

3.7.2

INGENIERÍA INVERSA GEOMÉTRICA

Ingeniería inversa

Ing. inversa

Ing. inv. geométrica

Preproceso

Captura de datos

Escaneo 3D

Postproceso

Mallado

Superficies

Características

En la **ingeniería inversa** se analiza el producto final para deducir su información técnica

También se denomina **retroingeniería**

La ingeniería inversa se caracteriza por:

- ✓ Se obtienen las **especificaciones** de un producto, examinando sistemáticamente un espécimen ya existente de dicho producto
- ✓ Las especificaciones las obtienen **personas diferentes de quienes crearon el producto original**, y sin disponibilidad para acceder a las especificaciones originales
- ✓ El objetivo es producir una **réplica**, o “clon”, del producto original

La ingeniería inversa ha evolucionado:

Desde captura de datos críticos del producto

Para iniciar el procedimiento de rediseño manual



Hasta obtener modelos computacionales avanzados

Método para comprender cómo es y cómo funciona un producto

Ingeniería inversa

Ing. inversa

Ing. inv. geométrica

Preproceso

Captura de datos

Escaneo 3D

Postproceso

Mallado

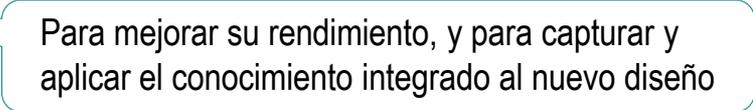
Superficies

Características

El análisis técnico mediante ingeniería inversa puede servir para múltiples **ámbitos**:

- ✓ Análisis **morfológico** para determinar la forma del producto
- ✓ Análisis **estructural** para determinar cuáles son los componentes del producto
- ✓ Análisis de **funcionamiento** para determinar cómo interactúan entre sí
- ✓ Análisis **tecnológico** para determinar cuál fue el proceso de fabricación
- ✓ Análisis de **materiales** para determinar los materiales empleados

Los **objetivos** más comunes en todos los ámbitos son:

- ✓ **Recuperar** información perdida de productos industriales
- ✓ **Reestudiar** productos existentes para simplificar su diseño, su uso o su mantenimiento  Para mejorar su rendimiento, y para capturar y aplicar el conocimiento integrado al nuevo diseño
- ✓ **Descubrir** modos para permitir la reutilización de productos existentes, para alargar su ciclo de vida

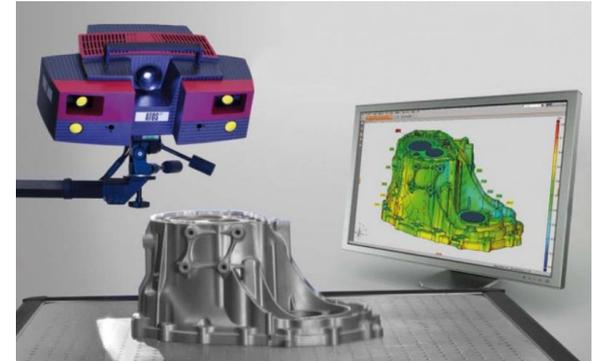
Ingeniería inversa geométrica

Ing. inversa
Ing. inv. geométrica
Preproceso
Captura de datos
Escaneo 3D
Postproceso
Mallado
Superficies
Características

En el ámbito del CAD, la ingeniería inversa es el conjunto de técnicas para obtener modelos CAD a partir de productos ya existentes

Se relaciona con “*shape engineering*”

Anwer N., Mathieu L. (2016) From reverse engineering to shape engineering in mechanical design. CIRP Annals - Manufacturing Technology 65 (2016) 165–168doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.052



Constantin Dolgan
CAT-Automotive-foundry-photo-1_500H-e76622e4d6

Se define **ingeniería inversa geométrica** como el proceso de extracción de geometría de un producto existente para *replicar* un modelo CAD en 3D

También se denomina:

- ✓ *Reconstrucción CAD*
- ✓ *Modelado geométrico inverso*
- ✓ *Ingeniería inversa de modelos geométricos*

Várady T., Martin R.R., Cox J. (1997) Reverse engineering of geometric models—an introduction. Computer-Aided Design, 29(4), pages 255-268. doi.org/10.1016/S0010-4485(96)00054-1

Ingeniería inversa geométrica

Ing. inversa

Ing. inv. geométrica

Preproceso

Captura de datos

Escaneo 3D

Postproceso

Mallado

Superficies

Características



El modelo CAD de un producto puede no estar disponible porque no existe, o ya no corresponde a la geometría real del propio objeto fabricado

Esto puede deberse a diversas circunstancias:

- √ Cuestiones relacionadas con la **fabricación** (tales como objetos hechos a mano, o cambios de postproducción)
- √ **Desgaste** que se produce durante la vida útil de una pieza (por ejemplo, reparación de piezas desgastadas)
- √ **No disponibilidad** de datos digitales (por ejemplo, rediseño de piezas obsoletas fabricadas en la era pre-digital, restricción legal o secreto comercial)

Ingeniería inversa geométrica

Ing. inversa

Ing. inv. geométrica

Preproceso

Captura de datos

Escaneo 3D

Postproceso

Mallado

Superficies

Características

El proceso completo de ingeniería inversa geométrica puede constar de diferentes fases:

- 1 **Preprocesar** la información disponible, analizando el producto original para decidir el tipo y la calidad de la réplica requerida
- 2 **Capturar** datos dimensionales del producto original
- 3 **Postprocesar** los datos obtenidos, analizando y depurando la información geométrica

En general, el postproceso puede abarcar tres niveles de transformación:

- ✓ Obtener modelos geométricos de bajo nivel semántico (mediante poligonalización o **mallado**)
- ✓ Refinar el modelo CAD para obtener modelos explícitos de mayor nivel semántico (**B-Rep**)
- ✓ Convertir los modelos explícitos en procedurales (**CSG**)

Ingeniería inversa geométrica

La fase de **captura de datos** de la geometría de un objeto se puede hacer de dos modos:

- ✓ Mediciones con **instrumentos convencionales** de metrología

Los **métodos tradicionales** de captura de datos en ingeniería inversa geométrica de un producto se apoyan en medición mediante reglas, u otros instrumentos más específicos



Con la ayuda de la plantilla se determina si el inserto de pomo de la silla se ajusta al caballo

Los procedimientos son laboriosos y potencialmente poco precisos



Se pueden ver ejemplos en la lección 3.7

- ✓ Mediciones con instrumentos de **captura masiva** de datos

Ing. inversa

Ing. inv. geométrica

Preproceso

Captura de datos

Escaneo 3D

Postproceso

Mallado

Superficies

Características

Ingeniería inversa geométrica

Ing. inversa

Ing. inv. geométrica

Preproceso

Captura de datos

Escaneo 3D

Postproceso

Mallado

Superficies

Características

Cuando se recurre a métodos de captura masiva de datos, las **etapas** de la ingeniería inversa geométrica son:

