

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

ESTUDIO DEL PROCESO DEL MECANIZADO ÓPTIMO
PARA CADA TIPO DE PIEZA. BENEFICIO DEL CAD/CAM



Grado en Ingeniería
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

Alumno: Ienego Marco Glaría

Tutor: Ángel Javier Muñoz Nieva

Pamplona, 1 de Julio de 2016

Agradecimientos:

A todo el personal de la empresa Largoiko SLL por el trato recibido y por la buena predisposición mostrada a colaborar en cualquier cosa que necesitase durante la realización de este proyecto fin de grado mientras duró el periodo de prácticas en la empresa.

1 Índice

1	Índice	3
2	Listado de palabras clave.....	5
3	Resumen	7
4	Justificación	8
5	Contexto	9
5.1	Contexto tecnológico	9
5.2	Contexto de la empresa	10
6	Objetivo	12
7	Recursos materiales a mi disposición.....	13
8	Recursos disponibles	14
8.1	Medios tecnológicos	14
8.1.1	Software NX10 de siemens	25
8.2	Medios humanos.....	27
9	Estudio del método de fabricación.....	29
9.1	Método de fabricación actual (cnc)	29
9.2	Método de fabricación mejorado (CAM)	34
9.2.1	Hoja de procesos	36
10	Estudio de tiempos.....	39
10.1	Tiempos de fabricación	47
10.2	Primeros resultados	57
10.3	Herramientas de mecanizado	58
10.4	Métodos de trabajo.....	60
10.4.1	Método actual	60
10.4.2	Método semi actual	61
10.4.3	Método actual mejorado	63
10.4.4	Metodo actual mejorado con 2.5 fresadoras.....	66
10.4.5	Método mejorado	69
10.5	Comparación de métodos y valoración.....	71
11	Estudio económico	74
12	Definición del nuevo método de trabajo	77
13	Piezas para cliente externo	78

14	Conclusiones.....	81
15	Bibliografía.....	82
16	Anexos.	83

2 Listado de palabras clave

CAM o Computer Aided Manufacturing: Sistema de programación mediante el cual a través de un diseño 3D se crean las trayectorias que la máquina-herramienta seguirá. En este estudio se empleó el software de Siemens NX10.

CNC o Control Numérico por Computadora: Sistema de automatización de máquina herramienta que se basa en la introducción de comandos.

Maquinaria especial: Conjunto de máquinas que se diseñan para una función concreta. Se fabricará una sola maquina por diseño. La maquinaria que se diseña y fabrica en Largoiko SLL. suele ser destinada a la automatización de procesos.

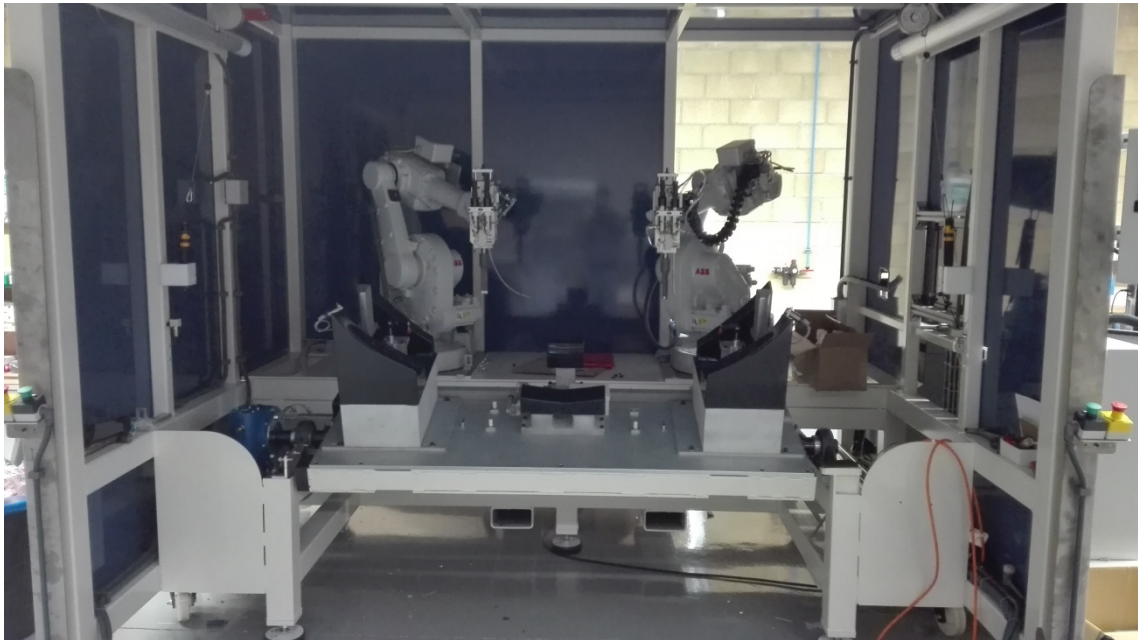


Ilustración 1. Máquina especial con dos robots.

Software de gestión empresarial o ERP (Enterprise Resource Planning): Software que integra y maneja gran cantidad de información de una empresa, como puede ser: ofertas realizadas, ofertas admitidas, gastos de material, control horario...

Máquina herramienta: Máquina para el mecanizado de piezas sólidas, normalmente metálicas, por eliminación de material. Son máquinas estacionarias por su gran volumen y peso.

Fresadora o centro de mecanizado: Máquina herramienta por arranque de viruta que mecaniza gracias al movimiento de la herramienta de corte llamada fresa.

Tiempo de mecanizado: Tiempo en el cual la máquina herramienta está trabajando y durante el cual se está produciendo arranque de viruta.

Taller de mecanizado: Departamento de la empresa Largoiko SLL. en el cual se dan los procesos de fabricación, principalmente estos procesos son de mecanizado.

Oficina técnica: Departamento de la empresa Largoiko SLL. en el cual se llevan a cabo las labores de diseño de maquinaria especial.

Hojas de procesos o de ruta: Hojas que contienen la información que un operario necesita para poner en marcha un programa CAM (número de programa, tipo de herramienta, nombre de pieza...)

3 Resumen

En este trabajo se estudiará el proceso de mecanizado actual con el que trabaja la empresa Largoiko SLL, una empresa dedicada al diseño y la fabricación de máquinas especiales. Se analizará el proceso de mecanizado actual para cada tipo de pieza y se comparará con un nuevo método de mecanizado basado en la tecnología CAM. Para poder evaluar los dos métodos de fabricación se realizará un estudio estadístico del tiempo de fabricación de cada tipo de pieza. De esta manera se procederá a futuro el proceso de fabricación más rentable según pieza.

Aunque este estudio está realizado para el caso concreto de una empresa, puede ser extrapolable para la mayor parte de las empresas de mecanizado que emplean métodos de fabricación basados en programación CNC, en lugar de métodos de programación CAM.

4 Justificación

El presente trabajo ha sido encargado por la empresa Largoiko SLL al estudiante de Ingeniería en Tecnologías Industriales con especialidad Mecánica, Iñigo Marco Glaría.

De este trabajo se espera que se definan y cuantifiquen las diferencias entre los métodos basados en CNC frente a los basados en CAM, además de definir el nuevo proceso de fabricación.

Para dar una respuesta fiable será indispensable no solo conocer sino dominar un software CAM, en este caso el programa NX10. De esta forma el primer paso será el de formarme en este software para poder conocer el potencial de este tipo de software y cuál será la repercusión en Largoiko SLL.

Esta labor es similar a la que podría desempeñar una consultoría pero el fin de este trabajo es principalmente educativo. No obstante en este trabajo se buscará realizar un estudio profesional y que sirva como orientación a la empresa que lo ha encargado.

5 Contexto

5.1 Contexto tecnológico

El mecanizado CNC es un proceso mediante el cual se realiza el mecanizado de piezas con la ayuda de computadoras que controlan las máquinas herramienta. Gracias al Control Numérico por Computadora (CNC) se ha automatizado el proceso de fabricación de las piezas ya que permite utilizar un conjunto de instrucciones para controlar el mecanizado mediante un programa de ordenador.

Desde que se inventasen las primeras fresadoras en el siglo XIX esta tecnología ha evolucionado mucho. En su inicio estas máquinas disponían de unos volantes con los que el operario de la máquina hacía que la herramienta se desplazase en los ejes X, Y y Z. Estas máquinas no tenían gran precisión y tenían limitados los movimientos ya que no podían hacer desplazamientos en dos ejes con precisión.

El primer desarrollo en el área del control numérico por computadora (CNC) lo realizó el inventor norteamericano John T. Parsons (Detroit 1913-2007) junto con su empleado Frank L. Stulen, en la década de 1940. En 1952 aparece la primera máquina CNC, fue creada por el Instituto Tecnológico de Massachusetts y financiada por las Fuerzas Aéreas Norteamericanas. A partir de esta primera máquina se inicia la primera generación de máquinas CNC. Esta nueva tecnología se sigue utilizando hoy en día en la fabricación de la mayoría de piezas simples.

El siguiente salto en la tecnología de fabricación se da por la aparición del CAD/CAM en los años 80 cuando las industrias del momento se dan cuenta del potencial de esta herramienta. No solo se redujeron los tiempos si no que se permitió tener un mayor control de los procesos de mecanizado previniendo errores. En la actualidad el diseño manual ha quedado prácticamente obsoleto y utilizado solo en simples bocetos a “mano alzada” y el uso del CAD está asentado en prácticamente todas las empresas de diseño.

Presumiblemente pasará de igual modo con la programación manual CNC que será sustituida por la programación CAM y muy probablemente aquellas empresas que no incorporen esta tecnología a sus procesos de mecanizado dejarán de ser competitivas. Es por ello que el objeto de este estudio sea la valoración y cuantificación de la mejora al incorporar esta tecnología en Largoiko SLL.

5.2 Contexto de la empresa

La empresa Largoiko SLL. nace en 1998 cuando varios trabajadores provenientes de distintas empresas relacionadas con el mundo de la fabricación, mecanizado y mantenimiento industrial deciden formar una empresa. Esta empresa está financiada con capital aportado por los propios fundadores creando así una sociedad limitada laboral. Dicha sociedad laboral constaba en sus inicios de cinco socios.

En los primeros años de vida de Largoiko SLL. las principales actividades a las que se dedicaba la empresa eran el mecanizado de piezas bajo plano y el mantenimiento industrial, aunque también se realizaban en menor medida diseños de maquinaria. En aquellos inicios la empresa se dividía en dos departamentos, mecanizado y mantenimiento.

A lo largo de los años la empresa ha ido evolucionando hacia la potenciación del diseño de maquinaria especial reduciendo la actividad de mecanizado. Esta evolución fue así dado que el diseño de maquinaria especial aporta mejores márgenes de beneficios y tiene un mercado más amplio, permite tener como clientes a mayor número de empresas y éstas pueden estar localizadas a distancias mayores. Acorde con esta evolución de la empresa se creó el departamento de ingeniería u “Oficina Técnica” en 2001. A partir de este momento es cuando se da la máxima expansión de la empresa en cuanto a facturación y personal. Tras el inicio de la crisis económica en 2008, se decide en Largoiko SLL que es necesario crear dentro del departamento comercial un cargo de activación comercial para la búsqueda de nuevos clientes principalmente en territorio nacional.

Debido a que la empresa en sus inicios se dedicaba al mecanizado de piezas, hoy en día conserva esta sección de mecanizado para fabricar piezas tanto para cliente externo como para sí misma. Parte de las piezas de las que se componen las máquinas que se diseñan en Largoiko se fabrican en su propio taller, esto le permite agilizar los plazos de fabricación de maquinaria. De esta manera el taller de mecanizado le da un valor añadido a la empresa, diferenciándose así de la competencia.

Desde su creación hasta hoy Largoiko SLL. no ha dejado de crecer llegando a los 25 trabajadores y aproximadamente 100 clientes, considerándose así una PYME. A finales de 2015 la empresa se trasladó a una nave industrial mayor, con mayor capacidad operativa.



Ilustración 2. Fachada de las nuevas instalaciones

Este cambio de nave está dentro del Plan Estratégico y va en línea con el cambio de imagen que se le quiere dar a la empresa. En este Plan Estratégico también se plantea la posibilidad de potenciar la sección de mecanizado a cliente externo, por ello se ha realizado también un breve análisis sobre la posibilidad de incorporar tecnología CAM a piezas de mecanizado sobre plano.

6 Objetivo

El principal objetivo de este trabajo es el de comparar el método de fabricación actual basado en tecnología CNC, con un nuevo método de fabricación basado en tecnología CAM, para la empresa Largoiko SLL.

Aprovechando el periodo de prácticas en empresa, que se lleva a cabo a través de la UPNA, se realizará un estudio para cuantificar las diferencias entre ambos métodos de fabricación, que posteriormente nos permitirá definir un nuevo método de fabricación para el taller de mecanizado.

Se han planteado una serie de objetivos secundarios que no son menos importantes que el objetivo principal puesto que la consecución de cada uno de ellos implica un avance hacia la consecución del objetivo principal.

Los objetivos secundarios son los siguientes:

- Formación en CAM
- Reducción del tiempo de programación
- Reducción de tiempos de mecanizado por pieza.
- Aumento del tiempo de mecanizado de las fresadoras.
- Eliminación de ineficiencias durante la fabricación de piezas.

Hay que tener en cuenta que se trata de un Trabajo de Fin de Grado, por lo tanto el gran objetivo es puramente académico. Durante la realización del proyecto se pretende conocer los distintos aspectos de la optimización así como la familiarización con técnicas de mecanizado y programación CNC y CAM.

7 Recursos materiales a mi disposición

Lo primero que me dio la empresa fue un **equipo de protección individual (EPI)**. Es decir, botas de seguridad, pantalón, camiseta, sudadera, chaleco y gafas. Este equipo era fundamental ya que una vez realizados los programas en el ordenador debía comprobar a continuación si las fresadoras los ejecutaban correctamente y si las piezas mecanizadas eran correctas.

Otro recurso fue el de una mesa con **ordenador** en el cual tenía instalada la licencia de NX10. Desde allí podía realizar los programas de mecanizado. Otro recurso importante fue la creación de una cuenta de **correo electrónico** de la empresa mediante la cual podía contactar con el soporte técnico de la empresa "Análisis y simulación".



Ilustración 3. Firma de correo electrónico.

Por último también pusieron a mi disposición un **ordenador portátil** en el cual se instaló una licencia de formación de NX10 que fue cedida por la empresa "Análisis y simulación" y con el cual yo podía mostrar a mi tutor del proyecto fin de grado lo que estaba haciendo, ya que el proyecto fin de grado que estaba realizando trataba sobre la tecnología CAM.

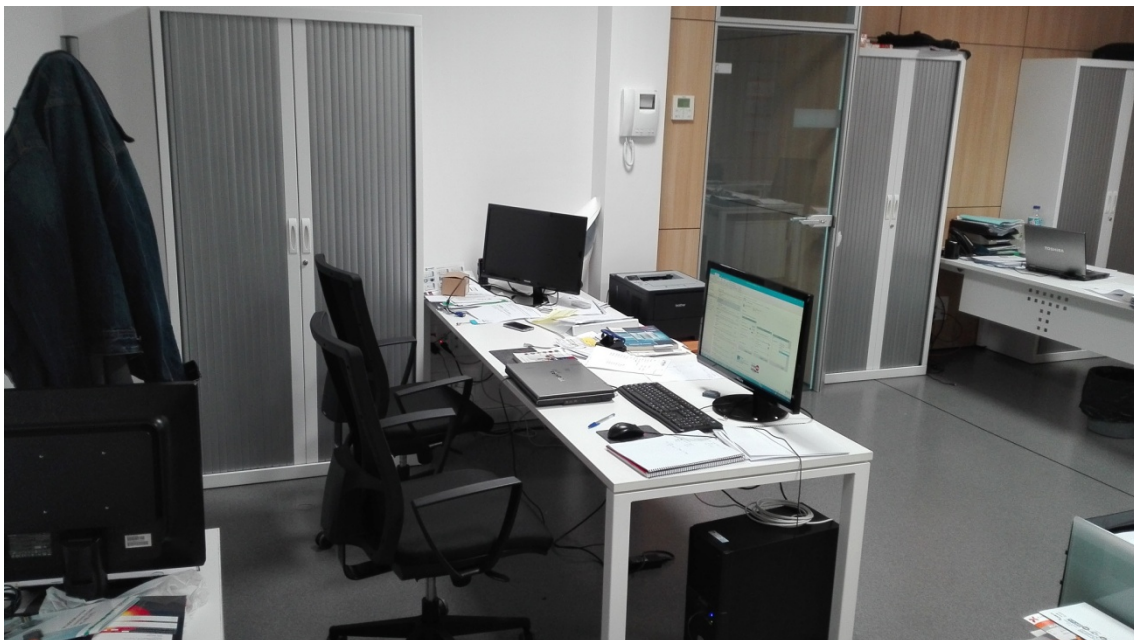


Ilustración 4. Mesa y ordenador a mi disposición.

8 Recursos disponibles

A continuación se analizarán todos los recursos de los que dispone la empresa para la sección de mecanizado que es la sección sobre la que se centra este estudio.

8.1 Medios tecnológicos

Centro de mecanizado Lagun MC 1000: Es la fresadora con mayor precisión de Largoiko SLL. Dispone de un cargador de 18 herramientas que realiza el cambio de herramienta de forma automática. Esto reduce los tiempos de cambio de herramienta.



Ilustración 5. Centro de mecanizado Lagun MC 1000.

Datos técnicos:

Referencia:	025547
MARCA	LAGUN
AÑO	1999
RECORRIDOS X, Y, Z mm.	1000 (X),500 (Y),510 (Z)
DIMENSIONES DE LA MESA mm.	1200X500
CONO	ISO 40 DIN 69871
RPM CABEZAL	60-6000
CONTROL	FAGOR 8055 M
REFRIGERACION A TRAVES DE LA HTA.	No
EXTRACTOR DE VIRUTAS	NO
CAMBIADOR DE HERRAMIENTAS	SOMBRILLA 18 htas
MEDIDAS EXTERIORES mm.	2930X2240X2750
MODELO	MC-1000
PESO	6300 Kg

Fresadora CNC MTE: Es la fresadora con mayor bancada del taller, es menos precisa que el centro de mecanizado Lagun MC1000 pero puede mecanizar piezas mayores. No dispone de cargador de herramientas por lo que es menos eficiente que el centro de mecanizado. Por este motivo, a la hora de ejecutar un programa, el operario tiene que estar pendiente de la fresadora ya que cada vez que hay un cambio de herramienta el operario debe cambiarla y pulsar el botón de continuación para que siga ejecutándose el programa con la nueva herramienta.



Ilustración 6. Fresadora MTE.

