



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Caso de aplicación de la
metodología Diseño Para Seis
Sigma en un componente
automotriz**

TESINA

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Hernández Rendón Nazul Emilio

DIRECTOR DE TESINA

Dr. Vicente Borja Ramírez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

Contenido

Resumen.....	1
1 Introducción.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Presentación del problema.....	4
2. Identificar y Definir.....	7
2.1. Identificar.....	7
2.1.1. Criterios SMART.....	7
2.2. Definir.....	9
2.2.1. Requerimientos del cliente	9
2.2.2. QFD.....	12
3 Desarrollar.....	14
3.1 Análisis de modo y efecto de falla.....	14
3.2 Consideraciones de diseño y propuestas.....	17
3.2.1 Sujeción al módulo de HVAC.....	19
3.2.2 Longitud de la pieza.....	20
3.2.3 Anti rotacional.....	21
3.2.4 Sujeción a la consola.....	22
3.2.5 Refuerzos estructurales	23
4 Optimizar	26
4.1 Análisis FEA.....	26
4.1.1 Diseño actual	27
4.1.2 Prueba física.....	30
4.1.3 Propuesta de diseño.....	34
5 Verificar.....	37
5.1 DVP&R.....	37
6 Conclusiones.....	41
7 Referencias	43
Anexos.....	44

Resumen

La metodología DFSS (*Design For Six Sigma*) tiene como principal objetivo alcanzar un nivel de producción de Seis Sigma, optimizando el diseño del producto de acuerdo a los requerimientos del cliente y a través de las diversas fases de la metodología. El enfoque del DFSS aquí aplicado es el IDDOV (Identificar, Definir, Desarrollar, Optimizar y Verificar) con la cual se busca tener un diseño robusto que cumpla con las especificaciones establecidas.

El presente trabajo documenta la aplicación de la metodología DFSS a un *bracket* plástico que conecta la consola de piso con el módulo de aire acondicionado (*HVAC* por sus siglas en inglés) en un vehículo. El problema principal radica en que el *bracket* no realiza su función adecuadamente (proveer rigidez al ensamble) puesto que no se encuentra alineado correctamente y su diseño no es suficientemente robusto. El problema se extiende cuando una carga aplicada al panel lateral de la consola propicia un desprendimiento, problema que también debe contener por diseño el *bracket*.

El objetivo primordial es conseguir un diseño robusto aplicando la metodología que ayude a detectar problemas de diseño en etapas tempranas, basándose en diagramas de bloques, función de despliegue de la calidad, FMEA (*Failure Methods and Effects Analysis*), análisis de elemento finito y evaluaciones de robustez mediante un plan de validación, los cuales son utilizados para llegar a un buen diseño.

Abstract

DFSS methodology has as main objective to reach Six Sigma production levels, optimizing the product design per customer requirements through the methodology phases. The DFSS approach applied is the IDDOV (Identify, Define, Develop, Optimize and Verify), which tries to get a robust design that can compliance with stablished requirements.

This report documents the application of DFSS methodology to a plastic bracket which connects the floor console assembly to the HVAC (Heater, Ventilation Air Conditioning) module on the car. The main problem is caused by the bracket, which does not properly perform its function (provide stiffness to the assembly) because is not correctly aligned. The problem increases when a load is applied to the side panel causing a detachment, this issue must also be retained by the plastic bracket.

The main purpose of this document is to achieve a robust design for the plastic bracket applying the methodology and using different tools to detect design problems during the earlier design phases. Block diagrams, Quality Function Deployment, FMEA (Failure Methods and Effects Analysis), Finite Element Method and robust assessments is used to achieve a good design.

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Seis Sigma es una estrategia de mejora continua que busca identificar las causas de los errores, defectos y retrasos en los diferentes procesos de negocio, enfocándose en los aspectos que son críticos para el cliente. Es un proceso que ayuda al desarrollo y producción de productos y procesos casi perfectos. El término Seis Sigma refiere a un proceso estadístico el cual mide que tan alejado se encuentra el proceso de la perfección. La filosofía detrás de Seis Sigma es medir la cantidad de errores en un proceso para después eliminarlos sistemáticamente.

Una empresa Seis Sigma utiliza diversos métodos y herramientas para alcanzar sus diversas metas, como:¹

- ✓ Reducciones constantes de costos
- ✓ Aumento en los ingresos
- ✓ Mayor satisfacción del cliente
- ✓ Aumento en la capacidad
- ✓ Reducción de complejidad
- ✓ Reducción de ciclos de trabajo
- ✓ Minimizar errores y defectos

La escala que mide la capacidad del proceso está dada por valores estadísticos que identifican el valor máximo de defectos por millón (DPM) aceptados y la probabilidad de falla / error. Los niveles se reducen exponencialmente de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 1.1: Niveles de Seis Sigma²

NIVEL EN SIGMA	DPM	RENDIMIENTO
6	3.40	99.9997 %
5	233.00	99.98 %
4	6.210,00	99.3 %
3	66.807,00	93.3 %
2	308.537,00	69.15 %
1	690.000,00	30.85 %
0	933.200,00	6.68 %

¹ Craig Gygi, Neil DeCarlo. (2005). Sig Sigma For Dummies. Indiana, USA: Wiley Publishing, Inc.

² Anónimo. (2013). Como calcular el nivel de Seis Sigma de un proceso. 2 de febrero del 2017, de Grupo PDCA Sitio web: <http://www.pdcahome.com/4466/calculador-el-nivel-sigma-del-proceso/>

La metodología DFSS tiene como principal objetivo alcanzar un nivel de producción de Seis Sigma, optimizando el diseño del producto de acuerdo a los requerimientos del cliente y a través de las diversas fases de la metodología. Conseguir diseños robustos desde tempranas etapas del diseño es de gran importancia puesto que en dichas fases los costos asociados a los cambios es mínimo comparado con el costoso proceso de modificar los componentes una vez que ya están en producción.³

Las decisiones de diseño tomadas correctamente pueden ayudar a reducir tiempo y costos posteriores relacionados a rediseños, pago de garantías, servicio, modificación de moldes y almacenamiento de partes.

La búsqueda de un buen diseño ha llevado a las empresas a utilizar metodologías enfocadas en ello. Se invierte una gran cantidad de dinero en capacitación a los ingenieros del producto para que los métodos sean aplicados, pero que apenas representa un pequeño porcentaje del ahorro que se podría generar además del tiempo y esfuerzo utilizados si existiese un mal diseño y se detecta en etapas finales o en el lanzamiento del nuevo producto.

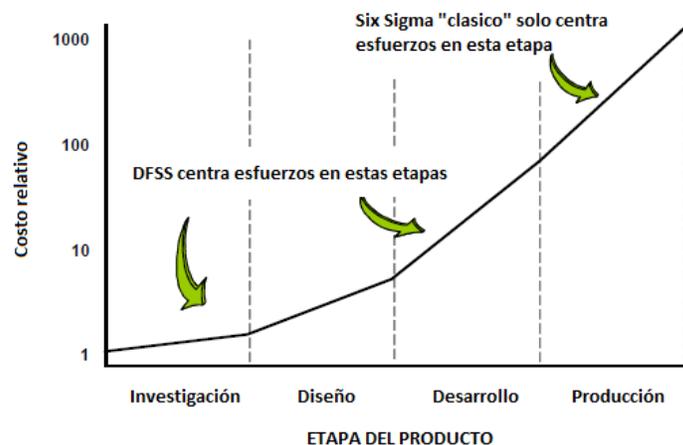


Figura 1.1: Curva Costo vs Tiempo para el desarrollo de cambios en un producto⁴

Una de las metodologías más populares en los últimos años ha sido el DFSS. Su expansión a partir de finales de los 90's ha traído consigo un sin fin de oportunidades para las empresas y alcanzar niveles de producción Seis Sigma.

