UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Análisis comparativo de herramientas computacionales CAD basado en versión libre con programas comerciales

Tutor Académico:
Prof. Víctor Carrera

Autor:
Br.Mayela Espinoza

Naguanagua, marzo de 2015

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Análisis comparativo de herramientas computacionales CAD basado en versión libre con programas comerciales

Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Mecánico

Tutor Académico:
Prof. Víctor Carrera

Autor:
Br. Mayela Espinoza

Naguanagua, marzo de 2015

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar la Tesis de Pre-grado titulada "**Análisis comparativo de herramientas computacionales CAD basado en versión libre con programas comerciales**", presentada por la bachiller Mayela Espinoza, titular de la Cédula de Identidad Nº: 24.327.395; hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.

Prof. Ing. Víctor Carrera

Prof. Giovanni Pizzella

Prof. Ramón Sanchez

Naguanagua, marzo de 2015

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por cada una de sus bendiciones, por mi familia, por las oportunidades que me ha dado y por todas las enseñanzas de vida durante la realización de este trabajo de grado.

Gracias a mis padres, Morelba y Pastor, por su amor infinito que sustenta mi vida. Siempre a mi lado con sus bendiciones, plenos de experiencia, guiándome con sus sabios consejos y mantienen mi deseo de alcanzar nuevas metas.A mi hermano Pastor Francisco, gracias por sus puntos de vista, que al contrastarlos con los míos me permitió la generación de nuevas ideas.

Gracias a mi tutor académico, el profesor Víctor Carrera, quien con sus conocimientos y experiencia profesional me permitió la elaboración del presente trabajo de grado. Muchas gracias por su confianza en mi, su dedicación en todas sus enseñanzas, cargadas de valores, principios y estrategia para lograr nuevas metas en la vida.

Gracias a los profesores Eleazar Diaz, Luis Escalona, Lucia Martino, José Velasquez y mis demás profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica que formaron parte de mi formación universitaria.

Gracias a mis amigos, Rafael Barrios, Fabiola Vargas y en especial a mi hermano de universidad, Atxeltz Zarraga, por su apoyo y solidaridad incondicional que me permitió conocer el verdadero significado de la amistad.

Gracias a Irama y Jeni, por su apoyo y sus consejos en los numerosos momentos que acudí a ellas.

Resumen

Partiendo del conocimiento amplio y experiencia en el uso del software de diseño asistido por computadora (CAD) en versiones comerciales, se evaluaron las versiones libres equivalentes mediante la realización de modelos de piezas y ensambles representativos en cuanto a su complejidad y diversidad geométrica tanto en el dibujo 2D como en el modelado 3D orientado a el diseño mecánico. En consecuencia, se desarrolló un análisis comparativo de software, versión libre con su similar versión comercial, frente a los requerimientos de una herramienta CAD, presentando de manera objetiva las principales ventajas y desventajas de su uso, así como conclusiones y recomendaciones, que orienten el proceso de migración hacia el software CAD libre.

En ese mismo sentido, se exponen las facilidades de operaciones de modelado, edición, manipulación, portabilidad y personalización que ofrece el software CAD libre haciéndolo competitivo y permitiendo la obtención de resultados similares a los del software comercial. Finalmente, se estableció la alternativa de la creación estaciones de trabajo con uso exclusivo de software CAD libre, lo cual representa, además de una alternativa viable y confiable, una oportunidad de reducción de costos, cada vez mayores, asociados a la adquisición de licencias de software comercial por parte de las instituciones de educación superior y de empresas que requieran este tipo de herramientas.

Índice general

Agradecimientos VII

Resumen VIII

Índice de figuras XIII

Índice de tablas XV

Introducción 1

Capítulo I. ***El Problema*** 3

1.1. . Planteamiento del problema 3
1.2. . Objetivos 4
1.2.1. . Objetivo general 4
1.2.2. . Objetivos específicos 4
1.3. . Justificación de la investigación 5
1.4. . Alcance 6
1.5. . Limitaciones 6

Capítulo II. ***Marco Teórico*** 7

2.1. . Antecedentes de la investigación 7
2.2. . Breve historia del CAD 10
2.3. . Sistema CAD: Definición 11
2.3.1. . CAD 2D: Funciones básicas 13
2.3.2. . CAD 3D: Funciones básicas para el modelado de sólidos 13
2.4. . Paradigmas de diseño 16
2.4.1. . Modelado clásico 17
2.4.2. . Diseño paramétrico 18
2.4.3. . Diseño basado en características 21
2.5. . Software libre 22
2.5.1. . Breve historia del software libre 23
2.5.2. . Beneficios de escoger software libre 23

Capítulo III. *Marco Metodológico* 25
3.1. . Nivel de la investigación 25
3.2. . Diseño de la investigación 25
3.3. . Revisión bibliográfica 26
3.4. . Selección de programas 26
3.5. . Especificación de características y registro de observaciones 26
3.6. . Análisis comparativo 27
Capítulo IV. Evaluación y selección de programas 29
4.1. . Criterios de selección aplicados a programas CAD 29
4.1.1. . Diseño paramétrico 30
4.1.2. . Operaciones básicas de diseño 30
4.1.3. . Curva de aprendizaje 31
4.1.4. . Código gratuito 31
4.1.5. . Portabilidad de archivos 32
4.1.6. . Proyección a futuro 33
4.1.7. . Estabilidad 33
4.2. . Descripción de programas CAD libre 33
4.2.1. . BRL-CAD 34
4.2.2. . FreeCAD 34
4.2.3. . LibreCAD 35
4.2.4. . OpenSCAD 36
4.2.5. . QCad 37
4.2.6. . Shapesmith 37
4.2.7. . SolveSpace 39
4.2.8. . Varkon 39
4.2.9. . gCAD3D 40
4.2.10. CAD.FEM 40
4.2.11. DesignSpark 42
4.2.12. Minos 2.2 43
4.2.13. NaroCAD 43
4.2.14. AnyCAD Free 44
4.2.15. Draftsight 46
4.2.16. Inkscape 46
4.3. . Selección de programas CAD libre aplicación: dibujo 2D 47

4.4. . Selección de programas CAD libre aplicación: modelado 3D 48
4.5. . Descripción programas CAD comerciales 48
4.5.1. . AutoCAD® 50
4.5.2. . SolidWorks® 51
4.5.3. . NX ® 51
4.5.4. . Solid Edge ® 52
4.6. . Selección de programas CAD comerciales 53

Capítulo V. Análisis Comparativo de Programas 57

5.1. . Programas CAD 2D: Evaluaciones cualitativas 57
5.2. . Programas CAD 2D: Evaluaciones practicas 60
5.2.1. . Casos prácticos CAD 2D 60
5.2.2. . Observaciones casos prácticos CAD 2D 63
5.3. . Programas CAD 3D: Evaluaciones cualitativas 63
5.4. . Programas CAD 3D: Evaluaciones practicas 68
5.4.1. . Casos prácticos CAD 3D 69
5.4.2. . Observaciones casos prácticos CAD 3D 69

Capítulo VI. ***Conclusiones y Recomendaciones*** 73

6.1. . Conclusiones 73
6.2. . Recomendaciones 74

Bibliografía 75

APÉNDICE A 81

APÉNDICE B 87

APÉNDICE C 89

Índice de figuras

2.1. Ejemplo instalación de primitivas (FreeCAD). 14
2.2. Ejemplo de barrido por revolución. (FreeCAD) 15
2.3. Ejemplo operaciones booleanas. 16
2.4. Ejemplo de redondeado. (FreeCAD) 17
2.5. Ejemplo modelado clásico. (AutoCAD). 18
2.6. Ejemplo diseño parametrico (FreeCAD). 20
2.7. Ejemplo diseño basado en características. 22

4.1. Curvas de aprendizaje. 31
4.2. Interfaz de usuario BRL-CAD. 35
4.3. Interfaz de usuario FreeCAD. 36
4.4. Interfaz de usuario Libre-CAD 37
4.5. Interfaz de usuario OpenSCAD. 38
4.6. Interfaz de usuario QCAD 38
4.7. Interfaz de usuario Shapesmith 39
4.8. Interfaz de usuario SolveSpace. 40
4.9. Interfaz de usuario Varkon. 41
4.10. Interfaz de usuario gCAD3D. 41
4.11. Interfaz de usuario CAD.FEM. 42
4.12. Interfaz de usuario DesingSpark. 43
4.13. Interfaz de usuario Minos 2.2. 44
4.14. Interfaz de usuario NaroCAD 45
4.15. Interfaz de usuario AnyCAD. 45
4.16. Interfaz de usuario Draftsight. 46
4.17. Interfaz de usuario Inkscape. 47
4.18. Interfaz de usuario AutoCAD®. 50
4.19. Interfaz de usuario SolidWorks®. 52
4.20. Interfaz de usuario NX®. 53
4.21. Interfaz de usuario Solid Edge ®. 55

5.1. Caso practico CAD 2D N°1: Guía de cambio. 61
5.2. Caso practico CAD 2D N° 2: Horquilla de cambio de marcha. 61
5.3. Caso practico CAD 2D N° 3: Bloque deslizante. 62
5.4. Caso practico CAD 3D N°1: Troquel. 70
5.5. Caso practico CAD 3D N°2: Robot industrial. 70
5.6. Caso practico CAD 3D N°3: Estampadora *. 71

1. Directorio de software CAD libre (Free Software Foundation). 84
2. Directorio de software CAD libre. Búsqueda independiente. 85

3. Ventana de bienvenida a FreeCAD. 91
4. Selección “Diseño de pieza”. 92
5. Selección plano de trabajo. 92
6. Selección herramientas de croquis. 93
7. Restricción de croquis. 93
8. Selección de herramienta de diseño de parte: Revolucion. 94
9. Caso práctico CAD 3D N° 1: Troquel FreeCAD 95
10. Caso práctico CAD 3D N° 1: Troquel Solidworks 95
11. Caso práctico CAD 3D N° 2: Robot industrial FreeCAD 96
12. Caso práctico CAD 3D N° 2: Robot industrial Solidworks 96
13. Caso práctico CAD 3D N° 3: Estampadora FreeCAD 97
14. Caso práctico CAD 3D N° 3: Estampadora Solidworks 97

Índice de tablas

4.1. Población programas CAD libre. 49
4.2. Descripcion programas CAD comerciales. 54

5.1. Instalación y manuales: Comparación de programas CAD 2D. 58
5.2. Características básicas: Comparación de programas CAD 2D. 59
5.3. Entorno de bocetado: Comparación de programas CAD 2D. 59
5.4. Creación de planos: Comparación de programas CAD 2D. 60
5.5. Instalación y manuales: Comparación de programas CAD 3D. 64
5.6. Características básicas: Comparación de programas CAD 3D. 66
5.7. Entorno 2D de bocetado: Comparación de Programas CAD 3D. 67
5.8. Creación de planos: Comparación de Programas CAD 3D. 67
5.9. Entorno de pieza: Comparación de Programas CAD 3D. 68
5.10. Ensamblajes: Comparación de Programas CAD 3D. 69

Introducción

En la cotidianidad del ser humano surgen necesidades o problemas a resolver, para satisfacer esas necesidades y subsanar esas problemáticas, en lo que al ámbito ingenieril se refiere, se cuenta con innumerables prácticas y recursos técnicos, los cuales operando de manera sistematizada permiten la propuesta y puesta en marcha de soluciones viables, con fundamentos teóricos y prácticos. Es en este punto donde se cuenta con el diseño mecánico, como un proceso altamente iterativo e innovador, tan amplio como sea necesario, continuamente la toma de decisiones le exige la flexibilidad suficiente para hacer ajustes a medida que se obtengan datos nuevos, luego de las iteraciones necesarias se concluye con la presentación de las propuestas de solución.[1]

El éxito de cualquier diseño se ve condicionado por la validez del mismo, por medio del análisis del comportamiento en condiciones de funcionamiento, esto es posible mediante la concepción de un modelo, no precisamente físico, con la comprensión completa de los fundamentos que lo rigen. La capacidad de analizar y simular este modelo es encontrada en los paquetes computacionales más actualizados, con la correcta formación técnica, dominio del lenguaje y capacidad de discernir e interpretar los resultados obtenidos, el empleo de diseño mecánico asistido por computadora, además de agilizar el proceso de diseño, permite realizar continuamente las modificaciones necesarias y sintetizar elementos del diseño, entre otras ventajas.

El empleo de software de diseño ha simplificado y optimizado los procesos de manufactura y fabricación de productos, en la actualidad se cuenta con diversas opciones de herramientas de diseño asistido por computador (CAD), principalmente en dos grandes grupos, versiones de software CAD comerciales y versiones libres. Las versiones comerciales poseen una amplia gama de alternativas para el usuario, herramientas con gran soporte, entre otras cualidades, no obstante, debido a los altos costos de las herramientas CAD comerciales se restringe considerablemente su adquisición, además de

la inaccesibilidad o posibilidad de alteración del código del software y restricción del número de copias realizables.

Una opción ante esto es el empleo de software libre, caracterizado por ser más económico en comparación, capacidad de acceso y modificación del código fuente, independencia del usuario, entre otros aspectos. Ante esta premisa resulta necesario evaluar formal y detalladamente las competencias de las herramientas CAD basadas en software libre sobre sus similares versiones comerciales, analizándose las características más relevantes entre los mismos para establecer alternativas viables, más accesibles y confiables para el diseño mecánico.[2]

Capítulo I. *El Problema*

1.1. Planteamiento del problema

En la educación moderna de la Ingeniería del Diseño de gráficos, el uso de la tecnología CAD es esencial en el aprendizaje de conceptos teóricos, como Geometría y Modelado, para el desarrollo de habilidades espaciales y el dominio de las herramientas de diseño. En este contexto, existe una demanda especial de software CAD en los cursos de ingeniería. Hoy en día, la mayor parte del software CAD de uso profesional disponible tiene versiones educativas con reducidos precios. Actualmente, hay muchos software libres para el uso de gráficos, dibujo vectorial 2D y aplicaciones de modelado 3D. Con la constante mejora, el potencial de estos software libre con fines académicos va en aumentando rápidamente.

Además de la alta calidad de algunos de estos software libres, existen varios proyectos de código abierto, con fines educativos e investigativos de las Escuelas de Ingeniería, y permitiéndose la personalización de la aplicación para las necesidades específicas de cada institución. Por otra parte, el ahorro que representa es un factor muy atractivo. Debido a la necesidad de actualización y mantenimiento diario, el presupuesto para mantener un curso de Ingeniería de Diseño de gráficos empleando Software CAD comercial no es despreciable. Incluso teniendo en cuenta los descuentos académicos, la escasez de presupuesto que enfrentan muchas escuelas de ingeniería de los países en desarrollo requiere un solución más rentable. Además, debido al coste, la disponibilidad de las herramientas de CAD para los estudiantes es relativamente limitada. [3]

Cada vez son más las universidades, tanto públicas como privadas, que utilizan y promueven el empleo de software libre entre la comunidad universitaria y en la sociedad, en general. Las universidades, como pieza clave de una sociedad moderna deben

apostar claramente por una forma de socialización del conocimiento que respete la autoría de las obras, al tiempo que posibilite que el conocimiento generado sea más accesible a través de Internet. [4]

En los últimos años diversas administraciones públicas de todo el mundo, tanto a nivel nacional como regional o local, han iniciado un proceso de migración del software propietario al software libre o de código abierto. Este proceso, que en Europa está promovido por la Comisión Europea desde el plan Europe 2002. [5]

Para un país en vía de desarrollo el software libre es una solución a la mayoría de los problemas informáticos, la cual es en extremo económica, no solo para la individualidad de la empresa sino para el contexto nacional. Es importante notar que una distribución cualquiera de Gnu/Linux trae preconfiguradas herramientas libres para escritorio que abarcan desde el sistema operativo hasta herramientas CAD, pasando por la típica suite de oficina e Internet y manipuladores de imágenes bastante avanzados. Lo más importante es que no tienen ningún costo de licenciamiento, es decir, el país evitaría el flujo de divisas hacia el extranjero por concepto de importación de licencias. [6]

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Establecer un análisis comparativo de herramientas CAD de software libre con versiones comerciales.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Revisar bibliografía referente a las herramientas más conocidas de diseño computacional para la ingeniería.
2. Reconocer la interfaz y las cualidades gráficas del sistema CAD para el prototipado virtual.
3. Preseleccionar herramientas computacionales basadas en software libre y software comercial tipo CAD existentes.

4. Realizar un análisis comparativo entre herramientas CAD basadas en software libre con versiones comerciales.
5. Determinar las ventajas y desventajas del empleo de herramientas CAD basadas en software libre con versiones comerciales.

1.3. Justificación de la investigación

Hoy en día el diseño y desarrollo de nuevos productos o la modificación de los existentes se ha convertido en un elemento clave y fundamental para la mejora de la capacidad de innovación y competitividad de las empresas industriales. Cada vez más el "diseño" de los productos es el único elemento que diferencia a un producto innovador de otro que no lo es. Actualmente resulta necesario ofrecer productos de mayor valor añadido, es prácticamente imprescindible adquirir, desarrollar y aplicar eficazmente tecnologías de apoyo a la función de diseño e ingeniería. [7]

En los últimos años, el desarrollo de estas tecnologías ha dado como resultado la instauración de diversas vertientes en el ámbito del software CAD. La gama de herramientas CAD para el modelado paramétrico de objetos 3D y diseño de planos puede encontrarse principalmente en versiones comerciales y versiones libres, abarcándose un mercado con una extensa variedad de productos destinados a cubrir diversas necesidades y aplicaciones. En relación al diseño mecánico, una vez establecido el proyecto a realizar, queda a decisión del usuario la herramienta CAD a emplear, se trate de una versión comercial o una versión libre. Partiendo de este planteamiento resulta necesario realizar un análisis comparativo fundamentado en las características, ventajas y desventajas del empleo de cada una de estas versiones CAD disponibles tomándose en cuenta las condiciones y requerimientos del usuario. Este análisis comparativo tiene como propósito orientar al usuario hacia la versión más apropiada y adaptada a sus circunstancias, estableciéndose alternativas realizables y confiables para la elaboración del diseño mecánico deseado.

1.4. Alcance

Evaluación teórica y práctica de herramientas computacionales CAD de software libre sobre sus similares versiones comerciales fundamentándose en la evaluación de sus características, identificándose debilidades y fortalezas correspondientes a cada uno de los software estudiados con el fin de establecer un análisis comparativo.

1.5. Limitaciones

- Disponibilidad de los software comerciales, debido a costos por encima del presupuesto estimado para este proyecto.
- Equipos con restringida capacidad de procesamiento de datos al momento de corrida del programa.
- Capacitación técnica requerida para el manejo de los software seleccionados.

Capítulo II. *Marco Teórico*

Dentro del proceso de representación de objetos en dos o tres dimensiones mediante el uso de programas CAD existen diversas fases y elementos característicos, tanto para las versiones comerciales como las versiones libres. En el presente capítulo se exponen los inicios del software CAD, sus componentes, características, operaciones básicas realizables en un sistema CAD y paradigmas de diseño para el modelado de piezas 3D y por último se define a el software libre.

2.1. Antecedentes de la investigación

Cheng L. (2007) Realiza una reseña sobre la enseñanza de Ingeniería de Diseño Gráficos en Brasil y en la Escola Politécnica de la Universidad de São Paulo (EPUSP), señala que en la educación moderna del diseño en ingeniería el uso de la tecnología CAD es esencial, en este contexto, hay una demanda considerable para el CAD en los cursos de ingeniería. Recientemente, hay muchas opciones, con mejoras y actualizaciones constantes, el potencial de estos es cada vez mayor para el uso educativo, pero debido al coste, la disponibilidad de las herramientas CAD a los estudiantes es relativamente limitada. El objetivo del trabajo fue analizar la viabilidad de la aplicación de software libre para la enseñanza y el aprendizaje del diseño en la ingeniería. Concluyó que el uso de software libre resulta una buena alternativa para reducir los costos, debido a la situación de limitado presupuesto por la cual están pasando la mayoría de las universidades brasileñas para mantener el sistema CAD para la enseñanza de la ingeniería de diseño de gráficos a la fecha.

Además, con el fin de estudiar la viabilidad de usar software gratuito CAD en la enseñanza, se realizó una encuesta sobre CAD gratuito y se encontraron nueve para proyectos 2D y dieciséis para el modelado 3D. Los 2D fueron evaluados teniendo en

cuenta el contenido y los requisitos de las asignaturas de Ingeniería del Diseño Gráficos de la Escola Politécnica (EPUSP). Como resultado, tres de ellos fueron seleccionados y analizados mediante la aplicación de mini-conferencias, las cuales consistieron en una breve presentación del programa a partir de su interfaz, y se pidió a los estudiantes resolver un ejercicio propuesto utilizando el software seleccionado. Los resultados fueron satisfactorios, y a los estudiantes, en general, les agradaron las interfaces, pero establecieron algunas quejas específicas sobre los programas. En un primer análisis, se llegó a la conclusión que la utilización de software libre es válida y viable para alcanzar algunos objetivos didácticos. El siguiente paso de la investigación correspondería a evaluar los programas 3D disponibles. Después de esto, la posibilidad de integrar varios software gratuito CAD a un Curso de Diseño de Ingeniería de Gráficos para satisfacer plenamente sus exigencias, en la Escola Politécnica (EPUSP) de Brasil. [3]

Bizello S., Ruschel R. (2011) Señalan que los proyectos del sector Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) tienen como principal herramienta CAD el software propietario, con altos costos y numerosas estaciones de trabajo. Sin embargo, los usuarios actuales de los sistemas de CAD en Brasil y el mundo necesitan un programa como el software libre o software de código abierto, los cuales pueden ser personalizados por el propietario. El estudio que aquí se presenta pretendió establecer que un sistema CAD alternativo puede albergar la metodología para el diseño automatizado.

Esta investigación se caracterizó por ser descriptiva de los sistemas CAD gratuitos, en los siguientes pasos: recolección, categorización, clasificación, definición de los elementos y criterios de evaluación y análisis. Concluyeron que todavía no existe un sistema de CAD libre que se pueda adecuar al desarrollo de una herramienta de diseño, con características de recursos en 2D, 3D y extensibilidad. Sin embargo, esta introducción al mundo del Open Source CAD ofrece buenas perspectivas para el sector. [8]

Morelli, R, Morelli, L (2012) Para el Congreso Internacional de Expresión Gráfica en Ingeniería, Arquitectura y áreas afines en La Plata, Argentina, reseñan que en las universidades nacionales, los estudiantes de Ingeniería logran competencias profesionales generales y específicas en el área de Sistemas de Representación, que incluyen las capacidades de diseño utilizando sistemas CAD, es por ello que como universidad

pública y gratuita, el costo de las licencias de los programas informáticos es un tema relevante y de recurrente preocupación, tanto para la institución como para alumnos y docentes. Esta preocupación se da en todas las Universidades Nacionales, también del MERCOSUR y del resto del mundo, hasta en países de buen desarrollo económico. En lo referido a esta disciplina, debido al alto costo de las licencias de los programas CAD más difundidos (AutoCAD, CATIA, MICROSTATION, SOLID WORKS, SOLID EDGE, etc.), resulta inaccesible para la mayoría el disponer de licencias originales de alguno de estos programas, dependiendo las instituciones de lograr algún tipo de convenio (que no siempre es factible) con cualquiera de las empresas propietarias del software para no caer en la ilegalidad.

