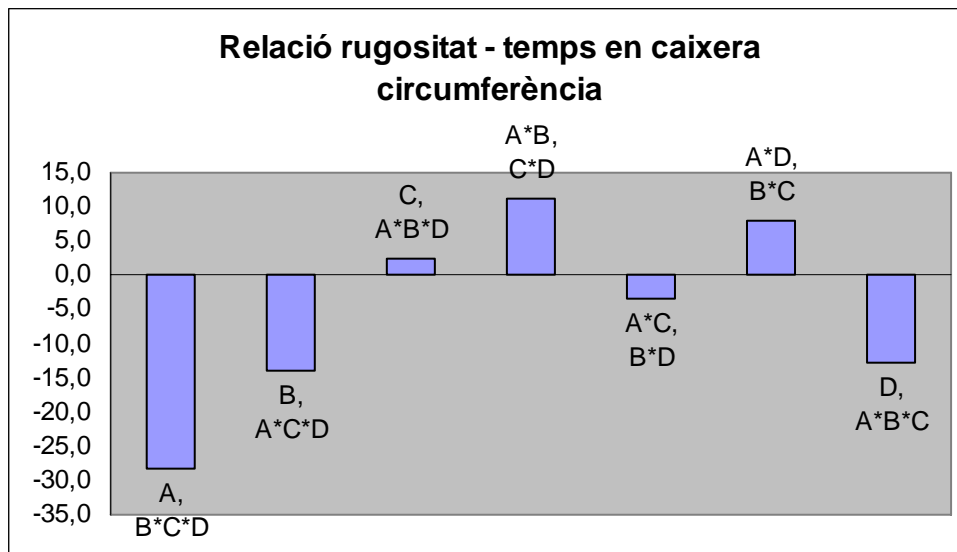
Segons la gràfica anterior, els nivells que hauria d'agafar els factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_2B_2C_1D_1$ .

Rugositat caixera circumferència

Gràfica 8 Gràfica A.8 Rugositat: representació dels efectes en la caixera circumferència.

Tot i ser el segon error experimental més elevat, de les diferents estratègies i geometries estudiades, hi ha una intersecció (AB o CD) que supera la franja de l'error experimental, aquest error experimental elevat és degut a la diferència que hi ha entre la rugositat calculada en l'assaig i la seva rèplica. Hi ha altres factors que tenen un efecte important en la rugositat però que no sobrepassen el límit, aquest seria el cas de la velocitat de tall (D), l'estratègia (A) i finalment es podria agafar el diàmetre de l'eina (B). Els valors es poden trobar a la Taula A.19.

Segons la gràfica anterior, els nivells que hauria d'agafar els factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_1 B_1 C_1 D_1$ .

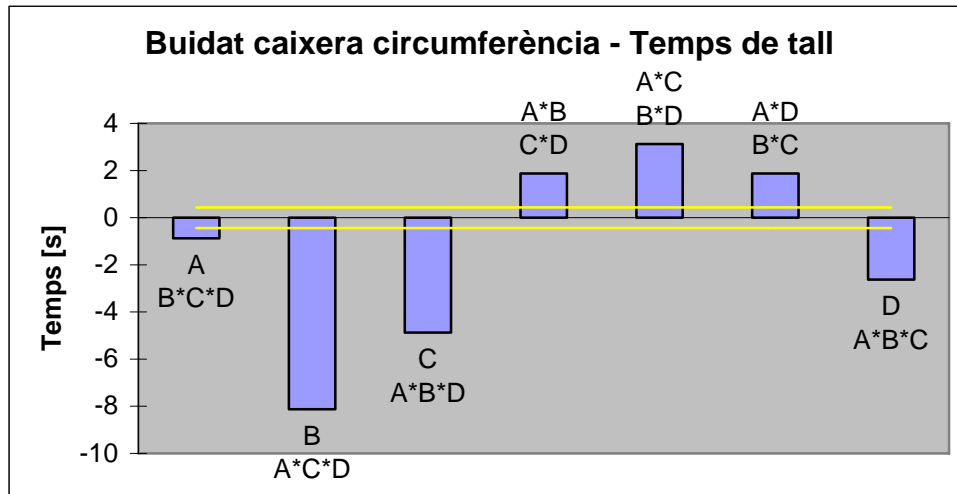
Rugositat - temps caixa circumferència

Gràfica 9 Gràfica A.9 Relació rugositat – temps: representació dels efectes en la caixa circumferència.

La relació rugositat - temps de tall en la caixa circumferència té 1 factor que sobresurt de la resta, el seu valor és de més del doble de qualsevol dels altres efectes dels factors o interseccions. A partir d'aquí, destaquen dos factors i dos interseccions més que queden organitzats de la següent manera per ordre d'importància tal i com es mostra en la Gràfica 9: estratègia de mecanització (A), diàmetre de l'eina (B), velocitat de tall (D), la intersecció (AB o CD), la intersecció (AD o BC), la intersecció (AC o BD) i finalment per acabar el recobriment de l'eina (C). Per aquest motiu, el recobriment de l'eina podria ser que canviés de signe perquè el seu efecte és el menys important de tots els efectes observats.

Segons la gràfica anterior, doncs, els nivells que hauria d'agafar els diferents factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_2B_2C_1D_2$ .

## 3.1.4 Buidat caixaera circumferència

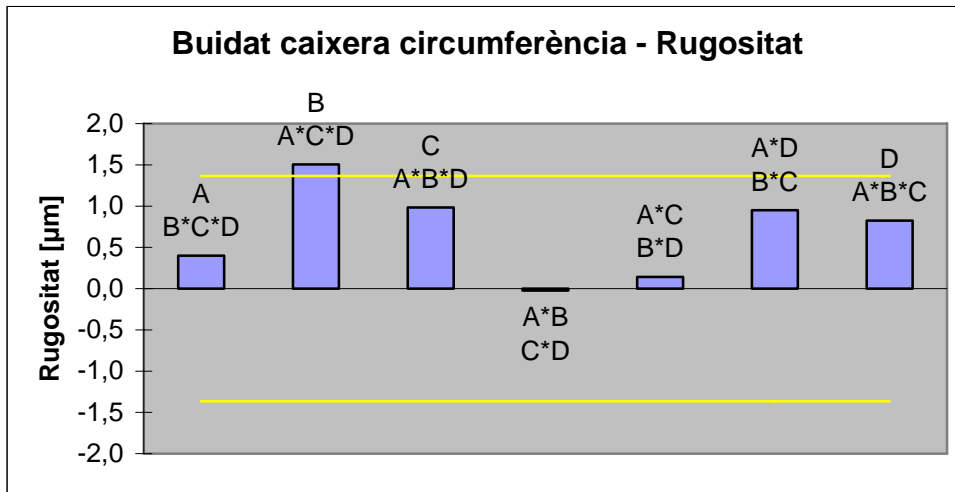
Temps de tall en el buidat de caixaera circumferència

Gràfica 10 Gràfica A.10 Temps: representació dels efectes en el buidat de caixaera circumferència.

El buidat de la caixaera amb la geometria mecanitzada de circumferència té 2 factors principals que destaquen respecte a la resta de factors, aquests són el diàmetre (B) i el recobriment de l'eina (C). Pel què fa a la resta de factors i interseccions tots sobrepassen l'error experimental però es mantenen més al marge que les dues descrites anteriorment. Si es mira detingudament la gràfica es pot observar que els factors principals van per la part inferior de la gràfica mentre que les interseccions van per la part superior tal i com s'ha comentat anteriorment amb el temps de tall en el buidat de caixaera quadrada.

L'ordre de preferència a seguir segons l'efecte que ens dóna la Taula A.23 és el següent: diàmetre (B), recobriment (C), la intersecció (AC o BD), velocitat de tall (D), la intersecció (AB o CD) o la intersecció (AD o BC) i finalment l'efecte menys important l'estratègia de mecanització (A).

Segons la gràfica anterior, els nivells que hauria d'agafar els factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_2B_2C_2D_2$ .

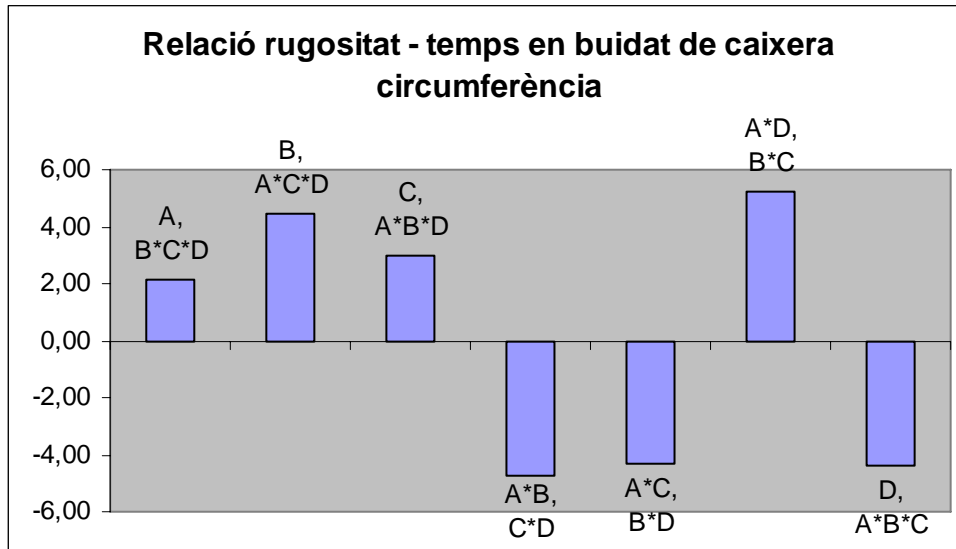
Rugositat en el buidat de la caixa circumferència

Gràfica 11 Gràfica A.11 Rugositat: representació dels efectes en el buidat de caixa circumferència.

El buidat de la caixa amb la mecanització de la circumferència ha donat que l'únic efecte que és superior a l'error experimental és el diàmetre de l'eina (B), tot i així, es pot observar diferents factors i interseccions que estan bastant a prop, com és el cas del recobriment (C), la intersecció (AD o BC) i la velocitat de tall (D). Hi ha altres factors i interseccions que es mantenen pròxim a 0, com seria el cas de les dues interseccions (AB o CD i AC o BD), per altra banda, hi ha el factor de l'estratègia (A) que es queda a un nivell intermedi baix.

La línia de l'error experimental negativa ha estat introduïda perquè hi ha el factor (AB o CD) que agafa un valor negatiu, tot i que es podria evitar perquè ja es veu que no assoleix el valor de l'error es pot observar ràpidament a la gràfica que hi ha almenys un efecte amb el valor negatiu. Els valors dels efectes es poden veure a la Taula A.24.

Segons la gràfica anterior, els nivells que hauria d'agafar els factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_1 B_1 C_1 D_1$ .

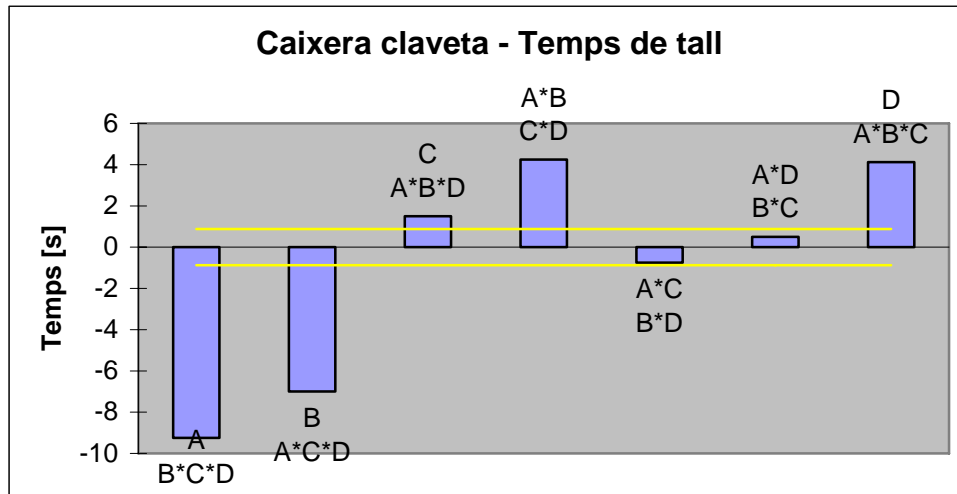
Rugositat - temps en el buidat de caixaera circumferència

Gràfica 12 Gràfica A.12 Relació rugositat–temps: representació dels efectes en el buidat de caixaera circumferència.

La relació rugositat - temps de tall en el buidat de caixaera circumferència té una uniformitat en els diferents efectes dels factors i interseccions. Aquests efectes estan distribuïts tant per la part superior com la part inferior de la gràfica i tenen quasi tots el mateix valor cosa que fa pensar que hi pugui haver-hi diferents canvis en els nivells dels factors un cop s'hagin calculat. La conclusió que es podria treure observant únicament la Gràfica 12 és que cal els diferents nivells de factor haurien de ser els següents  $A_1 B_1 C_1 D_2$ . Tot i així, l'orde que s'estableix, servirà més endavant per tal de determinar els diferents nivells de factors, és el següent tal i com mostra la Taula A.25: intersecció (AD o BC), intersecció (AB o CD), el diàmetre (B), velocitat de tall (D), la intersecció (AC o BD), el recobriment (C) i finalment l'estratègia (A).

L'orde que s'estableix també posa de manifest que hi hagi un possible canvi de nivell de factor ja que hi ha dos factors principals que estan per sota de les interseccions.

## 3.1.5 Caixera claveta

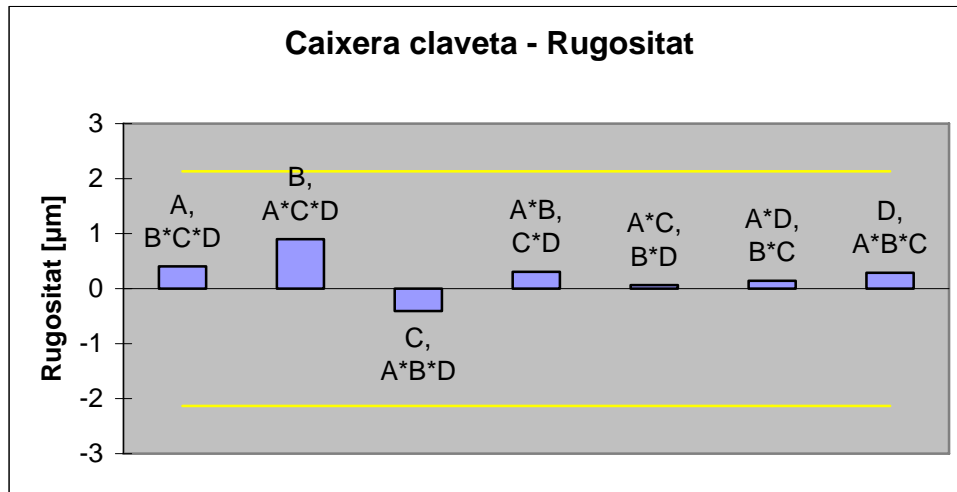
Temps de tall caixaera claveta

Gràfica 13 Gràfica A.13 Temps: representació dels efectes en la caixaera claveta.

La claveta mecanitzada amb l'estratègia de caixaera té tots els factors principals i una de les interseccions per damunt de l'error experimental. Com es pot observar a la gràfica, hi ha dos factors principals que destaquen per damunt dels altres, estratègia (A) i el diàmetre (B) mentre que hi ha el tercer factor, velocitat de tall (D), que té quasi el mateix efecte que una intersecció (AB o CD). El recobriment (C), tot i superar la barrera de l'error aquest no destaca per sobre dels altres factors, per tant, serà un dels últims a ser tractats durant la tria dels nivells de cada factor. Per tal d'establir l'ordre d'importància cal observar els efectes dels factors de la gràfica. L'ordre seria el següent: estratègia (A), diàmetre (B), intersecció AB o CD, velocitat de tall (D) i finalment el recobriment (C).

En el cas de tenir dubtes a la gràfica es pot utilitzar la Taula A.29 per observar concretament els valors dels efectes dels factors i de les interseccions.

Segons la gràfica anterior, els nivells que hauria d'agafar els factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_2B_2C_1D_1$ .

Rugositat caixera circumferència

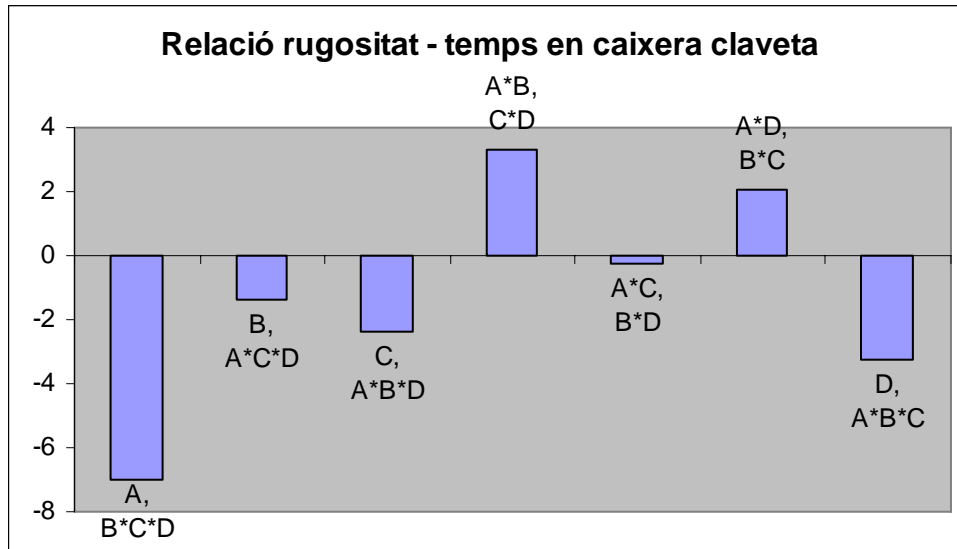
Gràfica 14 Gràfica A.14 Rugositat: representació dels efectes en la caixera claveta.

