

DISPOSITIVO MECANICO PARA LA TECNICA DIELESS EN LA
MANUFACTURA DE PIEZAS EMBUTIDAS

MARCELA ARBELAEZ GIRALDO
DANIEL POSADA ECHEVERRI

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
ÁREA DE MANUFACTURA
MEDELLÍN
2009

DISPOSITIVO MECANICO PARA LA TECNICA DIELESS EN LA
MANUFACTURA DE PIEZAS EMBUTIDAS

MARCELA ARBELAEZ GIRALDO
DANIEL POSADA ECHEVERRI

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Asesor:

Gabriel Jaime Páramo

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
ÁREA DE MANUFACTURA
MEDELLÍN
2009

Nota de aceptación:

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Medellín, Octubre de 2009

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros padres por habernos brindado el apoyo, oportunidad y confianza para concluir nuestros estudios universitarios.

También un agradecimiento especial a aquellas personas que estuvieron involucradas indirectamente en el desarrollo del proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	12
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	13
1.4 METODOLOGÍA	15
2. MARCO TEORICO	17
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA TÉCNICA DE DEFORMACIÓN INCREMENTAL	17
2.1.1 Recorrido de la herramienta.....	17
2.1.2 Avance	18
2.2 QUÉ ES EL PROCESO DE DEFORMACIÓN INCREMENTAL.....	19
2.3 PARTES PRINCIPALES DEL PROCESO DE DEFORMACIÓN INCREMENTAL	20
2.4 CLASES DE PROCESOS DE DEFORMACIÓN INCREMENTAL	23
2.4.1 Deformación incremental de un solo punto (SPIF)	23
2.4.2 Deformación incremental de doble punto (DPIF).....	24
3. DOCUMENTAR TODO EL PROCESO DE DISEÑO DEL DISPOSITIVO	26
3.1 IDENTIFICAR LAS NECESIDADES DEL CLIENTE	26
3.1.1 Análisis del mercado.....	26
3.1.2 Necesidades	27
3.1.3 Perfil de usuario	28

3.2 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO.....	29
3.3 DISEÑO DEL CONCEPTO	32
3.3.1 Caja negra	32
3.3.2 Descripción de la función principal.....	33
3.3.3 Estructura funcional	33
3.3.4 Matriz morfológica.....	37
3.3.5 Arquitectura del producto	39
3.3.6 Generación y selección de alternativa	41
3.3.7 Matriz de evaluación	45
3.4 DISEÑO DE DETALLE	47
3.4.1 Material	47
3.4.2 Fuerza del pisador	48
3.4.3 Fuerza de la herramienta	50
3.4.4 Velocidad angular y lineal de la herramienta	57
3.5 SELECCIÓN DE COMPONENTES	60
3.5.1 Tornillo de bolas.....	60
3.5.2 Tuerca de bolas	67
3.5.3 Motor.....	67
3.5.4 Cojinetes	68
3.5.5 Software de control	70
4. MODELAR EL DISPOSITIVO EN UN SISTEMA CAD Y CONSTRUIR PLANOS DE TALLER.....	75
5. CONCLUSIONES	76
6. RECOMENDACIONES.....	77

BIBLIOGRAFÍA.....78

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones de diseño de producto P.D.S.....	29
Tabla 2. Matriz morfológica.....	37
Tabla 3. Ventajas y desventajas de las diferentes rutas	39
Tabla 4. Matriz de evaluación de las alternativas de diseño.....	46
Tabla 5. Propiedades mecánicas de los aceros.....	48
Tabla 6. Aproximación de costos	69

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Recorrido de la herramienta de un cono girado.....	17
Ilustración 2. Figuras hechas con diferentes avances	18
Ilustración 3. Secuencia del proceso de deformación incremental	20
Ilustración 4. Sistema completo de deformación incremental	21
Ilustración 5. Partes principales del mecanismo	23
Ilustración 6. Método SPIF.....	24
Ilustración 7. Método DPIF	25
Ilustración 8. Caja negra	32
Ilustración 9. Estructura funcional propuesta	36
Ilustración 10. Alternativa 1.....	41
Ilustración 11. Alternativa 2.....	42
Ilustración 12. Alternativa 3.....	42
Ilustración 13. Alternativa 4.....	43
Ilustración 14. Alternativa 5.....	43
Ilustración 15. Alternativa 6.....	44
Ilustración 16. Alternativa 7.....	44
Ilustración 17. Alternativa 8.....	45
Ilustración 18. Extremos en fuerzas del pisador y consecuencias.....	49
Ilustración 19. Fuerza ejercida por la herramienta	51
Ilustración 20. Fuerzas que actúan sobre la herramienta	52
Ilustración 21. Escenarios a analizar	52
Ilustración 22. Dispositivo para pruebas	55
Ilustración 23. Montaje de medición.....	56
Ilustración 24. Ensayo.....	59
Ilustración 25. Configuración del tornillo	61
Ilustración 26. Características de la tuerca	67
Ilustración 27. Cojinete seleccionado.....	68

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Medición de fuerzas durante todo el proceso.....	53
Gráfica 2. Fuerzas en escenario 2.....	54
Gráfica 3. Ensayo	57
Gráfica 4. Velocidad pico y media.....	62
Gráfica 5. Gráfica velocidad crítica	64
Gráfica 6. Gráfica fuerza de columna	66

RESUMEN

Este proyecto se enfoca en el diseño y modelación de un dispositivo para la aplicación de la técnica de deformación incremental basado en unos requerimientos que tiene la universidad EAFIT.

El proyecto se inicia con el estudio de las variables que influyen en este proceso y la forma en que afecta el resultado final, esto con el objetivo de conocer más sobre el proceso que se va a emplear.

Una vez se conozca como es el funcionamiento de este, se realizará un proceso de diseño que consta de 4 pasos: diseño formal, diseño conceptual, diseño de detalle y modelación basado en la metodología que propone Stuart Pugh, lo cual nos llevará por un flujo de varias opciones de soluciones, las cuales por medio de una evaluación arrojará la mejor opción, generando así como resultado un buen diseño para el dispositivo.

Para dar soporte a este proceso de diseño, se realizarán los cálculos que se consideren esenciales para el diseño del dispositivo. Una vez esté definido se procederá a modelarlo en un sistema CAD (Proengineer) con todos los parámetros especificados de forma tal que se pueda realizar la construcción si se desea.

INTRODUCCION

Deformación incremental es un proceso desconocido en nuestro país y especialmente en la ciudad de Medellín, ya que no se conoce ninguna empresa que muestre este método de trabajo.

El proceso consiste en la deformación incremental de una lámina metálica, mediante el uso de una herramienta de punta esférica. El objetivo final es fabricar pequeños lotes de piezas huecas con la lámina sin el uso de dados o matrices, los cuales aunque se emplean en los métodos convencionales, sirven para grandes producciones y generan costos elevados para las compañías.

La técnica de deformación incremental genera grandes ahorros en las empresas manufactureras debido a que los costos más altos en las que estas incurren son los de utillaje. Vale la pena aclarar que este proceso es válido y útil para la fabricación de lotes pequeños de producción y prototipaje rápido.

Se busca emplear todos los conocimientos del área de diseño vistos en el transcurso de la carrera para modelar un dispositivo que logre satisfacer una necesidad requerida por el cliente, que en este caso es la universidad EAFIT.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un dispositivo que permita la manufactura de partes en lámina metálica utilizando la técnica de deformación incremental.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Documentar información sobre el proceso de deformación incremental.
- Documentar todo el proceso de diseño del dispositivo.
- Modelar el dispositivo en un sistema CAD y construir planos de taller.
- Conclusión de los objetivos.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La técnica de embutición es un proceso de conformado en frío en el cual una lámina metálica se deforma plásticamente hasta lograr una pieza hueca por medio de presión. (EMB@,2009)

En este proceso la lámina se pone en un anillo de centrado que esta fijo a la matriz, con el objetivo de centrarla, posteriormente se empuja por un anillo pisador contra la matriz, lo que evita que se presenten arrugas en el momento que el punzón haga presión, finalmente el punzón de embutición baja ejerciendo presión a la lámina, deformándola y dándole la forma de la matriz (PRO@2004).

La embutición es utilizada en todo el mundo en grandes volúmenes de producción ya que estos ameritan los gastos que se producen al implementar este proceso, pero cuando se necesitan hacer prototipos que muestren un modelo o series de producción cortas los gastos de fabricación de matrices para estos darían pérdidas para las empresas, de estas necesidades surge un proceso ágil que permite elaborar figuras de diversas geometrías sin incurrir en estos costos.

La tecnología de deformación incremental es un proceso en frío que busca transformar mediante repulsado (repujado) incremental y sin presencia de matrices una lámina metálica en cualquier patrón o forma sin importar su complejidad.

La deformación incremental parte de un software 3D en el cual se modela la geometría de la pieza o patrón que se quiere producir, dicho software divide la geometría modelada en diferentes planos normales a su eje vertical. La diferencia entre estos planos es el incremento que va a realizar la herramienta o la mesa mientras la lámina se deforma a la forma preestablecida. La silueta que sigue la herramienta en cada plano es transformada en información para el control numérico y estos a los controladores que hacen que el dispositivo se mueva.(PRO@2004)

La creación de un dispositivo para la técnica dieless exige el desarrollo de varios aspectos o etapas del proyecto como documentar el proceso de la técnica, lo que permite identificar los elementos esenciales para el desarrollo del proyecto y también entender su funcionamiento antes de empezar la modelación de elementos y experimentos de prueba.

Con esta información se puede dividir el proyecto en dos partes: la primera el sistema de sujeción de la lámina que exige la elección de un mecanismo de sujeción mecánico o neumático que mantenga la lámina fija mientras esta es deformada garantizando que la fuerza de pisado no sea demasiado fuerte que

fracture la lámina ni demasiado débil que no la sostenga, debe de ser una fuerza que deje fluir el material.

La segunda parte es la elección del mecanismo que va a realizar los incrementos en el eje z que requiere esta técnica, el cual puede ser neumático, por medio de un motor o manual. La idea es que este incremento sea lo más pequeño posible ya que esto garantizaría que la geometría de la pieza final quede lo más detallada que se pueda.

La técnica dieless puede realizar infinidad de geometrías, pero para empezar el proyecto se deberá definir una geometría que no sea muy compleja de elaborar, tales como los cuadrados o círculos con volumen

Como se puede ver, el proyecto requiere del manejo de numerosas variables y elementos mecánicos, lo que hace necesario invertir mucho tiempo en pruebas de laboratorios para hacer ensayos y en la modelación del mecanismo junto a un acompañamiento constante del asesor para la verificación de que todos los sistemas cumplan lo requerido.

1.4 METODOLOGÍA

La metodología de este proyecto se realizara en varias etapas, las cuales nos llevarán a tomar diferentes conceptos y pensamientos, los cuales poco a poco harán que se formen ideas que nos encaminarán hacia una mejor orientación con el fin de realizar un trabajo de alta calidad y obtener los resultados esperados.

Las etapas a desarrollar son:

- Búsqueda bibliográfica para documentar el funcionamiento del proceso.
- Construir el proceso de diseño

- Consultar mecanismos comerciales que faciliten el diseño del dispositivo.
- Con la ayuda de una herramienta CAD realizar el modelado del dispositivo para proceder a su fabricación.
- Realizar pruebas.
- Analizar resultados.

El desarrollo de esta técnica se llevará a cabo en los laboratorios de maquinado de la universidad EAFIT; estas instalaciones cuentan con los recursos necesarios para la fabricación, ensayo y desarrollo de todas las etapas del proyecto.

La elaboración del proyecto muestra que es necesario fijar reuniones periódicas con el asesor del proyecto, con el fin de velar, controlar y dar cumplimiento a los objetivos allí planteados, así como también observar el avance en el cronograma para no tener complicaciones en el transcurso de este.

2. MARCO TEORICO

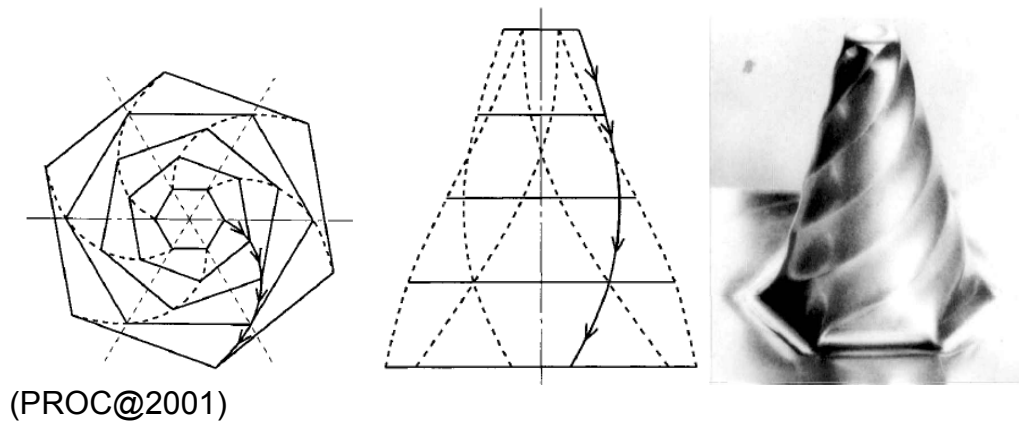
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA TÉCNICA DE DEFORMACIÓN INCREMENTAL

Antes de analizar cómo funciona el proceso de deformación incremental, de que se compone y cuáles son sus partes principales, es necesario entender algunos conceptos que se mencionaran a lo largo del trabajo, estos son:

2.1.1 Recorrido de la herramienta

El recorrido de la herramienta se puede considerar como el corazón del proceso, ya que aquí es donde se define la forma final de la pieza que se va a fabricar y como se va a fabricar, consiste en coger la geometría de la pieza y dividirla en un número n de planos perpendiculares a la herramienta de trabajo y con una separación entre ellos que denominaremos avance. Estos planos van a ser recorridos por la herramienta hasta completar la figura.

Ilustración 1. Recorrido de la herramienta de un cono girado

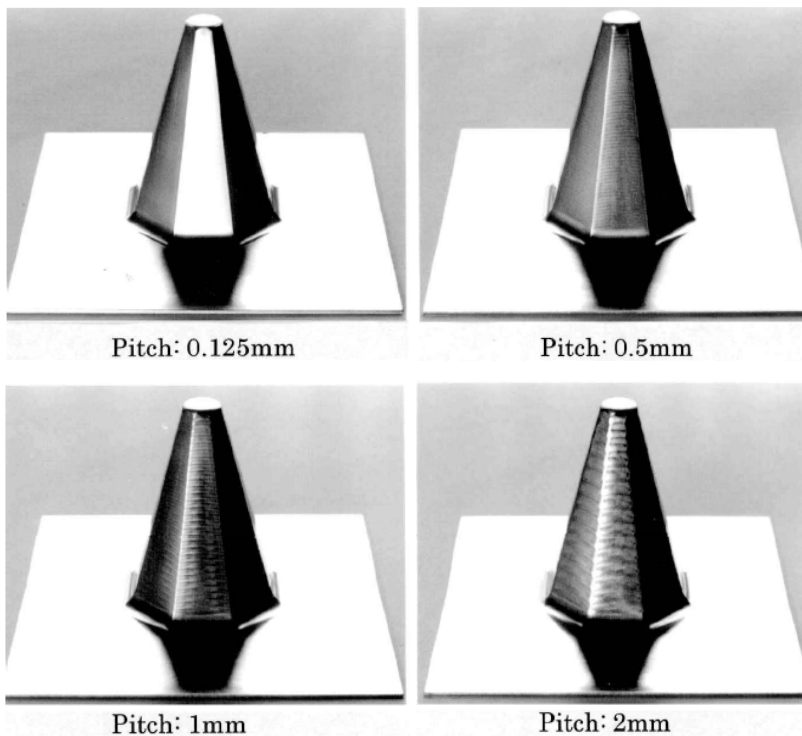


2.1.2 Avance

El avance es la profundidad con la que se va a mover la herramienta cada que termine una silueta o recorrido de la figura en un plano. La calidad de la figura resultante tiene una seria dependencia del avance de la herramienta, mientras más pequeño sea este avance, mejor y más precisa quedará la figura predeterminada ya que habrá más planos, por lo tanto habrá más detalle.

En caso contrario, si tenemos un avance muy grande, la distancia entre plano y plano será más grande, por ende, la figura será más burda. En la siguiente figura se mostrará esta diferencia con avances de 0.125mm, 0.5mm, 1mm, 2mm respectivamente.

