



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

“Diseño de dispositivo para la seguridad de mujeres embarazadas en el automóvil”

Tesis

**Para obtener el título de:
Ingeniero Industrial**

Presenta:

José Luis Ramírez Cruz

Tutor:

Dr. Fernando Velázquez Villegas

Ciudad Universitaria Junio 2014



Jurado asignado

Presidente:	Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales
Vocal:	Dr. Fernando Velázquez Villegas
Secretario:	Dr. Francisco Cuenca Jiménez
1er. Suplente:	M.I. Hanna Leslye García Guerra
2do Suplente:	Ing. Claudia Ivette González Hernández

Lugar donde se realizó la tesis:

Ciudad Universitaria, D.F. México.

Tutor de Tesis

Dr. Fernando Velázquez Villegas

Agradecimientos

A mis padres. A ustedes que me dieron la vida y la oportunidad de prepararme profesionalmente. La conclusión de mis estudios de licenciatura, es fruto de todos sus esfuerzos realizados para que nada me hiciera falta. Este logró les pertenece. Gracias por su apoyo, confianza, cuidado e interés de formarme con buenos hábitos y valores. Sin ustedes esto no sería posible.

Mis hermanos (Marisa y Luis). Debido a que nunca me entiende cuando les expreso lo que siento y pienso, quiero externarles el respeto y el gran cariño que tengo hacia ustedes. No es fácil ser el hermano menor, así que sólo les puedo decir que los quiero a mi modo. Gracias por su apoyo que siempre me han dado.

A mis sobrinos. “Diego” Gracias por los lindos recuerdos que me has dado. Eres como el principito que llego a recordarme que debemos salir de rutina como adulto. “Emiliano” A tus pocos días de vida me has transmitido esa paz y tranquilidad que sólo un niño puede brindar.

A Zoila. Por el apoyo incondicional que me has brindado, la confianza que has tenido en mí para obtener buenos resultados, por motivarme y por estar a mi lado cada que he necesitado tu ayuda. Gracias por ser esa persona especial que llena mis días de alegría e inspira a seguir adelante. ¡Te amo Piojita!

A los carnales. Por su apoyo proporcionado dentro y fuera aulas para reivindicarme por el camino del bien. Y porque gracias a ustedes conocí a Zoilis.

A los Homies. Sus presiones, consejos, críticas constructivas y realimentaciones fueron esenciales durante el desarrollo del presente trabajo. Aunque lo hacían para molestarme, sus comentarios eran de gran ayuda.

Al Dr. Fernando Velázquez Villegas. Por ser un gran asesor, guía y amigo, quien me permitió desarrollar habilidades de mi interés. Gracias a su confianza y apoyo, el presente trabajo pudo ser realizado.

A mis amigos. Por todos los momentos que vivimos dentro y fuera de aulas, en los que nos apoyábamos en nuestra formación profesional, pasando buenos y malos momentos, pero finalmente cumplíamos con los trabajos. Gracias por todos esos recuerdos.

Agradecimiento especial a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) por el apoyo brindado para la realización de este trabajo a través de los proyectos PAPIIT TA100112 “Diseño de estructuras ligeras para vehículos urbanos de bajo consumo energético aplicando métodos de optimización”, PAPIIME PE102212 "Material Didáctico Interactivo Digital para el aprendizaje del Método de los Elementos Finitos" y PAPIIME 102914 "Elaboración de material digital interactivo para la enseñanza de la asignatura mecánica de sólidos"

Dedicatorias

Con mucho cariño para las personas que alegran cada uno de mis días.

Isabel y Anastacio

Zoila

Ma. Isabel y Luis Jaime

Emiliano y Diego

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	2
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DE LA NECESIDAD	3
1.1 ¿POR QUÉ LA SEGURIDAD DE LA MUJER EMBARAZADA ES TAN ESPECIAL?	6
1.2 ¿QUÉ EXISTE A LA FECHA?.....	7
1.2.1 <i>Be Safe Pregnant</i>	7
1.2.2 <i>Clippasafe Advanced Bump Belt</i>	7
1.2.3 <i>Pregnancy Seat Belt Harness</i>	8
1.2.4 <i>Emobikids</i>	8
1.3 REQUERIMIENTOS	9
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	10
2.1 ANTECEDENTES	10
2.1.1 <i>ME310</i>	10
2.1.2 <i>Design Thinking</i>	11
2.1.3 <i>Innovación de Productos en siete pasos (UNAM)</i>	11
2.2 PROCESO DE DISEÑO	13
2.2.1 <i>Requerimientos y especificaciones</i>	14
2.2.2 <i>Propuestas de diseño</i>	16
2.2.3 <i>Evaluación de propuestas</i>	16
2.2.4 <i>Elección de las mejores propuestas</i>	17
2.2.5 <i>Especificaciones de ingeniería</i>	17
2.2.6 <i>Selección de materiales</i>	17
2.2.7 <i>Detallado de características</i>	17
CAPÍTULO 3. DISEÑO CONCEPTUAL	18
3.1 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES	18
3.2 PROPUESTAS DE DISEÑO	21
3.2.1 <i>Estructura</i>	22
3.2.2 <i>Método de disipación</i>	23
3.3 EVALUACIÓN DE PROPUESTAS	25
3.4 ELECCIÓN DE MEJORES PROPUESTAS	27
CAPÍTULO 4. DISEÑO DE DETALLE	28
4.1 ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA	28
4.2 SELECCIÓN DE MATERIALES	29
4.3 DETALLADO DE CARACTERÍSTICAS.....	35
4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	48
4.5 PROCESOS DE MANUFACTURA	49
CAPÍTULO 5. REDISEÑO DE COMPONENTE DISIPADOR	54
5.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	55
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	58
TRABAJO FUTURO	60
REFERENCIAS	61



Introducción

El uso correcto del cinturón de seguridad ante un accidente automovilístico disminuye los riesgos de muerte del usuario. Sin embargo, debido a que se trata de una sujeción rígida, el dispositivo produce lesiones de consideración.

Las mujeres durante el embarazo requieren mayor cuidado, puesto que se debe proteger tanto a ella como al bebé. La protección que brinda el cinturón de seguridad no es ideal, por lo que se requiere complementar los sistemas de seguridad para que estos realicen su función y reduzcan los riesgos a los que se expone la gestante.

En el presente trabajo se propone una solución mediante el diseño de un dispositivo que complemente la protección que brinda el cinturón de seguridad sin alterar su función de sujetar al usuario.

El diseño del dispositivo se realizó en dos etapas. La primera consistió en el diseño conceptual en el que se identificaron las áreas de oportunidad en los sistemas de seguridad del vehículo y cuidados durante el embarazo, y con ello realizar propuestas de valor que den solución. Éstas serán evaluadas para elegir la mejor solución y con ello proceder a su diseño de detalle.

En el proceso de ingeniería se considera la situación a la que se expondrá el dispositivo. La viabilidad debe ser considerada, por lo que se realiza selección de materiales y procesos de manufactura a emplear. En esta etapa se utilizarán sistemas CAD y CAE para estimar los alcances del dispositivo.



Objetivo

Diseñar un dispositivo que complemente los sistemas de seguridad actuales, que reduzca los riesgos de daños y lesiones a que están expuestas las mujeres durante el embarazo, al viajar en vehículo.



Capítulo 1. Planteamiento de la necesidad

El trauma vehicular es la causa de aproximadamente 1.24 millones de muertes al año en el mundo. El 54% de las muertes son atribuidas a; conducir con exceso de velocidad, conducir bajo efectos del alcohol o por no utilizar el cinturón de seguridad [1].

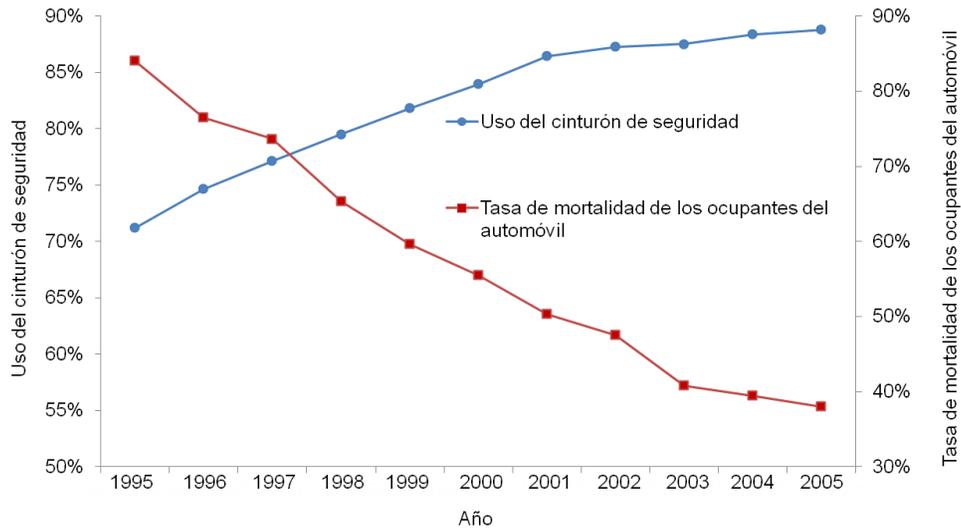
Los dispositivos de seguridad permiten disminuir los riesgos mortales a los que se exponen los ocupantes. Para el diseño de los automóviles, la seguridad se encuentra clasificada en dos sistemas:

- Sistemas de seguridad activa: brinda un óptimo funcionamiento del automóvil para disminuir el riesgo de que exista algún accidente (iluminación, neumáticos, sistema de frenado, sistemas de suspensión, sistemas de dirección).
- Sistemas de seguridad pasiva: son activados en aquellos casos de un accidente inevitable para disminuir los daños y lesiones de los pasajeros (cinturón de seguridad y bolsas de aire).

La protección que brinden estos dispositivos también depende del uso adecuado, el mantenimiento y/o remplazo de dispositivos una vez que han sido accionados.

La función del cinturón de seguridad es inmovilizar al portador para evitar que sea expulsado del asiento y/o se impacte contra algún componente del vehículo. La creación de leyes que establecen el uso obligatorio del cinturón de seguridad para pasajeros delanteros y traseros (de acuerdo con las leyes del país), han mostrado la eficacia del dispositivo al reducir los riesgos de muerte entre 40% a 50% para ocupantes delanteros en el vehículo, y entre 25% a 75% para los pasajeros de asientos traseros (Gráfica 1) [3].

Complementando lo anterior es que en la siguiente gráfica se muestra el aumento en el uso de seguridad en los últimos meses del embarazo y con ello la disminución de la tasa de mortalidad.



Gráfica 1: Tasa de mortalidad y uso del cinturón de seguridad [2]

La reducción de muertes en accidentes automovilísticos es la causa del incremento de daños y lesiones ocasionados por el uso del cinturón de seguridad. Las zonas del cuerpo con mayor incidencia se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1: Incidencia en zonas afectadas [4]

Abdomen	42%
Tórax	36%
Cuello	10%
Diversas zonas	12%

Las lesiones se producen cuando el límite de resistencia de determinada estructura corporal es superado por la energía a la que ha sido sometida [5].

La sujeción e inmovilización que brinda el cinturón de seguridad ante una desaceleración repentina es rígida, con lo que se pueden ocasionar los siguientes daños:



- **Síndrome de la marca del cinturón.**

Son los daños ocasionados en la zona de contacto entre el portador y el cinturón. La severidad de los daños va desde marcas superficiales en la piel hasta la incrustación de la cinta (Figura 1).



Figura 1: Síndrome "Marca de cinturón" [6]

- **Colisión entre órganos internos.**

El sistema músculo-esquelético permanece inmovilizado, sin embargo órganos internos continúan desplazándose hasta ser estabilizados. Inicialmente algunos órganos son estabilizados por la estructura ósea, mientras que los órganos que continúan desplazándose se impactarán entre ellos para ser estabilizados, ocasionando colisión entre órganos.

- **Compresión de órganos.**

La columna vertebral al igual que los órganos continúa en movimiento hasta ser estabilizada, momento en que serán comprimidos por la columna vertebral y cavidad abdominal.

- **Efecto cuchillo.**

Consiste en rotura de vísceras o perforaciones del tracto gastrointestinal, ocasionado por la presión que ejerce el cinturón pélvico, cuando se coloca en la zona del abdomen (Figura 2).

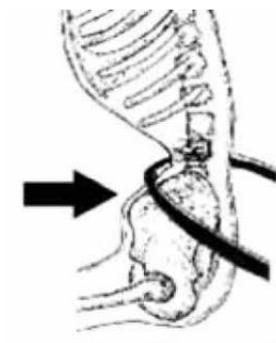


Figura 2: Incrustación de la cinta en el abdomen [6]

1.1 ¿Por qué la seguridad de la mujer embarazada es tan especial?

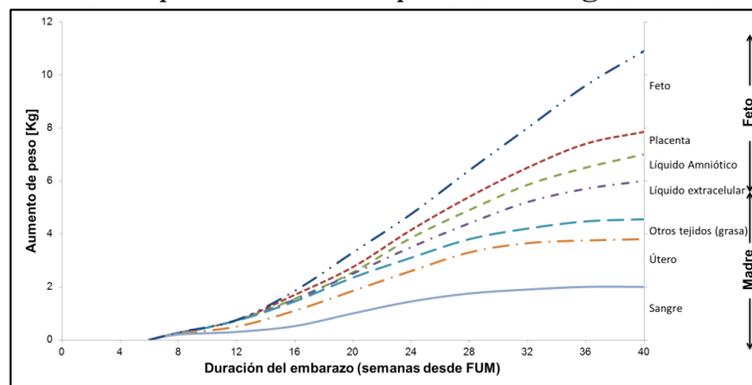
Las mujeres embarazadas requieren mayor cuidado para salvaguardar su integridad y la de su producto de cualquier riesgo a los que están expuestos en accidentes vehiculares, los cuales presentan el 23.55% [7] de la tasa de mortalidad generadas por traumatismos vehiculares.

La pérdida fetal en accidentes automovilísticos es 4 veces mayor que la muerte de la gestante, algunas de las causas son las siguientes [8]:

- **Desprendimiento de placenta.**
Es ocasionado por la desaceleración brusca o repentina.
- **Ruptura uterina.**
Ocurre cuando se ejerce presión directa sobre el útero, comúnmente ocasionado por el mal uso del cinturón de seguridad.
- **Parto prematuro.**
Existe de acuerdo con las complicaciones que presente la gestante en caso del traumatismo.

Estos riesgos se presentan a partir del segundo trimestre del embarazo, ocasionando lesión fetal directa o aborto involuntario.

En el último trimestre del embarazo se alcanza el mayor peso del feto, la placenta y el líquido amniótico (Gráfica 2), al presentarse una desaceleración, como la que ocurre en un accidente de auto, no es posible cesar el desplazamiento de los elementos mencionados, lo cual ocasiona que la cabeza del feto se impacte contra la pelvis de la gestante.



Gráfica 2: Incremento de peso de acuerdo con el periodo [9]

De acuerdo con la anatomía de la gestante que se alcanza en este periodo, se incrementa el riesgo de sufrir un impacto en contra del abdomen. Ambos casos pueden ocasionar parto prematuro o aborto involuntario.



1.2 ¿Qué existe a la fecha?

En la actualidad existen cuatro productos en el mercado para la seguridad de mujeres embarazadas que viajan en automóvil, los cuales complementan a los sistemas de seguridad del vehículo que de acuerdo con las normas comerciales no pueden ser modificados [9] [10] [11].

1.2.1 Be Safe Pregnant

Be safe pregnant es un cojín que se instala en cualquier asiento individual del vehículo y sobre el que se sienta la gestante. Una vez que la mujer se ha colocado el cinturón de seguridad, sujetará la cinta pélvica con la lengüeta del cojín, que pasa por la entrepierna.

La función de éste es evitar que el cinturón de seguridad sea colocado sobre el abdomen de la gestante (es uno de las principales daños durante el embarazo). En caso de una desaceleración brusca, la mujer se deslizará en el cojín, provocando que la lengüeta baje el cinturón pélvico y reduzca la presión en el instante de la sujeción.

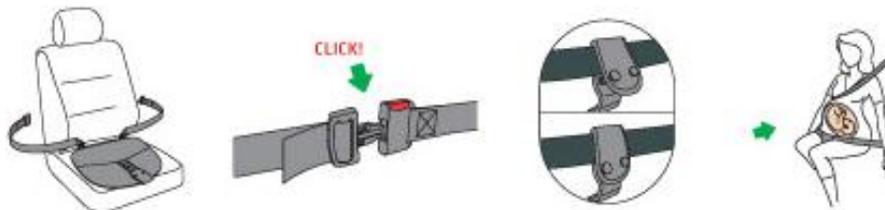


Figura 3: Instalación de Be Safe Pregnant [12]

1.2.2 Clippasafe Advanced Bump Belt

Este producto es similar a Be Safe Pregnant, ambos fueron diseñados para evitar que la cinta pélvica ejerza presión sobre el abdomen. La diferencia que existe entre estos productos es la forma de sujetar a la cinta pélvica, en este caso se realiza con dos cintas que surgen a cada costado de las piernas.



Figura 4: Instalación de Bump Belt [14]

1.2.3 Pregnancy Seat Belt Harness

Pregnancy Seat Belt Harness es un arnés que sujeta de forma simétrica a la caja torácica, el uso de este dispositivo sustituye a la cinta torácica del cinturón de seguridad y la sujeción que brinda.

Una vez que la gestante se ha colocado el cinturón, se sujeta la cinta torácica a la hebilla pasador del arnés, para posteriormente enviarlos a la espalda de la portadora, cuidando que las cintas del arnés se encuentren al frente, las cuales serán unidas a la hebilla de liberación rápida. Por último se ajustarán a la anatomía de la mujer.



