

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA**

Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas



Estrategia de diseño de la distribución en  
planta y automatización de las tareas de  
diseño en ingeniería aeronáutica

**TESIS DOCTORAL**

**Juan Martínez Palacios**

**Tutor: Sebastián Lozano Segura**

**Julio 2011**



## **Agradecimientos**

A mis dos Glorias (madre e hija), a mis hijos Alfonso y Jorge; y a todo el resto de mi familia.

Sebastián Lozano Segura, no es un tutor al uso, sino el director e inspirador de esta tesis. Quiero agradecerle como amigo, compañero y tutor; su trabajo, comprensión y ánimo.

Asimismo quiero mostrar mi agradecimiento a todo el departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresa, y en especial a su director José Manuel Framiñán Torres, porque cual hijo pródigo, me han acogido de nuevo con aprecio y generosidad, para la realización de esta mi tesis doctoral.

También es necesario recordar a todos aquellos que colaboraron en las investigaciones, que como fruto alumbraron los artículos que componen esta tesis: M<sup>a</sup> Gloria Del Rio Cidoncha, Carmen Granja Pérez, J. Eugenio Iglesias González, Ramón López Carreras, María E. Martínez Lomas, Rafael Ortiz Marín, Francisco Ortuño Ortiz, José I. Rojas Sola, Mariano Ronquillo Japón y Francisco Valderrama Gual.



## Contenido

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Capítulo 1 INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>- 7 -</b>  |
| <b>1.1. Justificación .....</b>   | <b>- 7 -</b>  |
| <b>1.2. Objetivos .....</b>   | <b>- 9 -</b>  |
| <b>1.3. Descripción de los artículos.....</b>   | <b>- 10 -</b> |
| 1.3.1 Aplicación de sistemas expertos para el diseño automatizado de conjuntos estructurales aeronáuticos .....   | - 12 -        |
| 1.3.2 Diseño automatizado de componentes de conjuntos estructurales aeronáuticos utilizando las herramientas PowerCopies y UserFeatures del módulo Knowledgeware de CATIA V5... | - 15 -        |
| 1.3.3 Automatización de tareas repetitivas de diseño 3D usando macros.....  | - 16 -        |
| 1.3.4 Automatización del cálculo del material de partida para la fabricación en CN mediante técnicas de sistemas expertos .....   | - 18 -        |
| 1.3.5 Desarrollos para fabricación de piezas en chapa usando aplicación SOLID EDGE..  | - 22 -        |
| 1.3.6 Intercambio de modelos sólidos entre distintos sistemas de CAD mediante el formato neutro STEP .....  | - 25 -        |
| 1.3.7 Una comparativa de las estrategias de diseño de distribuciones en planta en Ingeniería y Arquitectura. ....   | - 29 -        |
| 1.3.8 Un modelo multidisciplinar para diseño de distribuciones en planta.....   | - 31 -        |
| 1.3.9 Referencias .....   | - 36 -        |
| <b>1.4. Resumen.....</b>  | <b>- 40 -</b> |
| <b>Capítulo 2 DISEÑO AUTOMATIZADO, MEDIANTE TÉCNICAS DE SISTEMAS EXPERTOS EN CATIA V5, APLICADO A COMPONENTES ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS .....</b>                              | <b>- 41 -</b> |
| <b>2.1. Introducción .....</b>  | <b>- 41 -</b> |

|  |               |
|--|---------------|
| <b>2.2. Las estructuras aeronáuticas y su diseño.....</b>  | <b>- 43 -</b> |
| 2.2.1 Diseño de un avión .....   | - 45 -        |
| <b>2.3. Descripción del módulo KNOWLEDGE de CATIA V5 .....</b>   | <b>- 47 -</b> |
| 2.3.1 Herramientas de Automatización: PowerCopies y UserFeatures .....   | - 48 -        |
| 2.3.2 Diferencias entre ambas herramientas .....   | - 49 -        |
| <b>2.4. Aplicación del módulo KNOWLEDGE de CATIA V5 al diseño automatizado de componentes estructurales aeronáuticos .....</b> | <b>- 49 -</b> |
| 2.4.1 Diseño de cuadernas .....  | - 50 -        |
| 2.4.2 Diseño de larguerillos .....   | - 57 -        |
| 2.4.3 Diseño de revestimientos, angulares y refuerzos de unión .....   | - 57 -        |
| 2.4.4 Montaje de componentes y análisis de interferencias .....  | - 58 -        |
| <b>2.5. Conclusiones .....</b>   | <b>- 59 -</b> |
| <br><b>Capítulo 3 AUTOMATIZACIÓN DE TAREAS UTILIZANDO VISUAL BASIC EN EL MODELADO DE SÓLIDOS CON CATIA V5.....</b>             |               |
| <b>3.1. Introducción .....</b>   | <b>- 61 -</b> |
| <b>3.2. Instrumentos para la automatización de tareas en el modelado de sólidos con Catia V5.....</b>                          | <b>- 62 -</b> |
| 3.2.1 PowerCopy .....  | - 62 -        |
| 3.2.2 UserFeature.....   | - 62 -        |
| 3.2.3 Macros .....   | - 63 -        |
| <b>3.3. Los lenguajes de programación en Catia V5 .....</b>  | <b>- 63 -</b> |
| 3.3.1 Creación de macros utilizando Visual Basic.....  | - 63 -        |
| <b>3.4. Estructura de objetos de automatización en Catia V5 .....</b>  | <b>- 64 -</b> |

---

|   |  |               |
|---|--|---------------|
| 3.4.1   | Estructura de objetos en un documento CATPart.....   | - 64 -        |
| 3.4.2   | Estructura de objetos en un documento CATDrawing .....   | - 65 -        |
| <b>3.5.</b>   | <b>Descripción de los procesos automatizados implementados .....</b>                                 | <b>- 65 -</b> |
| 3.5.1   | Automatización de tareas repetitivas .....   | - 66 -        |
| 3.5.2   | Desarrollo de nuevas herramientas .....  | - 67 -        |
| 3.5.3   | Control de ejecución de tareas .....   | - 69 -        |
| 3.5.4   | Accesibilidad de usuarios a tareas complejas .....   | - 70 -        |
| <b>3.6.</b>   | <b>Conclusiones .....</b>  | <b>- 71 -</b> |
| <br><b>Capítulo 4 DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO EN CATIA V5 PARA FACILITAR EL MECANIZADO DE PIEZAS DE CONTROL NUMERICO .. - 73 -</b> |  |               |
| <b>4.1.</b>   | <b>Introducción .....</b>  | <b>- 73 -</b> |
| <b>4.2.</b>   | <b>La teoría del conocimiento .....</b>  | <b>- 75 -</b> |
| <b>4.3.</b>   | <b>La organización del conocimiento en Catia V5.....</b>   | <b>- 76 -</b> |
| 4.3.1   | Knowledge Advisor .....  | - 77 -        |
| 4.3.2   | Knowledge Expert .....   | - 78 -        |
| 4.3.3   | Product Knowledge Template .....   | - 79 -        |
| <b>4.4.</b>   | <b>Normas generales para el tratamiento y cálculo del material de partida en un mecanizado .....</b> | <b>- 80 -</b> |
| <b>4.5.</b>   | <b>Fases de la construcción del modelo en el sistema experto .....</b>                               | <b>- 83 -</b> |
| <b>4.6.</b>   | <b>Resultados obtenidos. Aplicación sistema experto a una pieza real. -</b>                          | <b>89 -</b>   |
| <b>4.7.</b>   | <b>Conclusiones .....</b>  | <b>- 92 -</b> |
| <br><b>Capítulo 5 DESARROLLOS DE CALDERERÍA BAJO SOLID EDGE V11..... - 93 -</b>   |  |               |

---

|   |   |                |
|---|---|----------------|
| <b>5.1.</b>   | <b>Introducción .....</b>   | <b>- 93 -</b>  |
| <b>5.2.</b>   | <b>Estado del Arte en el software para desarrollo de calderería.....</b>  | <b>- 94 -</b>  |
| <b>5.3.</b>   | <b>Teoría geométrica del desarrollo de superficies.....</b>               | <b>- 95 -</b>  |
| <b>5.4.</b>   | <b>Funcionamiento de la aplicación. Manual de usuario .....</b>           | <b>- 98 -</b>  |
| <b>5.5.</b>   | <b>Consideraciones finales. ....</b>                                      | <b>- 101 -</b> |
| <br>  |   |                |
| <b>Capítulo 6 INTERCAMBIO DE MODELOS SÓLIDOS ENTRE DISTINTOS SISTEMAS DE CAD MEDIANTE EL FORMATO NEUTRO STEP.....</b> |   | <b>- 103 -</b> |
| <br>  |   |                |
| <b>6.1.</b>   | <b>Introducción .....</b>   | <b>- 103 -</b> |
| <b>6.2.</b>   | <b>Revisión histórica intercambio información entre sistemas CAD. -</b>   | <b>104 -</b>   |
| 6.2.1   | Primera generación de intercambio de datos: Traductores Directos.....     | - 105 -        |
| 6.2.2   | Segunda generación de intercambio de datos: Traductores Intermedios. .... | - 105 -        |
| 6.2.3   | Formatos Proprietarios.....   | - 106 -        |
| <b>6.3.</b>   | <b>Problemática general del intercambio de datos .....</b>                | <b>- 106 -</b> |
| <b>6.4.</b>   | <b>Descripción del formato Step.....</b>                                  | <b>- 107 -</b> |
| <b>6.5.</b>   | <b>Intercambio de modelos sólidos entre Solid-Edge V9 y Catia V5 ..</b>   | <b>- 108 -</b> |
| 6.5.1   | Características del Pre y Post-Procesador Step de Solid Edge V9.....      | - 109 -        |
| 6.5.2   | Características del Pre y Post-Procesador Step de Catia V5.....           | - 110 -        |
| 6.5.3   | Consejos prácticos para un correcto intercambio .....                     | - 110 -        |
| <b>6.6.</b>   | <b>Análisis de los resultados obtenidos .....</b>                         | <b>- 112 -</b> |
| <b>6.7.</b>   | <b>Conclusiones .....</b>   | <b>- 113 -</b> |



**Capítulo 7 ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS ESTRATEGIAS PARA LA DISTRIBUCION DEL ESPACIO EN PLANTA EN LOS CAMPOS DE LA ARQUITECTURA E INGENIERIA..... - 115 -**

**7.1. Introducción ..... - 115 -**

**7.2. Estrategias de composición arquitectónica..... - 117 -**

**7.3. Metodologías para distribución en planta en ingeniería industrial- 119 -**

7.3.1 Métodos de generación de layouts..... - 121 -

7.3.2 Técnicas para la optimización de soluciones ..... - 122 -

**7.4. Comparativa de los procesos de composición ..... - 123 -**

**7.5. Conclusiones ..... - 125 -**

**Capítulo 8 UN MODELO MULTIDISCIPLINAR PARA EL DISEÑO DE DISTRIBUCIONES EN PLANTA..... - 127 -**

**8.1. Estado del arte en el diseño de distribuciones en planta ..... - 127 -**

**8.2. Técnicas utilizadas en la metodología propuesta ..... - 131 -**

8.2.1 Slicing trees ..... - 132 -

8.2.2 Feng Shui como una herramienta de diseño arquitectónico..... - 134 -

8.2.3 La búsqueda de rutas como problema de la Inteligencia Artificial..... - 135 -

**8.3. Desarrollo de una metodología para resolver problemas de distribución en planta..... - 137 -**

8.3.1 Distribución del espacio en planta o localización..... - 137 -

8.3.2 Conexionado..... - 141 -

8.3.3 La orientación en el diseño de distribuciones en planta..... - 143 -

**8.4. Descripción y análisis de los resultados ..... - 144 -**

---

|   |   |                |
|---|---|----------------|
| 8.4.1   | Módulo de ubicación en ingeniería.....                        | - 144 -        |
| 8.4.2   | Módulo de ubicación en Arquitectura.....                      | - 147 -        |
| 8.4.3   | Módulo de routing .....                                       | - 148 -        |
| 8.4.4   | Método completo.....  | - 148 -        |
| <b>8.5.</b>   | <b>Conclusiones .....</b>                                     | <b>- 150 -</b> |
| <b>Capítulo 9 CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS.....</b> |   | <b>- 153 -</b> |
| <b>9.1.</b>   | <b>Conclusiones .....</b>                                     | <b>- 153 -</b> |
| <b>9.2.</b>   | <b>Contribuciones originales y novedosas de la tesis.....</b> | <b>- 155 -</b> |
| <b>9.3.</b>   | <b>Desarrollos futuros.....</b>                               | <b>- 157 -</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                  |   | <b>- 159 -</b> |
| <b>ANEXO: PUBLICACIONES .....</b>                         |   | <b>- 165 -</b> |

# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Justificación

Decía Ortega y Gasset: “Yo soy yo y mi circunstancia..” por esto, y antes de nada permítaseme que me presente, y revise brevemente mi periplo académico, investigador y profesional, con la seguridad de que ya esto clarificará el objetivo de esta tesis.

En el año 1987 obtengo la titulación de Ingeniero Industrial, en la especialidad Mecánica, en la entonces ETSII, de la av. de Reina Mercedes. Sin discontinuidad, pues ya trabajaba como becario, paso a ser plantilla de Construcciones Aeronáuticas (CASA), empresa dedicada a la fabricación de aviones y hoy integrada en la conocida multinacional AIRBUS, donde me dedico a tareas relacionadas directamente con la organización de la producción. Esto, y el vacío que uno siempre siente de lo que ha sido su mundo durante años, hace que inicie, casi de inmediato, la especialidad de Organización Industrial compaginando mañanas en CASA, y tardes en esta escuela, mi otra casa. Tras aprobar 6º curso, y comprobar la dificultad para seguir 5º curso que se impartía en turno de mañana, me decido por iniciar el doctorado, más ajustado a mi horario y circunstancias profesionales. Y así termino los cursos y obtengo la

suficiencia investigadora en el programa de Doctorado denominado: Ingeniería de Organización del departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas, en el año 1994.

En el curso 89-90 tengo la oportunidad de entrar a dar clase, como profesor a tiempo parcial, de Dibujo Técnico II (el conocido como Dibujo de 2º curso). Abriendo una puerta que comunicaba mi faceta profesional en la producción de aviones, con la académica; utilizando y enseñando paralelamente: vistas, cortes, planos, normas técnicas, etc. Pero mi dedicación a esta disciplina, cerraba la puerta a la ejecución de la tesis y a mis inquietudes en el área de organización de la producción.

Con la agrupación de las cátedras y la aparición de los departamentos, la de Dibujo, queda inicialmente encuadrada en el departamento de Ingeniería del Diseño, por esto mis primeras inquietudes investigadoras tienen que ver con la distribución de espacios en planta, uno de los temas más paradigmáticos en este área de conocimiento, y al que están dedicados mis primeros trabajos cronológicamente, como veremos con posterioridad.

Pero nuestra filiación al departamento de Diseño no duró demasiado, los profesores y asignaturas de Geometría Descriptiva, Dibujo Técnico, Topografía, etc.; en las escuelas de Ingenieros, EUITA y Arquitectura Técnica se independizaron, y constituyeron en el año 1995, el departamento de Ingeniería Gráfica, teniendo como hilo conductor todo lo relativo a las formas, métodos y técnicas de representación, de los objetos y diseños industriales.

Y es en este segundo entorno, donde he desarrollado la mayor parte de mi recorrido investigador. En este tiempo, no ha sido difícil establecer sinergias entre mi dedicación profesional continuada a la fabricación y montaje de estructuras aeronáuticas, y la docencia de la Normalización Industrial y tecnologías CAD-CAM, para la representación 3D (tridimensional) y la fabricación automatizada.

Por ello todos mis trabajos en este campo tienen un objetivo común: buscar ayudas a las tareas de diseño y hacerlas más fáciles automatizándolas. En segundo lugar, como en su inmensa mayoría estas tareas de diseño son realizadas hoy con la ayuda de ordenadores y utilizando herramientas CAD; todas estas ayudas van a implementarse

en aplicaciones CAD, y muy especialmente en el programa CATIA, standard de diseño que se ha impuesto en la industria, en general, y de forma casi monopolística en la aeronáutica. Y como tercer y último aspecto común, éste es el sector con el que están relacionados o dedicados la mayoría de mis esfuerzos.

## 1.2. Objetivos

Además de los objetivos generales enunciados en este primer apartado: desarrollo de herramientas de automatización en tareas repetitivas de diseño aeronáutico, usando macros y sistemas expertos; y el estudio, análisis y comparación de las diferentes estrategias de diseño en distribuciones en planta; los siguientes objetivos específicos animan la ejecución de este proyecto de tesis doctoral. En relación con la automatización de tareas en el diseño aeronáutico:

- Diseño automatizado de conjuntos estructurales aeronáuticos con función sustentadora (alas, alerones, flaps, etc.) aplicando herramientas de sistemas expertos.
- Automatización de tareas elementales y repetitivas para el diseño de piezas aeronáuticas usando macros.
- Automatización del cálculo del material de partida para la fabricación de piezas aeronáuticas en mecanizado de CN (Control Numérico) mediante técnicas de sistemas expertos.
- Automatización del cálculo del desarrollo en superficie del material de partida para la fabricación de piezas aeronáuticas en chapa (sheet metal), usando técnicas de programación para la aplicación SOLID EDGE.
- Intercambio de modelos sólidos entre distintos sistemas de CAD mediante el formato neutro STEP: análisis de la situación y propuestas de mejora al proceso.

En relación con el diseño de distribuciones en planta:

- Revisar detalladamente todos los acercamientos al problema de la distribución en planta, tanto desde la óptica de los arquitectos como desde el punto de vista de la ingeniería, elaborando una taxonomía, que utilizando diferentes criterios,

los clasifique. Elaborar una comparativa de las diferentes metodologías que nos permita aprovechar las fortalezas de cada de ellas.

- Formulación de una propuesta propia multidisciplinar para el modelado de distribuciones en planta. Apoyándose en la investigación anterior, desarrollar un método original y propio, susceptible de ser utilizable por ambos colectivos profesionales; y que partiendo del planteamiento, común a ambos del problema, compatibilizará el cumplimiento de los diferentes objetivos.

### **1.3. Descripción de los artículos**

En este apartado se resumen los diferentes artículos que componen esta tesis, y se describe a continuación, la contribución de cada uno a los objetivos generales y particulares de la misma.

Alterando el orden cronológico de los artículos, se han agrupado en primer lugar por su campo de aplicación; situando en primer lugar los relacionados con la industria aeronáutica, por ser mayoría, y después se han dispuesto los dos últimos dedicados a la distribución de espacios en planta. Tras esta separación en bloques, el orden que se ha seguido responde a la intención de hacer este texto más inteligible y ameno para el lector, que usualmente no estará familiarizado con los temas que se tratan.

El seleccionado en primer lugar, hace una somera descripción del proceso de diseño de un avión, y de sus diferentes componentes, describiendo las diferentes fases, en forma secuencial del mismo: conceptual, preliminar y de detalle; e introduciendo asimismo las fases y procesos a seguir desde el diseño, hasta la completa industrialización y puesta en fabricación, de una aeronave. En este artículo se describen también como utilizar las herramientas de sistemas expertos, de que disponen las aplicaciones CAD 3D (en particular CATIA), para realizar el diseño preliminar y de detalle de componentes.

En el segundo artículo, determinadas tareas que se usan repetitivamente en el proceso de diseño de detalle de elementos aeronáuticos, se van a automatizar. Utilizando para esto los macros, la más sencilla de las herramientas disponible para programar procesos repetitivos dentro de una aplicación CAD.

En las dos siguientes publicaciones, la problemática a resolver entra dentro del ámbito de la fabricación, segunda etapa, tras el diseño, de cualquier desarrollo industrial. En la primera se expondrá como, apoyado en el uso de un sistema experto, se va a mejorar el proceso de determinación del material de partida necesario, para la fabricación en mecanizado en Control Numérico de piezas. Esta aplicación permitirá un ahorro de material y gracias a su automatización, reducirá el tiempo de realización de esta tarea. El segundo de los artículos describe un sistema capaz de calcular las dimensiones y contorno de la chapa plana, que tras ser doblada o conformada, tenga la forma tridimensional deseada para servir de unión entre dos piezas dadas, cuyas formas son los datos de partida del problema.

El último artículo de este bloque, revisa un problema común entre las ingenierías dedicadas al diseño y la fabricación utilizando sistemas CAD, como ocurre masivamente con las del sector aeronáutico. No hay un único software dedicado al CAD, que monopolice el mercado; y los modelos 3D que se obtiene de las diferentes aplicaciones, tienen que ser traducidos para poder ser utilizados por otras compañías que no comparten el mismo sistema. Revisar la situación de estos traductores y proponer acciones que faciliten esta tarea es el objetivo de esta referencia.

En el segundo bloque de publicaciones, dedicadas a la distribución del espacio en implantaciones industriales y arquitectónicas, la primera hace una descripción de los muy distintos tratamientos que de este problema hacen ambos colectivos, desde su planteamiento inicial, hasta los diferentes caminos seguidos para encontrar soluciones posibles, y la manera de seleccionar la óptima.

En el segundo artículo se propone una metodología que resuelve ambos tipos de distribuciones; descomponiendo el problema en tres tareas: layouts, con la ayuda de arboles de corte, conexionado de espacios, resuelto utilizando un sistema experto, y por último la orientación, usando reglas del Feng Shui. Estos tres aspectos y sus diferentes técnicas se integrarán en una sola aplicación, uniéndose así los conocimientos y la experiencia de arquitectos e ingenieros.

### **1.3.1 Aplicación de sistemas expertos para el diseño automatizado de conjuntos estructurales aeronáuticos**

La industria evoluciona cada vez con más rapidez, sucediéndose vertiginosamente los cambios de productos, modelos, técnicas de fabricación, etc.; por ello las empresas tienden a automatizar cada vez más sus sistemas y procesos. En este entorno, al que el sector aeronáutico no es ajeno, nace este trabajo, que consistirá en el diseño, en CATIA V5, de una de las partes del fuselaje de un avión comercial.

En la estructura típica de un avión, existe gran cantidad de elementos que se repiten (cuadernas, larguerillos, revestimientos, angulares y refuerzos de unión); son estos los que se van a automatizar, de forma que el diseñador sólo tenga que efectuar dos o tres operaciones para poder definirlos, liberándolo de carga de trabajo, y asegurando que el elemento automatizado va a cumplir con las exigencias de la norma.

Aprovecharemos las posibilidades que ofrece CATIA V5 para hacer auténticos programas que doten de inteligencia o experiencia al diseño. Las principales herramientas de esta aplicación, utilizadas para automatizar el diseño aquí, serán el Power Copy y el User Feature; y para dotarlo de conocimiento la utilización de parámetros, tablas, fórmulas, reglas y chequeos.

#### **1.3.1.1 Las estructuras aeronáuticas y su diseño**

La estructura de un avión se considera generalmente compuesta de tres partes principales: el fuselaje, las alas y los estabilizadores. El fuselaje es la parte principal o cuerpo del avión, la de mayor volumen y la única que no contribuye a su capacidad de vuelo. Las alas de un avión son las superficies diseñadas para producir sustentación cuando se mueve a gran velocidad a través del aire. En cada semiala se encuentran montadas diversas superficies encargadas de producir algún efecto determinado sobre el vuelo de la nave: alerones, flaps, slats y spoilers. Fijado en el fuselaje se observa un plano montado en forma vertical, llamado estabilizador vertical o deriva. Abisagrado a él se encuentra una superficie móvil, el timón de dirección. Algunas veces, montados en el extremo superior de la deriva, otras a cada lado del fuselaje (depende del fabricante del avión), se sitúan los planos horizontales de cola o estabilizador



horizontal. En su borde de salida se halla una superficie móvil, cuyo movimiento controla y maneja el cabeceo de la nave, llamado timón de profundidad.

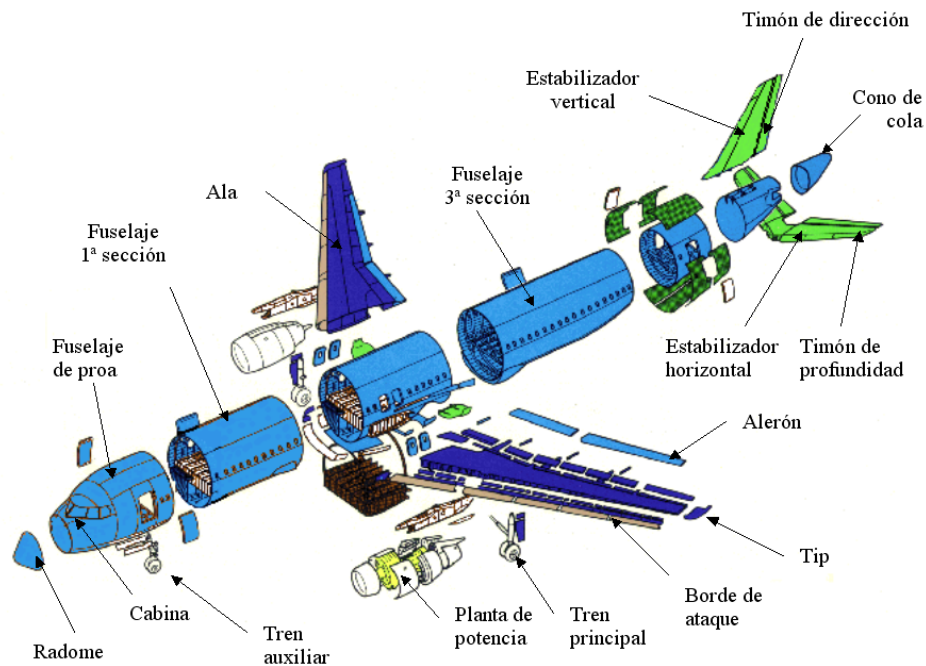


Figura 1.1: Componentes estructurales de un avión

Todas estas estructuras destinadas a la sustentación: alas, alerones, flaps, slats, spoilers, estabilizadores y timones; comparten la misma forma geométrica de perfil sustentador y la misma estructura interna constituida por:

- Costillas: encargadas de mantener la forma del perfil aerodinámico del ala. Suelen estar formadas de una sola pieza de chapa doblada con los contornos exteriores del perfil del ala.
- Largueros: están formados por cordones y por el alma. Su perfil tiene la forma de doble T, en dirección perpendicular a la de vuelo.
- Revestimientos: forman una superficie impermeable para soportar las presiones dinámicas.
- Larguerillos: fabricados generalmente por extrusión, estos perfiles que unen costillas y revestimientos, hacen la misma función que las tirantas de una estructura metálica.

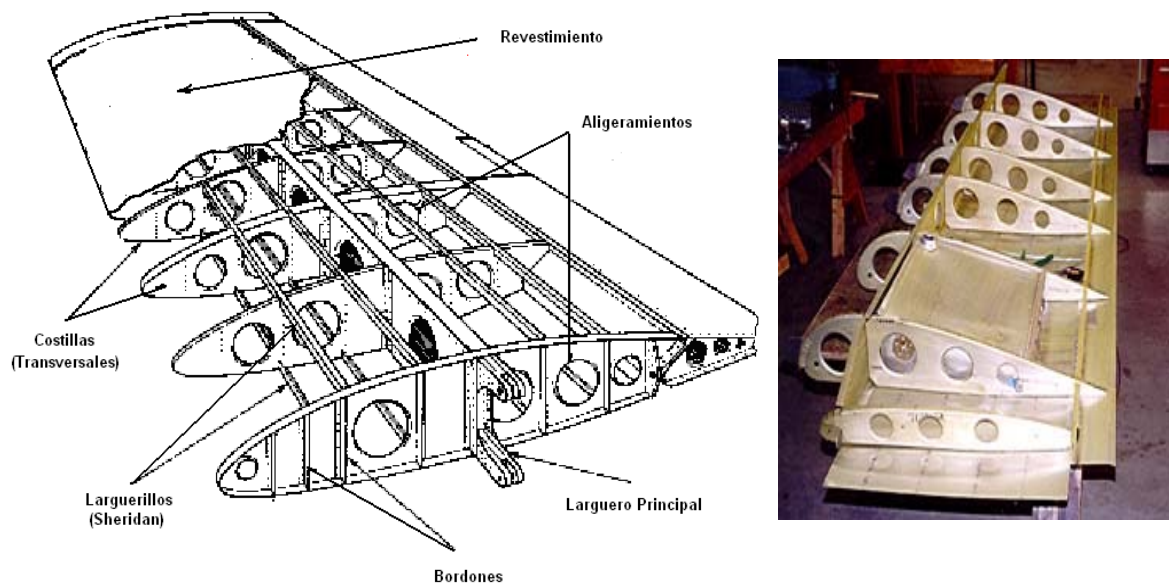


Figura 1.2: Detalles de fabricación de un conjunto sustentador

Los requerimientos o especificaciones de diseño consisten en los objetivos que se desea cumpla la aeronave. Una vez establecidas las especificaciones, el proceso de diseño que permite al fabricante entregar finalmente al cliente un avión ha de pasar por las siguientes fases: Diseño Conceptual, Diseño Preliminar y Diseño en Detalle.

En la fase de Diseño Conceptual, un reducido grupo de ingenieros, no expertos en ningún sistema del avión, da rienda suelta a la imaginación y buscan el avión ideal. Es aquí cuando se deciden las dimensiones generales del fuselaje, y se hace una estimación del peso total del avión. Se determina la superficie del ala, y los valores aproximados del tamaño de: los estabilizadores de cola, el ángulo de flecha del ala, flaps, timones y alerones.

En la fase de Diseño Preliminar entran los ingenieros especialistas, y cada uno se encarga de afinar y optimizar el área tecnológica que le compete, con sofisticados cálculos por ordenador. Esta fase termina cuando todos los sistemas del avión están perfectamente definidos y además queda establecida la situación de cuadernas, largueros y costillas de la estructura.

En la última fase Diseño en Detalle, se definen todas las piezas cuya unión formarán el avión. En definitiva, se plasman en planos y en sistemas CAD, hasta el último remache del avión.

### **1.3.2 Diseño automatizado de componentes de conjuntos estructurales aeronáuticos utilizando las herramientas PowerCopies y UserFeatures del módulo Knowledgware de CATIA V5**

Una gran novedad que aporta el CATIA V5 con respecto a versiones anteriores es la introducción de un módulo destinado al conocimiento: Knowledgware. El Knowledgware de CATIA V5 ayuda a automatizar el diseño, haciendo uso de diferentes herramientas, entre estas se encuentran los PowerCopies (PC) y los UserFeatures (UF).

Ambos elementos se crean y se insertan de la misma forma, y el objetivo para el que fueron creados es prácticamente idéntico: ayudar al usuario a dibujar figuras que se repiten en el diseño. Las diferencias principales que hay entre ambas herramientas se describen a continuación:

- El PC posee una geometría abierta, y el UF cerrada. Esto quiere decir que cuando se inserta un PC, aparecen en el árbol de especificaciones todas las operaciones necesarias para obtener esa geometría, pudiendo editarlas, cambiarlas, etc. Sin embargo cuando se inserta un UF, aparece en el árbol como una Feature (operación) más del diseño, no se puede cambiar, ni editar ni se puede determinar cómo ha sido creada.
- En un PC se pueden introducir Bodies sin operar, y en un UF sólo se pueden introducir Bodies si estos han sido operados mediante operaciones booleanas.
- Un PC puede ser modificado si se edita haciendo un doble clic sobre él, y un UF no. Además, si se modifica algún elemento incluido en el interior de un UF, es recomendable volver a crear el UF, ya que pueden ocasionarse errores de inserción.

Para ilustrar el alcance de estas herramientas, se va a presentar una aplicación práctica. Se va a modelar, como ejemplo, el timón de altura del avión T270. Dicho timón no es más que una estructura aeronáutica ficticia, que contiene los elementos estructurales típicos del diseño aeronáutico: costillas , largueros, revestimientos y larguerillos.

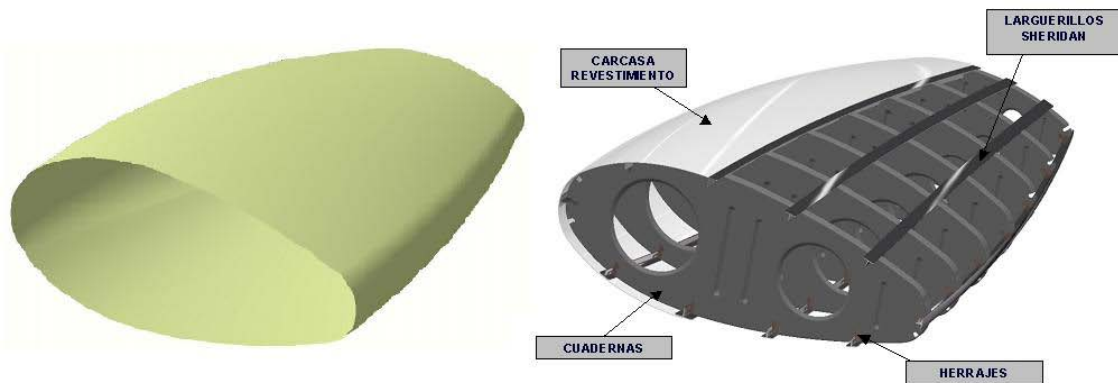


Figura 1.3:Timón de Altura del avión T270

En conclusión la utilización de un sistema experto va a permitir, no sólo automatizar el diseño, con la reducción de tiempo consecuente; sino que también posibilitará que muchos usuarios menos cualificados, como delineantes, puedan realizar tareas de diseño, recogiendo el conocimiento almacenado por el experto (ingeniero) en el sistema, y con la seguridad de que los resultados cumplen las normas establecidas.

### **1.3.3 Automatización de tareas repetitivas de diseño 3D usando macros**

El objetivo fundamental de este artículo será estudiar cómo se aborda la automatización de tareas en el modelado de sólidos con Catia V5, mediante el uso de macros, trabajando bajo el sistema operativo Windows y con el lenguaje de programación Visual Basic. Una macro es un código (escrito en un determinado lenguaje de programación) bajo el cual se agrupan un conjunto de operaciones que definen una tarea concreta. Se utilizan para automatizar tareas a realizar de forma repetitiva, y también para desarrollar nuevas operaciones (Features), que faciliten el proceso de modelado y que no estén incluidas por defecto dentro del menú de órdenes. El trabajo presentado mostrará los conceptos necesarios para empezar a

trabajar con las macros y se introducirá en los lenguajes de programación (basados en objetos) compatibles con Catia V5. Posteriormente, describirá los distintos objetos a partir de los cuales se construyen las macros para el modelado de sólidos. Y por último, se incluirán varias aplicaciones, que clarificaran el uso de las herramientas estudiadas, y que pongan de manifiesto su gran utilidad.

Catia V5 ofrece la posibilidad de automatizar tareas en el proceso de modelado de sólidos mediante el uso de tres herramientas: el “PowerCopy”, el “UserFeature” y las macros. El objetivo, de cualquiera de ellas, será la generación automática de resultados a partir de unos elementos de entrada o “inputs” que deberán ser en cualquier caso totalmente genéricos.

Una macro es un código escrito en un determinado lenguaje de programación y bajo el cual se agrupa el conjunto de operaciones que definen la tarea a automatizar. Las ventajas esenciales que ofrece esta herramienta frente a “PowerCopy” y “UserFeature” son las siguientes:

- Automatización todo tipo de tareas en el modelado sólido.
- Ejecución rápida y sencilla mediante un icono en pantalla.
- Reducir al máximo el número de “inputs”, minimizando así la intervención del usuario en el proceso.
- Repetir la tarea que se automatiza un número de veces indefinido.
- Posibilidad de trabajar conjuntamente con documentos CATPart y CATDrawing, y así generar todo tipo de vistas del modelo sólido.

Catia V5 permite la creación y ejecución de macros mediante el uso de distintos lenguajes de programación basados en objetos. Cualquier entidad de la aplicación (documentos, ventanas gráficas, geometría, parámetros, fórmulas...) será representada y manejada desde estos lenguajes como un “objeto”. Se pueden utilizar entornos como: Visual Basic 5, Development Studio, Visual Basic para Aplicaciones 6.0, Visual Basic Scripting Edition, Java/JavaScript o Visual C++. La creación de macros está directamente vinculada al lenguaje de programación Visual Basic en dos entornos propios de programación: el CATScript (edición simplificada de Visual Basic) y el VBScript (derivado del Visual Basic Scripting Edition); y un acceso directo a través

del menú de herramientas al entorno de programación externo Visual Basic para Aplicaciones 6.0

### **1.3.3.1 Descripción de los procesos automatizados implementados**

Las siguientes macros han sido desarrolladas utilizando el lenguaje de programación Visual Basic para Aplicaciones 6.0. El usuario será capaz de ejecutar las aplicaciones trabajando sobre cualquier modelo sólido, con tan solo pulsar un icono situado en pantalla.

- Generación de taladros avellanados
- Generación del “Stock” de partida de piezas mecanizadas
- Generación de los planos que pasando por una recta, formen  $\alpha$  grados con un plano dado
- Generación automática de aligeramientos normalizados en chapas planas.

### **1.3.4 Automatización del cálculo del material de partida para la fabricación en CN mediante técnicas de sistemas expertos**

El desarrollo alcanzado en las dos últimas décadas por los sistemas de CAD-CAM ha hecho evolucionar todas las tecnologías de fabricación, en especial la de Mecanizado; de modo que en la actualidad, ha casi desaparecido el mecanizado convencional, manual o semiautomizado, utilizándose masivamente el Control Numérico (CN). Disponiendo del modelo sólido creado con alguna aplicación CAD, el módulo CAM de la misma, permitirá fijando parámetros característicos de la herramienta y de la máquina, la fabricación por CN (en Centros de Mecanizado, Células Flexible, etc.) de la pieza en cuestión. No obstante, existe una tarea preliminar, poco estudiada, pero de gran importancia que es la selección del material o trozo de partida, con sus dimensiones y con todas las fijaciones o amarres precisos, para que la máquina de CN pueda realizar todas las tareas posteriores de arranque de viruta. Una correcta decisión implicará un ahorro en materia prima y además en tiempo de mecanizado.

Los sistemas expertos, que nacieron en el año 1977, son sistemas informáticos que incorporan de forma operativa el conocimiento de personas experimentadas y lo aplican, mediante la simulación de los procesos de aprendizaje, memorización, razonamiento y comunicación del resultado al usuario. Tratando de emular el razonamiento humano, estos sistemas nacen de la colaboración de expertos e ingenieros del conocimiento.

Los procesos industriales en general, y éste (acerca de la determinación del trozo de partida para el mecanizado de una pieza) que nos ocupará, en particular, son difícilmente secuenciables, por lo que los sistemas de programación tradicional se han mostrado ineficaces; por el contrario los sistemas basados en el conocimiento (entre los que se hallan los sistemas expertos) han experimentado un auge enorme, al permitir capturar, y sobre todo almacenar, la experiencia adquirida por los ingenieros durante su trabajo y formación. Como prueba de esto, las más potentes aplicaciones comerciales de CAD-CAM, como es el caso de CATIA V5, han incorporado entre sus módulos alguno destinado a la gestión y programación del conocimiento.

En este trabajo se desarrollará de un sistema experto, creado con el módulo Knowledgeware de CATIA V5, con el objetivo de determinar: dada una pieza cualquiera a mecanizar, ya modelada con esta aplicación, las dimensiones de la materia prima de partida, así como sus amarres a la bancada de la máquina de CN.

#### **1.3.4.1 Consideraciones para el tratamiento y cálculo del material de partida en un mecanizado**

Todas las piezas que se mecanizan por control numérico parten de un paralelepípedo que se ajusta lo más posible a la pieza final; y que en función del material, el peso y la precisión de mecanizado, recibe una serie de operaciones previas que están normalizadas:

- Planeado de los materiales empleados: para garantizar un buen asiento, se necesitará que al menos se tenga una cara perfectamente plana.
- Taladros de cogida: la cogida del material de partida al útil suele ser por tornillos; su número y situación dependerá de la geometría de la pieza y del utillaje a emplear.

- Taladros de centraje: sirven para coordinar mecanizados entre las distintas posturas de la pieza o sus montajes en útiles distintos.
- Taladros de izado: cuando el taco sea difícil de manejar por su tamaño o peso, se le darán unos taladros roscados para montar posteriormente unos cáncamos de izado.
- Taladro de descuelgue: para máquinas de mesa vertical, en que todas las creces que se hayan dado a los taladros de cogida van hacia el mismo sitio.

#### **1.3.4.2 Fases de la construcción del modelo en el sistema experto**

El proceso actual de fabricación que se sigue en las piezas de mecanizado es: una vez que se dispone del diseño de la pieza terminada, en un modelo sólido, que suministra el departamento de Proyectos o los departamentos de Fabricación, y en este particular el área de Mecanizado por Control Numérico, se debe establecer la geometría del material de partida, con sus creces y cogidas, envolviendo la pieza origen, y a la vez resultado del proceso final de fabricación que utiliza tecnologías de CAD-CAM.

Este procedimiento es lento y muy repetitivo, porque los pasos a seguir son prácticamente los mismos, y hay que hacerlo cada vez que se diseña y fabrica una nueva pieza. La aplicación pretende, con las herramientas que nos proporciona Catia, y su módulo de Knowledge, hacer este proceso sólo una vez y que sirva para el resto de las piezas de la misma familia. La aplicación a diseñar, utilizando técnicas de sistemas expertos, en otras palabras basada en el conocimiento, se dividirá en fases o etapas que se pasan a describir:

- Construcción del Modelo Base: será la pieza que se quiere construir o material de partida, servirá como patrón para construir la geometría inicial que va a hacer falta para enlazar el resto de etapas
- Construcción del Material de partida tangente: a partir de la geometría, se construirá un paralelepípedo con seis lados tangentes a las seis caras del espacio tridimensional que contenga a la pieza.
- Construcción del Material de partida con las crecidas: siguiendo las normas de mecanizado de piezas de fresado por control numérico, el material de partida



de una pieza no es tangente a las caras, sino que por cada lado tiene unas crecidas para posicionar los taladros de cogida e izado.

- Construcción de los taladros: se construirán todos los tipos de taladros de posicionamiento y cogida del material al útil, taladros de izado vertical y taladros de izado horizontal

Se emplearan UserFeatures, en vez de PowerCopies, porque cuando se utilice este modelo en otra pieza, el propósito será que el nuevo diseñador sólo pueda cambiar los parámetros que se han definido previamente como editables, y el modo en que se ha hecho la aplicación, quedará oculto al nuevo diseñador. Se consiguen de esta forma dos ventajas fundamentales: primero, que ninguna persona excepto la que ha realizado la aplicación pueda manipularla y deteriorarla; y el know-how permanece en la empresa que está creando la aplicación, y si esta se vende podrán usar la herramienta, pero no sabrán cómo se ha realizado.

Se han programado, en la construcción del modelo, cuatro UserFeatures que permiten crear: la geometría inicial, el paralelepípedo tangente, el paralelepípedo con las crecidas y los taladros de posicionamiento. Después se establecerá una Regla de Diseño, para precisar si es necesario o no poner los taladros verticales u horizontales dependiendo de lo que afecte el Estado de Entrada y la mesa de mecanizado. Para terminar la aplicación se creará el Documento Template, donde estarán incluidos todos los elementos que componen el modelo. Éste se guarda en un Catálogo, y se podrá reutilizar para cualquier pieza de nuevo diseño.