Els efectes dels factors i de les interseccions són molt petites respecte a l'error experimental o que és el mateix, que hi ha una diferència àmplia entre el primer assaig i la replicació que els efectes no la sobrepassen. Aquest fet porta a tenir uns efectes que no superen l'error experimental i per tant, les conclusions dels nivells dels factors que s'obtenen no han de ser certs ja que tot és soroll.

Tanmateix, per decidir qualsevol dels nivells dels factors s'agafa inicialment el que sobresurt més i a partir d'aquí es realitza una escala amb l'ordenació dels efectes. En el cas de la rugositat en la claveta i per l'estratègia de la caixera és el diàmetre de l'eina (B), recobriment (C), l'estratègia de mecanització (A), la intersecció (AB o CD), la velocitat de tall (D), la intersecció (AD o BC) i finalment la intersecció (AC o BD). Aquest es pot veure millor en la Taula A.30 ja que en la gràfica es pot donar-se confusió.

Segons la gràfica anterior, els nivells que hauria d'agafar els factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_1B_1C_2D_1$ .

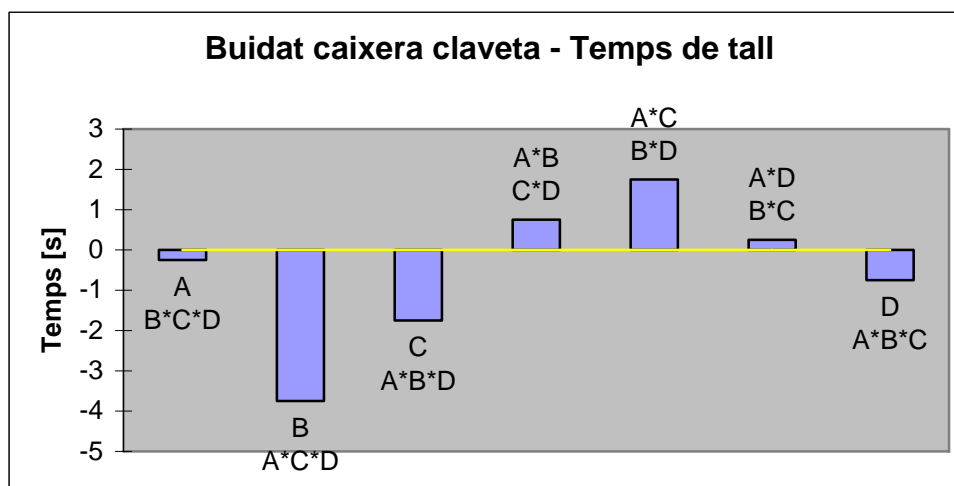


Rugositat - temps caixaera claveta

Gràfica 15 Gràfica A.15 Relació rugositat – temps: representació dels efectes en la caixaera claveta.

La relació rugositat - temps de tall en la caixaera claveta dóna que l'estratègia de mecanització (A) té l'efecte més important de tota la resta i que sobresurt el doble de qualsevol altre efecte, el següent efecte més important és la intersecció (AB o CD), llavors trobem la velocitat d'avanç (D), el recobriment de l'eina (C), la intersecció (AD o BC), el diàmetre de l'eina (B) i finalment la intersecció (AC o BD). Si s'observa la Gràfica 15 es pot veure que els factors principals van per la part inferior, cosa que fa que agafin la solució  $A_2B_2C_2D_2$ , mentre que les dues interseccions importants van per la part superior i poden fer variar la solució un cop es tinguin en compte les interseccions dels factors.

## 3.1.6 Buidat caixaera claveta

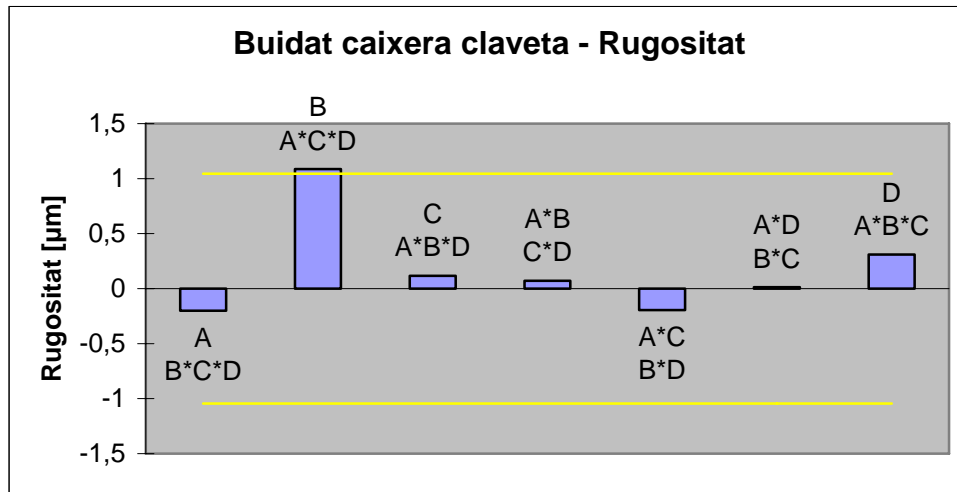
Temps de tall en el buidat de caixaera claveta

Gràfica 16 Gràfica A.16 Temps: representació dels efectes en el buidat de caixaera claveta.

El buidat de la caixaera amb la geometria mecanitzada de claveta s'obté que tots els factors són importants ja que no es té un error experimental, aquest fet es degut a que no hi ha hagut diferències de temps entre el primer assaig i el segon i, per tant, l'error experimental es converteix en 0. Els factors principals passa igual que els altres buidats de caixaera que se situen en la part inferior de la gràfica, mentre que les interseccions es situen a la part superior tal i com es pot observar en la Gràfica 16.

L'ordre de preferència a seguir segons l'efecte que ens dona la Taula A.34 és el següent: diàmetre (B), recobrimet (C) juntament amb la intersecció (AC o BD), velocitat de tall (D) juntament amb la intersecció (AB o CD) i finalment la intersecció (AD o BC) juntament amb l'estratègia de mecanització (A).

Segons la gràfica anterior, els nivells que hauria d'agafar els factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_2B_2C_2D_2$ .

Rugositat en el buidat de la caixaera claveta

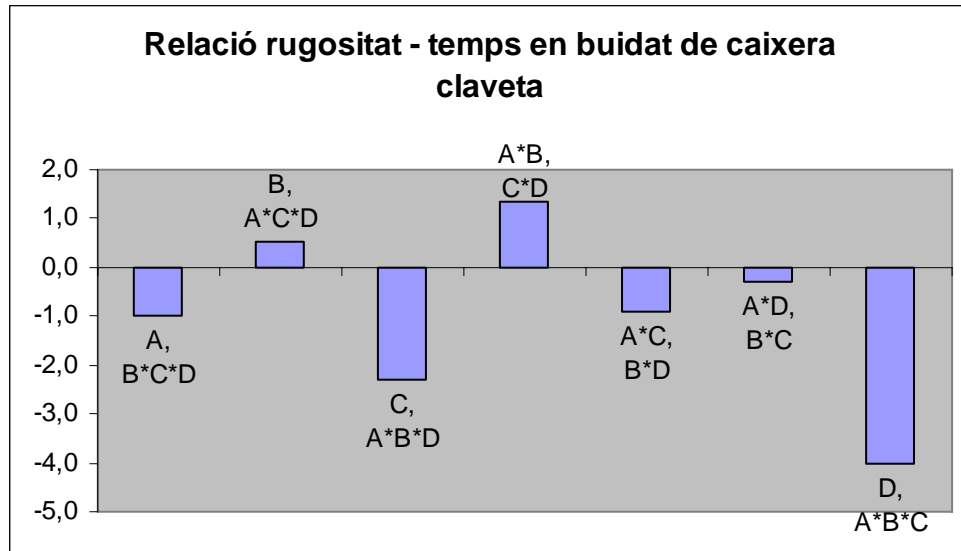
Gràfica 17 Gràfica A.17 Rugositat: representació dels efectes en el buidat de caixaera claveta.

El buidat de la caixaera amb la mecanització de la claveta ha donat que l'únic efecte superior a l'error experimental és el diàmetre de l'eina (B), tot i no superar-lo en gaire escreix, però sí que és bastant significatiu respecte als altres factors i interseccions. No obstant, hi ha un factor i una intersecció que sobresurt, a part del diàmetre, de la resta, és el cas de la velocitat de d'avanç (D) i la intersecció (AC o BD).

Els valors dels efectes dels factors es pot veure a la Taula A.35 i l'ordre que s'ha d'intentar seguir és el diàmetre (B), la velocitat de tall (D), l'estratègia de mecanització (A), la intersecció (AC o BD), el recobriment de l'eina (C), la intersecció (AB o CD) i finalment la intersecció (AD o BC).

Segons la gràfica anterior, els nivells que hauria d'agafar els factors sense tenir en compte les interseccions són  $A_2B_1C_1D_1$ .

Rugositat - temps en el buidat de caixaera circumferència



Gràfica 18 Gràfica A.18 Relació rugositat – temps: representació dels efectes en el buidat de caixaera claveta.

La relació rugositat - temps de tall en el buidat de caixaera claveta té dos efectes principals que destaquen sobre la resta d'efectes, aquest és la velocitat de tall (D) i el recobriment de l'eina (C), llavors es troben els que no sobresurten de la majoria i que s'ordenen de la següent manera: la intersecció (AB o CD), l'estratègia (A), la intersecció (AC o BD), el diàmetre de l'eina (B) i finalment la intersecció amb l'efecte de menys importància (AD, BC).

Si es fa cas únicament de la Gràfica 18 i no es té en compte les diferents interseccions que hi ha en els factor s'ha d'agafar el nivell  $A_2B_1C_2D_2$ .

3.1.7 Taula resum visualització gràfiques sense intersecció dels factors

|                       | Temps          |                 | Rugositat      |                 | Relació rugositat-temps |                 |
|-----------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
|                       | Caixera        | Buidat caixaera | Caixera        | Buidat caixaera | Caixera                 | Buidat caixaera |
| <b>Quadrat</b>        | $A_2B_2C_1D_1$ | $A_2B_2C_2D_2$  | $A_1B_1C_1D_1$ | $A_1B_1C_1D_1$  | $A_2B_2C_2D_2$          | $A_1B_2C_2D_2$  |
| <b>Circumferència</b> | $A_2B_2C_1D_1$ | $A_2B_2C_2D_2$  | $A_1B_1C_1D_1$ | $A_1B_1C_1D_1$  | $A_2B_2C_1D_2$          | $A_1B_1C_1D_2$  |
| <b>Claveta</b>        | $A_2B_2C_1D_1$ | $A_2B_2C_2D_2$  | $A_1B_1C_2D_1$ | $A_2B_1C_1D_1$  | $A_2B_2C_2D_2$          | $A_2B_1C_2D_2$  |

Taula 14 Taula resum sense tenir en compte interseccions

### 3.2 Resultats obtinguts considerant els efectes de les interseccions

Els efectes dels factors i de les interseccions queden recollits en l'annex A tal i com s'ha pogut observar en les diferents gràfiques que s'han estudiat. Fins ara, les combinacions descrites no asseguren amb un 95% de confiança que els nivells que s'interpreten de la visualització de les gràfiques sigui el correcte ja que no es té en compte els efectes de les interseccions, per tant, cal entrar més a fons per tal de trobar els nivells òptims amb una confiança del 95%.

Per tal de fer una exemplificació de com trobar els nivells tenint en compte els efectes de les interseccions, es realitza el càlcul del temps òptim en la caixa quadrada, per tant, s'ha de començar per ordenar els diferents factors per efecte d'importància (Taula A.7).

|                | A       | B       | AD,BC  | AB,CD  | AC,BD  | D     | C      |
|----------------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|--------|
| <b>Valor 2</b> | 12,625  | 23,125  | 38,625 | 37,875 | 31,375 | 43,75 | 32,375 |
| <b>Valor 1</b> | 52      | 41,5    | 26     | 26,75  | 33,25  | 42,75 | 32,25  |
| <b>Efecte</b>  | -39,375 | -18,375 | 12,625 | 11,125 | -1,875 | 1     | 0,125  |

Taula 15 Ordre d'importància dels efectes dels factors i interseccions

El factor A i el factor B tenen un efecte molt elevat respecte els altres factors i interseccions tal i com s'observa en la Taula 15 amb l'ordre d'importància dels efectes dels factors i interseccions. Com que es busca un temps de tall mínim s'agafa el nivell que tingui el valor inferior, per tant, inicialment es té  $A_2B_2$ .

Moment d'analitzar la intersecció AD, BC ja que és el següent efecte més important després dels dos analitzats, en aquest cas, és més complex ja que s'han de sumar els dos valors del temps que estan en el mateix nivell, per tant, hi ha 4 combinacions possibles amb dos dades cadascuna (consultar Taula 16) i buscar la combinació que dona el menor temps entre elles, per tant, es comença per buscar les sumes (Taula 17).

|          | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, D*B | A*D, B*C | D, A*B*C | Temps |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| <b>1</b> | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        | 82,5  |
| <b>2</b> | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 51,0  |
| <b>3</b> | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        | 19,5  |
| <b>4</b> | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 55,0  |
| <b>5</b> | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 13,0  |
| <b>6</b> | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 19,5  |
| <b>7</b> | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        | 14,0  |
| <b>8</b> | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 4,0   |

Taula 16 Combinació dels assaig amb el temps

$$\begin{array}{ll}
 A_1D_1 = 82,5 + 55 = 137,5 & B_1C_1 = 82,5 + 13 = 95,5 \\
 A_2D_1 = 19,5 + 14 = 33,5 & B_2C_1 = 19,5 + 14 = 33,5 \\
 A_1D_2 = 51 + 19,5 = 70,5 & B_1C_2 = 51 + 19,5 = 70,5 \\
 A_2D_2 = 13 + 4 = 17 & B_2C_2 = 55 + 4 = 59
 \end{array}$$

Taula 17 Intersecció AD i BC

$$\begin{array}{ll}
 A_1B_1 = 82,5 + 51 = 133,5 & C_1D_1 = 82,5 + 14 = 96,5 \\
 A_2B_1 = 13 + 19,5 = 32,5 & C_2D_1 = 55 + 19,5 = 74,5 \\
 A_1B_2 = 19,5 + 55 = 74,5 & C_1D_2 = 19,5 + 13 = 32,5 \\
 A_2B_2 = 14 + 4 = 18 & C_2D_2 = 51 + 4 = 55
 \end{array}$$

Taula 18 Intersecció AB i CD

Per tant, comencem analitzant la intersecció que té l'efecte superior, en aquest cas es pot observar que és AD amb BC (Taula 17), la suma inferior fa la combinació òptima, per tant, aquesta és  $A_2D_2B_2C_1$  ja que és la suma més petita. De moment concorda amb els factors principals que s'han analitzat.

Com que l'efecte de la següent intersecció és molt proper, s'acaba de fer una última comprovació per acabar de calcular els resultats obtinguts, el següent factor és la intersecció AB amb CD (Taula 18). La combinació òptima en aquest cas també és  $A_2B_2C_1D_2$ , per tant, ja tenim calculat el temps de tall òptim i on els 4 efectes més importants coincideixen. En el cas que això no passés, s'agafaria l'ordre estricte de preferència dels efectes de major a menor.

3.2.1 Taules per aconseguir els resultats de les interseccions de cada factor per cada geometria i factor resposta.

La preferència dels efectes dels factors i interseccions es pot seguir utilitzant el descrit en l'apartat 3.1.1 fins a l'apartat 3.1.6 o bé es pot tornar a utilitzar les taules en què es veuen recollits els efectes dels factors i interseccions pel temps, rugositat i la relació rugositat – temps en les diferents geometries. Exemple: Taula A.7 Temps: efecte produït pels factors en la caixa quadrada.

Per tal d'aconseguir les combinacions que hi ha descrites en l'apartat 3.2.2 és necessari utilitzar la matriu fraccionada (Taula 5) i el número de la taula de l'annex A que s'indica a continuació:

|                       | Temps      |                | Rugositat  |                | Relació rugositat-temps |                |
|-----------------------|------------|----------------|------------|----------------|-------------------------|----------------|
|                       | Caixera    | Buidat caixera | Caixera    | Buidat caixera | Caixera                 | Buidat caixera |
| <b>Quadrat</b>        | Taula A.6  | Taula A.11     | Taula A.6  | Taula A.11     | Taula A.6               | Taula A.11     |
| <b>Circumferència</b> | Taula A.17 | Taula A.22     | Taula A.17 | Taula A.22     | Taula A.17              | Taula A.22     |
| <b>Claveta</b>        | Taula A.28 | Taula A.33     | Taula A.28 | Taula A.33     | Taula A.28              | Taula A.33     |

Taula 19 Taula per aconseguir les combinacions dels factors tenint en compte les interseccions.