Figura 5: Proceso de instalación de Pregnancy Seat Belt Harness [15]

1.2.4 Emobikids

Chaleco que sujeta las dos bandas del cinturón de seguridad para reducir los daños que ocasiona el mal uso del cinturón. La cinta torácica es retenida por una guía que se encuentra cerca del hombro. Mientras que la cinta pélvica puede sujetarse de la misma manera que los cojines (en el centro o en los laterales).

El uso de este dispositivo consiste en colocarse el chaleco antes de ingresar al vehículo, una vez que la mujer ingrese al vehículo deberá sentarse cuidando que los broches que retendrán la banda pélvica estén al alcance para ser sujetados y así colocar ambas bandas en las guías del chaleco.



Figura 6: Diseño y modo empleo de Emobikids [16]



Los cuatro dispositivos mencionados anteriormente tienen como objetivo: ser un producto portable que puedan utilizar las mujeres durante el embarazo sin requerir ayuda al colocarlo. La principal deficiencia de estos dispositivos es la maniobra requerida para su correcta colocación; debido a los cambios en la anatomía e incremento del peso de la gestante, el uso de los dispositivos se complica.

1.3 Requerimientos

Se requieren disminuir los daños y lesiones ocasionados por el cinturón de seguridad en el momento de un accidente automovilístico. Aunque es un dispositivo que ha disminuido la tasa de mortalidad con su uso, la sujeción que proporciona presenta deficiencia al ser demasiado rígida. En el caso de las mujeres durante el embarazo puede ocasionar daños irreversibles.

Capítulo 2. Metodología

Existen diversas metodologías y herramientas para el diseño de producto, las cuales han sido desarrolladas, empleadas y publicadas por expertos en dicha área. El empleo de estas técnicas depende de las habilidades y forma de trabajo de los diseñadores y del producto a diseñar.

Las metodologías por lo general son empleadas por equipos de trabajo multidisciplinarios en las que se desarrollan las actividades de sus respectivas áreas. Cuando se diseña individualmente se recurre a las herramientas que permiten evaluar algunas etapas del proceso.

2.1 Antecedentes

2.1.1 ME310

Es un curso impartido por la universidad de Stanford, en el que participan estudiantes de la misma y de algunas universidades líderes. La metodología consiste en ser ambiguo, de este modo el proceso no será como una receta de pasos a seguir, lo cual da la oportunidad de alternar las etapas del proceso.

La principal característica de esta metodología es el proceso cíclico que consiste en crear y desechar, aprendiendo de cada iteración.

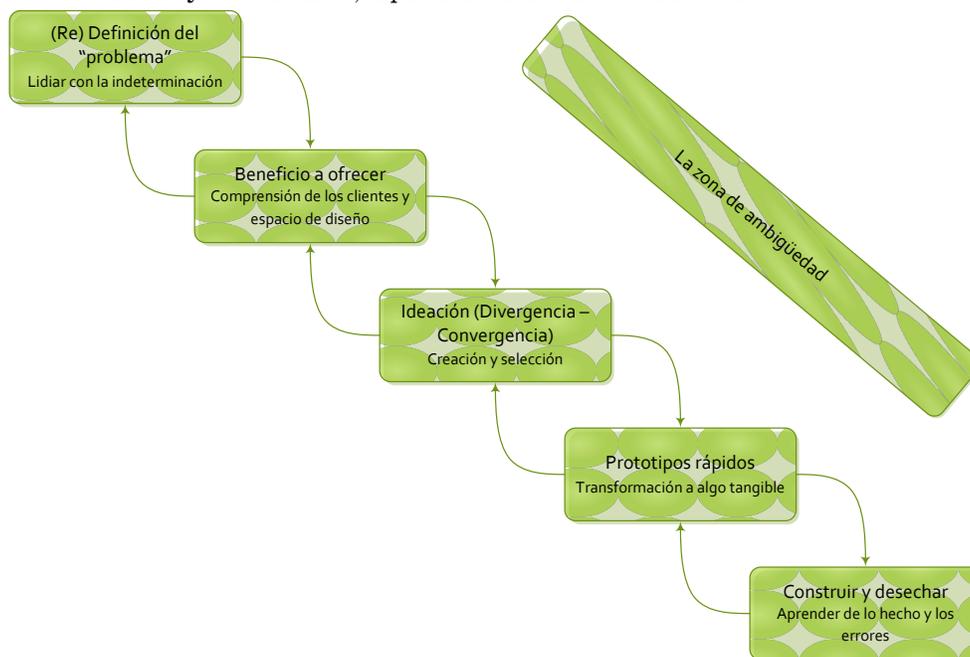


Figura 7: Metodología M310



2.1.2 Design Thinking

IDEO es una firma internacional de diseño e innovación, cuenta con un enfoque estructurado para generar y desarrollar ideas [14]. Una de las metodologías empleadas por IDEO es Design Thinking, la que consiste en involucrarse con el problema del cliente para comprender sus necesidades, con base en ello proponer diversas formas de cómo solucionar las necesidades y satisfacer las expectativas del cliente, de las cuales se elegirán las mejores opciones y así llegar a la solución óptima. Una vez que se han implementado las mejoras, se determinará la viabilidad de fabricación.

Metodología propuesta por la consultora IDEO

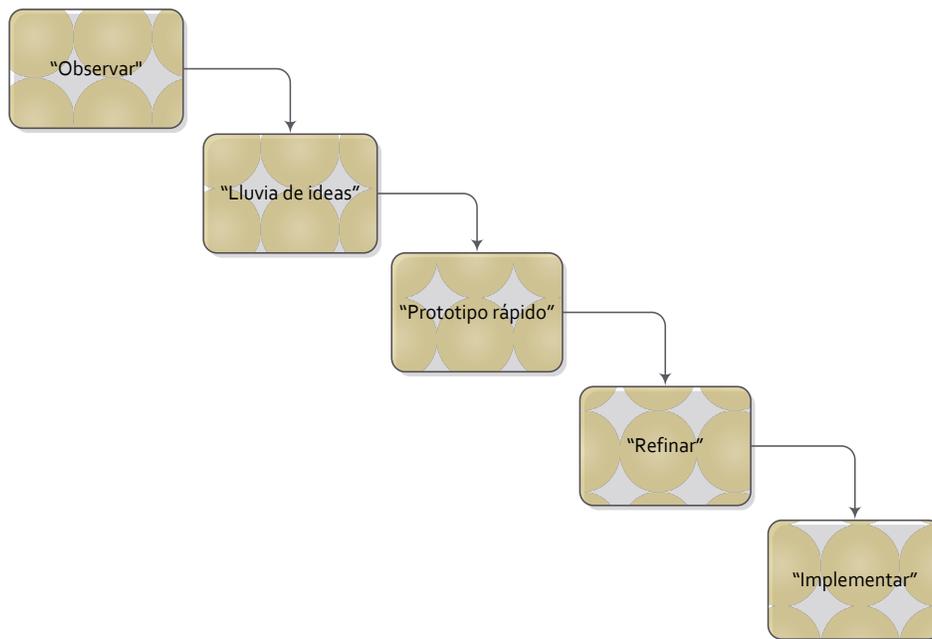


Figura 8: Metodología IDEO [17]

2.1.3 Innovación de Productos en siete pasos (UNAM)

Es una metodología propuesta por los doctores Alejandro C. Ramírez Reivich y Vicente Borja Ramírez, pertenecientes al grupo de diseño del Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT) de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Consiste en identificar una necesidad y deseos del cliente para poder definir cuáles son las especificaciones y parámetros que deberá satisfacer el producto. Una vez documentado claramente lo que se debe realizar, se

dividirá el problema para la búsqueda de información, así proponer posibles soluciones y se elegirá la mejor solución para detallar el conjunto y cada componente de modo para verificar que la producción sea posible.

Antes de iniciar la producción, se requiere elaborar y evaluar algunos prototipos funcionales, los cuales ilustren cómo será y funcionará el producto a producir. La producción será planeada considerando la habilitación, el arranque y el proceso.

Finalmente se requiere establecer la forma en cómo lograr que el producto llegue a manos del cliente.

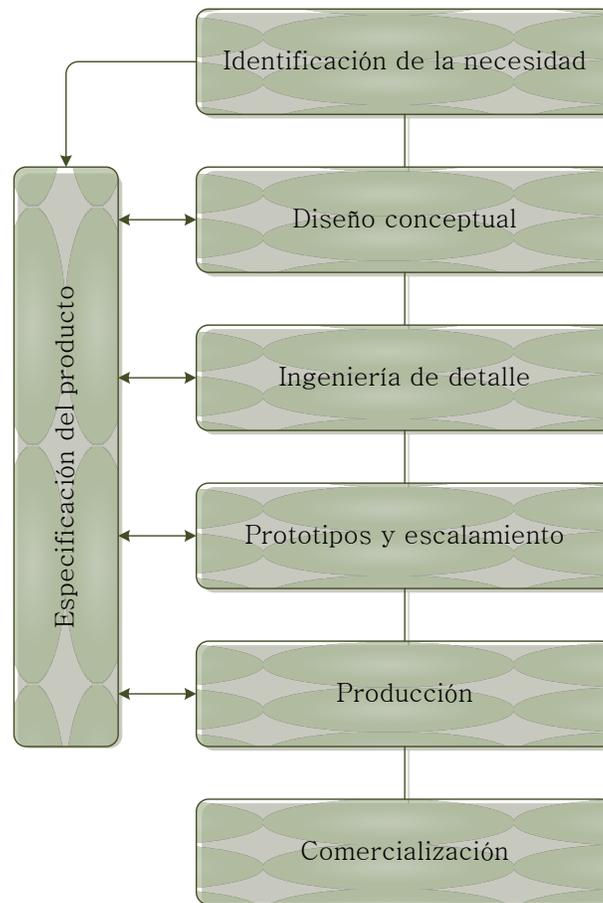


Figura 9: Innovación de Productos en siete pasos (UNAM)



2.2 Proceso de diseño

Con base en las metodologías de diseño consultadas, se propone una metodología para el diseño de producto propia considerando que no se cuenta con un equipo de diseñadores, por lo que se debe tener una metodología que permita que un pequeño grupo de ingenieros realice las diversas tareas.

Diseño conceptual	Función crítica	Plantear la función que desempeñará este producto.
	Requerimientos y especificaciones	Comprender la situación actual para poder definir cuál es el problema a resolver y conocer cuáles son las áreas de oportunidad.
	Propuestas de diseño	Realizar propuestas de valor que satisfagan la función crítica establecida. Estas propuestas pueden estar basadas en problemas similares que han sido solucionados.
	Evaluación de propuestas	Analizar cada propuesta, al destacar las ventajas y carencias de cada uno con base en las características a cumplir y la viabilidad de producción.
	Elección de las mejores propuestas	Se elegirán las propuestas que proporcionen la mejor solución y de forma sencilla.
Diseño de detalle	Especificaciones de ingeniería	Los requerimientos y especificaciones serán traducidos a parámetros, principios y términos ingenieriles.
	Selección de Materiales	Realizar la búsqueda del material que permita el funcionamiento adecuado, la fabricación y el menor costo del producto.
	Detallado de características	El producto será analizado para mostrar sus capacidades.

Figura 10: Metodología de diseño propuesta

2.2.1 Requerimientos y especificaciones

Para el trabajo de tesis se ha identificado que los sistemas de seguridad reducen la tasa de mortalidad ocasionada por los accidentes de tránsito, aunque esto no garantiza la desaparición de los daños y lesiones de los pasajeros. Para establecer cuáles son los requerimientos y especificaciones que debe satisfacer el producto, se requiere tener conocimiento de:

- El comportamiento de los pasajeros ante un accidente automovilístico, lo cual será analizado en las pruebas de impacto que son realizadas en los programas que evalúan la seguridad de los vehículos.
- La delimitación de las áreas o componentes en los que se puede innovar, se considerarán algunas normas internacionales de comercio que deben cumplir los sistemas de seguridad de los vehículos.
- Las consideraciones que se deben tener hacia la mujer, las cuales dependen de los riesgos a los que se exponen y los cuidados que requieren para la integridad de la gestante y de su futuro hijo.

Pruebas de impacto

Existen diversos programas para las pruebas de impacto (ANCAP, C-NCAP, EURO-NCAP, JNCAP, KNCAP, LATIN-NCAP, IIHS, ASEAN-NCAP), estos programas tienen presencia en algunos países, las pruebas que se aplican a los vehículos son cuatro [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22]:

Impacto frontal. Se impacta el 100% del frente del vehículo que se desplaza a 64 km/h contra la barrera (Figura 11.a).

Impacto frontal desplazado. La diferencia entre esta prueba y la de impacto frontal radica en que sólo se impactará el 40% de frente del vehículo contra la barrera (Figura 11.b).

Impacto lateral. En este caso el vehículo de prueba se encontrará fijo, mientras que un segundo vehículo que se desplaza a 64 km/h, éste cuenta con una barrera rígida, la cual se impacta contra el costado del primero (Figura 11.c).

Impacto contra poste. El automóvil de prueba es montado sobre una superficie móvil que se desplaza a la misma velocidad que en las demás pruebas de modo que se impacte la sección lateral del vehículo contra el poste (Figura 11.d).

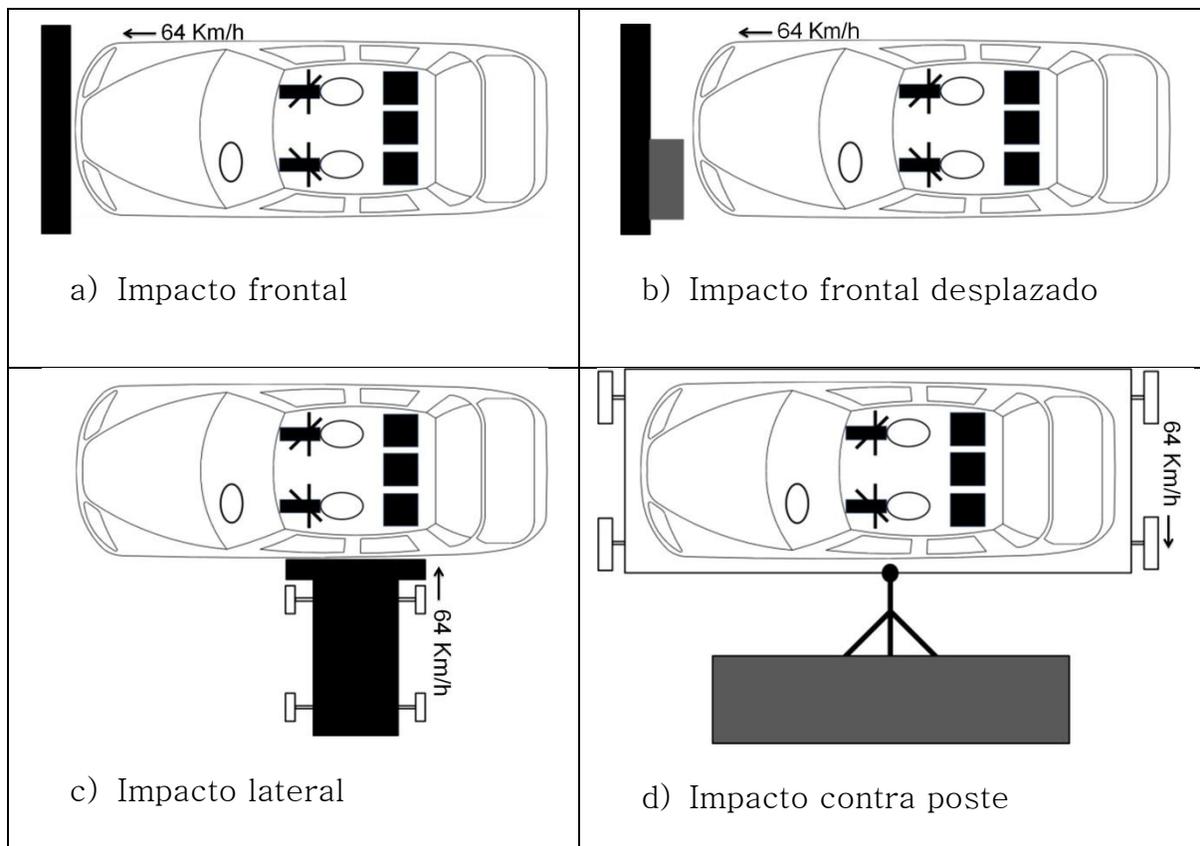


Figura 11: Pruebas de impacto existentes

Normas de comercio

La comercialización de los vehículos depende de las normas de comercio que establezca cada país, esto con el objetivo de establecer estándares de calidad para los vehículos, algunas de estas normas se encuentran enfocadas a los sistemas de seguridad pasivos de los vehículos (cinturón de seguridad).

El conocimiento de las normas permitirá identificar las áreas de trabajo disponibles en el cinturón de seguridad, las normas que se analizarán (Normas con acceso gratuito) son:

- Estados Unidos- FMVSS 209 [15]
- Europa- ECE R16 [16]
- México- NMX-D-004-1980 [17]



Situación durante el embarazo

La voz del cliente es una herramienta para el diseño de producto, la cual consiste en que los clientes potenciales para el producto externen sus deseos, molestias, demandas, etc.

En este tipo de proyectos, dado que su relación con la cuestión de seguridad es muy grande, hay que tener cuidado con la aplicación de esta herramienta, ya que es muy probable que las opiniones de los clientes implique disminución de seguridad. Por lo anterior, sólo se emplearán en la cuestión de comodidad.

Conocer los diversos riesgos durante el embarazo que puedan atribuirse a un accidente automovilístico, así como los cuidados o recomendaciones para mantener la integridad de la madre y su producto, servirán como los requerimientos necesarios.

2.2.2 Propuestas de diseño

Se realizarán algunas propuestas de valor que den solución al problema a resolver y que cumplan con la función crítica, los requerimientos y las especificaciones que han sido planteadas.

