



UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS

FACULTAD 4

# FUNCIONALIDADES PARA EL MODELADO DE PIEZAS TIPO CHAPA CON PERFILES RECTOS, PLIEGUES Y PERFORACIONES

Trabajo de diploma para optar por el título de  
Ingeniero en Ciencias Informáticas

**Autor:**

Elí Batista Matos

**Tutores:**

**Dr.CT** Augusto César Rodríguez Medina

**ING** Julio César Pérez González

**La Habana, junio de 2017**

**“Año 59 de la Revolución”**



*Apunta a la luna. Incluso si fallas, aterrizarás en las estrellas.*

*Les Brown.*

---

# Declaración de autoría

---

**Declaro ser único autor del presente trabajo de diploma y autorizo a la Universidad de las Ciencias Informáticas a ser uso del mismo en su beneficio.**

Para que así conste firmo la presente a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del año 2017.

---

**Elí Batista Matos**  
**Firma del Autor**

---

**Dr.C** Augusto Cesar Rodríguez Medina  
**Firma del Tutor**

---

**Ing.** Julio César Pérez González  
**Firma del coTutor**

---

# Dedicatoria

---

*A DIOS primeramente y a mi familia, especialmente a mis padres Milka Ruth Matos Rodríguez y Alexis Batista Guilarte y a mis tíos Ilder y Margoris. Para ellos es esta dedicatoria de tesis por su apoyo incondicional.*

## Agradecimientos

*A esos amigos que han sido más que hermanos y a esos hermanos que han sido más que amigos. A mis profesores(as) quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clase, a ellos que continuaron depositando su esperanza en mí. A todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis.*

*Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas y colegas me han prestado durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. En primer lugar, quisiera agradecer a mi tutor, el Dr.C.T Augusto César Rodríguez Medina, el haberme orientado en todos los momentos que necesité sus consejos. Así mismo, deseo expresar mi reconocimiento a los ingenieros Julio César Pérez González, Sandy García Santos, Gustavo García González, y Armando Rodríguez Vallín por su ayuda incondicional. Por último, en este ámbito académico, mi sincera gratitud a mis compañeros y amigos de mi vida universitaria. Sin su ayuda e interés, esta tesis difícilmente habría llegado a concluirse en los plazos y forma que hoy tiene. También un agradecimiento especial a Armando Tabares Sánchez(Armandito) y su familia, a quienes considero parte imprescindible de mi familia y sin los cuales no podría haber llegado tan lejos. Y concluyo: gracias a mi familia, por su paciencia y comprensión durante las muchas horas que les he robado.*

# Resumen

El presente trabajo contiene los resultados generales de un proceso de investigación y desarrollo, cuyo objetivo fundamental, es desarrollar funcionalidades con base en herramientas de código abierto disponibles, para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones, destinadas a una aplicación informática de diseño asistido por computadora. Las decisiones que definieron el resultado estuvieron fundamentadas en una investigación previa, en la que se recopiló y procesó información acerca de sistemas comerciales y libres, con funcionalidades para el modelado de piezas con los requerimientos mencionados, el estudio de los algoritmos para la generación de pliegues y perforaciones a chapas, así como las APIs existentes en la tecnología Open Cascade para el modelado de las mismas. Las funcionalidades para el modelado de piezas tipo chapa desarrolladas en el presente trabajo son: corte de forma, pestaña, doblado, chapa a partir de *sketch*.

**Palabras claves:** chapa, diseño, modelado, pieza, *software* libre.

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	8
1. CAPÍTULO 1: Fundamentación teórica.....	10
1.1. Situación problemática y de conflicto en el proceso de investigación y desarrollo 10	
1.2. Características y requerimientos generales de las chapas con perfiles rectos... 14	
1.3. Herramientas existentes para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos 19	
Comerciales.....	19
Código abierto .....	20
1.4. Funcionalidades del módulo para conformar piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones .....	22
1.5. Metodología para el desarrollo .....	22
1.6. Frameworks, lenguajes y tecnologías para el desarrollo .....	24
1.7. Conclusiones parciales .....	26
2. CAPÍTULO 2: Propuesta de solución.....	28
2.1. Mapa conceptual .....	28
2.2. Definición de las clases del modelo conceptual .....	29
2.3. Descripción de la propuesta de solución.....	29
2.4. Requisitos.....	30
2.5. Diseño .....	32
Arquitectura de software .....	32
Modelo de clases del módulo.....	34
Patrones de diseño.....	36
Diagramas de secuencia del diseño .....	36
2.6. Conclusiones parciales.....	38
3. CAPÍTULO 3: Resultados del proceso de investigación y desarrollo .....	39
3.1. Implementación .....	39

Estándar de codificación.....	39
Diagrama de componentes.....	40
Creación de una pieza de chapa .....	41
3.2. Pruebas.....	42
Niveles de prueba.....	42
Métodos de prueba.....	43
Diseño de los casos de prueba.....	44
Pruebas de integración.....	44
Resultados de las pruebas .....	49
3.3. Conclusiones parciales.....	51
Conclusiones generales.....	52
Recomendaciones.....	53
Bibliografía.....	54
Anexos.....	57



## Introducción

---

El presente trabajo posee sus bases en un proyecto del Grupo de Investigación “Soluciones Informáticas para la Ingeniería y la Industria” (SIPII) perteneciente al Departamento de Ciencias Básicas de la facultad 4, en la Universidad de las Ciencias Informáticas; el cuerpo del documento contiene los resultados del proceso de investigación y desarrollo, asociado al desarrollo de un módulo de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones destinado a emplearse como parte de un sistema para el diseño asistido por computadora.

La idea del mencionado desarrollo surgió de la necesidad de integrar módulos obtenidos previamente, para conformar un sistema informático que permita resolver algunos de los problemas que enfrenta la industria nacional en el área de las tecnologías para el diseño asistido por computadora, asociados a las restricciones del bloqueo económico y comercial impuesto por el gobierno de los Estados Unidos de América contra Cuba.

Las funcionalidades del módulo, se concibieron para agrupar las operaciones de diseño, modelación, pliegue y perforación de chapa de perfiles rectos, partiendo de un criterio arquitectónico que garantizara robustez, eficacia y posibilidad de integrar módulos con facilidad y de forma incremental.

Para garantizar niveles de independencia y soberanía en el producto previsto, se utilizaron tecnologías de código abierto como la versión comunitaria de Open CASCADE, la implementación del estándar Open Inventor Coin3D, el marco de trabajo Qt y el código fuente de las aplicaciones FreeCAD y Salome Meca; se ejecutó el proceso transitando desde los aspectos más simples a los más complejos haciendo un empleo sistemático, en lo fundamental, del método teórico de análisis y síntesis y el empírico de observación.

En el proceso de recopilación de la información, que sería necesario procesar para fundamentar el trabajo, se consultaron numerosas fuentes electrónicas e impresas; particular importancia tuvo la observación de animaciones, que muestran sistemas de diseño asistido por computadoras en ejecución.

El documento está estructurado en tres capítulos; en el primero se exponen los aspectos generales de la fundamentación teórica del trabajo, iniciando con la conformación del perfil de la investigación; se incluyen además los aspectos estudiados sobre los requerimientos de los módulos de chapa de aplicaciones para el diseño asistido por computadora. En el segundo capítulo se hace la propuesta de solución, para lo que se parte del modelo del dominio, se exponen los requisitos capturados, se realiza la descripción de las

funcionalidades para el modelado de chapa de perfiles rectos, pliegues y perforaciones, se define la arquitectura y se establecen los patrones de diseño. En el tercero se presentan los resultados más importantes de las etapas de implementación y de pruebas. Se concluye el trabajo relacionando las conclusiones y recomendaciones que durante el proceso se fueron obteniendo.

## 1. CAPÍTULO 1: Fundamentación teórica

---

En este capítulo se aborda la fundamentación teórica de la investigación. Se incluye un estudio de los sistemas CAD homólogos, propiedades y características para la conformación estructural de chapas con perfiles rectos, pliegues y perforaciones. Se describen las herramientas, metodologías, *frameworks*, lenguajes y tecnologías necesarias para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones.

### 1.1. Situación problemática y de conflicto en el proceso de investigación y desarrollo

El proceso de diseño constituye la base para el desarrollo de muchos productos industriales. En esta etapa se determinan las configuraciones y características que debe poseer el artículo una vez terminado el proceso de producción. Con la aparición del computador se introdujeron programas y herramientas CAD para adaptar y optimizar el proceso de diseño (2). El desarrollo de un sistema CAD se basa en la representación computacional de un modelo que surge como respuesta a una necesidad o requerimiento. Esencialmente se trata de una base de datos de entidades geométricas operable a través de una interfaz gráfica. Permite diseñar en dos o tres dimensiones mediante geometría alámbrica (puntos, líneas, arcos, *splines*<sup>1</sup>), superficies y sólidos para obtener un modelo numérico de un objeto o conjunto de ellos. La base de datos asociada a cada entidad contiene una serie de propiedades como: color, capa, estilo de línea, nombre y definición geométrica; que permiten manejar la información de forma lógica. A las entidades o conjuntos de estas pueden asociarse otro tipo de propiedades como el coste y el material; que vinculan el CAD a los sistemas de gestión y producción (3). Los sistemas CAD son ampliamente utilizados en las distintas ramas de la ingeniería y la industria a nivel nacional e internacional por todas las ventajas que presenta su uso (3):

- Utilizan librerías de elementos comunes.
- Eliminan la distinción entre plano original y copia.
- El almacenamiento de los planos es más reducido y fiable.
- Permiten realizar búsquedas rápidas y precisas mediante bases de datos.

---

<sup>1</sup> curvas definidas a trozos mediante polinomios (3)

- Aumentan la uniformidad en los planos.
- La calidad de los planos es mayor debido a que se eliminan las tachaduras.
- Reduce el tiempo invertido en las modificaciones y en operaciones repetitivas.
- Los datos pueden exportarse a otros programas para obtener cálculos, realizar informes y presentaciones.
- Se puede obtener un modelo en tres dimensiones (3D, longitud, ancho y profundidad) para visualizarlo desde cualquier punto de vista.
- Se puede obtener simulaciones, animaciones y hacer análisis cinemático.
- Facilitan el trabajo en equipo.

Uno de los métodos ampliamente empleados en la industria y que ha sido optimizado mediante el uso de aplicaciones CAD, es el diseño y manufactura de piezas tipo chapa. Se denomina chapa a una lámina delgada de metal que se utiliza para la manufactura, por ejemplo, de carrocerías de automóviles, cisternas de camiones, entre otros. Las chapas se construyen en varios espesores, generalmente de 1 a 12 milímetros, dependiendo del uso y del tipo de fabricación que tenga (4). El proceso para crearlas es estampado en frío, conformado o troquel, mediante punzones y matrices. Pueden ser de cualquier material maleable que permita manejar sus espesores. Para darle mayor rigidez, a menudo las chapas se pliegan formando ondas, que aumentan su momento de inercia. La aplicación de este producto se evidencia en la industria automovilística, aeronáutica, de electrodomésticos, estructuras metálicas, muebles de acero, entre otros (4). Las chapas metálicas pasan por diversas operaciones para determinar su forma final en los procesos de fabricación (5):

- Doblado
- Embutido
- Punzonado
- Perforado
- Recortado

El diseño de estos productos tiene gran utilidad para el país. La Empresa Industrial Nacional Productora de Utensilios Domésticos (INPUD) ubicada en Santa Clara, ha sido la principal industria en Cuba que utiliza los procesos de conformación de chapa para la realización de sus productos. En sus inicios se dedicaba a la producción de refrigeradores, fregaderos, ollas de presión y la producción de moldes y troqueles para la propia empresa. Actualmente,

tiene como misión producir utensilios domésticos y electrodomésticos, así como otros de uso industrial (6).

En la actualidad, existen programas CAD con los que se pueden diseñar piezas de tipo chapa, e incluso algunos presentan un módulo dedicado enteramente al modelado de este tipo de pieza (7). Entre ellos se puede citar:

- Solid Edge y SolidWorks de Dassault Systèmes.
- Autodesk Inventor de Autodesk Incorporated.
- Radan 3D desarrollado por Vero Software, una empresa de Hexagon.
- BricsCAD Sheet Metal de Bricsys.

Sin embargo, estos programas son propietarios y existen limitantes para los ingenieros cubanos a la hora de realizar un producto empleando estas herramientas (8). En Cuba no es una opción viable el uso de *software* propietario, los cuales demandan una licencia para su explotación, por las siguientes razones (9):

- Exige un pago consistente en altas sumas para la adquisición de su licencia.
- No facilita el código fuente, por lo que no es posible corregir bugs o errores de programación.
- Para Cuba es riesgoso tener a Windows como su principal plataforma de *software* debido a que Microsoft está sujeta a las leyes de los Estados Unidos.
- El uso de Windows es un problema de seguridad nacional, debido a la existencia de las llamadas “puertas traseras”, que hacen posible la vigilancia remota de los sistemas por parte de órganos de inteligencia foráneos.

Una posible vía de solución sería el uso de sistemas de código abierto, como por ejemplo **FreeCAD**, **LibreCAD** y **Salome-Meca**, sustituyendo así la necesidad del uso de *software* propietario; sin embargo, el modelado de chapa en estas aplicaciones no es posible, o se hace mediante numerosas operaciones, debido a que no existe un módulo que automatice el modelado de piezas tipo chapa.

Esta investigación parte de la necesidad del proyecto de incluir módulos para acelerar el diseño con el objetivo de disminuir el tiempo de trabajo, aumentar la precisión de los diseños de este tipo de estructura y aportar a la industria cubana una herramienta soberana. Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto se formula el siguiente **problema de investigación**:

¿Cómo modelar prototipos virtuales de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y

perforaciones?

El **objeto de estudio** de la investigación se centra en las funcionalidades para el modelado de piezas tipo chapa, teniendo como **campo de acción**, las funcionalidades para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones.

Para la solución del problema se propone como **objetivo general**:

Desarrollar funcionalidades de pliegue y perforaciones que tributen al módulo para automatizar el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos.

Del objetivo general se derivan los siguientes **objetivos específicos**:

- Diseñar las funcionalidades para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones.
- Obtener funcionalidades para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones.
- Implementar las funcionalidades para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones.
- Realizar pruebas a las funcionalidades desarrolladas.

Para dar cumplimiento a los objetivos específicos se proponen las **siguientes tareas de la investigación**:

- Asimilación de los conceptos y tecnologías requeridos para el desarrollo de las piezas tipo chapa de perfil recto y las funcionalidades de pliegues y perforaciones.
- Elaboración del estado del arte de la tesis.
- Análisis de los códigos fuentes de la aplicación FreeCAD; implica además la comparación con las funcionalidades de módulos homólogos existentes en aplicaciones comerciales para el diseño y la ingeniería asistidos por computadoras (sistemas CAD).
- Proceso de síntesis (obtención de conclusiones, resultados, definición de las formas de hacer y definición de la estructura).
- Estudio de los aspectos de la metodología de desarrollo de *software* (AUP-UCI) que se aplicarán en la investigación.

- Obtención de requisitos a partir de los módulos de piezas existentes en sistemas propietarios, de código abierto, de las exigencias para el dibujo paramétrico, así como consideraciones de los potenciales usuarios.
- Definición de la arquitectura, lo que implica además definir los patrones de diseño con los que se cumplirán en el proceso de diseño de piezas tipo chapa de perfiles rectos.
- Determinación de la estructura de clases en la implementación de las funcionalidades de pliegue y perforación de chapa.
- Modelado del flujo de datos de las funcionalidades.
- Diseño de las interfaces gráficas de las funcionalidades.
- Implementación de las funcionalidades del módulo destinado al modelado paramétrico de piezas tipo chapas con perfiles rectos.
- Comprobación de las funcionalidades implementadas en su integración dentro del módulo chapa (Pruebas Unitarias, Pruebas de Aceptación y Pruebas de Integración).

Para resolver y dar cumplimiento a los objetivos y tareas propuestas se emplearon como **métodos de investigación:**

- **Análisis y síntesis:** se empleó para la construcción y desarrollo de la teoría, para la profundización en el tema y la sistematización del conocimiento.
- **Observación:** se empleó para caracterizar las soluciones, teniendo en cuenta distintos datos y la realización de piezas tipo chapa de perfiles rectos, en otras aplicaciones CAD (Autodesk Inventor, Solid Edge, CATIA V5, FreeCAD, Salome-Meca), y así establecer los requisitos con las principales funcionalidades de estos.
- **Experimentación:** para comprobar que el modelado sea el adecuado, a partir de la forma y las dimensiones del objeto.

## 1.2. Características y requerimientos generales de las chapas con perfiles rectos

La chapa de perfil recto es un producto plano de anchura igual o superior a 600 milímetros que se obtiene por laminaciones y tratamientos térmicos sucesivos del material. Se considera chapa fina (Sheet: hoja, por su traducción al español) a aquellas con espesor menor que 3 milímetros y chapa gruesa (Plate, lámina, por su traducción al español) a aquellas con espesor mayor que 3 milímetros. Estos productos se obtienen por deformación

plástica del metal en prensas, utilizando herramientas complejas y caras denominadas troqueles (4). Son caracterizados por poseer (10):

- Plasticidad.
- Resistencia al desgaste.
- Resistencia a la corrosión.
- Conductividad calorífica.
- Resistencia a la compresión.

