



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Estudio del impacto de la metodología de modelado en la reusabilidad de los modelos CAD paramétricos. Caso de estudio sobre el sistema CAD Siemens NX

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computador

AUTOR/A: Martín García, Jonathan

Tutor/a: Contero González, Manuel Roberto

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN DISEÑO Y FABRICACIÓN INTEGRADA
ASISTIDOS POR COMPUTADOR**

**ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA METODOLOGÍA DE
MODELADO EN LA REUSABILIDAD DE LOS
MODELOS CAD PARAMÉTRICOS. CASOS DE
ESTUDIO SOBRE EL SISTEMA CAD SIEMENS NX.**

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Autor:

Martín García, Jonathan

Tutor:

Contero González, Manuel Roberto

Colaborador:

Aranburu Gorrotxategi, Aritz

Curso 2022/2023

ABSTRACT

With the pass of time, technology is becoming increasingly present in everything that surrounds us. In the field of design and industrial manufacturing, this translates into stranding further away from pen and paper and shifting towards digitization and the generation of all documents using computer-aided design and manufacturing programs. The use of these programs offers a tremendous advantage as work becomes more dynamic, and people can work and access information from anywhere in the world. This results in significant time reduction, which is vital for any company that wants to remain in the market with competitive prices.

For this purpose, it is essential to have a good common working methodology where all individuals accessing the data can interpret it without the need to invest time in understanding it. The tight deadlines that these companies have for launching their products require that the initial development stages accurately reflect the design intent in the digitized models, allowing the reuse of these documents in multiple projects or making modifications without the need to create new models.

Over the past years, several formal methodologies have been proposed to address all of this. In this study, three of these methodologies are examined and applied to analyze their practical impact by modeling three industrial part models using CAD software. These models are tested against a geometric variation in order to determine their cohesiveness, assessing the influence of the methodologies both on their own sturdiness and the design intent manifested through the design tree of the models.

Key words: CAD Modeling, Parametric Design, Design Intent, Robustness, CAD Reusability.

RESUMEN

Con el avance de los años la tecnología está cada vez más presente en todo aquello que nos rodea. En el ámbito del diseño y la fabricación industrial esto se traduce en dejar a un lado el lápiz y el papel y pasar a la digitalización y generación de todos los documentos mediante el uso de programas de diseño y fabricación asistidos por ordenador. El uso de estos supone una enorme ventaja ya que el trabajo se vuelve más dinámico y pueden trabajar y acceder a la información personas desde cualquier parte del mundo. Esto se traduce en una gran reducción de tiempos, lo que hoy en día es vital para cualquier empresa que quiera permanecer en el mercado con unos precios competitivos.

Para ello, es fundamental tener una buena metodología común de trabajo en la que todas las personas que tengan acceso a los datos puedan interpretarlos sin necesidad de invertir tiempo en su comprensión.

Los cortos plazos de los que estas empresas disponen para lanzar sus nuevos productos requieren que en las primeras etapas de desarrollo se plasme de forma correcta la intención de diseño en los modelos digitalizados con la finalidad de poder reusar esos documentos en más proyectos o poder realizar modificaciones sobre el mismo sin la necesidad de tener que generar nuevos modelos.

Durante los últimos años se han propuesto varias metodologías formales con las que hacer frente a todo esto. En este trabajo se estudian y aplican tres de estas metodologías con el objetivo de analizar su impacto a nivel práctico modelando mediante software CAD tres modelos de piezas industriales. Estos son puestos a prueba frente a un variador geométrico con el que se determina su robustez comprobando la influencia de la aplicación de las metodologías, tanto en la propia robustez como en la intención de diseño plasmada mediante el árbol de diseño de los modelos.

Palabras clave: Modelado CAD, diseño paramétrico, intención de diseño, robustez, reusabilidad CAD.

RESUM

Amb l'avanç dels anys la tecnologia està cada vegada més present en tot allò que ens envolta. En l'àmbit del disseny i la fabricació industrial això es tradueix en deixar de banda el llapis i el paper i passar a la digitalització i generació de tots els documents mitjançant l'ús de programes de disseny i fabricació assistits per ordinador. L'ús d'aquests programes suposa un enorme avantatge ja que el treball es torna més dinàmic i les persones poden treballar i accedir a la informació des de qualsevol part del món. Això es tradueix en una gran reducció de temps, la qual cosa, avui dia, és vital per a qualsevol empresa que vulgui romandre en el mercat amb uns preus competitiu.

Per a això, és fonamental tenir una bona metodologia comú de treball en la qual totes les persones que accedisquen a les dades puguin interpretar-les sense la necessitat d'invertir temps en la seua comprensió. Els curts terminis dels quals aquestes empreses disposen per a llançar els seus productes requereixen que en les primeres etapes de desenvolupament es plasme de forma correcta la intenció de disseny en els models digitalitzats amb la finalitat de poder reutilitzar aquests documents en més projectes o poder realitzar modificacions sobre el mateix sense la necessitat de generar nous models.

Durant els últims anys s'han proposat diverses metodologies formals amb les quals fer front a tot això. En aquest treball s'estudien i apliquen tres d'aquestes metodologies amb l'objectiu d'analitzar el seu impacte a nivell pràctic modelant mitjançant programari CAD tres models de peces industrials. Aquests són posats a prova davant d'un variador geomètric amb el qual es determina la seua robustesa, comprovant la influència de l'aplicació de les metodologies, tant en la pròpia robustesa com en la intenció de disseny plasmada mitjançant l'arbre de disseny dels models.

Paraules Clau: Modelatge CAD, Disseny Paramètric, Intenció de Disseny, Robustesa, Reutilitzabilitat CAD.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Motivación	2
1.3	Objetivos y alcance.....	3
2.	ESTADO DEL ARTE	4
2.1	Introducción	4
2.2	Comportamiento software CAD – Relaciones padre/hijo.....	5
2.3	Horizontal Modeling.....	7
2.3.1	Historia	7
2.3.2	Descripción	7
2.4	Explicit Reference Modeling.....	10
2.4.1	Historia	10
2.4.2	Descripción	10
2.5	Resilient Modeling.....	12
2.5.1	Historia	12
2.5.2	Descripción	12
2.6	Comparación de los árboles	14
3.	APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS	15
3.1	Contexto profesional.....	15
3.2	Piezas de estudio.....	16
3.2.1	Pieza 1 – Biela.....	17
3.2.2	Pieza 2 – Tapa bomba de agua	18
3.2.3	Pieza 3 – Mangueta de dirección	19
3.3	Software y método de análisis empleado	20
3.3.1	Software	20
3.3.2	Análisis de robustez.....	20
3.4	Interpretación de las metodologías – Casos de estudio	22
3.4.1	Horizontal Modeling.....	22
3.4.2	Explicit Reference Modeling.....	24
3.4.3	Resilient Modeling.....	25
4.	ROBUSTEZ DE LOS MODELOS.....	28
4.1	Pieza 1	28
4.1.1	Resultados	28
4.1.2	Análisis de los resultados	28
4.2	Pieza 2	30

4.2.1	Resultados	30
4.2.2	Análisis de los resultados	30
4.3	Pieza 3	32
4.3.1	Resultados	32
4.3.2	Análisis de los resultados	32
5.	ESTUDIO ECONÓMICO	34
6.	CONCLUSIONES	35
6.1	Líneas futuras	36
7.	REFERENCIAS	37

Índice de figuras

Imagen 1. Ejemplo grafo	5
Imagen 2. Pieza ejemplo y su respectivo árbol de diseño	5
Imagen 3. Grafo de asociaciones Pieza ejemplo	6
Imagen 4. Estrategia CAD del HM	7
Imagen 5. Estrategia CAM HM	8
Imagen 6. Ejemplo grafo sin metodología (izq.) y grafo siguiendo ERM (drcha.) (2).....	10
Imagen 7. Comparación árboles de diseño: HM (izq.), ERM (medio) y RM (drcha.)	14
Imagen 8. Pieza 1 - Modelo 3D	17
Imagen 9. Pieza 1 - Cotas para estudio	17
Imagen 10. Pieza 2 - Cotas para estudio	18
Imagen 11. Pieza 2 - Modelo 3D	18
Imagen 12. Pieza 3 - Modelo 3D	19
Imagen 13. Pieza 3 - Cotas a estudiar	19
Imagen 14. Imagetipo de la aplicación Sensitivity Study	20
Imagen 15. Ejemplo análisis Sensitivity Study Data NX	20
Imagen 16. Ejemplo características que presentan errores tras la regeneración.	21
Imagen 17. Ejemplo características que presentan advertencias tras la regeneración.	21
Imagen 18. Croquis 03 - Cota A.....	22
Imagen 19. croquis que incluye la primera cota referente al valor A.....	22
Imagen 20. Pieza 3, nervios producen errores de regeneración	24
Imagen 21. Pieza 3 - ER - Casos a estudiar: 1. Pieza completa; 2. Pieza sin redondeos y 3. Pieza con redondeos modificados.....	24
Imagen 22. Pieza 2 - Shell posterior a nervios	25
Imagen 24. Pieza 2 - Árbol Shell previo a nervios	25
Imagen 23. Pieza 2 - Shell previo a nervios	25
Imagen 25. Pieza 2 - Arista problemática frente a redondeo	26
Imagen 27. Pieza 2 - Sólido a aplicar redondeo.....	26
Imagen 26. Pieza 2 - Redondeo previo al vaciado.....	26
Imagen 28. Pieza 2 - Árbol redondeos previos al vaciado.....	26
Imagen 29. Pieza 2 - Árbol con redondeos extra	27
Imagen 30. Pieza 2 - Redondeos extra.....	27
Imagen 31. Pieza 3 - RM - Casos a estudiar: 1. Pieza completa; 2. Pieza sin grupo 7 (Redondeos) y 3. Pieza sin grupos 6 (Modificaciones) y 7 (Redondeos)	27
Imagen 32. Pieza 1 - Comparación Parametrización VS Desparametrización	28
Imagen 33. Pieza 1, escenario geoméricamente imposible	29
Imagen 35. Pieza 2 - Fallo regeneración de redondeos	30
Imagen 34. Pieza 2 - Árbol regeneración de redondeos	30
Imagen 36. Pieza 2 - Regeneración de redondeos reparada	31
Imagen 37. Pieza 3 - ERM - Comparación geometría sin redondeos VS Redondeos simplificada	32

Índice de tablas

Tabla 1. Estructura grupos RM.....	13
Tabla 2. Pieza 1 - Valores de variación.....	17
Tabla 3. Pieza 2 - Valores de variación.....	18
Tabla 4. Pieza 3 - Valores de variación.....	19
Tabla 5. Versión NX empleado para este TFM.....	20
Tabla 6. Ejemplo resultados exportados del Sentivity Study de NX.....	20
Tabla 7. Resultados Pieza 1.....	28
Tabla 8. Comparación resultados Pieza 1.....	29
Tabla 9. Resultados Pieza 2.....	30
Tabla 10. Comparación resultados Pieza 2.....	31
Tabla 11. Resultados Pieza 3.....	32
Tabla 12. Comparación resultados Pieza 3.....	33
Tabla 13. Estudio económico - Metodologías.....	34
Tabla 14. Estudio económico - Programas empleados.....	34
Tabla 15. Estudio económico - Equipo empleado.....	34

Definiciones previas de interés

Intención de diseño: Es el comportamiento previsto de un modelo CAD ante modificaciones [1].

Robustez: La robustez se refiere a los errores y problemas de inestabilidad que pueden provocar cambios en el modelo geométrico. A menos errores, más robusto [2].

Árbol de diseño: Hace referencia a la estructura que adopta el modelo en cuanto a las operaciones y características introducidas en él. Estas quedan reflejadas en orden cronológico [3].

Abreviaturas

CAD: Computer Aided Desing

CAE: Computer aided engineering

CAM: Computer Aided manufacturing

HM: Horizontal Modeling

ER: Explicit Reference Modeling

RM: Resiliente Modeling

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Antecedentes

A mediados del siglo XX gracias a los avances informáticos e ingenieriles enfocados a la fabricación industrial se comienzan a desarrollar programas destinados a la mejora de la productividad en su sector dando origen a los programas de diseño asistido por computador (CAD).

Hoy en día, las altas exigencias del mercado hacen que los fabricantes se enfrenten continuamente al reto de ofrecer productos nuevos e innovadores a precios competitivos con tiempos de diseño cada vez menores. Para ello, las empresas hacen uso de softwares CAD y gestores de ciclo de vida del producto (PLM) para ofrecer servicios de diseño y llevar un control del ciclo de vida de los productos.

El uso de estos softwares está a la orden del día en cuanto a fabricación industrial se refiere. Tanto es así, que en la actualidad existen numerosas empresas denominadas *Empresas basadas en modelos* (MEB) las cuales están fundamentadas en la generación de modelos tridimensionales digitales, los cuales contienen toda la información para la fabricación de ese producto: dimensiones, materiales, acabados, etc [3].