Antes de plantear alguna propuesta, se realizará una búsqueda de problemas similares atendidos, sus soluciones serán analizadas para recabar mayor información e integrar la información en las propuestas por definir.

2.2.3 Evaluación de propuestas

Las propuestas serán valoradas de acuerdo con la función a realizar y de los requerimientos que deberá satisfacer. Esto con el objetivo de identificar las fortalezas y debilidades de cada propuesta, así como la viabilidad de ser desarrolladas, lo cual permite conocer los alcances de las propuestas en caso de ser mejoradas o rescatar características que podrían complementar alguna otra propuesta.



2.2.4 Elección de las mejores propuestas

Se elegirán las propuestas que puedan ser desarrolladas, para que la función pueda ser realizada, y puedan ser producidas y en caso de requerir mejoras sean simples. Para realizar la selección se considerarán los resultados de la evaluación de cada propuesta.

2.2.5 Especificaciones de ingeniería

Como primer paso para la etapa de diseño de detalle será traducir los requerimientos, las especificaciones y las tareas a realizar a términos, parámetros y principios ingenieriles bajo los que se regirá el producto. Esto con el objetivo de cuantificar los conceptos establecidos.

2.2.6 Selección de materiales

Se realizará un estudio de los materiales que existen en el mercado para identificar los materiales apropiados que permitan el correcto funcionamiento, bajo las condiciones a las que se expondrá durante el reposo y una vez que haya sido activado.

2.2.7 Detallado de características

Mediante el uso de herramientas CAE, se simulará el dispositivo en funcionamiento bajo las condiciones de trabajo para conocer cuáles son las propiedades e identificar sus alcances.



Capítulo 3. Diseño conceptual

3.1 *Requerimientos y Especificaciones*

En las pruebas de impacto se identificó que la sujeción que proporciona el cinturón de seguridad no es la adecuada y se llegó a la conclusión de que tiene deficiencias, tal protección es exclusiva para la zona de contacto (tórax y pelvis), mientras que extremidades superiores e inferiores, cabeza y órganos contenidos en la cavidad abdominal continúan desplazándose. Para el caso de las mujeres durante el embarazo se requiere disminuir la rigidez en la sujeción y evitar la inmovilización inmediata (la cual es transmitida al producto).

Con base en las normas que deben cumplir los sistemas de seguridad se determinó que el área de oportunidad para mejorar la protección que brinda el cinturón de seguridad sin modificar sus características (uso simple, liberación rápida y mantener el ensamble durante el accidente), se encuentra en la conexión entre la lengüeta y la hebilla.

Para identificar posibles requerimientos y especificaciones que no hayan sido consideradas se procedió a analizar diversos productos en el mercado (



Tabla 2), los cuales dan solución a problemas similares “proporcionar sujeción e inmovilización gradual a cuerpos en movimiento”:

Tabla 2: Productos existentes en el mercado

Dispositivo	Funcionalidad	Método
 <p>Figura 12: Arnés</p>	<p>Empleado en paracaídas y en la industria de seguridad, consiste en sujetar al portador que se encuentra suspendido de diversas zonas del cuerpo.</p>	<p>Distribuir la carga aplicada para la sujeción sobre mayor superficie o número de puntos.</p>
 <p>Figura 13: Cinturón de seguridad</p>	<p>Este dispositivo sustituye al cinturón de seguridad habitual, el cual requiere mayor número de puntos de anclaje al vehículo (4,5, 6 o 7 puntos), los cuales proporcionen una sujeción simétrica.</p>	<p>Incrementar la superficie sobre la que se distribuyen las cargas de sujeción.</p>
 <p>Figura 14: Retención de juegos mecánicos</p>	<p>Inmovilizar a los portadores y evitar cualquier movimiento que pueda producirse ante el trayecto de los juegos mecánicos. Para evitar que la sujeción sea agresiva, se emplean materiales que absorban el impacto.</p>	<p>Distribuir la carga de sujeción sobre la mayor superficie posible y emplear materiales que permitan absorber el impacto durante la detención.</p>
 <p>Figura 15: Amortiguadores</p>	<p>Empleados en sistemas de suspensión de vehículos o edificios para mitigar los daños de un sismo. Ante una carga aplicada, el amortiguador se deforma para absorber gradualmente tal carga y regresar a su estado inicial.</p>	<p>Deformación del componente durante el evento, mientras absorbe el impacto y proporciona movimiento.</p>



 <p>Figura 16: Resortes</p>	<p>Detener el movimiento de componentes que tiran de él o se impactan en contra de éste para posteriormente regresarlo a su estado inicial.</p>	<p>Deformación del componente para detener gradualmente el desplazamiento de un cuerpo</p>
 <p>Figura 17: Cuerdas elásticas</p>	<p>En el salto de “bungee” se emplean cuerdas para que detengan al usuario y con ello evitarle daños. Para evitar la falla de la cuerda se encuentra compuesta por hilos y en caso de fractura de algunos, existan otros que detengan el cuerpo.</p>	<p>Evitar que la detención del cuerpo sea instantánea, y en caso de falla sea parcial.</p>
 <p>Figura 18: Cinta disipadora</p>	<p>Empleado en rapel y alpinismo para proteger al usuario ante una caída para evitar detención rígida que proporciona la cuerda. La cinta se romperá parcialmente para evitar que la detención sea repentina.</p>	<p>Emplear fuerza ejercida en la sujeción para fracturar las secciones diseñadas en el dispositivo y brinde desplazamiento.</p>

El análisis de los disipadores de energía sirvió para identificar requerimientos que deberá satisfacer el dispositivo para disminuir los daños en la sujeción (Figura 19).

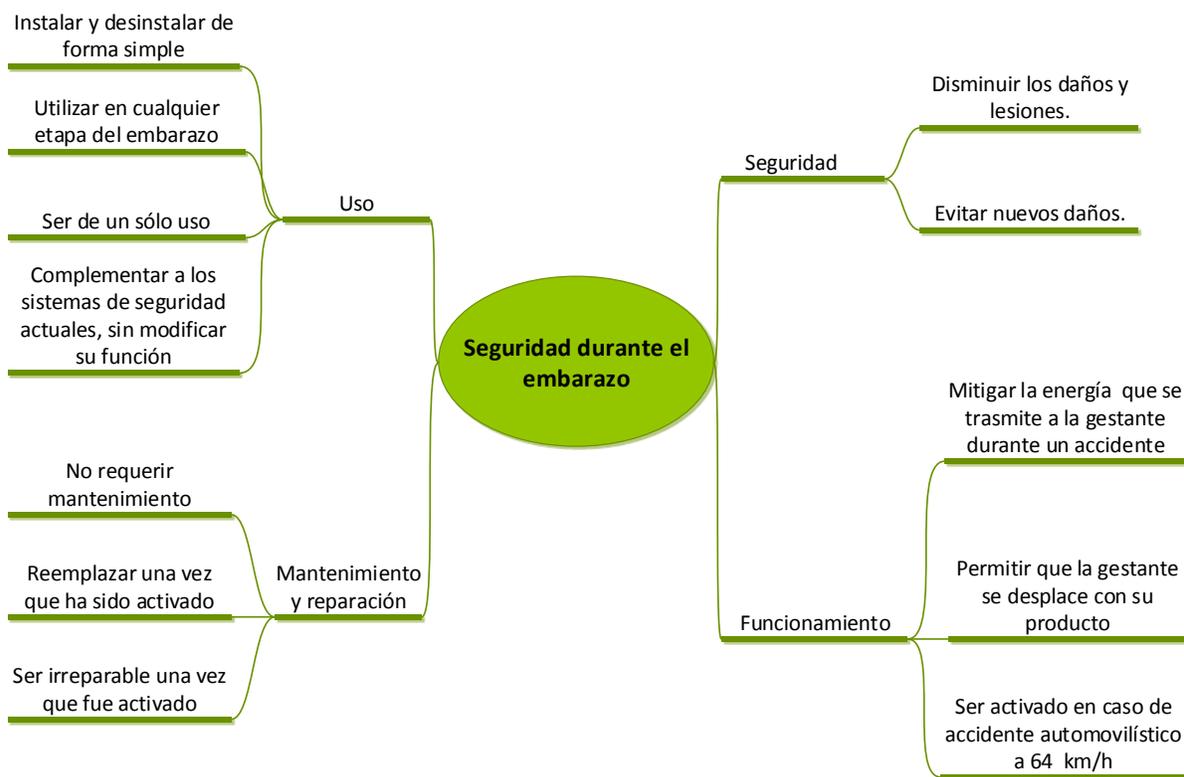


Figura 19: Requerimientos identificados

3.2 Propuestas de diseño

Para no infringir las normas de comercio se determinó que el área de oportunidad es crear un dispositivo que se coloque en la unión de cinturón de seguridad (entre la hebilla y la lengüeta). La practicidad del dispositivo es esencial para su uso autónomo por parte de la mujer, por lo que se debe considerar el montaje y desmontaje simple, y por cuestiones de seguridad liberación rápida. Por tal razón el dispositivo tendrá configuración similar a la lengüeta del cinturón de seguridad, que en un extremo sujete la cinta y en el extremo opuesto se fije en la hebilla.

Para reducir los riesgos de falla del dispositivo, éste tendrá una caja que proteja al sistema que se encuentra en su interior, otra función de la caja contar con una ranura que guíe la trayectoria del componente móvil.



3.2.1 Estructura

Propuesta 1. Alojamiento de lengüeta (móvil).

El dispositivo será una extensión que conecte a la lengüeta con la hebilla. En el extremo superior tendrá un alojamiento para lengüeta que los sujete como lo realiza la hebilla, éste será el componente móvil del dispositivo. La sección fija será el extremo opuesto que se colocará en la hebilla.

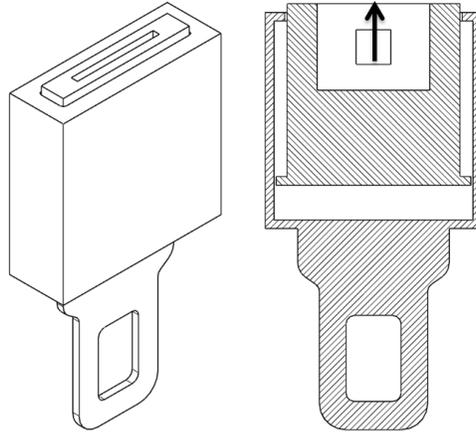


Figura 20: Propuesta 1 "Alojamiento de lengüeta móvil"

Propuesta 2. Lengüeta móvil.

El dispositivo realizará la función de la lengüeta actual (sujeta la cinta y anclarse en la hebilla), la diferencia consiste en que el componente que se conecta a la hebilla será móvil.

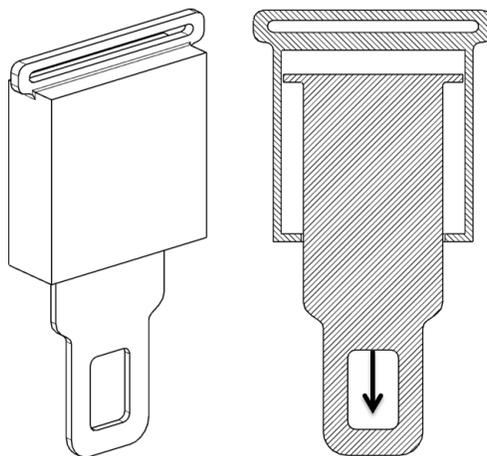


Figura 21: Propuesta 2 "Lengüeta móvil"

Propuesta 3. Un solo componente.

En este caso sólo se empleará la caja para proteger al mecanismo que se encuentre dentro. Tal mecanismo deberá realizar las funciones de sujetar la cinta y colocarse en la hebilla.

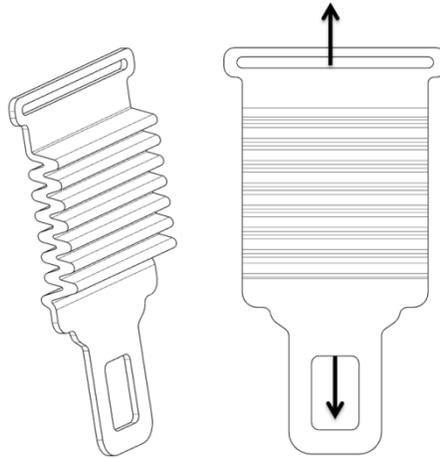


Figura 22: Propuesta 3 "Componente único"

3.2.2 Método de disipación

Propuesta 1. Amortiguadores.

Utilizar amortiguadores (a compresión, a tracción o al vacío) que por su aplicación tienen la capacidad de absorber cualquier movimiento o impacto que se le aplique al sistema para mitigar los efectos en el sistema.

El arreglo de los amortiguadores podrá ser realizado con amortiguadores de un solo tipo o mediante la combinación de los mismos.

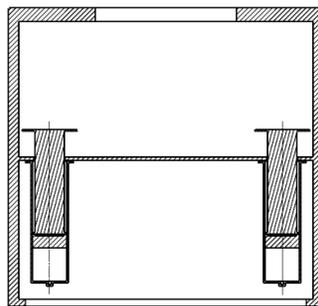


Figura 23: Propuesta 1 "Sistema de amortiguadores"



Propuesta 2. Resortes.

Los resortes tienen la capacidad de detener armónicamente algún cuerpo que sujete (tracción) o se impacte contra éste (compresión). Al igual que los amortiguadores se pueden realizar arreglos de un solo tipo o combinar.

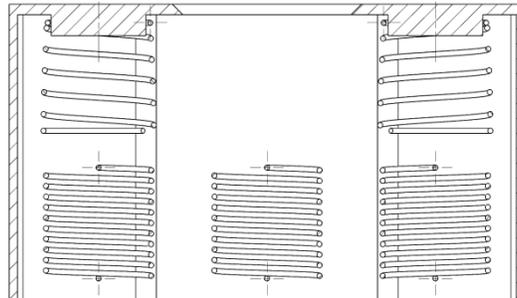


Figura 24: Propuesta 2 "Conjunto de resortes"

Propuesta 3. Deformación.

Colocar el material doblado o enrollado dentro de la caja, éste deberá contar en los extremos con el sujetador de la cinta y la punta de la lengüeta para anclar en la hebilla. El objetivo de introducir el material es porque en el momento del impacto se ejercerán cargas a tracción lo cual ocasionará que el material se tense y pierda su forma inicial.

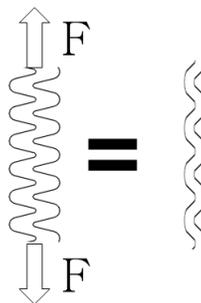


Figura 25: Propuesta 3 "Deformación de material"

Propuesta 4. Fractura de materiales.

Emplear las propiedades mecánicas con las que cuentan los materiales, que a partir de aplicarse una carga, los materiales se deformen hasta la fractura mientras que ayudan a absorber la energía transmitida en el impacto.

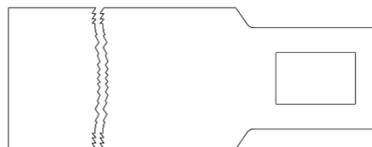


Figura 26: Propuesta 4 "Fractura de material"

3.3 Evaluación de propuestas

La evaluación de las propuestas se realizó con base en los requerimientos y las necesidades planteadas. Ésta se realizó en dos etapas, la primera para determinar la estructura del dispositivo y la segunda para determinar el mecanismo del disipador.

La evaluación de las propuestas se realizó en dos etapas, la primera para determinar la estructura del dispositivo y la segunda para determinar el mecanismo. Para cada evaluación se empleó una matriz de selección, en la que se evaluó los requerimientos y las necesidades planteadas usando un solo código (+ "mejor que", 0 "igual que", - "peor que"). Por último se realiza un balance entre las suma + y la suma-.

Criterios de selección	Propuestas de estructuras		
	1 Alojamiento Móvil	2 Lengüeta Móvil	3 Componente único
Portabilidad	0	0	0
Compacto	-	0	-
Movilidad a proporcionar	0	0	+
Pocos componentes	-	0	+
Facilidad de manufactura	-	+	0
Simplicidad de instalación	0	0	0
Simplicidad de componentes	-	+	0
Poco material	-	+	-
Protección de mecanismo	+	+	-
Suma +	1	4	2
Suma 0	5	5	4
Suma -	3	0	3
Evaluación neta	-2	3	-1

Figura 27: Matriz "Evaluación de estructuras propuestas"

Observaciones

Propuesta 1. El alojamiento de lengüeta que se ha contemplado deberá contener un mecanismo similar al que contiene la hebilla, el cual permita que el ensamble sea simple y la liberación rápida. Lo cual implicaría mayores dimensiones, peso y material.



Propuesta 2. La punta de la lengüeta será similar a la actual para anclarla en la hebilla, esta lengüeta será de mayor longitud, la cual será su trayectoria para proporcionar el movimiento.

Propuesta 3. El contar con un solo componente que realice las funciones de mantener el ensamble y disipar energía, requiere mayor protección para evitar fallas. Para que la sección disipadora realice su función libremente, requerirá mayor espacio, lo que implica mayores dimensiones del dispositivo.

Criterios de selección	Propuestas de método de disipación			
	1 Amortiguador	2 Resorte	3 Deformación de material	4 Fractura de material
Detención gradual	+	-	0	0
Activarse en el choque	0	0	+	+
Un solo uso	-	0	+	+
Adaptación simple	0	0	0	0
Compacto	-	-	+	+
Componente en el mercado	+	+	-	-
Facilidad de manufactura	-	-	0	0
Funcionamiento bajo demanda	+	-	+	+
Ligero	-	0	0	0
Suma +	3	1	4	4
Suma 0	2	4	4	4
Suma -	4	4	1	1
Evaluación neta	-1	-3	3	3

Figura 28: Matriz "Evaluación de mecanismos propuestos"

Observaciones

Propuesta 1. La detención que brindan los amortiguadores es ideal. En el mercado existen una gran gama de amortiguadores, que por lo general son de uso específico y este caso se requeriría diseñar un nuevo dispositivo que satisfaga los requerimientos. La configuración de los amortiguadores impediría que el dispositivo fuese compacto y ligero. La vida útil de este disipador no puede ser controlada.



