

Presentació

L'objectiu d'aquests apunts és donar a conèixer els principis pels quals es regeix el control numèric (CN). Les diferències de construcció i mètodes de treball entre una màquina convencional i una altra de CN, així com les possibilitats de la tècnica amb CN quant a la mecanització, són alguns dels punts que es tractaran en aquests apunts.

La construcció de màquines de CN ha estat en constant evolució i actualment les noves tecnologies es reflecteixen en les màquines que podem trobar al mercat.

Poder llegir i analitzar qualsevol programa, optimitzar de la forma més econòmica una operació qualsevol de treball i fer la representació en un full de programació són alguns dels objectius que s'han d'assolir.

CONTROL NUMÈRIC

1. Introducció

La denominació de màquina de control numèric procedeix de l'anglès *numerical control* i es podria interpretar com una "màquina que es governa per ordres de lletres i números".

La Norma ISO 2382/1 1974 defineix el control numèric (CN) com el control automàtic d'un procés executat per un dispositiu que utilitza, per efectuar l'operació, dades alfanumèriques introduïdes anteriorment.

En general, amb el CN es poden controlar les posicions i els moviments dels carros o dels capçals, els valors i sentits de les velocitats d'avanç i de tall, els canvis d'eines i de peces, les condicions de funcionament de la màquina tant pel que fa a la manera de treballar (amb refrigerant o sense, lubricació, recollida automàtica de ferritja, etc.) com pel que fa a l'estat de funcionament (funcionament defectuós, avaries, etc.). El CN també s'encarrega de coordinar el control de fluxos d'informació, el control de la sintaxi de programació, etc.

Per tant, mitjançant una sèrie d'instruccions codificades, que constitueixen el programa de CN, es controla el funcionament de la màquina. Això vol dir que una mateixa màquina pot realitzar automàticament processos diferents només substituint el programa de treball.

Els elements bàsics que intervenen en una màquina amb CN són els següents:

- El programa de control numèric.
- El control numèric que interpreta les instruccions.
- La màquina que executa les operacions previstes.

S'ha passat de les màquines eina convencionals als centres de mecanització, amb CN i amb magatzem propi d'eines, on en una mateixa màquina es poden fer moltes operacions diferents de mecanització, les quals corresponen a diferents tipus de màquines convencionals. Per exemple, en un centre de torneigament a més de les operacions típiques del torn es poden fer petites operacions de fresatge, de foradament, de ranuratge, etc.

La incorporació de tota la tecnologia dels ordinadors en el CN ha permès que aparegui la filosofia CIM (*computer integrated manufacturing*), és a dir, la possibilitat d'integrar totes les funcions i tots els elements del sistema productiu mitjançant l'ajut de l'ordinador: gestió, administració, fabricació, etc.

2. Referències històriques

Contràriament al que es pot pensar, en un principi el control numèric de màquines eina no es va pensar per millorar els processos de fabricació, sinó per donar una solució als problemes tècnics sorgits a conseqüència del disseny de peces cada cop més difícils de mecanitzar.

L'any 1942 la Bendix Corporation realitza el que es podria definir com la primera aplicació de CN en la mecanització d'una lleva tridimensional per al regulador d'una bomba d'injecció per a motor d'aviació. La motivació d'aplicar el CN fou donar solució al problema de la mecanització de la lleva, el perfil de la qual era pràcticament impossible de mecanitzar mitjançant una màquina controlada manualment (convencional). Així es va decidir confiar els càlculs a una màquina automàtica, calculadora, que definís un gran nombre de punts de la trajectòria de manera que l'eina fos conduïda successivament d'un punt a l'altre.

L'any 1947, Jhon Parsons crea un control automàtic amb entrada d'informacions numèriques per fabricar hèlixs d'helicòpters. La utilització de targetes perforades en un lector que permetia traduir els senyals de comandament dels eixos, va permetre a Parsons desenvolupar el seu sistema, anomenat *Digiton*.

L'any 1949, la US Air Force, davant la necessitat creixent de fabricar peces cada cop més complexes, contracta Parsons per desenvolupar una unitat de control amb la col·laboració del Massachusetts Institute of Technology (MIT). Així, l'any 1952 se'n va presentar el disseny. La unitat de control estava connectada a una fresadora Cincinnati Hydrotel de tres eixos modificada.

L'any 1953 el MIT utilitza per primer cop la denominació de *numerical control* per referir-se al sistema de control desenvolupat.

Poc després, l'any 1955, a la Mostra de Màquines Eina de Chicago, apareixen diverses firmes que comercialitzen màquines eina amb CN, majoritàriament fresadores per a mecanitzacions de contornejat i màquines de foradar amb control punt a punt. En són exemples: Cincinnati, Giddin & Levis i Kearney & Trecker, entre altres.

El 1959 es munta a Alemanya la primera màquina de CN moguda per contactes electrònics.

L'any 1960 al MIT es realitzen les primeres demostracions de control adaptatiu (condicionament constant de valors de tall segons les exigències), una millora del CN, que permet, a més, l'autoregulació de les condicions de treball de les màquines. L'empresa MACOTECH comercialitzava diversos sistemes de control adaptatiu i segons els seus estudis hi havia un estalvi de temps entre el 30% i el 50%. És al voltant d'aquest any que es comença la tècnica d'elaboració de transistors per a màquines de CN.

És a l'any 1967 que es construeix la primera màquina amb transistors de semiconducció, un cop desenvolupada la tècnica de construcció d'aquests elements.