### 3.2.2 Taula resum amb el càlcul de les interseccions dels factors

|                       | Temps          |                | Rugositat      |                | Relació rugositat-temps |                |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|
|                       | Caixera        | Buidat caixera | Caixera        | Buidat caixera | Caixera                 | Buidat caixera |
| <b>Quadrat</b>        | $A_2B_2C_1D_2$ | $A_1B_2C_2D_2$ | $A_1B_2C_2D_1$ | $A_1B_1C_2D_1$ | $A_2B_2C_1D_2$          | $A_1B_2C_2D_2$ |
| <b>Circumferència</b> | $A_2B_2C_1D_2$ | $A_1B_2C_2D_2$ | $A_1B_2C_2D_1$ | $A_2B_1C_1D_1$ | $A_2B_2C_1D_2$          | $A_1B_1C_2D_2$ |
| <b>Claveta</b>        | $A_2B_2C_1D_2$ | $A_1B_2C_2D_2$ | $A_1B_1C_2D_1$ | $A_2B_1C_2D_1$ | $A_2B_1C_1D_2$          | $A_2B_1C_2D_2$ |

Taula 20 Taula resum tenint en compte les interseccions

### 3.3 Discussió dels resultats obtinguts

#### 3.3.1 Discussió sense intersecció dels factors

|                       | Temps          |                | Rugositat      |                | Relació rugositat-temps |                |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|
|                       | Caixera        | Buidat caixera | Caixera        | Buidat caixera | Caixera                 | Buidat caixera |
| <b>Quadrat</b>        | $A_2B_2C_1D_1$ | $A_2B_2C_2D_2$ | $A_1B_1C_1D_1$ | $A_1B_1C_1D_1$ | $A_2B_2C_2D_2$          | $A_1B_2C_2D_2$ |
| <b>Circumferència</b> | $A_2B_2C_1D_1$ | $A_2B_2C_2D_2$ | $A_1B_1C_1D_1$ | $A_1B_1C_1D_1$ | $A_2B_2C_1D_2$          | $A_1B_1C_1D_2$ |
| <b>Claveta</b>        | $A_2B_2C_1D_1$ | $A_2B_2C_2D_2$ | $A_1B_1C_2D_1$ | $A_2B_1C_1D_1$ | $A_2B_2C_2D_2$          | $A_2B_1C_2D_2$ |

Taula 21 Taula resum sense tenir en compte interseccions

Si s'observa els efectes dels factors per mitjà de la gràfica, es pot observar que el temps de tall agafa el mateix nivell per les diferents geometries estudiades i per cada cicle de mecanització diferent (caixera i buidat caixera).

La caixera agafa l'estratègia en espiral ( $A_2$ ), el diàmetre gran de l'eina ( $B_2$ ), el recobriment de l'eina del 50% ( $C_1$ ) i la velocitat d'avanç de 1500 mm/min ( $D_1$ ). El buidat de

caixera agafa l'estratègia amb l'angle de  $45^\circ$  ( $A_2$ ), el diàmetre de 12 mm ( $B_2$ ), recobriment del 95% ( $C_2$ ) i la velocitat d'avanç de 3500mm/min ( $D_2$ ).

El mateix passa amb la rugositat superficial caixera quadrada i amb circumferència en què tots els nivells estan en 1, és a dir, estratègia de mecanització trocoïdal ( $A_1$ ), diàmetre de 6mm ( $B_1$ ), recobriment de l'eina del 50% ( $C_1$ ) i la velocitat d'avanç de 1500mm/min ( $D_1$ ). La claveta té els mateixos nivells de factor a excepció del recobriment de l'eina que és del 95% ( $C_2$ ). En el buidat de caixera passa una cosa similar, el quadrat i la circumferència tenen els mateixos nivells que la caixera, és a dir, estratègia de mecanització de  $0^\circ$  ( $A_1$ ), diàmetre de 6 mm ( $B_1$ ), recobriment de l'eina del 50% ( $C_1$ ) i velocitat d'avanç de 1500mm/min ( $D_1$ ). La diferència de la claveta és que l'estratègia de mecanització agafa el nivell 2, és a dir, angle de  $45^\circ$  ( $A_2$ ).

La relació rugositat - temps en la caixera aconsegueix els mateixos valors tant en el quadrat com en la claveta, on la diferència recau en què la circumferència assoleix el recobriment del 50% ( $C_1$ ) mentre que els altres són del 95% ( $C_2$ ). El buidat de caixera varia segons la geometria que s'ha de mecanitzar, per tant, si es vol saber els valors que s'han d'agafar dels factors es pot observar la Taula 21.

També es pot observar que els nivells varien segons els resultats que es vulguin obtenir en temps, rugositat o la combinació de la rugositat - temps per a cada estratègia de mecanització, per tant, de manera visual i sense tenir en compte les interseccions s'ha de recórrer a la Taula 21 per decidir la combinació dels nivells dels factors.

### 3.3.2 Discussió amb intersecció dels factors

|                       | Temps          |                | Rugositat      |                | Relació rugositat-temps |                |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|
|                       | Caixera        | Buidat caixera | Caixera        | Buidat caixera | Caixera                 | Buidat caixera |
| <b>Quadrat</b>        | $A_2B_2C_1D_2$ | $A_1B_2C_2D_2$ | $A_1B_2C_2D_1$ | $A_1B_1C_2D_1$ | $A_2B_2C_1D_2$          | $A_1B_2C_2D_2$ |
| <b>Circumferència</b> | $A_2B_2C_1D_2$ | $A_1B_2C_2D_2$ | $A_1B_2C_2D_1$ | $A_2B_1C_1D_1$ | $A_2B_2C_1D_2$          | $A_1B_1C_2D_2$ |
| <b>Claveta</b>        | $A_2B_2C_1D_2$ | $A_1B_2C_2D_2$ | $A_1B_1C_2D_1$ | $A_2B_1C_1D_1$ | $A_2B_1C_1D_2$          | $A_2B_1C_2D_2$ |

Taula 22 Taula resum tenint en compte les interseccions dels factors

Si s'observa els efectes dels factors ja sigui per mitjà de la gràfica i és té en compte els efectes de les interseccions, es pot observar que el temps de tall agafa el mateix nivell per les diferents geometries estudiades i per cada cicle de mecanització (caixera i buidat caixera).



La caixa agafa l'espiral ( $A_2$ ), el diàmetre gran de l'eina ( $B_2$ ), el recobriment de l'eina del 50% ( $C_1$ ) i la velocitat d'avanç de 3500 mm/min ( $D_2$ ). El buidat de caixa agafa els nivells de l'angle de  $0^\circ$  ( $A_1$ ), el diàmetre de 12 mm ( $B_2$ ), recobriment del 95% ( $C_2$ ) i la velocitat d'avanç de 3500mm/min ( $D_2$ ).

Quan es parla de la rugositat superficial en cada cicle de mecanitzat, ja sigui caixa o buidat caixa, els factors agafen diferents nivells segons la geometria que s'ha de mecanitzar, és per això, que cal observar la Taula 22 per tal de determinar la combinació per tenir un bon acabat superficial tenint en compte els efectes de les interseccions.

La relació rugositat - temps en la caixa aconsegueix els mateixos valors tant en el quadrat com en la circumferència, estratègia de mecanització en espiral ( $A_2$ ), diàmetre de 12mm ( $B_2$ ), recobriment del 50% ( $C_1$ ) i finalment la velocitat d'avanç de 3500mm/min ( $D_2$ ). La mecanització de la caixa amb la claveta manté l'estratègia de mecanització, el recobriment de l'eina i la velocitat d'avanç igual que les anteriors però varia el diàmetre de l'eina a 6mm ( $B_1$ ). El buidat de caixa varia segons la geometria que s'ha de mecanitzar, per tant, si es vol saber el nivell que ha d'agafar cada valor per obtenir una relació rugositat – temps bona es pot observar la Taula 22.

També, en la Taula 22, es pot observar que els nivells varien segons els resultats que es vulguin obtenir en temps, rugositat o la combinació rugositat - temps per a cada estratègia de mecanització. Aquest es manté únicament constant en el temps i la combinació de rugositat - temps en la caixa quadrada i amb la circumferència, per tant, si es vol decidir els nivells dels factors amb el càlcul de les interseccions és millor recórrer a la Taula 22.

### 3.3.3 Discussió per l'optimització de l'experimentació.

A partir dels càlculs realitzats i de l'observació de les gràfiques s'ha analitzat les diferents estratègies de mecanització. Per fer la discussió de cadascun dels resultats obtinguts es comença pel temps de tall analitzant cadascuna de les estratègies i per a cada geometria. Un cop realitzat el temps de tall es continua amb la rugositat superficial seguint el mateix orde que s'ha establert en el temps i, finalment, es fa un anàlisi per obtenir una combinació entre el temps de tall i l'acabat superficial.

S'ha de tenir en compte que al fer les matrius fraccionades les combinacions adoptades no han d'estar obligatòriament assajades, de tal manera que, s'hauria de fer una validació per tal de determinar si els resultats obtinguts són els correctes ja que es treballa amb un nivell de confiança del 95%, estadísticament prou bo, però sempre hi ha la possibilitat de caure en el 5% restant.

Optimització del temps de tall caixera

|                       | <b>Gràfica</b> | <b>Intersecció</b> | <b>Diferències</b> |
|-----------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| <b>Quadrat</b>        | $A_2B_2C_1D_1$ | $A_2B_2C_1D_2$     | D                  |
| <b>Circumferència</b> | $A_2B_2C_1D_1$ | $A_2B_2C_1D_2$     | D                  |
| <b>Claveta</b>        | $A_2B_2C_1D_1$ | $A_2B_2C_1D_2$     | D                  |

Taula 23 Optimització del temps de tall en la caixera

Com es pot observar, en la Taula 26, cada geometria agafa la mateixa estratègia de mecanització per tal d'aconseguir un temps de tall òptim. La única diferència recau en la velocitat d'avanç que no correspon la gràfica amb la intersecció.

Quan es vol realitzar l'estratègia de caixera i es vol aconseguir un temps de tall òptim, s'ha d'utilitzar l'estratègia d'espiral ( $A_2$ ) i el diàmetre de 12mm ( $B_2$ ). La velocitat d'avanç depèn de la opció que agafem, si la gràfica o la intersecció, de manera que si s'observa la Gràfica A.1 es veu que té un efecte molt baix i canvia de 1500 a 3500mm/min respectivament, és a dir, una velocitat d'avanç alta en què la màquina sigui capaç d'arribar-hi, per altra banda, el recobriment de l'eina és del 50% ( $C_1$ ), aquest té un efecte molt baix, 0'125, de manera que no supera ni l'error experimental (1'3), per tant, es fa cas de les interseccions enlloc del sentit comú que la gent podria pensar. Segurament que si no es busqués la robustesa aquest agafaria el recobriment del 95%.

Per tal d'evitar aquestes situacions s'ha de fer una matriu completa on es pot veure els efectes de cadascun dels factors i de les interseccions per separat, però, aleshores s'encariria el preu de l'estudi, per tant, podria ser que la solució més bona fos amb un recobriment de l'eina del 95% però no es pot afirmar amb suficient confiança.

També hi ha la possibilitat de fer l'experimentació de la solució adoptada (recobriment del 50%) i del recobriment amb el 95% per tal d'observar els resultats que s'obtenen.

Com es pot observar amb les taules anteriors la única variant que apareix és en tots els casos la velocitat d'avanç de l'eina, aquest enlloc d'anar a 1500 (segons gràfica) passa a 3500 mm/min cosa que fa que ja sigui obvi per tal de tenir un temps de tall inferior.

Optimització del temps de tall buidat caixera

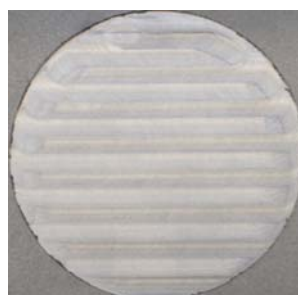
|                       | Gràfica        | Intersecció    | Diferències |
|-----------------------|----------------|----------------|-------------|
| <b>Quadrat</b>        | $A_2B_2C_2D_2$ | $A_1B_2C_2D_2$ | A           |
| <b>Circumferència</b> | $A_2B_2C_2D_2$ | $A_1B_2C_2D_2$ | A           |
| <b>Claveta</b>        | $A_2B_2C_2D_2$ | $A_1B_2C_2D_2$ | A           |

Taula 24 Optimització del temps de tall en el buidat de caixera

En quan a l'optimització del temps de tall en el buidat de caixera, hi ha quasi una uniformitat entre la combinació de la gràfica i la intersecció, els factors que queden clar són el diàmetre de l'eina de 12mm ( $B_2$ ), el recobriment del 95% ( $C_2$ ) i la velocitat d'avanç de 3500mm/min ( $D_2$ ).

L'estratègia de mecanització varia segons l'angle en què ha de recórrer l'eina a través de les diferents geometries, la gràfica ens indica que ha de tenir un angle de  $45^\circ$  mentre que el càlcul de les interseccions ens indica que ha de tenir un angle de  $0^\circ$ . Si s'observa l'efecte del factor A en el temps de tall del buidat de caixera es pot observar que els 3 casos, els efectes són els més petits de tots els factors i interseccions, i fins i tot, n'hi ha que no superen l'error experimental, per tant, aquest és un dels factors que tenen poca repercussió en l'experimentació. És preferible agafar l'angle de  $0^\circ$  tal i com indica el càlcul fet amb les interseccions.

En el cas d'haver fet una matriu completa es podria observar si existeix alguna diferència en el temps de tall de la circumferència segons les dues estratègies del buidat de caixera, ja que, al ser una peça totalment simètrica, el temps de tall semblaria que hauria de ser el mateix pels dos nivells del factor, però al minimitzar el preu de l'experiment hem perdut aquest tipus d'informació que podria ser important per altres experimentacions futures. Quan es parla de l'angle de  $0^\circ$  es pot veure com és en la Imatge 6 fins a la Imatge 8.

Imatge 6 Quadrat estratègia angle  $0^\circ$ Imatge 7 Circumferència estratègia angle  $0^\circ$ Imatge 8 Claveta estratègia angle  $0^\circ$

Optimització de la rugositat superficial caixaera

|                       | <b>Gràfica</b> | <b>Intersecció</b> | <b>Diferències</b> |
|-----------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| <b>Quadrat</b>        | $A_1B_1C_1D_1$ | $A_1B_2C_2D_1$     | B i C              |
| <b>Circumferència</b> | $A_1B_1C_1D_1$ | $A_1B_2C_2D_1$     | B i C              |
| <b>Claveta</b>        | $A_1B_1C_2D_1$ | $A_1B_1C_2D_1$     | -                  |

Taula 25 Optimització de la rugositat en la caixaera

L'optimització de la rugositat en qualsevol cicle de caixaera s'aconsegueix mitjançant la velocitat d'avanç lenta, és a dir, a 1500mm/min ( $D_1$ ) ja que tant la gràfica com la intersecció així ho indiquen. A partir d'aquí, les coses varien i es té que la claveta dóna la mateixa combinació tant en la gràfica com en la intersecció, la combinació és una estratègia trocoïdal ( $A_1$ ) amb un diàmetre de 6mm ( $B_1$ ) i amb un recobriment del 95% ( $C_2$ ).

Per fer l'optimització de la rugositat superficial, en la caixaera quadrada i la circumferència, és té que hi ha dos factors que no corresponen entre la gràfica i la intersecció, factor B i C, per tant, l'estratègia trocoïdal ( $A_1$ ) correspon tant en la gràfic com en la intersecció, per tant, falta trobar la combinació òptima del diàmetre i del recobriment. Els efectes dels factors B i C són inferiors als efectes de les interseccions, per tant, al tenir menys força que les interseccions aquests determinen que han de canviar de nivell, per tant, eina de 12 mm ( $B_2$ ) i recobriment del 95% ( $C_2$ ), per tant, ja tenim tots factors que calia determinar per la combinació òptima.

Optimització de la rugositat superficial buidat caixaera

|                       | <b>Gràfica</b> | <b>Intersecció</b> | <b>Diferències</b> |
|-----------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| <b>Quadrat</b>        | $A_1B_1C_1D_1$ | $A_1B_1C_2D_1$     | C                  |
| <b>Circumferència</b> | $A_1B_1C_1D_1$ | $A_2B_1C_1D_1$     | A                  |
| <b>Claveta</b>        | $A_2B_1C_1D_1$ | $A_2B_1C_1D_1$     | -                  |

Taula 26 Optimització de la rugositat en el buidat caixaera

La optimització de l'acabat superficial en el buidat caixaera té dos factors que es mantenen constants tant en la gràfica com en la intersecció de les diferents geometries estudiades, aquests són el diàmetre de 12 mm ( $B_1$ ) i la velocitat d'avanç de 3500mm/min ( $D_1$ ).