#### **Operaciones de trabajo en chapa de perfil:**

Las propiedades de la chapa vienen determinadas por los procesos previos de laminación y tratamientos térmicos a los que haya sido sometida. Las operaciones sobre piezas de tipo chapa se clasifican en:

- Operaciones de corte y deformación de chapa (11).
- Operaciones de formado de chapa (5).

#### **Operaciones de corte y deformación:**

Dentro de las operaciones de corte y deformación se encuentran las operaciones de troquelado:

Es el resultado de una operación mecánica por medio de la cual se hace un agujero en una lámina con una forma determinada. Este proceso se lleva a cabo utilizando una troqueladora, que es una máquina compuesta por un troquel y una matriz de corte. El troquel tiene las dimensiones y la forma del corte que se busca realizar, mientras que la matriz de corte es por donde se inserta el troquel para cortar el material con precisión (11).

- **Recortado:** consiste en sacar de una tira de material, una pieza plana de contorno cualquiera llamada disco o recorte, este recorte plano deberá sufrir una o varias operaciones posteriores.
- **Punzonado redondo:** consiste en el recortado de agujeros redondos de pequeñas dimensiones.
- **Punzonado de forma:** consiste en el troquelado de agujeros con la forma que se desee y de grandes dimensiones.
- **Entallado:** consiste en el recortado de una forma que termina en el contorno de una pieza.
- **Perforado:** consiste en el recortado incompleto que deja el recorte enganchado.



- **Canteado:** consiste en la eliminación por recortado del material sobrante sobre una pieza a la que se le ha dado forma.
- **Repasado:** consiste en un segundo recortado que permite obtener una pieza de dimensiones más precisas.

### Operaciones de formado:

Están definidas por la norma DIN<sup>2</sup> 8580 como la manufactura a través de tres dimensiones o la modificación plástica de una figura mientras retiene su masa y cohesión material. En contraste a la deformación, el formado es la modificación de una figura con geometría controlada. Los procesos de formado son categorizados como procesos sin cortes o sin eliminación de material (5).

Moldeado bajo las condiciones compresivas DIN 8583 (5):

- **Arrollado** (*rolling*): consiste en arrollar una pieza plana para formar un tubo. Empleado para la creación de materiales de chapa de tipo plano (hojas o láminas) y para la creación de tuberías o perfiles.
- **Acuñado** (*coining*): moldeado compresivo usando un troquel que penetra localmente la pieza de trabajo. Aplicado en los procesos de manufactura de monedas y medallones.
- **Moldeado aplicando fuerza a través de un orificio** (*forming by forcing through an orifice*): técnica de moldeado que involucra el procesamiento completo o parcial de un material a través de un orificio de troquel para obtener una sección transversal o diámetro reducido.

Moldeado bajo las condiciones compresivas y de tensión DIN 8584 (5):

- **Dibujo profundo** (*deep drawing*): conocido además como embutido de chapa. Parte de una pieza denominada recorte, para obtener una pieza hueca de superficie no desarrollable del mismo espesor que el recorte.

---

<sup>2</sup> DIN es un organismo que elabora estándares técnicos para racionalizar y asegurar la calidad de la producción, estableciendo criterios de fabricación comunes (12)(13).

- **Rebordeado** (*flanging*): creación de pestañas de chapa. Consiste en arrollar el borde una pieza.

Moldeado bajo las condiciones de tensión DIN 8585 (5):

- **Extensión por estiramiento** (*extending by stretching*): proceso de extensión por estiramiento y eliminación de deformaciones presentes en la pieza.
- **Expansión** (*expanding*): moldeado empleado para alargar la periferia de un cuerpo hueco.
- **Moldeado por estiramiento** (*stretch forming*): embutido de chapa que incluye estiramiento, obteniendo una disminución del espesor de la pieza. Es una transformación de superficie por desplazamiento molecular.

Moldeado por curvatura DIN 8586 (5):

- **Curvatura con movimiento lineal** (*bending with linear die movement*): permite obtener una pieza de forma desarrollable, partiendo de una pieza plana, aunque en unos casos no lo sea. Doblado lineal de una pieza de chapa.
- **Curvatura con movimiento circular** (*bending with rotary die movement*): doblado circular, entre los parámetros más importantes están:
  - Espesor de la chapa ( $s$ ).
  - Ángulo de doblado ( $\alpha$ ).
  - Radio de doblado ( $r$ ), depende del material de la chapa y su espesor.

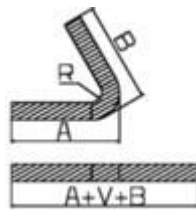


Imagen 1 Doblado < 90 grados

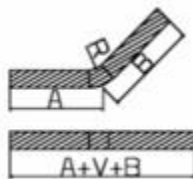


Imagen 2 Doblado > 90 grados

Conociendo la longitud que han de tener las alas A y B, y el radio de curvatura  $r$ ; la longitud total L desarrollada (que es la que hay que cortar en la lámina) es dada por (13):

$$L = A + B + \frac{2\pi(r+y)}{4} \quad (1)$$

En caso de que el ángulo de doblado sea distinto de 90 grados (13), la fórmula es:

$$L = A + B + 2\pi(r + y) \left( \frac{180-\alpha}{360} \right) \quad (2)$$

$\alpha$  = ángulo de doblado.

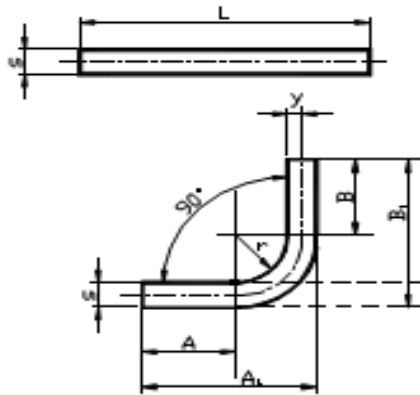


Imagen 3 Ejemplo doblado de 90 grados (15)

A la hora de realizar el doblado se debe tomar en cuenta que el radio de plegado debe ser igual o superior al espesor. Permite disminuir las tensiones internas y evitar la rotura de las fibras. Las tolerancias<sup>3</sup> recomendadas varían:

- Entre  $\pm 2^\circ$  para una tolerancia media.
- Entre  $\pm 1^\circ$  para una tolerancia fina.

Moldeado bajo las condiciones de corte DIN 8587 (5):

- **Desplazamiento** (*displacement*): desplazamiento adyacente o paralelo de parte de la pieza.
- **Torcimiento** (*twisting*): las superficies adyacentes son desplazadas relativas a las otras mediante un movimiento rotativo.

<sup>3</sup> Es la diferencia entre las medidas máxima y mínima de un elemento.

### 1.3. Herramientas existentes para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos

---

#### Comerciales

Dentro de la gran variedad de programas CAD propietarios, sobresalen:

**AutoDesk Inventor:** este *software* trae diversas herramientas para facilitar el modelado de chapas. Posee un módulo Sheet Metal para el desarrollo de proyectos de este tipo e incluye chapas metálicas. En el módulo, Autodesk provee funcionalidades que simplifican la creación, edición y documentación de prototipos digitales de componentes de chapa. Para ellos, una pieza de chapa metálica se considera a menudo como una pieza fabricada a partir de una lámina de material uniformemente grueso. Puede mostrarse como un modelo plegado o un patrón plano. Da la posibilidad de trabajar sobre un modelo en un estado aplanado, y luego replegar las características. Para crear piezas de chapa en Autodesk Inventor, se parte de la creación de un sketch 3D, en el que se define el plano, luego la geometría de la pieza y se establecen las restricciones. El *software* ofrece al usuario la posibilidad de modelar piezas de chapa mediante dos vías: si el usuario define una pieza con geometría cerrada, esta es creada mediante la funcionalidad Face, y su modelación es básicamente una extrusión de la geometría a la normal del plano definido. Si el usuario define una geometría abierta, la operación se realiza mediante la funcionalidad Contour Face, la cual determina que es un diseño de contorno y la pieza es modelada siguiendo la geometría como un camino de construcción, quedando definida la pieza de chapa con las características previamente definidas.

Es importante señalar que una de las características de modelación de este tipo de piezas, es que las esquinas de doblez siempre son redondeadas. Este es uno de los principios que toma Autodesk para la modelación de piezas de chapa de perfiles rectos (14).

Las operaciones de pliegue y perforaciones se realizan de forma dinámica, vinculando actividades directas, como la selección de las aristas, el trazo de líneas para la delimitación del doblado, y la introducción de los datos necesarios para complementar las funcionalidades.

Para la creación de una pestaña, el usuario debe seleccionar una arista de una cara válida a doblar. La arista seleccionada es la que define la dirección del doblado. Los demás

parámetros (largo, ángulo y radio) necesarios para la edición del doblado de pestaña, son introducidos mediante ventanas de diálogos.

**Solid Edge:** es un programa parametrizado de diseño asistido por computadora de piezas tridimensionales. Permite el modelado de piezas de distintos materiales, doblado de chapas, ensamblaje de conjuntos, soldadura, funciones de dibujo en plano para ingenieros. El diseño de chapa en Solid Edge toma como premisa que el material en bruto usado para formar una pieza de chapa es un material común de espesor uniforme. Al igual que en su homólogo Inventor, el sistema conduce al usuario a la realización de un sketch para el diseño de la pieza. Una vez concluye esta etapa, se modela la chapa con un espesor uniforme mediante la extrusión, con respecto al vector dirección normalizado del plano que define la geometría cerrada previamente esbozada (15).

**CATIA V5:** proporciona un modelo asociativo basado en características que permite diseñar partes de chapa metálica en ingeniería concurrente entre la representación de la parte desplegada o doblada. V5R3 CATIA Sheet Metal Design ofrece las siguientes funciones principales:

- Modelado asociativo y dedicado de chapa metálica.
- Ingeniería concurrente entre la representación de la pieza desplegada o plegada.
- Acceso a las tablas de estándares definidos por la empresa.
- Capacidad de dibujo dedicada incluyendo vista desplegada y ajustes específicos.

Las funciones de Diseño de chapa metálica están disponibles dentro del entorno Part integrando varias funciones del área de trabajo Part Design (16).

---

### Código abierto

Homólogos a los programas CAD propietarios sobresalen los siguientes:

**FreeCAD:** modelador 3D paramétrico hecho principalmente para diseñar objetos de la vida real de cualquier tamaño. El modelado paramétrico le permite modificar fácilmente su diseño volviendo al historial del modelo y cambiando sus parámetros. Es una aplicación de código abierto y altamente personalizable, programable y extensible. Es multiplataforma (Windows, Mac y Linux), lee y escribe muchos formatos de archivos abiertos como STEP, IGES, STL, SVG, DXF, OBJ, IFC y DAE. Debido a que no hay soporte especial para FreeCAD, tiende a tomar tiempo diseñar piezas de chapa metálica, ya que se necesita agregar manualmente bocetos, extruir paredes y agregar esquinas redondeadas. Si se

detecta algún error en la parte base, es necesario repasar todo el proceso para arreglarlo. Permite la inclusión de módulos o extensiones, por lo que se le puede añadir una extensión de chapa. En la internet se puede encontrar una extensión para optimizar el modelado de chapa. Posee solo dos funcionalidades: extrusión y doblado de chapa, razón por la cual resulta insuficiente para el modelado de piezas tipo chapa (17). A continuación, se explica el funcionamiento de la herramienta mediante un ejemplo, paso por paso:

Paso No1: instalando la extensión.

Para usar la extensión de chapa, es necesario extraer el comprimido SheetMetal V0.0.18 dentro del directorio "Mod" dentro del FreeCAD.

Paso No2: trabajo con la Extensión de Chapa para FreeCAD.

A partir de una figura sólida fina, dentro de un sketch se selecciona "Sheet Metal" y luego se selecciona una de las caras del objeto. Luego, en el área de trabajo se puede trabajar la chapa haciendo uso de los comandos:

- Doblar(Bend): adiciona una extensión doblada.
- Extruir(Extrude): añade una extrusión estrecha de la cara.

Paso No3: uso de la herramienta Bend.

Al hacer clic en el botón "Bend" se añade a la chapa una extrusión doblada de 90 grados con valores predeterminados. Los parámetros de curvatura pueden ser modificados. Para extruir más de una cara se seleccionan (Manteniendo presionado Ctrl) y se emplea el comando "Extrude". Se pueden agregar tantas curvas y extrusiones como se desee hasta conseguir la pieza final deseada.

**Salome-Meca:** *software* de código abierto que proporciona una plataforma genérica para Pre y Post-Procesado para la simulación numérica. Se basa en una arquitectura abierta y flexible hecha de componentes reutilizables. Es una solución multiplataforma que se distribuye como *software* de código abierto bajo los términos de la licencia GNU LGPL. En esta herramienta se pueden crear chapas de forma trabajosa, mediante primitivas y operaciones con ellas, pero no cuenta con un módulo independiente para el modelado de chapas. Sin embargo, existen funcionalidades que tributan a la presente investigación (18).

Salome está concebido sobre la tecnología de Opencascade y casi la totalidad de su código fuente hace uso directo de las APIs para el modelado en 3D que ofrece la biblioteca (18).

Dentro del código fuente del sistema libre se pueden obtener y reutilizar funcionalidades definidas en el módulo "Geometry".

---

#### **1.4. Funcionalidades del módulo para conformar piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones**

**Funcionalidad:** una función es un grupo de instrucciones con un objetivo en particular y que se ejecuta al ser llamada (19).

Las funcionalidades deben cumplir con los siguientes requisitos:

- La pieza de chapa mantiene un espesor constante.
- Existe un radio de doblado entre dos caras adyacentes.

Al explorar las configuraciones anteriores para crear la pieza, el material y propiedades deseados, se pretende lograr:

- Crear una pieza de chapa nueva.
- Modificar el grosor del material.
- Realizar el plegado una vez introducidos los parámetros necesarios.
- Modificar el ángulo, radio y largo de la pestaña de doblado.
- Realizar perforaciones en la pieza, utilizando primitivas (grupos diversos de objetos básicos, por ejemplo: el círculo, el triángulo, paralelogramos, entre otros)
- Modificar la profundidad de la perforación.

---

#### **1.5. Metodología para el desarrollo**

La metodología para el desarrollo de *software* ofrece la posibilidad de llevarlo a cabo con grandes posibilidades de éxito, debido a que ofrece un modo sistemático de ejercicios para realizar, gestionar y administrar el proyecto en todo el ciclo de vida. Dentro de ella están definidos cada uno de los procesos a seguir sistemáticamente para idear, implementar y mantener un producto de *software* desde que surge la necesidad hasta que se despliega exitosamente el proyecto (20).

Algunas de las ventajas de utilizar una metodología son (20):

- Confianza en los plazos de tiempo fijados en la definición del proyecto.
- Optimizar en las tareas de planificación.
- Perfeccionar el uso de los recursos disponibles.
- Mejorar el conjunto y cada una de las fases del proceso de desarrollo.

- Permitir la reutilización de partes del producto.

El Proceso Unificado Ágil (AUP, por sus siglas en inglés) es un enfoque de modelado híbrido creado por Scott Ambler cuando combinó el Proceso Racional Unificado (RUP, por sus siglas en inglés) con los métodos ágiles (A.M., por sus siglas en inglés). Mediante la combinación de RUP con AM, Ambler creó un marco sólido de procesos que se puede aplicar a todo tipo de proyectos de *software*, grandes o pequeños (21).

Amber creó AUP bajo los siguientes principios (21):

- La mayoría de la gente no va a leer documentación detallada. Sin embargo, se necesitará orientación y formación de vez en cuando.
- La descripción del proyecto debe ser en unas pocas páginas.
- Se ajusta a los valores y principios descritos en la Alianza Ágil.
- El proyecto debe centrarse en ofrecer valor esencial en lugar de características innecesarias.
- Los desarrolladores deben estar libres de utilizar las herramientas más adecuadas para la tarea en cuestión, en lugar de cumplir con un decreto.
- AUP se adapta fácilmente a través de herramientas de edición de HTML comunes.

La versión número cuatro de la metodología, responde al proceso de desarrollo llevado a cabo en la institución. En esta versión se definen como fases de desarrollo: Inicio, Ejecución y Cierre. Además, se proponen once roles en lugar de los nueve planteados por AUP. Define cuatro escenarios en los que se puede ubicar el desarrollo de una aplicación de acuerdo a sus características, los cuales son (22) :

- **Escenario 1:** Aplica a los proyectos que hayan evaluado el negocio a informatizar y como resultado se obtenga una serie de interacciones entre los trabajadores del negocio/actores del sistema (usuario), similar a una llamada y respuesta.
- **Escenario 2:** Aplica a los proyectos que hayan evaluado el negocio a informatizar y como resultado obtengan que no es necesario incluir las responsabilidades de las personas que ejecutan las actividades, de esta forma modelarían exclusivamente los conceptos fundamentales del negocio.
- **Escenario 3:** Aplica a los proyectos que hayan evaluado el negocio a informatizar y como resultado obtengan un negocio con procesos muy complejos, independientes de las personas que los manejan y ejecutan, proporcionando objetividad, solidez, y su continuidad.