A finals de l'any 1968 es fan les primeres aplicacions del DNC (*direct numerical control*), control numèric directe, que consisteix a governar un grup de màquines directament des d'un ordinador central. A finals dels anys setanta sorgeix el CNC (*computer numerical control*), control numèric computeritzat, en el qual s'aplica tota la tecnologia de l'ordinador.

Cal destacar que l'evolució interna del CN ha estat molt lligada a l'evolució de l'electrònica i s'hi poden distingir quatre generacions:

- 1.^a Utilització de vàlvules per a la tècnica de control.
- 2.^a Utilització de semiconductors: transistors, díodes i tiristors.
- 3.^a Dins dels semiconductors, certes funcions lògiques combinades donen lloc a circuits integrats.
- 4.^a La lògica del control es confia a un miniprocessador o un microprocessador.

També la construcció de les màquines en si mateixa ha experimentat modificacions i millores al llarg dels anys. Entre els factors que han determinat l'aparició de noves arquitectures de màquines destaquen, a més de l'adopció de la màquina peça:

- l'augment de la rigidesa estàtica
- l'augment de l'estabilitat tèrmica
- l'evacuació de la ferritja
- les solucions constructives més simples
- la simplificació de les cadenes cinemàtiques
- la construcció modular, etc.

3. Avantatges i inconvenients de l'aplicació de les màquines eina amb control numèric

En una màquina eina convencional és el mateix operari que acciona els diferents elements de la màquina, observa el que passa i analitza i modifica si cal les accions.

En el cas de màquines eina amb CN hi ha tres motors independents que accionen el moviment de rotació de la peça i els moviments de translació de l'eina segons X i Z. També disposa de captadors de posició i velocitat de gir. Llavors l'operari elabora el programa de CN mitjançant el qual, a través d'una codificació especial, transmet les ordres i informacions necessàries perquè es realitzi, de manera automàtica, el procés de mecanització.

Els avantatges més significatius són els següents:

- Es redueix el temps d'operació, que es transforma en un augment de la productivitat. Aquesta reducció es deu a aspectes diversos:
 - a) Les trajectòries i velocitats són més ajustades que en les màquines convencionals.
 - b) Cal verificar menys les mesures entre operacions,
 - c) Cal revisar menys els plànols i fulls d'instruccions.

- S'estalvien eines com a conseqüència de la utilització d'eines i utillatges més universals.
- Hi ha més precisió, ja que la repetitivitat comporta un augment de la intercanviabilitat i una millora de l'acabat de la mecanització.
- Es redueix el percentatge de peces defectuoses.
- Es redueix el temps de canvi de peça i eina.
- Es redueix el temps d'inspecció i control (se suprimeixen inspeccions intermèdies entre les operacions).
- Les eines duren més per raó que s'aprofiten millor.
- Es pot mecanitzar peces amb formes complicades i difícils de mecanitzar amb màquines convencionals.
- Hi ha més seguretat per als operaris durant tota l'operació.
- El cost de les peces és més baix, tenint en compte els factors anteriors.
- El cost de la mà d'obra (operaris) és més baix.

Cal destacar que si no es tingués en compte l'aspecte de la rendibilitat, es podria dir que a la majoria dels casos seria preferible fer servir les màquines amb CN, encara que també es poden destacar alguns desavantatges d'aquestes respecte a les convencionals:

- La inversió per lloc de treball és superior, encara que la diferència de cost que hi havia inicialment entre les màquines convencionals i les que van amb CN ha anat decreixent.
- És necessària una fase de programació, que pot necessitar mitjans humans i materials importants; per tant, és necessari personal qualificat.
- S'ha de planificar tot el procés constructiu.
- S'ha de fer un manteniment amb tècnics més qualificats.
- Hi ha d'haver una oficina tècnica
- S'ha de verificar les peces per evitar errors repetitius.

És important assenyalar que el control numèric és especialment adequat amb peces de certa complexitat. En el cas de peces que no són complicades respecte a la forma i que tenen una sèrie molt curta, segurament és més rendible la màquina convencional.

Hi ha diversos tipus de màquines que poden treballar connectades a un CN, com ara les màquines de foradar, les fresadores, els torns, els centres de mecanització, les rectificadores, les màquines d'oxitall, les màquines de traçar, etc.

4. Comparació entre una màquina convencional i una màquina amb control numèric

Màquina eina convencional

L'operari acciona les manetes A i B i aconsegueix el moviment de l'eina segons X i Z. L'aproximació i l'allunyament de l'eina en finalitzar la mecanització i la profunditat són tasques de l'operari. Abans d'efectuar la mecanització, l'operari també ha de seleccionar i posar l'eina adequada, fixar la peça al plat i determinar la velocitat de gir de la peça i d'avanç.