Además, reseñaron como principio rector que como Universidad Pública de debe sostener el libre acceso a la información y al conocimiento, y evitar caer en una dependencia tecnológica a la hora de utilizar software dedicado a la enseñanza. Paralelamente, el desarrollo del Software Libre ha avanzado notablemente en la última década, y existen diversos programas CAD libres de distribución gratuita, y programas propietarios conocidos como Freeware, cuya distribución y licencia también son gratuitas. Esta realidad constituye una fuerte motivación para investigar sobre la problemática planteada. Con esta investigación se buscó demostrar que existen programas gratuitos alternativos a los clásicos programas pagos de alto costo, ya sean Software Libre o Freeware.

Finalmente concluyeron que para la actividad educativa, existen alternativas gratuitas para diseño CAD 2D, diseño gráfico, etc., tanto en Software Libre como Freeware. Además, los programas CAD de modelado paramétrico 3D evaluados presentan la dificultad de que no están desarrollados totalmente y algunas características importantes como la generación de proyecciones ortogonales (vistas automáticas) están en una etapa inicial. Lo positivo es que existen numerosos proyectos de desarrollo de Software Libre para modelado 3D paramétrico. El aprendizaje del Software Libre requiere una fuerte capacidad de autoaprendizaje. Es bien conocido que los cursos que se ofrecen apuntan a los productos comerciales. Foros de ayuda, blogs, manuales, tutoriales, etc., son recursos que siempre están disponibles en Internet puestos a disposición por la comunidad de usuarios y desarrolladores. [9]

Márquez, F, Rangel, J (2013) Presentaron un análisis comparativo de herramientas computacionales del tipo CAD-CAE basado en versión libre con programas comerciales en la Universidad de Carabobo, Venezuela. Para lo cual hicieron una revisión y selección de los software comerciales que resultaron ser la base para la selección de los programas en versiones libre, luego realizaron el estudio comparativo de las herramientas computacionales establecidos previamente modelos validados (para CAD tomaron un troquel de un trabajo de investigación) y se efectuó un análisis comparativo de dichas herramientas, donde se mostraron ventajas y desventajas de los software libre frente a las comerciales y las experiencias propias a la hora de ejecutar los análisis. Concluyeron que los programas basados en versiones libre no son tantos, ni tampoco de la talla o calidad de sus similares versiones comerciales, pero han comenzado a emerger algunos que se perfilan a ser unas buenas alternativas, pero sobre todo al tomar en cuenta la relación costo utilidad debido a que estos programas son gratuitos. Además, señalaron como característica más relevante de las versiones libres la portabilidad de archivos, una interfaz gráfica muy llamativa, las operaciones básicas de diseño y curvas de aprendizaje aceptable por lo que en general se vuelven muy llamativos a la industria. [10]

2.2. Breve historia del CAD

La evolución y desarrollo de las aplicaciones CAD han estado relacionados con los avances del sector informático. El nacimiento del CAD, se sitúa al final del periodo de los ordenadores de primera generación, y su desarrollo a partir de la aparición de los ordenadores de cuarta generación donde aparecen los circuitos de alta escala de integración LSI (Large Scale Integration) y lenguajes altamente desarrollados. Las grandes empresas desde el principio han apostado por el CAD y ello supone importantes inversiones, que lógicamente potencian y convierten el CAD en un producto estratégico con un gran mercado, debido al impacto enorme en la productividad.

En 1955, se presenta el primer sistema gráfico SAGE (Semi Automatic Ground Enviroment) de la Fuerzas aéreas norteamericanas (US Air Force's), es desarrollado en el Lincoln Laboratory del MIT (Massachussets Institute of Technology). Este sistema

procesaba datos de radar y otras informaciones de localizaciones de objetos mostrándolos a través de una pantalla CTR.

Más tarde, en el año 1962, Ivan E. Sutherland desarrolló su tesis doctoral denominada “A Machines Graphics Comunications System" desarrolla en el Lincoln Laboratory (MIT) el sistema Sketchpad, el cual establece las bases de los gráficos interactivos por ordenador tal y como hoy se conoce. También propuso la idea de utilizar un teclado y un lápiz óptico para seleccionar situar y dibujar, conjuntamente con una imagen representada en la pantalla. Este autor utilizó una innovadora estructura de datos. A diferencia de todo lo que se había hecho hasta entonces, tal estructura estaba basada en la topología del objeto que iba a representar, es decir describía con toda exactitud las relaciones entre las diferentes partes que lo componía, introduciendo así, lo que conoce como Programación orientada a Objetos.

En 1982 John Walker funda AUTODESK con 70 personas con la idea de producir un programa CAD para PC y luego se inicia la aplicación del sistema universal de transferencia de datos STEP (Standard for the Exchange of Product model data). En 1992 se realiza el primer AutoCAD sobre plataforma SUN (procesadores Risc), tres años más tarde sobre Windows. El crecimiento de Autodesk es vertiginoso y en el año de 1999 ya poseía 1.000.000 de usuarios y partir de entonces esta ha sido la pionera en el desarrollo de sistemas de dibujo asistido por computadora.

En el año 2001 se presentó la versión de AutoCAD 2002 que destaca la función de asociación de funciones de las dimensiones en el dibujo, el editor gráfico de atributos. La definición de bloques y un conversor de capas asociado a la funcionalidad del gestor de normas. [11]

2.3. Sistema CAD: Definición

En un sentido amplio, se puede entender el Diseño Asistido por Computador (CAD) como la "aplicación de la informática al proceso de diseño". Puntualizando la definición, se entiende por Sistema CAD, un sistema informático que automatiza el proceso de diseño de algún tipo de ente, para descartar, como sistemas CAD las aplicaciones que incidan tan solo en algún aspecto concreto del proceso de diseño. Los medios in-

formáticos se pueden usar en la mayor parte de las tareas del proceso, siendo el dibujo el punto en el que más profusamente se ha utilizado. El éxito en la utilización de sistemas CAD radica en la reducción de tiempo invertido en los ciclos de exploración. Fundamentalmente por el uso de sistemas gráficos interactivos, que permiten realizar las modificaciones en el modelo y observar inmediatamente los cambios producidos en el diseño. [12]

Un sistema CAD se basa en la representación computacional del modelo. Esto permite realizar automáticamente el dibujo de detalle y la documentación del diseño, y posibilita la utilización de métodos numéricos para realizar simulaciones sobre el modelo, como una alternativa a la construcción de prototipos. El ciclo de diseño utilizando un sistema CAD se ve afectado, tan solo, por la inclusión de una etapa de simulación entre la creación del modelo y la generación de bocetos. Esta simple modificación supone un ahorro importante en la duración del proceso de diseño, ya que permite adelantar el momento en que se detectan algunos errores de diseño. [12]

Estas herramientas se pueden dividir básicamente en programas de dibujo en dos dimensiones (2D) y/o en tres dimensiones (3D). Las herramientas de dibujo en 2D se basan en entidades geométricas vectoriales como puntos, lineas, arcos y polígono, con las que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Las herramientas en 3D añaden superficies y sólidos.

El usuario puede asociar a cada entidad una serie de propiedades como color, estilo de linea, nombre, definición geométrica, que permiten manejar la información de forma lógica. Además pueden asociarse a las entidades o conjuntos de estas otro tipo de propiedades como materiales, que permiten enlazar el CAD a los sistemas de gestión y producción. De los modelos pueden obtenerse planos con cotas y anotaciones para generar la documentación técnica especifica de un proyecto. Las herramientas en 3D pueden, además, producir pre-visualizaciones realistas del producto, aunque a menudo se prefiere exportar los modelos a programas especializados en visualización y animación. [13]

En su forma más básica en un sistema de CAD se pueden identificar los siguientes componentes: Núcleo geométrico y Sistema de interacción. El componente principal es

el núcleo geométrico, puesto que es donde se registra y se representa la geometría y topología de un modelo. Para interaccionar con el núcleo geométrico existen un conjunto de funciones, que se pueden entender como operaciones de bajo nivel. Sin embargo, para el usuario sólo son visibles las operaciones de alto nivel propias del paradigma de diseño que utilice el sistema, y no tiene acceso directo a las funciones de bajo nivel del núcleo geométrico, ni es necesario que conozca los detalles del modelo utilizado. [12]

Básicamente, todos los programas CAD operan con entidades que se pueden crear y modificar, para obtener entidades mas complejas que representen finalmente el objeto o idea que en definitiva se pretende diseñar. Este es el núcleo del programa, y todo lo demás esta enfocado a facilitar los procesos de creación, modificación, visualización e impresión. [14]

2.3.1. CAD 2D: Funciones básicas

El fundamento de las herramientas de dibujo en 2D en programas CAD se encuentra en la creación y modificación de geometrías vectoriales como lineas, arcos y polígonos realizados mediante comandos del programa y representados a través de una interfaz gráfica. Generalmente, para la creación de líneas deben determinarse dos puntos (punto inicial y final). El programa encadena segmentos de línea, solicitando el primer punto y luego el resto de puntos de segmentos consecutivos o introduciendo la distancia e indicando la dirección. Para la creación de segmentos circulares la manera más habitual es a través de especificación de centro y el radio o diámetro. Además existen funciones de duplicación de elementos dibujados previamente, obtención de objetos simétricos a otros ya existentes, creación de secuencias de objetos a partir de uno o varios de referencia, mover o girar objetos respecto a un punto de base. [13]

2.3.2. CAD 3D: Funciones básicas para el modelado de sólidos

El núcleo geométrico en el que se basa un sistema de CAD de los que actualmente se pueden encontrar en el mercado, tiene un conjunto básico de funciones de modelado para crear o modificar las formas detalladas del diseño de sólidos, funciones:

- Instanciación de primitivas.
- Barridos.
- Operaciones booleanas.

- Redondeados.

Instanciación de primitivas

Por primitivas se entienden los objetos básicos predeterminados de un sistema de CAD, a partir de los cuales se construirá el diseño completo. Habitualmente, las primitivas de un sistema de CAD suelen admitir uno o más parámetros para dar flexibilidad al diseño. Las primitivas de un sistema de CAD serán más o menos complejas en función del grado de especialización del sistema.

Por ejemplo, muchos sistemas disponen de objetos paramétricos elementales, como bloques rectangulares, cilindros, esferas, conos, toros, etc., con los parámetros necesarios para fijar sus dimensiones, posición y orientación. La instanciación de una primitiva consiste en crear un objeto concreto asignando valores determinados a los parámetros que la definen. En la Figura 2.1 se muestran ejemplos de figuras primitivas disponibles en el software libre FreeCAD, cada una de estas con la posibilidad de modificar sus dimensiones, aspecto, posicionamiento de acuerdo a las necesidades del usuario. [15]

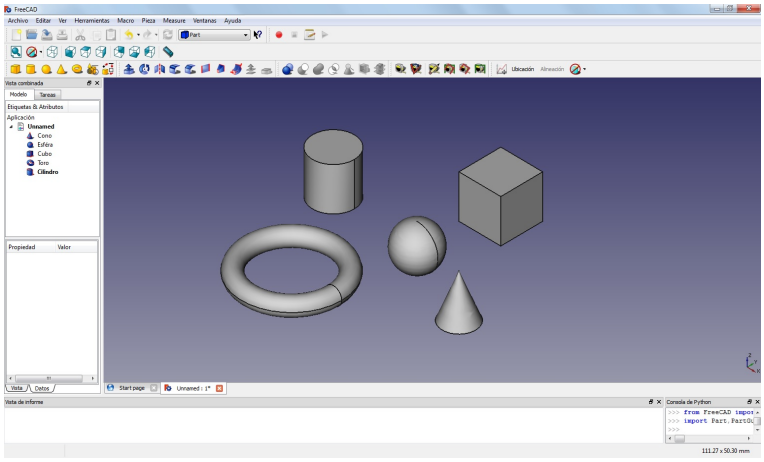

Figura 2.1: Ejemplo instalación de primitivas (FreeCAD).

Fuente: FreeCAD.

Barridos

El barrido es una operación que permite definir nuevos objetos a partir de una figura plana, llamada “perfil de barrido”, y una trayectoria, también llamada curva guía. El

resultado es el objeto que se obtiene al desplazar el perfil a lo largo de la trayectoria (de forma continua). Si el perfil es una figura cerrada, se obtendrá un objeto sólido, mientras que un perfil abierto suele definir una superficie.

Los dos tipos más comunes de barrido son el barrido por traslación, en el que la trayectoria es un segmento rectilíneo, y el barrido por rotación, consistente en desplazar el perfil girándolo un determinado ángulo con respecto a un eje, es decir, se trata de un barrido a lo largo de una trayectoria en forma de arco de círculo. En la Figura 2.2. se ejemplifica la operación de barrido realizada a un elemento en dos dimensiones, obteniéndose un solido en revolución de sección transversal circular variable. [15]

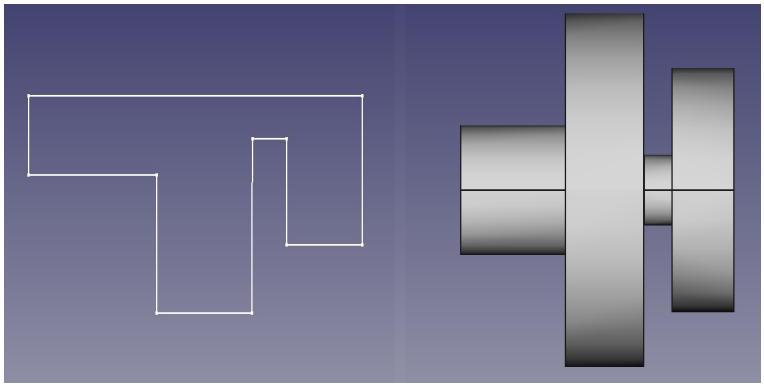

Figura 2.2: Ejemplo de barrido por revolución. (FreeCAD)

Fuente: FreeCAD.

Operaciones booleanas

En modelado de sólidos, una operación booleana consiste en combinar dos objetos mediante una unión, una intersección o una diferencia, obteniéndose como resultado un tercer sólido cuyo interior es el resultado de la operación booleana correspondiente del interior de los dos sólidos originales. Para una correcta definición del resultado, las operaciones booleanas entre sólidos deben estar regularizadas, es decir, deben trabajar teniendo en cuenta que la operación trabaja sobre el interior de los objetos originales, sin tener en cuenta su superficie limitante. De esta forma, se evita que el resultado pueda contener caras o aristas superfluas que no limitan el interior del exterior del sólido resultante. En la Figura 2.3 se ejemplifica las tres modalidades del operación booleana, primeramente una operación de unión, luego una operación de intersección y finalmente una operación de diferencia. [15]

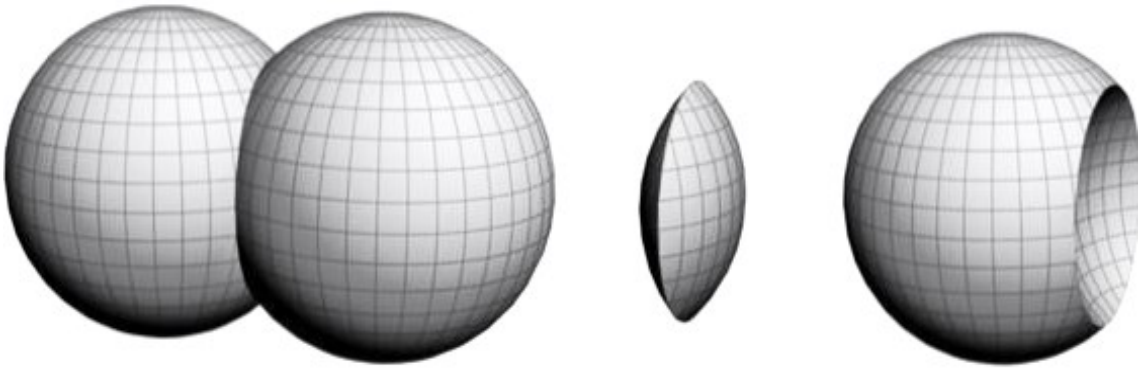

Figura 2.3: Ejemplo operaciones booleanas.

Fuente: http://www.tutorials3d.com/esp/tut_free3_objcomp.asp?id=3. Fecha: 26/02/2015. Hora 01:56 a.m.

Redondeados

Es la función de modelado en la que un vértice o arista de un sólido se sustituye por una curva o superficie suave. Los vectores normales de la curva de sustitución varían de forma continua con respecto a los vectores de las superficies que son adyacentes al elemento sustituido. En el caso de que el redondeado se aplique a una arista cóncava recibe el nombre de fillet. Como elemento geométrico en la sustitución también se puede utilizar un plano en vez de una curva, de modo que se genera un chaflán en el sólido que se esté modelando.

En los redondeados se pueden tener inconsistencias en el caso de redondeados variables o en vértices donde confluyen redondeados de diferentes valores. Dichas situaciones pueden no ser válidas y la mayoría de sistemas no permiten generar la operación de modelado en estos casos. En la figura 2.4. se ejemplifica el resultado de aplicar una operación de redondeado a dos de los vértices del cubo mostrado. [15]

2.4. Paradigmas de diseño

Un paradigma de diseño define la forma genérica con que el usuario de un sistema de CAD deberá de desarrollar un determinado diseño. El paradigma de diseño que se utilice, determina la forma en que el usuario deberá de desarrollar un diseño, y la

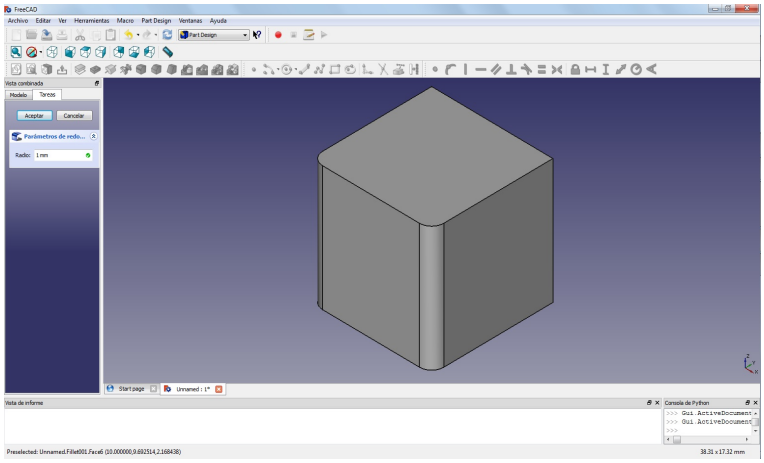

Figura 2.4: Ejemplo de redondeado. (FreeCAD)

Fuente: FreeCAD.

metodología de trabajo a seguir. En la actualidad, en los sistemas de CAD existentes en el mercado se identifican los siguientes paradigmas de diseño:

- Modelado clásico.
- Diseño paramétrico.
- Diseño basado en características.

2.4.1. Modelado clásico

El paradigma de diseño seguido por la generación anterior de sistemas de CAD, se basaba en el modelado de sólidos partiendo de objetos primitivos o generados por barrido, transformaciones lineales y la utilización de las operaciones booleanas. El procedimiento seguido por el usuario en este paradigma, empieza por crear un objeto base, bien por instanciación de primitivas o por barrido, y después se crean los objetos que intervendrán en las operaciones booleanas para realizar uniones, intersecciones o diferencias. El uso de transformaciones geométricas los objetos permite posicionar en el espacio las diferentes partes del diseño.

El paradigma clásico basado en operaciones booleanas el diseño está muy orientado a la geometría. Este enfoque obliga al usuario a pensar en términos de que objetos ha de utilizar en las operaciones y en cómo los ha de posicionar. Bajo este paradigma, se pierde la semántica del diseño. Por ejemplo, si es necesario realizar un taladro pasante

a una pieza, en el modelado de la pieza este agujero se traducirá en un cilindro que se restará de la pieza inicial. En la pieza resultante no quedará ninguna referencia a que una parte de la geometría representa un agujero ni que se trataba de un cilindro, sólo existirá un conjunto de caras, aristas y vértices resultantes de la operación. Las modificaciones y evaluación de diseños alternativos tienen un coste elevado y a menudo pasan por volver a realizar el diseño partiendo desde la situación inicial.

Con el modelado clásico basado en operaciones booleanas sólo se pueden diseñar objetos concretos de geometría perfectamente fijada. En la Figura 2.5 se esquematiza el procedimiento a seguir en un software CAD basado en modelado clásico para la elaboración de una pieza simple, iniciando con un dibujo 2D, a partir de este realizar una operación de barrido por trayectoria, posteriormente posicionar un objeto primitivo y finalmente aplicar una operación booleana de sustracción, de este modo se evidencia el procedimiento básico a seguir para el modelado clásico de piezas 3D. [15]

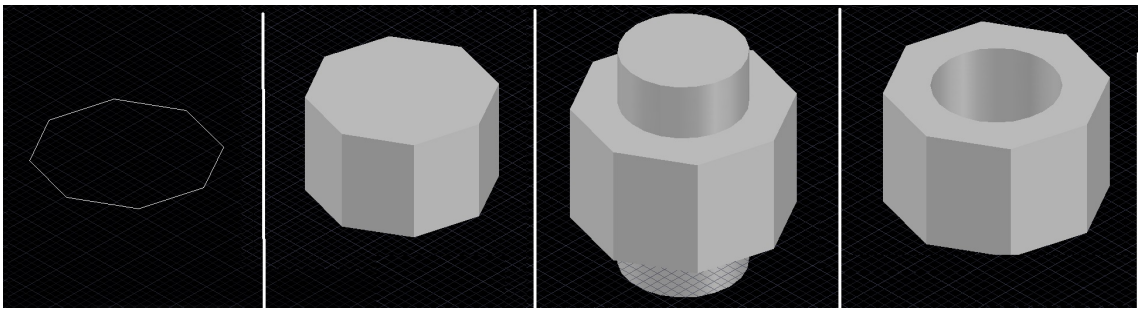

Figura 2.5: Ejemplo modelado clásico. (AutoCAD).

Fuente: AutoCAD.

2.4.2. Diseño paramétrico

El paradigma de diseño paramétrico se basa en la introducción de parámetros en el modelado de un objeto. Bajo este paradigma, la geometría de un modelo está determinada por el conjunto de valores de determinados parámetros. En general, el paradigma de diseño paramétrico implica una asociación de variables o expresiones con los valores de las dimensiones del modelo. De este modo, el modelado de un sólido se expresa en términos de unas variables que representan las dimensiones del modelo y que intervienen en el cálculo exacto de la geometría del diseño. La utilización de parámetros

permite, entre otras cosas, trabajar en el diseño de objetos genéricos, es decir, objetos que son el representante de una familia de objetos. De esta forma, es posible evaluar diseños alternativos con un simple cambio de los valores de los parámetros asociados a las dimensiones del modelo. Esto resulta de gran utilidad para reutilizar diseños ya existentes sobre la base de cambios en los parámetros.

El diseño paramétrico se puede llevar a cabo de forma implícita o explícita. La instanciación de primitivas es una parametrización implícita, puesto que de hecho en cualquier primitiva existen valores dimensionales y restricciones implícitas que definen y determinan la geometría del objeto que se esté diseñando. Normalmente, la geometría de las primitivas está perfectamente establecida por las funciones que realizan la creación de una primitiva. A partir de los parámetros se calculan las posiciones de los elementos geométricos y existen restricciones geométricas definidas de forma implícita. Por ejemplo, cuando se instancia un cubo, todos las aristas tienen la misma longitud y las caras adyacentes son perpendiculares.