- **Escenario 4:** Aplica a los proyectos que hayan evaluado el negocio a informatizar y como resultado obtengan un negocio muy bien definido. El cliente estará siempre acompañando al equipo de desarrollo para convenir los detalles de los requisitos y así poder implementarlos, probarlos y validarlos. Se recomienda en proyectos no muy extensos.

Siguiendo la política de desarrollo de *software* de la universidad, se define como metodología a emplear la AUP-UCI en el escenario número cuatro, debido a la necesidad de una metodología que responda con facilidad a los cambios continuos y por estar bien definido el negocio.

---

### **1.6. Frameworks, lenguajes y tecnologías para el desarrollo**

Para el desarrollo de las funcionalidades, es necesario utilizar varias herramientas de *software*. Seguidamente, se exponen el *framework*, el lenguaje y la tecnología empleados en el desarrollo del presente trabajo.

#### **Biblioteca de modelado**

Open CASCADE Technology (OCCT) es una biblioteca de clases orientada a objetos desarrollada en C++ y diseñada para la producción de sofisticadas aplicaciones CAD/CAM/CAE. Provee servicios para superficies 3D y modelado de sólidos, intercambio de datos CAD y visualización. OCCT es una tecnología *software* libre, puede ser redistribuida y/o modificada bajo los términos de LGPL versión 2.1, con excepciones adicionales. Está diseñada para ser altamente portátil y es conocida por trabajar en una amplia gama de plataformas (UNIX, Linux, Windows, Mac OS X, Android) (23).

Open CASCADE cuenta con una comunidad que ha desarrollado Open CASCADE Community Edition (OCE), la cual es reconocida y aceptada por OPEN CASCADE Company. OCE es una versión de OCCT desarrollada por las experiencias de la comunidad a través de las recomendaciones de optimización de las versiones liberadas mediante foros o en la propia página principal de desarrollo de esta tecnología (23).

Se decide emplear la biblioteca OCE debido a las potencialidades que ofrece para el desarrollo de herramientas de tipo CAD/CAM/CAE y su actual utilización en el Sistema CAD 2D, sistema al que está destinado la presente investigación.

#### **Framework de desarrollo**

Qt es un *framework* de desarrollo para aplicaciones multiplataforma que simplifica mucho el desarrollo de aplicaciones en C++ de forma nativa, también puede ser utilizado en otros lenguajes y tiene un amplio apoyo. Es una biblioteca para desarrollar interfaces gráficas de usuario y también para el desarrollo de programas sin interfaz gráfica como herramientas de consola y servidores (24).

“Provee módulos para el desarrollo en áreas como redes, bases de datos, OpenGL, tecnologías web, sensores, protocolos de comunicación, procesamiento de XML y JSON, impresión, generación de PDF, entre otros” (24).

Algunas características que posee el *framework* Qt son (24):

- Constituye además una biblioteca para la creación de interfaces gráficas. Se distribuye bajo una licencia libre GPL (o QPL), además de la LGPL, que permite su utilización gratuita con fines comerciales.
- Se encuentra disponible para un gran número de plataformas: Linux, MacOS X, Solaris, HP-UX, UNIX con X11, Windows.
- Compatibilidad multiplataforma con un sólo código fuente.
- Fácil de internacionalizar.
- Arquitectura lista para plugins.

Qt se escoge como *framework* de desarrollo debido a todas las ventajas antes mencionadas, además es el utilizado en el FreeCAD que es la herramienta CAD de mayor desarrollo dentro del *software* libre y que constituye la guía para el desarrollo del Sistema CAD 2D.

### **Lenguaje de programación**

C++ es un lenguaje de programación, diseñado a mediados de los años 1980, por Bjarne Stroustrup, como extensión del lenguaje de programación C, abarca tres paradigmas de la programación: la programación estructurada, la programación genérica y la programación orientada a objetos por lo que se considera un lenguaje híbrido multiparadigma. Es un lenguaje de programación maduro y de gran velocidad de compilación y presenta las siguientes características (25):

- Lenguaje versátil, potente y general.
- Lenguaje rico en operadores y expresiones.
- Flexible, conciso y eficiente.
- Presenta programación modular.

- Introduce nuevas palabras claves y operadores para manejo de clases.

C++ está considerado como el lenguaje más potente, debido a que permite trabajar tanto a alto como a bajo nivel. Además, se trata de un lenguaje de programación estandarizado (ISO/IEC 14882:1998), ampliamente difundido, y con una biblioteca estándar que lo ha convertido en un lenguaje universal, de propósito general, y ampliamente utilizado tanto en el ámbito profesional como en el educativo (25).

Posee una serie de propiedades difíciles de encontrar en otros lenguajes de alto nivel (25):

- Posibilidad de redefinir los operadores (sobrecarga de operadores).
- Identificación de tipos en tiempo de ejecución (RTTI).

Se escoge C++ como lenguaje de programación debido a las potencialidades expuestas anteriormente, además de que la biblioteca de visualización OCE está desarrollada sobre este lenguaje y el *framework* Qt define C++ como su lenguaje nativo.

### **Entorno de Desarrollo Integrado**

El *framework* Qt incluye su propio Entorno de Desarrollo Integrado (IDE, por sus siglas en inglés) llamado Qt Creator. También es multiplataforma y ofrece completamiento inteligente de código, resaltado de sintaxis y un sistema de ayuda integrado, depurador y la integración de perfiles y también la integración de sistemas de control de versiones (por ejemplo, git, Bazaar) (24).

### **Sistema de Control de Versiones**

Se hace uso del GIT porque es un sistema de control de versiones distribuido, *opensource* (código abierto, por su traducción al español), diseñado para manejar y tener el control del código fuente para administrarlo. Provee de una gran velocidad y eficiencia a la hora de gestionar proyectos independientemente de su tamaño. Analiza los cambios realizados en uno o más archivos a lo largo del tiempo que dure el proyecto, de modo que permite corregir errores, modificar o eliminar código obsoleto. Es un sistema distribuido, lo que significa que permite el empleo de tantos repositorios como desarrolladores tenga el proyecto y que todos lleven el control del repositorio en su propia máquina. Esta importante herramienta facilita el trabajo en equipo (26).

---

## **1.7. Conclusiones parciales**

Al finalizar este capítulo se puede arribar a las conclusiones siguientes:

- La aplicación de sistemas CAD propietarios en la industria cubana se encuentra limitada por las políticas económicas y de comercialización de *software* de EE. UU, lo que hace difícil su uso de manera institucional.
- La investigación arrojó que las aplicaciones disponibles en distribuciones Linux, no poseen módulos que faciliten el proceso de diseño, específicamente el modelado de piezas tipo chapa de perfiles rectos.
- Que existen características y funcionalidades en los sistemas CAD modernos para el modelado de piezas tipo chapa de perfiles rectos, pliegues y perforaciones que son imprescindibles, como las que aseguran el diseño, la manipulación y edición de objetos geométricos tipo chapa.
- La selección de las funcionalidades básicas para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones, destinado a su integración en una aplicación CAD, tuvo su base en el análisis integral y reutilización de secciones de código fuente de las aplicaciones Freecad y del módulo “Geometry” de la aplicación “Salome-Meca”, en correspondencia con decisiones de proyecto en el grupo de investigación.

## 2. CAPÍTULO 2: Propuesta de solución

En el presente capítulo se aborda la propuesta de solución que incluye el modelo de dominio. Se describen los requisitos funcionales y no funcionales, así como la metodología a emplear.

### 2.1. Mapa conceptual

Un modelo del dominio es una representación visual de las clases conceptuales u objetos del mundo real en un dominio de interés.(27)

La imagen 4 muestra el modelo de dominio basado en la presente investigación. Hace una representación gráfica de la clasificación de las chapas de acuerdo a su grosor (Sheet / Plate) y las operaciones sobre chapa que se pretenden implementar; agrupadas por su clasificación.

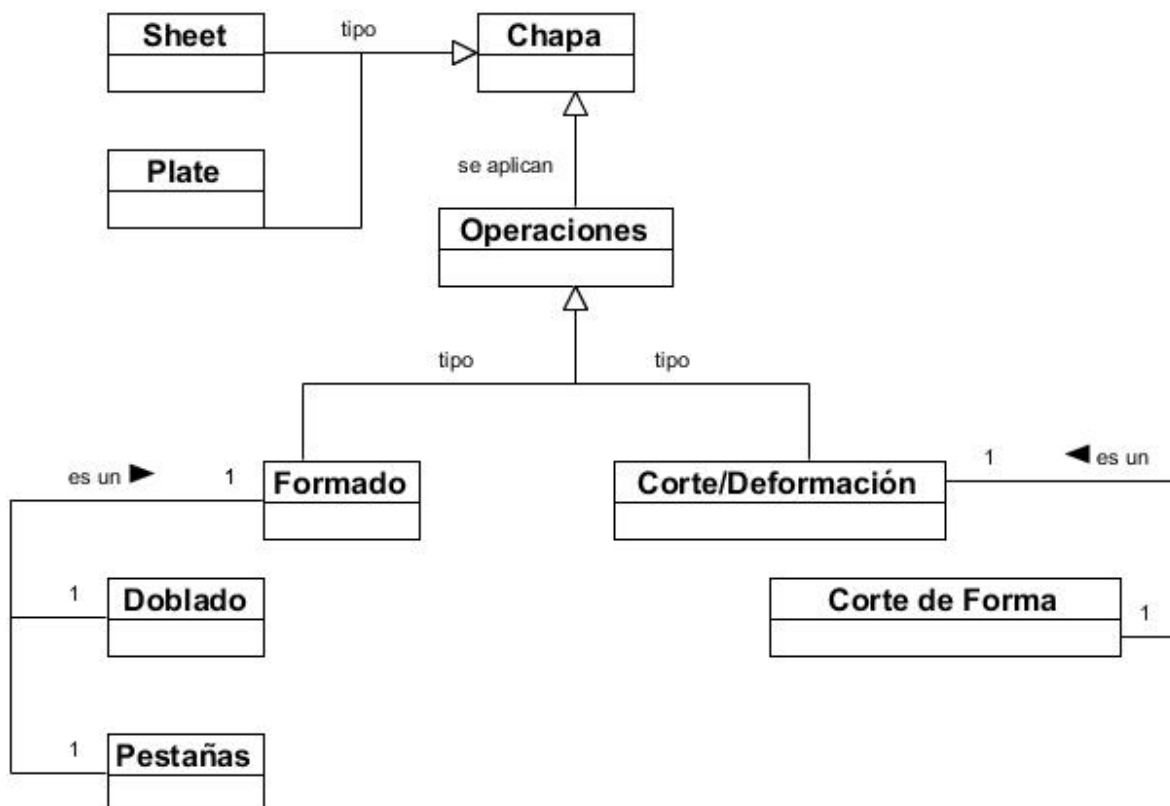


Imagen 4 Modelo de dominio

## 2.2. Definición de las clases del modelo conceptual

- **Chapa:** figura plana de grosor constante a la que se le aplican operaciones de formado y/o corte y deformación.
- **Corte y deformación:** conjunto de operaciones de corte y deformación aplicados a las chapas.
- **El formado:** comprende un amplio grupo de procesos de manufactura, incluyendo la deformación plástica, para cambiar las formas de las piezas metálicas.
- **Las pestañas:** agregan material de grosor predefinido de varias formas.

## 2.3. Descripción de la propuesta de solución

La interfaz inicialmente debe mostrar el sketcher<sup>4</sup> 2D de la aplicación CAD. Una vez dentro se debe escoger el plano en el que se realizará el boceto. En el diseño, haciendo uso de las funcionalidades del módulo Sketch, debe permitírsele al usuario crear un esbozo de chapa de dos formas: mediante el dibujo de una figura cerrada; uniendo líneas, polilíneas y arcos hasta formar el boceto cerrado deseado, o mediante el dibujo de una geometría abierta; la cual define el camino de construcción de la pieza de chapa. Una vez terminado el croquis<sup>5</sup> se procederá a la extrusión de la figura. Se debe habilitar un botón para que el usuario confirme que terminó la edición 2D de la pieza; permitiendo que la interfaz entre automáticamente en el visor 3D. La aplicación deberá mostrar una ventana de diálogo con las propiedades iniciales necesarias para la modelación, tomando en cuenta el método escogido por el usuario en el proceso de diseño de la chapa de perfiles rectos. Si se define una geometría cerrada, el programa sólo deberá pedirle al usuario el grosor de la pieza. Si se define la modelación mediante un camino de construcción, el usuario deberá definir, además del grosor, el ancho de la chapa. También se necesita que el usuario defina el tipo de chapa a modelar: Sheet si el espesor es inferior a los 3.01 milímetros o Plate si el espesor está entre los 3.01 milímetros y 12 milímetros. Luego de introducidos los parámetros

---

<sup>4</sup> Interfaz que permite el esbozo gráfico y/o modelado de figuras (puntos, líneas, polilíneas, planos).

<sup>5</sup> Diseño básico, esquema o trazo que se confecciona a simple vista, sin apelar a elementos de precisión geométrica.

necesarios para la creación de la pieza de chapa y aceptados los cambios, se mostrará modelada la pieza de chapa con los parámetros anteriormente introducidos. Para la realización dinámica de las operaciones sobre la pieza de chapa, la interfaz debe habilitar, en el superior del visor, los botones de menú que permitan realizar las operaciones de formado y/o deformación de chapa. Se proponen los siguientes nombres para estas funcionalidades:

- **Face:** convierte el boceto en una chapa metálica pasándole parámetros como el tipo (sheet o plate), el ancho (en caso de ser construida mediante una geometría abierta) y el grosor.
- **Flange:** añade una pestaña, mediante la selección de una cara.
- **Sketch Face:** añade un sketch a una cara previamente seleccionada.
- **Cut:** realiza el corte definiéndole el dibujo de una figura en una cara de la figura.

Cada botón muestra una ventana de diálogo con los campos de modificación de los parámetros necesarios en cada caso.

## 2.4. Requisitos

Los requisitos de *software* describen el comportamiento del sistema que se va a desarrollar. Incluyen un conjunto de operaciones que describen las interacciones entre usuarios y *software*, así como las restricciones en el diseño o la implementación (28).

### Requisitos funcionales

- RF 1. Modelar chapa haciendo uso de las funcionalidades del módulo Sketch.
  - RF 2.1. Modelar chapa a partir de una geometría cerrada.
  - RF 2.2. Modelar chapa siguiendo un camino de construcción.
- RF 2. Añadir pestañas a la chapa.
- RF 3. Realizar corte de forma a la chapa.
- RF 4. Doblar una cara de la chapa.

### Requisitos no funcionales

#### Portabilidad:

- **RNF 1. Software:** debe ser instalado en un sistema operativo basado en GNU-Linux de 64bits.

#### Funcionalidad:

- **RNF 2.** Precisión: debe poseer una alta precisión, en cuanto a la cantidad de cifras significativas, en los datos introducidos y mostrados.

#### Usabilidad:

- **RNF 3.** Comprensibilidad: debe poseer imágenes para una mejor comprensión de las variables.

#### Historias de usuario

Las historias de usuario describen en el lenguaje común del usuario y de forma breve, cada uno de los requisitos del *software*. Pueden eliminarse, reemplazarse por otras más específicas, añadirse nuevas o ser modificadas. Deben ser lo suficientemente comprensible y delimitadas para que los programadores puedan implementarla en poco tiempo (29).

Un ejemplo de historia de usuario realizada en la propuesta de solución:

Tabla 1 Modelar Chapa

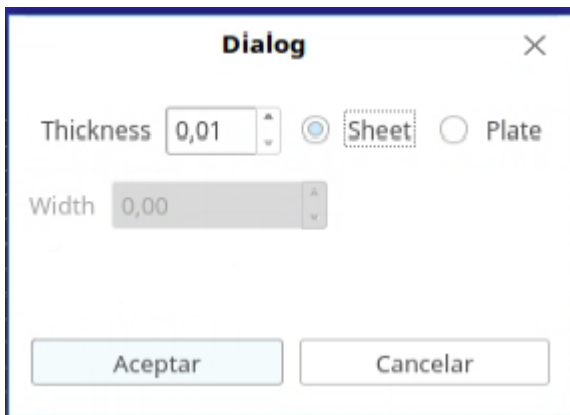
<b>Número: 2</b>		<b>Nombre del requisito:</b> Modelar chapa a partir de una geometría cerrada	
<b>Programador:</b> Elí Batista Matos		<b>Iteración Asignada:</b> 1era	
<b>Prioridad:</b> alta		<b>Tiempo Estimado:</b> 3 días	
<b>Riesgo en Desarrollo:</b> <i>N/A</i>		<b>Tiempo Real:</b> 2 días	
<p><b>Descripción:</b></p> <p><b>1- Objetivo:</b> Permitir modelar una chapa</p> <p><b>2- Acciones para lograr el objetivo (precondiciones y datos):</b> Para modelar una chapa de geometría cerrada hay que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elegir entre dos categorías: Sheet o Plate.</li> <li>- Tener en cuenta el grosor de la chapa.</li> </ul> <p><b>3- Flujo de la acción a realizar:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El usuario dibuja un croquis en el sketcher 2D.</li> <li>- El usuario confirma que terminó el diseño presionando el botón "Close".</li> </ul>			



- Al presionar el botón “Create” se levanta una ventana de diálogo con los parámetros necesarios para la modelación de la chapa.
- El usuario introduce el valor, en el campo “Thickness”, correspondiente al grosor de la figura deseada.
- El valor del grosor está limitado por la categoría de la chapa:
  - o Sheet: 0.01-3.00 milímetros.
  - o Plate: 3.01-12.00 milímetros.
- Al presionar el botón “Aceptar” se visualiza la chapa de perfil recto.
- Si el usuario presiona el botón “Cancelar” se cerrará la ventana.