La generación de un modelo digital de un producto que se adapte rápidamente a modificaciones geométricas es vital ya que este modelo es la base de una gran lista de actividades que se llevan a cabo a partir de él como pueden ser las simulaciones de elementos finitos mediante programas de diseño asistido por ordenador (CAE), los procesos de fabricación mediante programas de fabricación asistida por ordenador (CAM) como su posterior producción [2].

Con los programas CAD existen innumerables formas de lograr un modelo tridimensional con unas dimensiones y una topología definidas. Pero esto no garantiza que el modelo generado se vaya a adaptar a cambios que puedan surgir a lo largo de su vida útil. Por ello es muy importante modelar en base a una estrategia de diseño definida, pensando en que ese modelo pueda requerir de modificaciones a posteriori. La inversión previa de horas en la tarea inicial de diseño puede suponer una gran ventaja a largo plazo en cuanto a tiempos se refiere.

Con el fin de conformar una línea de diseño unificada en entornos grupales de trabajo tanto profesionales como educativos se han propuesto a lo largo de los años varias metodologías formales que ayudan a construir una base desde la que partir para intentar reducir el inmenso campo de posibilidades que ofrecen estos programas. La finalidad es que la intención de diseño, es decir, la inteligencia que se plasma en un modelo paramétrico para predecir el comportamiento que tendrá frente posibles modificaciones, pueda ser entendida por cualquier usuario de una forma rápida y sencilla a la vez que aporte robustez al mismo.

1.2 Motivación

Este Trabajo Fin de Máster parte de la motivación por investigar y profundizar en los programas de diseño paramétrico. La primera vez que una persona se enfrenta a un sistema CAD se le abre un infinito mundo de posibilidades, ya que estos te permiten realizar casi cualquier geometría de innumerables formas posibles, lo cual es muy atractivo.

Existen pocos documentos públicos que hagan referencia a como modelar en base a unos estándares y con unas directrices definidas que ayuden a comprender la intención de diseño de un modelo y la robustez que esta puede llegar a aportar, ya que la mayoría de ellos están definidos por empresas privadas que han invertido tiempo y recursos en redactarlos y obtienen de ellos un beneficio económico.

Por lo tanto, con este tema se pretende adoptar un enfoque tanto educativo como profesional sobre la importancia de generar modelos tridimensionales robustos y con una intención de diseño clara y definida.

1.3 Objetivos y alcance

Este documento tiene como objetivo principal hacer una comparación entre tres metodologías de modelado formal mediante software paramétrico CAD con la finalidad de evaluar cuál de ellas sería la más eficiente a la hora de implementar en una empresa en base a los siguientes puntos:

1. Número de horas invertidas en su comprensión y asimilación.
2. Tiempo empleado en la etapa de diseño.
3. Robustez del modelo 3D generado.

Para conseguir los objetivos descritos la planificación será la siguiente:

1. Lectura y comprensión de cada una de las metodologías.
2. Aplicación de estas en tres piezas diferentes.
3. Análisis de robustez de los modelos generados.
4. Comparación de la robustez de los modelos.
5. Comparación del tiempo invertido frente a la robustez de los modelos.

Las metodologías formales que se estudiarán serán las siguientes:

- Horizontal Modeling [4]
- Explicit Reference Modeling [5]
- Resilient Modeling [6]

El alcance de este documento contempla una interpretación inicial de las metodologías, realizando el modelado y pequeñas modificaciones en ellos para obtener unos resultados concluyentes. Se excluye una segunda reinterpretación de la metodología debido a las horas en base a los créditos ECTS destinados a invertir en este trabajo.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción

Las continuas exigencias de la industria en cuanto a plazos en las etapas de diseño han generado la inquietud y el estudio de cómo mejorar los procesos en ellas.

En el año 2013 se realizó un estudio del tiempo empleado por grupos de diseñadores industriales con la finalidad de obtener una estimación las horas de trabajo invertidas en la reparación de errores geométricos. Estos revelaron que casi la mitad de los ingenieros que se dedican al modelado paramétrico invierte en torno a un 4% de su tiempo semanal a esta labor y un 14% afirmó que dedicaban más de 24 horas semanales [7].

Por ello, han surgido diversas metodologías, tanto formales como privadas propias de empresas del sector, en busca de diseños paramétricos robustos desde etapas iniciales. Estas abogan por definir una buena intención de diseño desde un inicio, asumiendo un ligero incremento de horas en esta etapa a favor de reducir tiempos en fases posteriores en las que haya que realizar modificaciones, ya que el tiempo invertido en la generación de este primer modelo se amortizará de forma rápida una vez haya que realizar cambios en él.

A raíz de estas metodologías surgen estudios para analizar el impacto al modelar en base a ellas.

Uno de estos estudios realizados en el ámbito educativo universitario por [Jorge D. Camba](#), [Manuel Contero](#) y [Pedro Company](#) consistía en la implantación de las tres metodologías que se exponen en este documento en tres piezas diferentes. La finalidad era comprobar el impacto que tendrían estas a la hora de realizar modificaciones introducidas directamente por el propio usuario sobre los modelos [8].

En otro estudio posterior publicado por [Aritz Aranburu](#), Josu Costillas, [Manuel Contero](#) y [Jorge D. Camba](#): [*How Does the Modeling Strategy Influence Design Optimization and the Automatic Generation of Parametric Geometry Variations?*](#) [2] (¿Cómo influye la estrategia de modelado en la optimización del diseño y la generación automática de variaciones geométricas paramétricas?) se plantean las mismas tres metodologías, aplicadas sobre otros tres modelos diferentes, pero esta vez el análisis de la robustez se examinó a través de variadores geométricos que integran algunos softwares CAD de forma que las modificaciones de parámetros las aplique automáticamente con el fin de estudiar un espacio más amplio derivado de la combinación de las cotas y los espacios muestrales asociados definidos por el usuario.

El documento mencionado en el párrafo anterior es la base de partida este TFM. De él se realiza una revisión simulando un estudio similar en el que se analiza el impacto que tienen el uso de estas mismas tres metodologías en la robustez de tres de las cuatro piezas que propone en él. Se cuenta con la tutoría y la colaboración de dos de los redactores de este artículo para el desarrollo de este TFM: Manuel Contero y Aritz Aranburu, respectivamente.

En el estudio mencionado se empleó el software comercial SolidWorks. Este estudio se realizará por medio del software NX.

2.2 Comportamiento software CAD – Relaciones padre/hijo

El procesamiento interno de los programas de modelado paramétrico basados en características está fundamentado en asociaciones directas e indirectas entre estas mismas. Estas definen lo que se denomina árbol de diseño de la pieza. En él se reflejan las características incluidas en el modelo en orden cronológico.

Cada una de estas características actúa como un nodo. Entre ellos se crean asociaciones denominadas padre/hijo en las que los padres son las características o datos geométricos ya plasmados en el árbol de diseño y los hijos las características y/o geometría que se crea a partir de ellos. Así, un nodo/característica hijo nunca se podrá reorganizar antes de sus nodos padre [9].

Esto genera un grafo de asociaciones como se puede ver en el ejemplo de la Imagen 1.

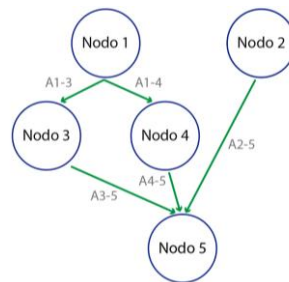


Imagen 1. Ejemplo grafo

En esta imagen se presentando todos los nodos (círculos azules) y sus relaciones directas e indirecta (flechas verdes).

A medida que aumente la complejidad de la pieza, el modelo necesitará más características para su definición incrementando el número de operaciones en el modelo y por tanto haciendo crecer el grafo de asociaciones.

Una modificación en un nodo padre se verá reflejada aguas abajo en todos sus nodos hijo asociados, de manera que si estas relaciones no están bien definidas a la hora de modificar algún parámetro el programa será incapaz de representar la geometría, generando errores en la regeneración del modelo.

Para obtener una topología determinada existen innumerables formas de llegar a ella. Aquí la intención del diseño juega un papel fundamental ya que esta definirá el árbol de diseño y el grafo del modelo [2].

Como ejemplo se expone la pieza la Imagen 2, la cual presenta una topología sencilla y uno de los posibles árboles de diseño, sin fundamentarse en ninguna metodología:



Imagen 2. Pieza ejemplo y su respectivo árbol de diseño

Se puede observar cómo el árbol mostrado en la Imagen 2 presenta una configuración relativamente sencilla. Y, por último, en la Imagen 3 se muestra el grafo asociado a este modelo.

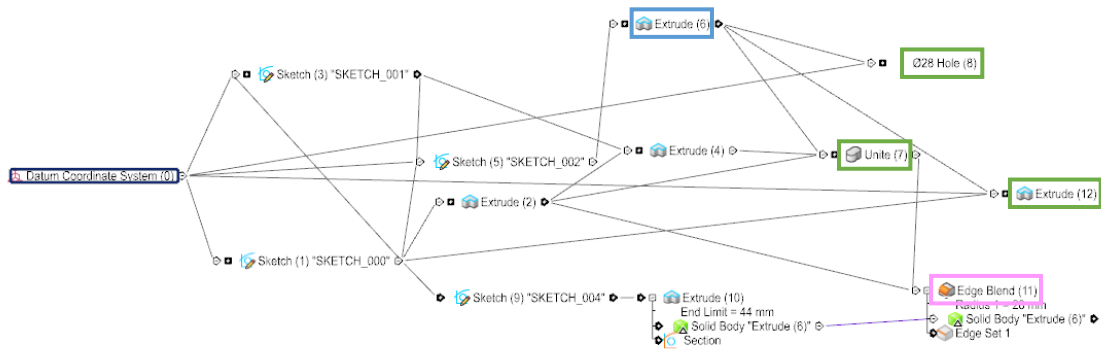


Imagen 3. Grafo de asociaciones Pieza ejemplo

En este grafo (Imagen 3) se pueden ver los nodos como las características, por ejemplo, croquis y funciones de extrusión, y las relaciones de dependencia padre/hijo representadas por las líneas que los conectan estos. De este modo, una modificación en el *Extrude (6)* (recuadrado en azul) se verá reflejada en todos los nodos hijos, en este caso las características *Hole (8)*, *Extrude (12)* y *Unite (7)* (recuadrados en verde), y así sucesivamente en todos los hijos de que tengan una asociación indirecta a este *Extrude (6)*, en este caso el *Edge Blend (11)* (recuadrado rosa).

Se puede apreciar como una geometría sencilla ya presenta un grafo, aunque legible, con asociaciones que no siguen una estructura clara y premeditada.

A medida que se vaya complicando la geometría estos grafos crecerán aumentando el número de nodos y relaciones en ellos. Por tanto, es fundamental definir previamente una metodología y una intención de diseño claras, que faciliten el proceso de regeneración geométrica del modelo a los procesadores de los programas y la lectura correcta de esta intención a futuros diseñadores, plasmada por el creador del modelo original.

2.3 Horizontal Modeling

2.3.1 Historia

Esta metodología fue creada y patentada por la compañía [Delphi Corp.](#) en Europa en el año 2001 (4) bajo el nombre de [Horizontally-Structured Cad/Cam Modeling For Virtual Concurrent Product And Process Design](#) [4] (Mejora del modelado CAD/CAM de estructura horizontal).

El objetivo que perseguía la compañía era ahorrar tiempo a la hora de realizar modificaciones geométricas, de archivos tanto CAD como CAM, de piezas que luego serían fabricadas a nivel industrial. Desarrollaron una metodología que permitiese generar estos modelos de forma que en el momento que surgiese la necesidad de realizar alguna modificación, eliminar alguna de sus funciones o incluso reutilizar alguna de sus características, tanto geométricas como a nivel de programación de parámetros para mecanizado en CNC, fuese un trabajo relativamente fácil y rápido, evitando tener que volver a generar el modelo completo desde cero. A nivel CAD, en muchas ocasiones la falta de robustez en los modelos producía fallos a la hora de regenerar la estructura vertical del árbol de diseño; y a nivel CAM, muchas de las operaciones eran idénticas y había que agregarlas una a una para cada nueva versión o modelo que se crease con parámetros ya definidos anteriormente para generar operaciones con idénticas características de corte.

2.3.2 Descripción

Esta metodología pretende eliminar dependencias verticales padre/hijo presentes en los árboles de diseño típicos de las estructuras CAD/CAM.

Esto, según los autores de la metodología, presenta avances significativos a la hora de crear, alterar y eliminar características de un árbol de diseño.

El modelado horizontal propone que toda la geometría sea creada a través de planos en lugar de crearla mediante asociaciones directas a características dependientes de elementos geométricos ya existentes. Los planos de referencia, en los archivos CAD, serán los únicos elementos geométricos que se usarán, en la medida de lo posible, como padres para definir el modelo. En cuanto a los archivos CAM, a parte del uso de planos de referencia, también establece que se podrá emplear el uso de geometría enlazada al modelo original de la pieza, coincidiendo con un modelo que haga referencia a una geometría del mundo real o a un bruto previo a su fabricación, extrayendo las caras en las que se pretenden realizar las operaciones de mecanizado.

