

Análisis y evaluación automatizada de modelos paramétricos CAD

Daniel García Calderón, Nestor Velasco Bermeo y Miguel González Mendoza

Escuela de Graduados en Ingeniería y Ciencias (EGIC), ITESM Campus Estado de México,
México

{cdanielgc, nestorvb}@gmail.com,
mgonza@itesm.mx

Resumen En el presente artículo se presenta un Sistema Automatizado de Análisis y Evaluación de Modelos Paramétricos CAD aplicado a los Sistemas de Enfriamiento Automotriz. Se presenta una discusión sobre la importancia de este tipo de aplicaciones en el ámbito industrial y el impacto que tienen los errores de diseño dentro del proceso de desarrollo del producto. La integración permite la evaluación de parámetros de diseño a los sistemas de enfriamiento automotriz con el objetivo de detectar posibles errores en el producto que conlleven a un bajo desempeño o a problemas de calidad. Como resultado de la aplicación de la herramienta, se obtiene un análisis del modelo CAD en tiempo real y se presenta un reporte el cual detalla los resultados obtenidos basados en una evaluación ponderada.

Palabras clave: CAD, sistema de enfriamiento automotriz, modelo paramétrico.

1. Introducción

Actualmente la industria automotriz es una de las más sólidas y crecientes industrias a nivel mundial. De acuerdo al último reporte emitido por la firma Price Waterhouse Coopers, para el año 2017 se espera un crecimiento mundial del 40% en la producción automotriz [1] siendo la tecnología un importante diferenciador. El Diseño Asistido por Computadora [2], el análisis, la evaluación y la optimización juegan un papel muy importante en la generación de mejoras significativas [3]. Sin embargo El diferenciador en la actualidad ya no es de la cantidad de tecnología con la que una empresa cuenta ni del nivel de calidad que manejan sino la forma en la que utilizan la tecnología para disminuir sus tiempos de diseño y producción para integrarse de manera horizontal en la cadena de suministro [4].

El diseño de un producto sigue un proceso como el que se muestra en la Fig. 1. Partiendo de una necesidad que se deriva de las especificaciones de un cliente o del resultado de un estudio de mercado que refleja tal necesidad. Durante el proceso de diseño se concentran dos grandes subprocesos; el de Síntesis y el de Análisis. Durante

el primero de dichos subprocesos se determina la funcionalidad y filosofía por medio de bocetos y dibujos que muestran las relaciones entre las distintas partes del producto. En el caso del subproceso de Análisis se pretende contextualizar el diseño dentro de las ciencias de la ingeniería para evaluar el desempeño del producto.

Lo anterior se consigue gracias al modelado y la simulación. El resultado del proceso de análisis es la documentación del diseño en forma de dibujos de ingeniería

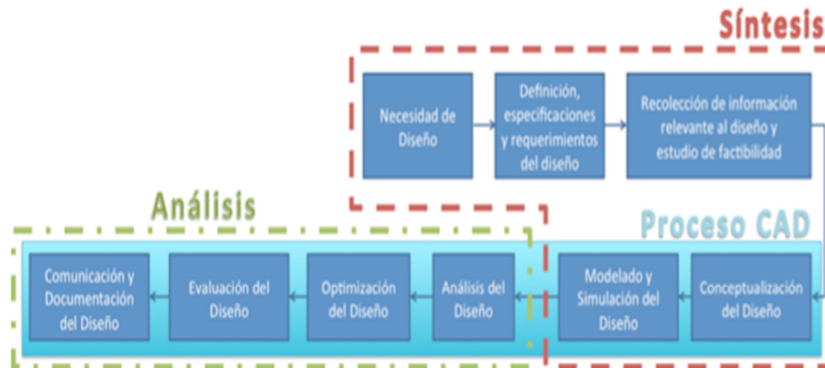


Fig. 1. Diagrama del proceso de diseño de un producto. Tomado de [5] y [6].