Ilustración 2. Figuras hechas con diferentes avances



(PROC@2001)

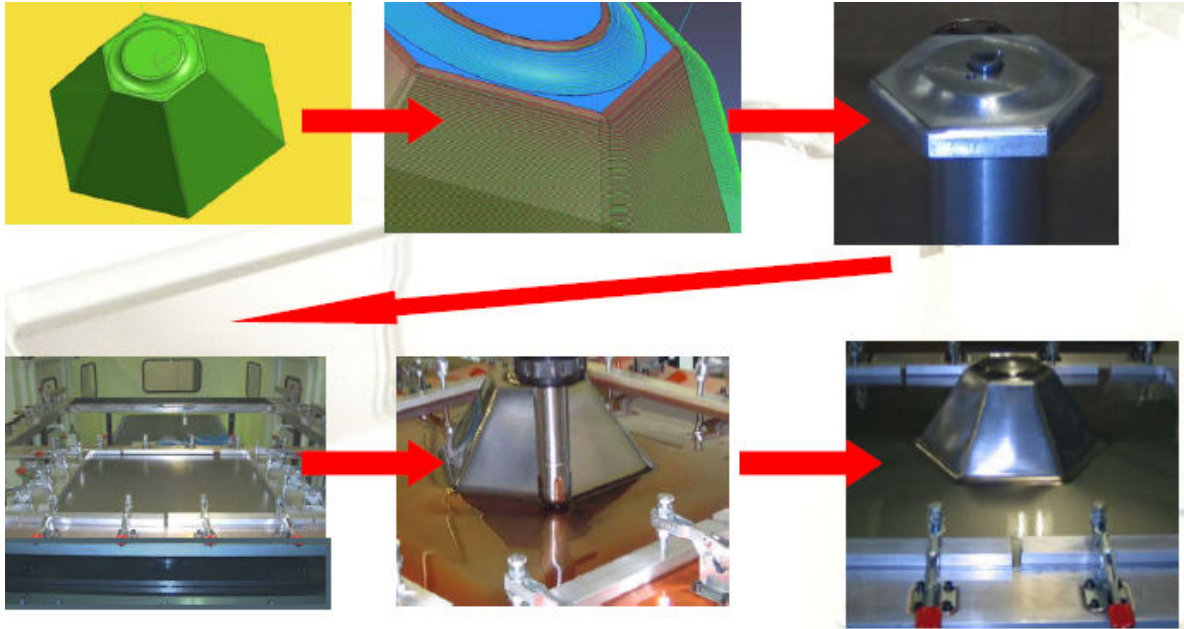
2.2 QUÉ ES EL PROCESO DE DEFORMACIÓN INCREMENTAL

El proceso de deformación incremental en láminas metálicas es una técnica nueva que nace de la necesidad de realizar series de producción corta y prototipos sin incurrir en costos de utillaje.

Esta técnica hace que se presente notoriamente una reducción en los costos, reflejando así una ventaja en la baja reproducibilidad y la alta dependencia manual que tienen los procesos manuales e híbridos con los que se producen la mayoría de piezas metálicas en la actualidad. Es un proceso flexible, totalmente automatizado que garantiza la producción de piezas de geometrías complejas sin una inversión muy alta. Dieless forming está siendo altamente aplicada en muchos tipos de industrias especialmente en el sector automotriz, aeronáutico y ferroviario ayudando a producir de una manera más fácil y económica

El proceso comienza con la definición de la geometría de la pieza en un software CAD. La pieza es dividida por el programa en diferentes planos los cuales están separados por un incremento definido con anterioridad, luego la lámina a trabajar es sujeta por todo su contorno por unos pisadores mecánicos o neumáticos que permiten que se presente una deformación plástica y no elástica en el momento de ejercer presión. Por último una herramienta de punta esférica recorre la silueta de la pieza en cada plano deformándola hasta que quede la figura preestablecida en el modelo.

Ilustración 3. Secuencia del proceso de deformación incremental

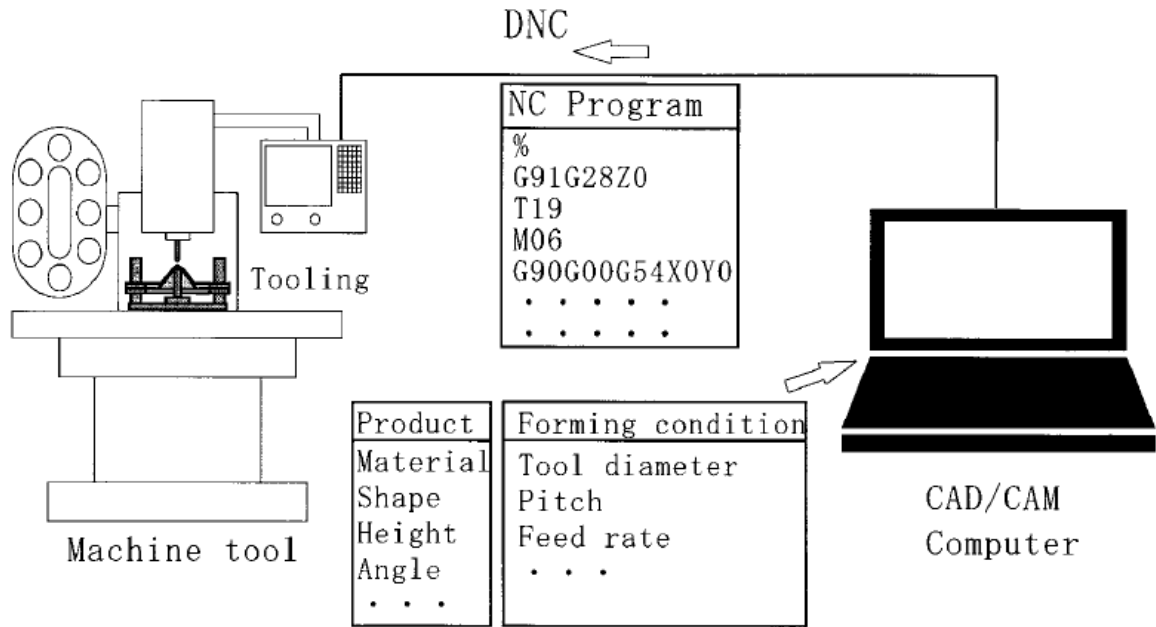


(FOR@2007)

2.3 PARTES PRINCIPALES DEL PROCESO DE DEFORMACIÓN INCREMENTAL

El sistema completo del proceso de deformación incremental empieza con un ordenador que este dotado de un sistema CAD/CAM donde se definen todas las variables del proceso como: tipo de material a trabajar, forma, altura, ángulos, diámetro de la herramienta, avance, velocidad de giro entre otras. Luego es necesario un programa NC que transforma la información digitada en el sistema CAD/CAM a un lenguaje que entienda la herramienta para que esta pueda realizar las funciones especificadas. Por último contar con la herramienta, con la cual se trabajará físicamente el material.

Ilustración 4. Sistema completo de deformación incremental



(PROC@2001)

Si se hace un zoom en la parte de la herramienta se puede identificar dos partes fundamentales, una es la herramienta como tal la cual es controlada por el ordenador y es la que genera la deformación en la lámina, la otra es el dispositivo donde va la lámina de trabajo que es donde este proyecto se va a enfocar.

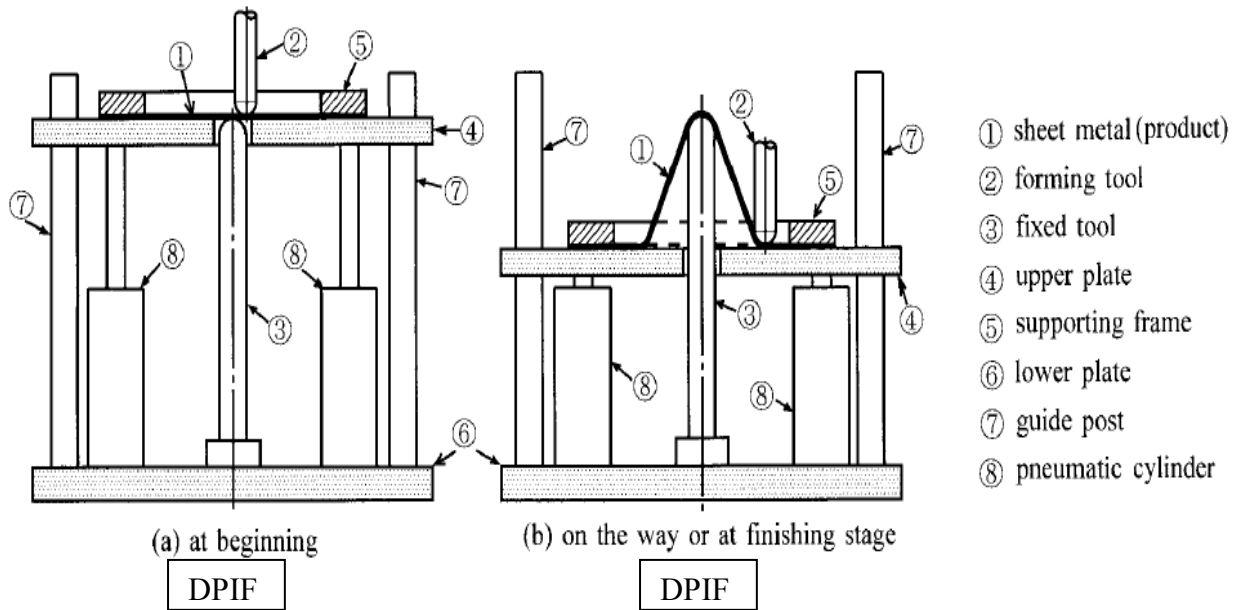
Las partes principales del dispositivo mencionado para la técnica de deformación incremental son:

- La lámina que se desea trabajar, esta puede ser de cualquier material apto para embutición, preferiblemente un material dúctil que permita una fácil deformación para no desgastar mucho la herramienta.
- La herramienta con la que se va a deformar la lámina, esta debe ser puesta en posición vertical, tiene punta esférica la cual gira para facilitar la deformación al ejercer presión sobre la lámina. Es recomendable que el diámetro de la esfera

sea pequeño debido a que la presión estaría distribuida en un área menor, lo cual facilitaría el proceso.

- El molde, es la ayuda que tiene la herramienta en el proceso DPIF para deformar la lámina. El proceso SPIF no cuenta con este elemento.
- El plato superior, es el sitio donde se va a poner la lámina de trabajo y también la que asume el movimiento de los incrementos en z que son fundamentales en este proceso, dichos incrementos se pueden dar gracias a diferentes tipos de mecanismos.
- El mecanismo pisador sujeta la lámina en todo su contorno con el objetivo que cuando se ejerza presión sobre esta por parte de la herramienta, presente resistencia y se deforme. Los pisadores pueden ser mecánicos o neumáticos.
- La bancada, es donde está anclado todo el mecanismo y hace que esté estable y compacto.
- Los postes guías, son barras que pasan a través del plato superior garantizando que este solo presente movimiento hacia arriba y hacia abajo, lo cual garantiza que la pieza quede con la geometría establecida.
- El sistema de movimiento en z es el mecanismo que me permite mover el plato superior arriba o abajo según se halla especificado en el software CAD.

Ilustración 5. Partes principales del mecanismo



(PROC@2001)

2.4 CLASES DE PROCESOS DE DEFORMACIÓN INCREMENTAL

El objetivo básico del proceso de deformación incremental es producir una figura deseada mediante movimientos controlados de una herramienta con respecto a una lámina la cual también se mueve, pero este resultado se puede obtener mediante dos variaciones del proceso las cuales se explicarán a continuación.

2.4.1 Deformación incremental de un solo punto (SPIF)

En este método la lámina de trabajo está anclada a una estructura que a su vez, está sujeta a una mesa que hace parte de una máquina de control numérico, esta también posee la herramienta de trabajo con la que se hará la deformación en la lámina hasta obtener la figura deseada. La deformación con el método SPIF se crea desde la periferia de la figura hasta el centro de esta por una presión constante ejercida por la herramienta sobre la lámina mientras esta realiza el recorrido de la figura, sin la ayuda de un soporte formador del contorno. Una vez

termine la primera silueta o primer recorrido, se hace un incremento en z y se repite todo el proceso hasta terminar la figura.

Ilustración 6. Método SPIF



Fuente propia

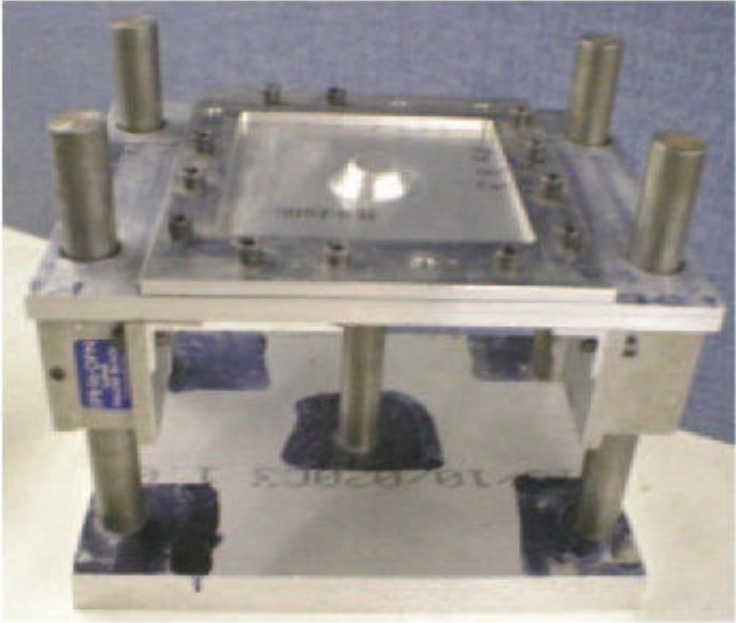
2.4.2 Deformación incremental de doble punto (DPIF)

En este método el producto es hecho de la misma manera del método anterior, con la diferencia de que la herramienta se mueve y deforma la lámina desde el centro hacia fuera. Además de esto, este método cuenta con la ayuda de un semi dado en el centro que lo ayuda a facilitar un poco la obtención de la figura.

El diseño del dispositivo del método (DPIF) es un poco diferente. Este cuenta con una placa donde se sitúa la lámina de trabajo, la cual tiene movimiento en el eje z y está dirigida por 4 postes guías que garantizan un movimiento lineal.

El proceso se hace de la siguiente manera: primero la herramienta hace la silueta superior central de la figura contra el dado parcial que está en el centro de la base del dispositivo, luego la pieza móvil donde se encuentra la lámina baja con el objetivo de templarla y evitar que esta se arrugue, luego baja al plano siguiente y repite el mismo proceso hasta que se completa la figura deseada.

Ilustración 7. Método DPIF



(PROC@2007)

3. DOCUMENTAR TODO EL PROCESO DE DISEÑO DEL DISPOSITIVO

Antes de pensar en la modelación del dispositivo es importante entender y desarrollar ciertos factores principales. Dichos factores son:

- Identificar las necesidades del cliente
- Las especificaciones del producto
- Diseño del concepto
- Diseño de detalle

3.1 IDENTIFICAR LAS NECESIDADES DEL CLIENTE

El diseño nace para suplir una necesidad de una persona o grupo de personas, por ende lo primero que se debe hacer es un estudio de mercado e identificar el perfil de nuestros posibles usuarios para saber cuáles son sus necesidades y poder identificar los requerimientos que debe tener nuestro producto.

3.1.1 Análisis del mercado

El diseño y desarrollo de un nuevo producto va siempre precedido de un análisis del mercado. Es lógico que antes de incurrir en los costos de creación y producción se estudie si este se va a vender, como se va a vender y a quien se va a vender. Todo con el objetivo de saber cuáles son los requerimientos que tiene el mercado sobre el producto con el que se busca satisfacer una necesidad.

En este caso el diseño del dispositivo ya tiene un cliente definido por decirlo de alguna manera. Este es la universidad EAFIT, la cual busca incursionar en esta técnica comenzando con pequeños experimentos con miras de ampliar su portafolio de servicios e incluirlo en la academia para beneficio de sus estudiantes.

Esto evita indagar en el mercado para buscar las necesidades, ya que las necesidades de nuestro producto fueron dadas desde un principio.

3.1.2 Necesidades

Las necesidades se conocen como lo que debe cumplir un producto y así serán expresadas a continuación, para posteriormente formar con ellas las especificaciones de diseño de producto (PDS). Las necesidades planteadas son:

- Que el alto máximo sea 300mm.
- Que el largo máximo sea 370mm.
- Que el ancho máximo sea 370mm.
- Que siempre comience a operar desde la misma posición.
- Que los movimientos (lineales) que tiene que hacer sean cada 2mm en el eje z.
- Que trabaje con bajo consumo de energía.
- Que el material de fabricación sea rígido.
- Que el dispositivo sea estable.
- Que el dispositivo sea preciso.
- Que sea totalmente desarmable.
- Que sea liviano.
- Que sea económico.
- Que tenga fácil mantenimiento.
- Que el material que se va a utilizar en el dispositivo sea dúctil.
- Que no necesite más de una persona para operarlo.
- Que sea fácil de transportar.
- Que sea seguro para el operario.

- Que sea seguro para el entorno de operación.
- Que sea automático.
- Que se puedan fabricar piezas tanto por SPIF como por DPIF.
- Que la presión sobre la lámina sea uniforme.

3.1.3 Perfil de usuario

En un proceso de diseño es indispensable conocer el perfil del usuario que manejará el producto ya que esto puede delimitar ciertos aspectos en el momento de diseñar.

El usuario principal de este dispositivo son las personas que lo diseñan y lo modelan ya que el diseño de este dispositivo se hace con el fin de realizar algunas pruebas simples y mostrar que el proceso funciona.

También en la universidad existen personas que trabajan en el laboratorio de herramientas que pueden ser los futuros usuarios del dispositivo, pensando en ellos se dará una breve descripción de su perfil.

Este usuario es una persona por lo general hombre entre 20 y 40 años de edad, con un estrato socioeconómico medio bajo de 2 a 3. En cuanto a sus estudios, la mayoría son bachilleres con tecnologías o cursos en instituciones como el Sena, los cuales les ofrecen conocimientos que se forman las bases para su vida laboral. A pesar de que no son profesionales, la experiencia les ha dado enormes conocimientos en temas como los son: el procesos de manufactura y tecnología aplicada a esto, lo que les permite operar maquinaria automatizada por medio de un software de control en donde se definen las variables del proceso y se deja la máquina sola para realizar la parte física. Dejando un poco de lado los procesos manuales que cada vez son más escasos.