1 Preproceso

- ✓ Analizar
- ✓ Clasificar

2 Captura de datos

- ✓ Medir nubes de puntos
- ✓ Mallar

3 Postproceso

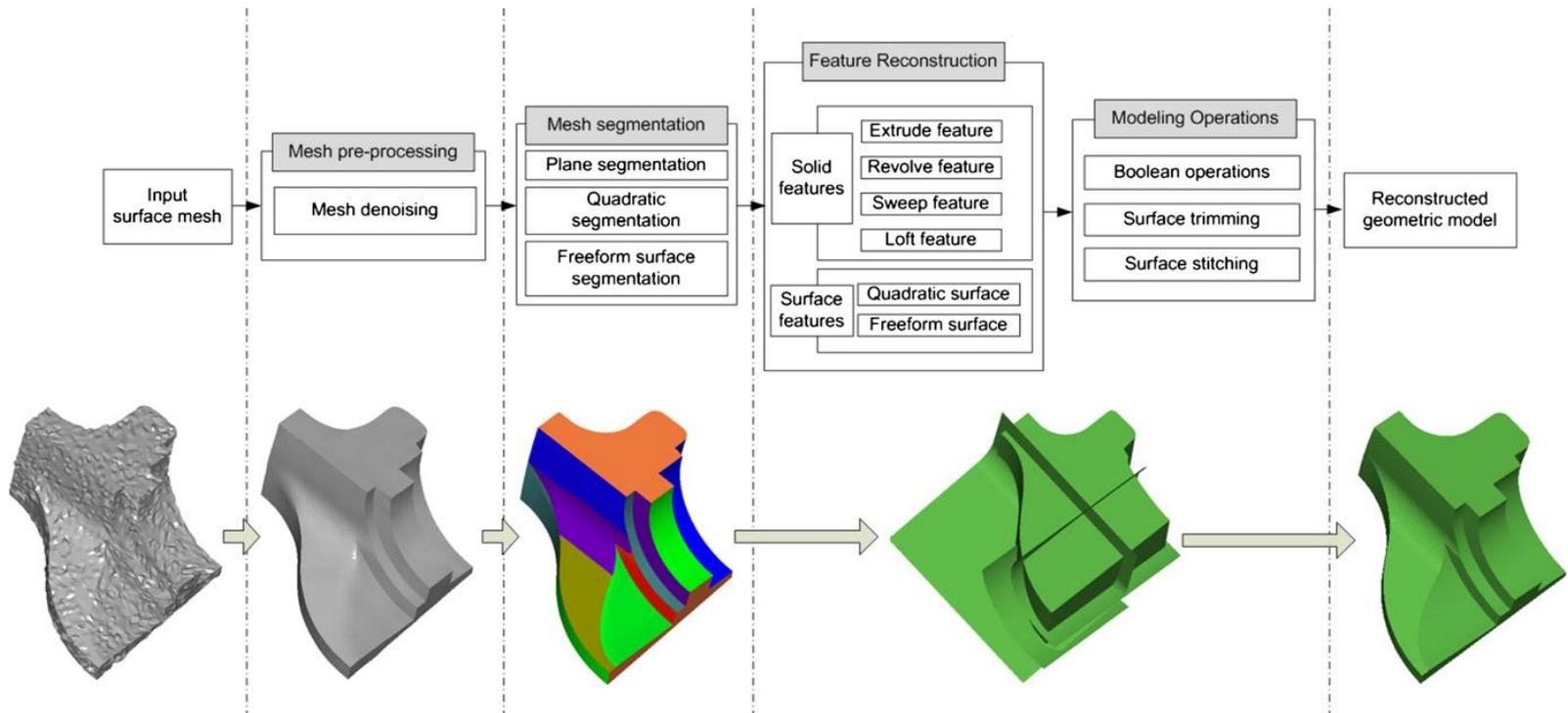
- ✓ Segmentar
- ✓ Ajustar superficies
- ✓ Detectar características

En realidad, las etapas describen procesos que no son necesariamente ni independientes ni secuenciales, puesto que pueden omitirse, solaparse o repetirse iterativamente

Ingeniería inversa geométrica



Las etapas de los procedimientos académicos existentes para obtener modelos procedurales a partir de modelos mallados quedan ilustradas por Wang y otros en la siguiente figura:



Wang J., Gu D., Yu Z., Tan C., Zhou L. A framework for 3D model reconstruction in reverse engineering. Computers & Industrial Engineering 63 (2012) 1189–1200

Ing. inversa

Ing. inv. geométrica

Preproceso

Captura de datos

Escaneo 3D

Postproceso

Mallado

Superficies

Características

Preproceso

El modelado inverso comienza con una etapa de **preproceso**, que hay quien considera trivial pero es crítica:

- ✓ Se **analiza** el objeto, para extraer toda la información geométrica de alto nivel semántico que sea relevante

Ejemplos típicos de entidades geométricas que se consideran durante esta fase son simetrías, ejes de revolución, direcciones de extrusión, plano caras, etc.

Buonamici F., Carfagni M., Furferi R., Governi L., Volpe Y. (2020)
CAD Reconstruction: A Study on Reverse Modelling Strategies. ADM 2019, LNME, pp. 165–176, 2020.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-31154-4_15

- ✓ Se **clasifica** el objeto, para decidir cómo orientarlo en una posición conveniente para las mediciones

Esta elección es importante, ya que influye en la calidad del modelo CAD que se obtiene

También se determinan los protocolos de medida, los instrumentos de medición, y los elementos de soporte y fijación (anclajes)

Captura de datos

Ing. inversa

Ing. inv. geométrica

Preproceso

Captura de datos

Escaneo 3D

Postproceso

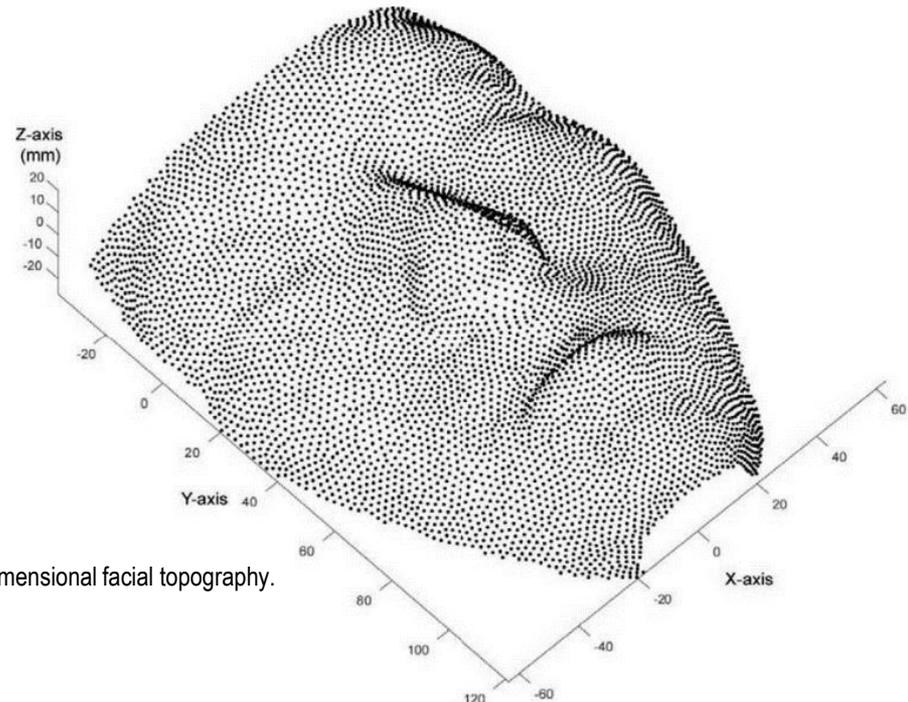
Mallado

Superficies

Características

La **captura masiva** de datos utiliza máquinas automáticas que aprovechan diferentes fenómenos físicos para interactuar con la superficie del objeto, midiendo coordenadas de sus puntos

Las **nubes de puntos** son conjuntos de puntos de una superficie determinados mediante diversos métodos de muestreo

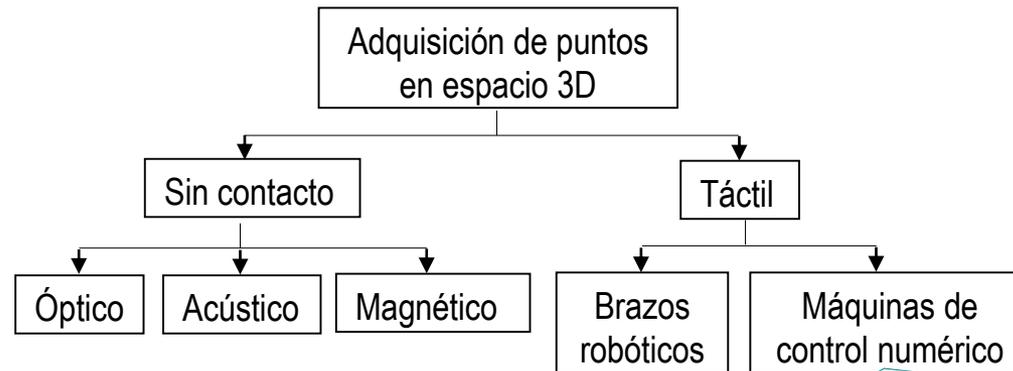


Tanikawa C., Takada K. (2018)
Test-retest reliability of smile tasks using three-dimensional facial topography.
Angle Orthod. 88(3):319-328.
doi: 10.2319/062617-425.1.