Los pasos o etapas de la metodología DFSS no están universalmente definidos, cada empresa o compañía de entrenamiento puede definirlos de distintas maneras. Cuando una compañía introduce la metodología a su proceso de diseño lo ajusta dependiendo su industria y las condiciones de su entorno. Es por eso que en muchas ocasiones se

³ Greg Brue. (2003). Design For Six Sigma. USA: McGraw-Hill .

⁴ Jane Marshall. (2011). Design For Six Sigma DFSS. 14 de febrero del 2017, de The University of Warwick Sitio web: http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/ftmsc/modules/modulelist/modulelist/peuss/sessions/design_for_six_sigma_dfss/

dice que el DFSS es una aproximación más que una metodología ya definida. La metodología puede ser utilizada para la creación o rediseño de un nuevo producto o proceso.

La metodología aquí empleada será la IDDOV (Identificar, Definir, Desarrollar, Optimizar y Verificar), y que es una de las variantes del DFSS. La metodología comprende un ciclo que empieza y termina con la voz del cliente. A través de sus 5 etapas se identifican y definen los requerimientos al igual que su alcance. En las etapas de desarrollo y optimización se persigue la creación de un diseño robusto y confiable; y finalmente se valida mediante pruebas de desempeño.



Figura 1.2 Metodología IDDOV

1.2. Problema

Para ejemplificar el uso del DFSS se utilizará un problema encontrado en el diseño de un componente del equipamiento interior de un vehículo.

El componente a tratar es un *bracket* plástico que conecta la consola de piso con el módulo de aire acondicionado. Dicho componente se encuentra ubicado en la parte interior del vehículo, frente al asiento del pasajero y debajo del tablero de instrumentos.

La pieza no es visible debido a que el módulo de aire acondicionado se encuentra por detrás del tablero y la sujeción a la consola de piso es interna. *Figura 1.3.*



Figura 1.3: Localización en el vehículo

El *bracket* tiene la función de proveer rigidez al ensamble para que éste cumpla con las especificaciones requeridas, lo hace mediante la sujeción de los elementos involucrados. Internamente el componente se encuentra sujeto en dos puntos al módulo y en uno más a la consola. La figura 1.4 muestra la ubicación interna del componente y los 3 puntos de sujeción con los otros elementos del vehículo.

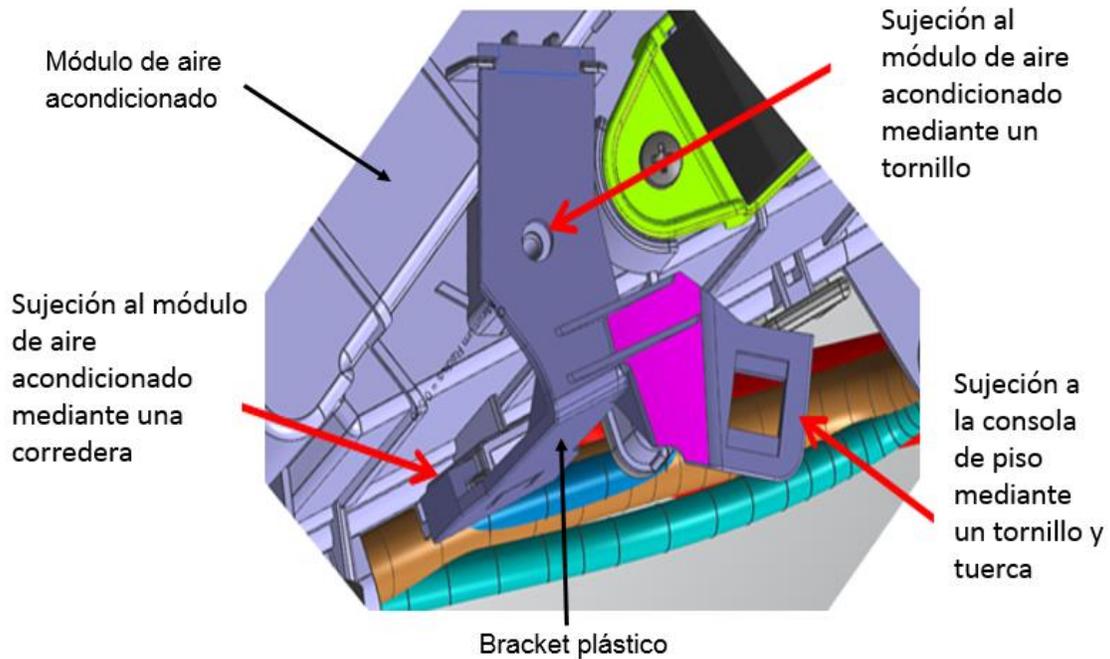


Figura 1.4: Localización interna

La consola que es objeto de estudio para este trabajo tiene la característica de contar con un espacio lateral de almacenamiento, también conocido como *net pocket*. Para este tipo de consolas existe un requerimiento, el cual establece que una carga de 100 Newtons, aplicada en la red del compartimiento no debe flexionar la consola más de 5 mm. El panel lateral que contiene el compartimiento de almacenamiento tampoco debe mostrar holgura o deformación después de la prueba.

El actual diseño del *bracket* no cumple con las funciones que debería; el barreno del *bracket* no se encuentra alineado con el de la consola, además de que dificulta el ensamble del tornillo para los operadores en la planta. La solución a desarrollar debe alinear los barrenos en los componentes y no permitir la deflexión de los paneles laterales en más de 5 mm.

La estructura del presente trabajo está basada en 5 capítulos principales, los cuales abarcan las etapas de la metodología IDDOV. El capítulo 2 centrará esfuerzos en la fase de Identificación y Definición. En esta fase se determinará el alcance y se definirán las fronteras del proyecto para identificar las oportunidades de mejora, que será un punto clave en el desarrollo posterior de la metodología. En esta sección también se definen los requerimientos para el proyecto, determinando cuáles son las necesidades a cumplir para trasladarlas a cuestiones de ingeniería.

Para el tercer capítulo el desarrollo del componente se vuelve tema de estudio. Entender la arquitectura del sistema y sus componentes se vuelve de vital importancia para generar alternativas de diseño. Herramientas como el análisis de modo y efecto de falla son utilizadas para lograr una buena toma de decisiones.

Para el capítulo 4 se comparan ambos diseños mediante una simulación por el método de elemento finito y se comparan con los resultados obtenidos en campo para demostrar que la optimización de la pieza ha dado resultados.

Finalmente se entrega un capítulo para el plan de validación del componente pieza y las conclusiones generales del proyecto.

2. Identificar y Definir

2.1. Identificar

Al iniciar un proyecto se deben establecer claramente los objetivos y definir las fronteras para mantener un control en el proceso. Los componentes, sub-sistemas o sistemas que serán optimizados deben fijar el alcance del proyecto. El propósito de esta fase es asegurar que el equipo de trabajo se encuentra de acuerdo en la necesidad, valor, alcance y fechas del proyecto antes de empezar a trabajar en él.

Los objetivos de la fase de identificación son:

- ✓ Entender el problema del cliente o sistema
- ✓ Definir las metas y objetivos para el proyecto
- ✓ Identificar el alcance del proyecto
- ✓ Definir los recursos requeridos y establecer fechas límite para el proyecto.

2.1.1. Criterios SMART

Se establecen así algunos criterios que ayudan a clarificar los objetivos y las metas perseguidas. A estos criterios se les conoce con el acrónimo de “SMART” (*Specific, Measurable, Attainable, Realistic, Timely*).

- Específico: Las metas del proyecto deben ser lo más claras posible. Una meta delimitada tiene muchas más posibilidades de ser conseguida que una general, los resultados y entregables de cada etapa de diseño deben estar bien definidos y siempre tener en mente cómo debe lucir o con qué debe cumplir el producto final.

El *bracket* debe proveer rigidez al ensamble para cumplir con las pruebas de deflexión alineando los barrenos del módulo del HVAC con el de la consola.

- Medible: Medir el progreso obtenido en cada etapa del proceso ayuda a alcanzar las metas propuestas. Para el caso de estudio se tienen dos parámetros principales que ayudarán a determinar si el objetivo ha sido alcanzado.