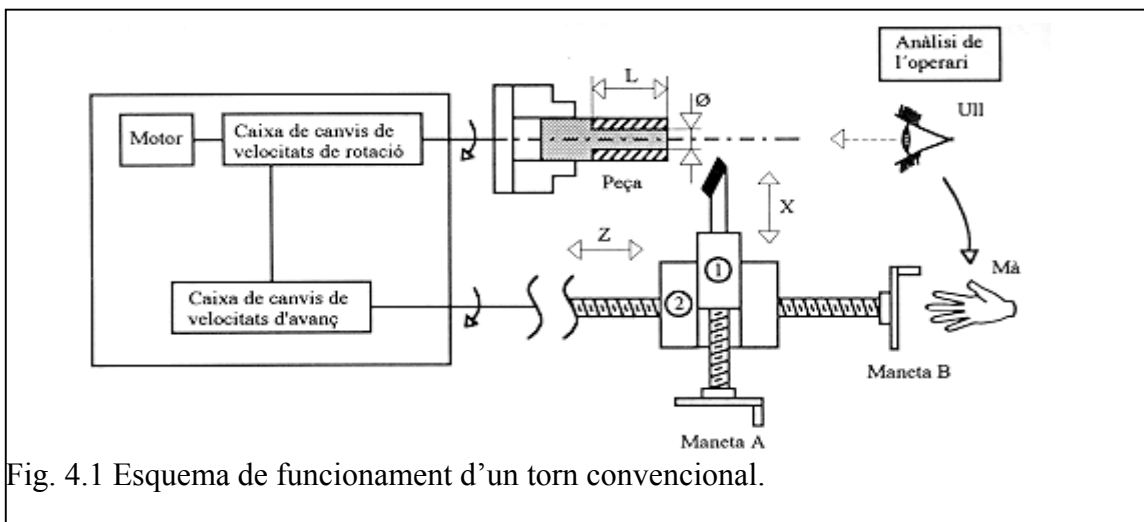


Fig. 4.1 Esquema de funcionament d'un torn convencional.

L'operari acciona els diferents elements de la màquina, fa una inspecció del que passa i corregeix si cal les accions.

Màquina eina amb control numèric

Tres motors accionen el moviment de rotació de la peça i els moviments de translació de l'eina segons X i Z. Dos captadors de posició ens indiquen la posició de l'eina, tres captadors de velocitat de gir (tacòmetres) informen de la velocitat de gir dels motors corresponents.

L'operari elabora el programa de CN, que conté les ordres i informacions per fer el procés de mecanització de forma automàtica. És important assenyalar que ara el CN controlarà les velocitats de tall (rotació de la peça) i d'avanç i la profunditat gràcies a la informació rebuda dels tacòmetres, i modificarà, si convé, els senyals enviats als motors.

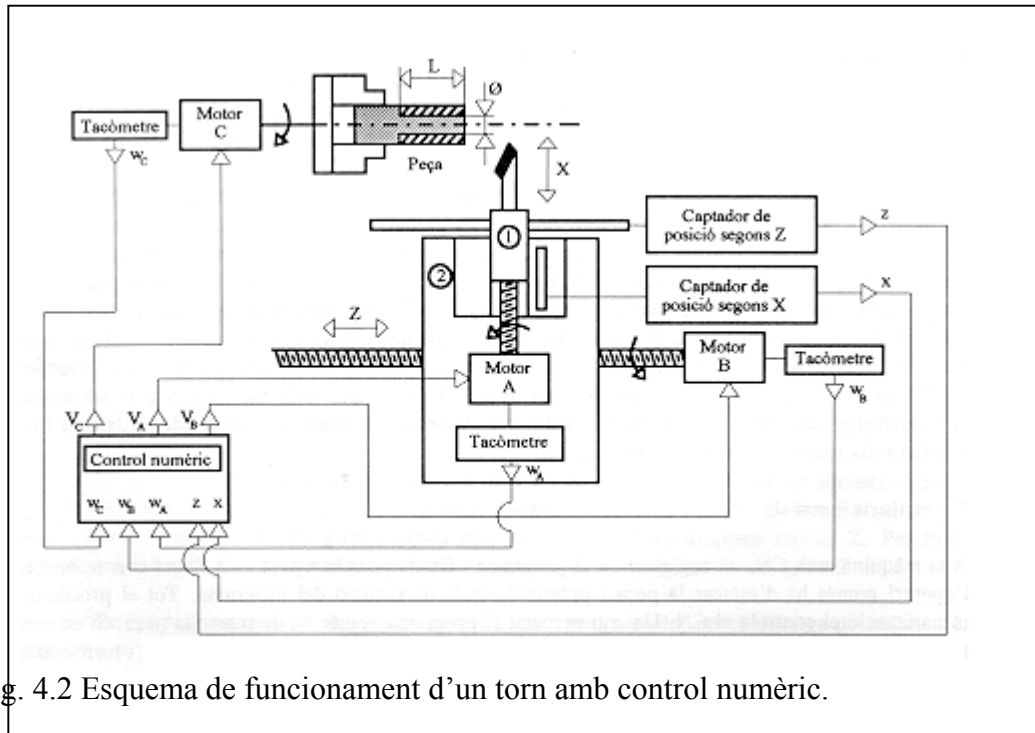


Fig. 4.2 Esquema de funcionament d'un torn amb control numèric.

Un cop el programa de CN ja està elaborat i introduït a la màquina, es fixa la peça i es posa l'eina. Ara ja es pot executar el programa. Per mecanitzar una altra peça només caldrà fixar al plat un altre tros del material que s'ha de mecanitzar i pitjar el botó per executar una altra vegada el programa.

El CN controlarà:

- el moviment dels carros,
- el moviment del capçal,
- el valor i el sentit de les velocitats d'avanç i de tall,
- els canvis d'eina.

El fet que no hi ha engranatges a les màquines de CN comporta que la màquina vibra menys i, per tant, que els acabats de les peces són millors.

En una màquina convencional l'aproximació, la ubicació i l'allunyament de la peça les fa l'operari. Però a les màquines amb CN tots els moviments en buit poden ser molt ràpids. Així, la velocitat d'aproximació de l'eina a la peça i de situació per començar a mecanitzar i la velocitat d'allunyament un cop finalitzada la mecanització són molt ràpides gràcies als motors regulables. Això comporta un estalvi de temps.