Captura de datos

Los aspectos críticos de la adquisición de datos son:

- ✓ Hay **muchas técnicas** de captura, con diferentes rangos de precisión, velocidad y coste



Várady T., Martin R.R., Cox J. (1997) Reverse engineering of geometric models—an introduction. Computer-Aided Design, 29(4), pages 255-268. doi.org/10.1016/S0010-4485(96)00054-1

Se puede encontrar una clasificación más exhaustiva en:

Geng Z., Bidanda B. (2017) Review of reverse engineering systems – current state of the art. Virtual and Physical Prototyping, 12(2), 161–172. <https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1302787>

- ✓ La **captura sin contacto** es más rápida y barata, pero menos precisa que la táctil
- ✓ Todos los datos capturados requieren **postproceso**, porque tienen imperfecciones, y bajo nivel semántico

Captura de datos



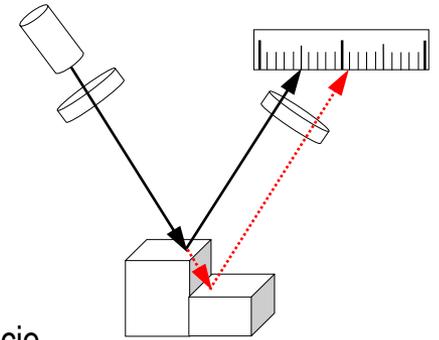
Hay dos tecnologías de **captura óptica** dominantes:

- 1 La **triangulación** utiliza la ubicación y los ángulos entre las fuentes de luz y los dispositivos fotosensibles para deducir posición

Se enfoca una fuente de luz de alta energía (p.e. laser) y proyectada en un ángulo previamente especificado sobre la superficie de interés

Un dispositivo fotosensible, generalmente una cámara de video, detecta el reflejo de la superficie

Con el ángulo conocido y las distancias, se triangula geoméricamente la posición de cada punto de la superficie



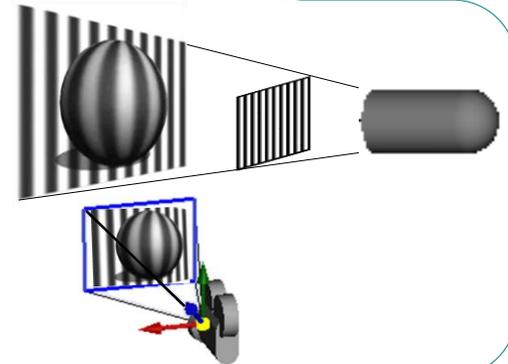
- 2 La **iluminación estructurada** implica proyectar patrones de luz sobre una superficie y capturar la imagen del patrón resultante reflejado por la superficie

Se proyecta un patrón de imagen sobre el objeto

Se captura la imagen del patrón

Se mide la deformación del patrón

Esta deformación es proporcional a la diferencia de distancias, y así se pueden deducir las coordenadas de los puntos de la superficie



Ing. inversa

Ing. inv. geométrica

Preproceso

Captura de datos

Escaneo 3D

Postproceso

Mallado

Superficies

Características

Captura de datos



Hay tecnologías de **captura óptica** válidas para otros fines:

- 3 Los métodos de determinación de distancia (**alcance**, **ranging** o **LIDAR**) miden distancias detectando el tiempo de vuelo de rayos de luz

Es similar al radar, pero los aparatos suelen estar basados en láseres o haces pulsantes

Su precisión depende de la precisión en la medición del tiempo de vuelo, por lo que los errores relativos son mayores cuando el objeto es pequeño y el aparato está cerca

- 4 Los métodos de **interferometría** miden distancias en términos de longitudes de onda, usando patrones de interferencia

Este método es potencialmente muy preciso, ya que la luz visible tiene una longitud de onda del orden de cientos de nanómetros

- 5 El **análisis de imagen** se basa en pares estéreo, cuyas diferencias proporcionan suficiente información para determinar distancias y posición de coordenadas

Es similar a la iluminación estructurada porque se analizan marcos para determinar las coordenadas de los puntos

- 6 El **análisis de secciones transversales** (rayos X, TAC, etc.) permite acceder al interior sin romper los objetos huecos

Obviamente es el método dominante en medicina, pero también tiene utilidad para analizar productos industriales con oquedades complejas (por ejemplo, los moldes, las soldaduras, etc.)

Captura de datos



La captura masiva de datos tiene muchos problemas prácticos:

- ✓ Fallos inducidos por el **aparato** de escanear:
 - ✓ Necesidad de recalibrar el aparato periódicamente
 - ✓ Fallos de precisión y ruido inherentes al método de captura
- ✓ Fallos inducidos por la **pieza** a escanear:
 - ✓ Fallos de accesibilidad de ciertas geometrías (auto-oclusiones, oclusiones por anclajes)
 - ✓ Fallos producidos por el acabado superficial (rugosidades, brillos, reflexiones)
 - ✓ Fallos propios de la pieza particular escaneada (¿es el ejemplar escaneado representativo?)
- ✓ Fallos inducidos por el **proceso** de escaneado:
 - ✓ Datos agrupados en diferentes vistas (que se deben combinar), debido a cambios de punto de vista durante el escaneo de objetos grandes (formados por diferentes “regiones”)

Se utilizan algoritmos basados en suposiciones previas (“priors”) para filtrar las imperfecciones en las nubes de puntos

Berger M., Tagliasacchi A., Seversky L.M. (2014) State of the Art in Surface Reconstruction from Point Clouds. EUROGRAPHICS 2014/, STAR – State of The Art Report. DOI: 10.2312/egst.20141040

Además, ningún aparato, por caro y eficaz que sea, puede generar automáticamente modelos CAD de alto nivel:

La captura 3D genera modelos 3D en forma de polígonos o nubes de puntos



Se requiere **post-proceso** para convertir esa información en modelos CAD procedurales

Ing. inversa

Ing. inv. geométrica

Preproceso

Captura de datos

Escaneo 3D

Postproceso

Mallado

Superficies

Características

Escaneo 3D

Ing. inversa
Ing. inv. geométrica
Preproceso
Captura de datos
Escaneo 3D
Postproceso
Mallado
Superficies
Características

Un **escáner 3D** es un instrumento óptico que permite reconstrucciones sin contacto de geometrías complejas con una precisión muy alta

El escaneo 3D captura masivamente grandes cantidades de puntos de la superficie del objeto



ultrasoundscanworld.co.uk

Incluso en las superficies más complejas

Los aparatos incluyen componentes ópticos y electrónicos complejos, que requieren calibración y sincronización, por lo que hay calidades y precios muy distintos

Barbero B.R., Ureta E. S. (2011) Comparative study of different digitization techniques and their accuracy, Computer-Aided Design 43, 188–206.