Propuesta 2. El funcionamiento de los resortes es proporcionar desplazamiento para posteriormente regresarlo a su posición inicial, lo cual implicaría un rebote del pasajero. Se requiere realizar un estudio de mercado para determinar los resortes que podrían adecuarse, esto ocasionaría que el tamaño del dispositivo dependa de los resortes en el mercado o diseñar un nuevo resorte. En este caso no se puede asegurar que el dispositivo se deseche una vez que ha sido accionado.

Propuestas 3 y 4. Estas propuestas dependen de las propiedades mecánicas de los materiales, los cuales pueden controlarse de acuerdo con nuestros requerimientos en cuanto a dimensiones, características, manufactura, deformaciones, fractura, costo, peso y la dependencia en el mercado será función del material a utilizar.

3.4 Elección de mejores propuestas

Con base en la evaluación de propuestas se determinó que la estructura del dispositivo deberá consistir en una carcasa que se enganche a la cinta, en su interior deberá alojar a la lengüeta y contar con una trayectoria sobre la que se trasladará la lengüeta.

La deformación y fractura de materiales resultaron las mejores propuestas para disipar energía. Debido a las propiedades mecánicas de los materiales las propuestas pueden ser combinadas al deformar un componente hasta su fractura. Los cuidados varían de acuerdo con la etapa del embarazo, por lo que se propone que exista con un arreglo de piezas, donde se conozca cuál es la capacidad de cada pieza y en el impacto únicamente se dañen las piezas que sean necesarias para reducir los daños.



Capítulo 4. Diseño de detalle

En esta etapa los requerimientos y necesidades identificados, serán traducidos en especificaciones de ingeniería a las que se expondrá y deberá soportar la solución óptima obtenida en el diseño conceptual.

4.1 Especificaciones de ingeniería

En el diseño conceptual se estableció que el dispositivo se encontrará compuesto por un componente fijo el cual se colocará en la hebilla, mientras que el componente móvil sujeta la cinta.

La detención del pasajero con uso del cinturón de seguridad se puede expresar mediante el modelado de un sistema mecánico (Figura 29a). El uso del dispositivo disipador complementará al sistema actual mediante la amortiguación en la detención (Figura 29b).

- M_1 : Masa de la sección superior a la pelvis de la gestantes (62 kg). [1]
- K_1 : La cinta del cinturón sirve como resorte.
- B_1 : Amortiguamiento que proporciona la piel en la zona de sujeción
- B_2 : Amortiguamiento del dispositivo disipador
- X_1 : Velocidad de las pruebas de impacto (64 km/h).

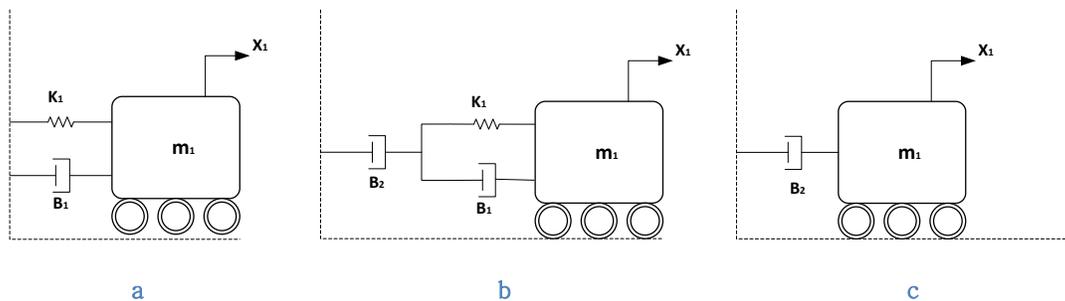


Figura 29: Modelado de sistemas mecánicos

Debido a que K_1 es rígido y el amortiguamiento de B_1 es mínimo, serán despreciados y el diseño del dispositivo se hará con base en la analogía de la Figura 29c.

El dispositivo disipador se compone por el componente fijo o disipador y el componente móvil, éste último es tirado por una masa (gestante) que se desplaza a cierta velocidad (vehículo) y durante su trayecto desprenderá cada una de las piezas que integran al componente fijo (Figura 30). El dispositivo será simétrico, por tal razón puede ser analizado sólo la mitad del componente mientras que en el análisis de resultados se deberá considerar la otra sección del dispositivo.

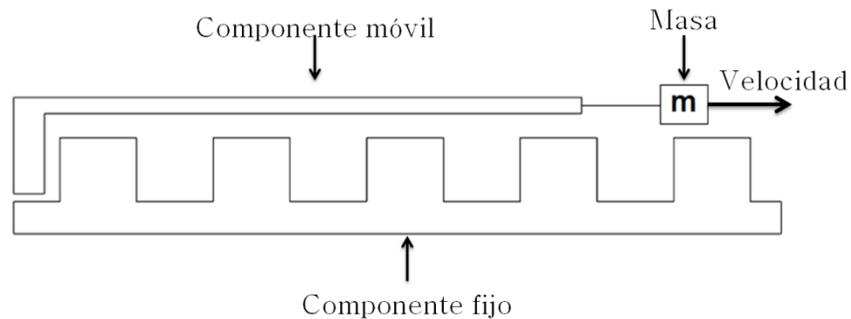


Figura 30: Analogía de dispositivo disipador

Con la finalidad de optimizar la pieza a desprender, se analizó sólo una pieza bajo las condiciones establecidas. Para obtener la forma óptima se realizaron algunas iteraciones para lograr que la pieza se desprenda desde la base, su comportamiento sea uniforme y despreciar secciones poco útiles.

4.2 Selección de materiales

Se requieren considerar dos tipos materiales:

1. Material rígido para proteger el sistema y mantenga el ensamble
2. Material disipador

Debido a que la función e instalación del dispositivo será similar que la lengüeta, como material se empleará una aleación de acero. Se ha comprobado que el material es capaz de mantener el ensamble, es maleable y económico.

Las características que se requieren considerar para la selección de material se expresan en la siguiente figura.



Figura 31: Brainstorm "Características del material"

Las características que debe cumplir el material, requieren ser traducidas en parámetros técnicos (Figura 32).

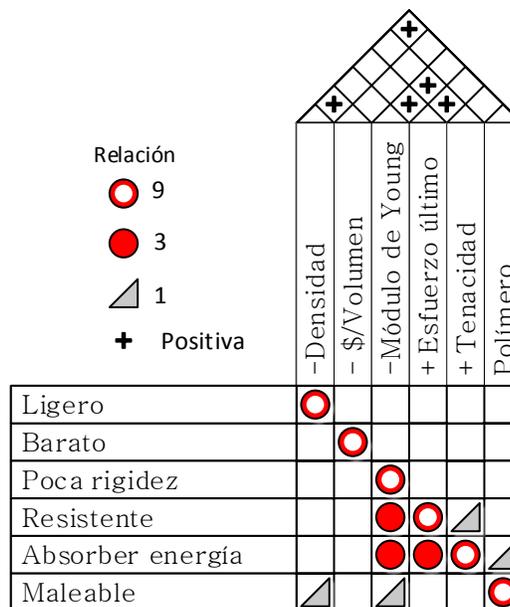


Figura 32: QFD planeación de material

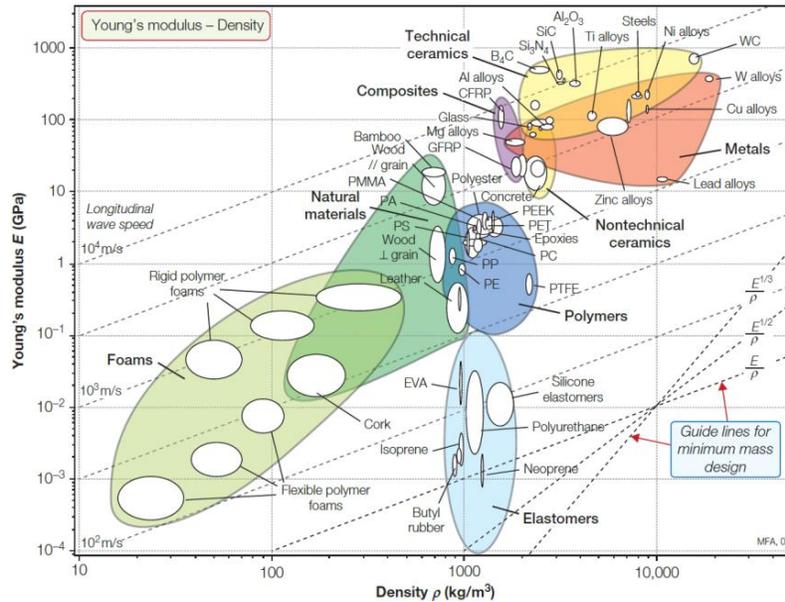
La selección de materiales será realizada a partir de un grupo polímeros comerciales, los cuales pueden ser procesados.

Los polímeros que se proponen son:

- Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).
- Polipropileno (PP).
- Poliestireno (PS).
- Polietileno (PE).
- Policarbonato (PC).

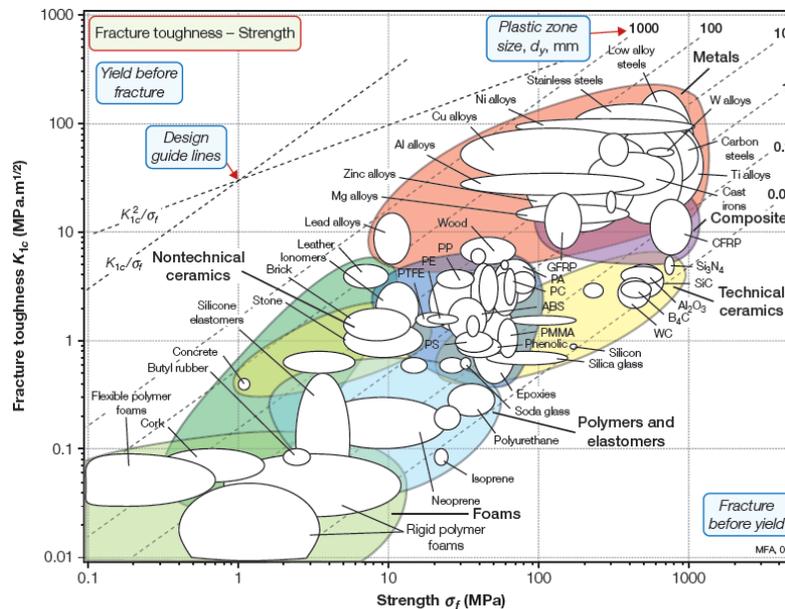
Los materiales serán comparados con base en gráficas de Ashby que permitan visualizar y obtener las propiedades de los materiales.

El módulo elástico y la densidad del material deberán ser mínimos. Los parámetros de tales propiedades serán obtenidos en la Gráfica 3.



Gráfica 3: Relación módulo de Young - Densidad [23]

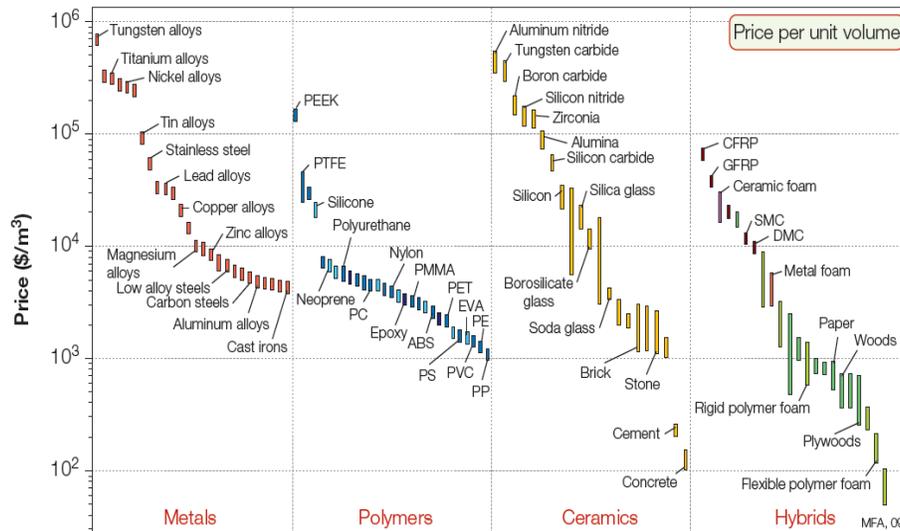
En el caso del esfuerzo último y la tenacidad a la fractura deberán ser máximos (Gráfica 4).



Gráfica 4: Relación Tenacidad a la fractura- Esfuerzo último [23]



La última comparación se realizará con el costo de material con relación al volumen, para tal caso se empleó la siguiente gráfica.



Gráfica 5: Relación costo/volumen de material [23]

Los resultados obtenidos en el análisis de las gráficas se concentran en la siguiente tabla:

Tabla 3: Propiedades mecánicas de los materiales

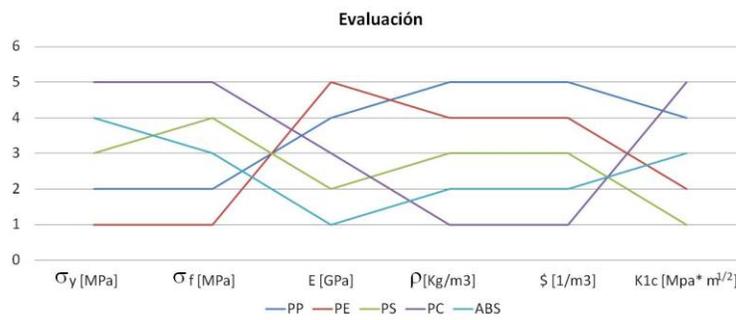
	PP	PE	PS	PC	ABS
σ_y [MPa]	20.5 - 37	18 - 29.5	29 - 50	58 - 70	19 - 51
σ_t [MPa]	18 - 44	19.5 - 27	40 - 57	60 - 70	28 - 55
E [GPa]	0.9 - 1.7	0.62 - 0.9	1.3 - 2.6	2 - 2.5	1.1 - 2.9
ρ [Kg/m ³]	880 - 910	910 - 960	1000 - 1050	1150 - 1300	1000 - 1200
$\$$ [1/m ³]	950 - 1300	1200 - 1550	1500 - 1850	4000 - 5000	2300 - 2950
K1c [Mpa* m ^{1/2}]	3 - 4.4	1.5 - 1.8	0.79 - 1.28	2.2 - 4.7	1.2 - 4.3

Una vez obtenidas las propiedades mecánicas se procedió a evaluarlas realizando esto con base en las especificaciones establecidas en la Figura 32, la evaluación fue realizada en una escala del 1 al 5, donde 5 es el valor máximo.

Tabla 4: Evaluación de materiales

	PP	PE	PS	PC	ABS
σ_y [MPa]	2	1	3	5	4
σ_f [MPa]	2	1	4	5	3
E [GPa]	4	5	2	3	1
ρ [kg/m ³]	5	4	3	1	2
ζ [1/m ³]	5	4	3	1	2
K1c [Mpa* m ^{1/2}]	4	2	1	5	3
	3.667	2.833	2.667	3.33	2.5

En la Gráfica 6 se aprecia el comportamiento de la evaluación.



Gráfica 6: Evaluación de materiales

El promedio obtenido en la evaluación de la



Tabla 4, indica que el material adecuado es el polipropileno (PP). Mientras que en la Gráfica 6 se aprecia que la evaluación del PP es más estable que las demás, no tiene evaluación mínima y sus evaluaciones son mayores al promedio.

Con la finalidad de mostrar la convergencia en la selección del material, se realiza una segunda evaluación



Tabla 5. La cual consiste en evaluar el valor promedio de las propiedades de los materiales (Tabla 3). Tal evaluación será realizada mediante una escala de colores según la satisfacción de las características donde verde es la mayor satisfacción y rojo la peor.



Tabla 5: Segunda evaluación de los materiales

	PP	PE	PS	PC	ABS
σ_y [MPa]	28.75	23.75	39.5	64	35
σ_f [MPa]	31	23.25	48.5	65	41.5
E [GPa]	1.3	0.76	1.95	2.25	2
ρ [kg/m ³]	895	935	1025	1225	1100
ξ [1/m ³]	1125	1375	1675	4500	2625
K1c [Mpa* m ^{1/2}]	3.7	1.65	1.035	3.45	2.75

En la segunda evaluación el PP tiene comportamiento similar que en la Gráfica 6, siendo el mejor material que satisface el objetivo del dispositivo “absorber la mayor energía” , ser de bajo costo y masa.