Datos técnicos:

Referencia:	025918
MARCA	MTE
AÑO	2001
RECORRIDOS X, Y, Z mm.	2000 (X), 800 (Y), 800 (Z)
DIMENSIONES DE LA MESA mm.	2200x750
CONO	ISO 50 DIN 2080
RPM CABEZAL	40-2500
CONTROL	FAGOR 8055 M
REFRIGERACION A TRAVES DE LA HTA.	No
EXTRACTOR DE VIRUTAS	NO
CAMBIADOR DE HERRAMIENTAS	NO
MODELO	KOMPAKT PLUS
POTENCIA MOTOR PRINCIPAL Kw.	15
PESO	10.000 kg

Fresadora manual: No dispone de control numérico (CNC). Está accionada por un volante de inercia, lo cual hace de ella la fresadora más potente de las que se disponen en Largoiko SLL. Se utiliza únicamente para escuadrar los tochos de material en bruto ya que siempre tiene puesta un plato de diámetro 100 mm con él que se pueden hacer grandes pasadas y grandes avances.



Ilustración 7. Fresadora manual para planeados.

Torno con control numérico "Mazak nexus 250": Es la adquisición más reciente de Largoiko SLL. La mayoría de las piezas que se fabrican con este torno son de forma cilíndrica. No obstante el torno dispone de torreta motorizada, por lo que no solo pueden hacerse piezas cilíndricas sino que también pueden hacerse piezas con geometrías no cilíndricas. Tiene gran precisión y al igual que el centro de mecanizado tiene un cargador de 12 herramientas.. Este tipo de piezas no suele ser complejo, es por ello por lo que no se utiliza el método de programación CAM para esta máquina-herramienta.



Ilustración 8. Torno Mazak Nexus.

Datos técnicos:

Característica	Dato
Volteo sobre bancada	675 mm
Volteo sobre carro transversal	355 mm
Distancia entre centros	500 mm
Máximo eje longitudinal (eje-Z)	580 mm
Máximo eje transversal (eje-X)	230 mm
Cono de husillo	A2-8
Diámetro agujero husillo	88 mm
Potencia eje	35/30 hp
Rango velocidades	40-4000 rpm
Control	Mazatrol 640T
Longitud I -- D	2.650 mm
Ancho frente -- atrás	1.780 mm
Altura	1.840 mm
Peso	4.380 kg
Chuck o Cabezal giratorio (3/4) -- Diámetro	254 mm
Cantidad de Herramientas	12

Torno manual "Pinacho L1-260": Máquina ya obsoleta que se usa normalmente para la fabricación de piezas poco precisas y de escasa complejidad.



Ilustración 9. Torno manual "Pinacho L1-260"

Datos técnicos:

Característica	Dato
Distancia entre puntos	1500 mm
Diámetro admitido Sobre bancada	520 mm
Diámetro admitido sobre escote	770 mm
Diámetro admitido sobre carro longitudinal	470 mm
Diámetro admitido sobre carro transversal	320 mm
Anchura de la bancada	350 mm
Agujero del husillo principal	68 mm
Potencia del motor principal	5,5 CV
Potencia de la Motobomba	0,07 CV
Peso	1.950 Kg
Plato de tres garras Diámetro	310 mm
Luneta fija y Luneta móvil	

Torno manual "Tadu EN-300": Es un segundo torno manual destinado al mismo uso que el anterior.



Ilustración 10. Torno manual "Tadu EN-300"

Datos técnicos:

Característica	Dato
∅ sobre bancada	720 mm
Distancia entre puntos	1.500 mm
Longitud máxima de torneado	1.500 mm
∅ Interior del husillo	57 mm
Contrapunto cono cañón	MORSE 4
Número de velocidades del husillo	12
Velocidad mín/máx del husillo	23/888 rpm
∅ del plato	300 mm
∅ sobre carro	400 mm
Alto	1.400 mm
Ancho	1.400 mm
Largo	3.200 mm
Altura	1.840 mm
Potencia motor principal	11 KW

Rectificadora cilíndrica "Jarbe Rh1300": Es una rectificadora de piezas de revolución Jarbe Rh1300. Se emplea esporádicamente para rectificar piezas con tolerancias pequeñas que después de ser tratadas dejan de cumplir esas tolerancias y es necesario rectificadas para volverlas a dejar a la medida correcta.



Ilustración 11. Rectificadora cilíndrica "Jarbe Rh1300".

Datos técnicos:

Característica	Dato
Longitud máxima a rectificar	1.300 mm
Diámetro máximo a rectificar	290 mm
Diámetro máximo de muela	450 mm
Diámetro mínimo	300 mm
Espesor máximo	65 mm
Desplazamiento angular de la mesa	7º
Avance Intermitente por pulsador	0,005 mm
Avance automático regulable	0,0025 – 0,025 mm
Nº de velocidades	6
Velocidades	23-240 r.p.m.

Rectificadora plana "ELB": Se emplea para rectificar piezas con caras planas ya tratadas y que requieren eliminar material para alcanzar la tolerancia requerida.



Ilustración 12. Rectificadora plana "ELB".

Datos técnicos:

Característica	Dato
Recorrido ejes X	1.000 mm
Recorrido ejes Y	300 mm
Recorrido ejes Z	425 mm
Tamaño de mesa X	800 mm
Tamaño de mesa Y	400 mm
Potencia Motor	7,5 CV

Maquina de corte por hilo "ONA e400": Máquina de corte por electroerosión por hilo "ONA e400" que actualmente está en desuso debido a que no hay personal con conocimientos para su manejo y que por el tipo de piezas que se hace no es urgente su puesta a punto aunque sí que es intención de la empresa ponerla en funcionamiento próximamente.



Ilustración 13. Maquina de corte por hilo "ONA e400".

Datos técnicos:

Característica	Dato
Recorrido ejes X	600 mm
Recorrido ejes Y	600 mm
Recorrido ejes Z	400 mm
Recorrido ejes U	80 mm
Recorrido ejes V	80 mm
Máx tamaño de pieza X	1200 mm
Máx tamaño de pieza Y	880 mm
Máx tamaño de pieza Z	400 mm
Máx peso de la pieza	850 kg
Angulo cónico máximo	±18º
Diámetro del hilo	0.1 - 0.3 mm
Superficie en planta (ancho x largo)	2700 x 2500 mm
Altura máxima	2.450 mm

Material de soldadura: Grupo de soldadura MIG (Metal Inert Gas).



Ilustración 14. Material de soldadura.

Tratamiento: Existe una pequeña granalladora de polvo de vidrio para dar un tratamiento rápido a algunas piezas.



Ilustración 15. Granalladora de polvo de vidrio.

Taladro vertical: Es una máquina simple pero muy utilizada. En esta máquina se realizan los taladrados en las piezas que previamente han sido punteadas en el centro de fresado o en la fresadora.

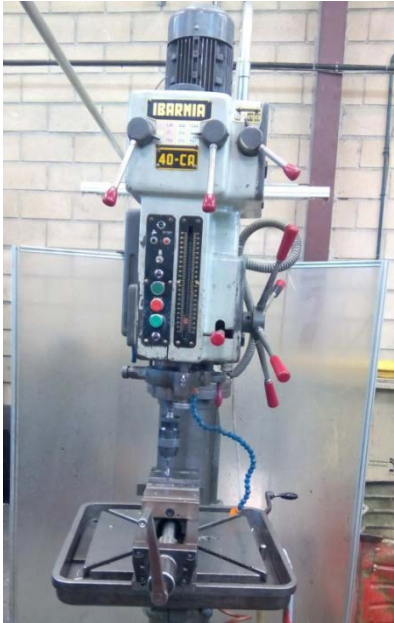


Ilustración 16. Taladro vertical.

8.1.1 Software NX10 de siemens

Largoiko SLL dispone de una licencia de NX10 CAM. Esta licencia está instalada en el ordenador del taller ya que así los operarios de las fresadoras pueden generar los programas mientras la máquina está trabajando, o verificar algún dato que no estuviese claro o incluso que estuviese mal.

Mediante este software se mecanizan actualmente todas las superficies con multitud de curvas que únicamente se pueden mecanizar mediante CAM.



Ilustración 17. Puesto de programación CAM.

8.1.1.1 Biblioteca de herramientas

Dado que en el programa NX10 genera las trayectorias y calcula los avances según la herramienta, es muy importante que las herramientas que se crean en NX10 para mecanizar las piezas sean lo más fieles posible a las reales. En el caso de que la herramienta creada en NX10 sea diferente a la real cuando se mecanice la pieza en la fresadora el resultado será distinto al deseado y se mecanizarían piezas que podrían ser malas. Para ello lo primero que se hizo fue crear una biblioteca de herramientas y portaherramientas en Excel de todas las herramientas que había en el taller. Una vez creada esta lista se hizo una selección de las herramientas que se introducirían en NX10. Esta selección se hizo para que la biblioteca de NX10 no fuese demasiado grande y con ello que buscar una herramienta (en adelante hta) fuese costoso. Las

herramientas (en adelante htas) introducidas son aquellas cuya longitud era mayor que otra idéntica pero más corta.

También se incluyeron los portaherramientas en la biblioteca ya que son una parte muy importante para verificar después que no hay colisiones entre la pieza y el portaherramientas.

En la siguiente imagen se muestra la biblioteca de herramientas de fresas tóricas. En el Anexo 1 se encuentra la biblioteca de herramientas completa.

FRESAS TÓRICAS							
Nº Herramienta	nombre	diámetro	DIAM VASTAGO	longitud	FL	Acan.	Radio
1	TO_D6_R1_FL15_L100_A2	6		100	15	2	1
2	TO_D8_R1_FL12_L64_A2	8		64	12	2	1
3	TO_D8_R1_FL20_L100_A2	8		100	20	2	1
4	TO_D10_R2_FL25_L73_A4	10		73	25	4	2
5	TO_D10_R1,25_FL16_L73_A3	10		73	16	3	1,25
6	TO_D10_R1,5_FL25_L73_A3	10		73	25	4	1,5
7	TO_D10_R0,8_FL25_L73_A4	10		73	25	4	0,8
8	TO_D12_R1,5_FL20_L83_A4	12		83	20	4	1,5
9	TO_D12_R2_FL25_L73_A4	12		73	25	4	2
10	TO_D16_R4_FL32_L93_A4	16		93	32	4	4

Tabla 1. Muestra de lista de fresas tóricas de la biblioteca de herramientas.

8.1.1.2 Lista de programas

Para tener un registro de los programas empleados y poder saber qué programa se ha empleado para mecanizar una pieza hay creada una lista de programas. Esta lista de programas se encuentra en un archivador en el taller para que el operario pueda rellenar la información rápidamente. Actualmente hay una lista de programas en la que se apuntan los programas, el número de plano, las operaciones de mecanizado, el cliente, la htas empleadas, y la fecha.

Como tanto las htas como las operaciones empleadas no es una información que vaya a ser necesaria con el nuevo método, puesto que esta información ya estará en la hoja de procesos, o incluso en la propia pieza de NX10, no aparecerá en la nueva lista de programas. A partir de ahora la lista de programas incluirá: número de programa, número de plano, fecha y cliente. De esta forma además de ahorrarnos el tener que escribir información sobrante, podremos meter en una misma hoja el doble de programas.

NUMERO	NUMERO DE PLANO	MTA	OPERACION CNC	CLIENTE	FECHA
160007	16-0072-10-125 BASE	VERUM	CONTRAR	MAIER	21-3
160008	16-0057-10-001 BASE	B-PUN	PUNCEADO SUIZ	"	"
160009	16-0057-30-027	VARIAS	PIEZA COMPLETA	"	"
160100	16-0127-10-004 CUBA	CONTRAR CONTRAR DE BASE	CONTRAR DE PLANO	SCHNEIDER	"
160101	16-0057-10-023 POSICIONADO	FR C	REPASO	MAIER	22-3
160102	"	FR P4	"	"	"
160103	16-0057-30-121 BASE	VERUM	PIEZA COMPLETA & CONTRAR	"	"
160104	16-0014-30-016 TUBO	FR P5	ACABADO	AVIS	31-3
160105	16-0014-30-006 TUBO	VERUM	"	"	"
160106	16-0109-20-001 BASE PIEZA	VARIAS	VARIAS	SCHNEIDER	1-4-11
160107	15-0553-20-008 CUBA HERRERA	"	"	JAC	5-4
160108	15-0541-10-007 TUBO HERRERA	"	"	AVIS	"
160109	"	"	"	AVIS	4-4
160110	"	"	"	"	4-4
160111	"	"	"	"	4-4
160112	"	"	"	"	4-4

Imagen 1. Antigua lista de programas

NUMERO	NUMERO DE PLANO	CLIENTE Y FECHA	NUMERO DE PLANO	CLIENTE Y FECHA
160129	16-0118-20-012 PIEZA MONTAJE	4-4-16 MONTAJE	160144	
160130	16-0142-10-012 PIEZA BASE	16-4-16 MONTAJE	160145	
160131	16-0141-10-015 PIEZA TUBO	11-4-16 MONTAJE	160146	
160132			160147	
160133			160148	
160134			160149	
160135			160150	
160136			160151	
160137			160152	
160138			160153	
160139			160154	
160140			160155	
160141			160156	
160142			160157	
160143			160158	

Imagen 2. Nueva lista de programas

8.2 Medios humanos

Fresadores: Hay en total cuatro operarios, dos por turno, que son los que se encargan de las labores de mecanizado con las fresadoras que disponen de control numérico. Durante el año 2015 trabajaron 8.016 horas en labores de mecanizado.

Torneros: Realizan labores de mecanizado mediante torno. Solo se dispone de un operario que durante 2015 realizó 1.592 horas.

Operario de taladro y fresadora sin control numérico: Operario con menor experiencia y formación sin conocimientos de CNC, pero sí de fresado manual y mecanizado en general.

Existen tres niveles de operarios en el taller de mecanizado:

- El nivel alto es el de los operarios con mayor experiencia y con mayor remuneración económica.

- El segundo nivel es el nivel medio para los operarios con conocimientos en mecanizado y con cierta experiencia, su remuneración es menor que la del nivel alto.
- Por último está el nivel bajo en el que se encuentran los operarios sin experiencia en el mecanizado, que no tienen destreza ni autonomía para hacer piezas por si mismos aunque sí que pueden ayudar a tareas sencillas. Este último nivel es el que menor remuneración tiene.

9 Estudio del método de fabricación

9.1 Método de fabricación actual (cnc)

En la actualidad cuando en la oficina técnica se acaba de diseñar una nueva máquina el ingeniero que la ha diseñado crea una orden de fabricación que es la que le llega al encargado del área de mecanizado. Cada orden de fabricación consiste en un conjunto de planos de cada una de las piezas a mecanizar. El encargado de mecanizado es quien estima el tiempo de mecanizado de cada pieza y quien decide si se van a mecanizar en el taller o cuántas de ellas se encargarán a fabricar fuera. Una vez decididas las piezas que se van a mecanizar en el taller se decide el bruto de cada pieza y si no hay material en el almacén se realiza un pedido de compra.

Si el material está disponible en el almacén se llevan los planos al taller y se entregan a los fresadores. En el caso de comprar el bruto de material, una vez que llega el material a la fábrica se colocan los tochos en un carro, cada tocho sobre su plano, para que los fresadores los puedan proceder a mecanizarlos.



Ilustración 18. Carro con tochos sobre planos.

Cuando los planos llegan al taller, según el tipo de pieza que sea, de lo grande que sea o la complejidad de la misma, los fresadores deciden en qué máquina se realizará el mecanizado. Una vez decidido en qué máquina se mecanizará, el operario coge el bruto y el plano y comienza a preparar todo para mecanizarla.

El método de fabricación depende del tipo de pieza. Existen tres tipos de piezas, las tipo placa, las piezas con superficies CAM y el resto de piezas.

Piezas tipo placa. Si se trata de una pieza que es una placa, se encarga a una empresa de corte laser o bien de corte al agua su corte exterior y de grandes agujeros que no tengan especificadas tolerancias. En las siguientes imágenes se muestra un plano de la

pieza y en la otra imagen se muestra la placa tal cual llega a la empresa con el corte laser o al agua ya realizado.

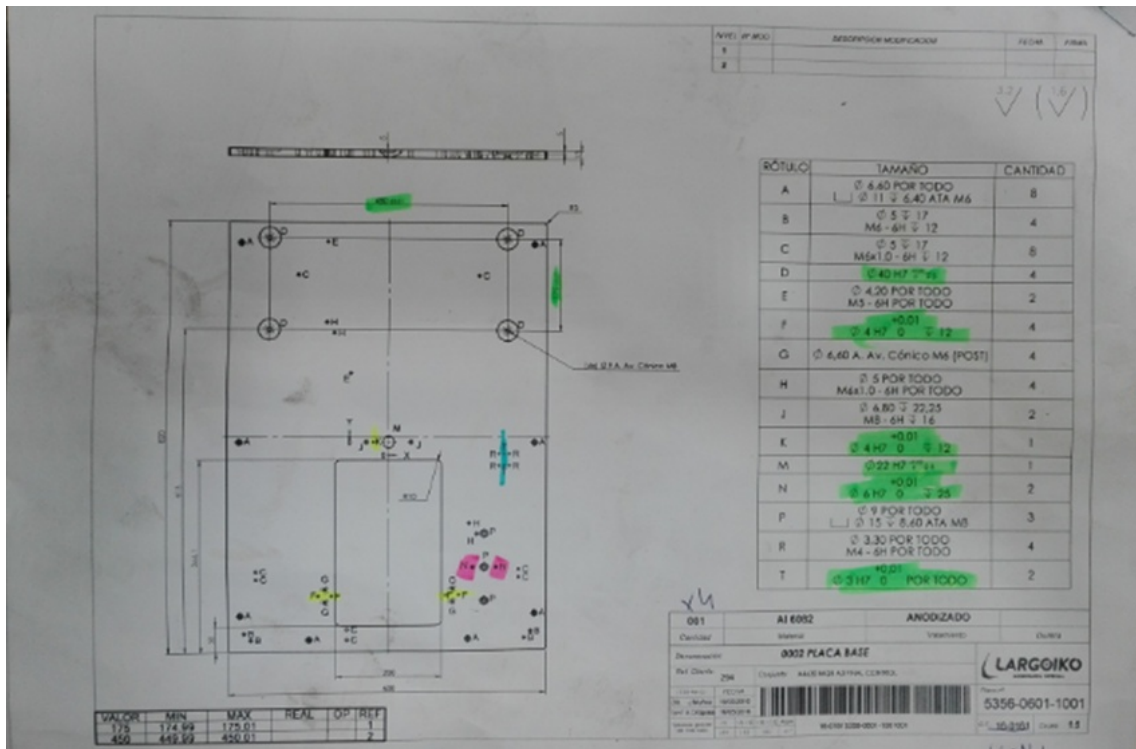


Ilustración 19. Plano de placa.

