



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

FABRICACION DE PROTOTIPOS DE TRENES DE ENGRANAJES PLANETARIOS EN IMPRESORA 3D DE BAJO COSTO EN BOLIVIA

Ivan Aguirre Torrico *¹ Javier Antezana López*²

*¹ FCyT – Universidad Mayor de San Simón
Final Sucre s/n. Cochabamba. Bolivia
iaguirre99@yahoo.com

*² Universidad Tecnológica Nacional F. R Haedo.
Paris 532 Haedo Prov. de Buenos Aires, Argentina.
antezana@gmail.com

RESUMEN

La impresión 3D está revolucionando la manufactura mecánica, respecto de otros procesos de manufactura de similares terminaciones y tiempos de mecanizado. En la actualidad existe disponibilidad de impresoras 3D de filamento fundido, que es una tecnología de bajo costo, código abierto y muy accesible a la comunidad.

La enseñanza – aprendizaje del diseño y análisis de trenes de engranajes planetarios en el ámbito universitario es muy poco común, o en algunos casos su estudio es incipiente en universidades bolivianas. Con engranajes a disposición epiciclodial se pueden diseñar reductores de gran relación de transmisión y/o de gran par torsor a la salida, en dispositivos muy compactos.

En este trabajo experimental se presenta una metodología basada en sistemas CAD convencionales que permiten el diseño de trenes de engranajes epicicloidales, para la posterior fabricación del modelo por impresión 3D en material PLA (poliácido láctico). El modelo es fabricado bajo principios de prototipaje rápido.

Se presenta y analiza el caso de la paradoja de Ferguson, un problema clásico de trenes epicicloidales, que con la metodología implementada, permite a los alumnos no solo que analicen y entiendan el funcionamiento del mecanismo, sino también fabriquen una maqueta en tiempo y costo muy reducidos.

Los resultados muestran que es posible fabricar prototipos de trenes epicicloidales de muy bajo costo, permitiendo mejorar los objetivos del proceso de enseñanza - aprendizaje del diseño de trenes planetarios en los curso de grado universitario a nivel técnico y de ingeniería.

Palabras Claves: *Impresión 3D. Prototipado rápido. Manufactura Aditiva. Engranajes epicicloidales.*



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

1. INTRODUCCIÓN

En 1983 se idea el primer método de impresión 3D basado en la estereolitografía. A partir de este hito, se han desarrollado varias tecnologías de impresión 3D, algunas de estas son de “Tecnología Libre y código abierto”, de las cuales se destaca la tecnología de Fabricación con Filamento Fundido (FFF), que es muy accesible y de bajo costo, tecnología usada en este proyecto [1].

La impresión 3D está ganando cada vez más espacio en Prototipado Rápido (RP) y la manufactura industrial, en variados tipos de industrias. Tan grande es su difusión y éxito, que ha dado lugar a una nueva visión de manufactura denominada de Manufactura Aditiva (AM). [2, 3]

En el ámbito educativo, ha generado muchos cambios en los países industrializados tanto a nivel escolar como universitario. Podemos citar el ejemplo de la reciente reforma educativa en el Reino Unido, que en su nuevo plan de estudios contempla que los estudiantes adquieran conocimientos sobre impresión 3D desde muy jóvenes. La idea es que los estudiantes británicos conozcan cómo funciona y las ventajas de utilizar la tecnología de impresión 3D, siendo capaces con lo que aprendan a diseñar y fabricar sus propios productos. Esta reforma se está aplicando desde el presente año en niños de entre 5 y 14 años. [4, 5]

En estudios de grado universitario, los ejemplos de aplicaciones exitosas de las tecnologías de impresión 3D en diversas áreas del conocimiento humano son muchos, destacamos las aplicaciones en la ciencia, la tecnología, la ingeniería y la matemática (STEM por sus siglas en inglés) [6]. Un caso muy interesante es el recientemente inaugurado Centro de Innovación Marketbot¹ de la universidad del estado de Nueva York (ver figura 1). [7, 8]