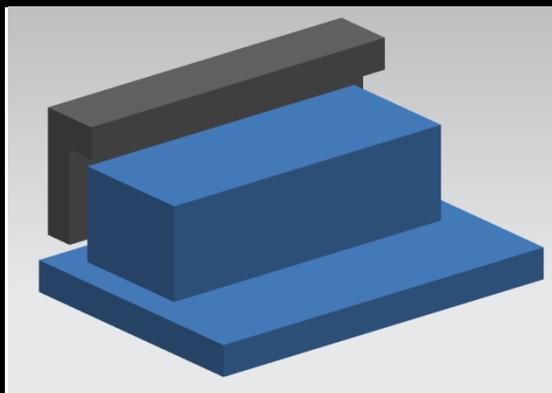
4.3 Detallado de características

Propuesta inicial

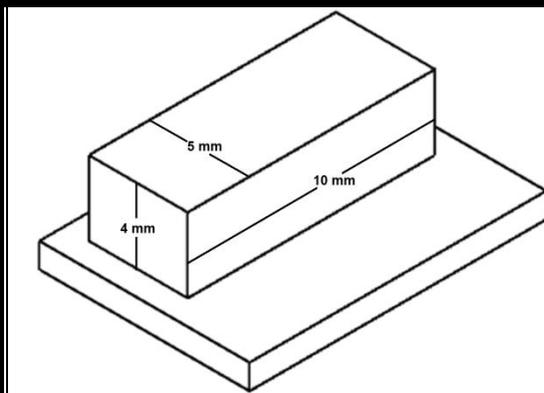
Descripción

En la primera iteración se propuso un bloque rectangular, el cual puede contener en su interior un bloque cuadrado o triangular. Las dimensiones del bloque son 5 [mm] x 4 [mm] x 10 [mm]. Cada propuesta será simulada bajo las consideraciones establecidas en la sección 4.1 Especificaciones de ingeniería

CAD

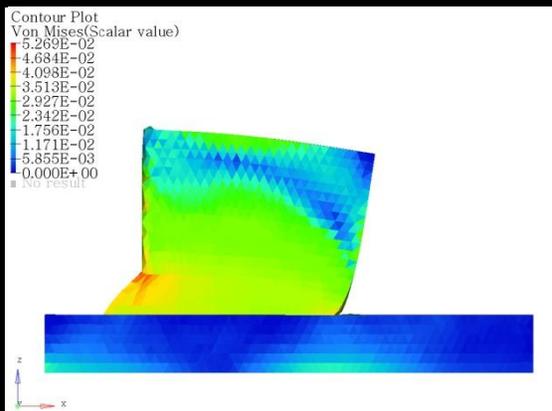


Vista isométrica

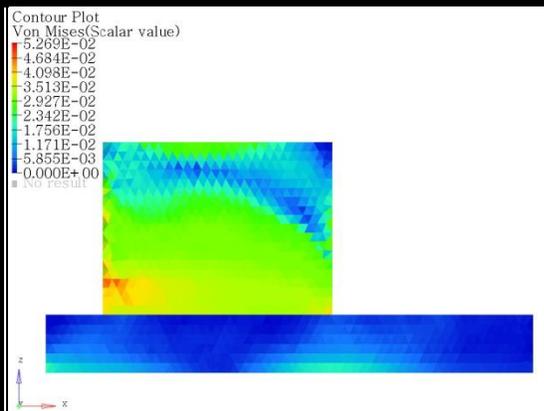


Vista isométrica (dimensiones)

Resultados de simulación



Simulación



Simulación fija

Observaciones

Existe concentración de esfuerzos en la zona 1, la cual impide que la distribución de esfuerzos sea uniforme, la cual provoque que la pieza sufra fractura en la base. Mientras que en la zona 2 existen elementos con esfuerzos bajos y/o nulos.

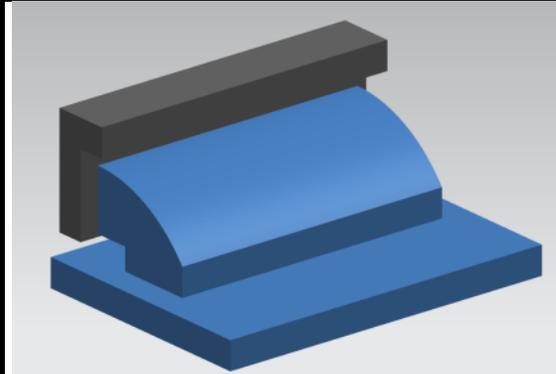


Modificación 1

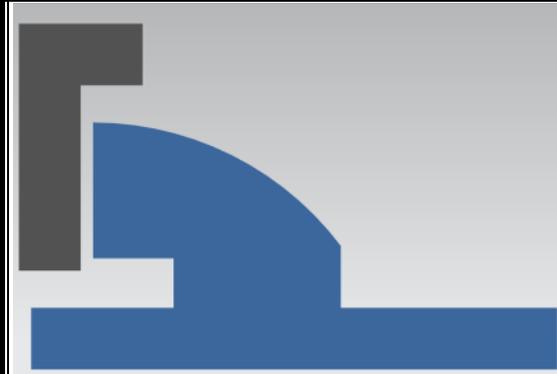
Descripción

La primera modificación realizada fue la creación de una muesca rectangular al considerar la zona de concentración y su propagación. Para el caso de los elementos que su esfuerzo era mínimo fueron eliminados para obtener como resultado una joroba.

CAD

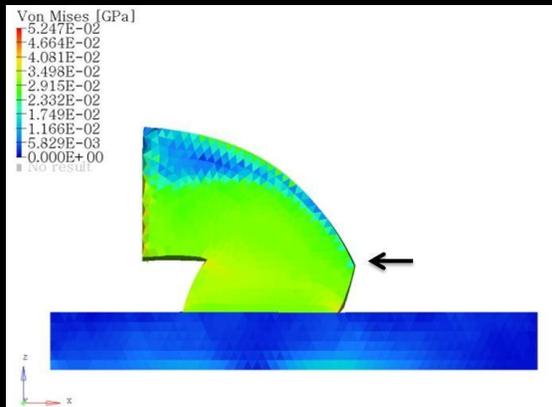


Vista isométrica

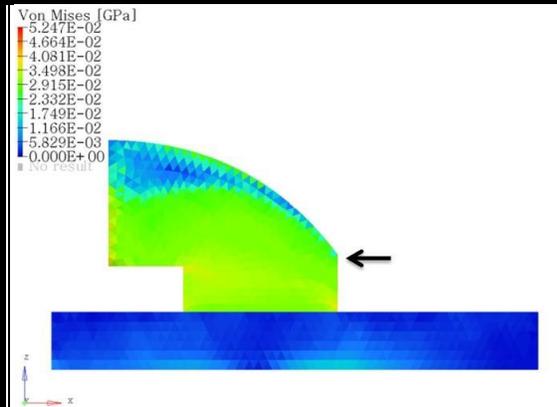


Vista lateral

Resultados de simulación



Simulación



Simulación fija

Observaciones

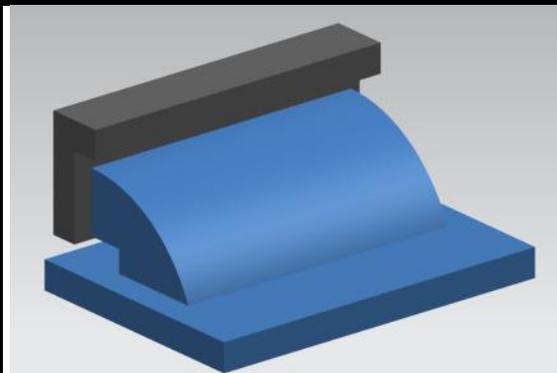
Existe una buena distribución de esfuerzos en la zona señalada. Debido a la deformación que sufre la pieza se concluye que se requiere incrementar la rigidez en su base y continuar con la curva de la distribución de esfuerzos.

Modificación 2

Descripción

La distribución de esfuerzo se realiza en la base de la pieza tal como fue establecido. En esta iteración se prolongó la curva de la joroba para incrementar la rigidez y comprobar si existe uniformidad en la distribución de esfuerzos.

CAD

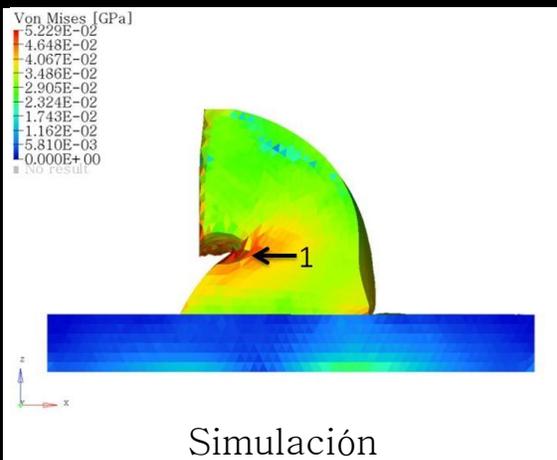


Vista isométrica

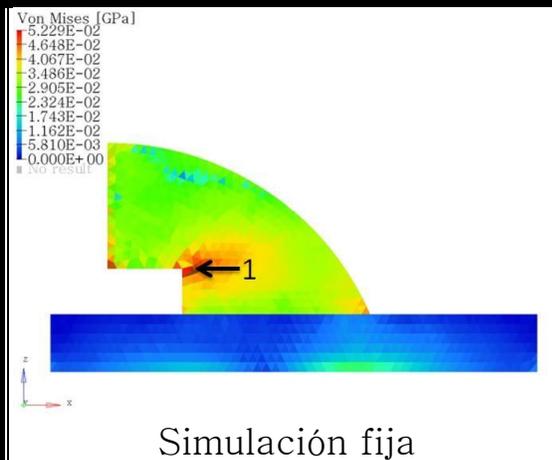


Vista lateral

Resultados de simulación



Simulación



Simulación fija

Observaciones

Las aristas contenidas en la pieza generan concentración de esfuerzos de la zona 1. Para lograr que exista mayor uniformidad como se ha logrado en el resto de los elementos, lo ideal es evitar que existan concentraciones o disminuirlas.

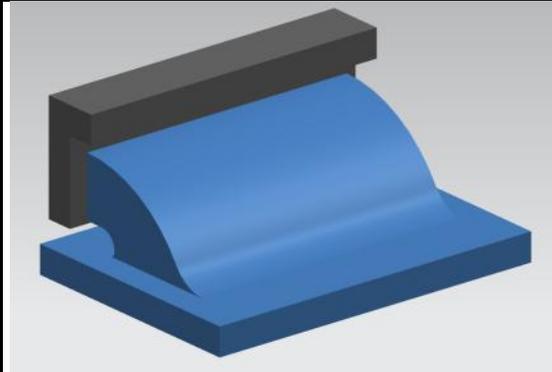


Modificación 3

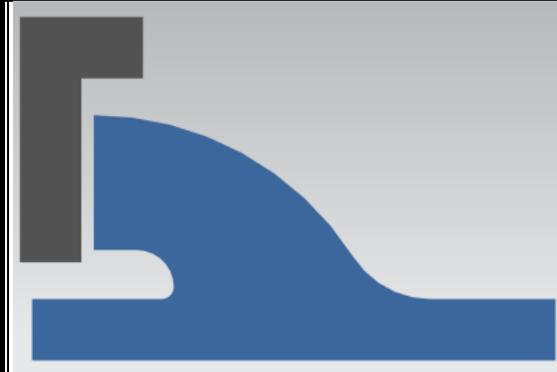
Descripción

Para suavizar la concentración de esfuerzos de la pieza, las aristas contenidas en la muesca y en la base fueron redondeadas como se muestra a continuación.

CAD

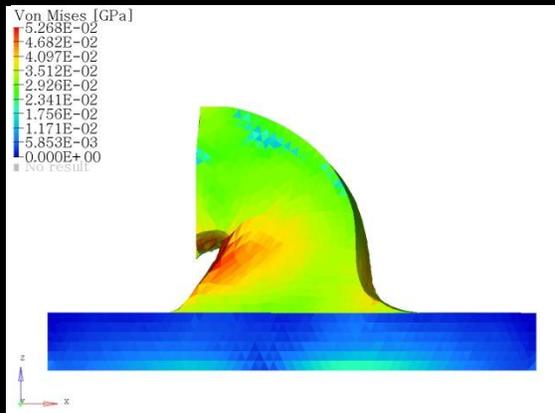


Vista isométrica

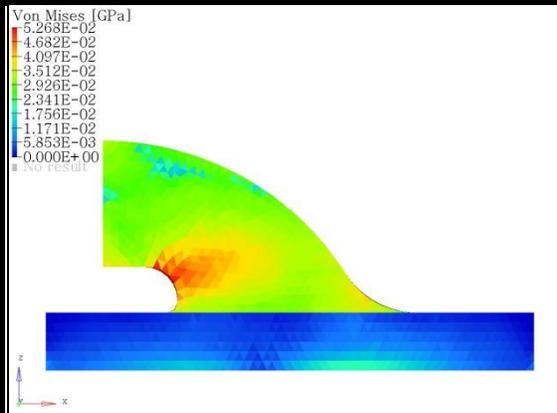


Vista lateral

Resultados de simulación



Simulación



Simulación fija

Observaciones

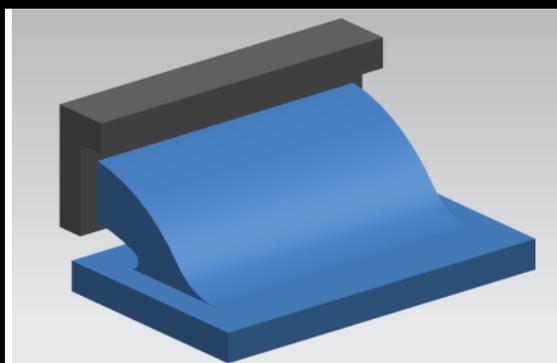
Con la modificación realizada se obtuvo una mejor uniformidad de la distribución de esfuerzos en la pieza mientras que la concentración de esfuerzos persiste en la zona de la muesca.

Modificación 4

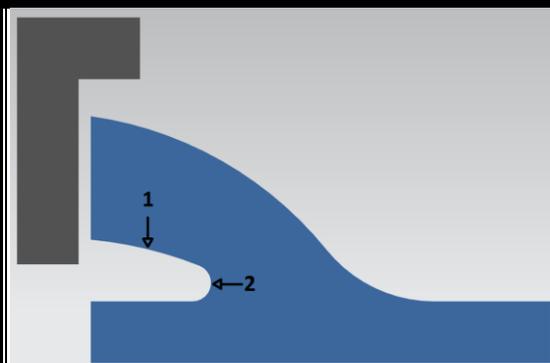
Descripción

Para reducir la concentración de esfuerzos. La muesca fue modificada por una sola línea curva (punto 1) que conectará la superficie de contacto con la base. Para evitar que exista concentración de esfuerzo en la arista generada se redondeó (punto 2), como se muestra a continuación.

CAD

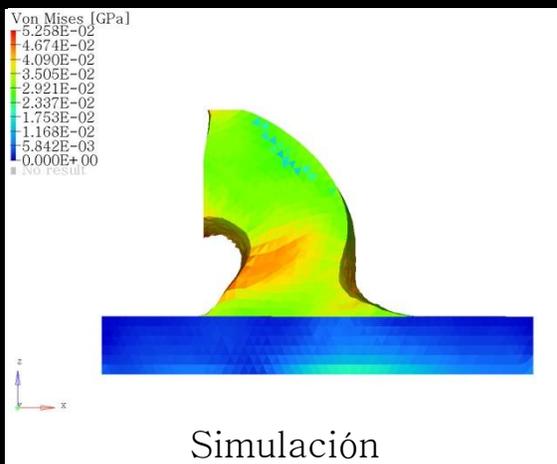


Vista isométrica

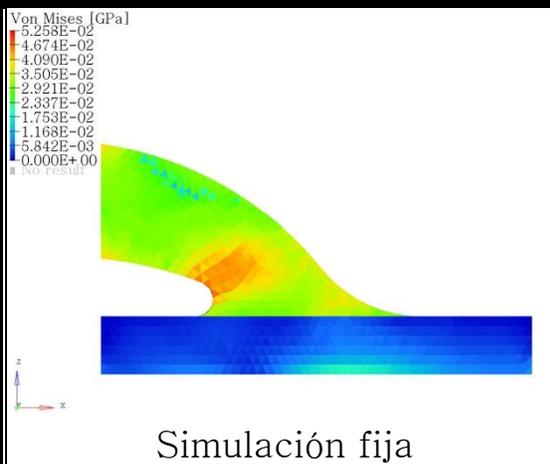


Vista lateral

Resultados de simulación



Simulación

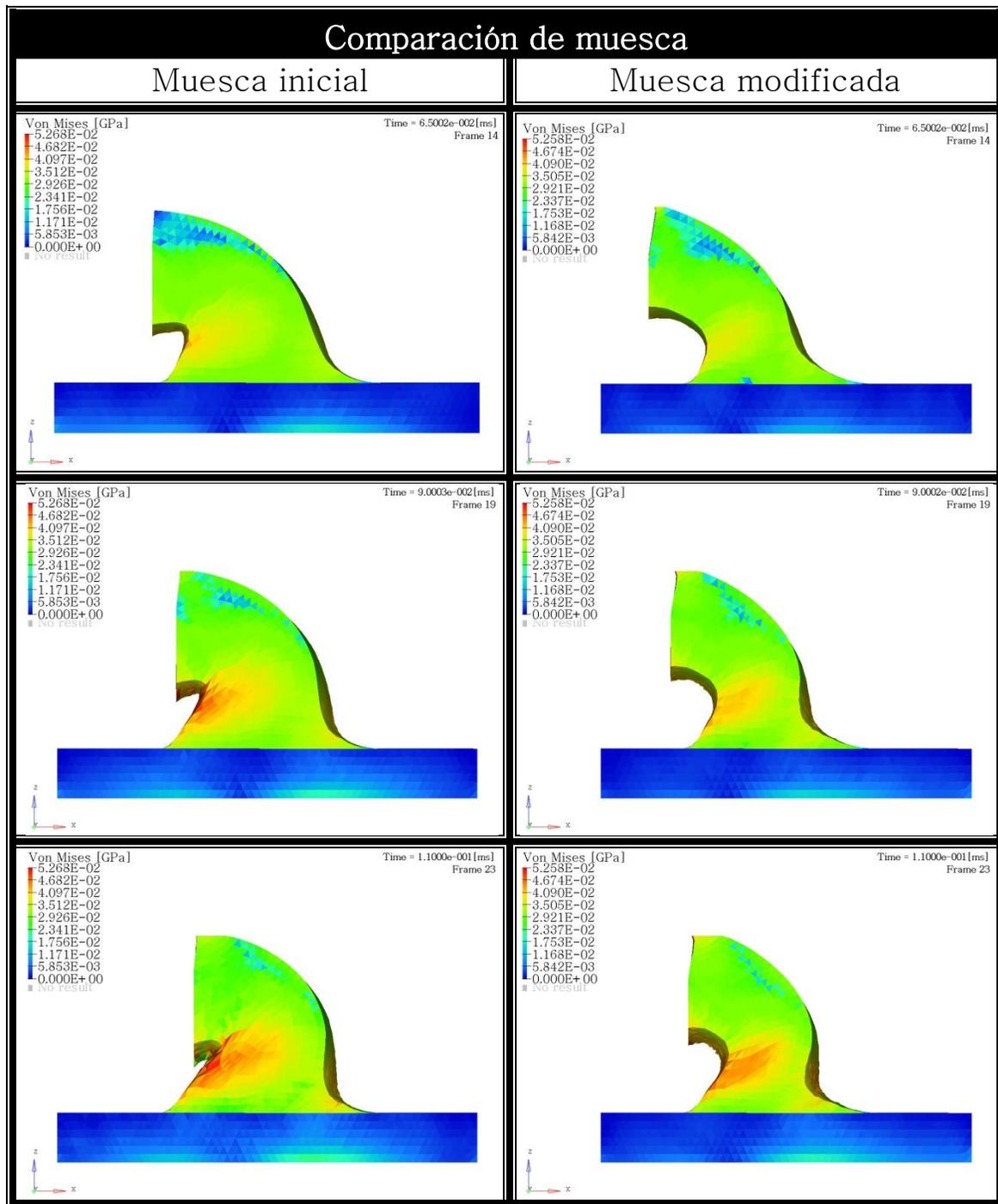


Simulación fija

Observaciones

Los esfuerzos que se encontraban concentrados fueron distribuidos uniformemente en la zona inicial de fractura.