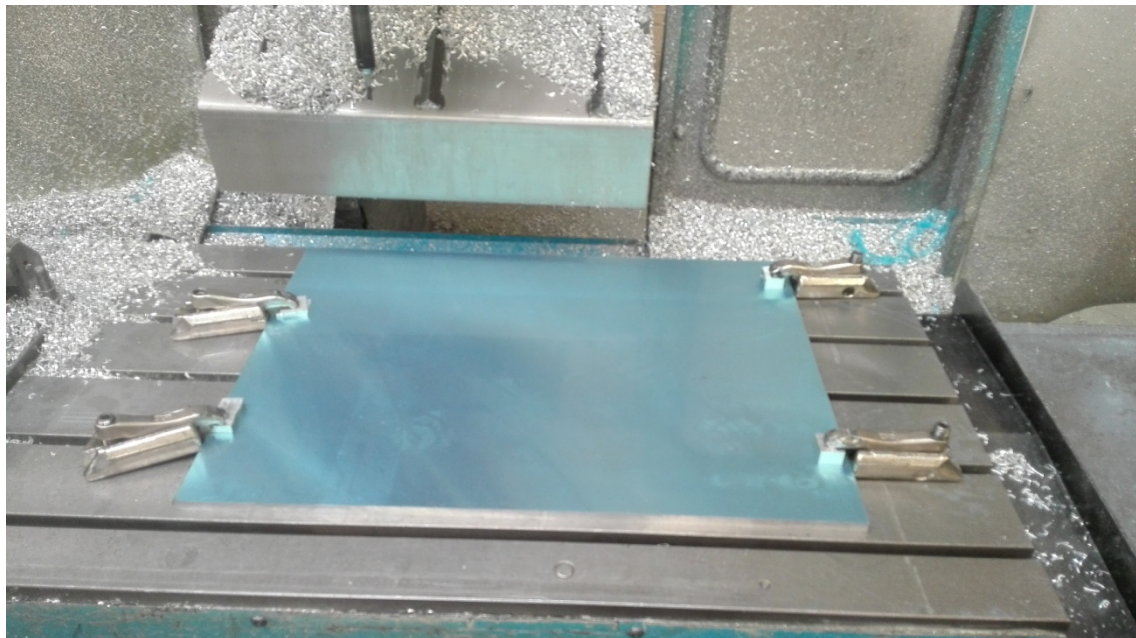


Ilustración 20. Placa según llega del corte y preparada para mecanizar.

Una vez llegada la pieza cortada el operario la coloca en la máquina y coge el cero pieza. Todas las placas se mecanizan en la fresadora de cambio de herramienta manual MTE.

En general estas placas suelen requerir un punteado y taladrado. El taladrado se hace en el taladro vertical a no ser que sea un taladrado con tolerancia H7, que se hace en la misma fresadora. Algunas placas además de punteados y/o taladrados tienen algún coliso o alguna cajera. Para mecanizar este tipo de piezas el operario realiza in situ un programa de cnc para el punteado, otro para el taladrado y otro u otros en el caso de que la placa tenga colisos y cajeras. Estos programas se realizan siempre con la máquina parada.

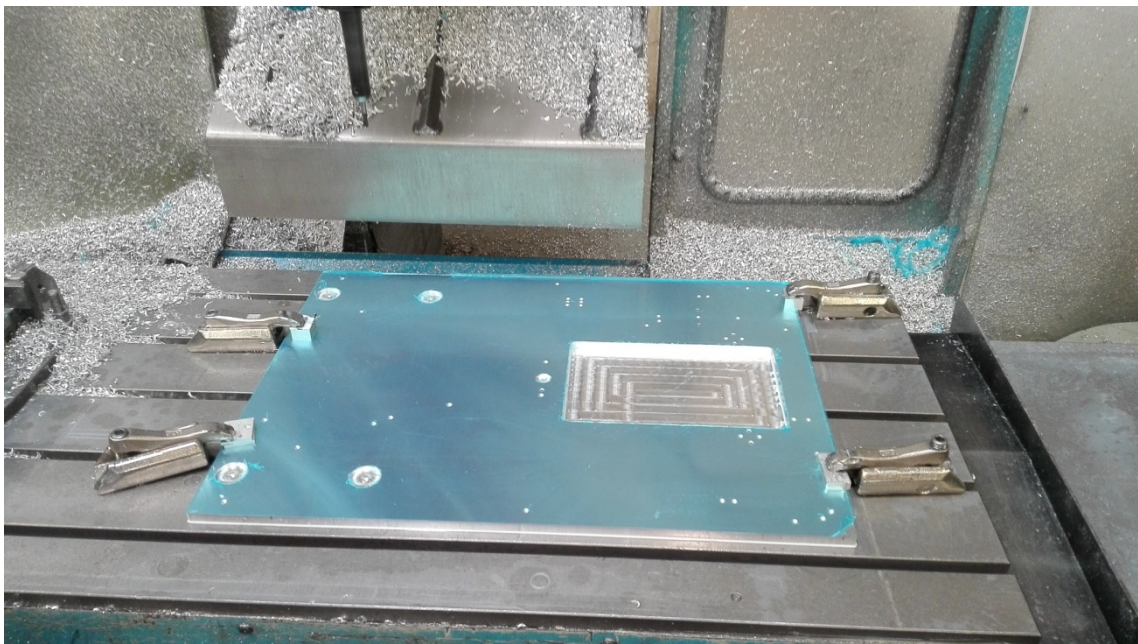


Ilustración 21. Placa punteada en la fresadora.



Ilustración 22. Placa taladrada en taladro vertical.

Piezas con superficie CAM. Estas piezas tienen una o más superficies con multitud de curvas que son imposibles de mecanizar sin un programa de CAM. Actualmente estas son las únicas piezas para las que se realizan programas con software de CAM. Se emplea un programa llamado NX 10, del cual se explicará su funcionamiento a grande rasgos más adelante.



Ilustración 23. Piezas con superficies CAM.

Resto de piezas. En esta categoría se incluyen gran variedad de piezas pero todas tienen en común que se pueden mecanizar mediante programación de CNC manual. Cuando el operario coge una pieza de este tipo lo primero que hace es planear las caras necesarias para poder colocar el bruto en la mordaza con precisión y coger después el cero de la pieza. Una vez colocada, el operario crea un programa in situ de forma manual con las operaciones de mecanizado necesarias para mecanizar la pieza. Mientras el operario esta creado el programa la máquina está parada.



Ilustración 24. Operario creando un programa CNC.

9.2 Método de fabricación mejorado (CAM)

Este nuevo método está basado en la tecnología CAM. En concreto el software empleado es el NX 10 de Siemens.

Este método comienza con una orden de fabricación, igual que en el método anterior. Igual que antes la orden de fabricación le llega al encargado del área de mecanizado y este estima el tiempo de mecanizado de cada pieza y decide que piezas se van a mecanizar en el taller o cuales se encargarán fabricar fuera. Por último se encarga el nuevo material en caso de que no haya en el almacén. Todo este proceso es idéntico al anterior, a partir de ahora es donde comienzan los cambios.

El encargado de mecanizado será quien, desde su oficina, decida qué piezas se fabricarán en cada máquina. El encargado recibe impresos, del ingeniero que haya diseñado la máquina, todos los planos de la orden de fabricación que se vayan a fabricar en el taller. Una vez recibidos escribirá en cada plano "MTE" en los planos que se vayan a fabricar en la fresadora con cambio de hta manual MTE y "LAGUN" en aquellos planos que se vayan a fabricar el centro de mecanizado Lagun MC 1000.

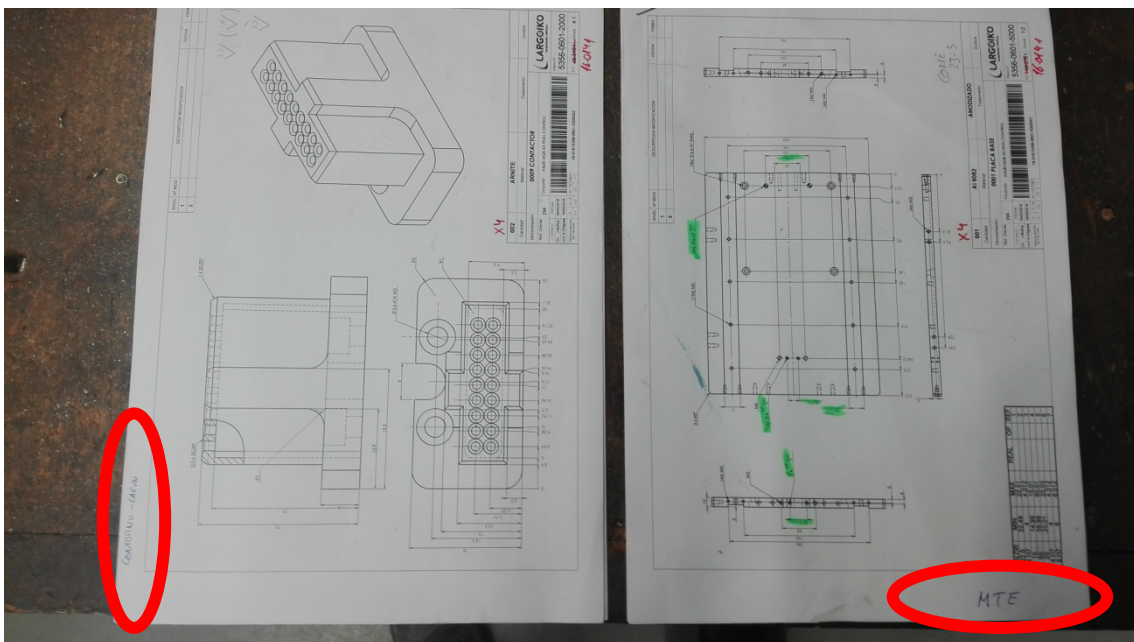


Ilustración 25. Plano con "LAGUN" y otro con "MTE".

Una vez hecho el reparto de trabajo para cada máquina los planos se llevarán al taller de mecanizado donde una persona encargada de realizar los programas de CAM recogerá esos planos y creará los programas de CAM. Esta persona cogerá el primer plano, buscará en el ordenador del taller la pieza dibujada en Solidworks, por ejemplo la pieza "16-0057-10-012.SLDPRT", y la abrirá en NX10. Lo primero es guardar esa pieza

con el mismo nombre pero con la terminación "MECA", (16-0057-10-012MECA.prt) en una carpeta donde se guardarán todas las piezas de mecanizado de una misma orden de fabricación. A esa carpeta se le llamará MECA.

Este sistema para guardar las piezas de mecanizado ya se emplea actualmente con las piezas con superficies CAM.

Después de guardar la pieza correctamente el operario creará en NX10 todas las operaciones con sus trayectorias para mecanizar la pieza. Cuando tenga todas las trayectorias generadas, con las herramientas correspondientes, deberá seguir los siguientes pasos.

1. Asegurarse de que no queda material sin eliminar.
2. Revisar el número de cada hta y comprobar si ha puesto el portaherramientas adecuado.
3. Darle a calcular la distancia mínima de hta (1)

(1) Esta es la distancia mínima que el operario que vaya a mecanizar la pieza tendrá que sacar la hta del portaherramientas.
4. Revisar que ha puesto bien los avances y las velocidades.
5. Darle a "verificar trayectorias" para verificar que no hay ninguna colisión en TODO el programa.
6. Si hay colisión reparar el error y comenzar de nuevo la revisión desde el primer punto
7. Si no hay colisión se nombrará al programa con el siguiente número de la lista de programas. Se apuntará en dicha lista el número de programa, el número del plano, el cliente y la fecha.
8. Post-procesar el programa para la máquina que corresponda.
9. Generar la hoja de procesos, guardarla en la carpeta MECA en formato Excel e imprimirla.
10. Grapar la hoja de procesos con el plano
11. Marcar con bolígrafo rojo en el plano las caras que el operario deberá planear a la pieza en bruto antes de ejecutar el programa.

Imagen: En ella se debe ver con claridad el eje de coordenadas para que el operario coloque la pieza en el sentido correcto y ponga el cero pieza en el punto exacto.

Descripción: Aquí se escribe cualquier detalle que no esté claro. Por ejemplo el punto exacto del eje de coordenadas. También cualquier aclaración necesaria.

Bruto: Dimensiones del bruto por encima de las medidas reales de la pieza. Es decir, un XM+ de 2 significa que en el sentido positivo de la X el bruto está 2 mm por encima del valor real de la pieza en XM+. Estas medidas solo aparecen el bruto tiene forma rectangular.

Índice: Es un índice de las operaciones de mecanizado.

operación: Descripción de la operación.

programa: Número de programa. Cada hoja de procesos tiene un único número de programa.

Nº H: Número de herramienta. En el caso de que sea cambio manual de herramienta este valor no tiene gran importancia, pero en caso de ser cambio automático hay que tener cuidado de que este número coincida con la posición de la hta en el cargador automático.

co: Es el corrector de radio de la herramienta. Solo puede ser "1" o "0". Un "0" significa que no hay corrector de radio de herramienta mientras que un "1" es que esa operación tiene un corrector de herramienta.

Herramienta: Nombre con el que está guardada la herramienta en NX10. En el nombre de hta está incluida toda la información necesaria sobre la herramienta.

Dist. min: Es la distancia mínima que el operario deberá sacar la herramienta del portaherramientas para evitar una colisión.

Paso: Es el paso de corte de la operación.

Prof: Distancia de profundidad de corte por pasada.

Z min: Distancia en el eje Z por debajo del punto más bajo en Z de la pieza.

Porta: Nombre del portaherramientas.

MMPM: Avance de la herramienta en mmpm.

RPM: Velocidad de giro del cabezal en rpm.

Tiempo: Tiempo en minutos de cada operación.

Autor: Nombre del ordenador en el que se ha generado la hoja de procesos.

Fecha: Fecha en la que se generó la hoja de procesos.

10 Estudio de tiempos

Para realizar este estudio de tiempos se ha realizado un análisis de tiempos de mecanizado en una tirada de 35 piezas. Debido a la gran variedad de piezas que se fabrican se ha intentado que en la muestra que representa esta tirada haya variedad de piezas de todo tipo.

De lo que trata este estudio es de comparar el método basado en programación manual frente a el nuevo método basado en tecnología CAM para poder valorar que método es el mejor para la empresa.

Para cada una de las piezas se realizará el método de fabricación actual y se mecanizarán tomándose los tiempos tanto de la programación como del mecanizado. Después se realizará la programación mediante CAM y se mecanizará tomándose también los tiempos de programación y de mecanizado. De esta manera se irá rellenando la tabla que se muestra a continuación.

Para que los tiempos de mecanizado sean comparables en los dos métodos las herramientas con las que se mecanizaran las piezas serán las mismas en los dos casos. De igual modo los avances y velocidades de mecanizado serán los mismos, aunque NX genera multitud de líneas con avances y velocidades distintas. No obstante estas velocidades y avances se pueden considerar prácticamente iguales ya que las únicas velocidades que varían son las de los movimientos en vacío y se realizan con altos avances por lo que no hay casi diferencias de tiempos.

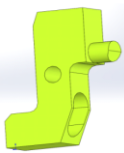
Nombre pieza	Tiempos						
	15-0605-30-102 	método			plano inclinado		nº de atadas
contorno		0	minutos	3,5	minutos en máquina	4	2
CNC:		programación	30	minutos	mecanizado	18,55	minutos
CAM:		programación	81	minutos	mecanizado	18,4	minutos
HTAS:		PU	FP 12	FP 10	FP 6	PL 50	

Tabla 2. Tabla de toma de tiempos.

En primer lugar se identifica cada pieza con su número de plano y además se ha colocado una imagen de la pieza para que se pueda ver la variedad de piezas de forma más visual. En la parte derecha de la tabla se han introducido los tiempos medidos para cada pieza. Se ha diferenciado el método de fabricación (zona gris), este puede ser por contorno o bien escuadrada. En el caso de ser escuadrada fuera de la máquina este tiempo sería cero ya que la pieza se habría escuadrado en otra máquina y por otro operario. Si se ha realizado por contorno este tiempo también será cero en la mayoría

de los casos salvo en aquellas piezas que aun realizándose por contorno requieran de la limpieza de alguna de las caras del bruto para su posterior mecanizado.

El siguiente tiempo que se ha medido es el de plano inclinado (zona rosa). Hay algunas piezas que tienen planos inclinados con taladros en dichos planos. debido a que son operaciones sencillas ya que con un simple útil para colocar la pieza en ángulo y apenas 4 líneas de programación CNC se pueden acabar dichas piezas, no merece la pena realizar programas CAM para estas operaciones. De esta forma el tiempo medido va desde que el operario crea el programa hasta que finaliza el mecanizado.

El número de atadas corresponde a las veces que se ha de colocar una única pieza en la mordaza (zona en rojo).

El número de piezas es el número de piezas iguales (zona gris claro). Es muy frecuente que en el plano venga: 1 +1 simétrica. En estos casos se contabiliza como dos piezas ya que al ser la segunda una pieza simétrica nos valdría el programa CNC o CAM realizado para la primera e introducir en dicho programa la frase G14 X o G14 Y para realizar la pieza simétrica bien sea respecto al eje X o al Y respectivamente.

La siguiente fila se corresponde a los tiempos CNC (zona azul claro). En primer lugar se ha introducido el tiempo de programación CNC en minutos. Este tiempo va desde que el operario coge el plano y lo interpreta, hasta que termina de escribir el programa en la fresadora y lo simula en la pantalla de la máquina.

El otro tiempo CNC es el tiempo de mecanizado. Este tiempo es únicamente el tiempo que la maquina está mecanizando, es decir, no incluye la preparación del material ni de la herramienta.

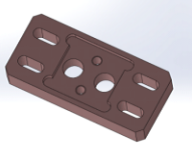
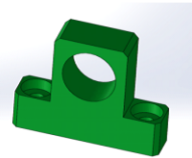

La fila siguiente es la correspondiente a los tiempos CAM (zona anaranjada). El primer tiempo es el tiempo de programación CAM, este va desde que el operario coge el plano, hasta que imprime la hoja de ruta o hoja de procesos. Es decir, este tiempo incluye la búsqueda de la pieza en el histórico de dibujos de la empresa, el guardarla con su correspondiente nombre, realizar todas las operaciones necesarias con el programa NX10 y por último la creación de las hojas de procesos necesarias, su guardado y su impresión.

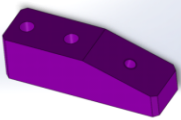
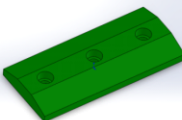
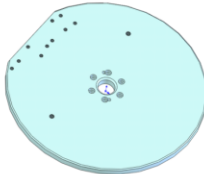
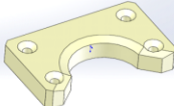
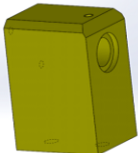
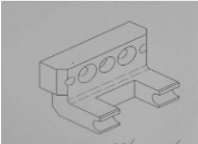
El otro dato es el tiempo de mecaniza del programa realizado con NX10. Debido a que los dos programas, tanto el de CNC como el de CAM, han sido realizado con las mismas herramientas y con los mismos avances y revoluciones los resultados de los tiempos de mecanizado de ambos métodos son muy similares.