Como resumen este trabajo tiene como proposito la elaboración de una aplicación informática, a utilizar en el área de Mecanizado por Control Numérico de una planta industrial. Y con tres objetivos que se pueden claramente cuantificar: el ahorro en materia prima y las reducciones de tiempos de mecanizado, y de programación para el diseño del trozo de partida. Como factores cualitativos destacar que se abrirá una puerta para la conservación y el futuro aprovechamiento de la experiencia de los técnicos en el área de mecanizado y el entrenamiento realizado en el uso de sistemas y técnicas basados en el conocimiento, fruto de la colaboración en el diseño del sistema experto.

### **1.3.5 Desarrollos para la fabricación de piezas en chapa usando la aplicación SOLID EDGE**

Los procesos de fabricación de piezas basados en el conformado de hojas planas de chapa, que se conocen en general como chapistería, son ampliamente utilizados por su sencillez, ahorro en materia prima, peso y coste de las partes resultantes, con relación a otros procedimientos.

En el mercado del software aplicado a la ingeniería y el diseño, existen herramientas en diferentes entornos gráficos que permiten obtener los desarrollos en verdadera magnitud de una variada gama de elementos empleados en calderería industrial (tolvas, uniones, codos, etc.) con el fin de automatizar los procesos de corte de chapa.

Este trabajo se centra en una aplicación para obtener los desarrollos de diferentes construcciones geométricas modeladas en 3D, que representan elementos utilizados en calderería industrial. Dichos desarrollos, obtenidos en un entorno plano, pueden ser utilizados como plantilla digital para un software de corte de chapa por control numérico (CN).

El entorno CAD escogido es Solid Edge V11 porque es un programa de uso extendido, dispone de un modelado potente de sencillo manejo, y su capacidad de automatización mediante programación es alta. También dispone del módulo plano necesario para obtener los desarrollos de los modelos de superficies generados, y de una amplia gama de herramientas de edición. Además es la aplicación que la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla utiliza para impartir las asignaturas de Representación Gráfica por Ordenador (3er curso) y Expresión Gráfica en la Ingeniería (1er curso).

Para desarrollar la aplicación, se ha seleccionado Microsoft Visual Basic, ya que el propio Solid Edge dispone de una librería de objetos, funciones y métodos realizados en dicho lenguaje, que permiten la actualización y el desarrollo de nuevas herramientas de manera sencilla.

### **1.3.5.1 Estado del Arte en el software para desarrollo de calderería**

Los programas informáticos para obtener desarrollos de calderería con el fin de automatizar los procesos de corte de chapa, basan su funcionamiento en la selección del tipo específico de superficie a desarrollar, así como la posterior introducción, vía teclado, de los datos geométricos necesarios para determinarla y realizar su desarrollo. Esto implica la necesidad de conocer dichos datos a priori, siendo la ejecución de la aplicación, en general, una engorrosa sucesión de fórmulas y cálculos matemáticos.

La aplicación de Visual Basic, a crear en este trabajo, permitirá modelar una superficie genérica en 3D a través de Solid Edge, y obtener el desarrollo de dicho modelo, únicamente pulsando el botón de ejecución de la aplicación. Esta se encargará de determinar el tipo de superficie, sus datos geométricos y su desarrollo en formato plano. Una vez materializado el mismo, el módulo plano de Solid Edge, permitirá editarlo según las preferencias y necesidades del usuario.

A continuación se pasan a revisar las principales aplicaciones, disponibles en el mercado profesional, para obtener desarrollos de calderería, así como algunas otras realizadas por diferentes universidades, lo que permitirá tener una imagen del estado actual de este software, y su utilización en los procesos de corte industrial.

Para esta revisión se ha realizado una clasificación de las aplicaciones atendiendo a una serie de factores como su entorno de trabajo, salidas con el fin de automatizar los procesos de corte de material y características específicas. Toda esta información ayuda a realizar una comparativa entre las mismas y determinar sus ventajas e inconvenientes.

| SOFTWARE EXISTENTE PARA DESARROLLOS Y CORTE EN CALDERERÍA |                           |  |   |
|---|---------------------------|--|---|
| Aplicación  | Entorno de Trabajo        | Salida para corte de material  | Características   |
| MODDES<br>[37]  | Autocad                   | Enlaza de forma directa con un programa para corte por Control Numérico convencional como MODCOR | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Desarrolla gran cantidad de superficies</li> <li>– Muy extendida en el mercado</li> <li>– Necesita conocer e introducir parámetros geométricos de la superficie por teclado</li> </ul>   |
| GALILEO<br>[36]   | Autocad<br>Microstation   | Salida en fichero DWG para la trayectoria de corte   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– El nº de superficies que desarrolla es escaso</li> <li>– Necesita conocer e introducir parámetros geométricos de la superficie por teclado</li> </ul>  |
| LANTEK<br>EXPERT<br>[38]                                  | Entorno propio de trabajo | Corte del material integrado en el propio paquete  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Aplicación integral: diseño, fabricación, control de producción,...</li> <li>– No específica para calderería</li> <li>– Necesita conocer e introducir parámetros geométricos de la superficie por teclado</li> <li>– Precio elevado</li> </ul> |
| UNIVERSIDAD DE CADIZ<br>[39]                              | Autocad<br>3D Studio      | No prevista conexión con control numérico  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Sólo trabaja en 2D</li> <li>– Aplicación docente pero no profesional</li> <li>– Necesita conocer e introducir parámetros geométricos de la superficie por teclado</li> </ul>   |
| UNIVERSIDAD DE GIRONA<br>[40]                             | Autocad                   | Salida en fichero DWG para la trayectoria de corte   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– El nº de superficies que desarrolla es escaso</li> <li>– Necesita conocer e introducir parámetros geométricos de la superficie por teclado</li> </ul>  |

Figura 1.4: Softwares existentes para los desarrollos de calderería

### 1.3.5.2 Consideraciones finales.

La aplicación desarrollada consigue integrar, de manera efectiva, en el entorno de Solid Edge, teoría y métodos geométricos para el desarrollo de piezas de calderería. Primero se genera el modelo en 3D, y luego la aplicación, sin necesidad de entrada de datos geométricos por teclado, obtiene el desarrollo de dicha superficie, únicamente seleccionando el tipo y definiendo el número de divisiones de aproximación; dibujando dicho desarrollo en un documento plano de salida, que el usuario podrá

editar o imprimir, trabajando de manera totalmente integrada en el entorno plano de Solid Edge.

Su aplicación a los procesos de corte de material es clara, ya que a partir de los desarrollos obtenidos, y mediante la utilización de un módulo específico, para el cálculo de trayectorias, es posible automatizar el corte con la utilización de máquinas de control numérico.

### **1.3.6 Intercambio de modelos sólidos entre distintos sistemas de CAD mediante el formato neutro STEP**

Hoy en día, el trabajo del ingeniero está fuertemente unido al ordenador en general, y a los sistemas CAD/CAE en particular. Cada empresa de ingeniería opta por un sistema en concreto, eligiendo entre todos los que ofrece el mercado: CATIA, I-DEAS, PRO/Engineer,....; y siendo común la subcontratación de proyectos entre empresas de ingeniería, es muy posible que no coincidan en el software de trabajo. Aquí es donde entra en juego la existencia de un formato neutro de intercambio entre distintos sistemas CAD.

La información generada sobre un producto a lo largo de su diseño, fabricación, mantenimiento y venta puede ser tratada con distintos sistemas CAD/CAE/CAM apareciendo el problema de compatibilidad entre los mismos. Para evitarlo, se necesita facilitar la información del producto de forma interpretable por cualquier sistema, es decir, es necesario un formato neutro. El formato STEP es un estándar desarrollado por la ISO que pretende hacer posible el intercambio de información en cualquier punto del ciclo de vida de un producto.

Este trabajo mostrará en qué consiste la transferencia de datos, así como su evolución histórica, para luego entrar a valorar los formatos neutros más usados actualmente, así como la problemática general asociada al intercambio de información entre distintas organizaciones y sistemas. Se trata el formato STEP, su estructura y organización. Se estudia en especial el Protocolo de Aplicación 203, es decir, la parte de la Norma ISO 10303 que interesa para poder efectuar intercambios de modelos sólidos. Se enumerarán y razonarán una serie de pautas y recomendaciones para diseñar modelos

3D en busca de la mayor efectividad posible en los posteriores intercambios de los mismos. Se hablará sobre los traductores intermedios en general, para luego hacer un análisis de los de CATIA v5 y SOLID EDGE v9 en particular, destacando tanto los defectos como las virtudes de uno y otro, puntos críticos del intercambio y posibles soluciones a problemas tipo. Se planteará la experiencia de intercambio de modelos sólidos entre dos sistemas distintos, marcando unas pautas tanto de diseño, como de actuación y análisis. Este test sirve de procedimiento de evaluación de transferencia de modelos 3D cualesquiera que sean los sistemas emisor y receptor. Por último, se darán los resultados obtenidos al aplicar el test propuesto entre los sistemas CATIA y SOLID EDGE y se extraerán una serie de conclusiones de las transferencias.

### 1.3.6.1 Revisión histórica del intercambio de información entre sistemas CAD

Con los sistemas CAD/CAM/CAE, el proceso que va desde que se concibe una idea hasta que se finaliza su producción es más sencillo, económico y flexible, gracias a las herramientas y potencia computacional de los ordenadores. Un punto conflictivo es el del intercambio de información entre dos sistemas diferentes. Se presenta a continuación la evolución a lo largo del tiempo seguida por el intercambio de información.

#### Primera Generación de Intercambio de Datos: Traductores Directos.

Este método consiste en tomar datos del sistema origen y traducirlo al formato propio del sistema destino. Es similar al proceso de traducir de un idioma a otro. Su principal inconveniente, es que el traductor debe ser específico y especializado con cada versión del sistema, así en cada actualización de un sistema también habrá que retocar el traductor de éste.

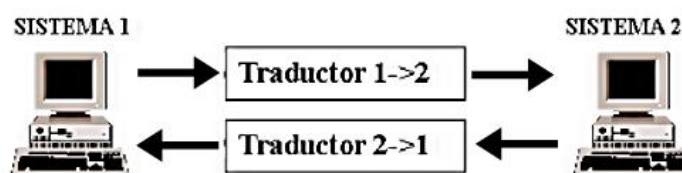


Figura 1.5: Intercambio de datos mediante traductor directo

### Segunda Generación de Intercambio de Datos: Traductores Intermedios.

Es teóricamente la opción más efectiva y la que internacionalmente se está consiguiendo imponer. Cada sistema de CAD necesita un pre-procesador, que traduce su formato o código interno a formato neutro, y un post-procesador, que traduce del formato neutro al propio del sistema.

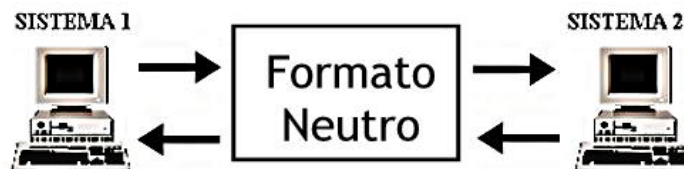


Figura 1.6: Intercambio de datos mediante traductor intermedio

### Formatos Proprietarios.

Están a medio camino entre los dos anteriores. Consiste en que algunos creadores de software suministran sus propios formatos cercanos a la estructura de sus propios programas. Este método anima a los usuarios a adquirir sistemas que estas empresas producen. El ejemplo más claro es el formato DXF de Autodesk, unos de los líderes en sistemas CAD, con su programa AutoCAD.

Como se ha reseñado, los traductores indirectos son los que se están imponiendo internacionalmente, con el IGES y el STEP a la cabeza. Aunque IGES sigue siendo el formato neutro más usado en la industria, en un futuro este formato está abocado a ser superado por STEP, impulsado por la ISO, pues está previsto que este estándar abarque todos los ámbitos en que se trabaja industrialmente.

#### **1.3.6.2 Descripción del formato Step**

El estándar STEP (STandard for the Exchange of Product model data), en desarrollo continuo, ya ha demostrado una madurez importante avalado por casos concretos que podemos encontrar en grandes compañías como Lockheed Martin, Boeing, Ford, Opel, General Motors o Roll-Royce.

La ventaja de STEP es, que representa “completamente” el modelo de un producto, no limitándose únicamente a su representación gráfica o visual. Esto lo consigue gracias a una metodología que incorpora modelos de referencia, lenguajes de definición formal y una arquitectura en tres niveles:

- Nivel de aplicación: los modelos de datos tratan de aplicaciones individuales o disciplinas como productos mecánicos, eléctricos, construcción, etc.
- Nivel lógico: los modelos de datos genéricos describen conceptos comunes utilizados tanto en todas las aplicaciones como en la definición de la estructura de un producto, su forma (geometría, topología) y su presentación.
- Nivel físico: el formato del fichero para intercambio de los datos.

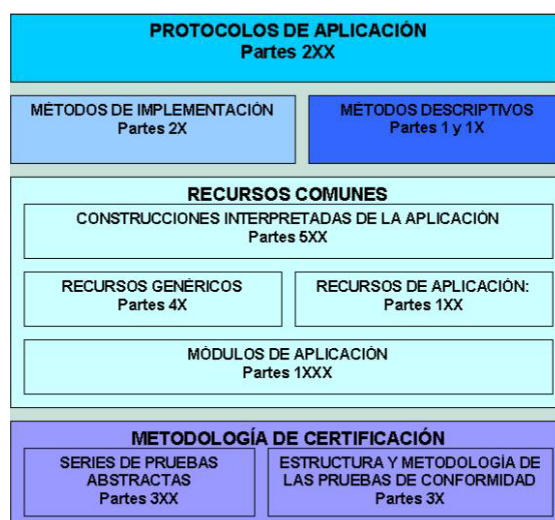


Figura 1.7: Estructura simplificada de STEP

Debido a su amplitud, la Norma STEP se organiza en cinco bloques, cada uno con una Serie de Partes y un número identificativo. Las Series agrupan las distintas Partes que forman la ISO 10303; cada Parte de la Norma es un capítulo independiente de la misma, que a su vez puede ser usada por otras Partes de la Norma. Es decir, la estructuración en bloques reutilizables le otorga una funcionalidad muy amplia, y unas posibilidades de ampliación casi sin límites.

Los Protocolos de Aplicación, en el primer nivel de la jerarquía mostrada, permiten representar e intercambiar datos de productos generales o de un sector concreto



(naval, automoción, etc.), y en cualquier punto de su ciclo de vida (pre-diseño, análisis, fabricación, optimización, etc.). En concreto, el Protocolo de Aplicación 203 (AP203: Configuration-Controlled design) es el que facilita intercambiar modelos sólidos entre distintos sistemas CAD.

El AP203 permite representar el sólido con el que se trabaja según distintas clases de conformidad, de las cuales la más avanzada es la clase de conformidad 6, que representa el modelo por su frontera, es decir, por su topología, y a partir de ésta genera la geometría del modelo.

### **1.3.7 Una comparativa de las estrategias de diseño de distribuciones en planta en Ingeniería y Arquitectura.**

La finalidad general del proceso de diseño es obtener la descripción de un producto o servicio que satisfaga ciertas necesidades y deseos. La complejidad inherente a cualquier trabajo de diseño da lugar a la descomposición del mismo en tareas que interaccionan entre sí, y en el que las decisiones adoptadas han de ser continuamente reconsideradas. Es patente, por tanto, la complejidad y mala estructuración de los problemas de diseño.

El problema de la distribución del espacio en planta ha sido tradicionalmente, y hoy en día continúa siéndolo, uno de los que más interés ha despertado y, por ello, de los más estudiados en Arquitectura e Ingeniería. A pesar de lo cual, en pocas ocasiones los progresos alcanzados por las investigaciones sobre este tema, en cualquiera de estos dos ámbitos, ha trascendido o se ha utilizado en el otro.

En general, en el planteamiento del problema del diseño de la distribución en planta se parte de:

- Un contorno inicial determinado, con su forma y dimensiones externas.
- Los espacios a distribuir y sus dimensiones.
- Los requerimientos de relación y/o proximidad entre las actividades/espacios.

Siendo el resultado la definición de una distribución en planta o layout, donde se persigue maximizar la eficacia y rentabilidad o minimizar los costes de explotación en

el caso de instalaciones industriales; y en viviendas optimizar la funcionalidad, belleza y habitabilidad.

En este artículo, y partiendo de la formulación de un objetivo común, se revisará cómo la composición arquitectónica y la arquitectura industrial abordan con enfoques diferentes este problema.

### **1.3.7.1 Estrategias de composición arquitectónica.**

La composición arquitectónica puede definirse como el proceso de búsqueda de esquemas físicos u organizaciones que, al realizarse, deberán conseguir ciertos objetivos y atenerse a ciertas restricciones. En general, se pueden diferenciar tres tipos de conocimiento implicados en el proceso de diseño arquitectónico: el conocimiento del dominio, que engloba todo lo relativo a los objetos arquitectónicos y la arquitectura en general; el conocimiento sobre la representación: elementos disponibles para representar gráficamente el objeto arquitectónico que se pretende diseñar; y , por último, el conocimiento sobre el proceso de diseño, que comprende las estrategias y criterios útiles para el proceso de decisión de la forma arquitectónica.

La materialización de los conceptos anteriores ha dado lugar a las diferentes estrategias de composición arquitectónica.

### **1.3.7.2 Metodologías para la distribución en planta en Ingeniería Industrial.**

El proceso global de planificación de la actividad industrial consta de varias fases: definición del producto y proceso productivo, ubicación de la planta industrial, proyecto de la planta industrial y construcción de edificios (obra civil) y sus instalaciones. El objeto de la distribución en planta es la ordenación de los medios productivos: trabajadores, materiales, maquinaria, mobiliario y servicios auxiliares (mantenimiento, transporte, etc.). En líneas generales, una buena distribución es aquella que consigue una ordenación de los distintos elementos que entran a formar parte del proceso de implantación de forma que ésta sea la más económica para el trabajo, a la vez que la más segura y satisfactoria para los empleados.

Con los Métodos de Generación de Layouts, o distribuciones en planta (MGL), no sólo se persigue la enumeración exhaustiva de todas las soluciones acordes con los requerimientos, sino que cumplen una labor de filtro inicial de las mismas. Muchos son los métodos propuestos, y la elaboración detallada de los mismos abarcaría el contenido de una tesis; por esto, sólo se va a establecer una taxonomía genérica, destacando los autores originales de cada uno de los procedimientos.

No menos numerosas que los MGL son las técnicas de selección de soluciones, disponibles en la actualidad. Una clasificación de estas técnicas será uno de los objetivos de este trabajo.

### **1.3.7.3 Conclusiones.**

Las diferentes visiones que del problema de la distribución en planta tienen ingenieros y arquitectos, se manifiesta en múltiples aspectos.

En Arquitectura, el proceso de diseño ha sido tradicionalmente un asunto muy debatido. Coexisten multitud de teorías y líneas de pensamiento sobre este tema, no hay unidad de opiniones.

Por el contrario en el campo de la Ingeniería ha habido en un muy corto periodo de tiempo, el que transcurre entre los años 1950 y 1961, una discusión metodológica del problema de la implantación, y a partir de aquí una aceptación general por parte de todos los investigadores de la metodología SLP. Acordado el método, la obtención de soluciones factibles a través de MGL y la selección de la óptima, han focalizado los esfuerzos de los investigadores de este proceso.

Partiendo de esta observación, revisaremos las semejanzas y diferencias de enfoques, y cómo pueden complementarse en un futuro ambos puntos de vista.

### **1.3.8 Un modelo multidisciplinar para diseño de distribuciones en planta**

El objetivo de este trabajo es desarrollar e implementar un modelo para el diseño de distribuciones en planta. Para el diseño, se parte del perímetro de la planta de una

vivienda o industria, dentro del cual se han de ubicar los espacios destinados a habitaciones, talleres, departamentos, etc.; según unas necesidades de relación, o flujo de materiales, preestablecidos. El primer paso será estudiar el proceso tradicional de posicionamiento, localización o distribución de los diferentes espacios, que se llevará a cabo con la ayuda de los árboles de corte. Para posteriormente tratar de las conexiones (routing) entre ellos, buscando el camino más corto que comunica a todos, por medio de un sistema experto. Por último, se tratará la orientación del área completa, usando las reglas de Feng Shui. Estos tres aspectos y sus diferentes técnicas se integrarán en una sola aplicación, uniéndose así los conocimientos y la experiencia de arquitectos e ingenieros.

### **1.3.8.1 El diseño de distribuciones en planta: técnicas utilizadas.**

En el campo de la ingeniería, diferentes estrategias para resolver el problema de la implantación surgieron a lo largo del tiempo, hasta la publicación por Muther en 1961, del SLP (Systematic Layout Planning), que ha sido el método más utilizado hasta nuestros días. SLP es una opción común para resolver problemas en las instalaciones de diseño, con independencia de su naturaleza: plantas industriales, hospitales, oficinas, centros comerciales, etc.

La utilización de SLP proporciona una sistemática en la búsqueda de posibles soluciones, pero es a través del uso de los métodos de generación de layouts (MGL) los que nos van a facilitar, no sólo una lista exhaustiva de todas las soluciones que cumplan con los requisitos, sino también actuar como un filtro inicial. Finalmente hoy en día se utilizan muy variadas técnicas de optimización para la selección de soluciones, algunas de las cuales se presenta.

### **1.3.8.2 Slicing trees**

Los árboles son un método de representación de la disposición de los espacios en una distribución en planta. Hay dos tipos diferentes de árboles que se utilizan: árboles de corte (cut trees) y slicing trees. Los árboles de corte (cut trees) son una técnica antigua en la que la superficie inicial no se considera hasta la separación definitiva de los espacios. Al utilizar slicing trees, se parte de la geometría inicial y recursivamente se

divide la superficie con cortes en direcciones perpendiculares; y admiten una codificación de las operaciones de corte, como se muestra en la figura 1.

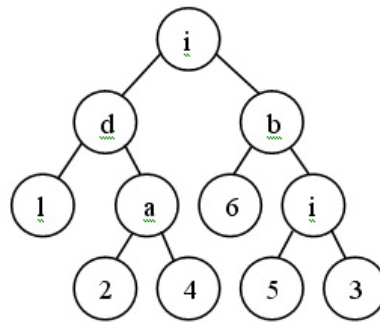


Figura 1.8: Representación de la cadena de caracteres: idal24b6i53.

Estas estructuras en forma de árbol están organizadas en nodos internos, que caracterizan a los cortes de la partición, y los nodos externos, que representan los espacios de la distribución en planta. La estructura de un slicing tree se debe diseñar de tal manera que se muestren los requisitos de proximidad entre las actividades relacionadas, agrupando aquellas entre las cuales hay un gran flujo de materiales.

### 1.3.8.3 Diseño de circuitos VLSI con el sistema PLAYOUT

Un circuito integrado está constituido por una pequeña pastilla o chip hecho de silicio que se divide en regiones o espacios cada vez más pequeños que, gracias a procesos químicos especiales, tienen diferentes propiedades de conducción. En el caso de la tecnología VLSI, la densidad del componente es enorme, con millones de combinaciones de conductores, conmutadores y células dieléctricas en un pequeño circuito integrado. El problema de diseño de circuitos integrados incluye las siguientes variables: los elementos que deben integrarse en cada espacio, sus áreas y los requerimientos de conexión entre ellos. En el diseño de una distribución en planta, la cuestión es cómo distribuir ciertos espacios, cada uno con una superficie determinada, en un área dada, sabiendo que algunos espacios necesitan estar cerca de otros. Si se analizan ambos problemas se puede observar una clara analogía. Los componentes electrónico son equivalentes a los espacios o departamentos. La placa base en el circuito es análogo al recinto disponible. Los requisitos de conectividad

entre los componentes del circuito son equivalentes a los requisitos de proximidad entre las habitaciones o departamentos.

Esta similitud permite utilizar técnicas de circuitos integrados para resolver el problema de la distribución en planta. En este trabajo se utiliza un procedimiento cuya finalidad inicial era diseñar layouts de circuitos VLSI. Este sistema de diseño asistido por ordenador, llamado PLAYOUT, fue creado en la Universidad de Kaiserslautern (Alemania) en el Departamento de Ciencias de la Computación, por el grupo del profesor Zimmerman en 1995.

#### **1.3.8.4 El Feng Shui como herramienta de diseño arquitectónico**

Feng Shui es la ciencia y el arte taoísta de vivir en armonía con el medio ambiente. La Tierra es vista como una fuente permanente de energías, que deben fluir en base a una serie de principios básicos. El análisis de la forma es el aspecto más importante en los estudios del Feng Shui residencial. Es necesario que el área y su contorno estén proporcionados a la hora de su construcción. La elección de una forma de contorno de una casa o piso depende de tres factores: la estabilidad, el equilibrio y la homogeneidad.

Con el fin de estudiar el diseño y la orientación de los espacios en la planta de una casa, se utiliza la carta geomántica. Se establece un reparto en armonía con el medio ambiente, que la transmite a los habitantes, contribuyendo a su bienestar.

#### **1.3.8.5 La búsqueda de rutas como un problema de la Inteligencia Artificial.**

Encontrar el camino más corto entre dos puntos dentro de una red es el propósito de los métodos de búsqueda de la mejor ruta. Si el camino más corto empieza en un cierto punto S y termina en otro G, la estrategia más obvia es considerar todas las trayectorias posibles. Si las representamos, se obtiene un árbol de búsqueda. Cada hoja (nodo) del árbol representa una ruta, y las ramas conectan rutas, a extensiones de ruta, de un solo paso. La figura 1.10 muestra un árbol de búsqueda que representa los posibles caminos desde el inicio de la hoja en la figura 1.9.

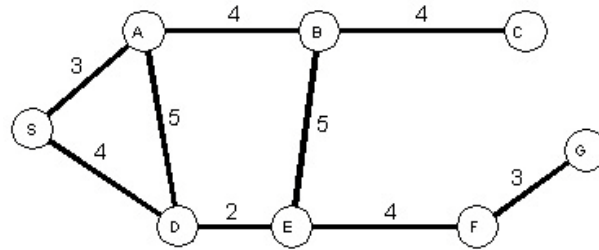


Figura 1.9: Problema de búsqueda básica.

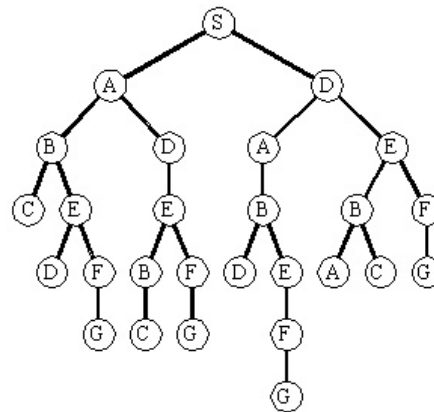


Figura 1.10: Árbol de búsqueda para el problema de la figura 4.

Un inconveniente de los árboles de búsqueda es que su tamaño crece de forma exponencial.

### 1.3.8.6 Desarrollo de una metodología para resolver el problema del diseño de distribuciones en planta.

Tres pasos son necesarios para el diseño de una distribución en planta. En el primero, se establecen las relaciones entre los diferentes espacios, su distribución o localización. En un segundo paso, se buscan los pasillos que comunican las diferentes instalaciones entre sí de la manera más sencilla y rápida. Esta tarea se conoce como rutado (routing). En el último paso, los espacios son orientados geográficamente.

Para el problema de la localización, se usaran slicing trees, extendiendo una técnica utilizada en el diseño de circuitos VLSI al diseño de layouts. Para el problema del rutado, se seleccionará un sistema experto basado en reglas de producción como el

más apropiado para los requerimientos funcionales. Para el problema de orientación, se utilizará un método numérico asistido por ordenador para el manejo de las recomendaciones formuladas por el Feng Shui. Estos tres módulos se sintetizarán en la metodología propuesta.

La metodología es la misma para distribuciones industriales y arquitectónicas: se utiliza una aplicación única con entradas comunes y una sola salida. La configuración modular que se eligió para la aplicación contribuye especialmente a este hecho.

### 1.3.9 Referencias

Una vez descritos en el apartado anterior, de forma pormenorizada, los objetivos a perseguir, en este se referencian las diferentes publicaciones que constituyen esta tesis doctoral, siguiendo el orden establecido en los anteriores. Se organizan en dos grupos fundamentales: las aportaciones a congresos internacionales y los artículos en revistas de reconocido prestigio internacional, en su mayoría con factor de impacto.

| Aportación 1:           |   |
|-------------------------|---|
| Autor/es                | JUAN MARTINEZ PALACIOS, M.E. MARTINEZ LOMAS, R. LOPEZ CARRERAS, M <sup>a</sup> GLORIA DEL RIO CIDONCHA                |
| Título de la aportación | DISEÑO AUTOMATIZADO MEDIANTE TECNICAS DE SISTEMAS EXPERTOS EN CATIA APLICADO A COMPONENTES ESTRUCTURALES AERONAUTICOS |
| Entidad organizadora    | UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA (ESPAÑA).   |
| Título del Congreso     | XVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIA GRAFICA  |
| Ámbito del congreso.    | INTERNACIONAL   |
| Tipo de participación   | PONENCIA  |
| Publicación (ISSN/ISBN) | 84-689-8593-7   |
| Volumen.                |   |
| Páginas.                | RESUMEN PAGINA 30 Y COMPLETO EN CD (ISBN 84- 689- 8638 -0)  |
| Lugar de celebración.   | BARCELONA- SITGES (ESPAÑA).   |
| Fecha de celebración.   | 31/05/2006  |
| Indicios de calidad.    | CONGRESO INTERNACIONAL, REVISION POR PARES  |



| Aportación 2:         |  |
|-----------------------|--|
| Autor/es.             | <i>J.MARTINEZ-PALACIOS</i> , M.G. DEL RIO-CIDONCHA , F.ORTUÑO -ORTIZ |
| Título.               | TASK AUTOMATION FOR MODELLING SOLIDS WITH CATIA                      |
| Nombre de la revista. | AIRCRAFT ENGINEERING AND AEROSPACE TECHNOLOGY                        |
| Volumen.              | VOL.79 Nº 1  |
| Páginas.              | 53 – 59  |
| Editorial.            | EMERALD  |
| País de publicación.  | REINO UNIDO  |
| Año de publicación.   | MAYO 2007  |
| ISSN./DOI.            | 1748-8842 // 10.1108/00022660710720494                               |
| Indicios de calidad.  | ÍNDICE DE IMPACTO 0.282, ISI 2007JCR SCIENCE EDITION                 |

| Aportación 3:           |   |
|-------------------------|---|
| Autor/es                | <i>JUAN MARTINEZ PALACIOS</i> , M <sup>º</sup> GLORIA DEL RIO CIDONCHA, C. GRANJA PEREZ, F. VALDERRAMA GUAL |
| Título de la aportación | DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO EN CATIA PARA FACILITAR EL MECANIZADO DE PIEZAS DE CONTROL NUMERICO        |
| Entidad organizadora    | UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA (ESPAÑA).   |
| Título del Congreso     | XVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIA GRAFICA  |
| Ámbito del congreso.    | INTERNACIONAL   |
| Tipo de participación   | PONENCIA  |
| Publicación (ISSN/ISBN) | 84-689-8593-7   |
| Volumen.                |   |
| Páginas.                | RESUMEN PAGINA 28 Y COMPLETO EN CD(ISBN 84- 689- 8638 -0)   |
| Lugar de celebración.   | BARCELONA- SITGES (ESPAÑA).   |
| Fecha de celebración.   | 31/05/2006  |
| Indicios de calidad.    | CONGRESO INTERNACIONAL, REVISION POR PARES  |

| Aportación 4:         |  |
|-----------------------|--|
| Autor/es.             | <i>J. MARTINEZ PALACIOS</i> , M.G. DEL RIO CIDONCHA, R. ORTIZ MARIN, J.I. ROJAS SOLA |
| Título.               | EDUCATIONAL SOFTWARE TO DEVELOP SHEET METAL WITH SOLID EDGE                          |
| Nombre de la revista. | COMPUTER APPLICATIONS IN ENGINEERING EDUCATION                                       |
| Volumen.              | VOL 17 ISSUE 3   |
| Páginas.              | 295-304  |
| Editorial.            | JOHN WILEY & SONS INC  |
| País de publicación.  | UNITED STATES  |
| Año de publicación.   | ONLINE: ENERO 2009. PAPEL SEPTIEMBRE 2009  |
| ISSN.// DOI.          | 1061-3773 // 10.1002/CAE.20247   |
| Indicios de calidad.  | ÍNDICE DE IMPACTO 0.310, ISI 2007 JCR SCIENCE EDITION                                |

| Aportación 5:         |  |
|-----------------------|--|
| Autor/es.             | <i>J.MARTINEZ PALACIOS</i> , M.G. DEL RIO CIDONCHA, M. RONQUILLO JAPON   |
| Título.               | INTERCAMBIO DE MODELOS SÓLIDOS ENTRE DISTINTOS SISTEMAS DE CAD MEDIANTE EL FORMATO NEUTRO STEP   |
| Nombre de la revista. | REVISTA ANALES DE INGENIERIA GRAFICA   |
| Volumen.              | VOL.17   |
| Páginas.              | 43-48  |
| Editorial.            | INGEGRAF   |
| País de publicación.  | ESPAÑA   |
| Año de publicación.   | 2005   |
| ISSN.                 | 1137-7704  |
| Indicios de calidad.  | REVISTA DE LA ASOCIACION DE INGENIERIA GRÁFICA QUE PUBLICA LOS CINCO MEJORES ARTICULOS DEL CONGRESO BIANUAL SOBRE EL TEMA QUE ESTA ASOCIACION PATROCINA. |

| Aportación 6:         |   |
|-----------------------|---|
| Autor/es.             | M.G. DEL RIO CIDONCHA, <i>J. MARTINEZ PALACIOS</i> , J.E. IGLESIAS          |
| Título.               | A COMPARISON OF FLOORPLAN DESIGN STRATEGIES IN ARCHITECTURE AND ENGINEERING |
| Nombre de la revista. | AUTOMATION IN CONSTRUCTION  |
| Volumen.              | VOL. 16, Nº 5   |
| Páginas.              | 559-568   |
| Editorial.            | ELSEVIER  |
| País de publicación.  | THE NETHERLANDS   |
| Año de publicación.   | AUGUST 2007   |
| ISSN. // DOI.         | 0926-5805 //10.1016/j.autcon.2006.12.008                                    |
| Indicios de calidad.  | ÍNDICE DE IMPACTO 0.609, ISI 2007 JCR SCIENCE EDITION                       |

| Aportación 7:         |  |
|-----------------------|--|
| Autor/es.             | M.G. DEL RIO-CIDONCHA, <i>J. MARTINEZ-PALACIOS</i> , J.E. IGLESIAS |
| Título.               | A MULTIDISCIPLINARY MODEL FOR FLOORPLAN DESIGN                     |
| Nombre de la revista. | INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH                       |
| Volumen.              | VOL. 45 Nº15   |
| Páginas.              | 3457 – 3476  |
| Editorial.            | TAYLOR AND FRANCIS LTD   |
| País de publicación.  | REINO UNIDO  |
| Año de publicación.   | AUGUST 2007  |
| ISSN. // DOI.         | 0020-7543 // 10.1080/00207540600889550                             |
| Indicios de calidad.  | ÍNDICE DE IMPACTO 0,560, ISI 2007 JCR SCIENCE EDITION              |

En la siguiente tabla se indica, cuantificada en %, la aportación del autor de esta tesis en cada una de las publicaciones. La última es un compendio de la tesis doctoral de la profesora M. Gloria del Río Cidoncha, en cuya realización colaboró activamente el autor. El resto de las publicaciones no han sido nunca utilizadas, ni como núcleo, ni siquiera como parte constituyente de ningún proyecto de tesis o tesis doctoral.

| Titulo de la publicación  | %  | Otros autores  |
|---|----|--|
| DISEÑO AUTOMATIZADO MEDIANTE TECNICAS DE SISTEMAS EXPERTOS EN CATIA APLICADO A COMPONENTES ESTRUCTURALES AERONAUTICOS | 40 | M.E. MARTINEZ LOMAS, R. LOPEZ CARRERAS, M <sup>a</sup> GLORIA DEL RIO CIDONCHA |
| TASK AUTOMATION FOR MODELLING SOLIDS WITH CATIA   | 40 | M.G. DEL RIO-CIDONCHA , F.ORTUÑO -ORTIZ  |
| DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO EN CATIA PARA FACILITAR EL MECANIZADO DE PIEZAS DE CONTROL NUMERICO                  | 30 | M <sup>a</sup> GLORIA DEL RIO CIDONCHA, C. GRANJA PEREZ, F. VALDERRAMA GUAL    |
| EDUCATIONAL SOFTWARE TO DEVELOP SHEET METAL WITH SOLID EDGE   | 30 | M.G. DEL RIO CIDONCHA, R. ORTIZ MARIN, J.I. ROJAS SOLA                         |
| INTERCAMBIO DE MODELOS SÓLIDOS ENTRE DISTINTOS SISTEMAS DE CAD MEDIANTE EL FORMATO NEUTRO STEP                        | 40 | M.G. DEL RIO CIDONCHA, M. RONQUILLO JAPON                                      |
| A COMPARISON OF FLOORPLAN DESIGN STRATEGIES IN ARCHITECTURE AND ENGINEERING   | 45 | M.G. DEL RIO CIDONCHA, J.E. IGLESIAS   |
| A MULTIDISCIPLINARY MODEL FOR FLOORPLAN DESIGN  | 45 | M.G. DEL RIO-CIDONCHA, J.E. IGLESIAS   |

## 1.4. Resumen

En este capítulo se ha hecho una descripción detallada de los objetivos y alcance de la tesis doctoral. Una revisión somera de la trayectoria profesional y académica del doctorando, realizada en primer lugar, nos da indicios de los dos focos de interés principales de este trabajo. Pasando luego a desglosarlos en distintos objetivos específicos.

Después se hace un resumen de cada uno de los artículos que configuran la tesis, y la contribución de estos a los objetivos generales y específicos de la misma. Por último se muestra el medio (revista o resumen de congreso) en que se han publicado, así como la participación estimada del autor en la realización de estos trabajos y su correspondiente publicación.

Cada uno de los siguientes capítulos recogerá uno a uno los artículos, según aparecieron publicados, aunque a efectos de homogeneizar esta presentación se han traducido del inglés al español, los que se publicaron en este idioma.

## Capítulo 2

# **DISEÑO AUTOMATIZADO, MEDIANTE TÉCNICAS DE SISTEMAS EXPERTOS EN CATIA V5, APLICADO A COMPONENTES ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS**

### **2.1. Introducción**

Se entiende por automatizar a la implantación de los equipos y del software necesario para disminuir el componente humano en la realización de una tarea. Esta tarea puede ser de muchos tipos, desde el mecanizado de una pieza, hasta el control de planta de una nave, o como el caso que nos ocupa, el diseño asistido por ordenador (CAD). La

automatización tiene dos grandes ventajas: ahorra tiempo y por consiguiente dinero a una empresa, y permite llevar un control más fiable de los procesos y sistemas.

Cada vez el sector industrial evoluciona con más rapidez, sucediéndose vertiginosamente los cambios de productos, modelos, técnicas de fabricación, etc.. Para adaptarse a este mercado cambiante, las empresas tienden a automatizar cada vez más sus sistemas y procesos. En este entorno, al que la industria aeronáutica no es ajena, nació el proyecto de colaboración entre EADS-CASA y la ESI de Sevilla, que se describe en este trabajo; y que ha consistido en el diseño, en CATIA V5, de una de las partes del fuselaje de un avión comercial. Las piezas tenían que empezar a fabricarse en un plazo muy corto, por lo que se debía realizar el diseño con la mayor celeridad posible, y de aquí, surge la necesidad de automatizarlo.

Si se observa la estructura típica de un avión, como se muestra en el apartado 2.2, se puede apreciar que existe gran cantidad de elementos que se repiten. Son estos elementos los que se van a automatizar, de forma que el usuario sólo tenga que efectuar dos o tres operaciones para poder diseñarlos, liberándolo de carga de trabajo, y asegurando que el elemento automatizado va a cumplir con las exigencias de la norma. También en este segundo apartado, se revisan las etapas por las que pasa el diseño de un avión.

Como los procesos industriales, en general, son difícilmente secuenciables, los sistemas de programación tradicional se han mostrado a menudo ineficaces. Por el contrario, los sistemas basados en el conocimiento, entre los que se hayan los sistemas expertos, han experimentado un auge enorme al permitir capturar, y sobre todo almacenar, la experiencia adquirida por los ingenieros durante su trabajo y formación. Como prueba de esto, las más potentes aplicaciones comerciales de CAD-CAM, como es el caso de CATIA V5, han incorporado entre sus módulos, alguno destinado a la gestión y programación del conocimiento. En este proyecto se muestra el desarrollo de un sistema experto, creado con el módulo *Knowledge Advisor* de CATIA V5, utilizando las herramientas: PowerCopy y UserFeature, descritas en el apartado 2.3; y que tiene como objetivo el diseño de piezas características de un avión.

En el apartado 2.4 se explica, paso a paso, el Diseño de Detalle de cuadernas, larguerillos, revestimientos, angulares y refuerzos de unión; y el montaje de todos

ellos. Es de destacar, como dos tipos de personas, con roles diferentes intervendrán: el experto y el usuario. El primero, que suele ser ingeniero, aporta la metodología a seguir en el diseño y los elementos necesarios para automatizarlo. El usuario, que suele ser el delineante, conoce las operaciones de diseño, y elabora las piezas siguiendo las indicaciones del experto.

## 2.2. Las estructuras aeronáuticas y su diseño

La estructura de un avión se considera generalmente compuesta de tres partes principales: el fuselaje, las alas y los estabilizadores. Está construido fundamentalmente de aleaciones de aluminio y magnesio, si bien se puede encontrar acero y titanio en zonas expuestas a altas temperaturas.