#### Observaciones:

#### Prototipo de interfaz:



## 2.5. Diseño

El diseño del *software* es la primera de las tres actividades técnicas: diseño, generación de código y pruebas; que se requieren para construir y verificar el *software*. Es el proceso de definición de la arquitectura, componentes, interfaces y otras características de un sistema o componente que resulta de este proceso (28).

### Arquitectura de software

La arquitectura es la estructura jerárquica de los componentes del programa (módulos), la manera en que estos interactúan y la estructura de datos que van a utilizar. (30)

### **Estilo Arquitectónico**

El estilo arquitectónico del *software* expresa un esquema de organización estructural para sistemas de *software*. Provee un conjunto de tipos de elementos predefinidos, especifica sus responsabilidades e incluye reglas y guías para organizar las relaciones entre ellos. Es un patrón de construcción que describe las condiciones en las que puede ser usado. La familia de estilos arquitectónicos seleccionada es Llamada y Retorno porque permite la modificabilidad<sup>6</sup> y la escalabilidad<sup>7</sup>, incluyendo los sistemas orientados a objeto y los sistemas jerárquicos en capas. En este último, los componentes se asignan a capas. Cada capa se comunica con sus vecinas inmediatas (30).

El estilo en capas es una organización jerárquica tal que cada capa proporciona servicios a la capa inmediatamente superior y se sirve de las prestaciones que le brinda la inmediatamente inferior. En un estilo en capas, los conectores se definen mediante los protocolos que determinan las formas de la interacción. Los diagramas de sistemas clásicos en capas dibujaban las capas en adyacencia, sin conectores, flechas ni interfaces; en algunos casos se suele representar la naturaleza jerárquica del sistema en forma de círculos concéntricos (31).

---

<sup>6</sup> Aunque todo requerimiento es modificable, se refiere a que debe ser fácilmente modificable. Es un atributo de calidad que tiene que ver con el costo del cambio y la facilidad con que un sistema se acomoda a los cambios. También llamado mantenibilidad o portabilidad por ISO.

<sup>7</sup> La capacidad que tiene un sistema informático de modificar su configuración o su tamaño, para ajustarse a los cambios. Habilidad para reaccionar y adaptarse sin perder calidad.

En el presente trabajo se seleccionó como estilo arquitectónico el estilo en capas debido a que permite que el diseño del módulo sea escalable. Presenta dos capas principales: Presentación y Lógica de negocio. La capa Presentación contiene las clases interfaces con las que el usuario interactuará y la capa Lógica de negocio, las clases que permiten la creación de los objetos (sheet<sup>8</sup> o plate<sup>9</sup>) y las operaciones aplicables a ellos.

---

### **Modelo de clases del módulo**

El diagrama de clases del diseño describe gráficamente las especificaciones de las clases de *software* y de las interfaces en una aplicación.

---

<sup>8</sup> Traducción al español: hoja. Es lo que se conoce como chapa de espesor menor o igual que 6 milímetros.

<sup>9</sup> Traducción al español: Lámina. Es la definición de chapa metálica de espesor mayor que 6 milímetros.

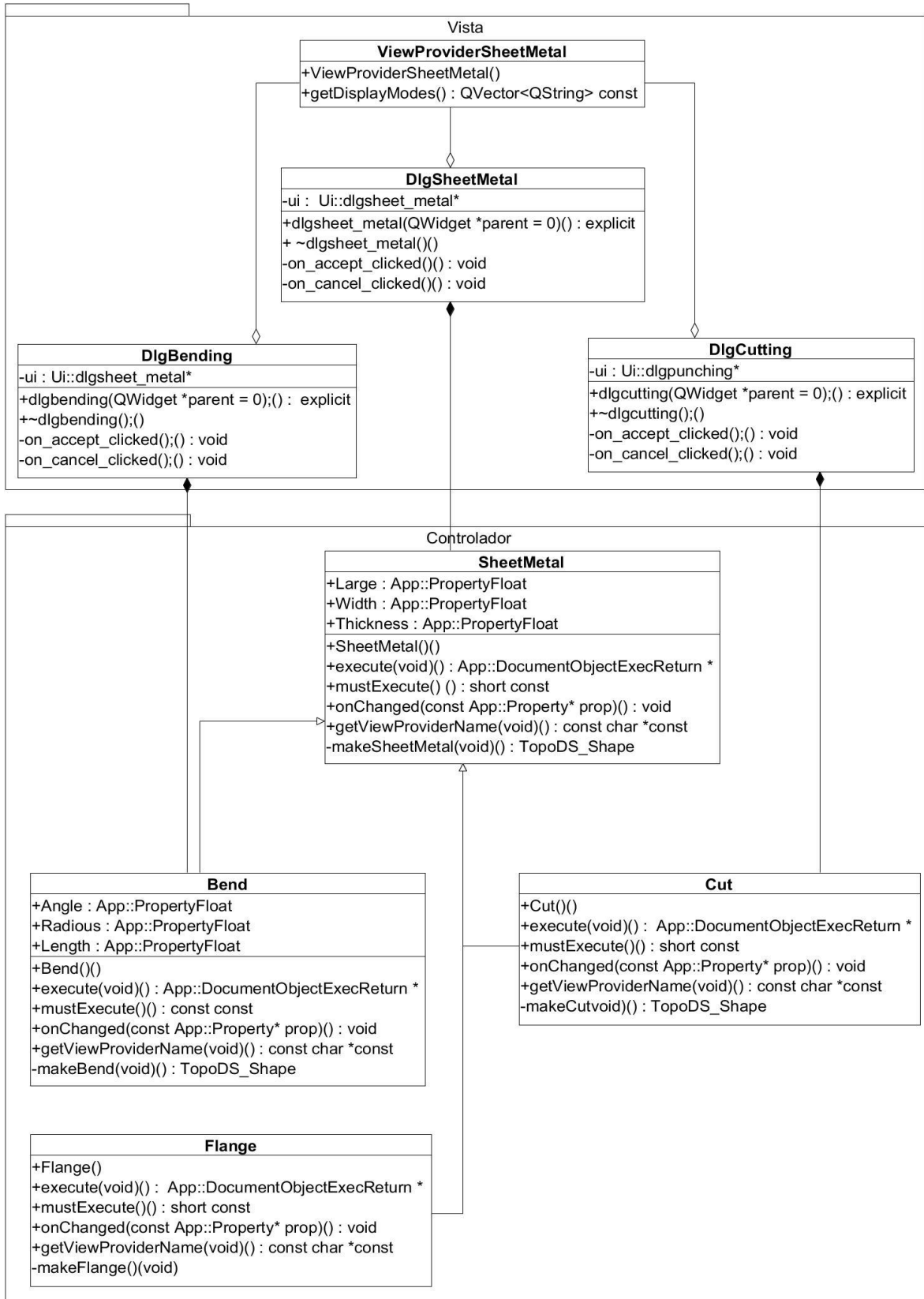


Imagen 5 Diagrama de Clases

---

## Patrones de diseño

Los patrones de diseño *software* son los que permiten describir fragmentos de diseño y reutilizar ideas de diseño, ayudando a beneficiarse de la experiencia de otros. Los patrones dan nombre y forma a heurísticas<sup>10</sup> abstractas, reglas y buenas prácticas de técnicas orientadas a objetos (27).

En la tecnología de objetos, un patrón es una descripción de un problema y la solución, a la que se da un nombre, y que se puede aplicar a nuevos contextos. Proporciona consejos sobre el modo de aplicarlo en varias circunstancias, y considera los puntos fuertes y compromisos. Muchos patrones proporcionan guías sobre el modo en el que deberían asignarse las responsabilidades a los objetos, dada una categoría específica del problema. En este sentido los patrones GRASP<sup>11</sup> describen los principios fundamentales del diseño de objetos y la asignación de responsabilidades (27).

Los patrones GRASP definidos en el modelo de clases del módulo fueron:

- **Experto:** la responsabilidad de la implementación de un método debe recaer sobre la clase que conoce toda la información necesaria para hacerlo. Se evidencia en la clase SheetMetal, encargada de crear la pieza de chapa.
- **Creador:** ayuda a identificar quien debe ser el responsable de la creación de nuevos objetos. Es empleado en las clases controladoras, dentro de la aplicación.
- **Polimorfismo:** se usa cuando varía el tipo de alternativas o comportamientos relacionados, permite asignar la responsabilidad del comportamiento a los tipos en que varía el comportamiento. Se evidencia en las clases: SheetMetal.

---

## Diagramas de secuencia del diseño

---

<sup>10</sup> Conjunto de técnicas o métodos para resolver un problema. Consiste en encontrar o construir algoritmos con buena velocidad para ser ejecutados.

<sup>11</sup> Es un acrónimo que significa General Responsibility Assignment Software Patterns (patrones generales de *software* para asignar responsabilidades).

El diagrama de secuencia del sistema es un artefacto creado de manera rápida y fácil, que muestra los eventos de entrada y salida relacionados con el sistema que se está estudiando. Es un dibujo que muestra, para un escenario específico de un caso de uso, los eventos que generan los actores externos, el orden y los eventos entre los sistemas. Todos los sistemas se tratan como cajas negras; los diagramas destacan los eventos que cruzan los límites del sistema desde los actores a los sistemas (32).

A continuación, se muestran dos de los diagramas de secuencia de la historia de usuario:

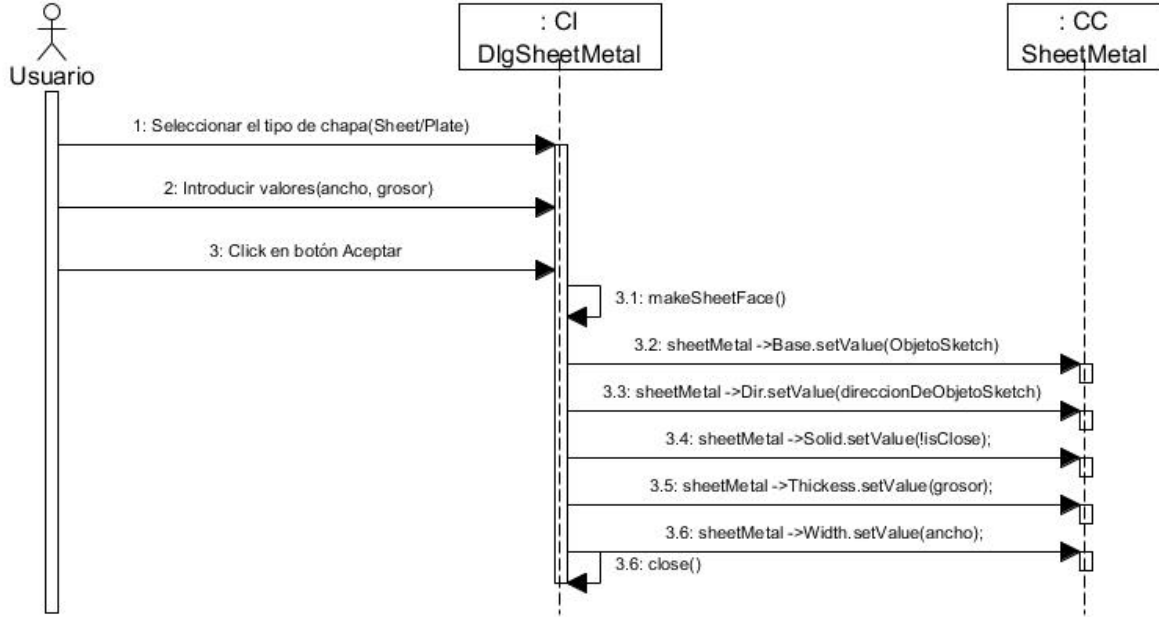


Imagen 6 Crear chapa siguiendo un camino de construcción

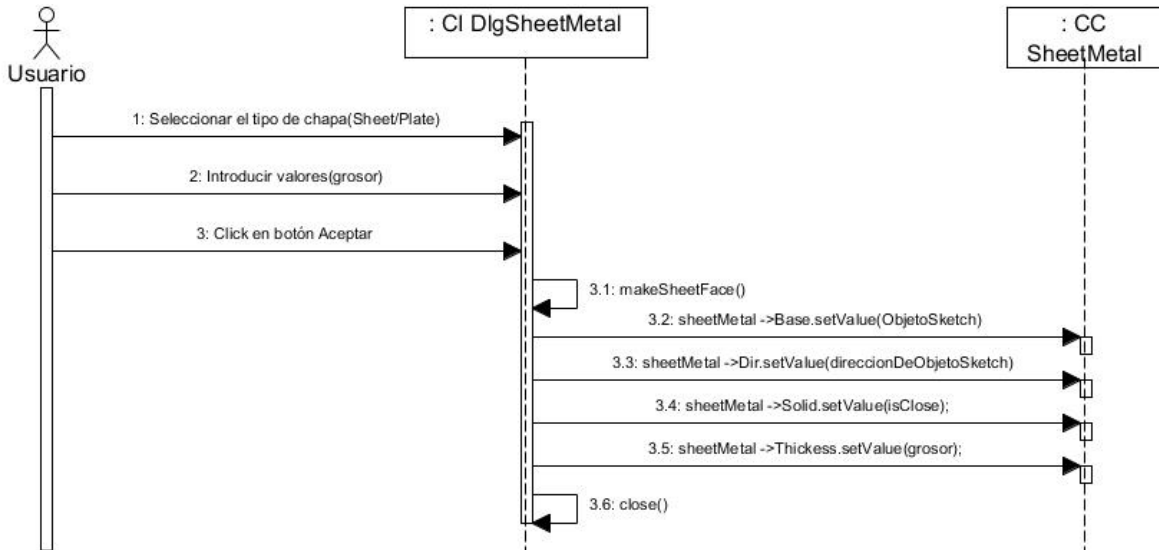


Imagen 7 Crear chapa mediante una geometría cerrada

## 2.6. Conclusiones parciales

- En el presente capítulo quedó descrito la propuesta de solución, para la cual se realizaron los artefactos definidos en la fase de diseño de la metodología AUP-UCI, los cuales permiten una caracterización de la propuesta con el fin de garantizar una correcta documentación para la posterior referencia y continuidad de desarrollo, así como sentar las bases metodológicas para la siguiente fase de desarrollo (implementación).
- El diseño arquitectónico más apropiado para el desarrollo de las funcionalidades para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones a ser empleadas en sistemas de Diseño Asistido por Computadora, debe basarse en lo fundamental, en una Arquitectura por capas que permita la comunicación con el núcleo de la aplicación y con otros módulos de la misma.

### 3. CAPÍTULO 3: Resultados del proceso de investigación y desarrollo

En el presente capítulo se presentan los resultados de los procesos de investigación y desarrollo. Se define el diagrama de componentes del sistema. Se expone el estándar de codificación, los diseños de los casos de pruebas y los resultados del proceso de verificación de la calidad.

#### 3.1. Implementación

En la fase de implementación del *software* se construye el sistema partiendo de los diagramas de clases, especificación de arquitectura y patrones usados en el módulo (21).

#### Estándar de codificación

Se definen los siguientes estándares de codificación para darle una estructura al código facilitando su comprensión y mantenimiento.

Tabla 2 Estándar de la codificación de la aplicación.