Por último se ha incluido una fila (zona verde) con las herramientas que han sido empleadas para la realización de los dos programas y su posterior mecanizado. De esta manera tendremos un registro de las herramientas que más se emplean.

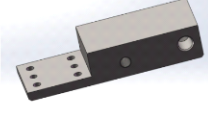
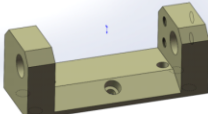

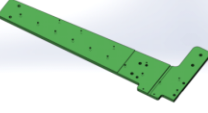
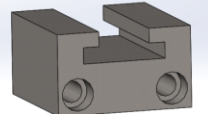
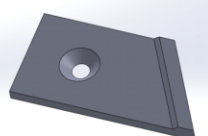
Una vez finalizado el periodo de toma de tiempos se ha cumplimentado la siguiente tabla.

Nombre pieza	Tiempos					
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	contorno	0 minutos	3,5 minutos en máquina		4	2
	CNC:	programación	30 minutos	mecanizado	18,55 minutos	
	CAM:	programación	81 minutos	mecanizado	18,4 minutos	
	HTAS:	PU	FP 12	FP 10	FP 6	PL 50
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	5 minutos	0 minutos en máquina		2	2
	CNC:	programación	13,5 minutos	mecanizado	3,5 minutos	
	CAM:	programación	27,9 minutos	mecanizado	3,6 minutos	
	HTAS:	PU	FP 10	PL 50		
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	6 minutos	3,5 minutos en máquina		2	2
	CNC:	programación	15,5 minutos	mecanizado	10 minutos	
	CAM:	programación	26,95 minutos	mecanizado	10,3 minutos	
	HTAS:	PL 50	FP 10	PU	BR 10.2	
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	6,5 minutos	0 minutos en máquina		5	2
	cnc:	programación	25,5 minutos	mecanizado	5,5 minutos	
	cam:	programación	52,61 minutos	mecanizado	6 minutos	
	HTAS:	FP 10	FP 4	PU	PL 50	BR 3.8 ES 4
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	8 minutos	0 minutos en máquina		1	1
	CNC:	programación	6,63 minutos	mecanizado	4 minutos	
	CAM:	programación	23,76 minutos	mecanizado	4 minutos	
	HTAS:	PL 50	FP 10	PU		
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	8,5 minutos	0 minutos en máquina		3	2
	cnc:	programación	14,6 minutos	mecanizado	5,1 minutos	
	cam:	programación	22,37 minutos	mecanizado	4,8 minutos	
	HTAS:	FP 6	PU	PL 50	FP 12	

Nombre pieza	Tiempos						
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	7,36	minutos	0	minutos en máquina	1	4
	CNC:	programación	4,6	minutos	mecanizado	1,8	minutos
	CAM:	programación	19,05	minutos	mecanizado	1,8	minutos
	HTAS:	PU	BR 16	PL 16	FP 10		
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	8,6	minutos	0	minutos en máquina	1	1
	CNC:	programación	15,9	minutos	mecanizado	5	minutos
	CAM:	programación	36,31	minutos	mecanizado	4,8	minutos
	HTAS:	FP 5	PU				
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	9,2	minutos	0	minutos en máquina	3	1
	cnc:	programación	13	minutos	mecanizado	4,5	minutos
	cam:	programación	26,77	minutos	mecanizado	4,3	minutos
	HTAS:	PU	PL 50	FP 12	FP10	BR 4,8	ES 5
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada máquina	6	minutos	0	minutos en máquina	2	1
	CNC:	programación	17,8	minutos	mecanizado	20,5	minutos
	CAM:	programación	30,06	minutos	mecanizado	19,2	minutos
	HTAS:	PU					
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	8	minutos	0	minutos en máquina	2	1
	CNC:	programación	4,2	minutos	mecanizado	4,2	minutos
	CAM:	programación	17,64	minutos	mecanizado	4,1	minutos
	HTAS:	PU	BR 3	FP 12			
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	8	minutos	0	minutos en máquina	2	4
	CNC:	programación	24	minutos	mecanizado	4,4	minutos
	CAM:	programación	30,42	minutos	mecanizado	4,3	minutos
	HTAS:	PU	BR 5,8	ES 6	PL 50	FP 10	FP12

Nombre pieza	Tiempos						
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas	
	escuadrada	6,5 minutos	3,5 minutos en máquina		1	4	
	CNC:	programación 5,4 minutos	mecanizado 3,4 minutos				
	CAM:	programación 15,42 minutos	mecanizado 5,1 minutos				
	HTAS:	PU PL 50					
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas	
	escuadrada	7 minutos	0 minutos en máquina		1	8	
	CNC:	programación 4,1 minutos	mecanizado 3,4 minutos				
	CAM:	programación 16,2 minutos	mecanizado 3,3 minutos				
	HTAS:	PU PL 50					
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas	
	escuadrada	0 minutos	0 minutos en máquina		2	1	
	CNC:	programación 5,31 minutos	mecanizado 2,34 minutos				
	CAM:	programación 18 minutos	mecanizado 2,4 minutos				
	HTAS:	PU BR 5,8 ES 6					
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas	
	escuadrada	8 minutos	0 minutos en máquina		1	4	
	CNC:	programación 18 minutos	mecanizado 2,8 minutos				
	CAM:	programación 30 minutos	mecanizado 3 minutos				
	HTAS:	PU FP 8					
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas	
	escuadrada	9 minutos	0 minutos en máquina		4	1	
	CNC:	programación 16 minutos	mecanizado 3,5 minutos				
	CAM:	programación 24 minutos	mecanizado 3,4 minutos				
	HTAS:	PU FP 9 FP 6 FP 5,5					
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas	
	escuadrada máquina	17,02 minutos	0 minutos en máquina		4	10	
	CNC:	programación 30,34 minutos	mecanizado 8,79 minutos				
	CAM:	programación 45 minutos	mecanizado 8,9 minutos				
	HTAS:	PU BR3 BR 3,8 ES 4 PL 50 TO D8 R1 BR 3,5 FP 12					

Nombre pieza	Tiempos						
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	8,6	minutos	0	minutos en máquina	1	1
	CNC:	programación	20 minutos	mecanizado		2,92 minutos	
	CAM:	programación	26,1 minutos	mecanizado		2,8 minutos	
	HTAS:	PU	PL 50	FP 10	FP 12	BR 5,8	ES 6
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	8,6	minutos	0	minutos en máquina	2	1
	CNC:	programación	18 minutos	mecanizado		5,06 minutos	
	CAM:	programación	30,6 minutos	mecanizado		5 minutos	
	HTAS:	PU	PL 50	FP 10	FP 12		
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	9	minutos	0	minutos en máquina	1	1
	CNC:	programación	12 minutos	mecanizado		6 minutos	
	CAM:	programación	18 minutos	mecanizado		6 minutos	
	HTAS:	PU	PL50	FP 12	BR 3,5	ES 4	
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	9,2	minutos	0	minutos en máquina	3	2
	CNC:	programación	13 minutos	mecanizado		3,32 minutos	
	CAM:	programación	21,6 minutos	mecanizado		3,2 minutos	
	HTAS:	PU	BR 4,8	ES 5	PL 50	FP 12	
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	7,8	minutos	4	minutos en máquina	1	12
	CNC:	programación	8,34 minutos	mecanizado		6,05 minutos	
	CAM:	programación	30 minutos	mecanizado		6 minutos	
	HTAS:	PU	PL 50	FP 12	BR 9	FP 8	FP 5
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	8	minutos	0	minutos en máquina	2	1
	CNC:	programación	11 minutos	mecanizado		7,5 minutos	
	CAM:	programación	21,6 minutos	mecanizado		7,3 minutos	
	HTAS:	PU	BR14	FP 12	PL 25		

Nombre pieza	Tiempos						
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	8	minutos	0	minutos en máquina	2	2
	CNC:	programación	13	minutos	mecanizado	6,4	minutos
	CAM:	programación	27	minutos	mecanizado	6,2	minutos
	HTAS:	PU	BR 11,8	ES 12	PL 50	FP 12	BR 5,8
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	6,8	minutos	3,5	minutos en máquina	4	2
	CNC:	programación	7,59	minutos	mecanizado	3,84	minutos
	CAM:	programación	32,27	minutos	mecanizado	4	minutos
	HTAS:	PU	BR 4,8	ES 5	BR 9,5	ES 10	PL 25
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	contorno	1,3	minutos	3,2	minutos en máquina	1	4
	CNC:	programación	3,67	minutos	mecanizado	1,09	minutos
	CAM:	programación	17,1	minutos	mecanizado	1	minutos
	HTAS:	PU	FP 10				
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada máquina	2	minutos	0	minutos en máquina	2	4
	CNC:	programación	20,09	minutos	mecanizado	31,6	minutos
	CAM:	programación	33,75	minutos	mecanizado	32	minutos
	HTAS:	PU	PP 63	FP 8	BR 5	PL 16	
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	8,5	minutos	0	minutos en máquina	1	4
	CNC:	programación	25	minutos	mecanizado	37,2	minutos
	CAM:	programación	25,2	minutos	mecanizado	36	minutos
	HTAS:	PL 50	PL 25	FP 10	FT 32,5x6		
	método			plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	contorno	0	minutos	0	minutos en máquina	1	19
	CNC:	programación	6	minutos	mecanizado	6	minutos
	CAM:	programación	16,56	minutos	mecanizado	6,2	minutos
	HTAS:	PU	PL 25	FP 10			

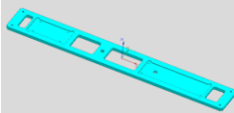
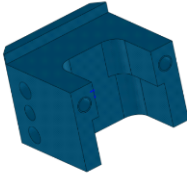
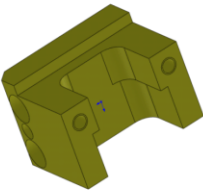
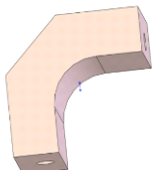
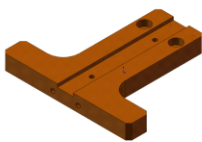
Nombre pieza	Tiempos					
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada máquina	2,5 minutos	0 minutos en máquina		2	2
	CNC:	programación	22 minutos	mecanizado	17 minutos	
	CAM:	programación	32,4 minutos	mecanizado	16,5 minutos	
	HTAS:	PU	PL 25	FP 8		
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	8,4 minutos	0 minutos en máquina		3	1
	CNC:	programación	8,34 minutos	mecanizado	7,34 minutos	
	CAM:	programación	29,7 minutos	mecanizado	7,1 minutos	
	HTAS:	BR 3	PL 50	FP 6	PU	FP 10
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	escuadrada	8,4 minutos	0 minutos en máquina		3	1
	CNC:	programación	16 minutos	mecanizado	7,34 minutos	
	CAM:	programación	26,1 minutos	mecanizado	7,1 minutos	
	HTAS:	BR 3	PL 50	FP 3	PU	FP 10
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	contorno	0 minutos	3,5 minutos en máquina		5	12
	CNC:	programación	7 minutos	mecanizado	1,3 minutos	
	CAM:	programación	26,1 minutos	mecanizado	1,25 minutos	
	HTAS:	FP 16	PL 80			
	método		plano inclinado		nº de atadas	número de piezas
	contorno	0 minutos	0 minutos en máquina		1	7
	CNC:	programación	8 minutos	mecanizado	12 minutos	
	CAM:	programación	32,4 minutos	mecanizado	11,8 minutos	
	HTAS:	FP 12	PL 80	FP 8	PL 25	PU

Tabla 3. Tabla completa de la toma de tiempos de la muestra.

10.1 Tiempos de fabricación

A continuación se ha hecho una toma de tiempos de partes del trabajo que están incluidos en el proceso de fabricación pero que no han sido incluidos en la tabla anterior ya que son operaciones que están incluidas en ambos métodos de fabricación. Además con los datos obtenidos en la tabla anterior también se han sacado nuevos tiempos.

T PREP **Tiempo de preparación de la fresadora**, incluye desde que el operario coge el bruto, prepara la mordaza, hasta que coloca el bruto en la misma. También están incluidos los tiempos que el operario tarda en colocar las herramientas en los portaherramientas y medir las herramientas. Se incluye además el tiempo que se tarda en coger los ceros de las piezas. Por último también está incluido el tiempo que cuesta sacar la pieza de la máquina e introducir una nueva pieza.

Tiempos preparación			
pieza	min/colocar 1ª pieza	min/colocar 2ª pieza	min/prep hta
16-0084-35-023	4,8	0,5	0,9
16-0084-30-059	5	0,55	0,8
15-0496-10-003	4,1	0,4	0,8
16-0084-30-032	4,4	0,3	0,95
16-0084-40-055	4,2	0,3	0,8
media	4,5	0,41	0,85

Tabla 4. Tiempos de preparación.

con estos datos se formula la siguiente ecuación para determinar el tiempo de preparación por pieza

Ecuación:

$$T \text{ PREP} = ATADAS * (4.5 + (0.41 * (N^{\circ} \text{ PIEZAS} - 1))) + 0.85 * N^{\circ} \text{ HTAS SIN PORTA}$$

Escuadrar Este tiempo contempla **desde que el operario coge el bruto hasta que lo escuadra** en la fresadora manual o planeadora. Esta tarea la debería de llevar a cabo el operario encargado del taladro, aunque en caso de que este no pudiera sería el mismo operario de la fresadora quien se escuadraría las piezas en la planeadora o en la propia fresadora. Este tiempo ya estaba en la tabla de piezas pero con el nombre de método. Se ha decidido llamarle escuadrar por que únicamente el tiempo es mayor que cero para las piezas mecanizadas por el método de escuadrado.

TM TOT Es el tiempo de mecanizado, **tiempo que la fresadora está mecanizando**. Es el tiempo de mecanizado de una pieza multiplicado por el número de piezas.

Ecuación:

$$TM\ TOT = TM * N^{\circ} PIEZAS$$

P. inclinado Este es un tiempo destinado a contabilizar lo que cuesta la operación de **mecanizado de planos inclinados** en una pieza. En esta operación de mecanizado la pieza tiene que estar colocada en ángulo para poderla mecanizar y realizar algún taladro. Este tipo de operaciones en planos inclinados no se realizan en NX CAM debido a que es más costoso el realizar un programa CAM y especificar correctamente como se debe colocar la pieza para mecanizarla bien pero también para no tener colisión con los útiles ni con la mordaza que realizar un programa a “mano” in situ. Con el paso del tiempo y cuando los programadores CAM adquieran mayor soltura y experiencia se deberá valorar si estas operaciones en planos inclinados se realizan con CAM o se mantiene este método actual.

Ecuación:

$$P.\ inclinado = plano\ inclinado * N^{\circ} PIEZAS$$

Corrector Hay algunas piezas que exigen unas tolerancias tales que es imprescindible utilizar **corrector de radio de herramienta** y una vez que la fresadora acaba el programa de mecanizado se mide para comprobar si está dentro de tolerancias. Si fuese necesario se vuelve a realizar el mismo programa, pero corrigiendo el corrector de herramienta y se vuelve a comprobar hasta entrar en tolerancias. Se han realizado varias piezas con corrector calculándose un tiempo medio de corrector de 3,52 minutos.

Tiempos corrector	
pieza	min/corrector
16-0084-35-023	4,1
16-0084-40-055	3,2
15-0203-11-006	3,8
15-0365-50-010	3,4
16-0022-30-005	3,1

media	3,52
-------	------

Tabla 5. Tiempos de corrector.

Ecuación:

$$corrector = 3,52 * N^{\circ} PIEZAS$$

**TM
"REAL"**

Es el **tiempo que realmente cuesta mecanizar una pieza**, aquí se suman los tiempos de tiempo de mecanizado total, tiempo de preparación, tiempo de acabado y el tiempo de corrector. Debido a que según se fabrican piezas se procede a el montaje de esa pieza en la maquina especial, hay ocasiones en las que o bien la pieza no encaja correctamente o surge alguna nueva modificación de la máquina que obliga a que la pieza tenga que volver a el taller de mecanizado para que se le modifique algo. Tras dos semanas cogiendo tiempos se ha estimado que una de cada 7 piezas que se mecanizan requieren después de alguna modificación, es por ello que se multiplica por 1,15.

Ecuación:

$$TM \text{ "REAL"} = (TM \text{ TOT} + T \text{ PREP} + P. \text{ inclinado} + \text{corrector}) * 1,15$$

TM CNC

Aquí se suman el **tiempo de mecanizado real y el tiempo de programación CNC**. Para todas las piezas se han medido los tiempos que los operarios tardaban en realizar los programas in situ de CNC. Dado que en la actualidad hay dos operarios con mayor experiencia y otros dos con menos, se ha intentado realizar las mediciones de tiempos a todos los operarios para que la muestra sea representativa.

Ecuación:

$$TM \text{ CNC} = CNC + TM \text{ "REAL"}$$

Taladrado

Este es el tiempo que cuesta hacer los **taladros y roscados que previamente se han punteado** en la fresadora. Se realizan en un taladro vertical manual por un operario de baja cualificación. Los taladros requieren de mucha herramienta por lo que realizarlos en las fresadoras supondría una pérdida de tiempo en montaje y desmontaje de herramienta. Además, tampoco se dispone de tantos portaherramientas como para realizar taladros roscado y avellanados además de los portaherramientas del mecanizado. Por esta razón los taladros solo se puntean en la fresadora y los taladros se sacan fuera de la fresadora al taladro vertical. Otra razón muy importante es que al sacar los taladros fuera de la fresadora, esta puede continuar mecanizando otra pieza ganando así tiempo de mecanizado en máquina. Tras varias mediciones de tiempos se ha calculado que realizar un taladrado con la herramienta ya colocada cuesta una media de 30 segundos. El tiempo que le cuesta al operario cambiar una herramienta es de 50 segundos. Además, el tiempo que tarda de media en coger la pieza y colocarla es de 2 minutos. En volver a colocar las siguientes piezas tarda de media 24 segundos.

Tiempos taladrado				
pieza	min/taladro	min/camb.hta	min/colocar pieza	min/coloca 2ª pieza
16-0084-30-027	0,45	0,9	2,2	0,5
16-0084-30-002	0,55	0,8	1,7	0,34
16-0084-30-008	0,48	0,82	2,4	0,36
15-0430-29-002	0,51	0,87	1,6	0,38
16-0084-40-055	0,5	0,84	2,1	0,42
media	0,498	0,846	2	0,4

Tabla 6. Tiempos de taladrado.

Con estos datos se ha calculado el tiempo de taladrado con la siguiente ecuación.