Per tal d'analitzar els diferents resultats, començarem pel quadrat ja que, segons la geometria, els nivells dels diferents factors van canviant. El quadrat manté el mateix nivell de

l'estratègia de mecanització, angle de  $0^\circ$  ( $A_1$ ), i varia el recobriment de l'eina, que passa del 50% al 95%, aquest fet es dona perquè l'efecte del factor principal és el més petit dels factors i interseccions, per tant, canvia de nivell degut a la intersecció (CD) que és la que té l'efecte superior respecte de les interseccions, per aquest motiu, el recobriment de l'eina és del 95% ( $C_2$ ). El mateix passa amb la claveta però l'estratègia de mecanització és amb l'angle de  $45^\circ$  ( $C_2$ )

La circumferència manté constant el recobriment del 50% de l'eina ( $C_1$ ) mentre que el factor que varia entre la gràfica i el càlcul de les interseccions és l'estratègia de mecanització, aquest passa de l'angle de  $0^\circ$  a  $45^\circ$  respectivament. Aquest fet és degut a que la intersecció (AD) té un efecte superior al factor (A), per tant, al ser més fort l'efecte de la intersecció que el propi factor s'agafa el nivell que ens indiqui la intersecció, que no és més que el calculat, és a dir, l'estratègia de mecanització amb un angle de  $45^\circ$  ( $A_2$ ).

La claveta manté constants els diferents nivells dels factors al passar de la gràfica al càlcul de les interseccions. L'estratègia de mecanització assoleix el nivell de  $45^\circ$  ( $A_2$ ) i el recobriment de l'eina del 50% ( $C_1$ ).

#### Optimització de la rugositat superficial - temps de tall caixaera

|                       | <b>Gràfica</b> | <b>Intersecció</b> | <b>Diferències</b> |
|-----------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| <b>Quadrat</b>        | $A_2B_2C_2D_2$ | $A_2B_2C_1D_2$     | C                  |
| <b>Circumferència</b> | $A_2B_2C_1D_2$ | $A_2B_2C_1D_2$     | -                  |
| <b>Claveta</b>        | $A_2B_2C_2D_2$ | $A_2B_1C_1D_2$     | B, C               |

Taula 27 Optimització temps de tall - rugositat en la caixaera

L'optimització de la rugositat - temps de tall en la caixaera passa per agafar l'estratègia de mecanització en espiral ( $A_2$ ) i la velocitat d'avanç de 3500mm/min ( $D_2$ ) en les diferents geometries estudiades.

El quadrat manté el mateix nivell del diàmetre de l'eina, 12mm ( $B_2$ ), entre la gràfica i la intersecció, només varia el recobriment de l'eina, del 95% al 45% respectivament, aquest fet es dona perquè l'efecte del recobriment és més petit que la intersecció (CD) i, per tant, canvia de nivell i també degut a la intersecció (BC), és per aquest motiu, que el recobriment de l'eina és del 50% ( $C_1$ ). El mateix passa amb la claveta però els factors que canvien són el diàmetre de l'eina, que passa de 12 a 6 mm ( $B_1$ ), i el recobriment de l'eina, que passa del 95% al 50% ( $C_1$ ), degut als efectes de les interseccions (AB) i (CD).

L'optimització de la rugositat - temps de tall en la circumferència manté tots els nivells dels factors, de manera que assoleix, a part dels mencionats anteriorment, el diàmetre de 12mm ( $B_2$ ) i el recobriment del 50% de l'eina ( $C_1$ ).

Optimització de la rugositat superficial - temps de tall buidat caixaera

|                       | <b>Gràfica</b> | <b>Intersecció</b> | <b>Diferència</b> |
|-----------------------|----------------|--------------------|-------------------|
| <b>Quadrat</b>        | $A_1B_2C_2D_2$ | $A_1B_2C_2D_2$     | -                 |
| <b>Circumferència</b> | $A_1B_1C_1D_2$ | $A_1B_1C_2D_2$     | <b>C</b>          |
| <b>Claveta</b>        | $A_2B_1C_2D_2$ | $A_2B_1C_2D_2$     | -                 |

Taula 28 Optimització temps de tall - rugositat en el buidat de caixaera

Per tal d'analitzar el buidat de caixaera en les diferents geometries, s'anirà fent una per una per tal d'explicar el què passa en cada geometria, ja que com es pot observar els nivells dels factors canvien considerablement segons la geometria que es tracti, això si, hi ha 1 factor que és constant en tots els casos, la velocitat d'avanç que ha de ser de 3500mm/min ( $D_2$ )

El quadrat manté tots els factors iguals, al passar de la gràfica a la intersecció, de manera que l'estratègia de mecanització és amb un angle de  $0^\circ$  ( $A_1$ ), el diàmetre de 12mm ( $B_2$ ) i un recobriment de l'eina del 95% ( $C_2$ ).

La claveta també manté tots els nivells dels factors constants, en aquest cas, assoleixen alguns nivells diferents que el quadrat, és el cas de l'estratègia de mecanitzat amb un angle de  $45^\circ$  ( $A_2$ ) i el diàmetre de l'eina de 6mm ( $B_1$ ).

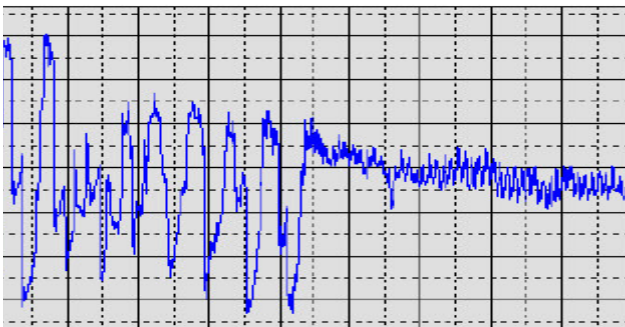
La circumferència no manté tots els nivells dels factors constants, ja que hi ha el canvi del recobriment que passa del 50% al 95% ( $C_2$ ) respectivament, això es degut a que l'efecte principal del recobriment es veu superat per quasi tots els efectes dels factors i interseccions (menys l'estratègia de mecanització) i el canvi és a causa de la intersecció (BC). L'estratègia de mecanitzat continua constant amb un angle de  $0^\circ$  ( $A_1$ ) i el diàmetre de 6 mm de l'eina ( $B_1$ ).

#### 4. CONCLUSIONS

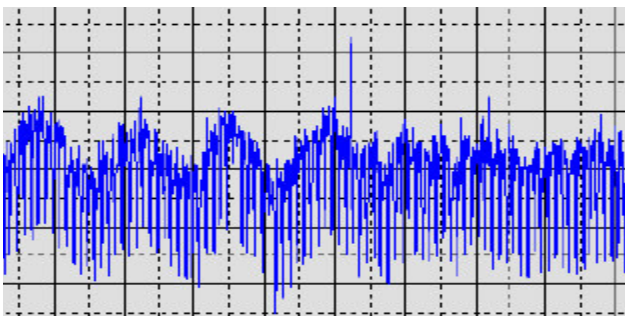
El projecte d'investigació sobre els paràmetres de fabricació d'un CN per tal d'obtenir resultats òptims en el temps, rugositat i la combinació rugositat - temps passa per fer una sèrie d'assaigs i utilitzar el disseny estadístic d'experiments (DEE) per tal de disminuir el preu de la investigació.

Durant la mecanització apareixen dos problemes:

1. El chatter, que és la vibració entre l'eina de tall i el material a mecanitzar que obté un acabat final pobre i un desgast prematur de l'eina degut als cops que rep aquesta mentre mecanitza i, amb la possibilitat d'arribar a trencar-se. El resultat d'aquesta vibració es pot apreciar a simple vista ja que deixa a la superfície de la peça unes marques semblants a la forma de les escates d'un peix o bé en veure els resultats del perfil del rugosímetre. Un dels problemes del chatter és que no ha d'aparèixer durant tot el procés de mecanitzat (Imatge 9) si es mantenen les mateixes condicions de treball. Per evitar el chatter s'ha de variar algun nivell d'algun factor ja que així s'evita entrar en ressonància. En aquest cas, es va decidir continuar tal i com s'havia planejat portar a terme l'experimentació perquè s'aprofitava la informació del chatter per una altre investigació en què treballa el GREEP.

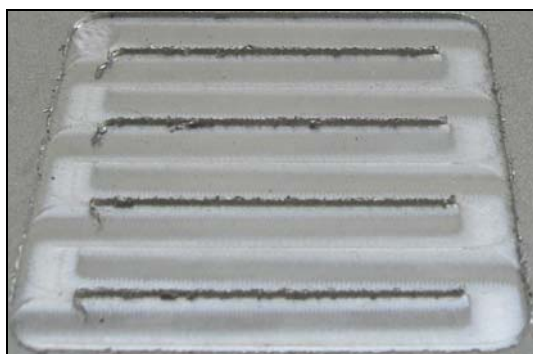


Imatge 9 Chatter no continu



Imatge 10 Chatter continu

2. El recobriment de l'eina, un dels factors experimentals del projecte que ha portat problemes, ja que inicialment es van agafar els factors i nivells que suposadament havia treballat el GREPP, però, al mecanitzar la primera placa es va observar que el recobriment del 100% (Imatge 11) donava un acabat molt pèssim, impresentable, de manera que es va canviar el nivell 2 del recobriment al 95% (Imatge 12) amb la corresponent millora, tal i com es pot observar en les dues imatges.



Imatge 11 Recobriment del 100%



Imatge 12 Recobriment del 95%

La dificultat a l'hora de passar l'agulla palpadora del rugosímetre per la peça mecanitzada és una altre dificultat afegida. El rugosímetre és un aparell de precisió i es necessiten uns resultats amb poca variabilitat, per aconseguir aquesta baixa variabilitat, s'ha d'intentar fer passar l'agulla palpadora pel mateix lloc durant la primera mesura i la seva rèplica, si no és així, s'obté valors molt allunyats i un tractament de les dades incorrectes. Aquesta variabilitat és tal que fins i tot en la repetició del mateix assaig, el valor de la rugositat no dóna el mateix resultat, tot i així, s'ha de pensar que s'està treballant amb mil·lèsimes de micra. Aquest fet, ha comportat que hi hagi un recorregut tant elevat que els efectes dels factors no arriben a superar la línia de l'error experimental.

Un cop parlat dels problemes que s'han tingut durant el projecte, es passa a recomanar els nivells dels factors per a cada cicle de mecanització.

|                | TEMPS          |                |
|----------------|----------------|----------------|
|                | CAIXERA        | BUIDAT CAIXERA |
| QUADRAT        | $A_2B_2C_1D_2$ | $A_1B_2C_2D_2$ |
| CIRCUMFERÈNCIA | $A_2B_2C_1D_2$ | $A_1B_2C_2D_2$ |

Taula 29 Combinació optimització del temps de tall



|                       | RUGOSITAT      |                |
|-----------------------|----------------|----------------|
|                       | CAIXERA        | BUIDAT CAIXERA |
| <b>QUADRAT</b>        | $A_1B_2C_2D_1$ | $A_1B_1C_2D_1$ |
| <b>CIRCUMFERÈNCIA</b> | $A_1B_2C_2D_1$ | $A_2B_1C_1D_1$ |
| <b>CLAVETA</b>        | $A_1B_1C_2D_1$ | $A_2B_1C_2D_1$ |

Taula 30 Combinació optimització de la rugositat superficial

|                       | RELACIÓ RUGOSITAT - TEMPS |                |
|-----------------------|---------------------------|----------------|
|                       | CAIXERA                   | BUIDAT CAIXERA |
| <b>QUADRAT</b>        | $A_2B_2C_1D_2$            | $A_1B_2C_2D_2$ |
| <b>CIRCUMFERÈNCIA</b> | $A_2B_2C_1D_2$            | $A_1B_1C_2D_2$ |

Taula 31 Combinació optimització relació rugositat - temps

No es pot determinar un cicle de mecanització en concret per a cada geometria perquè, al fer un experiment amb la matriu fraccionada, no tenim suficient informació per determinar els resultats de la combinació i per tant, no es pot aconsellar el cicle òptim.

| Nom                    | R/D | Descripció  | Completat |
|------------------------|-----|---|-----------|
| Objectiu:              | R   | El projecte ha d'ampliar la geometria d'estudiada pel GREPP i ha de donar una informació més detallada dels factors individuals i de les interseccions que controlem  | SI        |
| Funció:                | R   | Calcular l'efecte de cadascun dels paràmetres de control que intervenen en el procés de mecanització de cada geometria escollida ja sigui un efecte individual o un efecte amb intersecció.                               | SI        |
|                        | R   | Determinar el procés que ens dona el temps de tall inferior o determinar quins nivells han d'agafar els factors per aconseguir els resultats de temps òptims, tanmateix, també realitzar-ho amb la rugositat superficial. | SI        |
| Dimensions:            | R   | Les dimensions de la placa és de 250 x 250 x 10 mm per cada geometria.  | SI        |
| Recursos:<br>Recursos: | D   | Tots els recursos que es faran servir seran els que hi hagi en el laboratori de l'àrea de processos de fabricació.  | SI        |

|                 |   |   |    |
|-----------------|---|---|----|
|                 | R | El software que s'utilitzarà és el GOelan versió 5.6.   | SI |
|                 | R | El centre de mecanització que s'utilitzarà és la Deckel Maho 64V linear amb control Fanuc 180i.                                       | SI |
|                 | R | El rugosímetre que s'utilitzarà és el Mitutoyo Surfes SV-2000   | SI |
| Material:       | R | El material ha de ser fàcil de mecanitzar, disposar-ne ràpidament i que s'utilitzi en el camp de motlles i matrius.                   | SI |
|                 | R | La mecanització es faran amb eines de 6 i de 12 mm d'acer ràpid amb aliatge de cobalt de dues dents, model 191080 de la marca Garant. | SI |
| Metodologia:    | R | El projecte ha d'emprar el mètode de Taguchi.   | SI |
| Terminis:       | R | El projecte final de carrera haurà de ser fet amb dos mesos.  | SI |
| Experimentació: | R | Ordre dels experiments aleatoris.   | SI |
|                 | D | Repetició dels experiments  | SI |
| Costos:         | R | Minimitzar el cost del treball d'investigació del projecte final de carrera.  | SI |
|                 |   | Només es mecanitzarà la passada d'acabat per mirar el temps de tall i la rugositat superficial.                                       | SI |

Taula 32 Comprovació de les especificacions

## 5. LÍNIES FUTURES

La primera línia d'investigació que s'hauria de realitzar és veure si les combinacions que s'han descrit en l'anàlisi i discussió de resultats són correctes o no, per fer-ho, s'hauria de mecanitzar els diferents cicles de mecanització de les diferents geometries i observar si aquests milloren els resultats que es tenen assajats. Per altra banda, s'hauria de mirar quin cicle de mecanització és més adient per cada geometria segons els resultats que es vulguin obtenir.

Per una altre banda, s'hauria de mirar si els sistema GOelan té un bon rendiment alhora de mecanitzar superfícies simples ja que crea moltes línies de codi que un possible cicle fix podria substituir amb dues o tres línies, llavors, caldria observar el temps de tall, la rugositat superficial i la combinació d'aquesta ja que podria ser que tingués una millor combinació de factors.

Aquest projecte d'investigació és la primera fase d'un possible projecte més extens, aquest ha de facilitar als usuaris de CN a fer una estimació del temps de tall i sobretot de la rugositat superficial que s'obté en agafar els diferents valors que permet escollir un centre de mecanització o un sistema CAM, aquesta previsió s'hauria de fer a través d'un sistema informàtic que en faci una previsió i ajudi a l'usuari a prendre una decisió.

Per tal de crear aquest programa és necessari tenir una base de dades prou amplia per tal de tenir suficient informació, per tant, una línia futura de treball seria augmentar la geometria, canviar el material estudiat, assajar nous factors, ampliar a nous nivells, ...

Per tant, es podria dir que aquest projecte és l'inici d'un projecte molt extens amb una gran quantitat de dades que s'han d'anar recollint i tractant per tal de tenir una base de dades prou fiable per fer aquest sistema de presa de decisions.