De lo anterior se puede deducir que el producto no tiene que ser manual debido a que los usuarios tienen capacidades en tecnología lo que hace posible pensar en una interface entre el usuario y la máquina que nos permita realizar procesos de deformación más ágiles y con mejor calidad.

3.2 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Una vez obtenida la lista de necesidades planteada por el cliente, en este caso EAFIT, se procede a organizarlas en una matriz llamada PDS o matriz de especificaciones de diseño de producto, en la cual se les dará una calificación cualitativa de necesidad (N) o deseo (D).

Tabla 1. Especificaciones de diseño de producto P.D.S

ELEMENTO	NECESIDADES	NECESIDAD (N) O DESEO (D)	INTERPRETACION	REQUERIMIENTOS
GEOMETRÍA	Que el alto máximo sea de 300mm	N	Se necesita que el dispositivo no exceda los 300mm de altura aunque puede ser de menos	Altura no mayor a los 300mm
	Que el ancho máximo sea de 370mm	N	Se necesita que el dispositivo no exceda los 370mm de ancho aunque puede ser de menos	Ancho no mayor a los 370mm
	Que el largo máximo sea de 370mm	N	Se necesita que el dispositivo no exceda los 370mm de largo aunque puede ser de menos	Largo no mayor a los 370mm

OPERACIÓN	Que siempre comience a operar desde la misma posición	N	Se necesita que la maquina siempre que vaya a iniciar un proceso valla a un inicio determinado	Mismo punto de inicio
	Que los movimientos sean cada 2mm	D	Se desea que los movimientos sean cada 2mm	Avances finos
	Que el dispositivo sea preciso	N	El dispositivo tiene que ser preciso	Movimientos precisos
	Que sea automático	D	Se quiere un dispositivo automático no manual	Proceso automático
	Que no necesite más de una persona para operarlo	N	Se necesita que se opere por una sola persona	Un solo operario
SEGURIDAD	Que sea seguro para la persona que lo opere	N	Se necesita un dispositivo seguro para el operario	Bajo riesgo para el operario
	Que sea seguro para el entorno donde se opere	N	Se necesita dispositivo seguro para el entorno	Bajo riesgo para el entorno de operación
DISEÑO	Que trabaje con bajo consumo de energía	D	Se desea que el consumo de energía del dispositivo sea poco	Bajo consumo de energía
	Que sea liviano	D	El material no debe ser muy pesado para fácil uso	Estructura liviana
	Que sea fácil de transportar	D	Se quiere un dispositivo fácil de movilizar de un lugar a otro	Fácil de movilizar

	Que el material de fabricación sea rígido	N	Se necesita un material rígido para la construcción	Estructura rígida
	Que la presión sobre la lamina sea uniforme	N	Se necesita que la presión que sujeta la lamina sea uniforme en toda el área de sujeción	Presión uniforme
	Que el dispositivo sea estable	N	El dispositivo tiene que ser estable para garantizar buenos productos	Estructura estable
	Que se puedan fabricar piezas tanto por SPIF como por DPIF	D	Que tenga posibilidad de cambiar de método	Métodos SPIF y DPIF posibles
	Que tenga fácil mantenimiento	D	Que se le pueda hacer mantenimiento de una manera rápida y sencilla	Simple Mantenimiento
	Que sea totalmente desarmable	N	El dispositivo debe ser modular para poder armar y desarmar	Dispositivo modular
	Que el material que se va a utilizar en el dispositivo sea dúctil	N	El material que se va a trabajar en el dispositivo debe de ser dúctil para que sea fácil de deformar	El material de trabajo debe ser dúctil
COSTOS	Que sea económico	D	Deseamos que el diseño completo no cueste más de 700000	Costo máximo deseado 700000

3.3 DISEÑO DEL CONCEPTO

Lo que se busca en la etapa de diseño del concepto de este producto es entenderlo desde su funcionamiento independiente de la forma que tenga o los mecanismos que utilice. Esto nos permite evaluar diferentes propuestas de soluciones al problema inicial teniendo siempre como objetivo el cumplimiento de lo esencial.

3.3.1 Caja negra

La caja negra es una representación gráfica de la función principal del proceso donde se muestran cuales son las entradas del proceso y que resultados se obtienen a partir de estas entradas. Esta representación es en resumen lo que el dispositivo debe cumplir (para lo que va a ser modelado).

En nuestro caso la función principal del dispositivo es **transformar** debido a que el objetivo es transformar una lámina metálica en una figura con una geometría diferente.

Ilustración 8. Caja negra



3.3.2 Descripción de la función principal

Como está expresado en la caja negra, la función principal de nuestro diseño es transformar una lámina metálica en una figura de lámina. Lo que se describirá a continuación es el conjunto de actividades que necesita realizar el dispositivo con el objetivo de realizar esta transformación.

Lo primero es ubicar la lámina metálica en su posición de trabajo y fijarla al soporte superior para que así esta quede ubicada y fija durante todo el proceso, una vez hecho esto, el dispositivo debe censar la posición inicial del soporte superior con el objetivo de que el proceso siempre empiece en la misma posición sin importar en donde este al inicio del proceso. Si el soporte está en la posición correcta la herramienta puede empezar a trabajar sobre la lámina, de lo contrario, el dispositivo debe ubicar la lámina en la posición correcta para que ésta pueda comenzar a realizar su trabajo.

Una vez la herramienta comience, el dispositivo debe confirmar que la herramienta terminó la primera silueta o primer recorrido; si la terminó, la placa superior se debe mover a la siguiente posición y si no la ha terminado debe esperar esta confirmación.

La secuencia repetitiva de este proceso dará como resultado la figura representada en el recorrido de la herramienta.

3.3.3 Estructura funcional

En la estructura funcional se busca partir la función principal en un grupo de sub funciones necesarias que relacionadas cumplen con la función principal, estas sub funciones se podrían interpretar como los engranajes que están dentro de la caja negra necesarios para su funcionamiento. Las funciones con su flujo se describirán a continuación.

Transformar: Esta función trabaja con energía eléctrica, mecánica o neumática y una información de avance, ya sea digital o visual. Esto lo convierte en ruido, calor y energía rotacional.

Convertir: Aquí se convierte el movimiento rotacional en unas reacciones que van a la estructura y en movimiento lineal que mueve la lámina.

Guiar: Este movimiento lineal se debe direccionar dando como resultado un movimiento en la dirección correcta y reacciones que van a la estructura.

Soportar: Aquí llegan todas las fuerzas de reacción del proceso y se transmiten a la tierra.

Ubicar: Esta función se hace mediante fuerza humana y la información de unas guías para obtener una lámina ubicada en la posición correcta.

Soportar: Acá entra la lámina ya ubicada y se sostiene en una placa donde se va a realizar todo el proceso.

Presionar: Esta función cuenta con la lámina ubicada y soporta una fuerza humana que es transmitida por medio de tornillos, dando como resultado una lámina fija lista para ser trabajada.

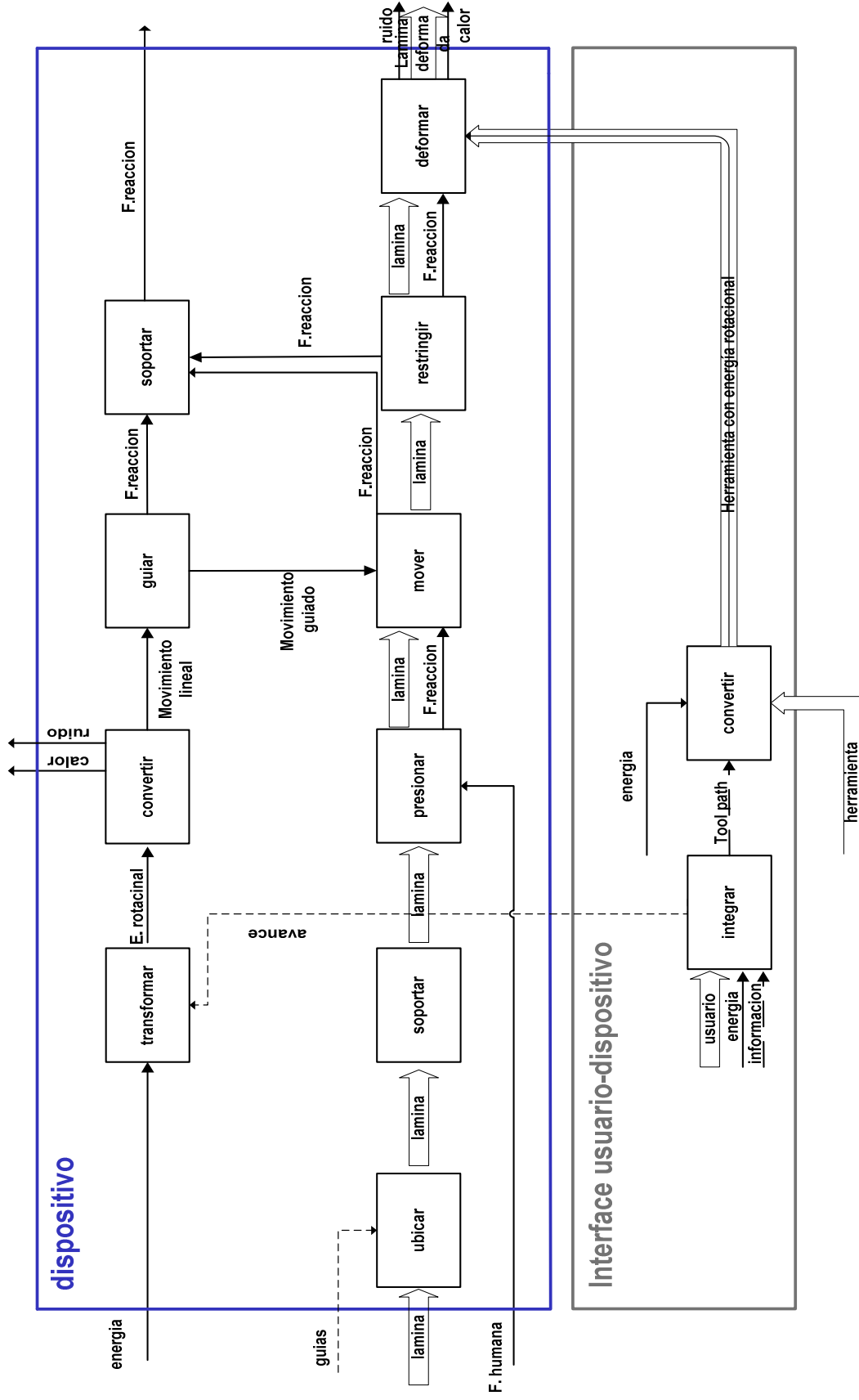
Mover: Tiene como entradas la lámina lista para trabajar, un movimiento ya direccionado por las guías y una información del avance que debe realizar la placa luego de que trace la silueta de cada plano.

Restringir: Se trata de ayudar a la deformación de la lámina por medio de un semidado que restringe el movimiento de esta, saliendo unas fuerzas de reacción que deformaran la lámina y otras que terminaran en la estructura.

Deformar: Entra en el sistema un elemento externo al dispositivo, la herramienta que junto a las fuerzas de reacción que genera el dispositivo de restricción de movimiento producen una lámina deformada acompañada de calor y ruido.

Todas las funciones mencionadas anteriormente se mostraran indicando la relación entre ellas, también se mostrará el límite en el que empieza y termina el dispositivo y donde está la interface entre el usuario y el dispositivo.

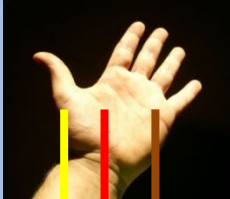

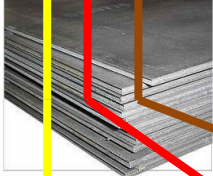
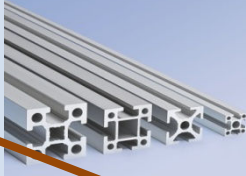







Ilustración 9. Estructura funcional propuesta

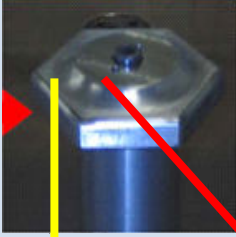
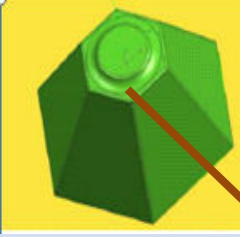

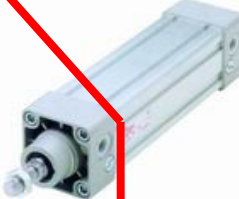


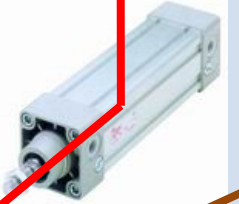



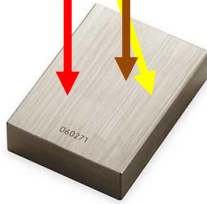
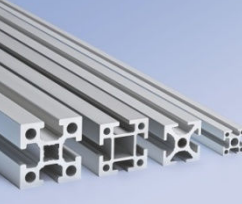
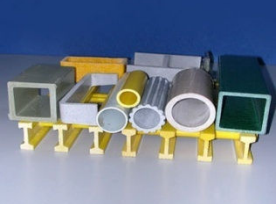


3.3.4 Matriz morfológica

El objetivo de la matriz morfológica es observar posibles elementos que pueden desempeñar las diferentes sub funciones descritas en la estructura funcional anterior, con el fin de combinarlas y obtener una serie de posibles diseños del dispositivo. Estos se evaluarán y se seleccionará el mejor diseño.

Tabla 2. Matriz morfológica

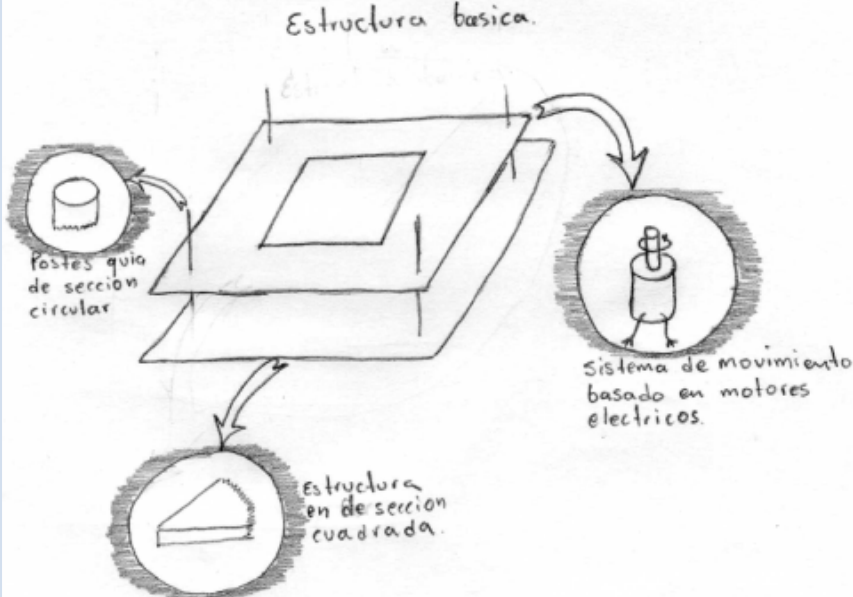
FUNCION	PORTADOR 1	PORTADOR 2	PORTADOR 3
UBICAR			
SOPORTAR			
PRESIONAR			
TRANSPORTAR			
RESTRINGIR			

<p>DEFORMAR</p>			
<p>TRANSFORMAR</p>			
<p>CONVERTIR</p>			
<p>GUIAR</p>			
<p>SOPORTAR</p>			

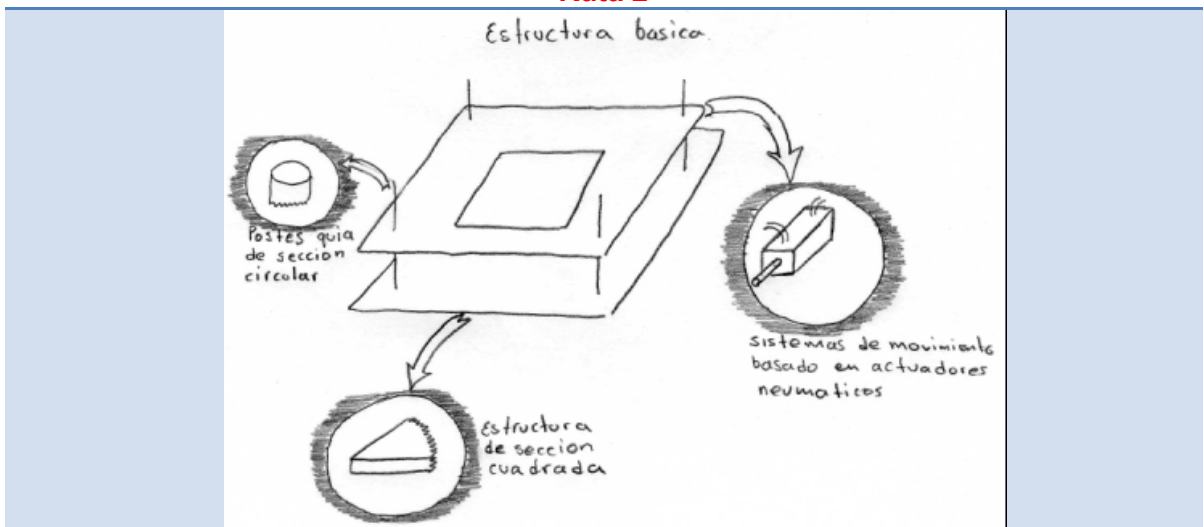
3.3.5 Arquitectura del producto

Con las rutas seguidas en la matriz morfológica se procede a crear una tabla donde se muestra la configuración de cada ruta y muestra las ventajas y desventajas de cada una.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de las diferentes rutas