La enseñanza – aprendizaje del diseño y análisis de trenes de engranajes planetarios en el ámbito universitario boliviano es poco común, o en algunos casos su estudio es incipiente. Con engranajes a disposición epiciclodial se pueden diseñar reductores de gran relación de transmisión y/o de gran par tursor a la salida, en sistemas muy compactos [9]. Este tipo de trenes de engranajes han tenido un gran impulso por su aplicación en cajas automáticas de automotores, existiendo en la actualidad gran interés en desarrollar más conocimientos técnicos sobre estos tipos de engranajes, especialmente en su modelado y optimización [10,11].

El presente trabajo se enfoca en la aplicación de la tecnología de impresión 3D FFF en el diseño y fabricación reductores epiciclodiales con fines educativos.

¹ Marca comercial registrada de impresoras 3D



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



Figura 1. Vista parcial de uno de los laboratorios de impresión 3D del Centro de Innovación Marketbot de la universidad del estado de Nueva York [8].

2. FUNDAMENTOS, EQUIPOS Y METODO.

2.1 Tecnología FFF de impresión 3D

Podemos clasificar a las impresoras 3D en dos categorías, las personales y las de uso industrial. La tecnología que ha popularizado este método de impresión y posibilitado la gran difusión de las impresoras 3D personales se conoce como “Fusion Deposition Modeling” (FDM) que fue inventada y patentada por Scott Crump, esta tecnología es comercializada a nivel mundial. La tecnología FDM está protegida por patente.

En febrero del 2004 nació el proyecto RepRap creado por Andrian Bowyer en Inglaterra, este proyecto tiene como finalidad crear una impresora 3D libre de patentes y de uso general por la humanidad. RepRap está disponible bajo la licencia GNU GPL. Esta licencia permite que podamos: Copiar, estudiar, distribuir y mejorar sus diseños y código fuente. Tomando como una analogía la teoría de evolución de Darwin, la comunidad RepRap trabaja en todas partes del mundo mejorando los diseños actuales. Para implementar del proyecto RepRap se desarrollo una tecnología que en esencia es similar a la FDM, la tecnología FFF, pero que es libre [1, 3].



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

La impresión con FFF comienza por depositar una delgada capa inferior sobre una base (mesa o soporte), depositando sucesivamente nuevas capas para poder generar la pieza gradualmente. Se utiliza un Filamento de plástico termofundible, que atraviesa por el extrusor que básicamente es un dispositivo que calienta el material hasta el punto de fusión (ver figura 2), depositándose en la posición correspondiente de la capa que se está imprimiendo en cuestión.

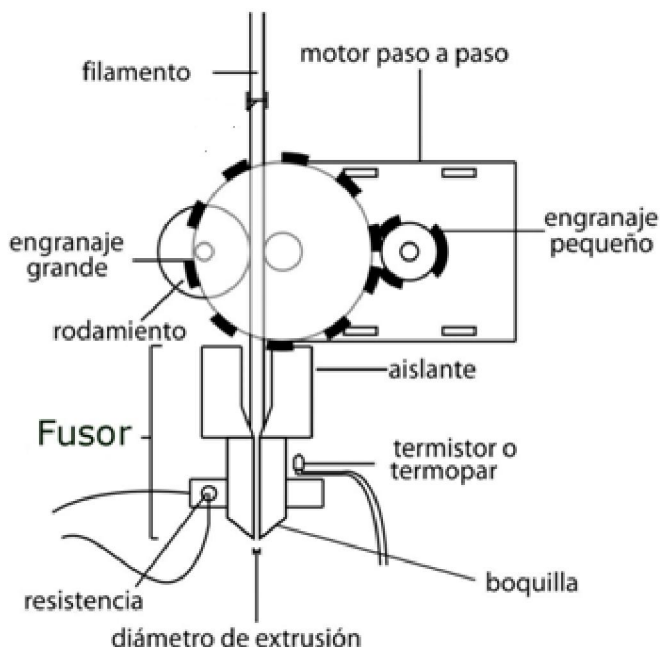


Figura 2. Esquema de funcionamiento de extrusor de impresora 3D FFF.