Así, se obtiene como resultado que todas las características estarán al mismo nivel, creando una estructura simple y lineal, horizontal.

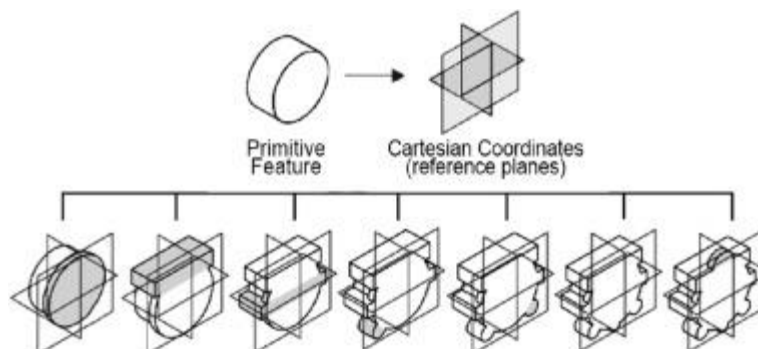


Imagen 4. Estrategia CAD del HM

Por lo tanto, los cambios en cualquier hijo o incluso la eliminación de estos, no tendrá ningún efecto sobre el modelo 3D o sobre la hoja de definición de procesos de mecanización, ya que cada característica/función únicamente estará asociada al sistema de referencia que tiene como padre.

Se propone entonces generar dos archivos, uno CAD y otro CAM, ambos con una estructura horizontal.

Los archivos CAD partirán de un sistema de coordenadas, el cuál puede o no ser cartesiano ortogonal. Independiente a él se crearán funciones de modelado a las que se les podrán añadir características que lo definan, pero que estarán asociadas al sistema de coordenadas original, evitando, en la medida de lo posible, asociarlas a esta función base. Se permite generar planos auxiliares, también asociados al sistema de coordenadas principal, los cuales podrán ser punto de partida para la generación de nueva geometría. Estas funciones geométricas se podrán heredar de otros modelos generados previamente, ya que solamente estarán enlazadas a un plano, superficie o sistema de coordenadas asociado al sistema de referencia principal. Toda característica que se vaya agregando colgará, en la medida de lo posible, directamente del sistema de coordenadas principal, dotando al árbol de diseño del modelo con una estructura horizontal. Así, como se ha comentado anteriormente, se evita que la modificación o eliminación de cualquiera de ellas no tenga repercusión sobre el modelo ni sobre las demás características.

Los archivos CAM partirán de un "blanco", un modelo 3D de lo que será el bruto a mecanizar, al cual se le asociará un sistema de coordenadas. Este sistema, similar al sistema de referencia principal generado para el modelo CAD, será la base para crear las funciones que definirán la hoja de proceso. Se creará un modelo del proceso maestro asociado directamente al "blanco", es decir, una copia asociativa de él. Este representará la geometría definitiva que se desea para la pieza, y al estar enlazado con el "blanco" extraído del CAD, cualquier modificación en el modelo original también se verá reflejada en este modelo de proceso maestro. Para añadir las operaciones de mecanizado se generará un extracto de la geometría del "blanco". A este extracto se le asociaran funciones de mecanizado, con sus respectivas trayectorias y parámetros, pasando así de la geometría del "blanco" a la geometría del modelo del proceso maestro.

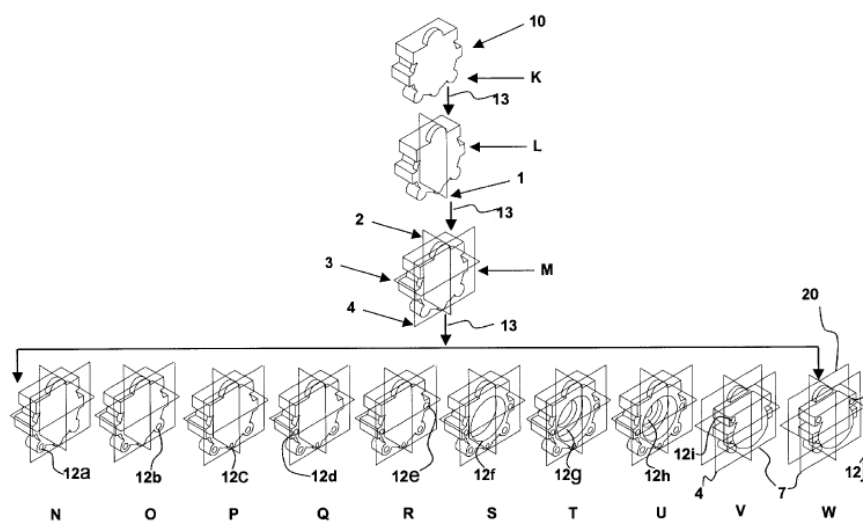


Imagen 5. Estrategia CAM HM

Estas operaciones irán ligadas únicamente al extracto, lo que dotará de una estructura también horizontal al árbol de mecanizado del archivo CAM. Las trayectorias y parámetros, igual que a la hora de modelar el archivo CAD, podrán ser reutilizadas de otros modelos simplemente asociándolas al extracto obtenido de la geometría del “blanco” de la nueva pieza.

En el marco teórico, esto supone un ahorro de tiempo considerable ya que no es necesario redefinir características geométricas idénticas y evita generar de nuevo operaciones de mecanizado descritas en otros modelos. Una de las razones principales por las que se desarrolló esta metodología es, como se ha descrito anteriormente, la reducción de tiempos a la hora de realizar modificaciones en el modelo, ya que, en un árbol convencional vertical, una modificación de una característica o función puede desconfigurar todas las asociaciones aguas abajo de ella, sin embargo, con este método, todas las funciones seguirán activas. En contra, habrá que reposicionarlas en función de los nuevos parámetros introducidos, ya que esta metodología no aporta inteligencia al modelo 3D.

Otro inconveniente radica a la hora de generar piezas con un grado de complejidad medio/alto, ya que se pierde la intención del diseño al no seguir una estructura común vertical y no haber asociaciones entre ninguna de sus características, siendo muy común “perderse” en el árbol del diseño.

Claro es que el uso de planos de referencia a la hora de generar modelos 3D es necesario y en determinadas ocasiones fundamental. Sin embargo, las asociaciones de funciones dentro de un modelo 3D aporta inteligencia al modelo y si estas dependencias están bien definidas, también le otorgarán inteligencia y robustez otorgando a este la posibilidad de realizar cambios o alteración sin que se aparezcan errores tras la regeneración.

2.4 Explicit Reference Modeling

2.4.1 Historia

La metodología [Explicit Reference Modeling](#) [5] (ERM) fue desarrollada por [Yannick Bodein](#), [Bertrand Rose](#) y [Emmanuel Caillaud](#), tres profesionales en el ámbito de la investigación en el sector del diseño industrial.

Esta metodología nace como idea para ayudar a las empresas dedicadas al diseño de piezas industriales con el fin de unificar el procedimiento cognitivo a la hora de generar modelos paramétricos por parte de todos los empleados de una misma empresa. Buscaban generar árboles de diseño basados, no tanto en adecuarse al conjunto en el que irían ensamblados, si no en la definición de la propia pieza, con el fin de reducir la infinitud de árboles posibles y manteniendo la intención del diseño.

El alcance de la metodología era su implantación en cualquier empresa que hiciese uso de herramientas de modelado paramétricos, independientemente del software empleado y de las características que este presentase.

Para el desarrollo de la metodología se realizaron consultas a veinte diseñadores profesionales en el sector de la automoción. Con ello pretendían identificar el razonamiento previo al modelado, el cual que los llevaría a adoptar una estrategia de diseño u otra.

2.4.2 Descripción

El modelado por referencias explícitas plantea minimizar la creación de restricciones vinculadas a la geometría existente. Para ello, se propone distinguir todas las características y funciones empleadas en dos grupos:

- Categoría 1: Funciones para las que no es obligatorio el empleo de la forma actual (geometría ya existente).
- Categoría 2: Funciones para las que es obligatorio el empleo de la forma actual.

La mayoría de características en un modelo paramétrico pueden aparecer referenciadas a una geometría de referencia, ya sea un plano, croquis, cara, superficie de un sólido o lámina, etc. A la hora de generar la geometría del modelo es posible crear todas las asociaciones basadas en la forma actual para definir cualquier función del modelo y, aunque no todas ellas se creen como explícitas, se pueden inferir del propio modelo. Este uso de las herramientas está condicionado por la forma en que los desarrolladores de los programas de diseño paramétricos proponen trabajar con ellos, según cuenta la metodología.

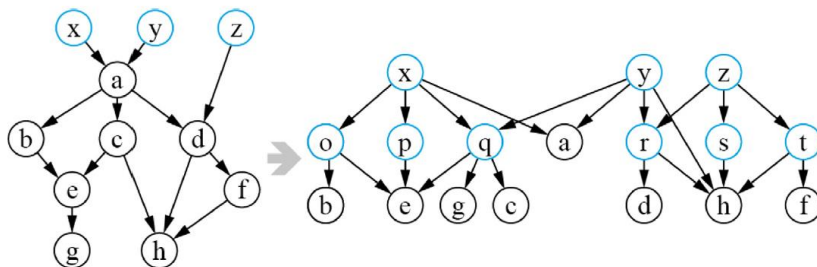


Imagen 6. Ejemplo grafo sin metodología (izq.) y grafo siguiendo ERM (drcha.) (2).

Esta propone emplear la forma actual simplemente para los casos en los que haya que emplear una parte límite concreta de la geometría, como pueden ser aristas, caras o superficies, para

definir completamente el modelo. Estas funciones pueden ser, por ejemplo, chaflanes, redondeos o vaciados en los que es obligatorio seleccionar aristas o caras para definirlos.

- **Categoría 1**

Este grupo engloba toda aquella geometría que se pueda generar a partir de elementos geométricos externos a la forma actual, es decir, que puedan crearse sin necesidad de estar asociados a los sólidos ya presentes en el modelo. Para la generación de estas funciones es posible la creación de elementos geométricos a modo de referencias explícitas que actúen como padres para los nuevos volúmenes, como pueden ser puntos, líneas, vectores, planos, superficies, etc.

El principal objetivo es estructurar y controlar las asociaciones entre las entidades paramétricas descritas. Además, la metodología propone reducir al máximo las modificaciones topológicas de una misma primitiva, esto es, evitar cambios en sketches, ya que, al modificar, eliminar o añadir alguna línea en ellos, las funciones de la *Categoría 2*, se verán afectados presentando errores en su regeneración.

- **Categoría 2**

Esta categoría engloba todas aquellas funciones que han de ir obligatoriamente asociadas a la forma actual.

La metodología propone como objetivo crear estas características lo más cerca de posible de su padre en árbol de diseño, con el fin de reducir los grados de dependencia de estas funciones y facilitar la interpretación de la intención del diseño.

Sin embargo, hay que tener en cuenta el riesgo de inestabilidad del modelo a la hora de regenerar la geometría al realizar una modificación de cualquiera de las funciones definidas aguas arriba. Esto puede derivar en que algunas de las características de esta categoría pierdan su referencia al haber redefinido alguno de los padres a los que estaban asociadas.

Es por ello que muchas lecturas y cursos de formación recomiendan generar los elementos que en la metodología se definen como de *Categoría 2* al final del árbol de especificaciones de diseño.

Así, los autores afirman que el punto crítico de su enfoque es ser capaz de emplear simultáneamente ambos enfoques de modelado, tomando como regla general definir los elementos de la *Categoría 2* lo más cerca posible de su primitiva, salvo que esto pueda generar interdependencias entre funciones del modelo que sean susceptibles a ocasionar errores en la regeneración de este tras una modificación aguas arriba.

Con estas dos categorías, esta metodología pretende reducir la propagación de errores en la regeneración, y en el caso de que estos se produjesen, se puedan identificar rápidamente y solucionarlos de una forma más sencilla respecto a no emplear ninguna metodología.