Ecuación:

$$\text{taladrado} = (0,5 * \text{N}^\circ \text{ TALADROS}) * \text{N}^\circ \text{ PIEZAS} + \text{N}^\circ \text{ HTAS} * 0,85 + 2 + 0,4 * (\text{N}^\circ \text{ PIEZAS} - 1)$$

Parte trasera

En las piezas que han sido mecanizadas por contorno en una atada queda **material sobrante por la parte de atrás**. En estos casos o bien se elimina este material planeando con un plato en la misma fresadora, o si no también se podría eliminar el material de igual forma en la planeadora manual. Por esta razón este tiempo se ha medido fuera del tiempo de mecanizado, porque esta tarea podría ser realizada por el operario de baja cualificación encargado del taladrado en la planeadora manual. Tras varias mediciones se ha calculado un tiempo medio de 4 minutos por pieza.

Tiempos limpieza parte trasera	
pieza	min/pieza
15-0430-29-002	3,8
03-0320-00-000	3,7
15-426-5342-0600-0004-019	4
16-0148-40-006	4,2
16-0022-30-005	4,3
media	4

Tabla 7. Tiempos de limpieza parte trasera de la pieza.

Ecuación:

$$\text{parte trasera} = 4 * \text{N}^\circ \text{ PIEZAS}$$

**T. TALADRADOR
Y REBABADOR**

Este es el **tiempo de trabajo de un operario de baja cualificación** en el caso de que se pueda contar con dicho trabajador. Este trabajador realizaría los taladrados y la limpieza de la parte trasera a las piezas que lo requieran. También se encargaría de rebabar las piezas para que una vez que este trabajador termine una pieza, esta esté perfectamente terminada o se pueda enviar a su tratamiento correspondiente.

Ecuación:

$$T. \text{ TALADRADOR Y REBABADOR} = \text{taladrado} + \text{parte trasera}$$

T OF

Es el **tiempo de que el operario esta fichado en una orden de fabricación**. Todos los planos llevan un código de barras mediante el cual se hace un seguimiento de el tiempo que ha costado fabricar la pieza y de que operarios las ha fabricado. De este modo la empresa lleva el control de los tiempos de fabricación. Estos tiempos y datos se cargan automáticamente a un software de gestión de la empresa instalado en todos los ordenadores.

Con todos estos parámetros se ha rellenado la siguiente tabla:

Indice	Nombre de pieza	ATADAS	CNC	CAM	TM	Nº PIEZAS	TMTOT	T PREP	Escuadrar	Taladrado	P. inclinado	Parte tras	Corrector	T OF	TM "REAL"	TM CNC
1	15-0605-30-102	4	30	81	18,55	2	37,1	19,64	0	2,4	7	0	0	240	63,74	93,74
2	16-0084-35-023	2	13,5	27,9	3,5	2	7	9,82	10	6,1	0	8	7,04	90	23,86	37,36
3	16-0084-30-005	2	15,5	26,95	10	2	20	10,67	12	5,25	7	0	0	90	37,67	53,17
4	16-0084-30-008	5	25,5	52,61	5,5	2	11	27,1	13	22,2	0	0	0	120	38,1	63,6
5	16-0084-30-027	1	6,63	23,76	4	1	4	4,5	8	6,55	0	4	0	60	8,5	15,13
6	16-0084-30-002	3	14,6	22,37	5,1	2	10,2	14,73	17	8,1	0	0	0	110	24,93	39,53
7	15-0430-29-002	1	4,6	19,05	1,8	4	7,2	6,58	29,44	8,05	0	16	0	35	13,78	18,38
8	16-0084-40-055	1	15,9	36,31	5	1	5	5,35	8,6	6,55	0	4	3,52	45	13,87	29,77
9	16-0084-30-023	3	13	26,77	4,5	1	4,5	15,2	9,2	4,7	0	0	0	60	19,7	32,7
10	16-0084-40-003	2	17,8	30,06	20,5	1	20,5	9	6	18,3	0	0	0	120	29,5	47,3
11	16-0084-30-059	2	4,2	17,64	4,2	1	4,2	9,85	8	5,7	0	0	0	60	14,05	18,25
12	16-0084-20-008	2	24	30,42	4,4	4	17,6	14,01	32	8,9	0	0	0	85	31,61	55,61
13	16-0084-20-021	1	5,4	15,42	3,4	4	13,6	5,73	26	8,9	14	0	0	85	33,33	38,73
14	16-0148-10-042	1	4,1	16,2	3,4	8	27,2	7,37	56	14,5	0	32	0	60	34,57	38,67
15	15-0496-10-003	2	5,31	18	2,34	1	2,34	10,7	0	16,8	0	0	0	60	13,04	18,35
16	16-0148-40-006	1	18	30	2,8	4	11,2	5,73	32	12,9	0	16	0	90	16,93	34,93
17	16-0084-40-005	4	16	24	3,5	1	3,5	19,7	9	5,55	0	0	0	50	23,2	39,2
18	16-0178	4	30,34	45	8,79	10	87,9	37,86	170,2	23,15	0	0	0	260	125,76	156,1
19	16-0084-40-012	1	20	26,1	2,92	1	2,92	6,2	8,6	6,7	0	4	0	60	9,12	29,12
20	16-0084-30-032	2	18	30,6	5,06	1	5,06	9	8,6	7,55	0	4	0	75	14,06	32,06
21	16-0084-30-044	1	12	18	6	1	6	6,2	9	5,55	0	4	0	75	12,2	24,2
22	16-0084-30-046	3	13	21,6	3,32	2	6,64	16,43	18,4	9,65	0	0	0	75	23,07	36,07
23	15-0203-11-006	1	8,34	30	6,05	12	72,6	10,71	93,6	14,95	48	0	42,24	420	173,55	181,89
24	16-0084-30-026	2	11	21,6	7,5	1	7,5	9,85	8	7,05	0	0	0	60	17,35	28,35
25	16-0084-30-025	2	13	27	6,4	2	12,8	13,22	16	11,8	0	0	0	80	26,02	39,02
26	15-0431-50-005	4	7,59	32,27	3,84	2	7,68	23,04	13,6	8,1	7	0	0	170	37,72	45,31
27	15-426-5342-0600-0004-019	1	3,67	17,1	1,09	4	4,36	5,73	5,2	8,9	12,8	16	0	60	22,89	26,56
28	15-0365-50-010	2	20,09	33,75	31,6	4	126,4	13,16	8	26	0	0	14,08	480	153,64	173,73
29	15-0365-50-009	1	25	25,2	37,2	4	148,8	6,58	34	8,9	0	16	0	360	155,38	180,38
30	03-0320-00-000	1	6	16,56	6	19	114	11,88	0	19,55	0	76	0	640	125,88	131,88
31	16-0188-20-001	2	22	32,4	17	2	34	9,82	5	16,8	0	0	0	180	43,82	65,82
32	16-0084-35-004	5	8,34	29,7	7,34	1	7,34	25,9	8,4	34,65	0	0	0	50	33,24	41,58
33	16-0084-35-006	1	16	26,1	7,34	1	7,34	7,9	8,4	22,65	0	0	0	50	15,24	31,24
34	15-0203-10-007	2	7	26,1	1,3	12	15,6	18,87	0	6,95	42	0	0	135	76,47	83,47
35	16-0022-30-005	2	8	32,4	12	7	84	15,62	0	11,8	0	28	24,64	180	124,26	132,26
		ATADAS	CNC	CAM	TM	Nº PIEZAS	TMTOT	T PREP	Escuadrar	Taladrado	P. inclinado	Parte tras	Corrector	T OF	TM "REAL"	TM CNC
		74	483,41	989,94	273,24	127	957,08	443,65	691,24	412,15	137,8	228	91,52	4870	1874,5575	2357,9675

Tabla 8. Tiempos tomados y calculados en el análisis de tiempos

De esta tabla podemos destacar en primer lugar como los tiempos de programación CNC y los tiempos de programación CAM son muy diferentes, aunque el tiempo de programación CNC es mucho más bajo que el de CAM. Esto es algo que ya se intuía antes de la realización del estudio de tiempos y es que para programas de piezas sencillas es más rápido realizar un programa CNC que uno de CAM. Como se puede ver en la muestra de piezas para este análisis, la mayoría de piezas no son muy complejas.

CNC (min)	CAM (min)	DIFERENCIA %
483.41	989,94	104,78

De esta tabla podemos ver cómo la diferencia de tiempos de programar con CNC o con CAM es de un 104,78 %. Este dato fuera de contexto podría dar lugar a error y se podría pensar que para este taller de mecanizado en concreto la programación CAM no ayuda a rebajar los tiempos sino que hace todo lo contrario, está haciendo que cueste más tiempo fabricar una pieza.

Para no caer en este error hay que tener en cuenta que lo que se quiere cambiar no es solamente la forma de programar, sino el método de fabricación. Por ello más adelante se plantearán distintos métodos de fabricación analizándolos y valorando cual es el apropiado para la empresa.

En el siguiente gráfico se han enfrentado los tiempos de programación de CNC y los de CAM para las piezas de la muestra. Además se han incluido los tiempos medios de programación por pieza.

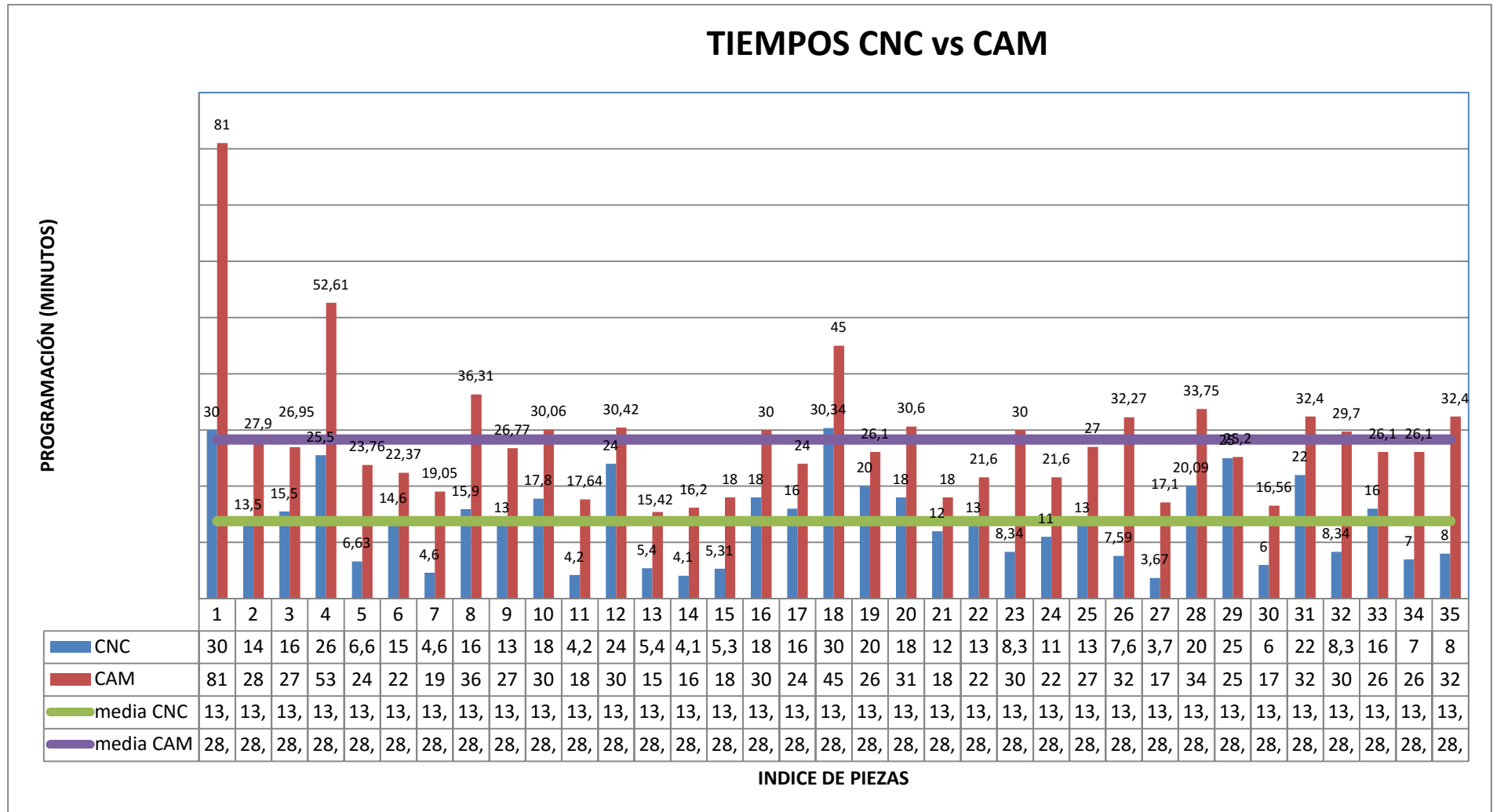


Tabla 9. Diagrama de barras de tiempos CAM y CNC.

Como podemos ver el tiempo medio para realizar un programa de CNC para una pieza es de 13.81 minutos frente a los 28,28 de media de la programación CAM. Para analizar estos resultados ha de conocerse bien lo que supone crear un programa CNC o uno CAM. La diferencia es 2.05 veces mayor la media de creación de un programa CAM frente a uno CNC.

media CNC (min)	media CAM (min)	CAM/CNC
13,81	28,28	2,05

Hay que tener muy en cuenta que los tiempos de CNC han sido medidos a empleados con muchos años de experiencia, por lo que estos tiempos tienen muy poco margen de mejora por no decir ninguno. Por otro lado los programas CAM han sido creados por los mismos empleados con apenas dos meses de experiencia en la programación CAM por lo que estos tiempos tienen un margen de mejora enorme. Podríamos decir que estamos comparando el caso más desfavorable posible, los mejores tiempos CNC contra los peores CAM, por lo que los resultados que se obtengan de este estudio serán muy mejorables con forme los operarios en cargados de la programación CAM adquieran experiencia.

Para realizar un programa de CNC el operario debe interpretar correctamente el plano, en muchas ocasiones hay algunos planos a los cuales les faltan cotas sin las cuales no se puede realizar el programa CNC. En estos casos el operario debe buscar la pieza en CAD en el ordenador de taller y medir en el plano de la pieza en Solidworks las cotas que falten en el plano en papel. Si se dispone de todas las cotas, el operario comienza a crear el programa en la máquina. Una vez terminado el programa el operario lo simula en la pantalla de la fresadora para comprobar que el programa hace lo deseado. En este punto finaliza el tiempo de programación CNC.

El tiempo medio de programación CAM va desde que el operario coge el plano, busca la pieza en el histórico de dibujos, la guarda con el nombre que corresponda, crea las operaciones necesarias para su mecanizado, verifica las trayectorias en el simulador de NX, comprueba los números de herramienta, la distancia mínima que hay que sacar la herramienta del portaherramientas, postprocesa la programa, crea la hoja de procesos, la guarda y por último la imprime.

Como se puede ver crear un programa CAM requiere de más pasos que crear uno CNC. De ahí que la media de programación CAM sea mayor que la CNC. La diferencia está en que en la programación CAM se realiza una hoja de procesos con toda la información para el mecanizado de la pieza y en la programación CNC no se realizan dichas hojas. Por eso aun cuando en la programación se tarda más tiempo de media por programa, hay que destacar que en la programación CAM se está creando un registro de

programas y hojas de procesos que pueden emplearse en cualquier momento. Es decir, al estar guardando tanto las piezas en formato de NX como las hojas de procesos, estas piezas se pueden fabricar cuando se desee. De esta forma no es necesario realizar un programa CAM e inmediatamente ejecutarlo en la fresadora y mecanizar la pieza, sino que se puede ejecutar cuando se prefiera.

Es también cierto que los programas CNC se pueden guardar, pero la memoria de la fresadora es muy corta y no se pueden guardar muchos programas. Además es más complejo abrir un programa CNC guardado tiempo atrás y leerlo e interpretarlo claramente. Para poder entender bien qué hace ese programa sería necesario que el operario fresador tuviese mucho conocimiento de lenguaje de programación, además de una experiencia elevada. Es por tanto mucho más visual el programa CAM en el ordenador, ya que cualquier operario, sin muchos conocimientos de programación CAM podría echar un vistazo al programa CAM y ver claramente qué es lo que se ha programado. Además que en el ordenador no tenemos problemas de memoria ya que se podrían guardar todos los programas que se deseen.

10.2 Primeros resultados

Lo primero que podemos ver es que las horas de trabajo fichadas en la orden de fabricación son un 24.24 mayores que el tiempo de fabricación medido en la toma de tiempos con programación CNC. Para el caso de programación CAM tenemos que el t fabricación es un 13.84 mayor que el tiempo de fichajes en la orden de fabricación.

	T OF	t fabricación	DIFERENCIA %
CNC	4870	3689,36	24,24
CAM	4870	4195,89	13,84

Los tiempos calculados con CNC deberían coincidir exactamente ya que los tiempos de fichaje en la orden de fabricación fueros obtenidos por este método. Existen algunas razones por las cuales no llega a ser cero. Una razón sería la imprecisión en la toma de tiempos o errores en las mediciones. No obstante, existe otra razón y es que los tiempos calculados como “t fabricación” son tiempos teóricos o ideales, es decir, no están incluidos tiempos de mantenimiento como reponer taladrina, cortarse un bruto de un tocho de material del almacén, colisiones de la herramienta con partes de la máquina, reparación de herramienta rota, orden y limpieza de la zona de trabajo, consulta de dudas con otros operarios o con otros trabajadores, etc.

Otra causa de esta diferencia de tiempos es el tiempo que el operario está de ocio. Un tiempo en el cual se está hablando con otra persona y que no es productivo para la empresa. Tiempo en el cual el operario también puede que tenga que ir al aseo, a beber agua, o incluso que tenga que acudir al botiquín a por material para sanar pequeños cortes.

Algunas piezas requieren de la fabricación de un útil donde amarrar la pieza para poderla mecanizar. Suelen ser unas placas con pasadores para tener la pieza bien posicionada y algún tornillo para sujetarla correctamente. La fabricación de este útil suele ser en ocasiones tan costoso o más que la propia mecanización en fresadora.

Todos estos tiempos son tiempos que no aportan valor directamente al producto pero que son necesarios y hay que tenerlos muy en cuenta. Los resultados dicen que se está yendo un 24.24 % del tiempo de la OF en estos tiempos.

10.3 Herramientas de mecanizado

Con los datos obtenidos en este estudio sobre las herramientas más empleadas para el mecanizado se ha realizado un gráfico a fin de ver cuáles son las más empleadas.