Asimismo en la Fig. 1 es posible identificar las distintas etapas dentro del alcance del Diseño Asistido por Computadora (CAD¹) [7] y dentro del cual el producto sufre inevitablemente muchos cambios [8][9] desde su concepción hasta finalmente ser producido. Tales cambios pueden deberse a: errores en la definición de las especificaciones y requerimientos del diseño, durante la creación de los primeros bocetos, defectos de calidad en el producto [10] o cambios en las especificaciones del cliente [11].

En la Fig. 2 se puede apreciar la distribución de los cambios que se dan durante el ciclo de vida de un producto.

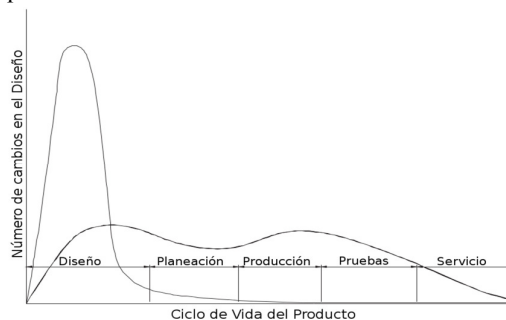


Fig. 2. Cambios en el diseño de un producto durante su ciclo de vida. Tomado de [12].

¹ CAD, Computer Aided Design, por sus siglas en inglés.

De la Fig. 3 se puede comprender la importancia de evitar y prevenir cualquier error que se pueda presentar en la fase de diseño pues a pesar de que solo un 15% del presupuesto se destina a la fase de diseño debido a que el restante 85% ya está comprometido las decisiones que se tomen durante ésta etapa tienen una gran repercusión en términos de costo en el desarrollo del producto.

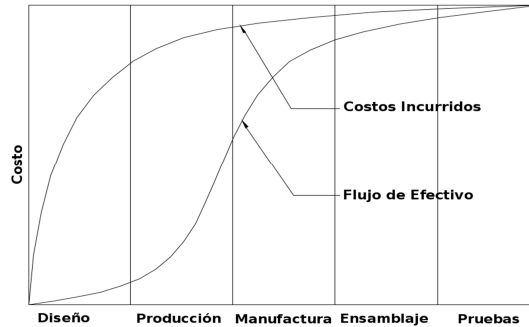


Fig. 3. Distribución de los Costos de Desarrollo de un Producto. Tomado de [12].

Los cambios en el diseño resultan en re trabajo, que se traduce en esfuerzo innecesario al re hacer un proceso o actividad que se llevó a cabo de manera incorrecta la primera vez [13]. Dichos cambios aumentan los costos y tiempo de diseño y sus repercusiones son más evidentes en la etapa de manufactura donde los cambios de procesamiento absorben de un 20% a un 50% la capacidad de desarrollo de un producto [14].

Una técnica comúnmente usada para asegurar la homogeneidad en familias de partes en la fase de diseño es haciendo uso de modelos CAD paramétricos. Un modelo paramétrico se caracteriza por basarse en Fig.s geométricas que obedecen a una serie de restricciones que definen: sus dimensiones, posición en el espacio, posición con relación a otra pieza, etc.

Tomando como base una geométrica plana con forma de "L". Si se tiene una Fig. geométrica cerrada con dimensiones: d_1 , d_2 , d_3 , d_4 respectivamente y se ha definido que la dimensión d_1 debe ser mayor a la dimensión d_2 tenemos que dicha restricción se representa matemáticamente como $d_2 > d_1$. Lo anterior se puede ver en la Fig. 4. De tal restricción es posible que se obtenga una Fig. que cumpla con tales restricciones (a) y una Fig. que no cumpla con tales restricciones y el resultado sea una geometría no válida (b).

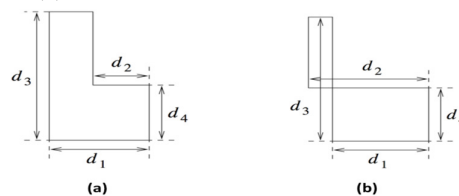


Fig. 4. Parametrización de una Fig. geométrica. Tomado de [16].