Por otro lado, en los sistemas de CAD actuales que se basan en el diseño paramétrico, el usuario puede definir de forma explícita las restricciones geométricas en forma de relaciones de distancia o ángulo que se han de satisfacer. Los valores de estas distancias o ángulos son los parámetros con los que el usuario después puede variar de forma fácil el diseño inicial. Además de las restricciones geométricas de distancia y ángulo, en el diseño paramétrico también es posible definir restricciones de más alto nivel como tangencias, paralelismos y perpendicularidades entre elementos. Estas restricciones en la mayoría de los sistemas son identificadas de forma automática, con las ventajas e inconvenientes que conlleva toda identificación automática.

Los actuales sistemas de CAD utilizan tanto el diseño paramétrico de forma explícita como de forma implícita, junto con un registro de la historia de la construcción. El registro histórico recoge la secuencia de operaciones de modelado realizadas por el usuario. Por ejemplo, la creación de un sólido por barrido, se realiza siguiendo las etapas siguientes:

1. Se define un croquis 2D aproximado del polígono que servirá para la creación del sólido. Este croquis no tiene las dimensiones fijadas.

2. Sobre el croquis, se definen las restricciones de distancia o ángulo de forma interactiva.
3. Se crea el sólido por barrido definiendo el parámetro de barrido (grosor para el barrido traslacional, ángulo en el barrido rotacional).

En la Figura 2.6 se ejemplifica paso a paso el procedimiento mencionado anteriormenete. En esta forma de trabajo, el usuario define de forma explícita las restricciones en 2 dimensiones y cuando se genera el sólido por barrido, existen restricciones implícitas entre los elementos geométricos creados. Por ejemplo, si se trata de un barrido en una dirección, el polígono que se genera está en un plano paralelo al plano que contiene al polígono inicial y a una distancia determinada por un parámetro que el usuario puede cambiar.

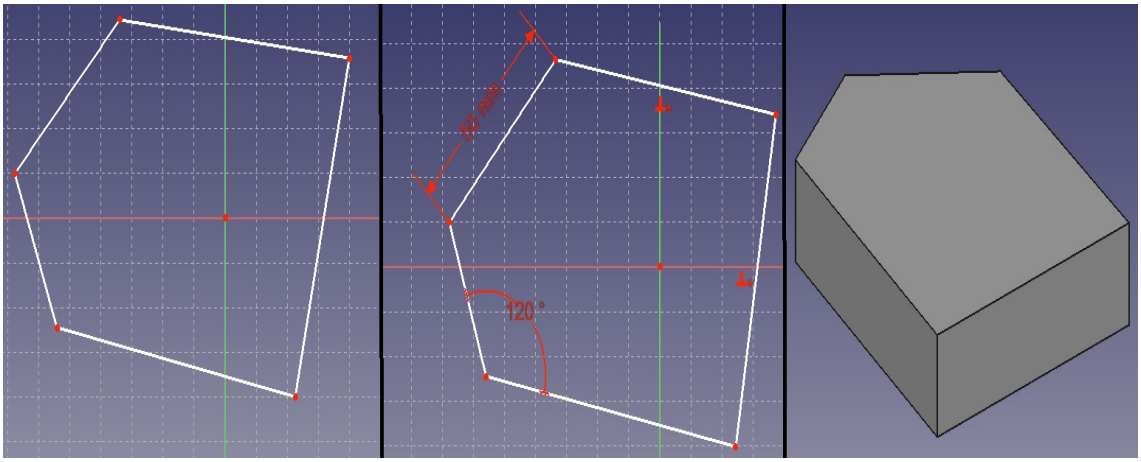

Figura 2.6: Ejemplo diseño parametrico (FreeCAD).

Fuente: FreeCAD.

El registro de la historia de las operaciones realizadas junto con los valores de los parámetros permite la creación o modificación de forma sencilla. Bajo el paradigma del diseño paramétrico, las modificaciones se realizan a través de los valores de los parámetros, en vez de modificar directamente la geometría. En el desarrollo de un diseño el usuario se puede concentrar en aspectos funcionales, en vez de aspectos relacionados con la geometría, aunque el uso de parámetro en el diseño implica definir cuáles son los parámetros que se quieren controlar. En consecuencia, el paradigma de diseño paramétrico introduce una gran flexibilidad en la interacción y la forma de realizar el modelado de sólidos. [15]

2.4.3. Diseño basado en características

En el paradigma de diseño basado en características un sólido se expresa como una combinación de características geométricas. Una característica se define como una unidad de información que describe un conjunto de propiedades de un modelo, relevantes respecto a un punto de vista concreto de diseño. En el ámbito del modelado de sólidos, se puede entender que una característica es una porción de geometría de un modelo que tiene entidad propia. El uso de características posibilita que el modelado de sólidos pueda realizarse en términos de la funcionalidad de los elementos y no en términos de su geometría. Bajo el paradigma del diseño basado en características un diseñador que quiera modelar una pieza con un agujero pasante, no ha de pensar en ningún momento en términos como 'restar un cilindro a la pieza', sino que directamente selecciona un agujero pasante y la cara del objeto donde desea realizar el taladro.

Es una forma de diseño de alto nivel, en la que no se tiene acceso local a la geometría. En el diseño basado en características, el diseño paramétrico juega un papel determinante, ya que este paradigma de diseño permite representar familias de objetos que se corresponden con características. Mediante el uso de restricciones se fijan las relaciones entre los elementos geométricos que componen una característica y se define la posición y orientación de una característica con respecto a la geometría del sólido. La creación de piezas basándose en características se realiza de forma simple, lo que se traduce en una elevada productividad. Los sistemas de CAD que trabajan bajo el paradigma basado en características normalmente presentan un conjunto de características básicas como por ejemplo: extrusión, protusión, agujero, ranura, refuerzo, corte, etc. También es posible trabajar con características especializadas que dependerán del ámbito concreto de trabajo.

Actualmente los sistemas de CAD para el modelado de sólidos, combinan el paradigma de diseño paramétrico con el de diseño basado en características, junto con el registro de la historia de la construcción del diseño. La combinación del registro de la historia de las operaciones de modelado y el uso del paradigma del diseño paramétrico permite una alta flexibilidad en el diseño, a la vez que la utilización de características implica también una elevada productividad. En estas condiciones, el usuario se podrá concentrar más en las funcionalidades del diseño y no en aspectos meramente geométri-

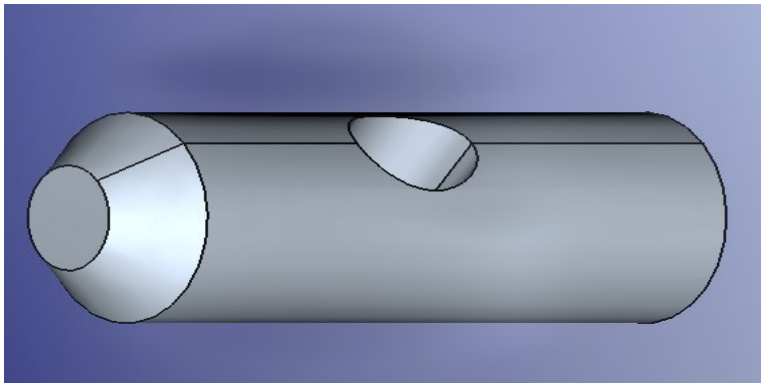

Figura 2.7: Ejemplo diseño basado en características.

Fuente: FreeCAD.

cos. En la Figura 2.7 se muestra una pieza formada por una combinación de diferentes características [15]

2.5. Software libre

Software libre se refiere a la libertad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software, especialmente cuatro clases de libertad para los usuarios de software:

- Libertad 0: La libertad para ejecutar el programa sea cual sea el propósito.
- Libertad 1: La libertad para estudiar el funcionamiento del programa y adaptarlo a las necesidades (el acceso al código fuente es condición indispensable para esto).
- Libertad 2: La libertad para redistribuir copias.
- Libertad 3: La libertad para mejorar el programa y luego publicarlo para el bien de toda la comunidad (el acceso al código fuente es condición indispensable para esto).

Software libre es cualquier programa cuyos usuarios gocen de estas libertades. La libertad para utilizar un programa significa que cualquier individuo u organización podrán ejecutarlo desde cualquier sistema informático, con cualquier fin y sin la obligación de comunicárselo subsiguientemente ni al desarrollador ni a ninguna entidad en concreto. El software libre no significa que sea “no comercial”. Cualquier programa libre estará disponible para su uso, desarrollo y distribución comercial. El desarrollo comercial del

software libre ha dejado de ser excepcional y de hecho el software libre comercial es muy importante. [18]

2.5.1. Breve historia del software libre

El software libre tuvo sus inicios en las primeras etapas del desarrollo del computador y del software. En esa época programadores y desarrolladores compartían fre-cuentemente sus softwares con libertad. El advenimiento de las compañías de desarro-llo de software con el objetivo de obtener ganancias restringió la cultura de compartir códigos de programación o softwares.

No fue hasta mediados los años 80, cuando Richard Stallman formalizó las ideas básicas del movimiento del software libre que está revolucionando la industria del software. El software libre, tal y como lo conocemos hoy, dio sus primeros pasos con un manifiesto en favor de la libertad de expresión y un proyecto conocido hoy mundial-mente, como el proyecto GNU. Y con él, vio la luz probablemente una nueva forma de ver y entender el software y los bienes intangibles, una visión que se ha visto acelerada con la masiva implantación del Internet.

Los términos “Software” y “libre” son sinónimos de la libre distribución de software. Las licencias popular utilizadas para este propósito son las licencias de GNL por sus siglas en inglés “General Public License”, BSD license, GNU Lesser Gene-ral Public License, MIT License, Mozilla Public License and Apache License. Todas estas licencias tienen ciertas diferencias en sus términos y condiciones, aseguran a los usuarios la libertad de uso, copia, distribución y mejora del software. Los fundamentos de estas licencias son similares a los de la filosofía de la Free Software Foundation. “El software libre es un asunto de la libertad de los usuarios de ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar el software” (“Free software is a matter of the users’ freedom to run, copy, distribute, study, change and improve the software”). [19]

2.5.2. Beneficios de escoger software libre

En la ultima década se ha incrementado el uso de herramientas computacionales de software libre debido a los beneficios que ofrecen a los usuarios por su naturaleza de dominio público y su gratuitidad. Los software libre son usualmente desarrollados

por varios programadores con el único objetivo de ofrecer al usuario una herramienta computacional eficiente y tan capacitada como su contraparte de software comercial.

El software libre suele ser gratuito y en la mayoría de los casos el usuario puede acceder a los códigos de programación del software, permitiendo su modificación y adaptación a sus necesidades. Desde el punto de vista político los software libre benefician a todos de igual forma sin importar la riqueza, cultura o estatus del usuario. Todo usuario que desee unirse al movimiento del software libre, puede hacerlo, de esta forma se fomenta la innovación y competitividad entre desarrolladores en condiciones de colaboración mutua.

Económicamente son de gran beneficio para cualquier institución o usuario, pues no requieren de la compra de licencias y siempre se obtiene la versión completa del software por tiempo ilimitado a diferencia de su contraparte comercial. Si es necesaria una mejora o actualización, el mismo usuario puede acceder a los códigos del software y realizar modificaciones personalmente, en el caso que el usuario no este capacitado para hacerlo, la filosofía del software libre de compartir las mejoras permite que sean de fácil acceso a través de la web de forma gratuita y legal. En referencia a la eficiencia del software libre, se ha comprobado que estos programas pueden competir contra sus rivales de software comercial, aportando resultados que usuarios han validado son muy cercanos o iguales a los obtenidos mediante los software comerciales.

Capítulo III. *Marco Metodológico*

En base a los objetivos establecidos previamente, se expone en el presente capítulo la metodología a aplicar para cumplir con mencionados objetivos. El procedimiento descrito a continuación permite evaluar los aspectos relacionados con el proceso de diseño, desde la selección justificada de determinado software hasta la validación de los resultados obtenidos a partir del mismo, teniéndose como intención principal llevar registro de las observaciones realizadas durante las evaluaciones practicas, como parte fundamental del análisis comparativo.

3.1. Nivel de la investigación

Con el fin de establecer comparaciones fundamentadas en características y observaciones practicas entre versiones comerciales y versiones libres CAD, el presenta trabajo alcanza un nivel descriptivo, ademas que se quiere obtener información del estado actual de los programas CAD, determinándose y describiéndose las capacidades, características, ventajas y desventajas de las herramientas CAD de software libre tomando como referencia programas comerciales de mayor uso en el diseño mecánico, para finalmente determinar la factibilidad de utilizar alternativas de software libre en ámbitos profesionales y académicos.

3.2. Diseño de la investigación

Se trata de un trabajo de investigación sobre la practica, los datos necesarios para realizar el análisis comparativo entre las versiones de software CAD se obtienen y evalúan a medida que avanza la investigación. Basado en conocimientos previos, se utilizaran las versiones libres seleccionadas que permitan obtener los resultados esperados y cumplir con los requerimientos del diseño mecánico.

3.3. Revisión bibliográfica

Esta fase inicia con la conceptualista del sistema CAD, estableciéndose las características relevantes de funcionamiento del mismo con el propósito de establecer los criterios básicos de evaluación para un sistema CAD. Del mismo modo, se establece el concepto de software libre y las características necesarias para que un software se considere dentro de esta categoría. Posteriormente se procede a consultar diversas fuentes respecto a los programas computacionales CAD libre, con el objetivo de establecer una población de software disponibles a la fecha y recolectar información descriptiva en relación a sus condiciones, aplicaciones, requerimientos, limitaciones, entre otros aspectos.

3.4. Selección de programas

Partiendo de los criterios básicos de evaluación para un sistema CAD establecidos y la población de herramientas determinados en la fase anterior se procede a la primera depuración de los listados obtenidos, resultando de este modo una preselección de software CAD libre y comerciales. Luego, se establecen los criterios específicos de evaluación para la segunda depuración y de esta manera lograr la selección final de los software a evaluar, esta segunda depuración se orienta a reducir la población de programas obteniéndose, en líneas generales, una muestra representativa de aquellos con aplicación 2D y 3D, respectivamente, orientados al diseño mecánico.

3.5. Especificación de características y registro de observaciones

Por medio de tablas comparativas se evalúan de manera cualitativa cada uno de los software seleccionados en la fase anterior, especificándose diversos aspectos característicos de los mismos, incluyéndose el proceso de instalación del programa, capacidad de modelado, herramientas que posee, propiedades gráficas, entre otras características. La información contenida en cada una de las tablas presentadas se fundamenta en la evaluación y manejo previo de cada programa seleccionado y se complementa con comentarios relacionados a las observaciones realizadas.

Seguidamente, se establecen las evaluaciones prácticas formales en todos los software seleccionados, para ello se selecciona el diseño común a realizar en cada programa.

Una vez validado el diseño seleccionado se procede a su modelado en los programas. El proceso de modelado se realiza conjuntamente con el registro de observaciones realizadas durante las experiencias prácticas en cada programa seleccionado. Observaciones basadas en la interacción usuario programa, detección de fallas en el funcionamiento, aspectos de mejora, atributos favorables del software, aspectos que en conjunto constituyen la base para la comparación entre las versiones libres y comerciales de los programas seleccionados.

3.6. Análisis comparativo

Completadas las experiencias prácticas y descritas las observaciones durante las mismas para cada programa seleccionado, ademas del dominio de las características técnicas y especificaciones de cada software, se cuenta entonces con la suficiente información para realizar el análisis comparativo entre de herramientas computacionales de la muestra seleccionada. Con base en esto, se procede a establecer puntualmente las ventajas y desventajas del empleo de herramientas CAD de software libre frente sus similares versiones comerciales, enfocándose principalmente en tres aspectos: cumplimiento de normas de dibujo, portabilidad de archivos y capacidad de modelado con fines académicos y de uso en la pequeña y mediana industria.

Capítulo IV. Evaluación y selección de programas

Partiendo de una revisión bibliográfica de los programas CAD, se establece una población de los mismos disponibles a la fecha con el fin de obtener una muestra representativa de esta población establecida, mediante la aplicación de los criterios de selección descritos en el presente capitulo. Del mismo modo, se presentan los diseños validados elaborados en cada programa CAD para las aplicaciones de dibujo 2D y modelado 3D como pruebas prácticas del software y de esta manera completar una comparación detallada de estos programas.

4.1. Criterios de selección aplicados a programas CAD

En la actualidad, el uso de la tecnología CAD es esencial en la educación moderna del Diseño en la ingeniería, a partir de las necesidades académicas que deben ser cubiertas por un programa CAD, se establece como criterios de selección los siguientes:

- Diseño paramétrico.
- Operaciones básicas de diseño.
- Curva de aprendizaje.
- Código gratuito.
- Portabilidad de archivos.
- Proyección a futuro.
- Estabilidad.

A continuación se expone una breve definición de los criterios mencionados anteriormente:

4.1.1. Diseño paramétrico

El diseño paramétrico es un recurso innovador, aplicable a diferentes escalas: al diseño industrial, a la arquitectura y al urbanismo. En el enfoque paramétrico el diseñador comienza por establecer las relaciones entre las partes, construye su diseño a partir de estas relaciones y modifica estas relaciones a partir de la evaluación y selección de los resultados obtenidos. De esta manera se potencia la posibilidad de examinar variantes sin la necesidad de rehacer cada vez el trabajo de representación. Esto exige un cambio en los hábitos de trabajo del diseñador que debe incluir la definición de las relaciones, de la lógica que hace coherente su diseño, como fase imprescindible en su proceso de diseño. Dentro de un modelo paramétrico, cada entidad posee parámetros asociados.

Estos parámetros controlan las diversas propiedades geométricas de la entidad, tales como su longitud, anchura, altura, radio, etc. También controlan la ubicación de estas entidades en el modelo y cómo las entidades se relacionan entre sí. Los parámetros pueden ser modificados por el operador para crear la geometría deseada. [17]

La base del diseño paramétrico es la generación de geometría a partir de la definición de una familia de parámetros iniciales y la programación de las relaciones formales que guardan entre ellos. Consiste en la utilización de variables y algoritmos para generar un árbol de relaciones matemáticas y geométricas que permitan no sólo llegar a un diseño, sino generar todo el rango de posibles soluciones que la variabilidad de los parámetros iniciales permitan. [18]

4.1.2. Operaciones básicas de diseño

Se refiere a todas aquellas acciones fundamentales que debe contener un programa CAD para el desarrollo completo del proyecto a elaborar de acuerdo a la aplicación del mismo dibujo en dos dimensiones (2D) y/o en tres dimensiones (3D), comprende en grandes rasgos operaciones de creación, operaciones de modificación y designación de propiedades a los elementos creados. [14]

Ejemplos de operaciones de creación: instauración de polígonos en el dibujo 2D e instalación de primitivas para herramientas 3D, para ambas aplicaciones representan el punto de partida del diseño. Luego las operaciones de modificación: redondeados

aplicables respectivamente en dibujo 2D y modelado 3D, una vez establecido el elemento básico mediante las operaciones de modificación el mismo es adaptable a las exigencias del diseñador y por ultimo la designación de propiedades: espesor, estilo, colores de linea validas para el dibujo 2D y el modelado 3D. [13]

4.1.3. Curva de aprendizaje

La complejidad de los fenómenos del aprendizaje ha llevado a una pluralidad de medidas, unos investigadores consideran que el tiempo es la variable más importante. La solución más aceptada es presentar la ejecución del organismo en forma gráfica, en la llamada curva de aprendizaje. Generalmente se colocan los ensayos o cualquier otro tipo de variable independiente en la ordenada. En esta forma se tiene una representación visual de la manera en que progresa el aprendizaje. Se muestra en la Figura 4.1. tres curvas de aprendizaje supuestamente típicas.

En realidad, la curva "a" y la curva "b" pueden ser partes de la curva "c", que seria la curva típica de aprendizaje. Cada una de ella representando progresivamente el avance en el proceso de aprendizaje, siendo la curva "b" la fase inicial, posteriormente la curva "a" y finalmente la combinación de ambas en la curva "c". [22]

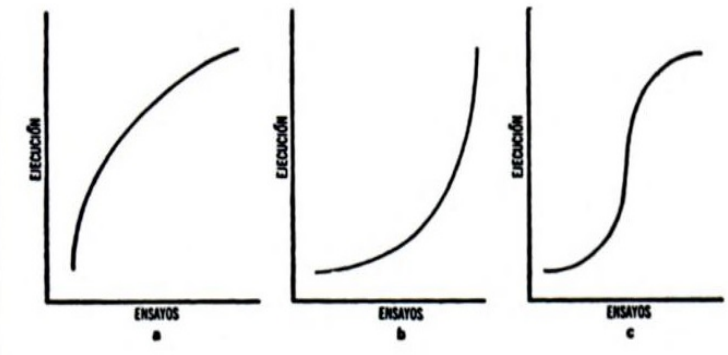

Figura 4.1: Curvas de aprendizaje.

Fuente: Ardila, R. (2001) "Psicología del aprendizaje" Publisher Siglo XXI.

4.1.4. Código gratuito

Una creencia que parte, inequívocamente, de la ambigüedad que sugiere el nombre de "free software". Es cierto que es muy habitual que el software libre sea también

gratuito, pero no necesariamente tiene que ser así. El precio de un programa libre, si no es gratuito, suele ser bajo, habitualmente destinado a sufragar los gastos de distribución y de las materias primas (un CD-ROM, por ejemplo). Sin embargo, nada prohíbe que se pueda cobrar un precio alto por un programa libre. El precio es algo completamente independiente de las libertades que ofrezca el programa; es decir, no por más barato un programa dará menos libertades al usuario y al contrario.

Aunque el hecho de tener que pagar para conseguir este tipo de software pudiera parecer, en principio, perjudicial, no tiene porqué serlo. Pese a que alguien cobre por la venta de un programa en concreto, es perfectamente lícito conseguir el mismo programa por otras vías gratuitas, como una copia de un amigo o bajarlo por Internet. O, gracias a que el usuario es libre de ejecutarlo con el fin que desee, no tendrá que pagar por su uso, con lo que varias personas pueden compartir el pago del programa y hacerse copias para poder utilizarlo todos individualmente. [23]

4.1.5. Portabilidad de archivos

Los modelos CAD son almacenados en muchos formatos diferentes. La razón principal es que hay diferentes sistemas CAD y tienen sus propios formatos, propietarios usualmente. Estos formatos suelen ser ricos en información más allá de los datos de la geometría del modelo, incluyendo información como la intención del diseño, historia del diseño. Además, algunos formatos se han desarrollado o permiten el intercambio entre diferentes sistemas CAD y otras aplicaciones. Estos formatos no contienen toda la información, sin embargo, tienen la propiedad deseable de transmitir una representación de los datos CAD a otras aplicaciones. [24]

La portabilidad es reconocida como un atributo deseable para la gran mayoría de los productos de software CAD, por ejemplo la facilidad de ejecutar un archivo de un programa en determinado formato en otros programas y viceversa permite ampliar las posibles de aplicación y desarrollo. En una época informática y de rápido cambio tecnológico, hay pocos productos de software que no puedan beneficiarse de la aplicación en múltiples entornos, capacidad para migrar a sistemas más nuevos y mejores a medida que estén disponibles. [25]

4.1.6. Proyección a futuro

En las condiciones actuales, muchas de las tecnologías existentes y futuras han de satisfacer las necesidades del mercado, este estado es poco probable que cambie en un futuro próximo, los vendedores de sistemas CAD propietario se esfuerzan por apoyar sus modelos, así como, las tecnologías informáticas de gráficos genéricos están evolucionando a un ritmo rápido. En este mercado cambiante, los usuarios de estas tecnologías deben identificar sus actuales y futuras necesidades, además de enfocarse por encontrar soluciones que satisfagan esas necesidades, con la expectativa de repetir periódicamente este análisis de las necesidades. [24]

Este análisis de necesidades complementado mediante el soporte técnico; un grupo de servicios que sirve para ayudar a resolver los problemas que puedan presentárseles a los usuarios, mientras hacen uso de servicios, programas o dispositivos. La mayoría de las compañías que venden hardware o software, ofrecen servicio técnico por teléfono u otras formas online como e-mails o sitios web. También existen gran cantidad de foros de soporte técnico en Internet, que son totalmente gratuitos, y se basan en la simple voluntad y experiencia de los expertos que quieren ayudar a los principiantes. [26]

4.1.7. Estabilidad

En el ámbito de la informática, se dice que un sistema es estable cuando su nivel de fallos disminuye por debajo de un determinado umbral, que varía dependiendo de la estabilidad que se requiera, como es de esperarse, se presume que a menor cantidad de fallos, mayor estabilidad, y viceversa. Como ejemplo practico pueden establecerse que determinado sistemas operativo resulta muy atractivo desde el aspecto visual, pero su estabilidad deja mucho que desear. [27]

4.2. Descripción de programas CAD libre

Por medio de una revisión bibliográfica, en diversas fuentes, de los software CAD de versión libre disponibles en la actualidad se obtuvo una población definida, para su posterior depuración por medio de los criterios de evaluación anteriormente mencionados, como requisito básico se consideró necesario que el software estuviese orientado a aplicaciones en la ingeniería mecánica tanto aplicaciones de dibujo 2D y/o modelado

3D (Listado completo de software CAD libre, Apéndice A). A continuación se describen brevemente las características de cada una de las alternativas de software CAD libre que conforman la población a evaluar complementándose con la interfaz de usuario de cada uno de ellos.