## **6. DOCUMENTS DEL PROJECTE**

### 1. Memòria

Annex A. Càlculs

Annex B. Esquema peça

Annex C. Rugosímetre

Annex D. Informàtic CD

### 2. Pressupost

## 7. BIBLIOGRAFIA

Saderra i Jorba, Lluís. "El secreto de la calidad japonesa. El diseño de experimentos clásico, Taguchi i Shainin". *Edició núm.1 Marcombo, S.A, 1993. 176 pàgines. ISBN: 84-267-0913-3.*

Logothetis N. and Wynn H.P. "Quality Through Design. Experimental Design, Off-line Quality Control, and Taguchi's Contributions." *Edició núm.2 The Universities Press Ltd, 1994. 464 pàgines. ISBN: (Hbk) 0-19-851993-1 ISBN: (Pbk) 0-19-859395-3.*

# Annex

**ANNEX A. CÀLCUL**

Totes els factors resposta i altres dades obtingudes, ja sigui per mitjà del centre de mecanització o el rugosímetre, es mostren a continuació. També hi ha tots els càlculs per determinar el nivell de cada factor per aconseguir el factor resposta desitjat (temps de tall, rugositat superficial o la relació rugositat – temps).

| FACTOR  |        | A          | B        | C           | D              |
|---------|--------|------------|----------|-------------|----------------|
| Caixera | Assaig | Estratègia | Diàmetre | Recobriment | Velocitat tall |
| 1       | 1      | Trocoïdal  | 6        | 50%         | 1500           |
| 2       | 2      | Trocoïdal  | 6        | 95%         | 3500           |
| 3       | 3      | Trocoïdal  | 12       | 50%         | 3500           |
| 4       | 4      | Trocoïdal  | 12       | 95%         | 1500           |
| 5       | 5      | Espiral    | 6        | 50%         | 3500           |
| 6       | 6      | Espiral    | 6        | 95%         | 1500           |
| 7       | 7      | Espiral    | 12       | 50%         | 1500           |
| 8       | 8      | Espiral    | 12       | 95%         | 3500           |

Taula A.1 Assaig caixaera

| FACTOR |        | A          | B        | C           | D              |
|--------|--------|------------|----------|-------------|----------------|
| Buidat | Assaig | Estratègia | Diàmetre | Recobriment | Velocitat tall |
| 1      | 9      | 0°         | 6        | 50%         | 1500           |
| 2      | 10     | 0°         | 6        | 95%         | 3500           |
| 3      | 11     | 0°         | 12       | 50%         | 3500           |
| 4      | 12     | 0°         | 12       | 95%         | 1500           |
| 5      | 13     | 45°        | 6        | 50%         | 3500           |
| 6      | 14     | 45°        | 6        | 95%         | 1500           |
| 7      | 15     | 45°        | 12       | 50%         | 1500           |
| 8      | 16     | 45°        | 12       | 95%         | 3500           |

Taula A.2 Assaig buidat caixaera

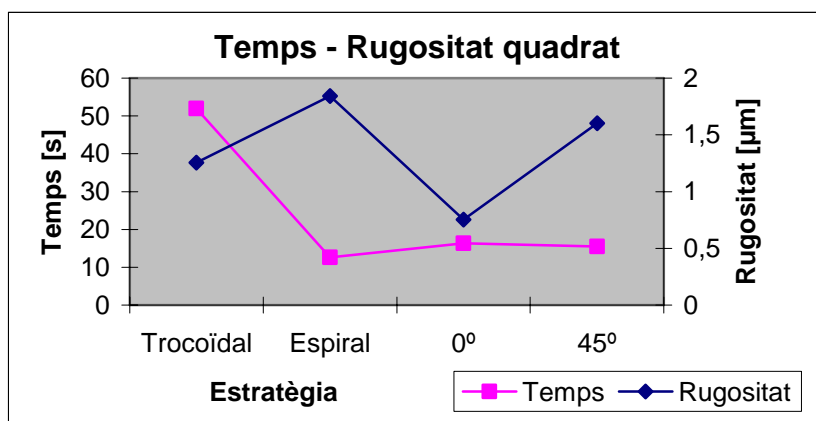
| Assaig  | 1 | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Ordre 1 | 7 | 15 | 16 | 14 | 4  | 10 | 8  | 12 | 2  | 3  | 13 | 1  | 5  | 6  | 9  | 11 |
| Ordre 2 | 8 | 9  | 11 | 6  | 14 | 3  | 12 | 1  | 15 | 16 | 5  | 7  | 4  | 10 | 2  | 13 |

Taula A.3 Orde de l'experimentació

L'orde dels experiments es realitza segons la Taula A.3. Aquest ordre s'estableix mitjançant un programa informàtic creat amb Visual Basic.Net que realitza una aleatorització de l'assaig, de l'1 al 16, de manera que es visualitza en pantalla una llista en què no es repeteixen els assaigs. Aquesta aleatorització es torna a executar per determinar la rèplica de l'experimentació.

### A.1 Quadrat

|           | Temps  | Rugositat |
|-----------|--------|-----------|
| Troçoïdal | 52     | 1,256     |
| Espiral   | 12,625 | 1,841     |
| 0°        | 16,375 | 0,754     |
| 45°       | 15,5   | 1,602     |



Taula A.4 Quadrat: representació del temps i la rugositat per a cada estratègia.

#### A.1.1 Dades caixaera quadrada

| Assaig        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temps 1       | 83    | 51    | 20    | 55    | 13    | 20    | 14    | 4     |
| Temps 2       | 82    | 51    | 19    | 55    | 13    | 19    | 14    | 4     |
| Rugositat 1.1 | 1,45  | 1,36  | 0,933 | 0,921 | 1,782 | 1,056 | 1,878 | 2,763 |
| Rugositat 1.2 | 1,449 | 1,36  | 0,936 | 0,921 | 1,778 | 1,056 | 1,877 | 2,74  |
| Rugositat 2.1 | 1,413 | 1,62  | 1,498 | 1,073 | 1,461 | 1,153 | 1,113 | 3,537 |
| Rugositat 2.2 | 1,413 | 1,621 | 1,059 | 1,074 | 1,461 | 1,154 | 1,113 | 3,532 |

Taula A.5 Temps i rugositat caixaera quadrada.

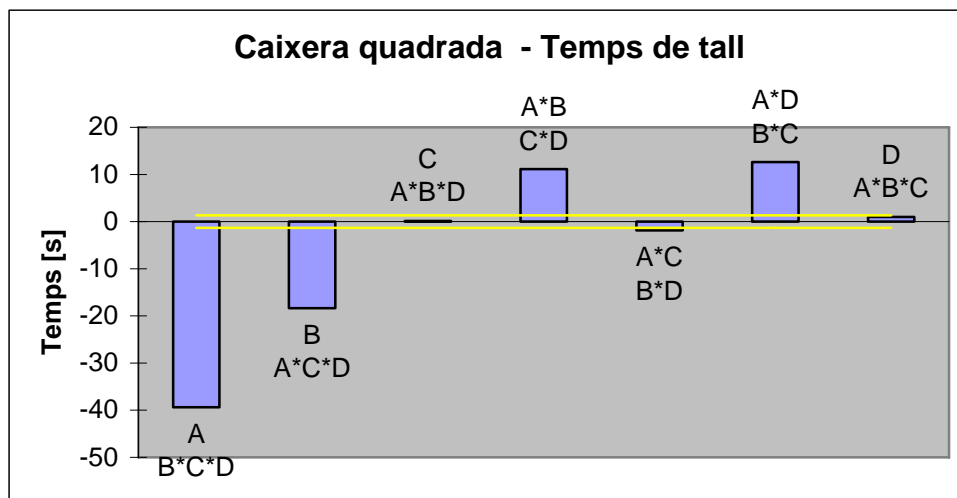
| Assaig               | 1       | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
|----------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mitjana temps        | 83      | 51     | 20     | 55     | 13     | 20     | 14     | 4      |
| Recorregut temps     | 1       | 0      | 1      | 0      | 0      | 1      | 0      | 0      |
| Mitjana rugositat 1  | 1,450   | 1,36   | 0,935  | 0,921  | 1,78   | 1,056  | 1,878  | 2,752  |
| Mitjana rugositat 2  | 1,413   | 1,621  | 1,279  | 1,074  | 1,461  | 1,154  | 1,113  | 3,535  |
| Mitjana rugositat    | 1,431   | 1,490  | 1,107  | 0,997  | 1,621  | 1,105  | 1,495  | 3,143  |
| Recorregut rugositat | 0,037   | 0,261  | 0,344  | 0,153  | 0,319  | 0,098  | 0,765  | 0,783  |
| Rugositat - temps    | 118,078 | 76,003 | 21,577 | 54,849 | 21,067 | 21,543 | 20,934 | 12,572 |

Taula A.6 Mitjana i recorregut de la caixaera quadrada.



| Caixera              | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1                    | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2                    | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3                    | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4                    | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5                    | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6                    | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7                    | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8                    | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| <b>Temps valor 2</b> | 12,625   | 23,125   | 32,375   | 37,875   | 31,375   | 38,625   | 43,75    |
| <b>Temps valor 1</b> | 52       | 41,5     | 32,25    | 26,75    | 33,25    | 26       | 42,75    |
| <b>Efecte</b>        | -39,375  | -18,375  | 0,125    | 11,125   | -1,875   | 12,625   | 1        |

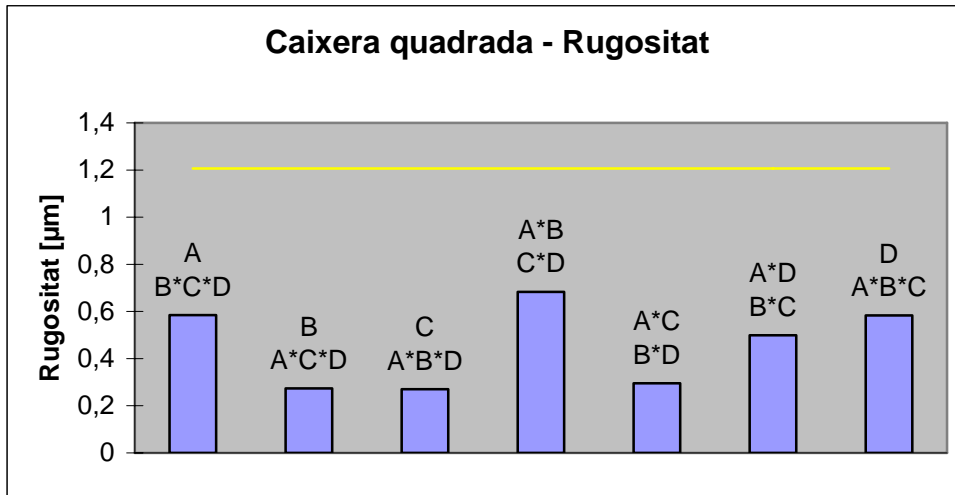
Taula A.7 Temps: efecte produït pels factors en la caixaera quadrada.



Gràfica A.1 Temps: representació dels efectes en la caixaera quadrada.

| Caixera                  | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1                        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2                        | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3                        | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4                        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5                        | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6                        | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7                        | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8                        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| <b>Rugositat valor 2</b> | 1,841    | 1,686    | 1,684    | 1,890    | 1,696    | 1,798    | 1,840    |
| <b>Rugositat valor 1</b> | 1,256    | 1,412    | 1,413    | 1,207    | 1,401    | 1,299    | 1,257    |
| <b>Efecte</b>            | 0,585    | 0,274    | 0,270    | 0,683    | 0,296    | 0,499    | 0,583    |

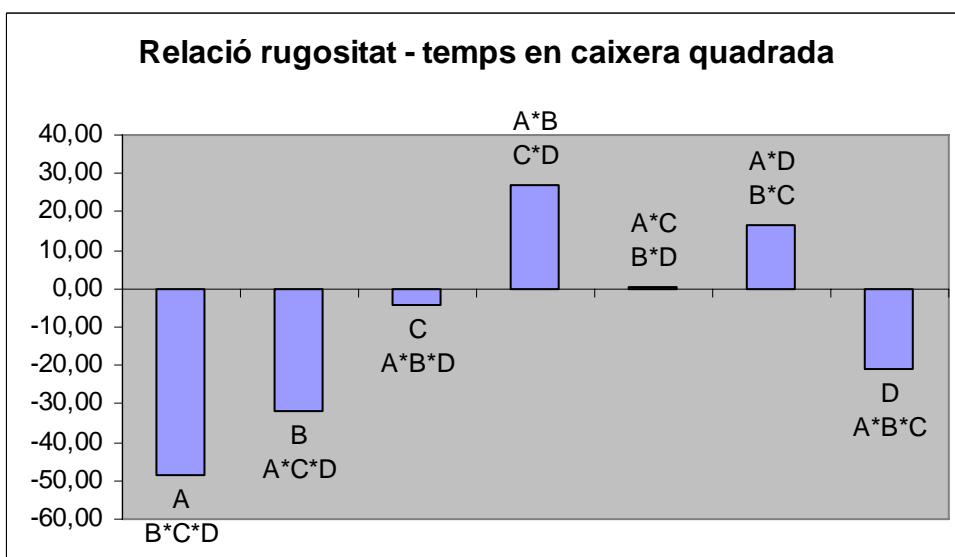
Taula A.8 Rugositat: efecte produït pels factors en la caixaera quadrada.



Gràfica A.2 Rugositat: representació dels efectes en la caixaera quadrada.

| Caixera             | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1                   | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2                   | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3                   | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4                   | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5                   | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6                   | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7                   | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8                   | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Rug - temps valor 2 | 19,029   | 27,483   | 41,242   | 56,897   | 43,442   | 51,641   | 32,805   |
| Rug - temps valor 1 | 67,627   | 59,173   | 45,414   | 29,759   | 43,213   | 35,014   | 53,851   |
| Efecte              | -48,598  | -31,690  | -4,172   | 27,138   | 0,229    | 16,627   | -21,046  |

Taula A.9 Rugositat - temps: efecte produït pels factors en la caixaera quadrada.



Gràfica A.3 Relació rugositat – temps: representació dels efectes en la caixaera quadrada.

## A.1.2 Dades buidat caixaera quadrada

| Assaig               | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Temps 1</b>       | 34    | 9     | 7     | 16    | 15    | 24    | 19    | 5     |
| <b>Temps 2</b>       | 34    | 9     | 7     | 15    | 15    | 23    | 18    | 5     |
| <b>Rugositat 1.1</b> | 0,458 | 0,944 | 1,064 | 0,517 | 1,396 | 0,745 | 1,496 | 2,97  |
| <b>Rugositat 1.2</b> | 0,461 | 0,992 | 1,073 | 0,503 | 1,396 | 0,737 | 1,498 | 2,969 |
| <b>Rugositat 2.1</b> | 0,247 | 0,896 | 1,400 | 0,482 | 1,51  | 0,889 | 1,363 | 2,453 |
| <b>Rugositat 2.2</b> | 0,247 | 0,896 | 1,398 | 0,482 | 1,509 | 0,89  | 1,361 | 2,450 |

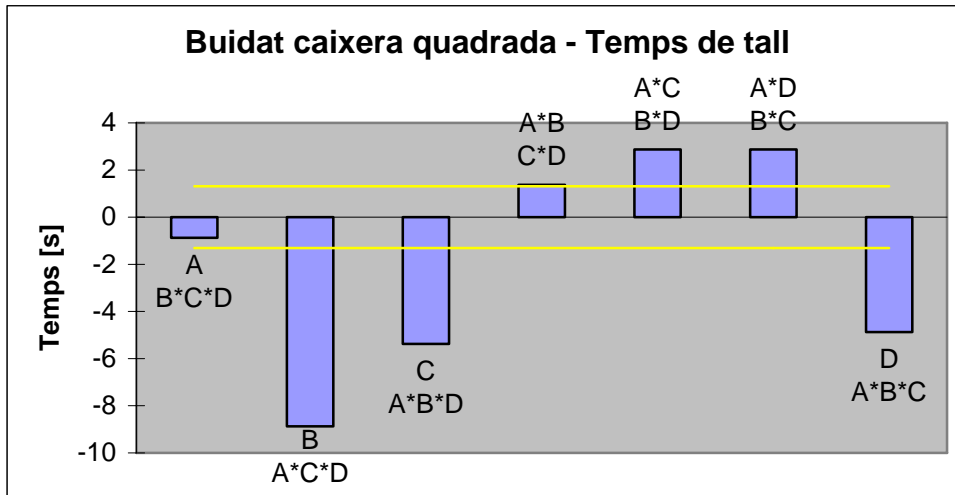
Taula A.10 Temps i rugositat buidat caixaera quadrada

| Assaig                      | 9      | 10    | 11    | 12    | 13     | 14     | 15     | 16     |
|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Mitjana temps</b>        | 34     | 9     | 7     | 15,5  | 15     | 23,5   | 18,5   | 5      |
| <b>Recorregut temps</b>     | 0      | 0     | 0     | 1     | 0      | 1      | 1      | 0      |
| <b>Mitjana rugositat 1</b>  | 0,460  | 0,968 | 1,069 | 0,51  | 1,396  | 0,741  | 1,497  | 2,970  |
| <b>Mitjana rugositat 2</b>  | 0,247  | 0,896 | 1,399 | 0,482 | 1,510  | 0,890  | 1,362  | 2,452  |
| <b>Mitjana rugositat</b>    | 0,353  | 0,932 | 1,234 | 0,496 | 1,453  | 0,815  | 1,430  | 2,711  |
| <b>Recorregut rugositat</b> | 0,213  | 0,072 | 0,331 | 0,028 | 0,114  | 0,149  | 0,135  | 0,518  |
| <b>Rugositat - temps</b>    | 12,011 | 8,388 | 8,636 | 7,688 | 21,791 | 19,158 | 26,446 | 13,553 |

Taula A.11 Mitjana i recorregut del buidat caixaera quadrada.

| Buidat caixaera      | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>1/9</b>           | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| <b>2/10</b>          | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| <b>3/11</b>          | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| <b>4/12</b>          | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| <b>5/13</b>          | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| <b>6/14</b>          | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| <b>7/15</b>          | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| <b>8/16</b>          | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| <b>Temps valor 2</b> | 15,5     | 11,5     | 13,250   | 16,625   | 17,375   | 17,375   | 18       |
| <b>Temps valor 1</b> | 16,375   | 20,375   | 18,625   | 15,25    | 14,5     | 14,5     | 22,875   |
| <b>Efecte</b>        | -0,875   | -8,875   | -5,375   | 1,375    | 2,875    | 2,875    | -4,875   |

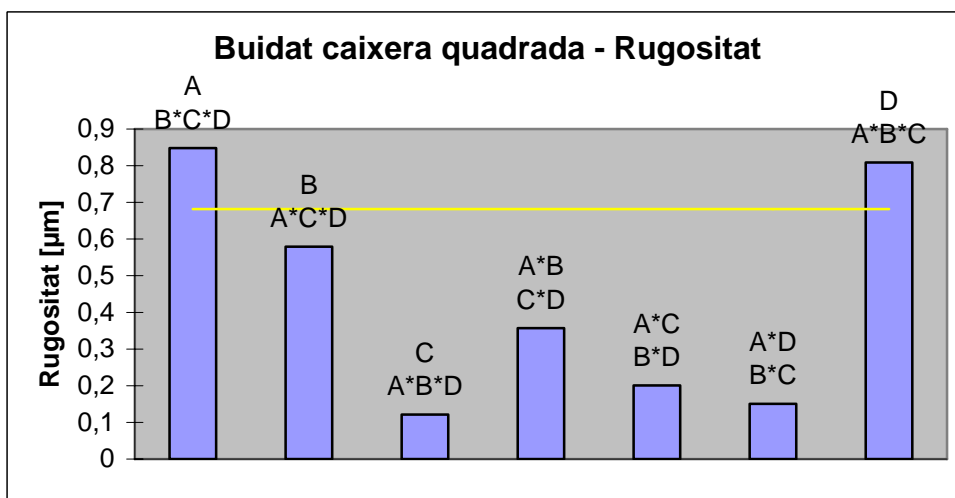
Taula A.12 Temps: efecte produït pels factors en el buidat de caixaera quadrada.