Ruta 1	
	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Buena precisión• Bajo consumo de energía• Movimiento por pulsos• Movimiento automático	<ul style="list-style-type: none">• Sistemas un poco costosos• Montaje un poco complejo

Ruta 2



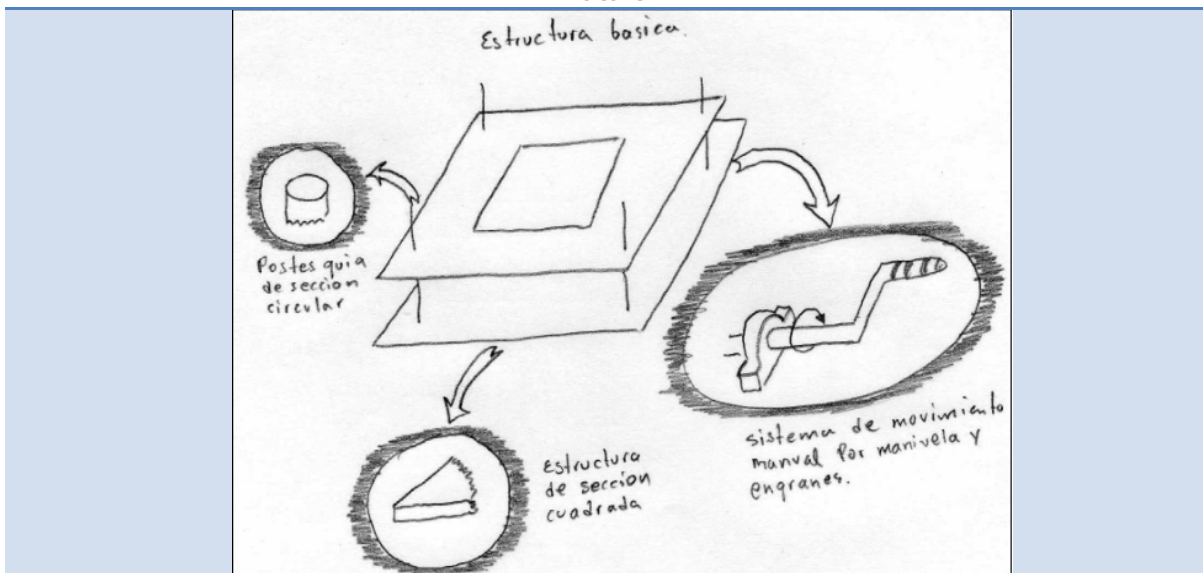
Ventajas

- Bajo consumo de energía
- Movimiento automático

Desventajas

- Sistemas un poco costosos
- Movimiento constante

Ruta 3



Ventajas

- No consume energía
- Fácil montaje
- Sistema económico

Desventajas

- Sistema impreciso
- El sistema es manual

Las rutas mostradas en la tabla 3 constan de una estructura básica y un sistema de movimiento, el cual se varió en cada ruta. Se analizaron las posibilidades de hacer el dispositivo manual, automático usando motores eléctricos o automático utilizando actuadores neumáticos. Luego de mirar las ventajas y desventajas de cada alternativa se decide que la ruta 1 es la mejor opción ya que presenta una solución muy cercana a las necesidades requeridas.

3.3.6 Generación y selección de alternativa

Desde la ilustración 8-17 se mostraron las diferentes alternativas de posibles soluciones basadas en la ruta seleccionada para posteriormente mirar como cada una puede cumplir con las necesidades descritas en el pds

