

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES

T-385/D
1996

**INTEGRACIÓN DE LAS FUNCIONES DE
PROGRAMACIÓN DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS
DE CONTROL NUMÉRICO MEDIANTE UNA
APLICACIÓN ORIENTADA A OBJETOS BASADA
EN UN MODELO DE INFORMACIÓN DE
OPERACIONES DE MECANIZADO**

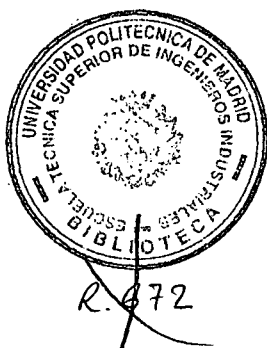
TESIS DOCTORAL

por

JOSÉ RÍOS CHUECO
Ingeniero Industrial
Universidad Politécnica de Madrid

Director

ANTONIO VIZÁN IDOIBE
Doctor Ingeniero Industrial
Universidad Politécnica de Madrid



1996

Tribunal nombrado por el Mgfc. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día _____ de _____ de 19____.

PRESIDENTE D. _____

VOCAL D. _____

VOCAL D. _____

VOCAL D. _____

SECRETARIO D. _____

Realizando el acto de defensa y lectura de la Tesis el día _____
de _____ de 19 _____
en _____

Calificación: _____

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a D. Antonio Vizán Idoipe por su dirección, estímulo, y asistencia a lo largo de todo el desarrollo de la Tesis.

Igualmente, deseo agradecer de manera muy especial el constante apoyo y consejos prestados por D. Jesús M^a Pérez García.

A D. José A. Ventura por su asistencia durante mi estancia en el Dept. of Industrial & Management Systems Engineering - The Pennsylvania State University.

A D. Francisco Sastrón Baguena por su asistencia durante el primer año de realización del trabajo.

Agradecer también la ayuda prestada durante estos años por los que fueron becarios en el Departamento, especialmente: Mar Quereda, Gema García y Francisco Javier Valle.

Finalmente, deseo expresar mi gratitud de manera muy especial a mis padres, y a todas aquellos amigos y personas que de alguna forma han contribuido con su comprensión, paciencia y estímulo a la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres

ÍNDICE

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE	vi
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABLAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
 CAPÍTULOS (Volumen 1)	
1. INTRODUCCIÓN.	
1.1. ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	2
1.2. ÁMBITO DE APLICACIÓN DE LA TESIS	4
1.3. OBJETIVOS DE LA TESIS	10
1.4. PLAN DE DESARROLLO Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	12
1.5. MEDIOS UTILIZADOS EN LA REALIZACIÓN DE LA TESIS.....	13
 2. ESTADO DEL ARTE EN EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN EN ENTORNOS DE FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADOR.	
2.1. NORMAS PARA INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN GRÁFICA Y GEOMÉTRICA.....	15
2.2. NORMAS PARA INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN DE CONTROL NUMÉRICO.....	20
2.3. NECESIDAD DEL MODELADO DE PRODUCTO Y PROCESO.....	22
2.4. NORMAS PARA INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN DE PRODUCTO	28
2.5. PROBLEMÁTICA QUE SE PLANTEA Y SOLUCIONES ADOPTADAS EN LA TESIS	33
2.6. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES ADOPTADAS EN LA TESIS EN RELACIÓN CON LAS INICIATIVAS RELATIVAS AL MODELADO DE INFORMACIÓN DE FABRICACIÓN.....	43

3. MODELOS DESARROLLADOS.

3.1. INTRODUCCIÓN	55
3.2. MODELO DE ACTIVIDADES	
3.2.1. Ámbito de aplicación	56
3.2.2. Nodo A-0 - Diagrama de contexto	58
3.2.3. Nodo A0 - Fabricar producto	62
3.2.4. Nodo A2 - Realizar planificación de procesos	67
3.2.5. Nodo A23 - Generar programas para MHCN	70
3.2.6. Nodo A234 - Definir operaciones	72
3.2.7. Nodo A24 - Verificar programas MHCN	74
3.2.8. Nodo A3 - Realizar producción.....	78
3.2.9. Nodo A31 - Preparar y proporcionar recursos de producción	81
3.2.10. Nodo A314 - Preparar MHCN.....	84
3.3. ANÁLISIS DE LA DEFINICIÓN ACTUAL DE LA INFORMACIÓN DE FABRICACIÓN EN SISTEMAS ASISTIDOS POR COMPUTADOR.	
3.3.1. Introducción.....	85
3.3.2. Análisis de la definición de la información de fabricación en los sistemas basados en APT.....	86
3.3.3. Análisis de la definición de la información de fabricación en los sistemas CAD/CAM.....	87
3.3.3.1. Módulo CATIA de CN para centro de mecanizado	88
3.3.3.2. Módulo EUCLID3 de CN para centro de mecanizado	90
3.3.4. Análisis de la definición de la información de fabricación en los sistemas CNC	92
3.3.4.1. Sistema FAGOR 8020 M.....	92
3.3.4.2. Sistema SIEMENS SINUMERIK 840D	92
3.3.4.3. Sistema MAZAK MAZATROL M-32.....	92
3.3.4.4. Sistema GE FANUC 15-MF.....	93
3.3.5. Conclusiones.....	95
3.4. MODELO DE INFORMACIÓN DESARROLLADO	
3.4.1. Introducción.....	99
3.4.2. Submodelo de geometría	102
3.4.2.1. Introducción	102

3.4.2.2.	Descripción	103
3.4.3.	Submodelo de patrones de localización geométrica	107
3.4.3.1.	Introducción	107
3.4.3.2.	Descripción	107
3.4.4.	Submodelo de herramientas	116
3.4.4.1.	Introducción	116
3.4.4.2.	Descripción	117
3.4.5.	Submodelo de operaciones de mecanizado	123
3.4.5.1.	Introducción.....	123
3.4.5.2.	Descripción	125
4. APLICACIÓN ORIENTADA A OBJETOS BASADA EN OPERACIONES DE MECANIZADO		
4.1.	ENTORNO DE DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN.....	138
4.2.	METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE LA APLICACIÓN	139
4.3.	ARQUITECTURA DE LA APLICACIÓN DESARROLLADA	
4.3.1.	Introducción.....	141
4.3.2.	Programas de cambio de formato	143
4.3.3.	Definición de la correspondencia entre la información procedente de Euclid3 y el modelo de referencia	144
4.3.4.	Definición e implementación de clases	165
4.3.5.	Funciones para la generación de la base de datos.....	169
4.3.6.	Programa de conversión a nivel de trayectoria	170
5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES		
5.1. RESULTADOS		
5.1.1.	Ejemplo 1	175
5.1.2.	Ejemplo 2	178
5.1.3.	Ejemplo 3	182
5.2.	CONCLUSIONES	194
5.3.	CONTRIBUCIONES DE LA TESIS	197
5.4.	RECOMENDACIONES PARA FUTUROS DESARROLLOS.....	199
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		203

ANEXOS (Volumen 2)**ANEXO A. TABLAS DE PARÁMETROS**

APT	220
Postprocesador (ISO 4343:1978).....	222
EXAPT 1	223
CATIA.....	224
EUCLID3	229
FAGOR 8020 M.....	235
SIEMENS SINUMERIK 840D	237
MAZAK MAZATROL M-32.....	240
GE FANUC 15-MF.....	246

ANEXO B. MODELO DE INFORMACIÓN DESARROLLADO (EXPRESS-G, EXPRESS)

SUBMODELO DE GEOMETRÍA	253
SUBMODELO DE PATRONES DE LOCALIZACIÓN GEOMÉTRICA.....	260
SUBMODELO DE HERRAMIENTAS.....	277
SUBMODELO DE OPERACIONES DE MECANIZADO	293
TABLAS DE ATRIBUTOS DE OPERACIONES	313

ANEXO C. I-ARM (EXPRESS).

Implementable-Application Reference Model (I-ARM).....	316
--	-----

ANEXO D. FICHEROS DE RESULTADOS

Fichero de proceso pplaca1.txt	333
Fichero de geometría p1geoc1d.step.....	336
Fichero de geometría p1geoc2d.step.....	338
Fichero de programa 1cnpplaca1.txt.....	340
Fichero de programa 2cnpplaca1.txt.....	342
Fichero de programa placa1-1.step.....	344
Fichero de programa placa1-2.step.....	345
Fichero de programa placa1-1.iso.....	346
Fichero de programa placa1-2.iso.....	347
Fichero de programa pplaca11.apr.....	348
Fichero de programa pplaca12.apr.....	349

Fichero de programa pplaca11.iso	351
Fichero de programa pplaca12.iso	352
Fichero de proceso pplaca2.txt	353
Fichero de programa pplaca2-1.step.....	361
Fichero de programa pplaca2.2.step.....	362
Fichero de programa pplaca2-3.step.....	365
Fichero de programa pplaca21.apr.....	366
Fichero de programa pplaca22.apr.....	367
Fichero de programa pplaca23.apr.....	383
Fichero de programa pplaca21.iso	385
Fichero de programa pplaca22.iso	386
Fichero de programa pplaca23.iso	395
Fichero de proceso pplaca3.txt	396
Hojas de proceso de pplaca3.....	418
Hojas de ciclos de pplaca3.....	420
Hojas de herramientas de pplaca3.....	450
Fichero de programa pplaca3-1.step.....	463
Fichero de programa pplaca31.apr.....	473
Fichero de programa pplaca31.iso	494

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
2.1. Organización de los sistemas CAX	17
2.2. Evolución de las normas, estándares e iniciativas de Nivel de Aplicación	18
2.3. Programación de las MHCN a nivel de trayectoria en código ISO.....	21
2.4. Arquitectura de modelado de información en fabricación.....	35
2.5. Niveles de información en fabricación.....	36
2.6. Ejemplo de los niveles de información de fabricación	40
2.7. Estructura actual y propuesta de programación automática de las MHCN.....	42
2.8. Definición EXPRESS de la entidad <i>material_removal</i>	48
2.9. Definición EXPRESS de la entidad <i>action_method</i>	49
2.10. Definición EXPRESS de la entidad <i>action_resource</i>	49
2.11. Definición EXPRESS de la entidad <i>action_property</i>	49
2.12. Definición EXPRESS de la entidad <i>resource_property</i>	50
2.13. Correspondencia de entidades del AIM para <i>NC_program</i>	50
3.1. NODO A-0: Diagrama de contexto	57
3.2. NODO A0: Fabricar producto	61
3.3. NODO A2: Realizar planificación de procesos	66
3.4. NODO A23: Generar programas para MHCN.....	69
3.5. NODO A234: Definir operaciones	71
3.6. NODO A24: Verificar programas MHCN.....	73
3.7. NODO A3: Realizar producción.....	77
3.8. NODO A31: Preparar y proporcionar recursos de producción.....	80
3.9. NODO A314: Preparar MHCN.....	83
3.10. Procedimiento de definición de procesos de mecanizado en CATIA	89
3.11. Procedimiento de definición de procesos de mecanizado en EUCLID3.....	91
3.12. Procedimiento de programación interactiva del control MAZATROL M-32.....	93
3.13. Procedimiento de programación interactiva del control GE Fanuc 15-MF.....	94
4.1. Entorno de desarrollo de la aplicación	138
4.2. Metodología de desarrollo de la aplicación	140
4.3. Arquitectura de la aplicación desarrollada.....	141

5.1. Croquis de la pieza: <i>placa 1</i>	176
5.2. Croquis de la pieza: <i>placa 2</i>	179
5.3. Croquis de la pieza: <i>placa 3</i>	183
5.4. Vista axonométrica de la pieza: <i>placa 3</i>	184
5.5. Hoja de proceso de la pieza: <i>placa 3</i>	190
5.6. Croquis de disposición en máquina de la pieza: <i>placa 3</i>	191
5.7. Niveles de información en fabricación	197

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
2.1. Lista de documentos de la norma ISO 10303 - STEP	31
4.1. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Atributos generales de mecanizado	146
4.2. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Herramientas de corte	147
4.3. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de centrado	148
4.4. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de taladrado	148
4.5. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de taladrado profundo	149
4.6. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de avellanado cilíndrico	150
4.7. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de avellanado cónico	150
4.8. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de mandrinado	151
4.9. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de escariado	152
4.10. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de roscado	152
4.11. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de taladrado múltiple	153
4.12. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de planeado en desbaste	154
4.13. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de planeado en acabado	155
4.14. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de contorneado en desbaste	156
4.15. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de contorneado en acabado	157
4.16. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de vaciado en desbaste	158
4.17. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de vaciado en acabado	159
4.18. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de vaciado en desbaste con isla	160
4.19. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de vaciado en acabado con isla	161
4.20. Lista de funciones para capturar información tecnológica	163
4.21. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Información geométrica	165
4.22. Lista de clases: Euclid3	166
4.23. Lista de clases: I-ARM	167
4.24. Lista de funciones para la generación de la base de datos	170
4.25. Correspondencia I-ARM - Código ISO Siemens 810M	172
A-1. Definición de herramientas - APT	220
A-2. Operación de vaciado - APT	220
A-3. Patrones de localización de agujeros - APT	221

A-4. Operaciones de postprocesador (ISO 4343:1978).....	222
A-5. Operaciones de taladrado - EXAPT1	223
A-6. Definición de herramientas - Catia	224
A-7. Mecanizado de agujeros - Catia.....	225
A-8. Mecanizado de superficies - Catia.....	226
A-9. Mecanizado de contornos - Catia.....	227
A-10. Mecanizado de cavidades - Catia.....	228
A-11. Definición de herramientas - Euclid3.....	229
A-12. Mecanizado de agujeros - Euclid3.....	230
A-13. Mecanizado de superficies - Euclid3.....	231
A-14. Mecanizado de contornos - Euclid3.....	232
A-15. Mecanizado de cavidades - Euclid3	233
A-16. Ciclos de taladrado - Fagor 8020 M	234
A-17. Ciclos de fresado - Fagor 8020 M	235
A-18. Ciclos de taladrado - Siemens Sinumerik 840D	236
A-19. Ciclos de patrones geométricos de taladrado - Siemens Sinumerik 840D	237
A-20. Ciclos de fresado - Siemens Sinumerik 840D	238
A-21. Operaciones de la unidad de mecanizado de agujeros - Mazak Mazatrol M-32	239
A-22. Definición de htas. para mecanizado de agujeros - Mazak Mazatrol M-32.....	240
A-23. Patrones geométricos de posición de agujeros - Mazak Mazatrol M-32.....	241
A-24. Operaciones de la unidad de mecanizado de contornos - Mazak Mazatrol M-32 ...	242
A-25. Operaciones de la unidad de mecanizado de superficies - Mazak Mazatrol M-32 ...	243
A-26. Definición de la sec. de formas para op. de fresado - Mazak Mazatrol M-32	244
A-27. Definición de herramientas - GE Fanuc 15-MF	245
A-28. Operaciones de mecanizado de agujeros - GE Fanuc 15-MF.....	246
A-29. Patrones geométricos de posición de agujeros - GE Fanuc 15-MF	247
A-30. Operaciones de mecanizado de superficies - GE Fanuc 15-MF	248
A-31. Operaciones de mecanizado de contornos - GE Fanuc 15-MF.....	249
A-32. Operaciones de mecanizado de cavidades - GE Fanuc 15-MF	250
B-1. Atributos de las operaciones de mecanizado de agujeros	313
Atributos de las operaciones de fresado	314

LISTA DE ABREVIATURAS

AAM:	Application Activity Model
AIM:	Application Interpreted Model
ALPS:	A Language for Process Specification
AMICE:	European Computed Integrated Manufacturing Architecture (en inverso)
APT:	Automatically Programmed Tool
ARM:	Application Reference Model
BCL:	Binary Cutting Location
CAD*I:	CAD Interfaces
CAD:	Computed Aided Design
CADEX:	CAD geometry data EXchange
CAE:	Computed Aided Engineering
CAI:	Computed Aided Inspection
CAM:	Computed Aided Manufacturing
CAM-I.	Computed Aided Manufacturing - International
CAPP:	Computed Aided Process Planning
CASE:	Computed Aided Software Engineering
CAX:	Computed Aided X (se refiere a cualquier sistema asistido por computador)
CGI:	Computer Graphic Interface
CGM:	Computer Graphic Metafile
CIM:	Computer Integrated Manufacturing
CIMOSA:	Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture
CLDATA:	Cutter Location DATA
CN:	Control Numerico (se considera equivalente a CNC)
CNC:	Computer Numerical Control (Control Numérico por Computador)
CORBA:	Common Object Request Broker Architecture
EDIF:	Electronic Design Interchange Format
GKS:	Graphical Kernel System
HTA:	herramienta
I-ARM:	Implementable-Application Reference Model
ICAM:	Integrated Computer Aided Manufacturing
IDEF0:	ICAM DEFinition 0

IDEF1X:	ICAM DEFinition 1 eXtended
IGES:	Initial Graphics Exchante Specification
IMPPACT:	Integrated Modelling of Products and Processes using Advanced Computed Technology
MHCN:	Máquinas Herramienta de Control Numérico
MRPII:	Material Resources Planning II
MRSEV:	Material Removal Shape Element Volumes
NIAM:	Nijssen's Information Analysis Methodology
NIRO:	Neutral Interfaces in design, simulation, and programming for Robotics
OLPS:	Off-Line Programming System
OMT:	Object Modeling Technique
PDDI:	Product Data Definition Interface
PDES:	Product Data Exchange using STEP
PDGL:	Part Design Graph Language
PHIGS:	Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System
SAC:	Sistema Asistido por Computador
SADT:	Structured Analysis and Design Technique
SDAI:	Standard Data Access Interface
SET:	Système d'Exchanges et de Transferts
STEP:	STandard for the Exchange of Product model data
VDAFS:	Veband der Automobilindustrie-Flächenschnittstelle
VME:	Volumen de Material a Eliminar

RESUMEN

Palabras clave: procesos de mecanizado, CNC, CAM, programación automática de máquinas herramienta, modelado de información de fabricación, STEP.

Dentro de un entorno integrado de fabricación asistida por computador, el intercambio de información de fabricación entre los distintos sistemas CAX y los sistemas CNC presenta una serie de aspectos problemáticos:

1. En su gran mayoría, los sistemas CAX actuales no han sido diseñados para compartir información, por lo que disponen de una estructura de datos específica y cerrada.
2. Los distintos tipos de sistemas CAX operan sobre niveles de abstracción de información de producto y procesos distintos.
3. El intercambio de información de fabricación se realiza a nivel de trayectoria, y principalmente en código ISO.
4. Adicionalmente a las palabras APT, existe un grupo de palabras de postprocesador normalizadas que permiten traducir ciertas operaciones de mecanizado (operaciones de taladrado) a código ISO. Sin embargo, la implementación de estas palabras de postprocesador depende de cada sistema CAM, y adicionalmente, los patrones geométricos de localización y las operaciones de fresado no son soportadas.
5. Existe una carencia en la estandarización de las operaciones básicas de mecanizado. Dicha estandarización debería permitir el desarrollo de un protocolo para el intercambio de información a nivel de operaciones. Este protocolo sería la base para el intercambio de información de operaciones entre distintos sistemas CAM, y entre sistemas CAM y sistemas CNC, conduciendo a una mejora en la programación automática de las MHCN.

Con objeto de mejorar estos aspectos problemáticos, en la Tesis se ha desarrollado un modelo de información a nivel de operaciones para procesos de taladrado y fresado. En el desarrollo de dicho modelo se ha adoptado la norma para representación e intercambio de información de producto ISO 10303-STEP. El modelo de información define una estructura de datos que se emplea posteriormente en el desarrollo de una aplicación orientada a objetos para la programación automática de MHCN a nivel de operaciones en formato STEP. La aplicación tiene como entrada información geométrica (vía ficheros STEP) e información tecnológica de los procesos (vía ficheros de procesos ASCII). La generación de estos ficheros se realiza en un sistema CAD/CAM comercial.

ABSTRACT

Key words: *Machining processes, CNC, CAM, machine tool automatic programming, manufacturing information modeling, STEP.*

In the computer aided manufacturing integrated environment, some problematic issues arise in the exchange of manufacturing information between the different CAD/CAM systems and the CNC systems:

1. Currently, most of the CAX systems have not been developed to share information, due to that, these systems have a proprietary and specific data structure.
2. The current CAX systems operate on different levels of abstraction of the product and processes information.
3. The manufacturing information exchange is carried out at the toolpath level, and mainly in the ISO code.
4. In addition to the APT words, there is a group of standardized postprocessor words which allow to translate some machining operations (drilling ones) into ISO code. However, the implementation of these postprocessor words depends on each CAM system, and besides that the milling operations and the machining location patterns are not completely supported.
5. There is a lack in the standardization of the basic machining operations. Such standardization should allow to define a consistent protocol for the exchange of information at the machining operation level. This protocol should allow to exchange and share manufacturing processes information between dissimilar CAM systems, and between CAM systems and CNC systems as well. This way should led to an improvement in the CNC machine tool automatic programming.

In order to improve these problematic issues, an information model on the operation level for drilling and milling processes has been developed in the Thesis. The standard ISO 10303-STEP for representation and exchange of product information has been adopted in the model development. This information model defines a data structure which is the basis for the later development of an object-oriented STEP based application. This prototype application can be used for the automatic programming of CNC machine tools in the operation level. The inputs to the application are STEP geometry files for the geometric information, and ASCII process files for the process technological information. These files are generated in a commercial CAD/CAM system.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. ESTRUCTURA DE LA TESIS.

La redacción de la tesis se ha estructurado en cinco capítulos y cuatro anexos cuyo contenido se comenta a continuación brevemente.

1) INTRODUCCIÓN.

- Contiene una descripción general que justifica la realización de la tesis, los objetivos que se han pretendido alcanzar en su realización, los resultados que se han obtenido, y los medios que se han empleado para su desarrollo.

2) ESTADO DEL ARTE EN EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN EN ENTORNOS DE FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADOR.

- Contiene una descripción de las normas, estándares y especificaciones que se aplican en el entorno del intercambio de información gráfica y geométrica, a continuación se realiza también una descripción de las normas y especificaciones para información de control numérico, se justifica la necesidad del modelado de producto y procesos como aspecto fundamental en el desarrollo de sistemas integrados por computador que faciliten la implantación de metodologías de ingeniería concurrente, posteriormente se describe la norma ISO 10303 - STEP actualmente en desarrollo y que permite la representación y el intercambio de información de producto, se comentan los aspectos problemáticos que se derivan de la situación actual y las soluciones adoptadas en la tesis, para finalizar describiendo las iniciativas más importantes relacionadas con el modelado de información de fabricación y la relación existente entre las soluciones adoptadas en la tesis y dichos trabajos de investigación.

3) MODELOS DESARROLLADOS.

- Este capítulo contiene los resultados obtenidos de aplicar la metodología STEP en el desarrollo de un modelo de información en el ámbito de la tesis, nivel de operaciones dentro de la información de fabricación. Comprende en primer lugar el desarrollo de un modelo de actividades, para el que se ha utilizado la metodología IDEF0, posteriormente se realiza un análisis de la información de fabricación en los sistemas CAD/CAM y en los sistemas CNC como resultado del cual se han creado una serie de tablas que se recogen en el Anexo A, a continuación se describe el modelo de información desarrollado, como resultado del cual en el Anexo B se recoge dicho modelo en forma textual (EXPRESS) y en modo gráfico (EXPRESS-G).

- 4) **APLICACIÓN ORIENTADA A OBJETOS BASADA EN OPERACIONES DE MECANIZADO.**
- En este capítulo se describe el entorno de desarrollo en el cual se ha realizado la aplicación, la metodología que se ha utilizado durante su desarrollo, su arquitectura en cuanto a los distintos módulos y tipos de programas que la integran, y la correspondencia de la estructura de datos entre el modelo de información desarrollado e implementado (I-ARM), que se recoge en Anexo C, y los datos procedentes de los ficheros utilizados como entrada en la aplicación. En el Anexo C se recoge también un ejemplo de cada uno de estos ficheros de datos de entrada procedentes del sistema CAD/CAM Euclid3.

- 5) **RESULTADOS Y CONCLUSIONES.**
- Comprende una descripción de los tres ejemplos de proceso de mecanizado de tres piezas distintas empleados para demostrar los resultados que se obtienen de la aplicación desarrollada. El listado de los ficheros STEP de operaciones que constituyen la base de datos creada como resultado de la ejecución de la aplicación se encuentran en el Anexo D. A continuación se reflejan las conclusiones que se extraen como consecuencia de los resultados obtenidos, la experiencia adquirida a lo largo del desarrollo de la tesis, así como de los aspectos problemáticos que se han ido presentando a lo largo de su desarrollo. Posteriormente se comentan las contribuciones generales de la tesis, y finalmente se proporcionan unas recomendaciones para futuros desarrollos.

- Anexo A. Tablas resultantes del análisis de la información de fabricación de los sistemas CAD/CAM y de los sistemas CNC.
- Anexo B. Listado EXPRESS y diagramas EXPRESS-G de los modelos desarrollados.
- Anexo C. Listado EXPRESS del I-ARM.
- Anexo D. Listado de los programas de operaciones STEP obtenidos con la aplicación desarrollada. Listado del programa de trayectoria en formato ISO obtenido con el postprocesador desarrollado. Listado de los programas de control numérico de trayectoria en formato APT, e ISO procedentes del sistema CAD/CAM.

1.2. ÁMBITO DE APLICACIÓN DE LA TESIS.

En la actualidad aproximadamente el 90% de la fabricación de productos se realiza en lotes de tamaño medio o pequeño, menos de 50 unidades. Este hecho ha conducido a la implantación de sistemas de fabricación con una alta flexibilidad y con tiempos de preparación muy bajos, consecuencia del bajo volumen de producción por pieza, lo que obliga a realizar frecuentes cambios de operaciones en cada máquina del sistema. Ambos condicionamientos, disminución de tiempos de preparación y flexibilidad del sistema deben estar presentes tanto en los equipos de fabricación, como en el desarrollo de las actividades que van desde el diseño a la producción de las piezas.

Desde el punto de vista de los equipos de taller, la disminución de tiempos de preparación y la flexibilidad se traduce de forma general en el empleo de máquinas y adaptadores de herramientas de tipo universal, utilización de herramientas y utillaje de tipo estándar, sistemas automatizados de carga y descarga, etc. La flexibilidad en la disposición en planta conduce a la implantación de sistemas de fabricación flexible que en general se componen de máquinas herramientas de control numérico, robots, máquinas de inspección de control numérico, y sistemas de almacenamiento y mantenimiento automatizados e integrados por computador.

Desde el punto de vista de las actividades de fabricación, la disminución de tiempos y la flexibilidad se traduce en la utilización cada vez más extensa de sistemas asistidos por computador en la realización de dichas tareas, por ejemplo: diseño (CAD), análisis (CAE), planificación de procesos(CAPP), gestión y programación de recursos (MRPII), inspección (CAI), programación de control numérico (CAM), etc.

La integración de todos los aspectos de la fabricación, recursos y actividades, de una forma coordinada, optimizada y flexible conduce en primer lugar a la realización de numerosas tareas de manera simultánea y no de forma secuencial como venía siendo habitual, es decir, implantación de métodos de ingeniería simultánea o concurrente, y en segundo lugar a la implantación de los sistemas de fabricación integrada por computador.

El desarrollo de los sistemas integrados así como el empleo de los métodos de trabajo basados en la ingeniería concurrente requiere de la aplicación del concepto de integración en distintas áreas o niveles:

- 1) Integración de las distintas actividades que componen el sistema o la empresa;
- 2) integración del soporte físico de comunicaciones, plataformas informáticas;
- 3) integración de las aplicaciones informáticas utilizadas.

El hecho de que el desarrollo y aplicación de estos sistemas se realice en entornos heterogéneos, tanto desde el punto de vista de equipos como de aplicaciones, condiciona el empleo de normas o estándares en cada uno de los niveles sin cuya utilización la integración e intercomunicación entre los distintos sistemas computerizados no sería posible.

Desde el punto de vista del usuario esta integración se traduce en términos de disponibilidad, accesibilidad y consistencia de la información. Convirtiéndose por tanto la integración de la información en un factor clave para la aplicación de la ingeniería concurrente y el éxito de los sistemas de fabricación integrada por computador.

Un aspecto fundamental en el desarrollo de sistemas integrados lo tiene la base conceptual o conocimiento tecnológico sobre el que se desarrolla el sistema. El conocimiento de dicha base conceptual permite realizar una especificación consistente de las actividades e información que comprende el sistema a través del desarrollo de un modelo de actividades y de un modelo de información del mismo.

En el entorno de la fabricación se pueden distinguir tres tipos de actividades:

- a) Actividades preparatorias: planificación de la producción, planificación de procesos, programación de la producción, preparación de herramientas y utillaje, preparación de máquinas, realización de programas de control numérico, etc.
- b) Actividades auxiliares: mantenimiento de equipos, manutención y transporte de materiales y piezas, inspección de calidad, control de la producción, análisis de costes, etc.
- c) Actividades de actuación sobre el material o producto: aquellas que actúan directamente sobre los objetos fabricados, cambiando la forma, dimensiones y propiedades del material en bruto o producto semielaborado para obtener el producto final.

Con objeto de asegurar la correcta planificación y ejecución del procedimiento de fabricación se requiere de un conjunto de información, que fluye a lo largo de las distintas actividades tanto preparatorias, como auxiliares, y de actuación que componen la fabricación de productos. Ejemplo de esta información lo constituye la diferente documentación generada a lo largo del proceso, como por ejemplo, planos de fabricación, croquis, hojas de herramientas, hojas de proceso, hojas de operaciones, programas de control numérico, etc.

Esta información de fabricación se ha clasificado en niveles de particularización dependiendo de la etapa del proceso de fabricación en la que se genera, se han considerado cinco niveles de información:

- (1) Nivel de procedimiento.
- (2) Nivel de plan de procesos.
- (3) Nivel de plan de operaciones.
- (4) Nivel de operaciones.
- (5) Nivel de trayectoria de herramienta

Por debajo del nivel de trayectoria aparece el nivel de accionamiento de máquinas que no se ha considerado como información de fabricación.

De forma general, la situación actual en el intercambio y compartición de información de fabricación se puede resumir en los siguientes puntos:

1. No existe una integración de los sistemas CAX que permita disponer de un flujo de información eficiente entre la etapa de diseño, la de planificación, y la de producción. Como argumentos que vienen a justificar esta situación se pueden citar:
 - Con el objetivo de reducir el tiempo de diseño, se ha producido un mayor desarrollo de los sistemas orientados a la definición geométrica de productos, sistemas CAD. Justificado por la elevada influencia del diseño en el coste final de un producto. La estructura interna de datos de dichos sistemas CAD se ha orientado a la representación de geometría condicionando de esta forma la estructura que deben tener los sistemas CAX que se utilizan en las etapas posteriores. La información de fabricación relativa a tolerancias tanto de macrogeometría como de microgeometría, la relativa al material, así como la relacionada con especificaciones funcionales, se representa casi exclusivamente en forma de anotaciones o elementos de texto en planos 2D, o en vistas 3D, lo que impide su utilización posterior por parte de casi cualquier sistema de fabricación o planificación asistida por computador
 - El resultado obtenido de los desarrollos de sistemas de planificación asistida por computador (sistemas CAPP) que deberían servir de enlace entre las etapas de diseño de producto (aceptar como datos de entrada la información procedente de sistemas CAD) y la de preparación de programas de control numérico (generar una salida adecuada para la generación de los programas de control numérico con sistemas CAM) ha sido insatisfactorio en la practica totalidad de los casos. Esta situación se debe en gran medida a que el desarrollo de sistemas CAPP se ha venido realizando de forma independiente al de los sistemas CAD/CAM, al tiempo que se orientaban fundamentalmente

hacia la generación de documentos en los que se recoge un listado de las operaciones a realizar. Uno de los grandes problemas que se plantea es la gran complejidad en el análisis de la geometría de las piezas generadas mediante los sistemas CAD actuales, lo que ha conducido a que el desarrollo de estos sistemas se haya centrado en determinado tipo de piezas (rotacionales, prismáticas). Como consecuencia el grado de automatización de dichos sistemas es bastante bajo, y su interfase con los sistemas CAD y CAM es bastante limitado.

2) Actualmente, el intercambio de información de fabricación entre sistemas computerizados se limita fundamentalmente al que se establece entre los sistemas CAM y los sistemas CNC, realizándose prácticamente en su totalidad a nivel de trayectoria de herramienta en código ISO [ISO82a]. Únicamente en EE.UU., dentro del sector aeronáutico se emplea el código BCL (Binary Cutting Location) [MAH90]. La ausencia de una normalización en la programación orientada a operaciones de mecanizado ha condicionado que no se hayan desarrollado postprocesadores para este tipo de programación. Realmente los sistemas que se conocen como de fabricación asistida por computador (sistemas CAM) están limitados a la realización de la programación automática de máquinas herramienta de control numérico a nivel de trayectoria. De la utilización de estos sistemas en la programación automática de MHCN puede obtenerse dos tipos de información:

- Información de operaciones de mecanizado, generalmente se trata de un fichero ASCII con información y formato propio del sistema CAM.
- Información de trayectoria de la herramienta, se trata generalmente de uno o dos ficheros en los formatos, APT (Automatically Programmed Tools) [ANS87] y/o Cutter Location DATA (CLDATA) [ISO78a].

El fichero CLDATA es postprocesado para traducirlo al código ISO específico del conjunto máquina herramienta-control numérico con el que se va a realizar el proceso de mecanizado. En ocasiones se sigue empleando también el lenguaje APT como paso previo para la obtención del fichero CLDATA mediante una operación de procesado. El postprocesador suele estar incluido dentro del sistema CAM, por lo que el usuario generalmente no es consciente del proceso real de generación del programa de control numérico. Adicionalmente a las instrucciones APT, existe un conjunto de palabras normalizadas de postprocesador que permiten realizar una traducción a código ISO de ciertas operaciones de mecanizado durante la etapa de postprocesado [ISO78b]. Sin embargo, las únicas operaciones soportadas son de taladrado, no existiendo la posibilidad de definir

operaciones de otro tipo, lo que impide por ejemplo utilizar las funciones G definidas en los CNC para operaciones de fresado. Igualmente tampoco es posible utilizar otras funciones como las de definición de figuras tanto de taladrado como de fresado, que aunque si están definidas en APT (figuras de puntos de taladrado) no se aprovechan durante la fase de procesado y/o postprocesado. El hecho de que la implantación de dichas palabras dependa de cada sistema CAM también impide realizar un intercambio fiable de información, y obliga al desarrollo particularizado de postprocesadores. La solución adoptada en sistemas como EXAPT [REC70], donde se incluye la definición de operaciones básicas de mecanizado con la idea de realizar una cierta planificación de procesos no resuelve los problemas que se plantean en la integración diseño-planificación-producción.

Por lo que respecta a los sistemas CNC, disponen fundamentalmente del código ISO como lenguaje de programación a nivel de trayectoria de herramienta. En algunos casos se dispone también de lo que se conoce como programación conversacional, también denominada programación orientada al taller o programación orientada a operaciones de mecanizado. Esto supone la implantación en el control de un conjunto de funciones, generalmente programadas en lenguaje C, que permiten realizar una definición del proceso de mecanizado a nivel de operaciones, lo que redundaría en un mayor aprovechamiento de todas las utilidades del CNC. No obstante, las operaciones implementadas, los parámetros que las definen, y el formato del programa generado varían en función del CNC considerado. La adopción de arquitecturas abiertas en los CNC, basadas en ordenadores personales compatibles, permite dotar a dichos sistemas de nuevas funcionalidades que hasta ahora se han venido realizando en sistemas independientes, siendo ésta la tendencia actual en el sector de los CNC.

3. No existe una normalización de las operaciones básicas de mecanizado que permita realizar una definición consistente y válida de un modelo de información sobre procesos de fabricación.

Por tanto, teniendo presente el entorno asistido por computador en el que se desarrollan actualmente la gran mayoría de las tareas de fabricación, se hace necesario el desarrollo de sistemas de integrados que faciliten el intercambio y compartición de información de fabricación entre las distintas aplicaciones utilizadas.

El hecho de que cada vez los sistemas de información resulten más complejos conduce a un más difícil seguimiento de su desarrollo y a la posible aparición de inconsistencias entre las etapas de especificación y de diseño del mismo. Con el objeto de

disminuir la posibilidad de que se produzcan estos problemas se inició en los años 70 el empleo de métodos de modelado, técnicas que permiten realizar una descripción estructurada de sistemas de complejidad media.

La aplicación de técnicas de modelado puede realizarse en dos áreas dentro de un sistema, en las actividades o funciones que lo componen, y en la información que interviene en el mismo. En el primer caso nos encontramos ante lo que se conoce como técnicas de modelado de actividades, como IDEF0 [NIS93a], y en el segundo caso ante lo que se conoce como técnicas de modelado de información, como IDEF1X [NIS93b], NIAM [NIJ89], EXPRESS [ISO94b], etc. En el caso del modelado de actividades se realiza un modelo en el que se reflejan las actividades, organización, recursos e información que componen el sistema, mientras que en el modelado de información se realiza un modelo que comprende una especificación de la estructura de datos y de las reglas explícitas para su interpretación.

El desarrollo de estos modelos debe ser independiente tanto de los equipos como de las aplicaciones específicas que se utilicen, se trata por tanto de desarrollar modelos genéricos que permitan su posterior implantación en cualquier instalación con equipos y programas específicos. El empleo de normas internacionales en el desarrollo de dichos modelos y en el desarrollo posterior de los sistemas, facilita la consecución de dicha independencia.

Por consiguiente, con el objetivo de desarrollar una norma internacional que permita el modelado e intercambio de información de producto a lo largo de todo su ciclo de vida, desde el año 1984 se viene desarrollando por parte de ISO la norma ISO 10303 - Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange (STEP) [ISO94a].

Se puede resumir por tanto, que el ámbito general en el cual se encuadra esta tesis es en la aplicación de la norma ISO 10303 en el modelado de información de fabricación con el fin de facilitar el desarrollo de aplicaciones integradas que permitan una mejora en el intercambio y compartición de información, y como consecuencia una mayor flexibilidad en el sistema de fabricación integrada por computador en el que dichas aplicaciones son utilizadas.

1.3. OBJETIVOS DE LA TESIS.

Con objeto de ayudar a resolver los problemas señalados en el apartado anterior, la tesis se centra en el modelado de operaciones de mecanizado, para lo cual se realiza una definición y codificación de las principales operaciones de mecanizado para procesos de fresado y taladrado desde el punto de vista de la programación de CN. De forma general, se considera que toda operación de mecanizado esta definida por un conjunto de información que se divide en dos grandes grupos:

1. Información geométrica, que define el volumen de material a eliminar y su posición respecto de un sistema de coordenadas de referencia.
2. Información tecnológica, que fija el modo en que se realiza la eliminación del material, es decir como se realiza la operación de mecanizado.

Dependiendo del tipo de operación, la información necesaria varía. Se trata por tanto de identificar y racionalizar tanto la información como las operaciones de mecanizado. Esta codificación es la base fundamental sobre la que se desarrolla un modelo de información escrito en lenguaje EXPRESS [ISO94b]. Este modelo define a su vez la estructura de datos de una aplicación escrita en lenguaje C/C++/SDAI [ISO94d], cuya finalidad es facilitar el intercambio de información a nivel de operaciones entre sistemas CAM-CNC, para lo cual genera una base de datos estructurada en ficheros con un formato normalizado según la norma ISO 10303 - STEP [ISO94c].

Los objetivos parciales que se persiguen con la tesis son los siguientes:

1. Racionalizar y codificar las operaciones de mecanizado de fresado y taladrado, así como la información tecnológica necesaria para su completa definición.
2. Desarrollar un modelo que permita el intercambio de información de fabricación basada en operaciones de mecanizado entre sistemas CAM-CAM-CNC.
3. Emplear STEP en el desarrollo de dicho modelo, con el propósito de habilitar un procedimiento que permita la sustitución de los formatos APT [ANS87] y CLDATA [ISO78a] utilizados actualmente.
4. Implantar y probar el modelo de operaciones mediante del desarrollo de una aplicación orientada a objetos que genere una base de datos con formato STEP.

Los aspectos originales e innovadores de la tesis en relación con otros trabajos realizados en el área de modelado de operaciones de mecanizado y en la programación automática de MHCN se comentan en el Capítulo 2, no obstante pueden resumirse en los siguientes puntos:

1. Tomando como referencia el desarrollo realizado en los proyectos AMICE [AMI93] e IMPACT [GIE91], se propone una arquitectura de modelado de información en fabricación. En la que se distinguen cinco niveles de particularización de la información desde la etapa de producción hasta la etapa de diseño: trayectoria, operaciones, plan de operaciones, plan de procesos, y procedimiento.
2. Se desarrolla un modelo de información de nivel de operaciones que permite el intercambio de información de fabricación basada en operaciones de mecanizado entre sistemas CAM-CAM-CNC. Imponiendo como requerimiento la existencia de una correspondencia completa con el nivel de información de trayectoria. Este modelo se compone de las principales operaciones básicas de mecanizado en fresado y taladrado, resultando independiente de cualquier sistema específico CAM o CNC. Para su definición se ha analizado la situación actual de dichos sistemas en lo que respecta a la definición de la información de fabricación
3. Se emplea STEP en el desarrollo de dicho modelo de información y en su implementación. Para lo cual se hace uso del lenguaje de modelado EXPRESS [ISO94b], y el interfaz C/SDAI [STE95c] para realizar su implementación mediante el desarrollo de una aplicación orientada a objetos que diseña una base de datos de operaciones básicas de mecanizado, sustituyendo de esta manera la situación actual de utilización de APT [ANS87] y CLDATA [ISO78a]. Dicha base de datos está estructurada en ficheros STEP a nivel de operaciones de mecanizado para la programación automática de MHCN
4. Se desarrolla un traductor para convertir la información de nivel de operaciones, contenida en ficheros con formato STEP [ISO94c], a información de nivel de trayectoria expresada en ficheros con código de programación ISO [ISO82a].

Las principales ventajas que pueden obtenerse de las soluciones adoptadas en la tesis son:

1. Impulsar la racionalización en el empleo de normas y formatos para intercambio de información, al hacerse uso de STEP en sustitución de APT, CLDATA y formatos específicos para la programación de MHCN.
2. Facilitar el intercambio de información de operaciones de mecanizado entre sistemas CAM.
3. Favorecer el desarrollo de postprocesadores integrados en los CNC que acepten programas orientados a operaciones en formato STEP, y de esta forma mejorar la programación de las MHCN.

1.4. PLAN DE DESARROLLO Y RESULTADOS OBTENIDOS.

El plan de trabajo que se ha seguido en el desarrollo de la tesis se resume en las siguientes tareas:

1) Análisis.

- Análisis sistematizado de la definición actual de operaciones de mecanizado de una serie de sistemas CAD/CAM y sistemas CNC representativo.
- Análisis general de las normas de definición de trayectorias de mecanizado.
- Análisis de los trabajos realizados por otros grupos de investigación relacionados con el tema la tesis.
- Análisis y codificación general de las operaciones de mecanizado de taladrado y fresado, así como de las herramientas de corte rotativas, desde el punto de vista del programador de CN.

2) Desarrollo de submodelos de información en lenguaje EXPRESS.

- Submodelo de herramientas rotativas.
- Submodelo de figuras de taladrado y fresado.
- Submodelo de operaciones de taladrado.
- Submodelo de operaciones de fresado.
- Integración y validación de submodelos, obtención del I-ARM.

3) Desarrollo e implantación del modelo integrado I-ARM mediante una aplicación orientada a objetos.

- Generación de clases en lenguaje C++.
- Desarrollo del programa principal, funciones auxiliares, y funciones de generación de la base de datos en lenguajes C y C-SDAI.
- Desarrollo del postprocesador en lenguajes C y C-SDAI.

4) Pruebas y validación de la aplicación

- Pruebas y validación de la aplicación principal.
- Pruebas y validación del postprocesador.
- Valoración final de resultados.

De la aplicación de este plan de trabajo se han obtenido los siguientes resultados:

- 1) Un modelo de información de operaciones de mecanizado en lenguaje EXPRESS (ver Capítulo 3).
- 2) Una aplicación orientada a objetos basada en un modelo de información de operaciones de mecanizado para el intercambio de información de fabricación a nivel de operaciones en formato STEP (ver Capítulo 4).

1.5. MEDIOS UTILIZADOS EN LA REALIZACIÓN DE LA TESIS.

Los medios que se han utilizado durante cada una de las etapas de desarrollo de la tesis, especificadas en el apartado anterior, son los siguientes:

Etapa 1:

- Documentación y normas relacionadas con los procesos y programación de CN.
- Documentación y normativa relacionada con el intercambio y el modelado de información de producto.
- Documentación sobre herramientas rotativas.
- Sistemas CAD/CAM: EUCLID3 v1.1A, CATIA v3.2. Dichos programas se han ejecutado en plataformas de estación de trabajo, Sun Sparc2 e IBM System 6000 respectivamente.
- Sistemas CNC para fresadoras y centros de mecanizado: Fagor 8020 M, Siemens Sinumerik 810M/840D, GE Fanuc 15-MF, y Mazak Mazatrol M-32.

Etapa 2:

- Design/IDEF v3.5: programa con utilidades para la generación y validación de modelos de actividades y de información, IDEF0 e IDEF1X.
- ST-EXPRESS v1.0: programa con utilidades para la generación y validación de modelos en lenguaje EXPRESS.

Etapas 3-4:

- ST-Developer v1.4: herramienta CASE para el desarrollo de aplicaciones conformes con la norma STEP.
- Microsoft Visual C++ v2.0: herramienta CASE para el desarrollo de aplicaciones en lenguajes C y C++.

El desarrollo de modelos y del programa de aplicación se ha realizado en un ordenador personal Pentium con sistema operativo Windows NT 3.50.

CAPITULO 2

**ESTADO DEL ARTE EN EL INTERCAMBIO DE
INFORMACIÓN EN ENTORNOS DE
FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADOR.**

2.1. NORMAS PARA INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN GRÁFICA Y GEOMÉTRICA.

Desde mediados de los años 70, la necesidad de normas para gráficos e información geométrica fue evidente y ampliamente reconocida tanto por los desarrolladores como por los usuarios de sistemas CAD. Zeid [ZEI91] expone las siguientes, como las principales necesidades que fueron detectadas:

1. Portabilidad de los programas de aplicación, para evitar su dependencia del equipo computador.
2. Portabilidad de los datos de imágenes, de forma que la descripción y almacenamiento de imágenes sea independiente de los dispositivos gráficos.
3. Portabilidad de texto, con el fin de asegurar que el texto asociado con gráficos puede ser presentado independientemente del computador utilizado.
4. Portabilidad de la base de datos de objetos, a fin de asegurar la posibilidad de intercambiar y compartir información a nivel de aplicación entre distintos sistemas asistidos por computador.

Los tres requerimientos especificados en primer lugar se afrontan fundamentalmente desde la perspectiva del desarrollador de sistemas CAX, mientras que el último requerimiento interesa muy especialmente a los usuarios e integradores de sistemas. Como resultado del reconocimiento de estas necesidades, a principios de los años 70 se inician las tareas de desarrollo de normas relativas a los sistemas CAX. Durante este periodo, se forman el Graphics Standards Planning Committee (GSPC) y el ANSI Y14 Committee, y se inician los programas de investigación:

- CAM-I (Computer Aided Manufacturing - International) que dio lugar a la especificación XBF (eXperimental Boundary File);
- ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) que daría lugar a la primera especificación del estándar IGES.

Zeid [ZEI91], Foley [FOL90], Encarnação [ENC86], Arnold [ARN91a], Wilson [WIL87a], Owen [OWE87], y Bloor[BLO91], ofrecen una perspectiva histórica del desarrollo de los estándares y normas para gráficos e información geométrica.

Teniendo presente la organización actual de la gran mayoría de los sistemas CAX (ver figura 2.1), y como resultado de las distintas iniciativas de desarrollo realizadas por diferentes organizaciones internacionales o nacionales, se dispone de varios tipos de

estándares que funcionan en distintos niveles del sistema gráfico (Foley [FLO90], Encarnação[ENC86], Arnold [ARN91a], Day [DAY93]).

- 1) NIVEL DE ESTRUCTURA DE DATOS DE LA APLICACIÓN: el objetivo de los estándares o normas que se encuentran en este nivel es facilitar la portabilidad de la estructura de datos entre sistemas distintos. Permitiendo de esta forma el intercambio y compartición de información. La figura 2.2 representa la evolución de los estándares, normas e iniciativas mas representativas, de entre los se destacan las siguientes:
 - Initial Graphics Exchange Specification - IGES [ANS88]. Norma ANSI orientada al intercambio de información geométrica en diseño mecánico.
 - Verband der Automobilindustrie-Flächenschnittstelle - VDAFS [DIN85]. Norma DIN orientada al intercambio de información geométrica de superficies.
 - Système d'Exchanges et de Transferts - SET [AFN89]. norma AFNOR orientada al intercambio de información geométrica en diseño mecánico.
 - Electronic Design Interchange Format - EDIF [EDI85]. estándar EIA orientado al intercambio de información de diseño electrónico.
 - STandard for the Exchange of Product model data - STEP [ISO94a]. norma ISO orientada al intercambio y compartición de información de producto, que dispone de distintos protocolos relativos a información de tipo geométrico (ver tabla 2.1).
 - Existen también especificaciones propietarias, que de hecho se utilizan para el intercambio de información geométrica, este es el caso del formato DXF, especialmente orientado al intercambio de información de planos 2D.

- 2) NIVEL DE REPRESENTACIÓN DE IMAGENES DE LA APLICACIÓN: A nivel de aplicación se dispone también de formatos para el almacenamiento e intercambio de información de imágenes. Una imagen se puede describir bien como un conjunto de vectores de valores, donde cada valor es un conjunto de dígitos binarios que describen los atributos de un pixel de la imagen (mapa de bits), o como un conjunto de comandos y datos en ASCII que describen líneas y contornos (forma vectorial). El almacenamiento de imágenes se puede realizar bien a través de metaficheros o bien mediante formatos dependientes de la aplicación. Dentro de este segundo tipo, se encuentran formatos de mapa de bits como: PCX, TIFF,

GIF, PBM, XBM, JPEG (para almacenamiento de imágenes digitalizadas), etc. Los metaficheros son independientes de los dispositivos, y pueden contener llamadas a funciones de tipo gráfico (WMF), o bien una estructura de datos normalizada (CGM basado en GKS, y PHIGS Parte 2). El metafichero de dispositivo virtual Computer Graphic Metafile (CGM) [ISO87], [ARN91b], [FRA91], [HEN86], [MUM87] [MUM91] es una norma que especifica el formato de ficheros para el almacenamiento y transmisión de imágenes 2D de forma vectorial, independientemente de la aplicación y del dispositivo. También se dispone de lenguajes de descripción de imágenes como PostScript [ADO90], que aunque originariamente estaba orientado como interfaz para dispositivos de salida (impresoras), soporta la descripción de imágenes tanto en forma vectorial como en forma de mapa de bits. La variante Encapsulated PostScript (descripciones PostScript de una única página) esta especialmente orientada al intercambio de gráficos. Kay [KAY95] proporciona una visión general de los distintos tipos de formatos de ficheros para gráficos.

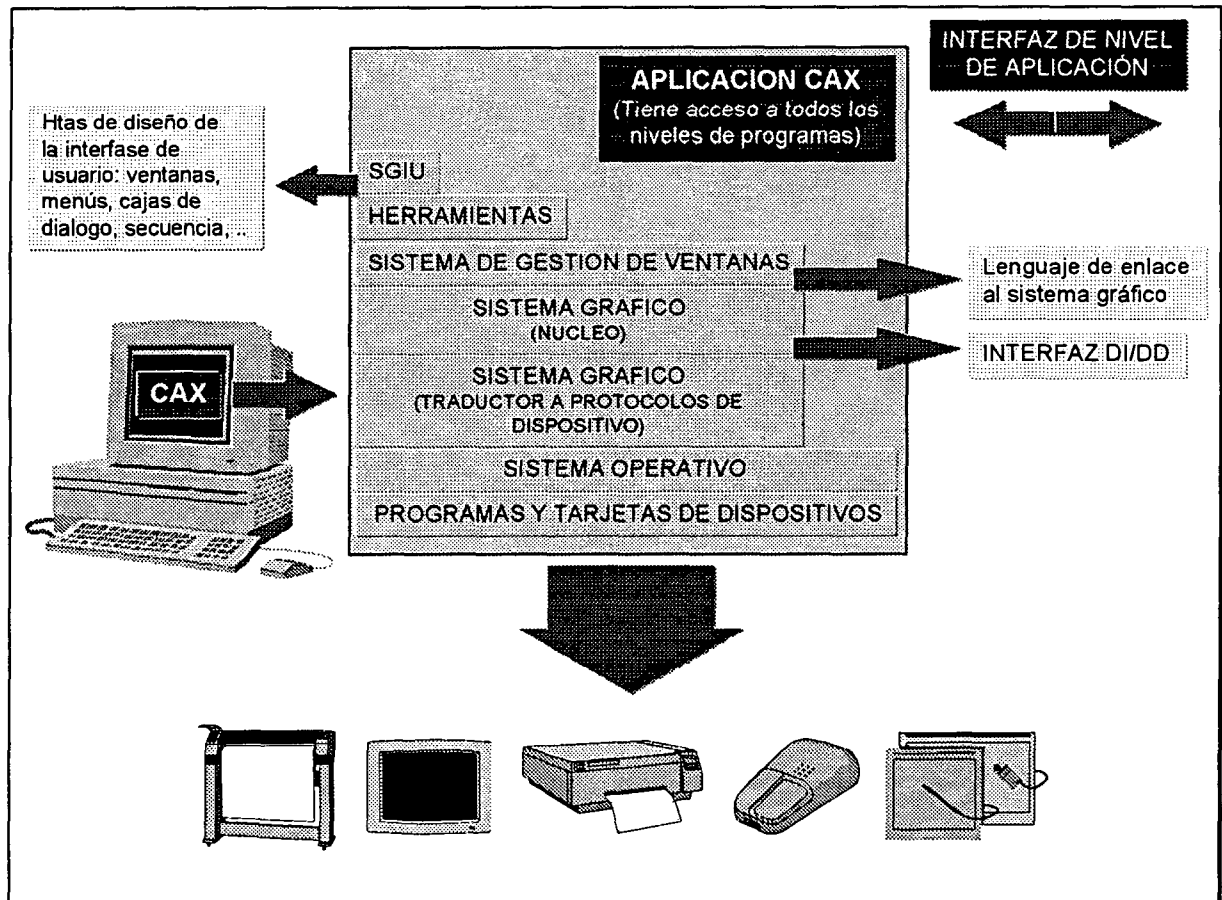
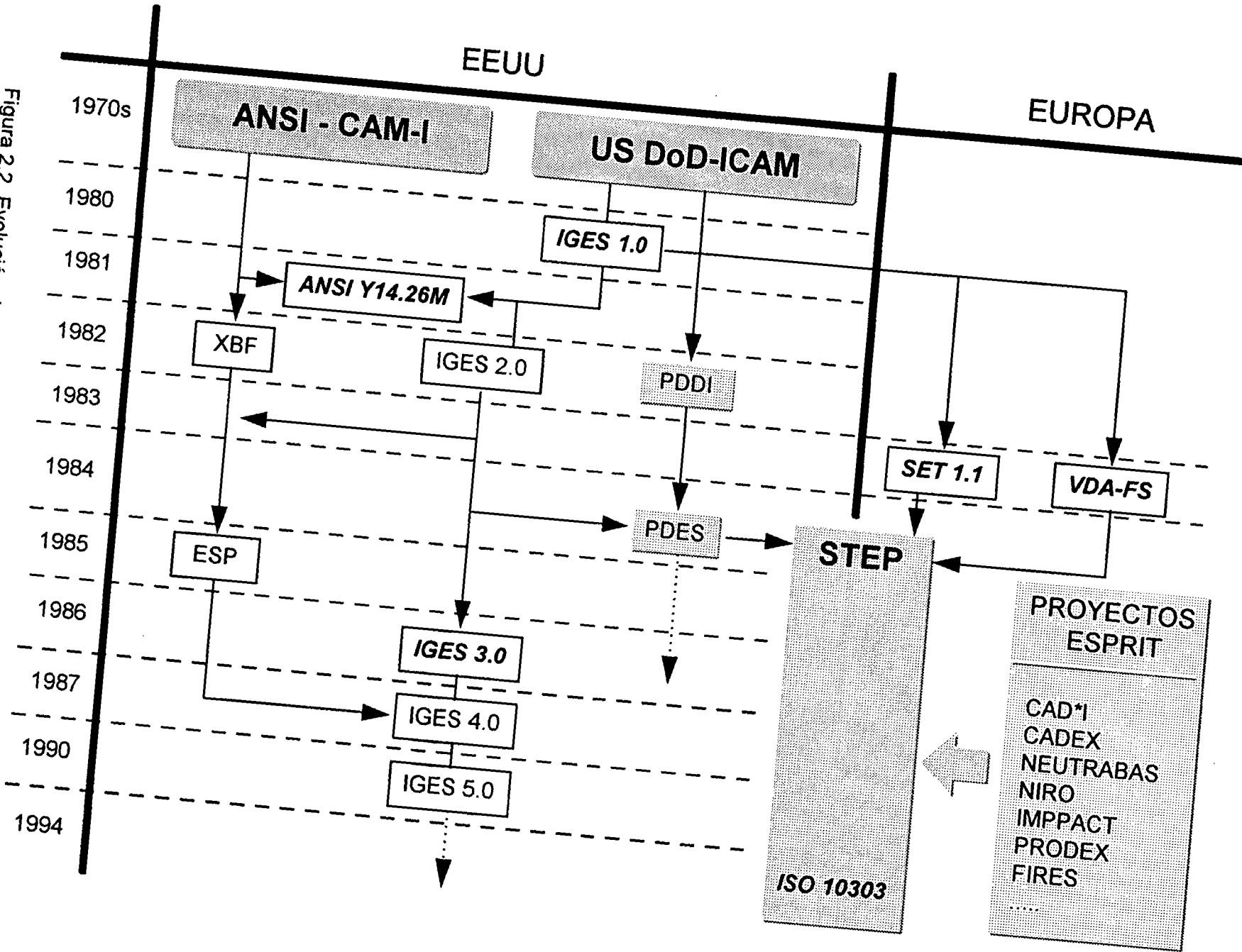


Figura 2.1. Organización de los sistemas CAX.

Figura 2.2. Evolución de las normas, estándares e iniciativas de Nivel de Aplicación.



3. NIVEL DE SISTEMA DE GESTIÓN DE VENTANAS: el objetivo de estos estándares es hacer independiente la aplicación gráfica del sistema operativo y de la plataforma informática donde se implanta, al tiempo que ejerce de intermediario entre el usuario y las aplicaciones. Para plataformas de estación de trabajo, el estándar mas ampliamente utilizado en este nivel es X, sistema de ventanas en red basado en el concepto de arquitectura cliente-servidor [MIK93], [SCHE88]. También se encuentra en este nivel el sistema NeWS [SUN87]. El sistema X se compone de los siguientes elementos principales:
 - a) Gestores de ventanas: twm (Tab Window Manager), aug (Ardent Window Manager), olwm (Open Look Window Manager), gwm (Graphic Window Manager), tekwm (Tektronix Window Manager), mwm (Motif Window Manager).
 - b) Sistema de ventanas: X Window System.
 - c) Herramientas de desarrollo: Xt [YOU92], OpenLook [SUN89], Motif [OSF89].
4. NIVEL DE SISTEMA GRÁFICO: el objetivo de los estándares o normas que se encuentran en este nivel es hacer independiente la aplicación de los dispositivos gráficos del computador. Se conocen como interfaces de programas de aplicación (API) entre ellos podemos destacar:
 - a) Graphical Kernel System GKS [ISO85] / GKS-3D [ISO88a], normas internacionales que proporcionan funciones para gráficos 2D y 3D, [BRO91], [DUC87], [PUK86].
 - b) Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System - PHIGS [ISO88b] norma internacional que proporciona funciones para gráficos 2D y 3D, PHIGS+ [HOW91], [SHU86], [SHU87], [VAN88].
 - c) Se dispone también de librerías de funciones gráficas como: XGL [SUN93a], PEX [ROS89] (extensión para X de PHIGS/PHIGS+3D), XIL [SUN93b], etc.
5. NIVEL DE INTERFAZ DE DISPOSITIVO VIRTUAL (DI/DD): se encuentra entre el nivel de sistema gráfico (núcleo) y el nivel de traducción a código de los controladores de dispositivo, siendo el interfaz independiente de dispositivo de nivel más bajo dentro de un sistema gráfico. Dentro de este nivel se encuentra el Computer Graphic Interface (CGI) [ISO91], [POW86].
6. NIVEL DE CONTROLADORES DE DISPOSITIVO: incluye interfaces dependientes de dispositivo como HPGL [HEW90a], PCL [HEW90b], PostScript [ADO90], etc.

2.2. NORMAS PARA INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN DE CONTROL NUMÉRICO.

Como consecuencia del desarrollo de las MHCN, a partir de la primera demostración realizada en el MIT en 1952, surgió la necesidad de un lenguaje que permitiera realizar la programación de piezas complejas de forma automatizada. Con esta idea se desarrolló, a finales de los años 50 y también en el MIT, el lenguaje de CN de alto nivel APT (Automatically Programmed Tool) [ANS87] [CHA89]. Este lenguaje de programación de CN puede considerarse por tanto como el primer intento para intercambiar información de fabricación a nivel de trayectoria. Posteriormente y con el objetivo de habilitar otros procedimientos para la programación de piezas sencillas, o la programación de tipos de máquinas específicas, o la implementación de un cierto nivel de planificación de operaciones de mecanizado, se han desarrollado otros lenguajes con una estructura parecida, como subconjuntos de instrucciones de APT, o basada en APT (UNIT-APT, MICRO-APT, COMPACT II, EXAPT, etc.) [REC70].

El desarrollo de aplicaciones interactivas basadas en APT condujo finalmente a los sistemas CAD/CAM, donde la parte de "fabricación asistida por computador" (CAM) es realmente un sistema asistido para la programación de MHCN, de forma que la etapa intermedia entre el diseño y la programación de MHCN conocida como planificación de procesos no se encuentra implementada en dichos sistemas. Puede decirse que esta situación se debió a la falta de automatización en la elaboración de dicha planificación como consecuencia de su elevada complejidad. Como resultado, los sistemas de planificación asistida por computador (CAPP) se han orientado a resolver problemas parciales de la planificación al tiempo que su desarrollo se ha venido realizando de forma independiente al de los sistemas CAD/CAM, lo que ha traído como consecuencia un bajo nivel de integración con dichos sistemas [ELM93], [EVE82], [SAL92].