Escaneo 3D

Elegir el escáner apropiado es *complejo*, porque hay dos criterios, cuya combinación da lugar a cuatro tipos de escáner, con diferentes ventajas e inconvenientes:

1 Tecnología de captura:

Luz estructurada	↔	Triangulación con laser
Mayor rapidez y nitidez de detalles		Mayor precisión y rango de tamaños
Requiere control de la luz ambiente ✗		✗ Requiere control o tratamiento de ciertas superficies reflectantes
No se pueden escanear objetos muy grandes, o con grandes oclusiones ✗		✗ Riesgo de daño ocular para los operarios

Ameen W., Al-Ahmari A.M., and Mian S.H. (2018) Evaluation of Handheld Scanners for Automotive Applications. Appl. Sci. 2018, 8, 217; doi:10.3390/app8020217

2 Colocación relativa entre el aparato y el objeto:

Aparato móvil y objeto fijo	↔	Aparato estacionario y objeto móvil
Flexible , para acceder a zonas difíciles		Preciso , para combinar todos los datos
Apropiado para objetos grandes o pesados, difíciles de mover ✓		✗ Tamaño y peso limitados por el alcance del escáner y la capacidad de mover automáticamente el objeto
Obtiene diversos conjuntos de nubes de puntos, que hay que integrar ✗		✓ Mide todos los puntos respecto a la misma referencia

Sucesión de "fotos" fijas

Película continua, si el objeto se mueve automáticamente

Postproceso

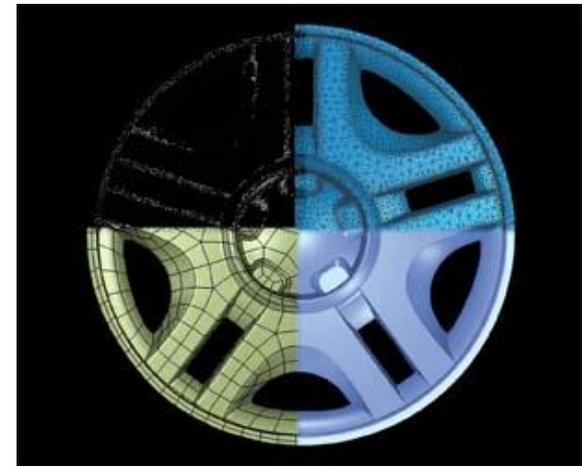
Ing. inversa
Ing. inv. geométrica
Preproceso
Captura de datos
Escaneo 3D
Postproceso
Mallado
Superficies
Características

Los métodos de **post-proceso** de la ingeniería inversa geométrica mediante escaneo sirven para:

- ✓ Corregir los fallos de captura de la geometría
- ✓ Aumentar el nivel semántico de la información geométrica

Los métodos de post-proceso se han heredado del modelado geométrico y el procesamiento de información gráfica, y producen tres **tipos de modelos**:

- 1 Modelos facetados, mediante generación de **mallas**, o teselado
- 2 Modelado **B-Rep**, mediante reconstrucción de superficies
- 3 Modelado procedural **CSG**, mediante reconocimiento de características

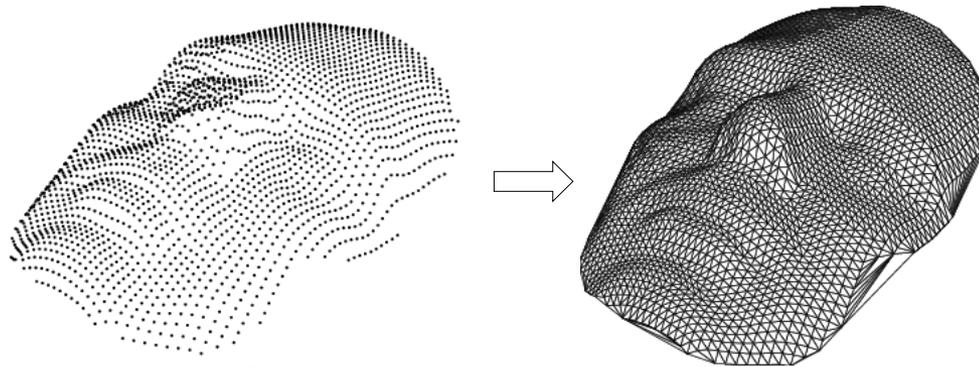


Geomagic

Se pueden aplicar independientemente, aunque, a veces, se aplican secuencialmente

Mallado

Para obtener modelos de superficies de bajo nivel semántico, las nubes de puntos se convierten en modelos de superficie mediante un proceso conocido como teselado o **mallado**



Fabry T., Smeets D., Vandermeulen D. (2010)
Surface representations for 3D face recognition.
InTech Open access peer-reviewed chapter, pp. 273-294. doi: 10.5772/8951

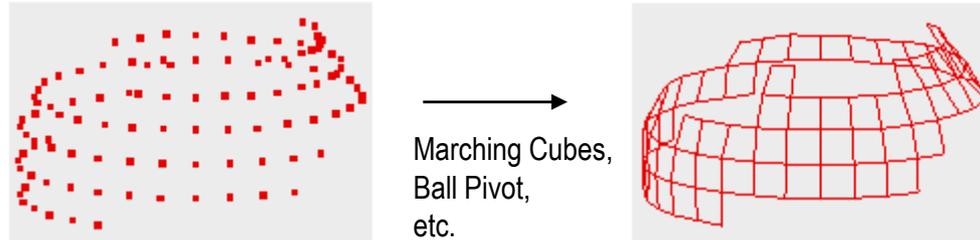
Teselar es generar una malla poligonal o poliédrica que aproxima un dominio geométrico:

- ✓ Divide una superficie o modelo en bloques o estructuras básicas que son lo suficientemente pequeños y simples como para aproximar bastante la forma geométrica real, y permitir cálculos gráficos rápidos
- ✓ Los modelos creados **no** garantizan ni la conectividad ni la continuidad geométrica entre las facetas vecinas, ni revelan información topológica global

Mallado

Los aspectos más destacados del mallado se resumen como sigue:

- √ Los puntos escaneados sirven como vértices, y se conectan a sus vecinos definiendo una malla



El libro de Paul Louis George describe los métodos clásicos de generación de mallas:

P.L. George. Automatic Mesh Generation: Application to Finite Element Methods.
John Wiley & Sons, 1991. ISBN-13: 978-0471930976

- √ Para que la malla sea válida, no puede intersecarse a sí misma, lo que significa que ninguna línea o borde puede perforar la cara de otra tesela
- √ Uno de los métodos más populares es la **triangulación de Delaunay**, que exige que la circunferencia circunscrita de cada triángulo de la red no contenga ningún vértice de otro triángulo, y maximiza el ángulo mínimo de todos los ángulos de cada triángulo

Mallado

✓ Atendiendo a su **procedencia**, se distinguen:

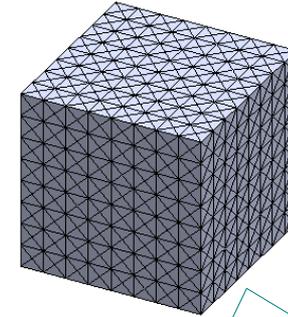
Las mallas **digitalizadas** resultan de mallar las nubes de puntos obtenidas al escanear el producto real



Las mallas **teseladas** se pueden crear mediante cálculos algorítmicos, definiendo teselas que subdividen modelos digitales



Constantin Dolgan
goscan3d_3d_scanner_casting



El modelo teselado se usa para cálculos numéricos o renderizado

✓ Atendiendo a su **organización**, se distinguen:

Las mallas son **densas** si se escanea toda la superficie mediante un conjunto grande de puntos próximos entre si



Las mallas son **dispersas** si se escanean principalmente las partes de la superficie que se consideran más importantes, o aquellas que coinciden con un patrón preestablecido

Ing. inversa

Ing. inv. geométrica

Preproceso

Captura de datos

Escaneo 3D

Postproceso

Mallado

Superficies

Características

Mallado

- ✓ Las técnicas de mallado suelen dar lugar a mallas con **fallos**, que requieren algún tipo de reparación