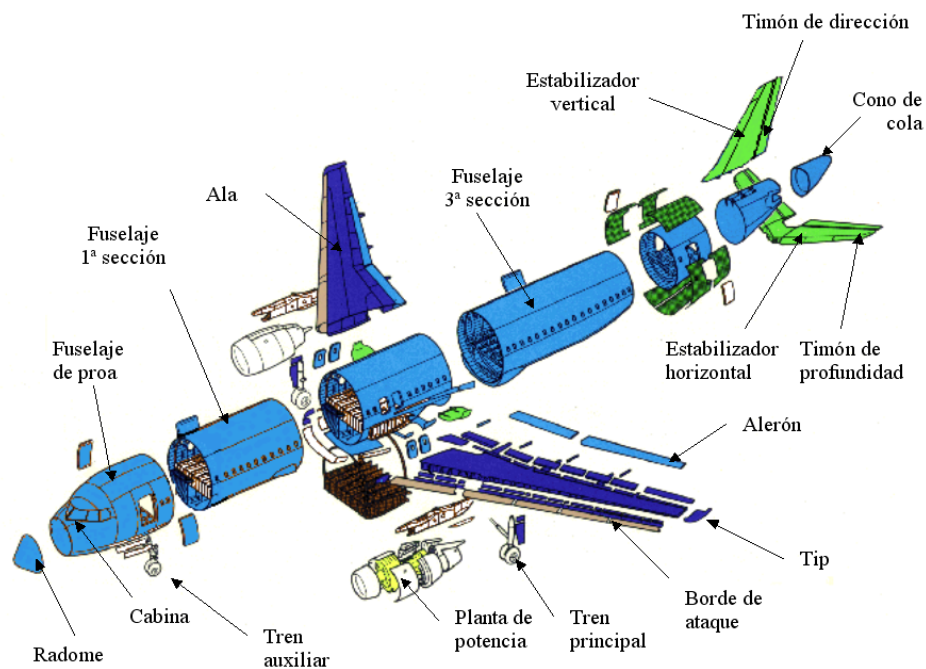


Figura 2.1: Componentes estructurales de un avión

El fuselaje es la parte principal o cuerpo del avión, la de mayor volumen y la única que no contribuye a su capacidad de vuelo, sino más bien al contrario, pues es la principal fuente de resistencia aerodinámica. En el fuselaje es donde se aprovisiona el espacio adecuado para la carga, controles, accesorios y otros equipos.

Las alas de un avión son las superficies diseñadas para producir sustentación cuando se mueve a gran velocidad a través del aire. El diseño de un ala depende de factores como el tamaño, peso, velocidad deseada para el vuelo y aterrizaje, así como la aceleración de subida que se requiera. En cada semiala se encuentran montadas diversas superficies encargadas de producir algún efecto determinado sobre el vuelo de la nave: alerones, flaps, slats y spoilers.

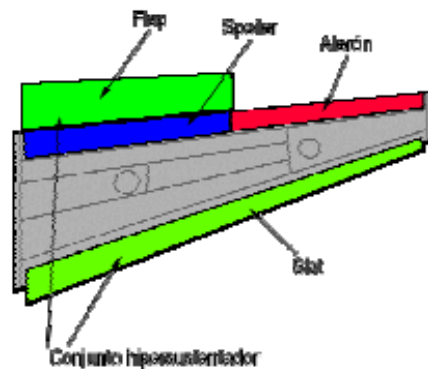


Figura 2.2: Componentes estructurales del ala de un avión

Fijado en el fuselaje se observa un plano montado en forma vertical, llamado estabilizador vertical o deriva. Abisagrado a él se encuentra una superficie móvil, el timón de dirección. Algunas veces, montados en el extremo superior de la deriva, otras a cada lado del fuselaje (depende del fabricante del avión), se sitúan los planos horizontales de cola o estabilizador horizontal. En su borde de salida se haya una superficie móvil, cuyo movimiento controla y maneja el cabeceo de la nave, llamado timón de profundidad.

Todas estas estructuras destinadas a la sustentación: alas, alerones, flaps, slats, spoilers, estabilizadores y timones; comparten la misma forma geométrica de perfil sustentador y la misma estructura interna constituida por largueros y larguerillos, dispuestos a lo largo de la envergadura, y por costillas según la cuerda (del borde de ataque al borde de salida). A continuación se procede a su descripción:

- Costillas: encargadas de mantener la forma del perfil aerodinámico del ala. Suelen estar formadas de una sola pieza de chapa doblada con los contornos exteriores del perfil del ala. Puesto que son bastante débiles lateralmente, suelen estar reforzadas con perfiles rigidizadores o bordones para prevenir la flexión lateral de las mismas. Así mismo para aligerar el peso del núcleo, se



suelen practicar orificios en el mismo. Estos elementos se llaman aligeramientos.

- Largueros: están formados por cordones y por el alma. Su perfil tiene la forma de doble T, en dirección perpendicular a la de vuelo. Los largueros son los miembros estructurales más importantes del ala.
- Revestimientos: forman una superficie impermeable para soportar las presiones dinámicas. Durante el vuelo, las cargas que actúan sobre el ala están aplicadas casi en su totalidad en el revestimiento. De éste son transferidas a las costillas y de las costillas a los largueros.
- Larguerillos: fabricados generalmente por extrusión, estos perfiles que unen costillas y revestimientos, hacen la misma función que las tirantas de una estructura metálica.

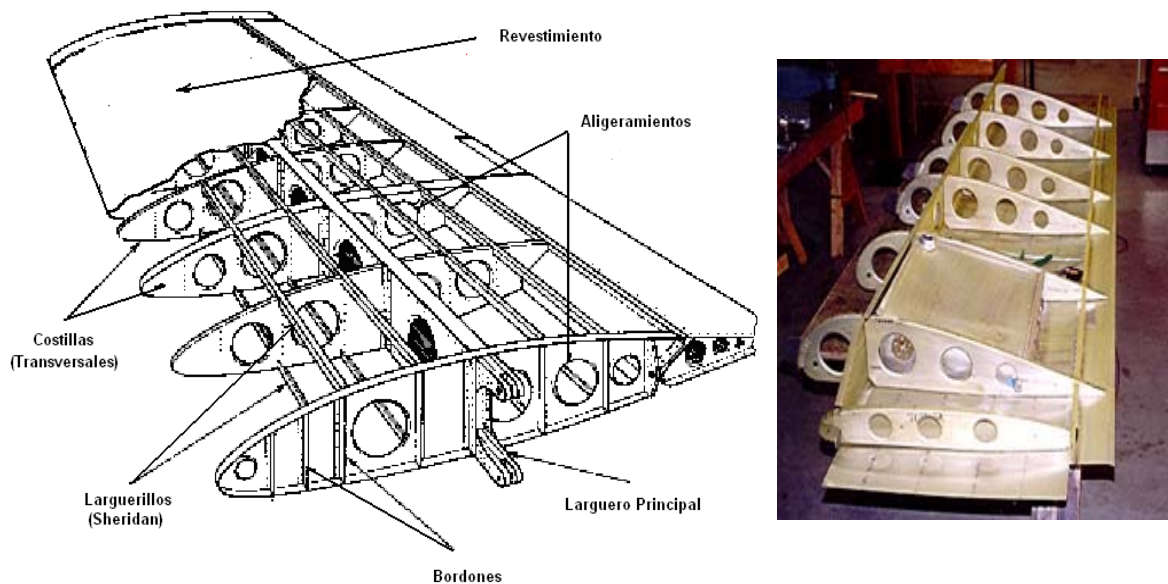


Figura 2.3: Detalles de fabricación de un conjunto sustentador

### 2.2.1 Diseño de un avión

Los requerimientos o especificaciones de diseño consisten en los objetivos que se desea cumpla la aeronave. Tres son los principales:

- Cuánta carga llevar (en aviones civiles se traduce en número de pasajeros) y cuanto espacio se necesita para ello.
- A qué distancia se quiere llevar esa carga.
- A qué velocidad y a qué altura se quiere volar.

Pero no son las únicas, también son importantes: la longitud requerida para despegue y aterrizaje, los costes de operación, el precio del avión, la normativa de certificación que va a regir en el diseño (FAR, JAR,...), versatilidad en el diseño de interiores y en la selección de equipamiento a bordo, etc...

Una vez establecidas las especificaciones, el proceso de diseño que permite al fabricante entregar finalmente al cliente un avión ha de pasar por las siguientes fases: Diseño Conceptual, Diseño Preliminar y Diseño en Detalle.

En la fase de Diseño Conceptual, un reducido grupo de ingenieros, no expertos en ningún sistema del avión, pero con conocimientos generales de aerodinámica, estructuras, aviónica, motores, dinámica de vuelo, procesos de producción, mantenimiento de aviones y evaluación de costes de fabricación y operación; da rienda suelta a la imaginación y buscan el avión ideal. En esta fase surgen las ideas geniales, como los motores en la cola del Caravelle o la "joroba" del B-747. Es aquí cuando se deciden las dimensiones generales del fuselaje, y se hace una estimación del peso total del avión: estructura y combustible. Se hacen hipótesis de eficiencia aerodinámica y consumo específico del motor, y finalmente se determina cual es la carga alar, y la relación empuje de motor/peso al despegue que permite cumplir las actuaciones. A partir de cálculos no demasiado sofisticados se determina la superficie del ala, y los valores aproximados del tamaño de: los estabilizadores de cola, el ángulo de flecha del ala, flaps, timones y alerones. Se decide también el número de motores y el empuje necesario de cada uno, si el ala es alta o baja, la cola en "T" o convencional, si llevará wingtips, etc.

A la fase de Diseño Preliminar se pasa cuando la configuración general del avión se tiene definida de forma global y no se esperan cambios importantes. En este punto entran los ingenieros especialistas, y cada uno se encarga de afinar y optimizar el área tecnológica que le compete, con sofisticados cálculos por ordenador, haciendo pequeños ajustes finales a la geometría del avión. Esta fase termina cuando todos los

sistemas del avión están perfectamente definidos: modelo de motor, equipos de aire acondicionado, etc., y además queda establecida la situación de cuadernas, largueros y costillas de la estructura.

En la última fase Diseño en Detalle se definen todas las piezas cuya unión formarán el avión. En definitiva, se plasman en planos y en sistemas CAD, hasta el último remache del avión. En esta fase también se decide cómo debe ser el proceso de producción, y se diseña el utillaje necesario para montar el avión. Esta fase termina cuando las piezas entran en la cadena de producción y se ensambla el avión.

Cuando el primer prototipo sale de la fábrica, se inicia una larga serie de ensayos en vuelo, que se encaminan por un lado a verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los sistemas; y por otro a comprobar las cualidades de vuelo, de forma que se cumplan adecuadamente todos los requerimientos de diseño. Finalmente una vez se superan con éxito todos los controles, el fabricante obtiene el Certificado de Aeronavegabilidad, que es como la nota de aprobado, requisito fundamental para que el avión pueda volar legalmente.

### **2.3. Descripción del módulo KNOWLEDGE de CATIA V5**

Una gran novedad que aporta el CATIA V5 con respecto a versiones anteriores es la introducción de un módulo destinado al Knowledge. El Knowledge de CATIA V5 está en continua evolución, y en cada Release aparecen nuevas aplicaciones, pudiendo llegar a ser un instrumento muy potente de diseño. Hoy en día el Knowledge ayuda a automatizar el diseño, permitiendo insertar herramientas como parámetros, fórmulas, tablas, reglas y chequeos; que se describen a continuación.

- Fórmulas: se definen como el elemento de enlace entre el parámetro y el diseño.
- Tablas: permiten tabular una serie de parámetros previamente introducidos, de forma que variando un solo parámetro, el resto de los parámetros incluidos adoptan el valor impuesto por la tabla. Éste es el sistema utilizado para introducir elementos normalizados mediante tablas.

- Reglas: las reglas se utilizan para dotar al diseño de cierta inteligencia, de forma que pueda adoptar una forma u otra dependiendo de una serie de condiciones.
- Chequeos: los chequeos son elementos de verificación. Poseen una estructura idéntica al de las reglas, pero en ellas no se escriben condiciones y sentencias, sino que se imponen condiciones de funcionamiento, de forma que si esa condición no se cumple, el chequeo manda un aviso, advirtiendo al usuario de que esa condición está fallando.

Al aplicar estas herramientas de automatización al diseño, no sólo se minimizan los tiempos de construcción, sino que se garantiza que la pieza ha sido construida siguiendo las normas establecidas.

### **2.3.1 Herramientas de Automatización: PowerCopies y UserFeatures**

Además de los elementos descritos en el apartado anterior, existen otras herramientas, cada vez más depuradas, que permiten mejorar la automatización en el diseño. Estas herramientas son los PowerCopies y los UserFeatures. El PowerCopy (PC) y el UserFeature (UF) son prácticamente idénticos, y van a ser tratados de forma análoga. En el siguiente apartado se mencionan las diferencias principales entre ambos elementos.

Un PowerCopy se utiliza para adaptar elementos previamente creados a las necesidades del usuario. El PC solamente se puede crear e insertar en el interior de un CATPart, y por lo tanto estos elementos son principalmente geometrías (planos, superficies, etc.), que se posicionan de una forma u otra dependiendo de unos datos de entrada que se denominan INPUTS. Los Inputs pueden ser de muchos tipos: un punto, una línea, una superficie, un parámetro, etc.

La metodología a seguir para crear un PC y un UF es la siguiente:

1. Se determinan cuales son los Inputs necesarios para que todos los elementos geométricos queden perfectamente definidos.

2. Se estructura el diseño, de forma que los únicos padres de estos elementos sean estos Inputs.
3. Se crean los elementos que hemos elegido como Inputs.
4. Se diseña los elementos que queremos incluir en el interior del PC.
5. Se crea el PowerCopy en el interior de ese CATPart.
6. Se cierra el CATPart que incluye el PC, porque sino no es posible aplicarlo.
7. Se inserta el PC en otro CATPart que posea los Inputs necesarios.

### **2.3.2 Diferencias entre ambas herramientas**

Ambos elementos se crean y se insertan de la misma forma, y el objetivo para el que fueron creados es prácticamente idéntico: ayudar al usuario a dibujar figuras que se repiten en el diseño. Las diferencias principales que hay entre ambas herramientas se describen a continuación:

- El PC posee una geometría abierta, y el UF cerrada. Esto quiere decir que cuando se inserta un PC, aparecen en el árbol de especificaciones todas las operaciones necesarias para obtener esa geometría, pudiendo editarlas, cambiarlas, etc. Sin embargo cuando se inserta un UF, aparece en el árbol como una Feature (operación) más del diseño, no se puede cambiar, ni editar ni se puede determinar como ha sido creada.
- En un PC se pueden introducir Bodies sin operar, y en un UF sólo se pueden introducir Bodies si estos han sido operados mediante operaciones booleanas.
- Un PC puede ser modificado si se edita haciendo un doble clic sobre él, y un UF no. Además, si se modifica algún elemento incluido en el interior de un UF, es recomendable volver a crear el UF, ya que pueden ocasionarse errores de inserción.

## **2.4. Aplicación del módulo KNOWLEDGE de CATIA V5 al diseño automatizado de componentes estructurales aeronáuticos**

Para ilustrar el alcance de estas herramientas, se va a presentar a continuación una aplicación práctica. Se va a modelar, como ejemplo, el timón de altura del avión

T270. Dicho timón no es más que una estructura aeronáutica ficticia, que contiene los elementos estructurales típicos del diseño aeronáutico.

El diseño del conjunto de las piezas del timón se ha realizado a partir de una superficie de referencia, también llamada la Master Geometry, que es la geometría necesaria para poder ubicar todas las piezas que lo constituyen. Esta geometría es el dato de partida del diseño: la superficie mojada (es decir, la superficie externa del avión), y tiene la siguiente forma:

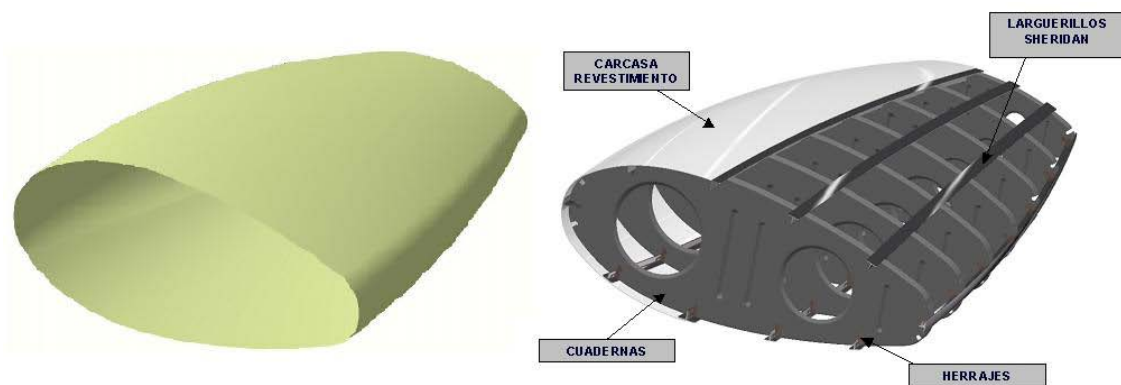


Figura 2.4: Master Geometry y Timón de Altura del avión T270

A continuación se detallan los pasos a seguir para la realización de la estructura aeronáutica comenzando por el diseño de las cuadernas. Aquí, se pondrán en práctica varios ejemplos de utilización de PowerCopies y Userfeatures, desde la creación, hasta la inserción.

### 2.4.1 Diseño de cuadernas

El objetivo será automatizar al máximo la fabricación de cualquier pieza de este tipo. El trabajo se ha desarrollado de forma que todas las cuadernas transversales se realicen de la misma manera, obteniendo piezas diferentes pero construidas con las mismas herramientas de diseño. El aspecto final que tendrá la cuaderna será el siguiente:

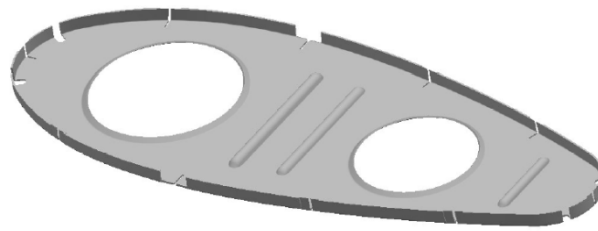


Figura 2.5: Cuaderna Tipo

La persona al cargo de crear los PC (experto), debe pensar cual es la forma más cómoda para el diseñador de construir esta pieza, de forma que se apliquen todas las normas a seguir por la empresa. A partir de aquí debe desarrollar una metodología de diseño que permita la elaboración de la misma. Para este caso concreto se ha decidido seguir esta secuencia de diseño:

1. Insertar el esqueleto de la pieza transversal, es decir la chapa con faldilla
2. Introducir los huecos de doblado
3. Añadir los aligeramientos
4. Añadir los bordones
5. Insertar los pasos de larguerillos

Estos son los pasos que tendrá que seguir el usuario para confeccionar la pieza definitiva. Es tarea del experto automatizar estos pasos, de la forma más simple, con ayuda de herramientas de CATIA como el Knowledge.

Se presenta a continuación la secuencia a seguir, utilizando Powercopy, para la generación de los aligeramientos de la cuaderna, el resto de pasos, se automatizarán de forma similar.

#### **2.4.1.1 Definición y Elección de Diseño**

Los aligeramientos son huecos circulares practicados en la chapa para aligerar el peso de la estructura, con geometría no muy complicada, y fácilmente automatizable. La geometría del aligeramiento debe seguir rigurosamente una norma establecida por la compañía fabricante, y el PC se diseñara acorde a dicha norma. Se propone la siguiente solución:

Inputs:

- Centro del aligeramiento
- Superficie de apoyo
- Espesor de chapa
- Radio de doblado de chapa.

Parámetros:

- Diámetro nominal.

### 2.4.1.2 Creación del PowerCopy

**Paso 1:** Se crean los elementos de referencia geométricos: centro y plano que serán los Inputs del PowerCopy.

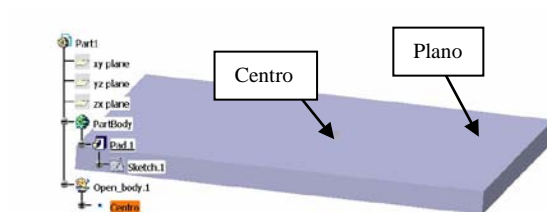


Figura 2.6: Elementos de referencia geométricos

**Paso 2:** Se crea la geometría del aligeramiento de forma que los padres sean los Inputs del PowerCopy, es decir, centro y plano.

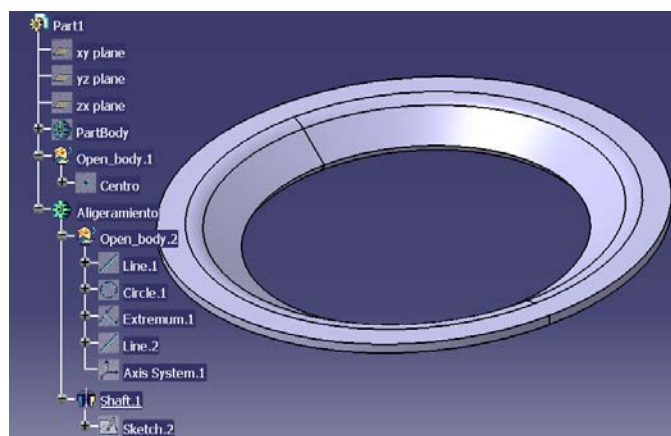


Figura 2.7: Geometría del aligeramiento



**Paso 3:** Se generan los parámetros que van a controlar la geometría del aligeramiento.

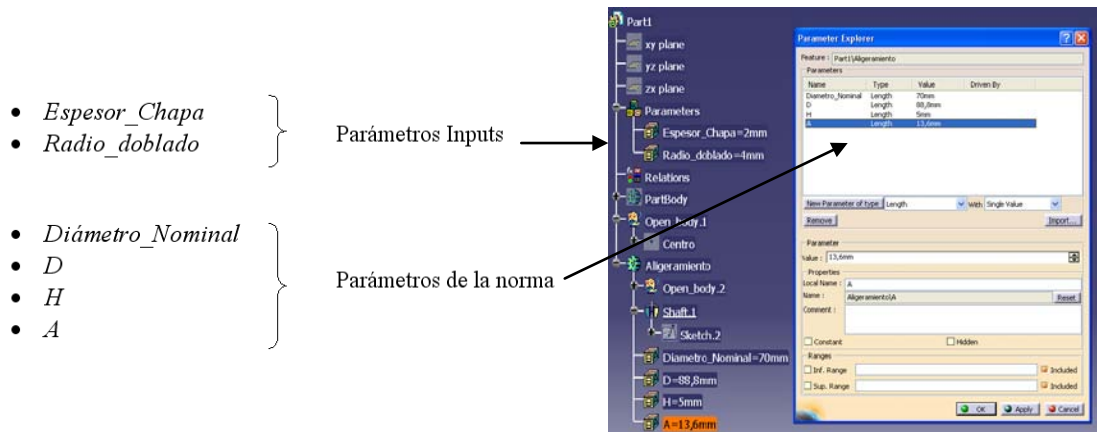


Figura 2.8: Definición de Parametros

**Paso 4:** Se asociarán los parámetros a la geometría mediante fórmulas.

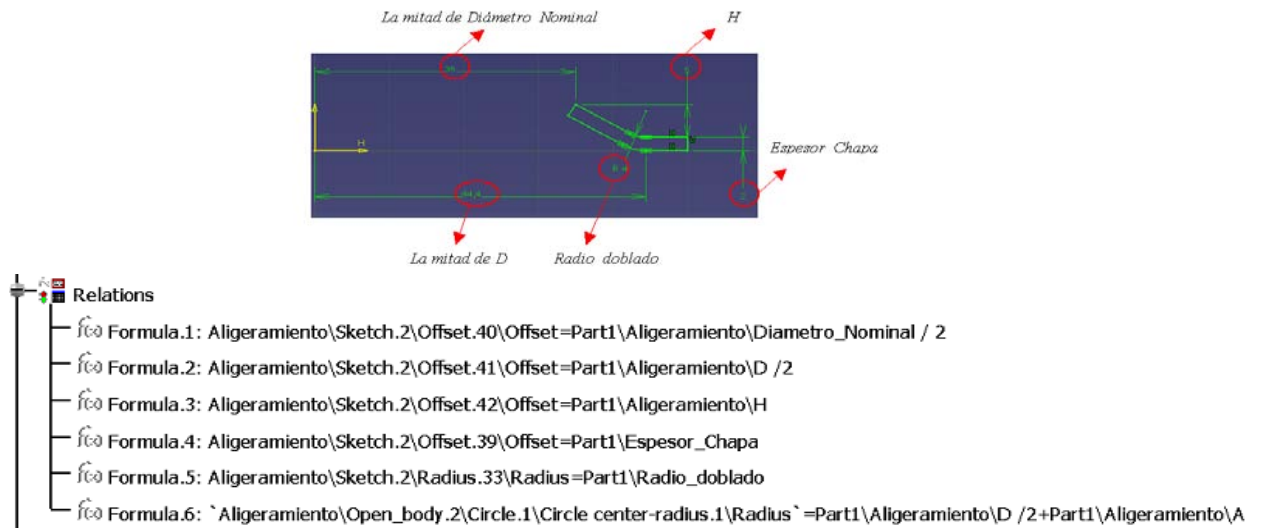


Figura 2.9: Generación de Fórmulas

**Paso 5:** Ahora se sustituyen las formulas creadas por una regla, ya que las reglas son más compactas y se pueden insertar en el interior de un Body.

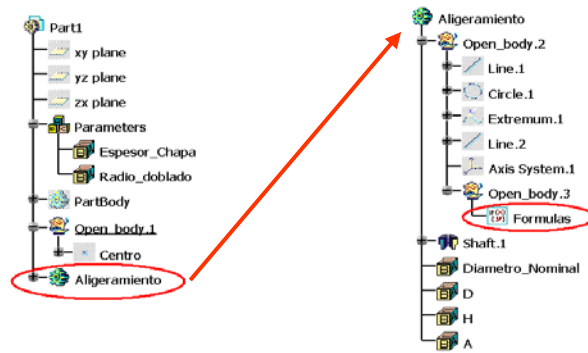


Figura 2.10: Ubicación de Formulas: Open\_Body

**Paso 6:** Se crean las tablas para cada rango de espesores; para ello se crean documentos de texto que contienen los datos de la norma y se insertan en el CatPart.

Para ilustrar este ejemplo, se han creado tres tablas y como se puede apreciar en el árbol, solamente una tabla puede estar activa.

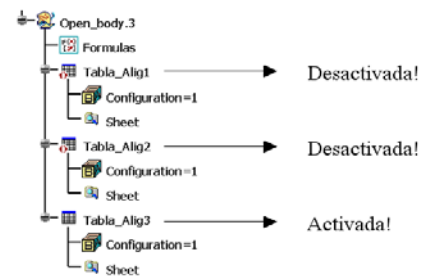


Figura 2.11: Generación de Tablas

**Paso 7:** Se generan las reglas que controlan las tablas anteriores.

| Rango de Espesores (mm) | Tabla_Align1 | Tabla_Align2 | Tabla_Align3 |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 0,4 a <u>1,5</u>        | ACTIVADA     | DESACTIVADA  | DESACTIVADA  |
| 1,5 a <u>2,5</u>        | DESACTIVADA  | ACTIVADA     | DESACTIVADA  |
| 2,5 a <u>4</u>          | DESACTIVADA  | DESACTIVADA  | ACTIVADA     |

```
Aligeramiento\Open_body.2\Open_body.3\Tabla_Align1\Activity = False
Aligeramiento\Open_body.2\Open_body.3\Tabla_Align2\Activity = False
Aligeramiento\Open_body.2\Open_body.3\Tabla_Align3\Activity = False
```

```
if (Espesor_Chapa > 0.4mm) and (Espesor_Chapa <=1.5mm)
{Aligeramiento\Open_body.2\Open_body.3\Tabla_Align1\Activity = True}
```

```
if (Espesor_Chapa > 1.5mm) and (Espesor_Chapa <=2.5mm)
{Aligeramiento\Open_body.2\Open_body.3\Tabla_Align2\Activity = True}
```

```
if (Espesor_Chapa > 2.5mm) and (Espesor_Chapa <=4mm)
{Aligeramiento\Open_body.2\Open_body.3\Tabla_Align3\Activity = True}
```

Figura 2.12: Generación de Regla.

**Paso 8:** Se crea el PowerCopy. Una vez creado se podrá comprobar si se ha generado correctamente, esto significa que los Inputs que se obtengan son los deseados inicialmente.

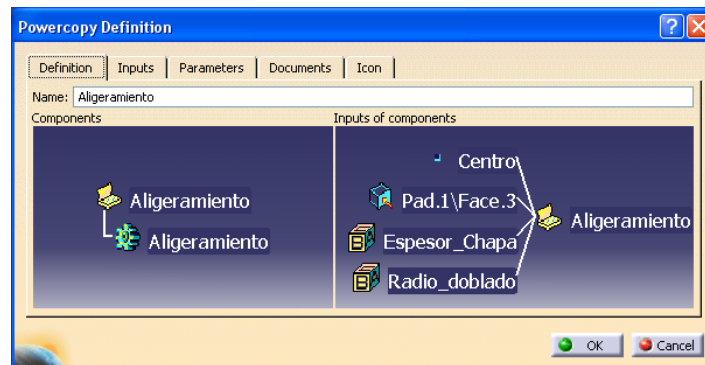


Figura 2.13: Definición del Powercopy

### 2.4.1.3 Inserción del PowerCopy

**Paso 1:** Se abre el modelo que contiene los Inputs que necesita el PowerCopy para ser insertado.

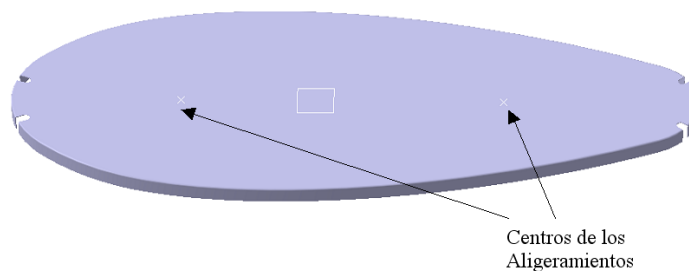


Figura 2.14: MODELO DE CUADERNA

**Paso 2:** Se ejecuta el comando de inserción del PowerCopy y se seleccionan los Inputs.

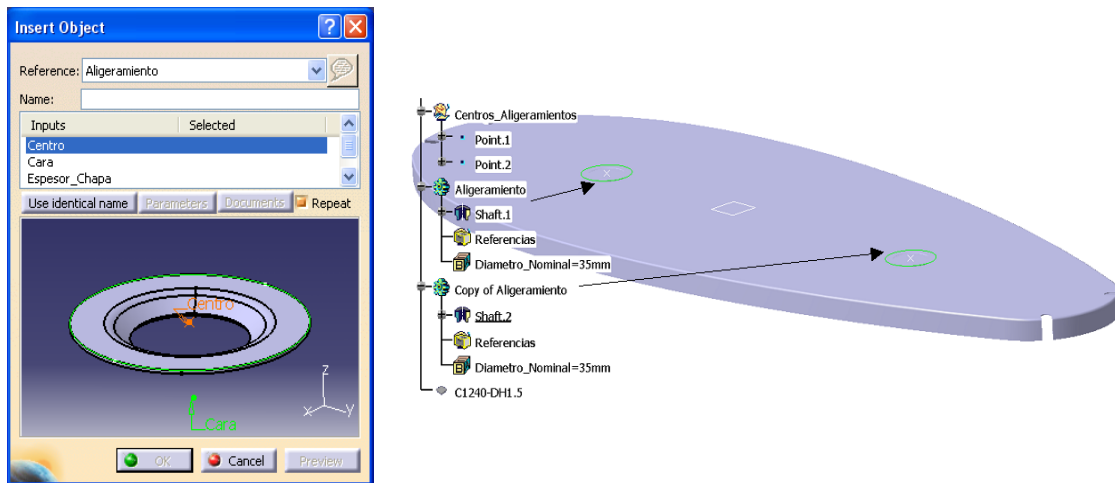


Figura 2.15: Inserción del Porwercopy

**Paso 3:** Se operan los bodies mediante operaciones Booleanas, en este caso se selecciona la operación Trim.

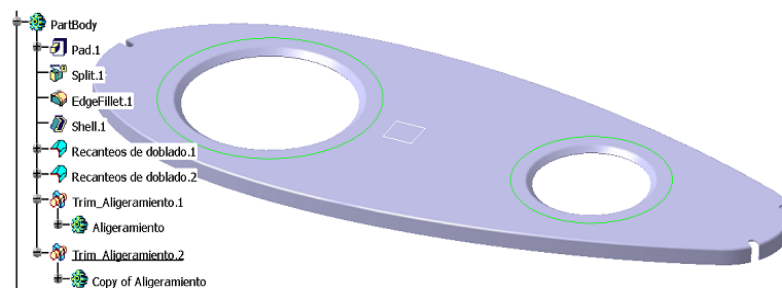


Figura 2.16: Cuaderna con aligeramientos

Esta forma de operar permite actualizar todos los componentes introducidos automáticamente si se produjera un cambio en el diseño, como por ejemplo un cambio de material, que implicaría un cambio de espesor y radio de doblado, o un cambio en alguno de los centros de los aligeramientos, desplazándose el aligeramiento con el punto, ya que éste es el padre del aligeramiento.

Con el mismo método de elegir Inputs, generar geometrías, reglas, fórmulas y parámetros, se irán generando tanto el resto de geometrías propias de la cuaderna como el resto de elementos de la estructura.

### 2.4.2 Diseño de larguerillos

Los larguerillos, también conocidos como sheridan, son unas piezas alargadas que se adaptan perfectamente a la superficie en la que se apoyan y se utilizan para dotar a la estructura de rigidez. Los larguerillos se cruzan perpendicularmente con las cuadernas transversales del timón, y al poseer una base con la forma de la superficie en la que se apoya, permite que sea más fácil montar la chapa exterior del elemento.

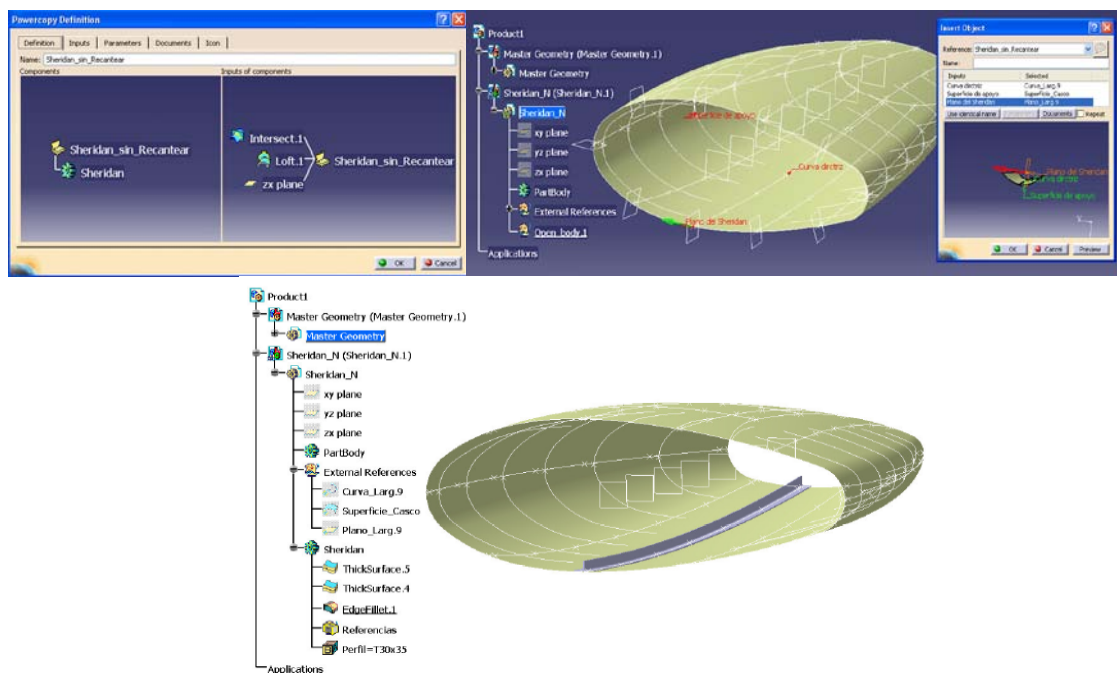


Figura 2.17: Diseño de Larguerillos

### 2.4.3 Diseño de revestimientos, angulares y refuerzos de unión

Se ilustran estos elementos, que han sido generados siguiendo el mismo método de diseño a través de los resultados obtenidos para ver posteriormente el montaje de todos los componentes que ensamblados generarán la estructura aeronáutica deseada.

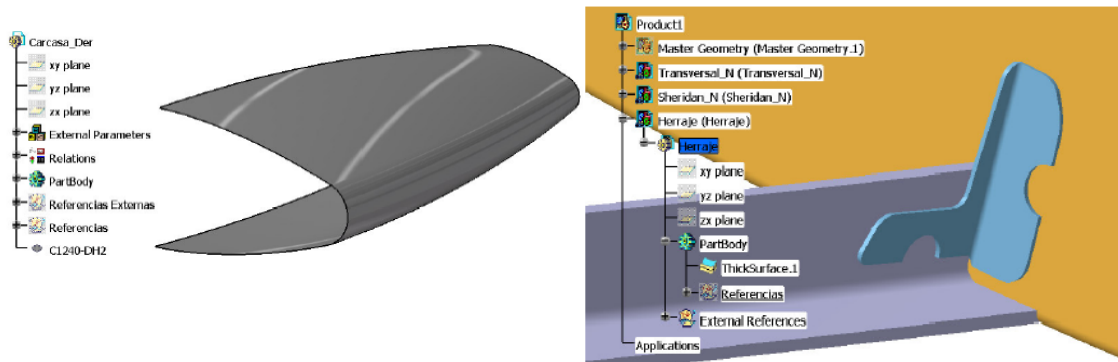



Figura 2.18: Diseño de Carcasa y Angular

### 2.4.4 Montaje de componentes y análisis de interferencias

Una vez generados todos los PC de todos los elementos, se está en disposición de ensamblar el conjunto. Para ello se crea un CatProduct con modelos vacíos que se irán renombrando adecuadamente. En cada uno de los cinco componentes se irán introduciendo los CatPart correspondientes.

Una vez que la estructura del elemento ha sido montada es necesario comprobar que las piezas no ocupan el mismo lugar en el espacio, es decir, que están bien situadas unas con respecto a otras haciendo contacto entre ellas y no superponiéndose entre sí. Existe un comando en CATIA V5 que realiza este tipo de tareas. Este comando se llama CLASH, y se ejecuta pinchando en el icono .

En teoría todos los elementos deben estar bien colocados debido a la estructura interna de los PowerCopies y UserFeatures que se han creado para la confección de las piezas. Pero no está de más realizar un análisis de interferencias para comprobar que realmente está todo en su sitio.

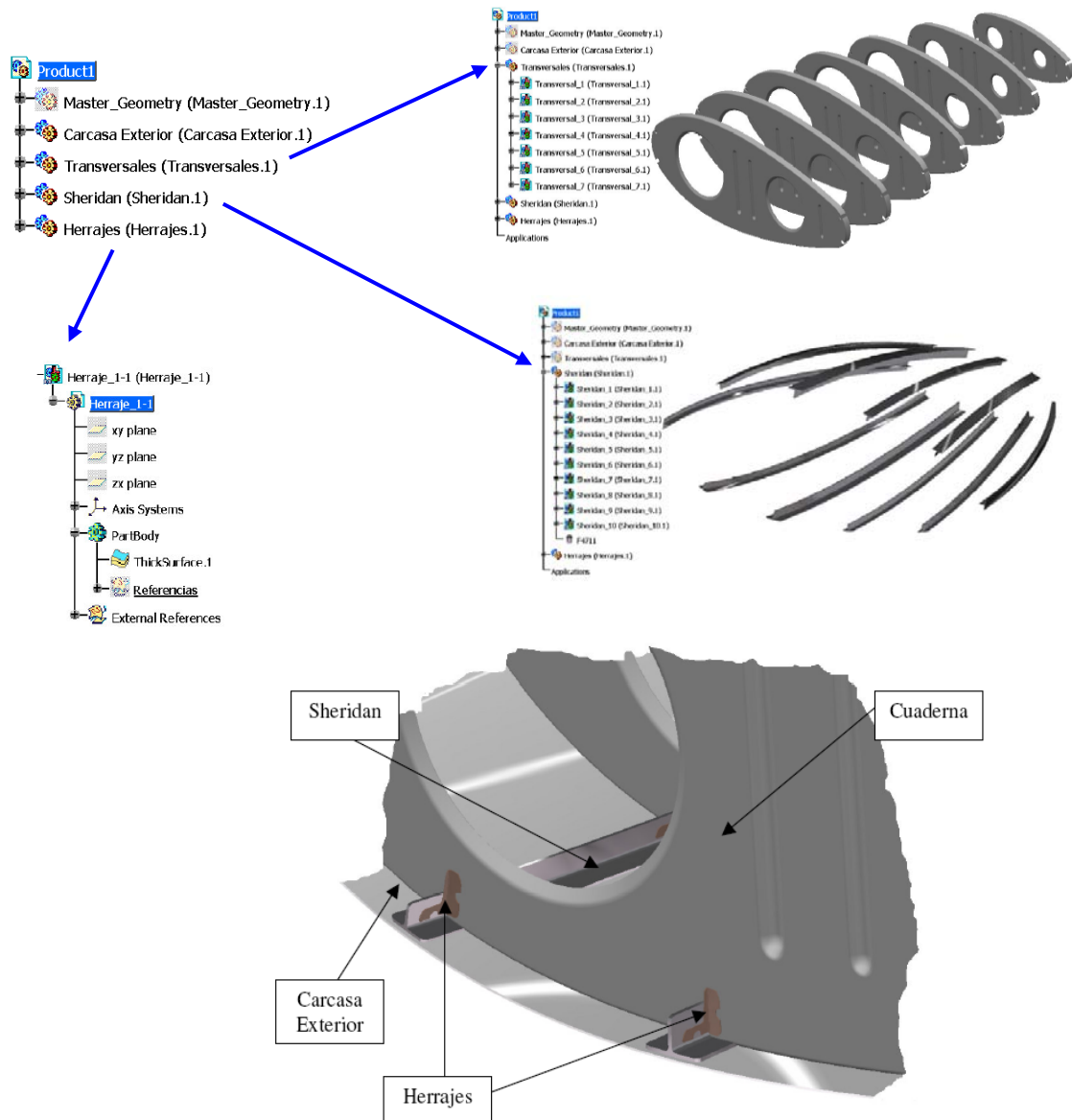


Figura 2.19: Montaje de Estructura

## 2.5. Conclusiones

En esta ponencia se ha descrito el resultado de la colaboración entre el área de Desarrollos en CAD-CAM del departamento de Ingeniería Concurrente en la Factoría de San Pablo (Sevilla), perteneciente a la compañía aeronáutica EADS-CASA; y el departamento de Ingeniería Gráfica de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. Y aunque es sobradamente conocido, recordar que EADS es un consorcio europeo dedicado a la fabricación de aeronaves: aviones, helicópteros, cohetes, etc.; y además

socio mayoritario del fabricante de aviones de transporte AIRBUS, y cuya filial española CASA, posee sedes en Madrid, Sevilla y Cádiz. Este trabajo, de casi un año de duración, ha fructificado en la elaboración de una aplicación informática (sistema experto), destinado al diseño de componentes estructurales típicos del avión, tales como: alas, alerones, flaps, planos fijos, etc.; que comparten: la misma forma geométrica, la misma función de sustentación en vuelo, y están formados por los mismos tipos de piezas: costillas, largueros, larguerillos, refuerzos, etc.