Ilustración 10. Alternativa 1

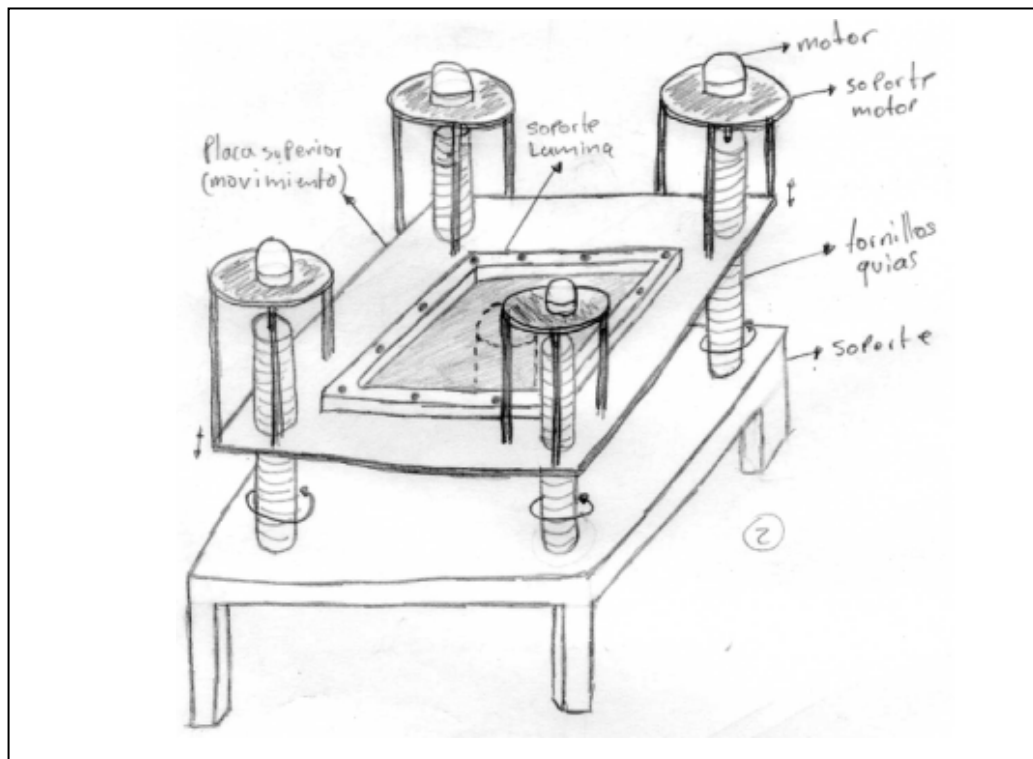


Ilustración 11. Alternativa 2

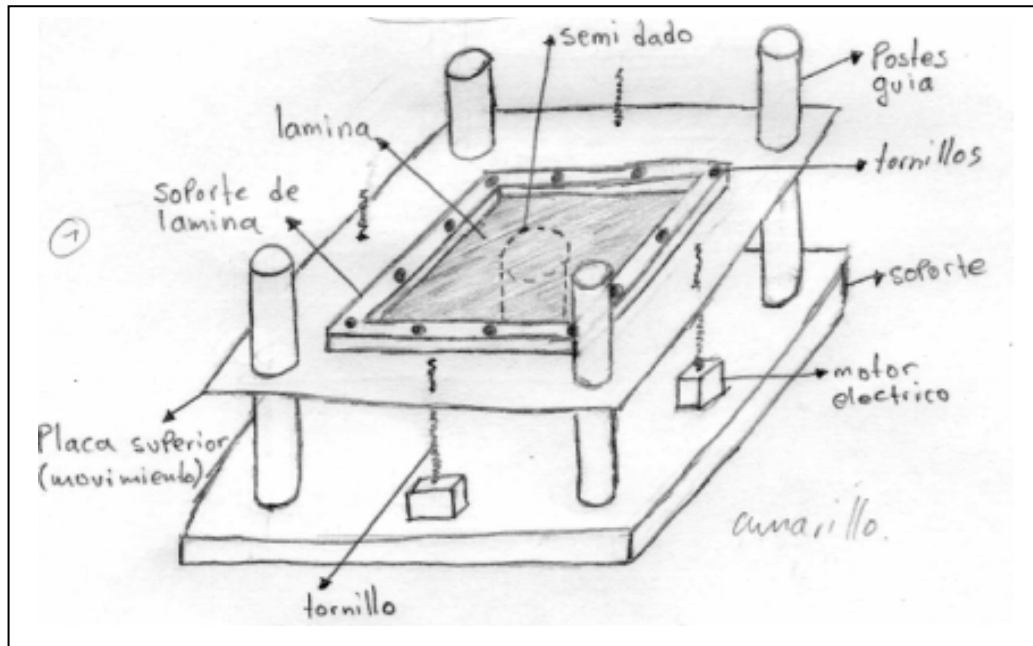


Ilustración 12. Alternativa 3

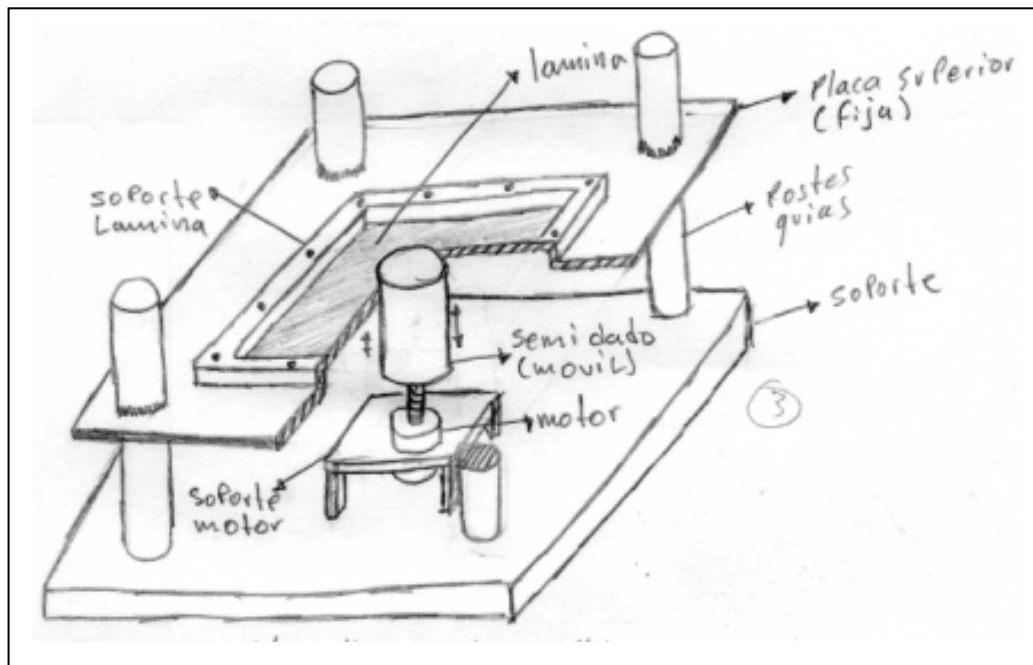


Ilustración 13. Alternativa 4

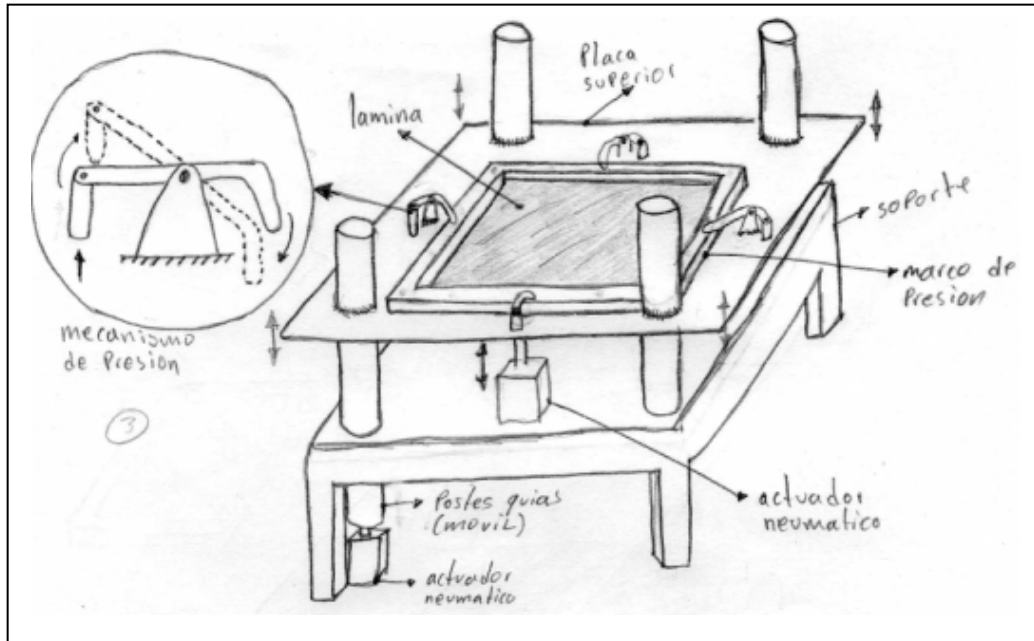


Ilustración 14. Alternativa 5

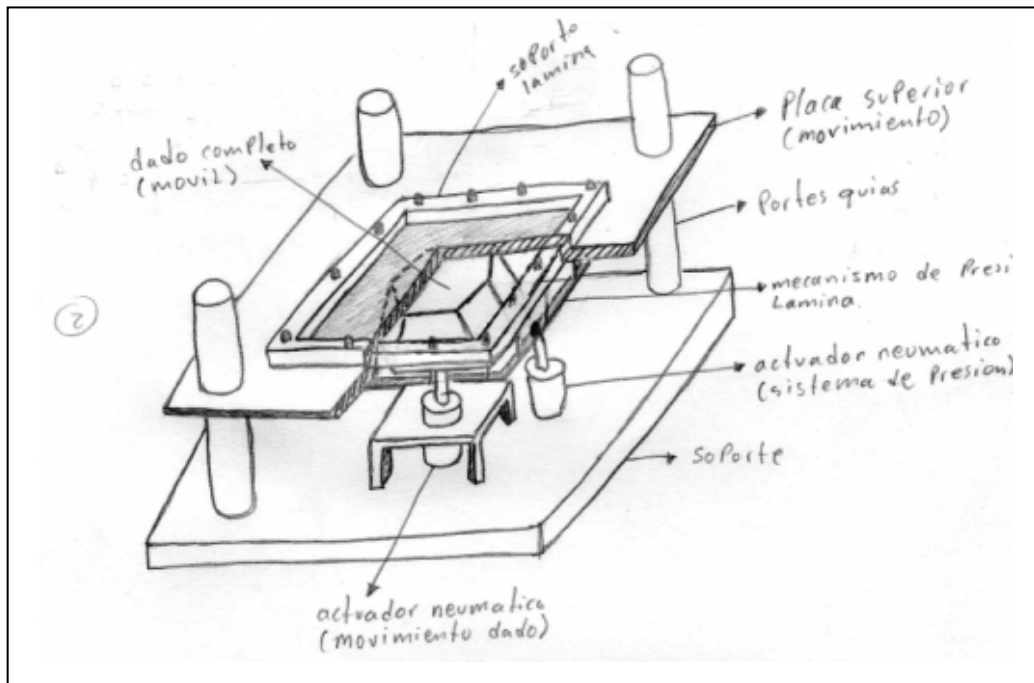


Ilustración 15. Alternativa 6

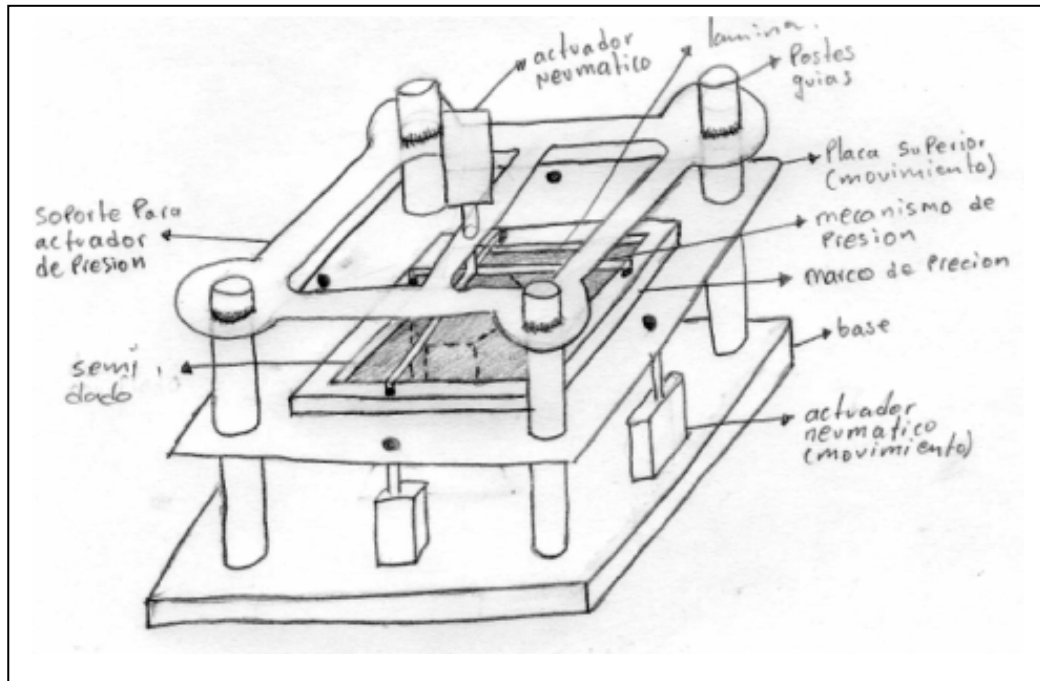


Ilustración 16. Alternativa 7

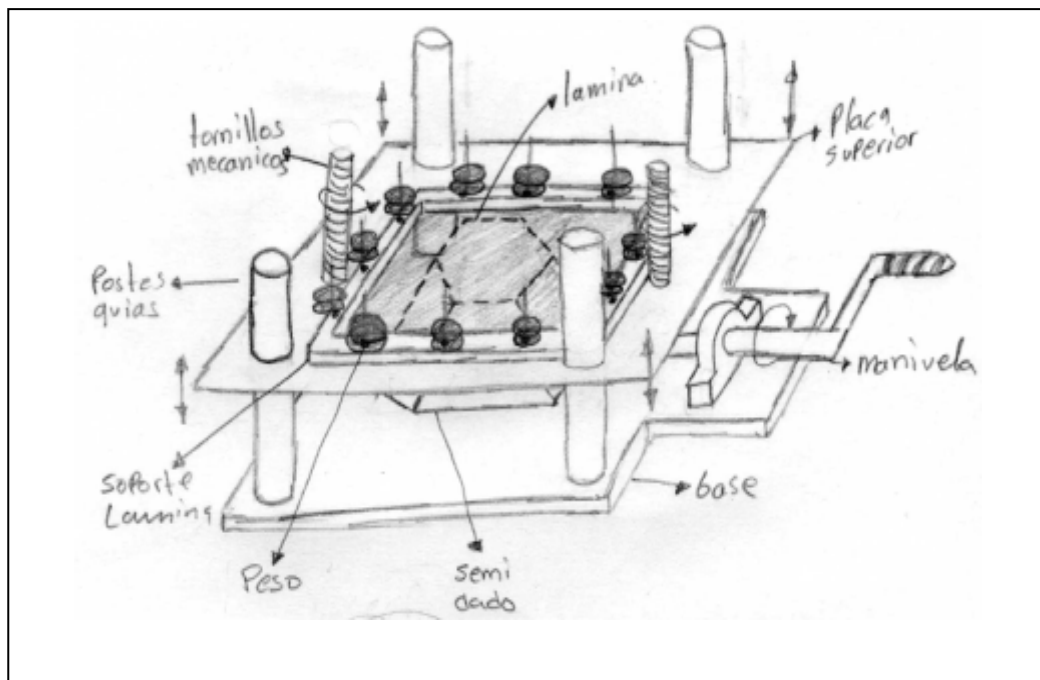
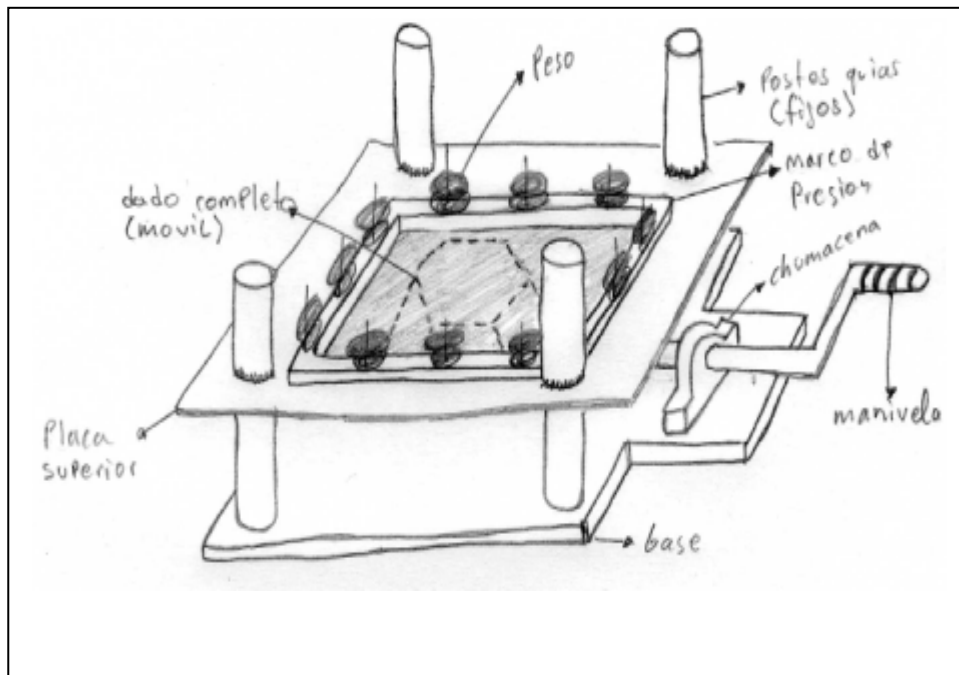


Ilustración 17. Alternativa 8



3.3.7 Matriz de evaluación

La matriz de evaluación se hace con el fin de comparar las diferentes alternativas mostradas anteriormente con las especificaciones del producto que se describieron en el PDS. Para esta evaluación se ponderó cada uno de los requerimientos según su importancia para darle más peso a los requerimientos de mayor importancia para el buen funcionamiento del dispositivo.

Cada uno de los ítems se evalúa en una escala de 0-10 según como cumpla con el requerimiento siendo 10 un resultado excelente y 0 uno pésimo. En la siguiente tabla se muestran los resultados de la matriz de evaluación y la alternativa escogida.

Tabla 4. Matriz de evaluación de las alternativas de diseño

OBJETIVO	PESO	CRITERIO	POND	ALTERNATIVA								per fec ta	
				1	2	3	4	5	6	7	8		
		Mismo punto de inicio	0.15	9	9	9	9	9	9	9	8	8	10
DESEMPEÑO	0.30	Avance fino	0.30	7	9	9	7	7	6	6	6	6	10
		Movimientos precisos	0.30	6	9	6	6	6	6	4	4	4	10
		Un solo operario	0.10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		Proceso automático	0.15	9	9	9	9	9	9	9	1	1	10
		subtotal	100%	7.6	9.1	8.2	7.6	7.6	7.3	5.3	5.3	10	
SEGURIDAD	0.15	Riesgo para el operario	0.50	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10
		Riesgo para el entorno	0.50	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10
		subtotal	100%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10
		Bajo consumo de energía	0.10	4	8	4	8	8	8	10	10	10	10
		Estructura estable	0.15	9	9	9	9	9	10	10	10	10	
		Estructura liviana	0.15	5	8	7	5	8	5	9	9	10	
		Estructura rígida	0.15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
DISEÑO	0.35	Mantenimiento simple	0.05	7	8	7	5	6	6	9	9	9	10
		Estructura modular	0.10	8	9	8	7	6	6	9	9	9	10
		Fácil transporte	0.05	7	7	7	7	7	7	7	7	7	10
		Material de trabajo (dúctil)	0.05	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		SPIF y DPIF posibles	0.05	2	9	9	6	9	9	3	3	3	10
		Presión uniforme	0.15	9	9	9	2	9	6	2	2	10	
		subtotal	100%	7.4	8.8	8.1	6.8	8.4	7.5	8	8	10	
COSTOS	0.20	Costo máximo 900000	1.0	6	8	5	4	5	4	9	9	10	
		subtotal	100%	6	8	5	4	5	4	9	9	10	
TOTAL	100%			6.37	7.71	6.59	5.76	6.52	5.91	6.49	6.49	10	

3.4 DISEÑO DE DETALLE

En esta etapa del diseño se dimensionan todos los componentes del sistema de acuerdo con sus especificaciones técnicas, analizando cada componente al detalle y especificando cuáles son sus límites de uso y su comportamiento en el momento que el dispositivo opere.

3.4.1 Material

Según las especificaciones del producto analizadas anteriormente, sabemos que el material para la construcción del dispositivo debe de ser un material rígido que garantice una excelente estabilidad y que tenga buena resistencia, siendo lo más económico posible para disminuir los costos del diseño.

Una vez hecha la evaluación de varios posibles materiales que se pueden utilizar en la fabricación del dispositivo como plásticos y metales, se decidió que el acero cumple en su totalidad con los requerimientos necesarios.

El proceso de selección del acero se hará mediante una elección de los 10 aceros comerciales, a los que se les estudiarán algunas propiedades mecánicas.

Como el mecanismo no va a soportar fuerzas muy extremas cualquiera de los aceros evaluados va a resistir con las cargas de uso aplicadas, por ende la selección se basará en su precio y si es comercial o no.

A continuación se muestra una tabla de los aceros que se tuvieron en cuenta para la selección.

Tabla 5. Propiedades mecánicas de los aceros

N° SAE o AISI	Resistencia a la tracción Rm		Límite de fluencia Re		Alargamiento en 50 mm %	Dureza Brinell
	Kgf / mm ²	Mpa	Kgf/mm ²	Mpa		
1010	40,0	392,3	30,2	292,2	39	109
1015	42,9	420,7	32,0	313,8	39	126
1020	45,8	449,1	33,8	331,5	36	143
1025	50,1	491,3	34,5	338,3	34	161
1030	56,3	552,1	35,2	345,2	32	179
1035	59,8	586,4	38,7	377,5	29	190
1040	63,4	621,7	42,2	413,8	25	201
1045	68,7	673,7	42,2	413,8	23	215
1050	73,9	724,7	42,2	413,8	20	229
1055	78,5	769,8	45,8	449,1	19	235

www2.ing.puc.cl/~icm2312/.../materials2.html

El material que se escogió para la fabricación de la base del dispositivo fue acero 1020 ya que es el acero más barato y comercial del mercado.

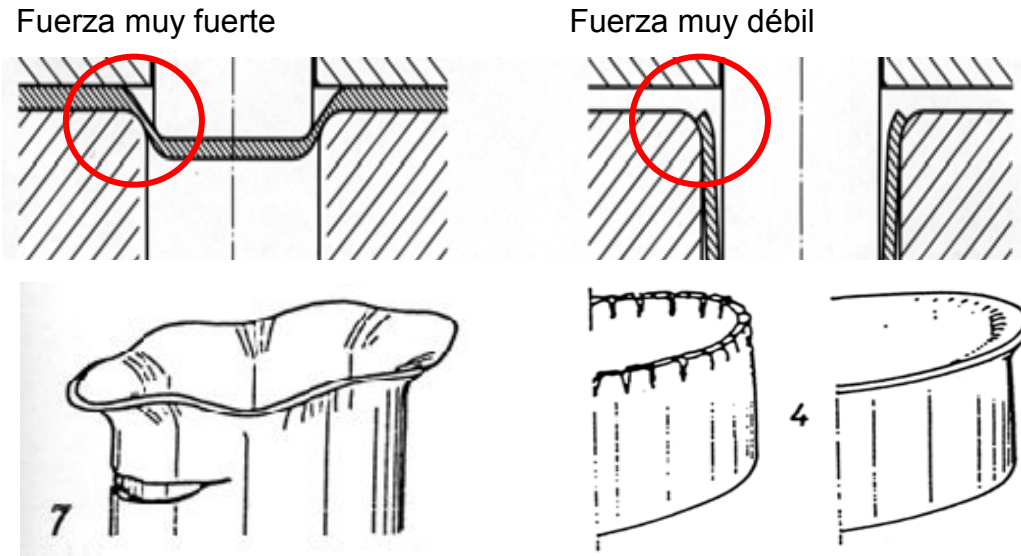
3.4.2 Fuerza del pisador

Durante la deformación del material las fibras de este se empiezan a desplazar en sentido radial y tangencial ya que sufren tanto tracción como compresión, esto hace que el material adelgace su espesor en unos puntos y en otros aumente.

El objetivo del pisador en este dispositivo es sostener la lámina de trabajo mientras la herramienta la deforma con una fuerza equilibrada, esta no puede ser ni muy grande que no permita que el material fluya ni muy débil que no lo sostenga. Ambos casos tienen sus consecuencias en el resultado final.

Si la fuerza es muy débil se producirán arrugas en la figura final y si es muy fuerte el material se romperá antes de fluir.

Ilustración 18. Extremos en fuerzas del pisador y consecuencias



Para el proceso de embutición, la fuerza del pisador está dada por la relación del diámetro inicial del disco donde se va a realizar la embutición (D , en cm), el diámetro final de la pieza ya embutida (d , en cm), una presión específica que ya viene en tablas para diferentes materiales (p , en nuestro caso aluminio) y una constante K . La relación es la siguiente.

$$Pp = k * (D^2 - d^2) * p$$

$$Pp = 0.785 * (D^2 - d^2) * p$$

Para aluminios la presión específica es entre 8 y 10 $\frac{kg}{cm^2}$

El proceso de deformación incremental difiere del proceso de embutición en que, el primero trabaja con una lámina rectangular y el segundo con una lámina circular. Además en el primer caso la fuerza que deforma la lámina es continua y puntual, diferente al segundo caso donde la fuerza es continua pero distribuida.

No obstante los parámetros de deformación en el proceso de embutición (por estiramiento del material) son más críticos que en la deformación incremental (aplastamiento del material). Por esto podemos tomar como referencia la presión de sujeción de embutición.

Sabiendo que la lámina de trabajo que se tiene para el proceso siempre es de 200 mm y que el diámetro interior de la figura a fabricar no importa, su geometría será de 100mm, por ende se puede calcular la fuerza del pisador.

$$Pp = 0.785 * (D^2 - d^2) * p$$

$$Pp = 0.785 * (20^2 - 10^2) * 10kg = 2.35kg$$

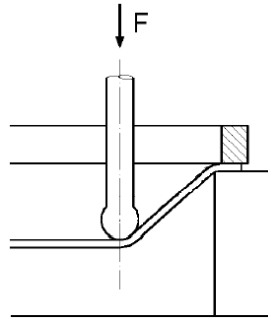
Con una fuerza de 2.35 KG se puede garantizar que el material va a fluir mientras la herramienta trabaja sobre la lámina.

3.4.3 Fuerza de la herramienta

La herramienta es una de las partes más importantes del proceso, aunque no haga parte del dispositivo, genera las cargas que actúan sobre la lámina de trabajo y la estructura.

En el proceso de deformación incremental la herramienta es un elemento de punta esférica que gira con una velocidad angular w y una velocidad de recorrido v ejerciendo a su vez presión localizada en un punto sobre la lámina de trabajo. Convirtiéndola en uno de los aspectos más importantes a considerar en el diseño del dispositivo.

Ilustración 19. Fuerza ejercida por la herramienta



Simulación numérica

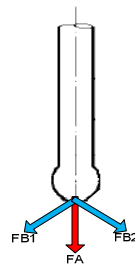
La presión mencionada anteriormente se determinará teniendo en cuenta que la deformación que debe presentar la lámina es una deformación plástica y no elástica, por lo que se deben tener en cuenta el límite de fluencia del material donde la deformación pasa de ser elástica a plástica, el esfuerzo último donde se rompería la lámina y el esfuerzo máximo de cizalladura. Este último se debe a que este es el tipo de deformación que reina en este proceso. Todo lo anterior con el objetivo de prevenir que la fuerza sea tan grande que rompa el material o tan pequeña que no lo deforme plásticamente, definiendo así un rango óptimo de trabajo.

La medición de las fuerzas presentes en la herramienta no se realizaron en este proyecto, sino que se remitió a un experimento ya hecho y publicado en la literatura donde se muestra el comportamiento y magnitud de las fuerzas que se genera durante el proceso, incluyendo fuerzas excesivas que hacen que el material falle. Esta fuerza de falla se muestra en la línea roja de la gráfica 2, lo que nos indica que por encima de ese límite es muy posible que la lámina se rasgue.

El ensayo publicado maneja unas variables muy similares a las del proceso que se pretende diseñar en este trabajo, por lo que se puede analizar e interpretar en este caso.

Primero, al analizar las fuerzas que actúan sobre la herramienta mientras esta hace todo el proceso de deformación de la lámina, se identificaron dos tipos. Una es en sentido axial (FA) que es el resultado de la presión en sentido perpendicular a la superficie de la lámina y otra, que se presenta por la reacción del material al avance de la herramienta en sentido paralelo a la superficie de la lámina, esta última trata de flexionar la herramienta, la cual puede ser descompuesta en dos como se muestra en la siguiente ilustración.