2.5 Resilient Modeling

2.5.1 Historia

La metodología [Resilient Modeling](#) [6] fue desarrollada por [Richard Gebhard](#), ingeniero eléctrico con dilatada experiencia en modelado paramétrico, quien comenzó a interactuar con estos programas en los años noventa, coincidiendo con el auge de estos. Tras años de experiencia con ellos, detectó cuatro problemas en relación con su uso:

1. El modelado se adelantó a sí mismo: en la década de los 2000 las empresas comenzaron a emplear estos programas como herramienta principal de diseño, pero el motivo principal no fue por la facilidad de uso de estas, si no el hecho de visualizar imágenes tridimensionales de las piezas y productos antes de su fabricación.
2. Lenta evolución de las funcionalidades avanzadas: las empresas desarrolladoras de estos programas, como la mayoría de las empresas independientemente del sector al que pertenezcan, priorizaban las mejoras que les vayan a reportar un mayor beneficio económico. Los principales usuarios demandaban, como el propio autor de la metodología denomina, “curitas” en base a las herramientas que estos programas presentaban y no actualizaciones significativas que cambiasen la dirección del desarrollo de estos hacia una mejora general de las funcionalidades.
3. Cursos de enseñanza deficientes: las clases de manejo de estos softwares debían tomar dinámicas más interactivas y basadas en aprender a base de prueba y error.
4. Validación opcional de los modelos tras su creación: al plantear la generación de un modelo complejo basado en estrategias de diseño básicas se llegaba a callejones sin salida, derivando en errores, como indica el autor, “de dominó”, generando errores agua abajo en el árbol de diseño. El problema radicaba en los cortos plazos que las empresas deben cumplir, lo que conlleva a emplear técnicas de “hack and whack” (sacar el trabajo discriminando un procedimiento óptimo). Esto generaba modelos desechables, con una robustez muy baja, muy frágiles frente modificaciones.

Tras veinte años de interacción y asesoramiento, en 2013, Richard Gebhard, decidió ofrecer soluciones a estos problemas en forma de metodología enfocada en un inicio al software Solid Edge, pero que fue adaptándose en sucesivas versiones a todos los programas CAD.

2.5.2 Descripción

La metodología se basa en estructurar el árbol de diseño en grupos de trabajo con el fin de generar un árbol robusto en el que las funciones principales estén situadas aguas arriba y las características más “volátiles” estén situadas al final.

Con los años se han ido realizando versiones y añadiendo cambios con buscando una mejor definición de estos grupos. En este documento, se trabajará con la versión publicada en el año 2017.

En esta se distinguen 8 grupos en los que se especifica que operaciones se deben de incluir en cada uno, las asociaciones permitidas entre distintos grupos y las restricciones de cada uno de ellos. Esto se resume en la siguiente tabla:

GRUPO	DESCRIPCIÓN	OPERACIONES COMUNES	NOTAS	ENLACES
1. Esqueleto	Hoja de especificaciones para el modelo	- Cuerpos y geometría de referencia, sistemas de coordenadas, sketch, imágenes, superficies...	- Sin características solas - Sin dimensiones duplicadas	Permitido
2. Núcleo	Capta el modelo de forma básico, tamaño y orientación	- Operaciones de generación de sólidos - Asociadas solamente perfiles: extrusiones, barridos, revoluciones, vaciados (excepción)	- Adición de material	Permitido
3. Superficies	Geometría que requiere ser creada a partir de la existente en el grupo 2	- No hay funciones solidas - Superficies, proyecciones, extracciones de geometría de referencia, curvas 3D... - Depende del grupo 2. Núcleo	- Se emplearán como operaciones booleanas en el grupo 4. Detalle	Permitido
4. Detalle	Añaden definición al modelo generado en el grupo 2. Núcleo	- Sin referencias a otras operaciones de este mismo grupo - Extrusiones, barridos, revoluciones, rotaciones, roscas	- Se podrán eliminar sin generar errores en los grupos anteriores	Sin enlace entre características de este mismo grupo
5. Agujeros	Cavidades cilíndricas creadas por un corte extruido, revolucionados o funciones de agujero	- Sin referencias a otras operaciones de este mismo grupo	- Se podrán recolocar dentro de este grupo o eliminar sin generar errores en los grupos anteriores	Sin enlace entre características de este mismo grupo
6. Modificaciones	Características que replicas o grupos de transformación de características	- Patrones y espejos - Adición o sustracción se añadirán como características finales	- No se permite patrones o espejos a operaciones núcleo	Permitido
7. Cuarentena	Operaciones que consumen bordes	- Chaflanes y redondeos	- Orden de introducción en el árbol: chaflanes, redondeos - Evitar asociar operaciones dentro de esta misma carpeta - Dividir las funciones	Permitido
8. Variante	Generación de variaciones de la pieza	- Se permiten varios grupos	- Funciones de edición directa comunes en este grupo	Permitido

Tabla 1. Estructura grupos RM

Esta metodología propone ubicar la creación de toda la geometría de referencia exenta de asociaciones al propio modelo en la parte superior del árbol, en el grupo 1. A continuación, en el grupo 2, crear la geometría sólida que definirá bastante la pieza. En el grupo 3 la geometría de referencia que necesariamente tenga que estar asociada a los elementos geométricos definidos en el grupo anterior. En el grupo 4 las operaciones que requieran asociaciones a elementos del grupo tres para generarse. En el grupo 5 los agujeros que vaya a presentar la pieza. En el grupo 6 replicar geometría mediante operaciones de patrones y espejos, y sus características asociadas. En el grupo 7 ubicar operaciones que consumen bordes de la geometría, como chaflanes o redondeos. Por último, en el grupo 8, reflejar variantes que pueda sufrir la pieza.

Además, el autor indica en la metodología que todo elemento presente en el árbol debe estar renombrado por el diseñador con una designación que lo defina con la finalidad de identificar rápidamente que función representa cada uno de ellos. Esto reflejará la intención del diseño y facilitará la implementación de modificaciones.

2.6 Comparación de los árboles

A continuación, como ejemplo, se presentan los árboles de diseño correspondientes al modelado de [Pieza 1](#) por las tres metodologías descritas anteriormente.



Imagen 7. Comparación árboles de diseño: HM (izq.), ERM (medio) y RM (drcha.)

En estos árboles se puede ver que cada metodología define árboles muy distintos entre ellos para reflejar la misma geometría.

3. APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS

3.1 Contexto profesional

Las tres metodologías descritas anteriormente están destinadas a la aplicación en el sector profesional, a empresas que trabajan a diario con programas de diseño paramétrico y continuamente se enfrentan al problema de la regeneración de modelos frente a cualquier tipo de modificación topológica.

La empresa que sea capaz de implementar una metodología de trabajo definida y unificada será capaz de reducir tiempos en la fase de diseño. Esto se traduce en una enorme ventaja respecto a sus competidores, ya que el poder variar ciertos parámetros y conservar la intención de diseño en un modelo robusto que esté preparado para adaptarse a esos cambios puede llegar a ahorrar innumerables horas de rediseño.

Por ello, estas metodologías cuentan solamente pinceladas de la forma de trabajar. Se puede ver más claramente en la patente de *Delphi Corp.*. Esta presenta el contenido de una forma ambigua ya que pretende mostrar pinceladas de la metodología de trabajo sin dar demasiados detalles para no facilitar información a empresas de la competencia. Las otras dos metodologías también presentan ciertas ambigüedades, las cuales reflejan mayor debate a la hora de enfrentarse al modelado. En muchas ocasiones, estas interpretaciones quedan a criterio del diseñador, pudiendo cada lector interpretar la metodología de forma diferente sin salirse de ella.

Esto también, como se verá a continuación, es algo que se puede usar a favor del diseñador interpretando cada metodología a favor de la geometría a modelar.

Haciendo hincapié en esto último, existen muchos softwares de diseño paramétrico, todos ellos con funciones similares, pero la programación interna de cada uno de ellos los hace procesar de formas diferentes. Por ello, aparte de conocer diferentes metodologías de trabajo y saber en qué modelos emplear cada una de ellas, se debe tener un conocimiento amplio del software que se va a utilizar, ya que este también influirá en la intención plasmada y en el árbol final de diseño de la pieza.

3.2 Piezas de estudio

Para la comparación de estas tres metodologías se propone la generación de tres modelos de piezas del sector industrial. Estas presentaran distintos niveles de complejidad geométrica con el objetivo de enfrentarse inicialmente, no tanto al modelado de la geometría, si no, a la metodología aplicada.

A la hora de diseñar es importante conocer las cotas con más probabilidad de sufrir modificadas para adaptar la intención del diseño a ellas, aunque esto no siempre es fácil de reflejar en las fases iniciales.

Para comprobar la robustez de los modelos y plasmar una correcta intención de diseño se definirán previamente los parámetros que sufrirán variaciones sus respectivos espacios de variación.

3.2.1 Pieza 1 – Biela
 Cuerpo de biela. Las dimensiones están extraídas de un plano, adjunto en anexos.

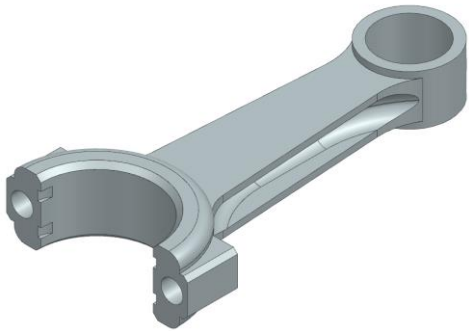
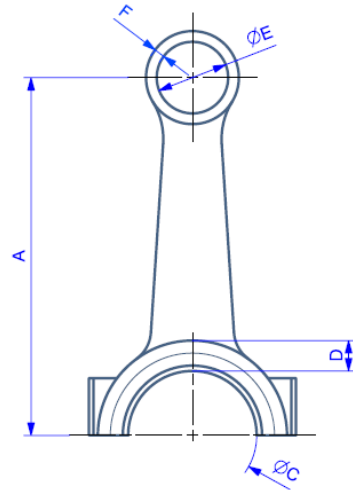


Imagen 8. Pieza 1 - Modelo 3D



Los parámetros a variar son los siguientes:

- A – Distancia entre ejes
- B – Distancia entre agujeros
- C – Radio eje A
- D – Espesor eje A
- E – Diámetro eje B
- F – Espesor eje B

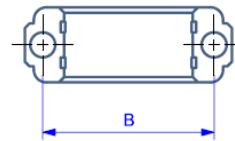


Imagen 9. Pieza 1 - Cotas para estudio

Parámetro	Valor mín.	Valor máx.	Uds.	Paso	Escenarios por parámetro
A	80	140	mm	20	4
B	44	52	mm	2	3
C	18	24	mm	2	4
D	7.5	9.5	°	1	3
E	16	22	mm	2	4
F	2	4	°	1	3

Tabla 2. Pieza 1 - Valores de variación

3.2.2 Pieza 2 – Tapa bomba de agua

Tapa de una bomba de agua. Las dimensiones están extraídas de un plano, adjunto en anexos.

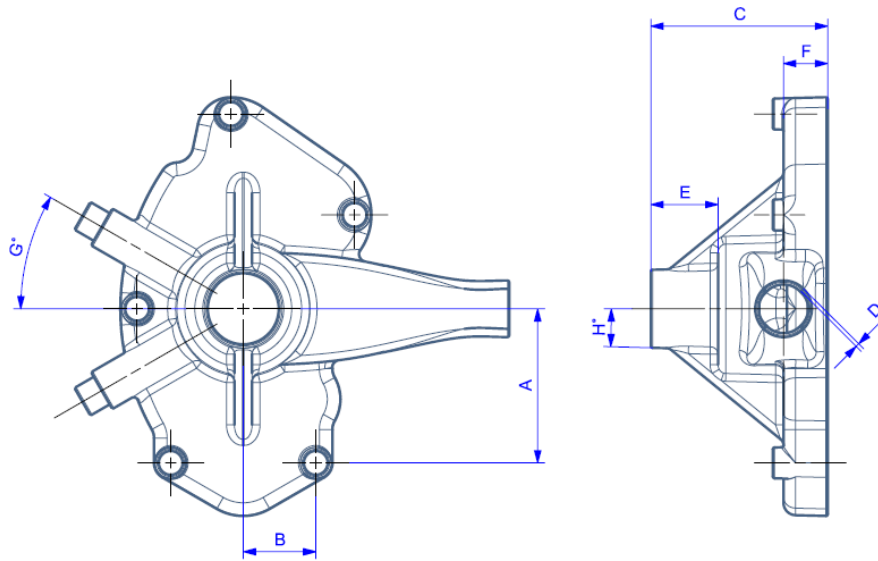


Imagen 10. Pieza 2 - Cotas para estudio

Los parámetros a variar son los siguientes:

- A – Dimensión Z agujero para tornillo
- B – Dimensión X agujero para tornillo
- C – Altura
- D – Espesor
- E – Altura escalón
- F – Altura base
- G – Ángulo ejes menores
- H – Ángulo de salida

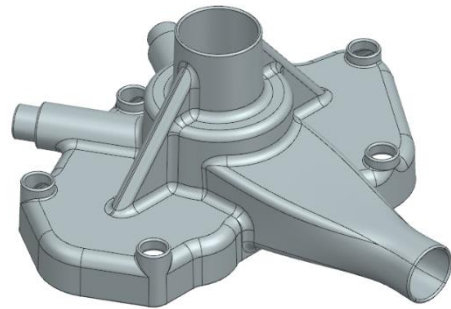


Imagen 11. Pieza 2 - Modelo 3D

Parámetro	Valor mín.	Valor máx.	Uds.	Paso	Escenarios por parámetro
A	87	89	mm	1	3
B	41	43	mm	1	3
C	80	140	mm	20	4
D	2	3	mm	0.5	3
E	38	46	mm	4	3
F	25	50	mm	12.5	3
G	30	45	°	15	2
H	1.5	4.5	°	1.5	3

Tabla 3. Pieza 2 - Valores de variación

3.2.3 Pieza 3 – Mangueta de dirección

Mangueta de dirección de la suspensión de automóvil. Las dimensiones están extraídas de un archivo step, se sacaron las dimensiones de él para su reconstrucción.