Siguiendo la misma restricción antes definida ($d_2 > d_1$). Es posible observar en la Fig. 5 un par de geometrías con una parametrización válida (a) y otras geometrías incorrectamente parametrizadas y por consiguiente generan diseños inválidos a pesar de que se cumple con la restricción antes mencionada.

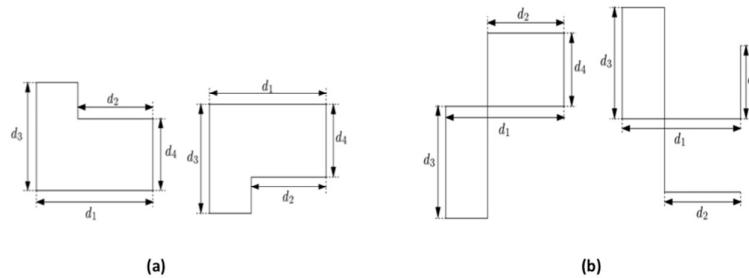


Fig. 5. Parametrización correcta (a) y Parametrización incorrecta (b). Tomado de [16].

Es evidente que a pesar de que un modelo CAD ha sido parametrizado es posible que se obtenga una geometría inválida o que el modelo ha sido pobremente parametrizado, la probabilidad de que existan errores en el diseño del producto se incrementan. Actualmente ningún sistema CAD es capaz de analizar y verificar que la geometría resultante cumpla con valores definidos por la empresa y que están alineados a una política de calidad. La validación del cumplimiento de las restricciones de diseño es comúnmente hecho por el diseñador y registrado en un documento de papel (checklist) debido a la carencia antes descrita.

Es por tal motivo que la presente investigación tiene como objetivo el desarrollar un sistema que permite el Análisis y Evaluación de modelos paramétricos CAD dentro de un ambiente de Diseño Computarizado. Tomando como base el análisis de modelos y geometrías para la búsqueda de inconsistencias entre el modelo geométrico y un conjunto de parámetros definidos por la empresa y su política de calidad correspondiente a cada producto, con el objetivo de identificar y corregir los errores que se presenten asegurando así que el diseño cumpla en su totalidad con tales estándares y restricciones.

El presente artículo se organiza de la siguiente manera: la Sección 2 presenta los trabajos relacionados con la evaluación de modelos paramétricos, en la Sección 3 se detalla el caso de uso para el cual el sistema está construido y los objetivos que se han definido como base para el desarrollo, en la Sección 4 se presentan los detalles de funcionamiento y operación del sistema propuesto, y por último en la Sección 5 se presentan y discuten los resultados obtenidos a la par del trabajo futuro.

2. Trabajos relacionados

Como se mencionó anteriormente, durante el proceso de diseño de un producto se pueden incurrir en una serie de errores que posteriormente tienen repercusiones considerables elevando los costos de producción e incrementando el tiempo de producción.

El trabajo de Möhringer [15] enfatiza en el hecho de que cada error incorpora oportunidades de mejorar el producto y el proceso de desarrollo del mismo. Define un proceso compuesto de seis pasos: Evitar errores, registrar los errores, clasificar los errores, resolver los errores, evaluar los errores y proporcionar conocimiento.

Cada una de las etapas tiene como base el ingreso de información y como salida principal es la documentación apropiada dependiendo del error el cual se está refiriendo. Ahora bien en términos de análisis y verificación de restricciones en modelos paramétricos CAD se observan dos grandes líneas de trabajo, por un lado están los trabajos que atacan el problema con modelos en dos dimensiones (2D) y por el otro lado las aplicaciones enfocadas a modelos en tres dimensiones (3D).

2.1. Aplicaciones desarrolladas para modelos en 2D

La validación de modelos paramétricos con el fin de obtener figuras geométricas válidas es descrita por Hoffman [16] basándose en la confirmación de las restricciones horizontales y verticales para una figura de dos dimensiones (2D), obteniendo el rango de las variaciones para ambas restricciones sin cambiar la topología original. Cada figura es representada por un árbol y así establece si el resultado obtenido es válido, dependiendo de los árboles validos se determinan los valores que se pueden ocupar para construir un polígono válido.