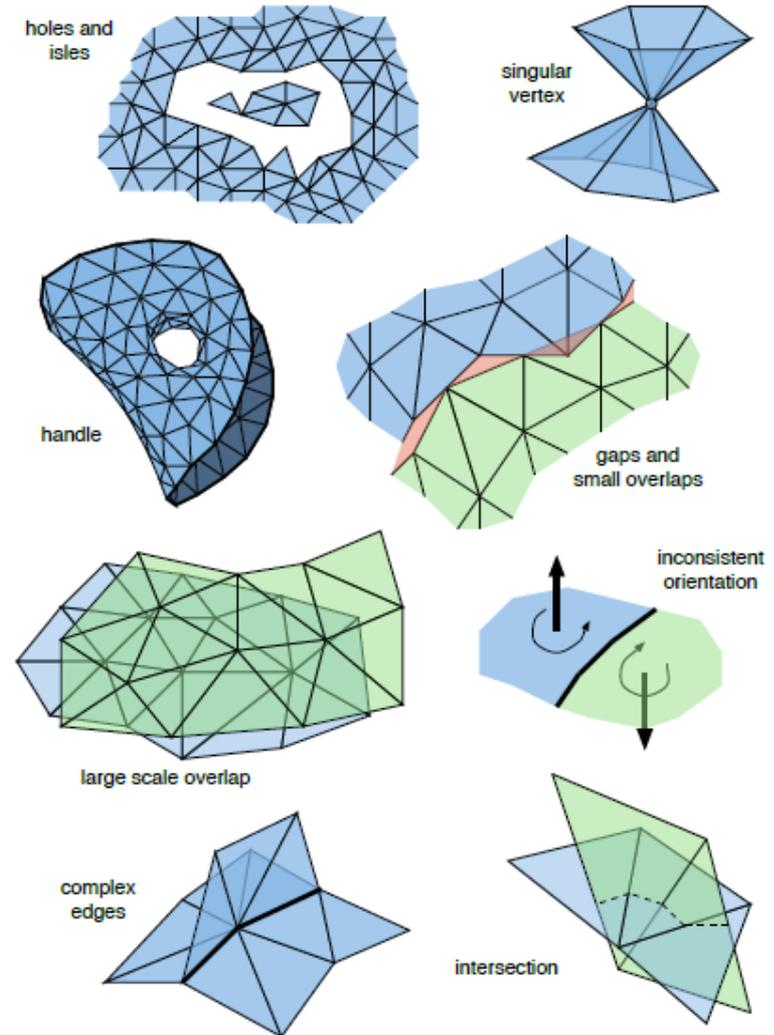
También influye el ruido de la nube de puntos

Sun, X., Rosin P.L., Martin R.R., Langbein F. (2009)
Noise analysis and synthesis for 3D laser depth scanners.
Graphical Models 71 (2009) 34–48

- ✓ Las aplicaciones de mallado suelen tener **analizadores** interactivos que descubren muchos de éstos fallos, y sugieren alternativas de reparación

Los analizadores requieren interacción con el usuario, que debe tener conocimientos de topología, geometría y mallado

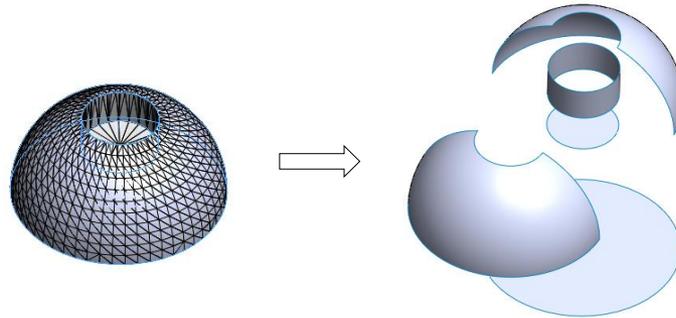
Ramos-Barbero B., Santos-Ureta E. (2011)
Comparative study of different digitization techniques and their accuracy.
Computer-Aided Design 43 (2011) 188–206



Botsch M., Pauly M., Koblet L., Alliez P., Lévy B.
Geometric Modeling Based on Polygonal Meshes.
Eurographics 2008 Full-Day Tutorial

Reconstrucción de superficies

Para obtener modelos CAD de mayor nivel semántico, se convierten en superficies **B-Rep** las nubes de puntos o las mallas



Las técnicas de **reconstrucción de superficies** (o **revestimiento automático**) usan herramientas de software para reconocer automáticamente superficies complejas que interpolan las superficies teseladas de la malla

La ventaja de este método es que se puede obtener un modelo CAD de mayor nivel semántico (B-Rep), después de realizar operaciones de análisis de malla ✓

✗ Muchas de las implementaciones prácticas de esta técnica tienen tendencia a detectar todas las superficies como formas esculpidas



Más sobre modelos B-Rep en la lección 1.8.1

Está desaconsejada para componentes mecánicos, para los que a menudo se requiere un modelo CAD procedural

Reconstrucción de superficies

Hay dos estrategias extremas para ajustar superficies a mallas:

- ✓ En la estrategia **de abajo arriba** se **segmenta** la malla total en submallas, y se **ajusta** cada una de ellas
- ✓ En la estrategia de **arriba abajo** se **ajusta** una única superficie a toda la malla, y se **segmentan** aquellas partes que no se pueden ajustar

Aunque el orden puede cambiar, la mayoría de las técnicas tienen tres etapas principales:

- ✓ **Segmentar** la superficie global en superficies características

Intenta inferir regiones conectadas de puntos con similares propiedades como pertenecientes a la misma superficie

- ✓ **Ajustar** los parámetros de cada superficie característica a cada submalla

Se asigna un tipo de superficie a cada segmento y se fijan sus parámetros para optimizar el ajuste

- ✓ **Vincular** todas las superficies resultante en un modelo B-Rep

Consiste en combinar la información extraída o reconstruida durante los dos pasos anteriores para construir un modelo consistente

Reconstrucción de superficies

La **detección de caras** segmenta secuencialmente, desde las superficies más sencillas hasta las más complejas (de abajo arriba):

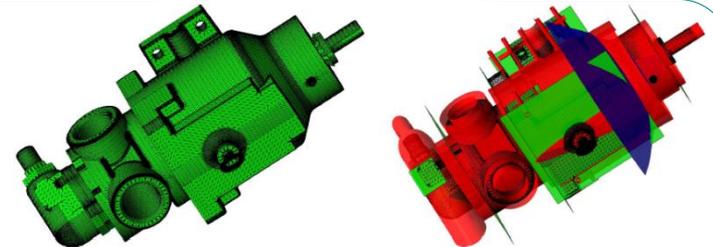
1 Detección de **caras planas**, mediante crecimiento de regiones:

- ✓ Se parte de un punto semilla
 - ✓ Se visitan los puntos vecinos
 - ✓ Se comprueba si definen un plano conjunto
 - ✓ Se sigue hasta encontrar la frontera de los puntos que ya no son coplanarios
- Una mala elección condiciona todo el proceso

2 Detección de **superficies cuádricas**, que se suele resolver calculando curvaturas y ajustando cuádricas que encajen

Suele limitarse a cuádricas naturales (esferas, conos y cilindros), que pueden representarse mediante pocos parámetros, que además tienen significado geométrico directo

Bénière R., Subsol G., Gesquière G., Le Breton F., Puech W. (2013) A comprehensive process of reverse engineering from 3D meshes to CAD models. *Computer-Aided Design* 45, 1382–1393



3 Detección de **superficies esculpidas**, que requiere ajustar superficies NURBS, B-Splines o similares, minimizando las diferencias con la superficie mallada