4.2.1. BRL-CAD

Es un poderoso sistema multiplataforma de código abierto de modelado de sólidos de gran alcance que incluye la edición interactiva de geometría, alto rendimiento de trazado para la representación y análisis geométrico, herramientas de procesamiento de imágenes y señales, un conjunto de pruebas de rendimiento del sistema, bibliotecas para representación de geometría robusta, con más de 20 años de desarrollo activo.

BRL-CAD ha sido de servicio primario en sistema CAD de modelado de sólidos utilizado por el ejército estadounidense para modelar los sistemas de la vulnerabilidad de armas y análisis de letalidad. El sistema de modelado de sólidos se utiliza con frecuencia en una amplia gama de áreas militares, académicas, y aplicaciones industriales, incluyendo en el diseño y análisis de los vehículos, piezas mecánicas, y arquitectura. El paquete también se ha utilizado en la planificación de la dosis de radiación, visualización médica, la educación gráficos por ordenador, los conceptos de CSG y la educación de modelado, y las pruebas de referencia el rendimiento del sistema, entre otros objetivos. Se muestra en la Figura 4.2. la interfaz de usuario de BRL-CAD observándose el espacio de trabajo, árbol histórico y ventana para los comandos de diseño. [28]

4.2.2. FreeCAD

Es un modelador CAD con propósito general de 3D paramétrico. El desarrollo es completamente de código abierto (LGPL licencia). FreeCAD está dirigida directamente a la ingeniería mecánica y al diseño de productos, pero también encaja en una amplia gama de usos en la ingeniería, la arquitectura o de otras especialidades de la ingeniería. FreeCAD cuenta con herramientas similares a Catia, SolidWorks o Solid Edge. Es un software modelador paramétrico con función basada en arquitectura modular que hace fácil proporcionar funcionalidad adicional sin modificar el núcleo del sistema.

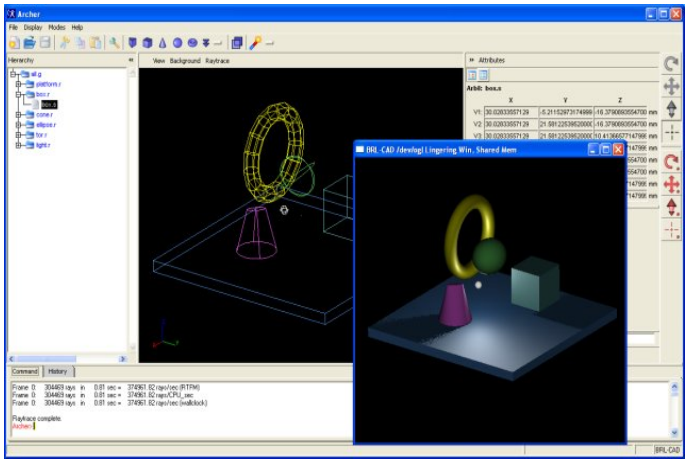

Figura 4.2: Interfaz de usuario BRL-CAD.

Fuente: http://brlcad.org/ Fecha: 18/11/2014. Hora: 05:48 p.m.

FreeCAD hace un uso intensivo de todas las grandes bibliotecas de código abierto que existen en el campo de la Computación Científica. Entre ellos se encuentran Open-Cascade, un núcleo de CAD de gran alcance y Python, uno de los mejores lenguajes de programación disponibles. FreeCAD es también completamente multiplataforma, y actualmente se ejecuta sin problemas en los sistemas Windows y Linux / Unix y Mac OSX, con el mismo aspecto y funcionalidad exacta en todas las plataformas.

El proyecto FreeCAD se inició en el año 2001, es mantenido y desarrollado por una comunidad de desarrolladores entusiastas y usuarios. Trabajan en FreeCAD voluntariamente, en su tiempo libre. La comunidad se reúne en el foro FreeCAD, donde la mayoría de las ideas y las decisiones se discuten. Se muestra en la Figura 4.3. la interfaz de usuario de FreeCAD observándose parte del ensamble una junta universal en el banco de trabajo “Part ”, ademas en la parte inferior se encuentra la consola Phyton, a la izquierda la ventana de valores y datos de la pieza seleccionada y el árbol histórico de diseño. [29]

4.2.3. LibreCAD

Es una aplicación CAD de código abierto gratuito para Windows, Apple y Linux. El soporte y la documentación son gratis, provenientes de una gran comunidad de dedicados usuarios, colaboradores y desarrolladores. LibreCAD es una aplicación CAD 2D

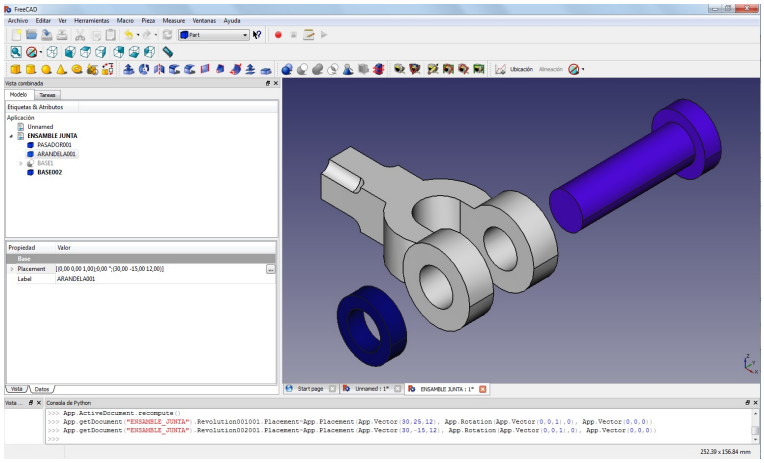

Figura 4.3: Interfaz de usuario FreeCAD.

Fuente: FreeCAD

que se puede descargar e instalar de forma gratuita. Hay una gran cantidad de usuarios satisfechos de LibreCAD en todo el mundo, y está disponible en más de 20 idiomas y para todos los principales sistemas operativos. LibreCAD es una aplicación repleta de funciones de CAD 2D, está disponible en un gran número de idiomas, puede usarse, personalizarse, cortarse y copiarse con el apoyo gratuito al usuario, además de soporte de nuestra comunidad activa en todo el mundo y nuestro equipo de desarrolladores con experiencia. Se muestra en la Figura 4.4. la interfaz de usuario que ofrece LibreCAD, ubicándose en la parte izquierda los comandos de dibujo 2D basados en la determinación de coordenadas rectangulares para su uso. [30]

4.2.4. OpenSCAD

OpenSCAD es un software para la creación de modelos CAD en 3D, un software gratuito y está disponible para Linux / UNIX, MS Windows y Mac OS X A diferencia de la mayoría del software libre para la creación de modelos 3D no se centra en los aspectos artísticos de modelado en 3D, en cambio, se centra en los aspectos de CAD. OpenSCAD no es un modelador interactivo. En cambio, es algo así como un compilador 3D que lee en un archivo de secuencia de comandos que se describe el objeto y hace que el modelo 3D a partir de este archivo de comandos. El diseñador posee control total sobre el proceso de modelado y le permite cambiar cualquier fase del proceso de modelado o hacer diseños que se definen por parámetros configurables basado en

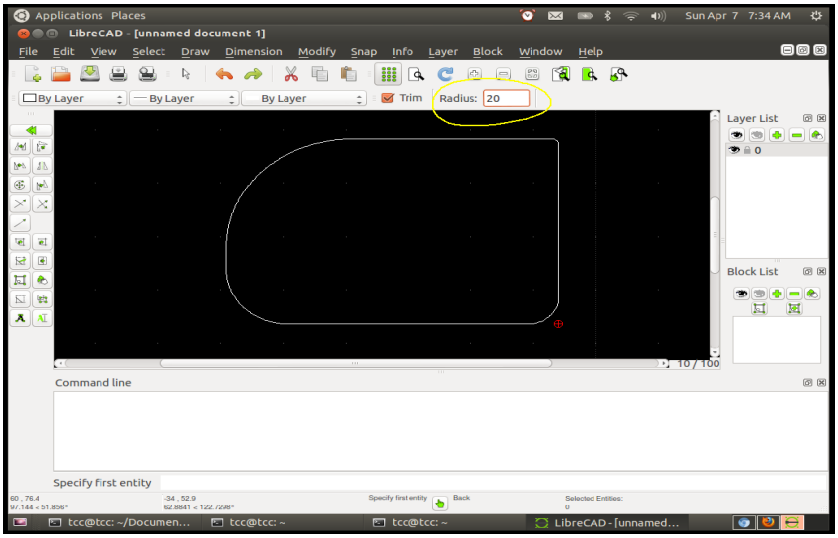

Figura 4.4: Interfaz de usuario Libre-CAD

Fuente: http://www.librecad.org/ Fecha: 18/11/2014. Hora: 06:25 p.m.

diseño por lineas de códigos como se muestra en la Figura 4.5 en la parte izquierda de la pantalla se encuentra el listado en lenguaje de programación para la pieza modelada. [31]

4.2.5. QCad

Es una aplicación gratuita de código abierto para CAD en dos dimensiones. Con QCAD se pueden crear dibujos técnicos, como los planos para los edificios, interiores, piezas mecánicas o esquemas y diagramas. QCAD funciona en Windows, Mac OS X y Linux. La versión actual de QCAD es la versión 3.7. QCAD fue diseñado teniendo en cuenta la modularidad, extensibilidad y portabilidad. QCAD es una herramienta cuyo comandos de dibujo 2D están basados en la determinación de coordenadas rectangulares para su uso, en la Figura 4.6 se muestra la interfaz de usuario que ofrece QCAD. [32]

4.2.6. Shapesmith

Es una aplicación en linea de diseño 3D paramétrico, por lo que es muy rápido y fácil de modificar sus modelos. También puede utilizar las variables con expresiones

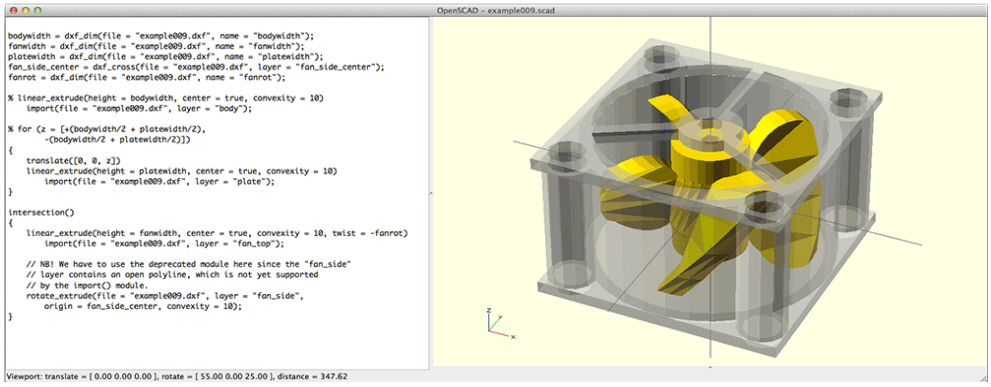

Figura 4.5: Interfaz de usuario OpenSCAD.

Fuente: http://www.openscad.org/ Fecha: 18/11/2014. Hora: 08:27 p.m.

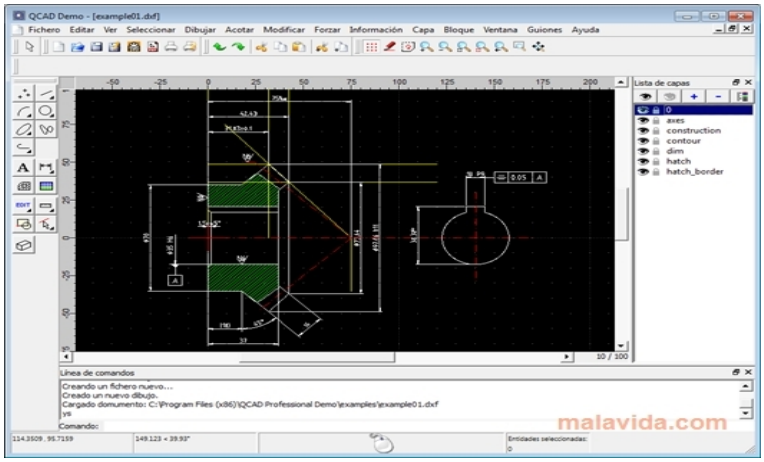

Figura 4.6: Interfaz de usuario QCAD

Fuente: http://www.qcad.org/en/ Fecha: 18/11/2014. Hora: 09:43 p.m.

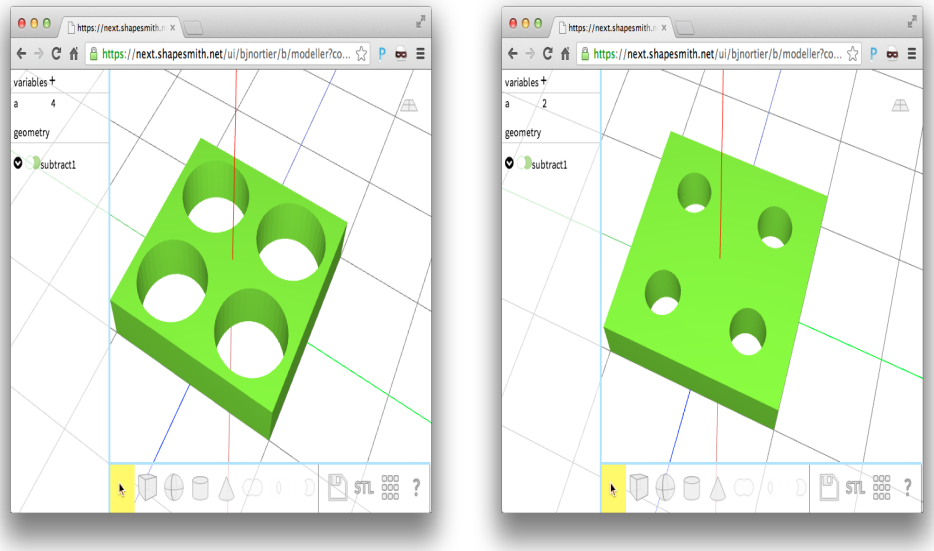

Figura 4.7: Interfaz de usuario Shapesmith

Fuente: http://shapesmith.net/ Fecha: 18/11/2014. Hora: 09:56 p.m.

para cambiar rápidamente los modelos. No requiere instalación, se basa en el uso de navegador y hace uso de varias nuevas tecnologías web. Shapesmith es completamente de código abierto y siempre se puede ejecutar en su propio servidor. En la Figura 4.7 se muestra la ventana Shapesmith desde el explorador web. [33]

4.2.7. SolveSpace

SolveSpace funciona en Windows XP, Vista, 7, y 8. En la Figura 4.8. se muestra la interfaz de usuario de SolveSpace se compone de dos ventanas: una ventana más grande que contiene gráficos, y una ventana más pequeña que contiene principalmente texto. La ventana gráfica se utiliza para dibujar la geometría, y para ver el modelo 3D. La ventana de texto proporciona información sobre el modelo, y también se puede usar para modificar la configuración y parámetros numéricos. [34]

4.2.8. Varkon

Es un sistema CAD libre y herramienta de desarrollo para la Ingeniería, Diseño y aplicaciones de modelado asistido por ordenador. Originalmente se encuentra desarro-

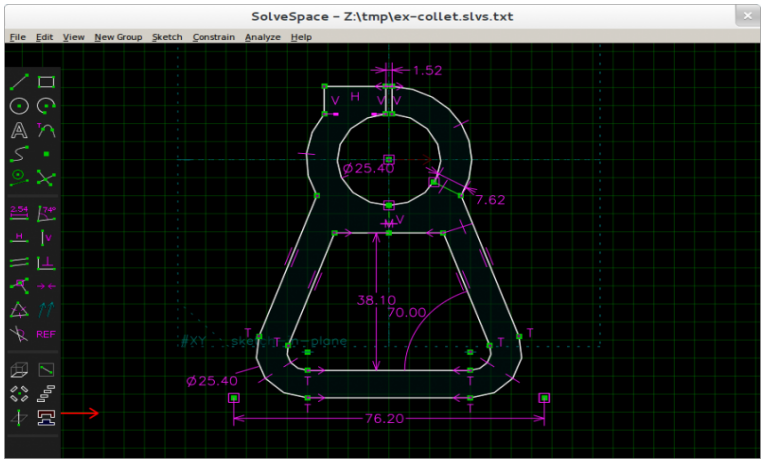

Figura 4.8: Interfaz de usuario SolveSpace.

Fuente:http://solvespace.com/index.pl Fecha: 20/11/2014. Hora: 10:44 a.m.

llado por Microforma AB en Suecia. Varkon puede ser utilizado como un sistema de CAD tradicional con la redacción, el modelado y la visualización si se quiere, pero el poder real de Varkon está en modelado paramétrico y el desarrollo de aplicaciones CAD. Varkon incluye modelado paramétrico interactivo en 2D o 3D, disponible exclusivamente en idioma sueco y sistema operativo Windows. En la Figura 4.9. se muestra la interfaz de usuario que ofrece Varkon. [35].

4.2.9. gCAD3D

Es un software de código abierto, que funciona tanto en Windows como en Linux. Tiene características como: exportación e importación de documentos, visor 3D integrado, intérprete programa para la geometría y los comandos en 3D. Puede ser utilizado para cualquier propósito libre de costos, ser copiado y distribuido sin restricciones, no obstante el gCAD3D no proporciona garantías de resultados validos de diseño, el riesgo y responsabilidad del uso del programa va en cuenta del usuario. [36]

4.2.10. CAD.FEM

Es un software libre de modelado 3D CAD, orientado a el diseño y análisis de modelos mediante la evaluación de elementos finitos. Es gratis para uso académico y

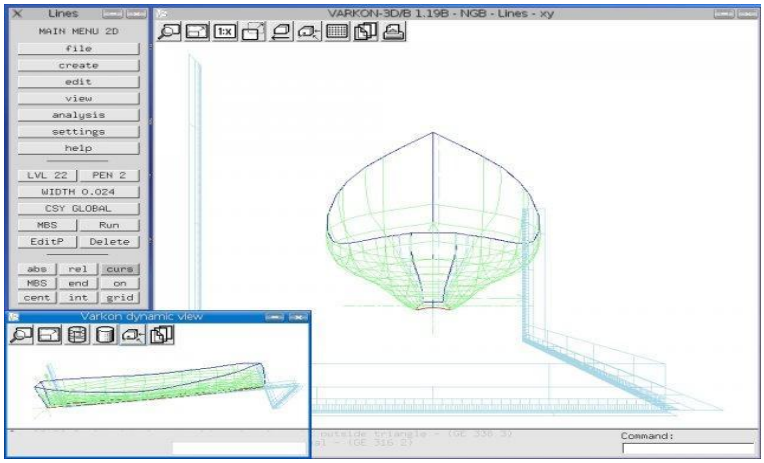

Figura 4.9: Interfaz de usuario Varkon.

Fuente: http://varkon.sourceforge.net/man.htm Fecha: 20/11/2014. Hora: 10:49 a.m.

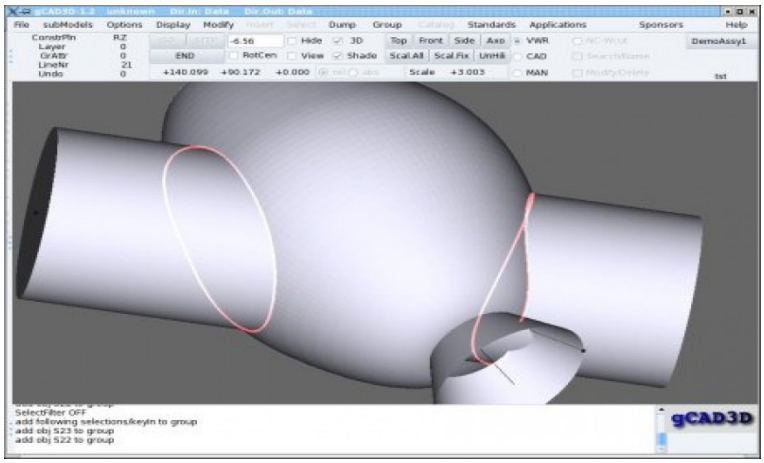

Figura 4.10: Interfaz de usuario gCAD3D.

Fuente:
http://ubuntuguide.net/install-gcad3d-the-open-source-3d-cad-cam-application-in-ubuntu.
Fecha: 20/11/2014. Hora: 10:57 a.m.

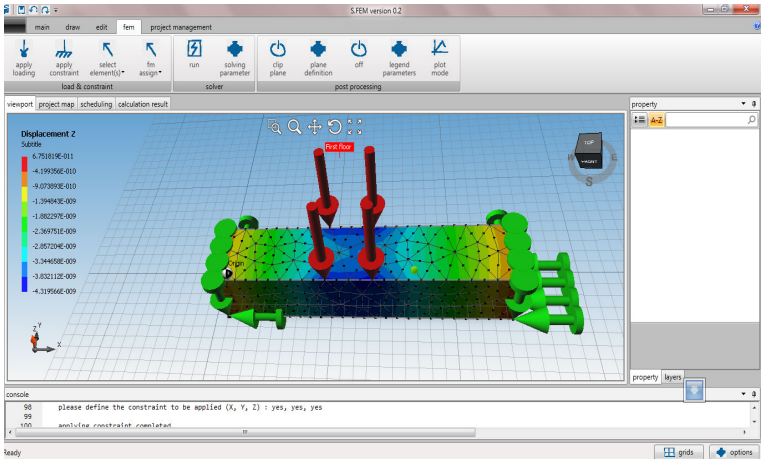

Figura 4.11: Interfaz de usuario CAD.FEM.