Asimismo Zhang [19] aborda el problema de modelos geométricos 2D pobremente parametrizados en términos de soluciones y con figuraciones no degenerativas. Partiendo de un modelo que no ha sido debidamente parametrizado (pobremente restringido) desarrolló un algoritmo que permite automáticamente agregar nuevas restricciones en el grafo del diseño. Las nuevas restricciones permiten que el diseño resultante esté bien parametrizado y la serie de ecuaciones que de tales restricciones se derivan pueden ser resueltas de manera simultánea y no superan el grado de las restricciones originales.

2.2. Aplicaciones desarrolladas para modelos en 3D

En términos de validación y verificación de modelos en tres dimensiones (3D) Li [18] presenta un método para construir grafos basados en los Grados De Libertad (GDL) de la parametrización de un diseño. Basándose en el principio de que es posible reducir el número de variables paramétricas al agruparlas (clusters) de acuerdo al análisis de las relaciones estructurales entre las restricciones y el modelo geométrico. Una vez que se ha hecho de manera recursiva la creación de clusters de parámetros basado en el grafo de los GDL del diseño 3D se resuelve el modelo y se reduce el número de restricciones para obtener un modelo válido.

El trabajo de Wallner [18] se enfoca en la propagación de errores debido a errores en la parametrización geométrica de una figura. Para manejar la propagación de los errores propone un método que se enfoca primordialmente en determinar zonas de tolerancia por medio de restricciones implícitas en una Fig. geométrica y partiendo del hecho de objeto geométricos definidos de forma imprecisa pero de una zona de tolerancia determinada haciendo énfasis en restricciones relacionadas con su posición.

Los trabajos antes descritos presentan aplicaciones y metodologías se enfocan primordialmente en el análisis y definición de las variantes, posibles valores y umbrales de los valores que pueden tomar las distintas restricciones paramétricas de un modelo geométrico.

Sin embargo ninguno presenta evidencia de una metodología que analice y evalúe los valores y reglas de parametrización de un modelo geométrico en un ambiente de Diseño CAD para prevenir errores de diseño.

3. Caso de uso: sistemas de enfriamiento automotriz

Un Sistema de Enfriamiento Automotriz (SEA) es un componente de gran importancia en la industria automotriz y de gran relevancia en el desempeño en los motores de combustión interna pues proporciona el flujo de aire necesario para mantener el automóvil a una adecuada temperatura de trabajo. Dentro de los componentes principales que conforman un SEA podemos encontrar: la tolva, el ventilador y el motor. Un ejemplo de ensamblaje y las relaciones que obedecen entre cada una de ellas es posible de ver en la Fig. 6.

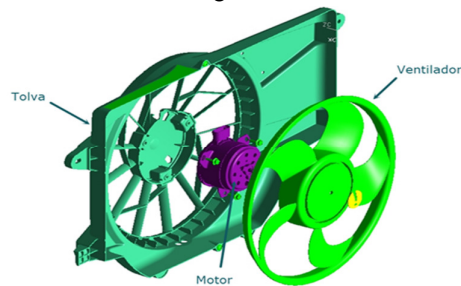


Fig. 6. Componentes principales de un (SEA). Tomado de [20]