De la utilización de los sistemas CAM para realizar la programación automática de MHCN puede obtenerse dos tipos de información:

1. Información de operaciones de mecanizado, generalmente se trata de un fichero ASCII con información y formato propio del sistema CAM.
2. Información de trayectoria de la herramienta, se trata generalmente de uno o dos ficheros en los formatos, APT y/o Cutter Location DATA (CLDATA) [ISO78a].

El fichero CLDATA es postprocesado para traducirlo al código ISO [ISO82a] específico del conjunto máquina herramienta-control numérico con el que se va a realizar el

proceso de mecanizado. En ocasiones se sigue empleando también el lenguaje APT como paso previo para la obtención del fichero CLDATA mediante una operación de procesado. El postprocesador suele estar incluido dentro del sistema CAM, por lo que el usuario generalmente no es consciente del proceso real de generación del programa de control numérico [BED87], [ISO78b], [KOC85], [SIM70]. En la figura 2.3 se representa el esquema general de funcionamiento de estos sistemas.

Por lo que respecta a los sistemas CNC, disponen fundamentalmente del código ISO como base para su lenguaje de programación a nivel de trayectoria de herramienta. En algunos casos se dispone también de lo que se conoce como programación conversacional, también denominada programación orientada al taller o programación orientada a operaciones de mecanizado. Esto supone la implantación en el control de un conjunto de funciones, generalmente programadas en lenguaje C, que permiten realizar una definición del proceso de mecanizado a nivel de operaciones, lo que redonda en un mayor aprovechamiento de todas las utilidades del CNC y en una programación más sencilla al no tener que describir la trayectoria de la herramienta. No obstante, las operaciones implementadas, los parámetros que las definen, y el formato del programa generado varían en función del CNC considerado. La adopción de arquitecturas abiertas en los CNC, basadas en ordenadores personales compatibles, permite dotar a dichos sistemas de nuevas funcionalidades que hasta ahora se han venido realizando en sistemas independientes, siendo ésta la tendencia actual en el sector de los CNC [OWE94].

Como consecuencia, el único intercambio de información de fabricación que hasta ahora se ha venido realizando ha sido a nivel de trayectoria de herramienta bien para la verificación de programas APT, o la más habitual para la programación de las MHCN.

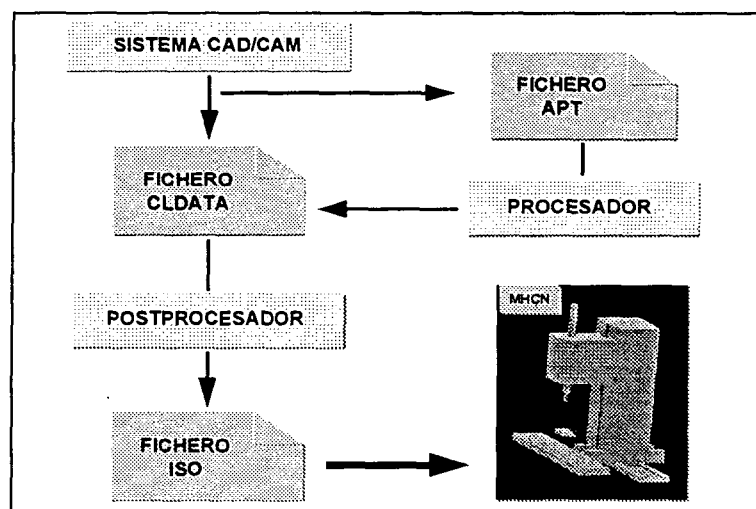


Figura 2.3. Programación de las MHCN a nivel de trayectoria en código ISO.

2.3. NECESIDAD DEL MODELADO DE PRODUCTO Y PROCESOS.

Inicialmente se ha considerado conveniente incluir un glosario de términos para especificar que se entiende por cada uno de los siguientes conceptos:

- a) Datos: es una representación formal de hechos, conceptos o instrucciones para su comunicación, interpretación, o procesado por humanos o medios automáticos [CHI90]; símbolos que representan una información que se desea procesar ([WIL87b] [WIL87c] [WIL92]).
- b) Fabricación: es una serie de actividades y operaciones interrelacionadas que comprenden, el diseño, selección de materiales, planificación, producción, aseguramiento de la calidad, gestión y comercialización de productos [CHI90].
- c) Información: conjunto de datos más un conjunto de reglas explícitas para su interpretación, es decir datos más su significado asociado expresado en forma de reglas explícitas ([WIL87b] [WIL87c] [WIL92]).
- d) Modelo: es una representación simbólica formal y precisa de un sistema de manera que puede empleársele para conocer la información deseada del sistema que representa [MAR88].
- e) Operación: es una acción definida, por ejemplo montar una herramienta en una máquina, realizar el vaciado de una cavidad, etc. [CHI90].
- f) Proceso: es una secuencia sistemática de operaciones para obtener un resultado específico [CHI90].
- g) Producto: elemento resultante de fabricación [CHI90]; objetos o grupos de objetos materiales generados artificialmente que constituyen una unidad funcional [KRAU93].
- h) Sistema: es un conjunto ordenado de personal, máquinas y métodos requeridos para la realización de un conjunto de funciones específicas [CHI90]; conjunto de componentes que interactúan entre sí y de las relaciones existentes entre ellos [MAR88].

La importancia que ha adquirido el modelado de sistemas en general, y el de empresas de fabricación en particular, es consecuencia directa de la necesidad de gestionar de una forma flexible los recursos de funcionamiento de las empresas con objeto de facilitar una más rápida adaptación a los avances tecnológicos y a los cambios en el mercado [AMI93]. Con este objetivo, la implantación de métodos de ingeniería concurrente

o simultánea se fundamenta en la integración de personas y componentes en un nuevo sistema más eficiente, más flexible, y por tanto con una capacidad de respuesta más rápida [CAR91]. Teniendo presente el entorno asistido por computador en el que se desarrollan actualmente la gran mayoría de las tareas de fabricación, se hace necesaria la integración entre las distintas aplicaciones utilizadas (aplicaciones CAX) con objeto de evitar la existencia de lo que se conoce como "islas de información". Entendiendo por integración la disponibilidad, accesibilidad y consistencia de la información utilizada por las distintas aplicaciones. En consecuencia, el desarrollo de sistemas de fabricación integrada por computador se convierte en un aspecto fundamental en la implantación de la ingeniería concurrente [CAR91].

El desarrollo de sistemas, en sentido genérico, tiene tres objetivos fundamentales [MAR88]:

- 1) definir el área de aplicación, y especificar los subsistemas, componentes que forman el sistema y como se interconectan e integran;
- 2) identificar las restricciones que influyen en el funcionamiento del sistema;
- 3) decidir la combinación e integración efectiva de personas, máquinas y programas informáticos para un funcionamiento eficiente y flexible del sistema.

De forma general, las etapas en las que se divide el desarrollo de sistemas son las siguientes [MAR88]:

- 1) Análisis: determinar para que sirve el sistema.
- 2) Diseño: definir los subsistemas, sus componentes y sus interfaces.
- 3) Implementación: creación de cada subsistema de forma independiente.
- 4) Integración: a nivel físico de comunicaciones y a nivel de aplicación o componentes, con el objetivo de obtener una única unidad.
- 5) Verificación: pruebas de verificación del funcionamiento del sistema integrado.
- 6) Instalación: hacer que el sistema sea operativo.
- 7) Operación: utilización del sistema.

El hecho de que cada vez los sistemas resulten más complejos conduce a un más difícil seguimiento del desarrollo de los mismos y a la posible aparición de inconsistencias entre las etapas de especificación y diseño. Como consecuencia se producen errores

durante el desarrollo, fundamentalmente en las etapas de análisis y diseño, lo que da lugar a la aparición de dos problemas fundamentales:

- 1) a unos mayores costes de desarrollo, de mantenimiento, y a un mayor coste real del sistema;
- 2) el sistema no funciona correctamente, y/o no realiza las funciones deseadas.

Con objeto de disminuir la posibilidad de que se produzca este tipo de problemas se inició en los años 60 el desarrollo de métodos de modelado de sistemas, técnicas estructuradas que permiten realizar una descripción y especificación precisa de sistemas complejos. El primer método disponible comercialmente fue SADT (Structured Analysis and Design Technique) [MAR88]. Posteriormente, y con el objetivo más ambicioso de proporcionar una arquitectura para la integración en las empresas de fabricación se han desarrollado diferentes programas, de entre los que destacan:

1. Programa ICAM que se inició a finales de los años 70 en EEUU, y que sirvió para:
 - a) desarrollar una arquitectura de sistemas CIM;
 - b) continuar el desarrollo de SADT dando lugar al método IDEF0 [MAR88] [NIS93a] para el modelado de actividades o procesos a desarrollar dentro del sistema, denominado modelo funcional;
 - c) desarrollar una técnica de modelado de datos de tipo relacional conocida como IDEF1, que posteriormente fue ampliada generándose la especificación IDEF1X (IDEF1 Extended) [BRU92], [NIS93b] para modelado de información;
 - d) desarrollar un método de modelado dinámico que permite representar los cambios en el tiempo de las características de funcionamiento del sistema IDEF2;
 - e) generar la primera especificación para intercambio de información geométrica de producto entre sistemas CAD designada como IGES (ver apartado 2.1).
 - f) generar la primera especificación para el intercambio de información de producto designada por PDDI (Product Data Definition Interface) (ver apartado 2.4).
2. Programa ESPRIT- Proyecto AMICE (European CIM Architecture) [AM93] que se inició en Europa en el año 1986 y proporciona una arquitectura abierta para la integración de empresas de fabricación (CIMOSA). El objetivo es proporcionar una

metodología para el modelado orientado a procesos de las empresas de fabricación.

Otra serie de proyectos e iniciativas se han orientado a resolver problemas parciales dentro del área general de la integración de sistemas de fabricación, en [AMI93] se recoge una revisión y estado del arte de los mismos, así como su relación con la arquitectura CIMOSA.

Dentro de un sistema CIM, el aspecto clave en su desarrollo reside en el sistema de gestión de información ([AMI93], [REM93], [WEB90]). La calidad de su diseño condiciona en gran medida la eficiencia en el funcionamiento del sistema en su conjunto. La forma en la cual se materializa el sistema de información de un sistema CIM debe ser una base de información que recoja y mantenga los datos del sistema permitiendo su acceso para realizar operaciones y tomar decisiones.

Considerando por tanto el sistema de información, este puede verse desde tres niveles distintos [NIJ89]: nivel externo (esquema externo), nivel conceptual (esquema conceptual), y nivel interno (esquema interno). Teniendo presente la definición de modelo de información proporcionada por Schenck y Wilson [SCHE94]: “descripción formal de ideas, hechos y procesos que de manera conjunta constituyen una representación de una parte del mundo real, y que proporciona un conjunto explícito de reglas de interpretación”, y considerando la definición de esquema conceptual proporcionada por Nijssen [NIJ89], como aquel que “describe la estructura o la gramática de un área de aplicación particular”, se concluye que un modelo de información es un esquema conceptual que comprende una especificación de estructuras de datos y de las reglas explícitas para su interpretación. El objetivo por tanto del modelado de información es especificar *que información*, y no *como se almacena la información, o como se presenta la información*.

La necesidad por tanto de realizar este esquema conceptual con objeto de facilitar el desarrollo de sistemas de información ha conducido al desarrollo de distintas metodologías de modelado, que se diferencian fundamentalmente en el origen de su desarrollo y en el tipo de estructura de datos de implementación hacia el que están orientadas. Entre las distintas metodologías disponibles se destaca como no orientada hacia ninguna estructura de datos en particular NIAM [NIJ89], con orientación relacional IDEF1X [BRU92], [NIS93b], con orientación a objetos OMT [MAR95], Shlaer-Mellor [MAR95], Booch [MAR95], Rumbaugh [MAR95], y con orientación a objetos e integrante de una norma internacional para la representación e intercambio de información de producto

EXPRESS [ISO94b]. En [WIL91] se encuentra un análisis comparativo entre varios de estos métodos de modelado.

No obstante, a pesar de estas iniciativas conducentes a facilitar la integración de sistemas de información a través de la aplicación de técnicas de modelado, la integración efectiva a nivel de aplicación de la información entre sistemas CAX (aspecto parcial dentro de la integración de la empresa abordada en el proyecto AMICE) se ve dificultada por dos factores clave (Wilson [WIL87c]):

- 1) en su gran mayoría, los sistemas CAX actuales no han sido diseñados para compartir información, por lo que disponen de una estructura de datos específica y cerrada;
- 2) los distintos tipos de sistemas CAX operan sobre tipos de información de producto y procesos distintos (información de diseño, información de planificación de procesos, información de fabricación, etc.).

Como consecuencia surge la necesidad de habilitar un mecanismo que facilite la compartición de información de producto y procesos entre los diferentes sistemas CAX. Para ello se adopta una estrategia que se apoya en dos elementos fundamentales:

- 1) Generación de modelos normalizados de producto y procesos.
- 2) Utilización de una norma internacional para el desarrollo e implantación de dichos modelos.

La necesidad de utilizar estos elementos con objeto de facilitar la integración de sistemas CAX, lo que a su vez conduce a la integración de sistemas de información e implantación de sistemas CIM, y como consecuencia al desarrollo de entornos de ingeniería concurrente, ha sido ampliamente reconocido y reflejado por distintos grupos de investigación durante los últimos años, de entre ellos se destacan los siguientes:

- ◆ Carver [CAR91]: describe la ventajas que se derivan de la aplicación de la ingeniería concurrente, de la necesidad de utilizar sistemas por computador integrados para su consecución, y de la necesidad de emplear modelos de información de producto y procesos empleando la norma ISO 10303 (STEP) [ISO94a] para conseguir la integración entre los distintos sistemas asistidos por computador.

- ◆ Krause [KRAU93]: proporciona una perspectiva en la evolución del modelado de producto y justifica la necesidad de dicho modelado como concepto general que debe englobar todos los aspectos del ciclo de vida del producto. Define modelo de producto como "la acumulación lógica de toda la información relevante relativa a un producto dado durante todo su ciclo de vida". Presenta la norma ISO 10303 (STEP) como el método más adecuado para el desarrollo e implantación de modelos integrados de producto.
- ◆ Ellis [ELL93a] [ELL93a]: expone la necesidad del desarrollo de modelos como elemento clave para resolver el problema de la transferencia de información entre sistemas CAX, y como consecuencia en la implantación de métodos de ingeniería concurrente, presentando STEP como la norma adecuada para su realización. Presenta igualmente la necesidad de un modelo de fabricación adicionalmente al modelo de producto con objeto de permitir la interrelación entre las aplicaciones de diseño y las de producción. El modelo de fabricación se compone de dos submodelos, uno conteniendo la información relativa a las características de los procesos (rango de tolerancias, rango de acabado superficial, geometría alcanzable, coste del proceso, etc.), y uno segundo relativo a la información específica de los recursos disponibles de fabricación.

Al-Ashaab [ALA92], Kjellberg [KJE92], McKay [MCK91], Agerman [AGE92], Arai [ARA92], Lee [LEE94], Peters [PET90] y van Houten [VAN92] también presentan trabajos relacionados con el modelado de producto en la integración de sistemas CAX. Van Houten [VAN92] realiza también un análisis del intercambio de información en el ámbito de la fabricación.

2.4. NORMAS PARA EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN DE PRODUCTO.

La necesidad de intercambiar información de producto adicionalmente a la relativa a su forma o geometría, aspecto ya abordado en normas como IGES, VDA-FS, SET, etc. (ver apartado 2.1), se puso claramente de manifiesto a principio de los años 80. Como resultado dentro del programa ICAM en el año 1982 se inició el desarrollo del que puede considerarse el primer intento para generar un método para el intercambio de información de producto y que se denominó PDDI (Product Data Definition Interface). Posteriormente en el año 1984 la comunidad IGES inició el proyecto de investigación PDES (Product Data Exchange Specification), que posteriormente paso a denominarse (Product Data Exchange using STEP), con el objetivo de desarrollar y utilizar una metodología para la creación de especificaciones de producto, y desarrollar un nuevo estándar para el intercambio de dicha información ([ZEI91], [WIL87c]).

No obstante, y como consecuencia de los siguientes factores:

- 1) la comunidad industrial reconoció que una norma para intercambio de información de producto requería de una aceptación internacional;
- 2) se necesitaba una nueva norma donde lo importante fuera definir la información a intercambiar (semántica) y no el formato de intercambio (sintaxis) como hasta ese momento sucedía con las normas de intercambio;
- 3) se necesitaba una nueva norma para el intercambio y compartición de información de producto en sentido genérico y no solo con información geométrica;

desde el año 1984, ISO ha venido trabajando en el desarrollo de una nueva norma que permitiera la definición e intercambio de cualquier tipo de información relacionada con un producto a lo largo de todo su ciclo de vida. Es decir, que pudiera contemplar información de diseño, análisis, planificación de procesos, producción, mantenimiento, gestión, etc. Como resultado de esta iniciativa, en Diciembre de 1994 se aprobó un primer conjunto de documentos que forman parte de la nueva norma ISO 10303 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange, conocida habitualmente como STEP (STandard for the Exchange of Product model data) [ISO94a], [OWE93].

El desarrollo de esta norma está teniendo contribuciones del resto de iniciativas relacionadas con el intercambio de información, PDES en EEUU, y en Europa fundamentalmente a través de diferentes proyectos ESPRIT, como por ejemplo CAD*1 [GRA91], [RAF90], [SCHL88], [SCHL89], [THO89], CADEX [HEL93], IMPACT [GIE91],

NIRO [BEY94], NEUTRABAS [NOW95], etc. (ver figura 2.2).

Debido a su gran amplitud, la especificación de la norma STEP se está realizando en una serie de documentos llamados *Partes* que a su vez se encuentran agrupados en *Clases*, en la tabla 2.1 se recoge un listado de todos los documentos pertenecientes a dicha norma, y su estado actual de aprobación.

La aplicación de STEP [ISO94a] requiere en primer lugar de la elaboración de un modelo de actividades, y en segundo lugar de un modelo la información de la aplicación. El desarrollo de estos modelos tiene tres fases principales:

- 1) Modelo de actividades de la aplicación (AAM). Contiene una descripción de las funciones y procesos de la aplicación. Esta parte se documenta mediante IDEF0.
- 2) Modelo de referencia de la aplicación (ARM). Contiene una descripción de la información de la aplicación. Para su documentación se puede emplear cualquier método de modelado de información (NIAM, IDEF1X, EXPRESS, etc.), aunque se recomienda la utilización de EXPRESS como parte de la norma.
- 3) Modelo interpretado de la aplicación (AIM). Contiene una interpretación del modelo ARM con las definiciones proporcionadas por la norma en los distintos recursos integrados (partes 4X y partes 1XX).

La implementación de STEP se realiza a través de Protocolos de Aplicación (partes 2XX de la norma). Un protocolo de aplicación (PA) es una especificación de la información relevante para la aplicación considerada, por ejemplo la definición de la geometría que debe soportar un sistema CAD-2D. Básicamente un PA se compone de un modelo de la aplicación, un método de implementación, y unos requerimientos de conformidad [KRA92a], [PDI90], [TRA93a]. Con objeto de desarrollar dichos PAs la norma proporciona una metodología [ISO94a] y una serie de recursos:

- 1) Métodos de descripción (Partes 1X). Dentro de esta clase se encuentra la especificación de EXPRESS [ISO94b]. EXPRESS es un lenguaje de modelado de información orientado a objeto procesable por computador. Se emplea para desarrollar modelos de información mediante una descripción formal de datos, reglas, funciones, relaciones y restricciones. Contiene EXPRESS-G como notación gráfica para la representación de modelos mediante diagramas.
- 2) Métodos de implementación (Partes 2X). Dentro de esta clase se encuentran entre otras partes, la especificación de la estructura de intercambio mediante ficheros

ASCII [ISO94c], la especificación del interfaz de acceso de datos (Standard Data Acces Interface - SDAI) [ISO94d], y la especificación de las librerías de funciones de lenguajes de programación para SDAI.

- 3) Entorno y metodología de comprobación de conformidad (Partes 3X). A diferencia de lo que sucedía con las normas anteriores, el desarrollo de sistemas o aplicaciones informáticas que sean conformes con algún protocolo STEP requieren de una certificación final. Como consecuencia se han definido los requerimientos de las organizaciones que podrán realizar las pruebas de certificación, el procedimiento de las pruebas, los métodos para especificar en cada protocolo las pruebas a realizar, etc..
- 4) Recursos genéricos integrados (Partes 4X). Están formados por un conjunto de definiciones en lenguaje EXPRESS de entidades, reglas, funciones, relaciones y restricciones. Estas partes son independientes de cualquier tipo de aplicación y pueden referenciarse entre sí.
- 5) Recursos de aplicación integrados. (Partes 1XX). Es una extensión de los recursos genéricos, y se emplean para un grupo de aplicaciones similares. Por ejemplo, la parte 104 se puede emplear por todas aquellas aplicaciones que utilicen análisis por elementos finitos.
- 6) Conjunto de pruebas de conformidad (Partes 3XX). Cada parte es específica para cada uno de los protocolos de la norma, y contiene el conjunto de pruebas de conformidad a realizar para cada implementación de dicho protocolo.
- 7) Construcciones interpretadas de aplicación (Partes 5XX). Son unidades de información común entre dos o más protocolos de aplicación.

Debido a su origen, la implementación de STEP hasta ahora ha tenido un mayor desarrollo en el intercambio de información geométrica en sustitución de normas anteriores como IGES, VDA y SET. No obstante su cada vez mayor implantación como norma para el intercambio de información entre sistemas CAX, está llevando al desarrollo de protocolos de aplicación en áreas muy diversas (ver tabla 2.1). Su utilización para el intercambio de información de fabricación se ha venido realizando desde hace algunos años por distintos grupos de investigación [ALA92], [BAX94], [EVE91], [GU94], [QUI93], [SON93] etc. El inicio en 1995 en EE.UU. de un proyecto financiado por el gobierno para el desarrollo de un CNC capaz de leer información en formato STEP [STE95a], viene a confirmar el interés en la aplicación de dicha norma en el intercambio de información de fabricación.

P. nº	Nombre del documento	Estado
1	Overview and fundamental principles	IS
DESCRIPTION METHODS		
11	EXPRESS language reference manual	IS
12	EXPRESS-I language reference manual	CD
13	STEP development methodology	CD
IMPLEMENTATION METHODS		
21	Clear text encoding of the exchange structure	IS
22	Standard data access interface specification - SDAI	DIS
23	C++ language binding to SDAI	DIS
24	C language binding to SDAI	CD
26	IDL language binding to SDAI	Dev
CONFORMANCE TESTING METHODOLOGY AND FRAMEWORK		
31	General concepts	IS
32	Requirements on testing laboratories and clients	FDIS
33	Structure and use of abstract test suites	CD
34	Abstract test methods	CD
35	Abstract test methods to support SDAI	CD
INTEGRATED GENERIC RESOURCES		
41	Fundamentals of product description and support	IS
42	Geometric and topological representation	IS
43	Representation structures	IS
44	Product structure configuration	IS
45	Materials	IS
46	Visual presentation	IS
47	Shape variation tolerances	IS
49	Process structure and properties	IS
INTEGRATED APPLICATION RESOURCES		
101	Draughting	IS
104	Finite element analysis	CD
105	Kinematics	IS
106	AEC core model	CD
APPLICATION PROTOCOLS		
201	Explicit draughting	IS
202	Associative draughting	IS
203	Configuration controlled design	IS

P. nº	Nombre del documento	Estado
204	Mechanical design using boundary representation	CD
205	Mechanical design using surface representation	CD
207	Sheet metal die planning and design	FDIS
208	Life cycle management - Change process	CDC
209	Composite and metallic structural analysis and related design	CD
210	Electronic printed circuit assembly: Design and manufacture	CD
211	Electronics test diagnostics and remanufacture	CDC
212	Electrotechnical design and installation	CDC
213	Numerical control process plans for machined parts	DIS
214	Core data for automotive design processes	CD
215	Ship arrangement	CDC
216	Ship moulded forms	CDC
217	Ship piping	CDC
218	Ship structures	CDC
220	Printed circuit assembly manufacturing planning	CD
221	Process plant functional data and its schematic representation	CD
222	Exchange of product data for composite structures	CDC
223	Exchange of design and manufacturing product information for cast parts	CDC
224	Mechanical product definition for process plans using mechanical features	CD
225	Building elements using explicit shape representations	DIS
226	Ship mechanical systems	CD
227	Plant spatial arrangement	DIS
228	Building services: Heating, ventilation & air conditioning	Dev
229	Exchange of design and manufacturing product information for forged parts	Dev
230	Building structural frame: Steelwork	Dev
231	Process engineering data: Process design/process specification of major equipment	Dev
ABSTRACT TEST SUITES		
301	Explicit draughting	CD

Tabla 2. 1. Lista de documentos de la norma ISO 10303 - STEP.

Tabla 2. 1. Continuación.

P. nº	Nombre del documento	Estado
302	Associative draughting	CD
303	Configuration controlled design	CD
304	Mechanical design using boundary representation	CD
305	Mechanical design using surface representation	CDC
307	Sheet metal die planning and design	CD
308	Life cycle management - Change process	CDC
309	Composite and metallic structural analysis and related design	CDC
310	Electronic printed circuit assembly: Design and manufacture	CDC
311	Electronics test diagnostics and remanufacture	CDC
312	Electronechnical design and installation	CDC
313	Numerical control process plans for machined parts	CD
314	Core data for automotive design processes	CDC
315	Ship arrangement	CDC
316	Ship moulded forms	CDC
317	Ship piping	CDC
318	Ship structures	CDC
320	Printed circuit assembly manufacturing planning	CDC
321	Process plant functional data and its schematic representation	CDC
322	Exchange of product data for composite structures	CDC
323	Exchange of design and manufacturing product information for cast parts	CDC
324	Mechanical product definition for process plans using mechanical features	CD
325	Building elements using explicit shape representations	CD
326	Ship mechanical systems	CD
327	Plant spatial arrangement	Dev
328	Building services: Heating, ventilation & air conditioning	Dev
329	Exchange of design and manufacturing product information for forged parts	Dev
330	Building structural frame: Steelwork	Dev
331	Process engineering data: Process design/process specification of major equipment	Dev

P. nº	Nombre del documento	Estado
APPLICATION INTERPRETED CONSTRUCTS		
501	Edge based wireframe	CD
502	Shell based wireframe	CD
503	Geometrically bounded 2D wireframe	CD
504	Draughting annotation	CD
505	Drawing structure and administration	CD
506	Draughting elements	CD
507	Geometrically bounded surface	CD
508	Non-manifold surface	CD
509	Manifold surface	CD
510	Geometrically bounded wireframe	CD
511	Topologically bounded surface	CD
512	Faceted boundary representation	CD
513	Elementary boundary representation	CD
514	Advanced boundary representation	CD
515	Constructive solid geometry	CD
517	Mechanical design geometric representation	CD
518	Mechanical design shaded representation	CD
OBSERVACIONES:		
(1) Los números que no aparecen significan proyectos que han sido cancelados.		
(2) Las abreviaturas de la columna de estado son para:		
- IS: International Standard		
- FDIS: Final Draft for International Standard		
- DIS: Draft for International Standard		
- CD: Committee Draft		
- CDC: Committee Draft for Comments		
- Dev: en desarrollo (sin revisiones externas ni votación)		
(3) Última fecha de actualización Septiembre 1996.		

2.5. PROBLEMÁTICA QUE SE PLANTEA Y SOLUCIONES ADOPTADAS EN LA TESIS.

La problemática que se plantea en el ámbito del intercambio de información de fabricación como consecuencia de lo hasta ahora expuesto se puede resumir en los siguientes puntos:

1. No existe una integración de los sistemas CAX que permita disponer de un flujo de información eficiente entre la etapa de diseño, la de planificación, y la de producción. Como argumentos que vienen a justificar esta situación se pueden citar:
 - Con el objetivo de reducir el tiempo de diseño, se ha producido un mayor desarrollo de los sistemas orientados a la definición geométrica de productos, sistemas CAD. Justificado por la elevada influencia del diseño en el coste final de un producto [COR91]. No obstante aspectos como diseñar para fabricar, o diseñar para montar que permiten obtener mejores diseños iniciales y como consecuencia disminuir la necesidad y el coste de cambios de diseño en etapas posteriores han tenido una implantación posterior, y en la actualidad no se encuentran reflejados en los sistemas CAD. Por el mismo motivo la estructura interna de datos de dichos sistemas CAD se ha orientado a la representación de geometría condicionando de esta forma la estructura que deben tener los sistemas CAX que se utilizan en las etapas posteriores.
 - El desarrollo de sistemas CAPP se ha venido realizando de forma independiente al de los sistemas CAD/CAM, al tiempo que se orientaban fundamentalmente hacia la generación de documentos en los que se recoge un listado de las operaciones a realizar. Uno de los grandes problemas que se plantea es la gran complejidad en el análisis de la geometría de las piezas generadas mediante los sistemas CAD actuales, lo que ha conducido a que el desarrollo de estos sistemas se haya centrado en determinado tipo de piezas (rotacionales, prismáticas). Como consecuencia el grado de automatización de dichos sistemas es bastante bajo, y su interfase con los sistemas CAD y CAM es bastante limitado.
2. Actualmente, el intercambio de información de fabricación entre sistemas computerizados se limita fundamentalmente al que se establece entre los sistemas CAM y los sistemas CNC, realizándose prácticamente en su totalidad a nivel de

trayectoria de herramienta en código ISO. Únicamente en EE.UU., dentro del sector aeronáutico se emplea el código BCL (Binary Cutting Location) [MAH90]. La ausencia de una normalización en la programación orientada a operaciones de mecanizado ha condicionado que no se hayan desarrollado postprocesadores para este tipo de programación.

3. Adicionalmente a las instrucciones APT, existe un conjunto de palabras normalizadas de postprocesador [ISO78b] que permiten realizar una traducción a código ISO de ciertas operaciones de mecanizado durante la etapa de postprocesado. Sin embargo, las únicas operaciones soportadas son de taladrado, no existiendo la posibilidad de definir operaciones de otro tipo, lo que impide por ejemplo utilizar las funciones G definidas en los CNC para operaciones de fresado. Igualmente tampoco es posible utilizar otras funciones como las de definición de figuras tanto de taladrado como de fresado, que aunque si están definidas en APT (figuras de puntos de taladrado) no se aprovechan durante la fase de procesado y/o postprocesado. El hecho de que la implantación de dichas palabras dependa de cada sistema CAM también impide realizar un intercambio fiable de información, y obliga al desarrollo particularizado de postprocesadores. La solución adoptada en sistemas como EXAPT [REC70], donde se incluye la definición de operaciones básicas de mecanizado con la idea de realizar una cierta planificación de procesos no resuelve los problemas que se plantean en la integración diseño-planificación-producción.
4. No existe una normalización de las operaciones básicas de mecanizado que permita realizar una definición consistente y válida de un modelo de información sobre procesos de fabricación.

Para ayudar a resolver esta problemática general sobre el intercambio de información de fabricación, y el de la programación automática de MHCN en particular, en la tesis se han adoptado las siguientes soluciones:

- 1) Tomando como referencia el desarrollo realizado en los proyectos AMICE [AMI93] e IMPACT [GIE91], se propone una arquitectura de modelado de información en fabricación representada en la figura 2.4. Considerando la vista de información se distinguen cinco niveles de particularización desde la etapa de producción hasta la etapa de diseño, estos niveles son: trayectoria, operaciones, plan de operaciones, plan de procesos, y procedimiento (ver figura 2.5).

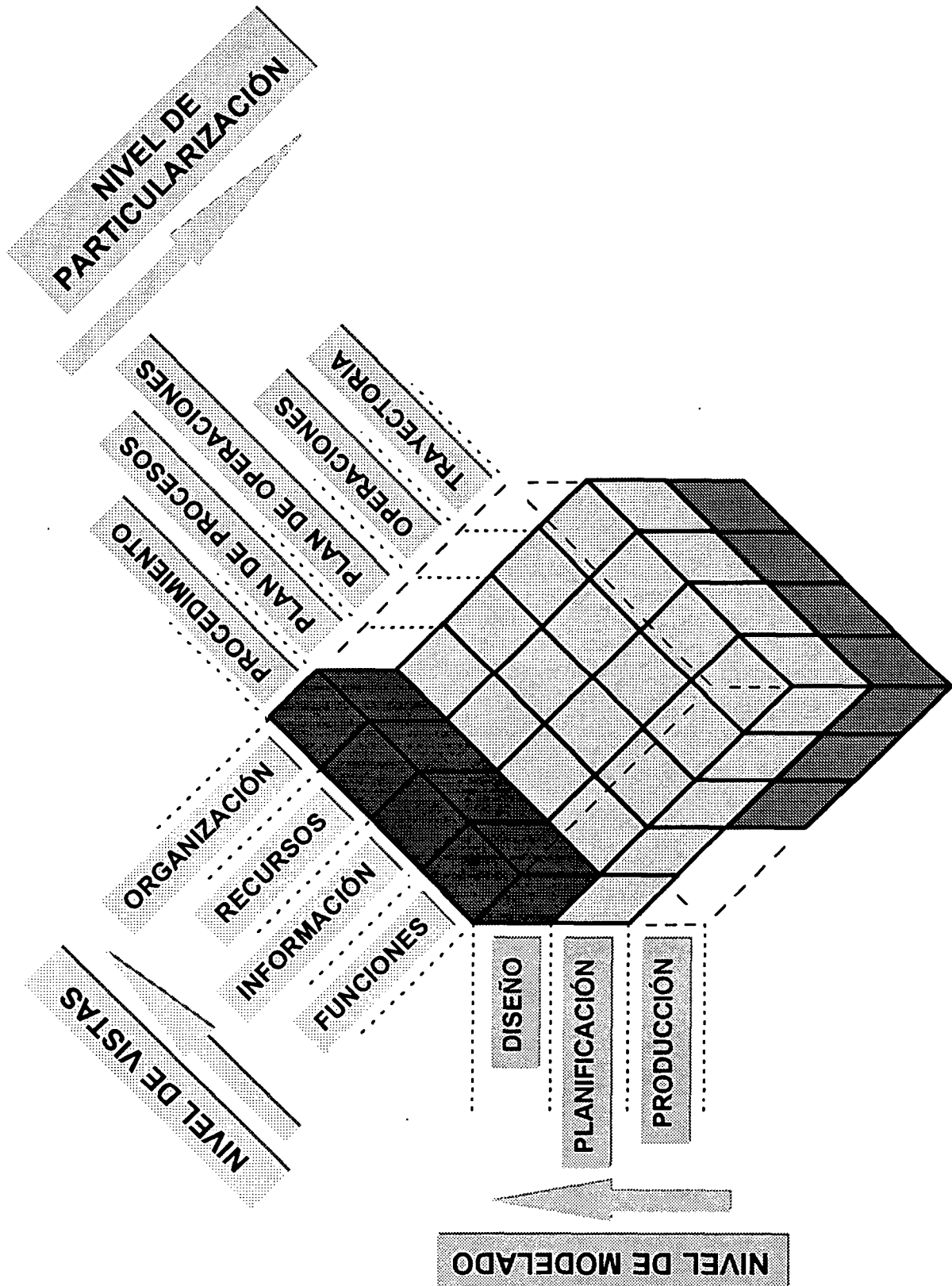


Figura 2.4. Arquitectura de modelado de información en fabricación.

La definición de los requerimientos de información se realiza de abajo hacia arriba, iniciándose en el nivel de trayectoria y finalizando en el nivel de procedimiento, existiendo una integración bidireccional completa entre los distintos niveles, de forma que partiendo de la información del nivel de procedimiento se pueda alcanzar la información del nivel de trayectoria.

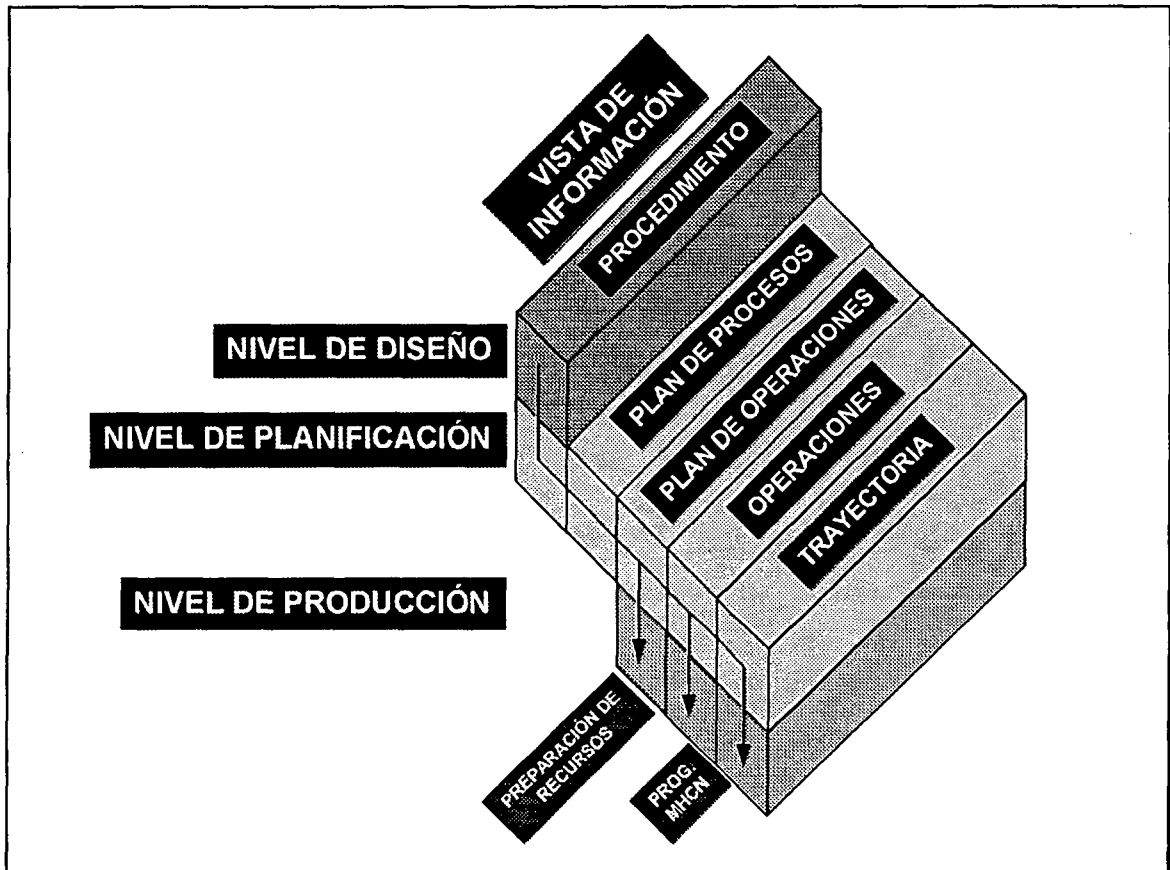


Figura 2.5. Niveles de información en fabricación.

- 1.1) NIVEL DE PROCEDIMIENTO: comprende la definición de la pieza final y la descripción de su procedimiento de obtención. La definición de la pieza final debe estar basada en una estructura de datos orientada a objetos que permita especificar para cada pieza información geométrica e información tecnológica. Las ventajas de este tipo de estructura de datos para sistemas CAX han sido puestas de manifiesto por diferentes autores (Chorofas [CHO93], Zeid [ZEI91]). El objetivo es proporcionar toda la información relativa a la pieza de forma que pueda ser utilizada para la automatización en la toma de decisiones en las etapas posteriores. Utilizando como referencia el trabajo desarrollado por Gu [GU94a], se recomienda a modo de ejemplo

una definición geométrica de la pieza compuesta por objetos de tipo *cara*. Un objeto de tipo *pieza* debería tener atributos como:

- **identificador:** cadena de caracteres para identificar a la pieza;
- **material:** objeto de tipo material;
- **localización:** compuesto por seis valores reales, tres para indicar el punto de referencia de la pieza y otros tres para indicar su orientación respecto de un sistema de referencia.
- **caras:** lista de objetos de tipo *cara* que componen la pieza;

Un objeto de tipo *cara* debería tener atributos como:

- **identificador:** cadena de caracteres;
- **superficie asociada:** objeto superficie;
- **contorno asociado:** lista de objetos geométricos de contorno (segmento, arco, curva) que determinan el contorno de la cara;
- **localización:** compuesto por seis valores reales, tres para indicar el punto de referencia de la cara y otros tres para indicar su orientación respecto del sistema de referencia asociado a la pieza;
- **pieza asociada:** objeto pieza al que pertenece la cara;
- **tipo de posición:** selección entre interna o externa;
- **acabado superficial:** numero real que expresa el valor del acabado superficial en micras;
- **tolerancias de forma:** conjunto de vectores, donde cada vector representa una tolerancia. El vector está formado por tres componentes, el primero para indicar el tipo de tolerancia (paralelismo, perpendicularidad, cilindricidad, etc.), el segundo indica el valor de la tolerancia, y el tercero indica el objeto cara de referencia;
- **tolerancias dimensionales:** conjunto de vectores, donde cada vector representa una tolerancia. El vector está formado por cuatro componentes, el primero para indicar el objeto de contorno inicial, el segundo para indicar el objeto de contorno final, el tercero para indicar el valor mínimo de la tolerancia, y el cuarto para indicar el valor máximo de

la tolerancia.

- tipo de cara: lista de elementos de una selección entre: terminada, procesar, tratar;

1.2) NIVEL DE PLAN DE PROCESOS: en este nivel se parte de la información procedente del nivel de procedimiento y deberá generarse la siguiente información:

- pieza en bruto, o material del que se parte para obtener la pieza final;
- procesos a aplicar y su secuenciación;
- volúmenes de material a eliminar (VMEs);
- selección del tipo de máquina para cada proceso;

1.3) NIVEL DE PLANIFICACIÓN DE OPERACIONES: en este nivel se parte de la información procedente de los dos niveles anteriores y su resultado servirá para realizar la preparación de los recursos de producción: materiales, herramientas, utillaje, máquinas. Con este objetivo deberá generarse la siguiente información para cada uno de los procesos a realizar:

- máquina a utilizar;
- como se fija y posiciona la pieza a la máquina;
- que utillaje se va a emplear en cada fijación;
- que operaciones se van a realizar en cada fijación;
- que herramienta se va a utilizar en cada operación;
- que volumen de material se va a eliminar en cada operación;
- secuenciación de las operaciones;

1.4) NIVEL DE OPERACIONES: se parte de la información procedente de las tres etapas anteriores para obtener un programa en formato STEP basado en operaciones de mecanizado que permita la programación de las MHCN. La información que debe contener dicho programa será:

- origen de programa inicial coincidente con el origen de referencia de la pieza;
- sistema de cotas absolutas respecto del origen de programa activo;
- posibles decalajes de origen programables;
- sistema de unidades de dimensiones, avance, velocidad de giro del cabezal;

- posible limitación de la zona de trabajo;
- plano de trabajo activo;
- sentido de giro del cabezal;
- para cada operación deberá definirse toda la información necesaria que permita obtener la trayectoria que deberá seguir la herramienta para realizar dicha operación. De forma general, se considera que toda operación de mecanizado esta definida por un conjunto de información que se divide en dos grandes grupos:
 - ◆ Información geométrica, que define el volumen de material a eliminar y su posición respecto del sistema de coordenadas de referencia.
 - ◆ Información tecnológica, que fija el modo en que se realiza la eliminación del material, es decir como se realiza la operación de mecanizado: herramienta a utilizar, condiciones de corte, correctores de herramienta, tipo de trayectoria de aproximación de la hta., etc.

Dependiendo del tipo de operación la información necesaria varía. Se necesita por tanto identificar y racionalizar tanto la información como las operaciones de mecanizado.

- 1.5) NIVEL DE TRAYECTORIA: se parte de la información contenida en el programa de nivel de operaciones para obtener un programa en el que se especifica la trayectoria de la herramienta en código ISO [ISO82a]. De forma general la información contenida en dicho programa hace referencia a: sistema de coordenadas, sistema de cotas, decalajes de origen, unidad de dimensiones, limitación de zona de trabajo, plano de trabajo, secuencias de movimiento, unidades de avance, límites de parada precisa, control de contorneado, funciones de maniobra, funciones de herramienta, funciones de cabezal, correctores de herramienta, etc..

En la figura 2.6 se representa un ejemplo de la información de cada uno de los niveles considerados.

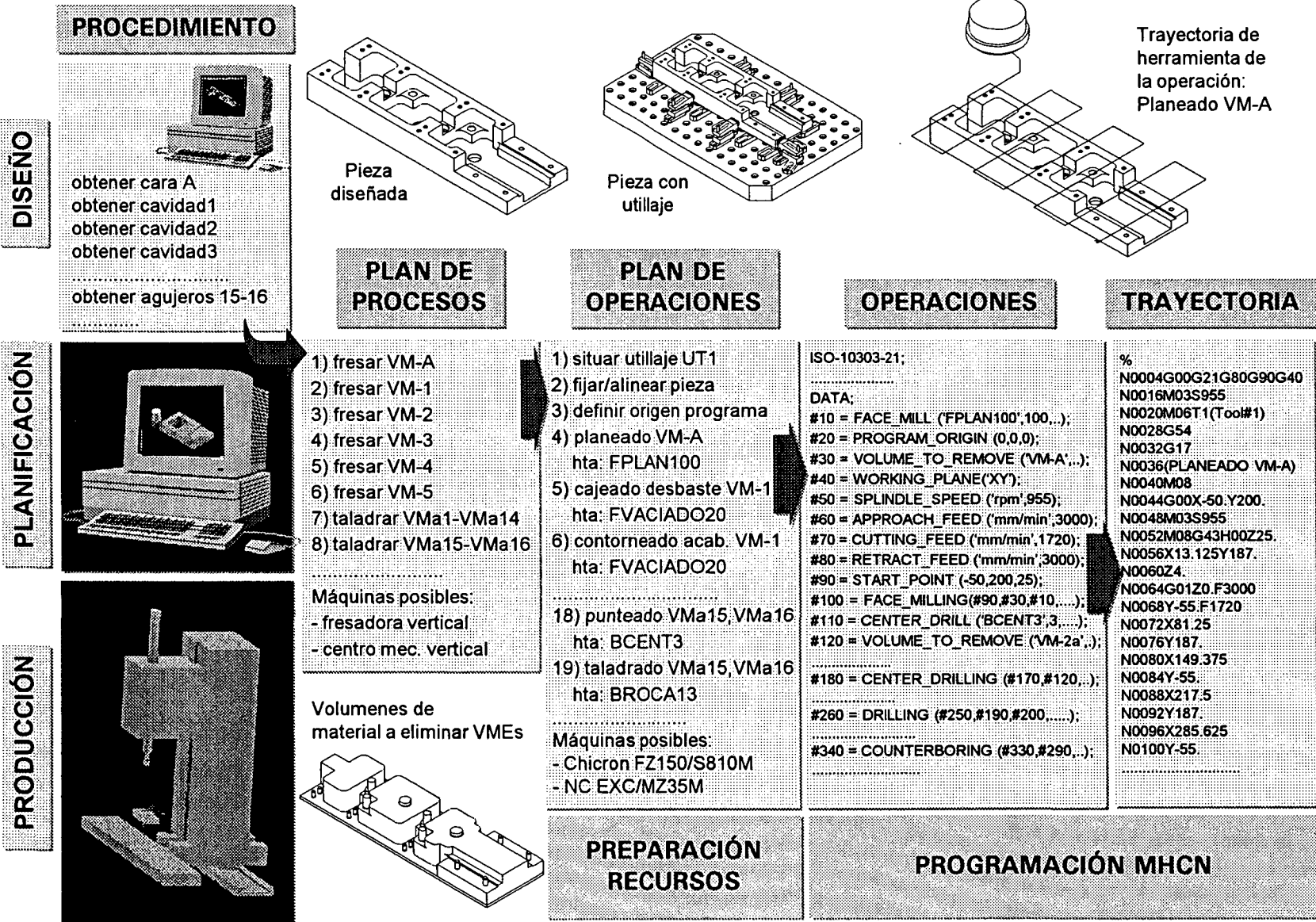


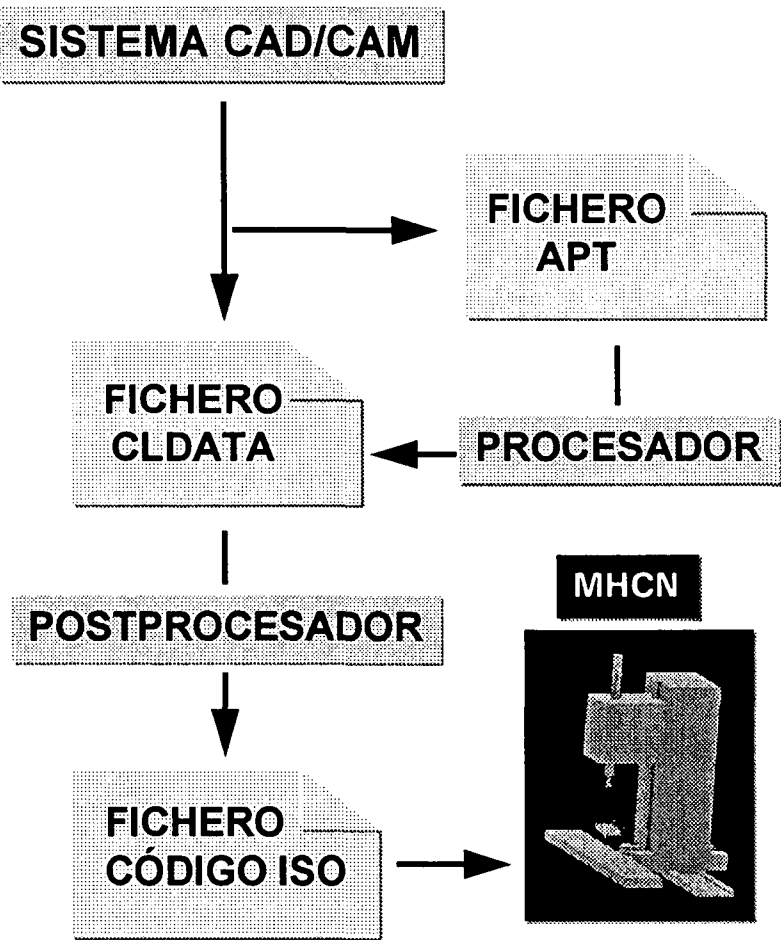
Figura 2.6. Ejemplo de los niveles de información de fabricación.

- 2) Racionalizar y codificar las operaciones de mecanizado de fresado y taladrado, así como la información tecnológica necesaria para su completa definición.
- 3) Desarrollar un modelo de información de nivel de operaciones que permita el intercambio de información de fabricación basada en operaciones de mecanizado entre sistemas CAM-CAM-CNC. Imponiendo como requerimiento la existencia de una correspondencia completa con el nivel de información de trayectoria. Este modelo se compondrá de las principales operaciones básicas de mecanizado en fresado y taladrado, resultando independiente de cualquier sistema específico CAM o CNC, aunque en su definición deberá analizarse la situación actual de dichos sistemas en lo que respecta a la definición de la información de fabricación.
4. Emplear STEP en el desarrollo de dicho modelo de información y en su implementación. Para lo cual se empleara el lenguaje de modelado EXPRESS [ISO94b], y el interfaz C/SDAI [STEP5c] para realizar su implementación mediante el desarrollo de una aplicación orientada a objetos que diseñe una base de datos de operaciones básicas de mecanizado, sustituyendo de esta manera la situación actual de utilización de APT [ANS87] y CLDATA [ISO78a]. El método propuesto de programación de las MHCN, junto con el que se viene utilizando en la actualidad, se recoge en la figura 2.7.
5. Desarrollar un traductor para convertir la información de nivel de operaciones, contenida en ficheros con formato STEP [ISO94c], a información de nivel de trayectoria expresada en ficheros con código de programación ISO [ISO82a].

Las principales ventajas que pueden obtenerse de las soluciones adoptadas en la tesis son:

1. Impulsar la racionalización en el empleo de normas y formatos para intercambio de información, al hacerse uso de STEP en sustitución de APT, CLDATA y formatos específicos para la programación de MHCN.
2. Facilitar el intercambio de información de operaciones de mecanizado entre sistemas CAM.
3. Favorecer el desarrollo de postprocesadores (traductores) integrados en los CNC que acepten programas orientados a operaciones en formato STEP, y de esta forma mejorar la programación de las MHCN.

SITUACIÓN ACTUAL: PROGRAMACIÓN A NIVEL DE TRAYECTORIA (CÓDIGO ISO)



PROPUESTA: PROGRAMACIÓN A NIVEL DE OPERACIONES (FORMATO STEP)

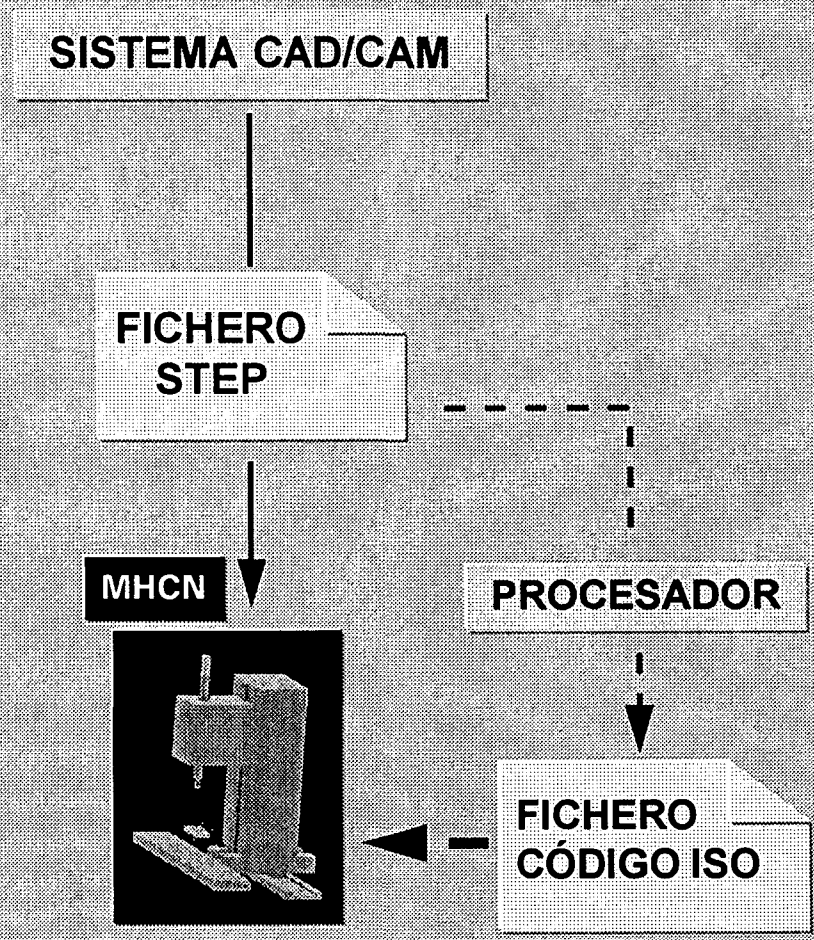


Figura 2.7. Estructura actual y propuesta de programación automática de las MHCN.

2.6. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES ADOPTADAS EN LA TESIS EN RELACIÓN CON LAS INICIATIVAS RELACIONADAS CON EL MODELADO DE INFORMACIÓN DE FABRICACIÓN.

A continuación se realiza un análisis de las iniciativas más importantes relativas al modelado de información de fabricación y la programación de MHCN, comentándose en cada caso las similitudes y diferencias que las soluciones adoptadas en la tesis tienen con dichos trabajos de investigación.

1. NIST - Robot Systems Division - Air Force Next Generation Controller Program [ALB92]. Dentro de este programa, finalizado en 1991, se desarrollaron distintos proyectos de entre los que destacamos el sistema OLPS (Off-Line Programming System) [KRA91]. Esta puede considerarse como la primera iniciativa con el objetivo de definir un conjunto de comandos, a nivel de tarea u operación, para centros de mecanizado de 3 ejes utilizando STEP. Se trata de un sistema para la generación automática de programas CN para un centro de mecanizado, donde las entradas: plan de procesos y los volúmenes de material a eliminar, vienen en ficheros con formato STEP. Las diferencias principales entre este desarrollo y la propuesta que se realiza en la tesis son las siguientes:
 - a) El sistema OLPS se basa en la utilización de un conjunto de MRSEV (Material Removal Shape Element Volumes) [KRA92b] [KRA92c], [NAU93], que determinan el volumen de material a mecanizar. Estos volúmenes constituyen la información geométrica que define cada operación de mecanizado. En un sistema externo de planificación de procesos y mediante la utilización de estos volúmenes se realiza una planificación del proceso de mecanizado. La definición del plan de procesos se realiza en el lenguaje ALPS (A Language for Process Specification) [CAT91], [RAY92]. El principal problema de este tipo de solución, al igual que sucede con otras iniciativas orientadas al desarrollo de sistemas CAPP basadas en características o elementos de forma, radica en el número limitado de volúmenes definidos y por tanto en el número de operaciones de mecanizado soportadas.
 - b) La definición de comandos de nivel de tarea no contempla toda la información tecnológica necesaria para la completa definición de las operaciones de mecanizado, y como consecuencia su enlace con la generación de trayectorias de herramienta.

c) Solo se consideran las operaciones soportadas por el CNC GE-2000, y no se realiza un análisis de los parámetros que realmente definen las operaciones de mecanizado independientemente del sistema utilizado, ya sea CNC o CAM.

Las aportaciones más importantes del trabajo desarrollado por Kramer son:

- (1) la definición de un lenguaje de comando de nivel de tarea para los CNC, equivalente a un lenguaje de programación basado en operaciones, similar a los lenguajes orientados a tareas que se emplean en algunos controles de robots;
- (2) la utilización de STEP como norma para la generación de ficheros de definición de procesos para intercambio entre sistemas. Esta última idea ha sido adoptada como solución en el desarrollo de la tesis, como ya se ha comentado anteriormente.

2. RWTH - Aachen - WZL. Los trabajos de investigación y desarrollo realizados en este Laboratorio relacionados con la programación de MHCN y la planificación de procesos son sobradamente conocidos, desde el desarrollo del sistema EXAPT [REC70], continuado posteriormente con el desarrollo del sistema AUTAP [EVE82], hasta los trabajos recientes relacionados con el desarrollo de un modelo estructurado de procesos de fabricación [EVE89], [EVE91], y su participación en el proyecto IMPACT [CRE91]. En [EVE89] se presenta la problemática de la programación de las MHCN en un entorno CIM, así como de las deficiencias principales de los estándares utilizados en dicha programación. Como solución se propone el desarrollo de un nuevo lenguaje de programación de CN que incluya la descripción de tareas mediante unos comandos principales orientados a operaciones y simultáneamente unos comandos básicos basados en el código de programación ISO [ISO82a] [ISO82b]. El sistema se basa en la definición de un modelo información de producto integrado (IPIM) basado en características empleando STEP. Como continuación del trabajo anterior, en [EVE91] se expone el estado de la integración CAPP-programación CN y los requerimientos de un modelado estructurado de procesos para la integración CAD/CAPP/programación CN. Se considera un modelo de características como núcleo de información compartida por tres submodelos, el de producto, el de proceso y el de factoria. Dentro del modelado de procesos se consideran cuatro niveles:

- (1) Preparación de datos de entrada: modelado geométrico de la pieza basado en características, incluyendo información de fabricación (tolerancias).
- (2) Plan de procesos: comprende la selección y ordenación de los procesos necesarios para fabricar la pieza en función de las características de diseño. Se selecciona una máquina para cada proceso, se determina la fijación y posicionamiento de la pieza en la máquina y se selecciona el utillaje necesario.
- (3) Plan de operaciones: comprende la definición y secuenciación de las operaciones de cada proceso, asignándose a cada operación las herramientas, estrategia de mecanizado y parámetros de corte.
- (4) Generación de datos de CN: comprende la generación de un fichero CLData.

Las diferencias principales entre este desarrollo y la propuesta que se realiza en la tesis son las siguientes:

- a) Se trata de un desarrollo más amplio al contemplarse el desarrollo de un sistema integrado CAD/CAPP/programación CN basado en el modelado geométrico con características. El principal problema de este tipo de solución, como ya se ha comentado anteriormente, radica en el número limitado de características definidas y por tanto en el número de operaciones de mecanizado soportadas, al mismo tiempo se debe distinguir entre sistemas basados en características geométricas y aquellos que soportan características funcionales. La tesis se centra en la problemática de la programación CN a nivel de operaciones.
- b) Se consideran cuatro niveles dentro del modelado de procesos con una orientación en el modelado diseño-producción 'arriba-abajo'. En la tesis se han considerado cinco niveles de particularización en la información de fabricación desde la etapa de producción hasta la de diseño, con una orientación en el modelado de la información 'abajo-arriba'.
- c) Aunque en [EVE89] se apunta la necesidad de un lenguaje de programación de nivel de operaciones, la programación de CN se mantiene a nivel de trayectoria con la generación de ficheros CLData, con las desventajas que supone (ver apartado 2.5). En la tesis se adopta la solución de generar un lenguaje de nivel de operaciones para la programación de las MHCN. Con objeto de permitir la programación de nivel de trayectoria se recomienda el procesado en cada CNC de

los ficheros de nivel de operaciones. Las ventajas que se derivan de esta solución se han comentado en el apartado 2.5.

Las aportaciones más importantes del trabajo desarrollado en el WZL son:

- (1) la propuesta de desarrollar un nuevo lenguaje de programación de CN a nivel de operaciones que esté integrado dentro del flujo de información general de los sistemas CIM.
 - (2) la utilización de la norma STEP en el desarrollo de modelos integrados de producto, procesos y recursos.
3. ESPRIT Project 2165 - Integrated Modelling of Products and Processes using Advanced Computer Technologies - IMPACT [GIE91], [IMP91]. Este proyecto tenía como objetivo desarrollar y demostrar una nueva generación de sistemas de modelado integrado para diseño de producto y planificación de procesos incluyendo la generación de programas de CN. Como resultado se generó un modelo de referencia IMPACT para sistemas CIM, donde se consideran tres modelos integrados: modelo de producto, modelo de procesos, y modelo de recursos. El modelo integrado se basa en características, considerándose características de diseño y características de producción. La definición de las características se realiza mediante el lenguaje PDGL [KRAU91a] basado en el lenguaje EXPRESS [ISO94b]. Una característica de producción se descompone a su vez en: de grupo de procesos, de proceso, de operación, y de pasada. Correspondiéndose la característica de operación con el nivel definido en la tesis de información de nivel de planificación de operaciones, y la característica de pasada con el nivel de información de trayectoria. Desde el punto de vista de su implantación, este proyecto dio lugar al desarrollo de herramientas para la integración de distintas aplicaciones CAX comerciales mejorando con ello la integración del diseño y la planificación de procesos. Por lo que respecta a la generación de programas de control numérico se utilizó el programa comercial TECHMILL, no realizándose ninguna modificación en la programación mediante el empleo del formato CLDATA. La aportación más importante de este proyecto radica en ser uno de los primeros trabajos en abordar la problemática de los sistemas CAPP mediante la definición de características (de diseño y de producción) juntamente con la utilización de STEP. Por lo que respecta a la relación de la tesis con este proyecto, radica fundamentalmente en la adopción de la idea de desarrollar un modelo de procesos de mecanizado basado en STEP.