Lo fundamental es cumplir con la prueba de deflexión, para este objetivo se valorará si ha cumplido con los lineamientos establecidos al no presentar una deformación de más de 5 mm durante la prueba.

Los barrenos de cada componente deben estar alineados y sus centros ser concéntricos, las características de cada componente en su máxima y mínima condición de material determinarán la tolerancia permisible.

- **Alcanzable:** Si se identifican las metas que son más importantes se puede planear de una manera más inteligente el camino a seguir, estableciendo fechas límite para cada actividad, manteniendo un control a lo largo del proceso.

Es importante aclarar que el alcance de este trabajo es hasta la etapa de diseño conceptual. Se definen únicamente las etapas de desarrollo y optimización, se pretende llegar a un modelo CAD el cual ya es susceptible a análisis virtuales.

La etapa de experimentación y validación no se encuentran contempladas en su totalidad, ya que para ello el nuevo diseño del *bracket* debería provenir de herramientas cuyos productos son aptos para realizar pruebas físicas y posteriormente lanzarlas a producción. El alto costo de experimentación y herramientas no hacen posible que se cubran en el alcance de este proyecto.

- **Realista:** El proyecto se ve delimitado por la especificación de prueba de jalón. Esta prueba se encuentra dentro de los requerimientos técnicos para la consola y que ha sido determinada tanto en ejecución como en valores por expertos. La prueba representa la posibilidad de que un objeto del usuario pueda atorarse en la red del compartimiento y un jalón imprevisto ocasione daños estructurales o ensamble a la consola.
- **Puntual:** Los objetivos deben estar dentro de un marco de tiempo. Para este proyecto se propone la programación de actividades mostrada en la figura 2.1. Cabe mencionar que el tiempo estimado contempla dedicación de tiempo completo.

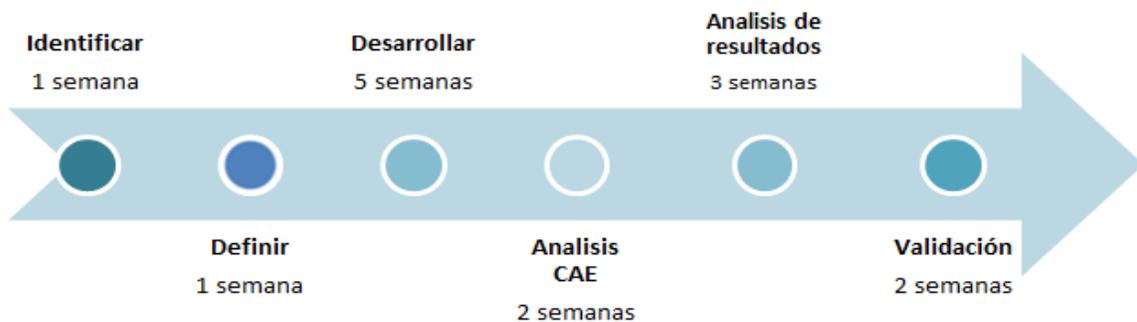


Figura 2.1: Programación de actividades

2.2. Definir

Los objetivos en la fase de definición son:

- ✓ Entender la necesidad específica del cliente
- ✓ Trasladar los deseos del cliente a cuestiones ingenieriles
- ✓ Definir la estrategia y los objetivos de ingeniería para asegurar una alta satisfacción del cliente

2.2.1. Requerimientos del cliente

El proceso de definir quiénes son los clientes a los que el producto diseñado va dirigido es importante para establecer los requerimientos, además de que se enlaza la voz del cliente con el diseño del producto.

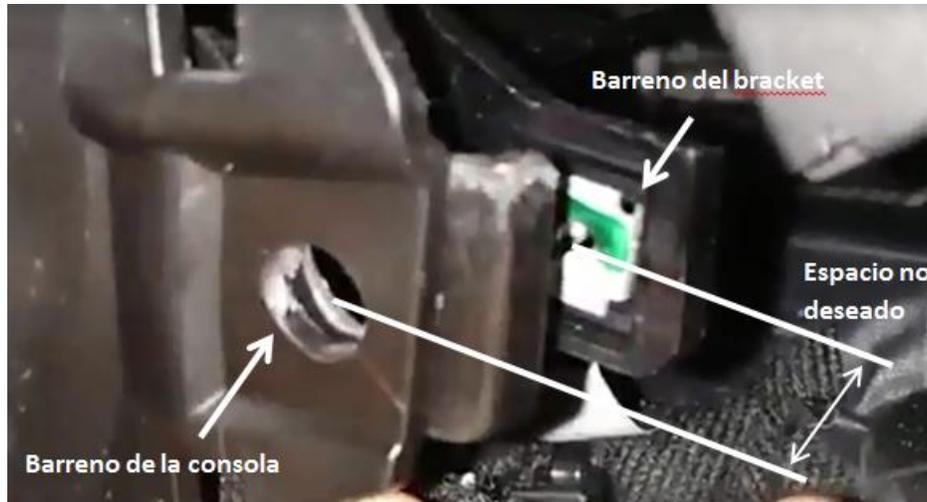
Debido a que el *bracket* en estudio no es un componente visible ni que esté en contacto con el consumidor final (gente que compra un auto en la concesionaria), se determina entonces que los requerimientos del cliente están dados por los operadores que se encargan de realizar el ensamble de los componentes involucrados.

Entender cómo se realiza la operación es importante para determinar los requerimientos del cliente. El módulo de aire acondicionado llega a la línea como un subensamble junto con el tablero de instrumentos y el *bracket* en estudio ya viene integrado en este conjunto que es instalado en el vehículo en estaciones anteriores. La consola también llega como un subensamble y es colocada en etapas previas a la fijación de ambos componentes.

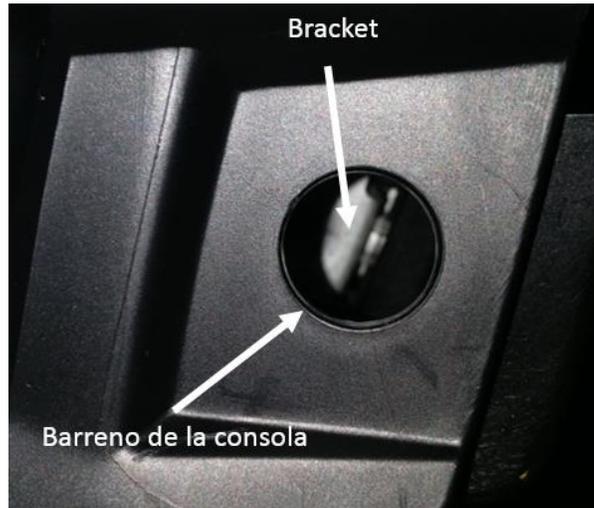
Cuando el vehículo llega a la estación donde el módulo de aire acondicionado y la consola deben ser unidos, el operario debe ubicar el *bracket*, tomar el tornillo y enlazar a la consola. Posteriormente toma otro componente llamado *side panel* y cubre con el espacio que se genera entre el tablero de instrumentos y la consola que era necesario para realizar la fijación con el tornillo.

La instalación del tornillo se realiza con guantes, por lo que el sentido del tacto del operario se ve reducido; es por eso que tanto el barreno del *bracket* como el de la consola deben ser visibles y estar perfectamente localizados.

La inconformidad explícita de los operarios es que los componentes no pueden ser ensamblados debido a que los agujeros no son concéntricos o se encuentran "movidos". Otro problema común que han encontrado es que los componentes quedan separados por un gran espacio, el cual en la mayoría de los casos no puede ser cubierto por el tornillo o solo toma muy poca cuerda.



a) Componentes mal localizados



b) Barrenos no concéntricos

Figura 2.2: Problemas de ensamble.