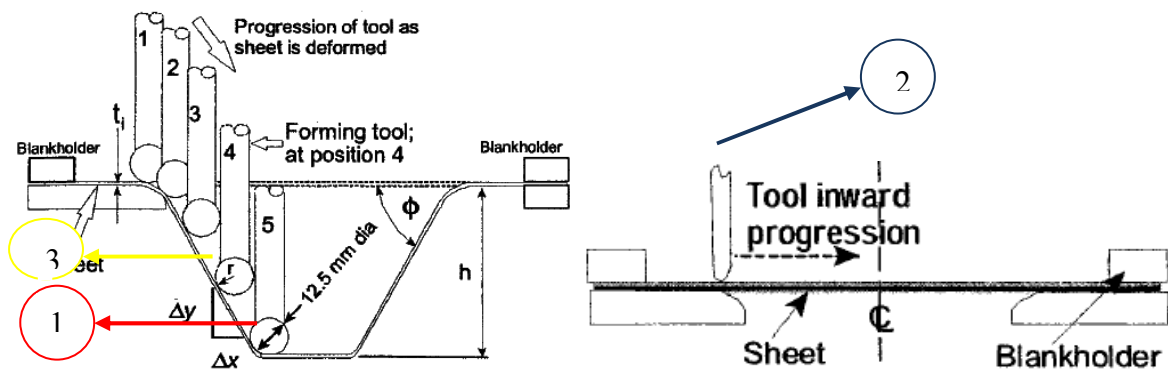
Ilustración 20. Fuerzas que actúan sobre la herramienta



Simulación numérica

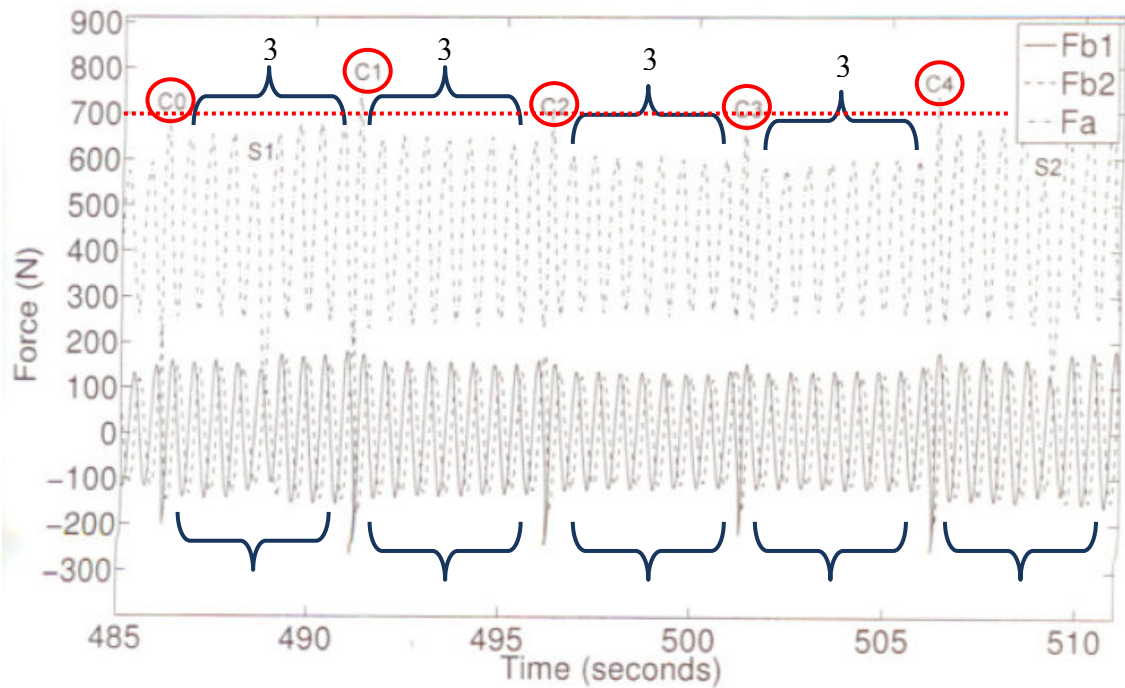
A continuación se analizará el comportamiento de las 2 fuerzas mencionadas en diferentes escenarios del proceso como son: la formación de esquinas de las figuras, la formación de paredes de las figuras y los avances o incrementos en z.

Ilustración 21. Escenarios a analizar



(ins@, 2005)

Gráfica 1. Medición de fuerzas durante todo el proceso

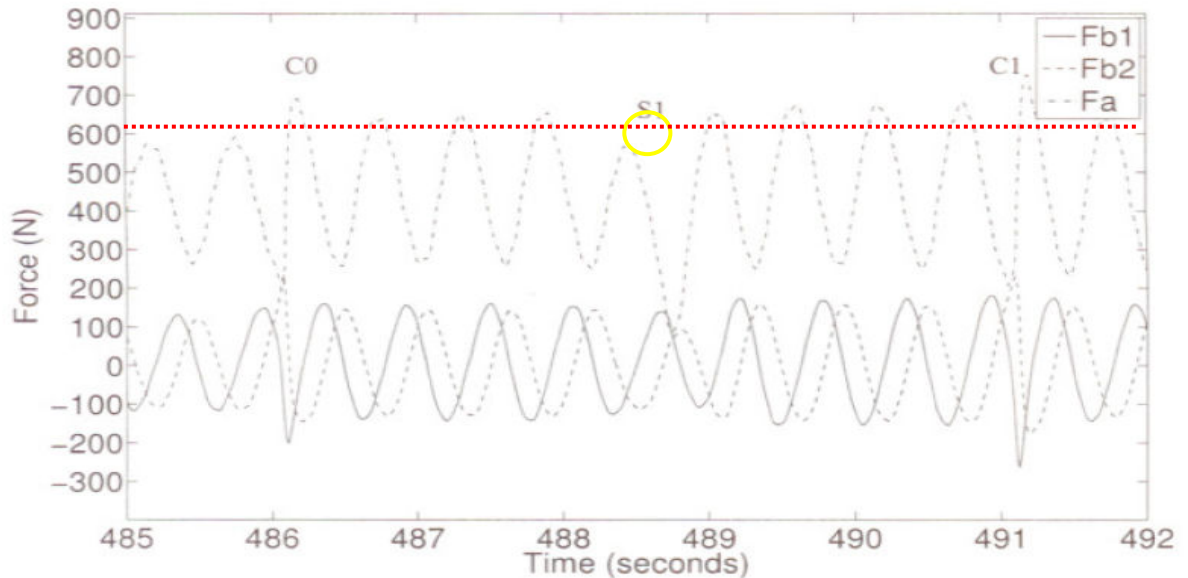


Libro sheet metal 2007

En general se observa que durante todo el proceso la fuerza axial FA que oscilan entre 200 y 750 N es siempre mayor que las fuerzas de flexión que oscilan entre 0 y 200 N. la línea roja muestra cual es el límite de fuerza que soporta la lámina antes de presentar roturas, por encima de los 700 N o sea en los puntos C0-C4 que representan las esquinas. En este punto la figura muestra fallas dado que aumenta el área de contacto entre la herramienta y la lámina, en este momento del proceso también se ve que las fuerzas de flexión bajan dado que la herramienta al llegar a la esquina para de moverse.

Durante el segundo escenario la herramienta hace un avance en el eje z mostrando un decremento en las fuerzas, la fuerza axial y de flexión se reducen casi a cero dado que la herramienta entra en contacto con las dos paredes de la figura parcialmente formadas, a continuación se verá más detalladamente la grafica del escenario 2.

Gráfica 2. Fuerzas en escenario 2



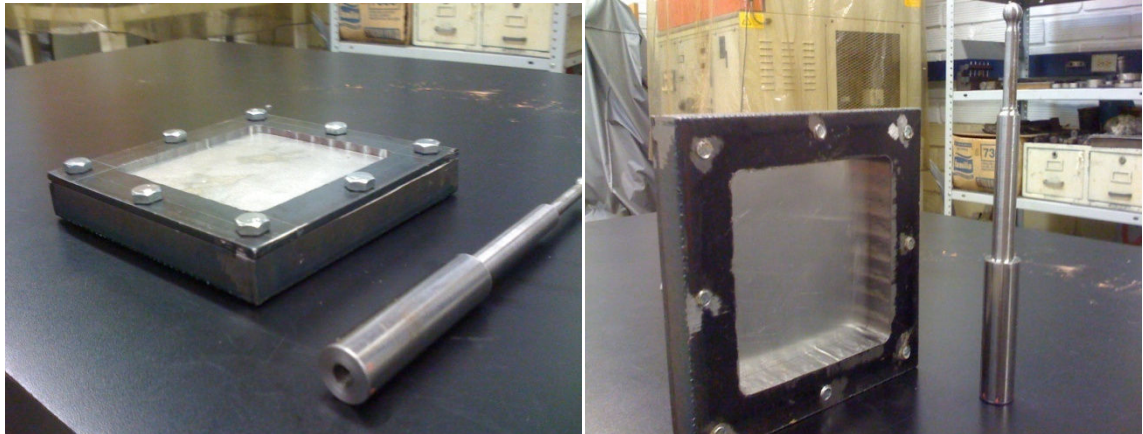
Libro sheet metal 2007

En el último escenario se muestra la formación de las paredes de la figura en la que se presenta una fuerza más o menos constante, debido a que la herramienta no realiza cambios de dirección ni movimientos bruscos que puedan alterar las fuerzas, esta situación se muestra claramente en la grafica 1.

Para corroborar que los datos encontrados en la literatura se pueden aplicar al proceso que se diseña en este trabajo, se procedió a realizar ensayos en el laboratorio de materiales de la universidad EAFIT donde se midió la fuerza axial (FA) presente en el proceso que por ser la de mayor magnitud es la más importante a la hora del diseño.

Para esto se construyo un pequeño montaje que simula la forma real como es sujeta la lámina en el proceso y una herramienta real con el objetivo de hacer las mediciones de fuerzas máximas permisibles, fuerzas de fluencia, esfuerzos últimos y esfuerzos de fluencia.

Ilustración 22. Dispositivo para pruebas



Fuente propia

Se dispuso el dispositivo y la herramienta en la máquina universal de la universidad donde se procedió a realizar la medición de cuanta fuerza axial era necesaria para que la lámina mostrara ruptura, con el objetivo de identificar la fuerza máxima del proceso y establecer un límite que no se debe superar

En la siguiente ilustración se muestra el montaje de la herramienta la cual es sujeta por medio de un tornillo que está pegado a la estructura de la maquina lo que le da la rigidez necesaria para la medición. La placa donde se dispuso la lámina esta puesta sobre el brazo inferior de la máquina.

Ilustración 23. Montaje de medición

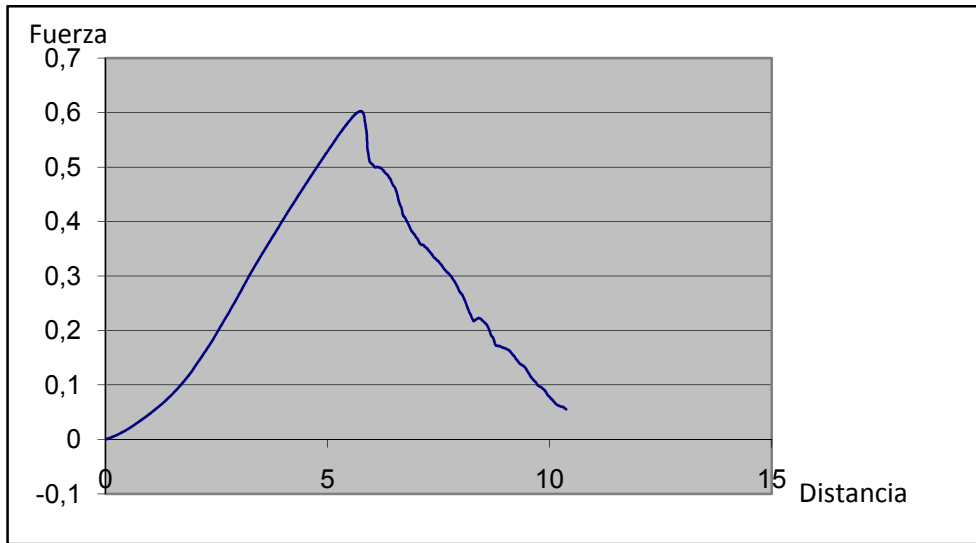


Fuente propia.

La medición registró una fuerza última de 660 N, punto en el cual la lámina se rompe o fractura. Este valor es muy parecido a la medición del experimento citado (línea roja) mostrado en la gráfica 2, la cual especifica también que cuando la fuerza alcanza este nivel la lámina falla. Esta prueba se realizó para observar como es el comportamiento de la lámina en una situación real.

Para hallar las fuerzas y esfuerzos de fluencia se baso en la grafica que arrojó el ensayo para identificar por medio de una regla de 3 el punto donde la deformación pasa de ser elástica a plástica.

Gráfica 3. Ensayo



Si 660 N representa una distancia de 0.6 entonces una distancia de 0.54 se da con una fuerza de 600 N, siendo así 600N la fuerza que deforma el material plásticamente.

Como conclusión se puede definir un rango de trabajo entre 600N y 640N para garantizar una deformación plástica en el material de forma tal que no llegue al límite de ruptura de 660N

3.4.4 Velocidad angular y lineal de la herramienta

Otros parámetros importantes a tener en cuenta son la velocidad con la que la herramienta va a recorrer las siluetas de cada plano y la velocidad de giro esta.

La velocidad lineal por condiciones de la máquina de operación será constante a 33.9 m/s y la velocidad angular depende del ángulo de formación que tiene la figura y del radio de su punta, esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$w = \pi * r * \sqrt{\frac{1}{2}} * (1 - \cos 2\phi)$$

Para poder mostrar que las variables de fuerza de la herramienta y velocidad angular seleccionadas funcionan en el proceso, se realizó un ensayo con un montaje que simula como iría la lámina montada en el dispositivo real, con el fin de mostrar que este cumple satisfactoriamente con el proceso Dieless Forming. Para analizar correctamente los ensayos se debe tener en cuenta ciertos datos de interés de forma tal que ayuden a fijar algunos parámetros.

Los valores de los parámetros varían, los que se muestran a continuación, son los que se seleccionaron para realizar un ensayo.

- Espesor de la lámina: 0.5
- Velocidad angular: 1600 rpm
- Incremento en el eje Z: 1mm
- Dimensión lámina: 130 x 130mm
- Fuerza de la herramienta: 620N
- Lubricante: Aceite de alta viscosidad o grasa

Para llevar a cabo el ensayo, se utilizó la fresadora de los talleres de la universidad EAFIT, la cual nos permitió realizarle el incremento manual en el eje Z. Los anteriores parámetros se determinaron de forma manual en la fresadora y se observó que el valor del incremento en el eje Z debe ser aproximadamente el doble del espesor de la lámina, en caso de ser menor, el proceso no sería efectivo, ya que en lugar de deformar la lámina, lo único que se lograría sería rayarla.

La calidad de la pieza final depende del avance y del incremento en el eje z, ya que entre más pequeños sean estos valores, mejor será el resultado.

A continuación se muestra la lámina en su estado inicial, el proceso y su estado final.

Ilustración 24. Ensayo

Lámina en su estado inicial



Proceso

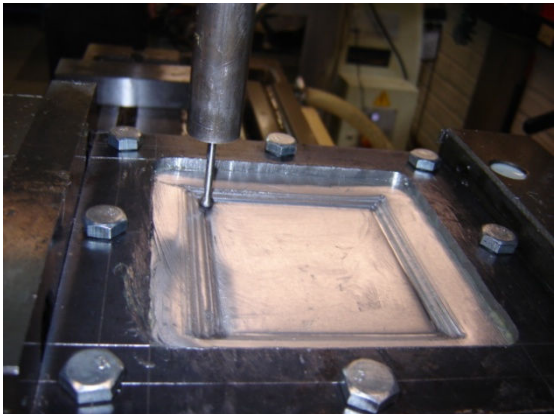
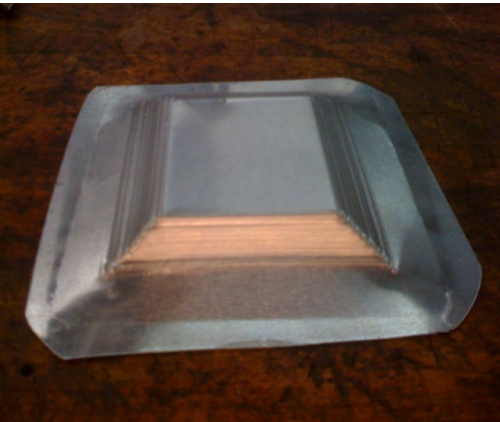


Figura final



3.5 SELECCIÓN DE COMPONENTES

Luego de haber calculado los límites de trabajo del dispositivo se procede a seleccionar los componentes del diseño que se eligieron en la matriz morfológica, de forma tal que estos cumplan de manera eficiente con las diferentes funciones necesarias en el proceso.

3.5.1 Tornillo de bolas

Los tornillos de bolas son una eficiente opción a la hora de convertir movimiento rotacional en movimiento lineal, debido a que manejan una alta precisión y un bajo coeficiente de fricción entre tornillo y tuerca si se comparara con los tornillos de roscas convencionales.

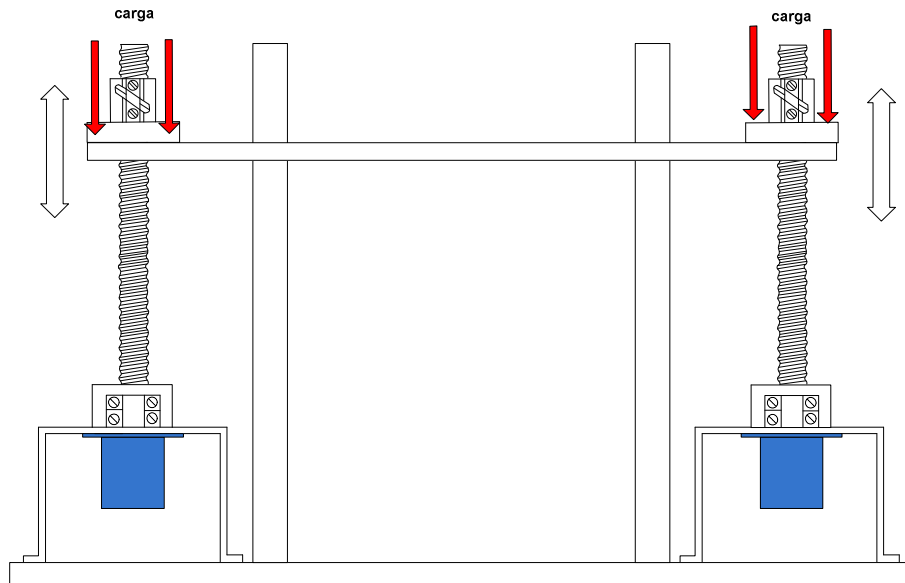
Como la calidad de las piezas que se obtienen mediante el proceso de deformación incremental dependen en gran parte del incremento en z (entre más pequeño el incremento más pulida la pieza), se escogió un tornillo de bolas recirculantes como solución a la función de transformar el movimiento rotacional en lineal, lo cual garantiza que los movimientos de la placa superior donde se encuentra la lámina de trabajo sean suaves y precisos, además de una excelente calidad de los productos.