Tras ser depositado en su lugar, el material extruido se enfría y solidifica, una vez acabada esa capa, el cabezal extrusor se desplaza verticalmente una pequeña distancia para comenzar la siguiente capa. Como en la mayoría de métodos de impresión 3D, la impresión se realiza capa a capa, o sea, si se tiene que imprimir un objeto cualquiera, este se divide en un software especializado en finas capas y se imprime capa por capa. Cuanto más finas sean las mismas, mejor será la calidad final de la impresión, pero mayor el tiempo de ejecución.

La impresora usada en este proyecto es de marca Printrbot modelo "simple", que puede verse en la figura 3.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

El material usado para la impresión de los engranajes es el polímero poliácido láctico (PLA), de 1,75 mm de diámetro, color blanco marca FILAMEX, este polímero es biodegradable.

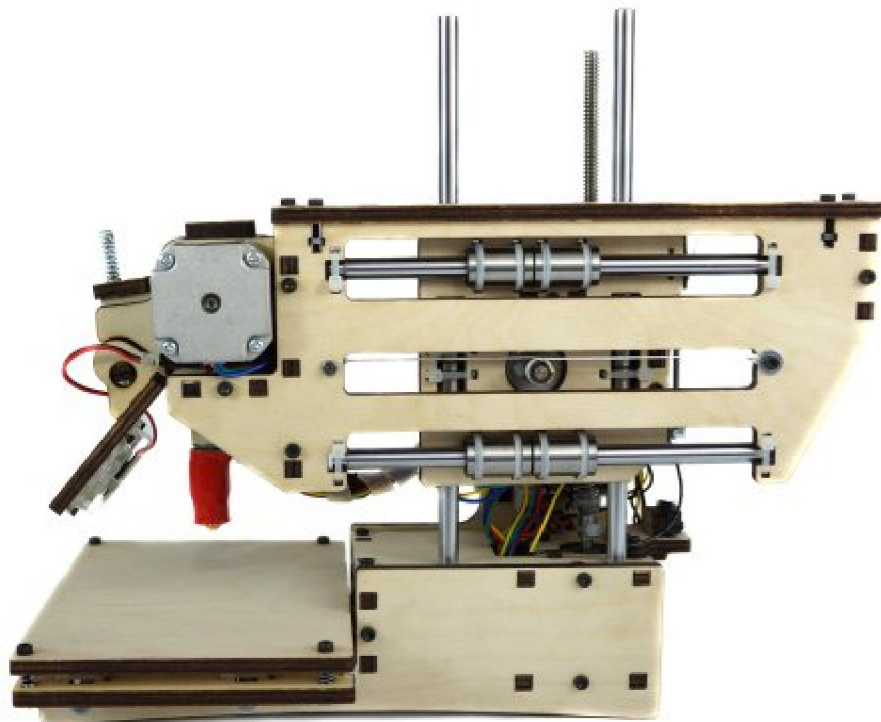


Figura 3. Impresora 3D marca PrintrBot modelo Simple

2.1 Engranajes epicicloidales.

Uno de los mecanismos más interesantes que se pueden realizar con este tipo de engranajes son trenes epiciclodales que siguen la paradoja de Ferguson, esquematizado en la figura 4, en la cual el engranaje 3 está fijo, mientras que los engranajes 1 y 2 pueden girar libremente y de forma independiente uno del otro. Los engranajes 1, 2 y 3 tienen, respectivamente, 99, 101 y 100 dientes y engranan todos ellos con el engranaje 4, de 20 dientes, que está unido a la manivela t y puede girar independientemente alrededor de su propio eje [12].