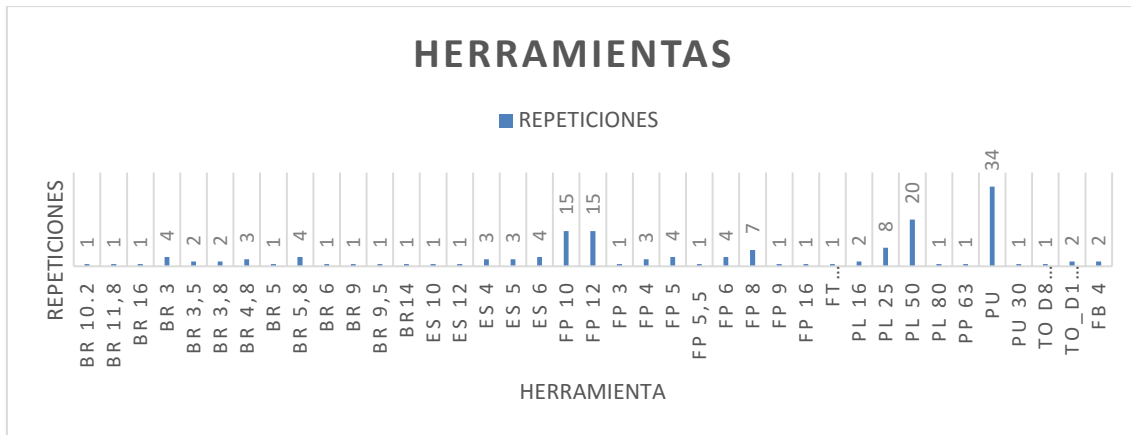


Ilustración 27. Diagrama de barras de el número de repeticiones de cada herramienta.

De este gráfico podemos ver como las herramientas más empleadas son la broca de puntear, el plato de diámetro 50mm, y las fresas plana de diámetro 10 y 12 mm. De esta forma se ha realizado una tabla con 18 herramientas, ya que el objetivo de este apartado es elegir las herramientas más empleadas y colocarlas en su portaherramientas correspondiente y dejarla en una posición fija del cargador de herramientas automático. Lógicamente esto es algo que solo afecta al centro de mecanizado Lagun MC 1000.



Ilustración 28. Mesa de portaherramientas del centro Lagun 1000

Otro objetivo de este análisis es el de emplear siempre que se pueda las herramientas fijas para evitar pérdidas de tiempo en los cambio de herramientas. Además a las herramientas seleccionadas como fijas se les asignará por defecto en NX10 el numero de herramienta igual que el de la posición que ocupe en el cargador de forma que el

programador no tenga que cambiarles el numero de herramienta a las que son fijas, cada vez que hace un programa.

De esta forma el resultado que tenemos es la tabla que se muestra a continuación. En esta tabla se muestra a la izquierda la lista de herramientas que finalmente serán colocadas en una posición fija del cargador de herramientas. En la siguiente columna están las posiciones del cargador de htas. En la tercera columna se encuentra una lista con las herramientas que en este estudio han salido como las mas empleadas. No obstante esta lista no fue aceptada completamente por los operarios ya que consideraron que las herramientas denominadas en la cuarta columna como: brocas, variedad y toricas o bolas, eran herramientas que no siempre se emplearían por lo que no era necesario que ocupasen una posición fija, aunque sí que se respetarían las posiciones definidas para cada clase.

ACEPTADA	POSICIÓN	HTA	CLASE
	T 1	3	BROCAS
	T 2	3,8	
	T 3	5,8	
	T 4	4,8	
PU	T 5	PU	PLATOS
PL 25	T 6	PL 25	
PL 50	T 7	PL 50	
PL 16	T 8	PL 16	FRESAS PLANAS
FP 8	T 9	FP 8	
FP 10	T 10	FP 10	
FP 6	T 11	FP 6	
FP 12	T 12	FP 12	VARIEDAD
	T 13	ES 4	
	T 14	ES 5	
	T 15	ES 6	
	T 16	FB 4	
	T 17	TO_8_1	
	T 18	TO_16_4	TORICAS O BOLAS

Tabla 10. Tabla de herramientas y su posición en el cargador de herramientas.

10.4 Métodos de trabajo

De los datos obtenidos en el estudio de tiempos se pueden plantear distintos metodos de trabajo. Todos estos métodos están planteados desde un punto de vista teórico, es decir, no se han tenido en cuenta los tiempos que no aportan valor a la pieza detallados en el punto anterior (24.24 % del tiempo de fichaje). Mas adelante si que se añadira este porcentaje de tiempo.

10.4.1 Método actual

Este primer método es el que está instalado actualmente en el taller de mecanizado. Para este método serían necesarios únicamente dos fresadores por turno con el inconveniente de que estos fresadores deben ser fresadores con experiencia y con conocimientos en programación CAM.

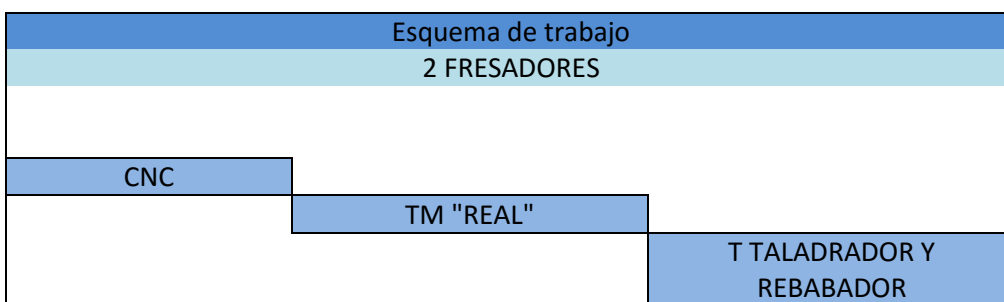


Ilustración 29. Secuencia de tiempos del método actual.

Este metodo se divide en 3 tiempos de forma sucesiva, es decir, estos tiempos no se pueden solapar, para que comience la siguiente parte del trabajo tiene que acabar la anterior.

Se comienza con un tiempo creacion del programa CNC o el CAM, seguidamente prepara todo y lo ejecuta en maquina (TM "REAL"), a continuacion le reliza los taladros bien en la misma fresadora o en el taladro vertical, y por ultimo la rebaba.

Con este metodo los dos trabajadores tendrían que trabajar la suma de los tres tiempos de trabajo.

Tiempo de trabajo de un operario de nivel alto = CNC + TM "REAL" + T. TALADRADOR Y REBABADOR

CNC	TM "REAL"	T. TALADRADOR Y REBABADOR	operario de nivel alto
483,41	1874,56	1331,39	1844,68

Tiempo operario de nivel alto = 1844,68 minutos

En total los dos trabajadores habrían invertido un total de 3689,36 minutos de trabajo para fabricar todas las piezas. Lo que como era de esperar ya que coincide con los minutos totales de trabajo, “t fabricación (min)”, medidos en el estudio de tiempos.

t fabricación (min)
3689,36

10.4.2 Método semi actual

Este método se ha decidido llamarle semi actual porque es el método que durante las últimas tres semanas se está empleando en el taller. Esto se debe a que han entrado tres estudiantes de formación profesional a realizar prácticas en la empresa y se está aprovechando para colocar a uno de ellos por turno en el taladro vertical a realizar los taladros, los roscados, desbabados, etc.

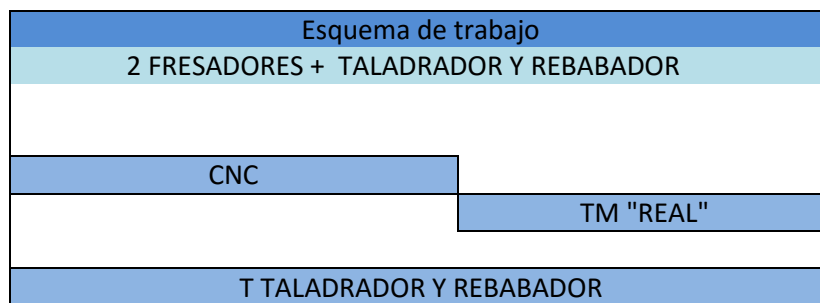


Ilustración 30. Secuencia de tiempos del método semi actual.

Este método es muy similar al anterior salvo que ahora los tiempos de taladrado y rebabado son paralelos a los otros ya que un operario de nivel bajo sería quien finalizase la fabricación de las piezas haciendo que el operario de nivel alto se dedique únicamente al mecanizado en fresadora. De esta manera se consigue ganar tiempo de mecanizado real, ya que comparado con el anterior, para un mismo periodo de tiempo con este método podríamos fabricar mayor número de piezas.

Tendríamos los siguientes tiempos.

CNC	TM "REAL"	operario de nivel alto	/ 2	/ 3	/ 4
483.41	1874.5575	2357.97	1178.98	785.99	589.49
		operario de nivel bajo	/ 2	/ 3	/ 4
		1331.39	665.70	443.80	332.85
		TOTAL			
		3689.36			

Tabla 11. Tiempos (en minutos) por operario.

Tiempo de trabajo de un operario de nivel alto = CNC + TM "REAL"

Tiempo de trabajo de un operario de nivel bajo = T TALADRADOR Y REBABADOR

Personal: 1 turno: 2 nivel alto y 1 nivel bajo.

Personal total (2 turnos)		
Nivel del operario	Nº operarios	Horas/operario
nivel alto	4	589.49
nivel bajo	2	665.70

Tabla 12. Tabla de personal necesario.

Con este método tenemos los fresadores tendrían las piezas mecanizadas en 1178.98 ya que se dispone de dos fresadoras, mientras que los operarios encargados del taladrado tardarían 1331.39 minutos. Tenemos por tanto que en 1331,39 minutos tendríamos hechas todas las piezas. No estaríamos recortando horas de trabajo porque faltarían de sumar las horas de trabajo de los fresadores. Lo que sí que recortamos son plazos de fabricación. Otra cosa a tener en cuenta es que las horas de trabajo del operario de nivel bajo no son económicamente igual que las horas de un operario cualificado. Para fabricar las mismas piezas se están ahorrando 1331,39 minutos de trabajo de un operario de fresadora cualificado y se están cambiando por 1331,39 minutos de un operario sin mucha experiencia ni cualificación.

Dado que durante el estudio de tiempos había en el taller 3 nuevos operarios de prácticas, casi la totalidad de las piezas de la muestra se hicieron escuadrando los brutos ya que esta era una de las tareas que tenían asignadas para su aprendizaje y formación. Como una vez terminado el periodo de prácticas es posible que no se disponga de tanto personal, y que nunca se ha trabajado escuadrando tanta cantidad de piezas, se va a estudiar qué resultados tendríamos si la cantidad de piezas escuadradas y por contorno hubiese sido pareja.

CNC	TM "REAL"	operario de nivel alto	/ 2	/ 3	/ 4
483.41	1874.5575	2357.97	1178.98	785.99	589.49
escuadrando el 50%					
		operario de nivel bajo	/ 2	/ 3	/ 4
	985.77	985.77	492.89	328.59	246.44
		TOTAL			
				3343.74	

Tabla 13. Tiempos (en minutos) por operario.

De esta manera se rebaja el tiempo de trabajo del operario de nivel bajo de 1331.39 minutos a 985.77 minutos. De esta forma tenemos que el plazo de fabricación de estas piezas sería de 1178.98 minutos en lugar de los 1334.39 anteriores.

Personal total (2 turnos)		
Nivel del operario	Nº operarios	min/operario
nivel alto	4	589.49
nivel bajo	2	492.89

Tabla 14. Tabla de personal necesario.

10.4.3 Método actual mejorado

En este nuevo sistema de trabajo se ha sustituido el tiempo de programación CNC o CAM in situ por una programación CAM previa. Para llevar a cabo este método es necesario que los dos programadores de CAM adquieran soltura con el programa NX10 para que la realización de los programas sea lo más rápida y con buenos resultados de mecanizado. Como para ello es necesario tener paciencia y darles tiempo a los programadores para que cojan experiencia los tiempos de programación CAM cada vez serán mejores y más parecidos la media obtenida en el análisis de tiempos.

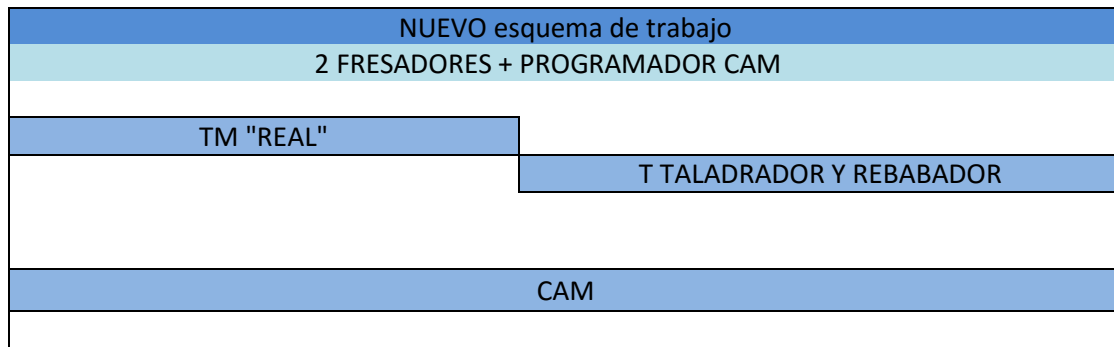


Ilustración 31. Secuencia de tiempos del método actual mejorado.

El personal necesario para este método de trabajo sería de un programador CAM con alta cualificación y de dos fresadores de un nivel intermedio de cualificación. Serían los fresadores los encargados de hacer también los taladrados.

Tiempo de trabajo de un fresador de alto nivel = CAM

Tiempo de trabajo de un fresador de nivel medio = TM "REAL" + T TALADRADOR Y REBABADOR

	CAM	operario de nivel alto	/ 2	/ 3	/ 4		
	989,94	989,94	494,97	329,98	247,49		
TM "REAL"	T.TALADRADOR Y REBABADOR	operario de nivel medio	/ 2	/ 3	/ 4	/ 5	/ 6
1874,56	1331,39	3205,95	1602,97	1068,65	801,49	641,19	534,32
		TOTAL					
		4195,89					

Tabla 15. Tiempos (en minutos) por operario.

De esta forma tenemos que entre los dos programadores cualificados tendrían que trabajar 989,94 minutos (494.97 minutos cada uno) y que cada fresador de nivel medio tendría que trabajar 1602.97 minutos cada uno si solo tenemos dos fresadores, 801.49 con 4 fresadores (2 por turno), o 534.32 minutos por operario si tenemos 6 fresadores. La fabricación de las piezas se realizaría en un plazo de 3205.95 con dos fresadores, 1602.97 minutos con 4 fresadores en dos turnos y por último también tendríamos un plazo de 1602.97 minutos con 6 fresadores pero las harían en menos días puesto que son tres turnos.

nº fresadores	min/ nº fresadores	min/ CAM	Nº fresadores/CAM	% CAM
2	1602,97	494,97	3,239	30,88
4	801,49	494,97	1,619	61,76
6	534,32	494,97	1,080	92,63

Tabla 16. Tabla de personal necesario.

$$N^{\circ} \text{ fresadores/CAM} = \frac{\text{min/n}^{\circ}\text{fresadores}}{\text{min/CAM}}$$

Nº fresadores / CAM es el número de fresadores que puede haber por cada programador CAM.

$$\% \text{ CAM} = \frac{\text{min/n}^{\circ}\text{fresadores}}{\text{min/CAM}}$$

% CAM es el porcentaje del tiempo de la jornada de un programador que tiene que dedicar a la programación para poder suministrar de programas a los fresadores.

En la tabla 14 tenemos que con dos programadores CAM, uno por turno, podríamos alimentar 3.239 máquinas si solo disponemos de 2 fresadores. Para alimentar a solo dos fresadores, los programadores CAM solo tendrían que dedicar el 30.88% de su jornada para conseguirlo. Esto es inviable. Otra opción es la de tener 4 fresadores, 2 por turno, y el programador conseguiría suministrarles programas con una dedicación del 61.76 % de la jornada. Por último tenemos que si dispusiésemos de 6 fresadores el programador tendría que dedicar el 92.63% de su jornada. Con este último dato se puede asegurar que la empresa podría disponer de un tercer turno.

Equilibrando los métodos de mecanizado por contorno y por escuadrado tenemos:

	CAM	operario de nivel alto	/ 2	/ 3	/ 4		
	989,94	989,94	494,97	329,98	247,49		
TM "REAL"	escuadrando el 50%	operario de nivel medio	/ 2	/ 3	/ 4	/ 5	/ 6
1874,56	985,77	2860,33	1430,16	953,44	715,08	572,07	476,72
		TOTAL					
		3850,27					

Tabla 17. Tiempos (en minutos) por operario.

De esta forma tenemos que los programadores cualificados tendrían que trabajar 989,94 minutos entre los dos y que cada turno de fresadores de nivel medio tendría que trabajar 2860,33 minutos, 1430,16 minutos cada uno, si fuesen dos operarios. 715,08 minutos por operario, si fuesen cuatro. Si fuesen seis operarios tendrían que trabajar 476,72 minutos cada uno. La fabricación de las piezas se realizaría en un plazo de 1430,16 minutos.

También rebajamos los minutos de fabricación de 4195,89 a los 3850,27 minutos.

nº fresadores	min/fresador	min/ CAM	Nº fresadores/CAM	% CAM
2	1430,16	494,97	2,889	34,61
4	715,08	494,97	1,445	69,22
6	476,72	494,97	0,963	103,83

Tabla 18. Tabla de personal necesario.

En este caso aunque no conseguiríamos llegar a los tres fresadores con un solo programador CAM, estaríamos muy cerca (2.889 fresadores/CAM). Con cuatro fresadores el programador necesitaría programar el 69,22 % de su jornada. Por último con seis fresadores tenemos que el programador tendría que dedicar el 103,83 % de su jornada, algo que es imposible. No obstante ya se ha comentado en repetidas ocasiones que los tiempos de programación CAM obtenidos en este estudio son muy mejorables debido a la más que limitada experiencia de los programadores en programación CAM. Por esta razón se puede considerar factible que un operario suministre programas a tres fresadoras en cuanto los programadores adquieran un poco de experiencia y soltura con el programa NX 10.

10.4.4 Metodo actual mejorado con 2.5 fresadoras

De los resultados del metodo anterior podemos generar un nuevo metodo. Tenemos que un tabajador de nivel alto encargado de la programacion CAM habria trabajado 494.97 minutos, por los 534.32 minutos de cada fresador de nivel medio, en el caso de que tuviesemos 3 centros de mecanizado y tres fresadores por turno. En el caso de escuadrar el 50% el progrmador tabajaria 494.97 minutos y los fresadores de nivel medio 476.72 minutos cada uno.

Escuadrando aproximadamente el 100%:

nº fresadores	min/ nº fresadores (tuno)	min/ CAM	Nº fresadores/CAM	% CAM
2	1602,97	494,97	3,239	30,88
4	801,49	494,97	1,619	61,76
6	534,32	494,97	1,080	92,63

Tabla 19. Tabla de personal necesario.

Escuadrando aproximadamente el 50%:

nº fresadores	min/fresador	min/ CAM	Nº fresadores/CAM	% CAM
2	1430,16	494,97	2,889	34,61
4	715,08	494,97	1,445	69,22
6	476,72	494,97	0,963	103,83

Tabla 20. Tabla de personal necesario.