La utilización de un sistema experto ha permitido, no sólo automatizar el diseño, con la reducción de tiempo consecuente; sino que también va a permitir que muchos usuarios menos cualificados, como delineantes, puedan realizar tareas de diseño, recogiendo el conocimiento almacenado por el experto (ingeniero) en el sistema, y con la seguridad de que los resultados cumplen las normas establecidas.

Referencias bibliográficas: 6, 9, 13, 14, 22, 26, 29, 41,47, 74.



## Capítulo 3

# AUTOMATIZACIÓN DE TAREAS UTILIZANDO VISUAL BASIC EN EL MODELADO DE SÓLIDOS CON CATIA V5

### 3.1. Introducción

El objetivo fundamental de este artículo es mostrar como se aborda la automatización de tareas en el modelado de sólidos con Catia V5R9, mediante el uso de macros, trabajando bajo el sistema operativo Windows y con el lenguaje de programación Visual Basic. Una macro es un código (escrito en un determinado lenguaje de programación) bajo el cual se agrupan un conjunto de operaciones que definen una tarea concreta. Se utilizan para automatizar tareas a realizar de forma repetitiva, y también para desarrollar nuevas operaciones (Features), que faciliten el proceso de modelado y que no estén incluidas por defecto dentro del menú de órdenes. El trabajo presentado muestra los conceptos necesarios para empezar a trabajar con las macros y se introduce en los lenguajes de programación (basados en objetos) compatibles con Catia V5R9. Posteriormente, describe los distintos objetos a partir de los cuales se construyen las macros para el modelado de sólidos. Y por último, se incluyen varias aplicaciones que clarifican el uso de las herramientas estudiadas, y que ponen de manifiesto su gran utilidad.

## **3.2. Instrumentos para la automatización de tareas en el modelado de sólidos con Catia V5**

Catia V5R9 [13] ofrece la posibilidad de automatizar tareas en el proceso de modelado de sólidos mediante el uso de tres herramientas: el “PowerCopy”, el “UserFeature” y las macros. El objetivo, de cualquiera de ellas, será la generación automática de resultados a partir de unos elementos de entrada o “inputs” que deberán ser en cualquier caso totalmente genéricos.

### **3.2.1 PowerCopy**

Esta herramienta permitirá automatizar tareas que hayan sido previamente ejecutadas de forma manual sobre un modelo sólido (documento CATPart). Para crear el “PowerCopy” se debe: definir los elementos del modelo (geometría, parámetros, fórmulas,...) que serán tomados como “inputs” genéricos del proceso de automatización, publicar aquellos parámetros cuyos valores pueden ser modificados por el usuario y seleccionar los elementos resultantes.

Una vez guardado, el modelo que contiene el “PowerCopy”, se podrá ejecutar en cualquier otro documento CATPart. Habrá que seleccionar los nuevos “inputs” y definir los valores de los parámetros publicados, a partir de aquí se generarán de forma automática y con todas sus especificaciones de diseño, tanto los resultados finales del proceso como los elementos intermedios necesarios para obtenerlos.

### **3.2.2 UserFeature**

El “UserFeature” facilita ejecutar tareas de forma automática dentro de un documento CATPart de manera muy similar al “PowerCopy”. La diferencia estriba en que sólo se crearan aquellos elementos intermedios que hayan sido seleccionados por el usuario y por tanto los resultados finales, como los elementos intermedios, serán generados sin sus especificaciones de diseño, de forma que no podrán ser modificados a posteriori.

### 3.2.3 Macros

Una macro es un código escrito en un determinado lenguaje de programación y bajo el cual se agrupa el conjunto de operaciones que definen la tarea a automatizar. Las ventajas esenciales que ofrece esta herramienta frente a “PowerCopy” y “UserFeature” son las siguientes:

- Automatización todo tipo de tareas en el modelado sólido.
- Ejecución rápida y sencilla mediante un icono en pantalla.
- Reducir al máximo el número de “inputs”, minimizando así la intervención del usuario en el proceso.
- Repetir la tarea que se automatiza un número de veces indefinido.
- Posibilidad de trabajar conjuntamente con documentos CATPart y CATDrawing, y así generar todo tipo de vistas del modelo sólido.

## 3.3. Los lenguajes de programación en Catia V5

Catia V5R9 permite la creación y ejecución de macros mediante el uso de distintos lenguajes de programación basados en objetos. Cualquier entidad de la aplicación (documentos, ventanas gráficas, geometría, parámetros, fórmulas...) será representada y manejada desde estos lenguajes como un “objeto”. Trabajando en PC bajo el sistema operativo Windows se pueden utilizar entornos como: Visual Basic 5 [17], Development Studio [55], Visual Basic para Aplicaciones 6.0 [54], Visual Basic Scripting Edition [18], Java/JavaScript [4] o Visual C++ [69].

### 3.3.1 Creación de macros utilizando Visual Basic

La creación de macros desde la aplicación Catia V5R9 está directamente vinculada al lenguaje de programación Visual Basic de dos formas distintas, dos entornos propios de programación: el CATScript (edición simplificada de Visual Basic) y el VBScript (derivado del Visual Basic Scripting Edition); y un acceso directo a través del menú de herramientas al entorno de programación externo Visual Basic para Aplicaciones 6.0.

### 3.4. Estructura de objetos de automatización en Catia V5

Los objetos de automatización de la aplicación se organizan según una estructura jerárquica de tipo padre-hijo. El objeto raíz del que descienden todos los demás es del tipo “Application” que representa directamente al programa Catia V5R9. Con este objeto se pueden crear y manejar documentos y ventanas gráficas.

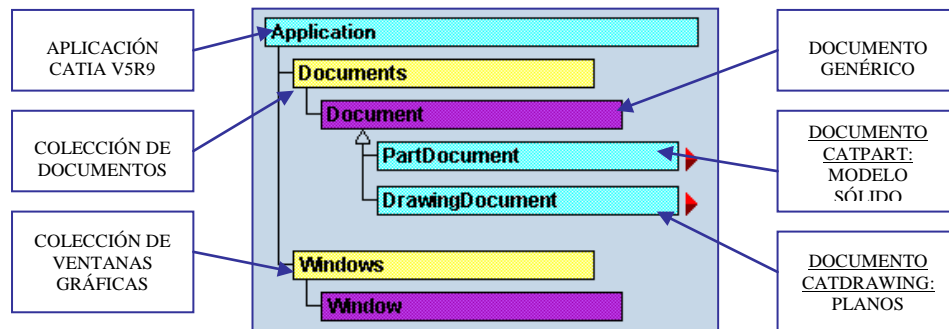


Figura 3.1. Esquema inicial de automatización de objetos.

#### 3.4.1 Estructura de objetos en un documento CATPart

En estos documentos, el objeto padre de todos es del tipo “Part”. A partir de él, se crean y manejan sistemas de referencia, cuerpos sólidos (Bodies), OpenBodies (conjuntos de elementos de referencia: líneas, planos, superficies...), restricciones geométricas y dimensionales, parámetros y todas las relaciones que los gobiernan (fórmulas, reglas, chequeos...).

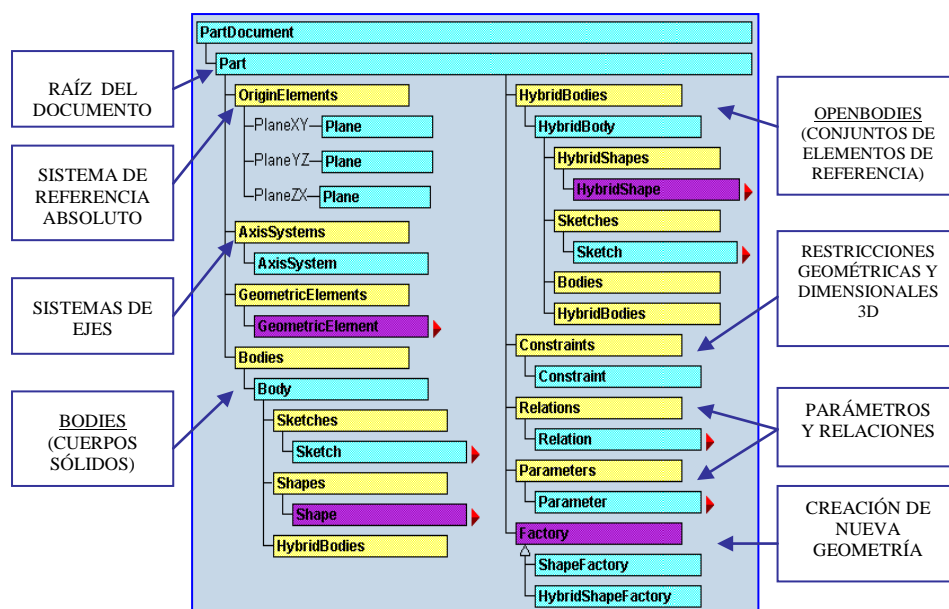


Figura 3.2. Estructura de objetos en un documento CATPart.

### 3.4.2 Estructura de objetos en un documento CATDrawing

Los planos de cualquier modelo sólido serán elaborados partiendo del objeto tipo “DrawingSheets” (colección de hojas o planos de dibujo del documento). Con él se puede definir el formato y la escala de trabajo, generar vistas y realizar cortes o secciones, también crear textos y geometría 2D. Mediante los objetos tipo “Parameters” y “Relations” confeccionar parámetros, fórmulas, reglas...

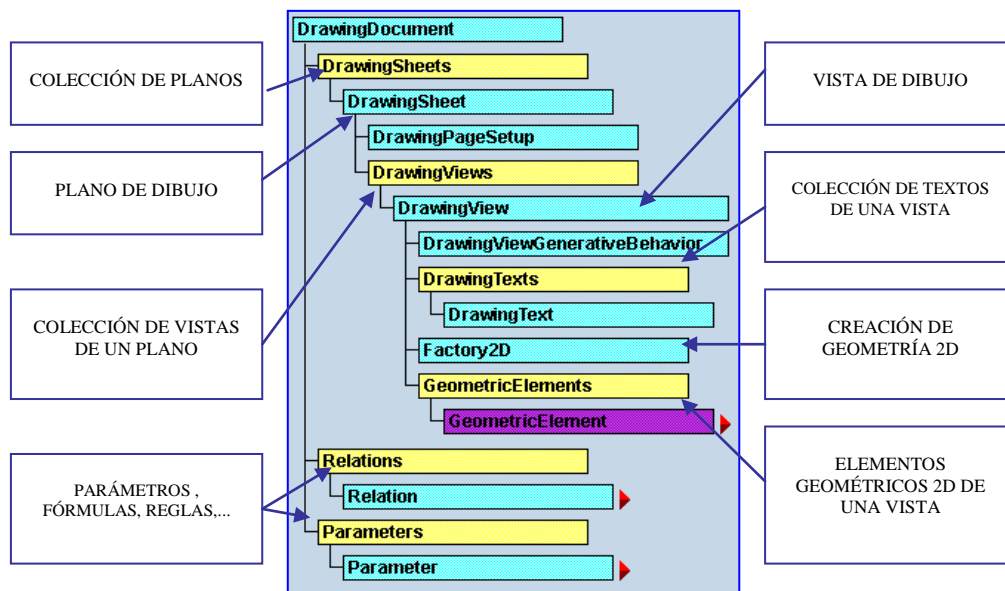


Figura 3.3. Estructura de objetos en un documento CATDrawing.

### 3.5. Descripción de los procesos automatizados implementados

Las siguientes macros han sido desarrolladas utilizando el lenguaje de programación Visual Basic para Aplicaciones 6.0. El usuario será capaz de ejecutar las aplicaciones trabajando sobre cualquier modelo sólido con tan solo pulsar un icono situado en pantalla.

### 3.5.1 Automatización de tareas repetitivas

#### 3.5.1.1 Generación de taladros avellanados

Esta aplicación realiza de forma automática y de una sola vez, un número indefinido de taladros avellanados en puntos situados sobre distintas caras del sólido (esto no es posible de forma manual mediante multiselección o uso de matrices).

Utilizando un sencillo formulario, se podrán introducir los parámetros que definen la geometría de los taladros (diámetro, profundidad, ángulo de cabeza y su profundidad) y determinar el método de selección de los centros: preselección en el árbol de estructura antes de ejecutar la macro, selección directa de los puntos sobre la geometría o el árbol, o bien localización a partir de una cadena de caracteres de búsqueda.

En el siguiente ejemplo se generan taladros en todos aquellos puntos de la geometría cuyo nombre termina en “TA”.

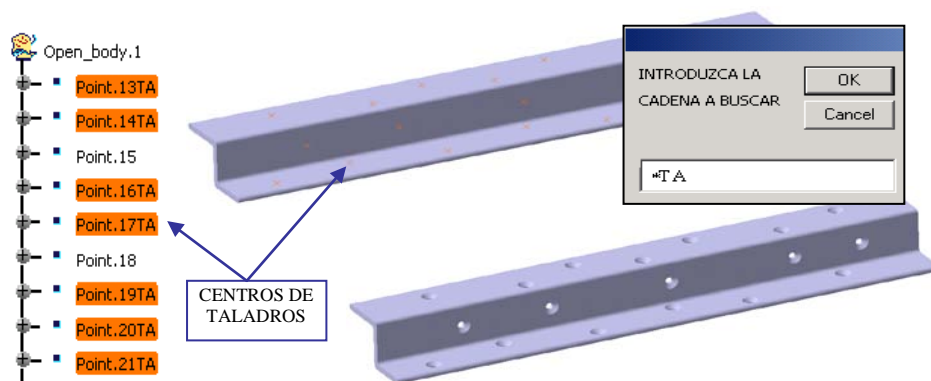


Figura 3.4. Centros de taladros a partir de una cadena de caracteres.

El proceso manual requeriría: localización de los centros que cumplen el criterio de búsqueda, uso repetitivo de la herramienta para la creación de taladros y de la herramienta para la creación de matrices (si procede) del módulo de diseño “Part Design”.

### 3.5.2 Desarrollo de nuevas herramientas

#### 3.5.2.1 Generación del “Stock” de partida de piezas mecanizadas

Esta aplicación elabora automáticamente el stock o bloque sólido con el que, mediante distintas operaciones de mecanizado, se obtiene la pieza final. El análisis de inercia del modelo sólido establece las dimensiones y el volumen del “stock”, su geometría y el valor de viruta desalojado.

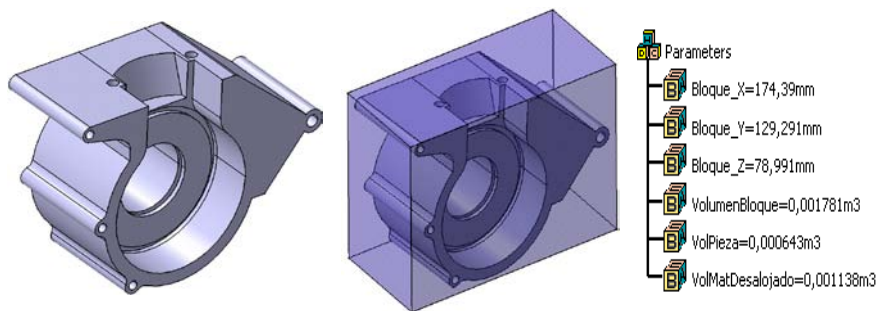


Figura 3.5. Generación del “stock” de partida de la pieza.

El bloque obtenido puede ser utilizado, por ejemplo, para simular el proceso de mecanizado con el módulo “NC\_Manufacturing” de Catia V5R9. En un formulario inicial se introducen los excesos de material del bloque en las tres direcciones (el eje X se corresponde con la dimensión mayor del stock y el eje Z con la menor).

El proceso manual requeriría: interpretación de los datos obtenidos del análisis de inercia del modelo, creación de la geometría completa del “stock” mediante los módulos de diseño mecánico teniendo en cuenta los excesos de material y generación de datos tales como dimensiones y volumen del “stock” o volumen de viruta desalojado.

### 3.5.2.2 Generación de los planos que pasando por una recta formen $\alpha$ grados con un plano dado

Esta aplicación facilita la obtención de los planos que pasando por una recta de referencia forman  $\alpha$  grados con un plano dado (no existe ninguna herramienta de Catia V5R9 que permita obtenerlos directamente). La recta y el plano de referencia serán seleccionados en pantalla.

El ángulo  $\alpha$ , introducido por el usuario, se controla mediante fórmulas y chequeos. Si su valor estuviera fuera del rango de validez permitido (ángulo recta-plano dados y  $90^0$ ), se mostraría un mensaje en pantalla informando del límite infringido.

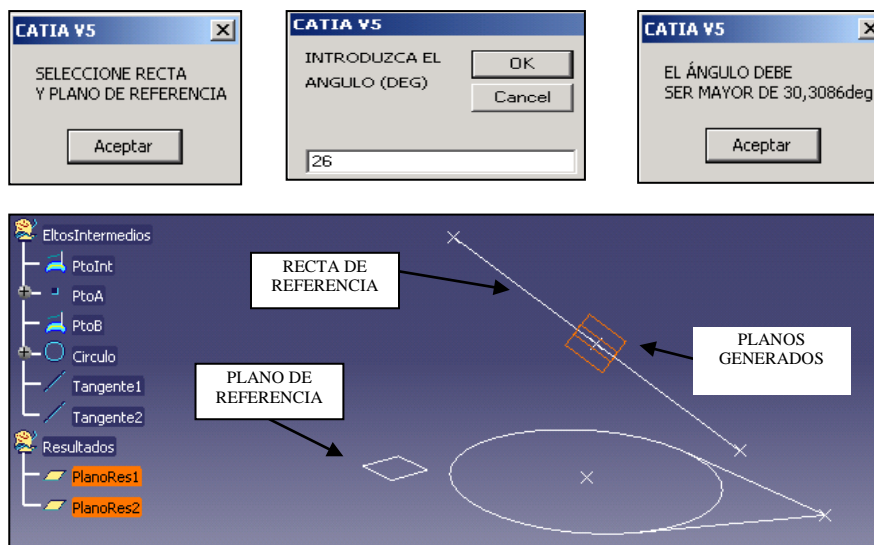


Figura 3.6. Ventanas interactivas y generación de planos.

El proceso manual requeriría: control del rango de valores admisible del ángulo  $\alpha$  y generación a partir de los elementos de referencia de toda la geometría necesaria para obtener los planos resultado.



### 3.5.3 Control de ejecución de tareas

#### 3.5.3.1 Generación automática de aligeramientos normalizados en chapas planas

Los taladros de aligeramiento son elementos muy utilizados en la industria para disminuir el peso y aumentar la rigidez de las chapas. La generación automática de este tipo de taladros supone un ahorro de tiempo importante en el modelado de piezas de chapa y sobre todo permite *asegurar el cumplimiento de la normativa* específica que afecta a este tipo de elementos. La macro diseñada permite realizar taladros de aligeramiento normalizados simplemente seleccionando su centro en pantalla.

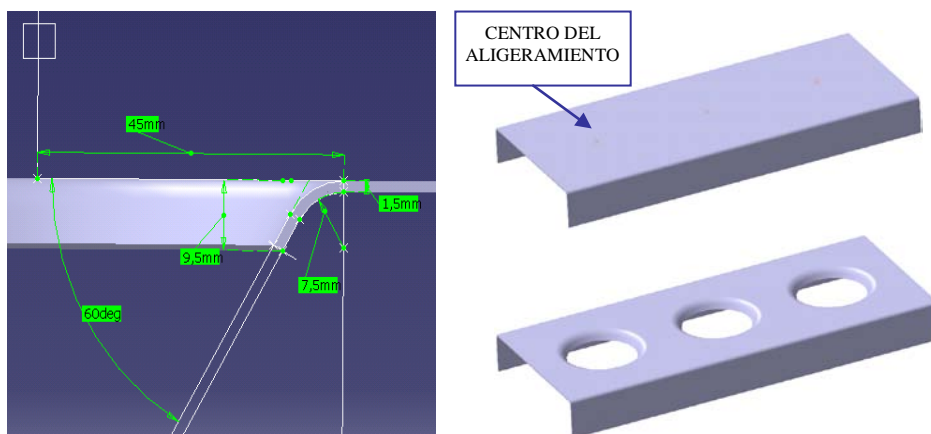


Figura 3.7. Geometría normalizada y generación de aligeramientos.

El proceso manual requeriría: creación según normativa de la geometría que define el perfil del aligeramiento, generación de la geometría completa del aligeramiento mediante revolución del perfil creado alrededor del eje del taladro, eliminación del material interior sobrante mediante una operación booleana de sustracción, utilización de matrices si procede o bien repetición de los pasos anteriores para generar el resto de los aligeramientos de la pieza.

### 3.5.4 Accesibilidad de usuarios a tareas complejas

#### 3.5.4.1 Generación automática de planos en formato DXF

Esta aplicación posibilita a cualquier usuario, independientemente de su nivel de conocimientos de Catia V5R9, la generación automática de un documento en formato DXF (legible desde otros programas de CAD) que contenga las vistas normalizadas de cualquier modelo sólido.

A través de un formulario el usuario definirá el tipo de formato que desea utilizar, la escala y las vistas normalizadas que se incluirán en el documento.

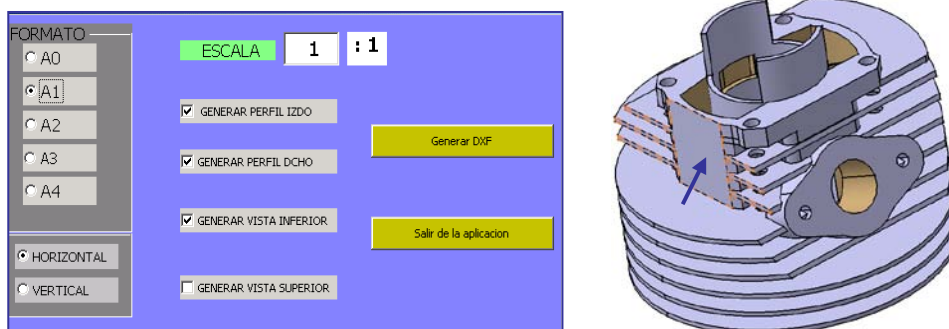


Figura 3.8. Formulario inicial de la aplicación y selección de la faceta de referencia para vista frontal.

Una vez completado el formulario, se selecciona la faceta o cara de referencia para la vista frontal y definir tanto el nombre como la ubicación destino para el documento DXF. Las vistas de dibujo se distribuirán de manera uniforme dentro del formato.

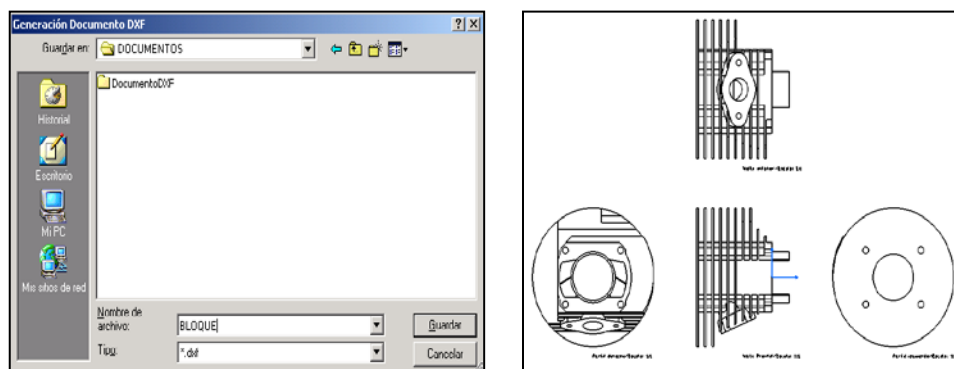


Fig. 3.9. Definición del nombre, ubicación del documento DXF y generación de vistas

El proceso manual requeriría: creación de un nuevo documento de dibujo “CATDrawing”, utilización de las herramientas del módulo de dibujo “Drafting” para la creación de la vista frontal del modelo sólido, generación del resto de vistas normalizadas a partir de la vista frontal, distribución uniforme de las vistas dentro del formato de trabajo y creación del documento con formato DXF.

### 3.5.4.2 Análisis de parámetros

La última de las aplicaciones desarrolladas permitirá localizar rápidamente aquellos elementos del modelo que estén afectados por el valor de un determinado parámetro de diseño. Una vez seleccionado el parámetro de interés, quedarán remarcados todos los elementos vinculados a él (geometría, fórmulas, ...).



Figura 3.10. Información de parámetros.

El proceso manual requeriría el análisis detallado mediante vínculos padre-hijo de todas las relaciones (fórmulas, reglas...) en las que el parámetro en cuestión interviene. Aún así, no sería posible visualizar todos los elementos afectados de una sola vez.

## 3.6. Conclusiones

Esencialmente se puede afirmar que:

- Las macros son la herramienta más potente y versátil que ofrece Catia V5R9 para la automatización de tareas en el modelado de sólidos.

- Visual Basic para Aplicaciones 6.0 posibilita el desarrollo de manera rápida y eficaz de cualquier tipo de macro.
- Los vínculos entre los objetos de automatización son básicos en el proceso de creación de las macros.
- El control de errores de ejecución de las macros permitirá definir en todo momento el tipo de objeto manejado y asegurar el desarrollo correcto del proceso.
- El sistema de selección múltiple en pantalla y el funcionamiento de algunas propiedades y métodos para ciertos objetos deberían ser mejorados en versiones superiores de la aplicación.

Referencias bibliográficas: 4,5,15,17,18,21,25,69,70.

## Capítulo 4

# **DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO EN CATIA V5 PARA FACILITAR EL MECANIZADO DE PIEZAS DE CONTROL NUMERICO**

### **4.1. Introducción**

El desarrollo alcanzado en las dos últimas décadas por los sistemas de CAD-CAM ha hecho evolucionar todas las tecnologías de fabricación, en especial la de Mecanizado; de modo que en la actualidad, ha casi desaparecido el mecanizado convencional, manual o semiautomizado, utilizándose masivamente el Control Numérico (CN). Disponiendo del modelo sólido creado con alguna aplicación CAD, el módulo CAM de la misma, permitirá fijando parámetros característicos de la herramienta y de la máquina, la fabricación por CN (en Centros de Mecanizado, Células Flexible, etc.) de la pieza en cuestión. No obstante existe una tarea preliminar, poco estudiada, pero de gran importancia que es la selección del material o trozo de partida, con sus dimensiones y con todas las fijaciones o amarres precisos, para que la máquina de CN

pueda realizar todas las tareas posteriores de arranque de viruta. Una correcta decisión implicará un ahorro en materia prima y además en tiempo de mecanizado.

Los sistemas expertos, que nacieron en el año 1977, son sistemas informáticos que incorporan de forma operativa el conocimiento de personas experimentadas y los aplican a la resolución mediante la simulación de los procesos de aprendizaje, memorización, razonamiento y comunicación del resultado al usuario con las pertinentes explicaciones. Tratando de emular el razonamiento humano, estos sistemas nacen de la colaboración de expertos e ingenieros del conocimiento. Uno de los tipos más extendido de sistemas expertos son los basados en reglas, donde el conocimiento se expresa en forma de pares (condición, acción), en donde la condición describe la situación en la que puede aplicarse la regla, y en este caso la acción a la que daría lugar. Los procesos industriales en general, y éste (acerca de la determinación del trozo de partida para el mecanizado de una pieza) que nos ocupa, en particular, son difícilmente secuenciables, por lo que los sistemas de programación tradicional se han mostrado ineficaces; por el contrario los sistemas basados en el conocimiento (entre los que se hayan los expertos) han experimentado un auge enorme al permitir capturar, y sobre todo almacenar, la experiencia adquirida por los ingenieros durante su trabajo y formación. Como prueba de esto, las más potentes aplicaciones comerciales de CAD-CAM, como es el caso de CATIA V5, han incorporado entre sus módulos alguno destinado a la gestión y programación del conocimiento.

En esta comunicación se muestra el desarrollo de un sistema experto, creado con el módulo *Knowledge Advisor* de CATIA V5, con el objetivo de determinar: dada una pieza cualquiera a mecanizar ya modelada con esta aplicación, las dimensiones de la materia prima de partida, así como sus amarres a la bancada de la máquina de CN. Para dar luz a este proceso, primeros empezaremos destacando la importancia del conocimiento: “El recurso fundamental económico ya no es el capital, los recursos naturales o el trabajo; es y será el conocimiento” [24]. Para continuar mostrando cómo se estructura y se gestiona en el módulo de CATIA: *Knowledge Advisor*. En el tercer apartado sintetizamos las reglas: normas, que para el cálculo del material de partida hay establecidas. Para en los dos últimos apartados presentar al sistema experto, y los resultados que con él se obtienen.

## 4.2. La teoría del conocimiento

En algunas industrias, se considera un serio problema la posible pérdida del conocimiento en los procesos de diseño, ya que los diseñadores trabajan de forma individual, bajo sus propios criterios, y no documentan cómo realizan el proceso. Por tanto el conocimiento que adquieren en esta labor, no queda registrado y no constituye un recurso para futuros diseños. Actualmente hay pocas posibilidades de que los más veteranos transfieran su conocimiento a las nuevas generaciones.

La Ingeniería basada en el conocimiento consiste en el uso de técnicas informáticas avanzadas para capturar y reutilizar, en una forma integrada, el conocimiento empleado en productos y procesos; y proporciona un ‘contenedor’ para mantener todo el disponible, lo que puede resultar de gran utilidad para los nuevos ingresos en la empresa.

El objetivo fundamental es el ahorro de tiempo y dinero, así como devolver la parte creativa al proceso de diseño, es decir reducir el tiempo que se tarda en tareas repetitivas y aumentar el utilizado en el proceso creativo, que es el que aporta valor añadido.

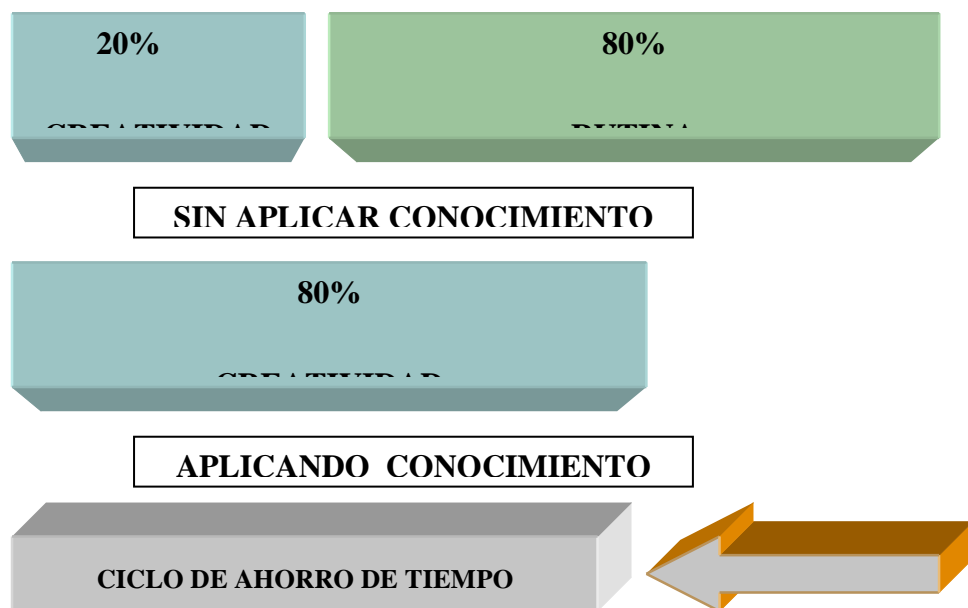


Figura 4.1: Metodología en un lenguaje de conocimiento

La metodología en la que se basa un lenguaje de conocimiento está estructurada en forma de pirámide. Esta pirámide tiene cinco escalones, donde cada escalón está construido encima de uno que se ha ejecutado previamente:

1. Usos: realizar un estudio de los modelos a diseñar y que sea práctico integrar un modelo de conocimiento para luego poder reutilizarlo.
2. Herramientas: los recursos necesarios, lenguajes informáticos, software o programas CAD.
- 3 Métodos: vida cíclica del modelo, procesos del modelo y directrices
4. Teoría: notaciones textuales y gráficas, hoja de trabajo y estructura de documentos.
5. Entornos en el mundo: modelos basados en la ingeniería del conocimiento usando patrones

Generalmente, los sistemas de conocimiento son apropiados para automatizar y mejorar las tareas que habitualmente requerirían un proceso repetitivo, dejando más tiempo para el proceso ingenieril.

### **4.3. La organización del conocimiento en Catia V5**

CATIA Versión 5, proporciona una serie de capacidades, muy interesantes, que permiten a los diseñadores crear sus propias especificaciones y reglas, guardándolas en documentos, y reutilizándolas de nuevo.

Las ventajas competitivas que aportan estas herramientas son:

- Capturar el conocimiento de la ingeniería como especificaciones, que permiten dar a la aplicación una consistencia completa.
- Definir y compartir fácilmente la habilidad de diseño entre todos los usuarios.
- Automatizar la definición del producto.
- Aumentar la productividad
- Permitir dar una atención temprana a especificaciones del plan de diseño que previenen un costoso rediseño.



- Guiar y ayudar a los usuarios a través de sus tareas del plan de diseño

Las aplicaciones que se necesitan para desarrollar soluciones del conocimiento se han dividido en tres partes:

- El Consejero del Conocimiento ( Knowledge Advisor)
- El Conocimiento Experto (Knowledge Expert)
- Plantillas de Producto del Conocimiento ( Product Knowledge Template)

### **4.3.1 Knowledge Advisor**

Los usuarios pueden aportar conocimiento, en un plan de diseño, tales como: conductas, fórmulas, reglas y chequeos; y acudir a ellos cuando se requiera en cualquier momento. Este módulo está compuesto por una serie de herramientas que facilitan el proceso de reutilización de la información.

#### Los Parámetros

Son elementos que permiten controlar variables que están destinadas a formar parte de algún aspecto del diseño. Pueden ser de muchos tipos, parámetros de medida, de masa, reales, incluso boléanos. Pueden tener un solo valor, o múltiples valores, o llevar insertada alguna fórmula. Lo más importante que tiene su uso, es la posibilidad que da al diseñador de variar su valor después de ser creado.

#### Las Fórmulas

Son los elementos de enlace entre los parámetros y los elementos que conforman el diseño. Se pueden definir por el usuario, aunque Catia trae una gran cantidad de fórmulas integradas: volumen de un modelo, cálculo de la distancia mínima, etc.

#### Las Tablas

Cuando tenemos una serie de parámetros que hacen referencia a un mismo conjunto de datos, o que la construcción geométrica a la que hacen referencia esté normalizada, se recogen los resultados en una tabla, podemos crearla de tal forma que sus valores cambien en función de los datos contenidos en ella

### Las Reglas

Las reglas dan la posibilidad al usuario de obligar al modelo a que siga unas determinadas pautas. Son fundamentalmente de dos tipos:

- Agrupaciones de fórmulas: se consigue así sobre todo tener un árbol más ordenado y con menos elementos.
- Reglas: creadas por el propio usuario con un lenguaje intrínseco de Catia y que siguen la estructura de un lenguaje sencillo de programación, como Visual Basic.

### Los Chequeos

Los chequeos sirven para hacer comprobaciones sobre las definiciones que tienen que cumplir los elementos, así se pueden detectar si se está incumpliendo alguna normativa o alguna regla que lleva incluido el modelo.

### Las Macros

Una Macro no es más que una aplicación creada con un lenguaje de programación, que se puede construir con un editor de texto, o bien puede ser creada desde un programa en Visual Basic en un documento aparte, y luego llamarla desde Catia a través de una acción.

Para construir una Macro el usuario debe conocer el lenguaje de la programación, no es como construir una regla que trae un diccionario con los parámetros y operadores que se utilizan.

## **4.3.2 Knowledge Expert**

Es una herramienta para analizar y manipular todo un producto. Tiene las mismas capacidades que el módulo de Knowledge Advisor, pero tratada de una forma un poco diferente; mientras que en el Knowledge Advisor se crean aplicaciones que contienen características o propiedades del modelo y se almacenan dentro del mismo modelo, en el Knowledge Expert el usuario que llamamos “el experto”, puede generar una Regla Base. Esta Regla Base, es la que va a funcionar como regla estándar para el resto de

usuarios que la vayan a usar, y cada vez que quieran crear una regla nueva, tienen que ir añadiéndola a la anterior, teniendo al final un conjunto de reglas.

Cada usuario puede manipular a su antojo las reglas que están situadas en el segundo nivel, pero no pueden manipular la Regla Base. Ésta sólo puede ser manipulada por el usuario que la creó. Si se desactiva esta regla, quedan automáticamente desactivadas todas las demás.

Con esto se consigue ir almacenando información, con la finalidad de ir catalogando todo un conjunto de información y formativas, que posteriormente pueden ser usadas por los usuarios que tenga la empresa.

### **4.3.3 Product Knowledge Template**

Este módulo está compuesto por tres elementos que sirven para automatizar los procesos en el diseño y son en esencia los elementos que componen el conocimiento en Catia.

#### PowerCopy

Se utilizan, fundamentalmente, cuando se tiene una construcción geométrica que se va a repetir a lo largo del proceso de diseño, así, se construye una sola vez, se inserta dicha geometría en el PowerCopy, y puede ser utilizado en otro modelo tantas veces como sea necesario.

Se incluirán como Input (entradas): los Parámetros que vayan a ser constantes en los modelos donde se van a aplicar: espesores, radios, etc., y como Outputs (salidas): el resultado que se quiera obtener.

#### UserFeature

La UserFeature tiene la misma estructura que el PowerCopy y su función también es la misma, lo que ocurre es que la estructura interior está oculta y no se tiene acceso a la misma, si no estamos dentro del modelo donde se creó, así se puede decir que es como una caja negra donde sólo se ven las entradas (Inputs) y las salidas (Outputs).

Las entradas serán los elementos en los que se puede un diseñador apoyar para la construcción de la geometría.

Un PowerCopy puede ser modificado una vez creado, y la UserFeature una vez creada no deja cambiar ningún elemento, sino que hay que construirla de nuevo.

#### Document Template

Está integrado en un catálogo, que es una estructura de organización que permite tener almacenado por familias, las distintas aplicaciones que se van creando en Catia. Así se consigue tener una librería de conocimiento almacenado y ordenado, para su posterior reutilización.

Los catálogos permiten crear ligaduras entre ellos con lo cual, se puede tener un solo catálogo raíz, del que cuelguen todos los demás agrupados por familias, y tener totalmente organizadas las distintas aplicaciones que se vayan realizando en un proyecto de una empresa.

El Document Template está compuesto por UserFeatures, o PowerCopies formando un modelo; por lo tanto, cuando se quiere volver a utilizar hay que estar dentro de un entorno general formado por un conjunto, un Product en Catia.

### **4.4. Normas generales para el tratamiento y cálculo del material de partida en un mecanizado**

Todas las piezas que se mecanizan por control numérico, parten de un paralelepípedo que se ajusta lo más posible a la pieza final; y que dependiendo del material, el peso y la precisión de mecanizado, recibe una serie de operaciones previas que están normalizadas:

#### Planeado

Los materiales empleados para el fresado suelen ser laminados, con imperfecciones en sus caras. Generalmente se pide al fabricante que su espesor tenga 1 ó 2 mm de

creces, sobre la cota mayor de pieza. Para garantizar un buen asiento, se necesitará que al menos se tenga una cara perfectamente plana.

### Taladros de cogida

La cogida del material de partida al útil suele ser por tornillos, de cabeza Allen. Su número y situación dependerá de la geometría de la pieza y del utillaje a emplear.

### Taladros de centraje

Los taladros de centraje sirven para coordinar mecanizados entre distintas posturas de pieza o sus montajes en útiles distintos. Son de gran precisión en diámetro y situación.

### Taladros de izado

Cuando el taco sea difícil de manejar por su tamaño o peso, se le darán unos taladros roscados para montar posteriormente unos cáncamos de izado. Para la situación de los taladros, debemos tener en cuenta el tipo de máquina con la que se va a trabajar: si es de mesa horizontal o vertical, y el centro de gravedad del taco.

Para las de mesa horizontal y cuando el problema sea de peso, estos taladros nos deben posibilitar el situar la pieza en posición de montaje, para lo cual se darán en los retales y con un margen bueno de seguridad a la pieza. Estos se realizarán a partir de 20 Kg; ya que, por debajo de este peso, se puede manipular el taco con las dos manos. La cantidad de taladros de izado, dependerá del peso o tamaño del material de partida, y siempre se darán por la cara de taladrado de los tornillos.

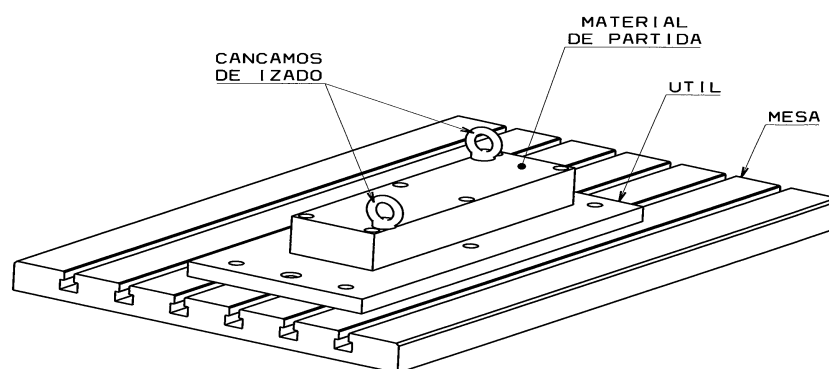


Figura 4.2: Taladros de izado en una máquina de mesa horizontal

Cuando se tenga una máquina de mesa vertical, el taladro de izado se colocará en un lugar adecuado lo más parecido posible a la posición de montaje.

Aquí, el peso y el tamaño del material aún son más importantes que en una mesa horizontal, ya que el operario necesitará una mano para atornillar, mientras que con la otra sujeta el material de partida, generalmente piezas de pequeño tamaño. En este caso se harán a partir de 12kg.

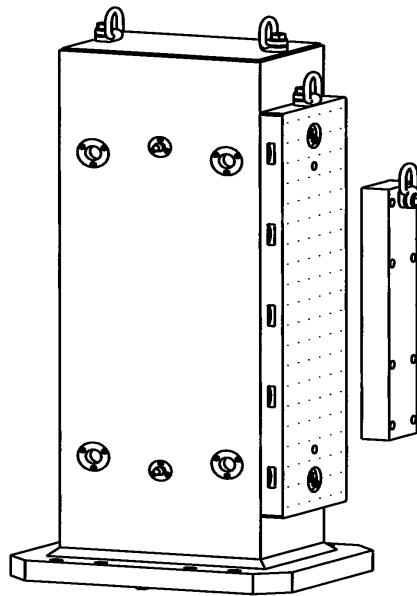


Figura 4.3: Taladros de izado en una máquina de mesa vertical

#### Taladro de Descuelgue

En las máquinas de mesa vertical, se tiene un problema añadido, y es que todas las creces que se hayan dado a los taladros de cogida, irán hacia el mismo sitio, es decir, abajo.

Esto no sería un problema si la pieza sólo tuviera una postura o fuera de poca altura, pero cuando las piezas son altas o la distancia entre redoblados es pequeña y tienen dos posturas, suele darse.