4. ESPRIT Project 6090 - Feature-based Integrated Rapid Engineering System - FIRES [WAT95], [ENP95]. Este proyecto a supuesto el desarrollo de un sistema CAPP basado en características para un sistema CAD/CAM comercial (Duct). En su realización se han tenido presentes los protocolos STEP AP213 [ISO94g] y AP224 [ISO94h]. Las características están especialmente orientadas al sector del molde, adicionalmente a sus parámetros geométricos se pueden añadir tolerancias, y especificar reglas de mecanizado mediante un editor en el que se escribe el código (lenguaje específico del sistema Duct) de las reglas a aplicar. Como resultado de la etapa de diseño se genera un fichero neutro de características en formato STEP que se emplea posteriormente en la aplicación FINPLAN. Esta aplicación de planificación emplea la información contenida en el fichero neutro de características, junto con la información de las reglas de mecanizado y una base de datos de máquinas y herramientas, para generar un plan de operaciones de fabricación. El plan de operaciones se contiene en un fichero STEP basado en el AP213 que puede ser leído por el sistema CAD/CAM comercial. Como consecuencia de la orientación de este proyecto hacia el desarrollo de un sistema CAPP, sin tener en cuenta la etapa posterior de la programación de las MHCN, no se considera que exista similitud entre el trabajo realizado en la tesis y el desarrollado realizado en este proyecto.
5. ISO 10303 - AP 213 - NC Process Plans for Machined Parts [ISO94g]. Se trata de un protocolo para el intercambio y compartición de información entre sistemas CAPP que fundamentalmente comprende información relativa a:
 - a) referencias a los recursos necesarios para realizar las operaciones de mecanizado: máquinas, utillajes, herramientas;
 - b) secuencias de operaciones a realizar;
 - c) información relativa a la definición del producto, datos administrativos, herramientas, máquinas y material, necesarias para la programación de CN.

Desde el punto de vista de la información, la aportación de la tesis con respecto a este protocolo radica en:

- a) definición de las operaciones de mecanizado para fresado y taladrado y sus parámetros asociados;
- b) definición de estructuras de puntos para taladrado y sus parámetros asociados;

- c) definición de los tipos de herramientas para taladrado y fresado y los parámetros que las definen;
- d) desarrollo de un método basado en operaciones para programación de MHCN.

Desde el punto de vista conceptual existe una diferencia clara y fundamental entre este protocolo y la solución adoptada en la tesis. Esta diferencia reside en que el AP 213 tiene como finalidad habilitar un procedimiento para el intercambio de toda la información originada durante la tarea de planificación de procesos entre sistemas CAPP, mientras que la finalidad de la tesis es desarrollar un procedimiento que permita el intercambio de información a nivel de operaciones entre sistemas CAM, y la programación a nivel de operaciones de las MHCN. Con objeto de justificar lo hasta ahora expuesto se comentan las definiciones de las entidades: *material_removal*, *action_method*, *action_resource*, *action_property*, *resource_property*, *NC_program*, contenidas en el AP213.

- *material_removal*: es un subtipo de *action_method* consistente en el proceso de utilizar una MHCN para cortar o eliminar material. La especificación EXPRESS es:

```
ENTITY material_removal
  SUBTYPE OF (action_method);
  WHERE
    WR1 : SIZEOF (QUERY (ar <* USEDIN
      (SELF, 'NC_PROCESS_PLAN_SCHEMA.ACTION_RESOURCE') |
      (ar.kind.name = 'machine') AND
      (SELF\action_method IN ar.usage))) = 1;
    WR2 : SIZEOF (QUERY (ar <* USEDIN
      (SELF, 'NC_PROCESS_PLAN_SCHEMA.ACTION_RESOURCE') |
      (ar.kind.name = 'tool_assembly') AND
      (SELF\action_method IN ar.usage))) = 1;
    WR3 : SIZEOF (QUERY (ap <* USEDIN
      (SELF, 'NC_PROCESS_PLAN_SCHEMA.SHAPE_ASPECT') |
      (SELF\action_method IN ap.definition ))) = 1;
  END_ENTITY;
```

Interpretación de las reglas:

WR1: un *material_removal* estará referenciado por exactamente un *action_resource* con el atributo name igual a 'machine'.

WR2: un *material_removal* estará referenciado por exactamente un *action_resource* con el atributo name igual a 'tool_assembly'.

WR3: un *material_removal* estará referenciado por exactamente un *shape_aspect*.

Figura 2.8. Definición EXPRESS de la entidad *material_removal*.

La definición de la entidad supertipo *action_method* se recoge en la Parte 41 [ISO94e] (recurso genérico integrado) en el esquema *action_schema*, su definición en EXPRESS es la siguiente:

```
ENTITY action_method;  
  name      : label;  
  description : text;  
  consequence : text;  
  purpose   : text;  
END_ENTITY;  
  
Donde tanto label como text son dos tipos  
definidos de tipo básico STRING (cadena de caracteres).
```

Figura 2.9. Definición EXPRESS de la entidad *action_method*.

- ***action_resource***: entidad recurso para la realización de un ***action_method*** definido en la Parte 41 [ISO94e]. La especificación EXPRESS es:

```
ENTITY action_resource;  
  name      : label;  
  description : text;  
  usage     : SET [1:?] OF supported_item  
  kind      : action_resource_type;  
END_ENTITY;
```

Figura 2.10. Definición EXPRESS de la entidad *action_resource*.

El atributo *usage* comprende un conjunto de acciones que emplean este recurso para su realización. *supported_item* es un tipo de selección entre: *action*, *action_method*, *action_directive*.

El atributo *kind* indica el tipo de recurso, para ello se emplea la entidad *action_resource_type* que tiene como único atributo *name: label*; un atributo de tipo textual.

- ***action_property***: entidad empleada para definir propiedades asociadas con acciones, definida en la Parte 41 [ISO94e]. La especificación EXPRESS es:

```
ENTITY action_property;  
  name      : label;  
  description : text;  
  definition : characterized_action_definition;  
END_ENTITY;
```

Figura 2.11. Definición EXPRESS de la entidad *action_property*.

El atributo *definition* es del tipo *characterized_action_definition* definido como una selección entre: *action*, *action_method*.

- **resource_property**: entidad empleada para definir propiedades asociadas con recursos, definida en la Parte 49 [ISO95a]. La especificación EXPRESS es:

```
ENTITY resource_property;  
  name      : label;  
  description : text;  
  resource   : characterized_resource_definition;  
END_ENTITY;
```

Figura 2.12. Definición EXPRESS de la entidad *resource_property*.

El atributo *resource* es del tipo *characterized_resource_definition* definido como una selección entre: *action_resource*, *action_resource_requirement*.

- **NC_program**: se define como un conjunto de información, que identifica un conjunto específico de instrucciones para crear un perfil de un producto. Los datos asociados son: *controller_type*, *format*, *id*, *revision*, *validation_date*, *validation_time*. Su implementación mediante el AIM se realiza a través de las siguientes entidades:

```
NC_PROGRAM es un action_resource donde action_resource_type.name =  
'nc_program'  
  
controller_type es un resource_property donde resource_property.name =  
'controller_type'  
  
format es un resource_property donde resource_property.name = 'format'  
  
id se corresponde con action_resource.name  
  
revision se corresponde con action_resource.description  
  
validation_date se corresponde con calendar_date  
  
validation_time se corresponde con local_time
```

Figura 2.13. Correspondencia de entidades del AIM para *NC_program*

Como consecuencia de estas definiciones se comprueba que:

- a) todas las entidades de operaciones de mecanizado definidas en el ARM tienen una correspondencia única con la entidad *material_removal*, de forma que la única manera de diferenciar unas de otras es a través del valor de sus atributos. Los problemas que se derivan de este tipo de practicas (múltiples entidades del ARM se corresponden con un única entidad en el AIM, etc.)

han sido reconocidos y puesto de manifiesto dentro de la comunidad STEP [LOT96], [HAA96], [WAR96a], [WAR96b].

- b) todos los atributos de cualquier entidad de operación de mecanizado son de tipo textual. Esta orientación que puede ser aceptable desde el punto de vista de la generación de documentación de planificación de procesos por tratarse de una información descriptiva, es totalmente inadecuada cuando se esta pensando en su utilización para la generación de un programa de CN a nivel de operaciones.
- c) no se consideran instrucciones o información que debe incluirse en el programa de CN, únicamente se consideran atributos de tipo textual relacionados con aspectos de gestión de programas: nombre, tipo de control, tipo de formato del programa, fecha de creación , fecha de validación.

6. Mahieddine y Webb [MAH90] proponen normalizar los procesadores APT, ya que existen diversas implantaciones según el sistema CAM utilizado, y generar un fichero CLDATA en código binario (BCL). Este fichero BCL es el fichero neutro de intercambio entre los sistemas CAM y los CNC realizándose su postprocesado en cada CNC. De esta manera solo se necesita generar un programa de trayectoria de herramienta que es independiente de la MHCN en la que se vaya a realizar el mecanizado. Esta solución no se encuentra muy extendida, y de hecho según los autores, únicamente se está utilizando dentro del sector aerospacial en EE.UU. Las diferencias más destacadas que presenta esta solución con respecto a la solución que se propone en esta tesis son las siguientes:

- a) Está basada en la utilización del formato CLDATA con lo que se sigue intercambiando información de trayectoria de herramienta y no de operaciones, como consecuencia se sigue sin aprovechar la programación orientada a operaciones de mecanizado de los CNC.
- b) Sigue utilizando formatos que no son compatibles con la especificación de la norma ISO STEP, no favoreciendo por tanto la utilización de un único estándar para el intercambio de información entre sistemas asistidos por computador.

Un aspecto importante a destacar, y que se ha considerado como solución en la tesis es:

- (1) la realización del postprocesado por parte del CNC. La tendencia actual en el desarrollo de los CNC [OWE94], [STE95a], permite que dichos sistemas puedan realizar la función de postprocesado de forma similar a como lo hace un sistema independiente, esta solución permitiría el intercambio de información a nivel de operaciones de mecanizado definidas según un protocolo STEP, y la realización del postprocesado por parte de cada CNC.

Destacan también otras organizaciones donde se están desarrollando trabajos de investigación relacionados con el desarrollo de la norma STEP y/o en la aplicación de STEP en el área de fabricación:

- Rensselaer Polytechnic Institute - Laboratory for Industrial Information Infrastructure. Dispone de un grupo de trabajo que participa activamente en el desarrollo de distintas partes de la norma STEP, como es el caso del lenguaje EXPRESS-X, así como en el desarrollo de herramientas CASE basadas en STEP, [HAR93], [HAR96], [STE95b], [STE95c], [STE95d].
- The University of Iowa - Dept. of Mechanical Engineering. Dispone de una línea de trabajo en sistemas CAPP [WAN91], y en el aplicación de la norma STEP en el modelado de producto para sistemas CAPP [QUI93] y sistemas CAE-CAM (montaje) [LIU92], [WU92].
- Loughborough University of Technology - Dept. of Manufacturing Engineering. Donde se dispone de una línea de trabajo relacionada con ingeniería concurrente, metodologías basadas en el conocimiento y aplicación de STEP en el diseño y fabricación de piezas de inyección de plástico [ALA92], [ELL93a], [ELL93b], [LEE94].
- University of Leeds - Dept. of Mechanical Engineering. Donde se dispone de una línea de trabajo relacionada con modelado de producto, intercambio de información entre sistemas CAX, y aplicación de la norma STEP [BAX94], [BLO91], [MCK91], [OWE87], [OWE93], .
- University of Maryland - Dept. of Mechanical Engineering. Dispone de una línea de trabajo en sistemas CAPP, desde el año 1990 los trabajos se centran fundamentalmente en el desarrollo de un sistema CAPP basado en características con aplicación de la norma STEP [SSE90].

- University of Calgary - Dept. of Mechanical Engineering. Dispone de una línea de trabajo en modelado de producto orientado a objeto, los últimos trabajos están relacionados con el desarrollo de un sistema CAD/CAPP basado en STEP [GU94a], [GU94b], [GU95].

A continuación se reseñan otros trabajos relacionados con la aplicación de STEP al modelado geométrico, al modelado con características, etc.: [KRO89], [SHA91], [SON93], [TRA93a], [VER91].

CAPÍTULO 3

MODELOS DESARROLLADOS

3.1. INTRODUCCIÓN

Como ya se justificó anteriormente (ver apartado 2.3) con objeto de facilitar el desarrollo de sistemas integrados se hace necesario la aplicación de técnicas de modelado que permitan realizar una descripción precisa e independiente de los sistemas. Teniendo presente los objetivos definidos en la presente tesis (ver apartado 1.3), y como etapa previa a la implantación de un modelo de información de fabricación basado en operaciones de mecanizado, se ha realizado el desarrollo de un modelo conceptual. El proceso de modelado utilizado en la tesis para el desarrollo de dicho modelo conceptual se ha dividido en cuatro fases:

- 1) Fase inicial: comprende la definición del área de aplicación del modelo. En los apartados 1.2. y 2.5. se recoge una descripción y justificación de dicho ámbito de aplicación.
- 2) Modelo de actividades: comprende una representación gráfica estructurada de las actividades principales que se desarrollan dentro del ámbito de aplicación, así como de la información, materiales y recursos que interrelacionan dichas actividades. Para la realización de esta fase se ha utilizado la metodología IDEF0 [MIC95], [NIS93a].
- 3) Análisis de la información: comprende el análisis de la definición actual de la información que se contempla en las actividades que se desarrollan en el ámbito de aplicación del sistema. Más concretamente la tesis se centra en la definición de un modelo conceptual para el intercambio de información de fabricación basado en operaciones de mecanizado. Con este objetivo y teniendo presente el ámbito de aplicación del modelo, se hace necesario como etapa previa al desarrollo del modelo conceptual, realizar un análisis del contenido y forma de definir las operaciones de mecanizado tanto en los sistemas CAD/CAM como en los sistemas CNC.
- 4) Modelo de información: comprende el desarrollo de un modelo conceptual en el que se especifican los datos y reglas de interpretación que constituyen la información relevante al sistema que se desea desarrollar. Para ello se ha utilizado la metodología propuesta por Schenck y Wilson [SCHE94]. En el desarrollo del modelo se utilizó el lenguaje EXPRESS [ISO92] para la representación textual y EXPRESS-G [ISO92] para la representación gráfica. Este modelo escrito en EXPRESS sirve como base para realizar el desarrollo e implementación de una aplicación orientada a objetos para el intercambio de información de fabricación basada en operaciones. Dicho intercambio se realiza mediante ficheros en formato STEP [ISO94c].

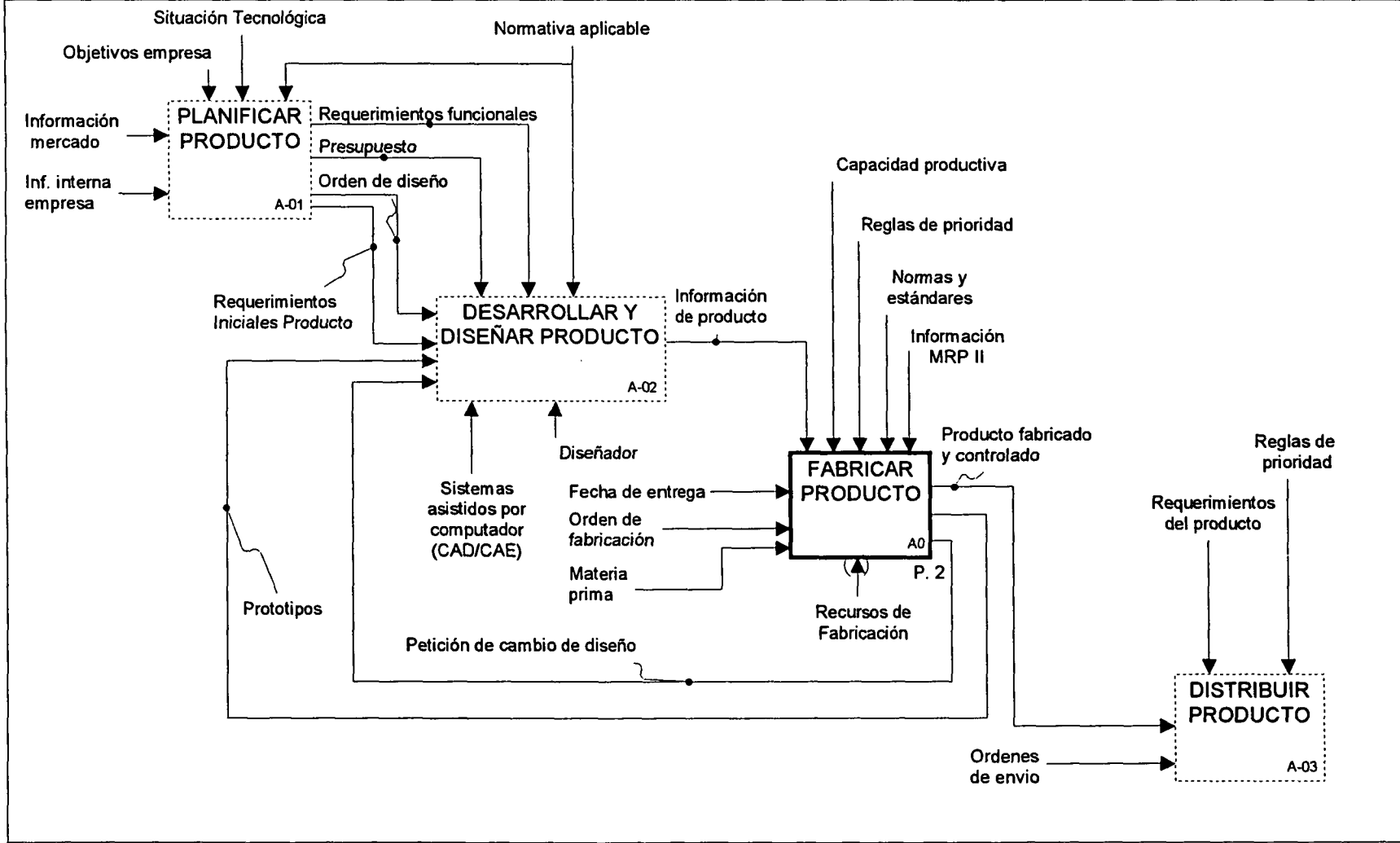
3.2. MODELO DE ACTIVIDADES

3.2.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN.

El ámbito de aplicación es la fabricación de piezas mediante procesos de mecanizado por arranque de viruta con máquinas herramienta de control numérico. Para la realización de este modelo funcional se ha elegido el método IDEF0 [NIS93a]. El objetivo de este modelo es proporcionar una visión general de las actividades a realizar en el sistema y del flujo de información y material necesario.

Las figuras 3.1 a 3.9 contienen la representación gráfica del modelo realizado. Las actividades que se encuentran representadas por cajas con línea de trazo discontinuo se encuentran fuera del ámbito de interés del sistema desarrollado en la tesis, sin embargo se han especificado con objeto de proporcionar una mayor claridad del entorno en el cual se encuentra situado dicho sistema.

USADO EN: ETSII-DIMF	AUTOR: JOSE RIOS	FECHA: 13/08/96	DE TRABAJO	REVISADO POR	FECHA	CONTEXTO: Top
	PROYECTO: TESIS	REV: 4	BORRADOR	A. VIZAN		
	NOTAS: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		x RECOMENDADO			
			FINAL			



NODO: A-0	TITULO: DIAGRAMA DE CONTEXTO	NUMERO:	Pág. 1
-----------	------------------------------	---------	--------

Figura 3.1 DIAGRAMA DE CONTEXTO

3.2.2. NODO A-0 - DIAGRAMA DE CONTEXTO

El diagrama de contexto A-0 se representa en la figura 3.1. A continuación se realiza una descripción de cada una de las distintas actividades, así como de las entradas, salidas, recursos y elementos de control correspondientes a aquellas tareas que se encuentran dentro del ámbito del modelo desarrollado.

ACTIVIDAD: PLANIFICAR PRODUCTO (A-01)

Esta actividad de procesado de información tiene por objetivo realizar una especificación de los requerimientos de un nuevo producto, para ello deberá tenerse presente la situación actual y futura del mercado, los objetivos de la empresa, la situación tecnológica, y toda la normativa aplicable tanto al producto a lo largo de todo su ciclo de vida, como a las tecnologías necesarias para su elaboración y comercialización. Generalmente la idea de un nuevo producto puede proceder de la propia empresa con objeto de satisfacer una necesidad del mercado, o bien como solución a una demanda determinada de un cliente. Algunas de las actividades que puede comprender la planificación de un producto son: análisis de la situación actual de la compañía y sus productos, establecer áreas posibles de actuación, establecer un conjunto de ideas de nuevos productos, definir productos en base a la información y requerimientos establecidos en la etapas anteriores, etc.. El resultado de esta actividad servirá como base para la etapa posterior de desarrollo y diseño de producto.

ACTIVIDAD: DESARROLLAR Y DISEÑAR PRODUCTO (A-02)

Esta actividad de procesado de información tiene por objetivo realizar el diseño completo de detalle de un nuevo producto, debiéndose tener presente la información procedente de la etapa anterior de planificación. Desde un punto de vista conceptual, en el diseño del producto deberá tenerse presente aspectos como la fabricación, el montaje y el reciclado. Si fuera necesario durante esta etapa se solicitará la realización de prototipos que ayuden a realizar un mejor diseño. Las dos actividades principales contenidas en esta fase son el diseño conceptual y el diseño de detalle. Como resultado de esta actividad se dispondrá de una especificación completa y detallada del producto, incluyéndose: diseño 3D, planos con dimensiones y tolerancias (macrogeométricas y microgeométricas), lista de materiales, características mecánicas funcionales, información de fabricación a nivel de procedimiento, etc.. Esta información será la base para realizar la fabricación del producto.

ACTIVIDAD: FABRICAR PRODUCTO (A0)

Es una actividad de procesado de información y de material que tiene por objeto obtener el producto final fabricado y controlado. Para ello, se parte fundamentalmente de las especificaciones generadas en la etapa previa de diseño, y de la materia prima sobre la que se realizarán los procesos de fabricación necesarios para obtener el producto final. También se contempla dentro de esta fase la realización de prototipos. Esta actividad comprende tareas de administración y planificación de fabricación, planificación de procesos y de realización de la producción del producto. La información procedente de diseño no se verá modificada durante el desarrollo de esta actividad, por lo que cualquier modificación que hubiera que realizarse será solicitada a la oficina de diseño mediante una petición de modificación de diseño de producto.

A. Entradas de la actividad:

- **Fecha de entrega:** determina la fecha en la cual el cliente debe recibir la pieza o producto del cual se ha solicitado su fabricación.
- **Orden de fabricación:** para iniciar el proceso de fabricación de un producto se hace necesario disponer de una orden de fabricación.
- **Materia prima:** se corresponde con el material base que después de ser mecanizado con arreglo a un procedimiento de fabricación dará lugar al producto o pieza final.

B. Salidas de la actividad:

- **Petición de cambio de diseño:** como consecuencia del proceso de fabricación del producto puede ser necesario realizar modificaciones en el diseño original generado durante la etapa de diseño, desde fabricación se solicitará la realización de dichas modificaciones. De esta forma se garantiza una realimentación de información de fabricación al personal de diseño, esto debe conducir a una mejor aplicación del concepto de 'diseñar para fabricar'.
- **Prototipos:** puede ser un modelo o bien una preserie solicitada desde diseño con objeto de ayudar y facilitar la realización del diseño definitivo del producto.
- **Producto fabricado y controlado:** producto terminado sobre el que se ha comprobado el cumplimiento de las especificaciones requeridas tanto de tipo funcional como de diseño.

C. Controles de la actividad:

- **Información de producto:** comprende toda la información generada durante la etapa de desarrollo y diseño de producto (definición geométrica, tolerancias dimensionales y de forma, acabado superficial, material, etc.), junto con los requerimientos de tipo funcional definidos durante la actividad de planificación de producto.
- **Capacidad productiva:** la capacidad productiva de la empresa condiciona la planificación del programa de producción, en lo que respecta a la planificación aproximada del programa de producción, es decir cálculo de cantidades y plazos para los pedidos de los clientes.
- **Reglas de prioridad:** reglas propias de la empresa y que determinan como desarrollar la planificación de la fabricación del producto.
- **Normas y estándares:** se corresponde con todas aquellas normas o estándares que sean de aplicación en el ámbito de la fabricación del producto y que servirán como elemento de control en el desarrollo de dicha actividad.
- **Información de planificación de recursos de fabricación (MRP II):** se corresponde con la información de los recursos de fabricación disponibles en la empresa, necesaria para realizar la planificación de la fabricación.

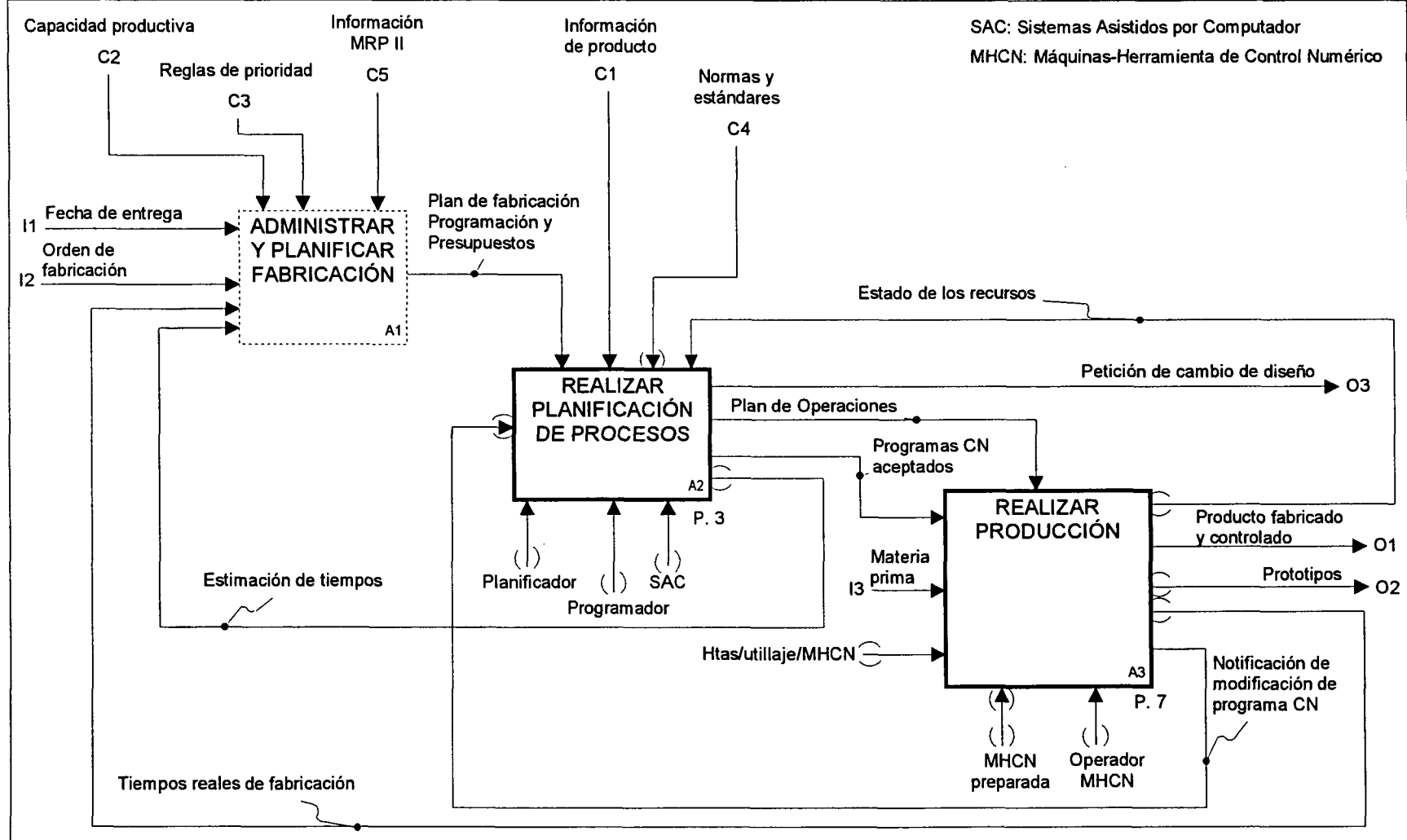
D. Mecanismos o recursos necesarios para la ejecución de la actividad:

- **Recursos de fabricación:** comprende todos aquellos recursos de tipo humano (planificador, programador, operador de máquina-herramienta de control numérico, etc.) y de tipo material (máquinas herramienta de control numérico, sistemas asistidos por computador, herramientas, utillaje, etc.) necesarios para realizar la fabricación del producto.

ACTIVIDAD: DISTRIBUIR PRODUCTO (A-03)

El producto fabricado y controlado es distribuido al cliente con arreglo a las ordenes de envío, en esta fase deberá tenerse presente las reglas de prioridad y los requerimientos del producto.

USADO EN:	AUTOR: JOSE RIOS	FECHA: 13/08/96	DE TRABAJO	REVISADO POR	FECHA	CONTEXTO:
ETSII-DIMF	PROYECTO: TESIS	REV: 4	BORRADOR	A. VIZAN		<input type="checkbox"/>
	NOTAS: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		<input checked="" type="checkbox"/> RECOMENDADO			<input type="checkbox"/>
			FINAL			<input type="checkbox"/>



NODO: A0	TITULO: FABRICAR PRODUCTO	NUMERO: Pág. 2
----------	---------------------------	----------------

Figura 3.2 FABRICAR PRODUCTO

3.2.3. NODO A0 - FABRICAR PRODUCTO

Este nodo se representa en la figura 3.2. A continuación se realiza una descripción de cada una de las distintas actividades que lo componen, así como de las entradas, salidas, recursos y elementos de control correspondientes a aquellas tareas que se desarrollan dentro del ámbito de la fabricación de productos.

ACTIVIDAD: ADMINISTRAR Y PLANIFICAR FABRICACIÓN (A1)

Actividad de procesado de información en la que se incluyen tareas de planificación del programa de producción (establecimiento de pronósticos para productos, piezas y grupos, confirmación del plazo de suministro, etc.), planificación de cantidades (cálculo de aprovisionamiento, selección de proveedores, control de existencias en almacén, reserva de materiales, etc.), programación de la fabricación (planificación de plazos y capacidades de producción), lanzamiento y seguimiento de ordenes de trabajo, etc..

ACTIVIDAD: REALIZAR PLANIFICACIÓN DE PROCESOS (A2)

Esta actividad comprende tareas de planificación de procesos (determinación de la secuencia de trabajo, elección de procedimientos y tipos de máquinas, planificación del montaje, planificación de la verificación y control, etc.), planificación de operaciones (selección de máquinas, herramientas y utillaje, definición de las operaciones de mecanizado, etc.), y de generación y verificación de programas de control numérico.

A. Entradas de la actividad:

- **Notificación de modificación de programa CN:** durante la actividad de realización de producción, en la comprobación de programa a pie de máquina puede hacerse alguna modificación en el programa original generado en la actividad de planificación que deberá notificarse a la oficina de planificación para la actualización del programa original.

B. Salidas de la actividad:

- **Petición de cambio de diseño:** al realizar la planificación de procesos para la fabricación del producto, puede requerirse realizar alguna modificación en el diseño original del mismo con objeto de facilitar o mejorar su fabricación, dicha modificación deberá ser realizada por el personal de diseño por lo que se enviará un documento de solicitud de modificación a dicho departamento incluyendo los cambios a realizar.

- **Plan de operaciones:** comprende toda la información necesaria para especificar como se va a realizar la fabricación del producto, incluyendo: una descripción de los procesos a realizar, de la secuencia de las operaciones, la selección de los recursos a emplear (máquinas, herramientas, utillajes, materia prima, etc.) y la generación de la documentación necesaria, la definición de los parámetros tecnológicos de cada operación, etc.
- **Programas de CN aceptados:** programas de control numérico a nivel de operaciones para la programación de las máquinas herramienta, y que han sido verificados y validados para comprobar que cumplen con el plan de operaciones definido para la fabricación de la pieza o producto.
- **Estimación de tiempos:** durante la actividad de planificación de procesos se realiza una estimación de los tiempos de fabricación del producto que sirve como realimentación a la etapa de planificación de la fabricación.

C. Controles de la actividad:

- **Plan de fabricación:** como resultado de la actividad de administración y planificación de la fabricación resulta un plan de fabricación que comprende un presupuesto, una programación y unas restricciones de tipo tecnológico y/o económico que deben cumplirse al realizar la planificación de procesos.
- **Información de producto:** (página 60).
- **Normas y estándares:** (página 60).
- **Estado de los recursos:** es el estado actual de los recursos de fabricación desde el punto de vista de su funcionalidad (operativo, no operativo), condiciona su disponibilidad para ser seleccionados durante la etapa de planificación de procesos.

D. Mecanismos o recursos necesarios para la ejecución de la actividad:

- **Planificador:** persona con conocimientos de procesos de fabricación, máquinas, herramientas y utillaje, será el encargado de realizar la planificación de procesos y la planificación de operaciones, para ello se ayudara de herramientas de tipo informático.
- **Programador:** persona con conocimientos de operaciones de mecanizado, máquinas, herramientas, utillaje y programación de control numérico, se

encarga de elaborar los programas de control numérico tanto a nivel de operaciones como a nivel de trayectoria de herramienta, para ello se ayudara de herramientas de tipo informático.

- **Sistemas asistidos por computador (SAC):** se trata de un conjunto de programas o aplicaciones informáticas para la realización de la planificación de procesos, planificación de operaciones y programación de control numérico. De forma general se corresponde con lo que actualmente se conoce como sistemas CAPP, sistemas CAM, bases de datos de herramientas, etc..

ACTIVIDAD: REALIZAR PRODUCCIÓN (A3)

Esta actividad comprende tareas de administración de órdenes de trabajo (recepción y administración de órdenes de trabajo, progreso de las ordenes, etc.), especificación de trabajos (supervisión en la realización de las ordenes de trabajo, control de la ocupación de máquinas, activación del sistema de manutención, etc.), abastecimiento y retirada interna de materiales, preparación de materiales (solicitud de materiales y herramientas, preparación de herramientas, útiles, piezas y maquinaria a emplear en el proceso productivo), administración de programas CN (solicitud de documentación y programas, realizar correcciones y enviar notificaciones a planificación de procesos, etc.), de mecanización de piezas mediante procesos de arranque de viruta, y de control de piezas.

A. Entradas de la actividad:

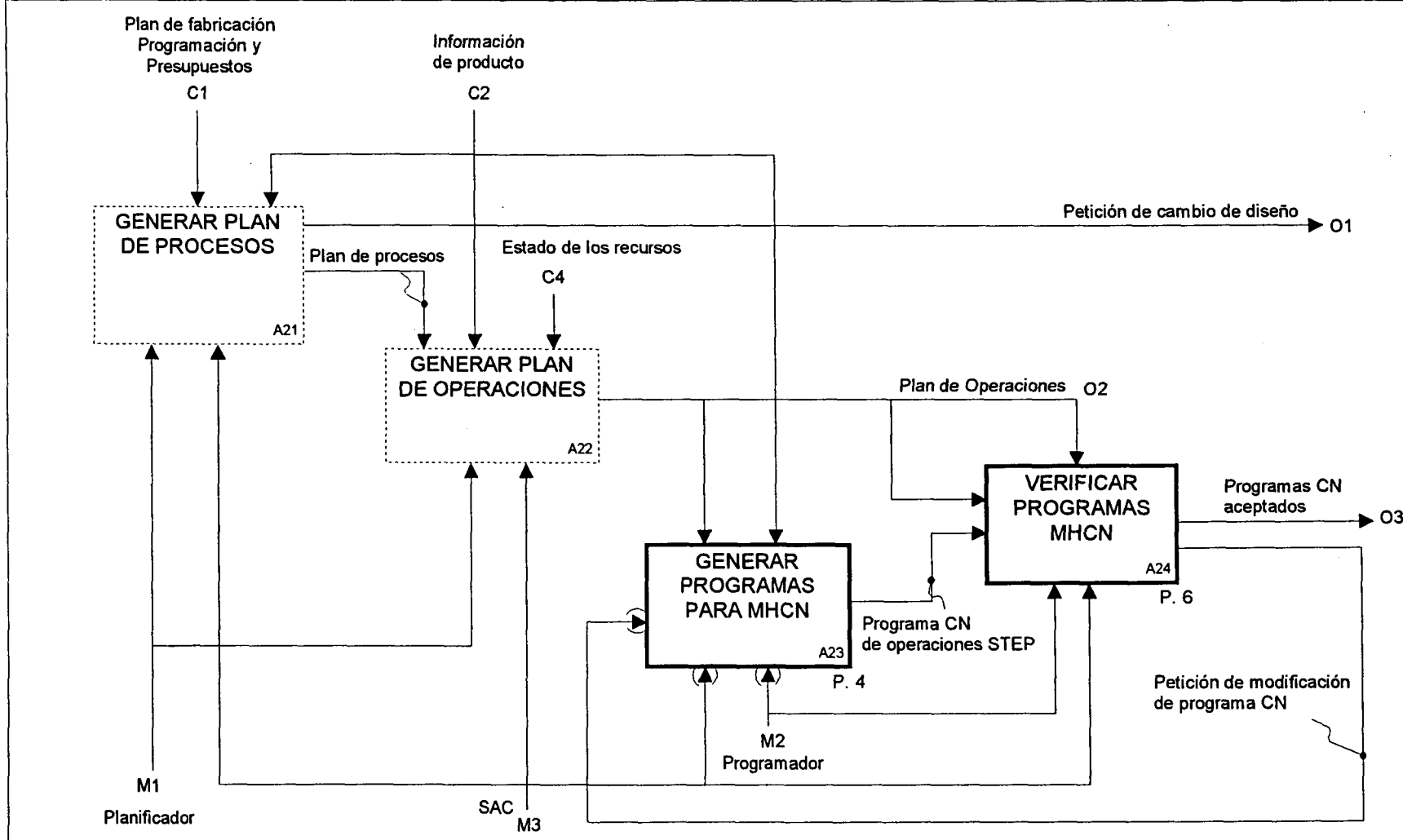
- **Programas de CN aceptados:** programas de control numérico a nivel de operaciones para la programación de las máquinas herramienta de control numérico. Estos programas han sido verificados y validados en la actividad de planificación de procesos para comprobar que cumplen con el plan de operaciones definido para la fabricación de la pieza o producto.
- **Materia prima:** (página 59).
- **Herramientas/utillaje/MHCN:** los recursos de fabricación que deben estar disponibles, y ser preparados con arreglo al plan de operaciones, para su utilización en la producción del producto.

B. Salidas de la actividad:

- **Estado de los recursos:** (página 63).

- **Producto fabricado y controlado:** (página 59).
 - **Prototipos:** (página 59).
 - **Tiempos reales de fabricación:** realimentación hacia la actividad de administración y planificación de la fabricación de los tiempos reales empleados en la fabricación del producto.
 - **Notificación de modificación de programa CN:** (página 62).
- C. Controles de la actividad:
- **Plan de operaciones:** (página 63).
- D. Mecanismos o recursos necesarios para la ejecución de la actividad:
- **MHCN preparada:** máquina herramienta de control numérico en la que se va a realizar un proceso de mecanizado y en la que se han montado las herramientas, utillaje y material a mecanizar, y en la que se han probado los programas de CN a utilizar.
 - **Operador MHCN:** persona encargada de preparar la MHCN y de su funcionamiento durante la ejecución del proceso de mecanizado.

USADO EN: ETSII-DIMF	AUTOR: JOSE RIOS	FECHA: 13/08/96	DE TRABAJO	REVISADO POR	FECHA	CONTEXTO: <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	PROYECTO: TESIS	REV: 4	BORRADOR	A. VIZAN		
	NOTAS: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		x RECOMENDADO			
			FINAL			



NODO: A2	TITULO: REALIZAR PLANIFICACIÓN DE PROCESOS	NUMERO: Pág. 3
----------	--	----------------

Figura 3.3 REALIZAR PLANIFICACIÓN DE PROCESOS

3.2.4. NODO A2 - REALIZAR PLANIFICACIÓN DE PROCESOS

Este nodo se representa en la figura 3.3. A continuación se realiza una descripción de cada una de las distintas actividades que lo componen, así como de las entradas, salidas, recursos y elementos de control correspondientes a aquellas tareas que se realizan dentro del ámbito de la planificación de procesos.

ACTIVIDAD: GENERAR PLAN DE PROCESOS (A21)

Actividad de procesamiento de información que comprende tareas relativas a la selección del material base o materia prima, selección de los métodos de mecanizado que actuando directamente sobre la materia prima cambian su forma, dimensiones y propiedades con objeto de obtener el producto final. En este modelo en particular solo se han considerado los procesos de mecanizado por arranque de viruta.

ACTIVIDAD: GENERAR PLAN DE OPERACIONES (A22)

Actividad de procesamiento de información que comprende tareas relativas a la selección de las máquinas a emplear en cada proceso, determinar los métodos de posicionamiento y fijación del material a mecanizar, determinar la secuencia de operaciones de cada proceso, determinar la herramienta a utilizar en cada operación, y determinar el volumen de material a mecanizar en cada operación.

ACTIVIDAD: GENERAR PROGRAMAS PARA MHCN (A23)

Esta actividad comprende entre otras tareas la de fijar origen de programa, fijar la posición inicial, fijar la posición de cambio de herramienta, definir las operaciones de mecanizado en lo que respecta a su información geométrica y tecnológica, y generar el programa de CN basado en operaciones en formato STEP.

A. Entradas de la actividad:

- **Petición de modificación de programa CN:** petición procedente de la actividad de verificación de programas.

B. Salidas de la actividad:

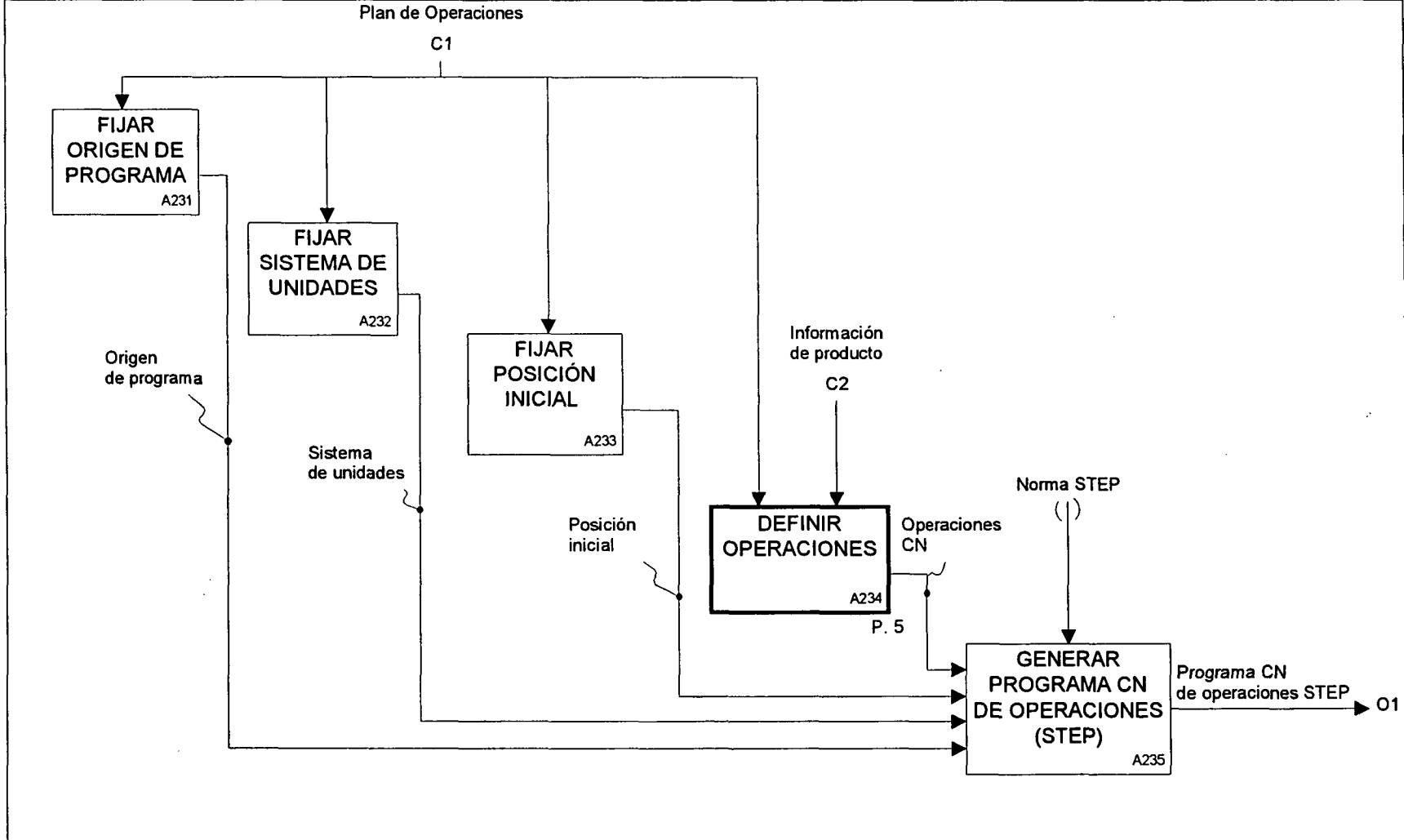
- **Programa CN de operaciones STEP:** programa de CN a nivel de operaciones conforme con el modelo de información de operaciones de mecanizado desarrollado, y escrito en formato conforme con la norma ISO 10303 (STEP) Parte 22 [ISO94c].

- C. Controles de la actividad:
- **Plan de operaciones:** (página 63).
 - **Información de producto:** (página 60).
- D. Mecanismos o recursos necesarios para la ejecución de la actividad:
- **Programador:** (página 63).
 - **SAC:** (página 64).

ACTIVIDAD: VERIFICAR PROGRAMAS MHCN (A24)

- A. Entradas de la actividad:
- **Plan de operaciones:** (página 63).
 - **Programa CN de operaciones STEP:** (página 67).
- B. Salidas de la actividad:
- **Programas CN aceptados:** (página 63).
 - **Petición de modificación de programa CN:** al realizar la verificación del programa de CN se pueden detectar errores que hagan necesaria su modificación, esta modificación deberá realizarse en la actividad de generación de programas (A23) por lo que se realizará la petición pertinente.
- C. Controles de la actividad:
- **Plan de operaciones:** (página 63).
- D. Mecanismos o recursos necesarios para la ejecución de la actividad:
- **Programador:** (página 63).
 - **SAC:** (página 64).

USADO EN: ETSII-DIMF	AUTOR: JOSE RIOS	FECHA: 13/08/96	DE TRABAJO	REVISADO POR	FECHA	CONTEXTO: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
	PROYECTO: TESIS	REV: 4	BORRADOR	A. VIZAN			
	NOTAS: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		x RECOMENDADO				
			FINAL				



NODO: A23	TITULO: GENERAR PROGRAMAS PARA MHCN	NUMERO: Pág. 4
-----------	-------------------------------------	----------------

Figura 3.4 GENERAR PROGRAMAS PARA MHCN

3.2.5. NODO A23 - GENERAR PROGRAMAS PARA MHCN

Este nodo se representa en la figura 3.4. A continuación se realiza una descripción de cada una de las distintas actividades que lo componen, así como de las entradas, salidas, recursos y elementos de control correspondientes a aquellas actividades que se encuentran dentro del ámbito del modelo en lo que respecta a la generación de programas para MHCN.

ACTIVIDAD: FIJAR ORIGEN DE PROGRAMA (A231)

La primera tarea al iniciar la elaboración de un programa de CN es determinar el origen de programa, se trata de un punto significativo de la pieza y respecto del cual están referidas la mayor parte de la cotas de la misma, este punto coincide con el origen pieza que se habrá seleccionado previamente en la etapa de elaboración del plan de operaciones.

ACTIVIDAD: FIJAR SISTEMA DE UNIDADES (A232)

Seleccionar el sistema de unidades que se va a emplear, métrico o en pulgadas, con arreglo a la información contenida en el plan de operaciones.

ACTIVIDAD: FIJAR POSICIÓN INICIAL (A233)

Fijar un punto de posicionamiento inicial y de cambio de herramienta, este punto debe estar lo suficientemente alejado de la pieza para evitar cualquier tipo de interferencia. Para ello deberá tenerse en cuenta la información contenida en el plan de operaciones.

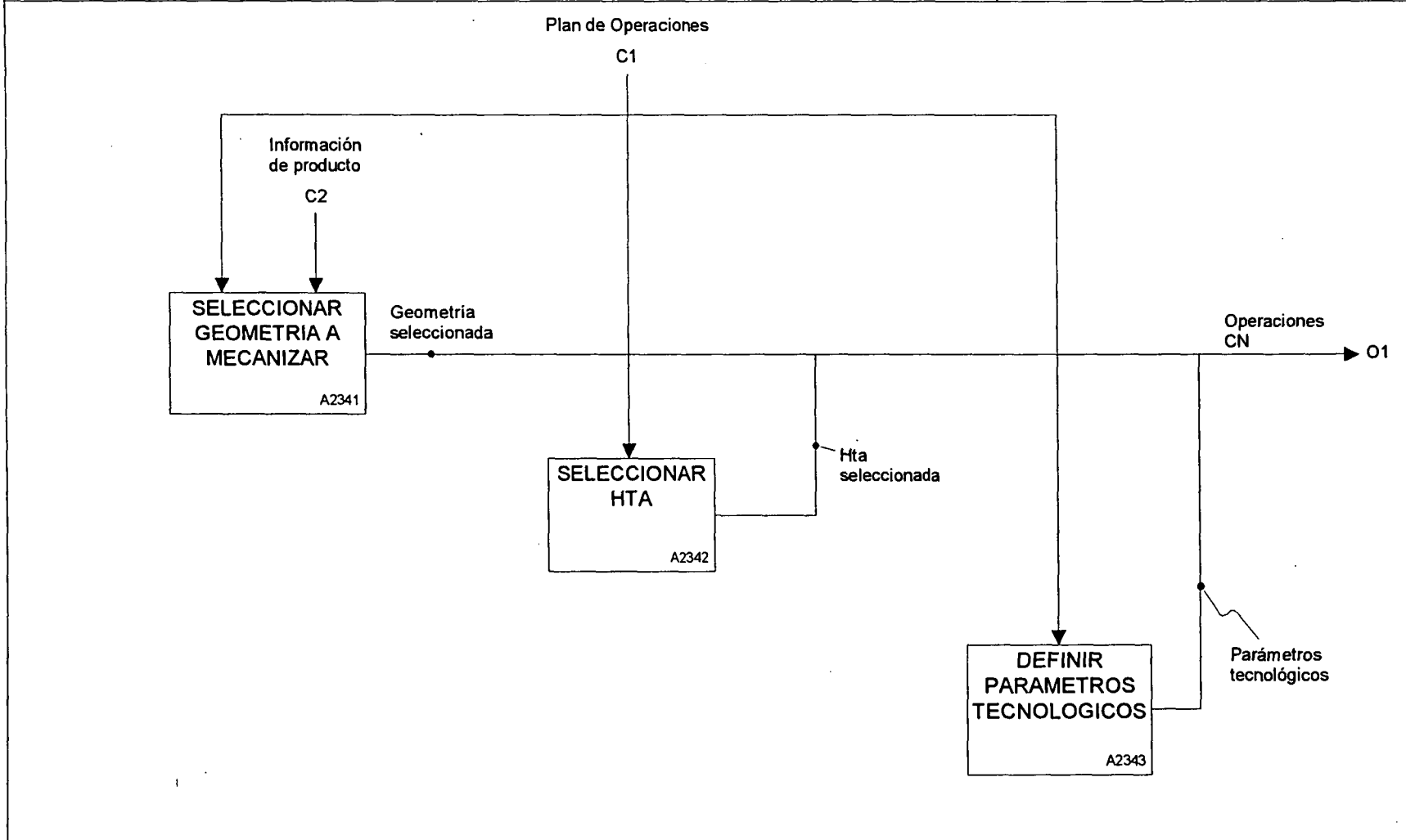
ACTIVIDAD: DEFINIR OPERACIONES (A234)

Comprende la definición completa de las operaciones de mecanizado contenidas en el programa, para ello se deberá seleccionar la geometría a mecanizar, seleccionar la herramienta a emplear en la operación, y definir el valor de los parámetros tecnológicos que definen cada operación. Para ello se cuenta con la información procedente del plan de operaciones y de la información de producto.

ACTIVIDAD: GENERAR PROGRAMA CN DE OPERACIONES (STEP) (A235)

Una vez definida las operaciones de mecanizado a realizar, se procede a generar en el programa de CN a nivel de operaciones en formato conforme con la norma ISO 10303 (STEP) Parte 22 [ISO94c].

USADO EN: ETSII-DIMF	AUTOR: JOSE RIOS	FECHA: 13/08/96	DE TRABAJO	REVISADO POR	FECHA	CONTEXTO: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	PROYECTO: TESIS	REV: 4	BORRADOR	A. VIZAN		
	NOTAS: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		<input checked="" type="checkbox"/> RECOMENDADO			
			FINAL			



NODO: A234	TITULO: DEFINIR OPERACIONES	NUMERO:	Pág. 5
------------	-----------------------------	---------	--------

Figura 3.5 DEFINIR OPERACIONES

3.2.6. NODO A234 - DEFINIR OPERACIONES

Este nodo se representa en la figura 3.5. A continuación se realiza una descripción de cada una de las distintas actividades que lo componen, así como de las entradas, salidas, recursos y elementos de control correspondientes a aquellas actividades que se encuentran dentro del ámbito del modelo en lo que respecta a la definición de operaciones.

ACTIVIDAD: SELECCIONAR GEOMETRÍA A MECANIZAR (A2341)

Aunque en el plan de operaciones se haya seleccionado el volumen de material a eliminar en la operación, el nivel de información necesario para obtener la trayectoria de herramienta es de un nivel inferior, en cuanto a su especificación, se hace necesario por ejemplo conocer el contorno final resultante de la operación de mecanizado, la profundidad a mecanizar, y cualquier otro parámetro geométrico que influya en la generación de la trayectoria de herramienta. Para ello se cuenta con la información procedente del plan de operaciones y la información (fundamentalmente el modelo geométrico) de la pieza a mecanizar.

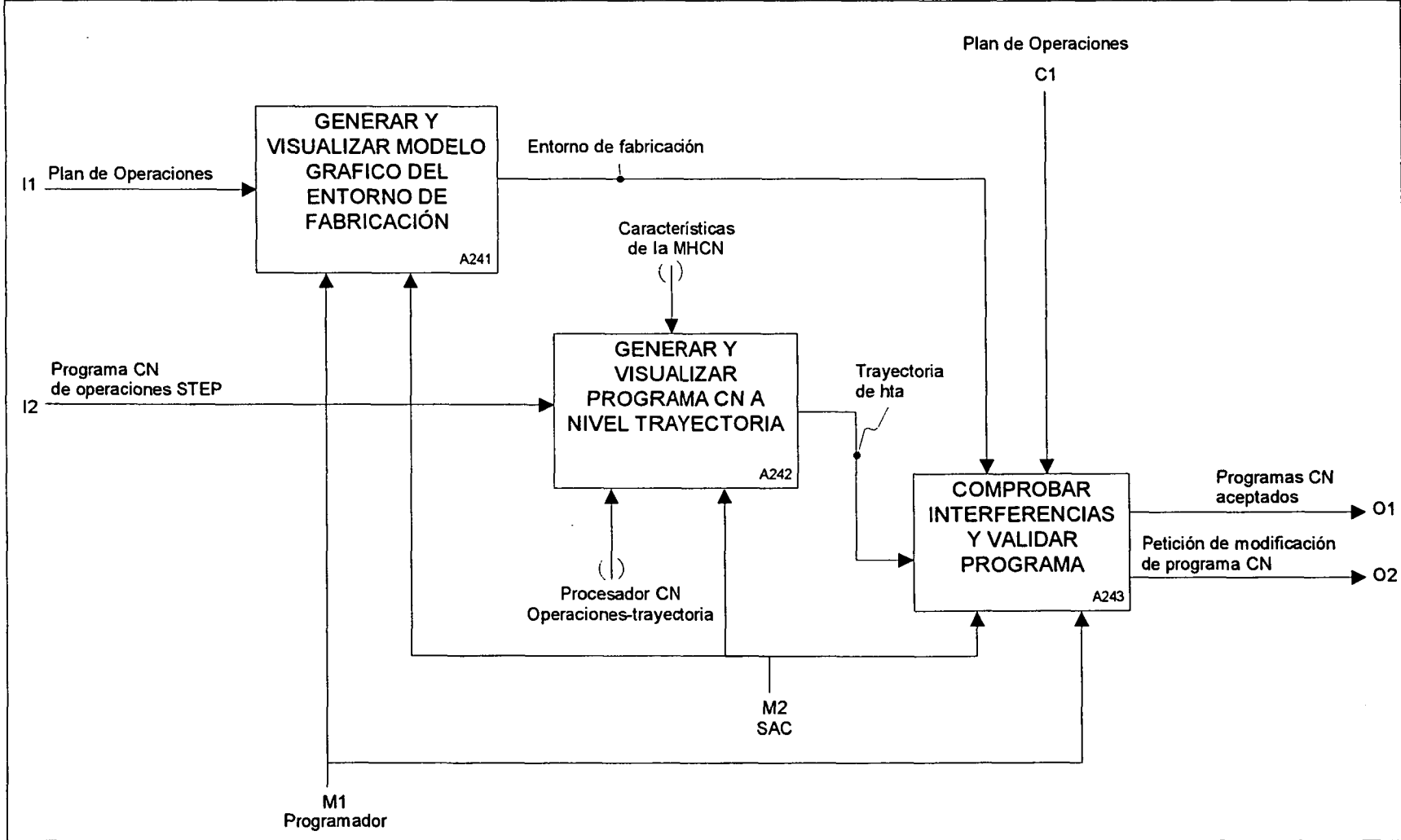
ACTIVIDAD: SELECCIONAR HTA (A2342)

Para definir cualquier operación de mecanizado es necesario asociarle la herramienta necesaria para su realización, dicha asignación debe coincidir con la información contenida en el plan de operaciones.

ACTIVIDAD: DEFINIR PARÁMETROS TECNOLÓGICOS (A2343)

Comprende la definición de aquellos parámetros que determinan como se va a realizar la operación de mecanizado, es decir la estrategia de mecanizado, como por ejemplo, el plano de aproximación, profundidad de pasada, tipo de trayectoria, etc..

USADO EN: ETSII-DIMF	AUTOR: JOSE RIOS	FECHA: 13/08/96	DE TRABAJO	REVISADO POR	FECHA	CONTEXTO: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
	PROYECTO: TESIS	REV: 4	BORRADOR	A. VIZAN			
	NOTAS: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		x RECOMENDADO				
				FINAL			



NODO: A24	TITULO: VERIFICAR PROGRAMAS MHCN	NUMERO: Pág.6
-----------	----------------------------------	---------------

Figura 3.6 VERIFICAR PROGRAMAS MHCN

3.2.7. NODO A24 - VERIFICAR PROGRAMAS MHCN

Este nodo se representa en la figura 3.6. A continuación se realiza una descripción de cada una de las distintas actividades que lo componen, así como de las entradas, salidas, recursos y elementos de control correspondientes a aquellas actividades que se encuentran dentro del ámbito del modelo en lo que respecta a la verificación de programas para MHCN.

ACTIVIDAD: GENERAR Y VISUALIZAR MODELO GRÁFICO DEL ENTORNO DE FABRICACIÓN (A241)

El programador y/o planificador hace uso la información contenida en el plan de operaciones junto con la procedente de la base de datos de recursos de fabricación para generar un modelo gráfico del entorno de fabricación en un sistema asistido por computador.

A. Entradas de la actividad:

- **Plan de operaciones:** (página 63).

B. Salidas de la actividad:

- **Entorno de fabricación:** representación gráfica de máquinas, herramientas, utillaje y material base, este modelo geométrico será empleado para realizar una comprobación posterior de interferencias.

C. Mecanismos o recursos necesarios para la ejecución de la actividad:

- **Programador y/o planificador:** parte de la definición del entorno puede haberse realizado durante la etapa de planificación, en caso contrario será el programador quien realice su definición en un sistema de fabricación asistida por computador.
- **SAC:** sistema integrado de fabricación asistida por computador que debe disponer de utilidades de modelado geométrico, acceso a una base de datos de recursos de fabricación, generación de programas de CN a nivel de trayectoria, comprobación de interferencias, etc.

ACTIVIDAD: GENERAR Y VISUALIZAR PROGRAMA CN A NIVEL DE TRAYECTORIA

Partiendo del programa de CN a nivel de operaciones y mediante el empleo de un procesador CN Operaciones-Trayectoria específico para la máquina herramienta de CN en la que se va a realizar el mecanizado se obtiene el programa de CN a nivel de trayectoria de herramienta.

A. Entradas de la actividad:

- **Programa CN de operaciones STEP:** (página 67).

B. Salidas de la actividad:

- **Trayectoria de hta:** representación gráfica de la trayectoria que siguen las distintas herramientas empleadas en las operaciones que constituyen el programa de CN.

C. Controles de la actividad:

- **Características de la MHCN:** determinan el valor admisible para ciertos parámetros del programa de la trayectoria de herramienta, como por ejemplo: recorrido máximo en cada eje, rango de avances, velocidad máxima de giro del husillo, número máximo de htas del almacén, etc. Su aplicación principal se produce en el desarrollo del Procesador CN específico para la MHCN.

D. Mecanismos o recursos necesarios para la ejecución de la actividad:

- **Procesador CN Operaciones-trayectoria:** se trata de una aplicación específica para cada MHCN que permite generar un programa de CN a nivel de trayectoria a partir del programa de CN de operaciones STEP.
- **SAC:** sistema integrado de fabricación asistida por computador que debe disponer de utilidades de modelado geométrico, acceso a una base de datos de recursos de fabricación, generación de programas de CN a nivel de trayectoria, comprobación de interferencias, etc.

ACTIVIDAD: COMPROBAR INTERFERENCIAS Y VALIDAR PROGRAMA (A243)

Comprende la comprobación del programa de CN con respecto al plan de operaciones establecido y al entorno de fabricación definido.