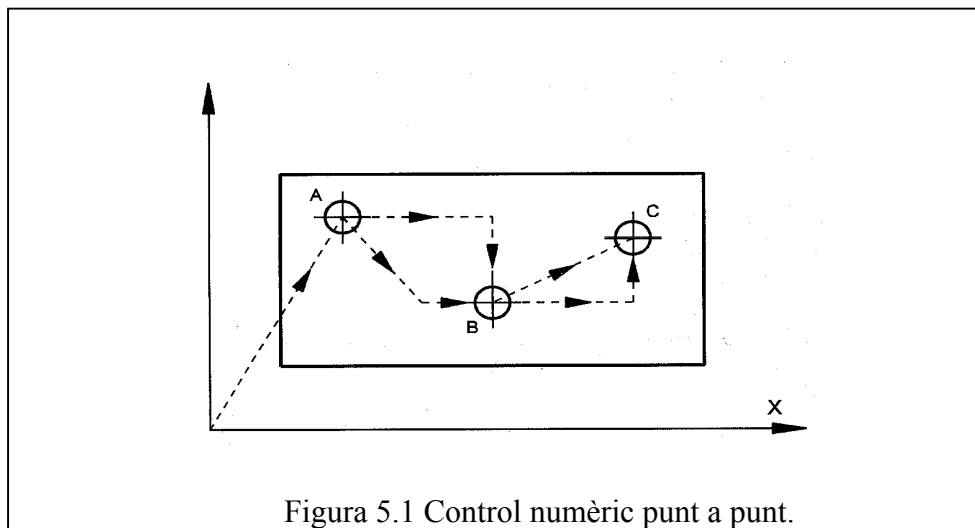
Tasques de l'operari d'un torn convencional	Tasques de l'operari CN
Seleccionar i posar l'eina Fixar la peça al plat Fixar el punt Seleccionar la velocitat manualment Seleccionar la velocitat d'avanç Aproximar l'eina. Profunditat Mesurar entre passades Allunyar l'eina en finalitzar	Entrar el programa Posar l'eina Fixar la peça al plat Fixar el punt Executar el programa
Es repeteix per cada peça	Es repeteix per cada peça

5. Classificació de les màquines eina amb control numèric

Els controls numèrics es poden classificar segons dos aspectes atenent a diferents criteris: segons el tipus de desplaçament que segueix l'element mòbil i el nombre d'eixos controlats alhora, i segons el sistema de control dels desplaçaments (ubicació).

5.1. Control numèric punt a punt

El control numèric punt a punt genera trajectòries lineals per passar d'un punt a un altre de la forma més ràpida possible. El camí no té importància; únicament es té en compte la posició final de l'eina. Les eines no realitzen cap treball en els desplaçaments entre punts, sinó només en els punts programats.



En aquest cas, el desplaçament als punts A, B i C, les trajectòries poden ser les següents:

— Desplaçaments segons direccions paral·leles; és a dir, primer O-X i després O-Y, o a l'inrevés.

— Desplaçament mitjançant una ordre simultània als dos eixos, però sense cap coordinació dels sistemes de comandament de cada un dels motors. La trajectòria s'aproxima als 45°.

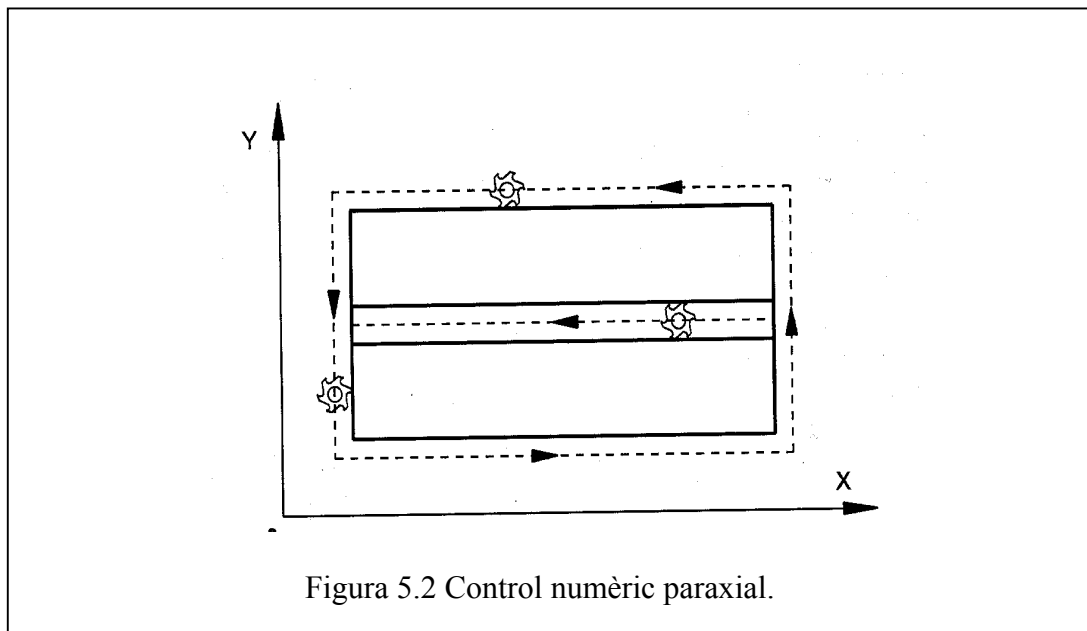
Aplicacions principals: màquines de foradar, mandrinadors, puntejadors, trepants i màquines de soldar per punts.