Esto se evita mediante un pasador de los que se tiene que usar en la 2ª postura, y dándole al material de partida un taladro cuyas creces sean, como máximo, la mitad de las dadas a los taladros de cogida, es decir, si para un tornillo de M12 se ha taladrado a  $\varnothing 12.5$ , y el pasador de coordinación es de  $\varnothing 12$ , el taladro de descuelgue se dará a  $\varnothing 12.25$  mm.

#### Calculo de las dimensiones del material de partida

El cálculo de las dimensiones del material de partida se hará de la forma siguiente:

- Si el lado que se tiene que calcular forma parte de la pieza terminada, se le dará unas creces de 5 mm aproximadamente por cada lado.
- Por el lado donde alojan los tornillos, se darán unas creces de 2 mm más que el diámetro de la herramienta mayor que por allí pase, más el diámetro de la cabeza del tornillo, más 5 mm.
- Para el espesor es válido todo lo anteriormente expuesto en el apartado del planeado. Es decir, si lo que se quiere, es terminar la cota de espesor, será la cota de la altura de la pieza; y si no se quiere terminado, se le dará unas creces mínimas de 1 ó 2 mm.

Todas estas creces son las mínimas, al final habrá que redondear las cotas del taco.

### **4.5. Fases de la construcción del modelo en el sistema experto**

El proceso actual de fabricación que se sigue en las piezas de mecanizado es: una vez que se dispone del diseño de la pieza terminada, en un modelo sólido, que suministra el departamento de Proyectos o los departamentos de Fabricación, y en este particular el área de Mecanizado por Control Numérico, se debe establecer la geometría del material de partida, con sus creces y cogidas, envolviendo la pieza origen, y a la vez resultado del proceso final de fabricación que utiliza tecnologías de CAD-CAM.

Este procedimiento es lento y muy repetitivo, porque los pasos a seguir son prácticamente los mismos, y hay que hacerlo cada vez que se diseña y fabrica una nueva pieza. La aplicación pretende, con las herramientas que nos proporciona Catia,

y su módulo de *Knowledge*, hacer este proceso sólo una vez y que sirva para el resto de las piezas de la misma familia.

La aplicación diseñada, utilizando técnicas de sistemas expertos, en otras palabras basada en el conocimiento, se divide en fases o etapas que se pasan a describir:

#### Construcción del Modelo Base

El *Modelo Base* será la pieza que se quiere construir o material de partida, servirá como patrón para construir la geometría inicial que va a hacer falta para enlazar el resto de etapas

#### Construcción del Material de partida tangente

A partir de la geometría, se construirá un paralelepípedo con seis lados tangentes a las seis caras del espacio tridimensional que contenga a la pieza.

#### Construcción del Material de partida con las crecidas

Siguiendo las normas de mecanizado de piezas de fresado por control numérico, el material de partida de una pieza no es tangente a las caras, sino que por cada lado tiene unas crecidas para posicionar los taladros de cogida e izado.

#### Construcción de los taladros

En esta etapa se construirán todos los tipos de taladros que se tienen que tener en cuenta en la normativa de mecanizado:

- Taladros de posicionamiento y cogida del material al útil
- Taladros de izado vertical
- Taladros de izado horizontal

Presentadas las fases de la aplicación, se pasa a explicar la construcción del modelo:

Primeramente se dibuja una pieza cualquiera en Catia que servirá como modelo base y que luego se sustituirá por la pieza a la que se quiere calcular el material de partida o entrada. A la hora de dibujar este modelo inicial hay que tener en cuenta la organización interna de un programa de dibujo, puesto que si el apoyo es un plano, la



pieza siempre queda vinculada al plano, así que hay que apoyarse en un sistema de ejes totalmente genérico. Este sistema está formado por dos rectas que se cortan para que formen plano, y una tercera que sea perpendicular a las otras dos.

Se tienen hasta el momento tres parámetros de entrada: la pieza y dos rectas que pueden ser de la pieza o no, pero que tienen que cortarse para formar plano. Dependiendo de las rectas que se elijan el paralelepípedo que forma el material de entrada variará respecto a la pieza.

Ahora, se construirá toda la geometría auxiliar necesaria para delimitar el sólido que contiene el material de partida.

Se crean los planos tangentes a las seis caras de la pieza a partir de la creación de los puntos extremos de las direcciones que delimitan el sólido. Se posiciona un plano en cada punto. El plano además será tangente a cada una de las tres rectas que se han definido como las tres direcciones en el espacio.

El material de partida con las crecidas puede tener diferente dimensión por cada uno de los lados, por lo que se definirán parámetros distintos para las tres direcciones del espacio. Estos tres parámetros podrán ser modificados por el diseñador porque pueden variar de un modelo a otro.

También será necesario posicionar todos los puntos donde podrían ir ubicados los taladros, así como los parámetros que definen la geometría de los distintos taladros. Estos parámetros también serán editables por el diseñador.

Algunos elementos geométricos están relacionados con fórmulas siguiendo la normativa de mecanizado. Por ejemplo la separación que existe entre los puntos que definen los taladros de posicionamiento y los taladros horizontales viene definida por:

$$\text{Separación} = \text{Diámetro cabeza} + \text{Diámetro-Tal-Horizontal} + 3\text{mm}$$

En la figura 4.4 se observa la geometría inicial de la que se parte para modelar el estado de entrada.

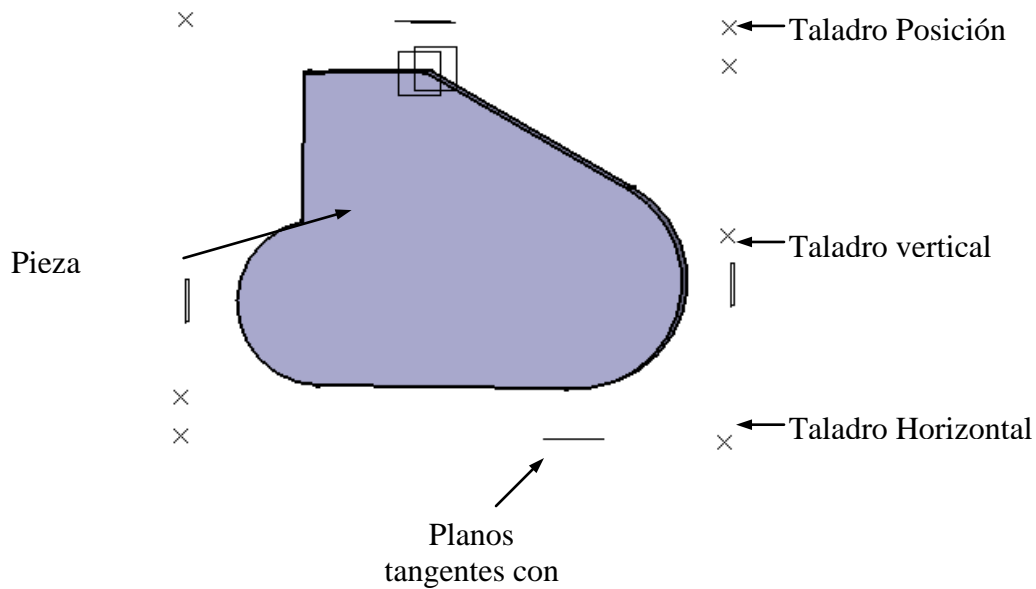


Figura 4.4: Geometría inicial para modelar el estado de entrada

Después de completar la fase inicial (Construcción del Modelo Base) se crea la primera UserFeature para comprobar si esta bien determinada. Se emplean UserFeatures, en vez de PowerCopies, porque cuando se utilice este modelo en otra pieza, el propósito será que el nuevo diseñador sólo pueda cambiar los parámetros que se han definido previamente como editables, y el modo en que se ha hecho la aplicación, quedará oculto al nuevo diseñador. Se consiguen de esta forma dos ventajas fundamentales: primero, que ninguna persona excepto la que ha realizado la aplicación pueda manipularla y estropearla; y el know-how permanece en la empresa que está creando la aplicación, y si esta se vende podrán usar la herramienta pero no sabrán como se ha realizado.

Para la creación de una UserFeature en los componentes (*components*) se van introduciendo todos los elementos geométricos que se tienen en el árbol de especificaciones por orden de creación. En la parte derecha que son los elementos de entrada (*Inputs*) van apareciendo los padres de los elementos que se van seleccionando.

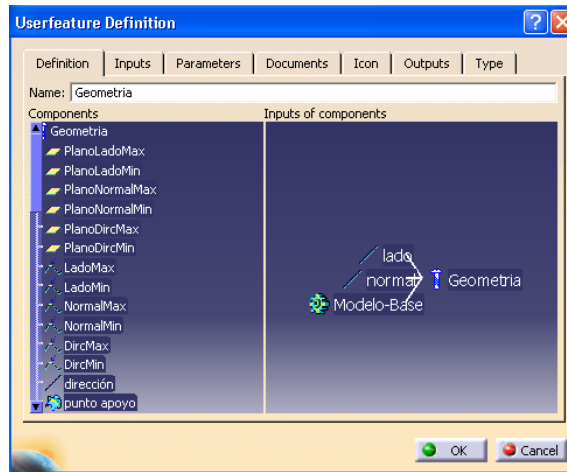


Figura 4.5: UserFeature

Aquí, se inicia la fase Construcción del Material de partida tangente. Es decir, se construye la caja que envuelve a la pieza de tal forma que las caras de la caja y las de la pieza sean tangentes. Para ello, se crea un modelo nuevo con otra pieza base y se inserta la UserFeature que se ha creado en la fase anterior.

En la tercera fase, Construcción del Material de partida con las crecidas, el procedimiento es similar al de la fase anterior, pero utilizando una caja cuyos planos son paralelos a los de la caja tangente pero, a la distancia marcada por los parámetros definidos como crecidas en las tres direcciones.

Ya sólo queda, para terminar el modelo, establecer la posición de los taladros en la cuarta fase.

Hasta aquí, se han programado, en la construcción del modelo, cuatro UserFeatures que permiten crear: la geometría inicial, el paralelepípedo tangente, el paralelepípedo con las crecidas y los taladros de posicionamiento.

Establecer si el material de partida lleva taladros de izado vertical u horizontal dependerá de dos elementos: el peso y la bancada de mecanizado.

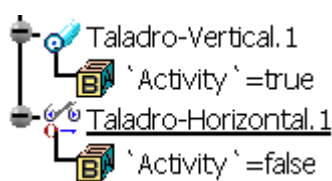
- El peso se determinará por el volumen y la densidad del material que lo calcula Catia.
- La bancada de izado, será un parámetro editable que tendrá dos valores, horizontal y vertical.

Se crearán dos UserFeatures, una que reproduzca la geometría de los taladros de izados horizontales, y otra para los verticales.

Después se establece una Regla de Diseño, para precisar si es necesario o no poner los taladros verticales u horizontales dependiendo de lo que pese el Estado de Entrada y de la mesa de mecanizado. Los taladros horizontales sólo son necesarios si la mesa de mecanizado es horizontal y si el Estado de Entrada pesa más de 20 kilos. El taladro vertical es necesario si la mesa de mecanizado es vertical y el Estado de Entrada pesa más de 12 kilos.

La Regla de Diseño se crea con un lenguaje de programación muy sencillo que tiene Catia en un editor de texto.

Cuando se tiene una UserFeature en un documento se puede tratar como un elemento geométrico más, por lo que se puede desactivar o activar dentro del propio Modelo. Al desactivarla por primera vez en un Documento, se genera un parámetro relacionado con la actividad que cuelga en el árbol de especificaciones de la UserFeature



El parámetro es un parámetro interno que Catia lo nombra como *Activity* y es de tipo Booleano con dos valores, *true* si la UserFeature está activa, y *false* si la UserFeature está desactivada.

Para terminar la aplicación se tiene que crear el Documento Template, donde estarían incluidos todos los elementos que componen el modelo. Este, se guarda en un Catálogo, y se podrá reutilizar para cualquier pieza de nuevo diseño. Interesa tener una serie de parámetros editables, que puede cambiar el diseñador porque varíe la matriz y el útil de mecanizado. Serán: las crecidas que se dejaran por cada uno de los lados del paralelepípedo, los diámetros de los taladros, tanto de la cabeza como de la caña; la holgura o distancia de separación entre la cabeza del tornillo y el lado del paralelepípedo; y por último la separación entre taladros.

## 4.6. Resultados obtenidos. Aplicación del sistema experto a una pieza real

A partir de una pieza diseñada en Catia,

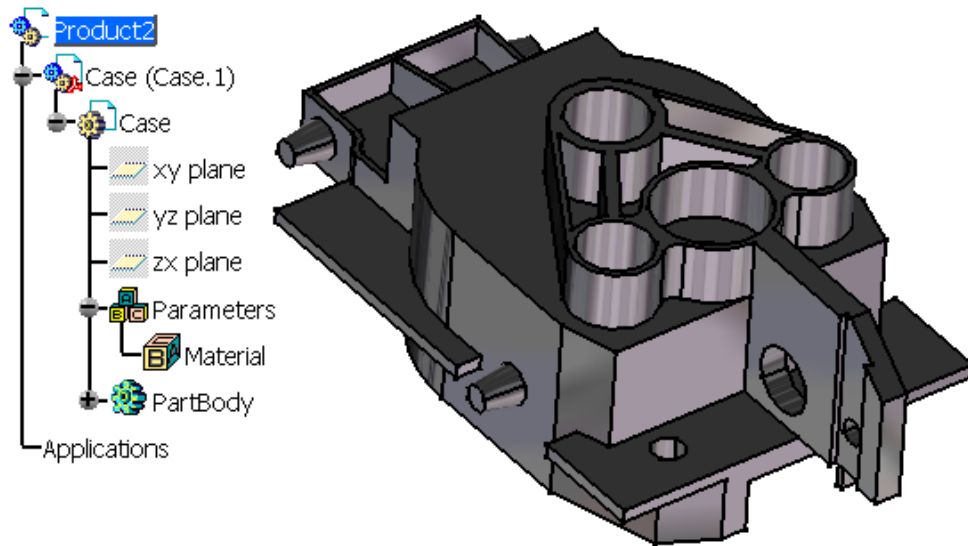


Figura 4.6: Pieza diseñada en Catia

Se busca la ubicación del documento donde esté guardado el catálogo. Al seleccionar el Document Template aparece una ventana de diálogo, y en esta los elementos de



Figura 4.7: Ventana de diálogo en el Document Template

entrada que necesita el modelo, y una ventana de visualización donde muestra sus significados.

La elección de las aristas las hace el Usuario, y dependiendo de cuáles escoja la posición del estado de entrada variará, ya que estas dos rectas son las direcciones de posicionamiento de toda la construcción geométrica. Así, si las dos rectas que se eligen no son ortogonales entre sí, el estado de entrada generado no será perpendicular, sino que sus aristas formarán un ángulo distinto de 90°. Esto no es lo habitual, pero puede darse el caso dependiendo de la forma que tenga la pieza.

Al elegir los parámetros de entrada el resultado que se obtiene es:

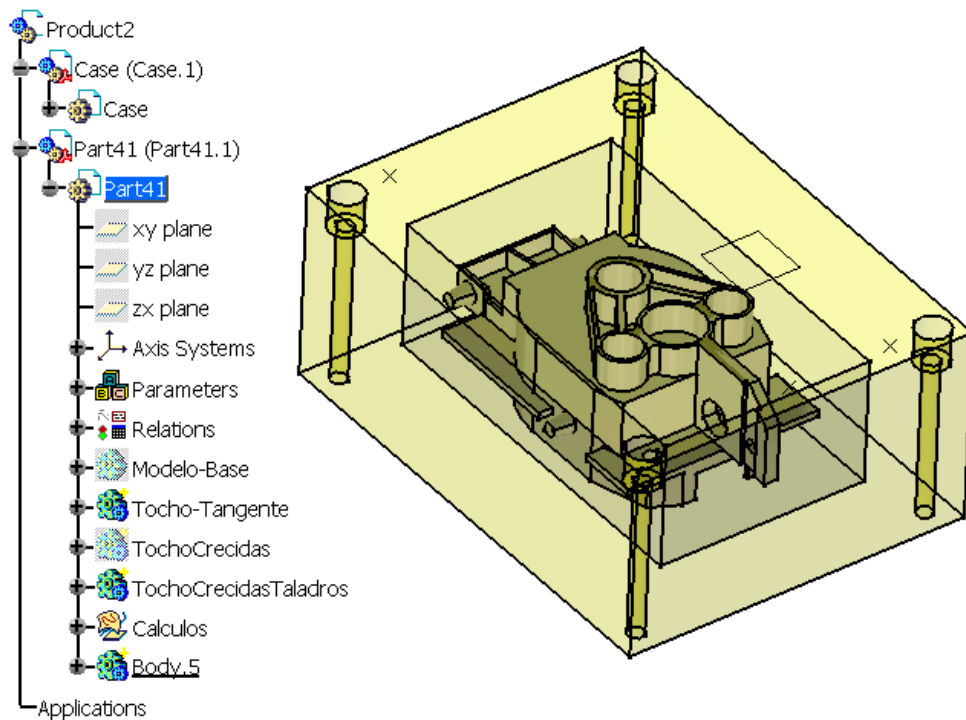


Figura 4.8: Elección parámetros de entrada y resultado

El diseñador puede cambiar los valores que determinan la geometría de los taladros, además de precisar si la mesa de mecanizado es horizontal o vertical.

En piezas que tienen todas sus aristas redondas, como la pieza de la figura 4.9, hay que crear en el modelo las dos rectas que sirvan de dirección para formar el estado de entrada, usualmente se elegirán que sean tangentes a las caras y que se corten ortogonalmente.

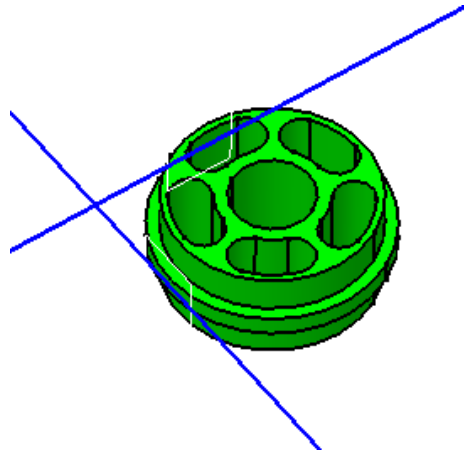


Figura 4.9: Pieza con aristas redondas

Elegidas las rectas se obtiene el siguiente resultado:

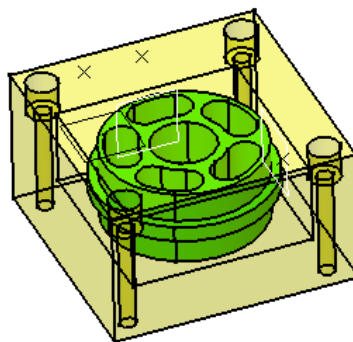


Figura 4.10: Estado de entrada en pieza con aristas redondas

## 4.7. Conclusiones

En este trabajo se ha descrito el resultado de la colaboración entre el área de Desarrollos en CAD-CAM del departamento de Ingeniería Concurrente en la Factoría de Tablada (Sevilla) perteneciente a la compañía aeronáutica EADS-CASA y el departamento de Ingeniería Gráfica de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. Recordar que EADS es un consorcio europeo dedicado a la fabricación de aeronaves: aviones, helicópteros, cohetes, etc. Además, socio mayoritario del fabricante de aviones de transporte AIRBUS, cuya filial española CASA, posee sedes en Madrid, Sevilla y Cádiz. Este trabajo, de casi un año de duración, ha culminado con la elaboración de una aplicación informática, ahora en uso en el área de Mecanizado por Control Numérico de esta planta industrial.

Este desarrollo forma parte de un proyecto global de migración desde la versión 4 a la 5 de la aplicación CATIA, que EADS-CASA utiliza; por lo que no ha sido posible desglosar otros aspectos como la valoración económica del ahorro que la implantación de esta herramienta ha supuesto. No obstante, subrayar tres aspectos que se pueden claramente cuantificar: el ahorro en materia prima y las reducciones de tiempos de mecanizado, de programación o diseño del trozo de partida. Como factores cualitativos destacar que se ha abierto una puerta para la conservación y el futuro aprovechamiento de: la experiencia de los técnicos de CASA en el área de mecanizado y el entrenamiento realizado en el uso de sistemas y técnicas basados en el conocimiento, fruto de la colaboración en el diseño del sistema experto.

Referencias bibliográficas: 6, 7, 8, 12, 13, 14, 22, 24, 29, 64, 67, 74.



## Capítulo 5

# DESARROLLOS DE CALDERERÍA BAJO SOLID EDGE V11

### 5.1. Introducción

En el mercado del software aplicado a la ingeniería y el diseño, existen herramientas en diferentes entornos gráficos que permiten obtener los desarrollos en verdadera magnitud de una variada gama de elementos empleados en calderería industrial (tolvas, uniones, codos, etc.) con el fin de automatizar los procesos de corte de chapa.

Este trabajo se centra en una aplicación para obtener los desarrollos de diferentes construcciones geométricas modeladas en 3D, que representan elementos utilizados en calderería industrial. Dichos desarrollos, obtenidos en un entorno plano, pueden ser utilizados como plantilla digital para un software de corte de chapa por control numérico (CN).

El entorno CAD escogido es Solid Edge V11 [73] porque es un programa de uso extendido, dispone de un modelado potente de sencillo manejo, y su capacidad de automatización mediante programación es alta. También dispone del módulo plano

necesario para obtener los desarrollos de los modelos de superficies generados, y de una amplia gama de herramientas de edición. Además es la aplicación que la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla utiliza para impartir las asignaturas de Representación Gráfica por Ordenador (3<sup>er</sup> curso) y Expresión Gráfica en la Ingeniería (1<sup>er</sup> curso).

Para desarrollar la aplicación, se ha seleccionado Microsoft Visual Basic [5], ya que el propio Solid Edge dispone de una librería de objetos, funciones y métodos, que permiten la actualización y el desarrollo de nuevas herramientas de manera sencilla.

## **5.2. Estado del Arte en el software para desarrollo de calderería**

Los programas informáticos para obtener desarrollos de calderería con el fin de automatizar los procesos de corte de chapa, basan su funcionamiento en la selección del tipo específico de superficie a desarrollar, así como la posterior introducción, vía teclado, de los datos geométricos necesarios para determinarla y realizar su desarrollo. Esto implica la necesidad de conocer dichos datos a priori, siendo la ejecución de la aplicación, en general, una engorrosa sucesión de fórmulas y cálculos matemáticos.

La aplicación de Visual Basic, creada en este trabajo, permite modelar una superficie genérica en 3D a través de Solid Edge, y obtener el desarrollo de dicho modelo, únicamente pulsando el botón de ejecución de la aplicación. Esta se encarga de determinar el tipo de superficie, sus datos geométricos y su desarrollo en formato plano. Una vez materializado el mismo, el módulo plano de Solid Edge, permitirá editarlo según las preferencias y necesidades del usuario.

A continuación se pasan a revisar las principales aplicaciones, disponibles en el mercado profesional, para obtener desarrollos de calderería, así como algunas otras realizadas por diferentes universidades, lo que permitirá tener una imagen del estado actual de este software, y su utilización en los procesos de corte industrial.

Para esta revisión se ha realizado una clasificación de las aplicaciones atendiendo a una serie de factores como su entorno de trabajo, salidas con el fin de automatizar los procesos de corte de material y características específicas. Toda esta información

ayuda a realizar una comparativa entre las mismas y determinar sus ventajas e inconvenientes

| SOFTWARE EXISTENTE PARA DESARROLLOS Y CORTE EN CALDERERIA |                           |  |   |
|---|---------------------------|--|---|
| Aplicación  | Entorno de Trabajo        | Salida para corte de material  | Características   |
| MODDES<br>[37]  | Autocad                   | Enlaza de forma directa con un programa para corte por Control Numérico convencional como MODCOR | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrolla gran cantidad de superficies</li> <li>- Muy extendida en el mercado</li> <li>- Necesita conocer e introducir parámetros geométricos de la superficie por teclado</li> </ul>   |
| GALILEO<br>[36]   | Autocad<br>Microstation   | Salida en fichero DWG para la trayectoria de corte   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- El nº de superficies que desarrolla es escaso</li> <li>- Necesita conocer e introducir parámetros geométricos de la superficie por teclado</li> </ul>  |
| LANTEK<br>EXPERT<br>[38]                                  | Entorno propio de trabajo | Corte del material integrado en el propio paquete  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicación integral: diseño, fabricación, control de producción,...</li> <li>- No específica para calderería</li> <li>- Necesita conocer e introducir parámetros geométricos de la superficie por teclado</li> <li>- Precio elevado</li> </ul> |
| UNIVERSIDAD<br>DE CADIZ<br>[39]                           | Autocad<br>3D Studio      | No prevista conexión con control numérico  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sólo trabaja en 2D</li> <li>- Aplicación docente pero no profesional</li> <li>- Necesita conocer e introducir parámetros geométricos de la superficie por teclado</li> </ul>   |
| UNIVERSIDAD<br>DE GIRONA<br>[40]                          | Autocad                   | Salida en fichero DWG para la trayectoria de corte   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- El nº de superficies que desarrolla es escaso</li> <li>- Necesita conocer e introducir parámetros geométricos de la superficie por teclado</li> </ul>  |

Figura 5.1: Software existente para desarrollos de calderería

### 5.3. Teoría geométrica del desarrollo de superficies

En este apartado se expone el método teórico de desarrollo de superficies para la gama de elementos que la aplicación es capaz de desarrollar:

- Prismas rectos y oblicuos de base poligonal cualquiera.

- Troncos de pirámide rectos y oblicuos, de bases poligonales paralelas u oblicuas.
- Conos de revolución y oblicuos, de base circular y elíptica.
- Troncos de cono de revolución y oblicuos, de bases circulares y elípticas paralelas u oblicuas.

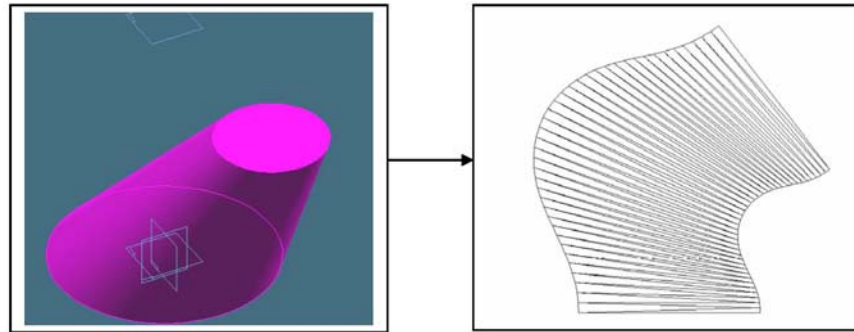


Figura 5.2 :Desarrollo tronco de cono oblicuo

- Cilindros de revolución y oblicuos de bases circulares y elípticas paralelas u oblicuas. Virolas cilíndricas.
- Superficies adaptadoras entre base inferior poligonal cualquiera y base superior circular y elíptica. Tolvas
- Intersección de cono de revolución con otras superficies de geometría cualquiera.
- Intersección de cono oblicuo de base circular o elíptica con otras superficies de geometría cualquiera.

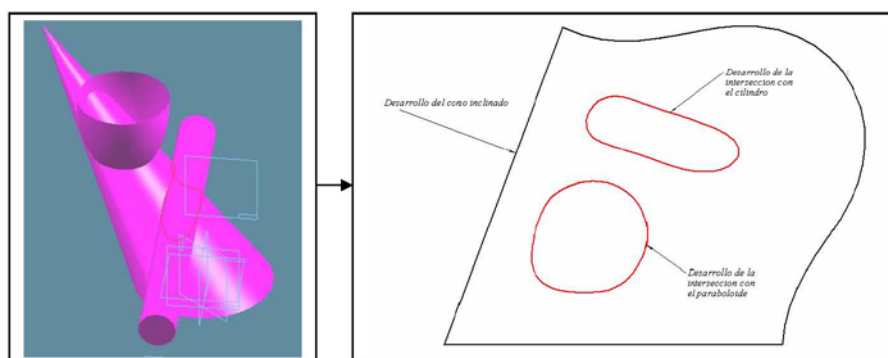


Figura 5.3: Desarrollo de cono oblicuo interseccionado por otras geometrias

- Intersección de cilindro de revolución con otras superficies de geometría cualquiera. Aplicación al caso de codos cilíndricos poligonales formados por cilindros de revolución.
- Intersección de cilindro oblicuo de base circular, con bases paralelas u oblicuas, con otras superficies de geometría cualquiera.

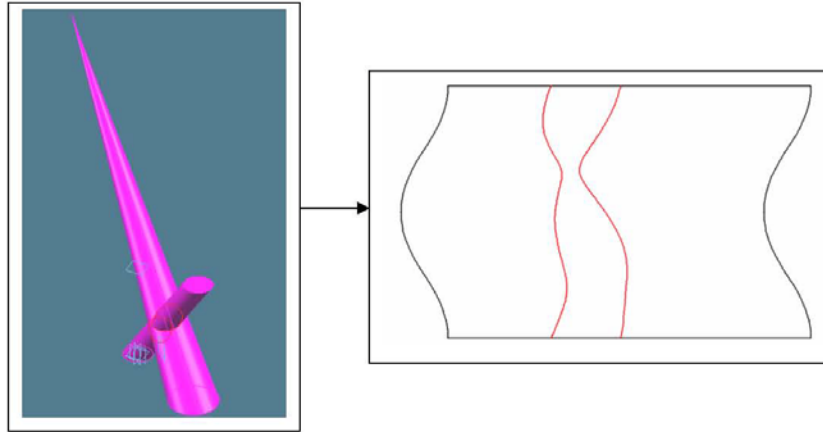


Figura 5.4: Desarrollo de cilindro oblicuo interseccionado por otras geometrias

Aunque, otras aplicaciones similares existentes en el mercado, dispongan de un número mayor de elementos desarrollables, la capacidad de actualización de ésta permite aumentar la serie de manera relativamente sencilla, mediante la adición de nuevos módulos y funciones al código original.

Los desarrollos se van a obtener mediante proyección plana de un número determinado de triángulos inscritos en el modelo del elemento. Para cada uno de estos triángulos, la aplicación determinara las verdaderas magnitudes de los lados para a continuación trazar en el plano el correspondiente abatimiento. [52], [59].

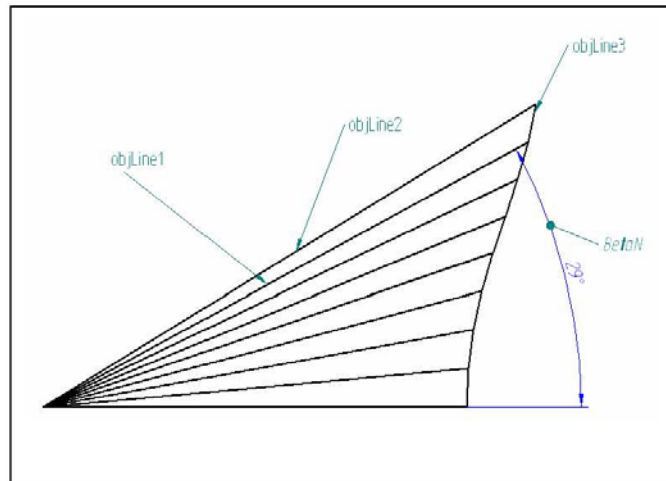


Figura 5.5: Desarrollo por triangulación

## 5.4. Funcionamiento de la aplicación. Manual de usuario

El usuario, mediante cuadros de dialogo, puede seleccionar el número de triángulos inscritos y, en definitiva, la precisión del desarrollo obtenido. Dada la elevada velocidad de procesamiento y compilación de las aplicaciones en Visual Basic, es posible obtener los desarrollos con un error mínimo respecto del área real del elemento.

La aplicación se ejecutara directamente desde Solid como si se tratase de una mas de sus herramientas. Una vez arrancada, el usuario dispondrá de las siguientes opciones:

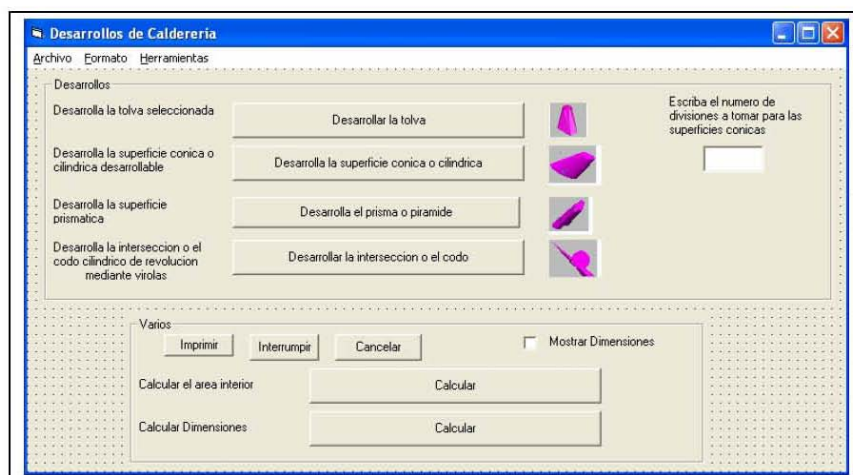


Figura 5.6: Opciones del usuario

Cuando se haya modelado la superficie (por ejemplo, un tronco de cono que represente una virola cónica), o superficies (todo un entramado de tuberías, codos, uniones y tolvas), se seleccionara en primer lugar aquella de la que desea obtener su desarrollo.

La ventana de la aplicación dispone de cuatro grupos de operaciones a desarrollar. Se escogerá uno de ellos, según el tipo de superficie u operación a desarrollar. Luego se establecerá el número de triángulos de aproximación (grado de precisión del desarrollo deseado), tras lo cual el programa generará su desarrollo.

Una vez conseguido el desarrollo de la superficie seleccionada, es posible, mediante una serie de herramientas disponibles en la propia aplicación, obtener información geométrica sobre el mismo, como su área, perímetro.

El desarrollo obtenido se generará en un archivo del entorno Plano del Solid Edge. A través de las propias herramientas de este entorno, es posible convertir el resultado en archivos: DXF, DWG, DGN, y otros formatos de intercambio de datos, permitiendo su posterior uso, gracias a otro módulo de esta aplicación, para el control de las trayectorias de corte de las máquinas de control numérico convencional (CNC).

En resumen, el usuario de Solid Edge dispone con esta aplicación de una herramienta potente que permite, de manera sencilla, obtener los desarrollos de un elevado número de superficies con alta precisión, que posteriormente pueden ser utilizados como plantillas para determinar las trayectorias de corte de las máquinas CNC.

Como entorno gráfico, Solid Edge resulta fácil de manejar, en concreto en el modelado de superficies, por lo que las técnicas de calderería se simplifican y se reducen a la función de modelar la transición entre los elementos a unir.

Como ejemplo de la sencillez de manejo y la eficacia en la obtención de los desarrollos, se muestra mediante una serie de ilustraciones el proceso de obtención del desarrollo de un tronco de cono inclinado.

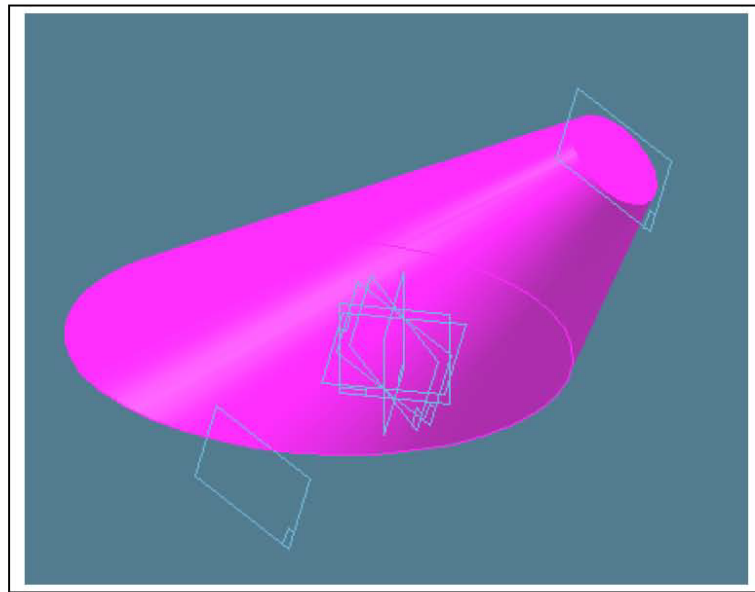


Figura 5.7: Paso nº1: Diseño de la superficie tronco-cónica inclinada

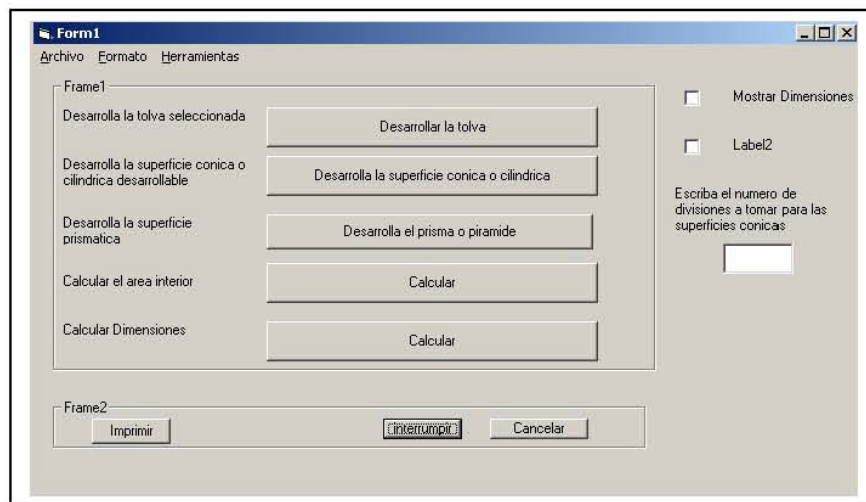


Figura 5.8: Paso nº2: Ejecución de la aplicación de desarrollos



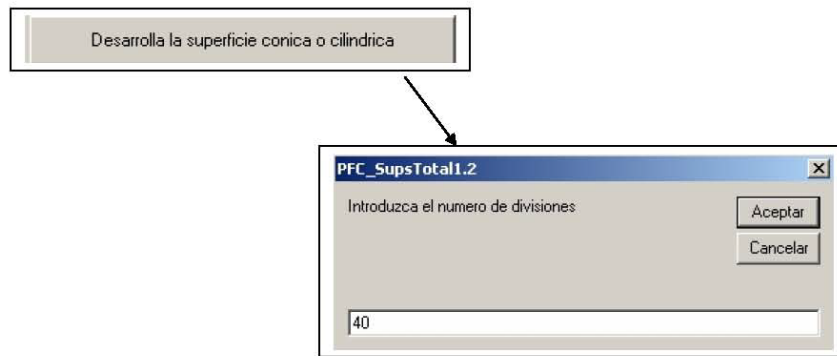


Figura 5.9: Paso nº3: Selección del tipo de desarrollo a obtener y de la precisión del desarrollo

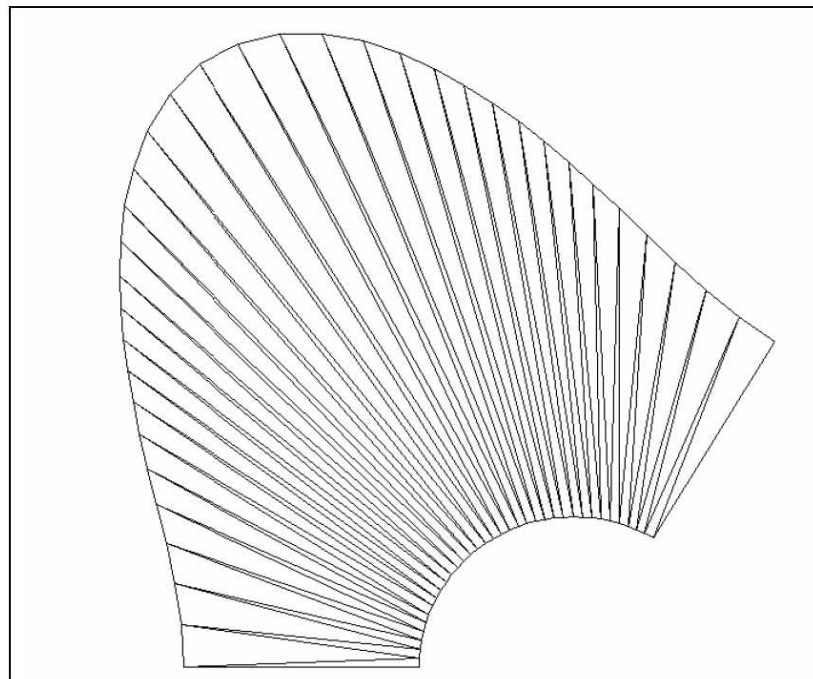


Figura 5.10: Paso nº4: Obtención del desarrollo tras unos instantes de computación

## 5.5. Consideraciones finales.

La aplicación desarrollada consigue integrar, teoría y métodos geométricos para el desarrollo de piezas de calderería, de manera efectiva en el entorno de Solid Edge. Primero se genera el modelo en 3D, y luego la aplicación, sin necesidad de entrada de datos geométricos por teclado, obtiene el desarrollo de dicha superficie, únicamente

seleccionando el tipo y definiendo el número de divisiones de aproximación; dibujando dicho desarrollo en un documento plano de salida, que el usuario podrá editar o imprimir, trabajando de manera totalmente integrada en el entorno plano de Solid Edge.

La gran ventaja de utilizar este software, capaz de desarrollar una amplia gama de superficies para obtener los desarrollos, radica en la gran potencia de computación, lo que implica un alto grado de aproximación a la superficie real mediante la elección de un número elevado de divisiones(>500), sin apenas notar aumento en el tiempo de salida.

Su aplicación a los procesos de corte de material es clara, ya que a partir de los desarrollos obtenidos, y mediante la utilización de un módulo específico, para el cálculo de trayectorias, es posible automatizar el corte con la utilización de máquinas de control numérico.

Referencias bibliográficas: 5, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 52, 59, 73.

## Capítulo 6

# INTERCAMBIO DE MODELOS SÓLIDOS ENTRE DISTINTOS SISTEMAS DE CAD MEDIANTE EL FORMATO NEUTRO STEP

### **6.1. Introducción**

Hoy en día, el trabajo del ingeniero está fuertemente unido al ordenador en general, y a los sistemas CAD/CAE en particular. Cada empresa de ingeniería opta por un sistema en concreto eligiendo entre todos los que ofrece el mercado: CATIA, I-DEAS, PRO/Engineer, ....., y siendo común las subcontratas de proyectos entre empresas de ingeniería, es muy posible que no coincidan en el software de trabajo. Y es aquí, donde entra en juego la existencia de un formato neutro de intercambio entre distintos sistemas CAD.

La información generada sobre un producto a lo largo de su diseño, fabricación, mantenimiento y venta puede ser tratada con distintos sistemas CAD/CAE/CAM

apareciendo el problema de compatibilidad entre los mismos. Para evitarlo, se necesita facilitar la información del producto de forma interpretable por cualquier sistema, es decir, es necesario un formato neutro. El formato STEP es un estándar desarrollado por la ISO que pretende hacer posible el intercambio de información en cualquier punto del ciclo de vida de un producto.