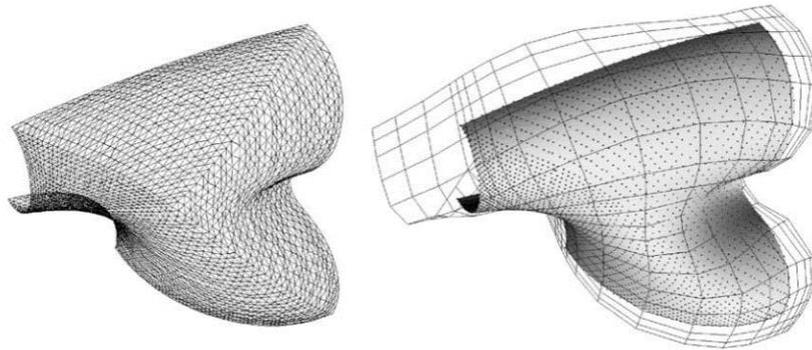
Weiss V., Andor L., Renner G., Várady T. (2002) Advanced surface fitting techniques. *Computer Aided Geometric Design* 19 (2002) 19–42

Reconstrucción de superficies

Ajustar es intenta inferir regiones de puntos con similares propiedades como candidatos a pertenecer a la misma superficie, y determinar los parámetros de dicha superficie

- 😊 En realidad, si se ha utilizado la detección de caras, el **ajuste** ya se han llevado a cabo simultáneamente con la segmentación
- 😞 Pero si no se **analiza** cada segmento candidato, se puede fallar al elegir el tipo de superficie que mejor se ajusta

Los ajustes sin segmentación ni análisis, tienen tendencia a agrupar todos los puntos en una única superficie



Weiss V., Andor L., Renner G., Várady T. (2002) Advanced surface fitting techniques. Computer Aided Geometric Design 19 (2002) 19–42

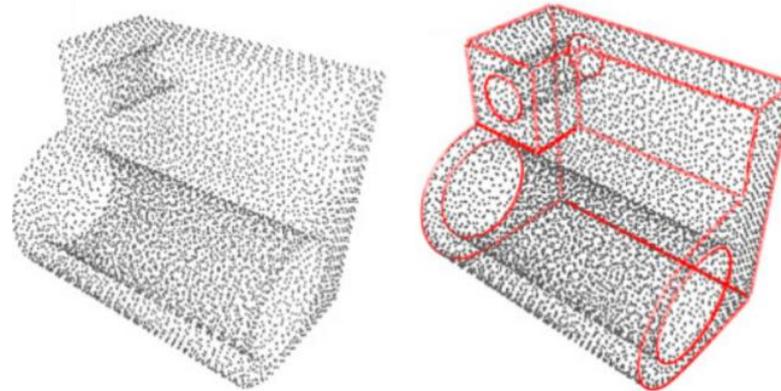
Reconstrucción de superficies

Ing. inversa
Ing. inv. geométrica
Preproceso
Captura de datos
Escaneo 3D
Postproceso
Mallado
Superficies
Características

Vincular es “coser” las diferentes superficies obtenidas tras ajustar cada porción segmentada a una superficie paramétrica

Para coser, se determina el modelo alámbrico (es decir, las “**aristas**”) y se usa para recortar cada segmento, contribuyendo a que encaje con sus vecinos

Funciona tratando de encontrar límites en la nube de puntos, que representen los bordes entre superficies



Lee K.W., Bo P. (2016) Feature curve extraction from point clouds via developable strip intersection. Journal of Computational Design and Engineering 3 (2016) 102–111

Reconstrucción de superficies



La técnica de **detección de aristas** requiere un filtrado, porque es muy sensible a las formas incorrectas derivadas de los “ruidos” del escaneo

La superficie escaneada difiere de la real:

$$S_E = S_R + \epsilon$$

Muchas técnicas de **eliminación de ruido** (“denoising”) asumen que:

- ✓ El ruido se puede reducir operando sobre las posiciones de los vértices y/o las normales a los triángulos de la malla
- ✓ El ruido se puede distinguir de la superficie, porque la altera mediante variaciones de alta frecuencia

Wang, P., Liu, Y., Tong, X. 2016.

Mesh Denoising via Cascaded Normal Regression.

ACM Trans. Graph. 35, 6, Article 232. DOI = 10.1145/2980179.2980232

Arvanitis G., Lalos A.S., Moustakas K., Fakotakis N. 2019.

Feature Preserving Mesh Denoising Based on Graph Spectral Processing.

IEEE Trans. on Visualization And Computer Graphics, 25(3),1513-1527.

Pero las técnicas de eliminación de ruido basadas en suavizar discontinuidades bruscas pueden **enmascarar aristas**, convirtiéndolas en redondeos

Ing. inversa

Ing. inv. geométrica

Preproceso

Captura de datos

Escaneo 3D

Postproceso

Mallado

Superficies

Características

Características

Ing. inversa
Ing. inv. geométrica
Preproceso
Captura de datos
Escaneo 3D
Postproceso
Mallado
Superficies

La técnica de **reconocimiento de características** implica que, tras identificar las primitivas, en lugar de coser sus superficies para obtener un modelo B-Rep, se obtiene un **modelo CSG** convirtiendo las superficies escaneadas en primitivas 3D de barrido, relacionadas mediante datums a través de un **árbol del modelo**

Se puede obtener así un modelo geométrico procedural, que captura información de alto nivel (es decir, las intenciones de diseño)

Características



Las técnicas de reconstrucción de modelos procedurales a partir de modelos explícitos se desarrollan en paralelo con el postproceso de las mallas escaneadas



Geometric Software Solutions, Ltd. (GSSL) es un algoritmo exitoso para el reconocer características geométricas, y está implementado en SolidWorks, CATIA y otros paquetes CAD



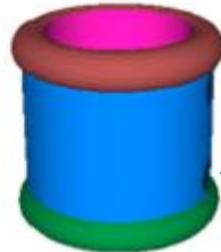
El ejercicio 1.10.1 muestra un ejemplo de reconstrucción de modelo procedural con SolidWorks

Venkataraman, S.; Sohoni, M.; Kulkarni, V. (2001) A Graph-Based Framework for Feature Recognition, Sixth ACM Symposium on Solid Modeling and Applications, 2001, 194-205. DOI:10.1145/376957.376980

Chang, K.-H., Chen, C. (2011) 3D shape engineering and design parameterization. Computer-Aided Design and Applications, 8(5), pp. 681-692. DOI: 10.3722/cadaps.2011.681-692

Características

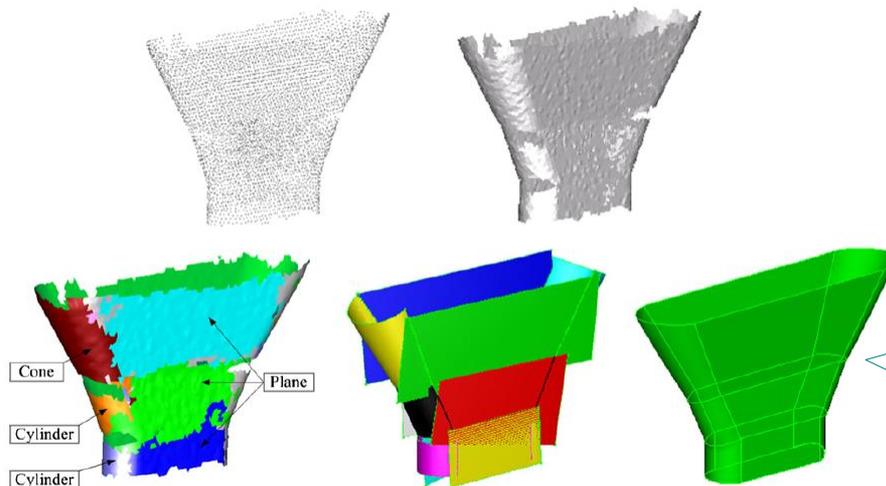
Un primer paso para detectar características (features) en mallas es orientar la segmentación hacia la búsqueda de superficies propias de las primitivas CAD



Varady, T.; Facello, M.A.; Terék, Z.: Automatic extraction of surface structures in digital shape reconstruction, *Computer Aided Design*, 39, 379–388. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2007.02.011>