Fuente: http://www.hpesoft.com/cad-fem Fecha: 21/11/2014. Hora: 11:15 a.m.

no comercial, de uso exclusivo en sistema operativo Windows. Se muestra en la Figura 4.11. la interfaz de usuario de CAD.FEM [37]

4.2.11. DesignSpark

DesignSpark Mecánica es un software desarrollado por la empresa RS Components y Allied Electronics cuya filosofía es tomar las ideas del usuario partiendo desde el concepto hasta la creación final. El objetivo de este software es dar a todos los ingenieros el poder de diseñar rápidamente y proporcionarle los conceptos de diseño en 3D sin tener que aprender un software complejo CAD tradicional.

DesignSpark Mecánica es un nuevo software de modelado 3D intuitivo, está listo para hacer un impacto significativo en el mundo de desarrollo de productos en sistema operativo Windows. Esta herramienta fomenta la creatividad y equipa a todos los ingenieros con capacidad de diseño 3D. También es completamente gratis ya que busca empoderar a todos los ingenieros a diseñar sin barreras. [38]. En la Figura 4.12 se muestra la interfaz de usuario de DesingSpark para un dibujo parametrico 2D. [38]

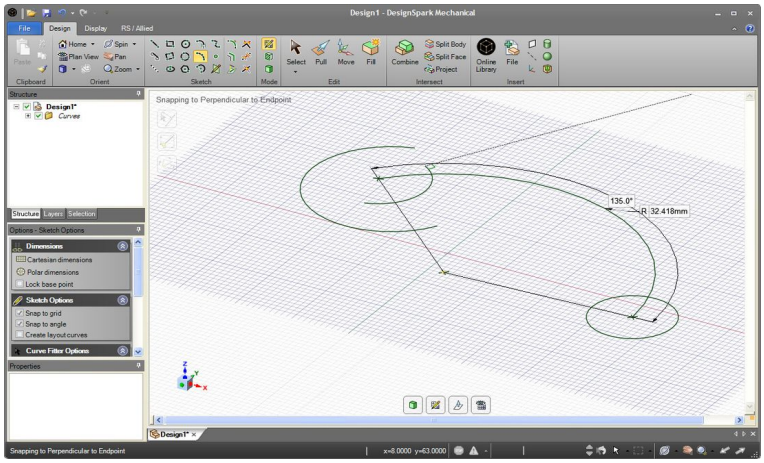

Figura 4.12: Interfaz de usuario DesingSpark.

Fuente: http://www.rs-online.com/designspark/electronics/eng/page/mechanical
Fecha: 22/11/2014. Hora: 08:24 a.m.

4.2.12. Minos 2.2

La aplicación Minos fue diseñada para ser un sistema de CAD de sólidos 3D. Minos incluye: Creación Líneas, polilíneas, formas, curvas de Bezier, círculo / arco, cuerdas, construcciones geométricas en 3D, entre otros. En la Figura 4.13 se muestra la interfaz de usuario de Minos 2.2. [39]

4.2.13. NaroCAD

NaroCAD es una aplicación de modelado CAD paramétrico 3D gratuito. El objetivo de este proyecto es desarrollar un software de CAD en 3D basado en el concepto de modelado paramétrico de sólidos, comparable a las soluciones conocidas. Estas funcionalidades están relacionadas entre sí y están expuestas a través de una interfaz gráfica de usuario como se muestra en la Figura 4.14. Las especificaciones de usabilidad generales como el ahorro, la importación se describen en las especificaciones generales de funcionalidad. El software se puede ampliar a través de Plugins y la interfaz de programación.

NaroCAD es una utilidad desarrollada específicamente para ayudar a las personas en la creación de modelos CAD en 3D con la ayuda de múltiples opciones y herramientas. Este programa le permite importar y exportar archivos en formatos restringidos. Es

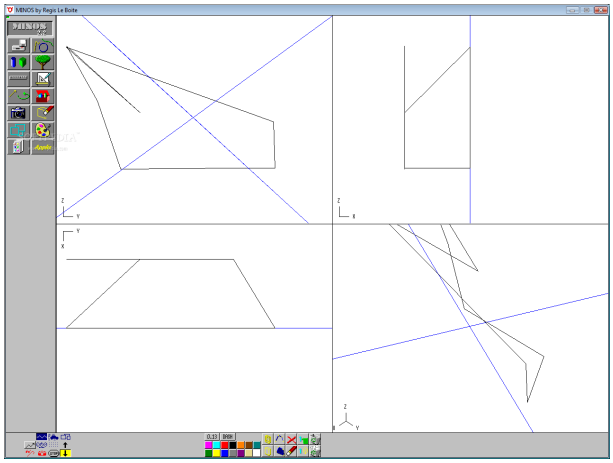

Figura 4.13: Interfaz de usuario Minos 2.2.

Fuente: http://www.softpedia.com/get/Science-CAD/Minos.shtml Fecha: 22/11/2014. Hora: 09:17 a.m.

posible ver una estructura de carpetas de todos los elementos agregados al proyecto, capas y propiedades de la cuadrícula. Una lista bastante larga de elementos se puede añadir a sus proyectos, a partir de puntos, rectángulos, líneas y círculos, de conos, cajas, esferas y tubos, mientras que también se puede rotar, girar elementos de los diferentes ejes. [40]

4.2.14. AnyCAD Free

AnyCAD se refiere estrictamente al modelado 3D y pone un puñado de herramientas a disposición para diseña diversos elementos que puedan necesitarse para varios proyectos. Se llega a trabajar con formas básicas, que se pueden editar y combinar para crear modelos. La interfaz de usuario como se muestra en la Figura 4.15. ofrece una vista de los objetos creados es un panel lateral del lado izquierdo para facilitar la selección. Todos sus atributos se pueden modificar en una tabla de datos que contiene opciones como el tamaño, rotación, escala, así como varios otros. El uso se encuentra para sistemas operativos Windonws y Mac. [41]

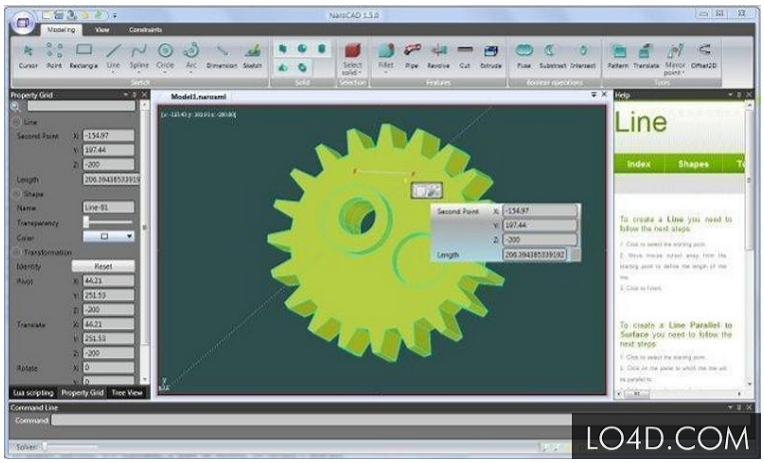

Figura 4.14: Interfaz de usuario NaroCAD

Fuente: http://narocad.com/ Fecha: 22/11/2014. Hora: 09:50 a.m.

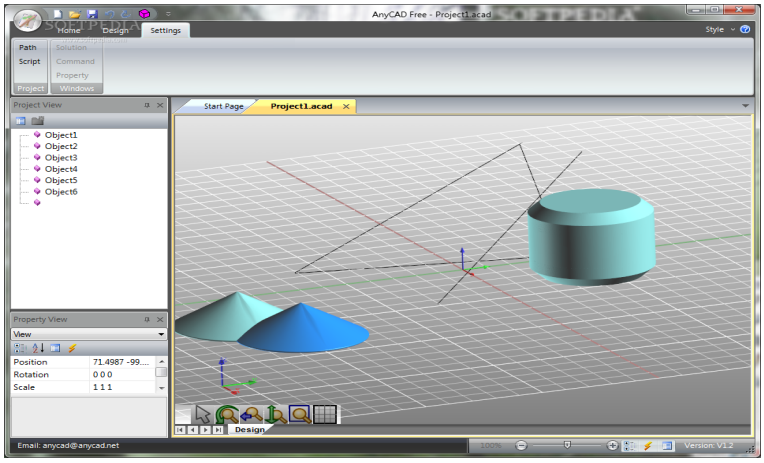

Figura 4.15: Interfaz de usuario AnyCAD.

Fuente: http://www.anycad.net/tag/anycad-free Fecha: 22/11/2014. Hora: 09:59 a.m.

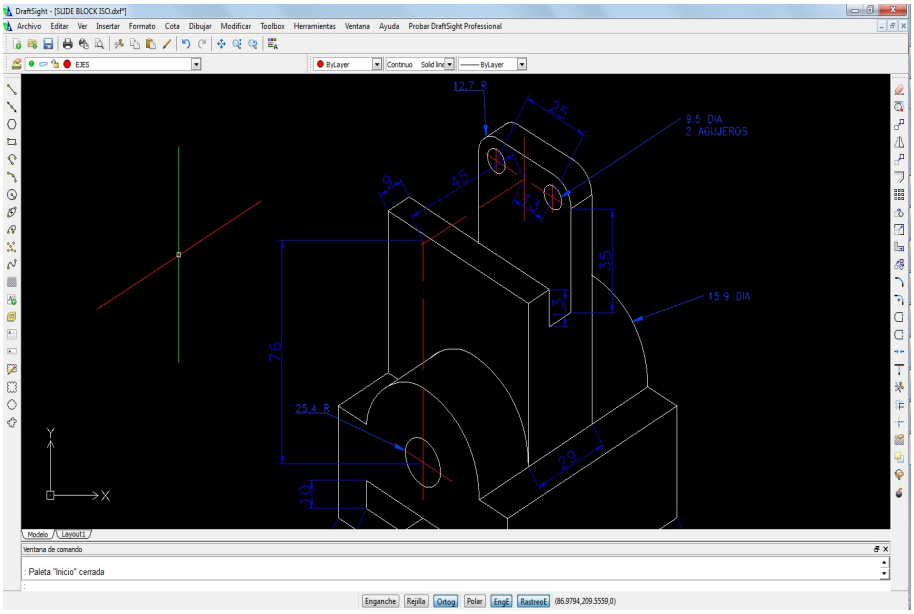

Figura 4.16: Interfaz de usuario Draftsight.

Fuente: Draftsight

4.2.15. Draftsight

Draftsight es un programa profesional de CAD 2D de descarga gratuita para uso individual, ha estado disponible únicamente para Windows (XP, Vista y Windows 7), pero ahora está siendo portado a Linux y Mac.Permite crear, abrir, guardar y trabajar con ficheros en distintas versiones, y dispone de varias opciones de exportación de archivos. Esta desarrollado por la empresa Dassault Systemes. la interfaz como se muestra en la Figura 4.16 está en multitud de idiomas, un software simplificado ideal para estudiantes, aficionados y otro usuarios el cual solo requiere de su registro previo vía email antes de su descarga. [42]

4.2.16. Inkscape

Inkscape es un editor de gráficos vectoriales de código abierto, similar a programas como Adobe Illustrator, Corel Draw, Xara X ... Lo que lo hace único es que usa como formato nativo el Scalable Vector Graphics (SVG). Admite la creación y manipulación de objetos mediante diversas herramientas de dibujo, admite la edición y visualización

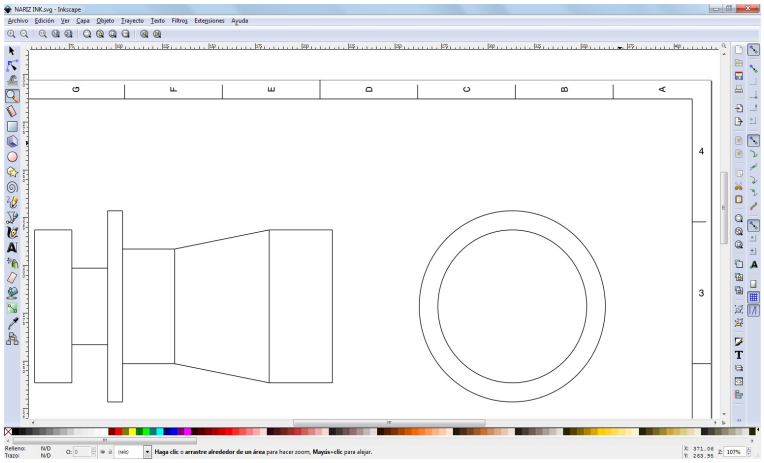

Figura 4.17: Interfaz de usuario Inkscape.

Fuente: Inkscape.

del código fuente, operaciones de trazado, edición de texto. En la Figura 4.17 se muestra la interfaz de usuario que ofrece Inkscape.[43]

4.3. Selección de programas CAD libre aplicación: dibujo 2D

En base a la población establecida anteriormente de software CAD libre se procedió a la preseleccion de aquellos programas con aplicación 2D (Tabla 4.1) resultando preseleccionados los software: LibreCAD, Draftsigth y QCAD. Una vez descargados de las respectivas paginas oficiales se procedió a la ejecución de cada uno de ellos de manera individual, en primera instancia se observaron diferencias significativas en cuanto a interfaz de usuario, disposición de herramientas y espacio de trazado. Seguidamente, se procedió a la elaboración de dibujos simples con el propósito de conocer la metodología de diseño de cada software.

Se observo el condicionamiento del uso en los comandos de dibujo de QCAD y LibreCAD, ya que ambos programas están basados en la descripción de coordenadas para la elaboración de lineas y figuras. El procedimiento para elaborar un dibujo básico como lo es el formato A4 y su respectivo cajetin tubo una duración considerable, partiendo de esta evaluación preliminar resultan descartados para fases siguientes del análisis comparativo los software QCAD y LibreCAD.

Por otra parte, el proceso de trazado en Draftsight resulto considerablemente sencillo, se observo una interfaz accesible con una amplia gama de herramientas, en esta evaluación preliminar se pudo verificar desde la realización de operaciones básicas para el dibujo 2D hasta importación de archivos, manejo, acotado y edición de planos, en base a esto el software CAD libre con aplicación al dibujo 2D seleccionado para ser comparado con su similar versión comercial es Draftsight.

4.4. Selección de programas CAD libre aplicación: modelado 3D

De manera similar al proceso de preseleccion realizado para software CAD libre con aplicación al dibujo 2D se procedió con la aplicación a el modelado 3D, en este caso particular, software como NaroCAD y DesignSpark reunían individualmente suficientes características para su posible preselecciona, no obstante, el hecho de no estar disponibles para el sistema operativo Linux impidió su evaluación en lo absoluto. Se observo dentro de la población establecida anteriormente de software CAD libre como software destacado FreeCAD, ya que al igual que Draftsight, logro satisfacer todos los criterios de evaluación para su selección como se evidencia en la Tabla 4.1. ademas de poseer herramientas disponibles para el modelado 3D.

4.5. Descripción programas CAD comerciales

En el mercado actual existe una extensa gama de software CAD comerciales orientados a diversas áreas de la ingeniería, en lo que respecta al diseño mecánico existen empresas desarrolladoras de software que durante años han dominado casi por completo el mercado CAD como es el caso de Autodesk®, la cual posee entre sus productos mas populares el emblemático AutoCAD® un software de reconocida trayectoria. A continuación se describirán brevemente los software comerciales mas usados en la educación superior y en el ámbito empresarial, finalmente se muestran los atributos mas representativos de estos en la Tabla 4.2.

Tabla 4.1: Población programas CAD libre.

Fuente: Espinoza, M.(2015).

Software	Diseño paramétrico	Portabilidad de archivos	Curva de aprendizaje	Código gratuito	Proyección a futuro	Estabilidad	Operaciones básicas de diseño	Sistema Operativo Linux
gCAD3D				x				x
BRL- CAD				x				x
LibreCAD		x	x	x	x	x	x	x
FreeCAD	x	x	x	x	x	x	x	x
Shapesmith	x			x			x	x
SolveSpace				x			x	
CAD.FEM				x	x		x	
Draftsight	x	x	x	x	x	x	x	x
Varkon				x				
QCAD		x	x	x	x	x	x	x
OpenSCAD		x		x		x		x
DesignSpark	x	x		x	x		x	
Minos 2.2				x				
NaroCAD	x	x	x	x	x	x	x	
AnyCAD Free				x			x	

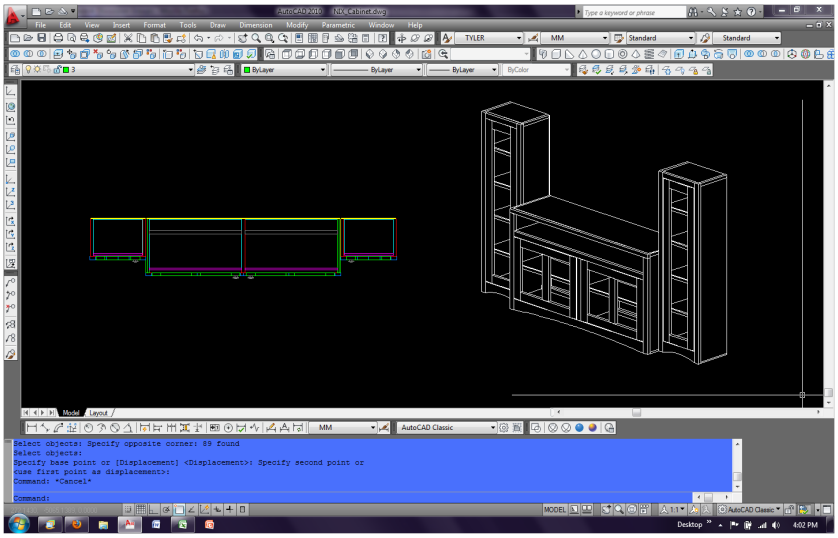

Figura 4.18: Interfaz de usuario AutoCAD®.

Fuente: http://www.autodesk.com/products/autocad/overview Fecha: 07/02/2015. Hora: 02:11 p.m.

4.5.1. AutoCAD®

AutoCAD®, una de las principales aplicaciones de diseño 2D y 3D en el mundo. Con sólidas herramientas 3D, puede crear casi cualquier forma imaginable. Ofrece innovaciones que pueden ayudar a aumentar la eficiencia del diseño y velocidad de la documentación, permite compartir esos diseños con los colegas de manera segura, precisa y sin problemas. Características del software AutoCAD® incluyen una interfaz moderna actualizada que mejora los procesos de diseño y de productividad, ayudando a acelerar el trabajo.[44]

AutoCAD® continúa su transformación en una aplicación de diseño conectado el acceso a la alimentación de nube, social y móvil. Con AutoCAD 2014® se puede trabajar sin problemas en todas las plataformas. En la Figura 2.18 se muestra la interfaz que ofrece AutoCAD®, ubicandose el espacio de trazado, las herramientas de dibujo y la ventana en la parte inferior de la pantalla el historia en tiempo real de los comando ejecutados. [45]

4.5.2. SolidWorks®

El software de automatización de diseño mecánico SolidWorks es una herramienta de diseño paramétrico. Puede crear modelos en 3D totalmente asociativos con o sin restricciones mientras utiliza al mismo tiempo las relaciones automáticas o definidas por el usuario para capturar la intención del diseño.[46]

SolidWorks® es una solución de diseño tridimensional completa que integra un gran número de funciones avanzadas para facilitar el modelado de piezas, crear grandes ensamblajes, generar planos y otras funcionalidades que le permiten validar, gestionar y comunicar proyectos de forma rápida, precisa y fiable. SolidWorks® todo integrado en un único programa de diseño con más de 45 aplicaciones complementarias para facilitar el desarrollo de proyectos. La característica que hace a SolidWorks® una herramienta competitiva, ágil y versátil es su capacidad de ser paramétrico, variacional y asociativo, además de usar las Funciones Geométricas Inteligentes y emplear un Gestor de Diseño (FeatureManager) que permite visualizar, editar, eliminar y actualizar cualquier operación realizada en una pieza de forma bidireccional entre todos los documentos asociados.

En la Figura 4.19 se muestra la interfaz de SolidWorks®, observándose en la parte izquierda el árbol de operaciones realizadas y en la parte superior la disposición secuencia de las operaciones correspondientes a la creación, modificación y asignación de propiedades. [47]

4.5.3. NX ®

NX® es una solución integrada de diseño de productos, ingeniería y fabricación que ayuda las empresas a ofrecer mejores productos más rápido y más eficientemente. NX® para diseño es una solución integrada que optimiza y acelera el proceso de desarrollo de productos para los ingenieros que necesitan crear productos innovadores en un ambiente colaborativo. A diferencia de las soluciones basadas solo en CAD y las soluciones empresariales cerradas, NX® para Diseño ofrece el nivel más alto de integración entre las disciplinas de desarrollo en un ambiente abierto y de colaboración.

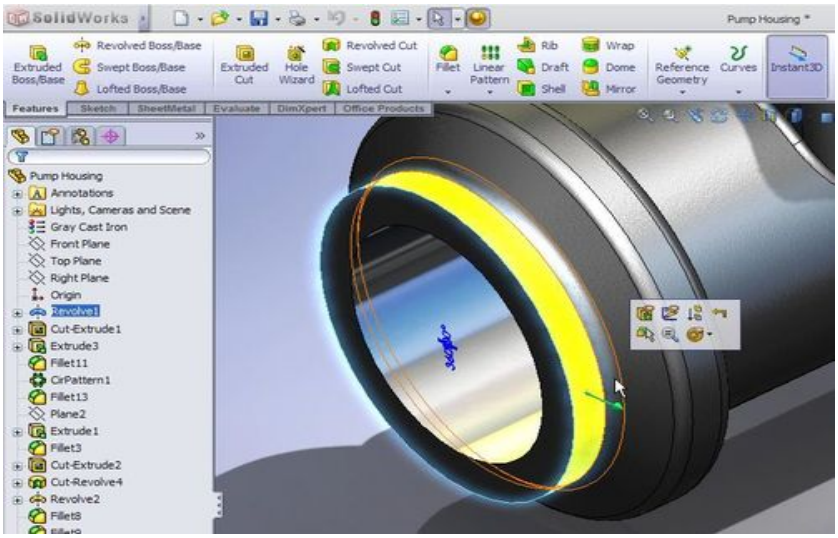

Figura 4.19: Interfaz de usuario SolidWorks®.

Fuente: http://www.marcombo.com/Descargas/9788426714589-SolidWorks/descarga_primer_capitulo_libro_solidworks.pdf Fecha: 07/02/2015. Hora: 04:03 p.m.