Los problemas que se generan debido a la dificultad de realizar la operación pueden ser muchos y muy costosos. Un ensamble que excede el tiempo establecido para llevarse a cabo puede retrasar la circulación natural de los vehículos a través de la línea de ensamble, provocando retrasos e incluso paros; cada segundo que se encuentra parada la línea de ensamble resulta en pérdidas de dinero pues el proceso se ha diseñado para que los vehículos circulen de forma continua.

Otro problema derivado de la no instalación de algún componente es que la unidad deba ser apartada al final de la línea para realizar un retrabajo en el área de interés para corregir el problema. Éstas son prácticas que también generan una pérdida de capital y deben ser reducidas en la mayor medida posible.

Un punto muy importante a considerar para el rediseño de la pieza, es que ésta debe ser manufacturable. Se deben evitar geometrías difíciles o costosas de reproducir en el molde, esto ayuda tanto en la rapidez de la inyección como en la calidad y costo.

Si la pieza es manufacturada internamente, el área de manufactura se convierte inmediatamente en el cliente directo y pedirán que la pieza sea sencilla de fabricar. Por otro lado, si la pieza será suministrada por un proveedor, el área de compras o el responsable de los costos del producto requerirá el menor precio de compra posible, lo cual se logrará con una pieza sencilla.

Los problemas asociados al funcionamiento del vehículo son también críticos y debe verificarse que la integridad de los componentes no se vea afectada por las medidas de contención tomadas antes de la implementación de un cambio de diseño de los componentes involucrados. Para el caso específico de este problema se ha probado que la ausencia del tornillo, y por consecuencia la no unión de los elementos, no genere ruidos durante el uso normal del vehículo, probando su desempeño en diferentes caminos.

Con base en lo anterior se pueden resumir los requerimientos de cliente mostrados en la figura 2.3.

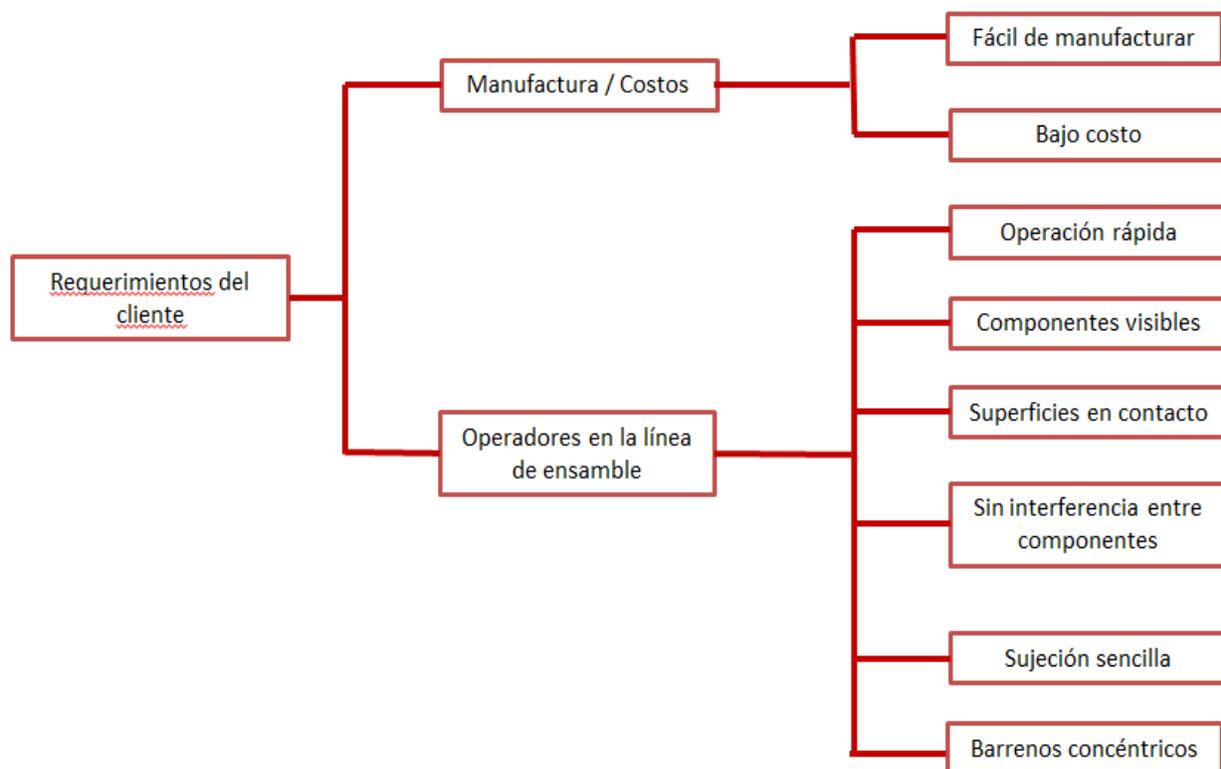


Figura 2.3: Requerimientos del cliente

2.2.2. Función de Despliegue de la Calidad

En el contexto de DFSS, la Función de Despliegue de la Calidad o QFD (*Quality Fuction Deployment*) es definido como:

*“Una herramienta de planeación que relaciona una lista de deseos y necesidades del cliente con los requerimientos funcionales y técnicos de diseño.”*⁵

El proceso del QFD centra esfuerzos principalmente en:

- Los requerimientos del cliente
- Priorizar metas de diseño
- Trabajo en equipo
- Documentar de forma sencilla
- Convertir requerimientos del cliente en objetivos medibles

El QFD se compone de 4 etapas, las primeras dos enfocadas a la etapa de diseño y las otras referentes al proceso y producción. El alcance de este trabajo no contempla las etapas de manufactura y producción por lo que únicamente se trabajará con la primera fase del QFD, la cual lleva los requerimientos del cliente a requerimientos de diseño.

La primera etapa del QFD es la *Casa de la Calidad*, la cual es un medio de comunicación estructurada que utilizan los ingenieros para resumir información. La *Casa de la Calidad* ayuda a identificar los componentes técnicos que requieren un cambio a través de las necesidades del cliente y el análisis de competencias.

La *Casa de la Calidad* para el sistema en estudio, queda definido por la figura 2.4.

⁵ Kai Yang, Basem El-Haik. (2009). Design For Six Sigma. USA: McGraw-Hill.

3. Desarrollar

Durante la fase de desarrollo el equipo debe utilizar sus habilidades creativas y de innovación para crear un concepto robusto y cumplir con los requerimientos establecidos en la fase previa. Los propósitos de esta fase son:

- ✓ Desarrollar un concepto sólido que proveerá la mejor oportunidad para cumplir con todos los requerimientos del cliente y de la compañía.
- ✓ Identificar potenciales riesgos el diseño conceptual para soportar las pruebas de validación.
- ✓ Entender las características de diseño que ayudarán en el proceso de optimización.

3.1. Análisis de modo y efecto de falla

El análisis de modo y efecto de falla (FMEA por sus siglas en inglés), es una técnica analítica utilizada para asegurar, en la mayor medida posible, que los potenciales métodos de falla han sido considerados y las causas o mecanismos asociados fueron evaluados. Puede ser descrito como un conjunto de actividades sistemáticas que busca:

- Reconocer y evaluar las potenciales fallas de un producto/proceso y sus efectos.
- Identificar las acciones con las cuales se puede eliminar o reducir la posibilidad de que ocurra una falla.
- Documentar el proceso. Es complementario al desarrollo para definir positivamente lo que el producto debe tener para satisfacer a los clientes.

Es una práctica que cada vez ha ganado más importancia debido a la mejora continua de los productos en la industria, por ello la necesidad de el FMEA como una técnica formal para identificar y ayudar a eliminar problemas potenciales. Propiamente aplicado, es un proceso interactivo, el cual nunca termina.⁶

El proceso inicia desarrollando una lista de lo que el diseñador espera que el producto realice y lo que no debe hacer. En este punto las necesidades y requerimientos del cliente deben ser incorporados y se debe tomar en cuenta que entre mejor se definen las características deseadas, más fácil será identificar los potenciales modos de falla. Ver Figura 3.1.