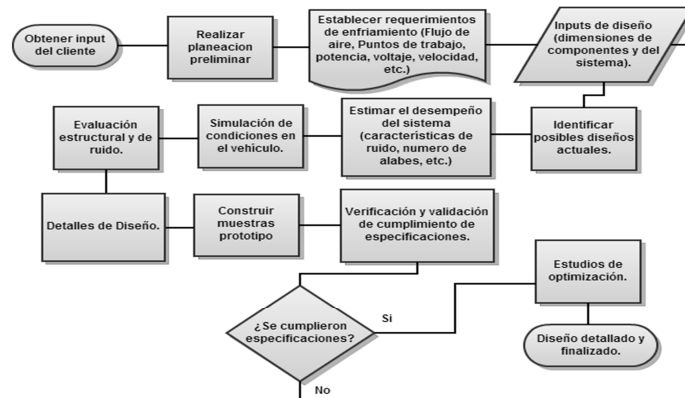


Fig. 7. Diagrama de proceso de diseño de Sistema de Enfriamiento Automotriz

Una de las partes más críticas para el diseño de los SEA (Fig. 7) es el ventilador pues es la parte que proporciona la cantidad de aire suficiente para mantener el automóvil a la temperatura de trabajo.

La tolva es parte esencial del desempeño del SEA y de ahí que el diseño en conjunto van de la mano para poder trabajar de manera eficiente y sin problemas o errores de funcionamiento. El motor es el corazón del sistema ya que es el que impulsa al ventilador a una velocidad específica, sin embargo el diseño del motor no es considerado dentro del presente trabajo. En términos de las relaciones y restricciones que existe entre cada uno de los elementos que componen un SEA es imperativo que las reglas de parametrización sean satisfechas en su totalidad debido a que si alguna restricción es violada el diseño del SEA en su totalidad conlleva a problemas en su ensamblaje pero más importante aún el desempeño dentro de un automóvil es nulo.

4. Sistema automatizado de análisis y evaluación de modelos paramétricos CAD

Algunos de los requerimientos que se definen al momento de diseñar los componente de un SEA se destaca la cantidad de flujo de aire y consumo de corriente, pero para el diseño mecánico es de suma importancia lograr un empaquetamiento con el motor de combustión (área disponible para el ensamblaje de los sistemas) de aquí que cada sistema es único y exclusivo de cada vehículo, por ello su diversidad en variantes de diseño. El sistema de evaluación tiene la capacidad de realizar un análisis generalizado de estos sistemas bajo las condiciones en las cuales debieron ser creadas. Se realiza una verificación de parámetros basadas en espacios o distancias entre componentes, los cuales representan puntos críticos para el buen desempeño del sistema.

Este sistema fue desarrollado dentro de la estructura de operación del software de diseño CATIA². El sistema desarrollado se divide en 4 módulos principales que realizan las operaciones para la evaluación de los modelos CAD: Módulo Principal, Módulo de Interacción con Usuarios, Módulo de Evaluación de Parámetros y Módulo de Generación de Reportes y Resultados. Una explicación detallada de cada uno de estos módulos se presenta a continuación.

4.1. Módulo principal (MP)

Este módulo es el encargado de hacer las llamadas a los módulos para su ejecución. Es el principal sistema de toma de decisiones y el cual tiene como principal objetivo de controlar el flujo de operaciones y comunicación entre los demás módulos para la correcta realización de las tareas de la herramienta de evaluación.

² Dassault Systems, CATIA. <http://www.3ds.com/products/catia/>

4.2. Módulo de interacción con usuarios (MIU)

El módulo de interacción con usuarios tiene el principal objetivo de manejar todas las operaciones que tienen que ser manejadas con el usuario. Este módulo contiene el código con el que presenta diversas formas en las cuales solicita información o le pide al usuario tomar decisiones.

Las operaciones que realiza son: Selección del tipo de evaluación a realizar, ubicación de archivo a abrir para el análisis, input de datos del SEA como parámetros de generalización, etc. El input de datos contempla el posicionamiento del modelo 3D dentro del automóvil, diámetro del ventilador, tipo de motor, entre otros.

4.3. Módulo de evaluación de parámetros (MEP)

Para poder realizar la evaluación del modelo CAD se generan secciones del modelo en 2D definidas como “regiones de interés”, sobre las cuales se lleva a cabo el dimensionamiento de los elementos geométricos contenidos en dicha región para su posterior evaluación. Dentro de estas regiones de interés se asocian la mayor cantidad de restricciones y así se minimiza el número de evaluaciones a realizar dentro de las mismas. Un ejemplo de las regiones de interés derivada de un diseño puede observarse en la Fig. 8.