Le, T., Duan, Y. (2017) A primitive-based 3D segmentation algorithm for mechanical CAD models. *Computer Aided Geometric Design*, 52-53, pp. 231-246

Luego hay que ajustar cada una de esas primitivas para que se acoplen lo mejor posible a su sub-malla



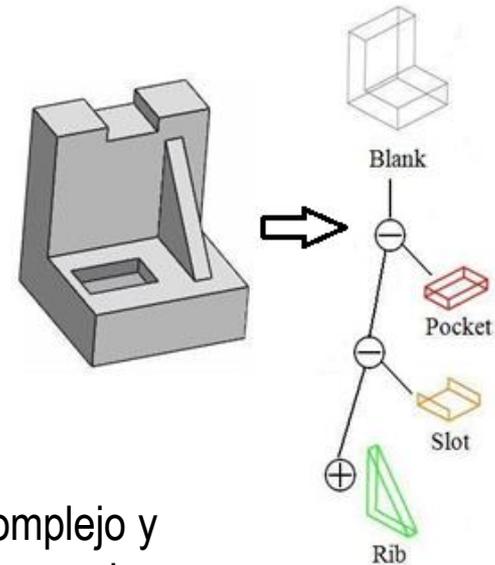
Wang J, Gu D., Yu Z., Tan C., Zhou L.(2012) A framework for 3D model reconstruction in reverse engineering, *Computers & Industrial Engineering*, 63, 1189–1200. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.07.009>

Ing. inversa
Ing. inv. geométrica
Preproceso
Captura de datos
Escaneo 3D
Postproceso
Mallado
Superficies

Características

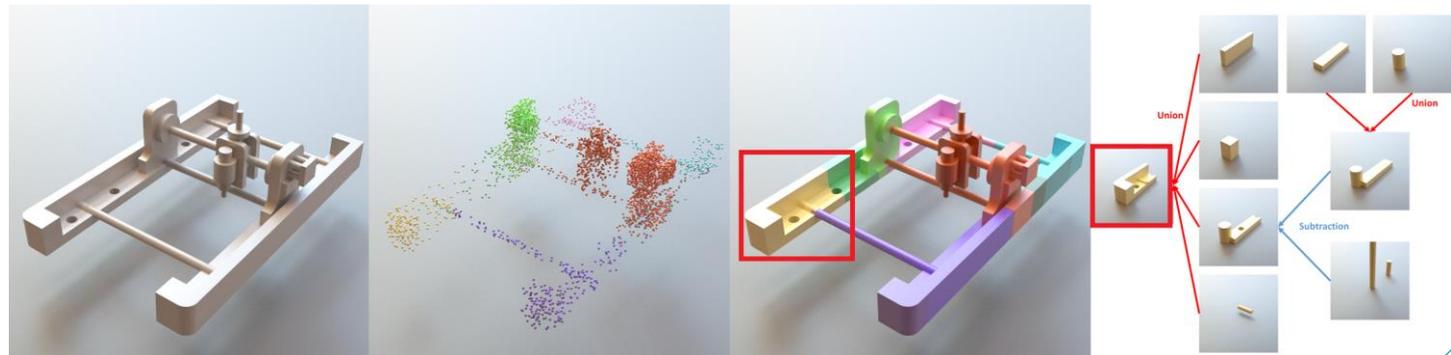
Características

Por último se obtiene el árbol del modelo



Obtener el árbol es un problema complejo y abierto, cuyos avances recientes se pueden encontrar en el trabajo de Du y otros

Du, T., Inala, J.P., Pu, Y., (...), Solar-Lezama, A., Matusik, W. (2018) InverseCSG: Automatic conversion of 3d models to csg trees. ACM Transactions on Graphics, 37(6),213



Características



Algunos métodos se limitan a ayudar al usuario a **identificar curvas y superficies** que permiten ajustar la nube de puntos a un modelo de superficies parametrizadas



Revolución



Extrusión



Barrido



Superficie esculpida

Falheiro M.S., Dinizy L.S., Lima J.C., Najafabadi H.R., Goto T.G., Tsuzuki M.S.G. (2021).

CAD Software Tools Employed in a Reverse Engineering Application: a Fan Propeller Model Reconstruction. 14th IEEE International Conference on Industry Applications, INDUSCON 2021 – Proceedings pp. 672-678

Ing. inversa

Ing. inv. geométrica

Preproceso

Captura de datos

Escaneo 3D

Postproceso

Mallado

Superficies

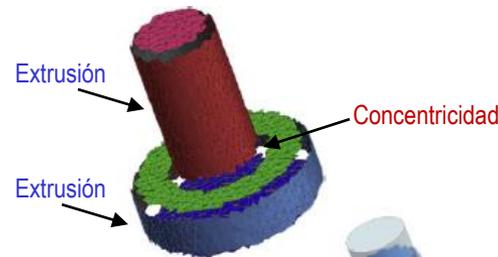
Características

Características

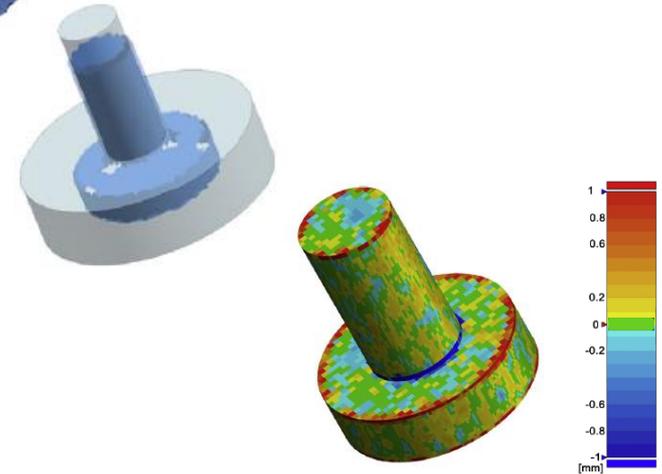


Un método reciente permite que el usuario defina interactivamente el árbol del modelo, para luego ajustar cada sub-malla con su correspondiente operación de modelado:

- ✓ El **usuario** identifica posibles características geométricas (de color azul) y restricciones geométricas (de color rojo) en el modelo mallado pre-segmentado



- ✓ El **usuario** crea un modelo procedural tentativo, alineado con la malla
- ✓ La **aplicación** optimiza iterativamente los parámetros de las operaciones de modelado hasta ajustarlas con la malla



Buonamici F., Carfagni M., Furferi R., Governi L., Lapini A., Volpe Y. (2018)
Reverse engineering of mechanical parts: A template-based approach.
Journal of Computational Design and Engineering 5, 145–159. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2017.11.009>

Características



La siguiente tabla muestra un resumen actualizado de las funcionalidades de diferentes aplicaciones comerciales de software dedicado y plataformas CAD equipadas con funcionalidades de ingeniería inversa

	Geomagic Design X	Polyworks	Lelos2 EGS	Siemens NX	Autodesk Inventor 2017	SolidWorks ScanTo3D	PTC Creo Parametric Restyle	Autodesk Fusion 360	Autodesk Powershape
Ajuste de superficies NURBS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ajuste de primitivas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Motor avanzado de modelado paramétrico	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
Dibujo interactivo de secciones de la malla	✓	✓		✓		✓		✓	
Ajustes de extrusiones y revoluciones	✓						✓		✓
Imposición de restricciones geométricas	✓		✓	✓	✓				
Herramientas de exportación-Vínculo directo a CAD	✓	✓							
Filtrado automático	✓								