Las soluciones NX® para simulación incluyen NX CAE®, que es un ambiente CAE moderno y multidisciplinario para analistas avanzados, equipos de trabajo y diseñadores que necesitan brindar percepciones de desempeño de alta calidad en tiempo para tomar decisiones de producto. NX CAE® integra lo más avanzado en modelado de análisis con soluciones de simulación para estructuras (accionado por NX Nastran), termodinámica, fluidos, movimiento, optimización de ingeniería, multifísica, administración de datos de simulación, y simulación llevada por el diseño a un solo ambiente. Se muestra en la Figura 4.20 la interfaz de Nx®, observándose la disposición de las diversas herramientas y historial de diseño de las operaciones realizadas. [48]

4.5.4. Solid Edge ®

Solid Edge® es un portfolio de herramientas de software asequibles y fáciles de usar que abordan todos los aspectos del proceso de desarrollo de productos: diseño en 3D, simulación, fabricación, gestión del diseño y mucho más gracias a un creciente ecosistema de aplicaciones. Solid Edge combina la velocidad y simplicidad del modelado directo con la flexibilidad y el control de diseño paramétrico hecho posible con synchronous technology. El enfoque directo a la administración de datos complejos

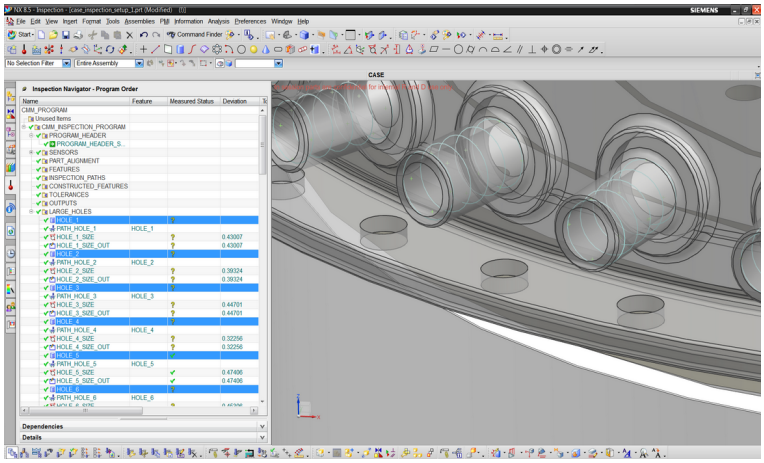

Figura 4.20: Interfaz de usuario NX®.

Fuente: http://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/products/nx/ Fecha: 26/02/2015. Hora: 03:35 p.m.

simplifica el proceso de diseño, lo que permite cumplir y alcanzar objetivos para la finalización del proyecto de diseño. [50]

4.6. Selección de programas CAD comerciales

Una vez seleccionados los programas CAD libres con aplicaciones 2D y 3D respectivamente, se procedió a la selección de sus equivalentes versiones comerciales. Cabe destacar que una de las limitaciones establecidas para el desarrollo del presente trabajo de investigación es la disponibilidad de las licencias de las herramientas comerciales debido a sus costos asociados, condicionándose directamente la selección en esta clasificación de programas. Resultando de esta manera como licencias disponibles de software CAD comercial para aplicación de dibujo 2D AutoCAD® y para aplicación de modelado en 3D SolidWorks®.

Tabla 4.2: Descripcion programas CAD comerciales.

Fuente: Espinoza, M.(2015)

	AutoCAD®	SolidWorks®	NX®	Solid Edge®
Empresa desarrolladora	Autodesk Inc.	Dassault Systèmes SolidWorks Corporation	Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.	Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.
Apliacacion	Automotriz, construcción, arquitectura, ingenieria, diseño industrial	Aeroespacial, automotriz, ingenieria, tecnología de transporte, manofactrura	Aeroespacial, automotriz, ingenieria, tecnología de transporte, manofactrura	Automotriz, electrónica, ingeniería, manofactrura
Sistema operativo	Windows, Mac	Windows, Mac	Windows, Mac	Windows
Capacidades destacadas	Documentacion, diseño 2D y 3D, diseño conceptual, herramientas de visualizacion 3D	Modelado de sólidos 3D, diseño de ensambles, animación CAD 3D, análisis de tolerancia, biblioteca CAD, comprobación de interferencias, dibujo 2D, estimación de costos, documentación	Diseño 2D, diseño basado en características de modelado, documentación, simulacion, diseño electromecánico, diseño y simulación 3D, documentación,	Diseño y simulación 3D, gestión de diseño, dibujo 2D, diseño de ensambles,

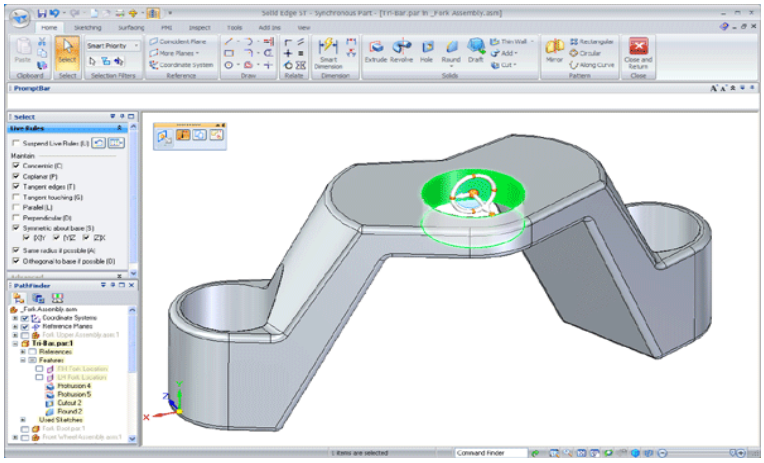

Figura 4.21: Interfaz de usuario Solid Edge ®.

Fuente:
http://www.synchronoustechnology.net/blog/32/solid-edge-with-synchronous-technology/
Fecha: 26/02/2015. Hora: 03:48 p.m.

Capítulo V. Análisis Comparativo de Programas

Seleccionados los software CAD se procede a una evaluación mas detallada de los mismos, fundamentalmente en dos aspectos: evaluaciones cualitativas enfocadas a la descripción del software frente los requerimientos que debe satisfacer como una herramienta CAD y evaluaciones practicas basadas en la ejecución de los programas ante el desarrollo de casos practicos.

5.1. Programas CAD 2D: Evaluaciones cualitativas

Para la comparación de programas CAD con aplicación en el dibujo 2D fueron seleccionados: AutoCAD® y Draftsight, las comparaciones realizadas entre los atributos de cada software ante los requerimientos de una herramienta CAD 2D se presentan por medio de tablas comparativas.

En la Tabla 5.1. se evidencian pequeñas diferencias entre AutoCAD® y Draftsight, en relación al proceso de instalación, para ambos programas no represento mayor dificultad, siguiendo las instrucciones sencillas y practicas que se muestran la instalación se realiza satisfactoriamente. La instalación de Draftsight se realiza mediante la pagina web oficial, no toma mayor tiempo y la descarga se ve condicionada por la velocidad de la red de Internet que se emplee.

La ejecución de los programas por primera vez resulta bastante amigable, AutoCAD® y Draftsight comparten una interfaz de usuario muy similar, no obstante se evidencia de inmediato la restricción de Draftsaight al dibujo 2D exclusivo frente la opciones de visualización 3D de AutoCAD®. Se observo mayor información disponible a simple vista en AutoCAD que en Draftsight, este ultimo mantiene una linea

Tabla 5.1: Instalación y manuales: Comparación de programas CAD 2D.
Fuente: Espinoza, M.(2015).

Instalación y manuales	AutoCAD®	Draftsight
Sistema operativo requerido	Windows® 8 Standard, Enterprise, Professional Microsoft Windows XP Professional, Mac	Mac, Linux,Windows 7 Windows 8 Windows Vista Windows XP
Hardware recomendado	Intel o procesador AMD dual-core, 4 GB RAM	Intel Core 2Duo, AMDAthlon X2Dual-Core o superior, 4GB RAM
Instalación	Sencilla y practica	Sencilla y practica
Idiomas	Inglés, francés, alemán, húngaro, italiano, japonés, coreano, polaco, ruso, español	Ingles, frances, alemán, italiano, japones, portugués, ruso, español

muy minimalista en la distribución de sus herramientas en la interfaz de usuario que ofrece. Como se muestra en la Tabla 5.2 variedad de formatos editables y visualizables empleando Draftsight es por poco mayor a la variedad de AutoCAD®, ademas se evidencia la posibilidad de intercambio de archivos entre ambos.

Por defecto, la interfaz de AutoCAD®. cuenta con una amplia gama de comandos, distribuidos de acuerdo a las fases del diseño, todos los comandos explicados de manera muy simple mediante el símbolo y título que los representa, además de que cuentan con descripciones breves de los mismos al dejar posicionado el cursor del mouse sobre alguno de ellos, en el caso de Draftsight se limita a proporcionar el exclusivamente la etiqueta de la operación. En la evaluación del entrono de boceteado 2D no se observaron mayores diferencias, como se muestra en la tabla 5.3 los atributos básicos son comunes en ambos software.

En la Tabla 5.4. se observan nuevamente pocas diferencias entre AutoCAD® y Draftsight, en este caso para la creación de planos, a pasar de que sean pocas las diferencias observadas su relevancia es considerable, el hecho que AutoCAD® se pueda emplear en el modelado 3D establece una brecha muy amplia entre este y Draftsight, no

Tabla 5.2: Características básicas: Comparación de programas CAD 2D.

Fuente: Espinoza, M.(2015).

Características básicas	AutoCAD®	Draftsight
Presentación pantalla principal	Excelente	Buena
Disposición de las barras de herramientas	Distribuidas y clasificadas para dibujo 2D y 3D	En los laterales de la interfaz de usuario
Herramientas de visualización	Para dibujo 2D y 3D	Comandos de superposición, solo 2D
Ayuda del programa	Ventana emergente con tutorial sencillo al dejar el cursor cobre el botón	Nombre de la operación al dejar el cursor cobre el botón
Importación de archivos	Si	Si
Exportación de archivos	Si	Si
Formatos de archivos editables	3DS, DWF, DWG, DWS, DWT, DXF, PLT, SAT,	BMP, DWG, GIF, JPEG, PDF, PNG, SAT, TIF/TIFF
Formatos de archivos visualisables	3DS, DWF, DWG, DWS, DWT, DXF, PLT, SAT,	ACIS, SAT, BMP, DWG, GIF, JPEG, PDF, PNG, SAT, STL, TIF/TIFF

Tabla 5.3: Entorno de bocetado: Comparación de programas CAD 2D.

Fuente: Espinoza, M.(2015).

Entorno 2D de bocetado	AutoCad	Draftsight
Uso de entorno 2D de bocetado	Fácil comprensión y accesibilidad	Fácil comprensión y accesibilidad
Operaciones de creacionismo para dibujo 2D	Línea, poliliniea, circulo, arco, elipse, polígono, rectángulo, texto, spline, punto	Línea, poliliniea, circulo, arco, elipse, polígono, rectángulo, texto, punto
Operaciones de modificación para dibujo 2D	Chaflan, redondeo, recorte, alargar, escala, arreglo, simetria, girar, copiar	Chaflan, redondeo, recorte, alargar, escala, simetria, girar, copiar

Tabla 5.4: Creación de planos: Comparación de programas CAD 2D.

Fuente: Espinoza, M.(2015).

Creación de planos	AutoCAD	Draftsight
Generación automática de planos a partir de piezas 3D o ensambles	Si	No
Estándares en la creación de planos (Normas ISO)	Si	Si
Herramientas de creación de vistas	Si	No
Capacidad de bocetado isometrico	Si	Si
Acotación y anotaciones	Si	Si
Herramientas de creación y modificación para dibujo 2D	Si	Si
Importación automática de cotas del modelo	Si	No

obstante, los atributos con los que cuenta actualmente Draftsight lo hacen competitivo en el dibujo 2D frente a AutoCAD®.

5.2. Programas CAD 2D: Evaluaciones practicas

La etapa siguiente a las evaluaciones cualitativas de las herramientas CAD 2D esta compuesta por las evaluaciones practicas, por medio de la selección previa de casos de dibujo 2D a ser desarrollados en AutoCAD® y Draftsight, con el fin de establecer un registro de observaciones realizadas durante el proceso.

5.2.1. Casos prácticos CAD 2D

Para la evaluación practica del dibujo 2D se procedió a la búsqueda de modelos representativos como casos prácticos a desarrollar. Se plantearon diversas alternativas, ante esto se estableció como criterio de selección: piezas de complejidad y geometría variable, resultando seleccionadas de las piezas mostradas en las Figura 5.1, Figura 5.2 y Figura 5.3. Posteriormente, se inicio la elaboración de los planos y planos en isometria (Apéndice B Casos prácticos 2D) correspondientes a cada caso practico seleccionado empleándose AutoCAD® y Draftsight.

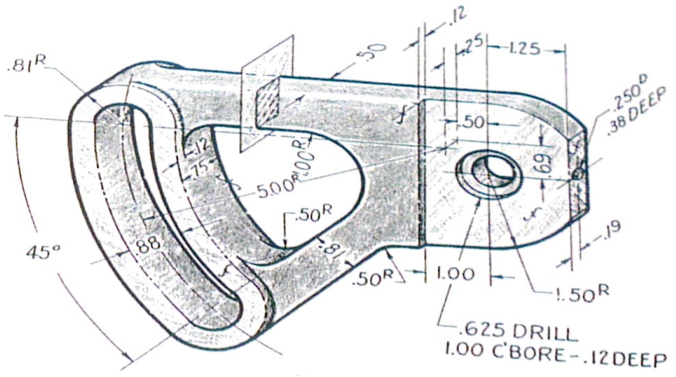

Figura 5.1: Caso practico CAD 2D N°1: Guía de cambio.

Fuente: “Fundamentals of Engineering Drawing”, Prentice-Hall, Inc.

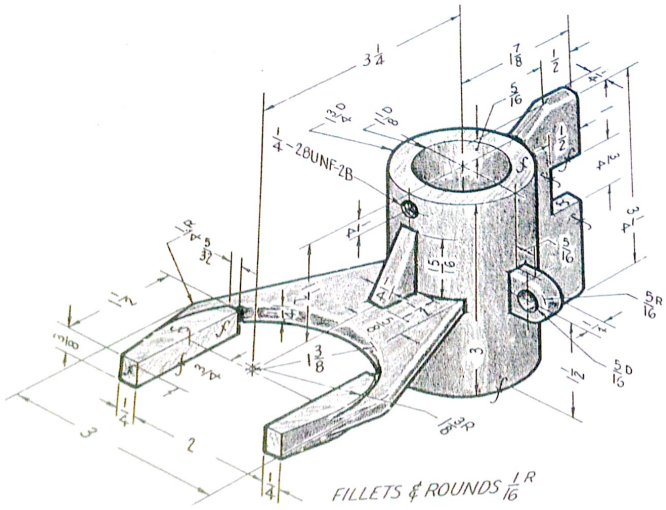

Figura 5.2: Caso practico CAD 2D N° 2: Horquilla de cambio de marcha.

Fuente: “Fundamentals of Engineering Drawing”, Prentice-Hall, Inc.

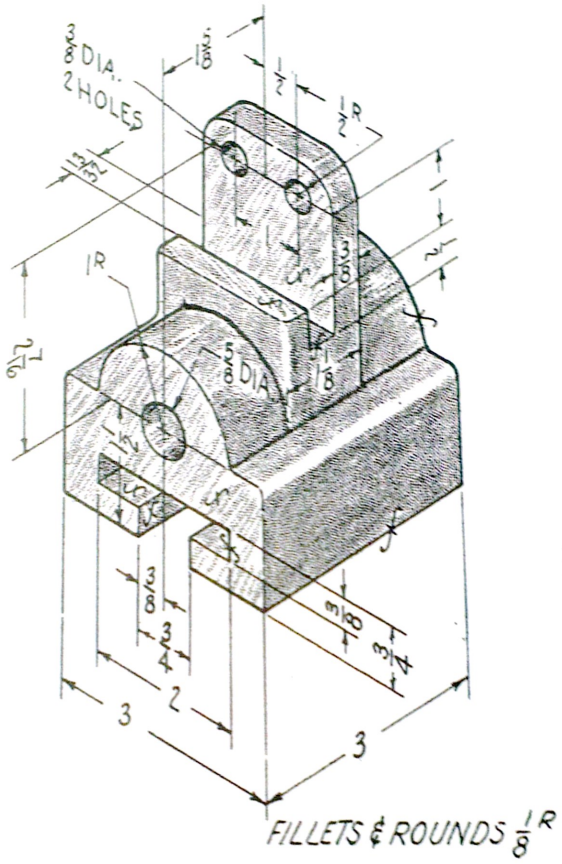

Figura 5.3: Caso practico CAD 2D N° 3: Bloque deslizante.

Fuente: “Fundamentals of Engineering Drawing”, Prentice-Hall, Inc.

5.2.2. Observaciones casos prácticos CAD 2D

Durante la elaboración de los planos correspondientes a los casos prácticos seleccionados anteriormente, se comprobó la presencia y utilidad de todas las herramientas necesarias para el trazado de elementos 2D de manera satisfactoria, tanto empleando AutoCAD® como empleando Draftsight. Ambos programas comparten los mismos principios para creación, modificación y asignación de propiedades de determinado elemento del plano, del mismo modo la configuración de las opciones de dibujo esta dispuesta esencialmente igual en ambos programas, sin dudas, las diferencias entre AutoCAD® y Draftsight para el dibujo 2D son escasas y prácticamente irrelevantes.

Finalmente los planos obtenidos a partir de ambos programas poseen las mismas propiedades, siendo posible elaborarlos por completo indiferentemente del programa que se seleccione, AutoCAD® o Draftsight.

5.3. Programas CAD 3D: Evaluaciones cualitativas

Para la comparación de programas CAD con aplicación en el modelado 3D fueron seleccionados: SolidWorks® y FreeCAD, con el propósito de simplificar la apreciación de las comparaciones realizadas entre estos se presentaran por medio de tablas comparativas los atributos de cada software ante los requerimientos de una herramienta CAD 3D.

En la Tabla 5.5. se muestras los requerimientos de hardware de los programas, siendo necesario el doble o mas para el uso de SolidWorks® respecto a FreeCAD, esto significa la adquisición de equipos mas avanzados, normalmente asociados a costos mas altos. En relación a la instalación de los software, tanto SolidWorks® como FreeCAD proporcionan instrucciones sencillas y de fácil seguimiento para lograr su instalación. La instalación de FreeCAD se realiza mediante la descarga gratuita desde la pagina web oficial del software. Los manuales o ayudas que proporcionan estos software a sus usuarios son bastante puntuales, el inicio de los programas por primera vez resulta bastante accesible y de cómodo entendimiento.

En el caso de SolidWorks® los tutoriales se encuentran en su página web oficial y algunos desarrollados de manera independiente por usuarios experimentados, de ma-

Tabla 5.5: Instalación y manuales: Comparación de programas CAD 3D.

Fuente: Espinoza, M.(2015).

Instalación y manuales	SolidWorks®	FreeCAD
Sistema operativo requerido	Windows® 7, Windows 8, Mac OS	Windows (XP, Vista, 7) / Mac OS X (Lion 10.7)/Linux (Debian, Ubuntu).
Hardware mínimo requerido	Intel® o AMD®, 2 GB RAM, 5 GB espacio libre en disco.	Pentium 4, 1 GB RAM
Hardware recomendado	8GB RAM o más.	Intel Core i3, 4GB RAM
Instalación	Sencilla	Sencilla
Formato de los manuales integrados	Ventana emergente con tutorial sencillo	PDF, manuales básicos
Idiomas	Inglés, francés, alemán, italiano, japonés, coreano, portugués, ruso, español, sueco, coreano	Inglés, finlandés, francés, alemán, griego, húngaro, italiano, japonés, noruego, portugués, rumano, ruso español, sueco, turco

nera similar, los tutoriales y ayudas de FreeCAD se encuentran en su página web, los tutoriales de este se ven complementados con el aporte de amplias comunidades en línea encargadas exclusivamente a describir detalladamente los procedimientos a seguir para modelar diversas piezas, gran parte son videos en diversos idiomas y desarrollados principalmente por colaboradores directos y usuarios frecuentes de FreeCAD.

La interfaz de SolidWorks® cuenta con una amplia gama de comandos, distribuidos de acuerdo a las fases del diseño, tiene ordenados de marera progresiva las secciones de dibujo y modificación de croquis y la formación y edición de sólidos, todos los comandos se ven explicados de manera muy simple mediante el símbolo y título que los representa, además de que cuentan con descripciones breves de los mismos al dejar posicionado el cursor del mouse sobre alguno de ellos.

De manera similar es la presentación de la interfaz de FreeCAD, de una manera mucho más modesta, en comparación con SolidWorks®, se exponen los comandos de acuerdo al banco de trabajo en el que se desee diseñar, a pesar de que cada banco de trabajo condiciona los comandos visibles esta condición es modificable, pudiendo ser personalizada la distribución de los mismos de acuerdo a los requerimientos del usuario, también cuenta con descripciones breves de los comandos al dejar posicionado el cursor del mouse sobre alguno de ellos.

Para el proceso de realización de bocetos 2D en ambos programas se ofrecen esencialmente las mismas herramientas: selección de plano base, elemento a trazar, designación de restricciones geométricas, en la Tabla 5.7 se muestran las restricciones mas representativas encontradas en cada programa.

En lo que se refiere a la documentación completa de un proyecto, puntualmente los planos de piezas pertenecientes a determinado ensamble, SolidWorks® ofrece una extensa gama de posibilidades en la configuración de planos, las herramientas de acotado se encuentran bastante completas, la selección de vistas, configuración de escalas, asignación de formatos de dibujo, en resumen SolidWorks® esta orientado a satisfacer todas las necesidades posibles para la creación, edición y designación de propiedades

Tabla 5.6: Características básicas: Comparación de programas CAD 3D.

Fuente: Espinoza, M.(2015).

Características básicas	SolidWorks®	FreeCAD
Presentación pantalla principal	Muy buena	Buena
Disposición de las barras de herramientas	Regular	Regular (Personalizable)
Herramientas de visualización	Excelente herramientas de visualización 3D	Básicas herramientas de visualización 3D
Árbol histórico	En pantalla principal, personalizable	En pantalla principal, contiene de otras piezas trabajadas
Ayuda del programa	Buena	Buena
Importación de archivos	Si	Si
Exportación de archivos	Si	Si
Formatos de archivos editables	ACIS, SAT, DWG, DXF, HOOPS, IGES, IGS, JPEG, PDF, STEP, STL, STP, TIF/TIFF, VRML, WRL, 3DS, DWF, DWS, DWT, PLT, SAT	DXF, IFC, IGES, NASTRAN, OBJ, PDF, STEP, STL, VRML, SVG
Formatos de archivos visualizables	ACIS, SAT, DWG, DXF, HOOPS, IGES, IGS, JPEG, PDF, STEP, STL, STP, TIF/TIFF, VRML, WRL, 3DS, DWF, DWS, DWT, PLT, SAT	Bitmaps, DXF, IFC, IGES, NASTRAN, OBJ, STEP, STL, VRML, SVG

Tabla 5.7: Entorno 2D de bocetado: Comparación de Programas CAD 3D.

Fuente: Espinoza, M.(2015).

Entorno 2D de bocetado	SolidWorks®	FreeCAD
Facilidad de uso de entorno 2D de bocetado	Amplia gama de opciones y restricciones realizables	Accesible e interactiva
Herramientas 2D de dibujo	Línea, poliliniea, circulo, arco, elipse, polígono, rectángulo, texto, cota, spline, punto, recortar, espejo, arreglo.	Línea, poliliniea, circulo, arco, elipse, polígono, rectángulo, texto, cota, spline, punto, recortar, espejo, arreglo.
Capacidad de bocetado 3D	Si	Si
Restricciones geométricas 2D aplicables	Paralelismo, coincidencia, longitud, verticalidad, horizontalidad,paralelismo, perpendicularidad, coincidencia, angulo, radio, simetria	Longuitud vertical/horizontal, verticalidad, horizontalidad, paralelismo, perpendicularidad, conincidencia, angulo, radio, simetria

Tabla 5.8: Creación de planos: Comparación de Programas CAD 3D.

Fuente: Espinoza, M.(2015).

Creación de planos	SolidWorks®	FreeCAD.
Generación automática de planos a partir de piezas	Si	Si
Generación automática de planos a partir de ensambles	Si	No
Estándares en la creación de planos	Si	Si
Creación de plantillas personalizadas	Si	No
Asociatividad pieza plano	Si	Si
Capacidad de dibujo independiente en 2D en entrono plano	Si	No
Herramientas de creación de vistas	Si	Si
Acotación y anotaciones	Si	No
Generación de listas de despiece	Si	No

Tabla 5.9: Entorno de pieza: Comparación de Programas CAD 3D.