El proceso del diseño para Seis Sigma ya incorpora en su etapa de identificación los requerimientos del cliente, los cuales fueron previamente tratados (Ver capítulo 2).

⁶ Chrysler Corporation, For Motor Company and General Motors Corporation. (1993). Potential Failure Modes and Effect Analysis. USA

Figura 3.1: Análisis de modo y efecto de falla

Componente	Potencial modo de falla	Potencial efecto de falla	S E V	Potencial casua / mecanismo de falla	O C C	Controles de diseño	D E T	R. P. N.
Función								
Bracket plástico Proveer rigidez al ensamble mediante la sujeción de dos componentes, el modulo de aire acondicionado y la consola de piso. Debe cumplir con el requerimiento que indica: La deflexión en la consola no debe ser mayor a 5 mm bajo la acción de una carga de 100 N	- Deformación / Fractura en ambientes muy cálidos (+ 40 ° C)	No se cumple con el requerimiento (prueba de pull)	5	Diseño poco robusto	3	Adicionar elementos que refuercen la estructura (costillas, adición de material en zonas críticas, etc.)	2	30
	-Deformación / Fractura en ambientes muy fríos (- 30 ° C)	Ruidos molestos en el interior del vehículo	4	Pérdida de fuerza en las sujeciones	5	Prueba de retención para conocer la fuerza máxima admisible antes de desprendimiento del elemento	3	60
	-La nueva sujeción a la consola de piso no es lo suficientemente fuerte	Pérdida de rigidez en el ensamble	5	Mala elección de material y formas de sujeción	3	Asegurar con distintos tipos de materiales, validación virtual	5	75
	- El bracket no es lo suficientemente robusto / rigido	No puede ser ensamblado en la línea de producción	8	Falta de elementos localizadores y restrictores de movimiento	2	Adición de localizadores y elementos restrictivos de movimiento	1	16
- Desalineación en las sujeciones								

Se elabora el análisis de modo y efecto de falla para obtener el Número Prioritario de Riesgo (RPN por sus siglas en inglés) el cual se consigue mediante el producto de la severidad (SEV), la ocurrencia (OCC) y la detección (DET):

$$RPN = SEV * OCC * DET$$

Consulte como se determinan los valores para cada criterio con las tablas de evaluación de riesgo en el Anexo 1.

El valor del RPN se encuentra en un rango del 1 al 1000. Para valores muy altos se deben redoblar esfuerzos para reducir el riesgo calculado a través de acciones correctivas. Como práctica general, sin importar el resultado del RPN, se debe poner especial atención a algún potencial modo de falla cuando la severidad es alta.

Una vez obtenido el RPN, se obtiene como resultado del análisis una serie de acciones recomendadas para eliminar los posibles modos de falla.

1. Prueba en cámara de temperatura: El *bracket* debe mantener su funcionalidad a diferentes temperaturas, cumpliendo siempre con la prueba de *pull*, la cual sugiere el uso de una cámara de temperatura y probar el *bracket* a 3 distintas temperaturas: -30°, 22° y 50°. Dichas temperaturas contemplan las condiciones extremas a las que un vehículo puede ser sometido, desde lugares sumamente fríos hasta aquellos muy cálidos en los que la temperatura en el interior puede superar fácilmente los 40° C.
2. Prueba a falla: El objetivo primordial de una prueba a falla es aprender cómo y cuándo fallan los componentes para mejorar en futuros diseños la confiabilidad de la pieza y su durabilidad.

La confiabilidad es la probabilidad de que un producto funcione como se ha diseñado bajo condiciones especificadas y ciclos de trabajo por un determinado periodo de tiempo. Es un punto importante tanto para el diseñador como para los clientes.

3. Prueba de retención en tuercas: En caso de utilizar tuercas para cualquier tornillo, están deberán ser sometidas a un estudio de retención, en cualquier caso, deberán soportar al menos una carga igual a la del requerimiento de la prueba de *pull* (100 N). No contar con un estudio de retención para las tuercas puede provocar que el sistema falle a pesar de un diseño robusto para el *bracket*.

4. Estudio de torque para todos los tornillos: Para conseguir una buena sujeción de los tornillos con los componentes y asegurar que en todo momento los elementos involucrados se mantendrán firmemente enlazados será necesario un estudio de torque para cada uno de los tornillos a utilizar.

El primer paso a tomar es probar los tornillos hasta la falla de cualquiera de los componentes involucrados. A partir de ahí el especialista decidirá un porcentaje de seguridad (aproximadamente 30% antes del valor máximo por ser una unión suave) y establecerá el límite inferior y superior.

El resultado debe expresar un valor de torque dinámico (toque aplicado inicialmente con la herramienta) y un valor para el torque residual (torque resultante debido a la relajación de los materiales) con sus respectivas límites mínimos y máximos.

5. Análisis de elemento finito comparativo: tener una referencia como punto de partida ayuda a establecer cuantitativamente cuán mejor o peor es la nueva propuesta de diseño. Ayudará a detectar las áreas críticas de concentración de esfuerzos y determinará si la pieza necesita ser reforzada.

Utilizar herramientas virtuales es de gran ayuda puesto que agiliza la detección de áreas de oportunidad, además de que ahorra recursos económicos y humanos.

3.2. Consideraciones de diseño y propuestas

El objetivo primordial del *Design For Six Sixma* es conseguir un diseño robusto capaz de cumplir con sus funciones al máximo nivel de desempeño posible.

El concepto de robustez es definido por el Dr. Taguchi como:

“La condición en la cual un producto o proceso es menos influenciado por la variación de factores individuales. Para ser robusto es necesario ser menos sensible a la variación al menor costo posible”⁷

El papel que el ingeniero desempeña en el desarrollo de un producto robusto y eficiente es simple: sintetizar toda la información y posibilidades disponibles para producir el mejor diseño; siempre trabajando bajo el estatuto de que es eficiente prevenir problemas usando un diseño robusto que reparar los problemas de diseño encontrados en etapas avanzadas del desarrollo de un producto.

⁷ Ranjit K. Roy. (2001). Design of experiments using Taguchi approach. New York: John Wiley & Sons, INC.

Para lograr un diseño robusto es necesario entender cuáles son las oportunidades de mejora del actual diseño, esto permitirá atacar directamente los elementos que no son suficientemente robustos y que deben ser mejorados. Existen diversas contribuciones al problema que afectan en menor o mayor medida, la solución debe abarcarlos a todos para tener la certeza de que el diseño funcionará.

Se plantean cinco modificaciones al diseño actual, las cuales pretenden atacar problemas geométricos y de sujeción que han sido identificados como los contribuyentes principales de la desalineación del *bracket* y de que no cumpla con la prueba de deflexión. La propuesta de rediseño en comparativa con el modelo original se muestra en la figura 3.2 y 3.3 y los cambios de diseño son explicados a detalle en los siguientes apartados.