A. Entradas de la actividad:

- **Trayectoria de hta:** representación gráfica de la trayectoria que siguen las distintas herramientas empleadas en las operaciones que constituyen el programa de CN.

B. Salidas de la actividad:

- **Programas de CN aceptados:** una vez que se ha comprobado la validez del programa con respecto al entorno de fabricación y el plan de operaciones se acepta para su utilización en la realización de la producción.
- **Petición de modificación de programa CN:** cuando se detecta alguna interferencia o error en el programa se solicita su modificación, dicha modificación se realiza en la etapa de generar programas para MHCN (actividad A23).

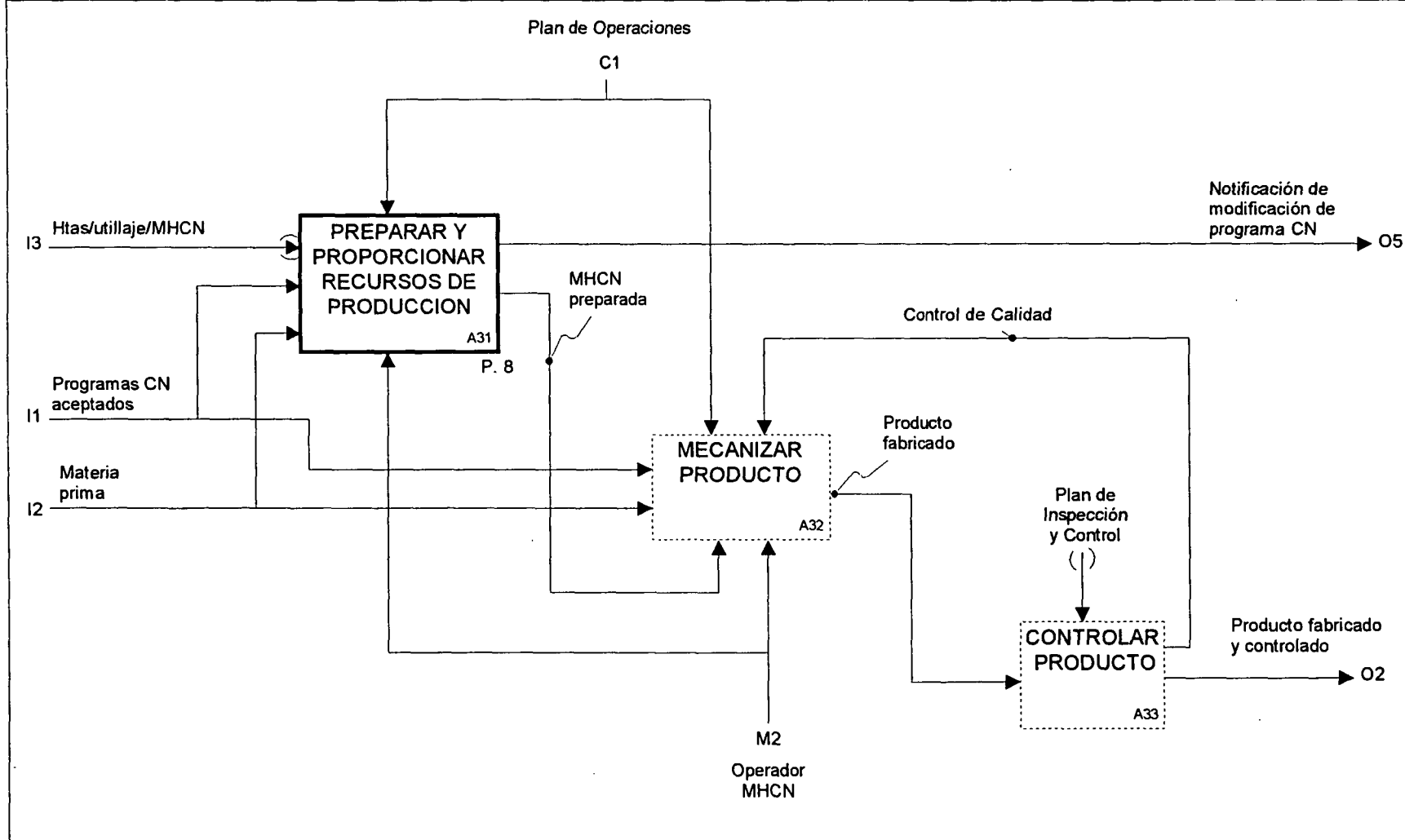
C. Controles de la actividad:

- **Entorno de fabricación:** (página 74).
- **Plan de operaciones:** (página 63).

D. Mecanismos o recursos necesarios para la ejecución de la actividad:

- **Programador:** (página 63)
- **SAC:** sistema integrado de fabricación asistida por computador que debe disponer de una utilidad para comprobación de interferencias con respecto al entorno de fabricación definido, y de restricciones con respecto al plan de operaciones establecido.

USADO EN: ETSII-DIMF	AUTOR: JOSE RIOS	FECHA: 13/08/96	DE TRABAJO	REVISADO POR	FECHA	CONTEXTO: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	PROYECTO: TESIS	REV: 4	BORRADOR	A. VIZAN		
	NOTAS: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		x RECOMENDADO			
			FINAL			



NODO: A3	TITULO: REALIZAR PRODUCCIÓN	NUMERO: Pág. 7
----------	-----------------------------	----------------

Figura 3.7 REALIZAR PRODUCCIÓN

3.2.8. NODO A3 - REALIZAR PRODUCCIÓN

Este nodo se representa en la figura 3.7. A continuación se realiza una descripción de cada una de las distintas actividades que lo componen, así como de las entradas, salidas, recursos y elementos de control correspondientes a aquellas actividades que se encuentran dentro del ámbito del modelo en lo que respecta a la realización de la producción.

ACTIVIDAD: PREPARAR Y PROPORCIONAR RECURSOS DE PRODUCCIÓN

Comprende la adquisición desde el almacén de las distintas herramientas, útiles y materia prima necesaria para la realizar la producción, así como la preparación de dichos recursos junto con las máquinas herramienta de CN que se van a utilizar el proceso productivo.

A. Entradas de la actividad:

- **Htas/utillaje/MHCN:** recursos materiales de fabricación necesarios para realizar el proceso productivo.
- **Programas CN aceptados:** (página 76).

B. Salidas de la actividad:

- **Notificación de modificación de programa CN:** durante la actividad de preparación de la MHCN se hace una comprobación en máquina del programa de CN, durante dicha prueba podrá realizarse alguna modificación del programa que deberá ser notificada a la oficina técnica donde se lleva a cabo la planificación de procesos.
- **MHCN preparada:** es una MHCN sobre la que se han montado las herramientas, utillaje y materia prima, y en la que se ha comprobado el programa de CN a emplear en el mecanizado, la máquina se encuentra en estado de iniciar la producción.

C. Controles de la actividad:

- **Plan de operaciones:** (página 63).

D. Mecanismos o recursos necesarios para la ejecución de la actividad:

- **Operador MHCN:** es el encargado de la MHCN, y por tanto de realizar la preparación de los recursos de producción, como por ejemplo recoger herramientas y utillaje del almacén, montar dichos elementos en la MHCN,

herramientas y utillaje del almacén, montar dichos elementos en la MHCN, probar el programa de CN y realizar posibles modificaciones, atender la máquina durante la fase de mecanizado, etc.

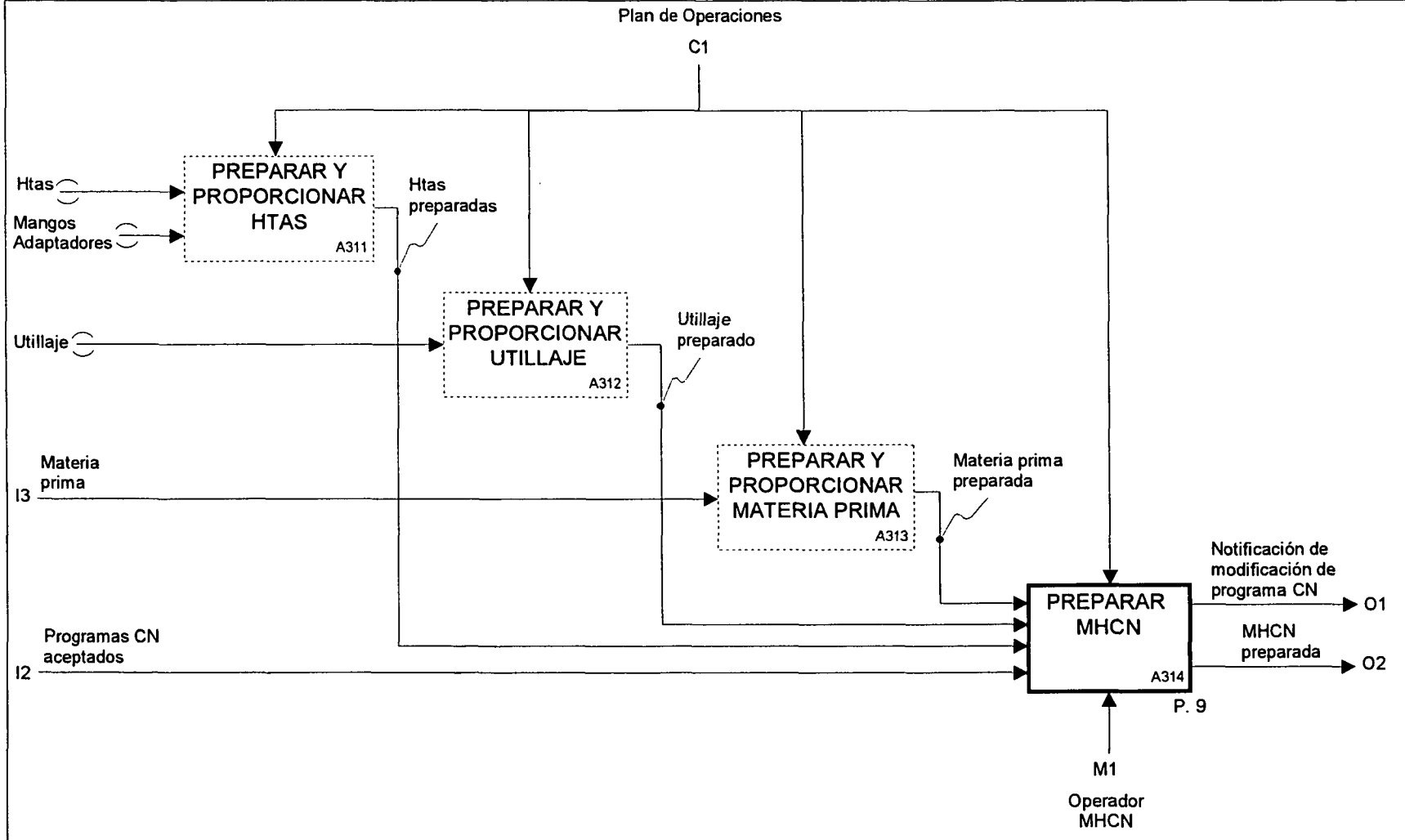
ACTIVIDAD: MECANIZAR PRODUCTO (A32)

Esta actividad de procesado de material, comprende la utilización de máquinas herramienta de control numérico (MHCN) para el mecanizado de piezas mediante procesos de arranque de viruta. Para su realización se utilizan las MHCN preparadas en la actividad anterior.

ACTIVIDAD: CONTROLAR PRODUCTO (A33)

Actividad de procesado de material e información en la que con arreglo a un plan de inspección y control se procede a la verificación de que producto fabricado cumple con las especificaciones requeridas.

USADO EN: ETSII-DIMF	AUTOR: JOSÉ RÍOS	FECHA: 13/08/96	DE TRABAJO	REVISADO POR	FECHA	CONTEXTO: ■ □ □
	PROYECTO: TESIS	REV: 4	BORRADOR	A. VIZAN		
	NOTAS: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		x RECOMENDADO			
				FINAL		



NODO: A31	TITULO: PREPARAR Y PROPORCIONAR RECURSOS DE PRODUCCION	NUMERO: Pág. 8
-----------	--	----------------

Figura 3.8 PREPARAR Y PROPORCIONAR RECURSOS DE PRODUCCIÓN

3.2.9. NODO A31 - PREPARAR Y PROPORCIONAR RECURSOS DE PRODUCCIÓN

Este nodo se representa en la figura 3.8. A continuación se realiza una descripción de cada una de las distintas actividades que lo componen, así como de las entradas, salidas, recursos y elementos de control correspondientes a aquellas actividades que se encuentran dentro del ámbito del modelo en lo que se refiere a la preparación de recursos de producción.

ACTIVIDAD: PREPARAR Y PROPORCIONAR HTAS (A311)

Actividad en la que se procede al montaje y prereglaje de las herramientas que se van a utilizar en el proceso de fabricación.

ACTIVIDAD: PREPARAR Y PROPORCIONAR UTILLAJE (A312)

Actividad en la que se prepara el utillaje necesario para el posicionamiento y fijación del material a mecanizar en cada operación.

ACTIVIDAD: PREPARAR Y PROPORCIONAR MATERIA PRIMA (A313)

Actividad en la que se prepara el material que se va a emplear en el proceso de mecanizado.

ACTIVIDAD: PREPARAR MHCN (A314)

Esta actividad comprende el montaje en la máquina de las herramientas, el utillaje y la materia prima que va a ser mecanizada, igualmente comprende la comprobación a pie de máquina del programa de control numérico que se va a emplear en el mecanizado.

A. Entradas de la actividad:

- **Htas preparadas:** herramienta completa incluyendo los adaptadores necesarios, y con el prereglaje para la determinación de los correctores realizado.
- **Utillaje preparado:** elementos de utillaje necesarios para posicionar y sujetar el material a mecanizar en la máquina.
- **Materia prima preparada:** material listo para ser montado en la máquina y proceder a su mecanizado.
- **Programas CN aceptados:** (página 76).

B. Salidas de la actividad:

- **Notificación de modificación de programa CN:** durante la actividad de preparación de la MHCN una vez que se han introducido los correctores y los puntos de referencia, se hace una comprobación en máquina del programa de CN, durante dicha prueba podrá realizarse alguna modificación del programa que deberá ser notificada a la oficina técnica donde se lleva a cabo la planificación de procesos.
- **MHCN preparada:** es una MHCN sobre la que se han montado las herramientas, utillaje y materia prima, y en la que se ha comprobado el programa de CN a emplear en el mecanizado, la máquina se encuentra en estado de iniciar la producción.

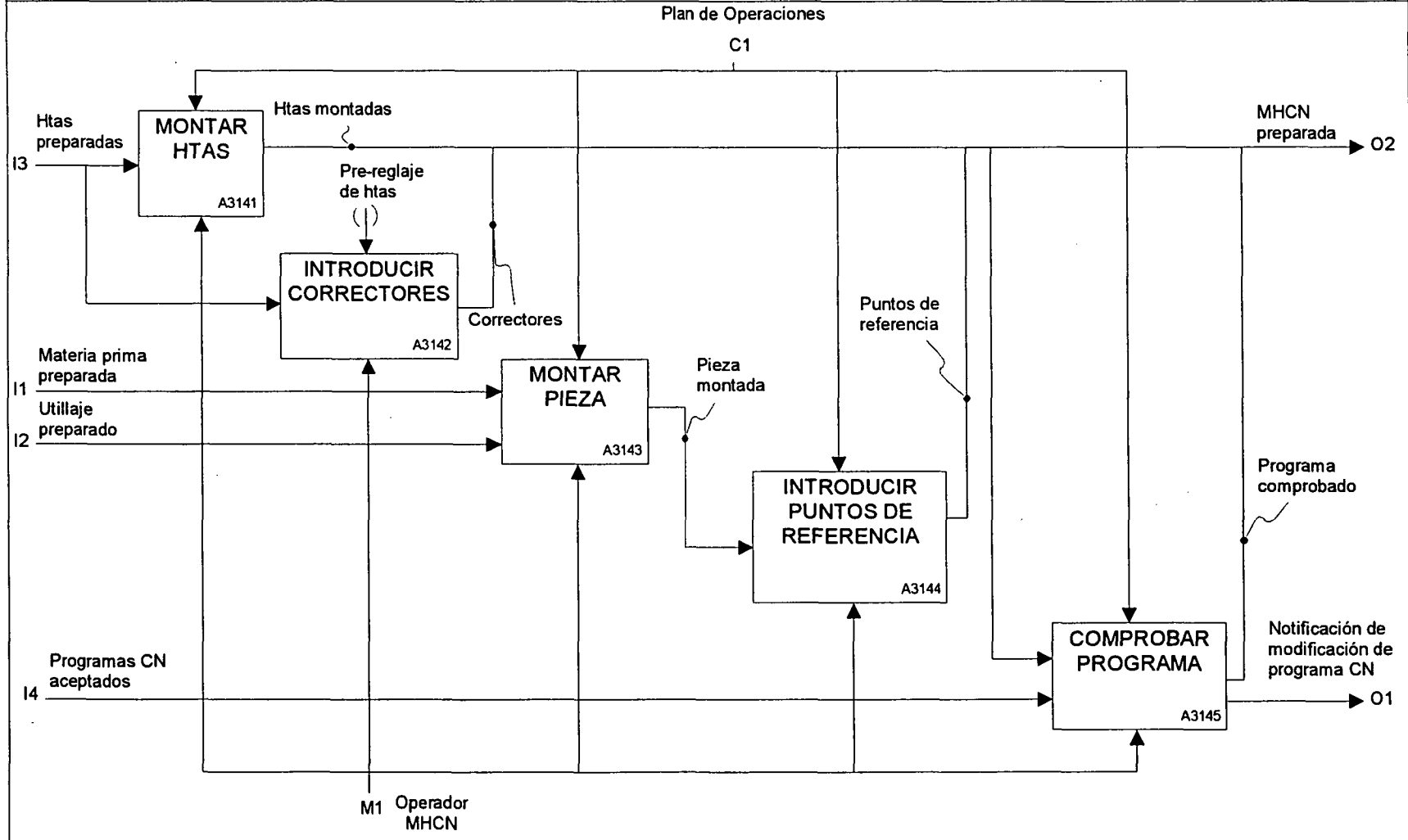
C. Controles de la actividad:

- **Plan de operaciones:** (página 63).

D. Mecanismos o recursos necesarios para la ejecución de la actividad:

- **Operador MHCN:** es el encargado de la MHCN, y por tanto de realizar su preparación, montar herramientas, utillaje y material a mecanizar en la MHCN, probar el programa de CN y realizar posibles modificaciones, atender la máquina durante la fase de mecanizado, etc.

USADO EN: ETSII-DIMF	AUTOR: JOSE RIOS	FECHA: 13/08/96	DE TRABAJO	REVISADO POR	FECHA	CONTEXTO: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	PROYECTO: TESIS	REV: 4	BORRADOR	A. VIZAN		
	NOTAS: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		X RECOMENDADO			
			FINAL			



NODO: A314	TITULO: PREPARAR MHCN	NUMERO:	Pág. 9
------------	-----------------------	---------	--------

Figura 3.9 PREPARAR MHCN

3.2.10. NODO A314 - PREPARAR MHCN

Este nodo se representa en la figura 3.9. A continuación se realiza una descripción de cada una de las distintas actividades que lo componen, así como de las entradas, salidas, recursos y elementos de control correspondientes a aquellas actividades que se encuentran dentro del ámbito de la preparación de MHCN.

ACTIVIDAD: MONTAR HERRAMIENTAS (A3141)

Una vez que se dispone de las herramientas preparadas, el operador de la MHCN procede a su montaje en el almacén o torreta de herramientas de la máquina. En el plan de operaciones se especifica la posición que debe ocupar cada herramienta en el almacén.

ACTIVIDAD: INTRODUCIR CORRECTORES (A3142)

Generalmente las herramientas habrán sido pre-regladas antes de ser recogidas por el operador de la máquina, en este caso la información de los correctores de las htas puede ser introducida en el control de la máquina vía electrónica, o bien es introducida manualmente por el operador a pie de máquina. Puede suceder también que sea el operador de la MHCN el que tenga que realizar el pre-reglaje de las htas a pie de máquina, en este último caso deberá determinar el valor de los correctores y posteriormente introducirlos en el control de la máquina.

ACTIVIDAD: MONTAR PIEZA (A3143)

Utilizando el utillaje preparado y la materia prima el operador de la MHCN procederá a montar el material a mecanizar en la MHCN siguiendo las indicaciones contenidas en el plan de operaciones.

ACTIVIDAD: INTRODUCIR PUNTOS DE REFERENCIA (A3144)

Una vez montada la pieza a mecanizar en la máquina el operador introducirá el valor de los puntos de referencia (origen de programa y decalajes ajustables) según se indica en el plan de operaciones.

ACTIVIDAD: COMPROBAR PROGRAMA (A3145)

Comprobación del programa de CN en el control de la máquina mediante la simulación de las operaciones de mecanizado. Una vez aceptado el programa la MHCN se encuentra preparada para iniciar la producción. Durante esta fase puede ser necesario realizar alguna modificación en el programa CN, dichos cambios deberán ser comunicados a la oficina técnica mediante la correspondiente notificación de modificación de programa CN.

3.3. ANÁLISIS DE LA DEFINICIÓN ACTUAL DE LA INFORMACIÓN DE FABRICACIÓN EN SISTEMAS ASISTIDOS POR COMPUTADOR.

3.3.1. INTRODUCCIÓN.

Teniendo presente el ámbito de aplicación de la tesis, se consideran dos tipos de sistemas asistidos por computador, por un lado los sistemas CAM, orientados a la generación off-line de programas de control numérico para la programación de máquinas herramienta, y por otro lado los sistemas CNC, empleados en la programación y control on-line de las máquinas herramienta.

Como ya se ha indicado anteriormente, la definición del proceso de mecanizado de una pieza puede realizarse a distintos niveles de particularización: procedimiento, plan de proceso, plan de operaciones, operaciones y trayectoria de herramienta. Sin embargo únicamente los niveles de operaciones y de trayectoria son adecuados para su utilización en la programación de las máquinas herramienta. La utilización del nivel de trayectoria responde más a un problema de tipo geométrico, donde el mayor esfuerzo se realiza en determinar por donde debe pasar la punta de la herramienta para generar la geometría final deseada.

En la tesis se ha optado por utilizar el nivel de operaciones, de forma que a partir de una definición tecnológica de las operaciones ha realizar se pueda determinar de forma automática el nivel inferior de trayectoria de herramienta. Este tipo de programación orientada a operaciones se conoce dentro del sector de los CNC como programación conversacional, programación interactiva, o programación orientada al taller. No obstante cada fabricante tiene definido un conjunto específico de operaciones y parámetros que las definen. De la misma forma, los distintos sistemas CAM tienen definido un conjunto de operaciones básicas junto con los parámetros que las definen, y que permiten generar de forma unívoca la trayectoria que debe seguir la herramienta para realizar el mecanizado.

Por tanto, con objeto de realizar una definición general de las operaciones básicas de mecanizado y de los parámetros que definen cada una de ellas, se hace necesario realizar un análisis previo de las distintas operaciones definidas en un conjunto representativo de sistemas CAM y CNC. El resultado de este análisis se emplea como base de conocimiento para la definición de un modelo de información de mecanizado basado en operaciones. Considerando el ámbito de la tesis, en dicho modelo se han contemplado únicamente operaciones de mecanizado de agujeros y de fresado.

3.3.2. ANÁLISIS DE LA DEFINICIÓN DE INFORMACIÓN DE FABRICACIÓN EN LOS SISTEMAS BASADOS EN APT.

Como ya se indicó anteriormente (apartado 2.2) APT es un lenguaje de alto nivel para programación automática de maquinas herramienta de control numérico a nivel de trayectoria [ANS87], [CHA89]. No obstante, se puede definir cierta información de fabricación orientada a operaciones.

La información relativa a operaciones de mecanizado se recoge como instrucciones de postprocesador (CYCLE/ <palabra de postprocesador>), esto significa que durante la fase de procesado (conversión APT->CLData) estas instrucciones no son procesadas y aparecen tal cual en el fichero CLData [ISO78a]. APT proporciona la palabra clave CYCLE de forma que el usuario puede definir operaciones con una determinada sintaxis o utilizar las palabras de postprocesador normalizadas, aunque únicamente para operaciones de taladrado (ver tabla A-4. en el Anexo A).

En el formato CLData la clase 2000 recoge las palabras de postprocesador [ISO78b], en concreto CYCLE se sustituye por SUBCLASS 1054, apareciendo de forma literal en la siguiente línea del fichero el texto que acompaña a CYCLE en el fichero APT (ver fichero APT en Anexo D). Este procedimiento requiere por tanto que el postprocesador tenga definidas las mismas palabras de postprocesador que el sistema con el que se ha generado el fichero APT, de esta forma se podrá asociar a dichas operaciones una determinada instrucción en código ISO [ISO82a] [ISO82b]. No obstante, al ser el código ISO un lenguaje de programación a nivel de trayectoria y no a nivel de operaciones no es posible realizar una conversión de todas las posibles operaciones de mecanizado a dicho código.

Por lo que respecta a las operaciones de fresado, en APT se dispone únicamente de la instrucción POCKET para el fresado de cavidades, no obstante, al realizar el procesado se recoge como un conjunto de instrucciones de movimiento del tipo GOTO, es decir se pasa del nivel de operaciones al nivel de trayectoria, esto impide que durante la etapa de postprocesado se pueda generar una instrucción de nivel de operaciones.

APT proporciona también instrucciones para la definición de la geometría de la herramienta de corte (CUTTER), así como para la definición de patrones geométricos de localización de agujeros para operaciones de taladrado (PATTERN).

En las tablas A-1. a A-5. del Anexo A se representan los parámetros utilizados en APT y en EXAPT [REC70] para la definición de herramientas de corte, palabras de postprocesador, operaciones y patrones geométricos de localización de agujeros.

3.3.3. ANÁLISIS DE LA DEFINICIÓN DE INFORMACIÓN DE FABRICACIÓN EN LOS SISTEMAS CAD/CAM.

La información de fabricación que en la actualidad es soportada por los sistemas CAD/CAM comerciales se puede dividir en dos grandes grupos:

- en primer lugar la información relativa a la etapa de diseño (modulo CAD), que comprende el modelo geométrico de la pieza a fabricar, y la especificación de tolerancias de fabricación (dimensionales, de forma, y de acabado superficial) que se reflejan en forma textual en los planos generados a partir del modelo geométrico, lo que impide su utilización en etapas posteriores;
- en segundo lugar la información relativa a la etapa de generación de programas de control numérico para la programación de máquinas herramienta (modulo CAM), que comprende de forma básica la definición por parte del usuario de las distintas herramientas a utilizar, de las operaciones a realizar sobre la pieza y de los parámetros que definen cada una de ellas.

La interrelación entre ambos módulos se limita a la utilización en el módulo CAM de la definición geométrica realizada con la parte de diseño (CAD), aunque en ocasiones se precisa incluso de realizar una adaptación del modelo geométrico para poder ser utilizado en la definición de las operaciones de mecanizado.

El objetivo que se ha perseguido en el desarrollo de los sistemas CAM ha sido el facilitar el generación de la trayectoria de herramienta para el mecanizado de geometría compleja, esto ha condicionado el desarrollo de dichos sistemas, resultando el aspecto geométrico más relevante que el aspecto tecnológico de la fabricación. De hecho, un gran número de los módulos CAM que actualmente se utilizan están basados en APT, resultando en alguno de ellos como en el caso de CATIA especialmente evidente por la forma en la cual se realiza la definición de herramientas y operaciones. No obstante, existen diferencias en cuanto al tipo de operaciones soportadas y a sus parámetros de definición.

Adicionalmente a los sistemas CAD/CAM, se encuentran los sistemas CAPP para la planificación de procesos, sin embargo el hecho de que su desarrollo se haya realizado de

forma totalmente independiente con respecto a los primeros, ha impedido su integración eficiente con las etapas de diseño y de programación de máquinas herramienta de control numérico [ELM93], [VAN92].

3.3.3.1. MODULO CATIA DE CONTROL NUMÉRICO PARA CENTRO DE MECANIZADO

El sistema de CAD/CAM CATIA v. 3 dispone del módulo NC-MILL [IBM91] para la creación de la secuencia de operaciones de centro de mecanizado para la fabricación de piezas cuya geometría se encuentra almacenada en la base de datos del sistema. Este módulo proporciona una serie de utilidades para la edición de secuencias de mecanizado, crear y gestionar tablas de palabras APT y de postprocesador, simulación de las trayectorias de herramienta generadas a partir de las secuencias de operaciones, simulación de trayectorias mediante la lectura de ficheros APT o CLData, y para la generación de ficheros de salida en formato APT o CLData.

De forma general, en CATIA se definen de tres categorías de operaciones:

- 1) Operaciones básicas de mecanizado: punto a punto, contorneado, cajeadado y mecanizado de superficies.
- 2) Operaciones auxiliares: posición inicial de hta, definición de hta., llamadas a funciones auxiliares de máquina, operaciones con macros en APT o lenguaje CATIA para definir los movimientos de aproximación, retirada, retorno y enlace de operaciones.
- 3) Operaciones avanzadas para desbaste y mecanizado de superficies.

La generación de un proceso de mecanizado se inicia con la definición de una secuencia de inicialización, en la figura 3.10 se muestra un esquema del procedimiento a seguir.

Para cada operación se fijan una serie de parámetros que permiten definir la herramienta a utilizar, como se va a realizar el movimiento de la herramienta (estrategia de mecanizado), que parte de la pieza se va a mecanizar (entidades geométricas), y si se va a utilizar alguna macro en lenguaje APT o CATIA .

En las tablas A-6. a A-10. del Anexo A se recogen los parámetros que definen las herramientas y las operaciones de mecanizado para centro de mecanizado en 3-ejes en el sistema CATIA.

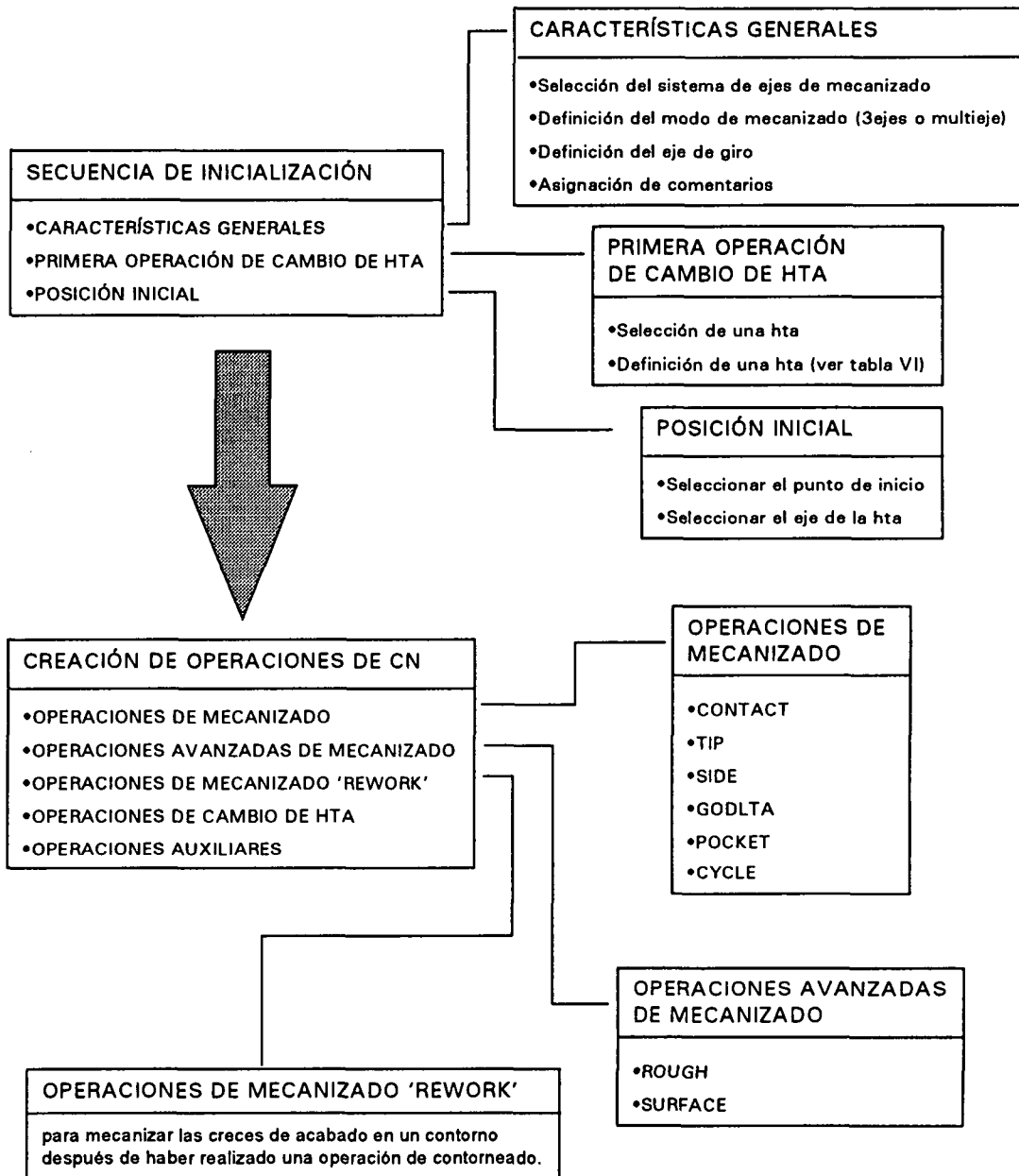


Figura 3.10. Procedimiento de definición de procesos de mecanizado en CATIA.

- CONTACT: operación en la que la hta permanece en contacto con el elemento geométrico a mecanizar.
- TIP: operaciones de posicionamiento de la hta. o de seguimiento de una curva.
- SIDE: operaciones de posicionamiento de la hta. o de seguimiento de una curva. La hta está lateralmente en contacto con una curva directriz, y su base en contacto con la superficie de la pieza.
- GODLTA: (APT) para definir un movimiento relativo de retirada de la hta. después de mecanizar una curva o superficie.
- POCKET: mecanizado de cajas con trayectoria en zig-zag, paralela a una dirección o paralela a un contorno.
- CYCLE: para definir secuencias de mecanizado punto a punto, operaciones de taladrado.

3.3.3.2. MODULO EUCLID3 DE CONTROL NUMÉRICO PARA CENTRO DE MECANIZADO

El sistema de CAD/CAM EUCLID3 v1.1A dispone de dos módulos de control numérico, SURFAPT para el mecanizado de superficies complejas, y MILLING para el mecanizado general en 3 y 5 ejes. En el análisis se ha elegido el módulo MILLING por estar orientado a la elaboración de procesos utilizando operaciones básicas de mecanizado [MAT92a] [MAT92b]. Este módulo proporciona una serie de utilidades para la creación del entorno de trabajo, creación y edición de procesos de mecanizado, simulación y comprobación de las trayectorias de herramienta generadas a partir de los ciclos de mecanizado, adición de funciones M y G durante la definición de una operación de mecanizado, generación de documentos de CN, y para la generación de ficheros de salida en formato APT, CLData, y código ISO.

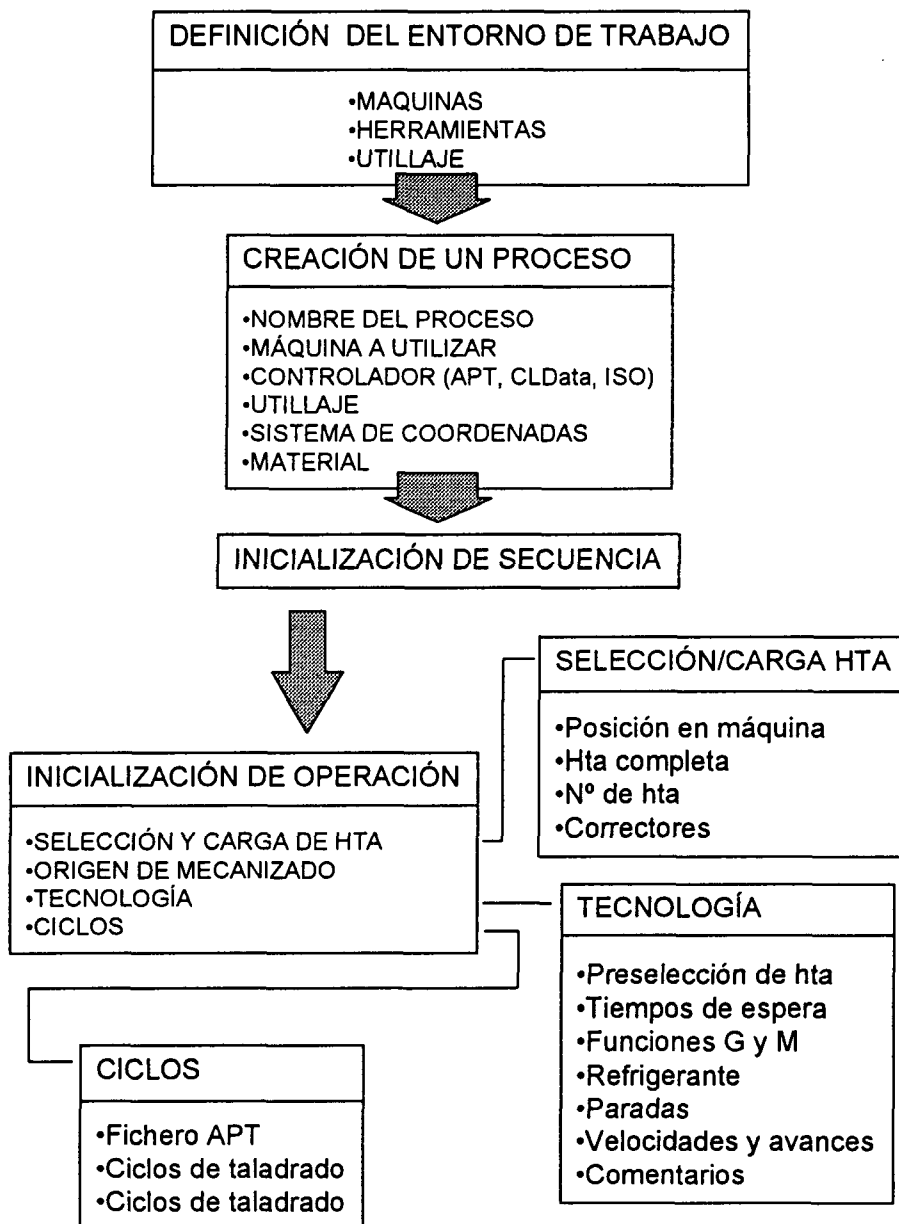
El módulo MILLING se basa en los conceptos que se describen a continuación:

- 1) Un proceso de mecanizado se compone de un conjunto de secuencias, operaciones, y ciclos que deben realizarse sobre el material base para obtener la pieza final.
 - Un proceso se compone de secuencias, cada secuencia tiene una máquina, un controlador y un utillaje específicos, un cambio en cualquiera de estos elementos genera una secuencia diferente.
 - Un secuencia se compone de un conjunto de operaciones que se realizan por tanto sobre una máquina determinada con una fijación determinada de la pieza.
 - Una operación es un conjunto de ciclos que se realizan con una determinada herramienta y cuyas condiciones de corte pueden variar entre los distintos ciclos.
 - Un ciclo es una operación básica de mecanizado, por ejemplo: taladrado, contorneado, etc..
- 2) En cada operación básica o ciclo de mecanizado, el volumen de material que se desea eliminar está definido por una entidad geométrica de EUCLID3 que se conoce como MTR (Material To Remove).

La metodología de utilización del modulo MILLING se basa en la definición previa del entorno de trabajo, lo que comprende la generación y almacenamiento en la base de datos del sistema de las máquinas, herramientas y utillajes que se van a utilizar o están disponibles en el taller. La generación de un proceso de mecanizado se inicia con la

definición de una serie de parámetros, en la figura 3.11 se muestra un esquema del procedimiento a seguir.

Para cada operación se fijan una serie de parámetros que permiten definir la herramienta a utilizar, como se va a realizar el movimiento de la herramienta (estrategia de mecanizado), que parte de la pieza se va a mecanizar (MTR). En las tablas A-11. a A-15. del Anexo A se recogen los parámetros que definen las herramientas y las operaciones de mecanizado para centro de mecanizado en el sistema EUCLID3.



Nota: Los ciclos disponibles dependen de la herramienta seleccionada

Figura 3.11 Procedimiento de definición de procesos de mecanizado en EUCLID3.

3.3.4. ANÁLISIS DE LA DEFINICIÓN DE LA INFORMACIÓN DE FABRICACIÓN EN LOS SISTEMAS CNC.

Para realizar el análisis de la definición de operaciones de mecanizado en los sistemas de control numérico de las máquinas herramienta, se han considerado sistemas con distinta arquitectura, y que soportan distintos niveles de programación, no obstante todos ellos tienen en común ser controles de contorneado CNC para fresadoras, taladradoras y centros de mecanizado. Los controles considerados son: FAGOR 8020 M, SIEMENS SINUMERIK 840D, GE FANUC 15-MF, y MAZAK MAZATROL M-32.

3.3.4.1. SISTEMA FAGOR 8020 M.

Dispone de programación a nivel de trayectoria en código ISO [FAG87], adicionalmente a los ciclos (operaciones básicas) definidos en dicha norma ISO, el sistema proporciona otros ciclos específicos para operaciones de taladrado y fresado. En las tablas A-16. y A-17. del Anexo A se recogen los parámetros que definen todas las operaciones de taladrado y fresado soportadas por el control.

3.3.4.2. SISTEMAS SIEMENS SINUMERIK 840D.

Desde el punto de vista de la programación este sistema dispone de programación a nivel de trayectoria en código ISO, además de un lenguaje de programación de alto nivel de CN [SIE94]. Adicionalmente a los ciclos definidos en la norma ISO, se proporcionan otros ciclos específicos para operaciones de taladrado y fresado. En las tablas A-18. a A-20. del Anexo A se recogen los parámetros que definen dichas operaciones básicas.

3.3.4.3. SISTEMA MAZAK MAZATROL M-32.

Adicionalmente al lenguaje de programación ISO, este sistema dispone de programación interactiva o programación basada en operaciones, así como de utilidades para selección automática de herramientas, determinación automática de condiciones de corte, etc.. En la figura 3.12 se representa un esquema del método de elaboración de programas mediante la utilidad de programación interactiva. La utilización de este tipo de programación se traduce en la existencia de un lenguaje específico alto nivel basado en operaciones (MAZATROL) [MAZ90]. El programa contiene en diferentes secciones los valores de los distintos parámetros que definen tanto las herramientas como la estrategia y las operaciones de mecanizado. En las tablas A-21. a A-26. del Anexo A se recoge la definición de dichos parámetros.

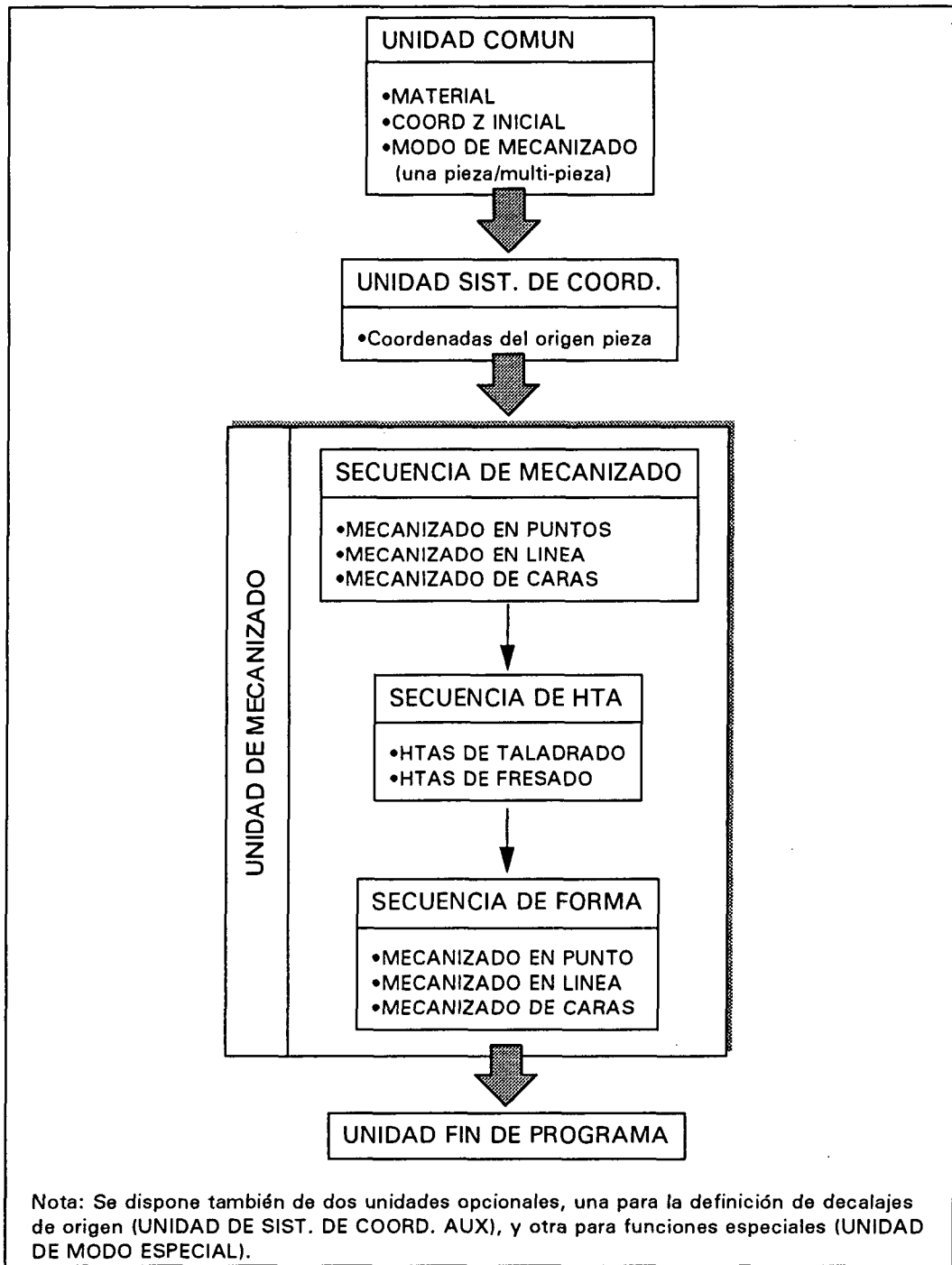


Figura 3.12. Procedimiento de programación interactiva del control MAZATROL M-32.

3.3.4.4. SISTEMA GE FANUC 15-MF.

Este sistema dispone además de la programación ISO, de una interfaz interactiva para la realización de la programación basada en operaciones, en la figura 3.13. se representa de forma esquemática dicho procedimiento de programación [GEF89]. Al igual que sucede con el control de MAZAK, el control GE Fanuc dispone también de registro de

herramientas previas, selección automática de herramientas y selección automática de condiciones de corte. De la misma forma, la utilización de la programación interactiva se traduce en la existencia de un lenguaje específico alto nivel basado en operaciones. Un programa en dicho lenguaje contiene en diferentes secciones los valores de los distintos parámetros que definen tanto las herramientas como la estrategia y las operaciones de mecanizado. Las tablas A-27. a A-32 del Anexo A recogen la definición de dichos parámetros para el caso del control FANUC 15-MF.

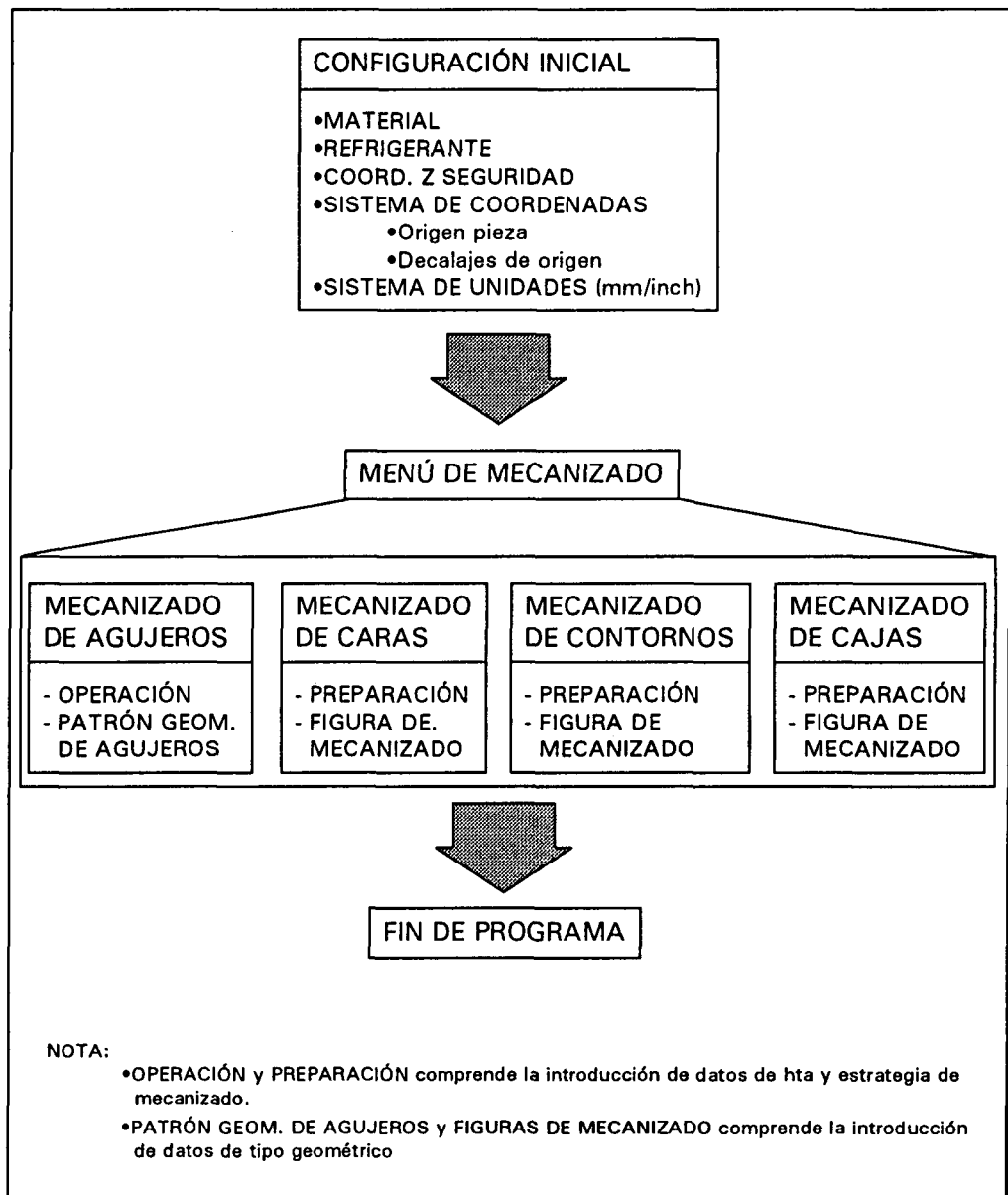


Figura 3.13. Procedimiento de programación interactiva del control GE Fanuc 15-MF.

3.3.5. CONCLUSIONES.

Del análisis de la definición de la información de fabricación y de su formato en los sistemas CAD/CAM y en los sistemas CNC se extraen las siguientes conclusiones:

- 1) Atendiendo a los niveles de información de fabricación definidos en la tesis, los niveles de procedimiento, plan de procesos y plan de operaciones se encuentran ausentes en todos los sistemas, e incluso se puede afirmar que la definición actual de la información no permite realizar una definición de la fabricación en dichos niveles.
- 2) La información utilizada en los sistemas CAD/CAM no permite realizar una planificación del proceso de mecanizado, no existiendo por tanto el enlace entre diseño y producción.
- 3) En todos los sistemas la planificación de procesos y operaciones debe realizarse externamente al sistema. Únicamente los sistemas CNC con programación conversacional (basada en operaciones) permiten realizar una planificación de operaciones mediante la definición de lo que se conoce como 'lista de herramientas previas', o mediante la utilización de un modelo de herramientas definidas por el propio sistema para cada tipo de operación. Para cierto tipo de operaciones, mediante la utilidad de la lista de herramientas previas es posible definir una operación compuesta (aquella en la que se emplean varias herramientas, o las condiciones de corte de la herramienta varían) en la que se realizan distintas operaciones simples (aquella en la que se emplea una única herramienta con condiciones de corte fijas).
- 4) La orientación de los sistemas CAM es fundamentalmente la generación de una trayectoria de herramienta para el mecanizado de superficies complejas, de forma que su aproximación al problema del mecanizado es más geométrica que tecnológica, demostrándose en la utilización del lenguaje APT.
- 5) En la definición de cualquier operación de mecanizado se distinguen básicamente dos grupos de información:
 - Información geométrica: que permite determinar el volumen de material a eliminar y su posición respecto de un origen de referencia.
 - Información tecnológica: que permite fijar la manera en la cual se va a desarrollar la operación de mecanizado.

- 6) Cada sistema soporta una serie de operaciones y figuras de mecanizado, y aunque algunas de ellas son comunes a todos los sistemas (algunas de las operaciones de taladrado definidas en la norma ISO 4343), existen también operaciones específicas a cada uno de los sistemas tanto CAD/CAM como CNC.
- 7) La terminología utilizada por cada sistema para designar las distintas operaciones así como los parámetros que las definen, es sustancialmente específica. Así mismo, comparando el procedimiento de generación del proceso de mecanizado, este resulta sustancialmente diferente dependiendo del sistema utilizado, aunque si existen ciertos aspectos similares cuando consideramos sistemas que utilizan la programación basada en operaciones.
- 8) Cierta información de fabricación como las tolerancias dimensionales y de forma, así como el acabado superficial, generalmente no suele ser considerada o no aparece como tal, por ejemplo en los sistemas CAD/CAM se recoge como elementos de texto (anotaciones) en la elaboración de planos. Únicamente en el caso de MAZAK el acabado superficial es un dato que se emplea para determinar las condiciones de corte de la operación.
- 9) De la utilización de los sistemas CAM para realizar la programación automática de MHCN puede obtenerse dos tipos de información:
 - Información de operaciones de mecanizado, generalmente se trata de un fichero ASCII con información y formato propio del sistema CAM.
 - Información de trayectoria de la herramienta, se trata generalmente de uno o dos ficheros en los formatos, APT [ANS87] y/o CLDATA [ISO78a]. El fichero CLDATA es postprocesado para traducirlo al código ISO [ISO82a] específico del conjunto máquina herramienta-control numérico con el que se va a realizar el proceso de mecanizado.
- 10) Por lo que respecta a los sistemas CNC, disponen fundamentalmente del código ISO como lenguaje de programación a nivel de trayectoria de herramienta. En algunos casos se dispone también de lo que se conoce como programación conversacional, también denominada programación orientada al taller o programación orientada a operaciones de mecanizado. Esto supone la implantación en el control de un conjunto de funciones, generalmente programadas en lenguaje C, que permiten realizar una definición del proceso de

de todas las utilidades del CNC. No obstante, como ya se comentó anteriormente, las operaciones implementadas, los parámetros que las definen, y el formato del programa generado varían en función del CNC considerado.

La problemática que se plantea como consecuencia de lo hasta ahora expuesto se puede resumir en los siguientes puntos:

- 1) Fundamentalmente se soporta información de fabricación relativa a procesos de mecanizado por arranque de viruta, en general a procesos que requieran de la utilización de máquinas con desplazamiento de herramienta y/o pieza.
- 2) Las tareas de fabricación se encuentran generalmente descritas de forma implícita, excepto en los sistemas CNC con programación basada en operaciones, mediante la descripción geométrica de la trayectoria de herramienta.
- 3) Actualmente, el intercambio de información de fabricación entre los sistemas CAM y los sistemas CNC se realiza prácticamente en su totalidad a nivel de trayectoria de herramienta en código ISO. Adicionalmente, la especificación de dicha norma permite la definición particular por parte de cada fabricante de sistemas CNC de funciones propias, esto conduce a la necesidad de desarrollar postprocesadores específicos para cada configuración de máquina herramienta-CNC. Como consecuencia a esta situación, se dificulta el intercambio de información, al tiempo que se encarece dicho proceso como consecuencia del desarrollo de postprocesadores personalizados.
- 4) El intercambio de información de fabricación entre sistemas CAD/CAM es prácticamente inexistente. Dichos sistemas suelen disponer únicamente de una utilidad para la lectura de programas APT, sin embargo el hecho de que existan distintas versiones de APT, así como distintas implementaciones, resta fiabilidad a dicho proceso de intercambio.
- 5) Adicionalmente a las instrucciones APT, existe un conjunto de palabras normalizadas de postprocesador [ISO78b] que permiten realizar una traducción a código ISO de ciertas operaciones de mecanizado durante la etapa de postprocesado. Sin embargo, las únicas operaciones soportadas son de taladrado, no existiendo la posibilidad de definir operaciones de otro tipo, lo que impide por ejemplo utilizar las funciones G definidas en los CNC para operaciones de fresado. Igualmente tampoco es posible utilizar otras funciones como las de definición de figuras tanto de taladrado como de fresado, que aunque si están definidas en APT

(figuras de puntos de taladrado) no se aprovechan durante la fase de procesado y/o postprocesado. El hecho de que la implantación de dichas palabras dependa de cada sistema CAM también impide realizar un intercambio fiable de información entre sistemas CAM a nivel de operaciones, perdiéndose el objetivo de disponer de un método neutro de intercambio de información de fabricación.

- 6) No existe una normalización de las operaciones básicas de mecanizado y de los distintos parámetros geométricos y tecnológicos que las definen, que permita realizar una definición consistente y válida de un protocolo de intercambio de información sobre procesos de fabricación.
- 7) La estructura de datos actual de los sistemas CAD/CAM no contempla la información de fabricación especificada en la etapa de diseño de forma que pueda ser utilizada de forma eficiente en las etapas posteriores de planificación de procesos y programación de MHCN. Esto ha conducido al desarrollo independiente de los sistemas CAPP y como consecuencia a su incompatibilidad con los sistemas CAD/CAM existentes.

Como se deriva del análisis, identificación y racionalización realizada en esta etapa de la información relativa a las operaciones básicas de mecanizado de taladrado y fresado, se considera que toda operación de mecanizado esta definida por un conjunto de información que se divide en dos grandes grupos:

1. Información geométrica, que define el volumen o geometría del material a eliminar en la operación y su posición respecto de un sistema de coordenadas de referencia.
2. Información tecnológica, que fija el modo en que se realiza la operación de mecanizado, comprende la estrategia de mecanizado, así como la herramienta a utilizar en la operación y sus condiciones de corte.

Adicionalmente a la información necesaria para definir cada operación, también se ha identificado la información independiente a las operaciones y que es necesario especificar con objeto de poder definir de forma completa y no ambigua el proceso de mecanizado. Este análisis es la base fundamental para el desarrollo de un modelo de información de fabricación a nivel de operaciones. Dicho modelo se describe en el apartado siguiente.

3.4. MODELO DE INFORMACIÓN DESARROLLADO.

3.4.1. INTRODUCCIÓN.

En la elaboración del modelo se han tenido presentes los requerimientos siguientes:

- 1) Debe permitir una correspondencia con niveles mas altos de particularización, es decir debe ser posible disponer de un flujo de información continuo desde el nivel de procedimiento hasta el nivel de operaciones.
- 2) El modelo debe permitir realizar el intercambio de información de fabricación tanto entre sistemas CAD/CAM, como en la utilización de estos sistemas para la programación off-line de las MHCN.
- 3) El modelo debe permitir una correspondencia completa y no ambigua con el nivel inferior de trayectoria, es decir tanto la información general como la información contenida en la definición de cada operación tiene que permitir la generación de las distintas trayectorias de herramienta. De esta forma se garantiza la compatibilidad con la normativa ISO actual para programación de MHCN, de extensivo uso dentro del ámbito de la fabricación.
- 4) En el desarrollo del modelo deberá emplearse una metodología que permita el desarrollo de aplicaciones que puedan ser utilizadas en un entorno de fabricación integrada por computador, impulsando de esta forma la racionalización en el empleo de normas y formatos para intercambio de información. Deberá sustituirse pues la actual utilización de los lenguajes APT y CLDATA.
- 5) Deberá favorecer el desarrollo de postprocesadores integrados en los CNC que acepten programas basados en operaciones en un formato neutro internacional, y de esta forma mejorar la programación off-line de las MHCN.
- 6) Con arreglo al ámbito de aplicación definido en la fase inicial, el desarrollo del modelo se aborda desde la perspectiva del programador de MHCN.

Teniendo presente estos requerimientos, se ha seleccionado la norma ISO 10303 (ver apartado 2.4), que permite la definición e intercambio de cualquier tipo de información relacionada con un producto a lo largo de todo su ciclo de vida. El modelo se ha desarrollado utilizando el lenguaje EXPRESS [ISO92]. Este modelo sirve como base para el desarrollo posterior de una aplicación en lenguaje C/C++ que genera un fichero de operaciones de mecanizado en el formato especificado por la norma ISO 10303 [ISO94c].

En el desarrollo del modelo de información se ha seguido la metodología propuesta por Schenck y Wilson [SCHE94]. Se trata de un método iterativo que comprende las siguientes fases principales:

- 1) FASE 1: Desarrollo de los aspectos básicos de los elementos del sistema. La documentación generada durante esta fase es de tipo textual y de tipo gráfico, esta última mediante la utilización de EXPRESS-G [ISO92]. Los aspectos que se contemplan durante el desarrollo de esta fase se pueden resumir en los siguientes:
 - Identificar si es necesario realizar el modelado en diferentes submodelos con un ámbito de descripción de información más reducido.
 - Identificar cuales son las entidades a considerar.
 - Definir los aspectos básicos de los atributos de las entidades.
 - Identificar las restricciones de tipo local que se aplican sobre las entidades.
 - Identificar los atributos cuyos valores identifican de forma única los ejemplares de cada entidad.
 - Identificar si la existencia de un ejemplar de una entidad depende de su utilización por otra entidad.
 - Identificar valores de atributos derivados de otros.
 - Comprobar la utilización correcta de los tipos básicos.
- 2) FASE 2: Definición de relaciones y atributos. En el desarrollo de esta fase se genera un modelo de forma textual utilizando el lenguaje EXPRESS [ISO92]. En esta fase se contemplan los siguientes aspectos:
 - Identificar las relaciones entre las entidades.
 - Definir las relaciones de tipo herencia, subconjunto o especialización entre las entidades.
 - Definir las posibles relaciones de dependencia en la existencia entre las entidades.
 - Definir los atributos derivados.
 - Definir las restricciones de tipo local que se aplican a las entidades.
 - Definir tipos adicionales a los básicos.
 - Comprobar que no se requieren atributos adicionales para caracterizar cada una de las entidades del modelo.
 - Comprobar que se han definido todas las entidades, relaciones y atributos.