Este trabajo muestra en qué consiste la transferencia de datos, así como su evolución histórica, para luego entrar a valorar los formatos neutros más usados actualmente, así como la problemática general asociada al intercambio de información entre distintas organizaciones y sistemas. Se trata el formato STEP, su estructura y organización. Se estudia en especial el Protocolo de Aplicación 203, es decir, la parte de la Norma ISO 10303 que interesa para poder efectuar intercambio de modelos sólidos. Se enumeran y razonan una serie de pautas y recomendaciones para diseñar modelos 3D en busca de la mayor efectividad posible en los posteriores intercambios de estos. Se habla sobre los traductores intermedios en general, para luego hacer un análisis de los de CATIA v5 y SOLID EDGE v9 en particular, destacando tanto los defectos como las virtudes de uno y otro, puntos críticos del intercambio y posibles soluciones a problemas tipo. Se plantea la experiencia de intercambio de modelos sólidos entre dos sistemas distintos, marcando unas pautas tanto de diseño, como de actuación y análisis. Este test sirve de procedimiento de evaluación de transferencia de modelos 3D entre cualesquiera que sean los sistemas emisor y receptor. Por último, se dan los resultados obtenidos al aplicar el test propuesto entre los sistemas CATIA y SOLID EDGE y se obtienen una serie de conclusiones de las transferencias

## **6.2. Revisión histórica del intercambio de información entre sistemas CAD**

El gran empuje y desarrollo con el que han entrado los ordenadores tanto a nivel familiar como industrial hacen hoy en día de esta máquina un elemento imprescindible en muchos aspectos, entre ellos, en el diseño industrial. Con los sistemas CAD/CAM/CAE, el proceso que va desde que se concibe una idea hasta que se finaliza su producción es más sencillo, económico y flexible, gracias a las herramientas y potencia computacional de los ordenadores. Un punto conflictivo es el del intercambio de información entre dos sistemas diferentes. Se presenta a

continuación la evolución a lo largo del tiempo seguida por el intercambio de información.

### 6.2.1 Primera generación de intercambio de datos: Traductores Directos.

Este método consiste en tomar datos del sistema origen y traducirlo al formato propio del sistema destino. Es similar al proceso de traducir de un idioma a otro. Su principal inconveniente, es que el traductor debe ser específico y especializado con cada versión del sistema, así en cada actualización de un sistema también habrá que retocar el traductor de éste.

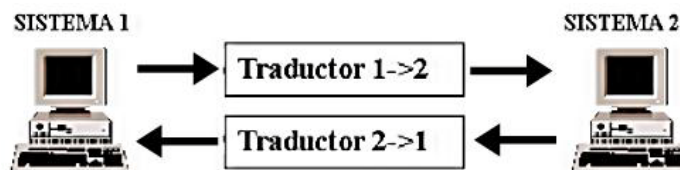


Figura 6.1: Intercambio de datos mediante traductor directo

### 6.2.2 Segunda generación de intercambio de datos: Traductores Intermedios.

Es teóricamente la opción más efectiva y la que internacionalmente se está consiguiendo imponer. Cada sistema de CAD necesita un pre-procesador, que traduce su formato o código interno a formato neutro, y un post-procesador, que traduce del formato neutro al propio del sistema.

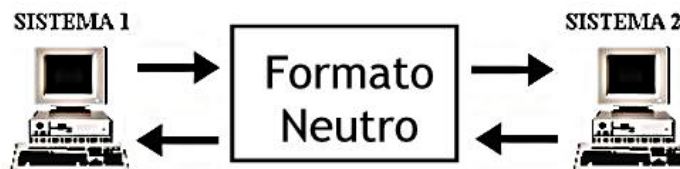


Figura 6.2: Intercambio de datos mediante traductor intermedio

### 6.2.3 Formatos Proprietarios.

Están a medio camino entre los dos anteriores. Consiste en que algunos creadores de software suministran sus propios formatos cercanos a la estructura de sus propios programas. Este método anima a los usuarios a adquirir sistemas que estas empresas producen. El ejemplo más claro es el formato DXF de Autodesk, unos de los líderes en sistemas CAD, con su programa AutoCAD a la cabeza.

Como se ha reseñado, los traductores indirectos son los que se están imponiendo internacionalmente, con el IGES y el STEP a la cabeza. En la siguiente tabla se resume el uso de los distintos estándares en los diferentes sectores de la industria (el doble asterisco \*\* indica el uso más amplio en cada sector).

Aunque IGES sigue siendo el formato neutro más usado en la industria, en un futuro este formato está abocado a ser superado por STEP, impulsado por la ISO, pues está previsto que este estándar abarque todos los ámbitos en que se trabaja industrialmente.

|                            | IGES | STEP | VDAS-FS | EDIF | POSC | DXF |
|----------------------------|------|------|---------|------|------|-----|
| Aerospacial                | **   | *    |         |      |      | *   |
| Automoción                 | **   | *    | *       |      |      | *   |
| Construcción y edificación |      |      |         |      |      | **  |
| Plantas de procesos        | *    | *    |         |      |      | *   |
| Gas y combustible          |      |      |         |      | **   | *   |
| Naval                      | *    |      |         |      |      | *   |
| Electrónica / electricidad | *    | *    |         | *    |      |     |
| Bienes de consumo          | *    |      |         |      |      | *   |

Figura 6.3: Uso de estándares en el sector industrial

## 6.3. Problemática general del intercambio de datos

Las incompatibilidades existentes entre los distintos sistemas de información usados en los procesos de diseño, ingeniería y fabricación han provocado un aumento en los problemas relacionados con el intercambio de datos. Estos problemas son más

acusados y relevantes mientras más concurrente sea el desarrollo del proyecto, es decir, mientras más organizaciones o empresas colaboren en un mismo trabajo, ya que, por lo general, cada empresa colaboradora trabaja con su propio sistema de CAD/CAM/CAE y/o sistema operativo. La mayor o menor eficiencia a la hora resolver este problema tiene una influencia directa e importante sobre los costes del proyecto. El estándar STEP (Standard for the Exchange of Product model data), en desarrollo continuo, ya ha demostrado una madurez importante avalado por casos concretos que podemos encontrar en grandes compañías como Lockheed Martin, Boeing, Ford, Opel, General Motors o Roll-Roice.

## 6.4. Descripción del formato Step

La ventaja de STEP es que representa “completamente” el modelo de un producto, no limitándose únicamente a su representación gráfica o visual. Esto lo consigue gracias a una metodología que incorpora modelos de referencia, lenguajes de definición formal y una arquitectura en tres niveles:

- Nivel de aplicación: los modelos de datos tratan de aplicaciones individuales o disciplinas como productos mecánicos, eléctricos, construcción, etc.
- Nivel lógico: los modelos de datos genéricos describen conceptos comunes utilizados tanto, en todas las aplicaciones, como en la definición de la estructura de un producto, su forma (geometría, topología) y su presentación.
- Nivel físico: el formato del fichero para intercambio de los datos.

Los requerimientos y necesidades industriales son la clave para STEP, ya que depende directamente de los datos, en contraste con su independencia de las herramientas informáticas que manejan esos datos. Por eso, se recurre a la propia industria para desarrollar STEP.

Debido a su amplitud, la Norma STEP se organiza en cinco bloques, cada uno con una Serie de Partes y un número identificativo. Las Series agrupan las distintas Partes que forman la ISO 10303; cada Parte de la Norma es un capítulo independiente de la misma, que a su vez puede ser usada por otras Partes de la Norma. Es decir, la estructuración en bloques reutilizables le otorga una funcionalidad muy amplia, y unas posibilidades de ampliación casi sin límites.

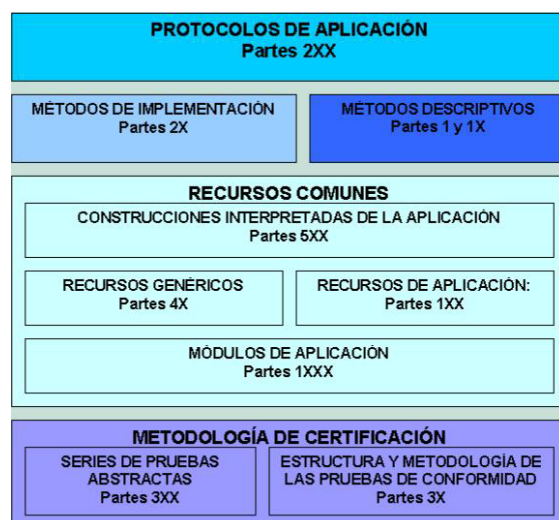


Figura 6.4: Estructura simplificada de STEP

Los Protocolos de Aplicación, en el primer nivel de la jerarquía mostrada, permiten representar e intercambiar datos de productos generales o de un sector concreto (naval, automoción, etc.), y en cualquier punto de su ciclo de vida (pre-diseño, análisis, fabricación, optimización, etc.). En concreto, el Protocolo de Aplicación 203 (AP203: Configuration-Controlled design) es el que facilita intercambiar modelos sólidos entre distintos sistemas CAD.

El AP203 permite representar el sólido con el que se trabaja según distintas clases de conformidad, de las cuales la más avanzada es la clase de conformidad 6, que representa el modelo por su frontera, es decir, por su topología, y a partir de ésta genera la geometría del modelo.

## 6.5. Intercambio de modelos sólidos entre Solid-Edge V9 y Catia V5

Es fundamental al enfrentarse a un intercambio entre sistemas, conocer la forma de trabajo del pre- y post-procesador de cada uno. Se presentan, a continuación, las principales características de los procesadores en SOLID EDGE V9 y CATIA V5.



### 6.5.1 Características del Pre y Post-Procesador Step de Solid Edge V9

- (a) Pre-procesador: propone opciones de exportación (figura 6.5), genera un reporte del mapeo del traductor, contabilizando entre los distintos tipos de entidades que genera, etc.

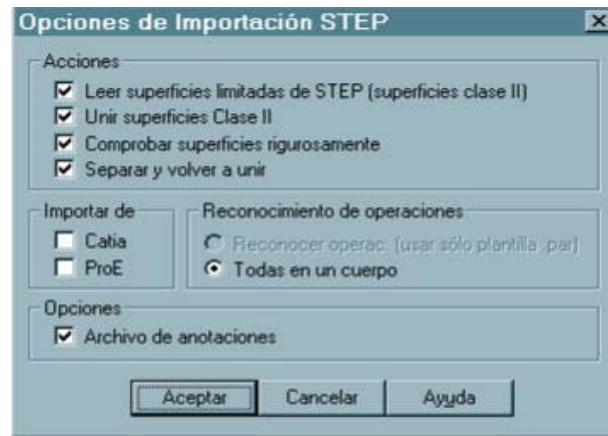


Figura 6.5: Opciones de exportación de SOLID EDGE

- (b) Post-procesador: genera reporte del proceso de importación de STEP, en el que resume todas las incidencias y entidades reconocidas e importadas. Si encuentra errores en el archivo STEP, trata de solucionarlo, dando información de lo sucedido en este reporte. A destacar las opciones y utilidades que brinda este traductor.

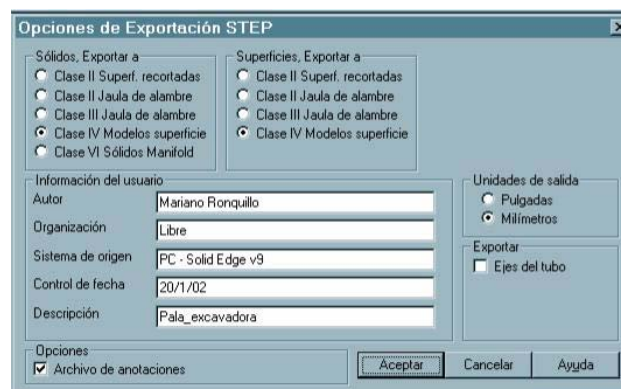


Figura 6.6: Opciones de importación de SOLID EDGE

## 6.5.2 Características del Pre y Post-Procesador Step de Catia V5

- (a) Pre-procesador: evidencia importantes carencias, tales como la ausencia de un reporte que informe de cómo fue el proceso de traducción a STEP, o como la falta de opciones de configuración para elegir la forma de mapeo de este traductor; tampoco permite personalizar la cabecera del archivo STEP, algo de bastante ayuda pues nos da información general del propio archivo. Al menos, sí que refleja en el STEP el día y la fecha en que se creó el fichero. Pero en resumen, se puede afirmar que los traductores de CATIA están aún en una fase inicial poco desarrollada, pues necesitan una interfaz mucho más completa y personalizable.
- (b) Post-procesador: genera un reporte donde informa, sólo y únicamente, de los errores producidos en la traducción, si es que existen. Las entidades no interpretadas por CATIA quedan en el espacio NO/SHOW. Tampoco deja ninguna variable para que el usuario *dirija* mejor el proceso de traducción.

## 6.5.3 Consejos prácticos para un correcto intercambio

### 6.5.3.1 Creando Modelos

- Usar entidades que sean soportadas por el traductor intermedio del sistema.
- Crear modelos sencillos, osea, utilizar siempre que sea posible geometría básica y sólidos primitivos (esfera, cilindro, cono,...).
- Modelar con el nivel de detalle justo requerido, es decir, si el cliente o parte receptora no lo necesita, no hace falta modelar la rosca de un tornillo, por ejemplo.
- Conocer y evitar aquellas prácticas de modelado que crean geometrías inválidas (no intercambiables): cáscaras muy finas (poco espesor), con bordes redondeados o achaflanados sólo exteriormente,...

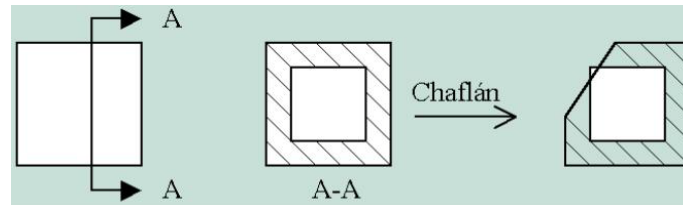


Figura 6.7: Chaflán que crea una pieza con geometría no válida.

- Emplear unidades (mm, kg, kg/m<sup>2</sup>, etc.) previamente establecidas entre las partes: emisor y receptor.
- Manejar la mayor precisión posible. Esto incrementa las posibilidades de éxito del intercambio.

### 6.5.3.2 Chequeando Modelos previamente al intercambio

- Chequear entidades extremadamente pequeñas o de tamaño cero.
- Chequear que el modelo contiene sólo la información que necesita ser intercambiada.
- Chequear que el modelo es válido en el sistema, primero, usando comandos propios para validarlo, y segundo, usando y operando con él, de forma similar a como lo hará la parte receptora (presentarlo sombreado o con texturas, detección de choques y contactos, etc.).
- Una interesante práctica para asegurar un intercambio correcto estriba en comparar las propiedades físicas del modelo original con las del recibido a través de su formato STEP. Esto es, en calcular el volumen y/o el peso del modelo sólido en el sistema donde se ha modelado, para luego compararlo con el obtenido en el sistema receptor del fichero STEP de dicho modelo. Si coinciden ambos volúmenes y/o pesos (teniendo el cuidado de adoptar la misma densidad en ambos sólidos) será una señal adicional para poder afirmar que se ha tenido una transferencia correcta.
- Comprobar que las unidades usadas, sean las establecidas arbitrariamente.

### 6.5.3.3 Al recibir un fichero Step proveniente de otro sistema:

- Verificar si el fichero contiene información de acuerdo con el estándar establecido; en este caso, formato STEP AP203.
- Chequear que el fichero no ha sufrido conversiones que lo haya corrompido. Por ejemplo, al pasar de ASCII a EBCDIC pueden convertirse caracteres especiales propios de STEP a otros distintos que falsean el fichero.
- Comprobar que el fichero está completo, que no ha sido truncado.
- Verificar y usar unas unidades métricas establecidas arbitrariamente entre el emisor y el receptor.

## 6.6. Análisis de los resultados obtenidos

Conocido cada uno de los sistemas CAD y de sus traductores, se procede a la evaluación del intercambio de modelos sólidos entre CATIA y SOLID EDGE, analizando el proceso tanto en un sentido como en otro (ver figura 6.8). El objetivo principal consiste en establecer si la implementación de cada sistema soporta e interpreta correctamente la clase de conformidad 6 del Protocolo de Aplicación 203. Implica la evaluación tanto del pre-procesador (creación del fichero STEP) como del post-procesador (lectura e interpretación de un fichero STEP dado).

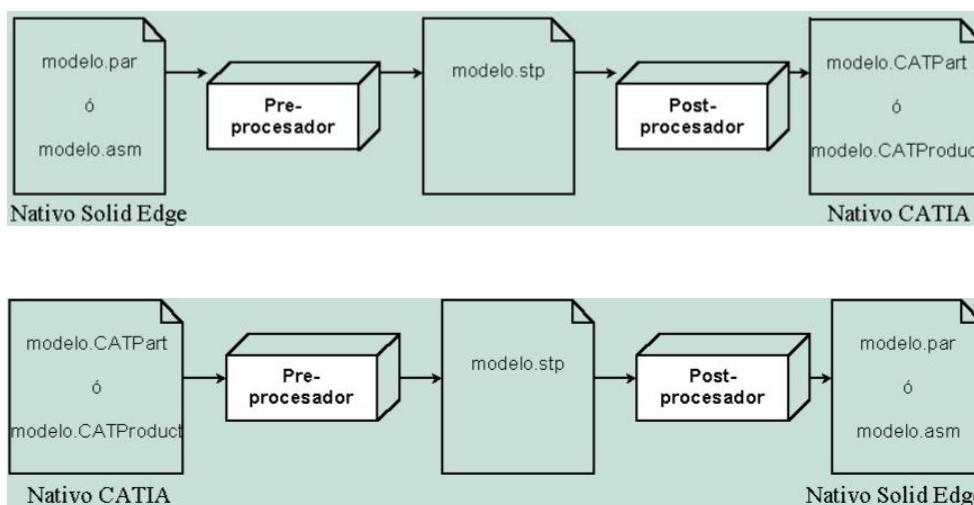


Figura 6.8: Intercambio de SOLID EDGE a CATIA y viceversa

Para evaluar el intercambio se han definido modelos sólidos (en ambos sistemas CAD) de complejidad creciente, y un último modelo que es el ensamblaje de todos los

anteriores. Así, en una primera fase sólo se introducen sólidos primitivos, cuyas curvas y superficies son analíticas; en la segunda fase, se generan nuevos sólidos a partir de operaciones booleanas con los de la fase previa, obteniendo así una geometría de mayor complejidad. En la tercera fase, ya se usan sólidos de forma libre, apareciendo superficies más complejas (NURBS). Así hasta una séptima fase, con los sólidos más complejos. Finalmente, en la octava fase, se trabaja con varios assemblies de los modelos anteriores, creando varios de distintos niveles.

Como resumen de los resultados destacar lo siguiente:

- En las transferencias de CATIA a SOLID EDGE, se ha obtenido una eficacia de casi el 100% de todos los modelos usados. Todo ello, gracias a un post-procesador de SOLID EDGE muy transparente y eficiente, donde el usuario puede ver lo que hace la máquina e incluso optimizar su funcionamiento. Sólo reseñar, que para conseguir transferencias exitosas en este sentido hay que ocultar el triedro que por defecto siempre aparece en la pantalla gráfica de CATIA, pues si no se hace, se obtiene éste en SOLID EDGE con unas dimensiones desmesuradas que corrompen el modelo recibido.
- En las transferencias de SOLID EDGE a CATIA, se ha obtenido una eficacia deficiente, más de la mitad de los modelos recibidos contienen errores insalvables. El origen de la ineficacia está en lo restrictivo del pre y post-procesador de CATIA.

## **6.7. Conclusiones**

Como conclusiones de esta experiencia, se tiene que:

- CATIA es un sistema de CAD/CAM/CAE mucho más potente, amplio, versátil y profesional que SOLID EDGE.
- Los traductores de STEP en CATIA v5 tienen unas características poco flexibles y un funcionamiento deficiente, que hace complicada la transferencia de modelos a y desde otros sistemas.
- Los traductores STEP en CATIA v5 carecen de opciones de configuración. No ofrecen la posibilidad de elegir la clase de conformidad según la cual se quiere crear el archivo STEP. No generan una cabecera que dé información

general del archivo STEP, y tampoco permiten elegir la forma de mapeo de las distintas curvas y superficies, etc. En resumen, se puede afirmar que los traductores de CATIA están aún en una fase inicial poco desarrollada, pues necesitan una interfaz mucho más completa y personalizada.

- Los traductores STEP de SOLID EDGE presentan un funcionamiento muy estable, capaz de leer modelos que le son defectuosos inicialmente, pero que son capaces de arreglarlos en muchos casos. Ofrecen reportes tanto cuando importan como cuando exportan, además de dar distintas opciones de traducción, permitiendo elegir la clase de conformidad deseada para los sólidos y las superficies.
- En los traductores STEP de SOLID EDGE queda sesgada su funcionalidad en lo que se refiere a la Clase de Conformidad 1 (identificación de los suministradores del producto o del diseño del producto, la documentación de los cambios y realización de los diseños del producto, la historia del desarrollo del producto, etc.).

Referencias bibliográficas: 13, 44, 58.

# Capítulo 7

## **ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS ESTRATEGIAS PARA LA DISTRIBUCION DEL ESPACIO EN PLANTA EN LOS CAMPOS DE LA ARQUITECTURA E INGENIERIA**

### **7.1. Introducción**

La finalidad general del proceso de diseño es obtener la descripción de un producto o servicio que satisfaga ciertas necesidades y deseos. Entre los elementos característicos del proceso de diseño cabe distinguir: la intencionalidad, el equilibrio entre lo deseable y lo posible y el estilo, como un sistema de convenios intangibles y personales que permiten economizar a la hora de tomar decisiones. La complejidad inherente a cualquier trabajo de diseño da lugar a la descomposición del mismo en tareas que interaccionan entre sí, y en el que las decisiones adoptadas han de ser continuamente reconsideradas. Aunque el propósito de un diseño puede conocerse al plantear el problema, las funciones y comportamientos requeridos pueden no estar

claros hasta que se realicen ciertas hipótesis o se propongan ciertas soluciones estructurales. Es patente, por tanto, la complejidad y mala estructuración de los problemas de diseño.

Con independencia de la forma en que se caracterice el proceso de diseño y del tipo de producto o servicio objeto del mismo, siempre están presentes las siguientes etapas mostradas en la figura.

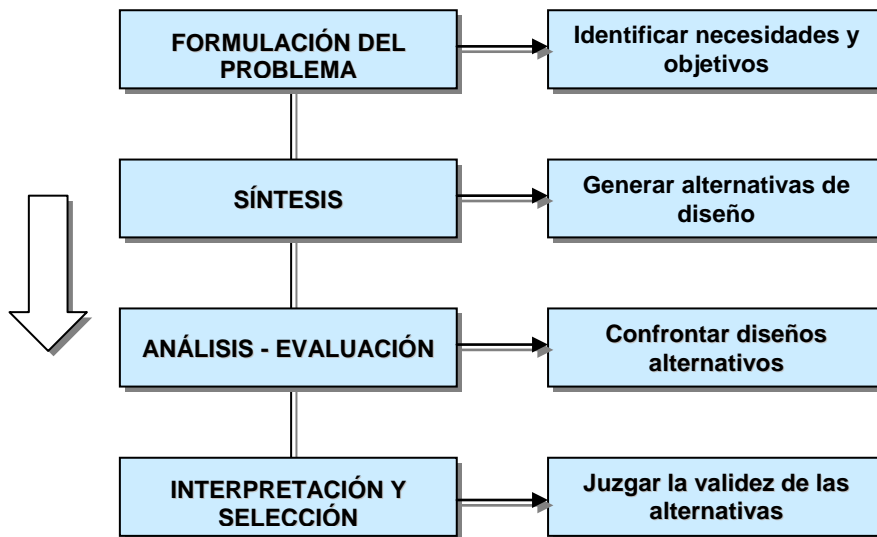


Figura 7.1: Etapas del proceso de diseño.

El análisis de las visiones más significativas del diseño, pone de manifiesto un nexo común: la consideración del diseño como un proceso de razonamiento. Los últimos modelos de solución de problemas, surgidos en el ámbito de la inteligencia artificial, caracterizan este proceso como una exploración a través de un espacio de estados (descripciones parciales de diseño), que avanza por la aplicación de operadores (acciones de diseño), que aplican conocimiento de diseño y producen transformaciones, en general descripciones más completas, si bien pueden determinar retrocesos a estados previos cuando el actual se pruebe inadecuado y cuyo fin es alcanzar un estado objetivo (una solución de diseño).

La distribución del espacio en planta es un aspecto fundamental del diseño de un edificio o instalación industrial que responde al esquema dado para el proceso de diseño.



En general, en el planteamiento del problema del diseño de la distribución en planta se parte de:

- Un contorno inicial determinado, con su forma y dimensiones externas.
- Los espacios a distribuir y sus dimensiones.
- Los requerimientos de relación y/o proximidad entre las actividades/espacios.

Siendo el resultado la definición de una distribución en planta o layout, donde se persigue maximizar la eficacia y rentabilidad o minimizar los costes de explotación en el caso de instalaciones industriales, y en viviendas optimizar la funcionalidad, belleza y habitabilidad.

Una vez descritos los conceptos básicos del diseño, los procesos típicos de esta actividad, así como los objetivos generales y restricciones cuyo cumplimiento caracterizan a una solución, a continuación se revisa la ecuación capaz de modelar como se diseñan distribuciones en planta o layouts, resultado de particularizar la ecuación general, antes formulada, y que describe como diseña el hombre. Tras esto se analiza con carácter integrador, como arquitectos e ingenieros han establecido sus diferentes distribuciones en planta. Por último, se concluye destacando los puntos fuertes y débiles de cada uno de los planteamientos.

## **7.2. Estrategias de composición arquitectónica**

La composición arquitectónica puede definirse como el proceso de búsqueda de esquemas físicos u organizaciones que, al realizarse, deberán conseguir ciertos objetivos y atenerse a ciertas restricciones. Este proceso, que suele aplicarse en situaciones complejas, se caracteriza por un pensamiento y juicio creativos. Estas dos funciones se facilitan por medio de operadores representacionales y analíticos, que tienen en cuenta el esquema o boceto que va surgiendo, y proporcionan medidas específicas, cualitativas y cuantitativas, del funcionamiento esperado.

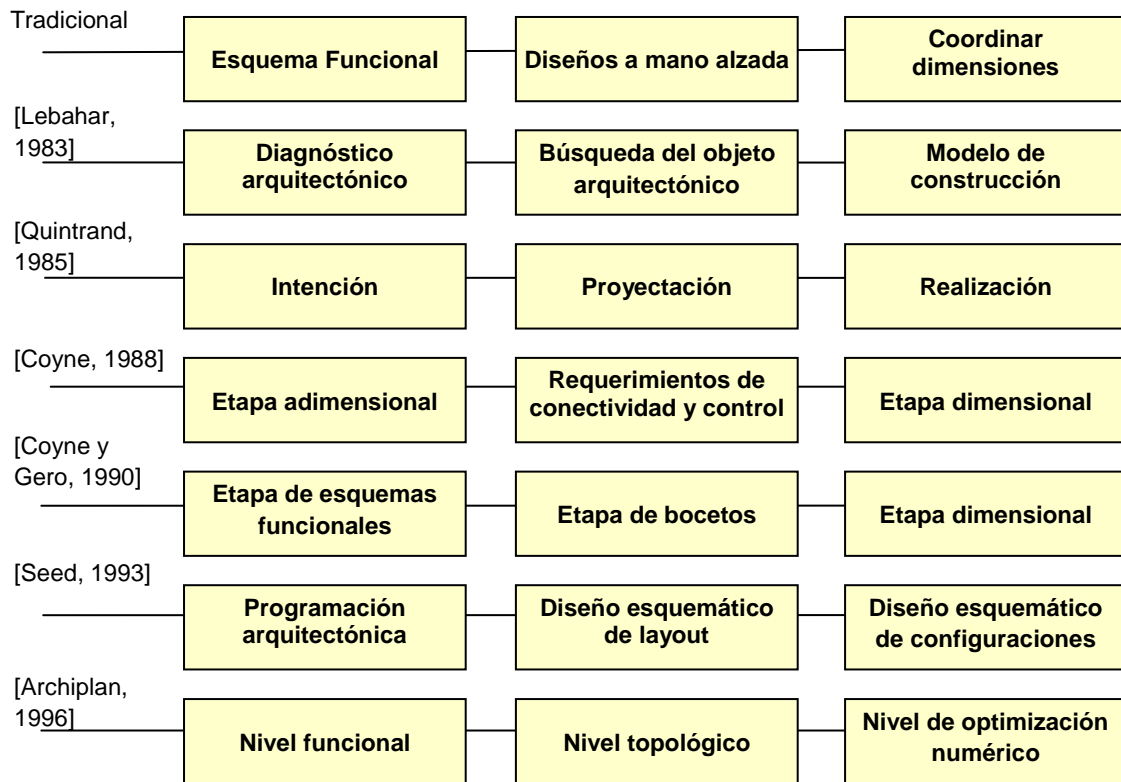


Figura 7.2: Estrategias de composición arquitectónica. Fuente: [23]

En general, se pueden diferenciar tres tipos de conocimiento implicados en el proceso de diseño arquitectónico: el conocimiento del dominio, que engloba todo lo relativo a los objetos arquitectónicos y la arquitectura en general; el conocimiento sobre la representación, elementos disponibles para representar gráficamente el objeto arquitectónico que se pretende diseñar; y, por último, el conocimiento sobre el proceso de diseño, que comprende las estrategias y criterios útiles para el proceso de decisión de la forma arquitectónica.

La materialización de los conceptos anteriores ha dado lugar a las diferentes estrategias de composición arquitectónica reflejadas, en orden cronológico, en la figura 7.2. Se resumen, en dicha figura, en comparación con la metodología tradicional, los últimos procesos de concepción arquitectónica que surgen en los 80, a raíz del auge las nuevas tendencias historicistas y conservaduristas. Como se observa, en lo fundamental las etapas o estructura del proceso, siguen siendo las mismas, aunque hoy en día se cuenta en todas ellas con el apoyo insustituible del ordenador.

### 7.3. Metodologías para la distribución en planta en ingeniería industrial

La distribución en planta es una parte del proceso global de planificación de la actividad industrial. Este proceso consta de varias fases: definición del producto y proceso productivo, ubicación de la planta industrial, proyecto de la planta industrial y construcción de edificios (obra civil) y sus instalaciones.

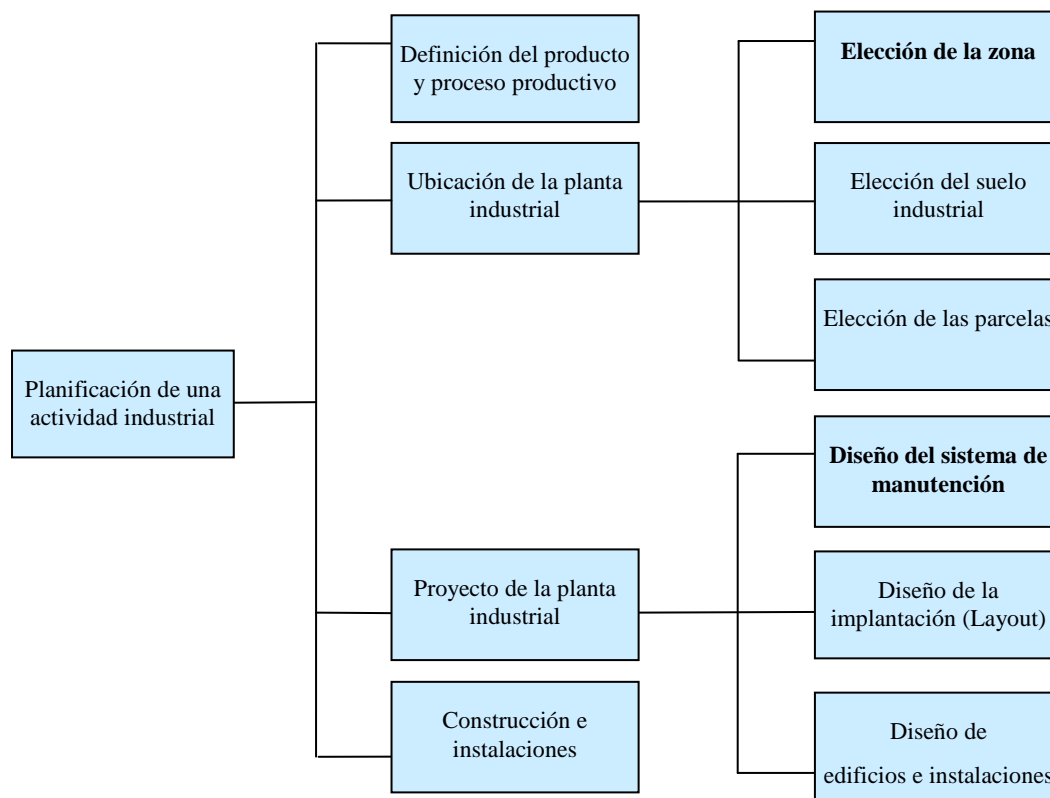


Figura 7.3: Jerarquía de la planificación de una actividad industrial.

La Arquitectura Industrial se ocupa de estas tres últimas fases del proyecto de una planta industrial, y de forma más específica de la tercera: diseño y proyecto de las instalaciones necesarias para desarrollar una determinada actividad. El objeto de la distribución en planta, es la ordenación de los medios productivos: trabajadores, materiales, maquinaria, mobiliario y servicios auxiliares (mantenimiento, transporte, etc.). En líneas generales, una buena distribución es aquella que consigue una ordenación de los distintos elementos que entran a formar parte del proceso de

implantación de forma que ésta sea la más económica para el trabajo, a la vez que la más segura y satisfactoria para los empleados.

Históricamente, tres han sido los tipos básicos de distribución en planta: la implantación por producto, conocida como en cadena o serie; la distribución por proceso o secciones, y la de posición fija del producto. A éstas se ha incorporado, como consecuencia de las exigencias del mercado actual, con productos cada vez más personalizados, las Células de Fabricación Flexible (CFF), implementación de los Sistemas Flexibles de Fabricación (FMS), surgidos como respuesta ante estos requerimientos y constituidos, en suma, como un conjunto de maquinas y herramientas unidas a un sistema de manejo de materiales, y todo ello controlado por un sistema de ordenadores.

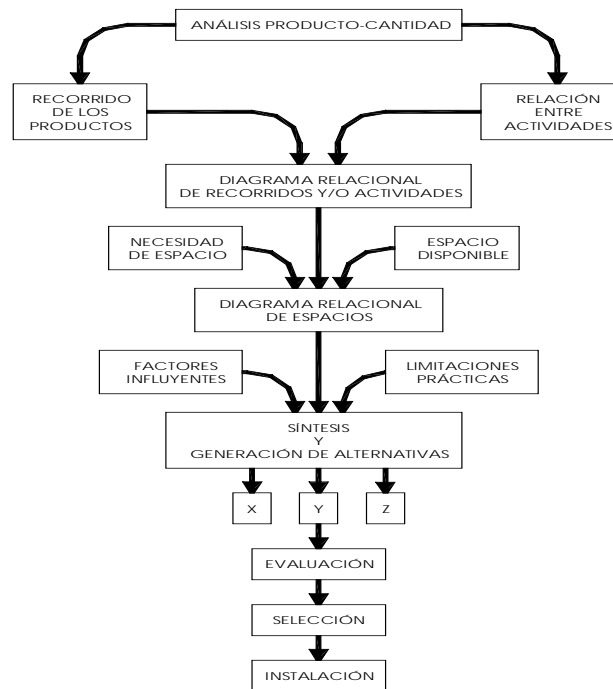


Figura 7.4: Metodología S.L.P.

El estudio de metodologías para el diseño de distribuciones en planta industriales, se produjo fundamentalmente en la década de los años 50, y entre sus autores destacan Immer [43] y Buffa [10]. En el año 1961, Muther [56] presenta “ Systematic Layout Planning” o método S.L.P. resumido en la figura 7.4, que incorpora el flujo de materiales, y es común para el diseño de todo tipo de distribuciones en planta

independientemente de su naturaleza: plantas industriales, hospitales, oficinas, locales comerciales, etc. La amplia aceptación de este procedimiento, y la extensión que los tres modelos de distribuciones básicas han tenido, ha sido la causa de que no haya habido posteriores investigaciones de relieve en este contexto.

Esto no es indicativo de que el problema de la implantación haya perdido interés en el ámbito de la ingeniería, sino todo lo contrario; alcanzado un acuerdo, prácticamente unánime, sobre la metodología a utilizar, los numerosísimos estudios posteriores, se han centrado en los dos pasos fundamentales del procedimiento: la generación y síntesis de alternativas, a través de los *métodos de generación de layouts*, y la evaluación y selección de las mismas, por medio del estudio de las *técnicas para la optimización de las soluciones*.

### **7.3.1 Métodos de generación de layouts**

Los métodos de generación de layouts, M.G.L., no sólo persiguen la enumeración exhaustiva de todas las soluciones acordes con los requerimientos, sino que cumplen una labor de filtro inicial de las mismas. Muchos son los métodos propuestos y sólo la enumeración de los mismos abarcaría el contenido de una tesis. Por esto, sólo se va a establecer una taxonomía genérica, destacando los autores originales de cada uno de los procedimientos.

Se han establecido tres clasificaciones diferentes. Primero, por el carácter de la función objetivo. Destacando, en particular, *las técnicas multicriterio*, hoy unánimemente aceptadas, pero con formulaciones muy diversas según los autores. En segundo lugar, atendiendo a la forma de generar la solución: partiendo de una anterior (*métodos de mejora*) o creando una posible (*métodos de construcción*). El tercer criterio utilizado para clasificar las metodologías ha sido la manera de ubicar las actividades. Tres categorías fundamentales se han fijado: los métodos basados en *técnicas discretas*, los que utilizan una *formulación analítica* del problema y por último, aquellos que recurren a particionar un dominio inicial, a través de *algoritmos de corte*.

|   |                         |                         |                    |
|---|-------------------------|-------------------------|--------------------|
| SEGÚN EL CARÁCTER DE LA FUNCIÓN OBJETIVO            | Tipo cuantitativo       | [CRAFT, 1963]           |                    |
|   | Tipo cualitativo        | [Muther, 1961]          |                    |
|   | Multi-criterio          | Aditivo                 | [Rosenblatt, 1979] |
|   |                         | No Aditivo              | [Cano, 1987]       |
| SEGÚN LA FORMA DE GENERAR LA SOLUCIÓN               | Métodos de construcción | [ALDEP, 1967]           |                    |
|   | Métodos de mejora       | [CRAFT, 1963]           |                    |
|   | Métodos híbridos        | [BLOCPLAN, 1990]        |                    |
| SEGÚN LA TÉCNICA EMPLEADA EN UBICAR LAS ACTIVIDADES | Técnicas discretas      | [Gilmore, 1962]         |                    |
|   | Técnicas analíticas     | [Heragu y Kusiak, 1991] |                    |
|   | Técnicas de corte       | [Stockmeyer, 1983]      |                    |

Figura 7.5: Metodologías para la generación de soluciones. Fuente: [23]

En la figura 7.5, se representan dichas clasificaciones, se indican las características diferenciadoras de los métodos y sus autores originales así como la fecha de publicación de los trabajos.

### 7.3.2 Técnicas para la optimización de soluciones

No menos numerosas que los M.G.L. son las técnicas de selección de soluciones disponibles en la actualidad. Una clasificación de estas técnicas se refleja en la figura 7.6, en la que se incluye el origen de la misma y el primero de los autores que la utilizó en la solución de problemas de distribución en planta.

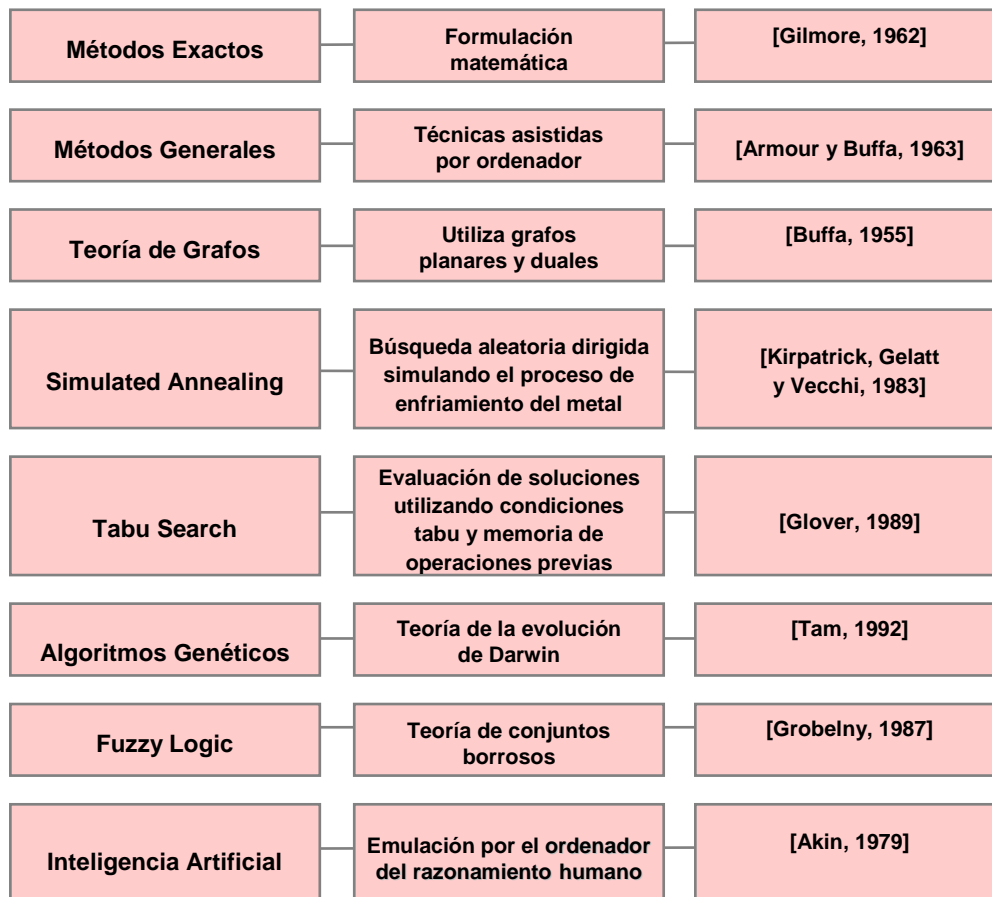


Figura 7.6: Técnicas para la optimización de soluciones. Fuente: [23]

## 7.4. Comparativa de los procesos de composición

Las diferentes visiones que del problema de la distribución en planta tienen ingenieros y arquitectos, se manifiesta en múltiples aspectos.