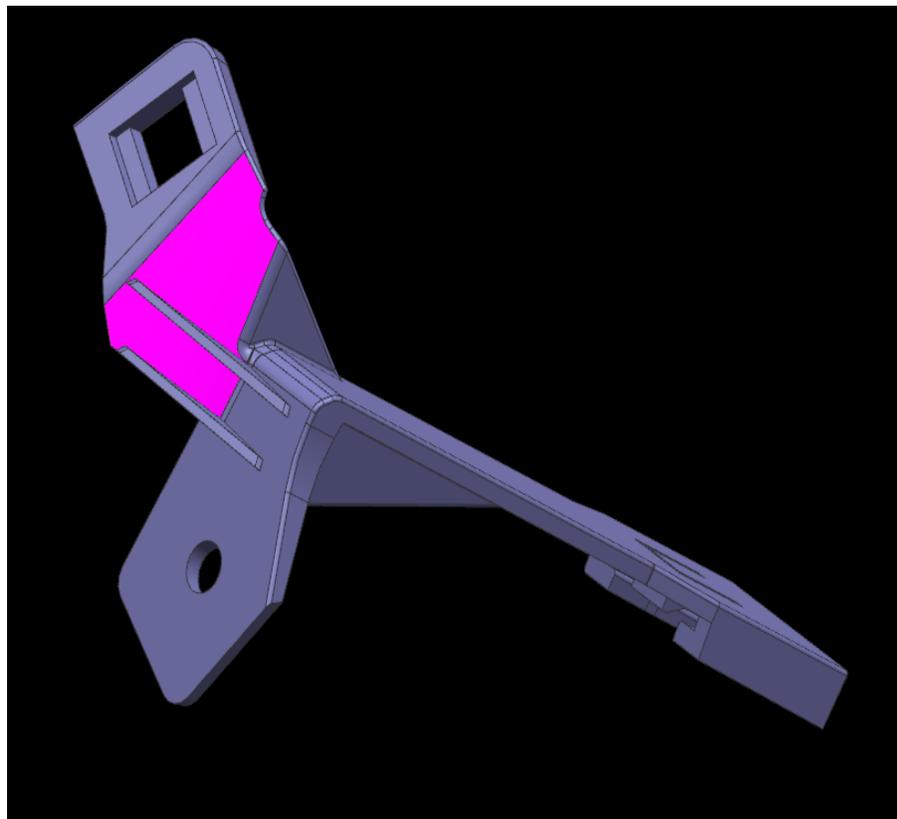


Figura 3.2: a) Diseño actual del *bracket* plástico

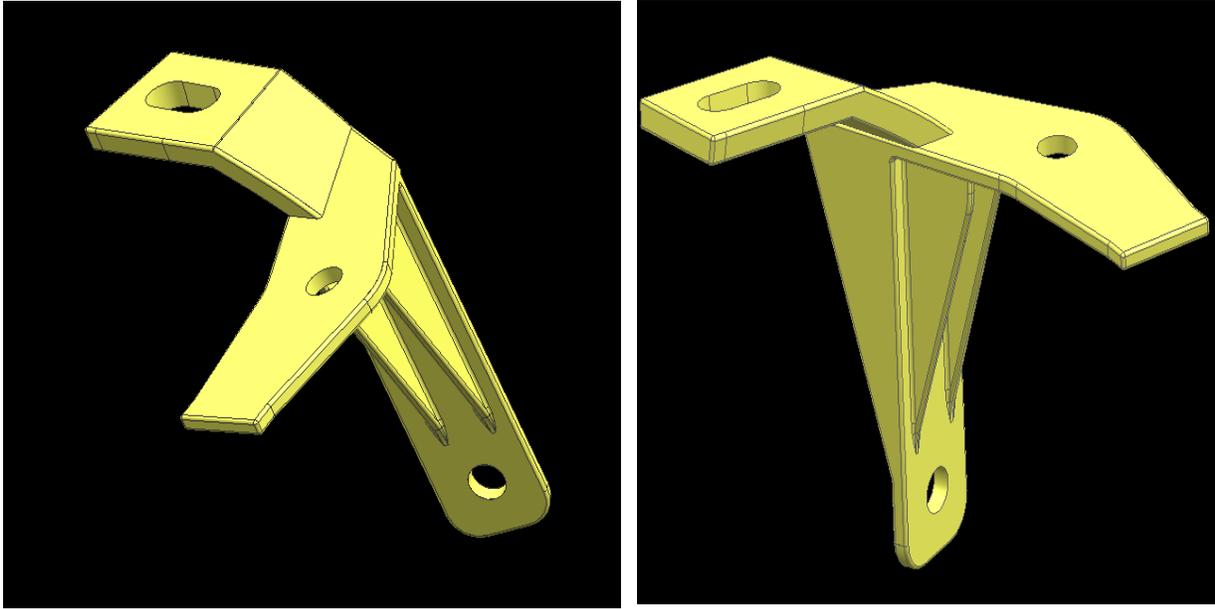


Figura 3.3: a) Propuesta de diseño

3.2.1. Sujeción al módulo de HVAC

El *bracket* tiene dos puntos de sujeción al módulo de aire acondicionado, un tornillo y una corredera con gancho que se inserta en su contraparte en el módulo de HVAC (ver figura 1.4 en la sección de “Introducción” para mayor referencia). Un primer análisis visual y físico revela que la sujeción de la corredera no es lo suficientemente fuerte, las tolerancias dimensionales propician que exista cierto juego entre el *bracket* y el módulo, además de que la pieza se daña cada vez que se instala y se desinstala debido a la fuerza de inserción que requiere.

La sujeción necesita ser mejorada, no se puede permitir movimiento relativo en el componente debido a que cada milímetro que se encuentra fuera de especificaciones se traduce al final en la desalineación del barreno que debe conectar con la consola, principal problema del componente.

La propuesta es modificar la corredera con gancho por un tornillo, de este modo se tendrían dos sujeciones con tornillo al HVAC (ver figura 3.4). El tornillo propuesto es el mismo que se utiliza en el otro barreno; se requerirá una modificación al módulo de HVAC para generar la rosca para el tornillo.

Las ventajas que presenta una sujeción de este tipo están dadas por un mejor agarre entre componentes y que con el torque adecuado no permitirá movimiento. También se logra una reducción en la complejidad de la pieza y en el material utilizado para fabricarla, así mismo se reduce el material en la contraparte de sujeción en el módulo.

La reducción en el costo de producción debido a la reducción de material se ve contrarrestada por el uso de un tornillo, pieza que generalmente es más costosa y requiere de estudios de torque para asegurar un buen agarre.