- 3) FASE 3: Completar la definición de restricciones: En esta fase se completa el modelo EXPRESS iniciado en la fase anterior. Los aspectos a considerar en esa etapa son:
- Definir las reglas globales de consistencia.
 - Comprobar que todas las dependencias de existencia están definidas.
 - Comprobar que se han definido todas las restricciones de unicidad.
 - Comprobar que se han definido todas las restricciones de cardinalidad.
 - Comprobar que se han definido todas las reglas locales de consistencia.
 - Comprobar que se han definido todos los tipos necesarios.
- 4) FASE 4: Integración de los distintos submodelos o TIMs (Topical Information Models) en un único modelo de información integrado o IIM (Integrated Information Model).

En la elaboración de los submodelos y en el modelo integrado final, tanto en EXPRESS como en EXPRESS-G, se ha utilizado la aplicación ST-EXPRESS para Windows [STE95b], que permite realizar una comprobación sintáctica del modelo desarrollado, y de esta forma comprobar su corrección con respecto a la especificación de la parte 11 de la norma relativa al lenguaje EXPRESS [ISO92].

3.4.2. SUBMODELO DE GEOMETRÍA.

3.4.2.1. INTRODUCCIÓN.

La información geométrica se puede considerar desde tantas perspectivas diferentes como niveles de particularización de la información identificados en la tesis (ver Apartado 2.4):

- Nivel de procedimiento: en el que la información geométrica sirve para definir las superficies a mecanizar, y para especificar las tolerancias de fabricación.
- Nivel de plan de procesos: donde la información geométrica sirve para definir el material en bruto que se va a utilizar para obtener la pieza final, y los procesos a emplear en función de las tolerancias y acabado superficial deseados, identificándose igualmente las partes de material a eliminar en cada uno de los procesos de mecanizado.
- Nivel de plan de operaciones: en el que la información geométrica sirve para definir el volumen de material a eliminar (VME) en cada una de las operaciones de mecanizado, y el acabado superficial se emplea como factor en la determinación de las condiciones de mecanizado de cada una de las herramientas que se emplean en las distintas operaciones.
- Nivel de operaciones: donde la información geométrica sirve para determinar la posición del material a eliminar respecto de un origen fijado, y para describir los puntos, contornos o superficies que delimitan la trayectoria de la herramienta. Mediante funciones de análisis geométrico debería poder obtenerse esta información a partir de los VME definidos en el nivel anterior.
- Nivel de trayectoria: donde la geometría sirve para describir la trayectoria que debe seguir la herramienta durante el proceso de mecanizado.

La información geométrica va evolucionando por tanto a lo largo de las distintas etapas que van desde el diseño hasta la producción del producto o pieza. Así aspectos relevantes en la etapa de diseño como son el espesor de línea, el color, el tipo de trazo, o la definición de un elemento de volumen como un sólido, resultan irrelevantes cuando nos encontramos en los niveles de operaciones o de trayectoria. Desde el punto de vista de la programación de las MHCN la información geométrica relevante de más bajo nivel (nivel de trayectoria) es aquella que permite orientar la herramienta en el espacio en la dirección adecuada y posicionar la herramienta en el lugar deseado. Teniendo presente la

configuración de las MHCN, se dispone de desplazamientos lineales y de desplazamientos angulares, pudiéndose llegar como máximo a controlar 5 ejes de forma simultánea. Considerando el nivel de operaciones, la información geométrica incluida en la definición de cada operación debe permitir generar a partir de ella la trayectoria que debe seguir la herramienta con objeto de realizar dicha operación. La existencia por tanto de un flujo continuo de información a lo largo de todo el proceso, desde diseño hasta producción, supondría el poder ir obteniendo la información relevante en cada nivel a partir de los anteriores, y además en un formato que permita su utilización por parte del sistema integrado de forma eficiente.

En general la geometría se viene considerando siempre desde la perspectiva del diseño, etapa en la que se encuentra el nivel de procedimiento. Así, la propia norma ISO 10303 proporciona una especificación dentro de los recursos genéricos para la representación de información geométrica y topológica en su parte 42 y para la representación de tolerancias en la parte 47, igualmente ciertos protocolos de aplicación relacionados con el ámbito de los sistemas CAD han adquirido ya el estado de norma internacional (AP201, AP202, AP203) o se encuentran en estado muy avanzado de aprobación (AP204, AP205). Al mismo tiempo, reconocido el hecho de que la información geométrica es la base para el posterior desarrollo de otras actividades, y en vista de que otros protocolos también necesitan de la utilización de dicha información geométrica, se ha definido dentro las AICs (Application Interpreted Constructions) distintas partes que comprenden subconjuntos de información de tipo geométrico. Ver la tabla 2.1 en la página 31 para identificar las distintas partes de la norma ISO 10303 STEP.

Teniendo presente pues, los trabajos ya realizados o en curso de desarrollo dentro de la norma ISO 10303 relacionados con la información geométrica, así como el hecho de que el ámbito de aplicación del modelo de la tesis es la información de fabricación a nivel de operaciones, se ha desarrollado un modelo geométrico que responde a las necesidades de información geométrica que se plantean en dicho nivel de particularización.

3.4.2.2. DESCRIPCIÓN.

A continuación se realiza una descripción de las entidades, atributos y restricciones del submodelo de geometría desarrollado.

Punto (point)

Entidad geométrica definida por tres coordenadas según los ejes X-Y-Z respectivamente, el valor de cada una de las coordenadas se representa por un número real.

Puntos (points)

Entidad constituida por un conjunto ordenado y sin duplicados de elementos de tipo *punto*.

Curva básica abierta (basic_open_curve)

Entidad geométrica general (supertipo) que comprende a las entidades subtipo: *línea*, *arco*. Se representa como un *supertipo abstracto* al no existir ejemplares directos de dicha entidad, sino que su existencia depende de la existencia de ejemplares de sus subtipos

Línea=Segmento (line)

Entidad subtipo de *curva básica abierta*, es una curva limitada con valor constante de la tangente. Se define por dos puntos, uno inicial y otro final, debiendo ser ambos puntos distintos.

Arco (arc)

Arco de circunferencia, entidad subtipo de *curva básica abierta*, no podrá definirse por tanto una circunferencia con esta entidad. Esta definido por dos puntos que representan el inicio y el final del arco, el valor del radio, que podrá ser positivo si el arco es menor de 180° y negativo si es mayor de 180°, y el sentido de rotación del arco, que puede ser bien sentido horario o sentido anti-horario. Los puntos inicial y final del arco deben ser distintos.

Curva compuesta abierta (open_composed_curve)

Curva compuesta de un conjunto ordenado y sin elementos repetidos de al menos dos curvas básicas abiertas. Se toma un punto de referencia como punto de inicio de la curva. Deberá definirse una función para comprobar que el punto final de la última curva no coincide con el punto inicial de la primera curva.

Curva básica cerrada (basic_closed_curve)

Entidad geométrica general (supertipo) que comprende a las entidades subtipo: *circulo*, *rectángulo* y *ranura*. Se representa como un *supertipo abstracto* al no existir ejemplares directos de dicha entidad, sino que su existencia depende de la existencia de ejemplares de sus subtipos

Circulo (circle)

Subtipo de *curva básica cerrada*, se define por el punto central y el valor del radio.

Rectángulo (rectangle)

Entidad subtipo de *curva básica cerrada*, se define mediante el punto central, la dimensión según los ejes X e Y (valores reales positivos), el radio de acuerdo en las esquinas (siempre igual o mayor que 0), el ángulo entre el eje X del sistema de coordenadas y el

lado del rectángulo mas próximo a dicha dirección (ángulo medido en sentido anti-horario), y el ángulo entre dicho lado y el que confluye con él en el mismo vértice (también medido en sentido anti-horario).

Ranura (slot)

Subtipo de *curva básica cerrada*, se define mediante el punto central del semicírculo izquierdo, la distancia entre centros de los semicírculos, y el radio de los semicírculos.

Curva compuesta cerrada (closed_composed_curve)

Curva compuesta de un conjunto ordenado y sin elementos repetidos de al menos dos curvas básicas abiertas. Se toma un punto de referencia como punto de inicio de la curva. Deberá definirse una función para comprobar que el punto final de la última curva coincide con el punto inicial de la primera curva.

Vector unitario (unitary_vector)

Entidad definida por las componentes (i, j, k) en las tres direcciones de los ejes del sistema de coordenadas., cuyo valor es un número real, y cuya suma de cuadrados tiene que ser igual a 1.

Polilínea (polyline)

Es una entidad de tipo curva, compuesta por al menos 2 segmentos lineales, definida por una lista de al menos 3 puntos. (ver ISO 10303 - Parte 42 [ISO94f]).

Curva b-spline (b_spline_curve)

Es una forma general de curva racional o polinómico de tipo paramétrico que se describe en función de unos puntos de control y unas funciones base. Puede representar curvas polinómicas, racionales, Bezier y B-spline. Se define por el grado de la curva, una lista de puntos de control, la multiplicidad de los nodos, la lista de nodos empleados en la definición de las funciones base B-spline, y la lista de coeficientes de peso de cada nodo. (ver ISO 10303 - Parte 42 [ISO94f]).

Superficie b_spline (b_spline_surface)

Es una forma general de superficie racional o polinómica de tipo paramétrico que se describe en función de unos puntos de control y unas funciones base. Puede representar superficies uniformes, cuasi-uniformes y de Bezier. Básicamente, se define por el grado en cada una de las direcciones u y v , una lista de nodos de control, la multiplicidad de los nodos, las listas de nodos empleados en cada dirección para definir las funciones base, y la lista de coeficientes de peso de cada nodo. (ver ISO 10303 - Parte 42 [ISO94f]).

Contorno abierto (open_contour)

Un contorno abierto puede estar definido por una *curva básica abierta*, una *curva compuesta abierta*, una *polilínea*, o una *curva b-spline abierta*.

Contorno cerrado (closed_contour)

Un contorno cerrado puede estar definido por una *curva básica cerrada*, una *curva compuesta cerrada*, una *polilínea*, o una *curva b-spline cerrada*.

En el Anexo B se recoge el modelo gráfico en EXPRESS-G, y el modelo textual en EXPRESS.

3.4.3. SUBMODELO DE PATRONES DE LOCALIZACIÓN GEOMÉTRICA.

3.4.3.1. INTRODUCCIÓN.

Este submodelo comprende un conjunto de figuras o patrones geométricos que permiten especificar la localización de las entidades, puntos y contornos, que definen la geometría a mecanizar en cada operación de mecanizado. En la elaboración de este submodelo se ha tenido presente la existencia de patrones de este tipo tanto en los sistemas APT, como en los CNC con programación orientada a operaciones. No obstante, no existe una compatibilidad completa entre los patrones soportados por dichos sistemas, por lo que en el modelo se ha definido un conjunto genérico de estos patrones. El objetivo es evitar la redundancia en la definición geométrica de VMEs que disponen de una misma estructura geométrica de definición y sobre los que se aplica los mismos procesos y operaciones de mecanizado. La base conceptual reside en generar un modelo de cada VME para posteriormente situarlo en las distintas localizaciones dentro de la pieza. De esta forma la información que debe almacenarse se corresponde con la estructura geométrica de definición del VME y el patrón geométrico de posicionamiento, evitándose así la existencia de información redundante.

Los requerimientos que debe cumplir el modelo son:

- Todos los patrones de localización geométrica tienen asociada una geometría que define, bien los puntos en los que realizan operaciones de mecanizado de agujeros, o el contorno a mecanizar mediante operaciones de fresado.
- Un patrón de localización geométrica solo existe si está asociado con al menos una operación de mecanizado.
- Un patrón de localización geométrica solo existe si está referido por al menos una operación de mecanizado.

Los dos últimos requerimientos se corresponden con una restricción de cardinalidad bidireccional del tipo $[1:\infty]$ entre patrón de localización geométrica y operación de mecanizado.

3.4.3.2. DESCRIPCIÓN.

En el esquema *patrones* que define este submodelo, se realizan dos referencias externas una primera al esquema *geometría*, para las entidades y tipos *contorno abierto*, *contorno cerrado*, *punto*, *puntos*, *ángulo* y *distancia positiva*, y una segunda al esquema

operaciones, para las entidades *operación de taladrado de CN*, y *operación de fresado de CN*.

A continuación se realiza una descripción de las entidades y tipos que componen el esquema *patrones*.

Patrón de localización de mecanizado (machining_location_pattern)

Entidad general que sirve para jerarquizar los distintos tipos de patrones de localización de mecanizado. Se representa como un *supertipo abstracto* que comprende a las entidades subtipo: *drilling_location_pattern*, y *milling_location_pattern*. Un *machining_location_pattern* podrá ser bien un *drilling_location_pattern* o un *milling_location_pattern*.

Patrón de localización de taladrado (drilling_location_pattern)

Entidad general que comprende los distintos patrones de localización que se pueden emplear para posicionar la geometría que define el VME en las operaciones de taladrado, es un subtipo de la entidad *machining_location_pattern*. Se representa como un *supertipo abstracto* con la restricción *uno de - ONE OF*, de los siguientes patrones: *isolated*, *linear_equal_pitch*, *linear_non_equal_pitch*, *linear_non_equal_pitch_patterns*, *paralelogram_grid*, *paralelogram*, *circular_equal_pitch*, *circular_non_equal_pitch*, *circular_non_equal_pitch_patterns*, *circumference_chord*, *on_geometric_entity*. Esta definida por los atributos:

- *start_geometry_item*: elemento geométrico que define el primer taladro del patrón.
- *associated_to*: atributo de tipo INVERSO que permite modelar la relación [1:∞] entre patrón de localización y operación de mecanizado. Representa el conjunto de entidades *pattern_operation_drilling* que contienen el patrón actual como patrón de localización asignado a una o varias operaciones de taladrado.

Patrón de localización de fresado (milling_location_pattern)

Entidad general que comprende los distintos patrones de localización que se pueden emplear para posicionar la geometría que define el VME en las operaciones de fresado, es un subtipo de la entidad *machining_location_pattern*. Se representa como un *supertipo abstracto* con la restricción *uno de - ONE OF*, de los siguientes patrones: *isolated*, *linear_equal_pitch*, *linear_non_equal_pitch*, *paralelogram_grid*, *paralelogram*, *circular_equal_pitch*, *circular_non_equal_pitch*. Esta definida por los atributos:

- *start_geometry_item*: elemento geométrico que define el contorno para fresado del patrón, y que se localiza en la primera posición del patrón.

- *associated_to*: atributo de tipo INVERSO que permite modelar la relación [1:∞] entre patrón de localización y operación de mecanizado. Representa el conjunto de entidades *pattern_operation_milling* que contienen el patrón actual como patrón de localización asignado a una o varias operaciones de fresado.

Patrón y operación de taladrado (pattern_operation_drilling)

Entidad unión de patrón de localización de agujeros y operación de taladrado. Esta entidad permite definir la relación [1:∞] existente entre ambas entidades, de forma que un patrón tiene que ser utilizado por al menos una operación de mecanizado de agujeros, y una operación de mecanizado de agujeros tiene que tener asociado al menos un patrón de agujeros de taladrado. Esta definida por los atributos:

- *assigned_location_pattern*: patrón de localización de taladrado asignado.
- *assigned_operation*: operación de taladrado asignada.

Patrón y operación de fresado (pattern_operation_milling)

Entidad unión de patrón de localización de figuras de fresado y operación de fresado. Esta entidad permite definir la relación [1:∞] existente entre ambas entidades, de forma que un patrón tiene que ser utilizado por al menos una operación de fresado, y una operación de fresado tiene que tener asociado al menos un patrón de localización de fresado. Esta definida por los atributos:

- *assigned_location_pattern*: patrón de localización de figuras de fresado asignado.
- *assigned_operation*: operación de fresado asignada.

Elemento aislado (isolated)

Entidad que se emplea para localizar elementos geométricos que no responden a ninguna distribución específica. Se emplea tanto para taladrado como fresado, definiéndose por tanto como subtipo de las entidades *drilling_location_pattern* y *milling_location_pattern*. Está definida por el atributo:

- *start_geometry_item*: atributo heredado, que en el caso de taladrado no puede tomar el valor de un ángulo.

Distribución en línea con igual espaciado (linear_equal_pitch)

Define la distribución de elementos geométricos con espaciado constante a lo largo de una línea recta. Está definida por los atributos:

- *start_geometry_item*: atributo heredado que no puede tomar el valor de un ángulo, ni de una lista de puntos.

- *angle_line_X_ave*: es el ángulo que forma la línea con el eje X del sistema de referencia.
- *pitch*: paso o distancia entre los elementos geométricos.
- *total_line_length*: define la longitud total de la línea, que se corresponde con la distancia total entre el punto de referencia del primer elemento geométrico y el punto de referencia del último elemento geométrico. Se trata de un valor real positivo que tiene que ser mayor que el valor del paso.
- *non_machining_locations*: es una lista con el número de las posiciones de la línea en las que no se realiza mecanizado. El número de posiciones es un valor derivado que se define como $[(total_line_length/pitch)+1]$.
- *num_of_machining_locations*: atributo derivado que representa el número total de posiciones en las que se realiza la operación de mecanizado. Este valor resulta necesario para fijar el número de veces que hay que repetir un ciclo de mecanizado en el caso de programación a nivel de trayectoria. Se define como el número total de posiciones menos el número de posiciones donde no se realiza mecanizado.

Distribución en línea con diferente espaciado (linear_non_equal_pitch)

Define la distribución de elementos geométricos con espaciado variable a lo largo de una línea recta. Está definida por los atributos:

- *start_geometry_item*: atributo heredado que no puede tomar el valor de un ángulo, ni de una lista de puntos.
- *angle_line_X_ave*: es el ángulo que forma la línea con el eje X del sistema de referencia.
- *itches*: es una lista que contiene el valor de los distintos pasos entre los elementos geométricos del patrón.
- *num_of_machining_locations*: el número de localizaciones de mecanizado en este caso se define como el número de pasos más uno.

Distribución en línea con espaciado variable de un conjunto de patrones lineales (linear_non_equal_pitch_patterns)

Esta entidad permite definir dentro de una distribución en línea, subpatrones que tienen igual espaciado en sus elementos geométricos, pero existiendo distintos espaciados entre dichos subpatrones. Este tipo de distribución solo se aplica en los patrones de localización de agujeros para taladrado. Está definida por los atributos:

- *start_geometry_item*: atributo heredado que no puede tomar el valor de un ángulo, ni de una lista de puntos.
- *angle_line_X_ace*: es el ángulo que forma la línea con el eje X del sistema de referencia.
- *pattern_pitch*: es una lista que contiene el valor de los distintos pasos entre los elementos geométricos de cada subpatrón.
- *pattern_num_of_locations*: lista con el número de localizaciones de mecanizado en cada subpatrón.
- *pitch_between_patterns*: lista con el valor de la distancia entre cada subpatrón.
- *num_of_patterns*: atributo derivado que se define como el número de pasos entre patrones más uno.

Rejilla rectangular (parallelogram_grid)

Define una distribución según una rejilla con contorno de paralelogramo, localizándose elementos geométricos tanto en el interior como en el contorno. Está definida por los atributos:

- *start_geometry_item*: atributo heredado que no puede tomar el valor de un ángulo, ni de una lista de puntos.
- *linear_U_pattern*: patrón lineal que define la estructura de la geometría en la dirección longitudinal. Puede ser cualquiera de los patrones de estructura lineal definidos en el modelo. El atributo *start_geometry_item* tiene que tener el valor de 'without_geometry'.
- *linear_V_pattern*: patrón lineal que define la estructura de la geometría en la dirección transversal. Puede ser cualquiera de los patrones de estructura lineal definidos en el modelo. Este patrón tiene que ser diferente del utilizado en la dirección longitudinal. El atributo *start_geometry_item* tiene que tener el valor de 'without_geometry'.

Paralelogramo (parallelogram)

Define una distribución según un paralelogramo, localizándose elementos geométricos únicamente en el contorno. Está definida por los atributos:

- *start_geometry_item*: atributo heredado que no puede tomar el valor de un ángulo, ni de una lista de puntos.
- *linear_U_pattern*: patrón lineal que define la estructura de la geometría en la dirección longitudinal. Puede ser cualquiera de los patrones de estructura lineal

definidos en el modelo. El atributo *start_geometry_item* tiene que tener el valor de *'without_geometry'*.

- *linear_V_pattern*: patrón lineal que define la estructura de la geometría en la dirección transversal. Puede ser cualquiera de los patrones de estructura lineal definidos en el modelo. Este patrón tiene que ser diferente del utilizado en la dirección longitudinal. El atributo *start_geometry_item* tiene que tener el valor de *'without_geometry'*.

Distribución circular con igual espaciado (circular_equal_pitch)

Define una distribución de elementos geométricos con espaciado constante a lo largo de una circunferencia o arco de circunferencia. Se define con los siguientes atributos:

- *start_geometry_item*: atributo heredado que solo puede tomar el valor de un ángulo.
- *center_point*: punto que define el centro de la circunferencia.
- *circumference_radius*: valor real positivo que define el radio de la circunferencia.
- *angular_pitch*: ángulo que define el paso entre los elementos geométricos.
- *total_num_of_locations*: número total de localizaciones que permite definir la longitud angular total del arco.
- *non_machining_locations*: es una lista con el número de las posiciones del arco o circunferencia en las que no se realiza la operación de mecanizado.

Distribución circular con espaciado variable (circular_non_equal_pitch)

Define una distribución de elementos geométricos con espaciado variable a lo largo de una circunferencia o arco de circunferencia. Se define con los siguientes atributos:

- *start_geometry_item*: atributo heredado que solo puede tomar el valor de un ángulo.
- *center_point*: punto que define el centro de la circunferencia.
- *circumference_radius*: valor real positivo que define el radio de la circunferencia.
- *angular_pitch*: lista de ángulos que definen el paso entre los elementos geométricos.
- *num_of_machining_locations*: atributo derivado, representa el número total de localizaciones donde se realiza la operación de mecanizado.

Distribución circular con espaciado variable de un conjunto de patrones circulares (circular_non_equal_pitch_patterns)

Esta entidad permite definir dentro de una distribución circular, subpatrones que tienen igual espaciado en sus elementos geométricos, pero existiendo distintos espaciados entre dichos subpatrones. Este tipo de distribución solo se aplica en los patrones de localización de agujeros para taladrado. Está definida por los atributos:

- *start_geometry_item*: atributo heredado que solo puede tomar el valor de un ángulo.
- *center_point*: punto que define el centro de la circunferencia.
- *circumference_radius*: valor real positivo que define el radio de la circunferencia.
- *pattern_angular_pitch*: lista de ángulos que definen el paso entre los elementos geométricos de cada subpatrón circular.
- *pattern_num_of_locations*: lista que representa el número total de localizaciones donde se realiza la operación de mecanizado en cada subpatrón.
- *angular_pitch_between_patterns*: lista de ángulos que definen el paso entre los distintos subpatrones.

Distribución sobre cuerda de circunferencia (circumference_chord)

Distribución de elementos geométricos según cuerdas de una circunferencia. Este tipo de distribución solo se aplica en los patrones de localización de agujeros para taladrado. Está definida por los atributos:

- *start_geometry_item*: atributo heredado que solo puede tomar el valor de un punto.
- *center_point*: punto que define el centro de la circunferencia.
- *circumference_radius*: valor real positivo que define el radio de la circunferencia.
- *chord_height*: representa la altura de la cuerda respecto del centro de la circunferencia, y se define por una lista de valores no repetidos de números reales.
- *chord_pitch_between_points*: paso entre puntos situados en una misma cuerda.
- *chord_no_of_locations*: lista que contiene el número de puntos de cada cuerda.
- *chord_non_machining_locations*: lista que contiene una lista de valores que indican las posiciones de cada cuerda donde no se realiza ninguna operación de mecanizado.

Distribución de puntos sobre una entidad geométrica (on_geometric_entity)

Distribución de elementos geométricos de tipo punto sobre una entidad geométrica de tipo contorno. Este tipo de distribución solo se aplica en los patrones de localización de agujeros para taladrado. Está definida por los atributos:

- *start_geometry_item*: atributo heredado que solo puede tomar el valor de un punto.

- *pitch*: representa la distancia entre los puntos del patrón.
- *no_of_locations*: representa el número total de agujeros del patrón.
- *base_geometric_entity*: entidad que define la curva sobre la que se encuentran los puntos del patrón.

Isla (island)

Entidad geométrica que sirve para definir una isla o parte saliente de una pieza que puede no ser mecanizada. Esta entidad se emplea únicamente en operaciones de fresado. Está definida por los siguientes atributos:

- *contour_and_location*: representa el contorno cerrado que define la geometría de la isla y su localización en la pieza. Se define como tipo *milling_location_pattern*, donde el atributo *start_geometry_item* es del tipo contorno cerrado.
- *height*: altura de la isla que se representa mediante un valor real positivo.
- *lateral_contour_angle*: ángulo que forma el lateral de la isla con el eje vertical del sistema de referencia.
- *lateral_bottom_fillet_radius*: radio de acuerdo entre el lateral y el fondo de la pieza, se representa por un valor real positivo.
- *lateral_top_fillet_radius*: radio de acuerdo entre el lateral y la parte superior de la isla, se representa por un valor real positivo.

Hueco (hole)

Entidad geométrica que sirve para definir un hueco o parte entrante de una pieza que puede no ser mecanizada. Esta entidad se emplea únicamente en operaciones de fresado. Está definida por los siguientes atributos:

- *contour_and_location*: representa el contorno cerrado que define la geometría de la isla y su localización en la pieza. Se define como tipo *milling_location_pattern*, donde el atributo *start_geometry_item* es del tipo contorno cerrado.
- *depht*: profundidad del hueco que se representa mediante un valor real positivo.
- *lateral_contour_angle*: ángulo que forma el lateral del hueco con el eje vertical del sistema de referencia.
- *lateral_bottom_fillet_radius*: radio de acuerdo entre el lateral y el fondo del hueco, se representa por un valor real positivo.
- *lateral_top_fillet_radius*: radio de acuerdo entre el lateral del hueco y la parte superior o superficie de la pieza, se representa por un valor real positivo.

Contorno (contour)

Tipo que define los posibles elementos geométricos sobre los que se puede definir un patrón de punto sobre una entidad geométrica. Permite seleccionar entre: *open_contour*, o *closed_contour*.

Elemento geométrico de taladrado (drilling_geometry_item)

Tipo que define los posibles elementos geométricos que permiten definir un *start_geometry_item* en el caso de operaciones de taladrado. Permite seleccionar entre: *points*, *point*, *angle*, *without_geometry*.

Elemento geométrico de fresado (milling_geometry_item)

Tipo que define los posibles elementos geométricos que permiten definir un *start_geometry_item* en el caso de operaciones de fresado. Permite seleccionar entre: *open_contour*, *closed_contour*, *without_geometry*.

Patrón lineal (linear_pattern)

Tipo que define los posibles tipos de patrones lineales que se pueden emplear en la definición de los atributos: *linear_U_pattern*, *linear_V_pattern*, en los patrones de tipo *paralelogram_grid* y *paralelogram*. Permite seleccionar entre: *linear_equal_pitch*, *linear_non_equal_pitch*.

Sin geometría (without_geometry)

Tipo que permite no definir ninguna geometría en el atributo *start_geometry_item* en los patrones *linear_equal_pitch* y *linear_non_equal_pitch* cuando se van a emplear posteriormente para definir un patrón del tipo *paralelogram_grid* o *paralelogram*.

En el Anexo B se recoge el modelo gráfico en EXPRESS-G, y el modelo textual en EXPRESS.

3.4.4. SUBMODELO DE HERRAMIENTAS.

3.4.4.1. INTRODUCCIÓN.

Este submodelo comprende el modelado de un conjunto de herramientas de tipo rotativo empleadas en las operaciones de mecanizado de agujeros y fresado. Desde el punto de vista de la programación de MHCN, una herramienta se define con arreglo a un conjunto de parámetros de tipo geométrico, que determinan su forma y dimensiones y por tanto condicionan las operaciones en las cuales se pueden emplear, y a un conjunto de parámetros de tipo tecnológico que básicamente determinan las condiciones de corte de utilización de la herramienta en función del material a mecanizar. Aspectos como los elementos que integran una herramienta (plaquita, portaherramientas, conos, adaptadores, etc.), ordenes de montaje, etc., pertenecen al ámbito de la planificación y preparación de recursos y están siendo contemplados en el desarrollo del protocolo AP 213 de la norma ISO 10303 [ISO94g].

Los requerimientos a considerar en el submodelo de herramientas son los siguientes:

- El modelo debe permitir su ampliación posterior para soportar herramientas no contempladas en el ámbito de la tesis, como por ejemplo herramientas de torneado.
- Cualquier herramienta se define de forma unívoca mediante un identificador de hta. Define una restricción de unicidad para una atributo del tipo identificador.
- Todas la herramientas se consideran montadas en el almacén o carrusel de herramientas de la máquina, por lo que se dispondrá de un identificador para definir la posición de la herramienta.
- Todas las herramientas se emplean para mecanizar algún material o conjunto de materiales.
- Una herramienta solo existe si está asociada con al menos una operación de mecanizado. Define una restricción de cardinalidad en la relación herramienta/operación del tipo [1:∞].
- Una herramienta solo existe si está referida por al menos una operación de mecanizado. Define una restricción de cardinalidad en la relación operación/herramienta del tipo [1:∞].
- Una herramienta puede no tener asociado un corrector de herramienta. Define una restricción de cardinalidad en la relación herramienta/corrector del tipo [0:∞].

- Un corrector de herramienta siempre está asociado con una herramienta. Define una restricción de cardinalidad en la relación corrector/herramienta del tipo [1:1].

3.4.4.2. DESCRIPCIÓN.

En el esquema *herramientas* que define este submodelo, se realiza una referencia externa al esquema *operaciones*, para las entidades *operación de taladrado de CN*, y *operación de fresado de CN*.

A continuación se realiza una descripción de las entidades y tipos que componen el esquema *herramientas*.

Herramienta (tool)

Entidad que representa de forma genérica una herramienta de corte, se ha definido como un *supertipo abstracto* de la entidades *herramienta de taladrado* y *herramienta de fresado*, de forma que una herramienta podrá ser o bien una herramienta de taladrado o bien una herramienta de fresado. Está definida por los siguientes atributos comunes a todas las herramientas:

- *id*: representa el identificador de la herramienta, no pudiendo existir dos o más herramientas con el mismo identificador, por lo que se le aplica una restricción de unicidad con la cláusula *unique*. Es del tipo *identificador*.
- *rack_number*: es el número de posición de la herramienta en el almacén o carrusel de herramientas de la máquina, viene definido por un número entero.
- *tool_material*: atributo *opcional* que define el material de la herramienta. Los materiales posibles se eligen de una lista predefinida en *material_selection_1*.
- *part_material*: atributo *opcional* que define una lista de posibles materiales que se pueden mecanizar con la herramienta. Los materiales posibles se eligen de una lista predefinida en *material_selection_2*.
- *recommended_feed*: atributo *opcional* definido por una lista de los valores recomendados del avance para el mecanizado de distintos materiales.
- *recommended_cutting_speed*: atributo *opcional* definido por una lista de los valores recomendados de la velocidad de corte para el mecanizado de distintos materiales.
- *recommended_spindle_speed*: atributo *opcional* definido por una lista de los valores recomendados de velocidad de giro del husillo para el mecanizado de distintos materiales.

Herramienta y operación de mecanizado de agujeros (tool_operation_drilling)

Entidad unión de las entidades herramienta de taladrado y operación de mecanizado de agujeros que permite definir la relación [1:∞] existente entre ambas entidades, de forma que toda herramienta esta asociada al menos a una operación de mecanizado de agujeros, y a su vez esta siempre tiene asociada al menos una herramienta de taladrado. Esta definida por los atributos:

- *assigned_tool*: herramienta de taladrado asignada.
- *assigned_operation*: operación de taladrado asignada.

Herramienta y operación de fresado (tool_operation_milling)

Entidad unión de las entidades herramienta y operación de fresado, que permite definir la relación [1:∞] existente entre ambas entidades, de forma que toda herramienta de fresado esta asociada al menos a una operación de fresado, y a su vez esta siempre tiene asociada al menos una herramienta de fresado. Esta definida por los atributos:

- *assigned_tool*: herramienta de fresado asignada.
- *assigned_operation*: operación de fresado asignada.

Herramienta para mecanizado de agujeros (drilling_tool)

Entidad definida como un *supertipo abstracto*, con restricción *uno de - ONE OF*, de las siguientes herramientas: *center_drill*, *drill*, *step_drill*, *tap*, *reamer*, *counterbore*, *countersink*, *boring_head*, *trepanner*. Esta entidad es a su vez *subtipo* de la entidad *tool*. Se ha definido el siguiente atributo comun a todas las herramientas de mecanizado de agujeros:

- *associated_to*: atributo de tipo *inverso* en el que se especifica el conjunto de operaciones a las que la herramienta está asociada.

Broca de centrar (center_drill)

Entidad subtipo de *drilling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *diameter*: diámetro de la herramienta.
- *cutting_length*: atributo *opcional* que define la longitud activa o de corte de la hta.
- *tip_angle*: ángulo de la punta de herramienta.

Broca (drill)

Entidad subtipo de *drilling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *diameter*: diámetro de la herramienta.
- *cutting_length*: define la longitud activa o de corte de la hta.
- *tip_angle*: atributo *opcional* que define el ángulo de la punta de herramienta.

Broca escalonada (step_drill)

Entidad definida como *supertipo abstracto* de las herramientas *chamfer_step_drill* y *two_step_drill*.

Broca escalonada para avellanar (chamfer_step_drill)

Entidad subtipo de *step_drill*, está definida por los siguientes atributos:

- *drill_diameter*: representa el diámetro del primer escalón a taladrar, su valor es inferior al del *step_diameter*.
- *step_diameter*: representa el diámetro del escalón intermedio.
- *countersink_diameter*: representa el diámetro del avellanado, su valor es mayor que el del *step_diameter*.
- *cutting_length*: longitud total de corte, valor mayor que *drill_length+step_length*.
- *drill_length*: atributo *opcional*, que representa la longitud del primer escalón de taladrado, si no se especifica toma el valor 0.
- *step_length*: atributo *opcional*, que representa la longitud del escalón intermedio, si no se especifica toma el valor 0.
- *tip_angle*: ángulo de la punta de herramienta.
- *step_angle*: ángulo del primer avellanado cónico intermedio.
- *countersink*: ángulo del segundo avellanado cónico intermedio.

Broca bi-diametral (two_step_drill)

Entidad subtipo de *step_drill*, está definida por los siguientes atributos:

- *drill_diameter*: representa el diámetro del primer escalón a taladrar.
- *countersink_diameter*: representa el diámetro del avellanado, su valor es mayor que el del *drill_diameter*.
- *cutting_length*: longitud total de corte, valor mayor que *drill_length*.
- *drill_length*: atributo *opcional*, que representa la longitud del primer escalón de taladrado, si no se especifica toma el valor 0.
- *tip_angle*: ángulo de la punta de herramienta.
- *countersink*: ángulo del avellanado cónico intermedio.

Macho de roscar (tap)

Entidad subtipo de *drilling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *diameter*: representa el diámetro de la rosca.
- *cutting_length*: longitud total de corte de la zona roscada.

- *starting_length*: atributo *opcional*, que representa la longitud de la entrada cónica en la punta de la herramienta, si no se especifica toma el valor 0. Su valor es inferior a la longitud de corte.
- *pitch*: paso de la rosca.
- *tap_type*: atributo *opcional*, representa el tipo de rosca que se va a realizar con la hta, se elige de una lista predefinida *tap_selection*.

Escariador (reamer)

Entidad subtipo de *drilling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *diameter*: representa el diámetro de la herramienta.
- *cutting_length*: longitud total de corte de la herramienta, valor mayor que *starting_length*.
- *starting_length*: representa la longitud de la entrada cónica de la punta de herramienta.
- *conic_rate*: conicidad de la herramienta en %.

Avellanador cilíndrico (counterbore)

Entidad subtipo de *drilling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *diameter*: representa el diámetro de la herramienta en la longitud de corte.
- *pilot_diameter*: representa el diámetro de la punta de herramienta, valor menor que el diámetro de la herramienta.
- *cutting_length*: longitud total de corte de la herramienta.

Avellanador cónico (countersink)

Entidad subtipo de *drilling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *tip_diameter*: representa el diámetro de la punta de herramienta.
- *upper_diameter*: representa el diámetro de la herramienta al final del tramo troncocónico, siendo su valor mayor que el del *tip_diameter*.
- *tip_angle*: ángulo del tramo troncocónico de la herramienta.

Cabeza de mandrinar (boring_head)

Entidad subtipo de *drilling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *diameter*: representa el diámetro de la herramienta en la longitud de corte.
- *cutter_thickness*: representa el espesor de la cuchilla de corte.

Trepanador (trepanner)

Entidad subtipo de *drilling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *outer_diameter*: representa el diámetro exterior de la herramienta, tiene que ser mayor que el valor del *inner_diameter*.
- *inner_diameter*: representa el diámetro interior de la herramienta.
- *cutting_length*: longitud de corte de la herramienta.
- *tip_angle*: ángulo de la punta de herramienta.

Herramienta para operaciones de fresado (milling_tool)

Entidad definida como un *supertipo abstracto*, con restricción *uno de - ONE OF*, de las siguientes herramientas: *face_mill*, *ball_end_mill*, *flat_end_mill*, *side_mill*, *concave_side_mill*, *disc_mill*. Esta entidad es a su vez *subtipo* de la entidad *tool*. Se ha definido el siguiente atributo común a todas las herramientas de fresado:

- *associated_to*: atributo de tipo *inverso* en el que se especifica el conjunto de operaciones a las que la herramienta está asociada.

Fresa frontal/planear/escuadrar (face_mill)

Entidad subtipo de *milling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *diameter*: diámetro de la herramienta, siendo su valor mayor que la long. de corte.
- *cutting_length*: longitud de corte de la herramienta.
- *side_angle*: ángulo lateral de la herramienta.
- *corner_radius*: radio de esquina de la herramienta.

Fresa de acabado de punta plana (flat_end_mill)

Entidad subtipo de *milling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *diameter*: diámetro de la herramienta, siendo su valor menor que la long. de corte.
- *cutting_length*: longitud de corte de la herramienta.
- *side_angle*: ángulo lateral de la herramienta.
- *corner_radius*: radio de esquina de la herramienta.

Fresa de acabado de punta esférica (ball_end_mill)

Entidad subtipo de *milling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *diameter*: diámetro de la herramienta, siendo su valor menor que el de la longitud de corte.
- *cutting_length*: longitud de corte de la herramienta.

Fresa de disco/tronzar (disc_mill)

Entidad subtipo de *milling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *diameter*: diámetro de la herramienta.
- *cutting_length*: longitud de corte de la herramienta.
- *radial_cutting_length*: longitud de corte radial de la herramienta, su valor es menor que el radio de la herramienta.

Fresa periférica/ranurar (side_mill)

Entidad subtipo de *milling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *diameter*: diámetro de la herramienta, siendo su valor menor que la long. de corte.
- *cutting_length*: longitud de corte de la herramienta.
- *side_angle*: ángulo lateral de la herramienta.
- *corner_radius*: radio de esquina de la herramienta.

Fresa periférica concava (concave_side_mill)

Entidad subtipo de *milling_tool*, está definida por los siguientes atributos:

- *radius*: radio del tramo curvo de la herramienta.
- *cutting_length*: longitud de corte de la herramienta.
- *tip_diameter*: diámetro en la punta de la herramienta.
- *large_diameter*: diámetro mayor de la herramienta, siendo su valor siempre mayor que el del diámetro en la punta de herramienta.

Avance (feed)

Se han definido cuatro entidades relacionadas con el avance: *avance de aproximación (approach_feed)*, *avance de mecanizado (machining_feed)*, *avance de retirada (retract_feed)*, *avance en profundización para fresas (sinking_feed)*. Todas estas entidades se definen por los siguientes atributos:

- *units*: representa las unidades de medida del avance y es del tipo *feed_unit*, que en el caso de la programación de MHCN puede ser *mm/min* o *mm/rev*.
- *value*: representa el valor del avance, que siempre será un valor real positivo.

Velocidad de corte (cutting_speed)

La entidad velocidad de corte está definida por los siguientes atributos:

- *units*: representa las unidades de medida de la velocidad de corte y es del tipo *cspend_unit*, que en el caso de la programación de MHCN es *m/min*.
- *value*: representa el valor de la velocidad, que siempre será un valor real positivo.

Velocidad de giro del husillo (spindle_speed)

Esta entidad está definida por los siguientes atributos:

- *units*: representa las unidades de medida del avance y es del tipo *sspeed_unit*, que en el caso de la programación de MHCN es *rpm*.
- *value*: representa el valor del avance, que siempre será un valor real positivo.

Corrector de herramienta de mecanizado de agujeros (drilling_tool_corrector)

Entidad definida por los siguientes atributos:

- *tool*: herramienta para la que está definido el corrector.
- *num*: número del corrector de herramienta.
- *length_wear_value*: valor del corrector longitudinal de la herramienta.

Corrector de herramienta de fresado (milling_tool_corrector)

Entidad definida por los siguientes atributos:

- *tool*: herramienta en la que está definido el corrector.
- *num*: número del corrector de herramienta.
- *length_wear_value*: valor del corrector longitudinal de la herramienta.
- *radius_wear_value*: valor del corrector de radio de la herramienta.

Selección de material nº 1 (material_selection_1)

Tipo de enumeración de materiales de hta: *hss, carbide, cermet, ceramic, cbn, pcd*.

Selección de material nº 2 (material_selection_2)

Tipo de enumeración de materiales de pieza: *non_alloy_steel, steel, stainless_steel, casting, aluminum, bronze, cupper, titanium, plastic*.

En el Anexo B se recoge el modelo gráfico en EXPRESS-G, y el modelo textual en EXPRESS.

3.4.5. SUBMODELO DE OPERACIONES DE MECANIZADO.

3.4.5.1. INTRODUCCIÓN.

Este submodelo comprende el modelado de un conjunto de operaciones para el mecanizado de agujeros, mecanizado de caras, mecanizado de contornos, y mecanizado de cavidades. Es lo que se conoce de forma más general como operaciones de taladrado y fresado. Desde el punto de vista de la programación de MHCN, una operación se define con arreglo a un conjunto de parámetros de tipo geométrico, aquellos que se derivan de la geometría de la pieza y que determinan el VME (forma, dimensiones y localización), y a un conjunto de parámetros de tipo tecnológico que definen la estrategia de mecanizado, es

decir como se va a desarrollar la operación. Dependiendo del tipo de operación tanto la información geométrica como la tecnológica varía, en las tablas B-1. y B-2. (Anexo B) se recogen los distintos parámetros de tipo geométrico y tecnológico de las operaciones de taladrado y fresado respectivamente. En el modelo se han definido operaciones de tipo básico, es decir aquellas que se realizan con una única herramienta y con condiciones de corte constantes, para diferenciarlas de la definición de operaciones compuestas que se realizan con más de una herramienta, o con una herramienta y condiciones de corte variables. De hecho una operación compleja se define como una secuencia de operaciones básicas. En los sistemas CNC mediante el empleo de una lista de herramientas previas es posible definir una operación compleja, en este caso se utiliza uno de los modelos de listas de herramientas previas definidos en el sistema. No obstante, la definición de las operaciones en cuanto a su secuenciación y posible agrupación, se realiza en la etapa de planificación de operaciones, nivel de información anterior al de operaciones, y el modelo de información necesario sería diferente del que se ha definido en la presente tesis. Teniendo por tanto presente el ámbito de la tesis, el modelo de operaciones desarrollado se centra en los procesos y en las operaciones básicas de mecanizado de control numérico que los componen.

Los requerimientos a tener en cuenta en el submodelo de operaciones son los siguientes:

- Un proceso de mecanizado se compone de al menos una operación de mecanizado. Se establece una restricción de cardinalidad del tipo [1:∞] en la relación proceso/operación. A su vez, toda operación de mecanizado está asociada al menos con un proceso de mecanizado, lo que establece una restricción de cardinalidad del tipo [1:∞] en la relación operación/proceso.
- Toda operación de mecanizado tiene asociada una única herramienta, estableciendo una restricción de cardinalidad del tipo [1:1] en la relación operación/herramienta. Cualquier herramienta tiene que estar asociada con al menos una operación de mecanizado. Esto establece una restricción de cardinalidad del tipo [1:∞] en la relación herramienta/operación.
- Toda operación de mecanizado debe tener asociada al menos un patrón geométrico de localización, lo que establece una cardinalidad del tipo [1:∞] en la relación operación/patrón. Cualquier patrón tiene que estar asociado con al menos

una operación de mecanizado, lo que genera una cardinalidad del tipo [1:∞] en la relación patrón/operación.

- Los parámetros utilizados en la definición de cada operación deben permitir la generación no ambigua de la trayectoria que debe seguir la herramienta para realizar dicha operación.
- El modelo debe permitir su ampliación para soportar otro tipo de operaciones de mecanizado de CN no contempladas en la presente tesis, como es el caso de las operaciones básicas de torneado.

3.4.5.2. DESCRIPCIÓN.

En el esquema *operaciones* que define este submodelo se realiza la definición de todas las operaciones básicas de mecanizado para mecanizado de agujeros y fresado. En este esquema se hace uso de ejemplares de entidades definidos en los esquemas *geometría*, *patrones* y *herramientas*, representándose mediante referencias externas del tipo *Reference From* a dichos esquemas para las entidades: *point*, *vector*, *line*, *b_spline_surface*, *machining_location_pattern*, *island*, *hole*, y *tool*. También se emplean en este esquema definiciones de entidades realizadas en el esquema *herramientas*, representándose mediante una referencia externa del tipo *Use From*, para las entidades: *machining_feed*, *retract_feed*, *approach_feed*, *sinking_feed*, *spindle_speed*.

A continuación se realiza una descripción de las entidades y tipos que componen el esquema *operaciones*.

Sistema de unidades (system_unit)

Representa que unidad de longitud se emplea en el sistema, permite seleccionar entre milímetros y pulgadas.

Origen de programa (program_origin)

Representa el origen respecto del cual se definen todos los movimientos de la herramienta. El primer origen de programa debe coincidir con el origen respecto del cual están referidas las dimensiones de la pieza. Se define por la distancia en cada uno de los ejes coordenados respecto al origen de la máquina, dentro del ámbito del CN se conoce como *decalaje de origen*. Dentro de un programa se pueden definir más orígenes que dependiendo de si se trabaja con coordenadas absolutas o incrementales están referidos todos al primer origen o bien cada uno al inmediatamente anterior.

Plano de trabajo (machining_plane)

Define el plano de trabajo de la herramienta, se define por el valor de los componentes del vector unitario normal a dicho plano. Se toma como referencia un sistema de coordenadas XYZ [ISO74] posicionado en el origen de programa donde el eje de la herramienta se orientará siempre según la dirección del eje Z. Como resultado siempre se trabaja en el plano XY aunque su orientación puede ir cambiando a lo largo del programa de mecanizado.

Coordenadas de trabajo (working_coordinates)

Permite definir el tipo de coordenadas empleadas en el programa, se puede elegir entre coordenadas absolutas y coordenadas incrementales.

Posición de cambio de herramienta (tool_change_location)

Define un punto alejado de la pieza, para evitar interferencias, en el que se posiciona el husillo de la máquina para realizar el cambio automático de herramienta. Se define mediante las coordenadas X,Y, y Z de posición según los ejes del sistemas de referencia.

Proceso de mecanizado de CN (NC_machining_process)

Define un proceso (programa) de mecanizado de CN que se va a realizar en una máquina. Se define mediante los siguientes atributos:

- *id*: identificador del proceso (programa), es una cadena de doce caracteres con restricción de unicidad.
- *made_up_of*: atributo de tipo inverso que define las operaciones básicas de mecanizado que componen el proceso.

Operación-Proceso de CN (NC_process_operation)

Entidad unión de operación y proceso que permite asociar las operaciones que se realizan en cada proceso con el proceso correspondiente. Esta entidad junto con los atributos inversos que se definen en las entidades operación y proceso reflejan la relación de cardinalidad [1:∞] existente entre ambas entidades.

Patrón de localización y operación de CN (NC_operation_location_pattern)

Entidad unión de patrón de localización y operación de mecanizado de CN que permite asociar las operaciones con la geometría que define donde se va a realizar el mecanizado. Esta entidad junto con los atributos inversos que se definen en las entidades operación de mecanizado de CN y patrón de localización de mecanizado reflejan la relación de cardinalidad [1:∞] existente entre ambas entidades.

Operación de mecanizado de CN (NC_machining_operation)

Se define como un supertipo abstracto de operaciones de taladrado y de fresado, y comprende un conjunto de atributos que son comunes a todas las operaciones de ambos tipos de procesos:

- *aprox_plane*: define el plano al que se aproxima la herramienta a la pieza antes de iniciar la trayectoria de mecanizado. Se especifica como una distancia en Z referida al origen de programa.
- *retract_plane*: define el plano al que se retira la herramienta de la pieza una vez que se ha finalizado el mecanizado o durante alguna etapa intermedia del mismo, con objeto por ejemplo de evacuar la viruta generada el corte de material. Se especifica como una distancia en Z referida al origen de programa.
- *coolant*: define si la operación se va a realizar en seco (sin refrigerante o fluido de corte) o con fluido de corte. Se especifica mediante una selección SI-NO.
- *assigned_tool*: especifica la herramienta que se va a utilizar en la operación de mecanizado. En cada una de las operaciones básicas se especifican los tipos de herramienta que se pueden emplear en cada una de ellas.
- *tool_spindle_speed*: define la velocidad de giro del husillo de la herramienta en rpm.
- *tool_turn_direction*: especifica el sentido de giro de la herramienta con el que se va a realizar el mecanizado, puede seleccionarse entre sentido horario y sentido antihorario.
- *tool_corrector*: define si la operación de mecanizado se realiza teniendo en cuenta un corrector de herramienta. Se especifica mediante una selección SI-NO.
- *belongs_to*: atributo de tipo inverso que especifica en que procesos de mecanizado está contenida la operación.
- *performed_on*: atributo de tipo inverso que especifica los patrones de localización geométrica en los que se va a realizar el mecanizado.

Operación de mecanizado de agujeros de CN (NC_drilling_operation)

Se define como un supertipo abstracto de un conjunto de operaciones básicas de mecanizado de agujeros: centrado, taladrado, taladrado profundo, taladrado múltiple, avellanado cilíndrico, avellanado cónico, escariado, mandrinado y roscado. Comprende un conjunto de atributos que son comunes a todas las operaciones básicas de mecanizado de agujeros:

- *hole_diameter*: define el diámetro del agujero a mecanizar.
- *hole_depth*: profundidad del agujero. Define la profundidad total a mecanizar medida desde la superficie de la pieza.
- *bottom_dwell*: tiempo de permanencia de la herramienta en el fondo del agujero para rotura de la viruta, puede tomar cualquier valor real positivo.
- se impone la restricción de que las herramientas a emplear en este tipo de operaciones solo pueden ser herramientas de taladrado.

Centrado (center_drilling)

Operación básica de mecanizado de agujeros, definida como subtipo de *NC_drilling_operation*. Adicionalmente a los atributos heredados de las dos entidades supertipo a las que pertenece, dispone del atributo:

- *cutting_feed*: avance de mecanizado en mm/min.
- las únicas herramientas que se pueden emplear en esta operación son las del tipo *center_drill*.

Taladrado (drilling)

Operación básica de mecanizado de agujeros, definida como subtipo de *NC_drilling_operation*. Adicionalmente a los atributos heredados de las dos entidades supertipo a las que pertenece, se define con los atributos:

- *bottom_type*: atributo de tipo opcional que permite especificar si el agujero es pasante o no lo es, obviamente en este caso no se admite un fondo de agujero plano.
- *cutting_feed*: avance de mecanizado en mm/min.
- las únicas herramientas que se pueden emplear en esta operación son las del tipo *drill* y *trepanner*.

Taladrado profundo (peck_drilling)

Operación básica de mecanizado de agujeros, definida como subtipo de *NC_drilling_operation*. Adicionalmente a los atributos heredados de las dos entidades supertipo a las que pertenece, se define con los atributos:

- *bottom_type*: atributo de tipo opcional que permite especificar si el agujero es pasante o no lo es, en este caso no se admite un fondo de agujero plano.
- *plane_for_starting_feed_correction*: atributo opcional que permite definir una profundidad a partir de la cual se aplica un factor de disminución del avance de mecanizado.

- *out_dwell_time*: tiempo de espera en el exterior del agujero para eliminar la viruta.
- *first_depth_step*: profundidad de la primera pasada, referido a la superficie de la pieza.
- *depth_step*: profundidad de pasada para la segunda y siguientes pasadas.
- *intermediate_retract_to_retract_plane*: atributo de tipo booleano para especificar si se realizará salida intermedia de la herramienta para eliminación de viruta.
- *intermediate_retract_distance*: especifica la distancia de retirada de la herramienta en la salida intermedia.
- *max_depth_for_intermediate_retraction*: especifica el valor de la profundidad máxima por encima de la cual es obligado realizar salida intermedia de la herramienta.
- *cutting_feed*: avance de mecanizado en mm/min.
- *spindle_speed_correction_factor*: atributo opcional que permite especificar un factor de disminución de la velocidad de giro del husillo de la herramienta.
- *feed_correction_factor*: atributo opcional que permite especificar un factor de disminución de la velocidad de avance de mecanizado de la herramienta.
- las únicas herramientas que se pueden emplear en esta operación son las del tipo *drill*.

Avellanado cilíndrico (counterboring)

Operación básica de mecanizado de agujeros, definida como subtipo de *NC_drilling_operation*. Adicionalmente a los atributos heredados de las dos entidades supertipo a las que pertenece, dispone del atributo:

- *cutting_feed*: avance de mecanizado en mm/min.
- las únicas herramientas que se pueden emplear en esta operación son las del tipo *counterbore* y *boring_head*.

Avellanado cónico (countersinking)

Operación básica de mecanizado de agujeros, definida como subtipo de *NC_drilling_operation*. Adicionalmente a los atributos heredados de las dos entidades supertipo a las que pertenece, dispone de los atributos:

- *chamfer_angle*: ángulo del chaflán.
- *cutting_feed*: avance de mecanizado en mm/min.
- las únicas herramientas que se pueden emplear en esta operación son las del tipo *countersink*.

Escariado (reaming)

Operación básica de mecanizado de agujeros, definida como subtipo de *NC_drilling_operation*. Adicionalmente a los atributos heredados de las dos entidades supertipo a las que pertenece, dispone del atributo:

- *cutting_feed*: avance de mecanizado en mm/min.
- las únicas herramientas que se pueden emplear en esta operación son las del tipo *reamer*.

Mandrinado (boring)

Operación básica de mecanizado de agujeros, definida como subtipo de *NC_drilling_operation*. Adicionalmente a los atributos heredados de las dos entidades supertipo a las que pertenece, dispone de los atributos:

- *bottom_type*: atributo que define el tipo de fondo del agujero pasante o de fondo plano.
- *X_displacement*: distancia que se desplaza la herramienta en la dirección del eje X en un plano XY en movimiento de aproximación o retirada.
- *Y_displacement*: distancia que se desplaza la herramienta en la dirección del eje Y en un plano XY en movimiento de aproximación o retirada.
- *Z_displacement*: distancia que se desplaza la herramienta a lo largo del eje Z para posicionarse en el plano XY donde se inicia el mecanizado. Se emplea sobre todo en operaciones de mandrinado inverso donde la herramienta se desplaza por el interior de la pieza hasta la posición deseada.
- *cutting_feed*: avance de mecanizado en mm/min.
- *tool_turn_direction_after_machining*: define el sentido de giro de la herramienta después del mecanizado. Se puede elegir entre sentido horario, antihorario, o parada.
- *retract_tool_turn_direction*: define el sentido de giro de la herramienta en la trayectoria de retirada. Se puede elegir entre sentido horario, antihorario, o parada.
- las únicas herramientas que se pueden emplear en esta operación son las del tipo *boring_head*.

Roscado (tapping)

Operación básica de mecanizado de agujeros, definida como subtipo de *NC_drilling_operation*. Adicionalmente a los atributos heredados de las dos entidades supertipo a las que pertenece, dispone de los atributos:

- *pitch*: define el paso de la rosca.
- *tool_turn_direction_after_machining*: define el sentido de giro de la herramienta después del mecanizado. Se puede elegir entre sentido horario, antihorario, o parada.
- *retract_tool_turn_direction*: define el sentido de giro de la herramienta en la trayectoria de retirada. Se puede elegir entre sentido horario, antihorario, o parada.
- las únicas herramientas que se pueden emplear en esta operación son las del tipo *tap*.

Taladrado múltiple (multistep_drilling)

Operación básica de mecanizado de agujeros, en la que la estructura del agujero es de tipo complejo (con distintos escalones diametrales), y se necesitaría de varias operaciones básicas para su realización, pero que en este caso se realiza con una única herramienta de tipo escalonada. Se define como subtipo de *NC_drilling_operation*. Adicionalmente a los atributos heredados de las dos entidades supertipo a las que pertenece, dispone del atributo:

- *cutting_feed*: define el avance de mecanizado en mm/min.
- las únicas herramientas que se pueden emplear en este tipo de operación son las del tipo *step_drill*.

Operación de fresado de CN (NC_milling_operation)

Se define como un supertipo abstracto de un conjunto de operaciones de fresado: mecanizado de caras, mecanizado de contornos y mecanizado de cavidades. Comprende un conjunto de atributos que son comunes a todas las operaciones de fresado:

- *start_point*: define el punto donde se inicia la operación de mecanizado y donde la herramienta entra en contacto con la pieza.
- *end_point*: define el punto donde finaliza la operación de mecanizado y desde donde se inicia la trayectoria de retirada de la herramienta.
- *depth_to_remove*: define el valor de la profundidad a mecanizar a lo largo del eje Z. Se mide desde el plano de referencia de la pieza.
- *machining_axial_step*: define la distancia entre pasadas en dirección axial, es decir a lo largo del eje Z en las distintas profundizaciones de la herramienta. Este valor tiene que ser inferior al de la profundidad a mecanizar.
- *machining_radial_step*: define la distancia entre pasadas en dirección radial.

- *machining_direction*: define la dirección de mecanizado, se puede especificar mediante un vector, una línea o bien mediante el ángulo que forma dicha dirección con la dirección del eje X.

Fresado de caras (face_milling)

Se define como un supertipo abstracto de las operaciones básicas: fresado de caras en desbaste y fresado de caras en acabado. Adicionalmente a los atributos heredados de sus supertipos se consideran los siguientes atributos comunes a todas las operaciones de fresado de caras:

- *tool_part_withdrawal_distance*: define la distancia que el centro de la herramienta se desplaza fuera del contorno que define la cara que se esta mecanizando en cada una de las pasadas. En algunos sistemas se le conoce también como porcentaje de recubrimiento y se expresa como un % del radio de la herramienta empleada en el mecanizado.
- *intermediate_retract_distance*: es un atributo opcional que permite definir una distancia diferente del plano de retirada, a la cual se desplaza la herramienta después de cada pasa a lo largo de la dirección de mecanizado en caso de un tipo de mecanizado unidireccional.
- *machining_tool_path_type*: define el tipo de trayectoria de mecanizado, puede elegirse entre trayectoria unidireccional o trayectoria en zigzag.
- *cutting_feed*: atributo del tipo *machining_feed* define el avance de mecanizado en mm/min.

Fresado de caras en desbaste (rough_face_milling)

Operación básica de fresado de caras, definida como subtipo de *face_milling*. La herramienta a emplear en esta operación tiene que ser del tipo *face_mill*.

Fresado de caras en acabado (finish_face_milling)

Operación básica de fresado de caras, definida como subtipo de *face_milling*. Además de los atributos heredados de las entidades supertipo, se definen dos atributos adicionales:

- *face_surface*: define la superficie de la cara de la pieza que se esta mecanizando, esto permite implementar una función que determine el vector normal a la superficie en cada punto de la trayectoria y con ello orientar la herramienta normal a la superficie. Esta utilidad solo es posible utilizarla cuando se emplee una máquina de 5 ejes. Para el caso en que la superficie sea plana estamos ante un

mecanizado en 3 ejes y no es necesario determinar dicho vector normal a lo largo de cada punto de la trayectoria.

- *face_surface_normal_vector*: permite definir el vector de orientación de la herramienta en el inicio de la operación. Este vector permanecerá constante en el caso de superficies planas, para superficies no planas debe implementarse una función que fije su valor en cada punto de la trayectoria.
- la herramienta que se puede emplear en esta operación tiene que ser de uno de los siguientes tipos: *face_mill*, *flat_end_mill* o *ball_end_mill*.

Fresado de contornos (side_milling)

Se define como un supertipo abstracto de las operaciones básicas: fresado de contornos en desbaste y fresado de contornos en acabado. Adicionalmente a los atributos heredados de sus supertipos se consideran los siguientes atributos comunes a todas las operaciones de fresado de contornos:

- *thickness_to_remove*: define el ancho paralelo al contorno a eliminar.
- *lateral_contour_angle*: define el ángulo que forma la cara lateral del contorno con el eje Z.
- *approach_path_type*: define el tipo de trayectoria de aproximación de la herramienta al punto inicial, puede elegirse entre directa o tangencial.
- *withdrawl_path_type*: define el tipo de trayectoria de retirada de la herramienta desde el punto final o de salida, puede elegirse entre directa o tangencial.
- *aw_path_radius*: atributo de tipo opcional que define el radio de la trayectoria tangente tanto en aproximación como en retirada de la herramienta.
- *machining_side*: define la posición relativa de la herramienta respecto del contorno que se desea mecanizar en la dirección de mecanizado, puede elegirse entre: a la derecha, a la izquierda, o sobre el contorno.
- *precise_corner_radius*: define si se realiza interpolación circular en las esquinas del contorno o se mecanizan en arista viva, se elige entre SI-NO, para seleccionar contorneado preciso.
- *side_machining_feed*: define el avance de mecanizado en el desplazamiento de contorneado en mm/min.
- *sink_machining_feed*: define el avance de mecanizado en el desplazamiento en profundización axial en mm/min.

Fresado de contornos en desbaste (rough_side_milling)

Operación básica de fresado de contornos, definida como subtipo de *side_milling*. La herramienta a emplear en esta operación tiene que ser de los tipos *side_mill* o *concave_side_mill*.