Definición de Objetos, Clases, funciones y atributos	
Descripción	Ejemplo
Todos los nombres de las clases implementadas comenzarán con letra mayúscula. En caso de poseer un nombre compuesto se escribirán de acuerdo a la normativa CamelCase-UpperCamelCase.	<pre>class Foo {     cuerpo de la clase } class FooFirst {     cuerpo de la clase }</pre>
Siempre se declara para todas las clases implementadas su respectivo destructor de clase.	virtual ~Foo()
La declaración de funciones o métodos siempre comenzara en letra inicial minúscula. En caso de ser un nombre compuesto se regirá por la normativa CamelCase-lowerCamelCase.	<pre>&lt;Tipo dato retorno&gt; funcion() &lt;Tipo dato retorno&gt; funcionCompuesta() &lt;Tipo dato retorno&gt; funcionDobleCompuesta()</pre>
Los atributos siempre estarán escritos con letra minúscula. En caso de ser un nombre compuesto se regirá por la normativa CamelCase-lowerCamelCase.	<pre>&lt;Tipo dato&gt; atributo; &lt;Tipo dato&gt; atributoNombreCompuesto;</pre>
Definición de parámetros dentro de las funciones y constructores de clases	
Los nombres de los identificadores de los parámetros en las funciones deben estar escritos con minúscula separados a un espacio cada uno y en caso de ser compuesto utilizar normativa CamelCase-lowerCamelCase.	<pre>&lt;Tipo dato retorno&gt; funcion(&lt;tipo&gt;&lt;id1&gt;, &lt;tipo&gt;&lt;id2&gt;, &lt;tipo&gt;&lt;idN&gt;)</pre>

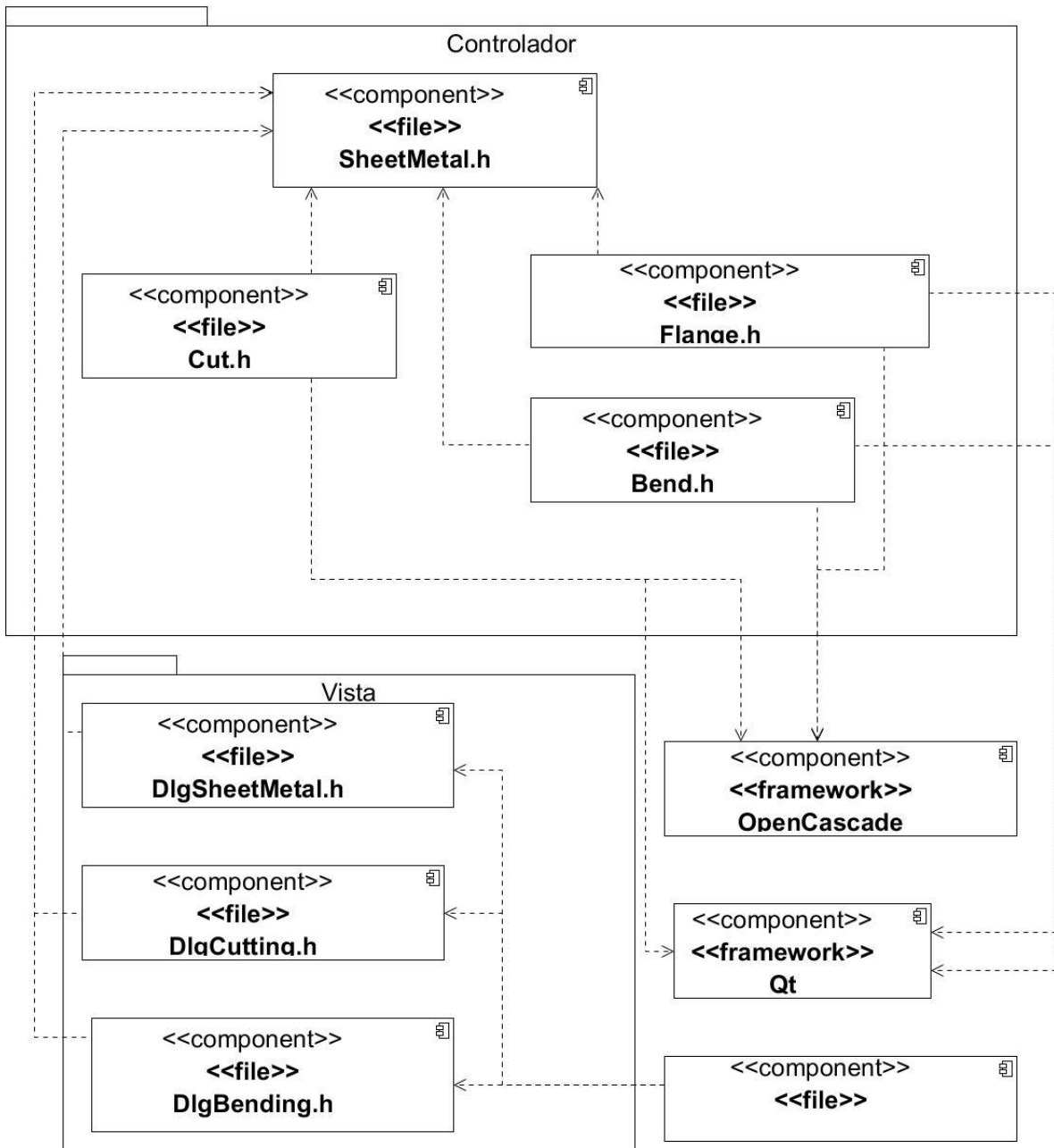


Los identificadores de los parámetros dentro de los constructores de las clases deben estar escritos con minúscula separados a un espacio cada uno y en caso de ser compuesto utilizar normativa CamelCase-lowerCamelCase.	Clase(<tipo><id1>, <tipo><id2>, <tipo><idN>)
<b>Definición de expresiones</b>	
Para una mejor comprensión en la lectura y legibilidad del código los operadores binarios exceptuando los punteros, función de llamado a miembros, escritura de un arreglo y paréntesis de una función se escribirán con un espacio entre ellos.	x + y; x == y; idFuncion.miembro(); idFuncion->miembro(); array[];
<b>Definición de estructuras de control y bucles</b>	
Las estructuras de control y los bucles estarán definidos de igual manera en ambos casos siguiendo el estándar determinado por el <i>framework</i> de Qt.	Para las estructuras if, else, if else:  <estructura control>(condición) { tarea a ejecutar }  Para los bucles while, for, do while y otros:  <bucle>(condiciones) { tarea a ejecutar }
<b>Comentarios en el código según el estándar de C++</b>	
Comentarios pequeños.	/* comentario sencillo */
Otros comentarios.	/* *Comentario */
Comentario de versión, descripción de clase y otras características de la clase o paquete.	/* ***** *Comentario amplio * ******/

## Diagrama de componentes

A continuación, se muestra el diagrama de componentes definido para la solución.

Tabla 3 Diagrama de componentes



### Creación de una pieza de chapa

El presente apartado expone de forma general, el proceso de modelación de una pieza tipo chapa una vez vinculado el módulo Sheet Metal a la aplicación.

El proceso de creación de las piezas de tipo chapa se realiza mediante la introducción de los parámetros necesarios (espesor y ancho, en caso de geometría abierta) por el usuario. Se encuentra limitado a las normas y estándares internacionales de diseños de piezas tipo

chapa, por lo que el usuario debe elegir el tipo de pieza que quiere diseñar (sheet o plate), las cuales definen su espesor y posterior uso.

El diseño de la pieza se realiza mediante el dibujo de figuras geométricas primitivas o el esbozo de un croquis mediante líneas, polilíneas y arcos en el sketcher 2D. Luego de definidas las dimensiones y restricciones de la figura, la aplicación muestra una ventana de diálogo con las especificidades según el tipo de chapa que se desee modelar. Una vez definidas sus propiedades bases, la pieza de chapa pasa a ser mostrada por el visor 3D donde se aplican las operaciones (doblado y troquelado) necesarias para obtener el producto de diseño final.

Para la creación de pestañas en la chapa, el usuario debe seleccionar una cara (distinta de las caras bases). Hacer clic en la opción “Create” -> “Flange” y automáticamente se añade una pestaña con parámetros por defecto y una ventana de diálogo con las propiedades (radio, ángulo y largo de pestaña) habilitados para su edición. Al terminar el diseño deseado se aceptan los cambios haciendo clic en el botón “Cancel”.

Para la realización del corte primeramente el usuario debe elegir una cara. Luego debe levantar un Sketcher 2D en esa cara, mediante el botón “Modify”-> “Sketch Face”. Luego de dibujar la figura a ser removida de la pieza mediante el corte, se selecciona la opción “Modify”-> “Cut”; la cual realiza el corte de forma sobre esa cara de la pieza. La operación permite la edición en tiempo real de la profundidad del corte.

### 3.2. Pruebas

El proceso de pruebas del *software* se enfoca en el cumplimiento de dos objetivos (28) :

- Demostrar que el *software* satisface los requerimientos.
- Determinar los defectos presentes en el *software*: comportamiento incorrecto, no deseable o incumplimiento de su especificación.

---

#### Niveles de prueba

La metodología AUP-UCI define tres etapas de pruebas (22) :

- Pruebas internas: se verifica el resultado de la implementación probando cada construcción, incluyendo tanto las construcciones internas como intermedias, así como las versiones finales a ser liberadas. Se deben desarrollar artefactos de prueba como: diseños de casos de prueba, listas de chequeo y de ser posible componentes de pruebas ejecutables para automatizar las pruebas.

- Pruebas de liberación: pruebas diseñadas y ejecutadas por una entidad certificadora de la calidad externa, a todos los entregables de los proyectos antes de ser entregados al cliente para su aceptación.
- Pruebas de Aceptación: es la prueba final antes del despliegue del sistema. Su objetivo es verificar que el *software* está listo y que puede ser usado por usuarios finales para ejecutar aquellas funciones y tareas para las cuales el *software* fue construido.

En el presente trabajo se tienen en cuenta las pruebas internas. Son agrupadas por niveles en dependencia de las distintas etapas del proceso de desarrollo (33):

- Prueba Unitaria o de Unidad: se centra en el proceso de verificación del módulo. Se emplea para detectar errores debidos a cálculos incorrectos, comparaciones incorrectas o flujos de control inapropiados. Dos de las técnicas empleadas son las pruebas del camino básico y de bucle.
- Prueba de Integración: el propósito es tomar los módulos probados mediante la prueba unitaria y construir la estructura del programa de acuerdo al diseño.
- Pruebas de Sistema: serie de pruebas diferentes (pruebas de recuperación, seguridad, resistencia, entre otras) cuyo objetivo es correr el sistema para verificar que se han integrado correctamente todos los elementos y las funcionalidades.
- Pruebas de Aceptación: pruebas de caja negra que demuestran la conformidad con los requisitos.

Para validar el correcto funcionamiento del módulo se realizan las pruebas de Sistema y de Aceptación.

---

### **Métodos de prueba**

Los métodos de prueba tienen como objetivo determinar, con una alta probabilidad, los defectos del *software* (33).

- **Prueba de Caja Blanca:** se centran en la estructura de control del programa. El objetivo es asegurar la ejecución (al menos una vez) de todas las sentencias del programa y las condiciones lógicas.
- **Prueba de Caja Negra:** validan los requisitos funcionales del módulo, analizando de forma externa, las funciones que realiza el *software*. Se centran en el ámbito de información del programa.

## Diseño de los casos de prueba

Los Casos de Pruebas han sido realizados sobre la base de las Historias de Usuarios y tienen como objetivo fundamental encontrar la mayor cantidad posible de deficiencias existentes en las funcionalidades implementadas.

Tabla 4 Caso de Prueba de Historia de usuario Crear Chapa

Descripción general			
Permitir la creación de una pieza de chapa a partir de sus datos.			
Crear chapa			
Escenario	Descripción	Respuesta del sistema	Flujo central
Opción de Crear Chapa (Sheet Metal)	Selecciona en la pestaña Sheet Metal, la opción Create. Se levanta una ventana con los parámetros necesarios para la creación de una hoja (sheet) o una lámina (plate). Una vez se definen las medidas da clic en el botón Aceptar y se cierra la ventana y se muestra la pieza de chapa creada en el visor 3D de la aplicación.	Brinda la posibilidad de crear una pieza de chapa a partir de los siguientes datos: ancho (width) y grosor (thickness). Permite además cancelar la operación si se desea.	DlgSheet_Metal/MainWindow/Viewprovidersheet_metal/Sheet_Metal/CreateSheetMetal.
Opción de Cancelar.	Selecciona la opción Cancelar.	Elimina los datos creados. Cierra la ventana.	DlgSheet_Metal/MainWindow/Viewprovidersheet_metal/Sheet_Metal/Delete

## Pruebas de integración

Las pruebas de integración son una extensión lógica de las pruebas unitarias. El proceso de integración del sistema implica construir este a partir de sus componentes y probar el sistema resultante para encontrar problemas que pueden surgir debido a la integración de los componentes.

A continuación, se presenta evidencia del éxito en las pruebas de integración:

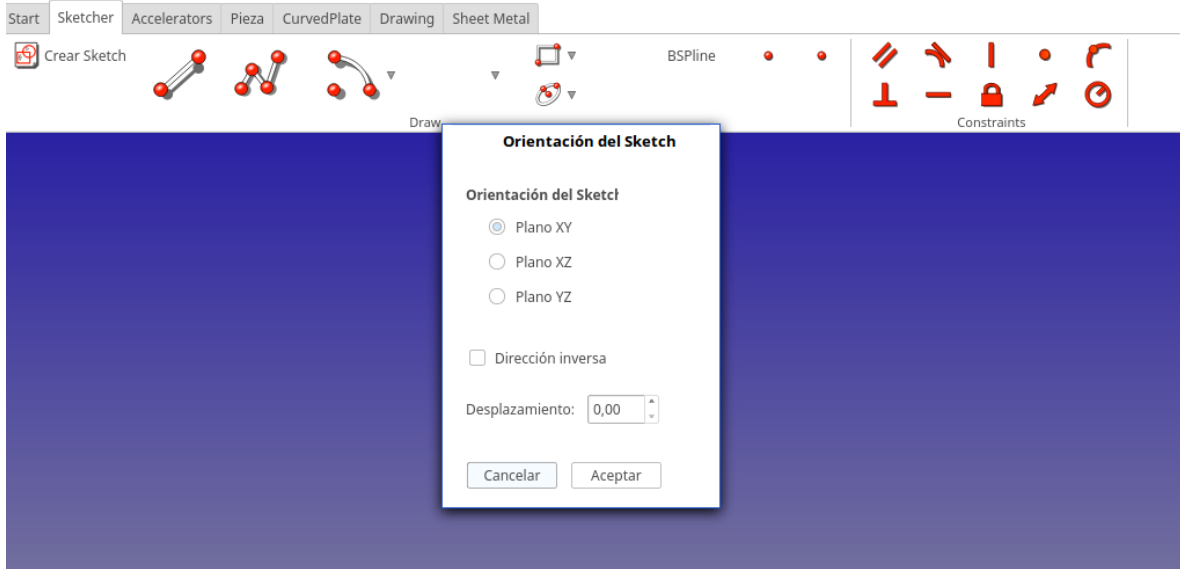


Imagen 8 Escoger plano del sketcher

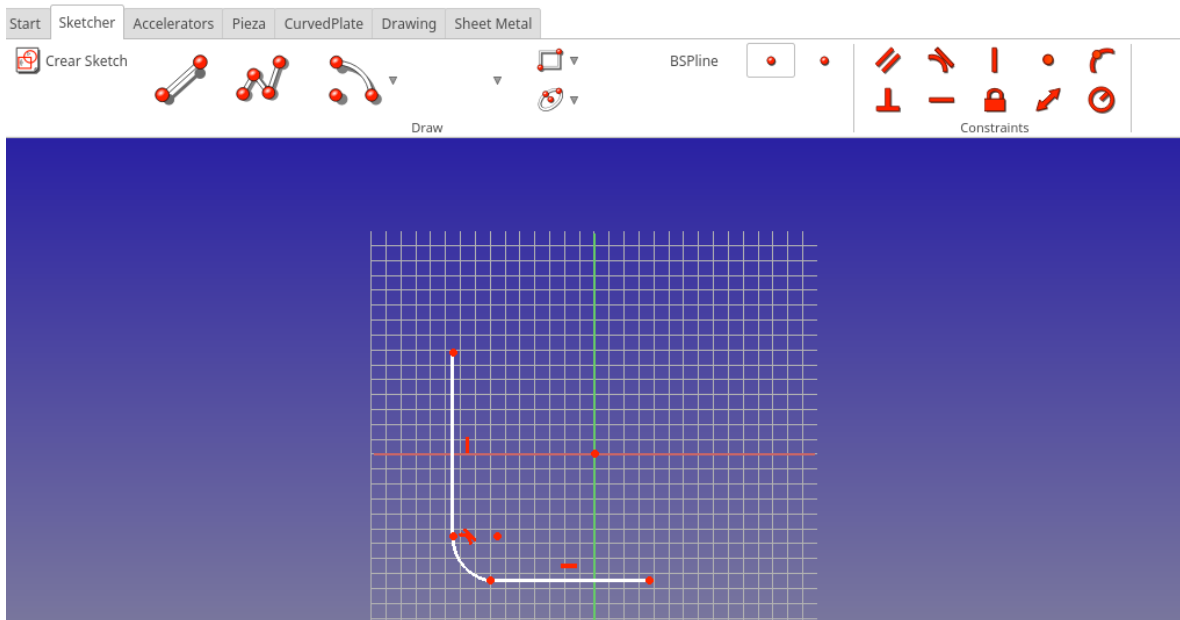


Imagen 9 Dibujo de la pieza de chapa en el sketch

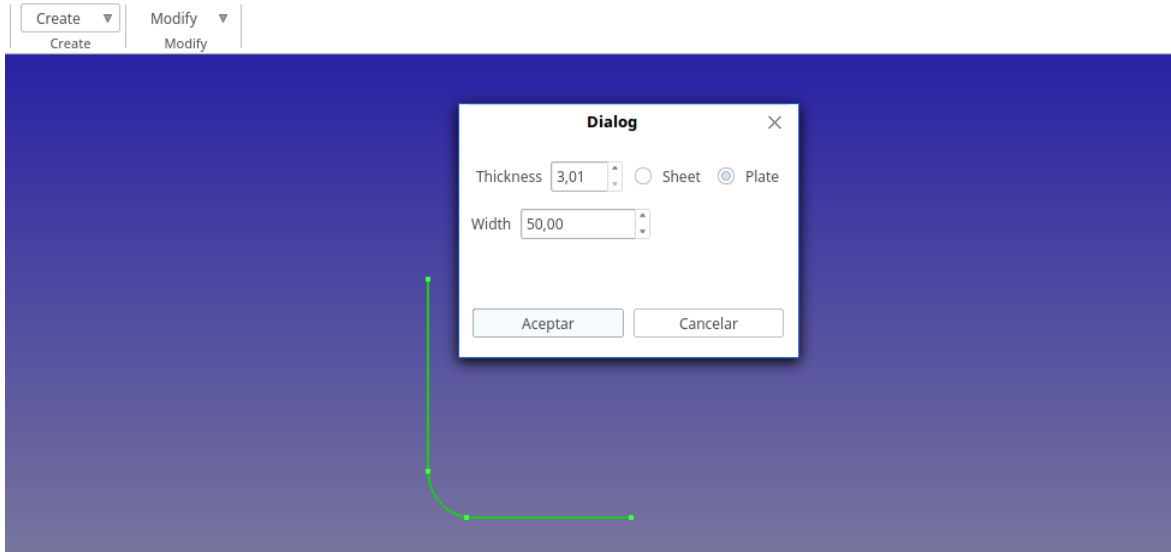


Imagen 10 Definición de los parámetros necesarios para la modelación

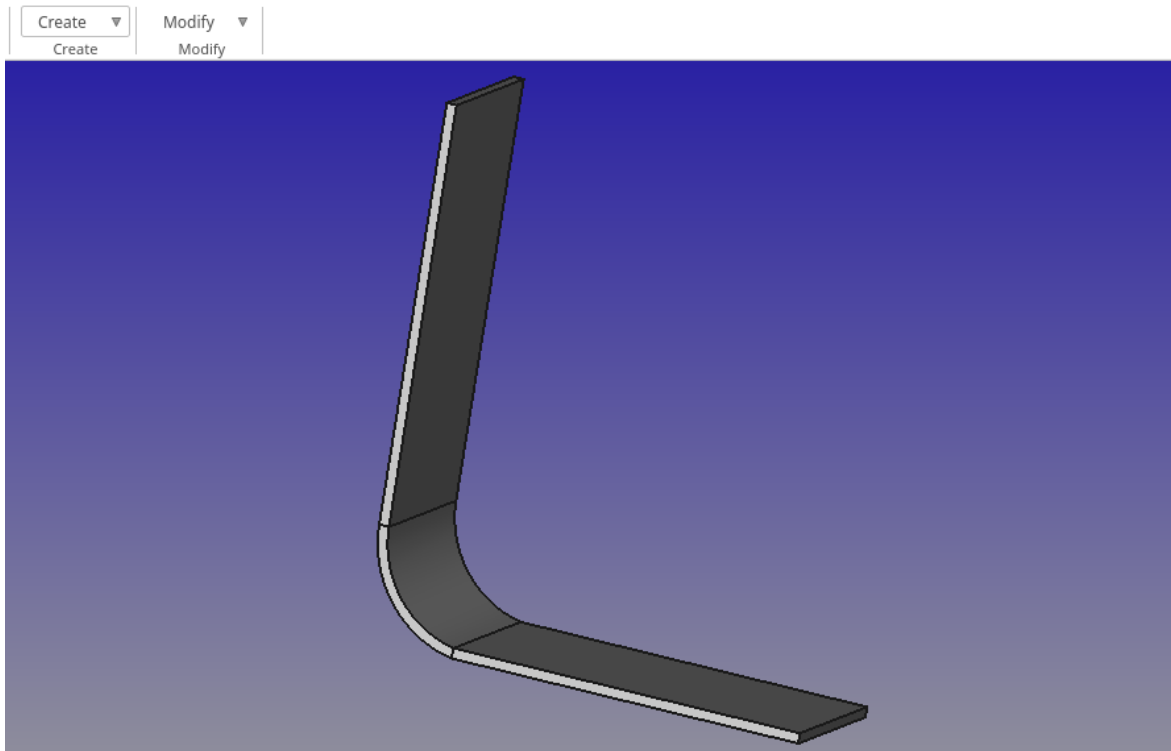


Imagen 11 Modelación de chapa siguiendo un camino de construcción

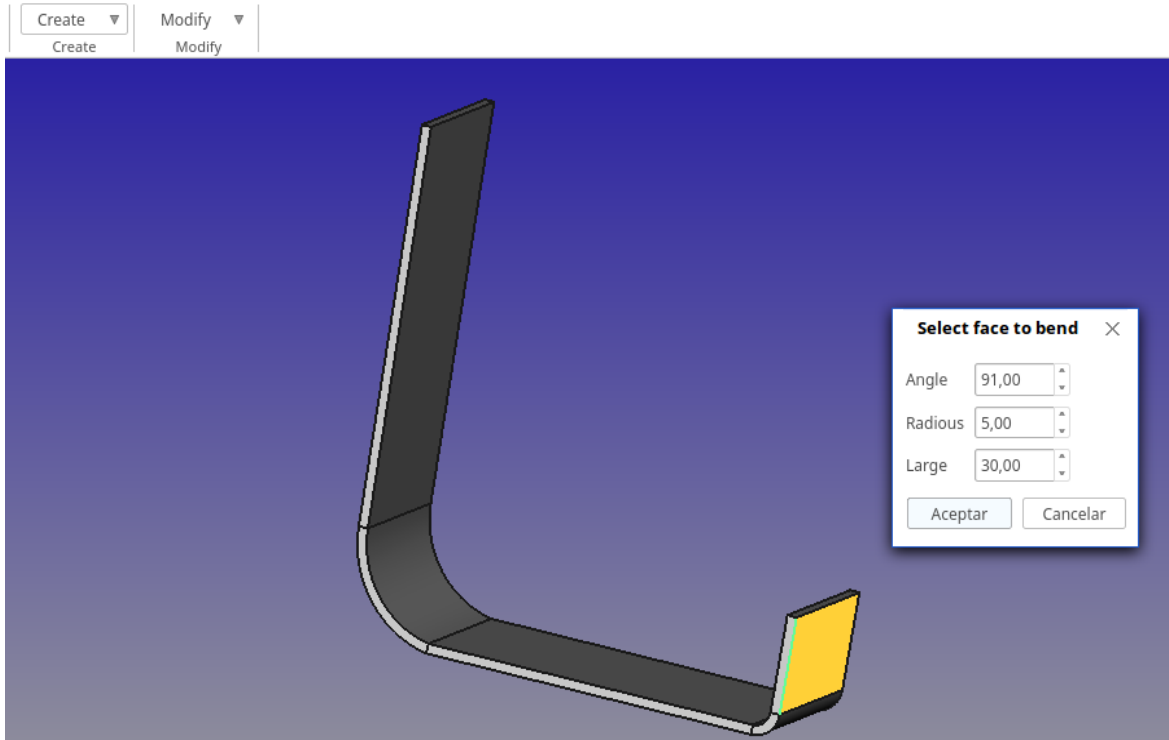


Imagen 12 Añadir pestaña a la pieza

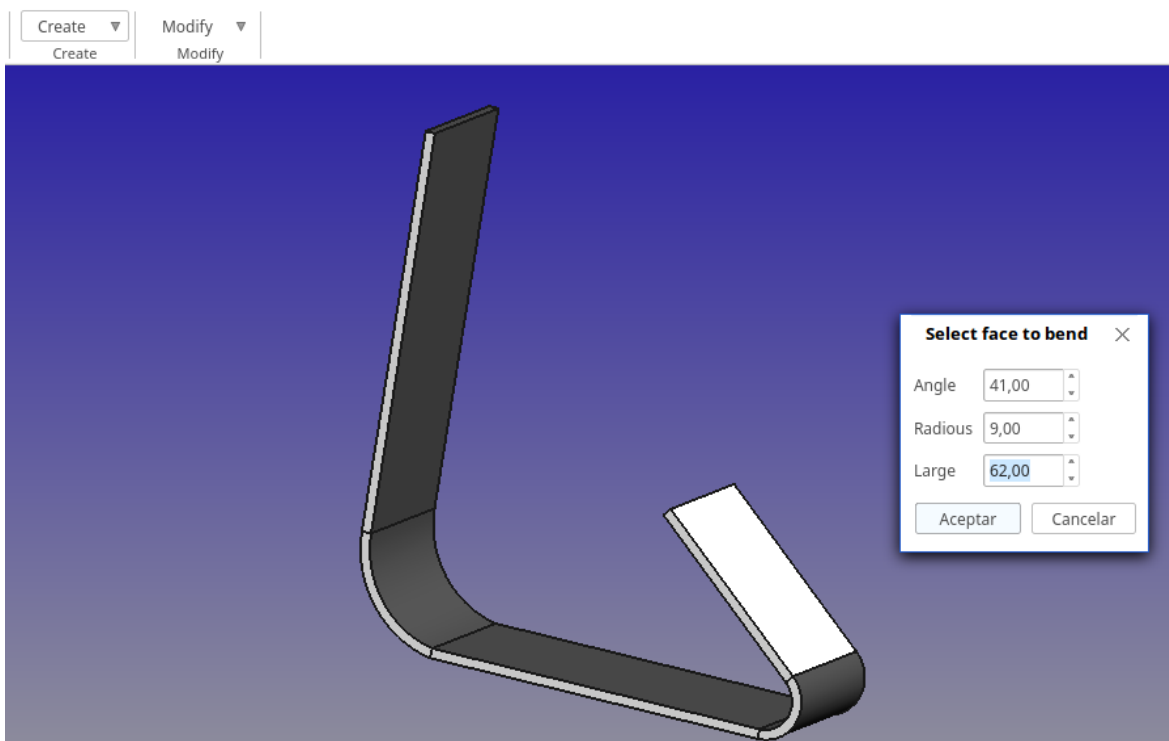


Imagen 13 Edición de las características de la pestaña



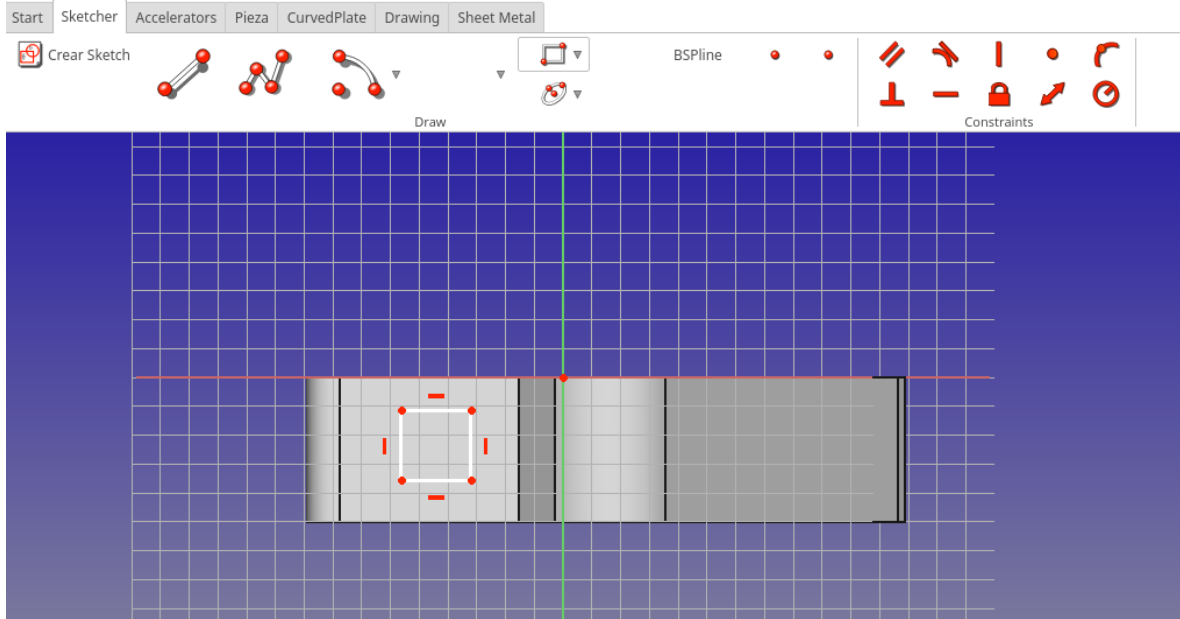


Imagen 14 Crear un sketch en una cara de la chapa

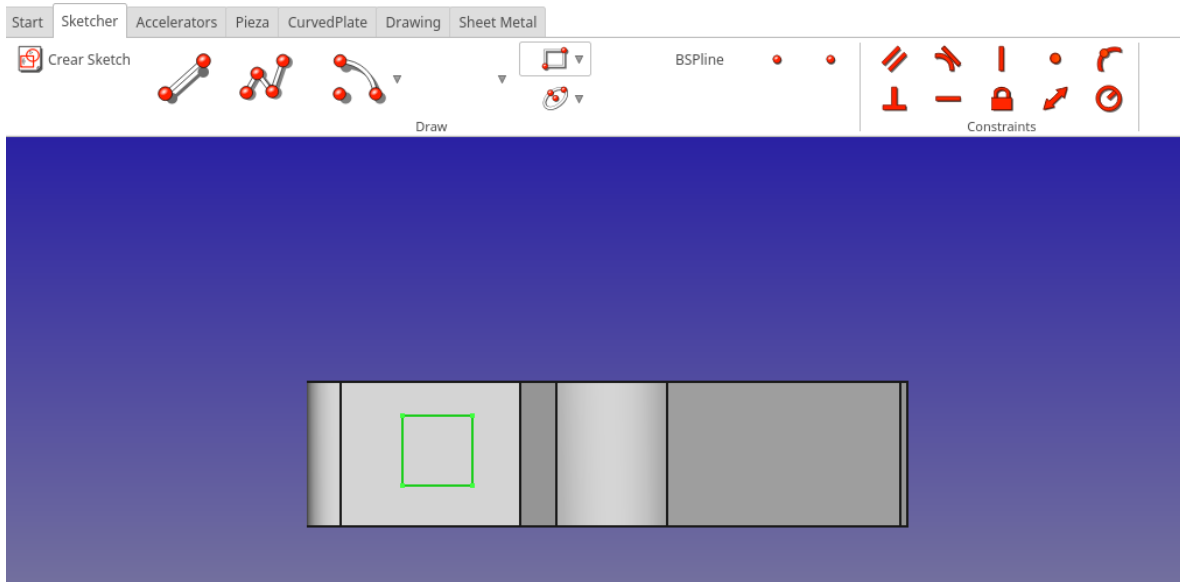


Imagen 15 Cerrar el sketch una vez terminado el diseño de la forma del corte

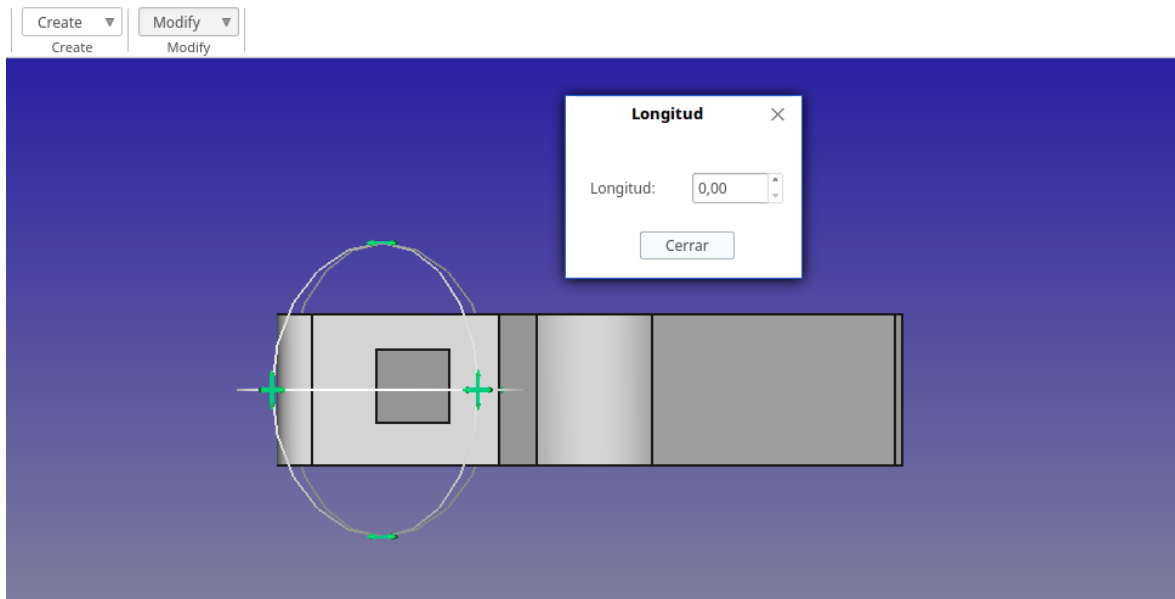


Imagen 16 Modelar corte de forma

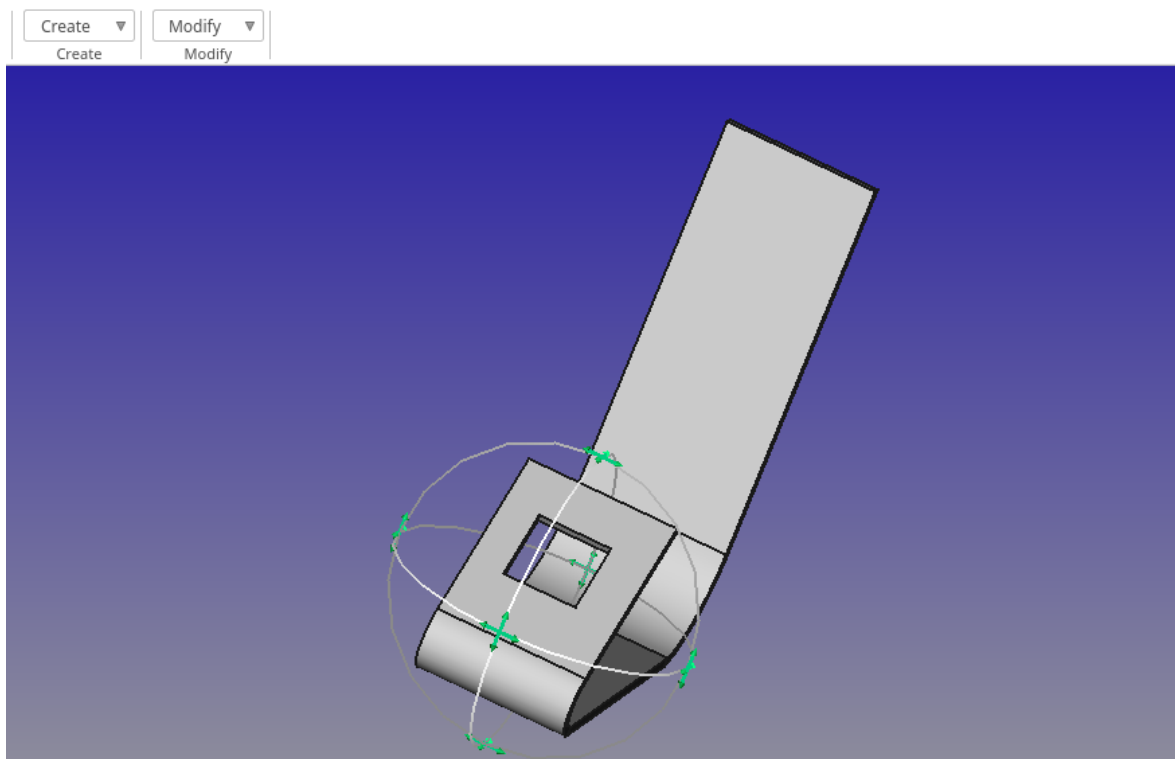


Imagen 17 Vista en perspectiva de las operaciones de pliegues y perforaciones

## Resultados de las pruebas

Luego de las pruebas funcionales se identifican las siguientes no conformidades:

Tabla 5 Resultados de las pruebas. No conformidades detectadas

#No conformidad	Requisito Funcional	Descripción	Complejidad	Estado
1	RF1	No se encuentra el sketcher integrado a la aplicación.	BAJA	RESUELTO
2	RF2	No se añade la pestaña correctamente a la pieza.	ALTA	RESUELTO
3	RF3	No se realiza correctamente el corte de forma en la chapa.	BAJA	RESUELTO
4	RF4	No dobla correctamente la chapa.	ALTA	RESUELTO
5	RF5	No se representa correctamente todas las líneas de doblado de la chapa una vez desplegada en un patrón plano.	BAJA	RESUELTO

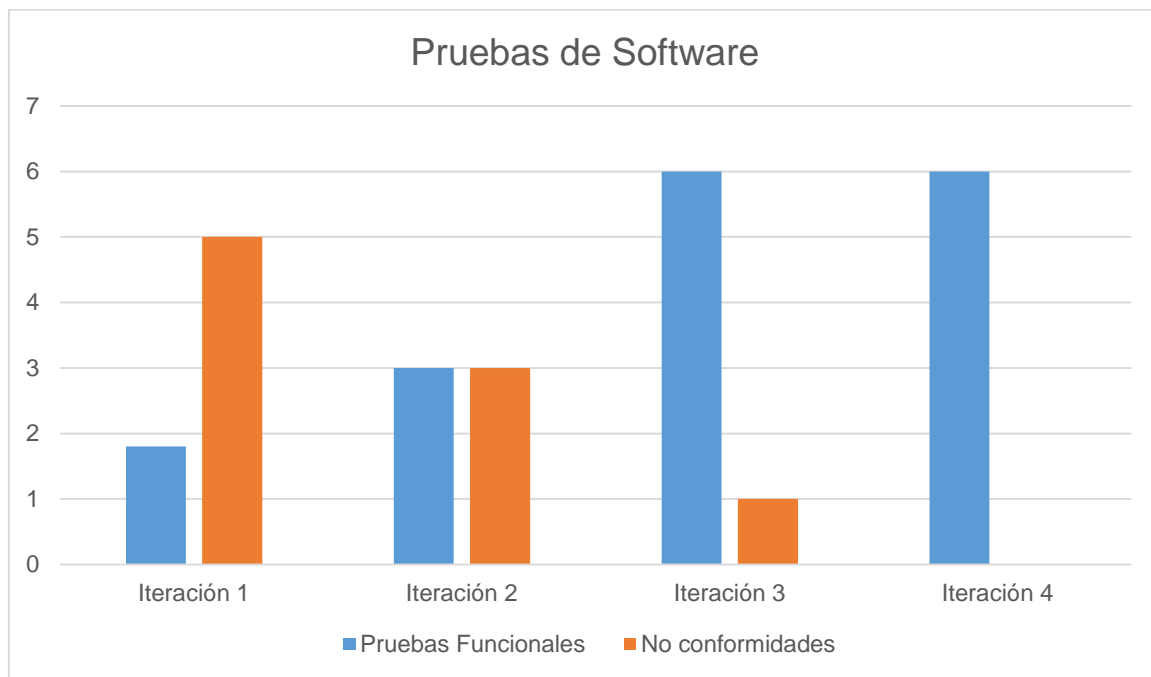


Imagen 18 Resultados gráficos de las pruebas

### 3.3. Conclusiones parciales

En este capítulo se hizo referencia a los aspectos fundamentales en la implementación y la validación del módulo para el diseño de piezas tipo chapa de perfiles rectos.

- La selección del estándar de codificación permitió lograr uniformidad en el código implementado.
- Con la definición de una estrategia de pruebas se verificó el correcto funcionamiento del *software*.
- Las pruebas realizadas se enfocaron en el desarrollo y la evaluación de cada funcionalidad para lograr un mayor impacto en el usuario.
- La eficacia de las funcionalidades implementadas para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones, está avalada por los resultados de las pruebas realizadas, que demostraron el correcto funcionamiento de cada una de ellas.
- El 100% de los errores identificados en el proceso de pruebas fueron corregidos.

## Conclusiones generales

---

Como resultado del proceso de Investigación-Desarrollo realizado se arribó a las siguientes conclusiones generales:

- La selección de las funcionalidades básicas para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones, destinado a su integración en una aplicación CAD, tuvo su base en el análisis integral y reutilización de secciones de código fuente de las aplicaciones FreeCAD y del módulo “Geometry” de la aplicación “Salome-Meca”, en correspondencia con decisiones de proyecto en el grupo de investigación.
- El diseño arquitectónico más apropiado para el desarrollo de las funcionalidades para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones a ser empleadas en sistemas de Diseño Asistido por Computadora, debe basarse en lo fundamental, en una Arquitectura por capas que permita la comunicación con el núcleo de la aplicación y con otros módulos de la misma.
- La eficacia de las funcionalidades implementadas para el modelado de piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones, está avalada por los resultados de las pruebas realizadas, que demostraron el correcto funcionamiento de cada una de ellas.

## Recomendaciones

---

A partir del estudio realizado y luego de haber analizado los resultados obtenidos se recomiendan los siguientes elementos a tener en cuenta para futuros trabajos:

- Incorporar las funcionalidades doblado, embutido, punzonado y despliegue de la chapa en un plano (desarrollo de la chapa), para modificar las piezas tipo chapa con perfiles rectos, pliegues y perforaciones.
- Incorporar las funcionalidades de ayuda al modelado (puntos, líneas y planos de construcción) que no fueron abordadas en el trabajo.
- Diseñar interfaces que propicien la explotación fácil y eficiente de las funcionalidades desarrolladas.

## Bibliografía

1. Definición de Framework de desarrollo (informática). [online]. [Accessed 28 June 2017]. Available from: <http://www.alegsa.com.ar/Dic/framework.php>
2. Tecnología en Diseño: Historia del Diseño 3D. [online]. [Accessed 13 May 2017]. Available from: <file:///D:/TEMP/TESIS/bibliografia/data/Historia%20del%20Dise%C3%B1o%203D/index.html>