D

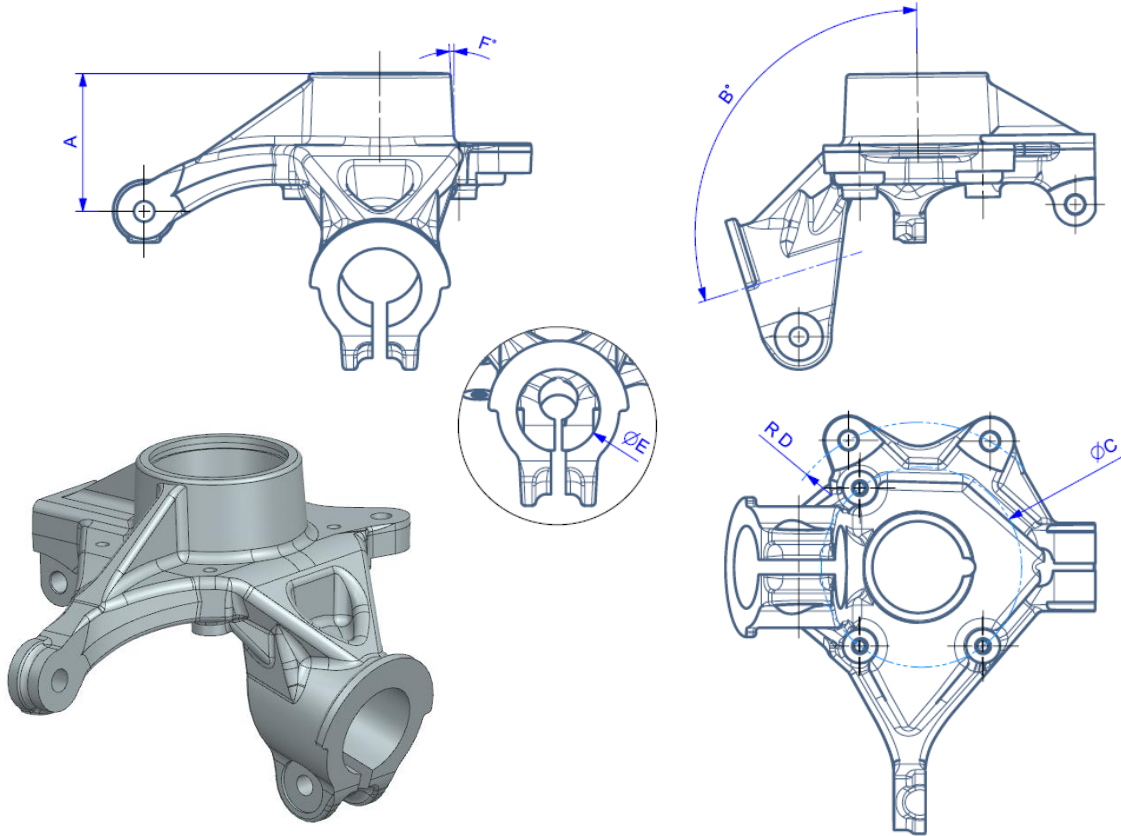


Imagen 12. Pieza 3 - Modelo 3D

Imagen 13. Pieza 3 - Cotas a estudiar

Los parámetros a variar son los siguientes:

- A – Altura brida lateral
- B – Longitud ejes mayores
- C – Diámetro agujeros interiores
- D – Radio agujeros exteriores
- E – Diámetro brida grande
- F – Ángulo de salida

Parámetro	Valor mín.	Valor máx.	Uds.	Paso	Escenarios por parámetro
A	52.83	3	mm	4	4
B	104.23	109.23	°	2.5	3
C	105.02	109.02	mm	2	3
D	76.77	82.77	mm	2	4
E	31	33	mm	1	3
F	4	6	°	1	3

Tabla 4. Pieza 3 - Valores de variación

3.3 Software y método de análisis empleado

3.3.1 Software

El software empleado para el diseño y análisis de variabilidad geométrica será NX, de la empresa Siemens en su versión [NX 1980](#), sacada a la luz en Junio de 2021 [10].

Version	1988
Part File Compatibility	Saved parts can be opened in 1980 or later
Build	2201
Channel	Main
Parasolid Version	33.1 (build 176)

Tabla 5. Versión NX empleado para este TFM

3.3.2 Análisis de robustez

Para el análisis de robustez geométrica se examinará el impacto de las metodologías formales frente a estudios de sensibilidad de los modelos CAD. Estos son aplicaciones que implementan algunos softwares CAD y que permiten realizar variaciones automáticas de ciertos parámetros del modelo introducidas por el usuario con el fin de determinar el número de regeneraciones completadas correctamente.

Para realizar el análisis geométrico se emplea el variador geométrico de NX *Sensitivity Study*:

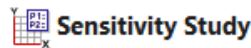


Imagen 14. Imagotipo de la aplicación Sensitivity Study

El funcionamiento de este es el siguiente:

- Se la dan como inputs los parámetros a variar.
- Se especifican los pasos a recorrer.
- Se asigna el tipo de distribución a seguir, para los análisis de este documento siempre será en empleará una distribución uniforme.
- Se indica el intervalo de variación de cada parámetro.

▼ Sensitivity Study Data

Vari...	Type	Feature Name	Name Chain	Values Count	Distribution Type	Lower Limit	Upper Limit	Location Parameter	Scal...	Sha...	
A	Expression	NA	NA	4	Uniform	80	140	NA	NA	NA	

Imagen 15. Ejemplo análisis Sensitivity Study Data NX

De esta forma, para el ejemplo de la imagen anterior, los valores que adoptará la variable A serían 80, 100, 120 y 140.

Tras realizar el análisis se volcarán los datos en una Excel y se contabilizará el número de casos de regeneración que se hayan completado correctamente:

Los datos se exportaran en formato tabla para el tratamiento su posterior tratamiento:

Update #	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
0432	1E+37	1E+37	1E+37	1E+37	1E+37	1E+37	80	26	24	29,5	22	28
0433	100	22	18	25,5	16	24	100	22	18	25,5	16	24

Tabla 6. Ejemplo resultados exportados del Sentivity Study de NX

En la primera columna se refleja el número del caso de estudio, combinación de los parámetros definidos para él.

De la columna dos a la columna siete (A-F) se presentan los valores que ha adoptado el parámetro tras la regeneración.

Y por último, de la columna ocho a la columna catorce (A-F) se presentan los valores que se le a dado en ese estudio a cada parámetro.

Entonces, si el parámetro A debe de valer, como en el ejemplo, 80 (columna ocho, fila dos), y en su columna correspondiente al valor adoptado (columna dos, fila dos) se muestra que ha adoptado un valor que tiende a infinito es indicativo de que no se ha podido regenerar la geometría, es decir, que alguna característica ha dado error:

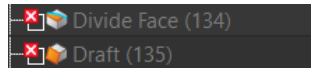


Imagen 16. Ejemplo características que presentan errores tras la regeneración.

Uno de los puntos negativos de los resultados que devuelve variador geométrico de NX es que algunos de los escenarios en los que aparecen advertencias al regenerar la geometría los toma como buenos, cuando estas características o funciones con advertencias, normalmente, suelen afectar a la geometría de la pieza haciendo que se pierda la intención del diseño.

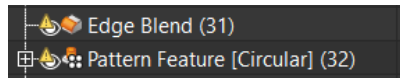


Imagen 17. Ejemplo características que presentan advertencias tras la regeneración.

Por ello, un trabajo extra que habría que realizar es ir comprobando uno a uno los modelos que el Sensitivity Study reporta regeneraciones correctas, para comprobar que no hay características que presenten advertencias.

Cabe mencionar que a diferencia de otros variadores geométricos, el que incorpora NX no refleja el tiempo invertido en la regeneración geométrica de cada análisis realizado, por lo que no se podrá incluir en el trabajo una comparación de ellos.

3.4 Interpretación de las metodologías – Casos de estudio

A continuación, se presentan algunos de los casos de debate en cuanto a la interpretación de las metodologías que han surgido durante la fase de modelado.

3.4.1 Horizontal Modeling

Pieza 1

Para el modelado de la pieza 1 por la metodología de Horizontal Modeling se plantearon dos interpretaciones:

1. Crear toda la geometría tal cual dice la patente, sin ninguna referencia entre las funciones/características del modelo.
2. Crear el modelo con expresiones que se empleen varias características y funciones, ya que la patente no restringe su uso. Esto no creará ninguna asociación entre las propias características, simplemente otorgará a diferentes cotas a un mismo valor vinculado a una expresión.

Para la primera interpretación, dado que el modelo está completamente desparametrizado, se empleará como cota de estudio la primera que se refleja en el árbol de diseño. En las imágenes 18 y 19 se muestra como ejemplo la [cota A](#) que se empleará para el estudio:

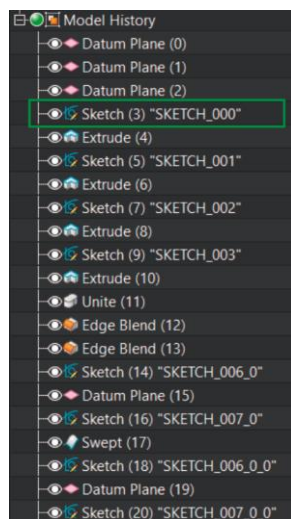


Imagen 19. Croquis que incluye la primera cota referente al valor A

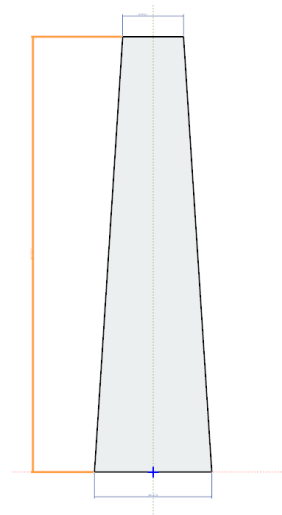


Imagen 18. Croquis 03 - Cota A

La segunda interpretación se plantea con la intención de dotar al modelo de inteligencia, ya que, ciñéndose a lo que refleja la patente, la mayoría los modelos regenerados perderían la intención de diseño.

A continuación, se muestran algunas de las expresiones empleadas:

Name	Formula	Value
A_Base_Largo	100	100
Alma_Ancho	8	8
Alma_Dist_Plano_Aux	$(A_Base_Largo - Tg_Pt_CGr - Tg_Pt_Cpeq) / 2 + Tg_Pt_CGr$	55.5
B_Saliente_Dist_Centro_Hole	24	24
C_CGr_Rad_Hole	18	18
CGr_Altura	21	21
CGr_Rad_Ext	$C_CGr_Rad_Hole + D_CGr_Esp$	26.5
CGr_Red_Ext	3.5	3.5

Se planteó realizar esto mismo para las piezas 2 y 3 pero dado el tiempo que requería crear y reflejar las expresiones necesarias para una correcta definición de la geometría se desestimó por el tiempo que ello conllevaría.

Pieza 3

La generación y estudio de la pieza 3 por la metodología HM se desestima debido a la falta de inteligencia del modelo por la que se caracteriza esta.

Si bien esta metodología, aun no conservando la intención del diseño, puede llegar ser de utilidad en algunos modelos de complejidad baja, a la hora de aplicarse en geometrías de complejidad media/alta, como es el caso de esta pieza, requiere demasiado trabajo frente a los valores de robustez previstos.

3.4.2 Explicit Reference Modeling

Pieza 3

Se realizarán tres estudios por la metodología ERM, uno de la pieza completa (Imagen 21, 1) y otros dos de la pieza sin incluir operaciones de nervio (Imagen 20, rodeados en rojo) ya que tras realizar los primeros análisis estos generaban errores en la mayoría de los escenarios de planteados.

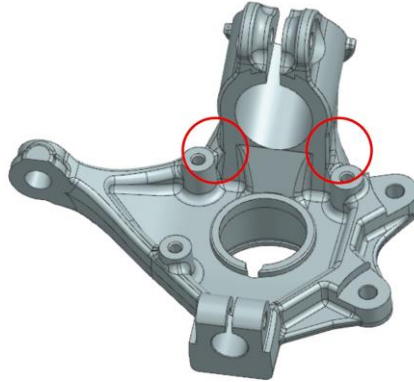


Imagen 20. Pieza 3, nervios producen errores de regeneración

Los estudios que excluyen estas características serán los siguiente:

- Modelo sin redondeos (Imagen 21, 2)
- Modelo incluyendo redondeos no críticos (Imagen 21, 3).