Fresado de contornos en acabado (finish_side_milling)

Operación básica de fresado de contornos, definida como subtipo de *side_milling*. Además de los atributos heredados de los supertipos se definen dos atributos adicionales:

- *lateral_face_surface*: atributo de tipo opcional que permite definir la superficie de la cara lateral que se mecaniza. Esta superficie puede emplearse como límite para implementar una función que compruebe que la herramienta no interfiere con la pieza.
- *bottom_face_surface*: atributo de tipo opcional que permite definir la superficie del fondo de la pieza. Esta superficie puede emplearse como límite para implementar una función que compruebe que la herramienta no interfiere con la pieza.
- La trayectoria tanto de aproximación como de retirada debe ser de tipo tangente.
- La herramienta a utilizar en esta operación tiene que ser de alguno de los tipos siguientes: *side_mill*, *concave_side_mill*, *flat_end_mill*, o *ball_end_mill*.

Fresado de cavidades (pocket_milling)

Se define como un supertipo abstracto de las operaciones básicas: fresado de cavidades en desbaste, fresado de cavidades en acabado, fresado de cavidades con islas en desbaste, y fresado de cavidades con islas en acabado. Adicionalmente a los atributos heredados de sus supertipos se consideran los siguientes atributos comunes a todas las operaciones de fresado de cavidades:

- *thickness_not_to_remove*: define el espesor paralelo al contorno y al fondo de la cavidad que no se desea eliminar, se trata por tanto de las creces para la pasada de acabado.
- *lateral_contour_angle*: define el ángulo que forma la cara lateral del contorno con el eje Z.
- *lateral_bottom_radius*: define el radio de acuerdo entre el lateral y el fondo de la cavidad.
- *tool_part_withdrawal_distance*: atributo de tipo opcional que define la distancia entre el centro de la herramienta y los puntos de entrada y salida. Se emplea solo para el vaciado de cavidades abiertas. Para el caso de trayectoria tangencial representa el radio del arco.

- *approach_path_type*: define el tipo de trayectoria de aproximación de la herramienta al punto inicial, puede elegirse entre directa o tangencial.
- *withdrawl_path_type*: define el tipo de trayectoria de retirada de la herramienta desde el punto final o de salida, puede elegirse entre directa o tangencial.
- *aw_path_radius*: atributo de tipo opcional que define el radio de la trayectoria tangente tanto en aproximación como en retirada de la herramienta.
- *machining_tool_path_type*: define el tipo de trayectoria de mecanizado, se puede elegir entre zigzag y espiral.
- *side_machining_feed*: define el avance de mecanizado en el desplazamiento de contorneado en mm/min.
- *sink_machining_feed*: define el avance de mecanizado en el desplazamiento en profundización axial en mm/min.

Fresado de cavidades en desbaste (rough_pocket_milling)

Operación básica de fresado de cavidades, definida como subtipo de *pocket_milling*. La herramienta a emplear en esta operación tiene que ser del tipo *flat_end_mill*.

Fresado de cavidades en acabado (finish_pocket_milling)

Operación básica de fresado de cavidades, definida como subtipo de *pocket_milling*. Además de los atributos heredados de los supertipos se definen los atributos siguientes:

- *thicknes_to_remove*: define el espesor que se desea mecanizar medido en la dirección normal al contorno y al fondo de la cavidad.
- *lateral_face_surface*: atributo de tipo opcional que permite definir la superficie de la cara lateral de la cavidad que se mecaniza. Esta superficie puede emplearse como límite para implementar una función que compruebe que la herramienta no interfiere con la pieza.
- *bottom_face_surface*: atributo de tipo opcional que permite definir la superficie del fondo de la cavidad. Esta superficie puede emplearse como límite para implementar una función que compruebe que la herramienta no interfiere con la pieza.
- La trayectoria tanto de aproximación como de retirada debe ser de tipo tangente.
- El valor del atributo *thickness_not_to_remove* debe ser igual a cero.
- La herramienta a utilizar en esta operación tiene que ser de alguno de los tipos siguientes: *flat_end_mill*, o *ball_end_mill*.

Fresado de cavidades con isla en desbaste (rough_pocket_milling_with_island)

Operación básica de fresado de cavidades, definida como subtipo de *pocket_milling*.

Adicionalmente se define el atributo:

- *non_machining_area*: define el volumen de material que se encuentran en el interior de la cavidad y que no se desea mecanizar, puede tratarse de una isla o de un hueco. Lo que afectará a la definición de la trayectoria de herramienta.
- La herramienta a emplear en esta operación tiene que ser del tipo *flat_end_mill*.

Fresado de cavidades con isla en acabado (finish_pocket_milling_with_island)

Operación básica de fresado de cavidades, definida como subtipo de *pocket_milling*.

Adicionalmente a los atributos descritos en el caso de fresado de cavidades en acabado se definen:

- *island_contouring*: atributo de tipo booleano que permite especificar si se desea realizar una pasada de contorneado de la isla.
- *lateral_island_face_surface*: atributo de tipo opcional que permite definir la superficie de la cara lateral de la isla. Esta superficie puede emplearse como limite para implementar una función que compruebe que la herramienta no interfiere con la pieza en la pasada de contorneado.
- *non_machining_area*: define el volumen de material que se encuentran en el interior de la cavidad y que no se desea mecanizar, puede tratarse de una isla o de un hueco. Lo que afectará a la definición de la trayectoria de herramienta.
- La trayectoria tanto de aproximación como de retirada debe ser de tipo tangente.
- El valor del atributo *thickness_not_to_remove* debe ser igual a cero.
- La herramienta a utilizar en esta operación tiene que ser de alguno de los tipos siguientes: *flat_end_mill*, o *ball_end_mill*.

En el Anexo B se recoge el modelo gráfico en EXPRESS-G, y el modelo textual en EXPRESS.

CAPÍTULO 4

APLICACIÓN ORIENTADA A OBJETOS BASADA EN OPERACIONES DE MECANIZADO

4.1. ENTORNO DE DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN.

La implementación de la aplicación desarrollada en la tesis, se ha realizado en un entorno heterogéneo tanto desde el punto de vista de los equipos informáticos como desde el punto de vista de los sistemas operativos. En la figura 4.1 se representa un esquema general de dicho entorno de implementación. El sistema de CAD/CAM Euclid3, utilizado como fuente de información de fabricación, está instalado en una estación de trabajo SUN SparcStation 2 con sistema operativo SunOS, mientras que los programas ST-EXPRESS 1.0 [STE95b], ST-Developer 1.4 [STE95d], MS-Visual C++ 2.0 y la aplicación desarrollada se ejecutan en un computador personal con sistema operativo Windows NT.

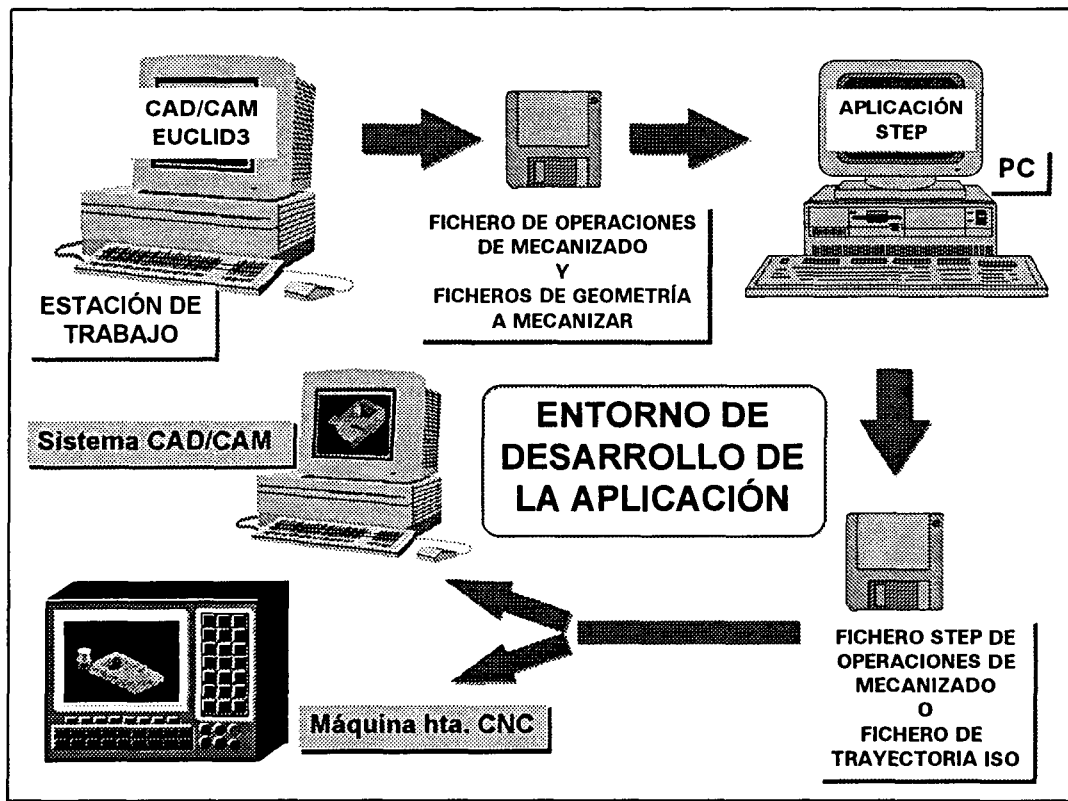


Figura 4.1. Entorno de desarrollo de la aplicación.

Se debe tener presente que la implementación del modelo de información desarrollado en la tesis y sobre el que se basa esta aplicación, puede hacerse de muy distintas formas. No obstante, en este caso particular se ha considerado como opción más viable para los objetivos que se pretendían con la tesis, y en función de los medios disponibles, realizar una implementación con acceso a la información de fabricación generada a través de un sistema CAD/CAM comercial. Como resultado de la aplicación se genera una base de datos de ficheros STEP de operaciones de mecanizado.

4.2. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE LA APLICACIÓN.

Teniendo presente las soluciones adoptadas en la tesis (ver apartado 2.5), la metodología que se ha seguido en el desarrollo de la aplicación se puede resumir en los siguientes puntos:

- 1) Desarrollo de un modelo de referencia de la aplicación escrito en EXPRESS [ISO92]. Este modelo está constituido por cuatro esquemas en los que se encuentra definida toda la información relativa a geometría, patrones de localización de geometría de mecanizado, herramientas y operaciones básicas de mecanizado de taladrado y fresado. Para realizar la comprobación y validación del modelo se ha utilizado el programa ST-EXPRESS [STE95b]. En el capítulo 3 se recoge una descripción completa del modelo conceptual desarrollado.
- 2) Integración de los cuatro esquemas desarrollados, y adecuación del modelo integrado resultante para su implementación.
- 3) Generación de una aplicación orientada a objetos basada en el modelo integrado desarrollado. Con esta aplicación es posible generar ejemplares de las entidades del modelo y obtener ficheros de programación de CN a nivel de operaciones en formato STEP [ISO94c]. El desarrollo de esta aplicación se puede dividir a su vez en cuatro fases principales:
 - Desarrollo en el entorno Ms-Visual C++ de las utilidades de formateado de ficheros y captura de información de fabricación y geométrica procedente de Euclid3 en lenguaje C.
 - Generación automática de código C++ empleando el programa ST-Developer. Para ello se ha utilizado el código escrito en EXPRESS del modelo conceptual. No obstante hay que señalar que la correspondencia entre las definiciones EXPRESS y C++ no es completa, y se limita a la generación de clases en C++ para las entidades y tipos definidos en el modelo, pero sin considerar atributos inversos, derivados, ni las restricciones que los distintos atributos de las entidades o los tipos definidos por el usuario puedan tener. Igualmente, tampoco se dispone de generación de código automático para el caso de funciones o algoritmos definidos en EXPRESS.
 - Definición de la correspondencia entre la información procedente del fichero de operaciones y de los ficheros de geometría generados con Euclid3 y las

entidades y atributos del modelo desarrollado.

- Desarrollo de las clases y funciones para realizar la correspondencia entre las estructuras de información del modelo y las estructura de información del sistema Euclid3. Esta etapa se ha desarrollado en código C/C++ en el entorno Ms-Visual C++.
- Finalmente para realizar la generación de la base de datos, materializada en los ficheros de CN en formato STEP, se ha empleado el Standard Data Access Interface (SDAI) [ISO94d], al disponer el programa ST-Developer de una librería en C de implementación de las funciones de acceso de datos definidas en la norma ISO 10303 [STE95c].

En la figura 4.2 se representa un esquema de la metodología de desarrollo de la aplicación.

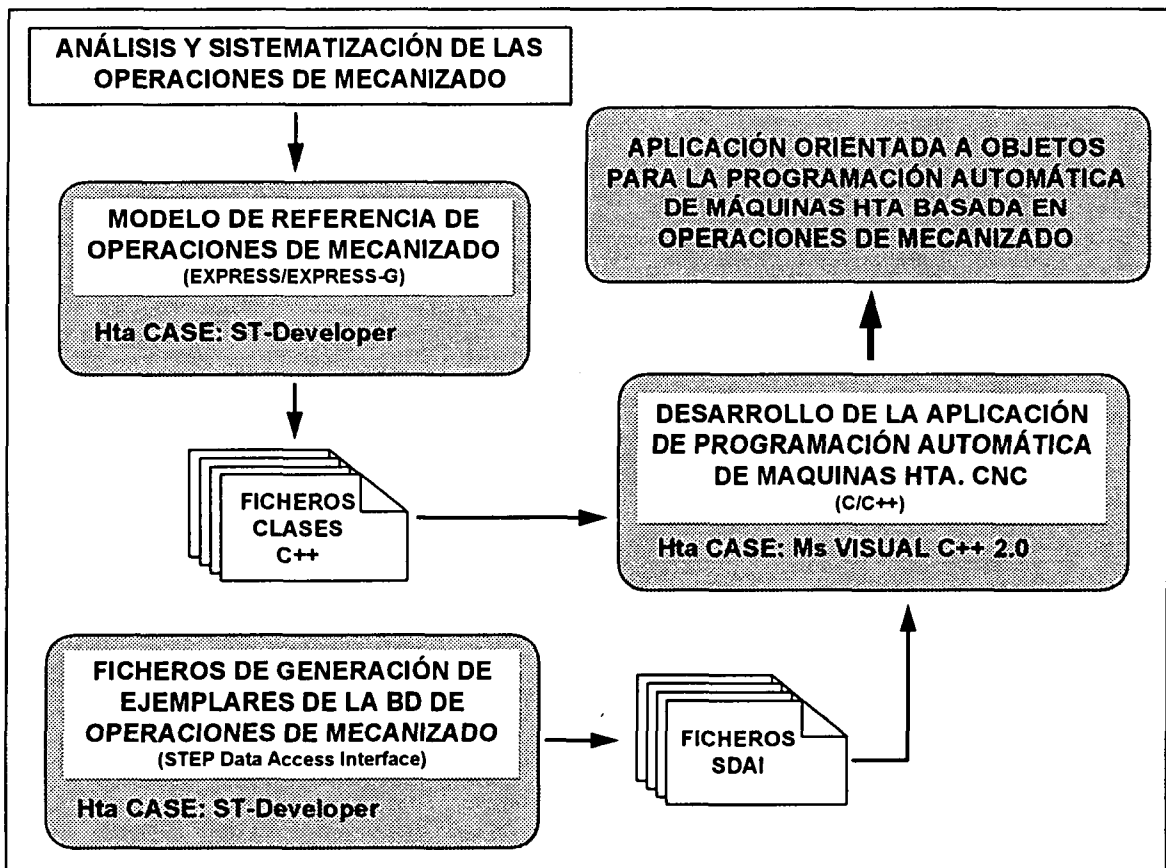


Figura 4.2. Metodología de desarrollo de la aplicación.

4.3. ARQUITECTURA DE LA APLICACIÓN DESARROLLADA.

4.3.1. INTRODUCCIÓN.

La aplicación desarrollada se compone fundamentalmente de una utilidad de formateado de ficheros de información de mecanizado, el núcleo de la aplicación orientada a objetos, de una utilidad de formateado de ficheros DXF, y de una utilidad de procesamiento de ficheros STEP. En la figura 4.3 se muestra una vista general de la arquitectura de la aplicación.

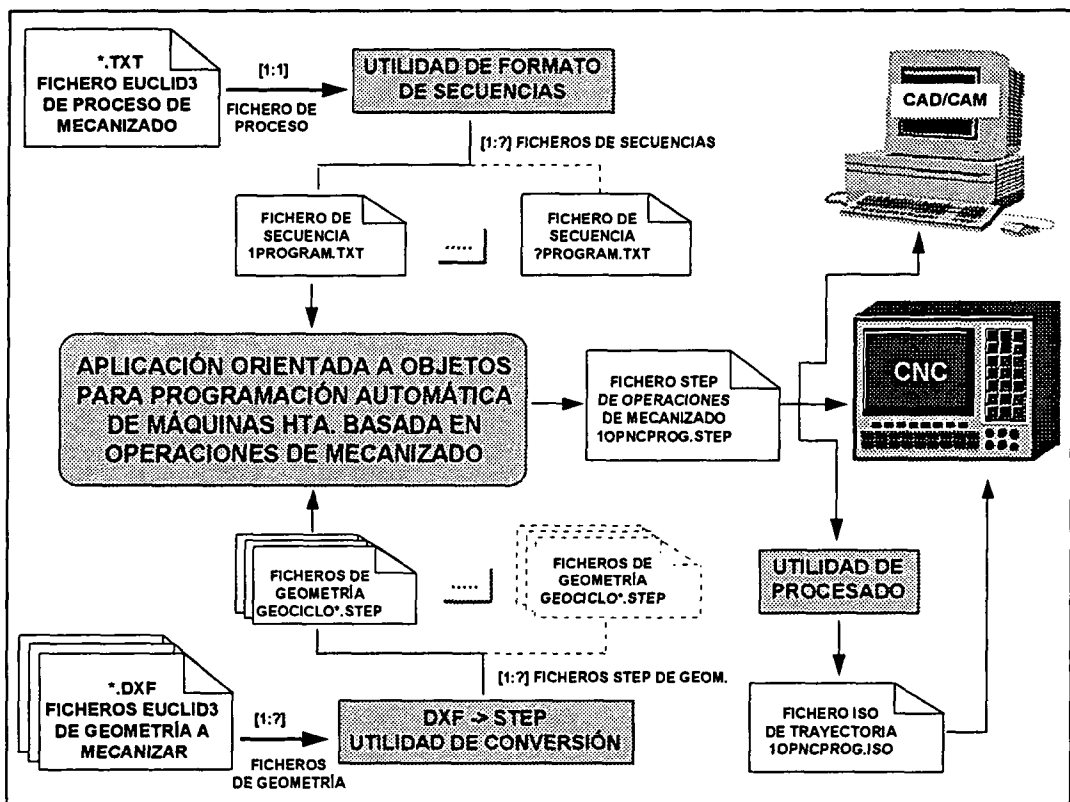


Figura 4.3. Arquitectura de la aplicación desarrollada

Con el sistema Euclid3 se realiza la definición geométrica de la pieza y de las operaciones de mecanizado necesarias para su fabricación, para posteriormente generar y simular el proceso completo con todas las operaciones definidas. Una vez validado el proceso de mecanizado definido, mediante la función *NC decode* se obtiene un fichero ASCII con un formato específico del sistema CAD/CAM, este fichero contiene la información relativa a los procesos, secuencias, y operaciones de mecanizado que se han definido para la fabricación de la pieza. Este fichero de mecanizado se emplea como entrada en una utilidad desarrollada específicamente en la aplicación para obtener los

distintos ficheros de secuencia o ficheros de programa. En Euclid3 una secuencia contiene un conjunto de operaciones que se realizan sobre una pieza en una fijación (ver apartado 3.3.3.2). Esta utilidad se emplea también para modificar el formato de los ficheros de operaciones de Euclid3 y adaptarlos a un formato más adecuado para la adquisición de la información relevante a la aplicación desarrollada.

Como consecuencia de la estructura de definición de las operaciones de mecanizado en Euclid3 (ver tablas A-12. a A-15 en el Anexo A), el fichero de operaciones solo contiene referencias a los MTRs utilizados durante el proceso de definición del proceso de mecanizado, así como a entidades geométricas que se emplean para definir algunos de los parámetros de cada ciclo. Esta referencia se realiza en la forma *\$(código Euclid3 del tipo de entidad)_[número de orden]*, ver ficheros de proceso en el Anexo C. Se hace necesario por tanto obtener otra salida del sistema que nos permita obtener información de la geometría a mecanizar en cada operación. Como consecuencia de la estructura de datos de los sistemas CAD actuales, y en particular de Euclid3, la utilización de modelos sólidos o modelos de superficies no resulta adecuada, pues se requiere del desarrollo de complejos algoritmos para la comprobación de la topología y conectividad de las distintas entidades geométricas que componen cada pieza. En esa línea se han desarrollado distintos trabajos de investigación [ELM93], [SAL92], obteniéndose únicamente resultados satisfactorios con modelos geométricos muy específicos. En el caso de Euclid3 se puede utilizar un lenguaje específico de programación para desarrollar aplicaciones para el análisis de modelos de sólidos, sin embargo los resultados obtenidos con este procedimiento no han sido satisfactorios apareciendo inconsistencias en la descodificación de la estructura interna de datos de las entidades. Como consecuencia se decidió utilizar el procedimiento de generar un fichero de información geométrica en formato DXF para cada uno de los ciclos definidos en el proceso de mecanizado, este fichero contiene los puntos (para el caso de operaciones de taladrado) o el contorno (para el caso de operaciones de fresado) que define la geometría a mecanizar. Se han considerado únicamente las entidades que permiten definir puntos y contornos planos (línea, arco, círculo). Posteriormente, mediante la utilización de la utilidad de conversión DXF-->STEP incluida en el programa ST-Developer [STE95d] es posible obtener un fichero de geometría en formato STEP.

Cada fichero de programa junto con sus correspondientes ficheros de geometría se emplean como ficheros de entrada en la aplicación desarrollada. Se ha definido una tabla de correspondencia entre la información procedente de los ficheros de entrada

(operaciones y geometría) y las clases definidas en la aplicación desarrollada. Sin embargo, ni toda la información procedente de Euclid3 tiene su correspondencia en la información del modelo, ya que el modelo ha sido desarrollado de forma general, ni toda la información contenida en el modelo tiene su correspondencia en la información contenida en los ficheros de entrada. Por tanto, la información procedente del sistema CAD/CAM sirve para poblar parte de la información contenida en el modelo desarrollado. El resto de la información necesaria o bien es introducida por el usuario de forma interactiva, o bien se obtiene de la implementación de ciertas reglas de decisión.

Una vez que se dispone de toda la información necesaria para definir completamente todas las operaciones básicas de mecanizado, y como resultado de la ejecución del programa se obtiene un fichero de CN a nivel de operaciones en formato STEP. Este fichero podría emplearse para intercambiar información de mecanizado con cualquier sistema CAM o sistema CNC que soporte el modelo desarrollado. De esta forma, se utilizaría un interfaz neutro de intercambio de información de fabricación a nivel de operaciones. No obstante, el fichero STEP puede ser procesado mediante la utilidad correspondiente con objeto de obtener un fichero de programación de CN en código ISO adaptado a la máquina específica en la que se va a realizar el proceso de mecanizado. Sin embargo, y con arreglo a las propuestas realizadas en la tesis, este tipo de utilidades debería implementarse en cada CNC, de forma que estos sistemas acepten los programas basados en operaciones en formato STEP. La ausencia de este tipo de sistemas en la actualidad, y con el objeto de probar la posible conversión en un fichero a nivel de trayectoria, se ha desarrollado un único procesador para controles con programación ISO.

4.3.2. PROGRAMAS DE CAMBIO DE FORMATO.

Se dispone de dos programas de cambio de formato, uno para el tratamiento de ficheros de información de Euclid3, y un segundo programa para la conversión a formato STEP de ficheros con información geométrica en formato DXF.

La utilidad de formato de programas de procesos de Euclid3 se ha desarrollado específicamente para la aplicación, y se compone de un programa principal (programas_op.c) y dos subprogramas (formato1.c y formato2.c). Como argumento en su ejecución se especifica el nombre del fichero de operaciones de Euclid3 (*.txt), realizándose en su ejecución las siguientes acciones:

- 1) Creación de un directorio específico para el fichero de operaciones.

- 2) Búsqueda de las distintas secuencias contenidas en el fichero y generación de un fichero intermedio de datos para cada una de ellas.
- 3) Creación y almacenamiento de los ficheros de programa en el directorio específico. Estos ficheros tienen un formato que facilita la posterior adquisición de la información de cada operación.
- 4) Eliminación de los ficheros intermedios de datos.

La utilidad de conversión de información geométrica en formato DXF a formato STEP esta incluida en el programa ST-Developer, por lo que no ha sido necesario realizar ningún desarrollo en este sentido.

4.3.3. DEFINICIÓN DE LA CORRESPONDENCIA ENTRE LA INFORMACIÓN PROCEDENTE DE Euclid3 Y EL MODELO DE REFERENCIA.

La información procedente del sistema Euclid3 es de dos tipos, una información de tipo tecnológico recogida en un fichero de proceso, y una información de tipo geométrico recogida en cada uno de los ficheros de geometría correspondiente a cada ciclo de mecanizado.

El fichero de proceso (ver Anexo D) se estructura en cuatro niveles de particularización que se corresponden con la estructura básica del modulo MILLING (ver apartado 3.3.3.2): proceso, secuencia, operación y ciclo. Cada uno de estos bloques contiene un tipo de información que en parte encuentra su correspondencia en la estructura de datos definida en el modelo de información que se ha desarrollado en la tesis (ver apartado 3.4).

En las tablas 4.1 a 4.19 se recoge la correspondencia entre los parámetros recogidos en el fichero de proceso y los atributos del modelo de información. Como ya se indicó con anterioridad como consecuencia del carácter general del modelo de información desarrollado no existe una correspondencia completa entre la estructura de datos de dicho modelo y la información tecnológica procedente de Euclid3, por este motivo los atributos cuyo valor es fijado por el usuario durante la ejecución de la aplicación desarrollada se han representado en la última columna de las tablas con el símbolo '@'. La correspondencia con la información de Euclid3 se especifica en la última columna, donde se recoge el nombre del bloque de información del fichero de proceso en cursiva seguido del nombre el parámetro.

Adicionalmente se recogen las siguientes notas de aclaración relacionadas con atributos de tipo inverso, los cuales no tienen correspondencia con la información procedente de Euclid3:

- (1) Atributo inverso: `made_up_of` : SET[1:?] OF `NC_process_operation` FOR `NC_associated_process`. El valor de este atributo viene dado por un conjunto de ejemplares de la entidad `NC_process_operation` en las que el atributo `NC_associated_process` toma el valor del ejemplar actual de `NC_machining_process`.
- (2) Atributo inverso: `assigned_to`: SET[1:?] OF `NC_machining_operation` FOR `assigned_tool`. El valor de este atributo se particulariza mediante la definición de reglas locales (`where`) para cada tipo de herramienta, toma como valor el ejemplar de la entidad de operación de mecanizado donde el atributo `assigned_tool` toma el valor del ejemplar actual de la herramienta.
- (3) Atributo inverso: `belongs_to`: SET[1:?] OF `NC_process_operation` FOR `NC_associated_operation`. El valor de este atributo viene dado por un conjunto de ejemplares de la entidad `NC_process_operation` en las que el atributo `NC_associated_operation` toma el valor del ejemplar actual de la operación de mecanizado.
- (4) Atributo inverso: `performed_on`: SET[1:?] OF `NC_operation_location_pattern` FOR `NC_associated_operation`. El valor de este atributo viene dado por un conjunto de ejemplares de la entidad `NC_operation_location_pattern` en las que el atributo `NC_associated_operation` toma el valor del ejemplar actual de la operación de mecanizado.

ATRIBUTOS GENERALES DE MECANIZADO				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORREONDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_process	id	identifier	STRING	<i>sequence</i> - name of the sequence
	made_up_of	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(1)
program_origin	X coordinate	REAL	REAL	<i>machining orig</i> - origin point X
	Y coordinate	REAL	REAL	<i>machining orig</i> - origin point Y
	Z coordinate	REAL	REAL	<i>machining orig</i> - origin point Z
spindle_speed	units	sspeed_unit	rpm	<i>speeds</i> - speed units
	value	preal	REAL > 0	<i>speeds</i> - speed
approach_feed	units	feed_unit	mm/min	<i>speeds</i> - appr feed units
	value	preal	REAL > 0	<i>speeds</i> - approach feedrat
cutting_feed	units	feed_unit	mm/min	<i>speeds</i> - work feedra unit
	value	preal	REAL > 0	<i>speeds</i> - cutting feedrate - o cutting feedrate x (speed x nº de dientes) si el avance esta en mm/diente
retract_feed	units	feed_unit	mm/min	<i>speeds</i> - retr feed units
	value	preal	REAL > 0	<i>speeds</i> - retract feedrate

Tabla 4.1. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Atributos generales de mecanizado.

Tabla 4.2. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Herramientas de corte.

ATRIBUTOS DE HERRAMIENTAS DE CORTE				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORREPENDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
tool	id	identifier	STRING	<i>operation</i> - name of the tool used
	rack_number	pin	INTEGER > 0	<i>operation</i> - rack position
	tool_material	OPCIONAL material selection 1	elegir de una enumeración de materiales posibles	@
	part_material	OPCIONAL material selection 2	elegir de una enumeración de materiales posibles	<i>sequence</i> - material
	recommended_feed	OPCIONAL L[1:?] OF machining_feed	ejemplares de machining_feed	ver entidad machining_feed
	recommended_cutting_speed	OPCIONAL L[1:?] OF cutting_speed	ejemplares de cutting_speed	ver entidad cutting_speed
	recommended_spindle_speed	OPCIONAL L[1:?] OF spindle_speed	ejemplares de spindle_speed	ver entidad spindle_speed
	assigned_to	INVERSO	ejemplares de NC_machining_operation	(2)
OBSERVACIONES: <ul style="list-style-type: none"> • Dependiendo del tipo de herramienta registrado en el parámetro de EUCLID 3 (OPERATION - type of the tool) se realiza una llamada a la función correspondiente para la definición de herramientas de taladrado y fresado. Las herramientas con correspondencia son: face_mill, side_mill, drill, tap, center_drill, counterbore, countersink y reamer. • Los valores de todos los atributos para la definición geométrica de las herramientas son introducidos por el usuario. 				

OPERACION DE CENTRADO/PUNTEADO: <i>center drilling / spotting</i>				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORREPENDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	<i>spotting-engagement</i> dist
	retract_plane	distance	REAL	<i>spotting-engagement</i> dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	center_drill	entidad definida previamente	ver entidad center_drill
	tool_spindle_speed	spindle_speed	entidad definida previamente	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW	<i>speeds</i> - spindle directio
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
performed_on	INVERSO	ejemplares de drilling_pattern_operation	(4)	
NC_drilling_operation	hole_diameter	pdistance	REAL > 0	<i>spotting-spot</i> diameter
	hole_depth	pdistance	REAL >0	@
	bottom_dwell_time	time	REAL > 0	<i>spotting-dwell</i>
center_drilling	cutting_feed	machining_feed	entidad definida previamente	ver entidad machining_feed

OPERACION DE TALADRADO: <i>drilling / drilling</i>				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORREPENDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	<i>drilling-engagement</i> dist
	retract_plane	distance	REAL	<i>drilling-engagement</i> dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	drill	entidad definida previamente	ver entidad drill
	tool_spindle_speed	spindle_speed	entidad definida previamente	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW	<i>speeds</i> - spindle directio
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
performed_on	INVERSO	ejemplares de drilling_pattern_operation	(4)	
NC_drilling_operation	hole_diameter	pdistance	REAL > 0	@
	hole_depth	pdistance	REAL >0	<i>drilling-depth</i>
	bottom_dwell_time	time	REAL > 0	<i>drilling-dwell</i>
drilling	bottom_type	OPCIONAL hole_bottom_type	elegir de la enumeración: through, conic, flat	@
	cutting_feed	machining_feed	entidad definida previamente	ver entidad machining_feed

Tabla 4.3. Correspondencia Euclid3 - 1- ARM: Operación de centrado.

Tabla 4.4. Correspondencia Euclid3 - 1- ARM: Operación de taladrado.

OPERACION DE TALADRADO PROFUNDO: <i>peck_drilling / pecking & chip-breaker pecking</i>				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORRESPONDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	<i>pecking-engagement dist</i> <i>chip-breaker pecking-engagement dist</i>
	retract_plane	distance	REAL	<i>pecking-engagement dist</i> <i>chip-breaker pecking-engagement dist</i>
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	drill	entidad definida previamente	ver entidad drill
	tool_spindle_speed	spindle_speed	entidad definida previamente	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW o NONE	<i>speeds - spindle</i> directo
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
performed_on	INVERSO	ejemplares de drilling_pattern_operation	(4)	
NC_drilling_operation	hole_diameter	pdistance	REAL > 0	@
	hole_depth	pdistance	REAL > 0	<i>pecking-depth</i> <i>chip-breaker pecking-depth</i>
	bottom_dwell_time	time	REAL > 0	<i>pecking--dwell</i> <i>chip-breaker pecking-dwell</i>
peck_drilling	bottom_type	OPCIONAL hole_bottom_type	elegir entre: through, conic	@
	plane_for_starting_feed_correction	OPCIONAL pdistance	REAL > 0	@
	out_dwell_time	time		@
	first_depth_step	pdistance	REAL > 0	<i>pecking-depth first peck</i> <i>chip-breaker pecking-depth first peck</i>
	depth_step	pdistance	REAL > 0	@
	intermediate_retract_to_retract_plane	BOOLEAN	NO para <i>pecking</i> SI para <i>chip-breaker pecking</i>	NO para <i>pecking</i> SI para <i>chip-breaker pecking</i>
	intermediate_retract_distance	distance	REAL ≥ 0	<i>pecking - (valor=0)</i> <i>chip-breaker pecking-saf clear insid</i>
	max_depth_for_intermediate_retraction	pdistance	REAL > 0	@
	cutting_feed	<i>machining_feed</i>	entidad definida previamente	ver entidad <i>machining_feed</i>
	spindle_speed_correction_factor	OPCIONAL preal	REAL > 0	@
	feed_correction_factor	OPCIONAL preal	REAL > 0	@

- El ciclo PECKING se convierte en una operacion de taladrado profundo sin retirada intermedia de hta.
- El ciclo CHIP-BREAKER PECKING se convierte en una operacion de taladrado profundo con retirada intermedia de hta hasta SAF CLEAR INSID.
- El ciclo de taladrado profundo con salida intermedia hasta el plano de retroceso no se encuentra recogido como tal en EUCLID3, solo en el caso de que el parametro SAF CLEAR INSID coincida en su valor con la distancia hasta el plano de retroceso.

Tabla 4.5. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de taladrado profundo.

OPERACION DE AVELLANADO CILINDRICO: counterboring / counterboring				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORREPENDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	counterboring-engagement dist
	retract_plane	distance	REAL	counterboring-engagement dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	counterbore, boring_head, o flat end mill	entidad definida previamente	ver entidades counterbore, boring_head y flat_end_mill
	tool_spindle_speed	spindle_speed	entidad definida previamente	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW	speeds - spindle directio
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
NC_drilling_operation	performed_on	INVERSO	ejemplares de drilling_pattern_operation	(4)
	hole_diameter	pdistance	REAL > 0	@
	hole_depth	pdistance	REAL > 0	counterboring-depth
	bottom_dwell_time	time	REAL > 0	counterboring-dwell
counterboring	cutting_feed	machining_feed	entidad definida previamente	ver entidad machining_feed

OPERACION DE AVELLANADO CÓNICO: countersinking / chamfering				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORREPENDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	chamfering-engagement dist
	retract_plane	distance	REAL	chamfering-engagement dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	countersink	entidad definida previamente	ver entidad countersink
	tool_spindle_speed	spindle_speed	entidad definida previamente	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW	speeds - spindle directio
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
NC_drilling_operation	performed_on	INVERSO	ejemplares de drilling_pattern_operation	(4)
	hole_diameter	pdistance	REAL > 0	@
	hole_depth	pdistance	REAL > 0	chamfering-depth
	bottom_dwell_time	time	REAL > 0	chamfering-dwell
countersinking	chamfer_angle	angle	REAL 0÷360	@
	cutting_feed	machining_feed	entidad definida previamente	ver entidad machining_feed

Tabla 4.6. Correspondencia Euclid3 - I- ARM: Operación de avellanado cilíndrico.

Tabla 4.7. Correspondencia Euclid3 - I- ARM: Operación de avellanado cónico.

OPERACION DE MANDRINADO: boring / pull counterboring & shift counterboring				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORRESPONDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	<i>pull counterboring-engagement dist</i> <i>shift counterboring-engagement dist</i>
	retract_plane	distance	REAL	<i>pull counterboring-engagement dist</i> <i>shift counterboring-engagement dist</i>
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	boring_head	entidad definida previamente	ver entidad boring_head
	tool_spindle_speed	spindle_speed	entidad definida previamente	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW	<i>speeds</i> - spindle directio
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
NC_drilling_operation	performed_on	INVERSO	ejemplares de drilling_pattern_operation	(4)
	hole_diameter	pdistance	REAL > 0	@
	hole_depth	pdistance	REAL > 0	<i>pull counterboring-depth drill hol</i> <i>shift counterboring-depth</i>
boring	bottom_dwll_time	time	REAL > 0	<i>pull counterboring-dwell</i> <i>shift counterboring-dwell</i>
	bottom_type	hole_bottom_type	seleccionar entre: flat, o through	<i>pull counterboring</i> (valor=flat)
	depth_step	pdistance	REAL > 0	<i>pull counterboring-depth</i>
	X_displacement	distance	REAL	<i>pull counterboring-shift</i> <i>shift counterboring-shift</i>
	Y_displacement	distance	REAL	<i>pull counterboring-shift</i> <i>shift counterboring-shift</i>
	Z_displacement	OPCIONAL distance	REAL	<i>pull counterboring-saf under reami</i>
	cutting_feed	machining_feed	entidad definida previamente	ver entidad machining_feed
	tool_turn_direction_after_machining	rotation_direction	STRING = CW, CCW o NONE	@
retract_tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW o NONE	@	
<ul style="list-style-type: none"> • El ciclo de <i>pull counterboring</i> se corresponde con el mandrinado inverso, solo en este caso tiene sentido el atributo <i>Z_displacement</i>, que toma el valor del parametro SAF UNDER REAM. El atributo <i>depth_step</i> representa la profundidad a mandrinar. • El ciclo <i>shift counterboring</i> se corresponde con la operación normal de mandrinado en el que se puede necesitar un desplazamiento de la hta en el plano XY, los parametros SHIFT (valor del desplazamiento). 				

Tabla 4.8. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de mandrinado.

OPERACION DE ESCARIADO: reaming / reaming				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORRESPONDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	reaming-engagement dist
	retract_plane	distance	REAL	reaming-engagement dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	reamer	entidad definida previamente	ver entidad reamer
	tool_spindle_speed	spindle speed	entidad definida previamente	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation direction	STRING = CW, CCW	speeds - spindle directio
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process operation	(3)
	performed_on	INVERSO	ejemplares de drilling_pattern operation	(4)
NC_drilling_operation	hole_diameter	pdistance	REAL > 0	@
	hole_depth	pdistance	REAL > 0	reaming-depth
	bottom_dwell_time	time	REAL > 0	@
countersinking	cutting_feed	machining_feed	entidad definida previamente	ver entidad machining_feed

OPERACION DE ROSCADO: tapping / tapping				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORRESPONDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	tapping-engagement dist
	retract_plane	distance	REAL	tapping-engagement dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	tap	entidad definida previamente	ver entidad tap
	tool_spindle_speed	spindle speed	entidad definida previamente	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation direction	STRING = CW, CCW	speeds - spindle directio
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process operation	(3)
	performed_on	INVERSO	ejemplares de drilling_pattern operation	(4)
NC_drilling_operation	hole_diameter	pdistance	REAL > 0	@
	hole_depth	pdistance	REAL > 0	tapping-depth
	bottom_dwell_time	time	REAL > 0	@
tapping	pitch	angle	REAL 0÷360	@
	tool_turn_direction_after_machining	rotation direction	STRING = CW, CCW	@
	retract_tool_turn_direction	rotation direction	STRING = CW, CCW	@

Tabla 4.9. Correspondencia Euclid3 - 1- ARM: Operación de escariado.

Tabla 4.10. Correspondencia Euclid3 - 1- ARM: Operación de roscado.

OPERACION DE TALADRADO MULTIPLE: <i>multistep_drilling / drilling</i>				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORREPENDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	<i>aprox_plane</i>	distance	REAL	<i>drilling-engagement dist</i>
	<i>retract_plane</i>	distance	REAL	<i>drilling-engagement dist</i>
	<i>coolant</i>	BOOLEAN	SI / NO	@
	<i>assigned_tool</i>	step_drill	entidad definida previamente	ver entidad <i>step_drill</i>
	<i>tool_spindle_speed</i>	spindle_speed	entidad definida previamente	ver entidad <i>spindle_speed</i>
	<i>tool_turn_direction</i>	rotation_direction	STRING = CW, CCW	<i>speeds - spindle directio</i>
	<i>belongs_to</i>	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
NC_drilling_operation	<i>performed_on</i>	INVERSO	ejemplares de <i>drilling_pattern_operation</i>	(4)
	<i>hole_diameter</i>	pdistance	REAL > 0	@
	<i>hole_depth</i>	pdistance	REAL >0	<i>drilling-depth</i>
	<i>bottom_dwell_time</i>	time	REAL > 0	<i>drilling-dwell</i>
<i>multistep_drill</i>	<i>cutting_feed</i>	<i>machining_feed</i>	entidad definida previamente	ver entidad <i>machining_feed</i>

Tabla 4. 11. Correspondencia Euclid3 - I-ARRM: Operación de taladrado múltiple.

OPERACION DE PLANEADO EN DESBASTE: <i>rough face milling / one way, both way, zigzag</i> (machining_type=surfacing), <i>zigzag surfacing</i>				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORRESPONDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	para todos los ciclos: engagement dist
	retract_plane	distance	REAL	para todos los ciclos: engagement dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	face_mill	ejemplar entidad face_mill	ver entidad face_mill
	tool_spindle_speed	spindle_speed	ejemplar entid. spindle_speed	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW	speeds - spindle directio
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
performed_on	INVERSO	ejemplares de milling_pattern_operation	(4)	
NC_milling_operation	start_point	point	ejemplar entidad punto	@
	end_point	point	ejemplar entidad punto	@
	depth_to_remove	pdistance	REAL > 0	para todos los ciclos: pass depth x number of pass
	machining_axial_step	pdistance	REAL > 0	para todos los ciclos: pass depth
	machining_radial_step	pdistance	REAL > 0	para todos los ciclos: cut overlap x tool diameter
	machining_direction	direction: angle	REAL 0:360	one way-sweeping angle both way-sweeping angle zigzag-sweeping angle
face_milling	tool_part_withdrawl_distance	pdistance	REAL > 0	one way-overflow factor x tool_diameter both way-overflow factor x tool_diameter zigzag-overflow factor x tool_diameter zigzag surfacing-longit overlap
	intermediate_retract_distance	OPCIONAL pdistance	REAL > 0	one way-engagement dist both way-engagement dist zigzag (no tiene valor) zigzag surfacing (no tiene valor)
	machining_tool_path_type	face_machining_path_type	unidir zigzag	solo para one way
	cutting_feed	machining_feed	ejemplar ent. machining_feed	ver entidad machining_feed
rough face milling				

Tabla 4.12. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de planeado en desbaste.

OPERACION DE PLANEADO EN ACABADO: <i>finish face milling / one way, both way, zigzag</i> (machining_type=surfacing), <i>zigzag surfacing</i>				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORRESPONDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	retract_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	face_mill, flat_end_mill, ball_end_mill	ejemplar entidad face_mill, flat_end_mill, o ball_end_mill	ver entidades: face_mill, flat_end_mill, ball_end_mill
	tool_spindle_speed	spindle_speed	ejemplar entid. spindle_speed	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW	speeds - spindle directio
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
	performed_on	INVERSO	ejemplares de milling_pattern_operation	(4)
NC_milling_operation	start_point	point	ejemplar entidad punto	@
	end_point	point	ejemplar entidad punto	@
	depth_to_remove	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: final Z allow excepto: <i>zigzag surfacing</i> (allowance - final Z allow)
	machining_axial_step	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: final Z allow excepto <i>zigzag surfacing</i> [(allowance - final Z allow)/2]
	machining_radial_step	pdistance	REAL > 0	para todos los ciclos: cut overlap x tool_diameter x 1,15
	machining_direction	direction: angle	REAL 0=360	todo los ciclos: sweeping angle excepto: <i>zigzag surfacing</i> @
face_milling	tool_part_withdrawl_distance	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: overflow factor excepto: <i>zigzag surfacing</i> -longit overlap
	intermediate_retract_distance	OPCIONAL pdistance	REAL > 0	<i>one way</i> -engagement dist <i>both way</i> -engagement dist <i>zigzag</i> (no tiene valor) <i>zigzag surfacing</i> (no tiene valor)
	machining_tool_path_type	face_machining_path_type	unidir zigzag	solo para <i>one way</i>
	cutting_feed	machining_feed	ejemplar ent. machining_feed	@
finish_face_milling	face_surface	OPCIONAL b_spline_surface	ejemplar entidad b_spline_surface	(3)
	face_surface_normal_vector	vector	ejemplar entidad vector	(4)

Tabla 4.13. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de planeado en acabado.

OPERACION DE CONTORNEADO EN DESBASTE: <i>rough_side_milling / contouring, contouring with projection, limited contouring</i>				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORRESPONDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	retract_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	side_mill	ejemplar entidad side_mill	ver entidades: side_mill
	tool_spindle_speed	spindle_speed	ejemplar entid. spindle_speed	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW	speeds - spindle directo
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
performed_on	INVERSO	ejemplares de milling_pattern_operation	(4)	
NC_milling_operation	start_point	point	ejemplar entidad punto	@
	end_point	point	ejemplar entidad punto	@
	depth_to_remove	pdistance	REAL > 0	para todos los ciclos: pass depth x number of pass
	machining_axial_step	pdistance	REAL > 0	para todos los ciclos: pass depth
	machining_radial_step	pdistance	REAL > 0	@
machining_direction	direction	ejemplar: line, vector, o angle	@	
side_milling	thickness_to_remove	pdistance	REAL > 0	@
	lateral_contour_angle	angle	REAL 0÷360	@
	approach_path_type	aw_path_type	elegir entre: tangente, directo	todos lo ciclos: si approach = with ⇒ tangente
	withdrawl_path_type	aw_path_type	elegir entre: tangente, directo	idem
	aw_path_radius	OPCIONAL pdistance	REAL > 0	todos los ciclos, solo cuando la trayect. de aprox. o retir. sea tangente appro radius (%) x tool radius
	machining_side	side	elegir entre: drcha,izqda, sobre	@
	tool_correction	BOOLEAN	SI / NO	todos los ciclos: si tool correction = with ⇒ SI
	precise_corner_pass	BOOLEAN	SI / NO	todos los ciclos: si fillet vertices = circular ⇒ SI
	side_machining_feed	machining_feed	ejemplar ent. machining_feed	ver entidad machining_feed
rough_side_milling	sink_machining_feed	sinking_feed	ejemplar ent. sinking_feed	ven entidad sinking_feed

Tabla 4. 14. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de contorneado en desbaste.

OPERACION DE CONTORNEADO EN ACABADO: <i>finish_side_milling / contouring, contouring with projection, limited contouring</i>				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORRESPONDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	retract_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	side_mill, concave_side_mill, flat_end_mill, ball_end_mill	ejemplar entidad: side_mill, concave_side_mill, flat_end_mill, ball_end_mill	ver entidades: side_mill, concave_side_mill, flat_end_mill, ball_end_mill
	tool_spindle_speed	spindle_speed	ejemplar entid. spindle_speed	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW	<i>speeds</i> - spindle directo
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
	performed_on	INVERSO	ejemplares de milling_pattern_operation	(4)
NC_milling_operation	start_point	point	ejemplar entidad punto	@
	end_point	point	ejemplar entidad punto	@
	depth_to_remove	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: final Z allow
	machining_axial_step	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: final Z allow
	machining_radial_step	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: contour/X allow
	machining_direction	direction	ejemplar: angle, line o vector	@
side_milling	thickness_to_remove	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: contour/X allow
	lateral_contour_angle	angle	REAL 0÷360	@
	approach_path_type	aw_path_type	elegir entre: tangente ,directo	todos lo ciclos: si approach = with ⇒ tangente
	withdrawal_path_type	aw_path_type	elegir entre: tangente, directo	idem
	aw_path_radius	OPCIONAL pdistance	REAL > 0	todos los ciclos, solo cuando la trayect. de aprox. o retir. sea tangente appro radius (%) x tool radius
	machining_side	side	elegir entre: drcha,izqda, sobre	@
	tool_correction	BOOLEAN	SI / NO	todos los ciclos: si tool correction = with ⇒ SI
	precise_corner_pass	BOOLEAN	SI / NO	todos los ciclos: si fillet vertices = circular ⇒ SI
	side_machining_feed	machining_feed	ejemplar ent. machining_feed	ver entidad machining_feed
	sink_machining_feed	sinking_feed	ejemplar ent. sinking_feed	ver entidad sinking_feed
finish_side_milling	lateral_face_surface	OPCIONAL b_spline_surface	ejemplar ent. b_spline_surface	ver entidad b_spline_surface
	bottom_face_surface	OPCIONAL b_spline_surface	ejemplar ent. b_spline_surface	ver entidad b_spline_surface

Tabla 4.15. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de contorneado en acabado.

OPERACION DE VACIADO EN DESBASTE: <i>rough_pocket_milling / zigzag</i> (machining_type=pocketing) / <i>spiraling</i> (machinig_type=pocketing) / <i>spiral pocketing / channeling</i>				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORRESPONDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	retract_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	flat_end_mill	ejemplar entidad flat_end_mill	ver entidad flat_end_mill
	tool_spindle_speed	spindle_speed	ejemplar entid. spindle_speed	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW	speeds - spindle directio
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
performed_on	INVERSO	ejemplares de milling_pattern_operation	(4)	
NC_milling_operation	start_point	point	ejemplar entidad punto	@
	end_point	point	ejemplar entidad punto	@
	depth_to_remove	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: pass depth x number of pass
	machining_axial_step	pdistance	REAL > 0	pass depth
	machining_radial_step	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: [tool diameter x (100-cut overlap (%))/100] excepto :channeling = 0
machining_direction	direction	ejemplar: line, vector, angle	todos los ciclos: @ - excepto zigzag y spiraling donde = sweeping angle	
pocket_milling	thickness_not_to_remove	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: contour/X allow - excepto channeling = 0
	lateral_contour_angle	angle	REAL 0:360	@
	lateral_bottom_radius	pdistance	REAL > 0	@
	tool_part_withdrawal_distance	OPCIONAL pdistance (solo cajas abiertas)	REAL > 0	solo para spiral pocketing @
	approach_path_type	aw_path_type	elegir entre: tangente ,directo	solo para spiral pocketing @
	withdrawal_path_type	aw_path_type	elegir entre: tangente, directo	solo para spiral pocketing @
	aw_path_radius	OPCIONAL pdistance	REAL > 0	solo para spiral pocketing @
	machining_tool_path_type	pocket_machining_pat h_type	elegir entre:zigzag, espiral	zigzag para zigzag y channeling (sweep=alternate) espiral para spiraling y spiral pocketing
side_machining_feed	machining_feed	ejemplar ent. machining_feed	ver entidad machining_feed	
sink_machining_feed	sinking_feed	ejemplar ent. sinking_feed	ven entidad sinking_feed	
rough_pocket_milling				

Tabla 4.16. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de vaciado en desbaste.

OPERACION DE VACIADO EN ACABADO: <i>finish_pocket_milling / zigzag</i> (machining_type=pocketing) / <i>spiraling</i> (machinig_type=pocketing) / <i>spiral pocketing</i>				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORREPENDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	retract_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	flat_end_mill	ejemplar entidad flat_end_mill, ball end mill	ver entidades: flat_end_mill, ball_end_mill
	tool_spindle_speed	spindle_speed	ejemplar entid. spindle_speed	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW	speeds - spindle directio
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
	performed_on	INVERSO	ejemplares de milling_pattern_operation	(4)
NC_milling_operation	start_point	point	ejemplar entidad punto	@
	end_point	point	ejemplar entidad punto	@
	depth_to_remove	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: final Z allow - excepto en <i>spiral pocketing</i> - allowance
	machining_axial_step	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: final Z allow - excepto en <i>spiral pocketing</i> - allowance
	machining_radial_step	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: contour/X allow
	machining_direction	direction	ejemplar: line, vector, angle	todos los ciclos: @ - excepto <i>zigzag</i> y <i>spiraling</i> donde = sweeping angle
pocket_milling	thickness_not_to_remove	pdistance	0	todos los ciclos = 0
	lateral_contour_angle	angle	REAL 0÷360	@
	lateral_bottom_radius	pdistance	REAL > 0	@
	tool_part_withdrawl_distance	OPCIONAL pdistance (solo cajas abiertas)	REAL > 0	solo para <i>spiral pocketing</i> @
	approach_path_type	aw_path_type	tangente	todos los ciclos
	withdrawl_path_type	aw_path_type	tangente	todos los ciclos
	aw_path_radius	OPCIONAL pdistance	REAL > 0	todos los ciclos
	machining_tool_path_type	pocket_machining_path_type	espiral	espiral para todos los ciclos
finish_pocket_milling	side_machining_feed	machining_feed	ejemplar ent. machining_feed	ver entidad machining_feed
	sink_machining_feed	sinking_feed	ejemplar ent. sinking_feed	ven entidad sinking_feed
	thicknes_to_remove	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: contour/X allow
finish_pocket_milling	lateral_face_surface	OPCIONAL b_spline surface	ejemplar ent. b_spline_surface	ver ent. b_spline_surface
	bottom_face_surface	OPCIONAL b_spline surface	ejemplar ent. b_spline_surface	ver ent. b_spline_surface

Tabla 4. 17. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de vaciado en acabado.

OPERACION DE VACIADO EN DESBASTE CON ISLAS: <i>rough_pocket_milling_with_island</i> / <i>zigzag</i> (machining_type=pocketing) / <i>spiraling</i> (machinig_type=pocketing)				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORRESPONDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	retract_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	flat_end_mill	ejemplar entidad flat_end_mill	ver entidad flat_end_mill
	tool_spindle_speed	spindle_speed	ejemplar entid. spindle_speed	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW	speeds - spindle directio
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
performed_on	INVERSO	ejemplares de milling_pattern_operation	(4)	
NC_milling_operation	start_point	point	ejemplar entidad punto	@
	end_point	point	ejemplar entidad punto	@
	depth_to_remove	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: pass depth x number of pass
	machining_axial_step	pdistance	REAL > 0	pass depth
	machining_radial_step	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: [tool diameter x (100-cut overlap (%))/100]
machining_direction	direction	ejemplar: line, vector o angle	todos los ciclos: @ - excepto zigzag y spiraling donde = sweeping angle	
pocket_milling	thickness_not_to_remove	pdistance	0	todos los ciclos: contour/X allow
	lateral_contour_angle	angle	REAL 0-360	@
	lateral_bottom_radius	pdistance	REAL > 0	@
	tool_part_withdrawl_distance	OPCIONAL pdistance	REAL > 0	@
	approach_path_type	aw_path_type	elegir: directa o tangente	@
	withdrawl_path_type	aw_path_type	elegir: directa o tangente	@
	aw_path_radius	OPCIONAL pdistance	REAL > 0	@
	machining_tool_path_type	pocket_machining_path_type	elegir entre:zigzag, espiral	zigzag = zigzag spiraling = espiral
side_machining_feed	machining_feed	ejemplar ent. machining_feed	ver entidad machining_feed	
sink_machining_feed	sinking_feed	ejemplar ent. sinking_feed	ver entidad sinking_feed	
rough_pocket_milling_with_island	non_machining_area	island_hole	ejemplar ent. island o ent. hole	ver entidades: island, hole

Tabla 4.18. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de vaciado en desbaste con isla.

OPERACION DE VACIADO EN ACABADO CON ISLAS: <i>finish_pocket_milling_with_island / zigzag</i> (machining_type=pocketing) / <i>spiraling</i> (machinig_type=pocketing)				
ENTIDAD DONDE SE DEFINE EL ATRIBUTO	NOMBRE DEL ATRIBUTO	TIPO	VALOR	CORRESPONDENCIA DE LOS ATRIBUTOS DEL MODELO CON EL SISTEMA EUCLID3
NC_machining_operation	aprox_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	retract_plane	distance	REAL	todos los ciclos: engagement dist
	coolant	BOOLEAN	SI / NO	@
	assigned_tool	flat_end_mill, o ball_end mill	ejemplar entidad flat_end_mill, ball_end mill	ver entidades: flat_end_mill, ball_end_mill
	tool_spindle_speed	spindle speed	ejemplar entid. spindle_speed	ver entidad spindle_speed
	tool_turn_direction	rotation_direction	STRING = CW, CCW	speeds - spindle directio
	belongs_to	INVERSO	ejemplares de NC_process_operation	(3)
	performed_on	INVERSO	ejemplares de milling_pattern_operation	(4)
NC_milling_operation	start_point	point	ejemplar entidad punto	@
	end_point	point	ejemplar entidad punto	@
	depth_to_remove	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: final Z allow - excepto en <i>spiraling pocketing</i> - allowance
	machining_axial_step	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: final Z allow - excepto en <i>spiraling pocketing</i> - allowance
	machining_radial_step	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: contour/X allow
machining_direction	direction: angle	ejemplar: line, vector, angle	todos los ciclos: @ - excepto <i>zigzag</i> y <i>spiraling</i> donde = sweeping angle	
pocket_milling	thickness_not_to_remove	pdistance	0	todos los ciclos = 0
	lateral_contour_angle	angle	REAL 0:360	@
	lateral_bottom_radius	pdistance	REAL > 0	@
	tool_part_withdrawl_distance	OPCIONAL pdistance	REAL > 0	@
	approach_path_type	aw_path type	tangente	@
	withdrawl_path_type	aw_path type	tangente	@
	aw_path radius	OPCIONAL pdistance	REAL > 0	@
	machining_tool_path_type	pocket_machining_path type	elegir entre:zigzag, espiral	espiral para todos los ciclos
	side_machining_feed	machining_feed	ejemplar ent. machining_feed	ver entidad machining_feed
sink_machining_feed	sinking_feed	ejemplar ent. sinking_feed	ven entidad sinking_feed	
finish_pocket_milling_with_island	thicknes to remove	pdistance	REAL > 0	todos los ciclos: contour/X allow
	lateral_face_surface	OPCIONAL b_spline surface	ejemplar ent. b_spline_surface	ver ent. b_spline_surface
	bottom_face_surface	idem	idem	idem
	lateral_island_face surface	idem	idem	idem
	island_contouring	BOOLEAN	SI / NO	SI para todos los ciclos
	non_machining_area	island hole	ejemplar ent. island o ent. hole	ven entl island y hole

Tabla 4. 19. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Operación de vaciado en acabado con isla.

La implementación en lenguaje C++ de los atributos de tipo *inverso* de EXPRESS no esta soportada en el programa ST-Developer, optándose en este caso por realizar una modificación en el modelo implementado y convertir dichos atributos a tipo no inverso. Lógicamente esto conduce a una modificación conceptual del modelo de información desapareciendo las relaciones entre entidades con restricciones de cardinalidad del tipo [1:?] en ambos sentidos, convirtiéndose en relaciones con restricción del tipo [1:?] en sentido directo y con restricción del tipo [0:?] en sentido inverso. En este caso la restricción inversa no necesita ser especificada pues responde a la restricción por defecto entre dos entidades. Las modificaciones realizadas en el modelo de información en la etapa de implementación son las siguientes:

- 1) Una operación de mecanizado siempre tiene asociada una herramienta. Esto se traduce en la existencia en la entidad NC_machining_operation del atributo *assigned_tool* que toma el valor de un ejemplar de la entidad tool.
- 2) Una operación de mecanizado se realiza en una determinada parte de la pieza definida por uno o varios patrones de localización de mecanizado. Esto se traduce en la existencia en la entidad NC_machining_operation del atributo *performed_on* que toma el valor de una lista de ejemplares de la entidad *machining_location_pattern*.
- 3) Se sustituye la entidad NC_machining_process por la entidad NC_program que se define por un identificador. El programa de CN se compone del conjunto de operaciones definidas dentro del mismo fichero. Se elimina el atributo inverso que liga a las operaciones de mecanizado con al menos un proceso de mecanizado, que a su vez se compone de un conjunto de operaciones.
- 4) Desaparecen las entidades NC_proces_operation, pattern_operation_drilling, y pattern_operation_milling, que se empleaban para representar las relaciones bidireccionales de tipo [1:?].

Con objeto de reflejar las modificaciones realizadas en el modelo de referencia original e integrar los cuatro esquemas desarrollados, se ha elaborado un esquema único *mecanizado_cn*, recogido en el fichero *mecanizado_cn.exp* (ver Anexo C), que es el que se ha utilizado en el proceso implementación.

La implantación del modelo se ha realizado de forma alternativa al procedimiento propuesto por la norma STEP, consistente en realizar una interpretación de la estructura de datos del modelo de referencia (ARM - Application Reference Model) con las distintas

partes que definen los recursos genéricos integrados (partes 4X de STEP) para obtener un modelo interpretado (AIM - Application Interpreted Model) que es el que se implementa. El procedimiento utilizado, empleado en ciertos proyectos STEP, ha consistido en la implementación directa del modelo de referencia, por lo que utilizando la terminología del ámbito STEP, se le denomina como un I-ARM (Implementable Application Reference Model) [HAA96], [LOT96], [WAR96a], [WAR96b].

La búsqueda y adquisición de la información procedente del fichero Euclid3 de operaciones se realiza sobre cada fichero de programa o secuencia generado a partir del fichero original de proceso (ver apartado 4.3.3). Con este objetivo, se han desarrollado un conjunto de funciones que permiten identificar los bloques de información del fichero relativos a: secuencia, operaciones, origen, velocidades, herramienta, ciclos de mecanizado de agujeros, y ciclos de fresado.

A continuación, en la tabla 4.20 se especifican los nombres de las funciones desarrolladas y el tipo de información capturada por cada una de ellas.