En la actualidad existen en el mercado una gran variedad de tornillos de bolas que pueden satisfacer la necesidad de este diseño. Por lo que se debe elegir el tornillo más conveniente para esta aplicación. Esto se logra basándonos en aspectos de funcionamiento del proceso como posición del tornillo, carga, velocidad, longitud y condiciones de extremos.

Para comenzar se analiza la configuración del tornillo en el dispositivo, con el objetivo de ver cómo y donde están aplicadas las cargas que el tornillo debe mover.

El tornillo será puesto de manera vertical de modo que la tuerca que irá fija a la placa pueda subir y bajar de manera controlada. En la siguiente imagen se muestra esta disposición.

Ilustración 25. Configuración del tornillo



La carga que debe subir y bajar el tornillo es de 1320N por lo que primero se debe calcular la fuerza axial que debe hacer el tornillo para levantar esta carga, se calcula multiplicando la fuerza por el coeficiente de fricción que para el caso de soportes aceitados es de 0.0013.

$$F = \mu * f$$

$$F = 0.0013 * 2904 = 3.77lbs$$

Para calcular la rata promedio de recorrido que va tener el tornillo se toman los datos del largo del tornillo y cuanto se demora en recorrerlo. En este caso la distancia de 8 pulgadas se demora 30 segundos en recorrerla por lo tanto:

$$V_{promedio} = \frac{8 \text{ pulg } a}{30 \text{ seg}} = 0.26 \text{ pulg } a / \text{seg}$$

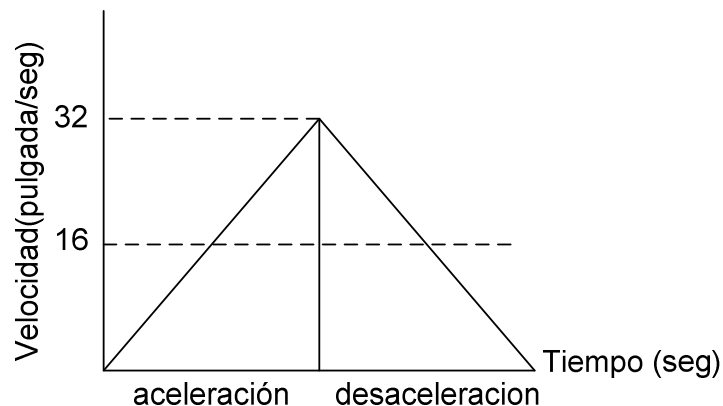
$$V_{promedio} = 0.26 \text{ pulg } a / \text{seg} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} = 16 \text{ pulg } a / \text{min}$$

Para considerar la velocidad crítica se utiliza la velocidad pico, la cual se representa en una grafica triangular que se divide en: una parte de aceleración del tornillo antes de llegar a esta velocidad y otra parte de desaceleración luego de que llega a la velocidad pico. Dicha velocidad es el doble de la promedio calculada anteriormente por lo tanto:

$$V_{pico} = V_{promedio} * 2$$

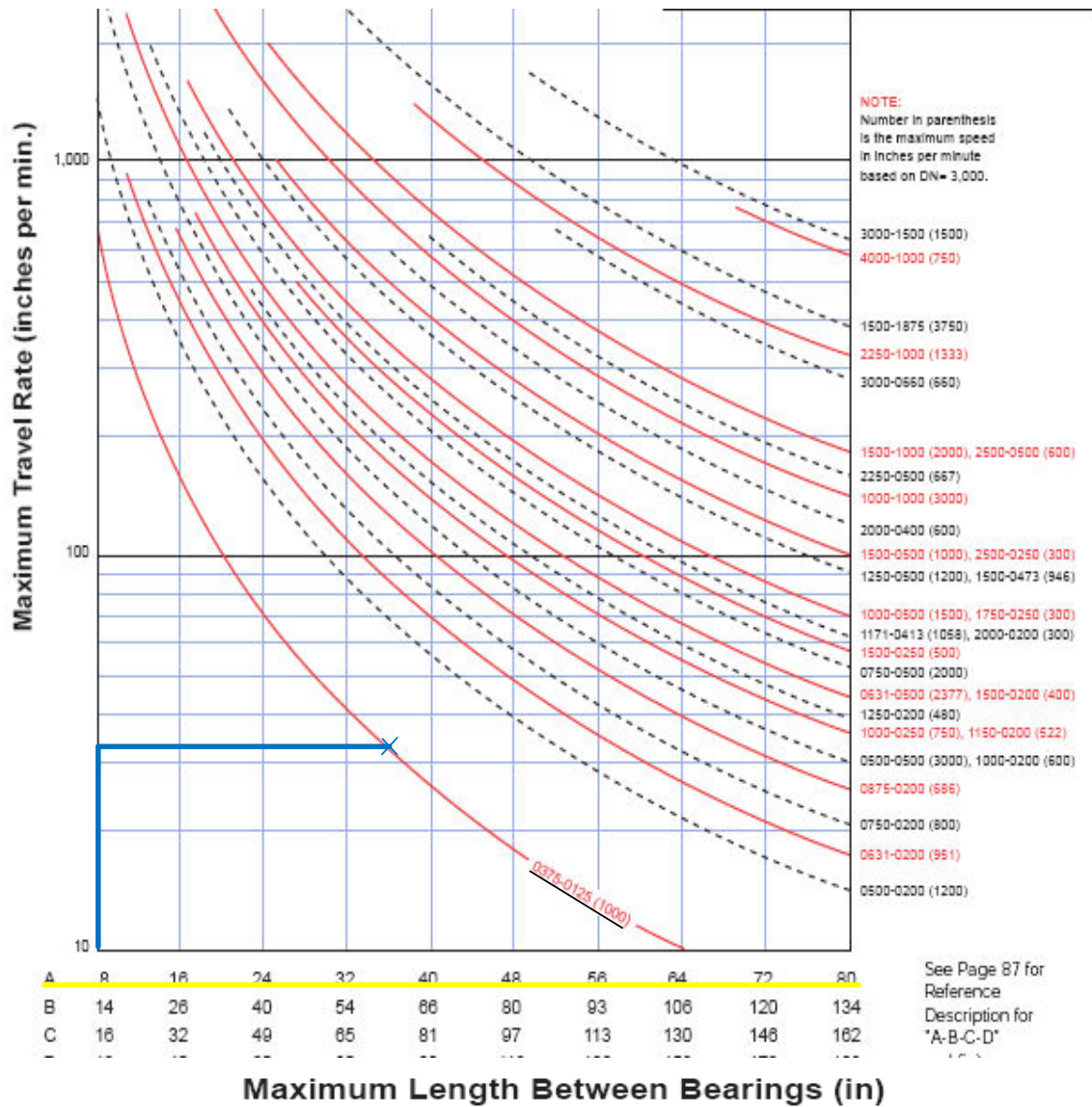
$$V_{pico} = 16 \text{ pulg } a / \text{seg} * 2 = 32 \text{ pulg } a / \text{seg}$$

Gráfica 4. Velocidad pico y media



Con la velocidad pico o crítica podemos observar en la siguiente tabla que clase de tornillo puede servir para esta aplicación.

Grafica 5. Gráfica velocidad crítica



(NOOK@2009).

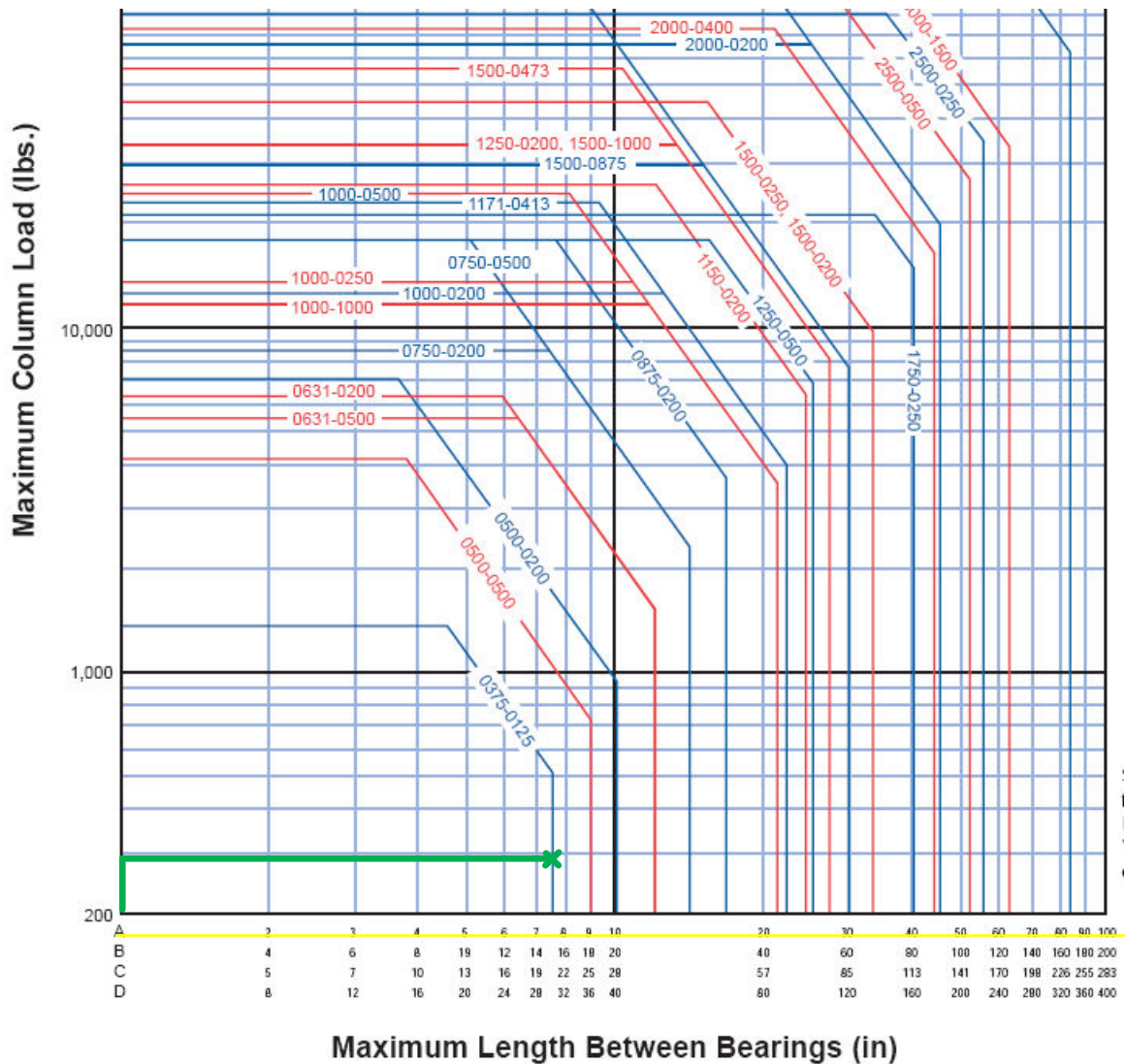
La gráfica anterior muestra curvas de diferentes tornillos que relacionan la máxima rata de movimiento, el tipo de tornillo que depende de cómo son las condiciones de frontera de este (en este caso tipo A) se muestra subrayado en amarillo y la separación de los soportes (8 pulgadas). Esta grafica propondrá un tipo de tornillo que después se comparará con el propuesto en la tabla de fuerza de columna.

El tornillo que resultó de la tabla anterior luego de hacer la intersección mostrada en color azul, es la referencia 0375-0125.

Como se mencionó anteriormente no es suficiente evaluar el tornillo por su velocidad crítica ya que cuando un tornillo está cargado a compresión su límite elástico puede ser excedido y fallar por pandeo o doblarse, como en este diseño el tornillo está dispuesto de manera vertical y soporta carga, debe analizarse también como una columna. Para esto existen tablas que me muestran la fuerza que tiene un tornillo como columna (gráfica fuerza de columna).

La idea final es comparar si los tornillos que nos sugieren las dos tablas son iguales, si esto se cumple podemos decir que el tornillo que se empleara será el seleccionado por las tablas.

Gráfica 6. Gráfica fuerza de columna



(NOOK@2009).

Las dos tablas nos sugirieren el mismo tornillo, por ende podemos concluir que el tornillo que se empleara en este diseño es el 0375-0125 el cual tiene un diámetro de 0.375 pulgadas o 9.3mm, un diámetro de raíz de 0.300 pulgadas o 7.5mm, un avance por giro de la tuerca de 0.125 pulgadas o 3.12mm y un diámetro de balines de 0.0625 pulgadas o 1.5m

3.5.2 Tuerca de bolas

Junto a la aplicación seleccionada de tornillo se utilizara una tuerca de bolas re circulantes la cual está en capacidad de ser pre cargada para evitar que la carga que sostiene la mueva. A continuación se muestran las especificaciones de la tuerca.

Ilustración 26. Características de la tuerca

SBN Single Circuit Ball Nut				60 bearing balls total per nut
PRODUCT SPECIFICATIONS	RH	LH	RHSS	
Dynamic Load (lbs.)	136	136	24	
Static Load (lbs.)	1,415	1,415	255	
Torque to Raise 1 lb. (in.-lb.)	.022	.022	.022	
Nut Weight (lbs.)	.13	.13	.13	
Ball Nut Number	SBN9574	SBN9576	SBN9578	
Flange Part Number	FLG6751	FLG6751	—	
Wiper Kit Part Number	—	—	—	

(NOOK@2009).

3.5.3 Motor

El tornillo va a ser movido por un servo motor que permite la posibilidad de desplazar la placa de forma controlada. Con los datos hallados anteriormente del tornillo se puede calcular el torque necesario para este motor:

$$torquemotor = \frac{2904libra * 0.0605}{2\pi(0.9)} = 31.11 pulg-libs$$

O también 3.5 newton/metro Trabajando a 1600 rev/min se necesita un motor de 0.5 hp para levantar la carga requerida.

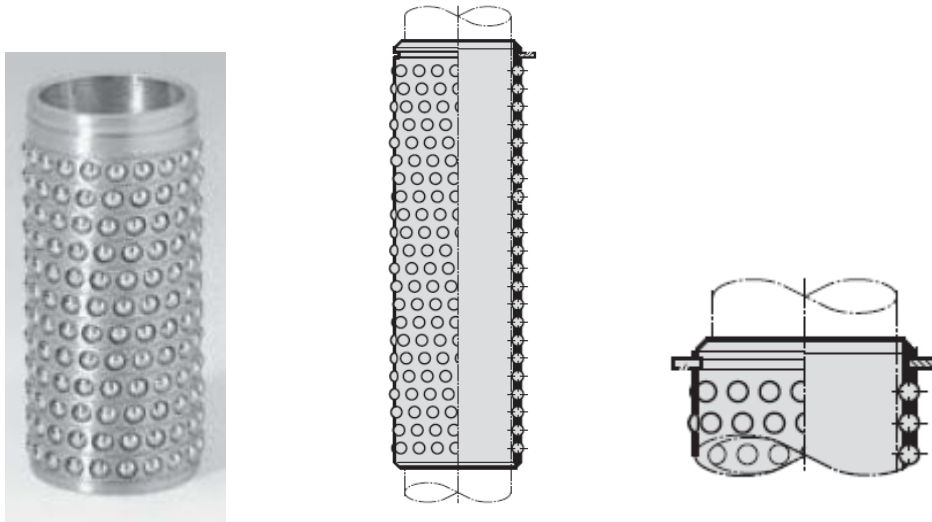
3.5.4 Cojinetes

Los cojinetes son parte fundamental de este diseño ya que estos son representan la interface entre las guías y la placa que está en movimiento. Un movimiento suave y continuo depende enteramente de estos elementos por lo que se procedió a hacer una búsqueda de elementos comerciales que pudieran cumplir con la aplicación necesaria.

Como está definido en el diseño, el movimiento que se presenta entre las guías y la placa es netamente axial por lo que se centro en la elección de un cojinete axial que cumpliera con la necesidad y fuera de fácil montaje.

El cojinete seleccionado es un cojinete marca FIBRO hecho en latón con balines en acero templado DIN 5401 el cual tiene un aro de montaje que restringe su movimiento. Este cojinete es muy recomendado para aplicaciones dispositivos con varias guías y se puede posicionar de manera correcta con un sola persona.

Ilustración 27. Cojinete seleccionado



(FIBR@2009)

Estimación de costos

A continuación se presenta una tabla con los costos aproximados de los materiales, con su respectivo maquinado.