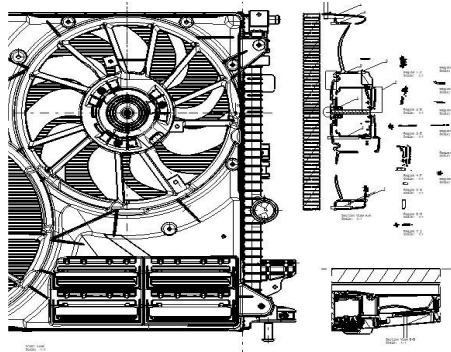


Fig. 8. Corte de sección y regiones de interés.

Este módulo toma las dimensiones generadas y les asigna una ponderación. Esta ponderación es de acuerdo al grado de severidad en el ensamble final si este parámetro estuviera fuera de rango. Se comparan los valores obtenidos. Al generarse dicha calificación, se realiza una llamada al módulo de generación de reportes y resultados para asignar al parámetro analizado la evaluación correspondiente y registrar este resultado en el archivo del reporte del diseño. Es importante señalar que los parámetros evaluados son tomados de acuerdo a reglas de diseño establecidas en el departamento de diseño de sistemas térmicos de la empresa Robert Bosch.

4.4. Módulo de generación de reportes y resultados (MGRR)

Este módulo se encarga de realizar las actividades de generación de resultados y asignarlos a un archivo de Excel, que posteriormente se convertirá en el reporte de la evaluación del modelo. Sus principales tareas constan en registrar en un archivo de Excel los datos derivados de la evaluación realizada en el MEP siguiendo una estructura de hoja de trabajo y por último presentar el reporte final al usuario. Fig. 9.

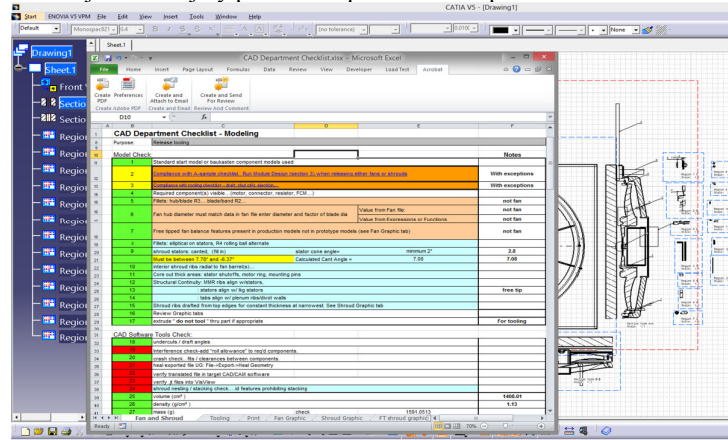


Fig. 9. Reporte de evaluación generado automáticamente.

La Fig. 10 presenta un esquema general de la interconexión y comunicación entre el software de diseño (CATIA) y el módulo interconectado con Excel para generar los reportes.

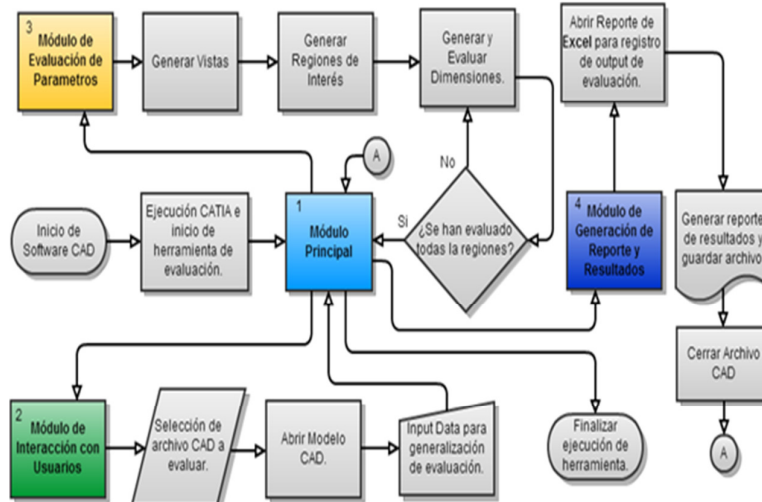


Fig. 10. Diagrama de interconexión y comunicación de módulos.