En Arquitectura, el proceso de diseño ha sido tradicionalmente un asunto muy debatido. Coexisten multitud de teorías y líneas de pensamiento sobre este tema, no hay unidad de opiniones. A pesar de ello, las últimas tendencias en el modo de componer sí se han unificado, agrupando las fases del diseño en tres fundamentales, que para cada autor toman nombres distintos, pero que recogen idénticos contenidos:

- **Fase de análisis:** consistente en la preparación de la información, el listado de requisitos, la fijación de objetivos, la programación de necesidades, etc. Conocida

según los autores como: *el diagnóstico arquitectónico, la intención, programación arquitectónica, nivel funcional, etc.*

- **Fase de síntesis:** en la que tiene lugar la generación de soluciones. Los autores actuales la denominan: *búsqueda del objeto arquitectónico por simulación gráfica, la proyectación, diseño esquemático de layout, nivel topológico, etc.*
- **Fase de evaluación:** donde se comparan los diseños y se selecciona el apropiado.

Por el contrario en el campo de la Ingeniería, como ya se ha comentado, ha habido en un muy corto periodo de tiempo, el que transcurre entre los años 1950 y 1961, una discusión metodológica del problema de la implantación, y a partir de aquí una aceptación general por parte de todos los investigadores de la metodología S.L.P.

Ambas disciplinas difieren también radicalmente en los objetivos a conseguir con la distribución del espacio en planta. En Arquitectura, si bien las metas subyacen claramente en la propia definición de esta disciplina, como *arte al servicio del hombre*, no se observan plasmadas de forma cuantitativa en ninguna de las muchas teorías. Por el contrario, en Ingeniería la enumeración de los objetivos aparece clara y es común a todos los autores.

Los ingenieros, con su enfoque específico del problema hacia la distribución del espacio industrial, han encontrado más facilidad a la hora de parametrizar estos objetivos. Se ha usado el flujo de materiales en la planta, de forma común, y algunas otras variables, menos cuantificables, de forma menos general entre los autores. De esta manera, el problema adquiere la naturaleza multicriterio de tan amplia repercusión en los últimos años.

Por último, cabe mencionar como otra característica diferenciadora, las técnicas aplicadas a este problema por los investigadores en el campo de la ingeniería. Estas se han centrado en encontrar aquella única solución óptima que maximiza la función objetivo. Por el contrario, las últimas técnicas de uso en composición, presentan al arquitecto todas las distribuciones posibles compatibles con las condiciones impuestas, para que éste seleccione con su criterio aquella que más se adapte a sus requerimientos. Las diferencias indicadas se resumen en la figura 7.7.



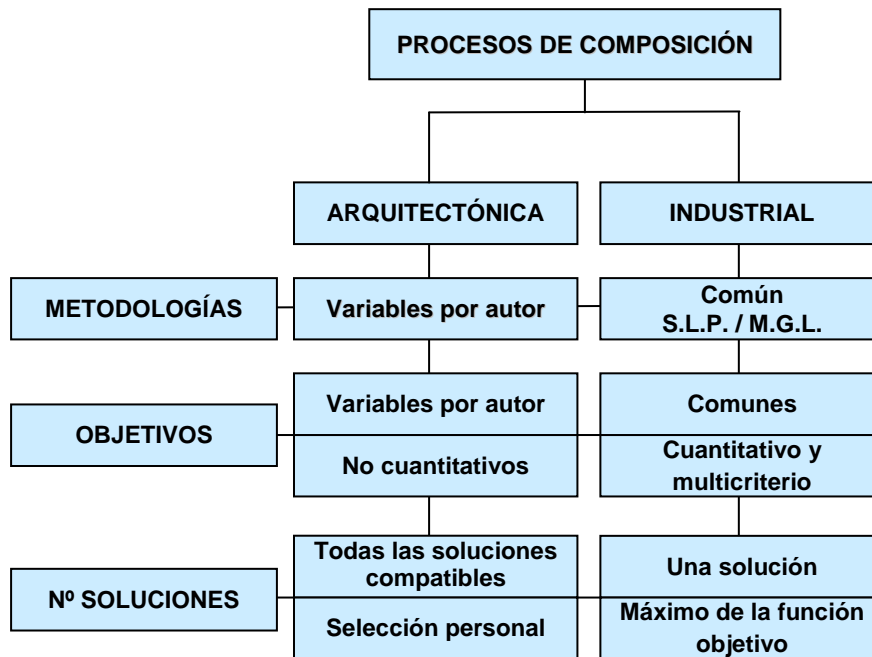


Figura 7.7: Comparativa de los procesos de composición.

## 7.5. Conclusiones

Los problemas de distribución en planta permanecen de plena actualidad tanto en el campo de la Ingeniería como en Arquitectura. Una de las razones de su vigencia estriba en que la solución de estos problemas es un paso crucial de la actividad de diseño de un edificio o planta industrial.

Si se examinan estos problemas atendiendo a los datos de entrada y resultados producidos, metodología utilizada y objetivos perseguidos; y se analiza cómo arquitectos e ingenieros los tratan, se derivan las siguientes conclusiones.

En general, en el planteamiento del problema, se dispone de los siguientes datos de entrada: un contorno inicial de dimensiones prefijadas, unos espacios a distribuir con sus requerimientos dimensionales y unas necesidades de relación entre actividades/espacios. Los resultados son la posición o distribución de estas actividades/espacios. Esto es común a ambas disciplinas.

Las metodologías utilizadas, que se han tratado, anteriormente tienden a aproximarse. Tanto es así que las últimas tendencias en Arquitectura, plasmadas en

ARCHIPLAN[53], (ver figura 7.2) y la tradicional técnica de ingeniería S.L.P. presentan muchas similitudes, como puede entenderse examinando la figura 7.8.

Por último, es en los objetivos donde aún subsisten diferencias. La primacía en la visión arquitectónica de factores compositivos y estéticos conduce hacia metas como la funcionalidad, habitabilidad, equilibrio, belleza, plasticidad, etc., en muchos casos subjetivas y casi siempre difícilmente parametrizables. Por el contrario, eficacia, rentabilidad, reducción de costes, etc., son los índices que utiliza la Ingeniería Industrial. Pero es de destacar cómo se ha producido también en este terreno un acercamiento en dos sentidos: desde los arquitectos por cuantificar y objetivar la idoneidad de los diseños; y desde la Ingeniería, al comprender que la eficiencia de muchos procesos está muy ligada a la satisfacción personal de los empleados y a su motivación, para lo que debe tenerse cada vez más en cuenta en el diseño de los puestos de trabajo factores como la seguridad, la ergonomía, el entorno o la propia belleza de las instalaciones industriales.

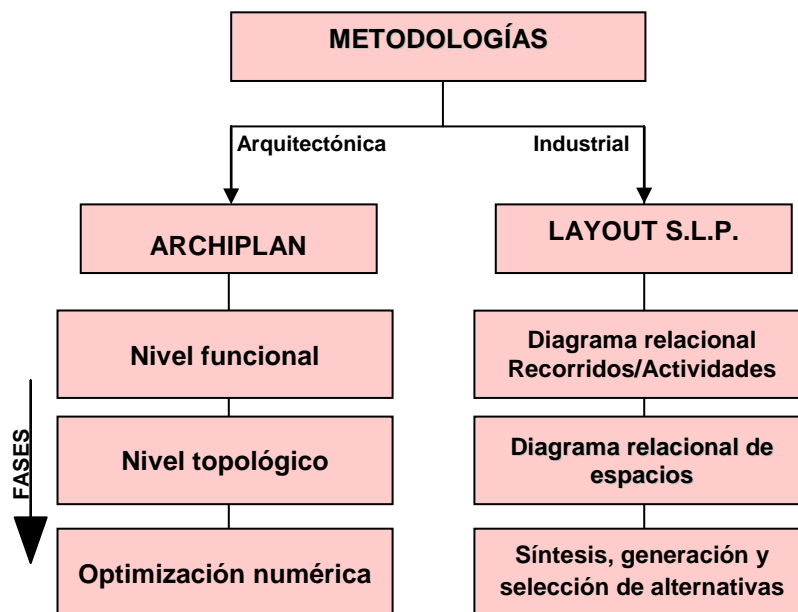


Figura 7.8. Metodologías comparadas de distribución de espacios en planta

Referencias bibliográficas: 2, 3, 10, 11, 16, 19, 23, 27, 28, 30, 31, 34, 43, 45, 46, 48, 50, 51, 53, 56, 60, 62, 66, 68, 71, 72 .

## Capítulo 8

### UN MODELO MULTIDISCIPLINAR PARA EL DISEÑO DE DISTRIBUCIONES EN PLANTA

#### **8.1. Estado del arte en el diseño de distribuciones en planta**

En esta sección se explica en primer lugar el proceso de diseño en general. Posteriormente, son revisados los diferentes enfoques dados al problema de la distribución de espacios por ingenieros y arquitectos. Por último, se revisan también las diferentes metodologías para la generación de layouts y las técnicas de optimización de soluciones. El objetivo del proceso de diseño es obtener una descripción de un producto o servicio que cumpla determinadas necesidades y deseos. Independientemente de la forma en que se caracteriza el proceso, y el tipo de producto o servicio, las etapas que se muestran en la figura 8.1, están siempre presentes.

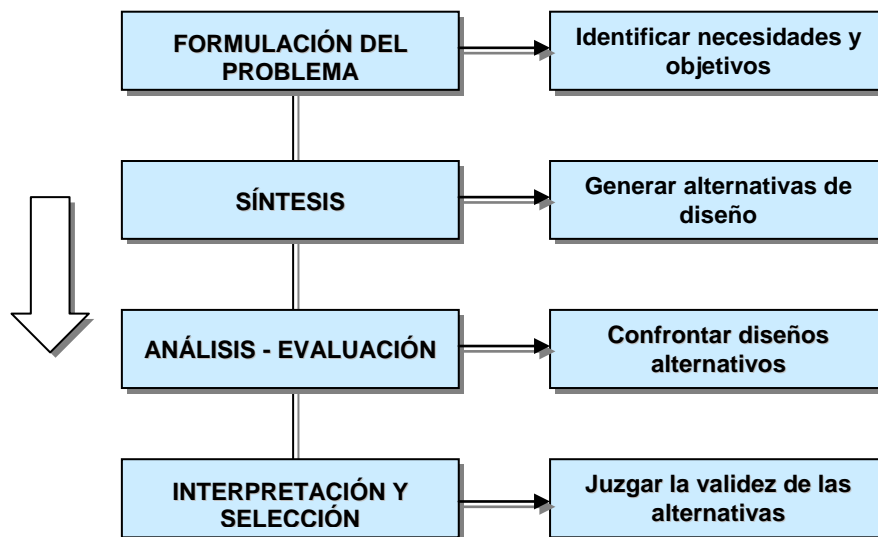


Figura 8.1: Etapas en el proceso de diseño

En el campo de la ingeniería, diferentes estrategias para resolver el problema de la implantación han surgido a lo largo del tiempo. Las más importantes son, en orden cronológico: Inmer (1950) [43], Buffa (1955) [10], Muther [56] y Reed (1961) [61], Nadler (1965) [57] y Apple (1977) [1]. El más famoso es Muther, autor de SLP (Systematic Layout Planning), que ha sido el método más utilizado hasta hoy. SLP es una opción común para resolver los problemas de diseño de layouts, con independencia de su naturaleza: plantas industriales, hospitales, oficinas, centros comerciales, etc.

En arquitectura, la composición arquitectónica se define como la búsqueda de diseños físicos u organizaciones, que alcanzan ciertos objetivos, manteniendo algunas restricciones (Coyne 1988 [19]). En la figura 8.2, los procesos de concepción arquitectónica de la última década se comparan con la metodología tradicional. Como se puede observar, la estructura del proceso sigue siendo la misma, a pesar de que todas las etapas son realizadas hoy en día con ayuda del ordenador.

Se realiza aquí, una comparativa de las soluciones al problema de la composición, a partir de las diferentes visiones de ingenieros y los arquitectos. En Arquitectura, el proceso de diseño ha sido tradicionalmente una cuestión a debate. Formas de pensar y teorías varias coexisten.

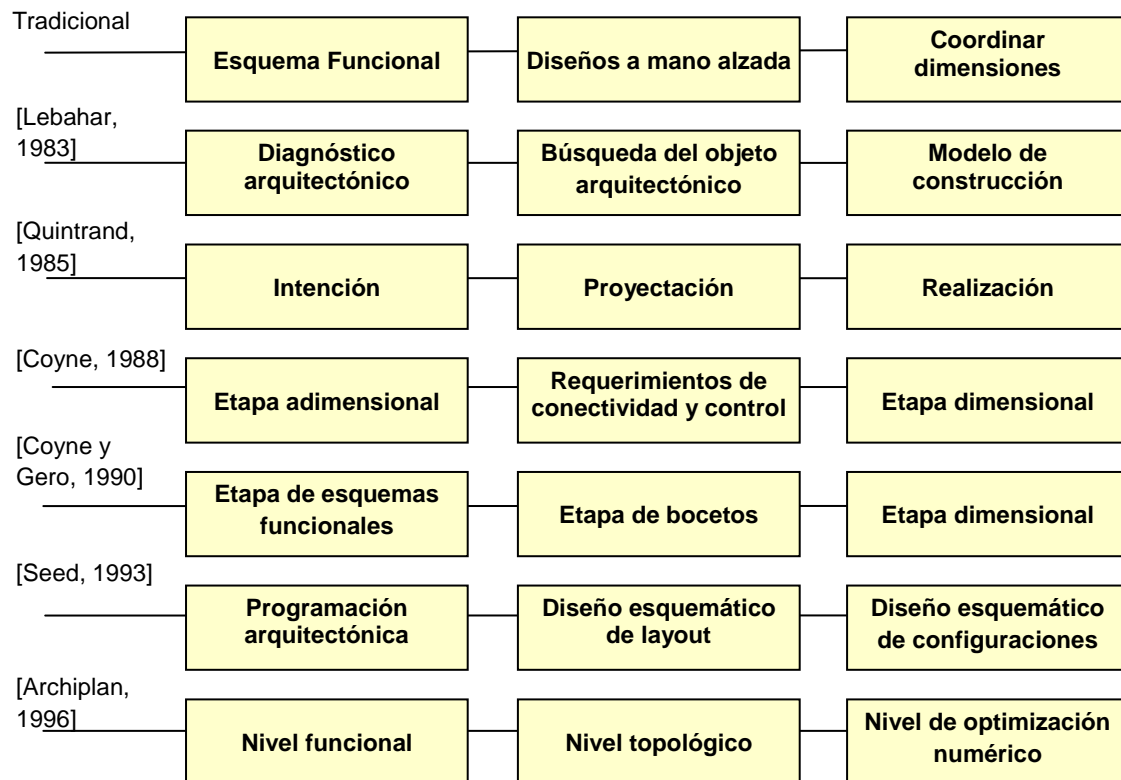


Figura 8.2: Estrategias de composición arquitectónica Fuente: [24].

En Ingeniería, por el contrario, ha habido una discusión metodológica sobre el problema de implantación y a partir de aquí una aceptación general del método SLP. Ambas disciplinas se diferencian claramente también en los objetivos a alcanzar y en el número de soluciones manejadas. Como factor común, se puede afirmar que las tres etapas de diseño en el proceso de composición arquitectónica, son las mismas que las tradicionalmente consideradas en el diseño industrial (figura 8.3).

El objetivo de los métodos de generación de layouts (MGL) no es sólo obtener una lista exhaustiva de todas las soluciones que cumplen los requisitos, sino también actuar como un filtro inicial. Se pueden hacer tres clasificaciones diferentes. En primer lugar, dependiendo de la función de coste. Las técnicas multicriterio, aceptadas por unanimidad hoy en día, son los más importantes, pero con formulaciones diferentes según el autor.

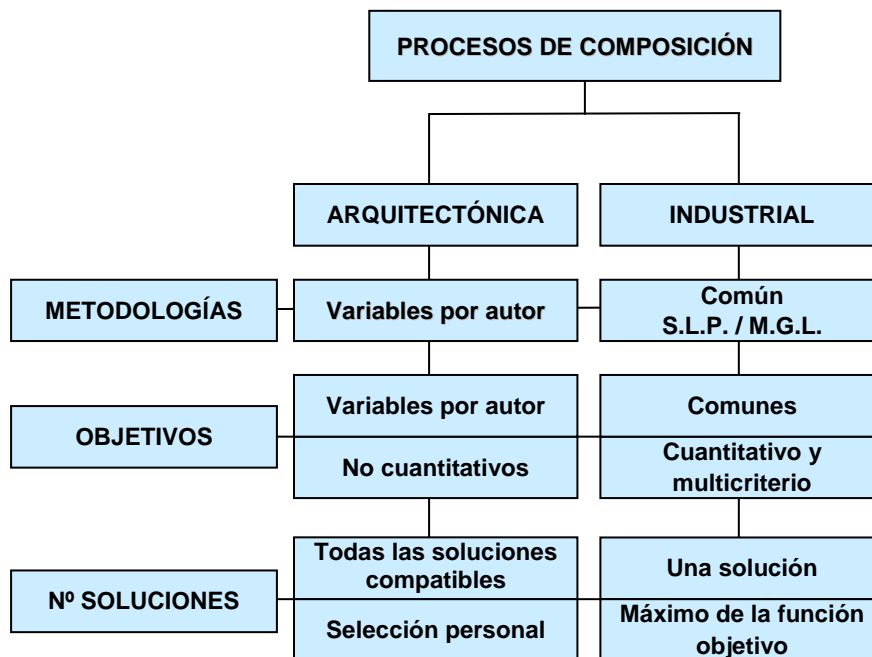


Figura 8.3: Comparativa de los procesos de composición

En segundo lugar, dependiendo de la forma de generar la solución: partiendo de una anterior (métodos de mejora) o por la creación de una nueva posible (los métodos de construcción). El tercer criterio que se ha utilizado para clasificar los métodos, es la forma de distribuir las actividades, un aspecto que está estrechamente relacionado con la descripción matemática del problema. Hay tres categorías diferentes: los métodos basados en técnicas discretas, los métodos que utilizan una formulación analítica del problema, y los basados en la partición de un dominio inicial a través de algoritmos de corte. Las numerosas técnicas que se utilizan actualmente para la selección de soluciones se presentan en la figura 8.4. Los diferentes orígenes y los primeros autores que las utilizaron para el diseño de distribuciones en planta se muestran en la misma figura.

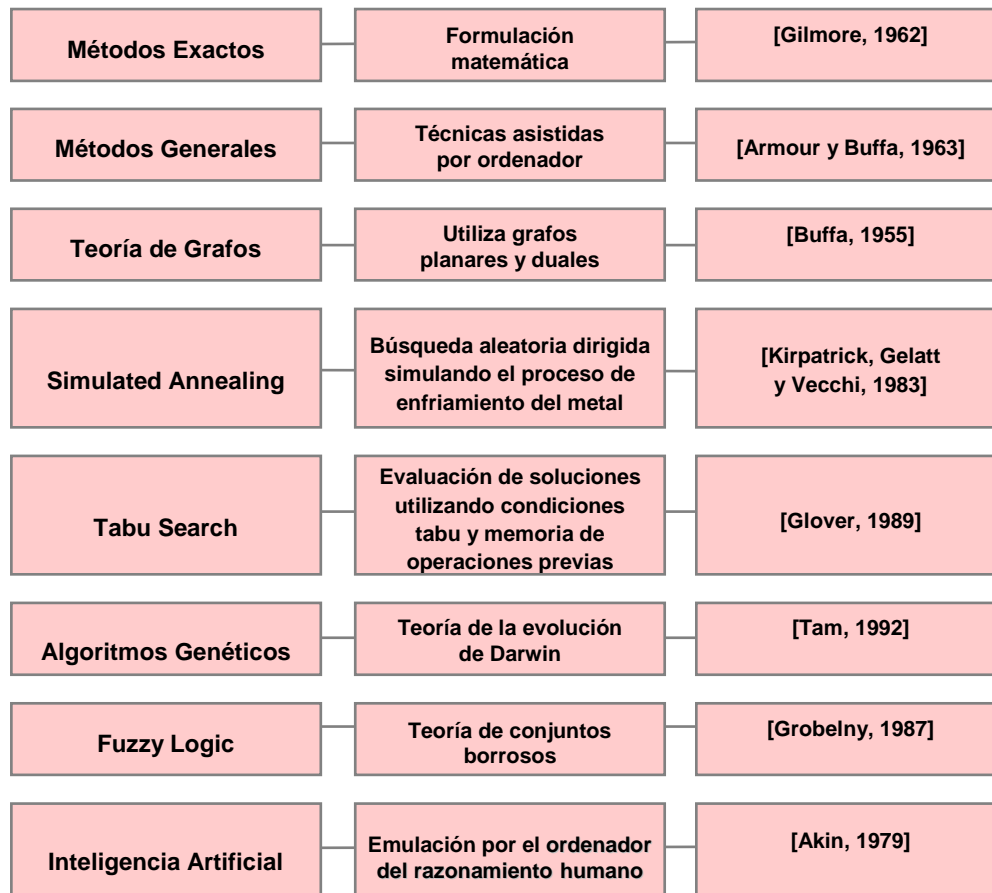


Figura 8.4: Técnicas para la optimización de las soluciones. Fuente [24].

## 8.2. Técnicas utilizadas en la metodología propuesta

En esta sección se describen, todas las técnicas lo que se aplican en la metodología propuesta. En primer lugar, los arboles de corte y sus aplicaciones en el diseño de distribuciones en planta, así como sus aplicaciones a los circuitos integrados a gran escala (VLSI) y, en particular, un avanzado sistema denominado PLAYOUT [75]. Este sistema ha funcionado como referencia para el método propuesto en este trabajo. Posteriormente, se explicará el Feng Shui (una disciplina oriental de adecuación y armonización del entorno) y sus aplicaciones al diseño arquitectónico. En tercer lugar, como una aplicación intrínseca de la inteligencia artificial, se enuncian los métodos conocidos para la búsqueda de las trayectorias que conectan dos puntos.

### 8.2.1 Slicing trees

Los árboles son un método de representar la disposición de las instalaciones en una distribución determinada. Se utilizan dos tipos diferentes de árboles: cut trees y slicing trees. Cut trees o árboles de corte son una técnica más antigua, en la que la superficie inicial no se considera hasta que no se alcanza la división definitiva. Cuando se utiliza slicing trees, se parte de la geometría inicial y recursivamente divide la superficie con cortes en direcciones perpendiculares. Admiten un código para las operaciones de corte, como se muestra en la figura 8.5.

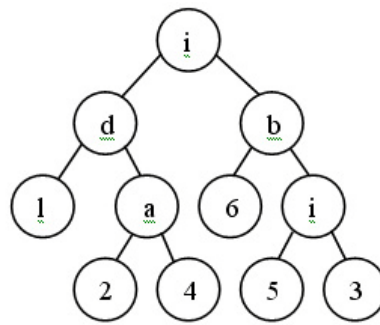


Figura 8.5: Cadena de caracteres: idal24b6i53.

Slicing trees constituyen estructuras desde las se pueden generar las familias de layouts. Estas estructuras en forma de árbol, se organizan en los nodos internos, que caracterizan a los cortes de la partición, y los nodos externos, que representan los espacios del layout. La estructura de un árbol de corte debe estar diseñada de tal manera que se muestren los requisitos de proximidad entre las actividades relacionadas, agrupando aquellas entre los cuales hay un gran flujo de materiales. El proceso de agrupamiento jerárquico se representa en un diagrama llamado dendrograma (figura 8.6).



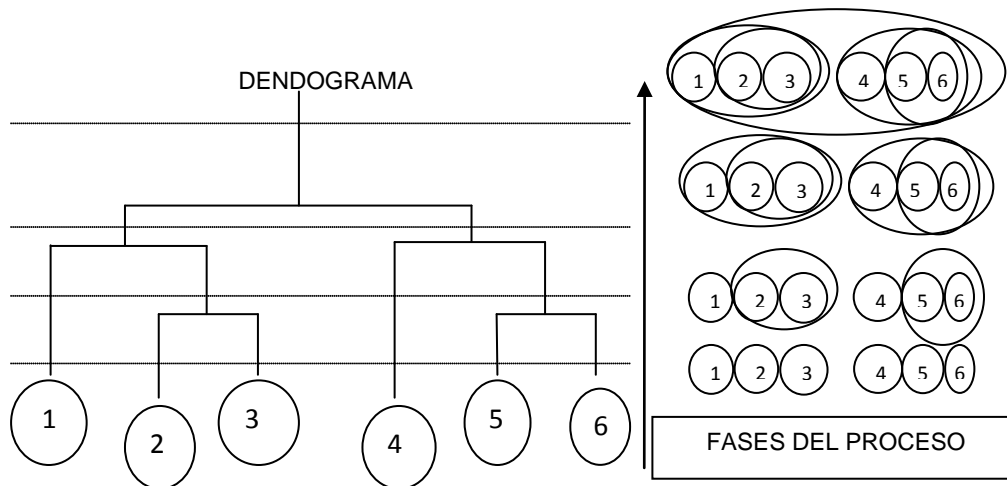


Figura 8.6: Agrupamiento de actividades

### 8.2.1.1 Diseño de circuitos VLSI con Payout

Un circuito integrado está constituido por una placa de silicio que se divide en regiones más pequeñas y que, gracias a procesos químicos especiales, tienen diferentes propiedades conductoras. En el caso de la tecnología VLSI, la densidad de los componentes es enorme, con millones de combinaciones entre conductores, conmutadores y células dieléctricas en una oblea de pequeño tamaño. El problema del diseño de un circuito integrado incluye las siguientes variables: los elementos que deben integrarse en el tablero, sus áreas y la conectividad necesaria entre ellos. Dos restricciones se deben considerar: reducir al mínimo el área total del circuito y mantener un tiempo de respuesta adecuado entre los elementos.

En el diseño de distribuciones en planta, la cuestión es cómo distribuir una serie de espacios, cada uno con un área determinada, en un recinto dado, sabiendo que hay una necesidad de algunos espacios para estar cerca de otro. Posibles restricciones a las áreas y a las distancias entre ellos también deben ser consideradas. Si se analizan ambos problemas se puede observar una clara analogía. Los componentes electrónicos son equivalentes a los espacios, departamentos o actividades. La placa base es análogo al recinto de partida. Los requisitos de conectividad entre los componentes del circuito son equivalentes a los requisitos de proximidad entre las habitaciones o departamentos.

Esta similitud permite utilizar técnicas de circuitos integrados para resolver el problema de distribuciones en planta. En este trabajo se utiliza un procedimiento cuya finalidad inicial era diseñar layouts para circuitos VLSI. Este sistema de diseño, asistido por ordenador, es conocido PLAYOUT [75], y fue creado en la Universidad de Kaiserslautern (Alemania) en el Departamento de Ciencias de la Computación por el grupo del profesor Zimmerman en 1995. Es un sistema jerárquico que utiliza una metodología de arriba hacia abajo (top-down). PLAYOUT se compone de: el sistema de software MIMOLA (MMS), la entrada esquemática, el distribuidor, el generador de funciones de forma (SFG), el Chip Planner, el sintetizador de celda y el sintetizador de Chip.

El Chip Planner es la herramienta central, lleva a cabo dos tareas independientes: la ubicación y el conexionado (routing). El conexionado es el cálculo del mínimo layouts entre las celdas. La ubicación es la determinación de la topología, que se calcula utilizando árboles de corte. Sus objetivos son reducir al mínimo la longitud de la red y para evitar el estrechamiento de las celdas. La ubicación se divide en tres etapas:

- Particionar: separar los diferentes grupos de actividades en el árbol. Se pueden utilizar diferentes algoritmos: cluster, min-cut, ratio-cut e inplace.
- Orientar: decidir si la separación se hace por una línea horizontal o vertical.
- Ordenar: decide si el módulo se coloca a la izquierda o la derecha, si el corte es vertical; o arriba o abajo, si este es horizontal.

### **8.2.2 Feng Shui como una herramienta de diseño arquitectónico**

El Feng Shui es la ciencia y el arte taoísta de vivir en armonía con el medio ambiente. La Tierra se ve como una fuente permanente de energía, que debe fluir siguiendo unos principios básicos. Se debe de seguir una secuencia de trabajo ordenada para encontrarlos. Esta secuencia se inicia con el análisis de la forma de la planta y el contorno del edificio, y luego estudia la orientación y la distribución de los módulos en cada piso.

### **8.2.2.1 Análisis de forma**

El análisis de las formas es el aspecto más importante en los estudios residenciales de Feng Shui. Es necesario que la planta y su contorno estén proporcionados a la construcción total. La elección de una forma del contorno de una casa o piso depende de tres factores: estabilidad, equilibrio y uniformidad. La estabilidad se crea cuando, en un edificio, ningún espacio es mucho más grande que los demás. Un espacio es equilibrado cuando su forma no es irregular. La uniformidad se define como la ausencia de estructuras duras y salientes.

### **8.2.2.2 Orientación y distribución de la planta de la vivienda**

Con el fin de estudiar el diseño y la orientación de los espacios en la planta de una casa, se utiliza la carta geomántica. Se establece un reparto en armonía con el medio ambiente, y esa armonía se transmite a los habitantes, contribuyendo a su bienestar. El proceso se inicia a partir del año de construcción en el calendario chino. En función de ello, se selecciona una carta de los Nueve Ciclos. Se obtienen entonces los números para cada casilla de la carta, y la brújula geomántica proporciona finalmente una orientación.

Aquí termina el Feng Shui. Ahora es tarea del arquitecto aplicar sus conocimientos a la información proporcionada por el Feng Shui para diseñar diferentes distribuciones para la casa o el apartamento estudiado.

## **8.2.3 La búsqueda de rutas como problema de la Inteligencia Artificial**

Encontrar el camino más corto entre dos puntos de una red [33] es el propósito de los métodos que buscan la mejor ruta. Si queremos encontrar el camino más corto, partiendo de cierto punto S y terminando en otro G, la estrategia más obvia es considerar todas las posibles trayectorias. Si las representamos, se obtiene un árbol de búsqueda. Cada nodo en el árbol representa una ruta, y las ramas conectan las rutas a las extensiones de ruta de un solo paso. La figura 8.8 muestra un árbol de búsqueda que representa los posibles caminos desde el inicio de la hoja en la figura 8.7.

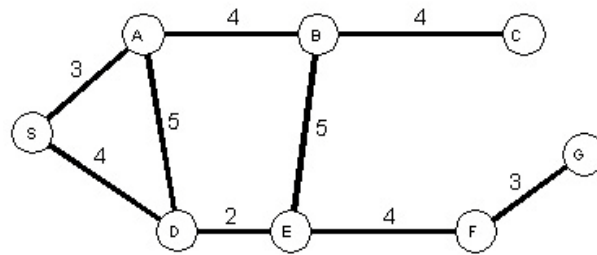


Figura 8.7: Problema de búsqueda básica

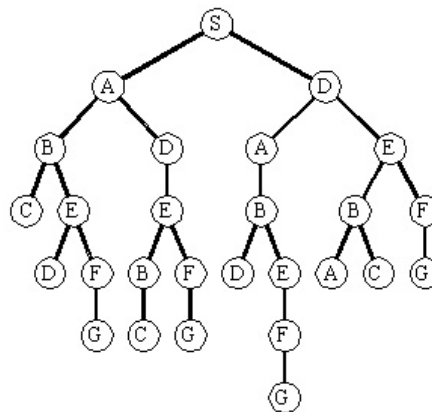


Figura 8.8: Árbol de búsqueda creado a partir del problema de la figura 8.7

Una desventaja de los árboles de búsqueda es que su tamaño crece de forma exponencial. Existen métodos de búsqueda que tratan de minimizar la cantidad de rutas a examinar (búsqueda primero en amplitud, búsqueda primero en profundidad, etc.). Existen varios métodos propuestos:

- Exploración completa (conocida también como del Museo Británico): encontrar todos los caminos posibles y seleccionar el mejor. Es un buen método cuando el árbol es pequeño.
- Ramificación y Acotación (branch-and-bound): se estudian las trayectorias parciales y se elige la más corta. Este camino se extiende en todas las formas posibles y se estudia de nuevo. Esto es útil cuando el árbol es grande.

- Incorporación de subestimaciones: haciendo hipótesis sobre la distancia restante hasta el destino.
- Programación dinámica: mejora de Ramificación y Acotación, con la supresión de rutas parciales redundantes.
- A \*: combina Programación dinámica e Incorporación de subestimaciones.

### **8.3. Desarrollo de una metodología para resolver problemas de distribución en planta.**

Hay tres pasos necesarios para hacer el diseño plano de una distribución en planta. En el primero, se establecen las relaciones entre los diferentes departamentos, su distribución o localización. En un segundo paso, se encuentran los pasillos que comunican las instalaciones entre sí de la manera más sencilla y rápida. Esta tarea se conoce como conexionado. En el último paso, se orienta geográficamente el espacio de partida.

Para el problema de la distribución se utilizaron los árboles de corte (slicing tres), extendiendo una técnica de circuitos VLSI para el problema del diseño del layout. Para el problema del conexionado, se eligió un sistema experto basado en reglas de producción para la producción como el más apropiado para los requerimientos funcionales. Para el problema de la orientación, se utilizó un método numérico asistido por ordenador que manejó las recomendaciones formuladas por el Feng Shui. Estos tres módulos se sintetizan en la metodología propuesta CEF, donde CEF es sinónimo de Corte -Expertos-Feng Shui.

#### **8.3.1 Distribución del espacio en planta o localización**

Es importante tener en cuenta que el diseño de distribuciones en planta consiste en "ordenar de la manera más eficiente ciertos espacios entre las cuales existen ciertas interacciones: flujo de materiales, recursos o información" [72]. Algunos criterios deben establecerse con el fin de evaluar cuál es la mejor alternativa. Estos criterios

tienen por objeto maximizar la habitabilidad y belleza en Arquitectura y maximizar la eficiencia y minimizar los costes en Ingeniería.

### 8.3.1.1 Planteamiento del problema

En general, el punto de partida del problema del diseño de distribuciones en planta consiste en:

- Un dominio o espacio en planta  $D$  con una geometría y área,  $D(A)$ .
- Los espacios o actividades para distribuir, con área  $a_i$  y geometría  $D_i(a_i)$ .
- Los requisitos de proximidad entre ciertos espacios o actividades, conocido como intensidad relacional  $w_{ij}$ .

El objetivo es minimizar el coste relacional total del sistema:

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij} d_{ij}$$

mientras se mantienen el área por debajo de los límites originales de espacio:

$$\sum_{i=1}^m a_i \leq A$$

La distancia  $d_{ij}$  es la que existe entre los centros de gravedad de las actividades de  $i$  y  $j$ . Por otra parte, las siguientes limitaciones también deben cumplirse:

$$q_{i,\min} \leq q_i \leq q_{i,\max}$$

$$0 \leq o_i \leq o_{i,\max}$$

$$i, j = 1, 2, \dots, m$$

donde  $q_i$  es el ratio de aspecto de la actividad  $i$ : longitud dividida por el ancho. Establecer un límite para este valor [23], evita que el algoritmo genere espacios demasiado alargados, que son especialmente inadecuados en Arquitectura. Por otra parte,  $o_i$  es el ratio de área muerta de la actividad  $i$ . Este parámetro indica la existencia

de zonas ocupadas en el espacio inicial  $D$  y la distorsión que este hecho causa en la forma de la solución.

### 8.3.1.2 Metodología utilizada

La metodología propuesta CEF divide el proceso en tres pasos: partición, orientar y ordenar, que se describe en la sección 8.2.1.1. Para la partición del rectángulo inicial, CEF se utilizó, el algoritmo ratio-cut, porque le da una gran importancia al equilibrio de las zonas a ambos lados del corte. La figura 8.9, en el que  $A_i$  y  $B_i$  son los subgrupos de habitaciones o de actividades creadas por el corte, muestra que el parámetro de diseño para este algoritmo es la relación entre el peso de un corte y el producto de los tamaños de las sub-árboles. La heurística del algoritmo trata de minimizar ese parámetro. Cuando el valor del parámetro es igual para dos distribuciones, el que tiene un denominador más grande o el que tiene las áreas más similares es elegido.

Para la orientación fue utilizado, el método de Lather [49] (figura 8.10). Este propone la orientación del corte para que sea paralelo al lado más corto de la superficie a particionar. Lo que requiere un análisis continuo de la forma de la superficie a particionar, de modo que todas las formas resultantes están bajo control. Al ordenar, el propósito del programa CEF es reducir al mínimo la función que representa el costo de transporte entre los espacios, figura 8.11. Todas las distribuciones posibles se calculan, y la que proporciona el valor mínimo de la función de coste es seleccionada.

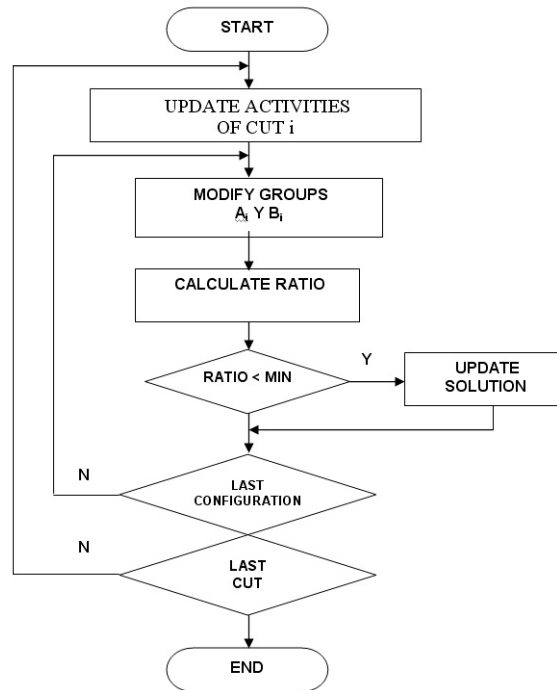


Figura 8.9: Algoritmo ratio-cut

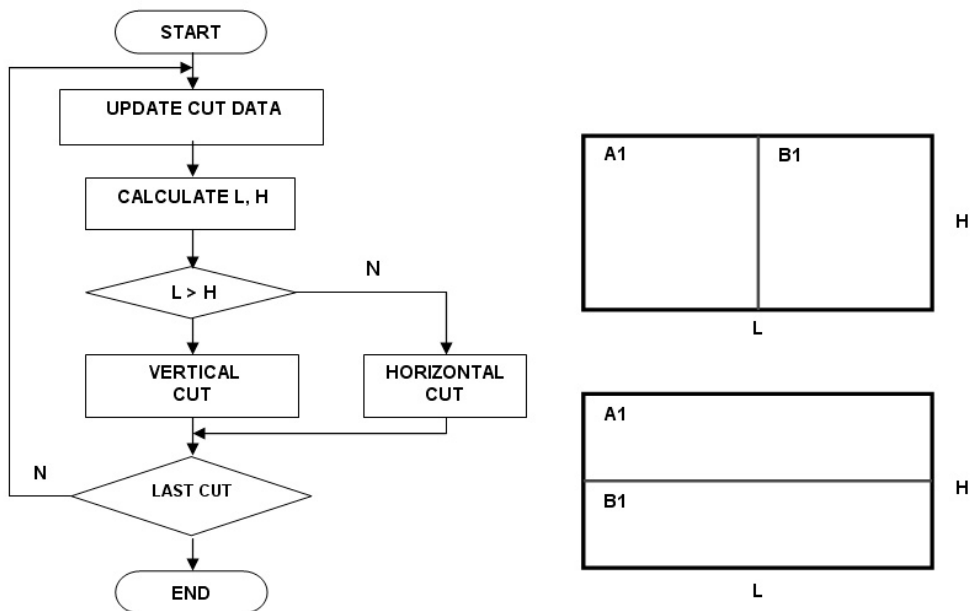


Figura 8.10: Método de Lather: se evitan espacios con formas alargadas



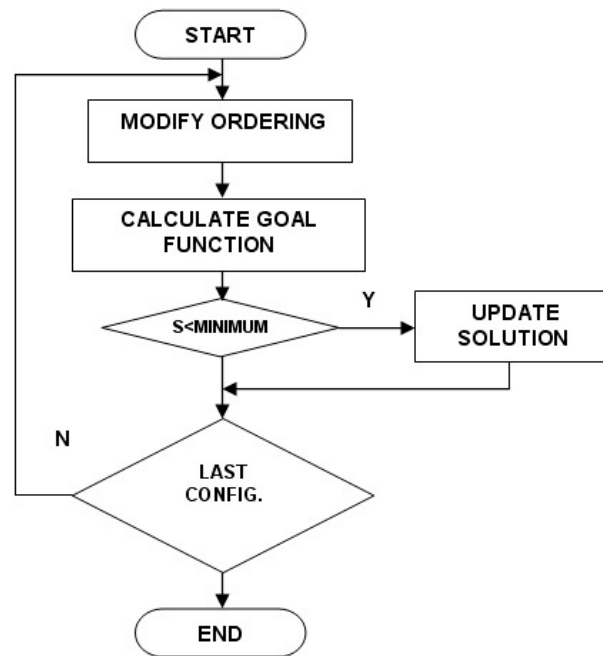


Figura 8.11: Minimización de la función objetivo: suma de distancias entre centros de gravedad de los espacios o actividades.

### 8.3.2 Conexionado

Una vez que el problema de la localización está resuelto, el siguiente paso es encontrar la más pequeña red que interconecta todos los departamentos o módulos. Se ha buscado un método para la solución de este problema. El algoritmo para búsqueda en árboles que proporciona un tendido mínimo se ha adaptado, analizando al mismo tiempo la conexión entre los espacios cuadrados con el mismo tamaño y la mejor manera de unir sub-estructuras que interconectan los grupos de módulos. Sintetizando estos tres análisis, se obtuvo un algoritmo que alcanza un mínimo local en un tiempo razonable. El algoritmo será traducido a reglas de producción, de modo que se disponga de un sistema experto para la conexión de módulos.

De acuerdo a los términos definidos en la figura 8.12, el método funciona de la siguiente manera:

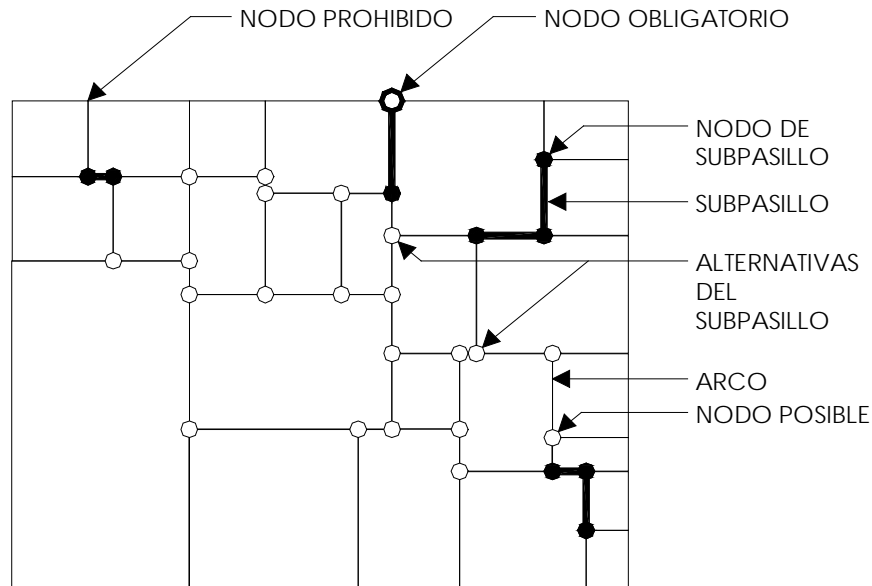


Figura 8.12: Definición de los términos usados en la heurística.