La concentración de esfuerzos se presenta al existir cambios abruptos en las geometrías [17]. En este caso la muesca es el principal concentrador de esfuerzos, el cual no podrá ser eliminado. Por tal razón se compararán las 2 muescas para determinar cuál es la forma óptima.



Se disminuyó la concentración de esfuerzos en las muescas mientras que la distribución de esfuerzos en el resto de la pieza no se alteró.

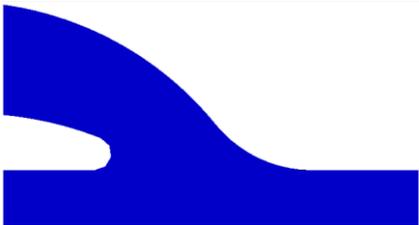
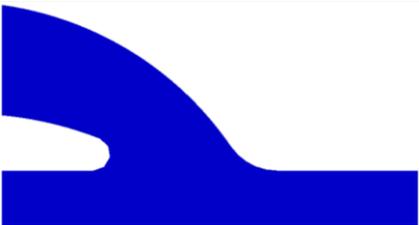
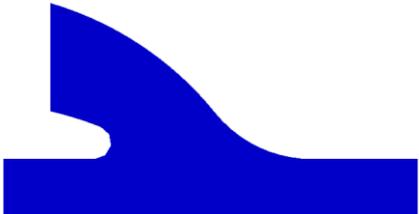
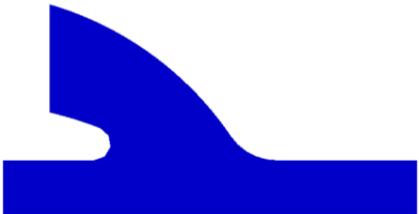
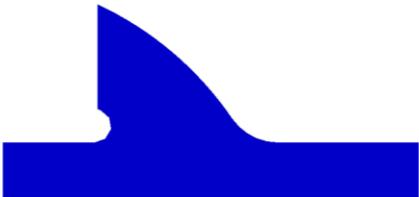
Una vez que se obtuvo la forma óptima de la pieza a fracturar, surgió la siguiente pregunta: “¿Es necesario tener la punta completa de la pieza y el redondeo prolongado que existen entre la base y la pieza?”. Esto con la

finalidad de obtener un arreglo de piezas que permita absorber la mayor cantidad de energía.

El número de piezas en el dispositivo dependerá del tamaño de cada pieza, entre menor sea el tamaño de la pieza se podrá incrementar el número de piezas.

Como primer paso se procedió a modificar la geometría de la pieza obtenida en la iteración 5. Las modificaciones consisten en reducir la punta de la cresta y el radio en el borde de la joroba y base, tal como se muestra en la siguiente tabla.

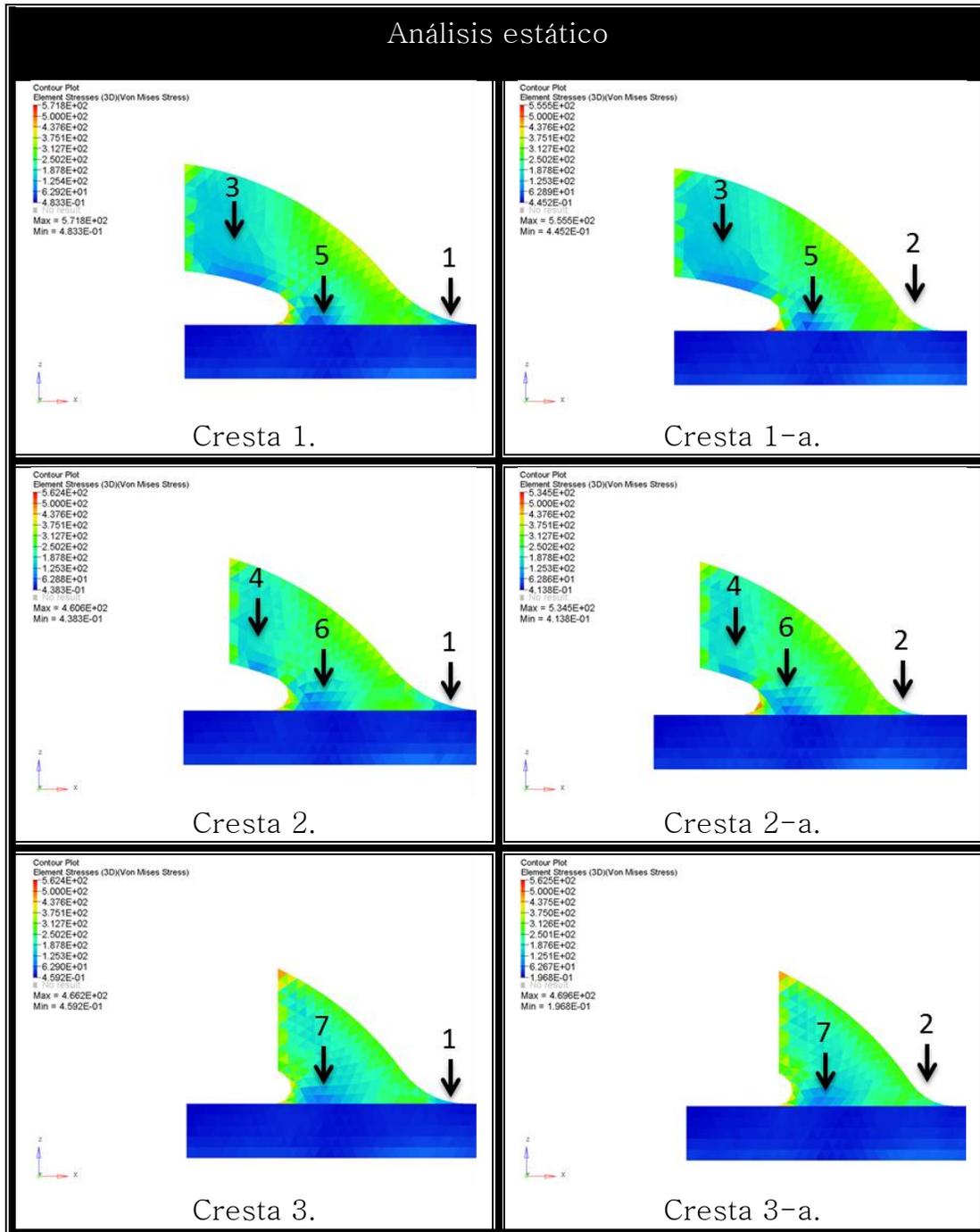
Tabla 6: Modificación de pieza.

Radio Cresta	Original	$\frac{1}{2}$ Radio
Original	 Cresta 1.	 Cresta 1-a.
$\frac{1}{2}$ Punta	 Cresta 2.	 Cresta 2-a.
Sin punta	 Cresta 3.	 Cresta 3-a.



Para disminuir el consumo computacional se realizó un análisis estático de cada componente, bajo una carga distribuida de 2 kN normal a la superficie de contacto, tal carga fue normal a la superficie de contacto en dirección de impacto. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Tabla 7: Resultados de análisis estático





Observaciones.

El esfuerzo de los elementos contenidos en el punto 1 es mínimo, por tal razón se redujo el radio en tal sección y se logró tener mejor distribución en tal zona como se muestra en el punto 2.

Los elementos del punto 3 pueden ser despreciados, ya que los esfuerzos de dichos elementos son mínimos, mientras punto 4 se observa el mismo comportamiento por lo que se procedió a recortar las crestas. En la tercera modificación de la cresta se eliminaron los elementos con esfuerzos mínimos.

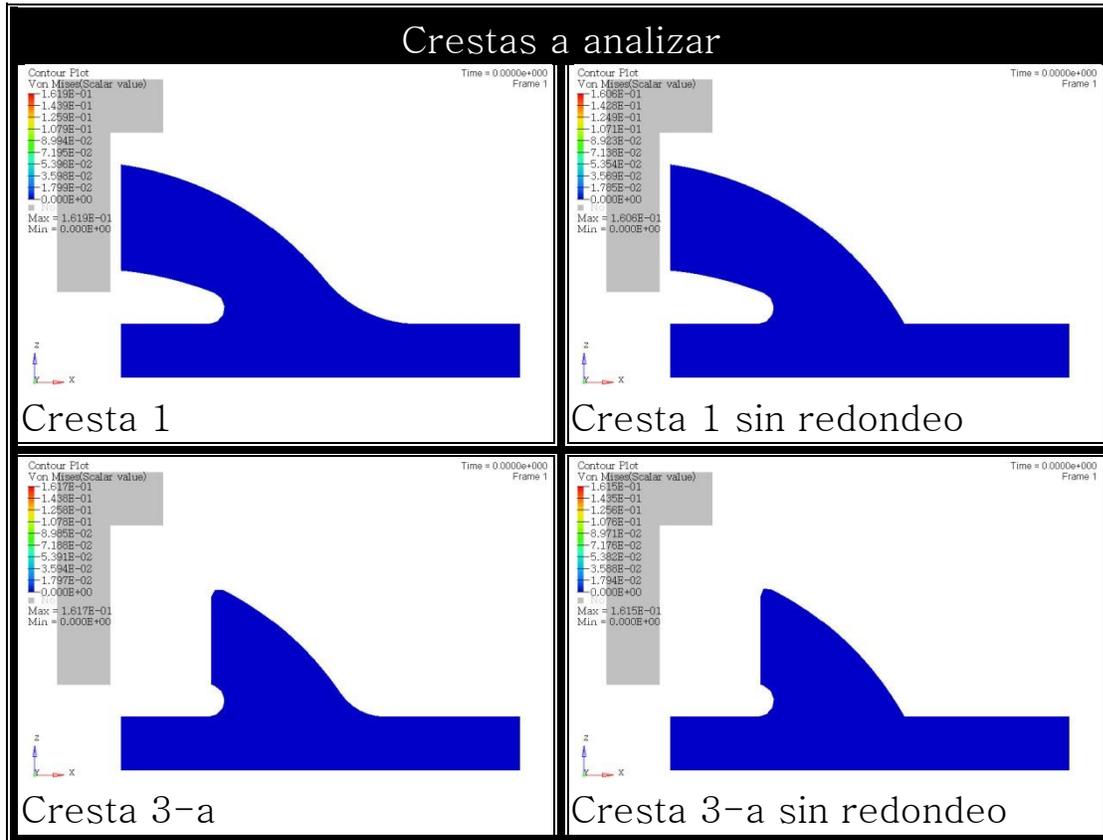
Se logró mejor distribución de los elementos contenidos inicialmente en el punto 5. En el punto 7 se podrían eliminar los elementos, lo cual complicaría los procesos de manufactura, para conocer más acerca de su comportamiento se procedió a someterlo al análisis dinámico.

Con base en el análisis estático se determinó que la pieza 3-a cuenta con mejor distribución de esfuerzos y es la que tiene menos elementos con esfuerzos mínimos. También se notó que entre mayor sea el radio del redondeo el borde joroba-base, se generan elementos con esfuerzos mínimos.

A continuación se procedió a realizar un análisis dinámico para comparar el comportamiento de la pieza 1 (pieza obtenida en la iteración 5) contra la pieza 3-a (mejor solución ante una carga estática). Se realizó un segundo análisis a cada pieza en el que se eliminó el redondeo joroba-base para determinar si es conveniente disminuir la concentración de esfuerzos en dicha zona o disminuir el tamaño de la pieza, tal como se muestra en la siguiente tabla.



Tabla 8: Crestas modificadas



Los resultados de los análisis fueron examinados en los tiempos que se consideran relevantes. El primer caso es cuando existe contacto con las crestas 3 y 3-a, mientras que en el segundo caso es cuando se inicia la fractura de la pieza. El último caso muestra como se produce la fractura de la pieza.

Tabla 9: Inicio de contacto con las crestas 3 y 3a.

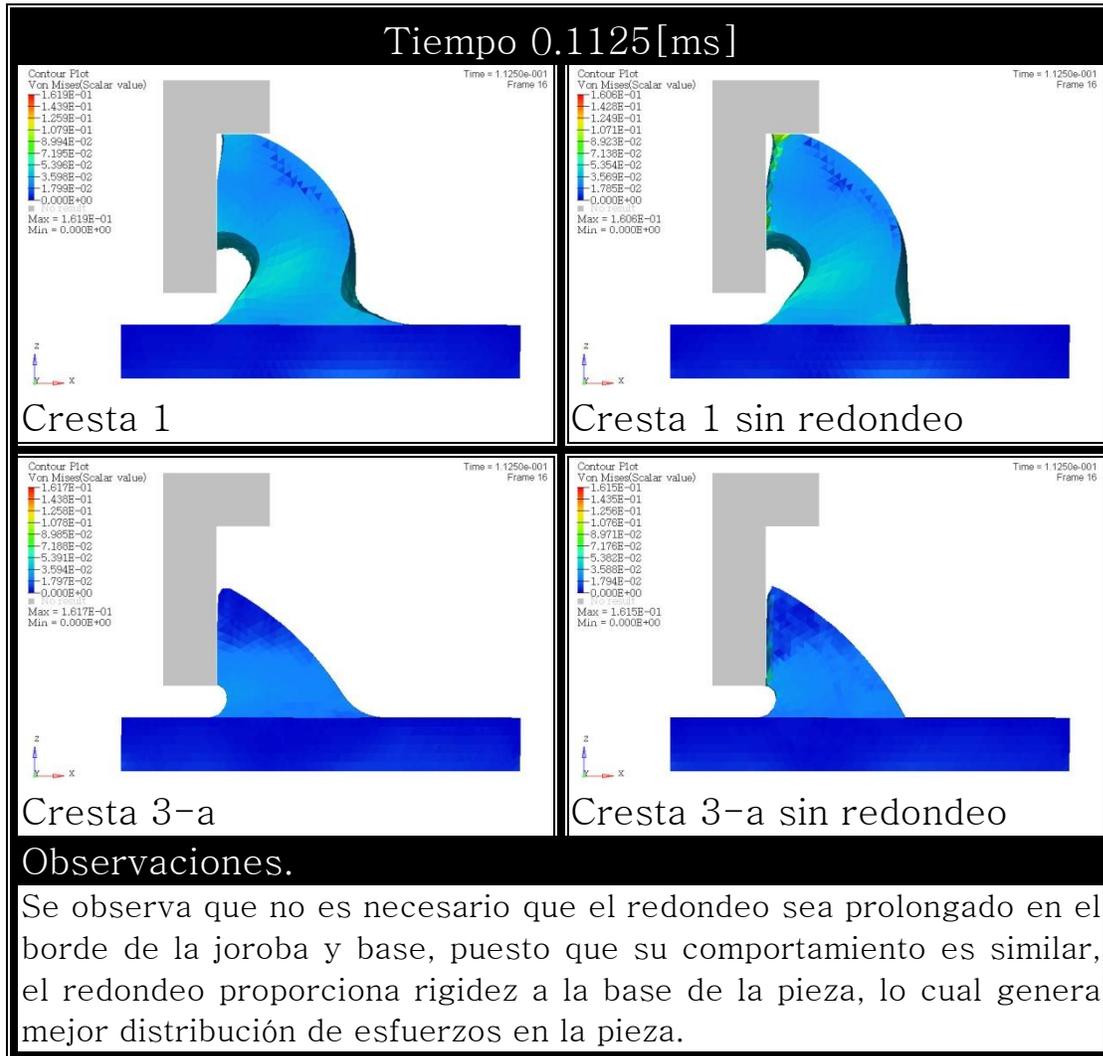




Tabla 10: Inicio de penetración en la muesca.