La paradoja consiste en que, al girar la manivela t en un sentido, el engranaje 2 gira lentamente en el mismo sentido, mientras que engranaje 1 gira lentamente en el sentido opuesto.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

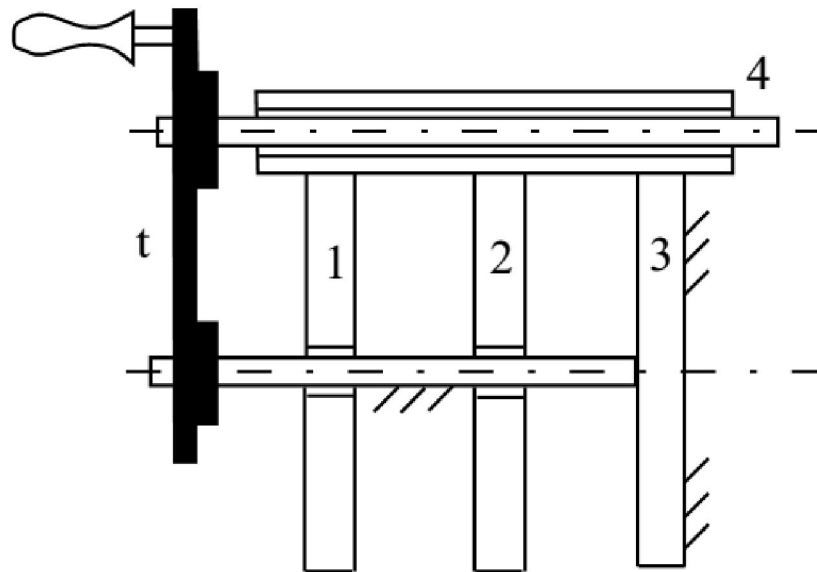


Figura 4. Esquema de la Paradoja de Ferguson [12].

2.3 Metodología.

Una de las dificultades detectadas por los expertos para la aplicación cotidiana de la impresión 3D, es la dificultad de encontrar software de diseño 3D lo suficientemente amigable e intuitivo para que personas con pocos conocimientos de STEM realicen sus diseños y los plasmen en realidad imprimiendo su creación. Empresas gigantes como Google y Microsoft han apostado al desarrollo de software que minimice esta dificultad, y han lanzado respectivamente los programas de dibujo y diseño en 3D "Sketchup y 3D Builder", ambos muy poco difundidos aún en la comunidad 3D.

Esta dificultad no se presenta en estudiantes de cursos universitarios técnicos y de ingeniería que tienen conocimientos de sistemas de CAD 3D comerciales. En este proyecto se usó el SolidWorks.

Lo tedioso y moroso que puede resultar dibujar un engranaje a partir de entidades gráficas primitivas como líneas, se elimina por el uso de librerías gráficas parametrizadas que permiten en segundos crear un engranaje conociendo el módulo y otros datos geométricos del engranaje.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

En el caso de requerirse dibujar engranajes más complejos que no constan en las librerías de SolidWorks, sugerimos usar software especializado como por ejemplo GearTrack (Figura 5), que en segundos crea el engranaje y lo exporta al ambiente SolidWorks.

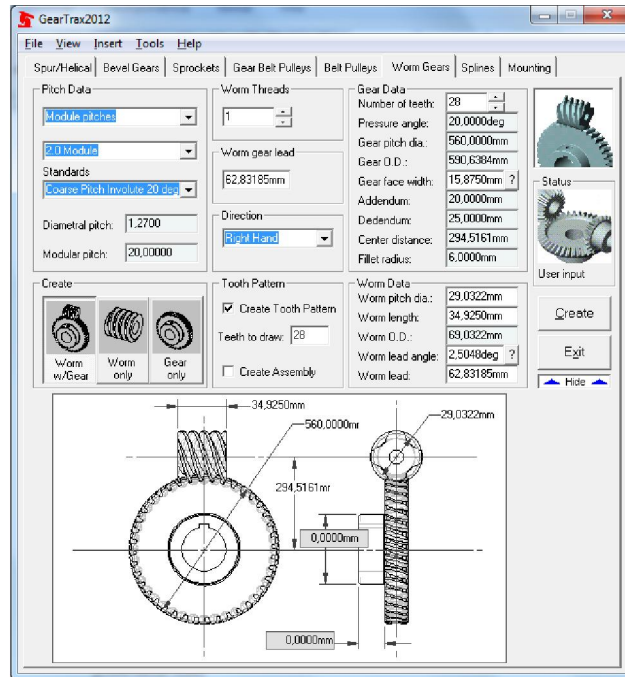


Figura 5. Pantalla del software GearTrack.