- Marcar los nodos que no se desean que formen parte de un corredor como prohibidos. Marque el nodo de entrada como obligatorio.
- Marcar las ramas que conducen a los nodos prohibidos también como prohibidas.
- Buscar los nodos que están marcados como obligatorios o se han configurado como tales en el proceso de prohibir nodos o ramas. De esta manera no serán módulos aislados.
- Comprobar las diferentes alternativas para la sub-corredores y, que en el caso de que alguno de ellos tiene sólo una alternativa, ese nodo y la rama que comunica forma parte del sub-corredor.
- Si no hay más ramas que se puedan añadir, la rama más larga no prohibida es eliminado. Una vez que una rama se descarta, el proceso continúa hasta que todos los sub-corredores se fusionan en uno sólo, que conecta todos los espacios. En este punto, se ha alcanzado una solución, pero tiene que ser revisada con el fin de buscar mejoras locales (por ejemplo, ramas que forman bucles).

### 8.3.3 La orientación en el diseño de distribuciones en planta

La tercera y última de las etapas de la metodología es la orientación. Las reglas empíricas representadas en la figura 8.13, que dependen del tipo de espacio y están relacionadas con los puntos cardinales, se obtuvieron de Feng Shui.

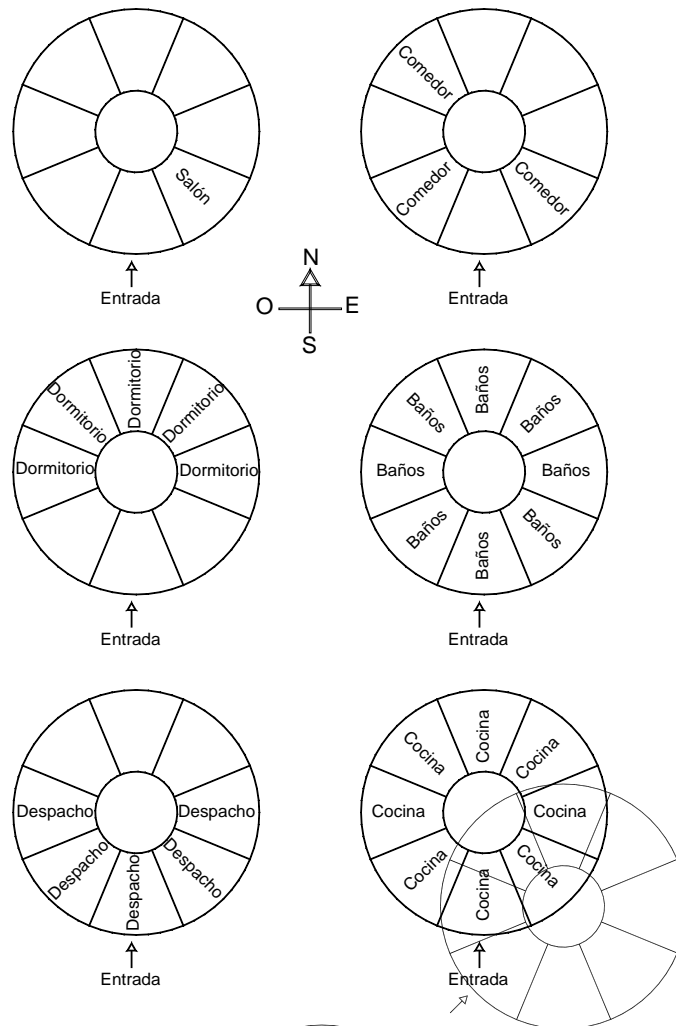


Figura 8.13: Orientaciones recomendadas por el Feng Shui

Con el fin de reunir las recomendaciones del Feng Shui sobre las relaciones entre espacios, se ha utilizado un diagrama relacional en punta de diamante (figura 8.14).

Las letras mayúsculas representan las relaciones que se derivan directamente de las conclusiones previamente elaboradas. Las letras minúsculas representan las relaciones que se han introducido del anagrama de Pa-Kua [23]. Las categorías A, U y X se utilizan en el primero de los casos. El resto se utilizan para las categorías inducidas

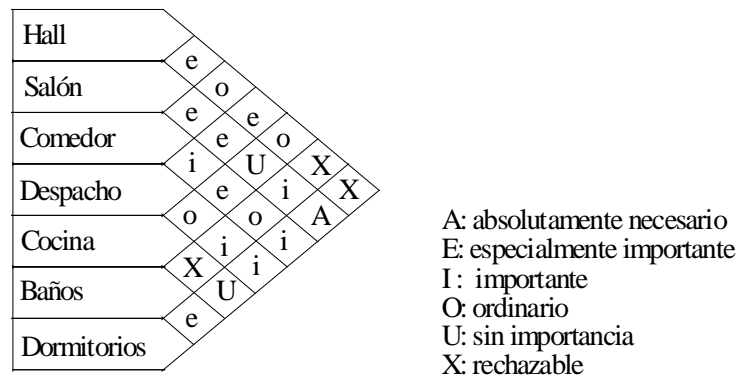


Figura 8.14: Diagrama relacional en punta de diamante

Cuando se analizan estas recomendaciones, se puede apreciar su paralelismo con la concepción occidental de la vivienda.

## 8.4. Descripción y análisis de los resultados

El propósito de esta sección es validar el método CEF que ha sido propuesto para la solución de problemas de distribución en planta, tanto para la industria como la arquitectura, aplicándolo a diferentes problemas que ya han sido estudiados por otros autores. Como el método CEF se compone de tres módulos (localización, conexionado y orientación) que trabajan de forma independiente, su eficacia se probó inicialmente uno por uno. Una experiencia posterior pondrá a prueba el funcionamiento del sistema en su conjunto.

### 8.4.1 Módulo de ubicación en ingeniería

Con el fin de desarrollar la parte experimental del módulo de ubicación en la ingeniería, se utiliza el problema planteado por Francis y White en 1974 [28]. Para validar el método propuesto, los resultados serán comparados con los de otros autores que han estudiado el problema de diseño de distribución en planta. Los métodos seleccionados son:

- Método de Francis & White.
- Método de Kar Yan Tam (KYT)[71].

· Método ARBOGEN[63].

El método Francis&White, basado en un método de mejora CRAFT [3], requiere una solución inicial como punto de partida. KYT es un método híbrido, basado en algoritmos genéticos y árboles de corte. Utiliza técnicas de clustering para generar un dendrograma que representa la estructura del árbol. ARBOGEN también es un método híbrido basado en algoritmos genéticos y árboles de corte. A diferencia de KYT, también admite diferentes estructuras de árboles de corte, y aplica algoritmos genéticos en un doble nivel con el fin de buscar las especies más adaptadas. Los diferentes resultados se presentan en la figura 8.15.

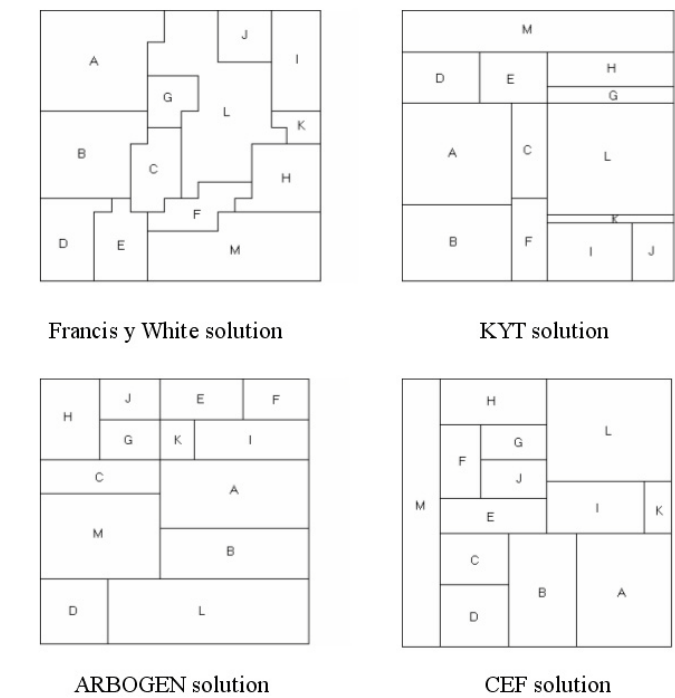


Figura 8.15: Resultados obtenidos

Los resultados se comparan de acuerdo a los siguientes criterios:

- Formas geométricas resultantes: la comparación con la solución de Francis&White no es posible, ya que su geometría no es rectangular. Las otras soluciones representadas utilizan árboles de corte y geometrías rectangulares.

En estos casos es interesante calcular la relación entre longitud y anchura de los espacios, estableciendo ciertos límites de valores aceptables. Este ratio indica la cuadratura de los espacios. Los valores medios se muestran en la figura 8.16.

| Método      | KYT  | ARBOGEN | CEF  |
|-------------|------|---------|------|
| Ratio medio | 3.39 | 2.04    | 1.75 |

Figura 8.16: Ratios medios de cuadratura

- Costes de transporte: para hacer una comparación cuantitativa, se calcularon los costes multiplicando cada flujo por el coste de transporte correspondiente y por la distancia existente entre cada par de actividades. La suma de todos los costes parciales se muestran en la figura 8.17. CEF 1 es exactamente el mismo que CEF pero con intensidades relacionales binarias. Se puede apreciar en la figura 8.17, que la distribución obtenida con el método propuesto en la aplicación 1 alcanza un costo de transporte 17,7% y 41,3% menos de KYT y ARBOGEN, respectivamente. La aplicación 2 alcanza un costo aún más bajo, mostrando la importancia de utilizar intensidades relacionales enteras en el programa de diseño, al aproximarse más al problema real.

| Método | CRAFT  | KYT    | ARBOGEN | CEF-1  | CEF-2  |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| Costes | 4521.5 | 6324.2 | 7470.5  | 4379.6 | 4246.2 |

Figura 8.17: Costes de transporte

### 8.4.2 Módulo de ubicación en Arquitectura

Es importante, en primer lugar, destacar la imposibilidad de cuantificar los factores de carácter compositivo y estético, como habitabilidad, equilibrio y belleza, que son objetivos importantes en las distribuciones arquitectónicas. Además, a diferencia de lo que sucede en la ingeniería, hay varias estrategias para abordar el problema del diseño de distribuciones en planta. Esta revisión muestra, que es el propio proceso de diseño, el modo de componer, el núcleo principal de discusión y su formalización y conceptualización, el objetivo de la mayoría de las investigaciones.

Hay dos aspectos diferenciadores entre los diferentes modelos: el número de soluciones que se obtienen y el tipo de función objetivo (figura 8.18). La mayoría de las aplicaciones específicas para arquitectura proporcionan todas las soluciones posibles, dejando la elección definitiva en manos de los profesionales. Es en la función objetivo donde se encuentra más diversidad entre los métodos, aunque muchas investigaciones se centran en la optimización de aspectos dimensionales (por ejemplo, longitudes de tabiques, áreas, ...), que se resumen en diferentes parámetros. Muchos menos tratan de maximizar la proximidad entre los espacios con necesidades relacionadas, el objetivo único de todos los procedimientos industriales.

|  |                               |  |                              |
|--|-------------------------------|--|------------------------------|
| Por el número de soluciones a obtener    | Solución única                | Roth [62], Del Río [23]  |                              |
|  | Todas las posibles soluciones | Ligett [50], Coyne [20], Canivell [11], Kovács [46], Maculet [51], Schwarz et al [65][66], Flemming et al [27], Charman [16], Smith [68], Medjdoub [53], |                              |
| Por la naturaleza de la función objetivo | Geométrica                    | Area   | Ligett [50], Roth [62]       |
|  |                               | Longitud   | Canivell [11], Medjdoub [53] |
|  | Relacional                    | Del Río [23]   |                              |
|  | Otras                         | Coyne [20], Kovács [46], Maculet [51], Schwarz et al [66], Flemming et al [27], Charman [16], Smith [68]   |                              |

Figura 8.18: Clasificación de los Modelos Arquitectónicos

### 8.4.3 Módulo de routing

El problema de la conexión de un conjunto de espacios, donde cada uno puede ser conectado a la red por cualquier punto de su perímetro, es un problema bastante particular, y no hay muchos estudios o algoritmos de resolución al respecto, ya que su aplicación más importante es el diseño de distribuciones en planta. Es por ello que se ha tenido que buscar programas fuera del campo del diseño de distribuciones en planta con el fin de comparar el módulo de routing de la aplicación. Otro campo en el que se buscan árboles de interconexión entre distintos puntos es la microelectrónica. En este ámbito, se presenta el programa ORCAD-PCB. Es un programa de uso común para el cableado de circuitos impresos. Comparando ambas soluciones, se observa que los tiempos de búsqueda son en promedio 62% mayores en CEF que en ORCAD-PCB. Por otra parte, CEF aprovecha este tiempo extra para obtener una solución más corta (4,5% de la longitud de la red en media).

### 8.4.4 Método completo

Todas las habilidades de la aplicación se utilizaran al mismo tiempo: ubicación de espacios, orientación de la planta y obtención del pasillo que comunica todas las habitaciones con una longitud mínima. Con el fin de evaluar los resultados, el piso de una casa ya construida se compara con la solución del programa CEF.

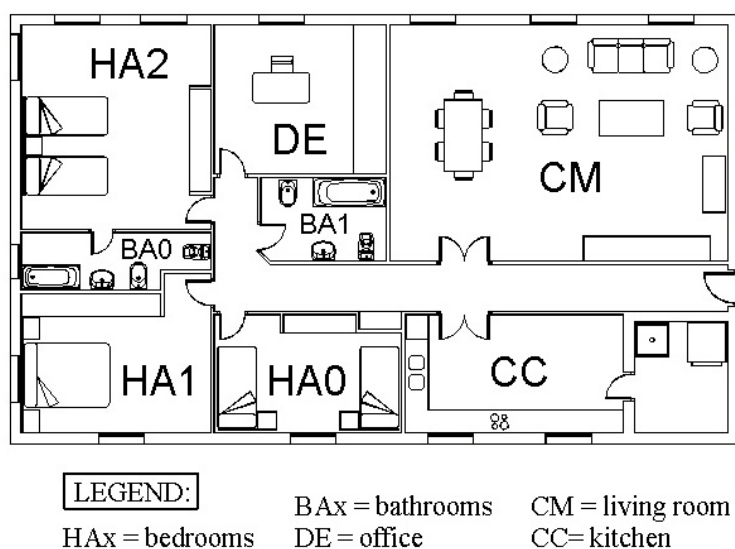


Figura 8.19: Planta de la casa estudiada



La construcción de la casa de estudio se terminó en 1994. Fue diseñado por el arquitecto Jaime López de Asiaín y Martín. El suelo se muestra en la figura 8.19. La solución proporcionada por el método CEF se muestra en la figura 8.20.

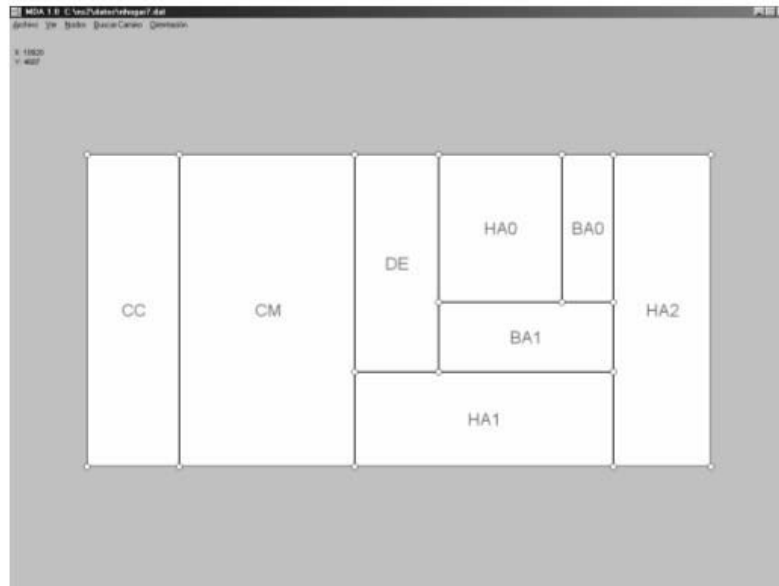


Figura 8.20: Solución con CEF

La similitud con la distribución real es grande. Teniendo en cuenta la situación de las habitaciones, sólo el corte cocina-comedor, que se realiza por una pared vertical, es diferente a las separaciones en el piso real. Esto se debe a la débil relación establecida por el Feng Shui entre la cocina y las otras habitaciones, lo que hace que la separación entre la cocina y el resto de habitaciones sea el primer corte a realizar.

El módulo de conexionado de la aplicación se utilizó para establecer la ruta que comunica todas las habitaciones. El resultado se muestra en la figura 8.21.

Aún cuando la implantación se puede orientar sin realizar su routing, la mejor disposición (en relación con los puntos cardinales), entre las posibles se selecciona de acuerdo a las reglas del Feng Shui. Como se puede apreciar en la figura 8.22, el programa muestra la dirección del norte geográfico e informa de los grados que la planta debe ser rotada con respecto a la mostrada en la pantalla.

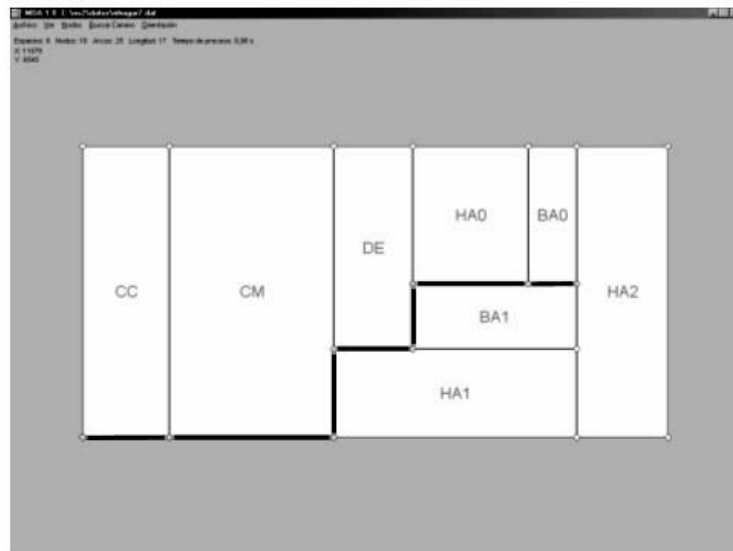


Figura 8.21: Routing.

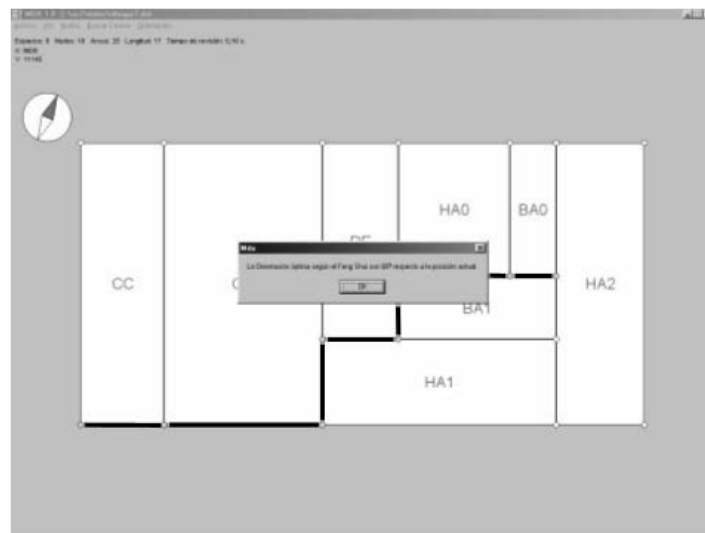


Figura 8.22: Solución de la figura 8.21 orientada

## 8.5. Conclusiones

La metodología CEF propuesta aborda de manera integrada los tres aspectos que determinan la configuración de una planta: ubicación, conexión y orientación. El manejo es el mismo para los espacios industriales y arquitectónicos: se utiliza una sola aplicación con entradas comunes y una sola salida. La configuración modular que se eligió para la aplicación contribuye especialmente a este hecho.

Revisando las conclusiones para cada módulo, hay que destacar que, para el módulo de ubicación, se aprovechó la similitud con el diseño de circuitos integrados. Se utilizó procedimiento de corte de árboles, lo que conduce a una heurística que busca la solución óptima para la distribución con técnicas asistidas por ordenador. La metodología permite elaborar fácilmente una función objetivo multicriterio. La principal desventaja al emplear técnicas de arboles de corte es que conducen a espacios alargados, pero el algoritmo ratio-cut utilizado en la selección de los cortes contribuye al control geométrico de las soluciones. Como consecuencia de los dos aspectos anteriores, los diseños obtenidos tienen una configuración modular. Por último, se puede concluir que este módulo proporciona mejores soluciones que otros métodos conocidos para la localización.

En cuanto a conexionado, el sistema proporciona soluciones de alta calidad, incluso si son aproximaciones, como se ha demostrado en los experimentos. La característica principal del módulo es su flexibilidad: la capacidad de adaptarse a diferentes necesidades. Esto se deriva de dos aspectos: las normas de producción utilizadas y la división del módulo en tres partes que trabajan de forma independiente. Por último, respecto a la orientación, se ha demostrado cómo los principios del Feng Shui, extraídos de la bibliografía, se puede utilizar a través de una rutina escrita en C++.

CEF está siendo actualmente utilizado con éxito por “Miguel Ángel López y Asociados”, estudio de arquitectura en Sevilla (España). También es usado por "Ayesa", una poderosa empresa española que diseña y construye plantas industriales. Incluso es utilizado, en investigaciones, por la profesora Laura Roa en la Universidad de Sevilla con el fin de desarrollar un sistema de teleasistencia para nefrología ("Nefrotel").

En cuanto a futuros trabajos, es importante mencionar que sólo plantas rectangulares se han estudiado en este artículo. El software puede ser actualizado de forma que pudiera manejar formas irregulares. También podría ampliarse para diseñar distribuciones en diferentes plantas, incluyendo los espacios necesarios para las escaleras y ascensores. Por último, también sería deseable poder definir una intensidad de matriz relacional que represente flujos asimétricos de los materiales. Esto sería especialmente importante en las plantas industriales, donde el flujo de materiales del espacio A al espacio B, puede ser muy diferente del flujo de B a A.

Referencias bibliográficas: 1,2, 3, 10, 11, 16, 19,20, 23, 27, 28, 30, 31, 34, 43, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 53, 56, 57, 60, 62, 63, 65, 66, 68, 71, 72, 75.

## Capítulo 9

### **CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS**

#### **9.1. Conclusiones**

Si repasamos cronológicamente el currículum investigador del doctorando, éste se inicia durante su pertenencia al departamento de Ingeniería del Diseño y se concentra en el diseño de distribuciones en planta en edificios e instalaciones industriales. Este tema muy concreto, ha suscitado, y aún suscita, un amplio interés en sus dos facetas: organizativa y en relación a la arquitectura industrial; entre profesionales y docentes de la arquitectura e ingeniería. La dedicación al tema del candidato, en sus comienzos investigadores, ha fructificado en las publicaciones recogidas en los capítulos 7 y 8.

A partir de aquí son tres las circunstancias, variables o aspectos, que van a acotar o delimitar el objeto del resto de las investigaciones. En primer lugar todos ellos son relativos, o se destinan, a tareas de organización de la producción, especialidad en la que el candidato ha realizado sus estudios de doctorado, y a lo que por otra parte, dedica su labor profesional como responsable en una cadena de montaje de estructuras

aeronáuticas. Esto último, el entorno de aplicación a la industria aeronáutica de todos los trabajos, es la segunda de las características a considerar.

Finalmente, la utilización de herramientas avanzadas que forman parte de aplicaciones CAD, como pueden ser las macros o los módulos de sistemas expertos, constituyen el último aspecto común a todos esos trabajos. El candidato desde su conocimiento del lenguaje para la representación del diseño, que es el Dibujo Técnico, y las últimas tecnologías CAD que en él se utilizan; ha explotado las capacidades que ponen en la actualidad a disposición del usuario, para la solución, o mejora, de diferentes problemas que durante su andadura profesional se le han planteado.

Una de las formas más eficientes de organizar, la producción en particular, o cualquier tipo de tarea en general; es automatizar su ejecución, de este forma se reducen tiempos de ejecución y errores asociados a la participación del ser humano en la manipulación de datos o procesos; en esta línea se inscriben la primera y segunda contribuciones que se recogen en esta tesis:

- Diseño automatizado, mediante técnicas de Sistemas Expertos en CATIA V5, aplicado a componentes estructurales aeronáuticos.
- Automatización de tareas diseño aeronáutico utilizando VISUAL BASIC en el modelado de sólidos con CATIA V5.

La organización de la producción en su acepción más general, es la ciencia que se dedica la optimización de los procesos productivos. En cualquier proceso productivo de un bien o servicio industrial, se distinguen dos etapas o fases: diseño y producción. Las dos referencias anteriormente citadas están dedicadas a la mejora de este primer paso del proceso.

En la segunda etapa de producción, en particular en lo referente a aviones o a cualquier otro bien de consumo: coches, electrodomésticos, etc.; se distinguen a su vez dos procesos: fabricación de las piezas o componentes individuales del elemento, y en segundo lugar montaje de los mismos. Entre los variados procesos de fabricación disponibles en la actualidad, los más utilizados en la aeronáutica son el mecanizado y la chapistería. A la optimización de los procesos de corte de materia prima para la fabricación de piezas por estas tecnologías se dedican las siguientes referencias:

- Automatización del cálculo del material de partida para la fabricación en CN mediante técnicas de sistemas expertos
- Desarrollos para la fabricación de piezas en chapa usando la aplicación SOLID EDGE

Por último conviene conocer que, aunque en los últimos años se está produciendo una concentración entorno a CATIA, del software utilizado por las grandes compañías, para el proyecto de los nuevos desarrollos industriales: aviones y vehículos a motor; todavía se utilizan varias aplicaciones CAD, y en multitud de casos se hace necesario el traducir modelos desde un sistema al otro. Este ha sido otro punto de interés del candidato, por su clara interrelación con uno de los objetivos generales que animan esta tesis: el desarrollo de herramientas de automatización implementadas en aplicaciones de CAD. Esta investigación se plasma en el artículo titulado:

- Intercambio de modelos sólidos entre distintos sistemas de CAD mediante el formato neutro STEP

Como conclusión es de destacar como todas las aportaciones que componen este segundo bloque de la tesis giran en torno a la automatización de tareas propias de un proceso productivo en el sector aeronáutico, y que para todas se han utilizado las herramientas más avanzadas disponibles en CAD para este objetivo.

## **9.2. Contribuciones originales y novedosas de la tesis**

En particular, y para los trabajos relativos a la automatización de actividades del mundo aeronáutico, la doble condición del candidato como investigador, y a la vez responsable de estas tareas, en su posición como gestor de producción en la empresa AIRBUS MILITARY, ha dado lugar a un acercamiento inmejorable entre los procesos y planteamientos teóricos, y la tangible realidad diaria de los mismos.

Así por ejemplo las herramientas CAD utilizadas, con sus diferentes versiones y módulos son los que se están (o estaban) siendo utilizados por la empresa en esos momentos. Los datos de partida para las investigaciones: modelos de piezas, cargas,

materiales, formatos, procesos, y un largo etcétera; son los de uso diario en la compañía.

En esta misma línea, y cuando se han utilizado sistemas expertos, donde la recopilación de información y “la experiencia”, que a través de la Ingeniería del Conocimiento, es necesario recoger para lograr una programación óptima que permita la mejora de los procesos; se ha gozado de la máxima colaboración y franqueza por parte del personal de la empresa, que en todo momento se han sentido involucrados. Aspecto de crucial importancia y no fácil de conseguir, y que muchos casos conduce a resultados desacertados de las aplicaciones implementadas.

Por último los desarrollos y aplicaciones descritos en los anteriores artículos, se han materializado, y han sido validados en los procesos reales para los cuales han sido diseñados, y en su mayoría, hoy en día, continúan siendo utilizados con éxito por AIRBUS MILITARY. Lo que sin duda añade un plus de aplicabilidad, verosimilitud y fiabilidad a los resultados de las investigaciones.

En relación con el primer bloque de artículos acerca de la distribución en planta de espacios, merecen destacar como aspectos más innovadores: el tratamiento común que se hace de estas distribuciones para arquitectura e ingeniería. Tanto el modelo común propuesto (recogido en la última de las publicaciones), como la taxonomía comparada de las diferentes formas de abordar el problema por arquitectos e ingenieros (objeto de la otra publicación), constituyen una novedad.

De la misma forma lo es, el añadir al objeto tradicional y único del problema: la distribución (situación y dimensión) de los espacios, otros dos aspectos: la conexión entre los mismos y la orientación geográfica del conjunto. Esto además se ha conseguido a través de una propuesta de aplicación modular, que permite realizar una o varias de las tareas anteriores (con una probada eficacia, cuando se utiliza en una sólo de estas acciones) y que además ha integrado diferentes técnicas de optimización (sistemas expertos y arboles de corte) en una aplicación única que maneja datos de entrada comunes y una sola salida.



### **9.3. Desarrollos futuros.**

En referencia al primer bloque de publicaciones cuya temática se enmarca en el entorno de la industria aeronáutica, con la finalidad de automatizar procesos productivos y utilizando herramientas CAD, son amplísimas las posibilidades de investigación en un futuro.

Haciendo un recorrido desde los temas más generales hasta los más concretos, y destacando en particular aquellos que están más de actualidad por la trascendencia e importancia que en la industria aeronáutica están adquiriendo; el primero sería, sin lugar a dudas, la utilización de materiales compuestos. Los nuevos desarrollos de aviones como son el AIRBUS A-350 o el Boeing B-787 utilizarán en un 70% materiales compuestos (en especial fibra de carbono) frente a modelos diseñados hace una década donde su porcentaje no alcanzaba al 15%. Por ello todo lo relacionado con la fabricación en fibra de carbono, y las diferentes tecnologías que se utilizan: ATL (Automatic Tape Laying), RTM (Resine Transfer Moulding), Fiber Placement,...; es de interés prioritario. A estas tecnologías, diferentes en sus procesos de fabricación y en sus estándares de diseño, pueden extenderse las investigaciones que sobre optimización en el corte de la materia prima y automatización de tareas repetitivas de diseño, se han recogido en esta tesis.

Cualquier proceso de producción aeronáutico, como antes se ha resaltado, está compuesto por dos etapas: fabricación de componentes y montaje. Es a este primer paso, al que han estado dedicados los desarrollos de esta tesis. Extender estas investigaciones con el apoyo de herramientas CAD, automatizando y optimizando los diferentes procesos de montaje es, sin duda, el segundo gran bloque de desarrollos a implementar. La estrategia industrial de las grandes compañías del sector: Boeing y AIRBUS, está orientándolas hacia su especialización en tareas de montaje final, subcontratando y externalizando las actividades ligadas a la fabricación de piezas elementales y de conjuntos estructurales. Con esta situación, todas las investigaciones, desarrollos y actividades relacionadas con los procesos de montaje están siendo especialmente potenciados. Estrategias como LEAN, desarrollos como las líneas de montaje móviles, o aplicaciones CAD como DELMIA (que proporciona soluciones de fabricación digital que permiten definir, planificar, crear, supervisar y controlar virtualmente los procesos de producción; desde el principio de la planificación a la

simulación de la línea de montaje final, incluyendo la definición completa de las instalaciones y la equipos de producción) son en la actualidad las líneas de investigación principales en las empresas del sector. La experiencia adquirida en el uso de sistemas expertos, y la programación en CATIA, son sin duda una oportunidad a aprovechar, en la optimización de procesos ligados al montaje final, en los que cada vez se están utilizando más tecnologías que derivan del CAD.

Y por último, y en este primer bloque, como temas concretos y complementarios a los desarrollados en esta tesis, se sugiere el extender la aplicación destinada a la fabricación de piezas en chapa, no sólo a las piezas de uso en calderería, sino a todos los tipos de piezas de desarrollo plano y que tras ser conformadas, constituyen la tecnología de Chapistería, de gran importancia en el sector aeronáutico pues supone cerca del 50 % en número de las piezas de un avión. La traducción a CATIA de la aplicación que se ha desarrollado en SOLID EDGE, y la ejecución de esta nueva propuesta en este programa, es tarea obligatoria para ceñirse a los actuales estándares aeronáuticos. La extensión de la optimización mediante sistemas expertos para el mecanizado en CN, al propio proceso de ejecución del mecanizado en sí mismo, completando el alcance de la actual mejora, limitada al proceso inicial de corte de la materia prima, es otro desarrollo directo a implementar.

Por último, y en relación al diseño de distribuciones en planta, subsanar las propias limitaciones que se han impuesto de partida al sistema: sólo maneja espacios rectangulares e intensidades relacionales unidireccionales; y evitar la aparición de espacios excesivamente alargados e interiores; serían los principales desarrollos que se pueden abordar en un futuro.

# BIBLIOGRAFÍA

1. Apple JM. "Plant layout and material handling". Ed. John Wiley and Sons, New York, 1977.
2. Akin O. "Models of architectural knowledge: an information processing view of architectural design". PhD thesis, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, 1979.
3. Armour GC y Buffa ES. "CRAFT: a heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities". *Management Science*, 9(2):294–309, 1963.
4. Arnold K, Gosling J y Holmes D. "The Java Programming Language". Ed. Addison Wesley, 2000
5. Balena F. "Programming Microsoft Visual Basic 6.0". Microsoft Press; Bk&CD-Rom edition, Washington, 1999.
6. Bauer K y Nebendahl D. "Sistemas Expertos", Editado por Nebendahl, D. para Siemens y Marcombo SA, Barcelona, 1988.
7. Borrajo D, Martínez V, Juristo N y Pazos J. "Inteligencia Artificial: métodos y técnicas", Ed. Ramón Areces SA, Madrid, 1993.
8. Bravo Aranda G. "Modelización de problemas de diseño en Ingeniería. Solución mediante sistemas basados en el conocimiento ", Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 1995.
9. Brunet P. "Diseño gráfico y modelado geométrico". En Mompín J. (Ed.): "Sistemas CAD/CAM/CAE. Diseño y fabricación por ordenador". Ed. Marcombo, Barcelona 1986.
10. Buffa ES. "Sequence analysis for functional layouts". *The Journal of Industrial Engineering*, 16 (5):559-568, Marzo 1955.
11. Canivell J. "Procedimiento interactivo para la generación y optimización de organizaciones espaciales en planta", Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 1986.
12. Castillo E y Álvarez E. "Sistemas Expertos. Aprendizaje e incertidumbre ", Ed. Paraninfo, Madrid, 1989.
13. CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application), Data Exchange Interfaces User's Guide. Dassault Systèmes 1994-2001 (Help from CATIA v5r9). <http://www.catia.com>
14. CATIAV5, página de IBM: <http://www.ibm.com>
15. Ceballos FJ. "Enciclopedia de MICROSOFT VISUAL BASIC 6,0". Ed. RA-MA, Madrid 1999.

16. Charman P. "Gestion des contraintes géométriques pour l'aide à l'aménagement spatial". PhD thesis, l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris 1995.
17. Charte F. "Programación con Visual Basic 5.0". Ed. Anaya Multimedia, Madrid, 1998.
18. Cornell G. "Learn Microsoft Visual Basic Scripting Edition Now". Microsoft Press; Bk&CD Rom edition Washington, January 1998
19. Coyne RD. "Logic models of design". Pitman Publishing, London, 1988.
20. Coyne RD, Rosenman MA, Radford AD, Balachandran MB y Gero JS. "Knowledge-Based Design systems". Ed. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1990.
21. Cuesta J. "Programacion en Office 2000. Visual Basic para Aplicaciones. Excel, Access, Word, Powerpoint 2000".Ed. Inforbooks S. L., Barcelona, 2000.
22. Cursos de CATIA: <http://www.cadtech.es/cadtech/catis.htm>.
23. Del Río Cidoncha MG. "Un modelo para el diseño de distribuciones en planta en arquitectura", Tesis Doctoral, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla, 2002.
24. Drücker P. "Post capitalist society", HarperCollins Publishers, New York, 1993.
25. Durkin J. "Expert Systems". Ed. Prentice Hall, New Jersey, 1994.
26. Ferré Masip R. "Diseño industrial por computador". Ed. Marcombo, Barcelona 1987.
27. Flemming U y Chien SF. "Seed-proyect". Journal of Architectural Engineering, 1:147–203, 1995.
28. Francis RL y White JA. "Facility layout and location, an analytical approach". Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.
29. Frenzel LE. "A fondo: Sistemas Expertos", Ed. Anaya Multimedia, Madrid, 1987.
30. Gilmore PC y Gomory RE. "Multistage cutting stock problems of two and more dimensions". Operation Research, 13:94–120, 1963.
31. Glover F. "Tabu search: tutorial". Technical report, Center for Applied Artificial Intelligence, University of Colorado, 1989.
32. Gonzales AJ y Dankel DD. "The Engineering of Knowledge based sstems". Ed. Prentice Hall, New Jersey, 1993.
33. González A. "Sistema experto para minimizar los recorridos en una distribución en planta". Proyecto Fin de Carrera, ES Ingenieros, Universidad de Sevilla, 1999.
34. Grobelny J. "On one possible fuzzy approach to facilities layout problems". International Journal Production Research, 25(8):1123–1141, 1987.Grobelny

- J. "The fuzzy approach to facilities layout problem". *Fuzzy Sets and Systems*, 23:175–190, 1987.
35. <http://www.adp.es/industria/industria.htm>
36. <http://www.eng-pc.com/calderería.htm>
37. <http://www.idpsoft.com/esp/moddes>.
38. <http://www.lantek.es/index.shtml>
39. <http://www.uca.es/scribd.com/doc/51710155/caldereria>
40. <http://www.udg.es//digteg/ingegraf/cd/ponencias/66.pdf>
41. Huerta Guijarro J, Chover Selles M, Rivelles Miguel J y Quiros RJ. "Prácticas de Informática Gráfica para Diseño Industrial", Colección Material Docente, Publicaciones de la Universitat Jaume I, Castellón, 1998.
42. Ignizio JP, "Introduction to Expert Systems". Ed. McGraw Hill New York, 2008.
43. Immer JR. "Layout planning techniques". Ed. Mc Graw Hill, New York, 1950.
44. International Standard ISO 10303 por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), Primera Edición 15-12-1994.
45. Kirkpatrick S, Gelatt CD y Vecchi MP. "A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities". *Optimization by simulated annealing*, 220(4598):671–680, 1983.
46. Kovacs LB. "Knowledge based floor plan design by space partitioning: a logic programming approach". *Artificial Intelligence in Engineering*, 6(4):162–185, 1991.
47. Kunwoo L. "Principles of CAD/CAM/CAE Systems", Ed. Addison-Wesley, Massachusetts, 1998.
48. Lebahar JC. "Le dessin d' architecte". Ed. Roquevaire: Parenthese, Marseille, 1983.
49. Lengauer T. "Combinatorial Algorithms for Integrated Circuit Layout". Ed. Wiley and Sons, Chichester, 1990.
50. Ligett RS y Mitchel WJ. "Optimal space planning in practice". *Computer Aided Design*, 13(5):277–288, 1981.
51. Maculet R. "Représentation des connaissances spatiales (Algèbre de Manhattan) et raisonnement spatial avec contraintes". PhD thesis, Université Paris 6, 1991.
52. Maekawa T y Chalfant JS. "Computation of Inflection Lines and Geodesics on Developable Surfaces". *Mathematical Engineering in Industry*, Vol. 7 No. 2 : 251-267, 1998
53. Medjdoub B. "Methode de conception fonctionnelle en architecture: une approche CAO basée sur les contraintes: ARCHIPLAN". PhD thesis, Ecole Centrale de Paris, 1996.
54. Microsoft Visual Basic for Applications 6.0 (VBA)
55. Microsoft Visual Development Studio 6.0.

56. Muther R. "Systematic Layout Planning". Industrial Education Institute, Boston, 1961.
57. Nadler G. "What systems really are". *Modern Materials Handling*, 20(7):41–47, 1965.
58. Nell JG. "STEP on a page". National Institute of Standards and Technology. Disponible en <http://www.nist.gov/sc5/soap>. Última actualización: 7 de junio de 2001.
59. Patrikalakis NM y Maekawa T. "Shape Interrogation for Computer Aided Design and Manufacturing", Ed. Springer Verlag, Heidelberg, Germany 2002.
60. Quintrand P, Autran J y Florenzano M. "La conception assistée par ordinateur en Architecture". *Hermes*, Paris, 1985.
61. Reed R. "Plant Layout: Factors, Principles and Techniques". Homewood, IL, 1961.
62. Roth J, Hashimshony R y Wachman A. "Turning a graph into a rectangular floor plan". *Building and Environment*, 17(3):163–173, 1982.
63. Santamarina Siurana MC. "Métodos de optimización en la generación de distribuciones de plantas industriales mediante la aplicación de algoritmos genéticos y técnicas basadas en árboles de corte", Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, 1995.
64. Schreiber G, McCaul RM, Anjewierden A, Dehoog R, Shadbolt N, Van de Velde W y Wielinga BJ. "Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology". Ed. MIT Press, Massachusetts 2000.
65. Schwarz A, Berry DM y Shaviv E. "On the use of the automated building design system". *Computer Aided Design*, 26(10):747–762, October 1994.
66. Schwarz A, Berry DM y Shaviv E. "Representing and solving the automated building design problem". *Computer Aided Design*, 26(9), September 1994.
67. Shank RC. "What is AI, Anyway?", *AI Magazine*, vol.8, nº4, Winter, 1987
68. Smith I. "Creative design objects from cases for interactive spatial composition". 4th International Conference on Artificial Intelligence in Design (AID 96), Stanford University, 1996.
69. Sphar C. "Aprenda Microsoft Visual C++ 6.0 ya". Ed. McGraw-Hill, Barcelona 1999.
70. Swartzfager G. "Visual Basic 6 Programacion Orientada a Objetos". Ed. Paraninfo, Madrid, 1999
71. Tam KI. "A simulated annealing algorithm for allocating space to manufacturing cells". *International Journal Production Research*, 30(1):63–87, 1992.
72. Tompkins JA y White JA. "Facilities Planning". Ed. Wiley and Sons, New York, 1996.
73. Vicente R y Pinillos A., "Manual práctico de Solid Edge v.16", Ed. Servicios Informáticos DAT, S.L. Madrid, 2005.

74. Winston PH. "Inteligencia Artificial", Ed. Addison-Wesley Iberoamericana, Buenos Aires, 1994.
75. Zimmerman G. "A hierarchical design system". Proceeding IFIP, 1989.





## ANEXO: PUBLICACIONES