3. Diseño Asistido Por Computadora (CAD). [online]. 23 January 2017. [Accessed 23 January 2017]. Available from: <about:reader?url=https%3A%2F%2Fle0el.wordpress.com%2F2010%2F02%2F01%2Fdiseno-asistido-por-computadora-cad%2F>
4. Chapa - Definición y sinónimos de chapa en el diccionario español. Traducción de chapa a 20 idiomas. [online]. 18 January 2017. [Accessed 18 January 2017]. Available from: <http://lexicoon.org/es/chapa>
5. CONSULTING EDITOR: PROFESSOR TAYLAN ALTAN. *METAL FORMING HANDBOOK*. Metal Forming Handbook /Schuler (c) Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998. [no date]. ISBN 3-540-61185-1 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
6. 4-negocio.docx. [online]. 9 February 2017. [Accessed 9 February 2017]. Available from: <http://www.villaclara.cu/index.php/component/phocadownload/category/4-negocio?download=12:inpu>
7. SHEETMETAL | 3D SOFTWARE. [online]. 9 February 2017. [Accessed 9 February 2017]. Available from: <http://www.3dcadportal.com/3d-software/sheetmetal/>
8. Informe de Cuba sobre el bloqueo 2015 | Cubadebate. [online]. 8 March 2017. [Accessed 8 March 2017]. Available from: <http://www.cubadebate.cu/especiales/2015/09/18/informe-de-cuba-sobre-el-bloqueo-2015/>
9. La migración hacia software libre en Cuba: complejo conjunto de factores sociales y tecnológicos en el camino de la soberanía nacional. [online]. 8 March 2017. [Accessed 8 March 2017]. Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2218-36202015000300018](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2218-36202015000300018)
10. Propiedades y Características - La Chapa. [online]. 8 March 2017. [Accessed 8 March 2017]. Available from: <https://sites.google.com/site/280lachapa/home>
11. Evolución de los procesos de corte y deformación de chapa. [online]. 23 January 2017. [Accessed 23 January 2017]. Available from: <about:reader?url=http%3A%2F%2Fwww.interempresas.net%2FDeformacion-y-chapa%2FArticulos%2F8647-Evolucion-de-los-procesos-de-corte-y-deformacion-de-chapa.html>
12. Significado de Normas din - Qué es, Definición y Concepto. [online]. [Accessed 23 June 2017]. Available from: <http://quesignificado.com/normas-din/>

13. *Manufactura I - Troquelado.*
14. Sheet metal parts | Inventor Products. [online]. 24 January 2017. [Accessed 24 January 2017]. Available from: [about:reader?url=https%3A%2F%2Fknowledge.autodesk.com%2Fsupport%2Finventor-products%2Fgetting-started%2Fcaas%2FCloudHelp%2Fcloudhelp%2F2016%2FENU%2FInventor-GetStarted%2Ffiles%2FGUID-F3DB9740-D340-4B6C-B9D9-50EAFB2DFAB1-htm.html](https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/getting-started/caas/cloudhelp/cloudhelp/2016/ENU/Inventor-GetStarted/files/F3DB9740-D340-4B6C-B9D9-50EAFB2DFAB1-htm.html)
15. Diseño en de Solid Edge Chapa - spse01546.pdf. [online]. 23 January 2017. [Accessed 23 January 2017]. Available from: <http://support.industrysoftware.automation.siemens.com/training/se/es/ST3/pdf/spse01546.pdf>
16. *sheet\_metal\_design.pdf* [online]. [Accessed 2 June 2017]. Available from: [http://www.catia.com/pl/tutorial/z2/sheet\\_metal\\_design.pdf](http://www.catia.com/pl/tutorial/z2/sheet_metal_design.pdf)
17. Sheet metal Addon for FreeCAD - Projects, anyone? [online]. 24 January 2017. [Accessed 24 January 2017]. Available from: [about:reader?url=http%3A%2F%2Ftheseger.com%2Fprojects%2F2015%2F06%2Fsheet-metal-addon-for-freecad%2F](http://theseger.com/projects/2015/06/sheet-metal-addon-for-freecad/)
18. Welcome to the [www.salome-platform.org](http://www.salome-platform.org) — SALOME Platform. [online]. 21 February 2017. [Accessed 21 February 2017]. Available from: <http://www.salome-platform.org/>
19. CORRALES, Juan Desongles. *Ayudantes tecnicos. Opcion informatica. Junta de andalucia. Temario volumen i.* MAD-Eduforma, 2005. ISBN 978-84-665-2012-6. Google-Books-ID: RtMtHVgfFT0C
20. *LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DEL SOFTWARE. Ingeniería de software: metodologías y ciclos de vida. 2009.*
21. CHARLES EDEKI. *Agile Unified Process.* [online]. [Accessed 1 March 2017]. Available from: <http://www.ijcsma.com/publications/september2013/V11304.pdf>
22. TAMARA RODRÍGUEZ SÁNCHEZ. *Metodología de desarrollo para la actividad productiva de la UCI. 2015.*
23. *Open CASCADE Technology: Overview.* [online]. [Accessed 2 January 2017]. Available from: [http://dev.opencascade.org/doc/overview/html/index.html#OCCT\\_OVW\\_SECTION\\_1](http://dev.opencascade.org/doc/overview/html/index.html#OCCT_OVW_SECTION_1)
24. *About Qt - Qt Wiki* [online]. 2 November 2015. [Accessed 4 May 2017]. Available from: [https://wiki.qt.io/About\\_Qt](https://wiki.qt.io/About_Qt)
25. BJARNE STROUSTRUP. *The C++ Programming Language. Third Edition.*
26. LUIS BERGANZA. *Curso de GIT.*
27. LARMAN, CRAIG. *UML y Patrones. Introducción al análisis y diseño orientado a objetos.* México : PRENTICE HALL, 1999. ISBN 970-17-0261-1. [no date].