Dado que la empresa tiene en mente adquirir un nuevo centro de mecanizado, otro Lagun MC1000, este planteamiento es fundamental. Como tener seis fresadores de nivel medio pueda ser un poco excesivo para la empresa por el momento, existe otra posible organización de trabajo. Esta nueva organización un turno de trabajo consistiria en un operario de nivel medio tabajando en el centro Lagun MC1000 actual, y otro en el nuevo centro. Ademas de un operario de nivel alto encargado de la programacion CAM, pero ademas seria quien fabricaria piezas de forma puntual en la fresadora MTE. Las piezas que tendria que mecanizar este empleado seria aquellas que por sus dimensiones no sepuedad mecanizar en los centros, y aquellas que vuelvan de montaje a el taller para alguna modificacion.

Este es el motivo de denominar a este metodo como 2.5 fresadoras. Es que los dos centros trabajarian todo el tiempo, mientras que la otra fresadora solo trbaria parte del tiempo, y en su mayoria estaria parada.

Escuadrando aproximadamente el 100 %:

Método 2,5 fresadoras			
regla de3		regla de3	
CAM	Nº FRESADORES	CAM	% CAM
989,94	3,239	989,94	100,000
X	2	611.26	Y
X = 611.26		Y = 61.76	

Tabla 21. Tabla para obtener el porcentaje de tiempo de programación CAM.

En la tabla 19 tenemos que el tiempo que hubiesen necesitado los programadores CAM para realizar los programas para alimentar a los dos centros Lagun de forma simultanea hubiese sido de 611.26 minutos. El porcentaje de la jornada del programador necesario para realizar estos programas habria sido del 61.76 %, por lo que tendria un 38.24 % de la jornada libre para realizar otras tareas. Ese 38.24 % del tiempo lo deciarán al mecanizado en la fresadora MTE.

% CAM	% MTE
61.76	38.24

Escuadrando aproximadamente el 50 %:

Método 2,5 fresadoras			
regla de3		regla de3	
CAM	Nº FRESADORES	CAM	% CAM
989,94	2,889	989,94	100,000
X	2	685,22	Y
X = 685,22		Y = 69,22	

Tabla 22. Tabla para obtener el porcentaje de tiempo de programación CAM.

En la tabla 20 tenemos que el tiempo que hubiese necesitado el programador CAM para realizar los programas para alimentar a los dos centros Lagun de forma simultanea hubiese sido de 685.22 minutos. El porcentaje de la jornada del programador necesario para realizar estos programas habria sido del 69.22 %, por lo que tendria un 30.78% de la jornada libre para realizar otras tareas. Ese 30.78 % del tiempo lo deciará al mecanizado en la fresadora MTE.

% CAM	% MTE
69,22	30,78

Con este metodo tenemos que el empleado de alto nivel dedicaria un 69.22 % de su jornada a la programacion CAM y un 30.78% a el mecanizado en la fresadora MTE.

Estos porcentajes podrán variar en función de las hojas de procesos que lleve de delantera a los fresadores. Si el programador va cogiendo soltura y va creando hojas de procesos con más rapidez y les saca excesiva ventaja a los fresadores, podría dedicar un porcentaje mayor al mecanizado en la fresadora MTE.

10.4.5 Método mejorado

Para este metodo serían necesarios 4 operarios por turno. Un programador CAM que vaya realizando los programas con anterioridad igual que en el metodo anterior, dos fresadores de nivel medio y por ultimo un operario de nivel bajo que realiza los taladros y desbabados.

NUEVO esquema de trabajo
2 FRESADORES + PRG CAM + TALADRADOR Y REBABADOR
TM "REAL"
T TALADRADOR Y REBABADOR
CAM

Ilustración 32. Secuencia de tiempos del método mejorado.

Tiempo de trabajo de un fresador de alto medio = CAM

Tiempo de trabajo de un fresador de nivel medio = TM "REAL"

Tiempo de trabajo de un operario de nivel bajo = T TALADRADOR Y REBABADOR

CAM	operario nivel alto	/ 2	/ 3	/ 4
989.94	989.94	494.97	329.98	247.49
TM "REAL"	operario nivel medio	/ 2	/ 3	/ 4
1874.56	1874.56	937.28	624.85	468.64
T TALADRADOR Y REBABADOR	operario nivel bajo	/ 2	/ 3	/ 4
1331.39	1331.39	665.70	443.80	332.85
	TOTAL			
	4195.89			

Tabla 23. Tiempos (en minutos) por operario.

Con este nuevo método mejorado tenemos que en un plazo de 1331,39 minutos estarían las piezas fabricadas. Tenemos 1331.39 minutos de trabajo de taladrado y desbabado. Para hacer un reparto de horas equitativo necesitaríamos 3 operarios de nivel bajo con 443.8 minutos por trabajador, como no se dispondrá de tantos operarios de bajo nivel, tendrán que repartirse los minutos entre dos operarios con 665.7 minutos cada uno. Para no sobrecargar de horas de trabajo a los taladradores rebabadores se debería de pasar horas de estos a los fresadores. Esto se podría hacer

por ejemplo escuadrando algunas piezas en máquina cuando los trabajadores tengan exceso de carga de trabajo.

Para comprobar si el operario CAM podría suministrar programas a las fresadoras se ha hecho la misma comprobación que en el método anterior.

CAM	fresadores	nº fresadores
989,94	1874,56	1,89

$$\text{nº fresadores} = \text{fresadores} / \text{CAM}$$

No se llegaría a alimentar a dos máquinas por muy poco. Como ya se ha comentado antes los tiempos de programación CAM son por el momento demasiado lentos por lo que en no mucho tiempo los programadores serán capaces de poder alimentar a dos fresadoras por turno.

Con un 50% de brutos escuadrado y otro tanto de brutos sin escuadrar tendríamos.

CAM	operario nivel alto	/ 2	/ 3	/ 4
989.94	989.94	494.97	329.98	247.49
TM "REAL"	operario nivel medio	/ 2	/ 3	/ 4
1874.5575	1874.56	937.28	624.85	468.64
escuadrando el 50%	operario nivel bajo	/ 2	/ 3	/ 4
985.77	985.77	492.89	328.59	246.44
	TOTAL			
	3850.27			

Tabla 24. Tiempos (en minutos) por operario.

Igual que antes continuamos sin que el programador CAM pueda llegar a suministrar programas a dos fresadores, pero sí que conseguimos que únicamente necesitemos un operario de nivel bajo por turno.

CAM	fresadores	nº fresadores
989,94	1874,56	1,89

$$\text{nº fresadores} = \text{fresadores} / \text{CAM}$$

10.5 Comparación de métodos y valoración

Una vez vistos los distintos métodos de trabajo el siguiente paso es compararlos y enfrentarlos para analizar los pros y los contras de cada método para que con esta información se pueda valorar los métodos y comprobar cuál es el que más se adecua a lo que la empresa está buscando.

Como ya se ha explicado anteriormente existen en la empresa tres niveles de operarios de taller, nivel alto, nivel medio y por último el nivel bajo. En la siguiente tabla se muestra el coste que le supone a la empresa cada clase de operario.

$$\text{Coste por operario} = \text{Coste maquina} + \text{Coste operario}$$

Trabajadores	Coste maquina (€/h)	Coste operario (€/h)
nivel alto	15	25
nivel medio	15	20
nivel bajo	15	17

Tabla 25. Costes a la empresa de la hora de máquina y de operario.

El coste maquina son los euros que tiene calculado la empresa que le supone una hora de trabajo de la propia maquina. Aquí está incluido el gasto de electricidad, el mantenimiento, etc. Por otro lado tenemos el coste que le supone a la empresa una hora de trabajo de un operario. Aquí se incluye el sueldo del operario, la seguridad social, etc.

Métodos	plazo (min)	Plazo (Días)	Coste (€)	% coste	% plazo
Método actual					
Método actual	1844,68	1,92	2459,57	0	0
Método semi actual					
Método semi actual (Esc 100%)	1331,39	1,39	2282,05	-7,22	-27,83
Método semi actual (Esc 50%)	1178,98	1,23	2097,72	-14,71	-36,09
Método actual mejorado					
Método actual mejorado 2fr (Esc 100%)	3205,95	3,34	2530,09	2,87	73,79
Método actual mejorado 4fr (Esc 100%)	1602,97	1,67	2530,09	2,87	-13,10
Método actual mejorado 6fr (Esc 100%)	1602,97	1,11	2530,09	2,87	-42,07
Método actual mejorado 2fr (Esc 50%)	2860,33	2,98	2328,48	-5,33	55,06
Método actual mejorado 4fr (Esc 50%)	1430,16	1,49	2328,48	-5,33	-22,47
Método actual mejorado 6fr (Esc 50%)	1430,16	0,99	2328,48	-5,33	-48,31
Método 2,5 fresadora					
Método 2,5 fresadora (Esc 100%)	1398,63	1,46	2530,096	2,87	-24,18
Método 2,5 fresadora (Esc 50%)	1283,42	1,34	2328,49	-5,33	-30,43
Método mejorado					
Método mejorado (Esc 100%)	1331,39	1,39	2463,52	0,16	-27,83
Método mejorado (Esc 50%)	989,94	1,03	2279,19	-7,33	-46,34

Tabla 26. Resumen de todos los métodos.

Tanto los porcentajes de coste como de plazo han sido referenciados respecto de el método actual. El plazo en días de la tabla representa los días que se tardaría en fabricar las piezas teniendo en cuenta el numero de operarios y de turnos.

$$Plazo (Dias) = \frac{plazo (min)/60(\frac{min}{h})}{8 \text{ horas} * n^{\circ} \text{ turnos}}$$

De esta tabla podemos ver como el coste que le supondría a la empresa el coste de los salarios y el de las maquinas es muy similar en todos los métodos. El valor más alejado de la media es el del método semi actual (esc 50%) con un recorte de los plazos de un 14.71% del coste.

Dado que los porcentajes de costes son muy similares, este no será el criterio principal a la hora de elegir el método más adecuado para la empresa.

El valor principal para la elección de es mejor método será el porcentaje de plazos ya que es donde hay más diferencias entre los distintos método. En base a ello la clasificación de los mejores métodos queda de la siguiente manera:

1. Método actual mejorado 6fr (Esc 50%):

Un valor destacable de esta tabla es el porcentaje de plazos de fabricación. en primer lugar vemos que el método actual mejorado 6fr (esc 50%) reduciría los plazos de fabricación en un 48.31 %. Prácticamente podríamos decir que la producción se multiplicaría por dos aunque también hemos de tener en cuenta que en este método tenemos 8 operarios, doblando la plantilla actual pero con un coste para la empresa de un 5.33 % mayor que el actual, y que tendríamos tres turnos de trabajo.

Con los datos de la tabla se podría decir que el mejor método es el método actual mejorado 6fr (esc 50%).

2. Método mejorado (Esc 50%)

En este caso el porcentaje de ahorro de plazo de fabricación es de un 46.34 %, muy similar a el caso anterior. Además este método tiene menor coste ya que el ahorro de tiempo respecto del método actual es de un 7.33 % frente al 5.33 % del método anterior. Igual que en el método anterior tenemos 8 operarios pero en este caso el método está compuesto de dos turnos de mecanizado en lugar de tres.

3. Método 2,5 fresadora (Esc 50%)

Con este método estaríamos recortando los plazos un 30,43 %. Además no serían necesarios los 8 operarios de los dos métodos anteriores, con seis operarios sería suficiente. El ahorro de costes es de un 5.33% igual que en el método anterior. Aun cuando según la tabla el tercer mejor método debería de ser el Método semi actual (Esc 50%) con un ahorro de plazos de un 36.09 %, se ha considerado que debido al margen de mejora que tienen los tiempos de programación CAM, este método tiene que mejorar dichos porcentajes y superar al Método semi actual (Esc 50%) en cuanto los programadores adquieran experiencia en la programación CAM.

Con los operarios que existen actualmente en el taller de mecanizado y fresadoras de las que se dispone se considera que el mejor método para la empresa es el Método mejorado (Esc 50%) ya que es el método que más se ajusta a los recursos disponibles tanto materiales como humanos y que tiene uno de los mejores porcentajes de plazos y costes.

No obstante si este método finalmente se llevase a cabo sería imprescindible realizar un nuevo estudio de tiempos al cabo de un tiempo, cuando ya esté este método plenamente operativo y funcionando correctamente, para conseguir unos tiempos mas fiables y comprobar si el método está dando los resultados que en este estudio se han vaticinado para este método.

11 Estudio económico

Es imprescindible realizar un análisis económico de lo que supondrían los cambios de métodos de fabricación para poder cuantificar económicamente los cambios. Para realizar este análisis se ha partido de la tabla mostrada a continuación cedida por la propia empresa. En esta tabla están los valores económicos necesarios para hacer un breve análisis económico.

Están diferenciadas las horas empleadas a la fabricación interna y externa ya que para hacer el análisis económico se hará la suposición de que todas las horas que consigamos ahorrar en el mecanizado interno pasen a ser horas de mecanizado externo.

El margen aportado por la actividad de mecanizado para cliente exterior es el porcentaje de ganancias que se aplica a la fabricación de piezas para cliente externo. Al ser prioritaria la fabricación de piezas para la fabricación de la maquinaria diseñada en la empresa este valor puede variar en función de la carga de trabajo del taller. Cuando el taller de mecanizado tiene carga de trabajo interno el margen aumenta ya que para que sea rentable fabricar piezas para cliente externo en lugar de interno este margen debe de ser elevado. De igual manera en caso de bajar la carga de mecanizado interno el margen debe bajar para poder ser mas competitivos frente al resto de talleres de mecanizado.

Beneficio mecanizado externo: dinero ganado antes de impuestos por la actividad de mecanizado a cliente externo.

Ratio facturación / horas mecanizado externo: cantidad de dinero facturado por hora de mecanizado a cliente externo.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Horas empleadas para mecanizado total	11528	9803	6053	11002	9679	10350	8828	8016
Horas empleadas para mecanizado interno	6246	6310	5715	7758	6678	7798	7370	6111
Horas empleadas para mecanizado cliente externo	5282	3493	3338	3244	3001	2552	1423	1897
facturación a cliente final en euros	345474	191266	187262	290870	249929	187050	154037	170994
margen aportado por la actividad de mecanizado para cliente exterior	30	30	31	27	28	25	41,5	38
Beneficio mecanizado externo	103624	57380	58051	78535	72479	59669	63925	88636
Ratio facturación / horas mecanizado externo	65,41	54,76	56,1	89,66	83,28	73,3	108,25	95,8

Tabla 27. Indicadores del proceso de mecanizado.

En esta tabla se ve como las horas de mecanizado a cliente externo han ido disminuyendo a lo largo de los años. Esto se debe a la transformación que ha sufrido la empresa pasando de ser en sus inicios una empresa de mecanizado a una de fabricación de maquinaria especial como es hoy en día. También se observa como el margen aportado por la fabricación a cliente externo aumenta cuando las horas de mecanizado a cliente externo son menores.

A partir de la tabla 25 se ha desarrollado una tabla 26 con lo que habría supuesto económicamente un año 2015 para cada uno de los tres mejores métodos destacados anteriormente.

Las horas empleadas a mecanizado interno con cada método CAM son las horas de mecanizado de 2015 menos el tanto por ciento de las hora que se ahorrarían respecto al método actual.

Las horas empleadas a mecanizado externo serán las de 2015 mas la horas que se hubieran ahorrado del mecanizado interno.

La facturación a cliente se ha calculado a partir de la facturación por hora entre los años 2015 y 2014. Se toma una referencia de los dos años y se estima que la facturación por hora será de 100€/h.

El beneficio a cliente externo se ha calculado de igual modo que la facturación, se coge la media de los últimos dos años y se toma un término medio de 40€/h.

Con todos estos datos tenemos la siguiente tabla.

	1. Método actual mejorado 6fr (Esc 50%)			2. Método 2,5 fresadora (Esc 50%)			3. Método mejorado (Esc 50%)		
	2015	2015 CAM	DIFERENCIA %	2015	2015 CAM	DIFERENCIA %	2015	2015 CAM	DIFERENCIA %
Horas empleadas para mecanizado total	8016	8016	0,00	8016	8016	0	8016	8016	0
Horas empleadas para mecanizado interno	6111	3158,54	48,31	6111	3279,45	46,34	6111	4251,69	30,43
Horas empleadas para mecanizado cliente externo	1897	4857,46	156,06	1897	4736,55	149,69	1897	3764,31	98,44
facturación a cliente final en euros	170994	485746,24	184,07	170994	473655,45	177,00	170994	376431,40	120,14
margen aportado por la actividad de mecanizado para	38	38	0,00	38	38	0,00	38	38	0,00
Beneficio mecanizado externo	88636	194298,50	119,21	88636	189462,18	113,75	88636	150572,56	69,88
Ratio facturación / horas mecanizado externo	95,8	100	4,38	95,8	100	4,38	95,8	100	4,38

Tabla 28. Tiempos (horas) y dinero (euros) de un ficticio 2015 si se hubiesen empleado alguno de estos 3 métodos.

Como se puede ver en la tabla los datos son muy beneficiosos. Tenemos que al reducir las horas de mecanizado interno se dispone de mayor tiempo para el mecanizado exterior con una repercusión económica elevada.

	Beneficio mecanizado externo (€)			
	2015	2015 CAM	DIFERENCIA %	beneficio extra
1. Método actual mejorado 6fr (Esc 50%)	88636	194298,50	119,21	105662,50
2. Método 2,5 fresadora (Esc 50%)	88636	189462,18	113,75	100826,18
3. Método mejorado (Esc 50%)	88636	150572,55	69,87	61936,56

Tabla 29. Beneficio mecanizado externo.

Cualquiera de los tres métodos supondría un aumento de beneficios considerable. En el peor de los casos con el método mejorado (Esc 50%) tendríamos un aumento de

beneficios del 70 %. Con los otros dos métodos tendríamos aproximadamente el doble de beneficios que con el sistema actual. En el primer caso tendríamos unos beneficios de 61.936,56 euros más que ahora. En los otros dos tendríamos unos beneficios aproximados de 100.000 euros por encima de los actuales.

12 Definición del nuevo método de trabajo

En base a los resultados obtenidos en este estudio y a otros muchos datos de lo que dispone la empresa, esta ha creído oportuno hacerse con un nuevo centro de mecanizado Lagun MC1000 pero con un cargador automático de 24 herramientas en lugar de las 18 del actual. Además de incorporar a la plantilla como operarios de nivel bajo a los tres alumnos que estaban realizando prácticas en las fresadoras.

De este modo el método de trabajo que se va a implantar en el taller de mecanizado es el **Método 2,5 fresadora (Esc 50%)**. Así a partir de ahora habrá dos operarios de nivel alto programando en CAM, uno por turno. Estos estarán realizando programas aproximadamente el 70 % de su jornada, y el 30 % restante estarán mecanizando en la fresadora MTE piezas que requieran modificaciones o que por su tamaño solo se puedan mecanizar en dicha fresadora. En los otros dos centros de mecanizado, los Lagun MC1000, se colocarán los fresadores (2 por turno) y tan solo tendrán que coger las hojas de procesos y ejecutar los programas generados con NX10.