Gràfica A.4 Temps: representació dels efectes en el buidat de caixaera quadrada

| Buidat caixaera   | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1/9               | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2/10              | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3/11              | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4/12              | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5/13              | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6/14              | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7/15              | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8/16              | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Rugositat valor 2 | 1,602    | 1,467    | 1,238    | 1,356    | 1,278    | 1,253    | 1,582    |
| Rugositat valor 1 | 0,754    | 0,888    | 1,117    | 0,999    | 1,078    | 1,103    | 0,774    |
| Efecte            | 0,848    | 0,579    | 0,121    | 0,357    | 0,201    | 0,151    | 0,809    |

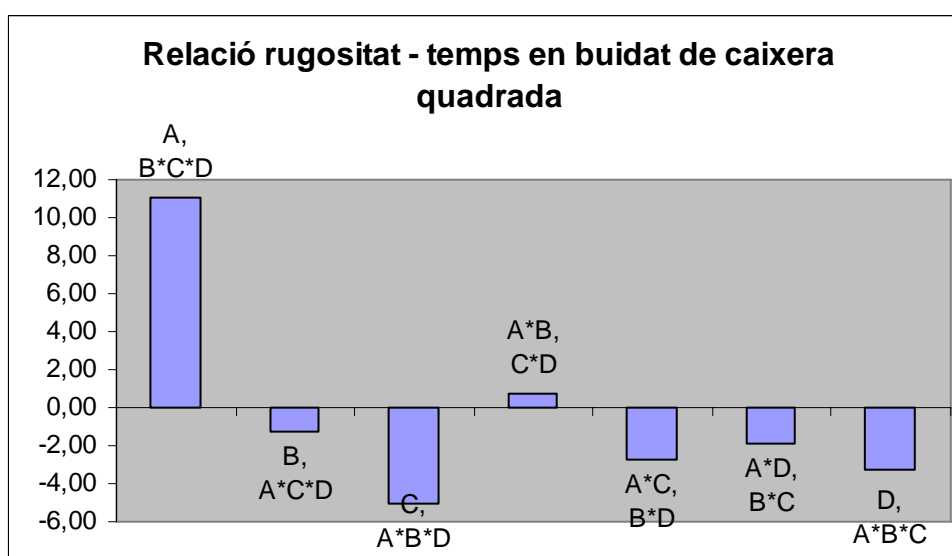
Taula A.13 Rugositat: efecte produït pels factors en el buidat de caixaera quadrada.



Gràfica A.5 Rugositat: representació dels efectes en el buidat de caixaera quadrada

| Buidat caixaera     | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1/9                 | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2/10                | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3/11                | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4/12                | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5/13                | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6/14                | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7/15                | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8/16                | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Rug - temps valor 2 | 20,237   | 14,081   | 12,197   | 15,099   | 13,339   | 13,761   | 13,092   |
| Rug - temps valor 1 | 9,181    | 15,337   | 17,221   | 14,318   | 16,078   | 15,657   | 16,326   |
| Efecte              | 11,056   | -1,256   | -5,024   | 0,781    | -2,739   | -1,897   | -3,234   |

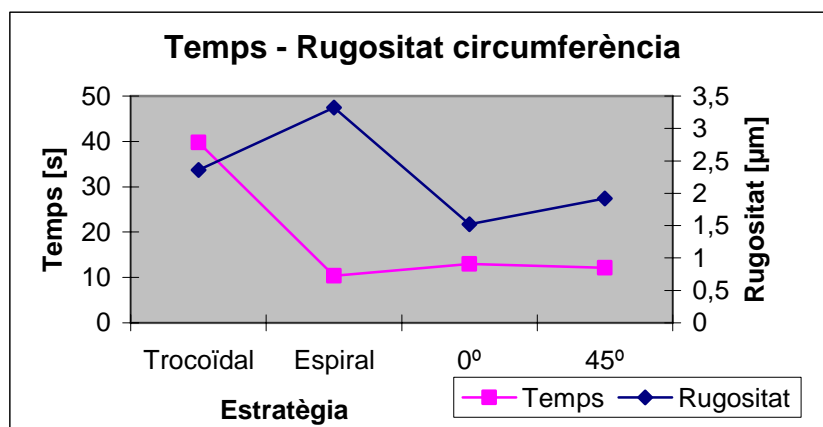
Taula A.14 Rugositat - temps: efecte produït pels factors en el buidat de caixaera quadrada.



Gràfica A.6 Relació rugositat – temps: representació dels efectes en el buidat de caixaera quadrada.

## A.2 Circumferència

|                  | Temps  | Rugositat |
|------------------|--------|-----------|
| <b>Trocoïdal</b> | 39,75  | 2,360187  |
| <b>Espiral</b>   | 10,375 | 3,321875  |
| <b>0°</b>        | 13     | 1,522312  |
| <b>45°</b>       | 12,125 | 1,921312  |



Taula A.15 Circumferència: representació del temps i la rugositat per a cada estratègia

### A.2.1 Dades caixa circumferència

| Assaig               | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Temps 1</b>       | 60    | 44    | 14    | 41    | 11    | 15    | 12    | 3     |
| <b>Temps 2</b>       | 60    | 44    | 14    | 41    | 10    | 16    | 12    | 4     |
| <b>Rugositat 1.1</b> | 1,815 | 3,339 | 2,264 | 1,637 | 2,409 | 1,672 | 2,725 | 5,516 |
| <b>Rugositat 1.2</b> | 1,838 | 3,335 | 2,264 | 1,637 | 2,408 | 1,672 | 2,723 | 5,479 |
| <b>Rugositat 2.1</b> | 2,536 | 3,265 | 2,077 | 1,941 | 2,875 | 1,615 | 3,716 | 6,134 |
| <b>Rugositat 2.2</b> | 2,536 | 3,266 | 2,071 | 1,942 | 2,875 | 1,614 | 3,689 | 6,028 |

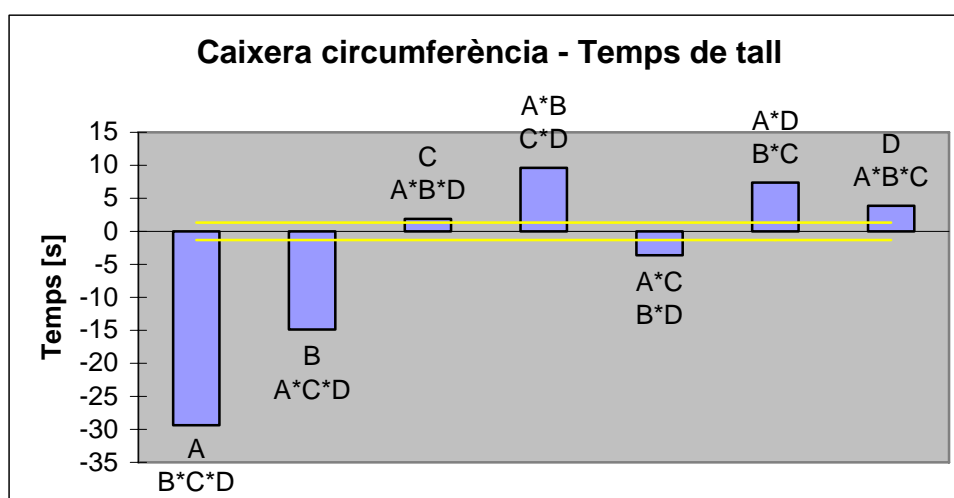
Taula A.16 Temps i rugositat caixa circumferència

| Assaig                      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8     |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| <b>Mitjana temps</b>        | 60     | 44     | 14     | 41     | 10,5   | 15,5   | 12     | 3,5   |
| <b>Recorregut temps</b>     | 0      | 0      | 0      | 0      | 1      | 1      | 0      | 1     |
| <b>Mitjana rugositat 1</b>  | 1,827  | 3,337  | 2,264  | 1,637  | 2,409  | 1,672  | 2,724  | 5,498 |
| <b>Mitjana rugositat 2</b>  | 2,536  | 3,266  | 2,074  | 1,942  | 2,875  | 1,615  | 3,703  | 6,081 |
| <b>Mitjana rugositat</b>    | 2,181  | 3,301  | 2,169  | 1,789  | 2,642  | 1,643  | 3,213  | 5,789 |
| <b>Recorregut rugositat</b> | 0,710  | 0,071  | 0,190  | 0,305  | 0,467  | 0,057  | 0,979  | 0,584 |
| <b>Rugositat - temps</b>    | 62,181 | 47,301 | 16,169 | 42,789 | 13,142 | 17,143 | 15,213 | 9,289 |

Taula A.17 Mitjana i recorregut de la caixa circumferència.

| Caixera              | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1                    | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2                    | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3                    | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4                    | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5                    | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6                    | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7                    | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8                    | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| <b>Temps valor 2</b> | 10,375   | 17,625   | 26       | 29,875   | 23,25    | 28,75    | 36       |
| <b>Temps valor 1</b> | 39,75    | 32,5     | 24,125   | 20,25    | 26,875   | 21,375   | 32,125   |
| <b>Efecte</b>        | -29,375  | -14,875  | 1,875    | 9,625    | -3,625   | 7,375    | 3,875    |

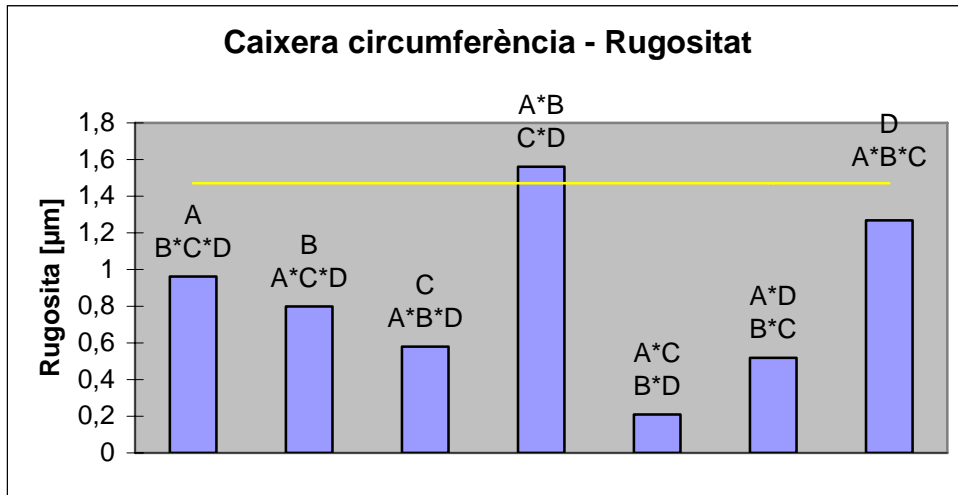
Taula A.18 Temps: efecte produït pels factors en la caixaera circumferència.



Gràfica A.7 Temps: representació dels efectes en la caixaera circumferència.

| Caixera                  | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1                        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2                        | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3                        | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4                        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5                        | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6                        | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7                        | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8                        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| <b>Rugositat valor 2</b> | 3,322    | 3,240    | 3,131    | 3,621    | 2,946    | 3,100    | 3,475    |
| <b>Rugositat valor 1</b> | 2,360    | 2,442    | 2,551    | 2,061    | 2,736    | 2,582    | 2,207    |
| <b>Efecte</b>            | 0,962    | 0,798    | 0,579    | 1,560    | 0,209    | 0,519    | 1,269    |

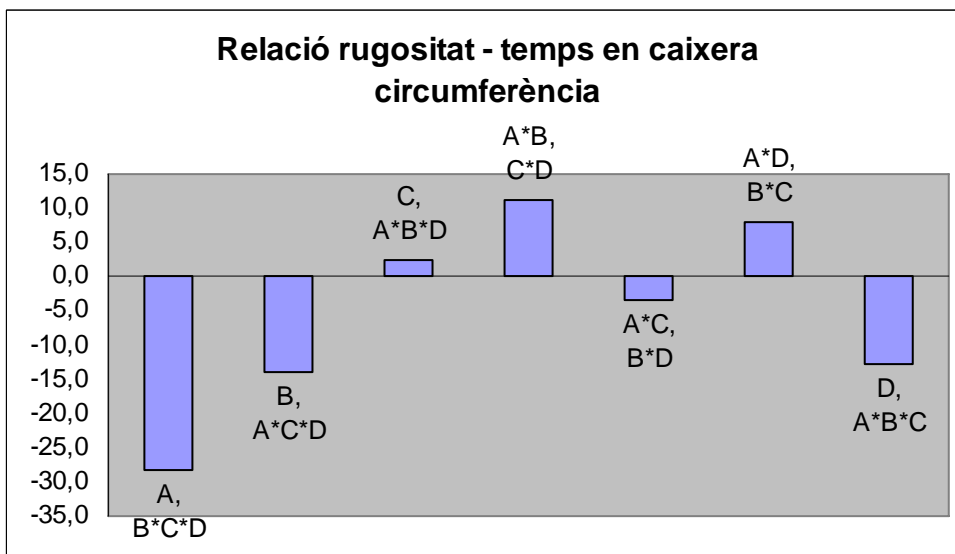
Taula A.19 Rugositat: efecte produït pels factors en la caixaera circumferència.



Gràfica A.8 Rugositat: representació dels efectes en la caixaera circumferència.

| Caixera             | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1                   | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2                   | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3                   | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4                   | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5                   | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6                   | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7                   | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8                   | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Rug - temps valor 2 | 13,697   | 20,865   | 29,131   | 33,496   | 26,196   | 31,850   | 21,475   |
| Rug - temps valor 1 | 42,110   | 34,942   | 26,676   | 22,311   | 29,611   | 23,957   | 34,332   |
| Efecte              | -28,413  | -14,077  | 2,454    | 11,185   | -3,416   | 7,894    | -12,856  |

Taula A.20 Rugositat - temps: efecte produït pels factors en la caixaera circumferència.



Gràfica A.9 Relació rugositat – temps: representació dels efectes en la caixaera circumferència.