Una vez terminado el dibujo del engranaje, este debe ser exportado al formato STL (estereolitografía), para posteriormente ser leído por el software especializado que permitirá que el objeto 3D (Engranaje) sea dividido en delgadas capas, esta información geométrica permitirá al software generar el Código-G (lenguaje de control numérico), que es el que finalmente interpreta la Impresora 3D para generar los movimientos que permiten imprimir la pieza. Se debe destacar que el usuario de la impresora no necesita tener conocimientos de CNC, pues el código es mandado a la impresora automáticamente. Este proyecto uso el software Repetier. En la figura 6 se aprecia la impresión de un engranaje del proyecto.

Para la configuración de la impresión 3D, es necesario ajustar parámetros técnicos como velocidades de impresión, estrategia de generación de los contornos y relleno de la pieza a ser impresa, espesor de las capas a ser depositada, temperatura de extrusión, temperatura del soporte (mesa), etc.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

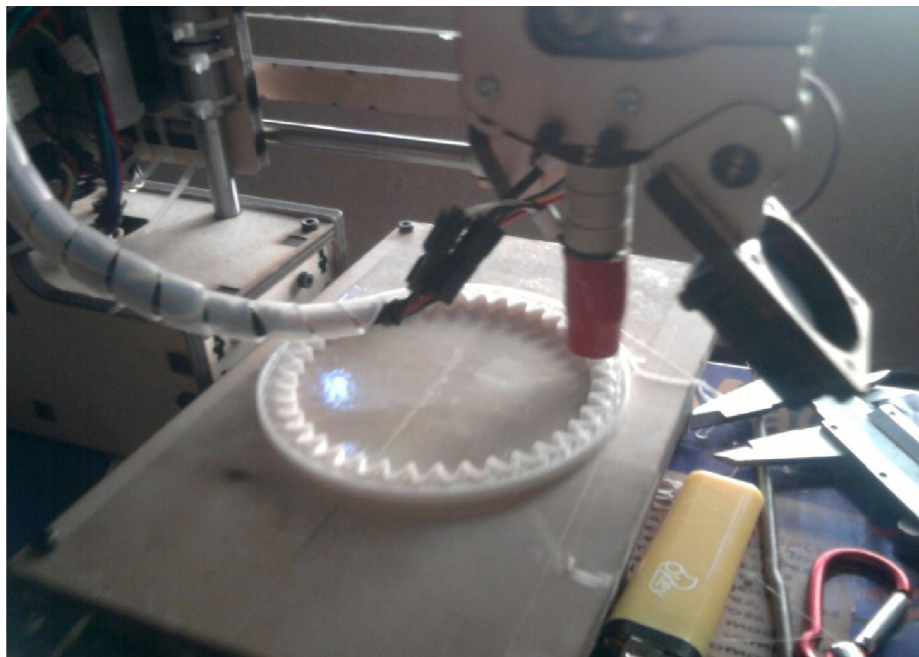


Figura 6. Impresión de engranaje interior en PLA $m=1.5$

En la figura 7 presentamos el resultado del diseño e impresión de dos mecanismos epicicloidales, ambos inspirados en la paradoja de Ferguson.