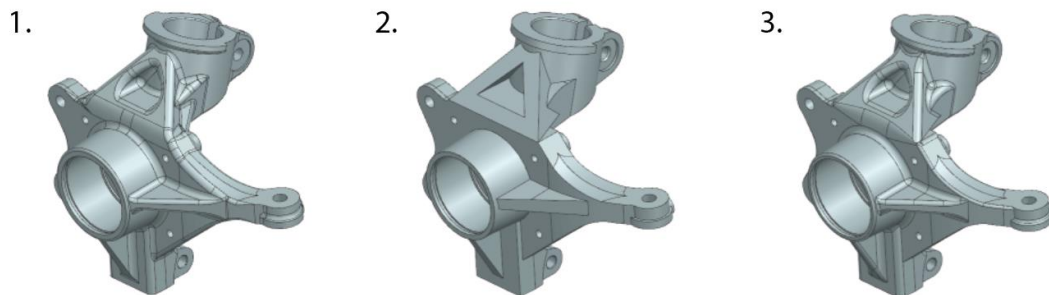


Imagen 21. Pieza 3 - ER - Casos a estudiar: 1. Pieza completa; 2. Pieza sin redondeos y 3. Pieza con redondeos modificados

3.4.3 Resilient Modeling

Para la definición del árbol de diseño de los modelos generados por la metodología RM no se incluirán los siguientes puntos descritos en ella:

- La carpeta 8 correspondiente a las variantes ya que no iba a realizar ninguna versión del modelo.
- En la pieza 3, el renombrar todos los elementos del árbol de diseño debido a la inversión de tiempo que ello conllevaría teniendo en cuenta que se realizaran varias versiones de cada uno de los modelos.

Pieza 2

Creación de nervios y vaciado

Esta metodología restringe como agrupar las diferentes características en el árbol de diseño, por ello, lograr una geometría determina puede resultar una tarea compleja, e incluso no ser capaz de obtenerse si la intención de diseño no es la correcta.

La primera distribución del árbol de diseño que se planteó proponía añadir los nervios como parte del grupo 2. Núcleo, ya que se entiende como parte fundamental y sólida de la pieza. Sin embargo, la operación de vaciado, los vacía, debido a su programación (WAD – Work As Desing).

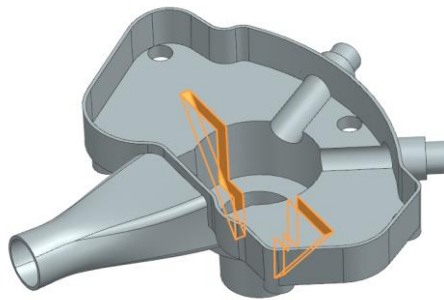


Imagen 22. Pieza 2 - Shell posterior a nervios

En softwares como Catia V5 está función está programada para no vaciar los nervios, interpretando que los estos no se deben vaciar ya que son una parte de refuerzo estructural de la geometría. Por lo tanto, para lograr la geometría deseada, se ha de replantear la intención de diseño con el objetivo de añadir esta operación aguas debajo de vaciado. Por tanto, se propuso que los nervios fuesen interpretados como características del grupo detalles, correspondientes a la capa 4.

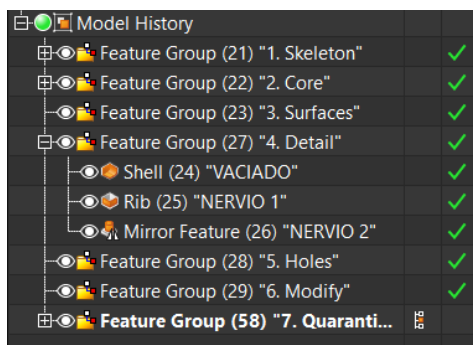


Imagen 24. Pieza 2 - Árbol Shell previo a nervios

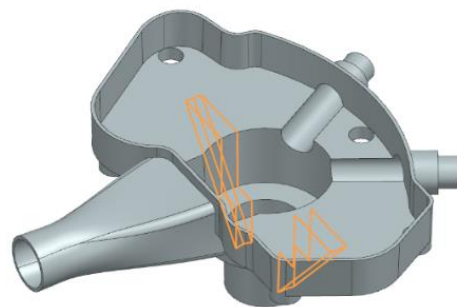


Imagen 23. Pieza 2 - Shell previo a nervios

Con este caso se refleja como el software es parte fundamental a la hora de plantear una estructura del árbol de diseño, ya que en función de cómo este esté programado podrá presentar limitaciones a la hora de generar ciertas geometrías.

Redondeos zona barrido

La metodología RM establece la generación de redondeos como últimas características del árbol, ubicándolos en el grupo 7, aguas abajo de todas las demás funciones y características empleadas.

En este caso, el programa era incapaz de aplicar el redondeo de las aristas interiores de la sección definida por superficies para los espesores a estudiar.

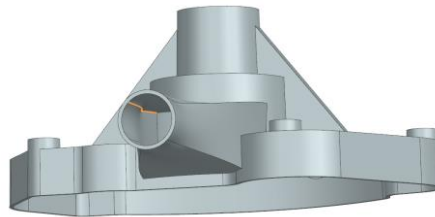


Imagen 25. Pieza 2 - Arista problemática frente a redondeo

Se realizó una reinterpretación de la pieza definiendo los redondeos exteriores de este sólido como detalles, incluyéndolos en el grupo de 4, previos al vaciado. Con ello, los redondeos interiores se generan automáticamente en función del espesor de la pieza establecido en la característica de vaciado.

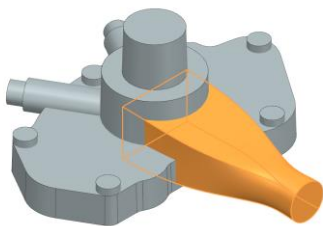


Imagen 27. Pieza 2 - Sólido a aplicar redondeo

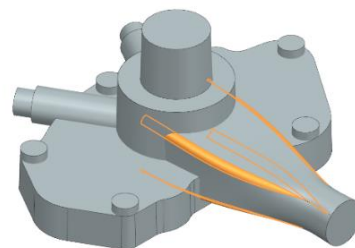


Imagen 26. Pieza 2 - Redondeo previo al vaciado

En la Imagen 28 se muestra como quedaría el árbol de diseño con esta interpretación:

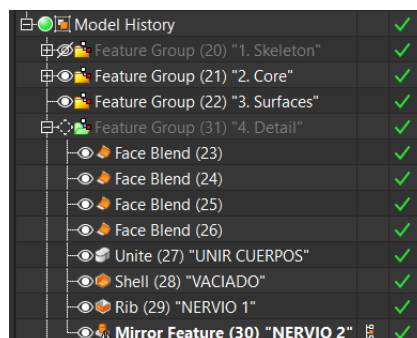


Imagen 28. Pieza 2 - Árbol redondeos previos al vaciado

Generación de redondeos por duplicado

Como objeción a esta metodología, entendiendo que una característica de vaciado es una operación ubicada previa al grupo 7, tras añadirla en el árbol de operaciones, las características pertenecientes a este grupo 7, bien sean redondeos o chaflanes, incrementarán entorno a dos

veces la cantidad de operaciones a añadir, puesto que habrá que aplicarlo tanto por fuera de la geometría como por dentro, en las caras afectas por el vaciado.



Imagen 30. Pieza 2 - Redondeos extra

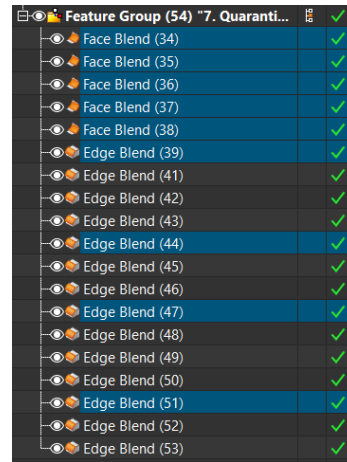


Imagen 29. Pieza 2 - Árbol con redondeos extra

Si se realizase en un paso previo al vaciado, al generar estas características, los redondeos exteriores se propagarán de forma automática al vaciado interior.

Pieza 3

Al igual que la resolución de esta pieza por la metodología de ERM, se plantean simplificaciones de geométricas para poder analizar los resultados excluyendo características propensas a producir errores tras la regeneración.

Para el análisis de este modelo mediante esta metodología se realizan también tres análisis, uno del modelo completamente definido y otros dos en los que se aprovechará la estructuración en grupos del árbol de diseño, realizando otros dos análisis:

- Excluyendo el grupo 7 de cuarentena.
- Excluyendo los grupos 6 y 7, de modificaciones y cuarentena respectivamente.

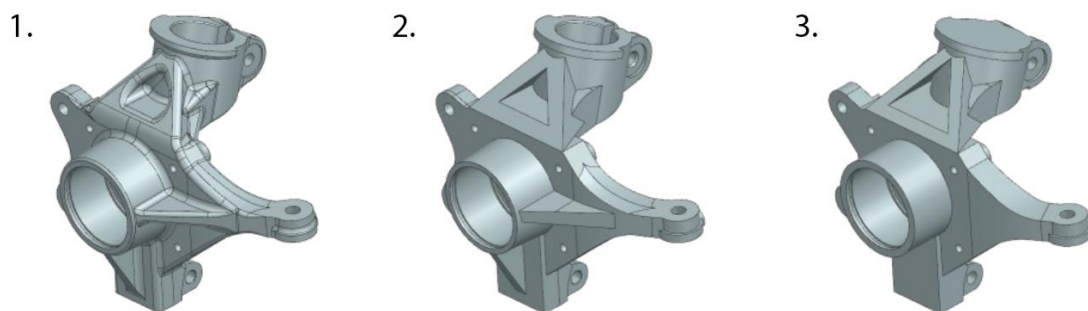


Imagen 31. Pieza 3 - RM - Casos a estudiar: 1. Pieza completa; 2. Pieza sin grupo 7 (Redondeos) y 3. Pieza sin grupos 6 (Modificaciones) y 7 (Redondeos)

4. ROBUSTEZ DE LOS MODELOS

Tras realizar los estudios se obtienen los siguientes datos:

4.1 Pieza 1

4.1.1 Resultados

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos del estudio de sensibilidad del modelado de la pieza 1 por las tres metodologías:

Pieza 1	Escenarios	Escenarios satisfactorios	% Éxito
HM	1728	324	18,75%
HM (parametrizado)	1728	323	18,69%
ERM	1728	1116	64,58%
RM	1728	1017	58,85%

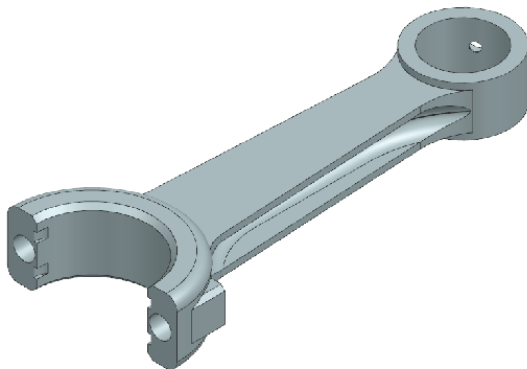
Tabla 7. Resultados Pieza 1

4.1.2 Análisis de los resultados

Como se puede observar en la Tabla 7, los resultados obtenidos tras los análisis de robustez realizados por HM son bastante inferiores a los que reflejan los análisis del modelo por las metodologías ERM y RM.

Hay que destacar que la mayoría de los escenarios en los que el análisis devuelve como regeneración correcta por HM, como se comentó anteriormente, pierden la intención de diseño por la desparametrización de la pieza, por lo que la mayoría de los resultados que NX reporta como generación correcta no lo son. Comparándolo con el modelo de HM parametrizado se obtiene un valor similar (18,69% frente a 18,75%) sin embargo la robustez de este será mayor ya que se mantiene la intención de diseño plasmada originalmente.

1. Parametrizado



2. Desparametrizado

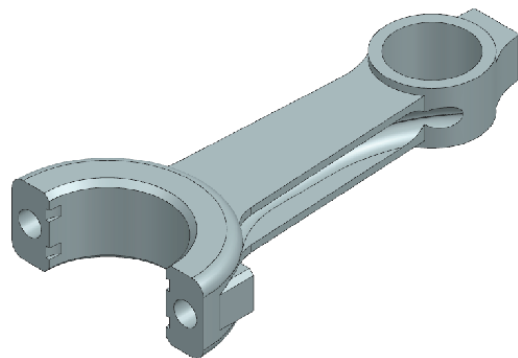


Imagen 32. Pieza 1 - Comparación Parametrización VS Desparametrización

Los modelos planteados por ERM y RM presentan un porcentaje de correcta regeneración elevado (64,58 y 58,85% respectivamente), siendo la metodología ERM la más robusta en cuanto a la interpretación de este modelo.