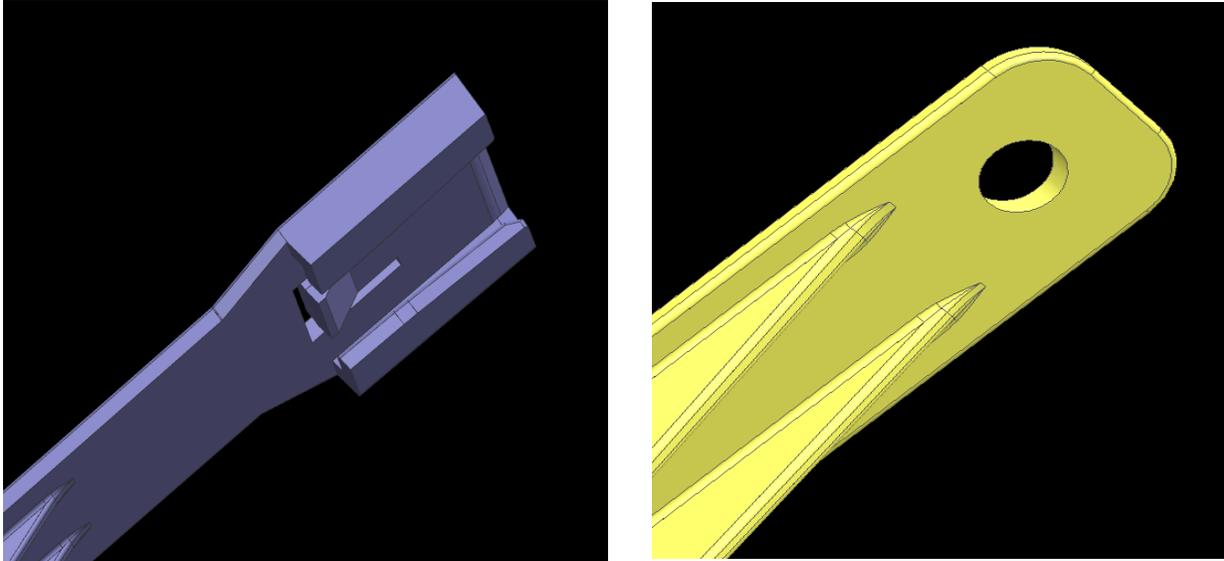


Figura 3.4: a) Diseño actual del *bracket* plástico

b) Propuesta de diseño

3.2.2. Longitud de la pieza

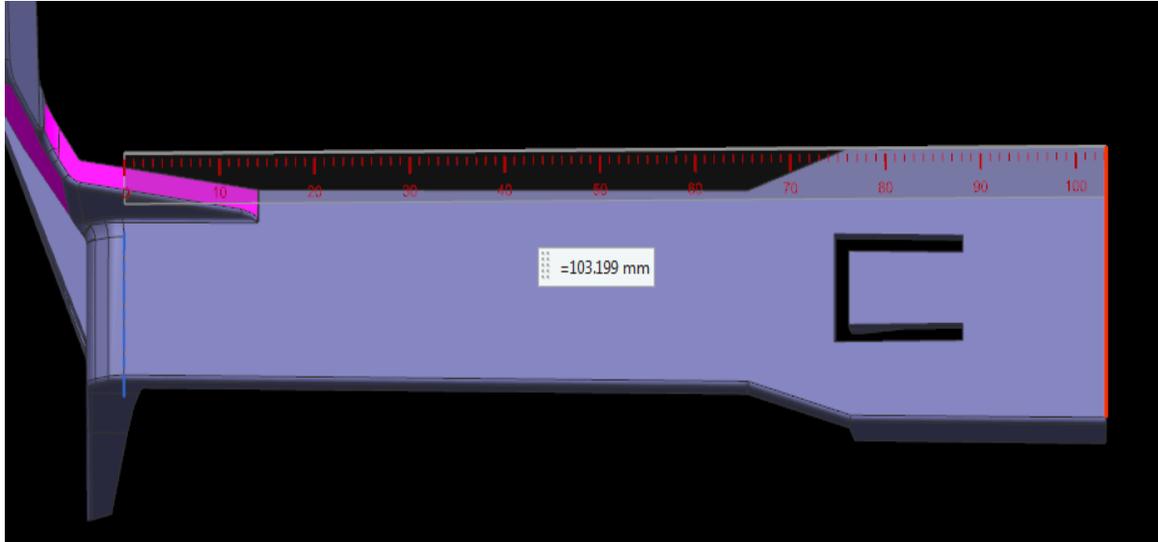
Un cambio importante en la geometría del componente es la reducción de la longitud de la corredera actual, lo cual proveerá más rigidez al componente al reducir la distancia entre la sujeción y el punto donde se aplica la fuerza (brazo de palanca). Se pasará de una longitud de 103 mm a una de 59 mm (ver figura 3.4) que representa el 57 % de la longitud en la corredera actual.

Este cambio es propiciado por la deflexión que sufre el *bracket* cuando es sometido a la carga de 100 N (Prueba de *pull*), esta deformación del componente puede ocasionar fallas futuras debido a fatiga del material y acumulación de esfuerzos residuales en zonas críticas.

El diseño actual contiene dos costillas como refuerzo que ayudan a mantener la rigidez pero que no es suficiente al momento de aplicar una carga puesto que la pieza se flexiona sobre su eje longitudinal.

El cambio en la longitud de la pieza afecta directamente la sujeción con el módulo de aire acondicionado, por lo que surge el requerimiento para los responsables del componente de hacer las modificaciones pertinentes y proporcionar la sujeción correcta en el módulo.

La reducción en la longitud de la pieza también ayuda a ahorrar material, la pieza reduce complejidad y tiempo de inyección, lo cual se traduce en un menor costo y ayuda a cumplir con los requerimientos del cliente planteados inicialmente.



a) Diseño actual

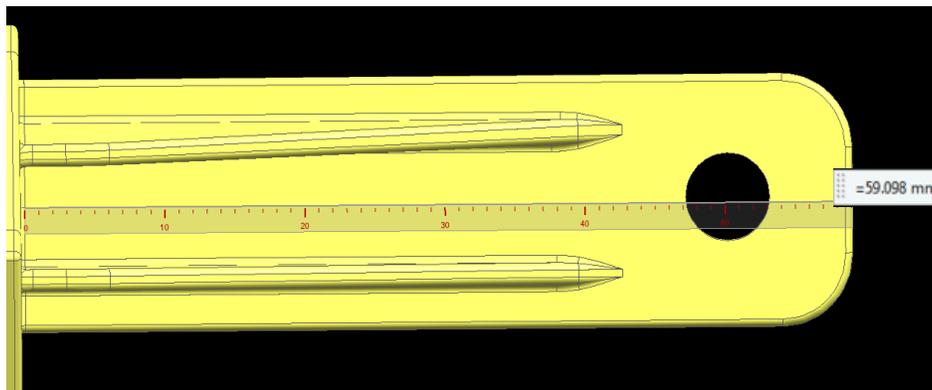


Figure 3.4: Longitud de la pieza

3.2.3. Anti rotacional

Las variaciones dimensionales y la tolerancia en la fabricación de la pieza son un factor que contribuye en gran medida a que los barrenos en cuestión se desalineen, pero una de las más grandes deficiencias del actual diseño es que no cuenta con un elemento que restrinja el movimiento (anti rotacional). Se presupone que las dos sujeciones al HVAC cumplirán con su función, pero éstas pueden fallar por diversos motivos que van desde la calidad de la manufactura hasta la aplicación incorrecta del torque y cargas externas.

Para corregir el presente problema se sugiere extender una de las superficies en el *bracket* como se muestra en la Figura 3.5. La extensión propuesta es en el área de la sujeción del tornillo. Se plantea aquí porque en la proximidad de la unión con el módulo existe un elemento propio del HVAC que puede servir como restricción de movimiento. De esta forma cualquier variación en otras áreas puede ser absorbida y no se verá reflejada en la unión del *bracket* y la consola.

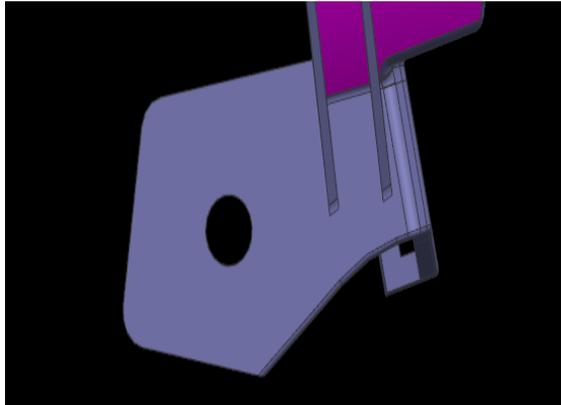
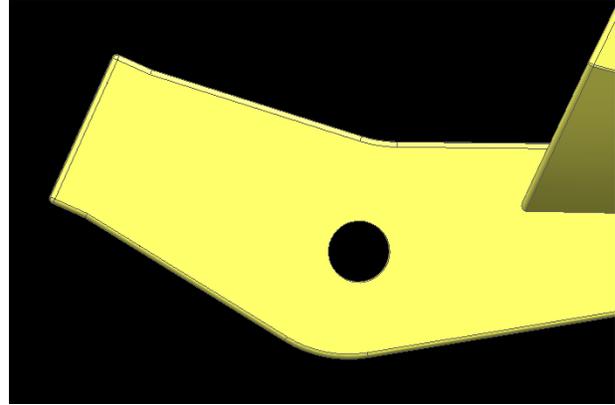


Figura 3.5: a) Diseño actual del *bracket* plástico



b) Propuesta de diseño

3.2.4. Sujeción con la consola

Para absorber cualquier variación posible que se haya generado en alguno de los diferentes elementos del *bracket*, se propone cambiar la sujeción final con la consola. Actualmente se utiliza un tornillo con una tuerca conocida como “*snap in*” que básicamente es una especie de clip metálico que retiene al tornillo, es un elemento eficiente pero que no es capaz de absorber desviaciones dimensionales puesto que está diseñado para conservar una posición y cualquier movimiento hará que su centro también cambie de lugar.