**A.2.2 Dades buidat caixaera circumferència**

| Assaig               | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Temps 1</b>       | 28    | 8     | 6     | 10    | 12    | 18    | 14    | 4     |
| <b>Temps 2</b>       | 28    | 8     | 6     | 10    | 12    | 19    | 14    | 4     |
| <b>Rugositat 1.1</b> | 0,471 | 1,148 | 2,533 | 2,116 | 1,534 | 0,838 | 1,22  | 4,104 |
| <b>Rugositat 1.2</b> | 0,473 | 1,146 | 2,55  | 2,116 | 1,534 | 0,84  | 1,228 | 4,105 |
| <b>Rugositat 2.1</b> | 0,319 | 1,086 | 1,063 | 3,426 | 1,477 | 0,873 | 1,199 | 4,125 |
| <b>Rugositat 2.2</b> | 0,336 | 1,089 | 1,063 | 3,422 | 1,476 | 0,869 | 1,2   | 4,119 |

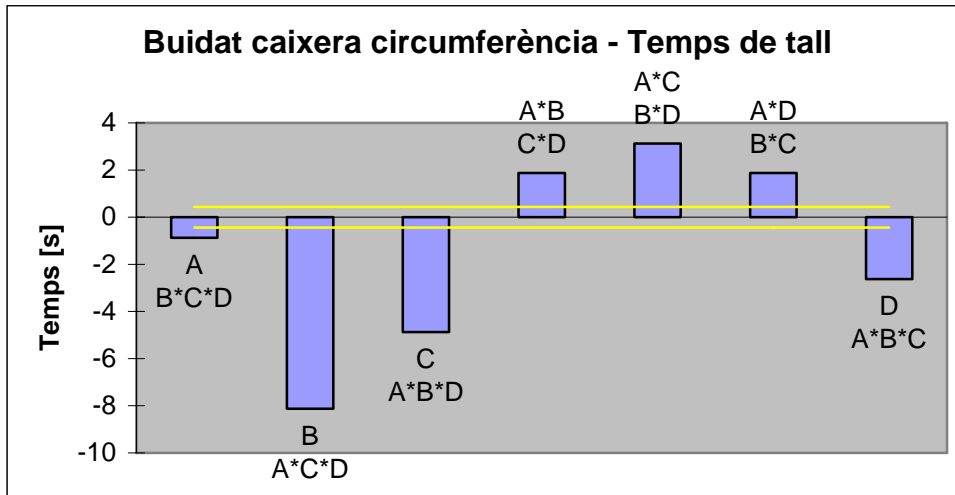
Taula A.21 Temps i rugositat buidat caixaera circumferència

| Assaig                      | 9      | 10    | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     |
|-----------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Mitjana temps</b>        | 28     | 8     | 6      | 10     | 12     | 18,5   | 14     | 4      |
| <b>Recorregut temps</b>     | 0      | 0     | 0      | 0      | 0      | 1      | 0      | 0      |
| <b>Mitjana rugositat 1</b>  | 0,472  | 1,147 | 2,542  | 2,116  | 1,534  | 0,839  | 1,224  | 4,105  |
| <b>Mitjana rugositat 2</b>  | 0,328  | 1,088 | 1,063  | 3,424  | 1,477  | 0,871  | 1,200  | 4,122  |
| <b>Mitjana rugositat</b>    | 0,400  | 1,117 | 1,802  | 2,770  | 1,505  | 0,855  | 1,212  | 4,113  |
| <b>Recorregut rugositat</b> | 0,145  | 0,059 | 1,479  | 1,308  | 0,057  | 0,032  | 0,025  | 0,018  |
| <b>Rugositat - temps</b>    | 11,193 | 8,938 | 10,814 | 27,700 | 18,063 | 15,818 | 16,965 | 16,453 |

Taula A.22 Mitjana i recorregut del buidat caixaera circumferència.

| Buidat caixaera      | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>1/9</b>           | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| <b>2/10</b>          | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| <b>3/11</b>          | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| <b>4/12</b>          | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| <b>5/13</b>          | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| <b>6/14</b>          | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| <b>7/15</b>          | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| <b>8/16</b>          | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| <b>Temps valor 2</b> | 12,125   | 8,5      | 10,125   | 13,5     | 14,125   | 13,5     | 15,      |
| <b>Temps valor 1</b> | 13       | 16,625   | 15       | 11,625   | 11       | 11,625   | 17,625   |
| <b>Efecte</b>        | -0,875   | -8,125   | -4,875   | 1,875    | 3,125    | 1,875    | -2,625   |

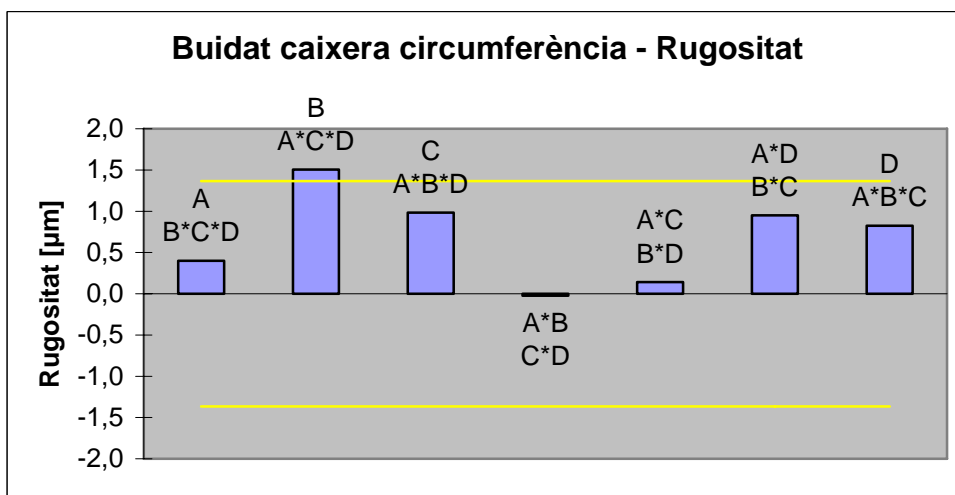
Taula A.23 Temps: efecte produït pels factors en el buidat de caixaera circumferència.



Gràfica A.10 Temps: representació dels efectes en el buidat de caixa circumferència.

| Buidat caixa      | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1/9               | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2/10              | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3/11              | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4/12              | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5/13              | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6/14              | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7/15              | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8/16              | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Rugositat valor 2 | 1,921    | 2,474    | 2,214    | 1,711    | 1,793    | 2,197    | 2,135    |
| Rugositat valor 1 | 1,522    | 0,969    | 1,230    | 1,733    | 1,651    | 1,247    | 1,309    |
| Efecte            | 0,399    | 1,505    | 0,984    | -0,023   | 0,142    | 0,951    | 0,825    |

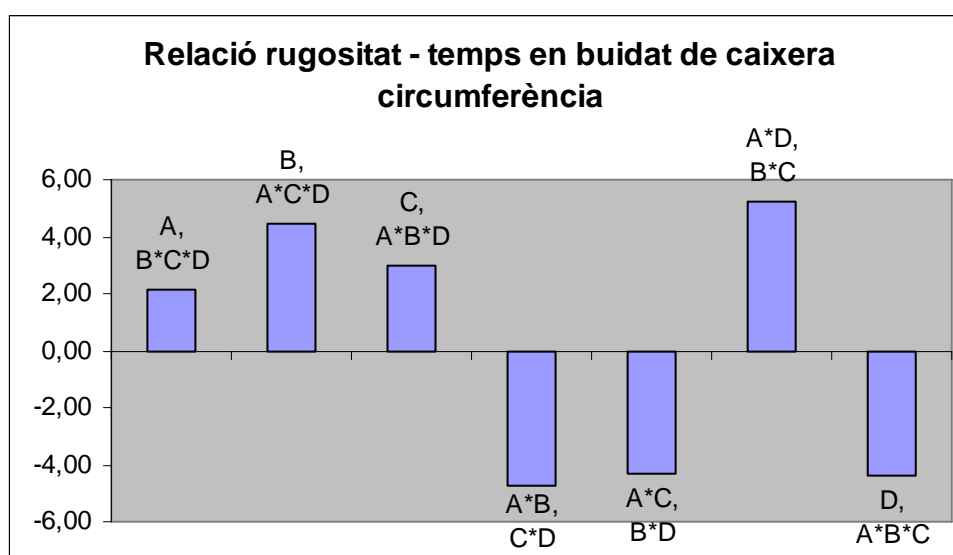
Taula A.24 Rugositat: efecte produït pels factors en el buidat de caixa circumferència.



Gràfica A.11 Rugositat: representació dels efectes en el buidat de caixa circumferència.

| Buidat caixaera     | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1/9                 | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2/10                | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3/11                | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4/12                | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5/13                | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6/14                | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7/15                | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8/16                | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Rug - temps valor 2 | 16,825   | 17,983   | 17,227   | 13,387   | 13,569   | 18,352   | 13,567   |
| Rug - temps valor 1 | 14,661   | 13,503   | 14,259   | 18,099   | 17,916   | 13,133   | 17,919   |
| Efecte              | 2,163    | 4,480    | 2,969    | -4,711   | -4,347   | 5,219    | -4,352   |

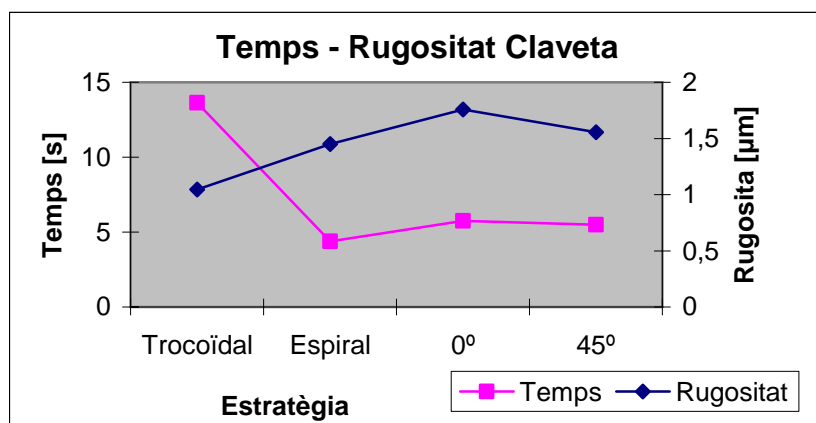
Taula A.25 Rugositat - temps: efecte produït pels factors en el buidat de caixaera circumferència.



Gràfica A.12 Relació rugositat–temps: representació dels efectes en el buidat de caixaera circumferència.

### A.3 Claveta

|           | Temps  | Rugositat |
|-----------|--------|-----------|
| Trocoïdal | 13,625 | 1,045437  |
| Espiral   | 4,375  | 1,449     |
| 0°        | 5,75   | 1,756875  |
| 45°       | 5,5    | 1,5555    |



Taula A.26 Claveta: representació del temps i la rugositat per a cada estratègia

#### A.3.1 Dades caixaera claveta

| Assaig        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temps 1       | 20    | 18    | 5     | 11    | 4     | 7     | 4     | 2     |
| Temps 2       | 20    | 19    | 5     | 11    | 4     | 8     | 4     | 2     |
| Rugositat 1.1 | 0,934 | 0,624 | 1,256 | 0,649 | 1,037 | 0,399 | 1,327 | 1,433 |
| Rugositat 1.2 | 0,932 | 0,623 | 1,255 | 0,653 | 1,037 | 0,399 | 1,325 | 1,431 |
| Rugositat 2.1 | 0,893 | 0,549 | 2,043 | 1,417 | 1,428 | 0,523 | 2,687 | 2,759 |
| Rugositat 2.2 | 0,889 | 0,546 | 2,047 | 1,417 | 1,428 | 0,525 | 2,688 | 2,758 |

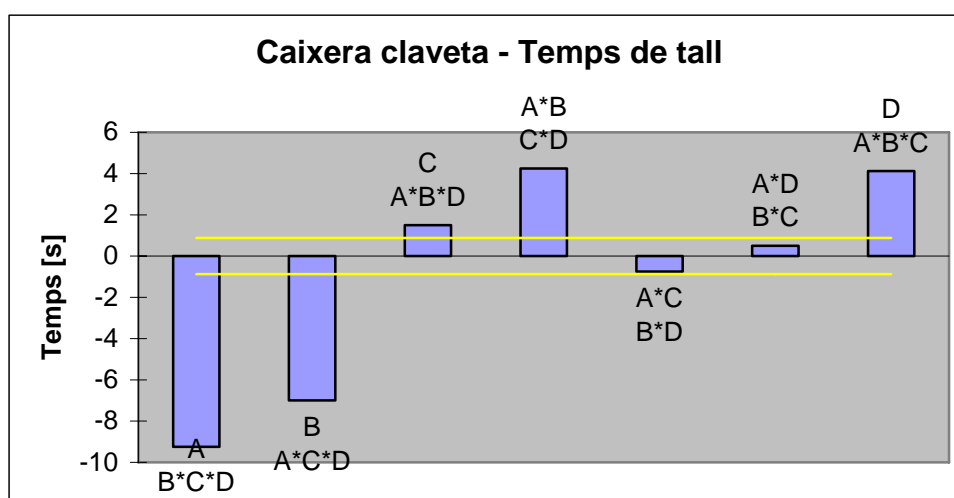
Taula A.27 Temps i rugositat caixaera claveta

| Assaig               | 1      | 2      | 3     | 4      | 5     | 6     | 7     | 8     |
|----------------------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Mitjana temps        | 20     | 18,5   | 5     | 11     | 4     | 7,5   | 4     | 2     |
| Recorregut temps     | 0      | 1      | 0     | 0      | 0     | 1     | 0     | 0     |
| Mitjana rugositat 1  | 0,933  | 0,624  | 1,256 | 0,651  | 1,037 | 0,399 | 1,326 | 1,432 |
| Mitjana rugositat 2  | 0,891  | 0,548  | 2,045 | 1,417  | 1,428 | 0,524 | 2,688 | 2,759 |
| Mitjana rugositat    | 0,912  | 0,586  | 1,650 | 1,034  | 1,233 | 0,462 | 2,007 | 2,095 |
| Recorregut rugositat | 0,042  | 0,076  | 0,790 | 0,766  | 0,391 | 0,125 | 1,362 | 1,327 |
| Rugositat - temps    | 18,240 | 10,832 | 8,251 | 11,374 | 4,930 | 3,461 | 8,027 | 4,191 |

Taula A.28 Mitjana i recorregut de la caixaera claveta

| Caixera              | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1                    | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2                    | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3                    | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4                    | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5                    | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6                    | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7                    | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8                    | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| <b>Temps valor 2</b> | 4,375    | 5,5      | 9,75     | 11,125   | 8,625    | 9,25     | 14,75    |
| <b>Temps valor 1</b> | 13,625   | 12,5     | 8,25     | 6,875    | 9,375    | 8,75     | 10,625   |
| <b>Efecte</b>        | -9,250   | -7,000   | 1,5      | 4,25     | -0,75    | 0,5      | 4,125    |

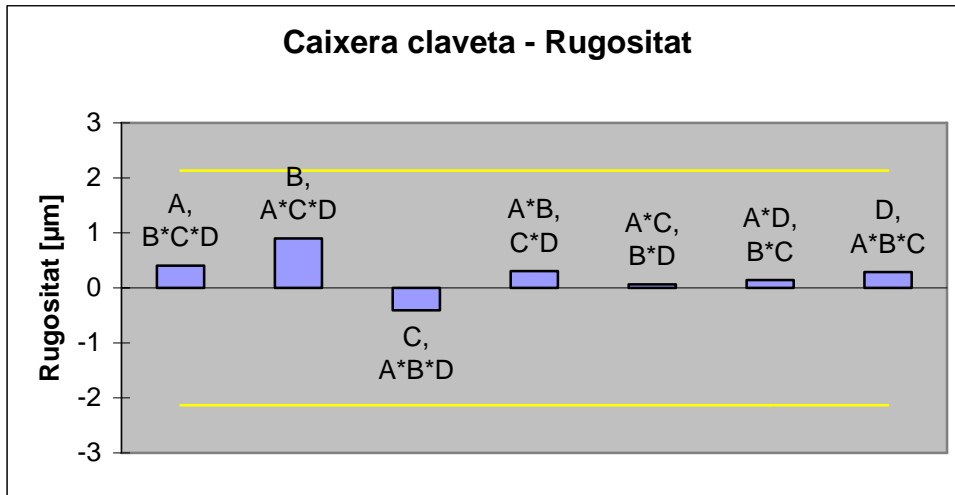
Taula A.29 Temps: efecte produït pels factors en la caixaera claveta.



Gràfica A.13 Temps: representació dels efectes en la caixaera claveta.

| Caixera                  | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1                        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2                        | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3                        | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4                        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5                        | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6                        | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7                        | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8                        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| <b>Rugositat valor 2</b> | 1,449    | 1,679    | 1,044    | 1,400    | 1,280    | 1,319    | 1,391    |
| <b>Rugositat valor 1</b> | 1,045    | 0,798    | 1,450    | 1,095    | 1,215    | 1,176    | 1,104    |
| <b>Efecte</b>            | 0,404    | 0,899    | -0,406   | 0,305    | 0,065    | 0,142    | 0,287    |

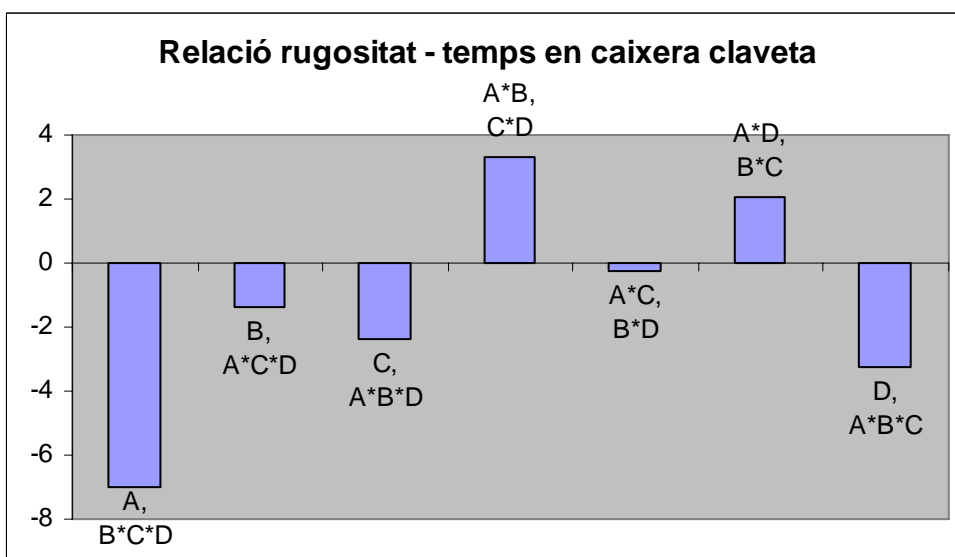
Taula A.30 Rugositat: efecte produït pels factors en la caixaera claveta.