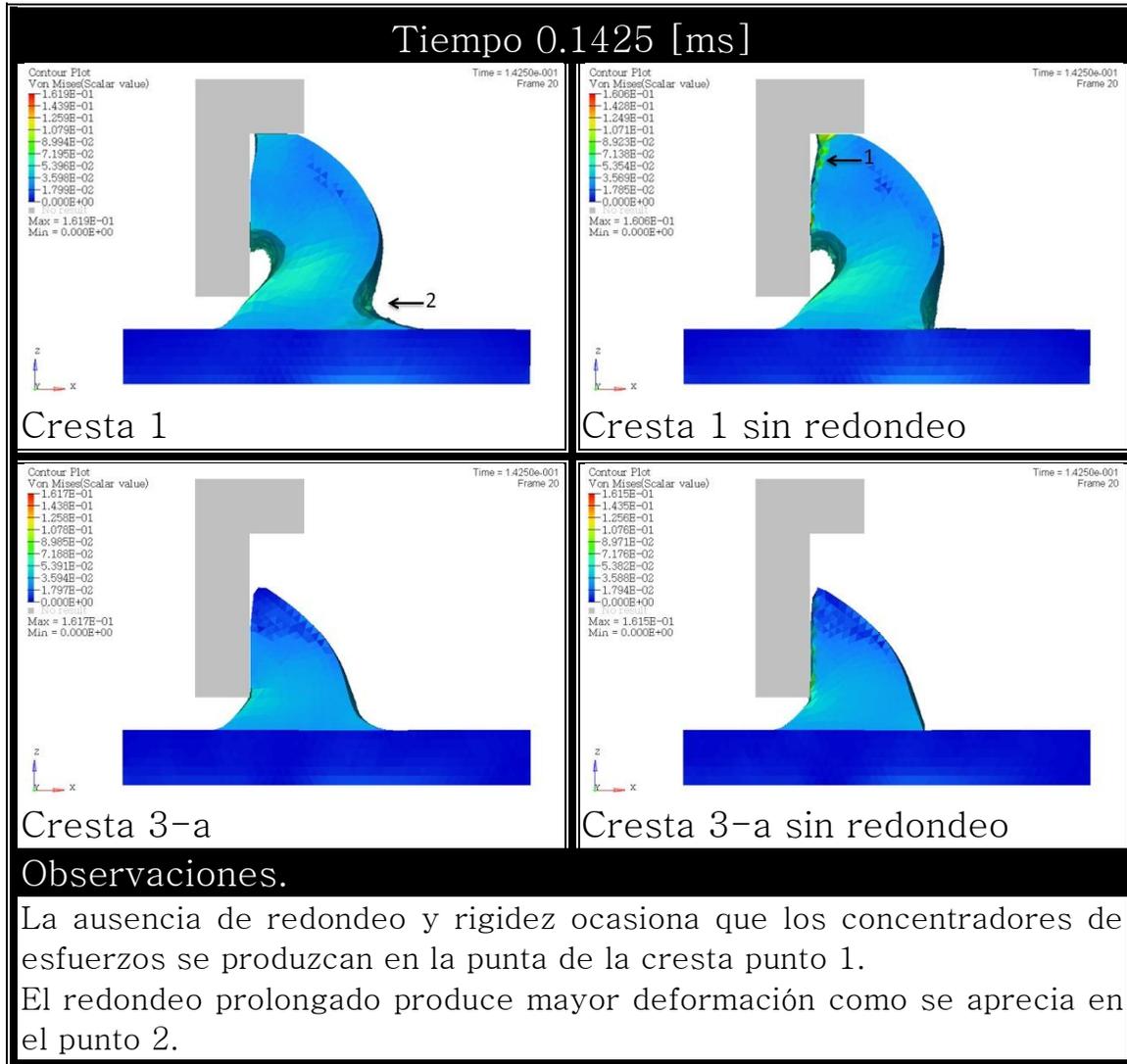
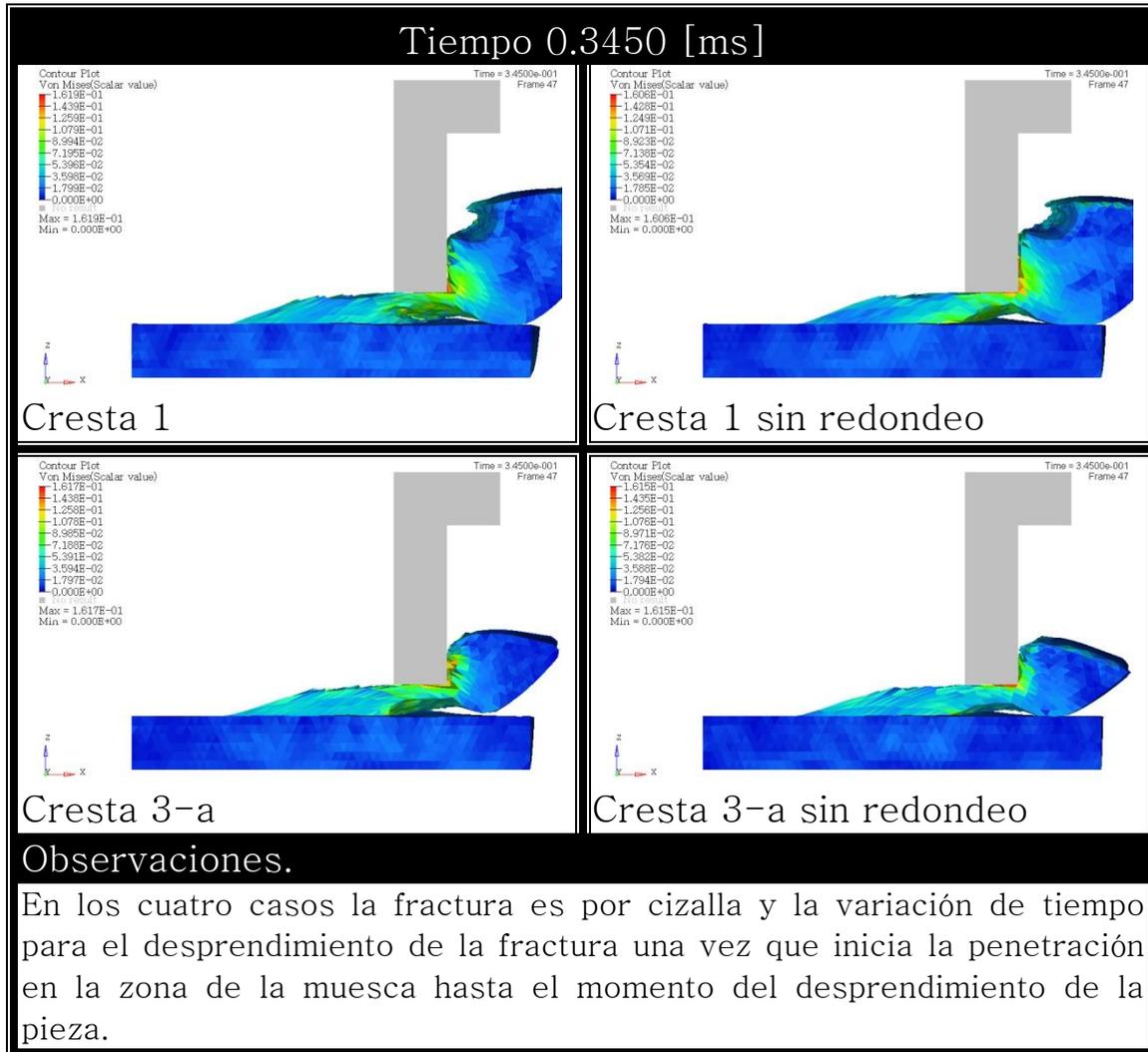


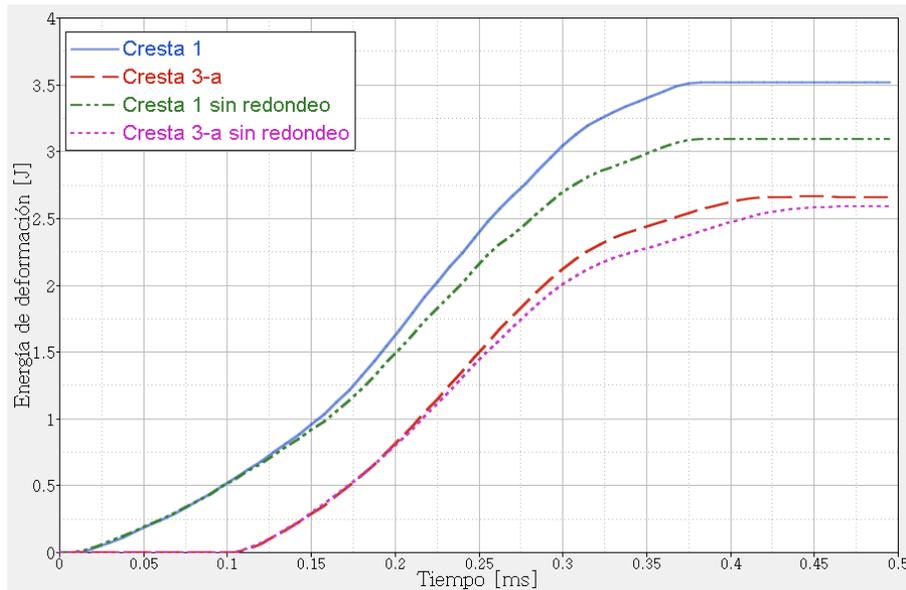
Tabla 11; Fractura de las crestas.





4.4 *Discusión de resultados*

En el análisis dinámico que se le aplicó a cada pieza bajo las condiciones de trabajo, el comportamiento de la energía de deformación de cada pieza se expresa en la siguiente gráfica.



Gráfica 7: Energía de deformación

La capacidad que tiene cada pieza de absorber energía cinética del impacto hasta el momento de la fractura se expresa en la siguiente tabla.

Tabla 12: Energía que absorbe cada pieza.

Resultados	
Cresta	U [J]
1	3.5221
1 sin redondeo	3.0906
3-a	2.6603
3-a sin redondeo	2.5897

La cresta tiene mayor capacidad de absorber energía cinética, es la cresta 1. Para identificar cual es la solución óptima con base en los arreglos de cada pieza. Los arreglos consistieron en colocar las piezas alineadas con un espacio de 25% de su longitud en un espacio máximo de 60 mm.

Tabla 13: Arreglos de crestas.

Arreglos				
Cresta	1	1 s/redondeo	3-a	3-a s/redondeo
Longitud	5.5828	4.4016	3.2064	2.7516
Diagrama				
# crestas	8	11	15	17
U_{total} [J]	28.1768	33.9966	39.9045	44.0249

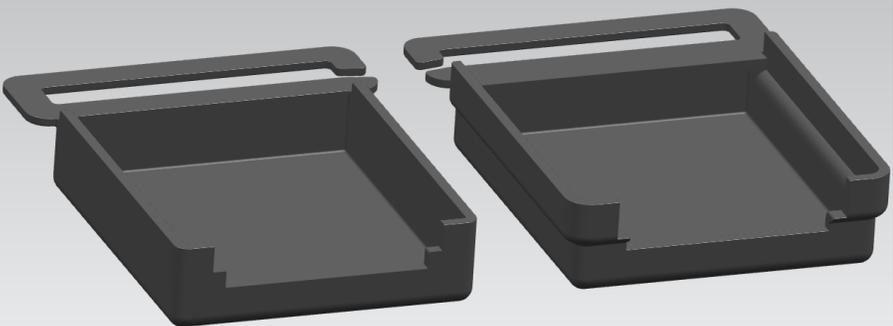
El arreglo que absorbe mayor energía es el compuesto por la cresta 3-a sin redondeo. Los análisis se realizaron sólo considerando 10 mm del ancho de la pieza, aún falta considerar que la sección analizada es una quinta parte de la cresta y éste será un componente simétrico, para calcular la energía que absorberá el dispositivo, al desprender las piezas se multiplicará la energía obtenida por un factor de 10, lo cual tiene como resultado 440.249[J].

4.5 Procesos de manufactura

Se estudiaron y analizaron los procesos de manufactura existentes para conocer las características y limitantes de cada uno. Esto con la finalidad de detallar cada componente del dispositivo para que en su producción se empleen procesos convencionales y sean posibles producir.

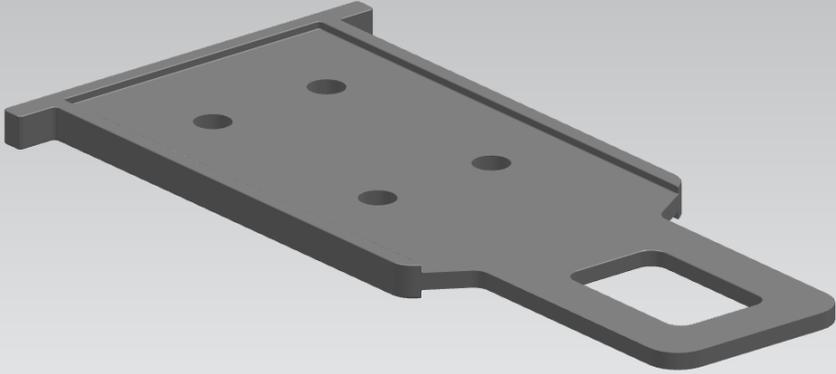


El objetivo principal en la producción es contar con el menor número de componentes y procesos, así como el menor tiempo de producción.

Carcasa	
Descripción	Este componente deberá ser rígido e inviolable para proteger lo contenido en su interior.
Manufactura	
Proceso	Troquelado
Características	Proceso de deformación de materiales mediante la aplicación de cargas a compresión, los materiales tomarán forma de los moldes empleados. Para este proceso se requiere que los bordes sean redondeados.
	 <p>Figura 33: Aplicación de troquelado I [18]</p>
Producción	
Descripción	La carcasa consta de dos tapas, que al unir las de frente cerrarán la carcasa, para asegurar que cierren adecuadamente una de las cajas contará con una pestaña que sujetará la otra tapa. Ambas tapas contarán con el gancho que sujetará la cinta del cinturón de seguridad, mientras que en el extremo contrario habrá una superficie sin material por donde se desplazará la lengüeta.
CAD de componente	

Carcasa (cierre)	
Descripción	La caja deberá estar cerrada en todo momento y en caso que el usuario la abriera, ésta deberá ser dañada para evitar que vuelva a ser sellada.
Manufactura	
Proceso	Soldadura
Características	<p>Permite unir componentes y sellar ranuras. La unión que brinda este método es rígida e irreversible. No es posible separar los componentes sin dañarlos.</p>
	<p style="text-align: center;">Figura 34: Tipos de soldadura [28]</p>
Producción	
Descripción	En este caso se emplearán hilos de soldadura que sellarán la ranura que se generará entre la pestaña y el otro componente.
CAD de componente	



Lengüeta	
Descripción	La lengüeta deberá ser similar a la existente para pueda anclarse a la hebilla. Este componente alojará a los elementos disipadores, por lo que deberá asegurar la colocación.
Manufactura	
Proceso	Troquelado
Características	Se utiliza actualmente para crear esta pieza y tiene la capacidad de realizar relieves.
	 <p>Figura 35: Aplicación de troquelado II [19]</p>
Producción	
Descripción	El proceso será similar al de la lengüeta actual, sólo que esta lengüeta requiere mayor superficie y su entorno a relieve para alojar 2 elementos disipadores para asegurar que sean colocados adecuadamente la lengüeta contara 4 barrenos en los que entrarán una sección del disipador.
CAD de componente	

Disipador	
Descripción	El componente es el componente principal del dispositivo, ya que éste será el encargado de absorber un porcentaje de la energía que es transmitido a los pasajeros de un vehículo ante una desaceleración repentina.
Manufactura	
Proceso	Inyección.
Características	Es un proceso que puede dar forma a casi cualquier geometría, esto depende de la producción de los moldes a emplear. Puesto que los materiales necesarios para la creación de moldes son poco maleables, al disminuir las dimensiones del componente aumenta la complejidad de la creación del molde.
	 <p style="text-align: center;">Figura 36: Aplicación de inyección de plástico [21]</p>
Producción	
Descripción	La inyección de los componentes deberá ser frontal para que se consiga la figura obtenida, lo cual complica el producción del molde. Por ser una pieza pequeña la solución podría ser la inyección del componente de forma vertical, lo que implica modificar la pieza para que pueda ser producida.



Capítulo 5. Rediseño de componente disipador

La producción del componente dependerá de la calidad de los moldes que se utilizarán en la inyección. Por tal razón se requieren considerar las limitantes que existen en los procesos para la creación del molde y la inyección del plástico.

Con base en las recomendaciones para la inyección de plásticos mostradas en la Figura 37, se plantearon algunos requerimientos para la creación del molde y la inyección de plásticos.

- Ángulo superior a 95° entre el frente de la pieza y la base
- Redondeo en bordes mínimo $0.125 P$.
- Espacio mínimo entre cada pieza es $0.125 P$.
- La arista que se genere en la base deberá tener un ángulo mínimo de 0.015 in o 0.381 mm.

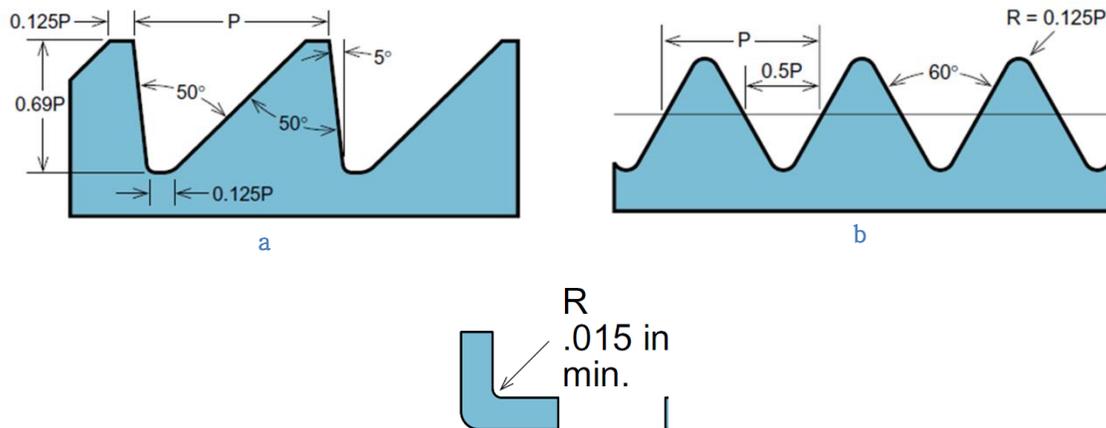
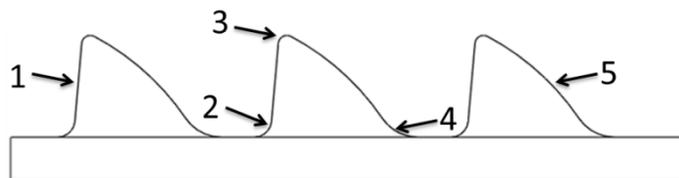


Figura 37: Espacio entre piezas alineadas [21]

Bajo las consideraciones anteriores se determinó que es necesario el redondeo entre la joroba y la base. Por tal razón se descartará la modificación de la cresta 3-a sin redondeo, por ser la segunda pieza en absorber mayor energía se modificará la cresta 3-a.