Tabla 6. Aproximación de costos

Material (Acero 1020)- dimensión,	Costo material \$	Hora maquinado (\$/hr)	Tiempo maquinado (\$/hr)
400mm x 400 mm, espesor 25 mm	45000	36000	6 horas de fresado \$216000
25mm x 25mm, espesor 10mm	25000	36000	3 horas de fresado \$108000
Eje D= 2", long 35mm	20000	26000	3 horas torneado \$78000
Eje D=7, long 25mm	5000	26000	1 hora torneado \$26000
Longitud platina 150mm, espesor 5mm	20000	Doble y maquinado	\$45000
56mm x 56mm, espesor 6mm	20000	36000	2 horas fresado \$72000
Eje D= 35.5mm, long 350mm	40000	26000	3 horas de fresado por 4 ejes \$78000
360mm x 360mm, espesor 25mm	60000	36000	8 horas fresado \$288000
Tornillo de bolas	100000		2 tornillos \$200000
Tuerca	60000		2 tuercas \$120000
		Costo Total	\$1231000

No se asumen costos de motores, ya que se usarán de los que tiene la Universidad EAFIT.

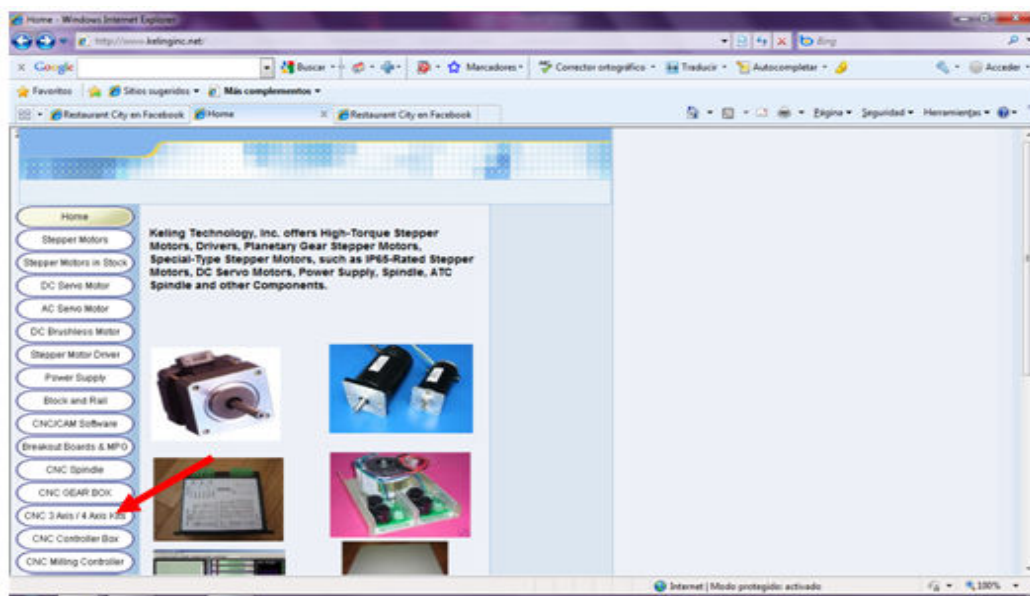
3.5.5 Software de control

De acuerdo a la experiencia que se ha obtenido con el desarrollo del proyecto, se encuentra que para hacer posible la adaptación del dispositivo, es necesario contar con un software especializado que genere un código G y controle el movimiento del eje z de manera independiente a través de unos motores.

Como una buena alternativa se encuentra la posibilidad de trabajar el software con el que la universidad EAFIT está trabajando en el laboratorio de Máquinas, Mach3.

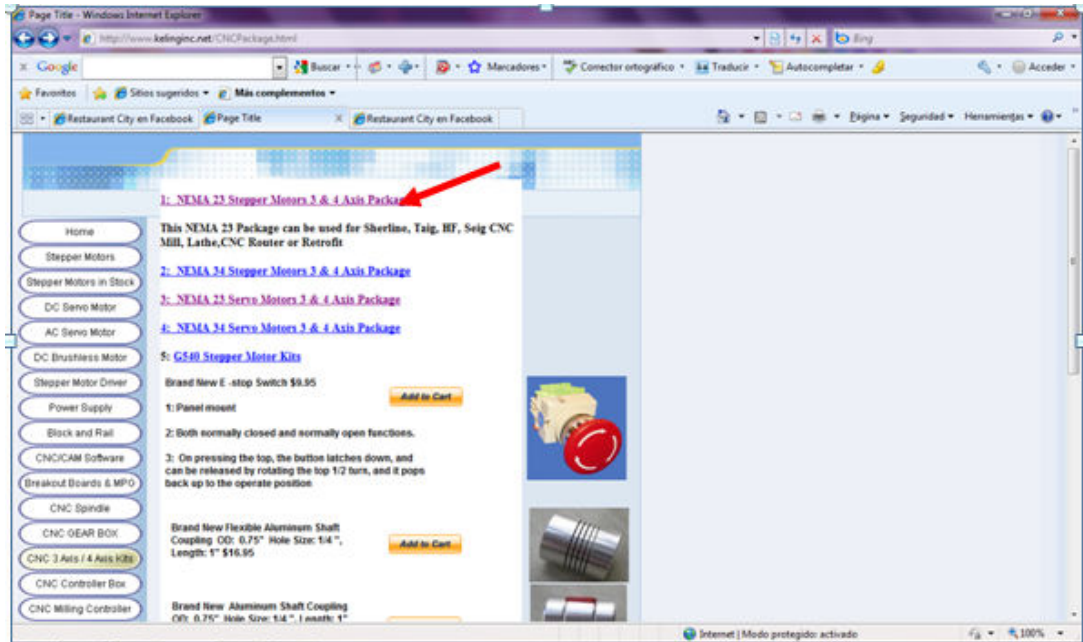
Para definir el tipo de motor que se puede usar para que este funcione con el software (Mach3), según los requerimientos de nuestro proyecto, los pasos a seguir son:

1. Remitirse a www.kilinginc.net
2. Seleccionar la opción CNC 3 Axis/ 4 Axis Kit.



(KILI@2009).

3. Una vez se hace el paso anterior, dar click en 1: NEMA 23 Stepper Motors 3 y 4 Axis Package NEMA 23 Stepper Motors 3 y 4 Axis Package.



(KILI@2009).

4. Cuando damos click en la anterior opción, se nos abre una nueva ventana, la cual nos muestra una serie de alternativas, según nuestras necesidades se puede seleccionar cualquiera de las opciones que contengan el Kit de 270 oz-in motor.

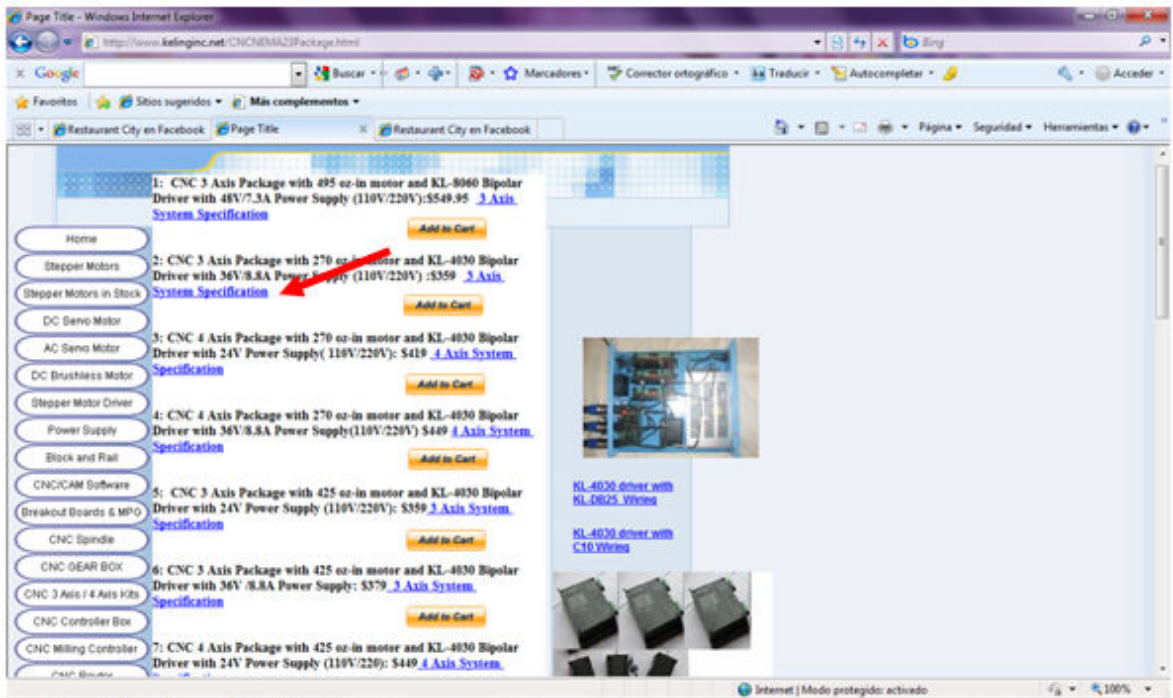


(KILI@2009).

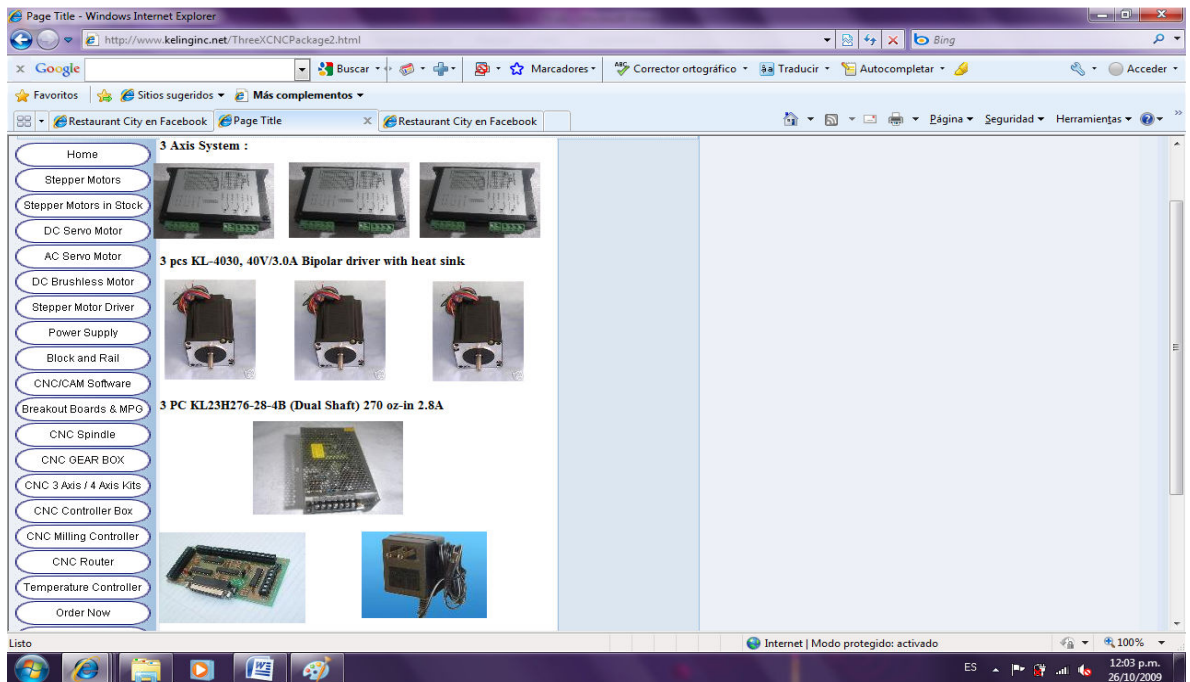
5. Si se selecciona cualquiera de estas 3 opciones, a continuación salen todas las especificaciones del sistema que se puede utilizar.

Ejemplo:

Si se da click en la primera opción de las que son válidas inmediatamente aparecen las especificaciones así:



(KILI@2009).



(KILI@2009).

Una vez hecho los pasos anteriores, se puede seleccionar cualquier motor de las alternativas que se nos presentan, ya que estos son los motores con los cuales el software Mach3 funciona.

- MACH3

El software Mach3 tiene ciertos requisitos que se deben tener en cuenta para garantizar un óptimo funcionamiento y rendimiento estable, entre ellos están:

- Sistema operativo Windows 2000/XP
- CPU de 1GHz
- 512 MB de RAM
- Tarjeta de vídeo con 32 MB de RAM
- Conocimientos de Informática básica (capacidad de copiar y renombrar archivos, navegar por los directorios, etc).

- CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SOFTWARE:

La serie Mach de software fue desarrollada originalmente para el aficionado de casa, pero rápidamente se ha convertido en uno de los paquetes de control más versátil para el uso industrial.

Permite la importación directa de archivos DXF, BMP, JPG y archivos a través de HPGL LazyCam.

Manejo de 6 ejes controlados por CNC.

Pantalla visual de códigos G.

Genera códigos G via LazyCam o Wizards.

Interfaz totalmente personalizable.

Personalización de M-Códigos y macros utilizando VBscript.

Control de la velocidad del eje.

4. MODELAR EL DISPOSITIVO EN UN SISTEMA CAD Y CONSTRUIR PLANOS DE TALLER.

Luego de seleccionar todos los componentes que se van a utilizar se realizo la modelación del diseño en un sistema CAD (PRO ENGINEER) y la construcción de los planos de taller del dispositivo con el objetivo de que en el futuro este pueda ser construido.

Ver planos en anexos

5. CONCLUSIONES

- Pensando en la necesidad del medio de fabricar piezas de bajo volumen de producción se diseñó un sistema que permite desde el control numérico la deformación de lámina metálica de formas irregulares reduciendo costos de utillaje.
- A la hora de diseñar cualquier elemento o dispositivo, es importante conocer como es el funcionamiento o metodología del proceso ya que dicha información permite conocer el tema a fondo e identificar las variables que intervienen en este. Dicha información ha sido limitada debido a lo novedoso del proceso, por lo que se debió tener experiencias directas en los laboratorios de la universidad.
- El diseño conceptual permite entender, analizar y observar el problema desde diferentes puntos de vista generando varias alternativas de diseño que satisfacen parcial o totalmente la necesidad identificada, creando diseños innovadores y funcionales.
- La modelación se realiza con el propósito de obtener un modelo tridimensional, que permite visualizar y ajustar componentes en un ensamble que corresponda a lo diseñado. La fase de fabricación queda a su vez, definida con los planos de taller de cada componente.

6. RECOMENDACIONES

Desde el grupo de Investigación en Tecnologías para la Producción se propone darle continuidad con los siguientes temas:

- Conexión a programas con códigos G.
- Determinación de parámetros del proceso automático en varios materiales
- Variedad de geometrías con formas complejas
- Diseños de herramientas adecuadas para el proceso
- Evaluación económica y ventajas comerciales.

BIBLIOGRAFÍA

(PROC@, 2001). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers -- Part B - Engineering Manufacture*; 2001, Vol. 215 Issue 7, p. 959-966, 8p.

(PROC@, 2007). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers -- Part B - Engineering Manufacture*, Dec. 2007, Vol. 221 Issue 12, p. 1725-1732, 8p,

(PROC@, 2008). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers -- Part B - Engineering Manufacture*, Mar. 2008, Vol. 222 Issue 3, p. 373-380, 8p.

(PROC@, 2004). *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Engineering*, Dec. 2004, Vol. 10 Issue 4, p. 261-269, 9p.

(AIP@, 2007). *AIP Conference Proceedings*, 2007, Vol. 908 Issue 1, p. 889-894, 6p.

(ins@, 2005). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers -- Part B -- Engineering Manufacture*, Apr. 2005, Vol. 219 Issue 4, p. 359-364, 6p

(PROC@, 2002). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers -- Part B - Engineering Manufacture*, Oct. 2002, Vol. 216 Issue 10, p. 1367-1371, 5p.

(PROC@, 2005). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers -- Part B - Engineering Manufacture*, Apr. 2005, Vol. 219 Issue 4, p. 359-364, 6p.

(JOUR@, 2008). *Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, Jan. 2008, Vol. 43 Issue 1, p. 15-35, 21p.

(MAT@, 2008). *Journal of Materials Processing Technology*, Apr. 2008, Vol. 199 Issue 1-3, p163-172, 10p.

(CONF@, 2007). *AIP Conference Proceedings*, 2007, Vol. 907 Issue 1, p. 163-168, 6p.

Sheet metal 2007, Vol 344 Issue 1, p. 551-558

CIBERGRAFIA:

(NOOK@2009). Catalogo de tornillos de bolas. [En línea]. USA. [Consultado en noviembre 2009] Disponible en: www.nookindustries.com/ball/BallCatalog.cfm

(ASSC@2009). Proceso de dieles forming. [En línea]. España. [Consultado en julio 2009] Disponible en: www.ascam.com.ar/

(EAFIT@2009). Base de datos en suscripción. [En línea]. Colombia. [Consultado en Agosto 2009] Disponible en: www.eafit.edu.co/eafitcn/biblioteca/digital/basesdatos/

(FIBR@2009). elementos de die sets. [En línea]. Alemania. [Consultado en Agosto 2009] Disponible en: www.fibro.com/produktseite.asp?area=hauptmenue&site=saeulenfuehrungsgestelleneu&cls=02&uakt=normalien.

(EAFIT@2009). Base de datos en suscripción. [En línea]. Colombia. [Consultado en Agosto 2009] Disponible en: www.eafit.edu.co/eafitcn/biblioteca/digital/basesdatos/

(KILI@2009). www.kilinginc.net

www.artofcnc.ca