5.2. Control numèric paraxial

Amb aquest sistema és possible controlar, a més de la posició de l'element desplaçable (carro portaeines), la trajectòria que segueix aquest segons la direcció d'alguns dels eixos de coordenades. Per tant, permet realitzar trajectòries rectilínies paral·leles a un dels eixos. Aquest tipus de control numèric és un complement del control numèric punt a punt, ja que a més de controlar la posició final de l'estri, en controla la trajectòria.

La velocitat d'avanç a cada trajectòria paral·lela a un eix només es pot programar mitjançant el motor de l'eix corresponent. No és així en el cas de trajectòries no paral·leles als eixos.

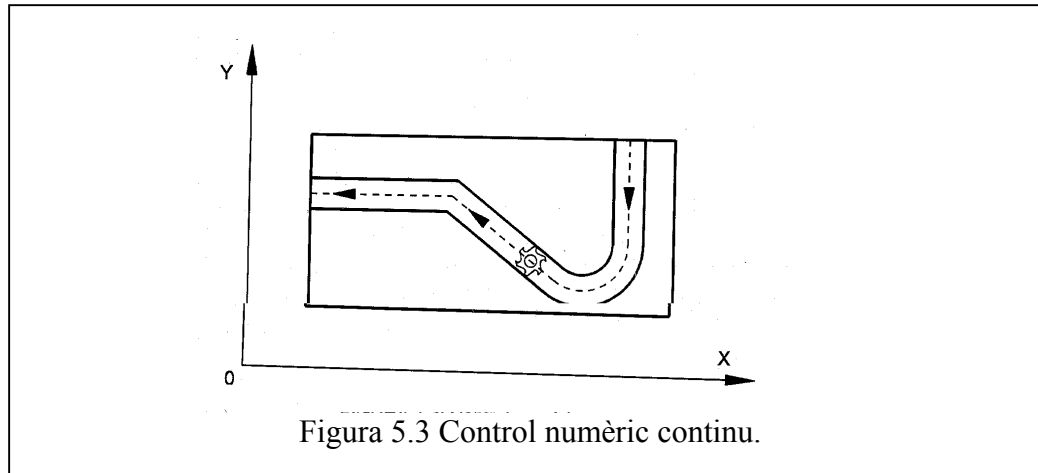
Aquest tipus de control és aplicable principalment a fresadores i és molt pràctic per a la mecanització de ranures, l'aplanament de superfícies o el fresatge lateral.



5.3. Control numèric continu

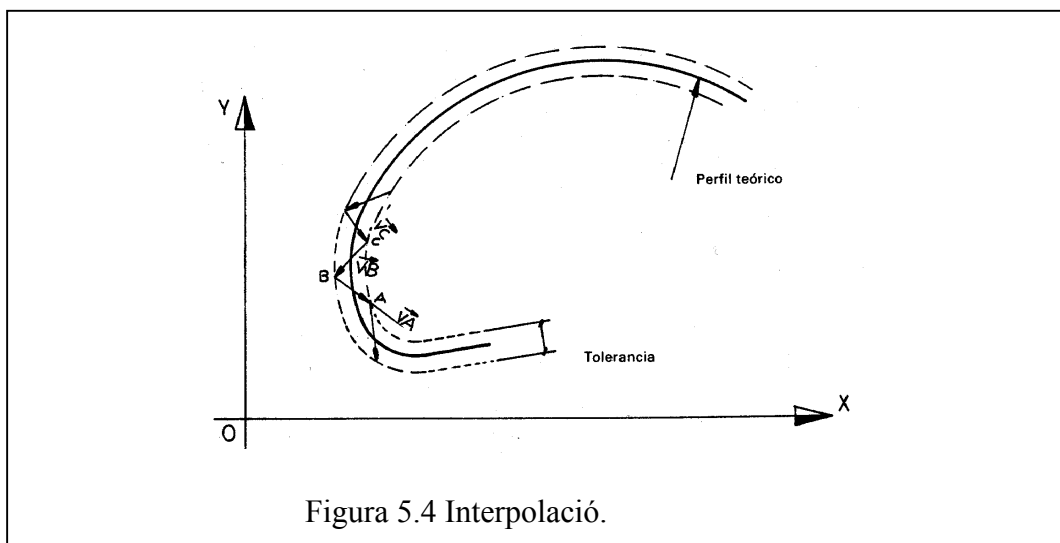
Per fer trajectòries que suposin la sincronització de dos eixos o més, s'utilitza el control numèric continu. L'element mòbil està controlat contínuament perquè se

segueixi la trajectòria prevista, ara amb la velocitat d'avanç programada segons qualsevol direcció interpolable a partir dels eixos.