Gràfica A.14 Rugositat: representació dels efectes en la caixaera claveta.

| Caixera             | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1                   | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2                   | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3                   | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4                   | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5                   | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6                   | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7                   | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8                   | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Rug - temps valor 2 | 5,152    | 7,961    | 7,464    | 10,322   | 8,536    | 9,684    | 7,051    |
| Rug - temps valor 1 | 12,174   | 9,366    | 9,862    | 7,004    | 8,791    | 7,643    | 10,276   |
| Efecte              | -7,022   | -1,405   | -2,398   | 3,318    | -0,255   | 2,041    | -3,225   |

Taula A.31 Rugositat - temps: efecte produït pels factors en la caixaera claveta.



Gràfica A.15 Relació rugositat – temps: representació dels efectes en la caixaera claveta.

**A.3.2 Dades buidat caixaera claveta**

| Assaig               | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Temps 1</b>       | 12    | 4     | 3     | 4     | 5     | 9     | 6     | 2     |
| <b>Temps 2</b>       | 12    | 4     | 3     | 4     | 5     | 9     | 6     | 2     |
| <b>Rugositat 1.1</b> | 0,912 | 1,488 | 2,548 | 2,595 | 0,789 | 0,788 | 1,953 | 2,231 |
| <b>Rugositat 1.2</b> | 0,912 | 1,49  | 2,549 | 2,594 | 0,789 | 0,788 | 1,956 | 2,232 |
| <b>Rugositat 2.1</b> | 0,976 | 1,619 | 1,977 | 1,95  | 1,565 | 0,768 | 2,069 | 2,281 |
| <b>Rugositat 2.2</b> | 0,976 | 1,62  | 1,955 | 1,949 | 1,567 | 0,761 | 2,07  | 2,281 |

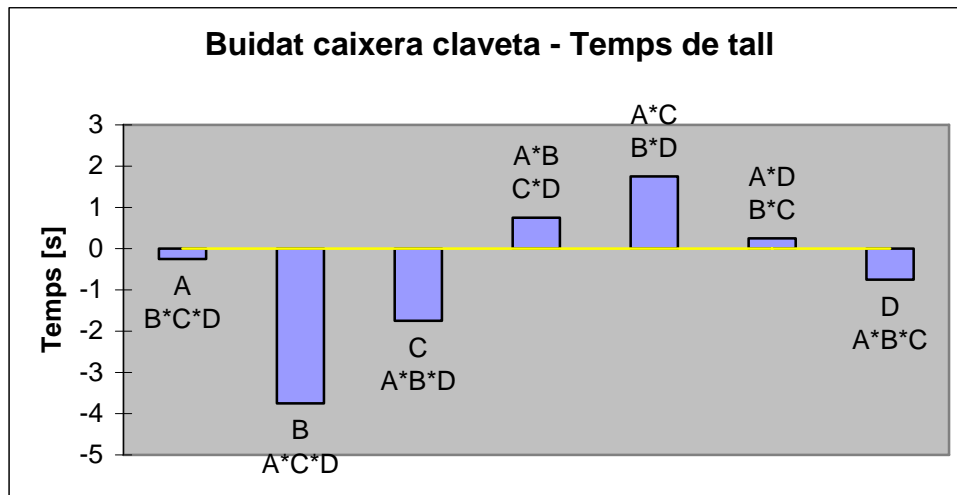
Taula A.32 Temps i rugositat buidat caixaera claveta

| Assaig                      | 9      | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15     | 16    |
|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| <b>Mitjana temps</b>        | 12     | 4     | 3     | 4     | 5     | 9     | 6      | 2     |
| <b>Recorregut temps</b>     | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     |
| <b>Mitjana rugositat 1</b>  | 0,912  | 1,489 | 2,549 | 2,595 | 0,789 | 0,788 | 1,955  | 2,232 |
| <b>Mitjana rugositat 2</b>  | 0,976  | 1,620 | 1,966 | 1,950 | 1,566 | 0,765 | 2,070  | 2,281 |
| <b>Mitjana rugositat</b>    | 0,944  | 1,554 | 2,257 | 2,272 | 1,178 | 0,776 | 2,012  | 2,256 |
| <b>Recorregut rugositat</b> | 0,064  | 0,131 | 0,583 | 0,645 | 0,777 | 0,024 | 0,115  | 0,050 |
| <b>Rugositat - temps</b>    | 11,328 | 6,217 | 6,772 | 9,088 | 5,888 | 6,986 | 12,072 | 4,513 |

Taula A.33 Mitjana i recorregut del buidat caixaera claveta

| Buidat caixaera      | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>1/9</b>           | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| <b>2/10</b>          | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| <b>3/11</b>          | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| <b>4/12</b>          | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| <b>5/13</b>          | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| <b>6/14</b>          | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| <b>7/15</b>          | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| <b>8/16</b>          | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| <b>Temps valor 2</b> | 5,5      | 3,75     | 4,75     | 6,       | 6,5      | 5,75     | 7        |
| <b>Temps valor 1</b> | 5,75     | 7,5      | 6,5      | 5,25     | 4,75     | 5,5      | 7,75     |
| <b>Efecte</b>        | -0,25    | -3,75    | -1,75    | 0,75     | 1,75     | 0,25     | -0,75    |

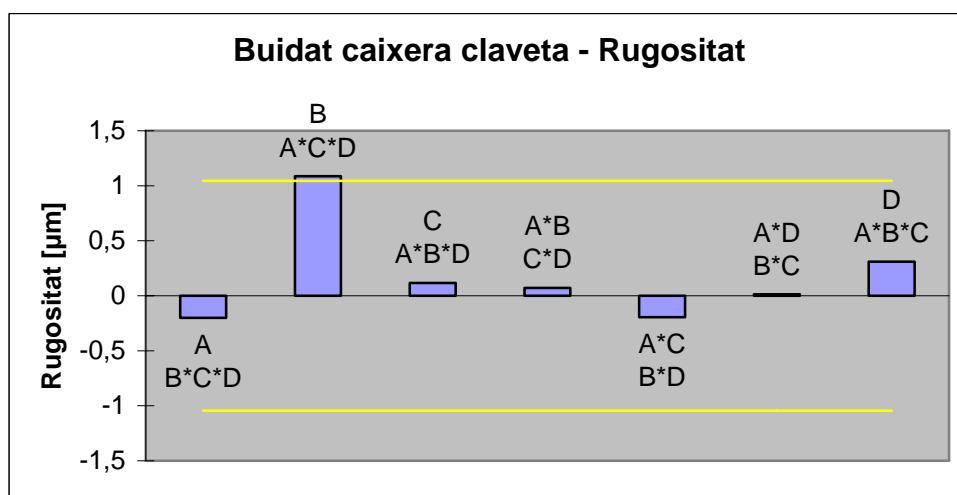
Taula A.34 Temps: efecte produït pels factors en el buidat de caixaera claveta.



Gràfica A.16 Temps: representació dels efectes en el buidat de caixaera claveta.

| Buidat caixaera   | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1/9               | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2/10              | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3/11              | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4/12              | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5/13              | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6/14              | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7/15              | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8/16              | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Rugositat valor 2 | 1,556    | 2,199    | 1,71     | 1,692    | 1,558    | 1,662    | 1,811    |
| Rugositat valor 1 | 1,757    | 1,113    | 1,598    | 1,621    | 1,754    | 1,650    | 1,501    |
| Efecte            | -0,201   | 1,086    | 0,117    | 0,071    | -0,196   | 0,013    | 0,310    |

Taula A.35 Rugositat: efecte produït pels factors en el buidat de caixaera claveta.

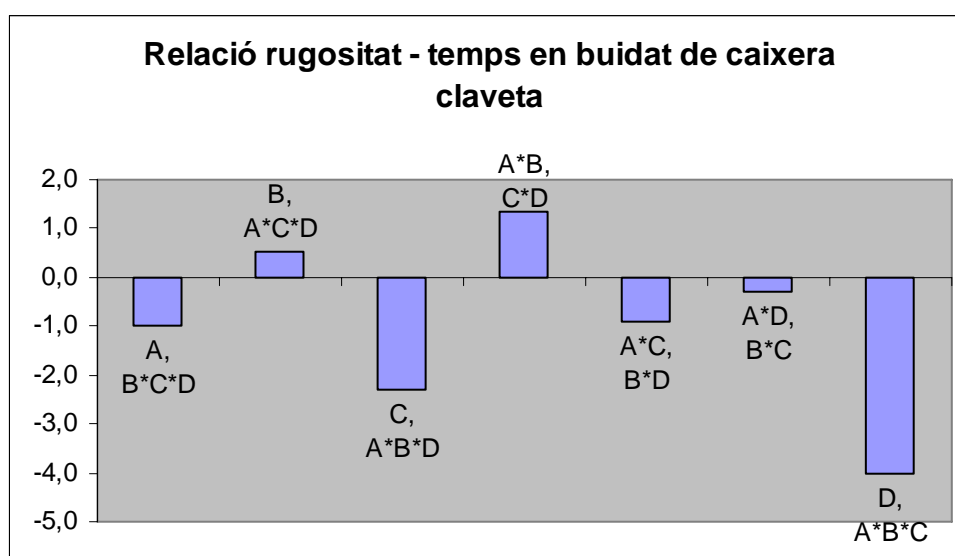


Gràfica A.17 Rugositat: representació dels efectes en el buidat de caixaera claveta.



| Buidat caixaera     | A, B*C*D | B, A*C*D | C, A*B*D | A*B, C*D | A*C, B*D | A*D, B*C | D, A*B*C |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1                   | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 2                   | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        |
| 3                   | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        |
| 4                   | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        |
| 5                   | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |
| 6                   | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| 7                   | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        |
| 8                   | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Rug - temps valor 2 | 7,365    | 8,111    | 6,701    | 8,532    | 7,400    | 7,704    | 5,847    |
| Rug - temps valor 1 | 8,351    | 7,605    | 9,015    | 7,183    | 8,316    | 8,012    | 9,869    |
| Efecte              | -0,987   | 0,506    | -2,314   | 1,349    | -0,917   | -0,308   | -4,021   |

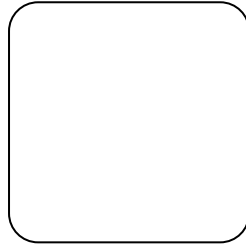
Taula A.36 Rugositat - temps: efecte produït pels factors en el buidat de caixaera claveta.



Gràfica A.18 Relació rugositat – temps: representació dels efectes en el buidat de caixaera claveta.

**ANNEX B. ESQUEMA PEÇA**Quadrat:

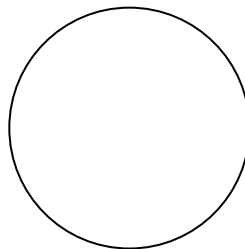
El quadrat que es mecanitza té unes dimensions de 50x50x0,3mm ja que així s'aconsegueix arribar als nivells de les velocitats de tall i la profunditat que s'ha agafat és la profunditat que és utilitzada habitualment per fer la passada d'acabat.



Esquema 1

Circumferència:

La circumferència que es mecanitza té un diàmetre de 50mm amb una profunditat de 0,3mm. D'aquesta manera, també s'intenta assolir la velocitat d'avanç i s'aprofita per deixar el mateix gruix de paret, entre assaig i assaig, que el quadrat. La profunditat de passada també és de 0,3mm per així realitzar la passada d'acabat.



Esquema 2

Claveta:

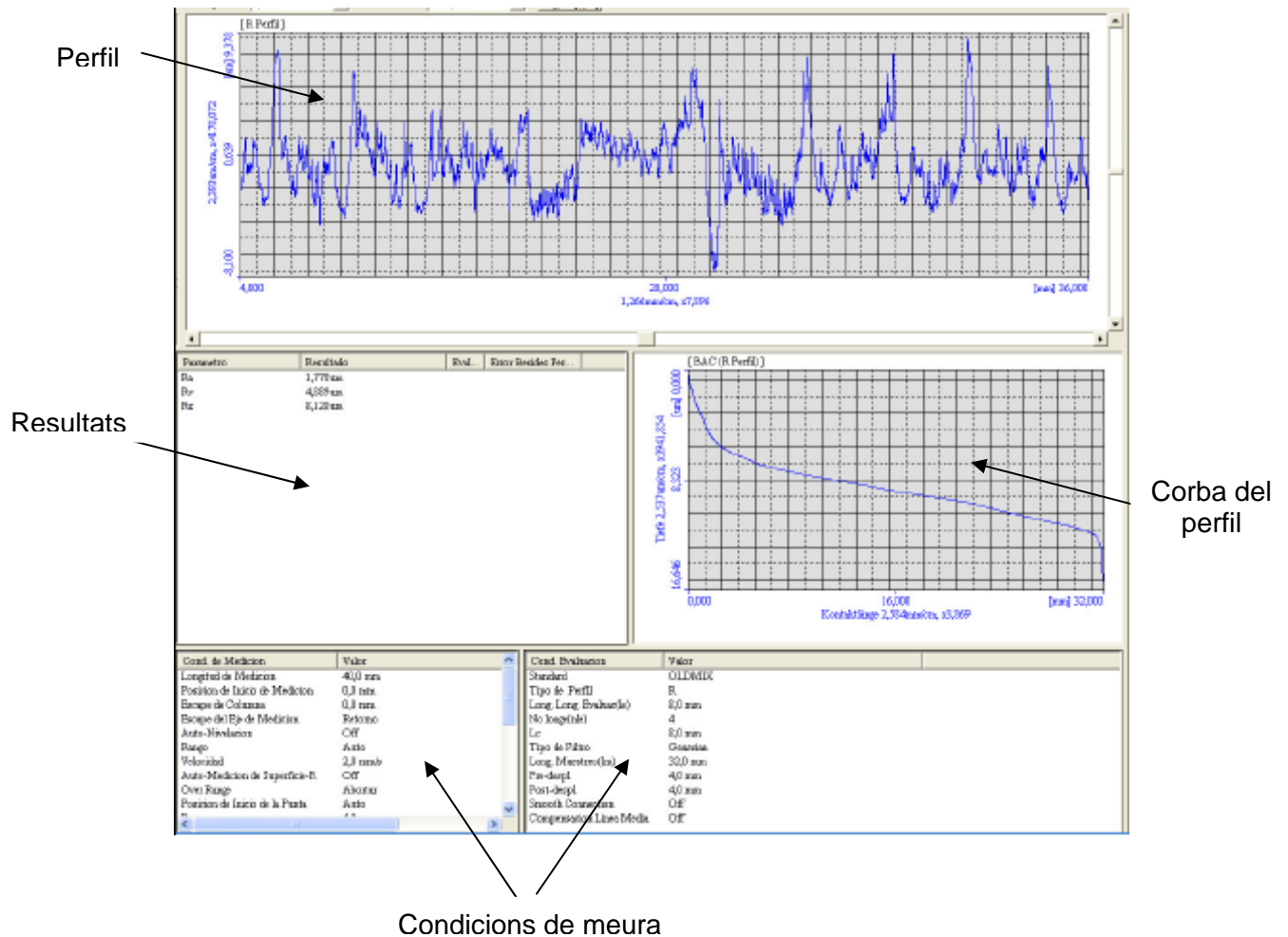
La claveta que es mecanitza és una claveta normalitzada DIN 6885 A18x7x50. Aquesta claveta té unes dimensions de 18mm d'amplada, 50mm de longitud i una profunditat de 7mm, però, com que es mecanitza la passada d'acabat, aleshores és de 0,3mm.



Esquema 3

## ANNEX C. RUGOSÍMETRE

Totes les dades recollides del treball, en què s'utilitza la rugositat superficial, estan recollides en el cd en format pdf (mirar ANNEX D). A continuació es posa un exemple per tal d'identificar les diferents parts de què consten aquests documents pdf.



Imatge A. 1 Document rugosímetre

El perfil fa una representació gràfica de la superfície per on ha passat l'agulla, per tant, indica de manera gràfica l'acabat superficial.

El resultat quantifica la solució dels diferents paràmetres de control que es demanen (Ra, Ry, Rz). Alhora d'analitzar les dades, només s'ha utilitzat el paràmetre Ra que és la mitjana aritmètica de la rugositat.

La condició de mesura són les diferents opcions que ens permeten determinar els resultats. Els paràmetres més significatius són la longitud de mesura, longitud de mostreig, nombre de longituds d'avaluació, tipus de filtre i punts per cada longitud d'avaluació.

La corba del perfil BAC és la corba de l'àrea de contacte, n'hi ha d'altres, però aquesta és la més utilitzada a nivell general.

## **ANNEX D.    INFORMÀTIC CD**

### Documents

Hi ha tots els documents del projecte.

### Excel

Hi ha totes les taules que s'utilitzen per a fer el projecte en format pdf.

### GOelan

Hi ha els arxius del programa GOelan i la programació per control numèric Fanuc. Hi ha l'arxiu GOelan.txt que serveix d'ajuda.

### Rugosímetre

Hi ha tots els resultats del rugosímetre. Hi ha l'arxiu Rugosímetre.txt que serveix d'ajuda.

### Imatges

Conté les imatges que s'utilitzen en aquest treball, la imatge té el mateix nom que el títol de la foto.