Fuente: Espinoza, M.(2015).

Entorno de pieza	SolidWorks®	FreeCAD
Núcleo geométrico	PARASOLID	OPENCASCADE
Operaciones de modelado solido de piezas	Operaciones Booleanas, extrusión, filet, revolución, sección, chamfer, espejo, doblado, sección variable, revolución, barrido, redondeo, vaciado, nervio, matriz circular o lineal, simetría, primitivas	Operaciones Booleanas, extrusión, filet, revolución, chamfer, espejo, sección variable, barrido, redondeo, matriz circular, matriz lineal, simetría, primitivas
Elementos de geometría auxiliar	Planos, ejes, curvas y puntos de construcción	Planos, ejes, puntos de construcción

de un plano.Por otra parte FreeCAD aun no posee este tipo de bondades, actualmente esta incursionando en la generación automática de planos en formatos prediseñados.

En lo que se refiere a las operaciones de modelado de piezas, SolidWorks® ofrece una considerable cantidad de opciones personalizables, permite realizar varias modificaciones con un solo comando, solicita toda la información necesaria para realizar determinada operación. Por otra parte FreeCAD presenta básicamente las mismas opciones, de una manera un poco mas modesta y enfocada generalmente a la modificación de una o dos características representativas por comando.

5.4. Programas CAD 3D: Evaluaciones practicas

Seguidamente a las evaluaciones cualitativas de las herramientas CAD 3D se procede a las correspondientes evaluaciones practicas. Para ello se establecieron casos prácticos de modelado 3D a ser desarrollados en SolidWorks® y FreeCAD con el fin de establecer un registro de observaciones realizadas durante el proceso y comparar los resultados obtenidos a partir de cada programa. El registro de observaciones se basa en

Tabla 5.10: Ensamblajes: Comparación de Programas CAD 3D.
Fuente: Espinoza, M.(2015).

Ensamblajes.	SolidWorks®	FreeCAD
Herramientas disponibles	Situar, girar, rotar, relaciones de posición, geometrías de referencia, vista explosionada	Situar, girar, rotar
Simulación de movimiento)	Si	No
Creación de vistas de diseño	Si	No
Creación de listas de materiales o despiece	Si	No

aspectos como la interacción usuario programa, herramientas que ofrece, duración del proceso de modelado, estabilidad del programa mediante la detección de fallas en el funcionamiento y atributos favorables del software.

5.4.1. Casos prácticos CAD 3D

Para la evaluación satisfactoria de las herramientas de modelado de los software CAD 3D se establece la realización de tres casos prácticos empleándose SolidWorks® y FreeCAD. Cada caso practico consiste en un ensamble de aplicación académica o industrial, cuyas piezas están caracterizadas por una complejidad geometría variable, los ensambles seleccionados se muestran en las Figura 5.4, Figura 5.5 y Figura 5.6. Los modelos correspondientes a cada caso practico seleccionado se muestran en el Apéndice C Casos prácticos 3D , ademas de la descripción del procedimiento realizado para la elaboración de los mismos.

5.4.2. Observaciones casos prácticos CAD 3D

Durante la elaboración de los casos seleccionados se comprobó la intuitividad y accesibilidad de SolidWorks® y FreeCAD. En el proceso de modelado de piezas existen algunas diferencias entre estos, sin embargo en esencia el procedimiento es muy similar, desde la realización del croquis hasta las operaciones de sólidos. FreeCAD ofrece suficientes herramientas para llevar a acabo el diseño completo de las partes de

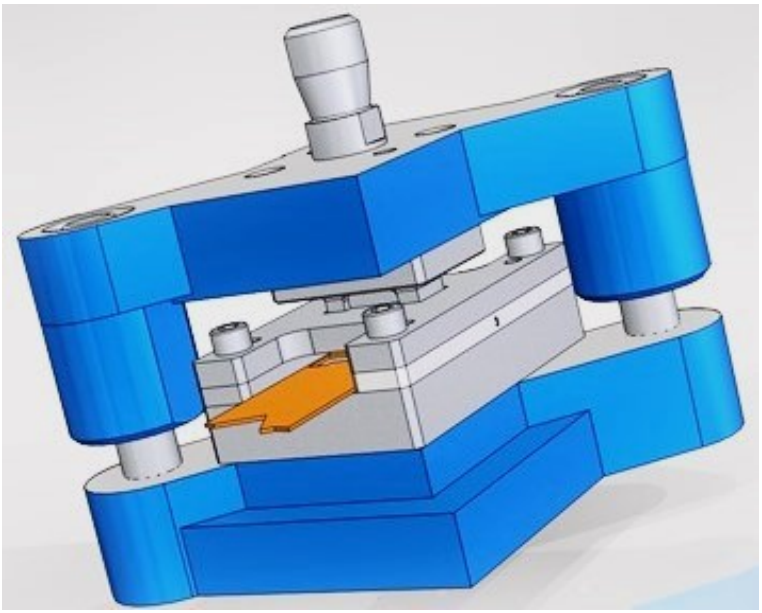

Figura 5.4: Caso practico CAD 3D N°1: Troquel.

Fuente:https://grabcad.com/library/troquel Fecha: 18/01/2015 Hora: 10:45 am.

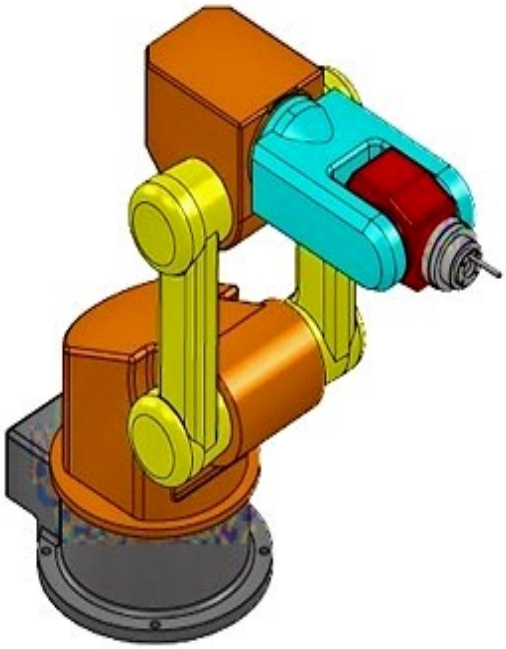

Figura 5.5: Caso practico CAD 3D N°2: Robot industrial.

Fuente: https://grabcad.com/library/industrial-robot-1/files# Fecha: 22/01/2015 Hora: 08:42 am.

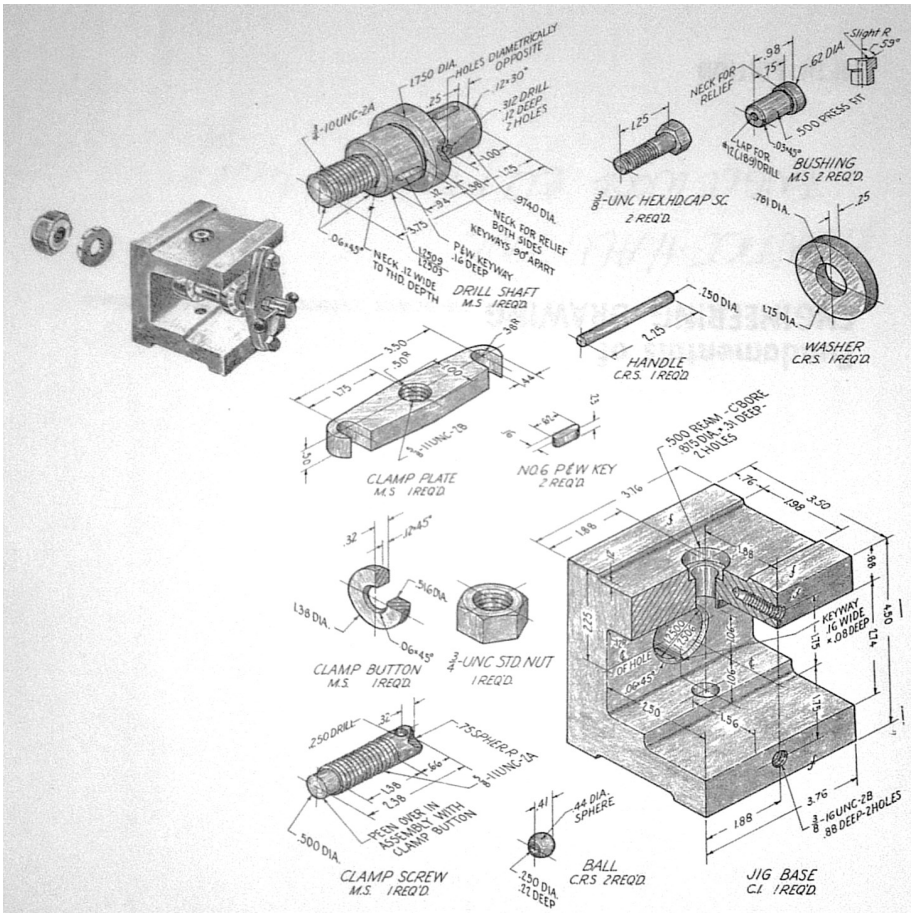

Figura 5.6: Caso practico CAD 3D N°3: Estampadora *.

Fuente: “Fundamentals of Engineering Drawing”, Prentice-Hall, Inc.

los ensambles. Se observaron ciertas restricciones en las modificaciones que admite cuando esta muy avanzado el modelado de la pieza, dependiendo de la antigüedad del parámetro establecido su modificación se realizara de manera satisfactoria o no, se observó en la práctica que entre más antiguo era el parámetro más se comprometía la integridad de la pieza además de la demora en la generación de la vista del solido nuevo una vez realizada la modificación, especialmente para elementos roscados.

SolidWorks® admite la manipulación completa del sólido, establecer relaciones entre piezas del ensamble, generación automática de vistas explosionadas, sin duda la manipulación de ensambles de manera integral se realiza con mayor facilidad en SolidWorks, este cuenta con herramientas de alta utilidad al momento de evaluar el conjunto armado. FreeCAD, necesita procedimiento previos para admitir la manipulación del ensamble (Apéndice C Casos prácticos 3D), siendo necesaria la creación de una copia simple aparte de cada una de las piezas, a esta copia simple se le puede ajustar a necesidad su posicionamiento en el espacio, mas no es posible editar la forma o las dimensiones, para posicionarla finalmente en otro archivo con el resto de las piezas y de este modo completar el ensamblado.

A pesar de los procedimiento poco convencionales asociados a la elaboración de ensambles en FreeCAD, se observo esto como una mejora en el software respecto a versiones anteriores del mismo, inclusive según la pagina información oficial de los desarrolladores de FreeCAD se espera el lanzamiento de una nueva versión en el presente año, la cual promete satisfacer un poco mas las demandas de los usuarios.

Capítulo VI. *Conclusiones y Recomendaciones*

A partir del desarrollo de la investigación presentada y las evaluaciones realizadas se han establecido las conclusiones y recomendaciones correspondientes, expuestas en el presente capitulo. Se espera que sean de utilidad para el lector y le oriente en el proceso de migración hacia el software CAD libre..

6.1. Conclusiones

Se desarrolló un análisis comparativo entre software libre con su similar versión comercial con aplicaciones al dibujo 2D y modelado 3D presentando de manera objetiva las principales ventajas y desventajas de su uso.

Se hallaron diversas herramientas computacionales basadas en software libre útiles para el dibujo en 2D.

FreeCAD resulto ser el software CAD libre de diseño paramétrico con las características mínimas para el modelado 3D y desarrollo de ensambles en la actualidad. No obstante, se evidencio la existencia de al menos una docena de programas libres en estado de desarrollo con pronóstico de alcanzar las características de FreeCAD.

Se estableció la alternativa de la creación estaciones de trabajo con uso exclusivo de software CAD libre.

Puede establecerse, basándose en los antecedentes de FreeCAD, una tendencia a la mejora progresiva causada principalmente por la colaboración de la comunidad de usuarios.

La diferencias en el proceso y resultados del dibujo 2D empleado AutoCAD o Draftsight son insignificantes, siendo la mas relevante la obtención del programa en si.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda para un usuario principiante en el uso de software CAD emplear FreeCAD ya que puede representar una muy buena alternativa para desarrollarse como diseñador, debido a la sencillez del lenguaje, la accesibilidad de sus herramientas, la personalización de su interfaz y por su puesto su inexistente inversión monetaria.

Debido a la accesibilidad característica del software libre, se invita a la comunidad en general a evaluar detalladamente el código fuente de FreeCAD con el fin de adaptarlo satisfacer necesidades más específicas con el principal beneficio de obtener una herramienta con un sinfín de usos.

Del mismo modo, se invita a usuarios habituados a software CAD de versiones comerciales a explorar herramientas similares en versiones libres, en busca de expandir y diversificar sus conocimientos, ya que es valuable el software por sí mismo como el dominio de este.

Bibliografía

[1] Shigley, J, Mischke, C (2008) “Diseño en ingeniería mecánica” Octava Edición McGraw Hill Interamericana.

[2] Norton, R, (2000) “Diseño de máquinas” Prentice Hall, México.

[3] Cheng, L (2007) “The Use of Freeware in the Teaching of Engineering Design Graphics” Escola Politécnica – University of São Paulo.

[4] Delgado, A, Cuello, R (2006) “La promoción del uso del software libre por parte de las universidades” RED. Revista de Educación a Distancia. http://www.um.es/ead/red/17

[5] Reina, D (2005) “El uso del software libre en las administraciones públicas de la UE” Trabajos de doctorado TD05-010 http://www.uoc.edu/in3/esp/index.htm.

[6] Faccini, R (2003) “Colombia, un mercado difícil para el software libre” Ventana informática – especial – universidad de Manizales.

[7] Bonilla, A (2003) “Guía Tecnopyme. Fase II. 1- Herramientas de diseño e ingeniería Cap1.inf” Zamudio.

[8] Bizello S., Ruschel R. (2011) “Estudo de cad livre para implementação de ferramenta de projeto”

[9] Morelli, R, Morelli, L (2012) “El software libre en la enseñanza de la representación gráfica” Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Univ. Nac. Rosario.

[10] Márquez, F, Rangel, J (2013) "Análisis comparativo de herramientas computacionales CAD-CAE basado en versión libre con programas comerciales" Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica.

[11] Castro, J, Durán , H (2005) "Desarrollo de un generador de mallas para el análisis bidimensional de problemas usando el método de elementos de contorno" Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela

[12] Torres, J (2013) "Diseño asistido por ordenador" 4ª Curso Ingeniería Informática, Dpto. Lenguajes y Sistemas Informáticos, ETS. Ingeniería Informática, Universidad de Granada.

[13] Solbes, R (2014) "Automatismos Industriales. Conceptos y procedimientos". Nau Llibres.

[14] Nevot Luna, Antonio, Aguirre Julián (2007) "Dibujo técnico y matemáticas: una consideración interdisciplinar" Editor Ministerio de Educación.

[15]Solano, L ,Vigo, M, Puig, A (2001) "Funciones en el modelado de sólidos y paradigmas de diseño" Secció d'Informàtica Gràfica Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics, Universitat Politècnica de Catalunya.

[16] http://www.tutorials3d.com/esp/tut_free3_objcomp.asp?id=3. Fecha: 26/02/2015. Hora 01:56 a.m.

[17]http://unionuniversitaria.uji.es/wp-content/uploads/2012/01/CURSO-DE- iniciaci%C3%B3n-autocad.pdf Fecha: 26/02/2015. Hora 01:56 a.m.

[18]Vimal K. (2007). "Selection and Management of Open Source Software in Libraries".

[19]Stallman, R (2004) "Software libre para una sociedad libre" Ed. Traficantes de Sueños. España.

[20]http://www.scielo.org.ar/pdf/ccedce/n49/n49a05.pdf Fecha: 26/02/2015. Hora: 08:14 a.m.

[21]http://www.parametriccamp.com/%C2%BFque-es-el-diseno-parametrico/. Fecha: 26/02/2015. Hora: 08:14 a.m.

[22] Ardila, R. (2001) "Psicología del aprendizaje" Publisher Siglo XXI.

[23]http://www.lsi.upc.edu/~tonis/daniel_gonzalez_pinyero.pdf Fecha: 09/02/2015. Hora: 05:16 p.m.

[24] Potts, M. Prechette, S. (2003) "Viewing Technologies for Computer-Aided Design Models" Technology Insertion Demostration and Evaluation Program (TIDE).

[25] Mooney, J. "Bringing Portability to the Software Process" West Virginia University Dept. of Statistics and Computer Science, Morgantown, USA, jdm@cs.wvu.edu.

[26]http://www.alegsa.com.ar/Dic/soporte%20tecnico.php#sthash.k88Emz80.dpuf. Fecha: 09/02/2015. Hora: 09:26 a.m.

[27] http://definicion.de/estabilidad/ Fecha: 26/02/2015. Hora: 09:34 a.m.

[28]http://brlcad.org/ Fecha: 18/11/2014. Hora: 05:48 p.m.

[29]http://free-cad.sf.net/ Fecha: 18/11/2014. Hora: 06:04 p.m.

[30]http://www.librecad.org/ Fecha: 18/11/2014. Hora: 06:25 p.m.

[31]http://www.openscad.org/ Fecha: 18/11/2014. Hora: 08:27 p.m.

[32]http://www.qcad.org/en/ Fecha: 18/11/2014. Hora: 09:43 p.m.

[33]http://shapesmith.net/ Fecha: 18/11/2014. Hora: 09:56 p.m.

[34]http://solvespace.com/index.pl Fecha: 20/11/2014. Hora: 10:44 a.m.

[35]http://varkon.sourceforge.net/man.htm Fecha: 20/11/2014. Hora: 10:49 a.m.

[36]http://ubuntuguide.net/install-gcad3d-the-open-source-3d-cad-cam-application-in-ubuntu. Fecha: 20/11/2014. Hora: 10:57 a.m.

[37]http://www.hpesoft.com/cad-fem Fecha: 21/11/2014. Hora: 11:15 a.m.

[38]http://www.rs-online.com/designspark/electronics/eng/page/mechanical Fecha: 22/11/2014. Hora: 08:24 a.m.

[39]http://www.softpedia.com/get/Science-CAD/Minos.shtml Fecha: 22/11/2014. Hora: 09:17 a.m.

[40]http://narocad.com/ Fecha: 22/11/2014. Hora: 09:50 a.m.

[41]http://www.anycad.net/tag/anycad-free Fecha: 22/11/2014. Hora: 09:59 a.m.

[42]http://www.3ds.com/products-services/draftsight-cad-software/ Fecha: 26/02/2015. Hora: 01:46 p.m.

[43]https://inkscape.org/es/ Fecha: 26/02/2015. Hora: 01:51 p.m.

[44]http://www.autodesk.com/products/autocad/overview Fecha: 07/02/2015. Hora: 02:11 p.m.

[45]http://autocadinsider.autodesk.com/files/autocad2014previewguide.pdf Fecha: 07/02/2015. Hora: 02:37 p.m.

[46]http://app.ute.edu.ec/content/3466-161-4-1-6-19/Conceptos%20basicos%20de%20SolidWorks%20-%20Piezas%20y%20ensamblajes.pdf Fecha: 07/02/2015. Hora: 02:48 p.m.

[47]http://www.marcombo.com/Descargas/9788426714589-SolidWorks/descarga _primer_capitulo_libro_solidworks.pdf Fecha: 07/02/2015. Hora: 04:03 p.m.

[48]http://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/products/nx/ Fecha: 26/02/2015. Hora: 03:35 p.m.

[49]http://cad.softwareinsider.com/l/20/NX Fecha: 26/02/2015. Hora: 03:37 p.m.

[50]http://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/products/solid-edge/ Fecha: 26/02/2015. Hora: 03:46 p.m.

[51]http://www.synchronoustechnology.net/blog/32/solid-edge-with-synchronous-technology/ Fecha: 26/02/2015. Hora: 03:48 p.m.

APÉNDICE A

Listado software CAD libre

A continuación se muestran en las Figura 1 y Figura 2. el resultado de la revisión bibliográfica de los software CAD libre disponibles actualmente, en la Figura 1 el listado proporcionado por Free Software Foundation, organización pionera en el movimiento de software libre, y en la Figura 2. el listado obtenido en búsquedas independientes. En ambos listados se aplicaron los siguientes criterios básicos de selección:

Criterios básicos:

- C1: Software CAD con aplicación al diseño en ingeniería mecánica.

- C2: Descarga gratuita.

- C3: Sistema operativo (*Windows*, Linux).

-C4: Aplicación al dibujo 2D.

-C5: Aplicación al modelado 3D.

Cada uno de los software presentes en los listados mencionados (Figura 1 y Figura 2) fueron evaluados de acuerdo estos criterios básicos, resultando de esta primera evaluación la población de software CAD libre estudiados con mayor detalle a lo largo de la presente investigación. Cabe destacar que gran parte de los software CAD libre hallados se encuentran en sus primeras fases de desarrollo, contándose exclusivamente con las descripciones a futuro de estos, ademas de la ausencia de versiones de prueba de los mismos.

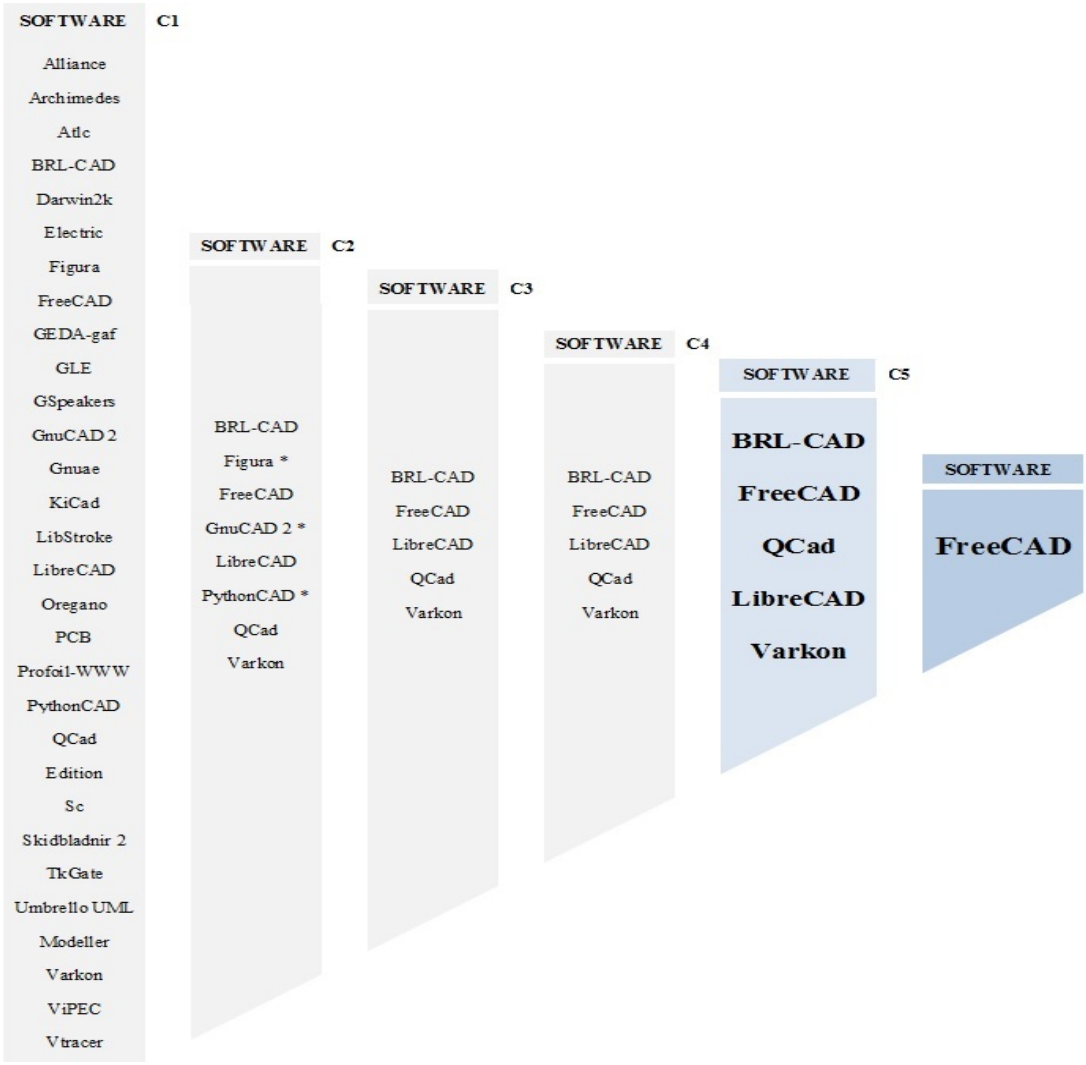

Figura 1: Directorio de software CAD libre (Free Software Foundation).