	NOMBRE DE LA FUNCIÓN	TIPO DE INFORMACIÓN CAPTURADA
Funciones generales	fsequence.c	nombre de la secuencia, nombre de la máquina, nombre del control, y material de la pieza.
	foriging.c	coordenadas del origen de programa
	ftool.c	nombre y tipo de herramienta, y su posición en el carrusel de htas de la máquina.
	fspeeds.c	unidad y valor de la velocidad de giro del husillo, y de los avances de aproximación, mecanizado y retirada.
Funciones para ciclos de mecanizado de agujeros	fspotting.c	parámetros del ciclo de punteado/centrado
	fdrilling.c	parámetros del ciclo de taladrado
	fchamfering.c	parámetros del ciclo de avellanado cónico
	fboring.c	parámetros del ciclo de mandrinado
	freaming.c	parámetros del ciclo de escariado
	ftapping.c	parámetros del ciclo de roscado
Funciones para ciclos de fresado	fzigzag.c	parámetros del ciclo de planeado/vaciado con trayectoria en zigzag
	fzigzagsurf.c	parámetros del ciclo de planeado en zigzag
	fcontouring.c	parámetros del ciclo de contorneado
	fcontouringwp.c	parámetros del ciclo de contorneado con proyección
	fspiralp.c	parámetros del ciclo de vaciado en espiral

Tabla 4.20. Lista de funciones para capturar información tecnológica.

Como ya se indicó anteriormente, la información de tipo geométrico no se encuentra contenida en el fichero de proceso, por lo que se ha adoptado la solución de generar un fichero de geometría en formato DXF para cada ciclo de mecanizado que se realiza sobre la pieza. Para los ciclos de taladrado se definen los puntos que localizan cada agujero en el plano de referencia de la pieza, y para los ciclos de fresado se define el contorno que delimita el VME, utilizando para ello entidades geométricas de tipo línea, arco y círculo: Una vez definidos los puntos de taladrado o el contorno del VME a fresar se agrupan las entidades de forma ordenada en una entidad de tipo *assembly*, posteriormente se emplea una aplicación de Euclid3 para generar el fichero DXF correspondiente. Estos ficheros en formato DXF son traducidos a formato STEP mediante la utilidad DXF--> STEP contenida en el sistema ST-Developer [STE95d]. En el Anexo D se recogen dos ejemplos de este tipo de ficheros.

La utilización de una entidad tipo *assembly*, se identifica en el fichero STEP de geometría una entidad de tipo *BLOCK*, esta entidad tiene un atributo que se corresponde con la lista de identificadores de las entidades que lo componen, es decir de las entidades que definen la geometría del ciclo de mecanizado. Para capturar la información de tipo geométrico, se ha desarrollado la función *fgeostep.c*, que realiza las siguientes tareas:

- 1) Identificar la entidad de tipo *block* y capturar los identificadores de las entidades que la forman;
- 2) identificar y determinar el tipo de cada entidad del bloque: *point*, *line*, *arc*, o *circle*;
- 3) capturar los parámetros geométricos que definen dichas entidades almacenándolos en variables específicas.

Parte de la información contenida en los ficheros de geometría no es relevante desde el punto de vista del CN y en consecuencia del modelo de aplicación desarrollado, por ejemplo, ciertos atributos relativos a la representación geométrica: espesor de línea, color de línea, tipo de línea, capa de representación, etc., como consecuencia mediante la función *fgeostep* se captura únicamente las entidades y atributos que tiene correspondencia con la estructura de datos de la aplicación desarrollada.

A continuación en la tabla 4.21. se especifican las entidades geométricas relevante contenidas en los ficheros STEP de geometría de ciclos, así como los atributos, a través de su número de orden, que tienen su correspondencia en el modelo de datos de la aplicación.

ENTIDAD DEL FICHERO STEP	ATRIBUTOS CON CORRESPONDENCIA	CORRESPONDENCIA CON EL MODELO DE REFERENCIA
BLOCK	(15) - lista de identificadores de los ejemplares de entidades que forman parte del bloque	se genera un ejemplar de <i>open_composed_curve</i> , o de <i>closed_composed_curve</i> (fresado)
LINE	(10) - identificador del ejemplar de COORDTYPE que contiene las coordenadas del punto inicial (11) - identificador del ejemplar de COORDTYPE que contiene las coordenadas del punto final	se generan dos ejemplares de <i>point</i> con las coordenadas procedentes de COORDTYPE, estos puntos son el valor de los atributos <i>start_point</i> , y <i>end_point</i> de la entidad <i>line</i>
POINT	(10) - identificador del ejemplar de COORDTYPE que contiene las coordenadas del punto	se genera un ejemplar de la entidad <i>point</i> con las coord. procedentes de COORDTYPE
ARC	(10) - identificador del ejemplar de COORDTYPE que contiene las coordenadas del centro (11) - valor del radio del arco (12) - valor del ángulo de inicio del arco (13) - valor del ángulo de final del arco	se genera un ejemplar de las entidades <i>point</i> y <i>arc</i> dando valor a los atributos: <i>center_point</i> , <i>radius</i> , y se emplea un algoritmo para obtener las coordenadas de los punto inicial y final del arco a partir de las coord. del centro, radio y ángulos conocidos
CIRCLE	(10) - identificador del ejemplar de COORDTYPE que contiene las coordenadas del centro (11) - valor del radio del círculo	se genera un ejemplar de las entidades <i>point</i> y <i>circle</i> dando valor a los atributos: <i>center_point</i> , y <i>radius</i> .
COORDTYPE	(1), (2), (3) - coordenadas X, Y, y Z	se emplea para dar valor a los atributos <i>X_coordinate</i> , <i>Y_coordinate</i> , y <i>Z_coordinate</i> de la entidad <i>point</i>

Tabla 4.21. Correspondencia Euclid3 - I-ARM: Información geométrica.

4.3.4. DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE CLASES.

En la aplicación se dispone de dos tipos de clases, aquellas que se corresponden con la estructura de datos definida en el modelo de información, y aquellas que se corresponden con la información procedente del sistema CAD/CAM.

La generación de las clases a partir del modelo de información se realiza mediante la utilización de la herramienta CASE. Como ya se ha indicado anteriormente no existe una correspondencia completa entre EXPRESS y C++, no soportándose: atributos inversos, atributos derivados, reglas locales (where), reglas globales, algoritmos, y funciones. La herramienta genera dos tipos de ficheros, uno de implementación de la clase ".c" y otro de definición de la clase ".h" para cada entidad (ENTITY), para cada tipo de selección (SELECT), para cada tipo de enumeración (ENUMERATION OF), y para los tipos agregados (LIST, SET, BAG, ARRAY). Adicionalmente se generan dos ficheros de cabecera, uno que recoge los nombres de todos los tipos definidos dentro del esquema (*mecanizado_cn_type.h*), y otro fichero que incluye todos los ficheros de definición de clases creados para el esquema (*mecanizado_cn.h*). Un análisis detallado de la correspondencia EXPRESS/C++ se recoge [STE95d].

Para la adquisición y almacenamiento de la información procedente del sistema CAD/CAM se ha desarrollado un conjunto prototipo de clases que comprenden la información de la secuencia, origen de programa, herramienta, velocidades, y parte de los ciclos implementados en dicho sistema (ver la tabla 4.20. de funciones). El objetivo que se pretende no es realizar una interfaz completa entre el sistema Euclid3 y el modelo desarrollado, sino demostrar la viabilidad y utilidad de la utilización de STEP en la definición de información a nivel de operaciones, por tal motivo se han desarrollado únicamente las clases necesarias para realizar unos ejemplos representativos de la aplicación. Se han considerado los siguientes ciclos del sistema CAD/CAM: spotting, drilling, chamfering, reaming, boring, tapping, zigzag, zigzag surfacing, contouring, contouring with projection, y spiral pocketing.

En la tabla 4.22 se recoge la lista de ficheros tanto de definición como de implementación de las clases definidas para la información del sistema CAD/CAM.

En la tabla 4.23. se recoge la lista de ficheros de clases generadas para el modelo de referencia definido en el esquema de implementación *mecanizado_cn*.

FICHEROS DE CLASES DE INFORMACIÓN DE EUCLID3	
FICHEROS DE IMPLEMENTACIÓN DE CLASES	FICHEROS DE DEFINICIÓN DE CLASES
euboring.c	euboring.h
euchamfering.c	euchamfering.h
eucontouring.c	eucontouring.h
eucontouringwp.c	eucontouringwp.h
eudrilling.c	eudrilling.h
euorigin.c	euorigin.h
eureaming.c	eureaming.h
eusequence.c	eusequence.h
euspeeds.c	euspeeds.h
euspiralp.c	euspiralp.h
euspotting.c	euspotting.h
eutapping.c	eutapping.h
eutool.c	eutool.h
euzigzag.c	euzigzag.h
euzigzagsurf.c	euzigzagsurf.h

Tabla 4.22. Lista de clases: Euclid3.

Tabla 4.23. Lista de clases: I-ARM.

FICHEROS DE CLASES DEL MODELO DE INFORMACIÓN	
FICHEROS DE IMPLEMENTACIÓN DE CLASES	FICHEROS DE DEFINICIÓN DE CLASES
approach_feed.c	approach_feed.h
arc.c	arc.h
aw_path_type.c	aw_path_type.h
ball_end_mill.c	ball_end_mill.h
basic_closed_curve.c	basic_closed_curve.h
basic_open_curve.c	basic_open_curve.h
boring.c	boring.h
boring_head.c	boring_head.h
center_drill.c	center_drill.h
center_drilling.c	center_drilling.h
chamfer_step_drill.c	chamfer_step_drill.h
circle.c	circle.h
circular_equal_pitch.c	circular_equal_pitch.h
circular_non_equal_pitch.c	circular_non_equal_pitch.h
circular_non_equal_pitch_patterns.c	circular_non_equal_pitch_patterns.h
circumference_chord.c	circumference_chord.h
closed_composed_curve.c	closed_composed_curve.h
closed_contour.c	closed_contour.h
concave_side_mill.c	concave_side_mill.h
contour.c	contour.h
coordinates_type.c	coordinates_type.h
counterbore.c	counterbore.h
counterboring.c	counterboring.h
countersink.c	countersink.h
countersinking.c	countersinking.h
cutting_speed.c	cutting_speed.h
direction.c	direction.h
disc_mill.c	disc_mill.h
drill.c	drill.h
drilling.c	drilling.h
drilling_geometry_item.c	drilling_geometry_item.h
drilling_location_pattern.c	drilling_location_pattern.h
drilling_tool.c	drilling_tool.h
drilling_tool_corrector.c	drilling_tool_corrector.h
face_machining_path_type.c	face_machining_path_type.h
face_mill.c	face_mill.h
face_milling.c	face_milling.h
finish_face_milling.c	finish_face_milling.h
finish_pocket_milling.c	finish_pocket_milling.h
finish_pocket_milling_with_island.c	finish_pocket_milling_with_island.h
finish_side_milling.c	finish_side_milling.h
flat_end_mill.c	flat_end_mill.h
hole.c	hole.h
hole_bottom_type.c	hole_bottom_type.h
island.c	island.h
island_hole.c	island_hole.h
isolated.c	isolated.h
line.c	line.h
linear_equal_pitch.c	linear_equal_pitch.h
linear_non_equal_pitch.c	linear_non_equal_pitch.h
linear_non_equal_pitch_patterns.c	linear_non_equal_pitch_patterns.h
ListOfbasic_open_curve.c	ListOfbasic_open_curve.h
ListOfcutting_speed.c	ListOfcutting_speed.h
ListOfListOfInteger.c	ListOfListOfInteger.h
ListOfmachining_feed.c	ListOfmachining_feed.h

FICHEROS DE CLASES DEL MODELO DE INFORMACIÓN	
FICHEROS DE IMPLEMENTACIÓN DE CLASES	FICHEROS DE DEFINICIÓN DE CLASES
ListOfpoint.c	ListOfpoint.h
ListOfspindle_speed.c	ListOfspindle_speed.h
machining_feed.c	machining_feed.h
machining_location_pattern.c	machining_location_pattern.h
machining_plane.c	machining_plane.h
material_selection_1.c	material_selection_1.h
material_selection_2.c	material_selection_2.h
milling_geometry_item.c	milling_geometry_item.h
milling_location_pattern.c	milling_location_pattern.h
milling_tool.c	milling_tool.h
milling_tool_corrector.c	milling_tool_corrector.h
multistep_drilling.c	multistep_drilling.h
NC_drilling_operation.c	NC_drilling_operation.h
NC_machining_operation.c	NC_machining_operation.h
NC_milling_operation.c	NC_milling_operation.h
NC_program.c	NC_program.h
on_geometric_entity.c	on_geometric_entity.h
open_composed_curve.c	open_composed_curve.h
open_contour.c	open_contour.h
paralelogram.c	paralelogram.h
paralelogram_grid.c	paralelogram_grid.h
peck_drilling.c	peck_drilling.h
pocket_machining_path_type.c	pocket_machining_path_type.h
pocket_milling.c	pocket_milling.h
point.c	point.h
points.c	points.h
program_origin.c	program_origin.h
reamer.c	reamer.h
reaming.c	reaming.h
rectangle.c	rectangle.h
retract_feed.c	retract_feed.h
rough_face_milling.c	rough_face_milling.h
rough_pocket_milling.c	rough_pocket_milling.h
rough_pocket_milling_with_island.c	rough_pocket_milling_with_island.h
rough_side_milling.c	rough_side_milling.h
side.c	side.h
side_mill.c	side_mill.h
side_milling.c	side_milling.h
sinking_feed.c	sinking_feed.h
slot.c	slot.h
spindle_speed.c	spindle_speed.h
step_drill.c	step_drill.h
system_unit.c	system_unit.h
tap.c	tap.h
tapping.c	tapping.h
tap_selection.c	tap_selection.h
tool.c	tool.h
tool_change_location.c	tool_change_location.h
trepanner.c	trepanner.h
two_step_drill.c	two_step_drill.h
U_V_pattern.c	U_V_pattern.h
vector.c	vector.h
working_coordinates.c	working_coordinates.h

Tabla 4.23. Continuación.

4.3.5. FUNCIONES PARA LA GENERACIÓN DE LA BASE DE DATOS.

La herramienta CASE utilizada proporciona ROSE++ y SDAI-C para la creación de una base de datos, pudiendo utilizarse tres tipos de depósitos para el almacenamiento de los modelos:

- 1) STEP: el modelo creado se almacena en la forma de ficheros de intercambio con formato STEP [ISO94c].
- 2) STANDARD: el modelo se almacena en la forma de fichero binario ROSE.
- 3) ROSE: el modelo se almacena como un fichero de texto con formato ROSE.

ROSE++ es una librería de clases en C++ que proporciona los métodos necesarios para la creación, lectura, escritura y manipulación de datos almacenados como objetos STEP, para su utilización en un programa C/C++.

SDAI-C, es una implementación de las funciones SDAI en lenguaje C [STE95c]. Esta implementación se conoce como de 'enlace retrasado' (late binding), esto significa que la definición EXPRESS de cada objeto se hace disponible a la aplicación en tiempo de ejecución, y no en tiempo de compilación. SDAI (Standard Data Access Interface) es la interfaz de acceso de datos modelados en EXPRESS, que se ha definido dentro de la norma STEP, permite acceder al medio de almacenamiento de datos, acceder y manipular las entidades descritas en lenguaje EXPRESS, etc. [ISO94d]. La implementación de SDAI se realiza mediante la definición de enlaces con lenguajes de programación, los enlaces para los lenguajes C y C++ se encuentran definidos dentro de la norma (ver tabla 2.1).

Con objeto de cumplir los objetivos marcados en la realización de la tesis, se ha optado por utilizar el depósito de tipo STEP, así como la implementación de funciones SDAI. Para lo cual, se ha desarrollado un conjunto de funciones en lenguaje C, en las que haciendo uso de las funciones SDAI-C se realiza la generación de los ejemplares de las entidades del modelo de información.

Teniendo presente que un modelo SDAI está formado por:

- 1) un esquema asociado en EXPRESS, donde se define la estructura de los datos, en este caso se trata del esquema *mecanizado_cn*;
- 2) y un conjunto de ejemplares conformes con dicho esquema.

Adicionalmente a las funciones de generación de ejemplares, y con objeto de permitir a la aplicación tener acceso a dicho esquema asociado, se precisa de un fichero que contenga el diccionario de datos del modelo. Este tipo de fichero se obtiene también

con el compilador EXPRESS---->C++, resultando en este caso el fichero: *mecanizado_cn_DICTIONARY_DATA.rose*.

La utilización de las funciones desarrolladas se traduce por tanto, en la generación de un fichero STEP '.step' para cada uno de los ficheros de programa procedente del sistema CAD/CAM, este fichero contiene todos los ejemplares de las entidades conformes con el modelo de referencia *mecanizado_cn*.

En la tabla 4.24. se aparece la lista de las funciones definidas para la generación de la base de datos.

FUNCIONES PARA LA GENERACIÓN DE LA BASE DE DATOS	
FUNCIONES GENERALES Y DE OPERACIONES	FUNCIONES DE HTAS / GEOMETRÍA
fsdaiopcenterdrilling.c	fsdaicdrill.c
fsdaiopdrilling.c	fsdaicounterbore.c
fsdaiopcounterboring.c	fsdaicountersink.c
fsdaiopcountersinking.c	fsdaidrill.c
fsdaioptapping.c	fsdaifacemill.c
fsdaiopfinishfacemillingzz.c	fsdaisidemill.c
fsdaioproughfacemillingzz.c	fsdaitap.c
fsdaiopfinishfacemillingzzs.c	fsdaigeo.c
fsdaioproughfacemillingzzs.c	
fsdaiopfinishsidemilling.c	
fsdaioproughsidemilling.c	
fsdaiopfinishsidemillingwp.c	
fsdaioproughsidemillingwp.c	
fsdaiopfinishpocketmilling.c	
fsdaioproughpocketmilling.c	
fsdaiorigenpro.c	
fsdaiprograma.c	

Tabla 4.24. Lista de funciones para la generación de la base de datos.

4.3.6. PROGRAMA DE CONVERSIÓN A NIVEL DE TRAYECTORIA.

Con objeto de convertir la información del nivel de operaciones al nivel de trayectoria, se ha desarrollado una función que partiendo de un fichero de operaciones de mecanizado en formato STEP, genera un programa en código ISO [ISO82a]. Esta función (fstepiso.c) se ha desarrollado utilizando las funciones SDAI para el acceso y adquisición de los datos contenidos en el fichero STEP de operaciones, junto con funciones C para la generación del fichero de nivel de trayectoria. Las funciones SDAI se emplean para buscar el tipo de los ejemplares contenidos en el fichero STEP, así como para acceder al valor de sus distintos atributos, obteniéndose de esta forma la información necesaria para generar las instrucciones de nivel de trayectoria.

Previamente al desarrollo de la función, se ha definido la correspondencia entre la información del modelo de referencia y la información a nivel de trayectoria representada en forma de código ISO. Con objeto de demostrar la posible conversión entre información a nivel de operaciones y la información a nivel de trayectoria, esta correspondencia se ha definido únicamente para una parte reducida del modelo, y en lo que respecta a la programación de nivel de trayectoria, se ha empleado la especificación de funciones soportadas por el CNC SIEMENS SINUMERIK 810M [SIE87].

A continuación se especifican las dos operaciones que se han tenido presente en la conversión formato STEP-formato ISO:

- 1) Se ha considerado el ciclo drilling como ejemplo de correspondencia entre una operación y un ciclo fijo de un CNC. La operación drilling se convierte por tanto, en un ciclo G82 con un conjunto de parámetros que toman su valor de la información contenida en la definición de la operación. Los puntos de taladrado pueden venir especificados de dos formas:
 - Si el patrón de localización de agujeros es del tipo 'isolated' se especifica como una sucesión de localizaciones (X__ Y__), intercalándose entre el primer y el segundo punto la definición del ciclo, y especificándose una instrucción de fin de ciclo (G80) después del último punto.
 - Si el patrón de localización de agujeros es del tipo 'circular_equal_pitch' se especifica como una figura de taladrado L900, en la que se incluye el tipo de ciclo (R28) y los parámetros de este.
- 2) Se ha considerado el ciclo rough_side_milling como ejemplo de correspondencia entre una operación y una descripción de trayectoria empleando interpolación lineal y/o circular, según la geometría del contorno. El patrón considerado para especificar la localización de la geometría es del tipo 'isolated'. En este caso los parámetros que definen la operación se emplean en la generación de un algoritmo para la definición de la trayectoria de herramienta.

En la tabla 4.25 se recoge la correspondencia entre las entidades del modelo de referencia y las instrucciones de programación ISO.

CORRESPONDENCIA ENTRE EL MODELO DE REFERENCIA Y EL CNC SIEMENS SINUMERIK 810M			
ENTIDAD	ATRIBUTO	VALOR DEL ATRIBUTO	CÓDIGO ISO
NC_program	id	cadena de caracteres	%MPF (comentario)
system_unit	selected_length_unit	mm	G71
working_coordinates.	program_coordinates	absolute/ incremental	G90/G91
program_origin	(X,Y,Z)_coordinate	num. reales	G54 G58 X Y Z
machining_plane	(i,j,k) component	(0,0,1)/ (0,1,0)/ (1,0,0)	G17/G18/G19
tool_change_location	(X,Y,Z) coordinate	num. reales	G00 X Y Z
tool	rack number	num. entero	T
drilling_tool_corrector	no	num. entero	D
milling_tool_corrector	no	num. entero	D
spindle_speed	units	rpm	
	value	num. real	S
machining_feed	units	mm/min	G94
	value	num. real	F
isolated	start_geometry_item	lista de puntos	X Y Z .G80 Z
circular_equal_pitch			R11=(1) R22= R23= R24= R25=(2) R26= R27= R28=(3) R2= R3= R4= R10= L900
	start_geometry_item	point	
	center_point	point	valores de R22 y R23
	circumference_radius	num. real > 0	valor de R24
	angular_pitch	num real > 0	valor de R26
	total_num_of_machining_locations	num. entero > 0	valor de R27
drilling			G82 R2= R3= R4 R10 R11=(1)
	aprox_plane	num. real	valor de R2
	retract_plane	idem	valor de R10
	coolant	SI/NO	M08/M09
	assigned_tool	tool	
	tool_corrector	SI/NO	genera instrucción D_ /no genera instrucción de corrector
	tool_spindle_speed	spindle_speed	
	tool_turn_direction	CW/CCW/NONE	M03/M04/M05
	performed_on	machining_location_pattern (4)	
	hole_diameter	num. real > 0	
	hole_depth		valor de R3

Tabla 4.25. Correspondencia I-ARM - Código ISO Siemens 810M.

CORRESPONDENCIA ENTRE EL MODELO DE REFERENCIA Y EL CNC SIEMENS SINUMERIK 810M			
ENTIDAD	ATRIBUTO	VALOR DEL ATRIBUTO	CÓDIGO ISO
	bottom_dwel_time	num real ≥ 0	valor de R4
	cutting_feed	machining_feed	
rough_side_milling			sin ciclo fijo \Rightarrow trayectoria
	aprox_plane	num. real	
	retract_plane	idem	
	coolant	SI/NO	M08/M09
	assigned_tool	tool	
	tool_corrector	SI/NO	genera instrucción D__ /no genera instrucción de corrector
	tool_spindle_speed	spindle_speed	
	tool_turn_direction	CW/CCW/NONE	M03/M04/M05
	performed_on	machining_location_pattern (4)	
	start_point	point	
	end_point	point	
	depth_to_remove	num. real > 0	
	machining_axial_step	idem	
	machining_radial_step	idem	
	machining_direction	vector/ line/angle,	
	thickness_to_remove	num. real > 0	
	lateral_contour_angle	idem	
	approach_path_type	direct/tangent	
	withdrawal_path_type	direct/tangent	
	aw_path_radius	num. real > 0	
	machining_side	right/left/on	G42/G41/G40
	precise_corner_pass	SI/NO	G60
	side_machining_feed	machining_feed	
	sink_machining_feed		
<p>OBSERVACIONES:</p> <p>(1) El parámetro R11 (eje del agujero) toma su valor según el vector normal al plano de trabajo: (0,0,1)=3, (0,1,0)=2, (1,0,0)=1.</p> <p>(2) El parámetro R25 (ángulo inicial) se determina por el ángulo que forma la línea centro-punto inicial con el eje X.</p> <p>(3) El parámetro R28 (número de ciclo de taladrado) se fija en función de la operación de taladrado, solo está implementado: drilling=G82 \Rightarrow R28=82</p> <p>(4) El atributo machining_location_pattern contiene la geometría sobre la que se realiza el mecanizado, dependiendo del tipo de patrón de localización y de la operación a realizar se ha implementado de una forma distinta, bien como ciclo fijo o bien como una trayectoria con interpolación lineal y/o circular.</p>			

Tabla 4.25. Continuación.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

5.1. RESULTADOS.

Con objeto de demostrar los resultados que se obtienen de la aplicación del sistema desarrollado y que se ha descrito en el capítulo anterior, se han realizado tres ejemplos distintos, que se materializan en la elaboración del proceso de mecanizado de tres piezas diferentes y con distinto grado de complejidad en cuanto al proceso de mecanizado necesario para su fabricación.

Cada una de las piezas seleccionadas proporciona un ejemplo característico, que permite justificar las ventajas que se derivan de la utilización de una programación basada en operaciones. A continuación se realiza una descripción de las piezas seleccionadas y del proceso de mecanizado, incluyéndose las operaciones a realizar en cada una de ellas.

5.1.1. EJEMPLO 1.

Se corresponde con la pieza *placa 1*, a fabricar en acero F-111, la figura 5.1 se representa un croquis de la pieza. Para su fabricación se parte de una placa de dimensiones 155x105x15 mm, sobre la que se realizan dos operaciones básicas de mecanizado:

- 1) Operación de taladrado a realizar en cuatro agujeros pasantes de diámetro 10 mm, y distribuidos según una estructura de agujeros de tipo circular con paso angular de 90°. La herramienta seleccionada es una broca autocentrante Coromant Delta-C R415.5-1000-30-8A0 P40 (para mango Whistle Notch) [SAN95], de diámetro 10 mm y longitud de corte de 43 mm. Las condiciones de corte seleccionadas son:
 - Velocidad de corte: $V_c=70$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=2100$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=420$ mm/min

- 2) Operación de contorneado exterior a favor de avance, con corrector de radio de fresa a la izquierda y de valor igual al radio de la herramienta (10 mm). La entrada y salida de la herramienta es de tipo tangencial con radio 10 mm. El espesor a mecanizar es de 2,5 mm, y la profundidad a mecanizar de 15 mm, realizándose en una única pasada. La herramienta seleccionada es una fresa para ranurar helicoidal soldada de calidad P40, diámetro 20 mm, longitud máxima de corte 40 mm, y número de dientes 4, se corresponde con la designación Sandvik: R215-520-40 (para mango Weldon/Whistle Notch) [SAN95]. Las condiciones de corte

seleccionadas son las siguientes:

- Velocidad de corte: $V_c=75$ m/min
- Velocidad de giro del husillo: $n=1125$ rpm
- Avance de mecanizado: $f_z=540$ mm/min

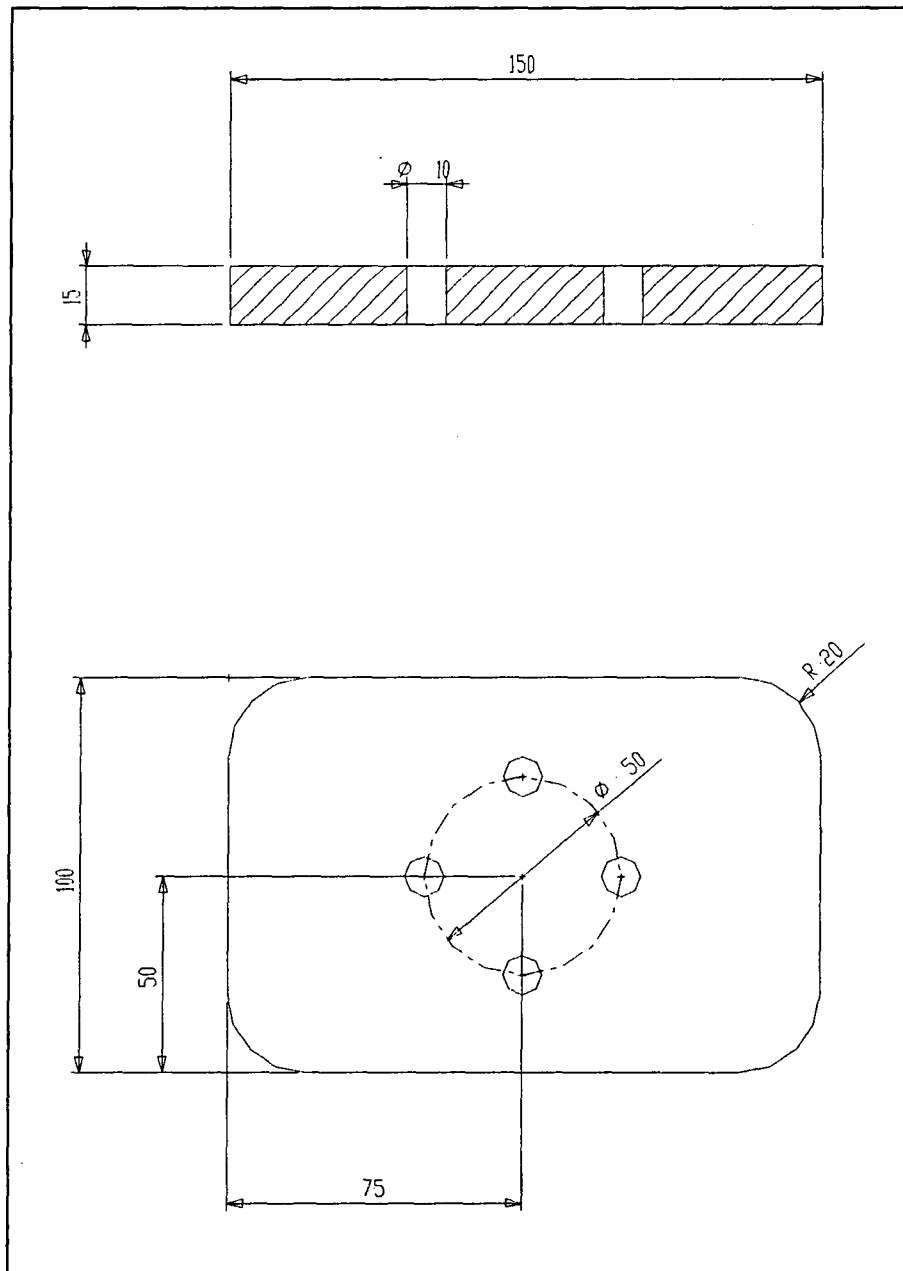


Figura 5.1. Croquis de la pieza: *placa 1*.

Como resultado de la elaboración del proceso de mecanizado con el sistema Euclid3, se obtiene un fichero de proceso, *pplaca1.txt*, que se recoge en el Anexo D, páginas 1 a 4.

Empleando la terminología de Euclid3 (ver apartado 3.3.3.2), en el proceso de mecanizado se han definido dos secuencias con una operación y un ciclo en cada una de ellas. En la primera secuencia la pieza se posiciona y sujeta en los laterales realizándose el ciclo de taladrado, y en la segunda se posiciona y sujeta por los agujeros y se realiza el ciclo de contorneado. Como consecuencia, se generan dos programas de control numérico. A modo de ejemplo, en las páginas 5 a 8 del mismo apéndice se recogen los ficheros de programa *1cnpplaca1.txt* y *2cnpplaca1.txt* obtenidos como resultado de utilizar el programa de cambio de formato.

Los ficheros en formato STEP que definen la geometría de las operaciones básicas de mecanizado (ciclos) son:

- *p1geoc1d.step*: define los puntos centrales de los agujeros donde se realiza la operación de taladrado, pero sin considerar ningún tipo de estructura de distribución, ya que este tipo de funciones no se encuentran implementadas en el sistema Euclid3;
- *p1geoc2d.step*: contiene el contorno a mecanizar en la segunda operación, definido mediante líneas y arcos;

con objeto de mostrar la estructura general y el formato de la información geométrica, estos ficheros se encuentran recogidos en las páginas 9 a 12 del Anexo D.

Como resultado de la entrada de los ficheros de programa *1cnpplaca1.txt* y *2cnpplaca1.txt*, y de los ficheros de geometría *p1geoc1d.step* y *p2geoc2d.step*, la aplicación desarrollada genera dos ficheros de control numérico basados en operaciones con formato STEP *placa1-1.step* y *placa1-2.step*, que se recoge en las páginas 13 y 14 del Anexo D.

Con objeto de demostrar la aplicación desarrollada para la conversión STEP-ISO, los ficheros *placa1-1.step* y *placa1-2.step*, son procesados para obtener dos ficheros de nivel de trayectoria conforme con el CNC Siemens Sinumerik 810M, donde la operación de taladrado con estructura de puntos de tipo circular se traduce en un ciclo L900, y la operación de contorneado se traduce en instrucciones de movimiento con interpolación lineal y circular. En el capítulo 4, apartado 4.3.6, se recoge la correspondencia entre la

programación de nivel de operaciones y la de nivel de trayectoria. Los ficheros obtenidos *placa1-1.iso* y *placa1-2.iso*, se recogen en las páginas 15 a xx del Anexo D.

A fin de comparar los ficheros de programación de control numérico a nivel de trayectoria con los ficheros STEP de nivel de operaciones, en las páginas 16 a xx del Anexo D, se recogen los ficheros en formato APT e ISO (para CNC Fanuc) obtenidos directamente del sistema Euclid3.

5.1.2. EJEMPLO 2.

Se corresponde con la pieza *placa 2*, a fabricar en acero F-112, en la figura 5.2 se representa un croquis de la pieza final. Para su fabricación se parte de una placa de dimensiones 278x166x72 mm, sobre la que se realizan las siguientes operaciones básicas de mecanizado:

- 1) Operación de planeado de la cara inferior de la placa, de esta forma obtenemos una superficie de referencia para el resto de operaciones a realizar sobre la pieza. Se emplea un ciclo de planeado con trayectoria en zig-zag, el espesor a eliminar es de 3 mm, realizándose en una única pasada con un recubrimiento de herramienta del 10% en diámetro. La dirección de mecanizado se corresponde con el eje Y. La herramienta a utilizar es una fresa de escuadrar a 90°, de diámetro 63 mm, profundidad máxima de pasada axial de 12,6 mm, y número de dientes 5, con denominación Sandvik T-MAX 190 R262.22-063-10-V50 y plaquitas R262.22-1304T GC-A [SAN95]. Las condiciones de corte seleccionadas son:
 - Velocidad de corte: $V_c=300$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=1516$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=1516$ mm/min
- 2) Operación de planeado de la cara superior de la placa, las características de esta operación son iguales a las definidas en la operación anterior (operación 1).
- 3) Operación de planeado de la cara superior para obtener la elevación en la esquina superior izquierda. Se emplea un ciclo de planear con trayectoria en zigzag y pasada de contorneado de la elevación. La profundidad a eliminar son 18 mm, realizándose en 6 profundizaciones de 3 mm, con un recubrimiento entre pasadas del 10%. Se dejan unas creces de 0,5 mm en la pared de la elevación para una pasada posterior de acabado. La herramienta a utilizar es la misma que en las dos operaciones anteriores.

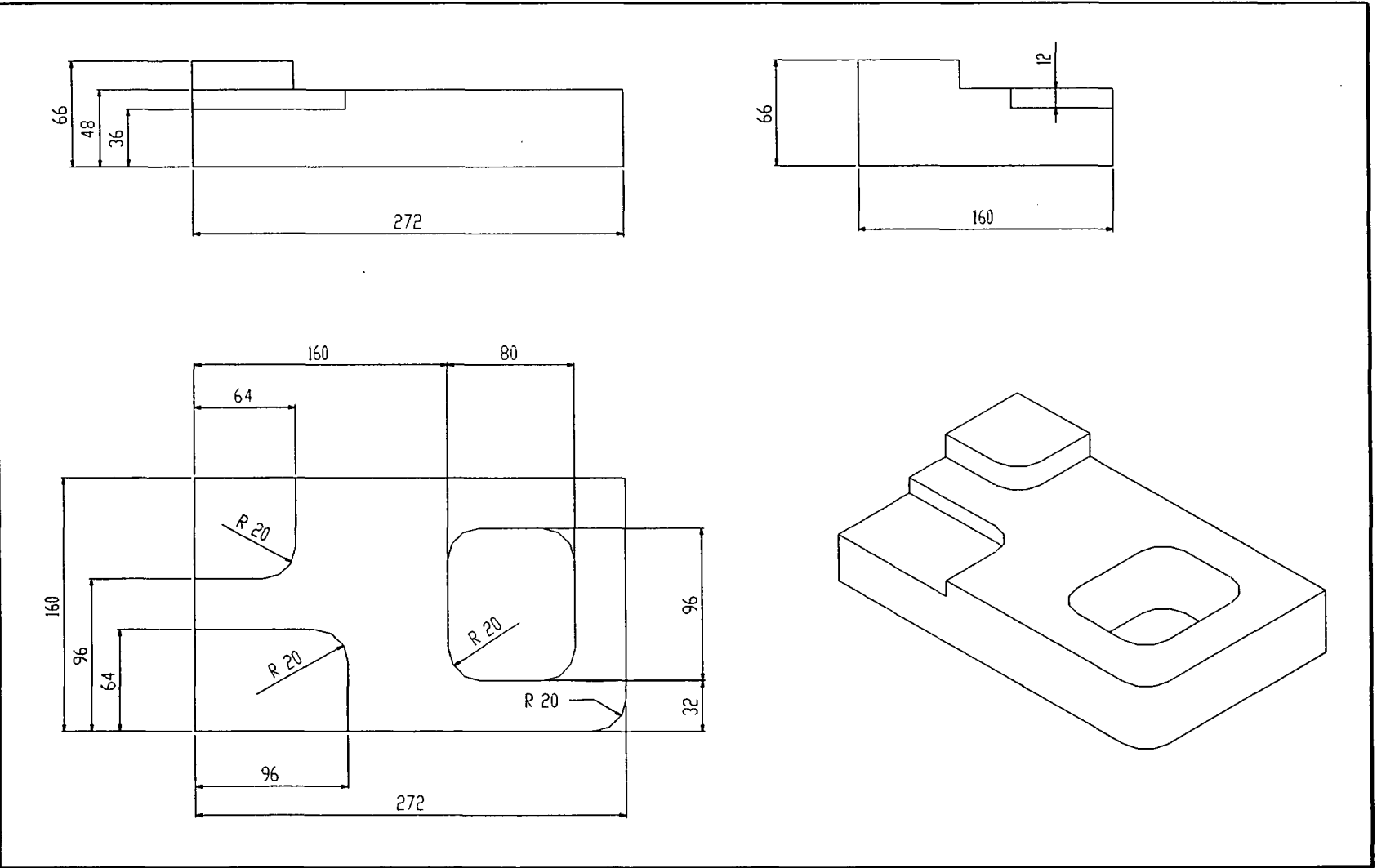


Figura 5.2. Croquis de la pieza: placa 2.

- 4) Operación de contorneado en acabado de la pared lateral de la elevación para eliminar las creces de 0,5 mm dejadas en la operación anterior. Se emplea un ciclo de contorneado con proyección, para mecanizar una profundidad de 18 mm en una única pasada, con entrada y salida de herramienta tangencial. La herramienta seleccionada es una fresa de ranurar helicoidal soldada de calidad P40, diámetro 20 mm, longitud máxima de corte 40 mm, y número de dientes 4, se corresponde con la designación Sandvik: R215-520-40 (para mango Weldon/Whistle Notch) [SAN95]. Las condiciones de corte seleccionadas son:
- Velocidad de corte: $V_c=75$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=1125$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=900$ mm/min
- 5) Operación de vaciado de la esquina inferior izquierda. Se emplea un ciclo de cajeado con trayectoria en espiral, para mecanizar una profundidad de 12 mm en una única pasada. Se emplea la misma herramienta que en la operación anterior pero con las siguientes condiciones de corte:
- Velocidad de corte: $V_c=75$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=1125$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=300$ mm/min
- 6) Operación de vaciado de la cavidad interior. Se emplea un ciclo de cajeado con trayectoria en espiral, para mecanizar una profundidad de 48 mm en dos pasadas de 24 mm cada una. Se emplea la misma herramienta que en la operación anterior con las mismas condiciones de corte.
- 7) Operación de contorneado exterior de la pieza. Se emplea un ciclo de contorneado en concordancia con entrada y salida tangencial de la herramienta, para mecanizar una profundidad de 66 mm en una sola pasada. La herramienta a utilizar es una fresa para ranurar helicoidal soldada de calidad P40, de diámetro 50 mm, longitud máxima de corte 80 mm, y número de dientes 6, se corresponde con la designación Sandvik: R215-250-80 (para mango Morse) [SAN95]. Las condiciones de corte seleccionadas son:
- Velocidad de corte: $V_c=75$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=500$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=1050$ mm/min

Como resultado de la elaboración del proceso de mecanizado con el sistema Euclid3, se obtiene un fichero de proceso, *pplaca2.txt*, que se recoge en el Anexo D, páginas xx a xx.

Empleando la terminología de Euclid3, en el proceso de mecanizado se han definido tres secuencias. En la primera secuencia la pieza se posiciona y sujeta en los laterales realizándose en una operación el ciclo de planeado de la cara inferior; en la segunda secuencia se da la vuelta a la pieza y se posiciona y sujeta en los laterales con el mismo utillaje empleado en la secuencia anterior, dejando libre la parte superior para realizar en tres operaciones los ciclos de planeado y vaciado; en la tercera secuencia se posiciona y sujeta la pieza en la cavidad central, dejando libre el lateral de la pieza para realizar en una operación el ciclo de contorneado. Como consecuencia, se generan tres programas de control numérico. Al utilizar el programa de formato se generan tres ficheros de programa *1cnpplaca2.txt*, *2cnpplaca2.txt*, y *3cnpplaca2.txt*.

Los ficheros en formato STEP que definen la geometría de las operaciones básicas de mecanizado (ciclos) son los siguientes:

- *p2gec1d.step*: define el contorno de la cara inferior;
- *p2gec2d.step*: define el contorno de la cara superior;
- *p2gec3d.step*: define el contorno de la cara superior delimitada por el contorno de la elevación en su esquina superior izquierda;
- *p2gec4d.step*: define el contorno interior de la elevación;
- *p2gec5d.step*: define el contorno del rebaje de la esquina inferior izquierda;
- *p2gec6d.step*: define el contorno de la cavidad central;
- *p2gec7d.step*: define el contorno exterior de la pieza;

donde todos los contornos se han definido utilizando entidades del tipo línea y arco.

Como resultado de la entrada de los ficheros de programa *1cnpplaca2.txt*, *2cnpplaca2.txt*, y *2cnpplaca3.txt*, junto con sus respectivos ficheros de geometría *p2gec1d.step* para el primer programa, *p2gec2d.step*, *p2gec3d.step*, *p2gec4d.step*, *p2gec5d.step* y *p2gec6d.step* para el segundo programa, y *p2gec7d.step* para el tercer programa, la aplicación desarrollada genera dos ficheros de control numérico basados en operaciones con formato STEP *placa2-1.step*, *placa2-2.step*, y *placa2-3.step* que se recogen en las páginas xx y xx del Anexo D.

A fin de comparar los ficheros de programación de control numérico a nivel de

trayectoria con los ficheros STEP de nivel de operaciones, en las páginas xx a xx del Anexo D, se recogen los ficheros en formato APT e ISO (para CNC Fanuc) obtenidos directamente del sistema Euclid3.

5.1.3. EJEMPLO 3.

Se corresponde con la pieza *placa 3,a* fabricar en acero F-112, en la figura 5.3 se representa un croquis de la pieza final, y en la figura 5.4 una vista axonométrica. Para su fabricación se parte de una placa de dimensiones 435x132x50 mm, sobre la que se realizan las siguientes operaciones básicas de mecanizado:

- 1) Planeado de la cara superior de la placa para alcanzar la altura de 48 mm. Se emplea un ciclo de planeado con trayectoria en zig-zag, el espesor a eliminar es de 2 mm, realizándose en una única pasada con un recubrimiento de herramienta del 10% en diámetro. La dirección de mecanizado se corresponde con el eje Y. La herramienta a utilizar es una fresa de planear a 45°, de diámetro 100 mm, profundidad máxima de pasada axial de 6,4 mm, y número de dientes 12, con denominación Sandvik T-MAX 145 R260.22-100-15-V80 y plaquitas SEKN 12-04 AZ GC-A [SAN95]. Las condiciones de corte seleccionadas son:
 - Velocidad de corte: $V_c=300$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=955$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=1720$ mm/min

- 2) Vaciado de la cavidad 1 de la placa. Se emplea un ciclo de cajeado con trayectoria en espiral, para mecanizar una profundidad de 42 mm en dos pasadas. Dejándose unas creces laterales de 1 mm para una pasada final de acabado. La herramienta seleccionada es una fresa para ranurar Coronite, de diámetro 20 mm, longitud máxima de corte 38 mm, y número de dientes 4, se corresponde con la designación Sandvik: R215-520-40 (para mango Weldon/Whistle Notch) [SAN95]. Las condiciones de corte seleccionadas son:
 - Velocidad de corte: $V_c=75$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=1125$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=300$ mm/min

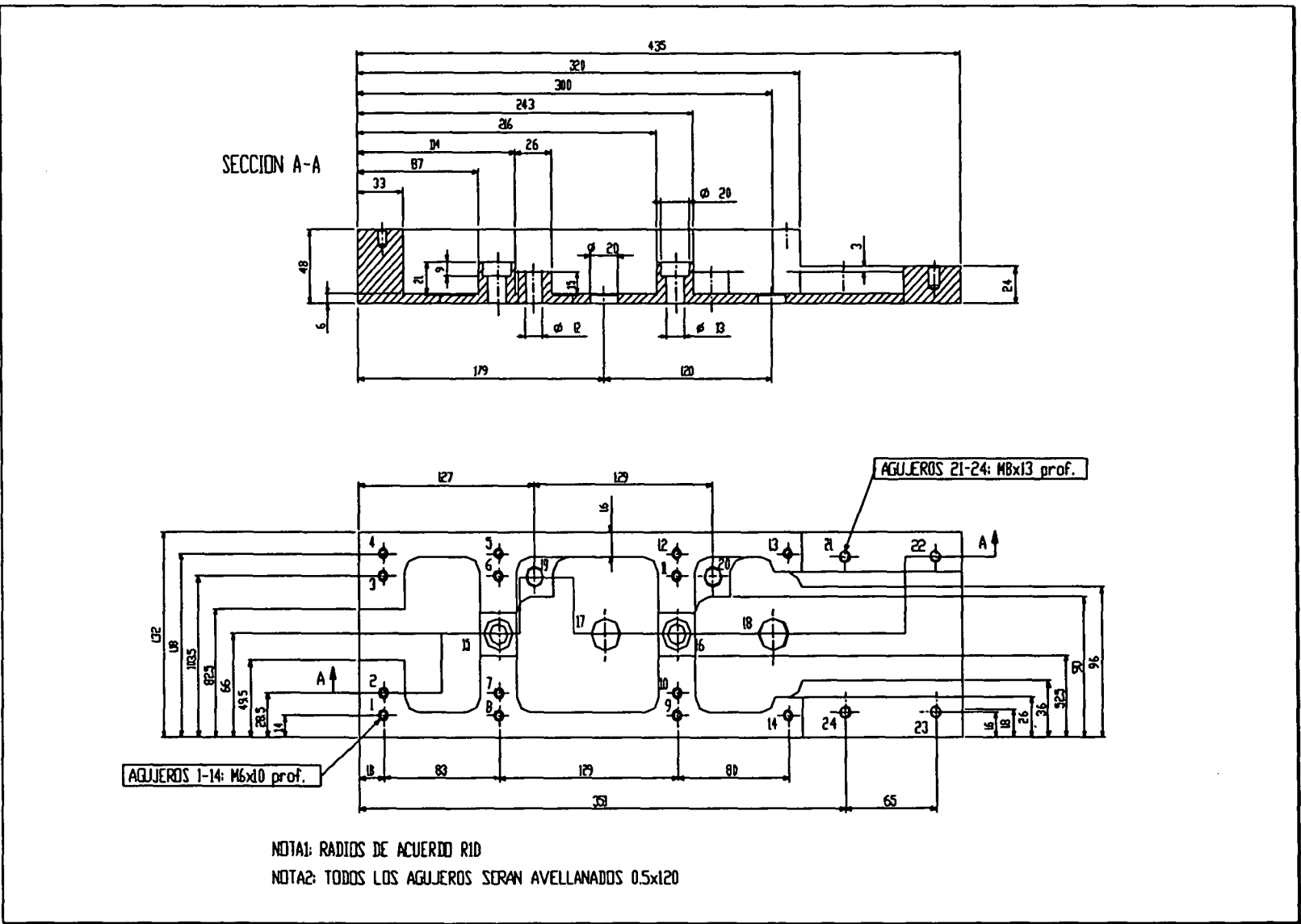


Figura 5.3. Croquis de la pieza: placa3.

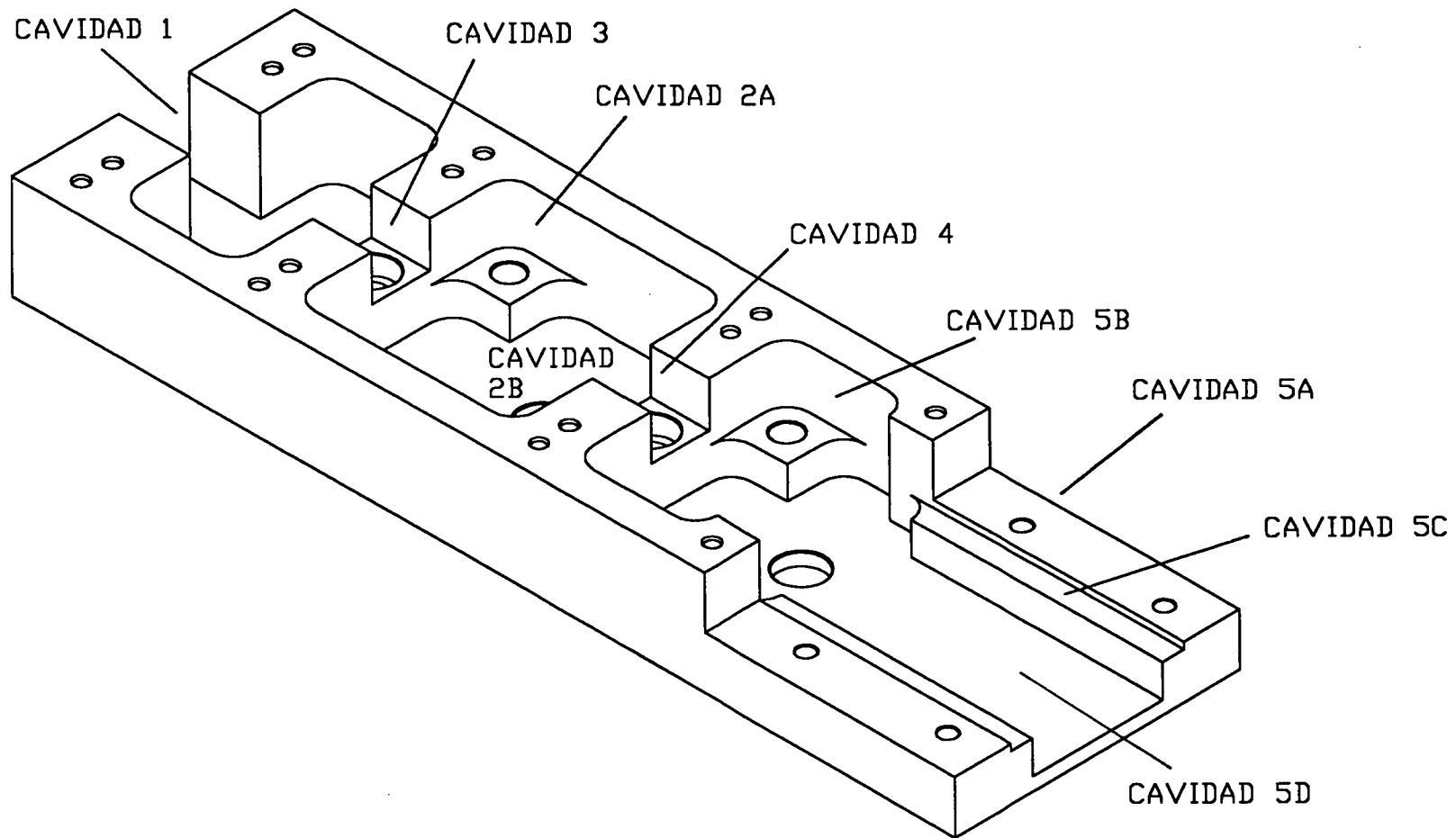


Figura 5.4. Vista axonométrica de la pieza: placa 3.

- 3) Contorneado en acabado de la cavidad 1 de la placa. Se emplea un ciclo de contorneado con proyección, para mecanizar el contorno con un espesor de 1 mm y profundidad de 42 mm, en dos pasadas. La herramienta seleccionada es la misma que la utilizada en la operación anterior de vaciado pero con unas condiciones de corte distintas. Las condiciones de corte seleccionadas son:
 - Velocidad de corte: $V_c=75$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=1125$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=900$ mm/min
- 4) Vaciado de la cavidad 2a de la placa. Se emplea un ciclo de cajeadado con trayectoria en espiral, para mecanizar una profundidad de 27 mm en una pasada. Dejándose unas creces laterales de 1 mm para una pasada final de acabado. La herramienta seleccionada y las condiciones de corte son las mismas que en la operación 2.
- 5) Vaciado de la cavidad 2b de la placa. Se emplea un ciclo de cajeadado con trayectoria en espiral, para mecanizar una profundidad de 15 mm en una pasada. Dejándose unas creces laterales de 1 mm para una pasada final de acabado. La herramienta seleccionada es la misma que en la operación anterior.
- 6) Contorneado de la cavidad 2a de la placa. Se emplea un ciclo de contorneado para mecanizar la pared lateral de la cavidad 2a de espesor 1 mm y profundidad 27 mm en una pasada. La herramienta seleccionada es la misma que en la operación 3.
- 7) Contorneado de la cavidad 2b de la placa. Se emplea un ciclo de contorneado para mecanizar la pared lateral de la cavidad 2b de espesor 1 mm y profundidad 15 mm en una pasada. La herramienta seleccionada es la misma que en la operación anterior.
- 8) Vaciado de la cavidad 3 de la placa. Se emplean dos ciclos de contorneado, uno para cada lateral longitudinal de la cavidad, para mecanizar una profundidad de 21 mm en una pasada. La herramienta seleccionada es la misma que en la operación anterior. Las condiciones de corte seleccionadas son:
 - Velocidad de corte: $V_c=75$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=1125$ rpm

- Avance de mecanizado: $f_z=450$ mm/min
- 9) Vaciado de la cavidad 5a de la placa. Se emplea un ciclo de planeado con trayectoria en zigzag, para mecanizar una profundidad de 24 mm en una pasada. La herramienta seleccionada es la misma que en la operación 2, y con las mismas condiciones de corte.
 - 10) Vaciado de la cavidad 5b de la placa. Se emplea un ciclo de cajeadado con trayectoria en espiral, para mecanizar una profundidad de 24 mm en una pasada. Dejándose unas creces laterales de 1 mm para una pasada final de acabado. La herramienta seleccionada es la misma que en la operación 2.
 - 11) Vaciado de la cavidad 4 de la placa. Se emplean dos ciclos de contorneado, uno por cada lateral longitudinal de la cavidad, para mecanizar una profundidad de 21 mm en una pasada. La herramienta seleccionada es la misma que en la operación 8, y con las mismas condiciones de corte.
 - 12) Vaciado de la cavidad 5c de la placa. Se emplea un ciclo de cajeadado con trayectoria en espiral, para mecanizar una profundidad de 3 mm en una pasada. Dejándose unas creces laterales de 1 mm para una pasada final de acabado. La herramienta seleccionada es la misma que en la operación 2.
 - 13) Vaciado de la cavidad 5d de la placa. Se emplea un ciclo de cajeadado con trayectoria en espiral, para mecanizar una profundidad de 15 mm en una pasada. Dejándose unas creces laterales de 1 mm para una pasada final de acabado. La herramienta seleccionada es la misma que en la operación 2.
 - 14) Contorneado en acabado de la cavidad 5c de la placa. Se emplea un ciclo de contorneado con proyección, para mecanizar el contorno de 1 mm de espesor y profundidad 27 mm en una pasada. La herramienta seleccionada es la misma que en la operación 3.
 - 15) Contorneado en acabado de la cavidad 5d de la placa. Se emplea un ciclo de contorneado con proyección, para mecanizar el contorno de 1 mm de espesor y profundidad 15 mm en una pasada. La herramienta seleccionada es la misma que en la operación 3.
 - 16) Taladrado de los agujeros 1 a 14. Se emplea un ciclo de taladrado, con profundidad 14 mm. Teniendo presente que los agujeros irán roscados posteriormente con M6, la herramienta seleccionada es una broca para agujeros

cortos autocentrante Coromant Delta-C R415.5-0500-30-8A0 P40 (para mango Whistle Notch) [SAN95], de diámetro 5 mm y longitud de corte de 26 mm. Las condiciones de corte seleccionadas son:

- Velocidad de corte: $V_c=60$ m/min
- Velocidad de giro del husillo: $n=3745$ rpm
- Avance de mecanizado: $f_z=400$ mm/min

17) Taladrado de los agujeros 21 a 24. Se emplea un ciclo de taladrado, con profundidad 16 mm. Teniendo presente que los agujeros irán roscados posteriormente con M8, la herramienta seleccionada es una broca para agujeros cortos autocentrante Coromant Delta-C R415.5-0680-30-8A1 P40 (para mango Whistle Notch, con suministro interno de fluido de corte) [SAN95], de diámetro 6,8 mm y longitud de corte de 34 mm. Las condiciones de corte seleccionadas son:

- Velocidad de corte: $V_c=80$ m/min
- Velocidad de giro del husillo: $n=3745$ rpm
- Avance de mecanizado: $f_z=560$ mm/min

18) Punteado de los agujeros 15 a 20. Se emplea un ciclo de centrado o punteado, con profundidad 5 mm. La herramienta seleccionada es una broca de puntear con corte a derechas Guhring tipo N en acero rápido 556, con diámetro 3 mm y ángulo de punta de 120° [GUH93]. Las condiciones de corte seleccionadas son:

- Velocidad de corte: $V_c=19$ m/min
- Velocidad de giro del husillo: $n=2000$ rpm
- Avance de mecanizado: $f_z=200$ mm/min

19) Taladrado de los agujeros 15 y 16. Se emplea un ciclo de taladrado, con profundidad 32 mm. La herramienta seleccionada es una broca Coromant Delta R411.5-13032 D13.00 P20 (para mango Whistle Notch, con suministro interno de fluido de corte) [SAN95], de diámetro 13 mm y longitud de corte de 46 mm. Las condiciones de corte seleccionadas son:

- Velocidad de corte: $V_c=90$ m/min
- Velocidad de giro del husillo: $n=2200$ rpm
- Avance de mecanizado: $f_z=350$ mm/min

- 20) Taladrado de los agujeros 17 y 18. Se emplea un ciclo de taladrado, con profundidad 11 mm. La herramienta seleccionada es una broca Coromant Delta R411.5-20032 D20.00 P20 (para mango Whistle Notch, con suministro interno de fluido de corte) [SAN95], de diámetro 20 mm y longitud de corte de 70 mm. Las condiciones de corte seleccionadas son:
- Velocidad de corte: $V_c=95$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=1500$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=350$ mm/min
- 21) Taladrado de los agujeros 19 y 20. Se emplea un ciclo de taladrado, con profundidad 26 mm. La herramienta seleccionada es una broca Coromant Delta R411.5-12032 D12.00 P20 (para mango Whistle Notch, con suministro interno de fluido de corte) [SAN95], de diámetro 12 mm y longitud de corte de 42 mm. Las condiciones de corte seleccionadas son:
- Velocidad de corte: $V_c=90$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=2380$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=350$ mm/min
- 22) Roscado a M6 de los agujeros 1 a 14. Se emplea un ciclo de roscado, con profundidad 10 mm. La herramienta seleccionada es un macho de roscar a derechas Guhring NR40 DIN 371 836 M6, con paso de rosca 1 mm y longitud de corte de 11 mm [GUH93]. Las condiciones de corte seleccionadas son:
- Velocidad de corte: $V_c=8$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=425$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=425$ mm/min
- 23) Roscado a M8 de los agujeros 21 a 24. Se emplea un ciclo de roscado, con profundidad 12 mm. La herramienta seleccionada es un macho de roscar a derechas Guhring NR40 DIN 371 836 M8, con paso de rosca 1,25 mm y longitud de corte de 13 mm [GUH93]. Condiciones de corte seleccionadas:
- Velocidad de corte: $V_c=8$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=320$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=400$ mm/min

- 24) Avellanado cilíndrico de los agujeros 15 y 16. Se emplea un ciclo de avellanado, con profundidad 9 mm. La herramienta seleccionada es un avellanador cilíndrico de corte a derechas con guía y cono corto, Guhring KS 140 1602 de diámetro 20 mm, con una longitud de corte de 30 mm [GUH93]. Las condiciones de corte seleccionadas son:
- Velocidad de corte: $V_c=25$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n=400$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=100$ mm/min
- 25) Avellanado cónico de los agujeros 1 a 14. Se emplea un ciclo de achaflanado con profundidad 1,1 mm. La herramienta seleccionada es un avellanador cónico de acero rápido con corte a derechas, Guhring 480 diámetro 16 mm y ángulo 120° [GUH93]. Las condiciones de corte seleccionadas son:
- Velocidad de corte: $V_c=23$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n= 450$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=60$ mm/min
- 26) Avellanado cónico de los agujeros 21 a 24. Se emplea un ciclo de achaflanado con profundidad 1,6 mm. Se utiliza la misma herramienta que en la operación anterior y con las mismas condiciones de corte.
- 27) Avellanado cónico de los agujeros 19 y 20. Se emplea un ciclo de achaflanado con profundidad 2,8 mm. Se utiliza la misma herramienta que en la operación anterior y con las mismas condiciones de corte.
- 28) Avellanado cónico de los agujeros 15 a 18. Se emplea un ciclo de achaflanado con profundidad 4,5 mm. La herramienta seleccionada es un avellanador cónico de acero rápido con corte a derechas, Guhring 481 diámetro 25 mm y ángulo 120° [GUH93]. Las condiciones de corte seleccionadas son:
- Velocidad de corte: $V_c=25$ m/min
 - Velocidad de giro del husillo: $n= 300$ rpm
 - Avance de mecanizado: $f_z=60$ mm/min

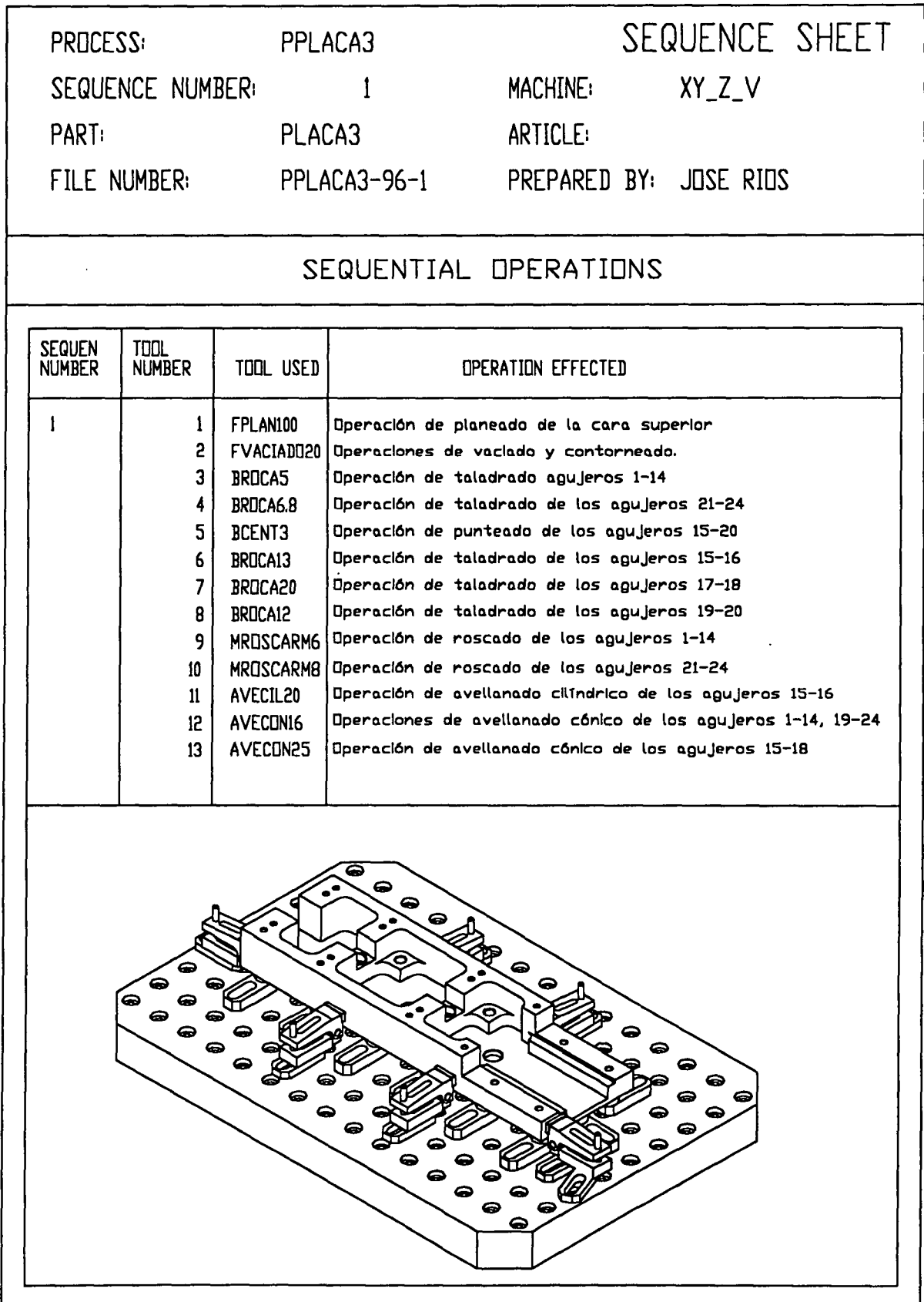


Figura 5.5. Hoja de proceso de la pieza: placa 3.