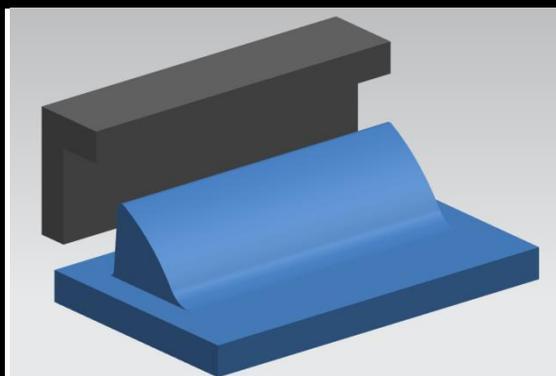
Modificación final

Descripción

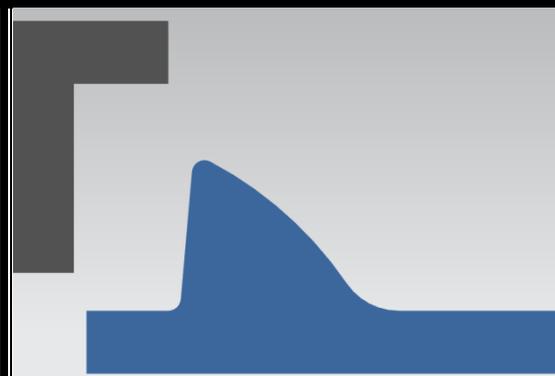


- 1- Ángulo de la superficie a 95° respecto a la base.
- 2- Redondeo mayor a 0.381 mm.
- 3- Radio de 0.125 P
- 4- Redondeo mayor a 0.381 mm.
- 5- La joroba de la pieza puede ser producida con los procesos requeridos para la creación del molde y durante la inyección.

CAD



Vista isométrica

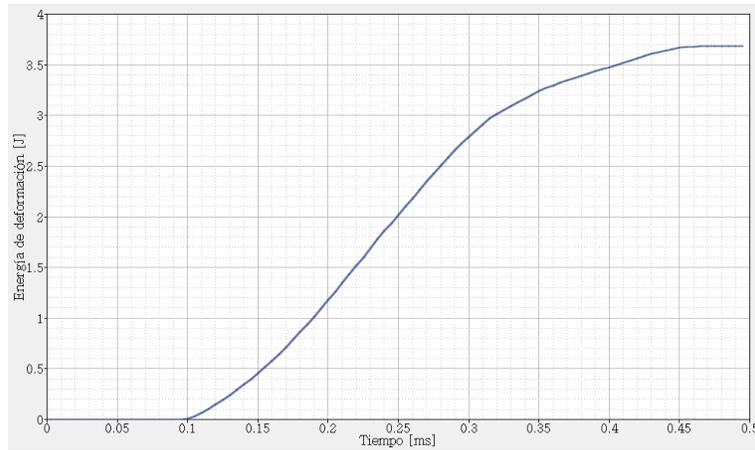


Vista lateral

5.1 *Discusión de resultados*

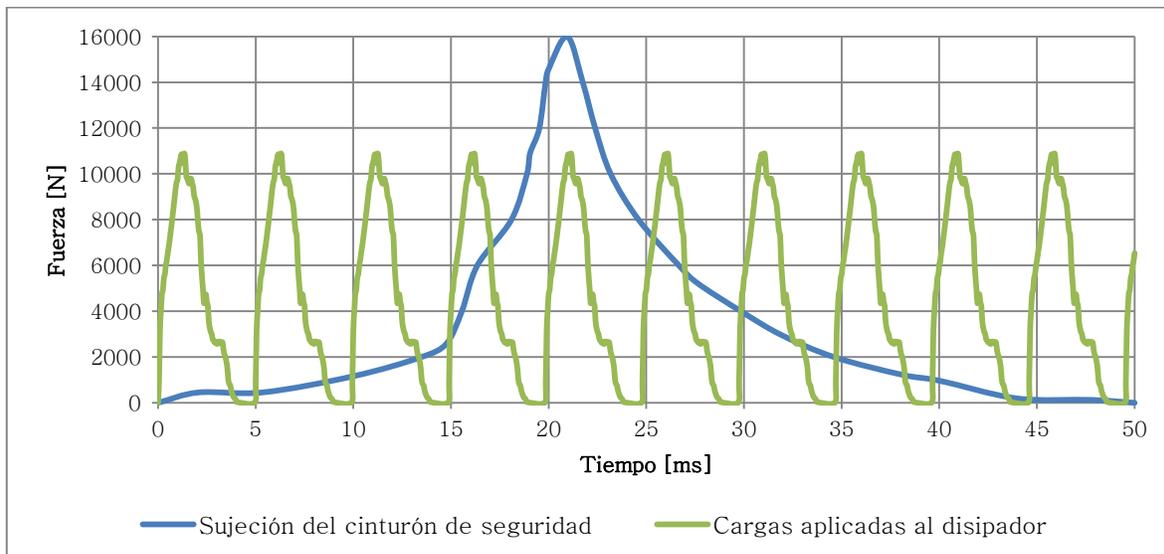
La modificación de la cresta incrementó su sección transversal donde se genera la fractura. Con las nuevas dimensiones de la cresta se obtiene un arreglo de 13 hileras. Para determinar la capacidad de absorber energía y la fuerza requerida para desprender cada pieza, se realizó la simulación de una cresta, la cual representa el 20% de una hilera.

El incremento del volumen de la cresta generó incremento de la energía de deformación incremento a 3.7 [J] (Gráfica 8). Lo cual permitiría absorber 481 [J] en un tiempo de 63.45 [ms].



Gráfica 8: Energía de deformación de cresta final.

En la siguiente gráfica se realiza la comparación de los comportamientos entre la fuerza requerida para desprender cada hilera de cresta y las fuerzas que ejerce el cinturón de seguridad para detener el cuerpo [28].



Gráfica 9: Fuerzas empleadas para detención de un cuerpo

La fuerza ejercida por el cinturón de seguridad en el intervalo 15 – 21 [ms] se incrementa bruscamente hasta llegar a un punto máximo, en este momento es cuando el usuario alcanza su mayor desplazamiento, posteriormente la fuerza disminuye hasta detener por completo al usuario. El uso de este dispositivo disminuye la fuerza aplicada sobre la gestante para detenerla, ya que la fuerza inicial es transmitida al dispositivo para desprender las crestas mientras que la restante es la que se aplica a la gestante. Con el desprendimiento de las crestas se permite que la gestante

se desplace, lo cual ocasiona que la detención sea gradual y el tiempo requerido para su detención será mayor. De este modo se logrará disminuir los riesgos a los que se expone la gestante y su producto.

El ensamble completo del dispositivo con las modificaciones realizadas se muestran en las siguientes figuras.

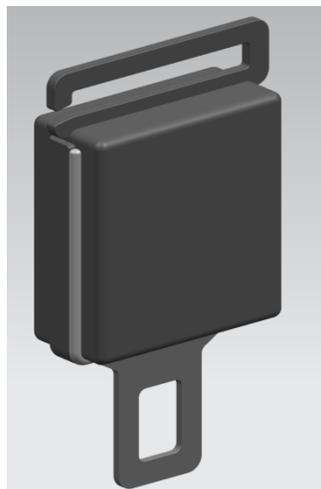


Figura 38: Dispositivo final

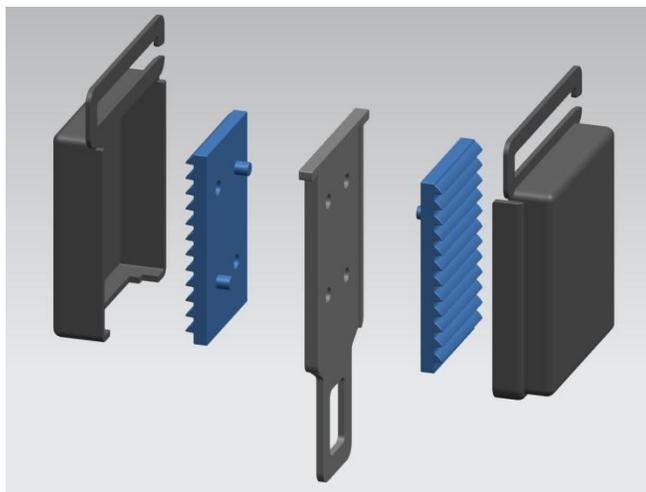


Figura 39: Vista explosionada de dispositivo final



Capítulo 6. Conclusiones

Se identificó que la protección que brinda el cinturón de seguridad no es la ideal para las mujeres y su producto durante el embarazo. Existen algunos productos que se encuentran diseñados para brindar comodidad al utilizar el cinturón de seguridad, por tal razón se propuso diseñar un dispositivo que complemente al cinturón de seguridad y disminuya los daños que éste ocasiona debido a la inmovilización inmediata y la rigidez en la sujeción.

El proceso de diseño del dispositivo de seguridad para mujeres embarazadas consistió en las etapas de diseño conceptual y diseño de detalle.

Diseño conceptual.

Para comprender la problemática se realizaron analogías de lo que sucede durante un accidente automovilístico y se analizaron dispositivos empleados para detener cuerpos en movimiento.

La solución obtenida en el proceso consiste en contar con algunas piezas, las cuales serán desprendidas. Cada pieza absorbe energía cinética para lograr su desprendimiento. El contar con diversas piezas alineadas permite que el desprendimiento de las piezas se realice bajo demanda al fracturar las piezas requeridas para disminuir la rigidez en la sujeción, detener gradualmente, absorber energía cinética y proporcionar desplazamiento.

Diseño de detalle.

Se utilizó el método de los elementos finitos a través del análisis dinámico explícito, a partir de un bloque se obtuvo la geometría de las crestas, con la que se obtiene uniformidad en la distribución de esfuerzos y desprender la cresta desde su base.

Se analizaron diversos arreglos de crestas, lo que fue primordial para determinar que es conveniente contar con mayor número de piezas de menores dimensiones para disipar mayor energía. Debido a que la mejor solución presenta problemas para su producción, ésta fue modificada con base en parámetros mínimos de producción.



Debido a que en la última modificación de la cresta se cuenta con mayor sección transversal y la fractura se realiza por esfuerzos cortantes, la energía que absorbe esta pieza es la máxima. Con lo que se obtendrá un arreglo de 13 piezas alineadas, el cual absorberá 5.07% de la energía cinética transmitida a la gestante.

El tiempo total de actuación de este dispositivo es 63.45 [ms], durante los que puede absorber hasta 5.07% de la energía cinética transmitida a la gestante. Este dispositivo disminuye la rigidez en la sujeción, puesto que 10.9 [kN] de la fuerza requerida para sujetar a la gestante, será aplicada al dispositivo.

El uso del dispositivo para complementar a los sistemas de seguridad actuales reducirá los daños y lesiones a los que están expuestas las mujeres durante el embarazo, al disminuir la rigidez en la sujeción, evitar la inmovilización inmediata, permitir que la mujer se desplace en mayor lapso.



Trabajo futuro

Para complementar el presente trabajo, se requiere:

- Probar de forma experimental la protección de este dispositivo, por lo que se requiere la producción del dispositivo y someterlo a pruebas experimentales bajo las condiciones de trabajo determinadas.
- Rediseñar el arreglo de crestas, el cual incrementa la capacidad del dispositivo de absorber energía y la protección que brinda.



Referencias

- [1] Organización Mundial de la Salud, «Traumatismos causados por el tránsito,» 09 2012. [En línea]: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/es/index.html>. [Último acceso: 21 Febrero 2013].
- [2] Organización mundial de la salud, Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial, Ginebra: Organización mundial de la salud, 2009.
- [3] «WHITE PAPER ON TRAFFIC SAFETY IN JAPAN 2006,» [En línea]: <http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/19html/wp2006-1.html>.
- [4] P. Drs Petrone, M. Pardo y J. A. Asencio, «La marca del cinturón de seguridad y sus lesiones asociadas,» *Revista chilena de cirugía*, vol. 56, nº 1, pp. 12-15, Febrero 2004.
- [5] A. H. Lorenzo y M. C. Menchaca, «Biomecánica del accidente de tráfico,» *Puesta al día en urgencias, emergencias y catástrofes*, vol. 1, nº 1, pp. 8-13, 1999.
- [6] A. Hernando Lorenzo y C. M. M., «Biomecánica del accidente de tráfico,» *Puesta al día en urgencias, emergencias y catástrofes*, vol. 1, nº 1, pp. 8-13, 1999.
- [7] Lippincott Williams & Wilkins, Inc., «The Consequences of High-Risk Behaviors: Trauma During Pregnancy,» *Trauma and Acute Care Surgery*, vol. 62, nº 4, pp. 1015-1020, Abril 2007.
- [8] Organización Mundial de la Salud, «Mortalidad Materna,» Mayo 2012. [En línea]: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs348/es/>. [Último acceso: 1 Abril 2013].
- [9] P. RM, «Nutritional support in obstetrics and gynecology,» de *Clinical obsterics and gynecology*, 1976, pp. 489-513.
- [10] Economic and Social Council, «Regulation No. 16 (Safety-belts),» 1995.
- [11] Secretaría de comercio y fomento industrial, «Industria automotriz.- Vehículos automotores. -Cinturones de seguridad. - Especificaciones,» 1980.



-
- [12] U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, «Seat Belt Assemblies,» WASHINGTON, DC, 1999.
- [13] Be Safe International, «Be Safe Pregnant,» [En línea]: http://www.besafe-international.com/Besafe_Embarazadas.asp. [Último acceso: 22 Febrero 2013].
- [14] Clippasafe, «Advanced Bump Belt,» 2012. [En línea]: http://www.clippasafe.co.uk/rsm/53/products/?stage=view_product&id=86. [Último acceso: 29 Enero 2013].
- [15] PIXIE TM, «The World's First Pregnancy Seat Belt Harness,» 2011. [En línea]: <http://www.pregnancyseatbeltharness.com/index.html>. [Último acceso: 5 Agosto 2013].
- [16] emobikids, «Seguridad Chaleco,» 2013. [En línea]: <http://www.emobikids.com/cinturon-seguridad-embarazada/seguridad-chaleco-embarazo>. [Último acceso: 8 Agosto 2013].
- [17] IDEO, «Design Thinking,» IDEO, [En línea]: <http://designthinkingforeducators.com/design-examples/>. [Último acceso: 18 Agosto 2013].
- [18] ©Global NCAP, «Crash Testing,» 2012. [En línea]: http://www.globalncap.org/Global_standards/Pages/Crashtesting.aspx. [Último acceso: 20 Enero 2013].
- [19] ©Asean NCAP, «Our Test,» 2012. [En línea]: http://www.aseancap.org/?pg=ourtest_explanation. [Último acceso: 30 Enero 2013].
- [20] ©ANCAP, «Crash Testing Explained,» 2010. [En línea]: <http://www.ancap.com.au/crashtesting>. [Último acceso: 21 Febrero 2013].
- [21] © C-NCAP, «I Assessment protocol,» [En línea]: http://www.c-ncap.org.cn/c-ncap_en/index.htm. [Último acceso: 21 Febrero 2013].
- [22] J-NCAP, «Car Assessment,» [En línea]: http://www.nasva.go.jp/mamoru/en/assessment_car/crackup_test.html. [Último acceso: 22 Febrero 2013].



- [23] LATIN-NCAP, «Nuestras Pruebas,» [En línea]:
<http://www.latinncap.com/en/our-tests>. [Último acceso: 22 Febrero 2013].
- [24] EURO-NCAP, «Our Test,» 2013. [En línea]:
<http://www.euroncap.com/tests.aspx>. [Último acceso: 22 Febrero 2013].
- [25] J. Pérès, M. Behr, L. Thollon y K. Kayvantash., «A pregnant woman model to study injury mechanisms in car crashes,» 8th European LS-DYNA, Strasbourg, 2011.
- [26] M. F. Ashby, *Materials Selection In Mechanical Design*, 4^a Edición ed., Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2011.
- [27] E. González Déctor, «Determinación del factor de concentración de esfuerzos en una placa con múltiples concentradores de esfuerzo mediante Algor,» de *Tesis profesional*, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de las Américas Puebla, 2003.
- [28] R. TIMINGS, *Tecnología De La Fabricación - Procesos Y Materiales Del Taller - Tomo 1*, Alfaomega, 2001.
- [29] Crónicas del Diseño, «Archivo de la etiqueta: inyección de plástico,» 16 Agosto 2012. [En línea]:
<http://cronicasdeldisenio.wordpress.com/tag/inyeccion-de-plastico/>.
[Último acceso: 11 Abril 2014].
- [30] Toyota Motor Corporation, *VALIDATION OF FINITE-ELEMENT MODEL OF THOR-NT LOWER ABDOMEN*, Japón, 2011.