13 Piezas para cliente externo

En este apartado se ha analizado si conviene dibujar las piezas provenientes de cliente externo y luego mecanizarlas por CAM. Esto se debe a que cuando se van a mecanizar piezas para un cliente externo, este envía un plano de la pieza con las cotas necesarias para poderla mecanizar. Ningún cliente envía los archivos de las piezas dibujadas en algún software de CAD, o bien porque el cliente no tiene la pieza dibujada en CAD, o porque no quiere dar esa información para evitar problemas de posible robo de información.

Para estas piezas se ha analizado la posibilidad de que una vez recibidos los planos de las piezas a mecanizar algún empleado de la empresa con conocimientos de CAD las dibuje en Solidworks para que posteriormente los programadores CAM creen las hojas de procesos de todas ellas.

Para este análisis se han tomado 10 planos de piezas similares a las que suelen llegar a el taller de mecanizado para fabricar para cliente externo y se han dibujado en Solidworks.

Se ha tomado el "Tiempo CAD" como el tiempo que se ha tardado en dibujar una cada pieza desde que se toma el plano que ha enviado el cliente hasta que se dibuja la pieza como un sólido en CAD.


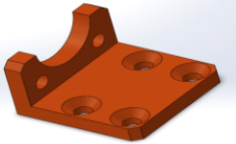
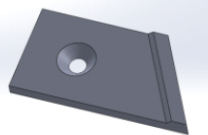
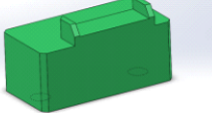
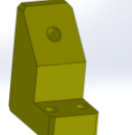
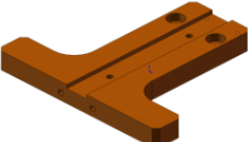
Indice	Pieza	Tiempo CAD	Indice	Pieza	Tiempo CAD
1	16-0178 	22	6	16-0084-30-032 	16
2	03-0320-00-000 	12	7	16-0148-40-006 	12
3	15-0365-50-009 	12	8	16-0084-20-008 	17
4	16-0084-35-006 	25	9	16-0084-30-005 	15
5	16-0022-30-005 	15	10	16-0084-30-059 	10

Tabla 30. Tabla de la muestra de 10 piezas y sus tiempos CAD.

Tiempo medio	15.6
--------------	------

Como se puede ver el tiempo medio en dibujar una pieza es de 15.6 minutos. La necesidad o no de dibujar una pieza es una decisión que deberá tomar el encargado del taller según el número de piezas que tenga que mecanizar. Para una sola pieza no sería conveniente, pero para un número elevado igual a la empresa le conviene tenerla dibujada ya que podría darse el caso de que en un futuro se vuelva a repetir el mismo encargo y de esta forma ya tendríamos la pieza dibujada, e incluso la hoja de procesos con el programa CAM correspondiente.

Para empezar a mecanizar una pieza de esta en el caso de dibujarla en CAD, tendríamos que sumar el tiempo CAD mas el tiempo CAM. Sin embargo para el caso de no dibujarla en CAD y directamente crear un programa CNC el tiempo que tardaríamos seria menor.

Aunque a priori parece que es más rápido crear el programa CNC directamente, y mecanizar, hay que tener en cuenta un factor muy importante. Hay que recordar que mientras el operario está creando el programa CNC la maquina está parada y esto es algo que hay que evitar. Por lo tanto es preferible que en el caso de que la persona que realiza los programas de CAM tiene creadas un volumen de hojas de procesos como para alimentar a las fresadoras durante bastante tiempo, este sea quien dibuje las piezas de cliente externo en Solidworks y a continuación cree su hoja de procesos correspondiente. De esta forma se incrementa el tiempo de maquina trabajando ya que nos ahorramos el tiempo que hubiese invertido el fresador en crear un programa CNC con la maquina parada.

14 Conclusiones

En primer lugar hay que destacar que este es un trabajo fin de grado y que su finalidad es la de poner en práctica lo aprendido durante la carrera para realizar un trabajo riguroso y con criterio. No se deben tomar los resultados obtenidos en este estudio como única base para tomar decisiones empresariales. No obstante sí que deben ser tomados como punto de partida y previsión de los resultados que se pudieran obtener si se implantase alguno de los métodos desarrollados en este estudio.

Los datos obtenidos en este estudio fueron obtenidos en un periodo de tiempo durante el cual había nuevos estudiantes haciendo prácticas en empresa que pudieron hacer que los tiempos tomados en el estudio no sean 100% fiables. Esto se debe a que los operario fijos de la empresa tenían que estar resolviendo dudas a los estudiantes mientras fabricaban piezas.

Pero sin duda lo más importante es que cuando se hizo el estudio de tiempos los empleados encargados de la programación CAM apenas llevaban mes y medio programando con el nuevo software NX10.

Es por todo esto que se recomienda realizar un nuevo estudio de tiempos al cabo de un tiempo suficiente en el que los operario programadores ya tengan una experiencia considerable para comprobar esos tiempos con los de este estudio y verificar si se han alcanzado, mejorado o empeorado los datos obtenidos en este estudio.

Aun con todo si que se puede decir que los métodos basados en tecnología CAM desarrollados en este estudio mejorarían tiempos, producción y facturación frente a el método basado en tecnología CNC actual.

15 Bibliografía

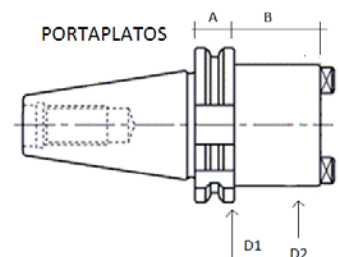
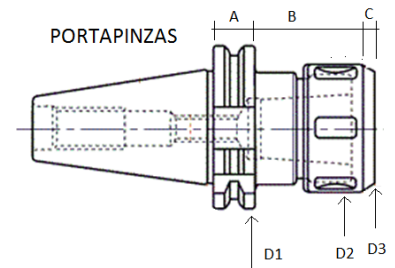
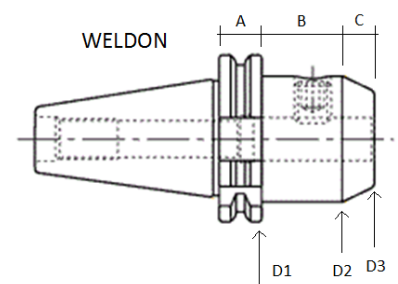
1. Julen Llano Peña ; Patricia Pedrero Vega y Jon Albuerne Busto
2015. Manual práctico mecanizado Siemens.
Formación y Consultoría DAT, S.L
2. “Plan estratégico Largoiko SLL. 2013-2016”

16 Anexos.

Anexo 1. Biblioteca de herramientas en NX10

BIBLIOTECA DE HERRAMIENTAS NX

PORTAHERRAMIENTAS							
WELDON							
LAGUN							
	DIAMETRO	A	B	C	D1	D2	D3
WE_D10_LAGUN	10	18	23	13	63	35	20
WE_D12_LAGUN	12	18	23	13	63	42	27
WE_D16_LAGUN	16	18	23	13	63	48	33
WE_D20_LAGUN	20	18	23	14	63	52	36
WE_D6_LAGUN	6	18	13	10	63	25	14
WE_D8_LAGUN	8	18	15	10	63	28	20
WE_D25_LAGUN	25	18	62	13	65	65	51
MTE							
	DIAMETRO	A	B	C	D1	D2	D3
WE_D32_MTE	32	18	70	14	98	72	60
WE_D8_MTE	8	18	135	8	98	30	20
WE_D10_MTE_CENTRADOR	10	18	70	12	98	35	27
WE_D20_MTE	20	18	32	15	98	52	40
PORTAPINZAS							
PI_D60_L30_D48_L18	MTE						
PI_D50_L22_D40_L20	LAGUN						
PORTAPLATOS							
PP_D58_L34_PLANEAR	MTE						
PP_D48_L24_MTE	MTE						
PP_D48_L80_MTE	MTE						
PP_D48_L16_LAGUN	LAGUN						



PLATOS								
Nº Herramienta	nombre	diametro	longuitud	LEN NX	FL	Acanaladuras	Radio	tipo de porta
1	PL_D10_L80_FL10_A1	10	80		10	1	0	PINZA
2	PL_D12_L80_FL10_A1	12	80		10	1	0	PINZA
3	PL_D16_L100_FL10_A2	16			9,5	2		PINZA
4	PL_D20_L90_FL10_A3	20	90		10	3		PINZA
5	PL_D20_L152_FL5_A2_T	20	150		5	2	5	PINZA
6	PL_D25_L152_FL10_A3	25	152		10	3		PINZA
7	PL_D25_L167_FL15_A2	25	167		15	2	0,2	PINZA
8	PL_D32_L130_FL15_A3	32	130		15	3	0	WELDON
9	PL_D40_L152_FL6_A3_T	40		152	6	3	6	PINZA
10	PL_D50_L152_FL10_A3_T	50	55	152	10	3	3	PLATO
11	PL_D50_L152_FL8,5_A6	50	40	152	8,5	6		PLATO
12	PL_D50_L152_FL12_A4	50	40	152	12	4	0	PLATO
13	PL_D50_L152_FL12_A5	50	40	152	12	5	0	PLATO
14	PL_D52_L152_FL6_A5_T	52	40	152	6	5	6	PLATO
15	PL_D52_L152_FL15_A3	52	55	152	15	3	3	PLATO
16	PL_D63_L152_FL10_A6	63	40	152	10	6	0	PLATO
17	PL_D63_L152_FL8_A4_T	63	40	152	8	4	8	PLATO

FRESAS TÓRICAS								
Nº Herramienta	nombre	diametro	DIAM VASTAGO	longuitud	FL	Acan.	Radio	
1	TO_D4_R1_FL8_L75_A2	4		75	8	2	1	
2	TO_D6_R1_FL15_L100_A2	6		100	15	2	1	
3	TO_D8_R1_FL12_L64_A2	8		64	12	2	1	
4	TO_D8_R1_FL20_L100_A2	8		100	20	2	1	
5	TO_D10_R2_FL25_L73_A4	10		73	25	4	2	
6	TO_D10_R1,25_FL16_L73_A3	10		73	16	3	1.25	
7	TO_D10_R1,5_FL25_L73_A3	10		73	25	4	1.5	
8	TO_D10_R0,8_FL25_L73_A4	10		73	25	4	0.8	
9	TO_D12_R1,5_FL20_L83_A4	12		83	20	4	1.5	
10	TO_D12_R2_FL25_L73_A4	12		73	25	4	2	
11	TO_D12_R1_FL30_L100_A2	12		100	30	2	1	
12	TO_D16_R4_FL32_L93_A4	16		93	32	4	4	

FRESAS DE BOLA							
nombre	Nº Herramienta	diámetro	DIAMETRO VASTAGO	longitud	OS	FL	Acanaladuras
FB_D1,5_FL2_L38_A2	32	1,5		3	38	2	
FB_D1,5_FL2_L50_A2	34	1,5		6	50	2	
FB_D2,5_FL4_L48_A2	29	2,5		6	48	4	
FB_D3_FL5_L49_A2	30	3		6	49	5	
FB_D3_FL5_L100_A2	33	3			100	5	
FB_D4_FL9_L50_A2	24	4			50	9	
FB_D4_FL10_L54_A2	28	4		6	54	10	
FB_D4_FL8_L54_A2	31	4		6	54	8	
FB_D5_FL12_L50_A2	13	5			50	12	
FB_D5_FL10_L75_A2	14	5			75	10	
FB_D5_FL10_L54_A2	16	5		6	54	10	
FB_D5_FL10_L75_A2	17	5			75	10	
FB_D5_FL30_L72_A2	19	5			72	30	
FB_D5_FL10_L54_A2	23	5		6	54	10	
FB_D5_FL13_L50_A2	25	5			50	13	
FB_D5_FL15_L50_A2	26	5			50	15	
FB_D5_FL9_L54_A2	27	5		6	54	9	
FB_D5_FL25_L75_A2	35	5			75	25	
FB_D5_FL10_L155_A2	36	5		6	155	10	
FB_D6_FL20_L155_A2	2	6			155	20	
FB_D6_FL40_L100_A2	12	6			100	40	
FB_D6_FL7_L50_A2	15	6			50	7	
FB_D6_FL8_L50_A2	21	6			50	8	
FB_D8_FL18_L122_A3	3	8			122	18	3
FB_D8_FL15_L60_A2	8	8			60	15	
FB_D8_FL12_L100_A2	9	8			100	12	
FB_D8_FL40_L100_A2	10	8			100	40	
FB_D8_FL15_L60_A2	11	8			60	15	
FB_D8_FL32_L75_A2	20	8			75	32	
FB_D8_FL18_L88_A2	37	8			88	18	
FB_D10_FL38_L100_A2	7	10			100	38	
FB_D10_FL11_L60_A2	18	10			60	11	
FB_D10_FL20_L70_A2	22	10			70	20	
FB_D10_FL14_L63_A2	38	10			63	14	
FB_D10_FL12_L60_A2	39	10			60	12	
FB_D10_FL18_L100_A2	43	10			100	18	
FB_D12_FL42_L100_A2	6	12			100	42	
FB_D12_FL30_L110_A2	40	12			110	30	
FB_D12_FL18_L75_A2	41	12			75	18	
FB_D12_FL45_L100_A2	42	12			100	45	
FB_D12_FL20_L73_A2	50	12			73	20	
FB_D14_FL18_L73_A2	46	14		12	73	18	
FB_D14_FL25_L110_A2	47	14		12	110	25	
FB_D14_FL25_L110_A2	48	14		12	110	25	
FB_D16_FL34_L195_A4	1	16			195	34	4
FB_D16_FL32_L105_A2	4	16			105	32	
FB_D16_FL32_L123_A2	5	16			123	32	
FB_D16_FL20_L76_A2	44	16			76	20	
FB_D16_FL20_L80_A2	49	16			80	20	
FB_D20_FL25_L86_A2	45	20		16	86	25	
FB_D20_FL25_L88_A2	51	20			88	25	
Leyenda							
	Herramienta en NX						

FRESAS PLANAS						
nombre	Nº Herramienta	diametro	DIAM VASTAGO	longitud	FL	Acanaladuras
FP_D1_FL2_L38_A2	1	1	2	38	2	
FP_D1,5_FL3_L50_A2	2	1,5	3	50	3	
FP_D2_FL7_L50_A2	3	2	4	50	7	
FP_D2_FL5_L45_A3	4	2	6	45	5	3
FP_D3_FL9_L50_A2	5	3		50	9	
FP_D3_FL6_L50_A3	6	3	6	50	6	3
FP_D4_FL12_L100_A2	7	4		100	12	
FP_D4,5_FL10_L50_A2	8	4,5	5	50	10	
FP_D5_FL12_L50_A2	9	5		50	12	
FP_D6,5_FL17_L60_A2	10	6,5	8	60	17	
FP_D9,5_FL15_L67_A3	11	9,5	10	67	15	3
FP_D16_FL45_L100_A2	12	16		100	45	

FRESAS DE CHAFLANES							
nombre	Nº Herramienta	diametro	DIAM VASTAGO	longitud	ANGULO	FL	Acan.
FC_D4_FL7_L55_AN60	1	4		55	60		
FC_D6_FL10_L55_AN60	2	6		55	60		
FC_D4_FL10_L55_AN90	3	4		55	90		
FC_D6_FL10_L55_AN90	4	6		55	90		
FC_D6_FL17_L62_AN90	5	6		62	90		
FC_D8_FL7_L55_AN90	6	8		55	90		
FC_D12_FL20_L100_AN90	7	12		100	90		
FC_D12_FL24_L165_AN90	8	12		165	90		
FC_D16_FL8.5_L75_A2_AN90	9	16	28,5	75	90	8,5	2
FC_D63_FL8.5_L75_A5_AN90	10	63	76	75	90	8,5	5
FC_D80_FL8.5_L75_A4_AN90	11	80	93	75	90	8,5	4
FC_D100_FL8.5_L75_A7_AN90	12	100	110	75	90	8,5	7
FC_D12_FL24_L165_AN120	13	12		165	120		

FRESAS EN T									
Nº Herramienta	nombre	diametro	CONO	D INF	L CONO	ND	longitud	FL	Acan.
1	T_D10.5_FL2_L50_ND6_A8	10.5	SI	4	13	6	50	2	8
2	T_D12.5_FL6_L56_ND10_A6	12.5		4.5	15	10	56	6	6
3	T_D13.5_FL4_L37_ND10_A10	13.5		6	17	10	37	4	10
4	T_D16.5_FL5_L56_ND10_A10	16.5		9	25	10	56	5	10
5	T_D16.5_FL3_L56_ND10_A10	16.5		7	16	10	56	3	10
6	T_D16.5_FL4_L56_ND10_A10	16.5		4	20	10	56	4	10
7	T_D18_FL8_L70_ND12_A6	18		8	23	12	70	8	6
8	T_D21_FL9_L74_ND12_A8	21		10	25	12	74	9	8
9	T_D22.5_FL5_L62_ND10_A10	22.5	SI	7	20	10	62	5	10
10	T_D22.5_FL6_L62_ND10_A10	22.5	SI	6	22	10	62	6	10
11	T_D25.5_FL6_L62_ND10_A10	25.5		8	20	10	62	6	10
12	T_D28.5_FL8_L62_ND10_A10	28.5	SI	9	22	10	62	8	10
13	T_D32_FL14_L90_ND16_A8	32		15	40	16	90	14	8
14	T_D38.5_FL8_L70_ND12_A12	38.5	SI	11	25	12	70	8	12
15	T_D32.5_FL6_L70_ND12_A12	32.5	SI	9	24	12	70	6	12

BROCAS							
Nº Herramienta	nombre	diametro	DIAM VASTAGO	longitud	FL	Acan.	ANUGULO
1	BR_D10_L50	10		50	30	2	118
2	BR_D12_L50	12		50	30	2	118
3	BR_D3_L50	3		50	30	2	118
4	BR_D4_L50	4		50	30	2	118
5	BR_D5_L50	5		50	30	2	118
6	BR_D6_L50	6		50	30	2	118
7	BR_D8_L50	8		50	30	2	118
8	BR_D9_L50	9		50	30	2	118
9	BR_D3.8_L50	3,8		50	30	2	118
10	BR_D4.8_L50	4,8		50	30	2	118
11	BR_D5.8_L50	5,8		50	30	2	118
12	BR_D7.8_L50	7,8		50	30	2	118
13	BR_D9.8_L50	9,8		50	30	2	118
14	BR_D11.8_L50	11,8		50	30	2	118

ESCARIADORES						
Nº Herramienta	nombre	diametro	DIAM VASTAGO	longitud	FL	Acan.
1	ESC_4H7	4		75	30	2
2	ESC_5H7	5		75	30	2
3	ESC_6H7	6		75	30	2
4	ESC_8H7	8		75	30	2
5	ESC_10H7	10		75	30	2
6	ESC_12H7	12		75	30	2