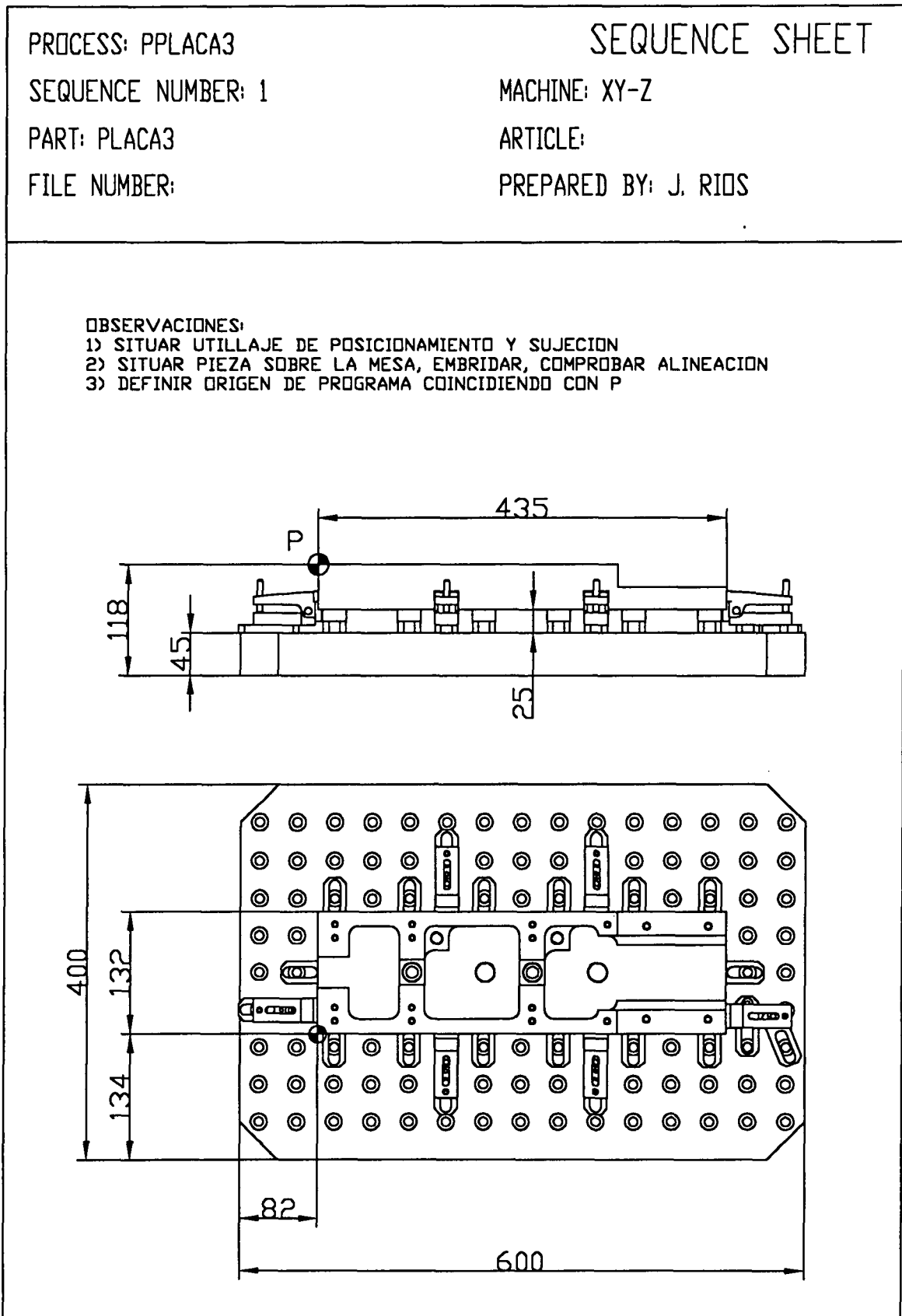


Figura 5.6 Croquis de disposición en máquina de la pieza: placa 3.

Empleando la terminología de Euclid3, en el proceso de mecanizado se ha definido una única secuencia compuesta por varias operaciones. La pieza se posiciona y sujeta en los laterales (ver figura 5.5 y figura 5.6).realizándose en la primera operación el ciclo de planeado de la cara superior para alcanzar la cota de 118 mm, en la segunda operación se realizan los ciclos de vaciado y los ciclos de contorneado para el acabado de la pared lateral de las cavidades, en la tercera operación se realiza el ciclo de taladrado de los agujeros 1 a 14, en la cuarta operación se realiza el ciclo de taladrado de los agujeros 21 a 24, en la quinta operación se realiza el ciclo de punteado de los agujeros 15 a 20, en la sexta operación se realiza el ciclo de taladrado de los agujeros 15 y 16, en la séptima operación se realiza el ciclo de taladrado de los agujeros 17 y 18, en la octava operación se realiza el ciclo de taladrado de los agujeros 19 y 20, en la novena operación se realiza el ciclo de roscado de los agujeros 1 a 14, en la décima operación se realiza el ciclo de roscado de los agujeros 21 a 24, en la décimo primera operación se realiza el ciclo de avellanado cilíndrico de los agujeros 15 y 16, en la décimo segunda operación se realizan los ciclos de avellanado cónico de los agujeros 1 a 14, y 19 a 24, y finalmente en la operación décimo tercera operación se realiza el ciclo de avellanado cónico de los agujeros 15 a 18. En las páginas xx a xx del Anexo D se recogen las hojas de operación y las hojas de herramienta que documentan el proceso de mecanizado de esta pieza. En las páginas xx a xx del mismo Anexo D se recoge el fichero de proceso *pplaca3.txt*. Como resultado de utilizar el programa de formato y como consecuencia de haber definido una única secuencia, se obtiene un único fichero de programa *1cnpplaca3.txt*.

Los ficheros en formato STEP que definen la geometría de las operaciones básicas de mecanizado (ciclos) son los siguientes:

- *p3gec1d.step*: define el contorno de la cara superior, se emplea en el ciclo de planeado (ciclo1);
- *p3gec2d.step*: define el contorno de la cavidad 1, este fichero se emplea tanto para el ciclo de vaciado (ciclo2), como en el ciclo de contorneado en acabado (ciclo3);
- *p3gec4d.step*: define el contorno de la cavidad 2a, este fichero se emplea tanto para el ciclo de vaciado (ciclo4), como en el ciclo de contorneado en acabado (ciclo6);

- p3gec5d.step: define el contorno de la cavidad 2b, este fichero se emplea tanto para el ciclo de vaciado (ciclo5), como en el ciclo de contorneado en acabado (ciclo7);
- p3gec8d.step: define el contorno del lado izquierdo de la cavidad 3, este fichero se emplea en el primer ciclo de contorneado (ciclo8);
- p3gec9d.step: define el contorno del lado derecho de la cavidad 3, este fichero se emplea en el segundo ciclo de contorneado (ciclo9);
- p3gec10d.step: define el contorno de la cavidad 5a, este fichero se emplea en el ciclo de planeado en zigzag (ciclo10);
- p3gec11d.step: define el contorno de la cavidad 5b, este fichero se emplea en el ciclo de vaciado en espiral (ciclo11);
- p3gec12d.step: define el contorno del lado izquierdo de la cavidad 4, este fichero se emplea en el primer ciclo de contorneado (ciclo12);
- p3gec13d.step: define el contorno del lado derecho de la cavidad 4, este fichero se emplea en el segundo ciclo de contorneado (ciclo13);
- p3gec14d.step: define el contorno de la cavidad 5c, este fichero se emplea tanto en el ciclo de vaciado (ciclo14), como en el ciclo de contorneado en acabado (ciclo16).
- p3gec15d.step: define el contorno de la cavidad 5d, este fichero se emplea tanto en el ciclo de vaciado (ciclo15), como en el ciclo de contorneado en acabado (ciclo17);
- p3gec18d.step: define el conjunto de puntos de localización de los agujeros 1 a 14, este fichero se emplea tanto en el ciclo de taladrado (ciclo18), como en los ciclos de roscado (ciclo24), y de avellanado cónico (ciclo27);
- p3gec19d.step: define el conjunto de puntos de localización de los agujeros 21 a 24, este fichero se emplea tanto en el ciclo de taladrado (ciclo19), como en los ciclos de roscado (ciclo25), y de avellanado cónico (ciclo28);
- p3gec20d.step: define el conjunto de puntos de localización de los agujeros 15 a 20, este fichero se emplea en el ciclo de punteado (ciclo20);

- p3gec21d.step: define el conjunto de puntos de localización de los agujeros 15 y 16, este fichero se emplea tanto en el ciclo de taladrado (ciclo21), como en el de avellanado cilíndrico (ciclo26);
- p3gec22d.step: define el conjunto de puntos de localización de los agujeros 17 y 18, este fichero se emplea en el ciclo de taladrado (ciclo22);
- p3gec23d.step: define el conjunto de puntos de localización de los agujeros 19 y 20, este fichero se emplea tanto en el ciclo de taladrado (ciclo23), como en el ciclo de avellanado cónico (ciclo29);
- p3gec30d.step: define el conjunto de puntos de localización de los agujeros 15 a 18, este fichero se emplea en el ciclo de avellanado cónico (ciclo30);

donde todos los contornos se han definido mediante la utilización de entidades geométricas de tipo línea y arco, y la localización de los agujeros mediante entidades de tipo punto.

Como resultado de la entrada del fichero de programa *1cnpplaca3.txt* junto con sus respectivos ficheros de geometría, desde *p3gec1d.step* hasta *p3gec30d.step*, la aplicación desarrollada genera un fichero de control numérico basado en operaciones con formato STEP *placa3.step*, que se recoge en las páginas xx y xx del Anexo D.

A fin de comparar los ficheros de programación de control numérico a nivel de trayectoria con los ficheros STEP de nivel de operaciones, en las páginas xx a xx del Anexo D, se recogen los ficheros en formato APT e ISO (para CNC Fanuc) obtenidos directamente del sistema Euclid3.

5.2. CONCLUSIONES.

Teniendo presente los resultados obtenidos, la experiencia adquirida a lo largo del desarrollo de la tesis, así como de los aspectos problemáticos que se han ido presentando a lo largo de su desarrollo, se extraen una serie de conclusiones generales que se exponen en los siguientes puntos:

1. En función de los resultados obtenidos con la generación de los ficheros STEP de programación de CN basados en operaciones:
 - 1.1. se confirma la adecuación en la aplicación de la norma STEP a la programación orientada a operaciones de MHCN, aspecto propuesto inicialmente por Kramer [KRA91] y Eversheim [EVE91], y la mejora que esto

supone en cuanto a la racionalización en la utilización de normas de intercambio de información de fabricación, con la eliminación en el uso de APT y CLDATA;

- 1.2. se confirma el interés de definir un protocolo de programación orientada a operaciones básicas de mecanizado de MHCN, de forma que se racionalice la programación actual de las MHCN, y como consecuencia se evite la necesidad de utilizar diferentes lenguajes de programación dependiendo del sistema CNC utilizado;
 - 1.3. se confirma la ventaja de utilizar programación orientada a operaciones en lugar de la programación a nivel de trayectoria, como consecuencia de su mayor facilidad de realización, y el menor tamaño de los ficheros generados;
 - 1.4. como consecuencia de la arquitectura actual de los sistemas CNC basados en la arquitectura de los computadores personales, así como de su previsible evolución hacia soportar interfases para información en formato STEP [STE95a], el equivalente a la fase actual de postprocesado de los ficheros CLDATA, materializado en este caso en la traducción de los programas STEP orientados a operaciones al código específico de cada MHCN debería realizarse en cada CNC. De esta forma mediante un sistema DNC se podría distribuir cada programa genérico a la máquina en la cual se vaya a realizar el mecanizado en función de la disponibilidad de las máquinas del taller. Esta idea de la implementación del postprocesado en los CNC ya fue apuntada por Mahieddine [MAH90].
 - 1.5. se ha demostrado la posibilidad de traducir programas STEP orientados a operaciones a programación de nivel de trayectoria en código ISO [ISO82a]. Manteniéndose de esta forma la compatibilidad con los sistemas CNC actuales que no permiten dicha programación STEP. Este aspecto ya era contemplado en [EVE89], en los requerimientos para un nuevo lenguaje de programación de CN.
2. La aplicación de la norma STEP al desarrollo de un modelo de información de fabricación debe tener como objetivo prioritario su utilización en el desarrollo e implementación de un sistema asistido por computador cuya estructura de datos interna sea conforme con el modelo de información desarrollado. El objetivo no debe ser únicamente el desarrollo de traductores entre sistemas comerciales existentes y la

estructura de datos definida en el modelo de información. El desarrollo de dicho modelo conlleva el análisis de la estructura de datos actual de los sistemas de fabricación asistidos por computador, y la especificación de la estructura de datos que deberían tener con objeto de mejorar su funcionamiento y grado de integración actual, como resultado de este proceso se comprueba la existencia de una diferencia entre la estructura de datos de los sistemas comerciales existentes y la estructura de datos 'que deberían tener'. El desarrollo por tanto de traductores directos entre cada sistema y el modelo de información desarrollado aunque ayudaría a mejorar la situación del intercambio de información, contaría con el problema de la falta de correspondencia de parte de la información, aspecto que se ha puesto claramente de manifiesto durante la etapa de implantación del modelo desarrollado en la presente tesis, y que produce como consecuencia una pérdida de información, al tiempo que no modifica el procedimiento real de trabajo ni permite una integración total del sistema.

3. En el desarrollo de un modelo de información de fabricación se hace necesario considerar todas las formas en las cuales la información de fabricación se presenta a lo largo del proceso que va desde la etapa de diseño hasta la etapa de producción. No obstante, la especificación de la información de fabricación debe hacerse en sentido inverso, es decir, partiendo del nivel de programación de las MHCN utilizado en el nivel de producción y llegando al nivel de procedimiento definido en la etapa de diseño. De esta forma se garantizaría que la información generada en las primeras etapas de desarrollo de un producto esta perfectamente integrada con la información necesaria en las etapas siguientes del ciclo de fabricación. Este aspecto de integración del flujo de información de fabricación ya fue señalado por Eversheim [EVE89].
4. A pesar de que las ventajas que se obtienen de la utilización de técnicas estructuradas de modelado, tanto de actividades como de información, en el ámbito del desarrollo e integración de sistemas fueron ya reconocidas en los años 70, en la actualidad en España existe un conocimiento y/o utilización de dichas metodologías muy reducido, limitándose en la gran mayoría de los casos al ámbito universitario. Un conocimiento y utilización mas extensivo de estas metodologías favorecería en gran medida los procesos de integración, ingeniería concurrente, desarrollo de trabajo en equipo y reingeniería dentro de las empresas.

5.3. CONTRIBUCIONES DE LA TESIS.

Los aspectos originales de la Tesis en relación con otros trabajos realizados en las áreas de intercambio de información de fabricación, programación automática de MHCN, y en el modelado de operaciones de mecanizado, se pueden resumir en los siguientes puntos:

- 1) Se propone una arquitectura de la información de fabricación, en la que se distinguen cinco niveles de particularización de la información desde la etapa de producción hasta la etapa de diseño (ver figura 5.7), estos niveles son: trayectoria, operaciones, plan de operaciones, plan de procesos, y procedimiento (ver apartado 2.5). La definición de los requerimientos de información se realiza de abajo hacia arriba, iniciándose en el nivel de trayectoria y finalizando en el nivel de procedimiento, debiendo existir una integración bidireccional completa entre los distintos niveles de forma que partiendo de la información del nivel de procedimiento se pueda alcanzar la información de nivel de trayectoria.

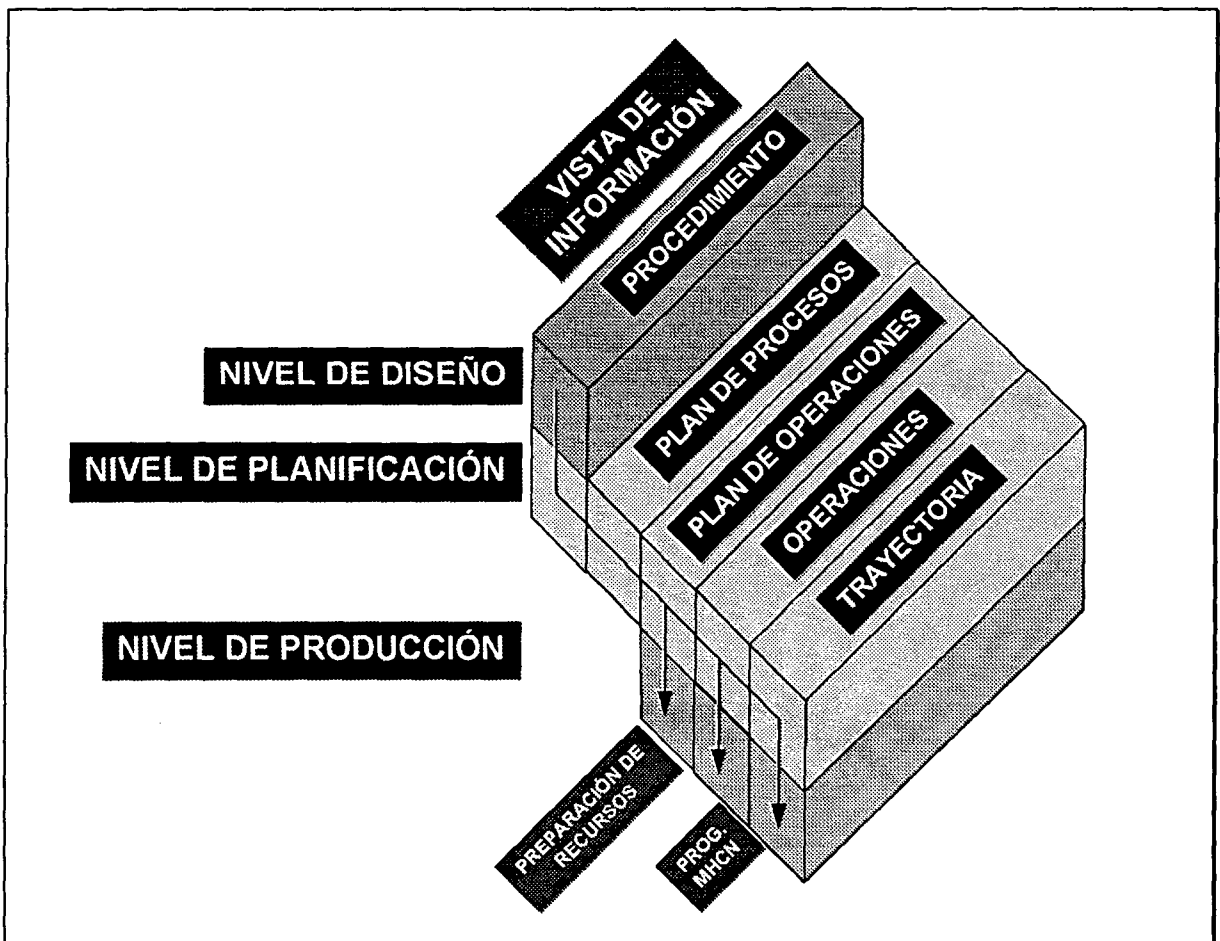


Figura 5.7. Niveles de información en fabricación.

- 2) Se realiza un modelo de referencia completo y genérico de la información de fabricación a nivel de operaciones, imponiendo como requerimiento la existencia de una correspondencia bidireccional con el nivel de información de trayectoria. Este modelo se compone fundamentalmente de las principales operaciones básicas de mecanizado en fresado y taladrado. Dicho modelo es independiente de cualquier sistema específico CAM o CNC, aunque en su definición se ha tenido presente la situación actual de dichos sistemas en lo que respecta a la definición de la información de fabricación (ver Capítulo 3).
- 3) El modelo de referencia de fabricación se ha desarrollado haciendo uso de la metodología propuesta en la norma internacional ISO 10303 "Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange", conocida habitualmente como STEP.
- 4) Se realiza una implementación del modelo de referencia mediante el desarrollo de una aplicación orientada a objetos que diseña una base de datos de operaciones básicas de mecanizado. La implantación de la base de datos se realiza en ficheros con formato conforme con la norma ISO 10303 [ISO94c], dichos ficheros contienen información de fabricación a nivel de operaciones para la programación automática de MHCN. La integración con el nivel de trayectoria se consigue mediante el desarrollo de un traductor que convierte la información de operaciones de mecanizado en formato STEP en código de programación ISO [ISO82a]. La base de datos puede ser accedida por otras aplicaciones que soporten el modelo de referencia (I-ARM) definido en la tesis, el método de acceso se realiza mediante la interfaz SDAI [ISO94d]. Para la generación y población de la base de datos se utiliza un método mixto de adquisición de información de fabricación, habiéndose considerado cuatro procedimientos distintos:
 - información introducida por el usuario interactivamente durante la ejecución de la aplicación;
 - información generada mediante reglas de fabricación implementadas en la aplicación;
 - información procedente del modulo de fabricación del sistema CAD/CAM comercial Euclid3, vía ficheros de proceso en formato ASCII;
 - información procedente del modulo de diseño del sistema Euclid3, vía ficheros de geometría en formato DXF.

Las principales ventajas que pueden obtenerse de las soluciones adoptadas en la Tesis se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- 1) Impulsar la racionalización en el empleo de normas y formatos para intercambio de información de fabricación, al hacerse uso de STEP en sustitución de APT, CLDATA y formatos específicos para la programación de MHCN.
- 2) Facilitar el intercambio de información de fabricación a nivel de operaciones de mecanizado entre sistemas CAM.
- 3) Favorecer el desarrollo de traductores integrados en los CNC que acepten programas orientados a operaciones en formato STEP, y de esta forma mejorar la programación de las MHCN.

5.4. RECOMENDACIONES PARA FUTUROS DESARROLLOS.

En función de los objetivos previstos, de los resultados obtenidos y de las conclusiones que de ellos se derivan, se han establecido unas recomendaciones generales para futuros desarrollos dentro de la misma línea de trabajo de integración e intercambio de información en el ámbito de la fabricación. Estas recomendaciones se pueden resumir en los siguientes puntos:

- 1) Manteniendo los aspectos generales recomendados en la presente tesis, debería completarse la definición de información de fabricación en los tres niveles restantes, plan de operaciones, plan de procesos y procedimiento, con la elaboración de los correspondientes modelos de referencia. En dicho proceso deberán tenerse presente las iniciativas que actualmente se están desarrollando, y que fundamentalmente se orientan a la definición de información a nivel de plan de operaciones AP213 [ISO94g].
- 2) Mantener la utilización de la norma ISO 10303, para de esta forma impulsar la racionalización en el empleo de normas y formatos de intercambio de información.
- 3) Analizar la conveniencia de seguir la tendencia actual dentro del ámbito STEP de realizar la implementación de los modelos de referencia (I-ARM), y de no realizar por tanto la definición del modelo interpretado (AIM). Aunque esta práctica no esta recogida como adecuada dentro de la norma, en numerosos casos presenta la ventaja de proporcionar una estructura de datos más clara e inequívoca para la aplicación ha desarrollar. No obstante debe considerarse la utilización del

procedimiento propuesto en la norma, junto con el lenguaje actualmente en desarrollo EXPRESS-X [PDI96].

4) Como herramienta de desarrollo debería utilizarse una herramienta CASE que adicionalmente a las funciones proporcionadas por la herramienta utilizada en la tesis [STE95d], proporcione las siguientes funcionalidades generales:

- validador de modelos EXPRESS, soportando atributos tipo de tipo inverso, restricciones de unicidad, reglas de tipo local (where) y reglas de tipo global;
- gestor de base de datos EXPRESS compuesto de:
 - ◆ un servidor de base datos para el almacenamiento y manipulación de esquemas EXPRESS y datos de producto;
 - ◆ un supervisor para el mantenimiento de la base de datos;
 - ◆ una interfaz basada en SDAI para la comunicación supervisor-servidor de la base de datos;
- visualizador de entidades geométricas;

La gran ventaja en la utilización de un gestor de base de datos es poder realizar la compartición de información entre distintas aplicaciones, y no solo su intercambio a través de ficheros STEP. Ejemplo de una herramienta de modelado con estas características es el EXPRESS Data Manager de EPM Technology.

Adicionalmente a las herramientas de modelado, se recomienda la utilización de herramientas específicas para el desarrollo de sistemas CAX. Actualmente, ya existen herramientas CASE con las siguientes características generales:

- Programación y base de datos orientada a objetos.
- Estructura de datos de definición de geometría y topología conforme con STEP.
- Librerías con algoritmos para modelado geométrico y topología.

Ejemplo de este tipo de soluciones son: CAS.CADE/SF de Matra Datavision [LEG94], y PELORUS de Computer Vision.

5) Ampliando la línea de trabajo, y teniendo presente su gran utilidad dentro del ámbito de la fabricación, se recomienda la elaboración de librerías de elementos normalizados, del tipo utillaje y herramientas, mediante la aplicación de la norma

ISO CD 13584 Parts Library [ISO95b]. Esta propuesta de norma esta basada en la norma STEP, en cuanto que utiliza el mismo lenguaje de modelado (EXPRESS) y los mismos métodos de implementación (fichero STEP, SDAI), y permite el modelado e intercambio de información de clases o familias de productos.

- 6) Otros futuros trabajos deberían también dirigirse hacia la integración Internet-STEP-Common Object Request Broker Architecture (CORBA). Cuyo objetivo es la creación de una infraestructura que permita la interoperación de aplicaciones con una estructura de datos definida en STEP a través de la red Internet [HAR96].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) [ADO90] Adobe Systems Inc.; PostScript Language Reference Manual, 2ª edición, Addison-Wesley, 1990.
- (2) [AFN89] AFNOR - SET (Système d'Échanges et de Transferts) - AFNOR NF Z 68 300 1-12, 1989.
- (3) [AGE92] Agerman, E.; "The Product Structure - The Backbone of CIM", Annals of the CIRP, vol. 41/1/1992, pp 165-168.
- (4) [ALA92] Al-Ashaab, A.H.; Young, R.I.M.; "Information models: an aid to concurrency in injection moulded product design", Proceedings of the ASME WAM'92, California, Noviembre 1992.
- (5) [ALB92] Albus, J.S.; Quintero, R.; Proctor, F.; Michaloski, J.; Dagalakis, N.; Tarnoff, N.; Kramer, T.; NIST Support to the next generation controller program: 1991 Final Technical Report, NIST, NISTIR 4888, Julio 1992.
- (6) [AMI93] AMICE - ESPRIT Consortium; "CIMOSA: Open System Architecture for CIM", Research Reports ESPRIT, Project 688/5288 AMICE, Vol. 1, 2ª edic., Springer-Verlag, 1993.
- (7) [ANS87] ANSI - Programming Language APT - ANSI X3.37 - 1987.
- (8) [ANS88] ANSI - IGES (Initial Graphic Exchange Specification) - ANSI/SAE J1881-AUG88, 1988.
- (9) [ARA92] Arai, E.; Iwata, K.; "Product modelling system in conceptual design of mechanical products", Robotics and Computer Integrated Manufacturing, vol. 9, nº 4/5, 1992, pp327-334.
- (10) [ARN87] Arnold, D.; "Computer Graphics Interface and CAD applications", Computer-Aided Design, vol 19, n. 8, Octubre 1987, pp 444-450.
- (11) [ARN91a] Arnold, D.B.; Duce, D.A.; ISO Standards for Computer Graphics. The first generation, Butterworths, 1991.
- (12) [ARN91b] Arnold, D.B.; Liapakis, S.T.; Reynolds, G.J.; Vezirgiannis, N.P.; "Practical considerations in transporting Computer Graphics Metafiles", Computer-Aided Design, vol. 23, n. 4, Mayo 1991, pp 306-311.
- (13) [BAR92] Bardasco, A.; Optimización de un sistema CAM para su utilización en PYMES, Tesis doctoral, E.T.S.I.I. - U.P.V., Bilbao, 1992.

- (14) [BAU91] Baumgartner, H.; Knischewski, K.; Wieding, H.; CIM Consideraciones básicas, SIEMENS-Marcombo, 1991.
- (15) [BAX94] Baxter, J.E.; Juster, N.P.; De Pennington, A.; "A functional data model for assemblies used to verify product design specifications", Journal of Engineering Manufacture, vol. 208, 1994, pp 235-244.
- (16) [BED87] Bedi, S.;Vickers, G.W.; "Postprocessor for numerically controlled machine tools", Computers in Industry, vol 9, n1, Agosto/Septiembre 1987, pp 3-18.
- (17) [BEY94] Bey, I.; Ball, D.; Bruhm, H.; Clausen, T.; Jakob, W.; Knudsen, O.; Schlechtendahl, E.G.; Sorensen, T.; Neutral Interfaces in design, simulation, and programming for RObotics, Research Reports ESPRIT, Project 5109 NIRO, Springer-Verlag, 1994.
- (18) [BLO91] Bloor, M.S.; Owen, J.; "CAD/CAM product data exchange: the next STEP", Computer Aided Design, vol. 23, nº 4, Mayo 1991, pp 237-243.
- (19) [BRA89] Brandli, N.; Mittelstaedt, M.; "Exchange of solid models: current state and future trends", Computer Aided Design, vol. 21, nº 2, Marzo 1989, pp 87-96.
- (20) [BRO91] Brodlie, K.W.; Duce, D.A.; Hopgood, F.R.A.; "The new Graphical Kernel System", Computer-Aided Design, vol. 23, n. 4, Mayo 1991, pp 312-318.
- (21) [BRU92] Bruce, T.A.; Designing quality databases with IDEF1X information models, Dorset House, 1992.
- (22) [CAD93a] CADR; "PDES PROGRESS REPORT", Computer Aided Design Report, Marzo 1993, pp 1-6.
- (23) [CAD93b] CADR; "IGES PROGRESS REPORT", Computer Aided Design Report, Octubre 1993, pp 9-10.
- (24) [CAR91] Carver, G.P.; Bloom, H.M.; "Concurrent Engineering through product data standards", NIST 4573, Mayo 1991.
- (25) [CAT91] Catron, B.A.; Ray, S.R.; "ALPS: a language for process specification", Intl. J. Computer Integrated Manufacturing, vol. 4, nº 2, 1991, pp 105-113.
- (26) [CHA89] Chang, C. H.; Melkanoff, M.A.; "NC machine programming and software design", 1989, Prentice-Hall.

- (27) [CHI90] Chisholm, A. W. J.; "CIRP Nomenclature and Definitions for Manufacturing Systems", CIRP Technical Report, Annals of the CIRP Vol. 39/2/1990, pp 735-742.
- (28) [CHO93] Chorafas, D.N.; Steinmann, H.; Object-Oriented Databases, Prentice Hall, 1993.
- (29) [CON96] Contero, M.; "Consideraciones en torno a la norma ISO 10303 (STEP) y su efecto en la arquitectura de los sistemas de diseño asistido por ordenador", VIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, 1996.
- (30) [COR91] Corbett, J.; Dooner, M.; Meleka, J.; Pym, C.; Design for manufacture: Strategies, principles and techniques, Addison-Wesley, 1991.
- (31) [CRE91] Cremer, R.; "Feature approach integrated in operation planning and NC-preparation", Proceedings of the Workshop IMPACT ESPRIT No. 2165, Berlín, Febrero 1991.
- (32) [DAY93] Day, R.A.; Duce, D.A.; Gallop, J.R.; Sutcliffe, D.C.; Integration of Graphics and OSI standards, Research Reports ESPRIT, Project 2463, ARGOSI, vol 1, Springer-Verlag, 1993.
- (33) [DIN85] DIN - VDA-FS (Verband der Automobilindustrie-Flächenschnittstelle) - DIN 66301, 1985.
- (34) [DUC87] Duce, D.A.; Hopgood, F.R.A.; "The Graphical Kernel System (GKS)", Computer-Aided Design, vol 19, n. 8, Octubre 1987, pp 396-409.
- (35) [EDI85] EDIF (Electronic Design Interchange Format) - The EDIF User's Group, Design Automation Department, Texas Instruments, 1985.
- (36) [ELL93a] Ellis, T.I.A.; Young, R.I.M.; Bell, R.; "Modelling manufacturing process information to support simultaneous engineering", Proceedings of the Intl. Conference on Engineering Design (ICED'93), The Hague, Agosto 1993.
- (37) [ELL93b] Ellis, T.I.A.; Bell, R.; Young, R.I.M.; "A design for manufacture software environment to support simultaneous engineering", Proceedings of the 9th National Conference on Manufacturing Research, Univ. of Bath, Reino Unido, Septiembre 1993.
- (38) [ELM93] Elmaraghy, H.A.; "Evolution and future perspectives of CAPP", Annals of the CIRP, vol. 42/2/1993.

- (39) [ENC86] Encarnação, J.; Schuster, R.; Vöge, E.; Product Data Interfaces in CAD/CAM Applications, Symbolic Computation - Springer-Verlag, 1986.
- (40) [ENP95] Enparantza, R.; "Integración de sistemas asistidos por ordenador", Automatización, Julio 1995, pp 16-19.
- (41) [EVE82] Eversheim, W.; Holz, B.; "Computer Aided Programming of NC-Machine Tools by Using the System AUTAP-NC", Annals of the CIRP, vol 31/1/1982, pp 323-327.
- (42) [EVE89] Eversheim, W.; Rozenfeld, H.; Marcziński, G.; "Requirements on Interfaces and Data Models for NC-Data Transfer in View of Computer Integrated Manufacturing", Annals of the CIRP, vol 38/1/1989, pp 443-446.
- (43) [EVE91] Eversheim, W.; Marcziński, G.; Cremer, R.; "Structured modelling of manufacturing processes as NC-data preparation", Annals of the CIRP, vol. 40/1/1991, pp 429-432.
- (44) [FAG87] Fagor; Manual de programación Fagor 8020 Modelo M, 1987.
- (45) [FAI93] Fai Chan, S.C.; Mak, H.; Cloutier, N.; "An architecture for standards-based manufacturing data integration", Proceedings of the ASME Conference AUTOFACT'93, Chicago, USA, Noviembre 1993.
- (46) [FOL90] Foley, J.D.; Van Dam, A.; Feiner, S.K.; Hughes, J.F.; Computer Graphics. Principles and Practice, 2ª Edición, Addison-Wesley, 1990.
- (47) [FRA91] Francis, A.H.; "Computer Graphics Metafile versus PostScript - 'horses for courses', Computer-Aided Design, vol 23, n. 4, Mayo 1991, pp 297-302.
- (48) [GEF89] GE Fanuc; Manual de programación GE Fanuc Serie 15-MF, 1989.
- (49) [GIE91] Gielingh, W. F.; Suhm, A. K.; "IMPPACT Reference Model", Research Reports ESPRIT, Project 2165 IMPPACT, vol.1, 1991, Springer-Verlag.
- (50) [GRA91] Grabowski, H.; Anderl, R.; Pratt, M.J.; Advanced Modelling for CAD/CAM Systems, Research Reports ESPRIT, Project 322 CAD Interfaces (CAD*I), vol7, Springer-Verlag, 1991.
- (51) [GU94a] Gu, P.; Zhang, Y.; Norrie, D.H.; "Object-oriented product modelling for computer integrated manufacturing", Int. Journal Computer Integrated Manufacturing, vo. 7, nº 1, 1994, pp 17-28

- (52) [GU94b] Gu, P.; Chan, K.; Yan, X.; "Integration of product design and manufacturing processes planning using STEP", Actas 10th ISPE/IFAC Int. Conf. CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future, Ottawa, Canada, 1994, pp 319-324.
- (53) [GU95] Gu, P.; Kam, C.; "Product modelling using STEP", Computer-Aided Design, vol. 27, nº 3, Marzo 1995, pp 163-179.
- (54) [GUH93] Guhring; Catálogo de herramientas de corte de precisión, Guhring, 1993.
- (55) [HAR93] Hardwick, M.; Downie, B.; Kutcher, M.; Spooner, D.; "Using delta files to implement concurrent engineering: an experiment", Proceedings of the ASME Conference AUTOFACT'93, Chicago, USA, Noviembre 1993.
- (56) [HAR96] Hardwick, M.; Spooner, D.L.; Rando, T.; Morris, K.C.; "Sharing Manufacturing Information in Virtual Enterprises", Communications of the ACM, vol. 39, nº 2, Febrero 1996, pp. 46-54.
- (57) [HAA96] Haas, W.; "Implementing fully attributed ARM: AP 225 Project", Product Data Intl., Septiembre 1996, pp 9-10.
- (58) [HEL93] Helpenstein, H.J.; CAD Geometry Data Exchange Using STEP, Research Reports ESPRIT, Subseries PDT, Project 2195 CADEX, Springer-Verlag, 1993.
- (59) [HEN86] Henderson, L.; Journey, M.; Osland, C.; "The Computer Graphics Metafile", I.E.E.E. Computer Graphics and Applications, Agosto 1986, pp 24-32.
- (60) [HEW90a] Hewlett-Packard; The HP-GL/2 Reference Guide: A handbook for program developers, Addison-Wesley, 1990.
- (61) [HEW90b] Hewlett-Packard; PCL 5 Printer Language Technical Reference Manual, Hewlett-Packard, 1990.
- (62) [HOW91] Howard, T.L.J.; "Evaluating PHIGS for CAD and general graphics applications", Computer-Aided Design, vol23, n4, Mayo 1991, pp 244-251.
- (63) [IBM91] IBM; CATIA NUMERICAL CONTROL MILL Version 3 - Interactive Functions Reference Manual, 1991.

- (64) [IMP91] IMPACT - Proceedings of the Workshop Integrated Manufacturing of Products and Processes using Advanced Computer Technologies, Berlin, Febrero 1991.
- (65) [ISO74] ISO - Numerical control of machines - Axis and motion nomenclature - ISO 841:1974.
- (66) [ISO78a] ISO - Numerical control of machines - NC processor output - Logical structure (and major words) - ISO 3592:1978.
- (67) [ISO78b] ISO - Numerical control of machines - NC processor output - Minor elements of 2000-type records (Post-processor commands) - ISO 4343:1978.
- (68) [ISO82a] ISO - Numerical control of machines - Program format and definition of address words - Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control system - ISO 6983-1:1982.
- (69) [ISO82b] ISO - Numerical control of machines - Program format and definition of address words - Part 2: Coding and maintenance of preparatory functions G and universal miscellaneous functions M - ISO 6983-2:1982.
- (70) [ISO85] ISO - Information processing systems - Computer graphics - Graphical Kernel System (GKS) functional description, ISO 7942, 1985.
- (71) [ISO87] ISO - Information processing systems - Computers graphics - Metafile for the storage and transfer of picture description information (CGM), ISO 8632, 1987.
- (72) [ISO88a] ISO - Information processing systems - Computer graphics - Graphical Kernel System for three dimensions (GKS-3D) functional description, ISO 8805, 1988.
- (73) [ISO88b] ISO - Information processing systems - Computer graphics - Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System - Part 1: Functional description, ISO 9592-1, 1988.
- (74) [ISO91] ISO - Information processing systems - Computer graphics - Interfacing techniques for dialogues with graphical devices (CGI), ISO 9636, 1991.
- (75) [ISO92] ISO - Product data representation and exchange - Part 11 - Description methods: The EXPRESS language reference manual, ISO/DIS, 1992.

- (76) [ISO94a] ISO - Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 1: Overview and fundamental principles - ISO 10303-1, 1994.
- (77) [ISO94b] ISO - STEP Part 11: "EXPRESS Language Reference Manual", ISO 10303-11:1994.
- (78) [ISO94c] ISO - STEP Part 21: "Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure", ISO 10303-21:1994.
- (79) [ISO94d] ISO - STEP Part 22: "Standard Data Access Interface Specification", ISO/TC184/SC4/WG3, Documento N280, Diciembre 1994.
- (80) [ISO94e] ISO - STEP Part 41: "Integrated generic resources: Fundamentals of Product Description and Support", ISO 10303-41: 1994.
- (81) [ISO94f] ISO - STEP Part 42: "Integrated generic resources: Geometric and topological representation", ISO 10303-42: 1994.
- (82) [ISO94g] ISO - STEP Part 213: "Numerical Control process plans for machined parts", ISO/TC184/SC4/WG3, Documento N357, Noviembre 1994.
- (83) [ISO94h] ISO - STEP Part 224: "Mechanical product definition for process planning using form features", ISO/TC184/WG3, Documento N333, Agosto 1994.
- (84) [ISO95a] ISO - STEP Part 49: "Integrated generic resources: Process structure and properties", ISO/DIS 10303-49: 1995.
- (85) [ISO95b] ISO - PARTS LIBRARY Part 1: "Overview and fundamental principles", ISO CD 13584-1:1995.
- (86) [KAY95] Kay, D.C.; Levine, J.R.; Graphics File Formats, 2ª Edición, McGraw Hill, 1995.
- (87) [KJE92] Kjellberg, T.; Schmekel, H.; "Product Modelling and Information Integrated Engineering Systems", Annals of the CIRP, vol. 41/1/1992, pp 201-204.
- (88) [KOC85] Kochan, D.; CAM Developments in Computer-Integrated Manufacturing, IFIP State of the Art Reports, Springer-Verlag, 1985.
- (89) [KRA91] Kramer, T. R.; "The Off-Line Programming System (OLPS) A prototype STEP-Based NC-Program Generator", AMRF NIST - National PDES Testbed, Febrero, 1991.

- (90) [KRA92a] Kramer, T.R.; Palmer, M.E., Feeney, A.B.; "Issues and recommendations for a STEP Application Protocol framework", NISTIR 4755, Enero 1992.
- (91) [KRA92b] Kramer, T.R.; "A Library of Material Removal Shape Element Volumes (MRSEVs)", NISTIR 4809, Marzo 1992.
- (92) [KRA92c] Kramer, T.R.; "Issues Concerning Material Removal Shape Element Volumes (MRSEVs)", NISTIR 4804, Marzo 1992.
- (93) [KRAU90] Krause, F.-L.; "Technological planning systems for the future", *Computers in Industry*, vol. 14, 1990, pp 109-116.
- (94) [KRAU91a] Krause, F.L.; Kramer, S.; Rieger, E.; "PDGL: a language for efficient feature-based product gestaltung", *Annals of the CIRP*, vol. 40/1/1991, pp 135-138.
- (95) [KRAU91b] Krause, L.; Kramer, S.; Rieger, E.; "Features as a basis for intelligent product modelling", *Proceedings of the Workshop IMPACT ESPRIT No. 2165*, Berlín, Febrero 1991.
- (96) [KRAU93] Krause, F.L.; Kimura, F.; Kjellberg, T.; et al.; "Product Modelling", *Annals of the CIRP*, vol. 42/2/1993, pp 695-706.
- (97) [KRO89] Kroszynski, U.I.; Palstroem, B.; Trostmann, E.; Schlechtendahl, E.G.; "Geometric data transfer between CAD systems: solid models", *I.E.E.E. Computer Graphics and Applications*, Septiembre 1989, pp 57-71.
- (98) [LEE94] Lee, R.J.V.; Young, R.I.M.; "Design for manufacture: an approach to software support in a concurrent engineering environment", *4th Intl. Conference FACTORY 2000 - Advance Factory Automation*, York, U.K., Octubre 1994.
- (99) [LEG94] Legrand, H.; Maupas, F.; "Matra Datavision'S Industrial Approach To STEP", *MICAD 94 European Product Data Technology Days*, París, Marzo 1994.
- (100) [LOT96] Liu, T-H.; *An Object-Oriented Assembly Application Methodology for PDES/STEP Based Mechanical Systems*, Ph.D. Tesis, The University of Iowa, 1992.
- (101) [LOT96] Lotter, N.; "PDMI: ARM-based STEP", *Product Data Intl.*, Septiembre 1996, pp 1,12-13.

- (102) [MAH90] Mahieddine, F.; Webb, D. C.; "BCL - The industrial NC standard", CAE Journal, Abril, 1990, pp. 54-56.
- (103) [MAR88] Marca, D.A.; McGowan, C.L.; IDEF0/SADT - Business Process and Enterprise Modeling, Eclectic Solutions, 1988.
- (104) [MAR95] Martin, J.; Odell, J.J.; Object-Oriented Methods - A foundation, Prentice Hall, 1995.
- (105) [MAT92a] Matra Datavision; 2.5-AXIS CYCLES. Reference Manual, 1992.
- (106) [MAT92b] Matra Datavision; MILLING. Reference Manual, 1992.
- (107) [MAT93] Mattei, D.; "Passing the torch in product data exchange", Computer Aided Engineering, Septiembre 1993, pp 38-40.
- (108) [MAZ90] Mazak; Manual de programación MAZATROL M-32, 1990.
- (109) [MCK91] McKay, A.; Bloor, M.S.; "The role of product models in effective CAD/CAM", Proceedings. of the Inst. Mech. Engrs, Effective CAD/CAM'91, C429/040 IMechE 1991, pp 113-119.
- (110) [MIC95] MicroMatch L., DESIGN/IDEF Version 3.5 for Windows - User's Manual, 1995.
- (111) [MIK93] Mikes, S.; Diseño y desarrollo de programas con el sistema X Window, Addison-Wesley, 1993.
- (112) [MUM87] Mumford, A.M.; "Why care about the Computer Graphics Metafile?", Computer-Aided Design, vol 19, n. 8, Octubre 1987, pp 425-430.
- (113) [MUM91] Mumford, A.M.; "Computer Graphics Metafile standard - an update", Computer-Aided Design, vol. 23, n. 4, Mayo 1991, pp 303-305.
- (114) [NAU93] Nau, D.S.; Gupta, S.K.; Kramer, T.R.; Regli, W.C.; Zhang, G.; "Development of machining alternatives, based on MRSEVs", Proceedings of the 1993 ASME Computers in Engineering Conference, USA, 1993.
- (115) [NIJ89] Nijssen, G.M.; Halpin, T.A.; Conceptual schema and relational database design, Prentice Hall, 1989.
- (116) [NIS93a] NIST - IDEF0 (ICAM Definition Language 0), Integration Definition for Functional Modeling (IDEF0), FIPS PUB 183, NIST, 1993.

- (117) [NIS93b] NIST - IDEF1X (ICAM Definition Language 1 Extended), Integratton Definition for Information Modeling (IDEF1X), FIPS PUB 184, NIST, 1993.
- (118) [NOW95] Nowacki, H.; A neutral product definition database for large multifuncional systems, Research Reports ESPRIT, Project 2010 NEUTRABAS, Springer-Verlag, 1995.
- (119) [OSF89] OSF - Open Software Foundation, OSF/MOTIF Manual, Open Software Foundation, 1989.
- (120) [OWE87] Owen, J.; Bloor, M.S.; "Neutral formats for product data exchange: the current situation", Computer Aided Design, vol. 19, nº 8, 1987, pp 436-443.
- (121) [OWE93] Owen, J.; STEP An introduction, Information Geometers, 1993.
- (122) [OWE94] Owen, J. V.; "CAD/CAM, Control Systems, and Software", Manufacturing Engineering, Agosto, 1994, pp 197-201.
- (123) [PAH95] Pahl, G.; Beitz, W.; Engineering Design - A systematic Approach, 2ª edic., Springer-Verlag, 1995.
- (124) [PDI90] PDI; "Application Protocols - STEP access", Product Data Intl., vol. 1, nº 2, Noviembre 1990, pp 5-7.
- (125) [PDI90] PDI; "The many flavors of EXPRESS", Product Data Intl., vol. 7, nº 5, Septiembre 1996, pp 4-5.
- (126) [PET90] Peters, J.; Leuven, K.U.; Krause, K.L.; Agerman, E.; "Design: an integrated approach"; Annals of the CIRP, vol. 39/2/1990, pp 599-607.
- (127) [POW86] Powers, T.; Frankel, A.; Arnold, D.; "The Computer Graphics Virtual Device Interface", I.E.E.E. Computer Graphics and Applications, Agosto 1986, pp 33-41.
- (128) [PUK86] Puk, R.F.; McConnell, J.I.; "GKS-3D: A Three-Dimensional Extension to the Graphical Kernel System", I.E.E.E. Computer Graphics and Applications, Agosto 1986, pp 42-49.
- (129) [QUI93] Quiao, L.-H.; Zhang, C.; Lim, T.-H., Ben Wang, H.-P.; Fischer, G.W.; "A PDES/STEP-based product data preparation procedure for computer-aided process planning", Computers in Industry, vol. 21, 1993, pp 11-22.

- (130) [RAF90] Raflik, M.; Pätzold, B.; CAD*I Database - An approach to an Engineering Database, version 4.0, Research Reports ESPRIT, Project 322 CAD Interfaces (CAD*I), vol5, Springer-Verlag, 1990.
- (131) [RAY92] Ray, S.R.; "Using the ALPS process plan model", Proceedings of the ASME Manufacturing International Conference, Dallas, USA, 1992.
- (132) [REC70] Reckziegel, D.; EXAPT1/EXAPT2, Capítulos 7 y 8, Numerical Control Users' Handbook, McGraw-Hill, 1970.
- (133) [REM93] Rembold, U.; Nnaji, B. O.; Storr, A.; "Computer Integrated Manufacturing and Engineering", Addison-Wesley, 1993.
- (134) [RIO94a] Ríos, J.; Vizán, A.; Pérez, J.; "Integración CAD/CAM - CNC basada en STEP", Actas del X Congreso de investigación, diseño y utilización de máquinas-herramienta, San Sebastian, Noviembre 1994, sesión 4.
- (135) [RIO94b] Ríos, J.; Vizán, A.; Pérez, J.; "Programación automática de controles numéricos basada en protocolos STEP", Actas del VI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Chile, Noviembre 1994, pp. 267-272.
- (136) [RIO95] Ríos, J.; Vizán, A.; Pérez, J.; "Integración CAD/CAM - CNC basada en STEP", Automatización, Octubre, 1995, pp. 27-34.
- (137) [RIO96a] Ríos, J.; Vizán, A.; Pérez, J.; "Aplicación basada en un modelo de operaciones de mecanizado para el intercambio de información en el entorno de la fabricación asistida por computador", Actas del XI Congreso de investigación, diseño y utilización de máquinas-herramienta, San Sebastian, Octubre 1996.
- (138) [RIO96b] Ríos, J.; Vizán, A.; Pérez, J.; "Object oriented application for machine tool automatic programming based on machining operations", Actas del 7th Intl. DAAAM Symposium, Technical University of Vienna, Octubre 1996.
- (139) [ROM94] Romero, F.; Contero, M.; Vila, C.; "Sistema de diseño para fabricación basado en elementos característicos", Anales de Ingeniería Mecánica, XI Congreso Nacional de Ing. Mecánica, Noviembre 1994, pp 67-74.
- (140) [ROM95] Romero, F.; Vila, C.; Contero, M.; "Diseño de un producto en un ámbito de ingeniería concurrente utilizando herramientas STEP", II Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, 1995.

- (141) [ROS89] Rost, R.J.; Freidberg, J.D.; Nishimoto, P.; "PEX: a network-transparent 3D graphics system", I.E.E.E. Computer Graphics and Applications, vol 9, 1989, pp 14-26.
- (142) [SAL92] Salomons, O.W.; Van Houten, F.J.A.M.; Kals, H.J.J.; "Review of research in feature-based design", Journal of Manufacturing Systems, vol. 12, nº 2, 1992, pp 113-132.
- (143) [SAN95] Sandvik; Catálogo de herramientas rotativas, Sandvik Coromant, 1995.
- (144) [SAS93a] Sastrón, F.; Arnalte, S.; "STEP una herramienta para el CIM", Automática e Instrumentación, nº 233, Abril 1993, pp 61-65.
- (145) [SAS93b] Sastrón, F.; "EXIME, an EXPRESS oriented Information Management Environment", 3rd Annual EXPRESS User's Group, EUG'93, Berlin, Oct. 1993.
- (146) [SAS94] Sastrón, F.; "Techniques in CIM Open System Architecture", Computer-Aided Manufacturing/Computer Integrated Manufacturing (CAM/CIM), Control and Dynamic Systems Series, Vol. 60, Part 1, Ed. C. T. Leondes, Academic Press, 1994
- (147) [SCH91] Scheer, A. W.; CIM Computer Integrated Manufacturing - Towards the Factory of the Future, 2ª edic., Springer-Verlag, 1991.
- (148) [SCHE88] Scheifler, R.W.; Gettys, J.; Newman, R.; X Window System - C Library and Protocol Reference, Digital Press, 1988.
- (149) [SCHE94] Schenck, D.A.; Wilson, P.R.; Information Modelling: The EXPRESS way, Oxford University Press, 1994.
- (150) [SCHL88] Schlechtendahl, E.G.; Specification of a CAD*I Neutral File for CAD Geometry, version 3.3, Research Reports ESPRIT, Project 322 CAD Interfaces (CAD*I), vol1, Springer-Verlag, 1988.
- (151) [SCHL89] Schlechtendahl, E.G.; CAD Data Transfer for Solid Models, Research Reports ESPRIT, Project 322 CAD Interfaces (CAD*I), vol3, Springer-Verlag, 1989.
- (152) [SCHU94] Schulz, H.; Schützer, K.; "FINDES - Feature-based Integrated Design System", Production Engineering, vol. 1/2, 1994, pp 189-192.

- (153) [SHA91] Shah, J.J.; Mathew, A.; "Experimental investigation of the STEP form-feature information model", Computer Aided Design, vol. 23, nº 4, Mayo 1991, pp 282-296.
- (154) [SHU86] Shuey, D.; Bailey, D.; Morrissey, T.P.; "PHIGS: A Standard, Dynamic, Interactive Graphics Interface", I.E.E.E. Computer Graphics and Applications, Agosto 1986, pp 50-57.
- (155) [SHU87] Shuey, D.; "PHIGS: a graphics platform for CAD application development", Computer-Aided Design, vol 19, n. 8, Octubre 1987, pp 410-417.
- (156) [SIE87] Siemens, Manual de programación Sinumerik 810M, 1987.
- (157) [SIE94] Siemens; Manual de programación Sinumerik 840D vol 2, 1994.
- (158) [SIM70] Sim R.M; Capitulo 11 Post processors, Numerical control Users' Handbook, McGraw Hill, 1970.
- (159) [SON93] Song, B.; Wang, F.; Goh, A.; Hui, S.C.; "The development of a STEP-based OODB for standard parts of sheet metal dies", Proceedings of the ASME Conf. AUTOFACT'93, Chicago, USA, Noviembre 1993, pp 28.1-28.12.
- (160) [SSE90] Ssemakula, M.E.; Satsangi, A.; "Application of PDES to CAD/CAPP Integration", Computers ind. Engng, vol. 18, nº 4, 1990, pp 435-444.
- (161) [STE95a] STEP Tools Inc, "STEP Machine Tool Controller", Newsletter STEP Tools Inc., vol 4, no. 1, Abril 1995.
- (162) [STE95b] STEP Tools, ST-EXPRESS for Windows - Reference Manual, 1995.
- (163) [STE95c] STEP Tools, ST-Developer for Windows NT - SDAI Library Reference Manual, 1995.
- (164) [STE95d] STEP Tools, ST-Developer for Windows NT - STEP Utilities Reference Manual, 1995.
- (165) [SUN87] Sun Microsystems, NeWS Technical Overview, Sun Microsystems, 1987.
- (166) [SUN89] Sun Microsystems; AT&T; OPEN LOOK - Graphical User Interface. Functional Specification, Addison-Wesley, 1989.
- (167) [SUN93a] Sun Microsystems, XGL 3.0.2 Manual Set, Sun Microsystems, 1993.

- (168) [SUN93b] Sun Microsystems, XIL 1.1 Manual Set, Sun Microsystems, 1993.
- (169) [THO89] Thomas, D.; Van Maanen, J.; Mead, M.; Specification for Exchange of Product Analysis Data, version 3, Research Reports ESPRIT, Project 322 CAD Interfaces (CAD*I), vol2, Springer-Verlag, 1989.
- (170) [TRA93a] Trapp, G.; "STEP application protocol erudition - What are APs anyhow?", Draft WVU-CERC, Enero 1993.
- (171) [TRA93b] Trapp, G.; "The emerging STEP standard for product-model data exchange", Computer, Febrero 1993, pp 85-87.
- (172) [VAN88] Van Dam, A.;PHIGS+ Committee; "PHIGS+ Functional Description, Revision 3.0", Computer Graphics, vol 22(3), Julio 1988, pp 125-218.
- (173) [VAN92] Van Houten, F.J.A.M.; "Manufacturing Interfaces", Annals of the CIRP, vol. 41/2/1992, pp 699-710.
- (174) [VER91] Vergeest, J.S.M.; "CAD surface data exchange using STEP", Computer Aided Design, vol.23, nº 4, Mayo 1991, pp 269-281.
- (175) [VIZ95] Vizán, A., Ríos, J.; "Information modeling in the design and manufacturing of molds", Proceedings of the Intl. Conference ISTA 95, Barcelona, Mayo 1995, pp 137-146.
- (176) [WAN91] Wang, H.P.; Li, J.K.; Computer Aided Process Planning, Elsevier, 1991.
- (177) [WAR96a] Warthen, B.; "Editor's Corner", Product Data Intl., Julio 1996, pp. 2,12-13.
- (178) [WAR96b] Warthen, B.; "Editor's Corner", Product Data Intl., Septiembre 1996, pp 2.
- (179) [WAT95] Watson, S.; "FIRES - Feature-based Integrated Rapid Engineering System" ESPRIT Project 6090, Final Report, Delcam International plc, Junio 1995.
- (180) [WEB90] Weber, D.M.; Moodie, C.L.; "Information management for computer-integrated manufacturing", Advance Manufacturing Engineering, vol. 2, Abril 1990.
- (181) [WIL87a] Wilson, P.R.; "A short history of CAD data transfer standards", I.E.E.E. Computer Graphics and Applications, Junio 1987, pp 64-67.
- (182) [WIL87b] Wilson, P.R.; "Information and/or Data?", I.E.E.E. Computer Graphics and Applications Noviembre 1987, pp 58-61.

- (183) [WIL87c] Wilson, P.R.; "Information Modeling", I.E.E.E. Computer Graphics and Applications Diciembre 1987, pp 65-67.
- (184) [WIL89] Wilson, P.R.; "PDES STEPs forward", I.E.E.E. Computer Graphics and Applications, Marzo 1989, pp 79-80.
- (185) [WIL90] Wilson, P.R.; "STEP ballot results", I.E.E.E. Computer Graphics and Applications, Mayo 1990, pp 79-82.
- (186) [WIL91] Wilson, P.R.; Modeling Languages Compared: EXPRESS, IDEF1X, NIAM, OMT and Shlaer-Mellor, Rensselaer Polytechnic Institute, Nueva York, Technical Report nº 91015, 1991.
- (187) [WIL92] Wilson, P.R.; Information Modeling and EXPRESS, Rensselaer Polytechnic Institute, Nueva York, Technical Report nº 93003, 1992.
- (188) [WU92] Wu, J.K.; Liu, T.H.; Fischer, G.W.; "PDES/STEP-Based information model for CAE and CAM integration", Intl. Journal of Systems Automation: Research and Applications (SARA) 2, 1992, 375-394.
- (189) [YOU92] Young, D.A.; Pew, J.A.; The X Window System programming & applications with Xt, Prentice Hall, 1992.
- (190) [ZEI91] Zeid, I.; CAD/CAM Theory and Practice, McGraw-Hill, 1991.
- (191) [ZUC94] Zucker, J.; Demaid, A.; "Object-oriented representation of qualitative engineering properties", Computer-Aided Design, vol. 26, nº 10, Octubre 1994, pp 722-734.