5. Discusión y trabajo futuro

Para comprobar el correcto análisis y evaluación de modelos paramétricos CAD, se evaluaron una serie de 30 diseños del diseño denominado “Ventilador con Banda”. Dentro de los parámetros más críticos dentro del diseño se tiene el ancho de la banda, el grosor del eje y diámetro del ventilador. De los 30 diseños analizados fue posible encontrar un 90% de los errores en los parámetros registrados en los diseños contra los valores definidos para que se acepte el modelo paramétrico CAD. El sistema aquí presentado se realizó basado en los sistemas de enfriamiento automotriz, sin embargo, esto no es un impedimento de implementarse en otro tipo de producto.

Referencias

1. Price Waterhouse Coopers: Consolidation in the Global Automotive Supply Industry 2012, PWC (2012)
2. Bordegoni, M., Rizzi, C.: Innovation in Product Design: From CAD to Virtual Prototyping. London: Springer (2011)
3. Girardot, M., y Schwarz M.: Electronics-ization in Automotive, Reinventing the Industry Model To Boost Profitable Innovation , Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG) (2012)
4. Rishi, S., Stanley, B., & Gyimesi, K.: Automotive 2020: Clarity beyond the chaos. IBM Institute for Business Value. August (2008)
5. Zeid, I.: Mastering cad/cam. McGraw-Hill, Inc. (2004)
6. Rao, P. N.: CAD/CAM Principles and Applications (Sc). Tata McGraw-Hill Education (2010)
7. Groover, M., & Zimmers, E. W. J. R.,1983. CAD/CAM: computer-aided design and manufacturing. Prentice Hall.
8. Hanna, A.S. y Swanson, J.: Risk allocation by law-cumulative impact of change orders. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, ASCE (2007)
9. Kohler, C., et al.: A matrix representation of the CPM/PDD approach as a means for change impact analysis. Conferencia Internacional de Diseño, Dubrovnik, Croacia (2008)
10. Burati, J.L., Farrington, J.J., y Ledbetter, W.B.: Causes of quality deviations in design and construction. Journal of Construction Engineering and Management (1992)
11. Keller, R., Eckert, C.M., and Clarkson, P.J.: Using an engineering change methodology to support conceptual design. Journal of Engineering Design, 20(6) (2009)
12. Radhakrishnan, P., Subramanyan, S., & Raju, V.: CAD/CAM/CIM. New Age International (2008)
13. Love, P. E.: Influence of project type and procurement method on rework costs in building construction projects. Journal of construction engineering and management, 128(1) (2002)
14. Ehrlenspiel, K., Kiewert, A., and Lindemann, U.: Cost-efficient design. Berlin, Germany: Springer-Verlag (2007)
15. Mohringer, S.: From design errors to chances – a computer-based error tracking system in practice. Conferencia Internacional de Diseño, Dubrovnik, Croacia (2008)
16. Hoffmann, C. M., & Kim, K. J.: Towards valid parametric CAD models.Computer-Aided Design, 33(1), 81-90 (2001)

17. Zhang, G. F.: Well-constrained completion for under-constrained geometric constraint problem based on connectivity analysis of graph. In: Proceedings of the 2011 ACM Symposium on Applied Computing, pp. 1094-1099, ACM (2011)
18. Li, Y. T., Hu, S. M., & Sun, J. G.: A constructive approach to solving 3-D geometric constraint systems using dependence analysis. *Computer-Aided Design*, 34(2), 97-108 (2002)
19. Wallner, J., Schröcker, H. P., & Hu, S. M.: Tolerances in geometric constraint problems. *Reliable computing*, 11(3), 235-251 (2005)
20. Robert Bosch Corporation, SEA System Design.