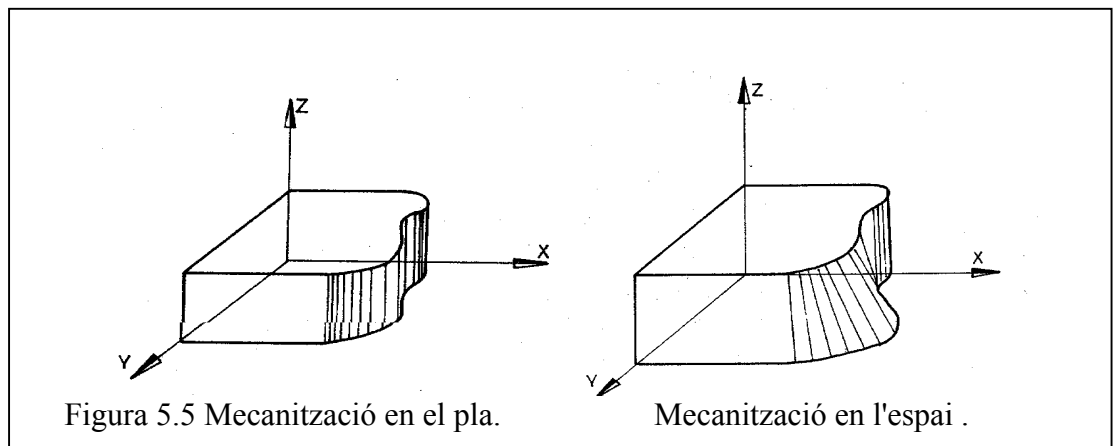
Les ordres de desplaçament es comuniquen a l'element desplaçable (eina: carro portaeines) sota la forma de components d'un vector que permet arribar a un punt pròxim. La corba elemental descrita per aquest element serà un segment de recta. Per tant, qualsevol contornejat estarà format de segments elementals, anomenats *increments*. El nombre d'aquests dependrà de la precisió amb què es vulgui efectuar el treball.

Aquesta descomposició de la corba en segments s'anomena *interpolació*. És necessari sincronitzar les velocitats seguint les direccions O-X i O-Y amb l'objectiu de definir correctament els vectors VA, VB, etc. La corba real està dins una zona determinada per dues corbes paral·leles, l'amplària de la qual depèn de la precisió de la mecanització.



Una classificació del control numèric continu en funció de la capacitat de sincronització controlada dels eixos d'una màquina, és la següent:

- CN continu de dos eixos (2D). Control dels eixos que determinen el pla de la màquina. Aplicació: torns i fresadores senzilles.
- CN continu de dos eixos i mig ($2^{1/2}D$). Controlen els dos eixos de cadascun dels tres possibles plànols (XY, XZ, YZ). Aplicació: fresadores, centres de mecanització, etc.
- CN continu de tres eixos (3D). Els tres eixos es poden desplaçar simultàniament de forma controlada. Aplicació: fresadores per mecanitzar peces especials complexes.



L'altra classificació dels controls numèrics atesa la capacitat per controlar i, si escau, corregir la posició de l'estri (eina) és la següent:

5.4. Control de posició

El control numèric d'un òrgan mòbil té com a objectiu conduir-lo automàticament a una posició determinada, tant amb una trajectòria recta com amb una de corba.

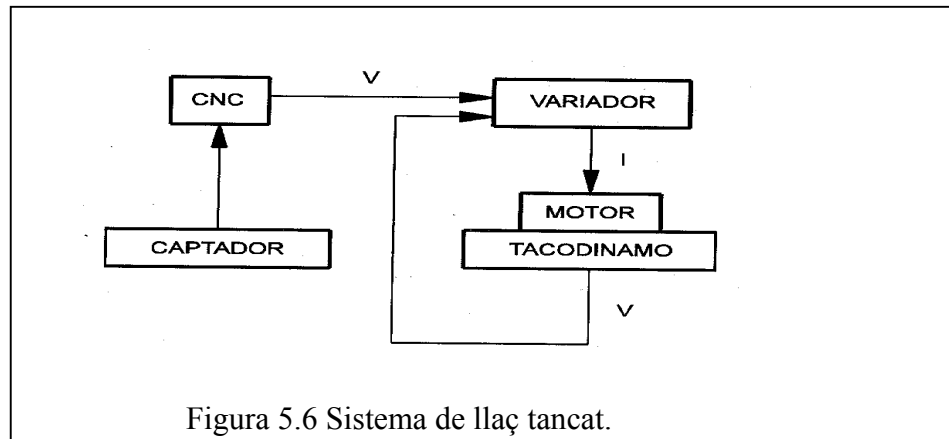
Quan s'ha emès una ordre, cal assegurar-se que l'estri se situa a la posició exacta. Per a això es fan servir dos sistemes:

- Sistema de llaç tancat
- Sistema de llaç obert

5.4.1. Sistema de llaç tancat

En aquest sistema es té un control instantani de la posició del carro, ja que integra captadors de posició (vegeu el punt 6.4), els quals tenen la missió d'informar el CN tothora sobre la situació de l'element desplaçable (carro portaeines).

El CN rep un senyal analògic o digital (dependrà del tipus de captador que incorpori la màquina) enviat pel captador de posició. Aquest valor es compara amb el valor que té prescrit el CN i, en funció del resultat, el CN augmenta o disminueix el senyal enviat al variador de velocitat.



A més, aquestes màquines normalment tenen un control de la velocitat de desplaçament. La velocitat del motor es mesura permanentment amb un tacòmetre, que proporciona una tensió estrictament proporcional a la velocitat. El variador compara el senyal de la tensió del tacòmetre amb la prescrita i acciona el regulador d'intensitat de corrent, de tal manera que subministra al motor la intensitat necessària. S'estableix així un llaç tancat de control de velocitat.