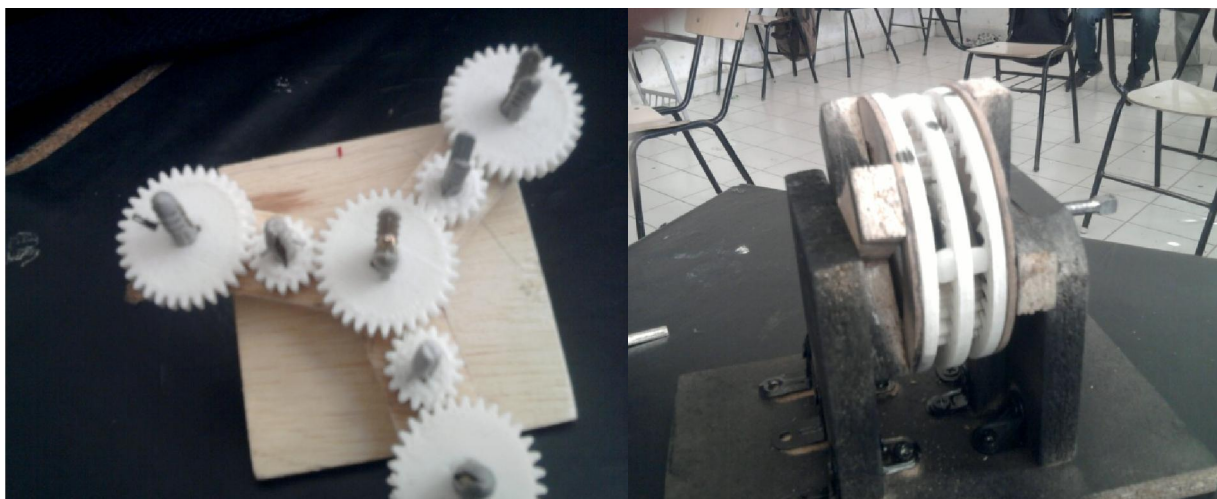


Figura 7. Dos mecanismos inspirados en la Paradoja de Ferguson



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

3. CONCLUSIONES

Es posible fabricar trenes de engranajes epicicloidales usando impresión 3D de tecnología FFF de bajo costo. Paralelamente, en base a los resultados obtenidos por los estudiantes en sus proyectos, se puede afirmar que entienden el potencial de esta nueva tecnología que sin lugar a dudas, es vital para su desarrollo creativo y tecnológico.

Adicionalmente, se percibió que los alumnos, al contar con una tecnología que permite plasmar sus ideas y/o diseños en algo concreto a bajo costo y en corto tiempo, tienen un cambio de actitud y mentalidad muy positivas.

4. REFERENCIAS

- [1] PwC & Manufacturing Institute. 3D printing and the new shape of industrial the industrial manufacturing. USA, 2014.
- [2] Daniel Jensen, Chris Randell, John Feland, Martin Bowe. A study of rapid prototyping for use in undergraduate design education. Proceedings of the American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. 2002.
- [3] CSC. 3D printing and the future of manufacturing. USA , 2012.
- [4] SYS. 3D Printing in Education. UK (Reino Unido).
- [5] www.impresoras3d.com. La reforma educativa de Reino Unido recoge la impresión 3D. Julio, 2013.
- [6] Agoki, G. S. Graphics education needed for uppre division courses in mechanical engineering desing. 66th. EDGD Mid-Year Conference Proceodings. Tx. USA. 2012.
- [7] Ortega, L. 13 Universidades norteamericanas que invierten en impresión 3D. 2014
- [8] <http://hvbizjournal.com>. SUNY New Paltz Celebrates the Opening of MakerBot Innovation Center. 14 de Febrero de 2014.
- [9] Levai, Zoltan. Structure and analisys of planetary gear trains. Jnl. Mechanisms, Vol. 3, 1968.
- [10] Ramu Mannam & Subba Rao. Synthesis and rating of epicyclic gear trains. Research Expo International Multidisciplinary Research Journal. ISSN : 2250 – 1630. Sep. 2012.
- [11] Mogalapalli, S. N. et al. System for the optimization of gear ratios for automotive automatic transmissions. Reporte tecnico. TR-92-118. 1992.
- [12] J. Shigley & L. Uicker. Teoría de Maquinas y Mecanismos. Mc. Graw-Hill. 1988.