Cabe mencionar que ciertos de los escenarios de estudio a nivel geométrico independientemente de la metodología empleada no son posibles, por lo que estos fallaran en

todos los estudios realizados. Un ejemplo se puede ver en la Imagen 33, en ella se aprecia como para los valores establecidos en el plano se genera una intersección de las curvas.

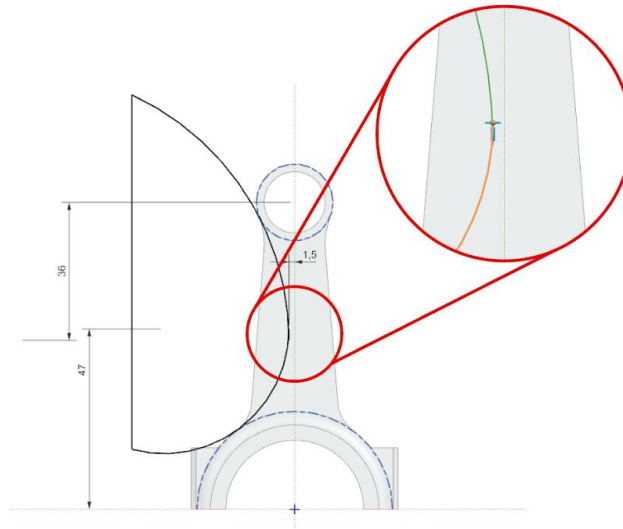


Imagen 33. Pieza 1, escenario geométricamente imposible

Comparando el porcentaje de regeneración con los estudios obtenidos en el documento publicado por [Aritz Aranburu](#), Josu Costillas, [Manuel Contero](#) y [Jorge D. Camba](#): *How Does the Modeling Strategy Influence Design Optimization and the Automatic Generation of Parametric Geometry Variations?* [2], se obtiene los siguientes resultados:

Pieza 1	Este estudio	Documento (2)	Diferencia
HM	18,75%	2,83%	15,92%
HM (parametrizado)	18,75%	2,83%	15,86%
ERM	64,58%	75,01%	-10,43%
RM	58,85%	75,01%	-16,16%

Tabla 8. Comparación resultados Pieza 1

La diferencia positiva a favor de la metodología HM lo más posible es que se deba a que ciertas advertencias el programa NX las considera como buenas, mientras que Solid Works no.

La diferencia negativa frente a las piezas ER y RM puede deberse a la interpretación de la metodologías y resolución de la geometría.

Esta comparación evidencia que la interpretación de las metodologías y la forma en la que estas se plasman en el modelo es muy importante ya que en base a ellas los resultados de robustez varían.

4.2 Pieza 2

4.2.1 Resultados

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos del estudio de sensibilidad del modelado de la pieza 2 por las tres metodologías:

Pieza 2	Escenarios	Escenarios satisfactorios	% Éxito
HM	3889	701	18,03%
ERM	3889	892	22,94%
RM	3889	325	8,36%

Tabla 9. Resultados Pieza 2

4.2.2 Análisis de los resultados

Igual que en la pieza anterior, hay que tener en cuenta que la metodología HM no conserva la intención de diseño en la mayoría de las combinaciones analizadas.

Se puede observar como aplicando la metodología RM el porcentaje de modelos regenerados con éxito es muy reducido (8,36%), sin embargo, el modelo por ERM presenta una robustez casi tres veces mayor (22,94%).

Cabe destacar que muchos de los errores generados son a raíz de los redondeos. Esto, en las geometrías modeladas por la metodología RM tiene fácil solución: entrar a la característica de redondeo y redefinirlo en base a los nuevos parámetros. Este mismo caso con el modelado por ERM podría presentar más complicaciones ya que estos redondeos normalmente se presentarán situados cercanos a la creación de la geometría a la que van asociados.

En las imágenes 34, 35 y 36 se muestra un ejemplo de este caso, resuelto por RM:

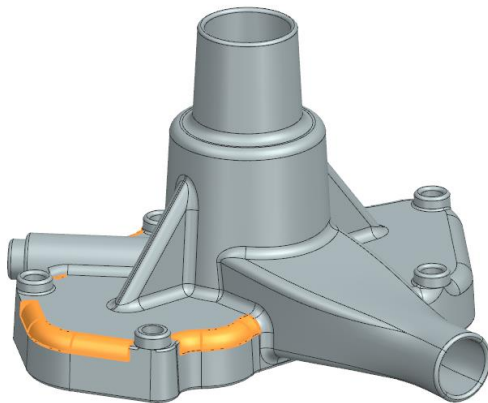


Imagen 35. Pieza 2 - Fallo regeneración de redondeos

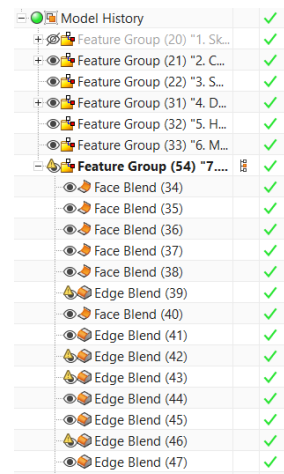


Imagen 34. Pieza 2 - Árbol regeneración de redondeos

Esto es algo que se extrapola también a la pieza 3, la cual presenta un gran número de redondeos. Por ello, un punto a favor de la RM es la agrupación de los redondeos al final del modelo, que consigue traducirse en que, aun habiendo errores geométricos, el paliarlos no conlleva tanto tiempo como si estos estuvieran intercalados entre el árbol de diseño del modelo.

Como puntos negativos frente a esto se presentan los ya mencionados en los apartados del documento de Redondeos zona barrido y Generación de redondeos por duplicado.

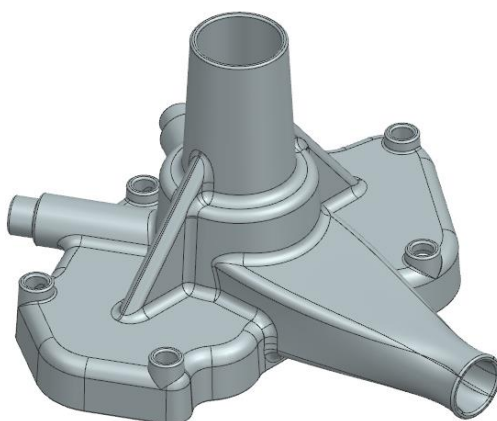


Imagen 36. Pieza 2 - Regeneración de redondeos reparada

Comparando el porcentaje de regeneración con los estudios obtenidos en el documento publicado por [Aritz Aranburu](#), [Josu Costillas](#), [Manuel Contero](#) y [Jorge D. Camba](#): [How Does the Modeling Strategy Influence Design Optimization and the Automatic Generation of Parametric Geometry Variations?](#) [2], se obtiene los siguientes resultados:

Pieza 2	Este estudio	Documento	Diferencia
HM	18,03%	2,57%	15,46%
ERM	22,94%	30,57%	-7,63%
RM	8,36%	7,73%	0,63%

Tabla 10. Comparación resultados Pieza 2

Para esta pieza se sacan las mismas conclusiones que para la Pieza 1: se obtiene una mayor robustez por el método HM debido a la interpretación de advertencias de cada programa; y en cuanto al modelado por ER; los más probable es que la diferencia esté en la interpretación de las metodologías y la estrategia empleada para resolver la geometría.

4.3 Pieza 3

4.3.1 Resultados

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos del estudio de sensibilidad del modelado de la pieza 3 por las metodologías ERM y RM:

Pieza 3	Escenarios	Escenarios satisfactorios	% Éxito
ERM sin redondeos	1296	884	68,21%
ERM simplificación redondeos	1296	211	16,28%
ERM	1296	1	0,08%
RM sin 6 y 7	1296	864	66,67%
RM sin redondeos	1296	360	27,78%
RM	1296	14	1,08%

Tabla 11. Resultados Pieza 3

4.3.2 Análisis de los resultados

Como se comentó en el apartado Horizontal Modeling, esta pieza no se resolverá por esta metodología. Además, en este punto ya se cuenta con los resultados obtenidos de las dos piezas anteriores modeladas por esta misma metodología, mostrando que esta presenta menos robustez frente a ERM y RM además de no conservar la intención de diseño.

Tras los resultados obtenidos en el estudio de esta pieza, de complejidad media/alta, es muy complicado obtener una robustez significativa en los modelos definidos completamente, con todos los redondeos. Se observa que el modelo por RM sí que es capaz de regenerar correctamente algún escenario, pero este es muy bajo comparado con el espacio muestral estudiado (1,08%).

Comparando los resultados de las geometrías simplificadas, se puede observar como para un modelo sin redondeos el modelo por ERM presenta mayor robustez (68,21% frente a 27,78%). Se aprecia también como incluyendo redondeos no conflictivos en el modelo por ERM simplificado, este presenta una robustez mínimamente aceptable teniendo en cuenta de nuevo la complejidad de su geometría.

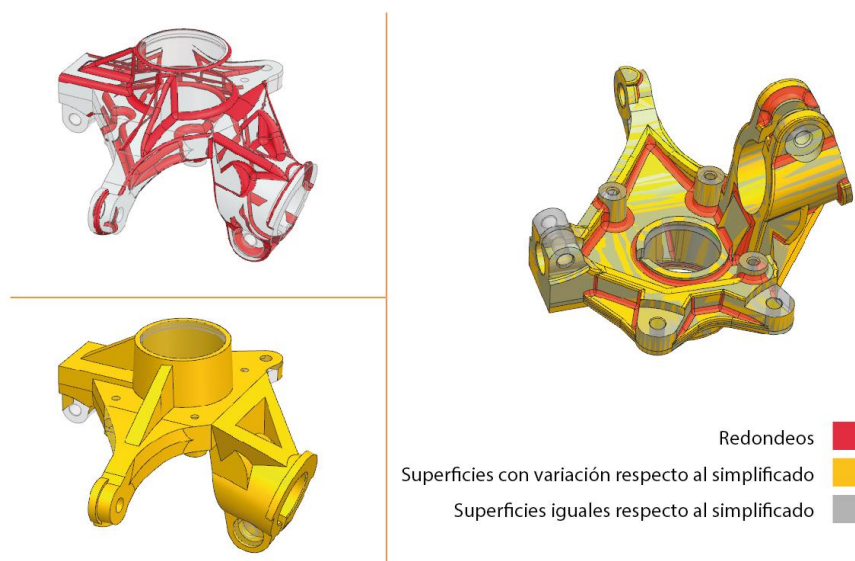


Imagen 37. Pieza 3 - ERM - Comparación geometría sin redondeos VS Redondeos simplificada

Comparando de nuevo el porcentaje de regeneración con los estudios obtenidos en el documento publicado por [Aritz Aranburu](#), Josu Costillas, [Manuel Contero](#) y [Jorge D. Camba](#): [How Does the Modeling Strategy Influence Design Optimization and the Automatic Generation of Parametric Geometry Variations?](#) [2], se obtiene los siguientes resultados:

Pieza 3	Este estudio	Documento	Diferencia
ERM Simplificada	68,21%	100,00%	-31,79%
ERM Simplificación redondeos	16,28%	1,15%	15,13%
ERM	0,08%	1,15%	-1,07%
RM sin 6 y 7	66,67%	66,77%	-0,10%
RM sin 7	27,78%	66,77%	-38,99%
RM	1,08%	0,08%	1,00%

Tabla 12. Comparación resultados Pieza 3

En los casos de los modelos definidos completamente se puede observar como la interpretación de la metodología no influye al enfrentarse a una geometría de esta complejidad, es muy difícil obtener una robustez aceptable teniendo en cuenta el número de redondeos y chaflanes que esta presenta.

En el modelo por ERM simplificado se puede observar claramente como la intención del diseño plasmada en sus estudios en base a esta metodología refleja una robustez del 100% frente a un 66,21% obtenido tras este estudio. Comparando el modelo por ERM con simplificación de redondeos frente a los modelos con todos los redondeos se aprecia como este presenta algo más de robustez, simplemente excluyendo algunos que eran propensos a fallar ante cualquier mínima variación topológica.

En cuanto a la metodología RM, comparando su simplificación con la realizada en este documento excluyendo el grupo 7 de redondeos, de nuevo, se plasma el valor que tiene la intención del diseño y la interpretación de las metodologías, ya que en su estudio se consigue obtener un 66,77% frente a un 27,78 obtenido tras este estudio.

5. ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado se presenta un estudio económico de este proyecto. Este se dividirá en base a la metodología según el tiempo invertido en ella. Estos datos serán útiles para ver cuál de ellas requeriría una implantación en empresa más rápida.

A continuación, se muestra el estudio económico referente al tiempo invertido en el estudio y aplicación cada una de las metodologías:

- Realizado por un ingeniero junior, salario: 15,83€/h.
- Los análisis se ejecutan en horas fuera de la jornada laboral.