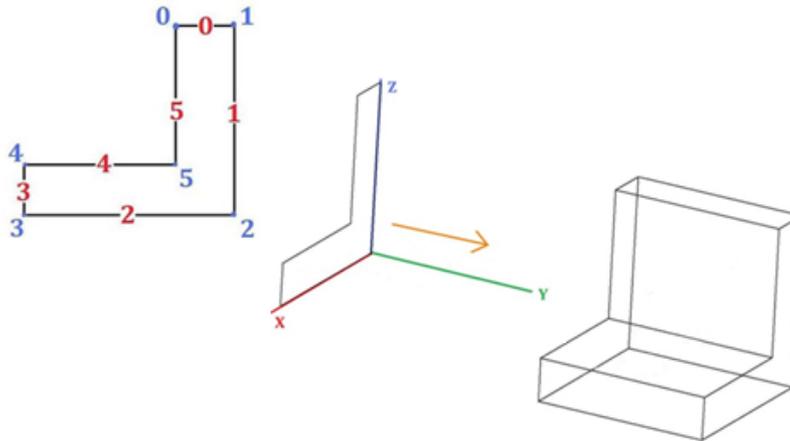
Buonamici F., Carfagni M., Furferi R., Governi L., Lapini A., Volpe Y. (2018) Reverse engineering modeling methods and tools: a survey. Computer-Aided Design & Applications, 2018, 15(3), 443–464. <https://doi.org/10.1080/16864360.2017.1397894>

- Ing. inversa
- Ing. inv. geométrica
- Preproceso
- Captura de datos
- Escaneo 3D
- Postproceso
- Mallado
- Superficies
- Características**

Características



Una dificultad añadida del reconocimiento de características es que el modelo procedural se debe guardar en algún formato propietario (SolidWorks, Catia, etc.)...



```
<part ::= PART < Angle_bracket> <1>
  <global_info>
  <features_list>
  END_PART
<global_info> ::= GLOBAL UNITS<unit>
<unit> ::= mm
<feature_list> ::= <e_feature_1>;

<e_feature_1> ::= FEATURE< Bracket> <1>EXTRUDED;
  <volumetric_type_1>;
  <e_trajectory_1>;
  <e_extent_1>;
  <cross_section_1>;
  END_FEATURE
<volumetric_type_1> ::= PROTUSION <orientation_1>
<orientation_1> ::= PARALLEL < CSP_Y csys1>
<e_trajectory_1> ::= TRAJECTORY NORMAL
<e_extent_1> ::= EXTENT <FROM Bracket_section, TO OFFSET 50>
<cross_section_1> ::= CROSS_SECTION < Bracket_section;
  PLANE <sketching_plane_1>
  COMPONENTS
  LINE <0, POINT_0, POINT_1>
  LINE <1, POINT_1, POINT_2>
  LINE <2, POINT_2, POINT_3>
  LINE <3, POINT_3, POINT_4>
  LINE <4, POINT_4, POINT_5>
  LINE <5, POINT_5, POINT_0 >
  END_COMPONENTS
  CONSTRAINTS
  PARAL <LINE_0><LINE_2><LINE_4>
  PARAL <LINE_1><LINE_3><LINE_5>
  PERPENDICULAR <LINE_0><LINE_1>
  END_CONSTRAINTS
  END_CROSS_SECTION
<sketching_plane_1> ::= CSP_Y csys1
```

...porque **no** hay implementaciones comerciales del único formato neutro estándar con capacidad para almacenar información procedural (STEP AP242)



Más detalles sobre formatos en lección 1.10

Para saber más



PII: S50010-4485(96)00054-1

Computer-Aided Design, Vol. 29, No. 4, pp. 255-266, 1997
© 1997 Elsevier Science Ltd
Printed in Great Britain. All rights reserved
0010-4485/97/\$17.00 + 0.00

Research

Reverse engineering of geometric models—an introduction

Tamás Várady, Ralph R Martin* and Jordan Cox†

[doi.org/10.1016/S0010-4485\(96\)00054-1](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(96)00054-1)

COMPUTER-AIDED DESIGN & APPLICATIONS, 2018
VOL. 15, NO. 3, 443-464
<https://doi.org/10.1080/16864360.2017.1397894>



Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

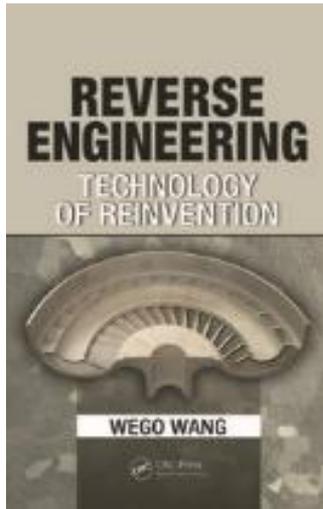


Reverse engineering modeling methods and tools: a survey

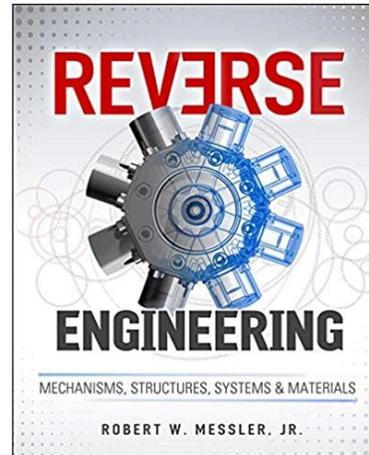
Francesco Buonamici , Monica Carfagni , Rocco Furferi , Lapo Governi , Alessandro Lapini  and Yary Volpe 

University of Florence, Italy

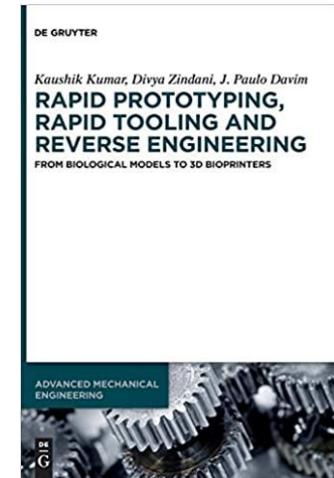
Para saber más



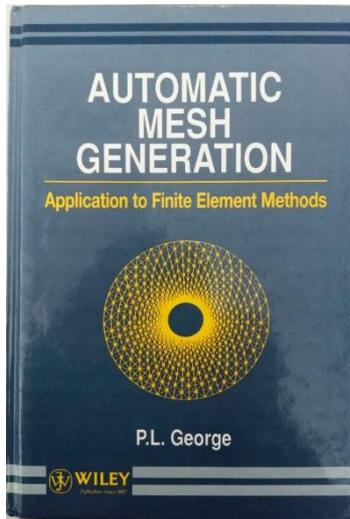
ISBN 9781439806302



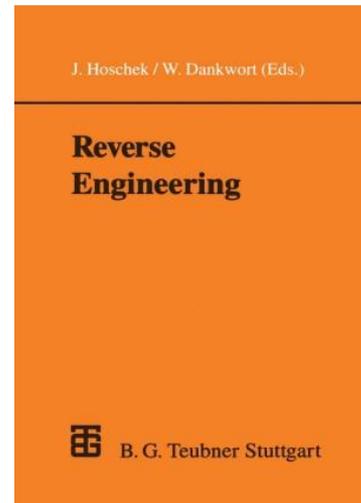
ISBN-13: 978-0071825160



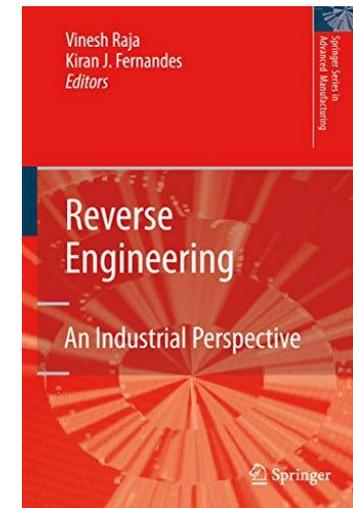
ISBN-13: 978-3110663242



ISBN: 0-471-93097-0



DOI: 10.1007/978-3-322-84819-2



DOI: 10.1007/978-1-84628-856-2