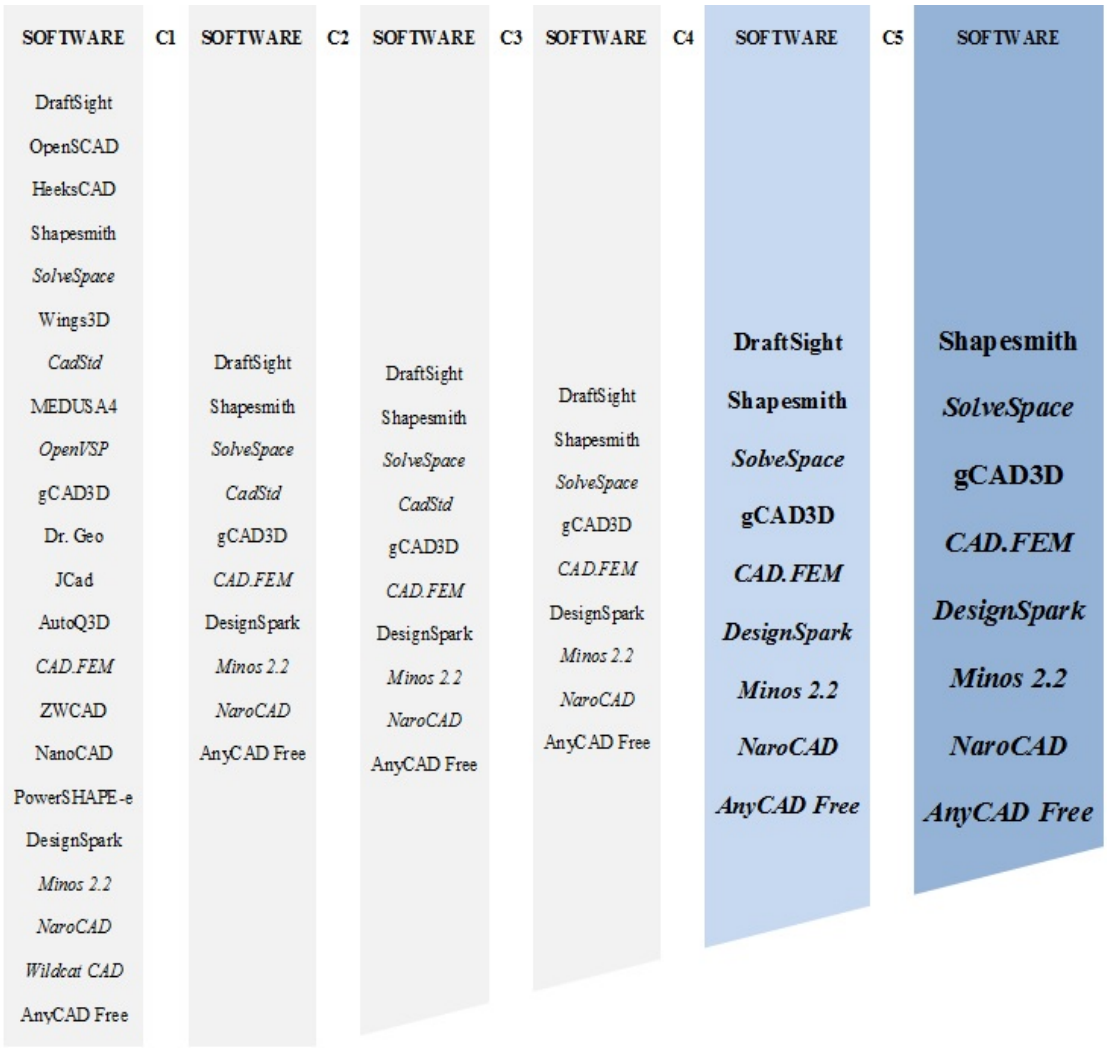

Figura 2: Directorio de software CAD libre. Búsqueda independiente.

APÉNDICE B

Casos prácticos 2D

APÉNDICE C

Casos prácticos 3D

Modelado de piezas 3D:

A continuación se describe el procedimiento a seguir para el modelado de una de las piezas de los casos prácticos seleccionados para las evaluaciones practicas de software CAD con aplicación al modelado 3D. Procedimiento esencialmente similar para todas las piezas que conforman a cada uno de los ensambles desarrollados, variado principalmente en el detalle y complejidad geométrica de cada pieza.

Procedimiento para el modela de piezas 3D:

Software: FreeCAD **Versión:** 0.14

Pieza: Nariz, caso practico CAD 3D N°1 Troquel.

1. Ejecutar programa, ver ventana de bienvenida a FreeCAD, ver Figura 3.

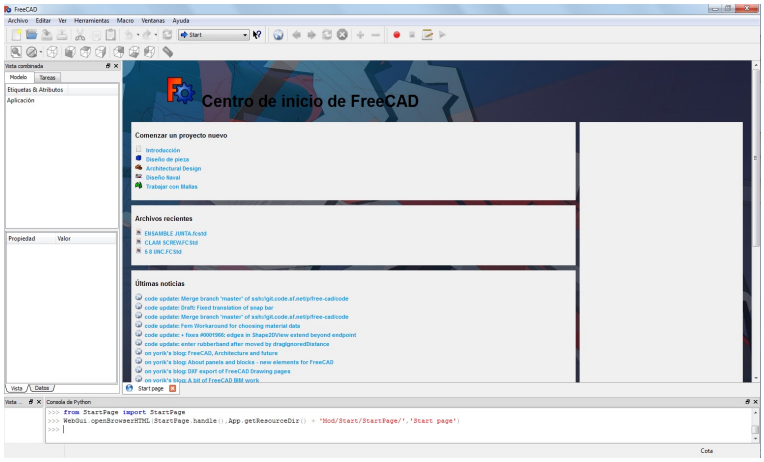

Figura 3: Ventana de bienvenida a FreeCAD.

2. Seleccionar: “Diseño de pieza”, ver Figura 4.

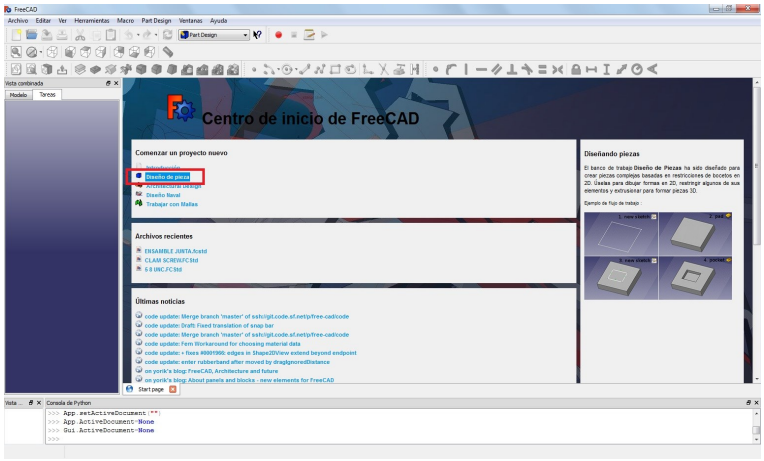

Figura 4: Selección “Diseño de pieza”.

3. Seleccionar: “Crear croquis”, luego determinar plano de trabajo, ver Figura 5.

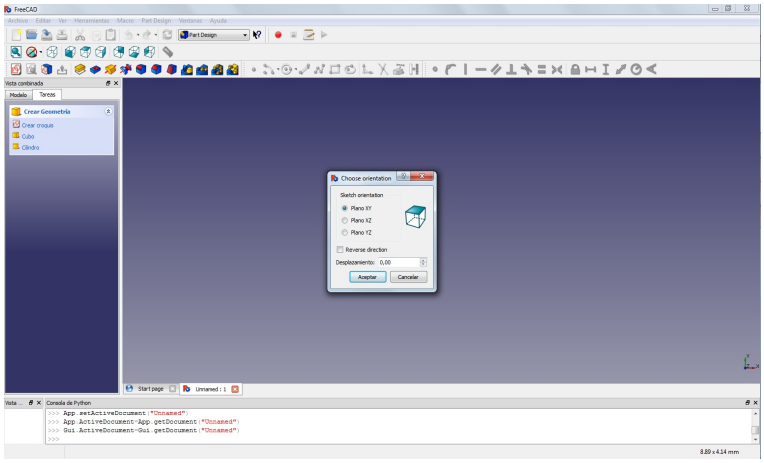

Figura 5: Selección plano de trabajo.

4. Seleccionar herramienta de creación de croquis (punto, linea, arco, circulo, rectángulo, etc) de acuerdo al diseño a elaborar y crear dibujo libre aproximado del mismo. ver Figura 6.

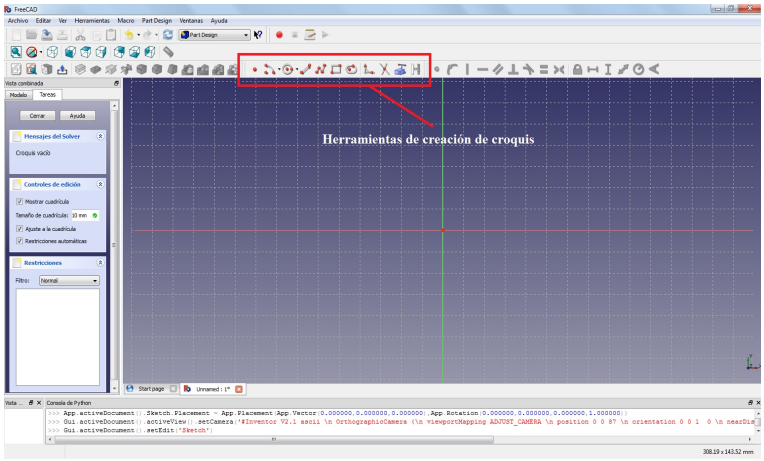

Figura 6: Selección herramientas de croquis.

5. Establecer restricciones en el croquis (longitud,coincidencia, paralela, verticalidad, horizontalidad, etc), ver Figura 7.

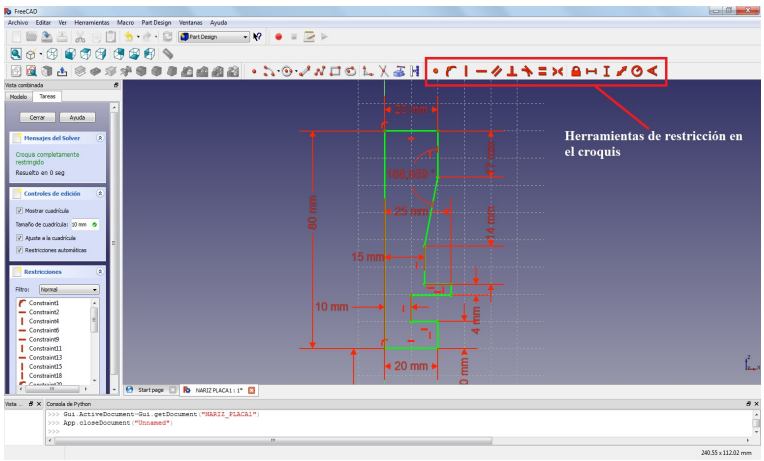

Figura 7: Restricción de croquis.

6. Cerrar edición de croquis, seleccionar herramienta de diseño de parte (extrusión, vaciado, revolución, etc) ver Figura 8.

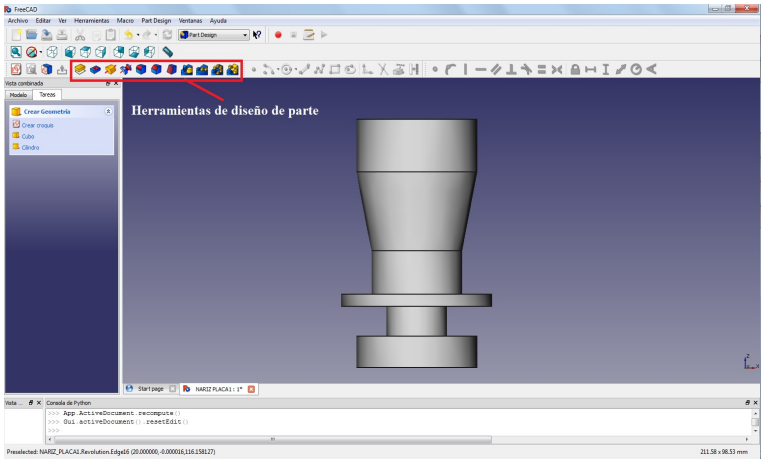

Figura 8: Selección de herramienta de diseño de parte: Revolucion.

Adicionalmente se pueden aplicar operaciones de redondeos, chaflanes, simetrías, patrones de repetición, entre otros.

Presentación casos prácticos CAD 3D

Con base en el procedimiento descrito anteriormente, fueron modelas las piezas de cada caso practico seleccionado y se procedió a su ensamblado empleándose FreeCAD y SolidWorks®. Obteniéndose como resultado lo mostrado a continuación en las Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13 y Figura 14.

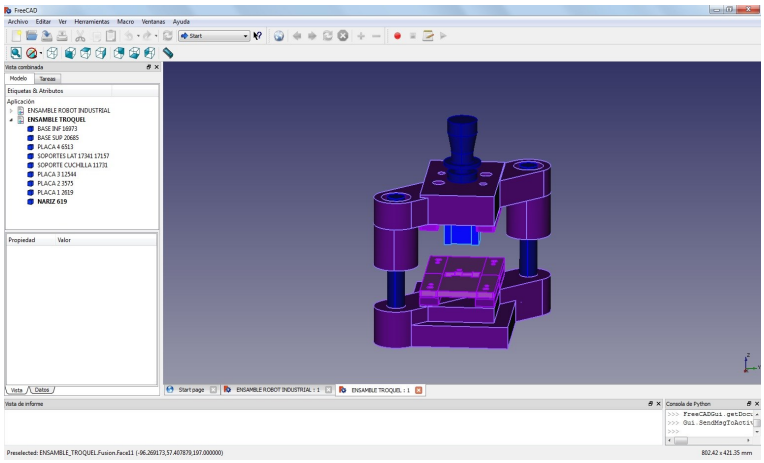

Figura 9: Caso práctico CAD 3D N° 1: Troquel FreeCAD

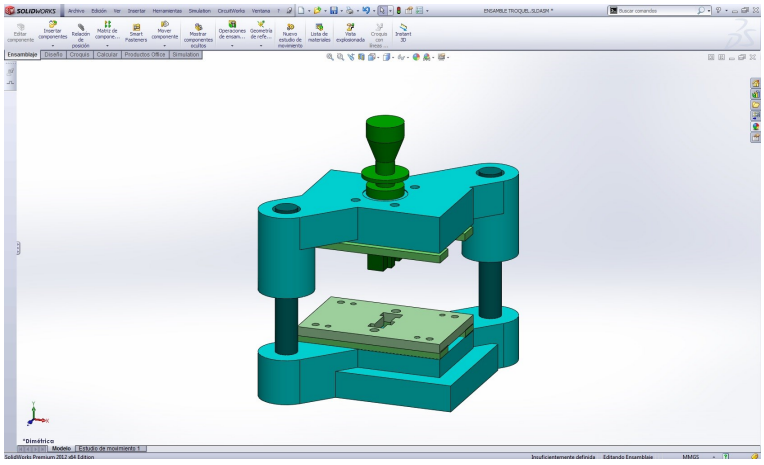

Figura 10: Caso práctico CAD 3D N° 1: Troquel Solidworks

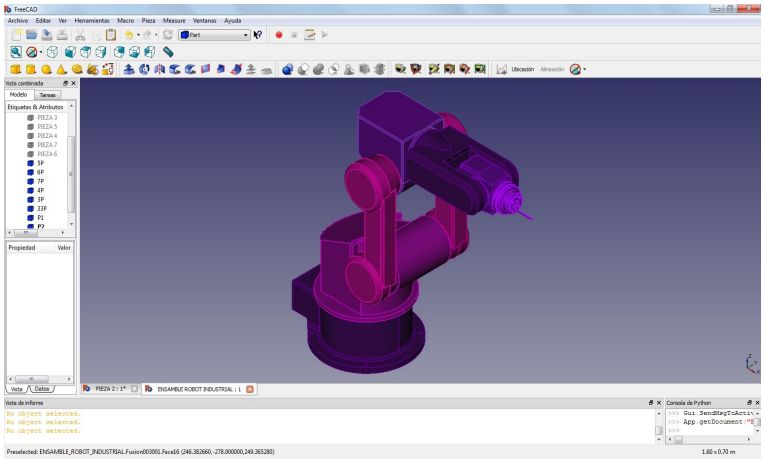

Figura 11: Caso práctico CAD 3D N° 2: Robot industrial FreeCAD

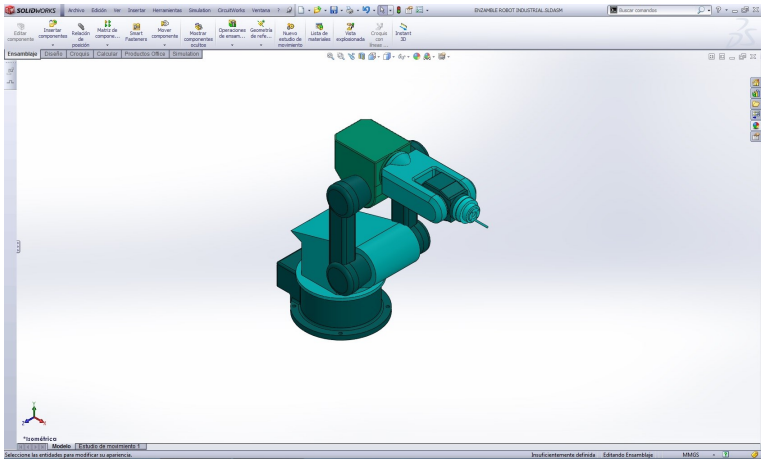

Figura 12: Caso práctico CAD 3D N° 2: Robot industrial Solidworks

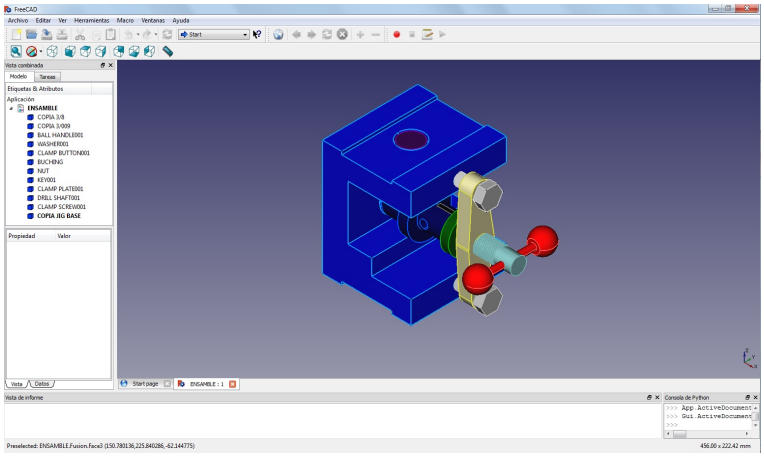

Figura 13: Caso práctico CAD 3D N° 3: Estampadora FreeCAD

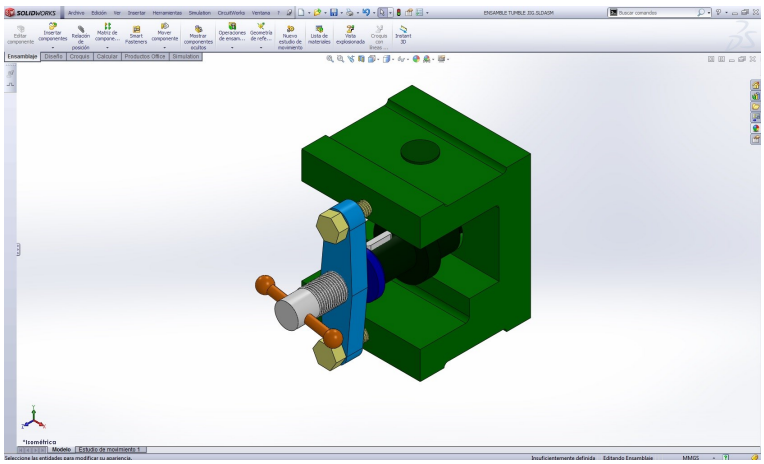

Figura 14: Caso práctico CAD 3D N° 3: Estampadora Solidworks

Planos a partir de FreeCAD:

Como parte complementaria de la investigación realizada, se establece a continuación el proceso a realizar para la obtención de planos a partir de FreeCAD, como elementos fundamentales de la documentación de un proyecto. Una vez modelada la pieza 3D, se establece como procedimiento a seguir:

1. Cambiar el banco de trabajo de "Part" o "Part Disign" a "Drawing".

2. Configurar el formato de dibujo (A3 o A4) de acuerdo a necesidades, seleccionar la pieza y crear las proyecciones.

3. Determinar vistas, escala, líneas ocultas, isometría.

4. Guardar plano en formato .svg (único disponible a la fecha).

5. Abrir desde Inkscape (software libre, descrito en *Capitulo II: Marco Teórico*) el archivo .svg de la pieza elaborada.

6. Guardar archivo en Inkscape con formato .dxf.

7. Abrir archivo anterior desde Draftsight con formato .dxf.

Observación: Parte de la geometría del plano original obtenido en FreeCAD puede verse comprometida por el proceso, generalmente circunferencias y redondeos.

8. Adaptar escala del plano mostrado en Draftsight de acuerdo al mostrado en FreeCAD.

9. Reconstruir elementos faltantes empleando las diversas herramientas de dibujo que proporciona Draftsight.

10. Proceder al acotado e identificación del plano empleando las diversas herramientas de acotado y anotaciones que ofrece Draftsight.

En relación al procedimiento descrito anteriormente se encuentran a continuación modelos de planos obtenidos a partir del mismo, planos correspondientes a las piezas que conforman el caso practico CAD 3D N°2 Robot Industrial.