Metodología	Horizontal	Explicit Reference	Resilient
Modelado - P1	5:50	3:00	5:30
Modelado - P2	2:20	15:15	11:20
Modelado - P3	-	46:30	86:17
Documentación	20:00	8:25	30:25
Total general	28:10:00	73:10:00	133:32:00
*Hora Ingeniero Junior	15,28 €	15.328,00 €	15,28 €
Total/Metodología	265,94 €	693,35 €	2.113,31 €

Tabla 13. Estudio económico - Metodologías

En la siguiente tabla se muestra la inversión en licencias referente a los programas empleados en los 5 meses de duración durante los que se ha desarrollado este TFM:

Software	Valor/año	Meses	Precio
Licencia NX	1.988,00 €	5	828,33 €
Paquete Office	69	5	28,75 €
Total			857,08 €

Tabla 14. Estudio económico - Programas empleados

Los dispositivos hardware empleados para el desarrollo de este trabajo han sido los siguientes:

- Ordenador personal:
 - CPU, Intel(R) Core (TM) i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz, 2592 Mhz
 - GPU, NVIDIA GeForce GTX 960M

Precio: 800€

- Servidor PC de la universidad:
 - CPU, Intel Xenon2295 @ 3.00 GHz; RAM, 64,00 GB Dual-Channel @ 1462 MHz
 - GPU, 4083 MB NVIDIA RTX A5000

Precio: 2.000€

El cálculo se realiza suponiendo una amortización de 5 años es el siguiente:

Equipo	Valor	Amortización	Precio
PC propio	800,00 €	5	66,67 €
PC servidor UPV	2.000,00 €	5	166,67 €
Ratón espacial	150,00 €	5	12,50 €
Total			245,83 €

Tabla 15. Estudio económico - Equipo empleado

6. CONCLUSIONES

La metodología HM supondría un gran avance en el año en el que salió la patente (2003). Esta puede ser bastante útil en cuanto a la definición de operaciones CAM dado que las empresas contarán con una maquinaria y unas herramientas concretas y los parámetros de corte para las operaciones a realizar con ellas, una vez definidos, se podrán volver a reutilizar haciendo cambios mínimos en ellas. Sin embargo, para realizar el modelo CAD no parece ser una técnica eficiente ya que el sacrificar la inteligencia del modelo en pos de una correcta generación de todas las características implica que haya que recolocar todas las que se hayan visto afectadas por ese parámetro. Esto en modelos simples puede ser sencillo, sin embargo, en modelos complejos puede requerir muchas horas de retrabajo.

Por lo tanto, la metodología HM, hoy en día, se queda obsoleta frente a las otras dos, como motivo principal para tomar esta conclusión es que los modelos carecen de inteligencia y se pierde la idea de diseño inicial.

Las metodologías ERM requiere un tiempo de aprendizaje relativamente corto y la robustez de los modelos generados por ella es más que aceptable.

La metodología RM es bastante restrictiva, hay que tener la idea de diseño clara desde el primer momento. Sin embargo, esto hace que se reduzca el número de posibles árboles de diseño ya que unifica más la forma de trabajar y de interpretar la intención de diseño inicial.

El tener que definir una idea de diseño tan clara y bien definida requiere mucho más tiempo y, en ocasiones, hasta que no se comienza a modelar no se termina de pulir. Cabe destacar que cualquiera que esté familiarizado con la metodología RM al ver el árbol va a entender de una forma muy clara la intención del diseño, y la ventaja de irse moviendo por carpetas favorece bastante esta labor.

Dando una opinión objetiva, tras el estudio realizado la metodología ERM parece ser la que presenta mayor robustez tanto en modelos de baja complejidad como en modelos de en la que esta es elevada. Si bien cabe destacar el planteamiento de los redondeos al final del árbol de diseño por parte de la metodología RM, lo que evita que los más propensos a producir errores se presenten como características padre de otras. Esto, como se puede ver en la regeneración de modelos por ERM, conlleva que sus hijas, al estar asociadas a una geometría que no ha sido posible generar, tampoco lo puedan hacer.

Teniendo en cuenta el tiempo invertido en la comprensión de las metodologías y la robustez obtenida por cada uno de ellos, la más eficiente parece ser la metodología ERM.

Por otro lado, la influencia de la interpretación de las metodologías, la intención del diseño plasmada, el software empleado y la experiencia del diseñador son factores clave, los cuales interviene de una forma determinante en la robustez de los modelos paramétricos.

6.1 Líneas futuras

Para futuros trabajos de investigación que permitan desarrollar y profundizar más en torno a las metodologías de modelado paramétrico, la intención de diseño y su robustez se presentan las siguientes sugerencias y recomendaciones:

- Realizar este trabajo con otros Software, diferentes de Solid Works y NX.
- Realizar estudios con otras piezas y metodologías.
- Analizar el coste temporal de regeneración manual de los casos de error producidos en los escenarios presentados.
- Investigar la posibilidad de realizar una metodología que aplique los puntos fuertes de ERM y de RM.
- Realizar estudios sobre los grafos generados en base a la influencia de las metodologías, la intención de diseño y la robustez de los modelos.

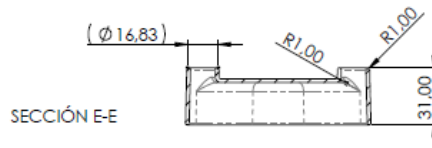
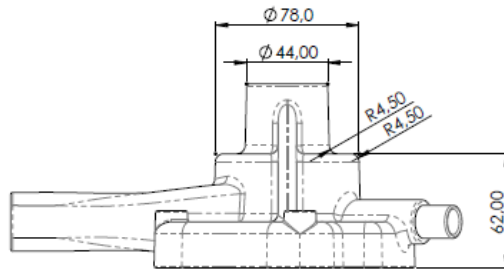
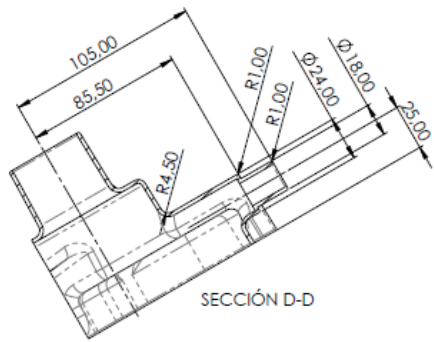
7. REFERENCIAS

- 1 OTEY, Jeffrey, et al. Revisiting the design intent concept in the context of mechanical CAD education. *Computer-aided design and applications*, 2018, vol. 15, no 1, p. 47-60.
- 2 ARANBURU, Aritz, et al. How does the modeling strategy influence design optimization and the automatic generation of parametric geometry variations?. *Computer-Aided Design*, 2022, vol. 151, p. 103364.
- 3 ARANBURU, Aritz, et al. Geometric variability in parametric 3D models: Implications for engineering design. *Procedia CIRP*, 2022, vol. 109, p. 383-388.
- 4 LANDERS, Diane M.; KHURANA, Pravin; MUSCOTT, Bradley T. *Enhancement to horizontally-structured CAD/CAM modeling*. U.S. Patent No 7,308,386, 11 Dic. 2007.
- 5 BODEIN, Yannick; ROSE, Bertrand; CAILLAUD, Emmanuel. Explicit reference modeling methodology in parametric CAD system. *Computers in Industry*, 2014, vol. 65, no 1, p. 136-147.
- 6 GEBHARD, Richard. Resilient Modeling Strategy V11 (RMS). RMS V11.D1 (Beta) [en línea]. Junio de 2013 [consultado el 25 de julio de 2023]. Disponible en: <https://www.resilientmodeling.net/>
- 7 JACKSON, CHAD, DAVID PRAWEL y PAUL BROWN. The 2013 State Of 3d Collaboration and Interoperability Report. Siemens Software [en línea]. 2013 [consultado el 25 de julio de 2023]. Disponible en: https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/Lifecycle-Insights-2013-Collaboration-Interoperability_tcm1023-210162
- 8 CAMBA, Jorge D.; CONTERO, Manuel; COMPANY, Pedro. Parametric CAD modeling: An analysis of strategies for design reusability. *Computer-Aided Design*, 2016, vol. 74, p. 18-31.
- 9 COMPANY, Pedro y Carmen GONZÁLEZ-LLUCH. CAD 3D con SolidWorks UJI. CAD 3D con SolidWorks UJI [en línea]. [sin fecha] [consultado el 25 de julio de 2023]. Disponible en: <http://cad3dconsolidworks.uji.es>
- 10 JACKSON, CHAD, DAVID PRAWEL y PAUL BROWN. The 2013 State Of 3d Collaboration and Interoperability Report. Siemens Software [en línea]. 2013 [consultado el 25 de julio de 2023]. Disponible en: https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/Lifecycle-Insights-2013-Collaboration-Interoperability_tcm1023-210162

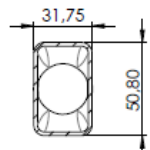
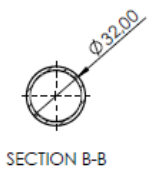
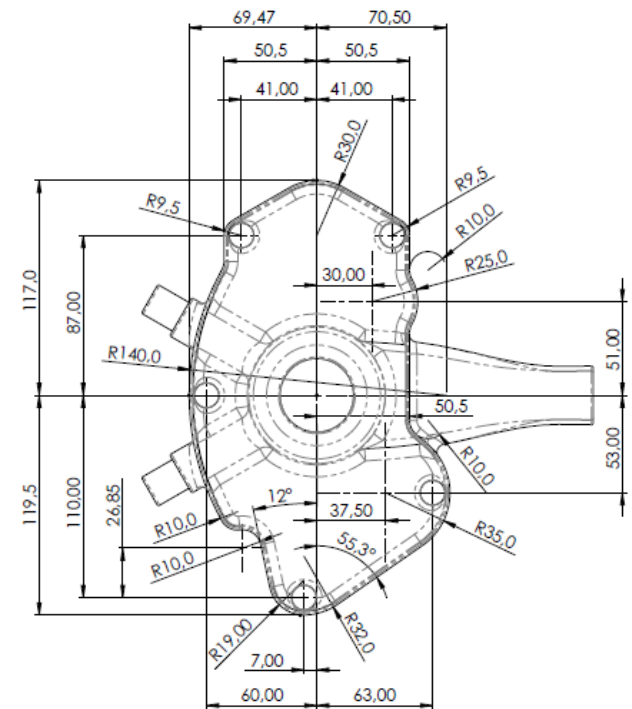
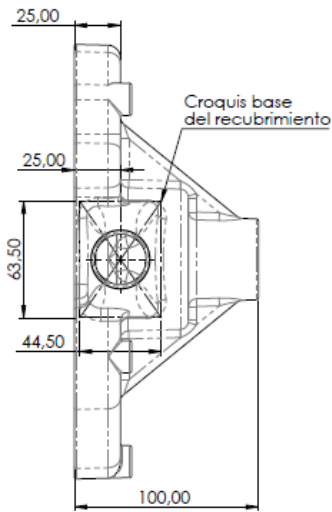
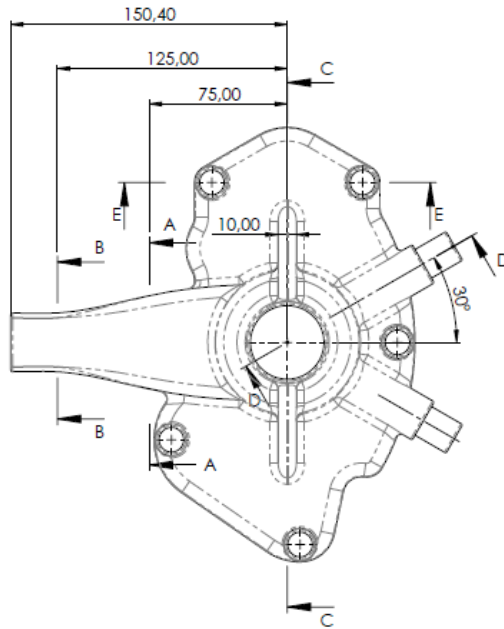
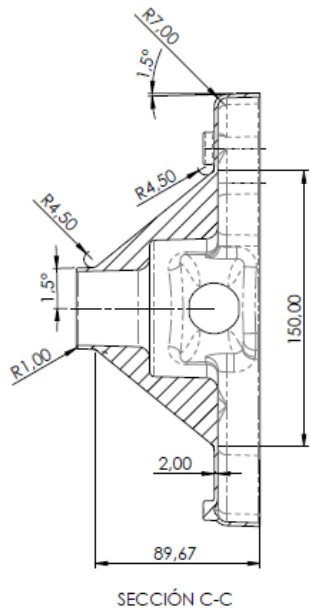
Anexos

1. Planos

- a. Plano Pieza 1
- b. Plano Pieza 2



* Todos los ángulos de salida deben parametrizarse bajo el mismo valor



	GOI ESKOLA POLITEKNIKA ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR	Mekanizata (,)	Perlo orokorra ISO 2768 - mk	A2	Izena	Data
				Marraztua	-	-
Eskala				Plano Zbk.		
1:2				- Plano Zbk. ordezkatuta		