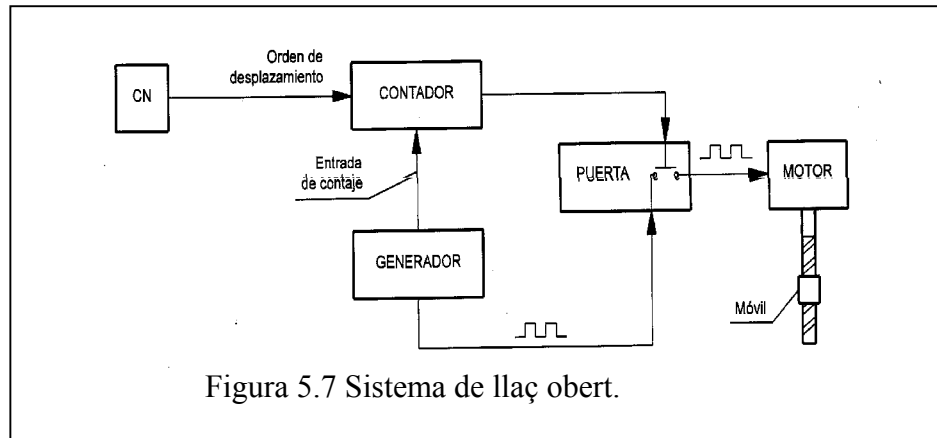
Per a aquest tipus de llaç s'utilitzen motors de corrent continu, corrent altern o hidràulics.

5.4.2. Sistema de llaç obert

En aquest sistema se suprimeix el retorn de la informació perquè s'hi introdueix el motor pas a pas. Ara no hi ha un control real de la posició de l'element desplaçable (carro portaeines).

El motor pas a pas gira un angle fix cada cop que rep un impuls elèctric procedent d'un generador. Un comptador integrat al sistema compta, en funció de l'ordre de desplaçament, el nombre d'impulsos necessaris.

Entre el generador i el motor hi ha un circuit d'obertura i tancament. El comptador tanca la porta (interruptor) i quan ha rebut el nombre d'impulsos necessaris per efectuar el desplaçament, l'obre.



Aquest sistema es pot trobar principalment a màquines de caràcter didàctic o de cost baix, per causa de la petita potència dels motors pas a pas i la mediocre precisió del sistema.

El procediment per calcular l'apreciació de l'avanç d'una màquina de CNC en llaç obert és el resultat de la multiplicació del pas del motor (fracció angular) pel pas de l'eix, dividit per 360° (amb referència a una volta completa).

Funcionament del motor pas a pas

El motor pas a pas permet controlar fàcilment:

- desplaçaments
- velocitats

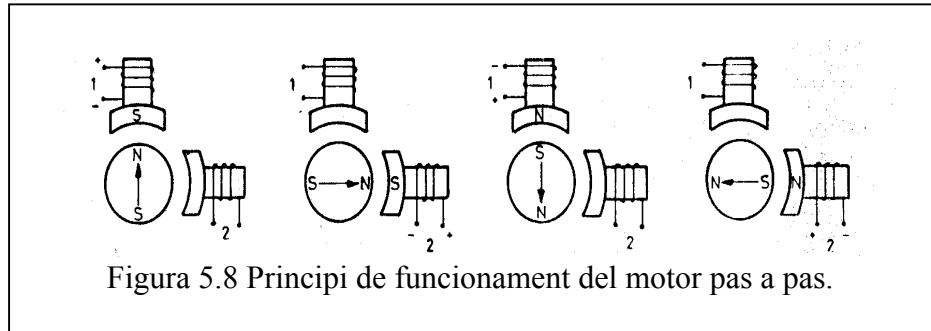
Aquest tipus de motor és un actuator electromagnètic que transforma senyals elèctrics digitals, impulsos de tensió o corrent, en increments angulars de l'eix. Per tant, gira amb increments angulars. Només cal calcular el nombre de passos per deduir el desplaçament angular; a més, si sabem el pas de la barra roscada que pugui comandar podem saber el desplaçament lineal.

Si els impulsos tenen una freqüència fixa, la velocitat de rotació és constant i, en el cas d'una freqüència variant dels impulsos, varia la velocitat de gir.

El desplaçament previst es comunica a un control sota la forma d'impulsos. Aquest tradueix els impulsos en senyals que fan l'excitació successiva de les diverses fases de l'estator del motor pas a pas i s'acciona l'eix solidari.

La figura 5.8 mostra el principi de funcionament. Es pot veure d'esquerra a dreta les quatre fases successives d'una seqüència d'excitació:

- Flux de polaritat S en fase 1
- Flux de polaritat S en fase 2
- Flux de polaritat N en fase 1
- Flux de polaritat N en fase 2



Per tant, en aquest exemple a cada excitació el rotor gira 1/4 de volta en el sentit horari. Per variar el sentit de rotació només cal canviar la seqüència d'excitació.

Si col·loquem un rotor polifàsic (nombre de pols elevat), augmentem el nombre de passos per volta i, per tant, tenim menys gir per pas. Això suposa un augment de la precisió.

6. Elements bàsics de les màquines amb control numèric

Una màquina de control numèric requereix precisió i fiabilitat; per tant, la tecnologia de fabricació és ben diferent de la que s'empra a les màquines convencionals.

Els factors més importants que cal tenir en compte per aconseguir aquesta precisió i aquesta capacitat d'arrencament de material són els següents:

- fregament
- deformacions
- vibracions
- desalineació
- rigidesa, etc.

A part de la bancada i l'estructura general (plat, taules, carro portaeines, etc.), els elements bàsics de les màquines amb CN són els accionaments, l'enllaç entre els accionaments i els elements mòbils, els tipus de guies que es fan servir i els tipus de captadors de velocitat i posició.