28. IAN SOMMERVILLE. *Ingeniería de Software. 8va Edición. 2006.* [no date].
29. R. JEFFRIES, A. ANDERSON AND C. HENDRICKSON. *Extreme Programming Installed. 2001. Addison-Wesley.*
30. PRESSMAN, ROGER S. *Ingeniería de software. Un enfoque práctico.* [no date].
31. REYNOSO, CARLOS AND KICILLOF, NICOLÁS. *Estilos y Patrones en la Estrategia de Arquitectura de Microsoft. Universidad de Buenos Aires, 2004.*
32. RUMBAUGH, JAMES, JACOBSON, IVAR AND BOOCH, GRADY. *El Lenguaje Unificado de Modelado.* Manual de referencia. Addison-Wesley, 2000.
33. ROBERTO RUIZ TENORIO. *Las pruebas de software y su importancia en las organizaciones.* Xalapa-Enríquez, Veracruz: Facultad de Contaduría y Administración. Universidad Veracruzana, 2010
34. *Qt Test Overview | Qt Test 5.6* [online]. [Accessed 6 May 2017]. Available from: <http://doc.qt.io/qt-5/qtest-overview.html>
35. Chapa laminada en frío. [online]. 23 January 2017. [Accessed 23 January 2017]. Available from: <https://www.acerinox.com/es/productos/producto-plano/Chapa-laminada-en-fro/>
36. Embutidos definitivo. [online]. 8 March 2017. [Accessed 8 March 2017]. Available from: [https://es.slideshare.net/Aracelly92/embutidos-definitivo?from\\_action=save](https://es.slideshare.net/Aracelly92/embutidos-definitivo?from_action=save)
37. Microsoft PowerPoint - T06 - Conformado de chapa con conf caliente.ppt [Modo de compatibilidad] - 715\_ca.pdf. [online]. 24 January 2017. [Accessed 24 January 2017]. Available from: [http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/715\\_ca.pdf](http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/715_ca.pdf)
38. Teoría de Doblado de Chapa | Catia es Fácil. [online]. 2 February 2017. [Accessed 2 February 2017]. Available from: <https://catiafacil.wordpress.com/2013/04/03/teoria-de-doblado-de-chapa/>

## Anexos.

Tabla 6 Materiales para la creación de chapas (35)

<b>Materiales más frecuentes</b>		
<b>Material</b>	<b>Espesor</b>	<b>Aplicación</b>
Acero al carbono: Es el más frecuente por su ductilidad	~1.5 mm	Carrocerías de automóvil, electrodomésticos.
	Hasta 12.5 mm	Llantas, recipientes a presión y blindajes.
Aluminio		Aeronáutica y automóvil de gama alta.
Aceros inoxidables		Menaje y recipientes.
Aceros de alto límite elástico		Respuesta de los aceristas al creciente uso del aluminio en carrocerías.
Otros materiales(cobre, magnesio, titanio)		

Tabla 7 Dimensiones estándar de chapa (35)

<b>Espesor(mm)</b>	<b>Ancho nominal(mm)</b>	<b>Longitud(mm)</b>
0.2-6.00	800-1250	1000-6000
<b>Dimensiones estándar de chapa (mm)</b>		
1000 x 2000	1250 x 2500	1500 x 3000
<b>Espesor(mm)</b>	<b>Ancho nominal(mm)</b>	<b>Longitud(mm)</b>
0.40-0.50	800-1250	1000-6000
0.60-2.50	800-1524	1000-6000
2.50-6.00	800-1524	1000-6000

Tabla 8 Especificación de calibres de lámina (13)

<b>Especificación de calibres de láminas</b>		
<b>No. Calibre</b>	<b>Espesor de lámina en pulg.</b>	<b>Espesor de lámina en mm.</b>
3	0.2391	6.07
4	0.2242	5.69
5	0.2092	5.29
6	0.1943	4.93
7	0.1793	4.55
8	0.1644	4.17
9	0.1495	3.79
10	0.1345	3.41
11	0.1196	3.03
12	0.1046	2.65
13	0.0897	2.27
14	0.0747	1.89
15	0.0673	1.71

16	0.0598	1.51
17	0.0538	1.36
18	0.0478	1.21
19	0.0418	1.06
20	0.0359	0.91
21	0.0329	0.83
22	0.0299	0.76
23	0.0269	0.68
24	0.0239	0.60
25	0.0209	0.53
26	0.0179	0.45
27	0.0164	0.41
28	0.0149	0.37
29	0.0135	0.34
30	0.0120	0.30
31	0.0105	0.26
32	0.0097	0.24
33	0.0090	0.22
34	0.0082	0.20
35	0.0075	0.19
36	0.0067	0.17
37	0.0064	0.16
38	0.0060	0.15

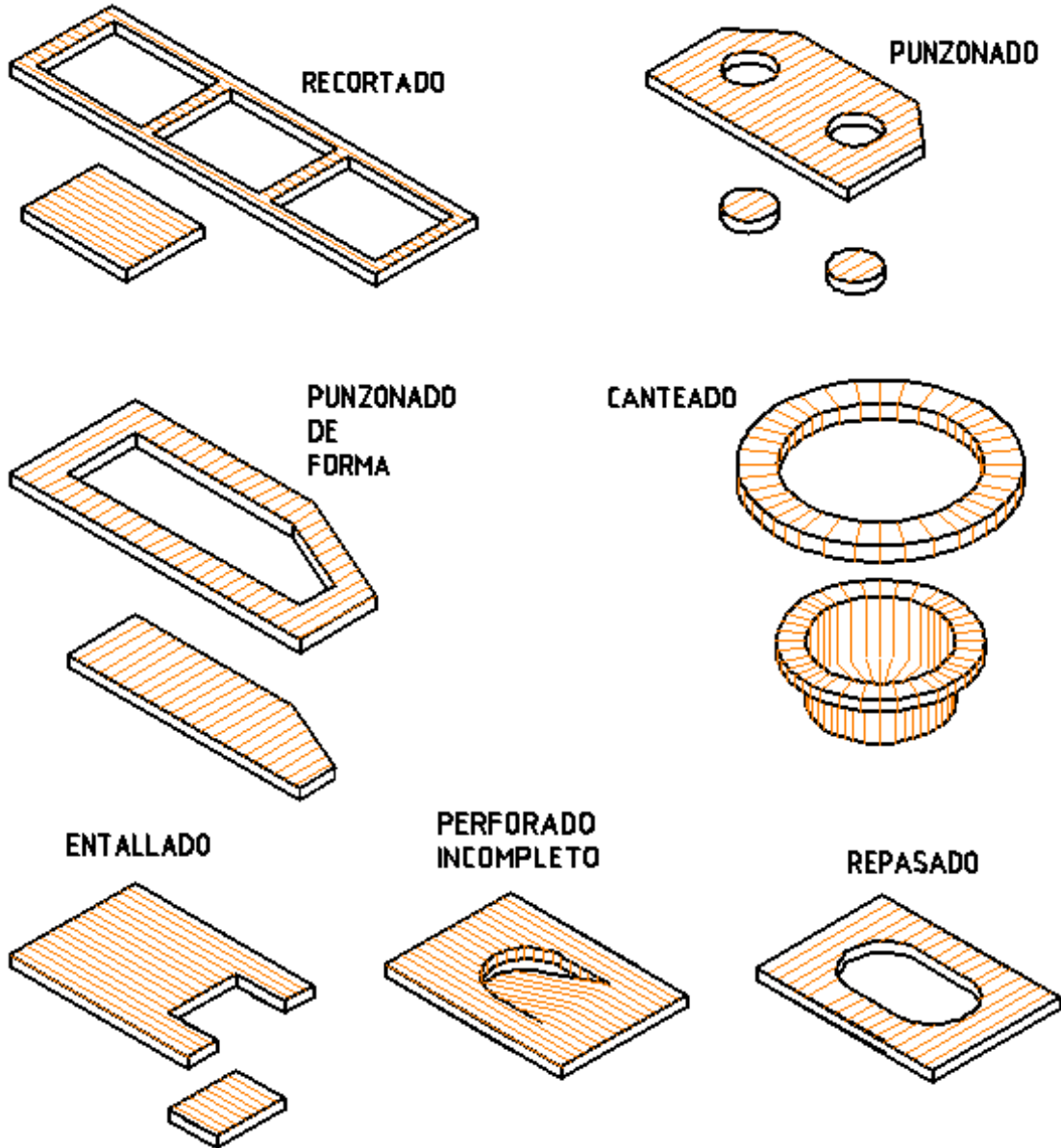


Imagen 19 Operaciones de troquelado (13)

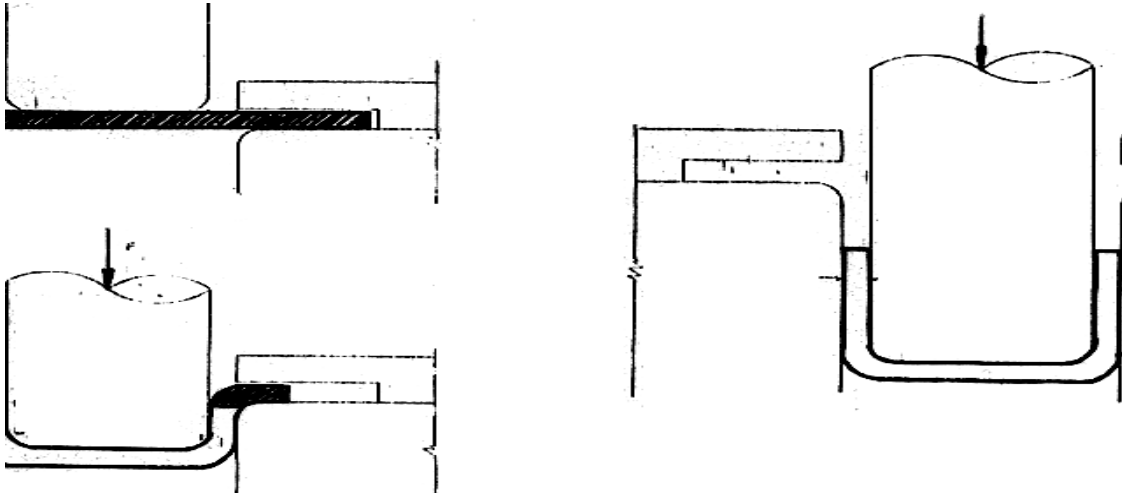


Imagen 20 Operaciones de embutido (36)

$$\text{LDR} = \frac{\text{Diámetro máximo de chapa}}{\text{Diámetro de punzón}}$$

Imagen 21 Fórmula del límite de embutibilidad (37)

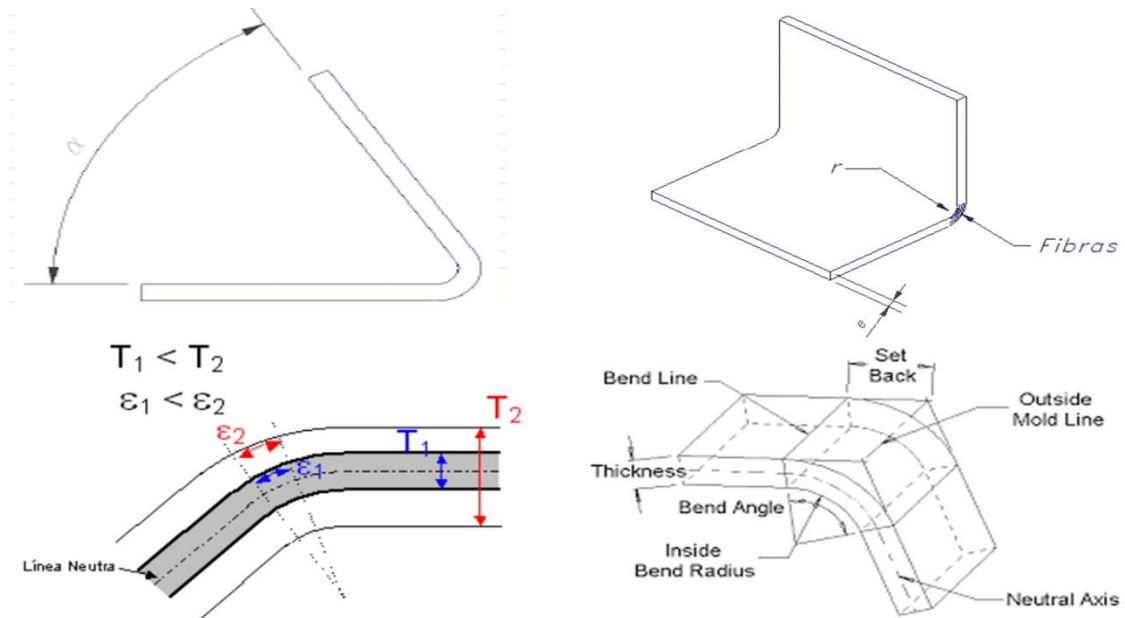


Imagen 22 Operaciones de doblado (38)

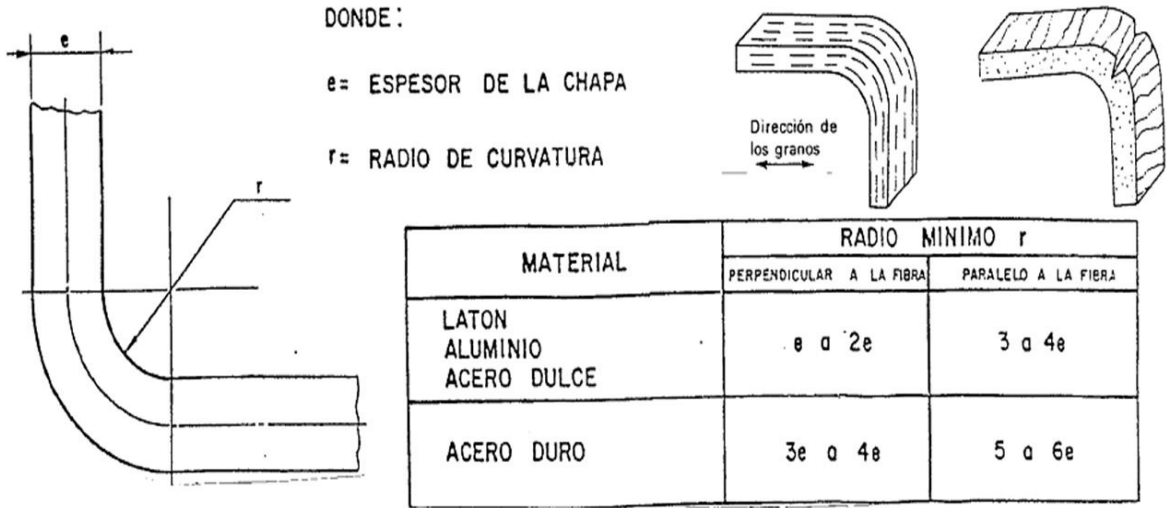


Imagen 23 Características del doblado (13)

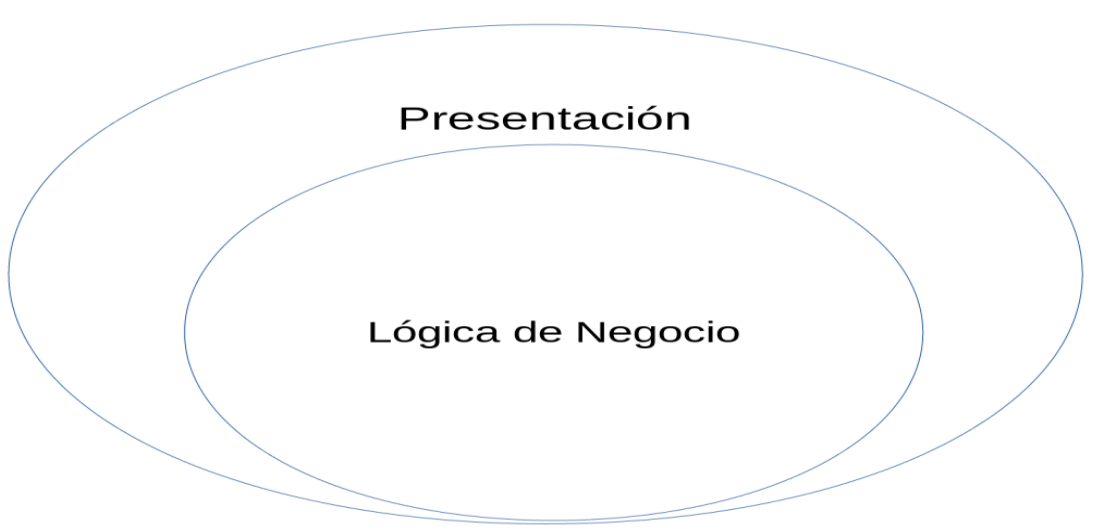


Imagen 24 Arquitectura de software propuesta

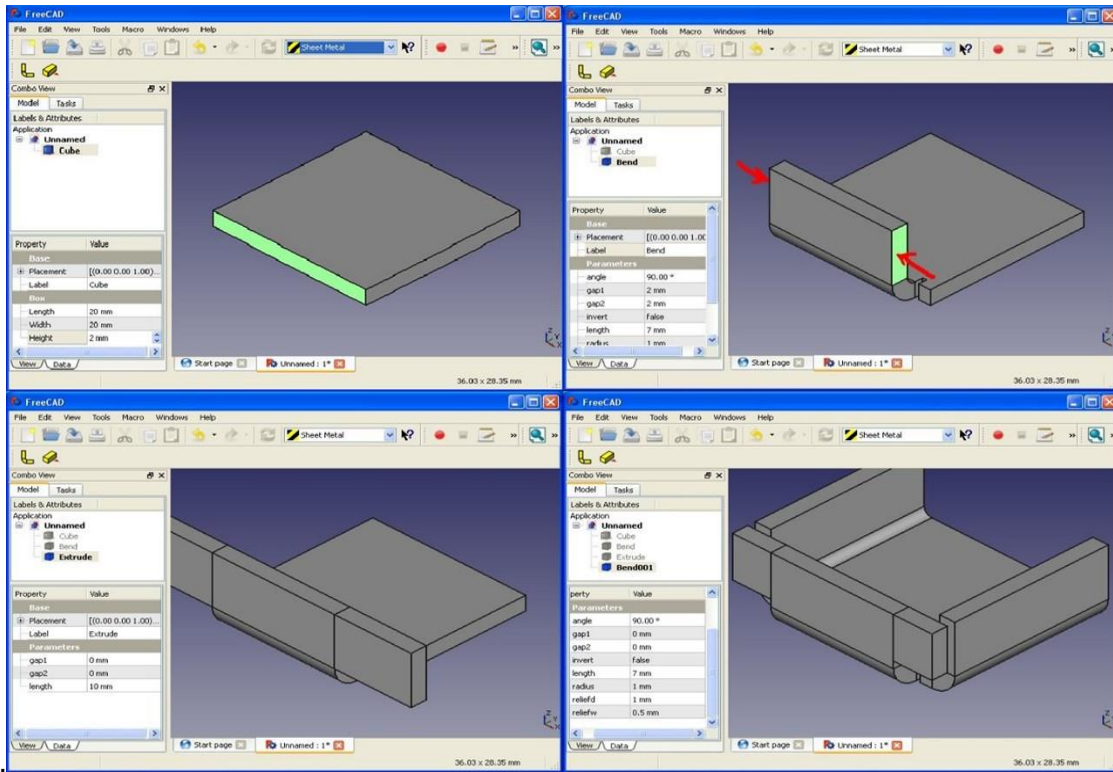


Imagen 25 Extensión de chapa para FreeCAD (17)