6.1 Accionaments

Permeten donar a la peça o a l'eina una velocitat de desplaçament variable i independent sobre cada eix. Posant un motor a cada eix es permet una variació i una independència a cada eix de la velocitat de desplaçament de la taula o l'eina. Aquests motors han de permetre variar la velocitat de gir de manera contínua i mantenir la potència nominal dins una àmplia gamma de règims de girs.

Es fan servir motors:

— Hidràulics: poden donar parells grans i respostes ràpides; per tant, es fan servir per a màquines grans amb dures condicions de treball.

— Elèctrics, que poden ser:

- de pas a pas.
- de corrent continu
- de corrent altern síncron
- de corrent altern asíncron

El motor pas a pas transforma impulsos de tensió o corrent en increments angulars de gir de l'eix (vegeu-ne el funcionament i la regulació al punt 5.5.1). Són econòmics, però delicats quant als esforços que poden suportar.

En el motor de corrent continu, variant la intensitat del corrent es varia el parell del motor, i variant la tensió es varia la velocitat de gir. Tot de manera independent, fet que en facilita molt el control.

A diferència dels motors de corrent continu, en els motors de corrent altern asíncron, la tensió, la intensitat, la velocitat de gir i el parell estan relacionats. Per tant, no es pot controlar de manera independent el gir i el parell. El moviment es controla mitjançant la freqüència i la tensió.

El motor de corrent altern síncron del tipus *brushless* (sense escombretes) té el mateix comportament que el motor de corrent continu, però sense escombretes. Els imants permanents poden donar problemes de desmagnetització.

Pneumàtics: tenen l'inconvenient que necessiten molts elements auxiliars com ara un motor elèctric, un compressor d'aire, un dipòsit d'aire, vàlvules, etc. Permeten altes velocitats de gir.

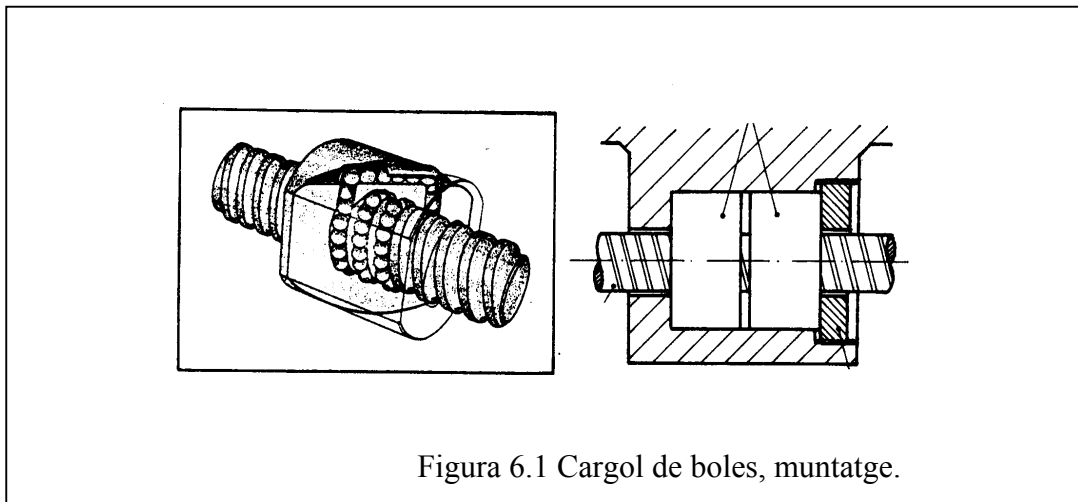
6.2 Elements d'enllaç

L'enllaç entre els accionaments i els elements mòbils pot ser principalment de dos tipus: el primer relaciona l'accionament amb el gir de la peça o eina (per exemple, el capçal d'un torn) i el segon relaciona l'accionament amb la translació i la situació del carro o taula (per exemple, la torreta portaeines en el cas d'un torn).

En el cas de l'accionament del gir de la peça o de l'eina, l'enllaç pot ser:

- politja-corretja dentada-politja (caixa de canvis de marxa entremig)
- motor integrat, amb accionament directe del capçal

Pel que fa a l'accionament del moviment dels carros o taules, generalment se sol fer a través de l'enllaç eix-femella, en què el motor acciona el gir de l'eix i l'eix acciona la translació de la femella. La femella representa el carro al torn. Entre el motor i l'eix es fa un enllaç politja-corretja dentada-politja i normalment no hi ha canvis de marxa. És normal que en màquines amb CN s'instal·li un eix de boles per fer l'enllaç eix-femella, on la fricció entre filets es transforma en un rodament de boles. La translació és molt suau i respon amb precisió als girs de l'eix, per petits que siguin. Aquest sistema elimina completament els jocs (vegeu la figura 6.1).



6.3 Tipus de guies

Com el nom indica, les guies tenen com a funció guiar el desplaçament del carro (torn) o la taula (fresa) seguint un eix lineal.

El fregament entre les guies i les parts desplaçades ha de ser el mínim possible, perquè hi hagi la resistència mínima. Podem trobar tres tipus de guies:

Guies amb rodaments: no hi ha contacte directe entre les superfícies en moviment. Es posa un rodament entremig, que pot ser de boles o de patins d'agulles. Amb aquest tipus de guies s'aconsegueix un coeficient de fregament baix.

Guies convencionals: tenen una forma prismàtica i el fregament entre superfícies és constant. La disminució del fregament es realitza mitjançant la lubricació.