Existen otro tipo de tuercas autorroscantes de base Nylon (ver figura 3.7), que debido a su diseño son capaces de absorber cierto grado de desviación dimensional, si el tornillo llegara a perder su posición de diseño este tipo de tuercas se ajustaría a él debido a su forma alargada y que no tiene una rosca definida (la rosca se crea al entrar en contacto con el tornillo). La posición de la nueva tuerca debe ser transversal a la de la consola para asegurar que cualquier desviación pueda ser absorbida lo que implica la modificación de la pieza para proveer la cavidad al nuevo elemento (Figura 3.6).

La tuerca autorroscante se insertará con interferencia en la cavidad que lo contiene, por lo que se debe tomar en cuenta que la fuerza de inserción de dicho elemento debe ser la adecuada para no generar esfuerzos no deseados en los componentes y que sea capaz de soportar las cargas externas a las que será sometida sin llegar al desprendimiento.

Un cambio en el modo de sujeción implica la modificación del contenedor en el *bracket*, lo cual genera también un cambio geométrico que sea capaz de retener el nuevo tipo de tuerca.

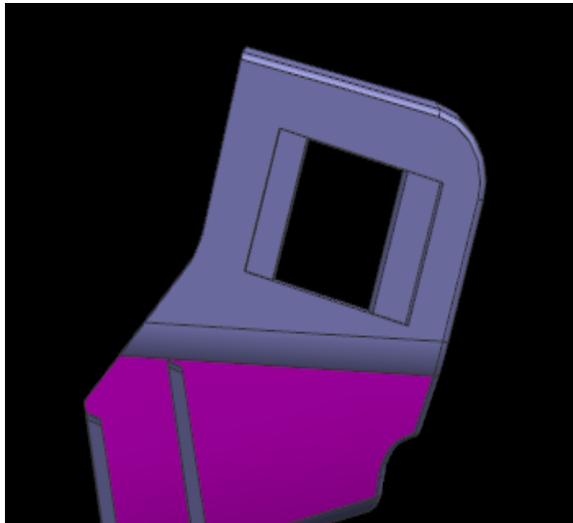
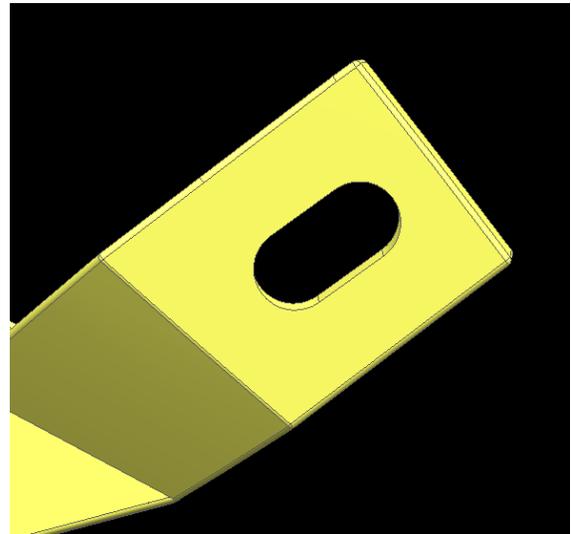


Figura 3.6 a) Diseño actual del *bracket* plástico



b) propuesta de diseño



Figure 3.7: Tipos de roscas

3.2.5. Refuerzos estructurales

La pieza actual tiene elementos que le ayudan a mantener su rigidez como lo son: costillas, refuerzos y mayores grosores en áreas críticas. A pesar de que se contabilizan siete elementos con esta función la pieza sufre deformaciones, lo cual es un indicador de que posiblemente los refuerzos no estén colocados en una posición adecuada y que la distribución de esfuerzos en la pieza no es la adecuada.

Visualmente se perciben algunas áreas de oportunidad en cuanto a la ubicación de las costillas y el diseño de las superficies por lo que se proponen cambios geométricos y de posición para los refuerzos:

1. Se eliminan las dos costillas que se encuentran en la parte superior del bracket. El ángulo del elemento al que sostienen no permite que los refuerzos cumplan con su función eficientemente, puesto que también se encuentran con una abertura pronunciada.

La modificación que se propone es extender el área de contacto de la base del elemento voladizo para darle más soporte, así mismo la modificación del contorno de la figura para conseguir una unión menos compleja y mejor definida. Para lograrlo es necesario agregar material a la zona perpendicular a donde se encuentran las antiguas costillas.

La adición de material en esa zona no representa mayor complejidad puesto que al retirar los otros dos elementos la zona queda despejada (ver figura 3.8).

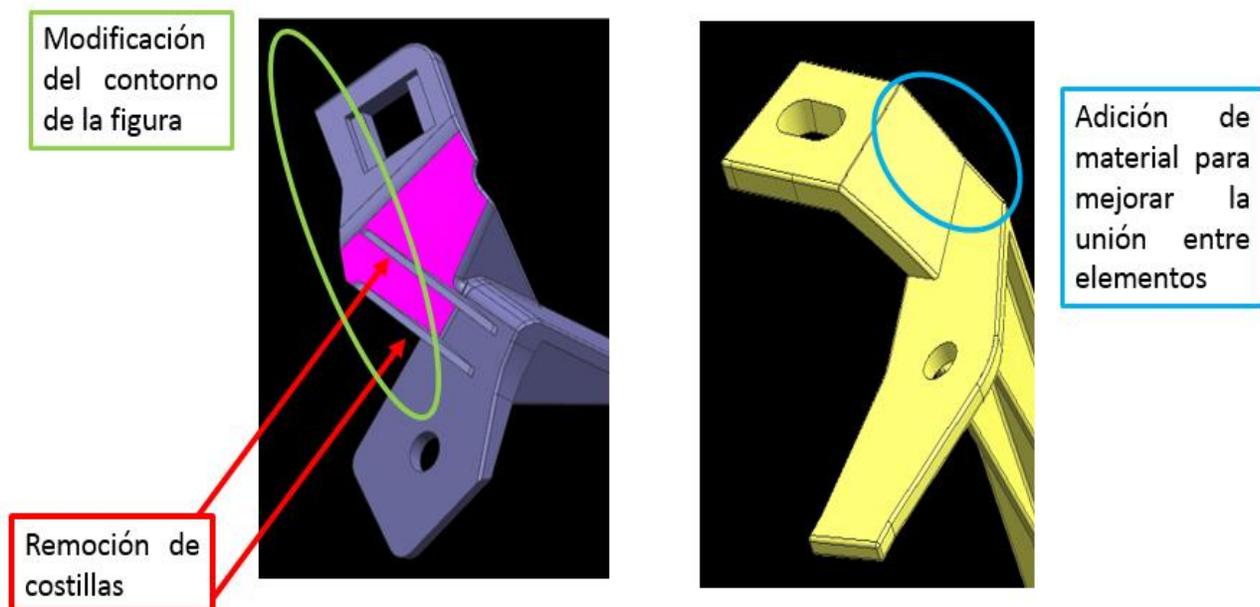


Figura 3.8: Modificaciones estructurales 1

2. Se modifica el tamaño de una costilla ya existente que tenía como base la corredera del bracket. En comparación con las dimensiones del elemento que tiene que dar soporte es sumamente pequeña, además de que con la adición de material en esa zona se convierte en un área crítica y que deberá distribuir la carga eficientemente para evitar que la pieza falle. Se ha tenido especial cuidado

en cuanto a la longitud de este elemento para evitar que interfiera con el barreno presente en esa zona y que provoque problemas de ensamble a los operadores en la línea.

Otra dimensión que también se ve afectada es el espesor del elemento voladizo. Un mayor grosor implica tener más material en la zona y por lo tanto soportará mejor la fuerza aplicada. El área afectada por dicha adición de material ha sido modificada para adaptarse a la nueva forma y espesor como lo muestra la Figura 3.9.

3. Finalmente se afinan los detalles en la pieza rebordeando todas las aristas de la pieza con el fin de reducir los posibles defectos que se generan debido a la inyección del plástico en el molde.

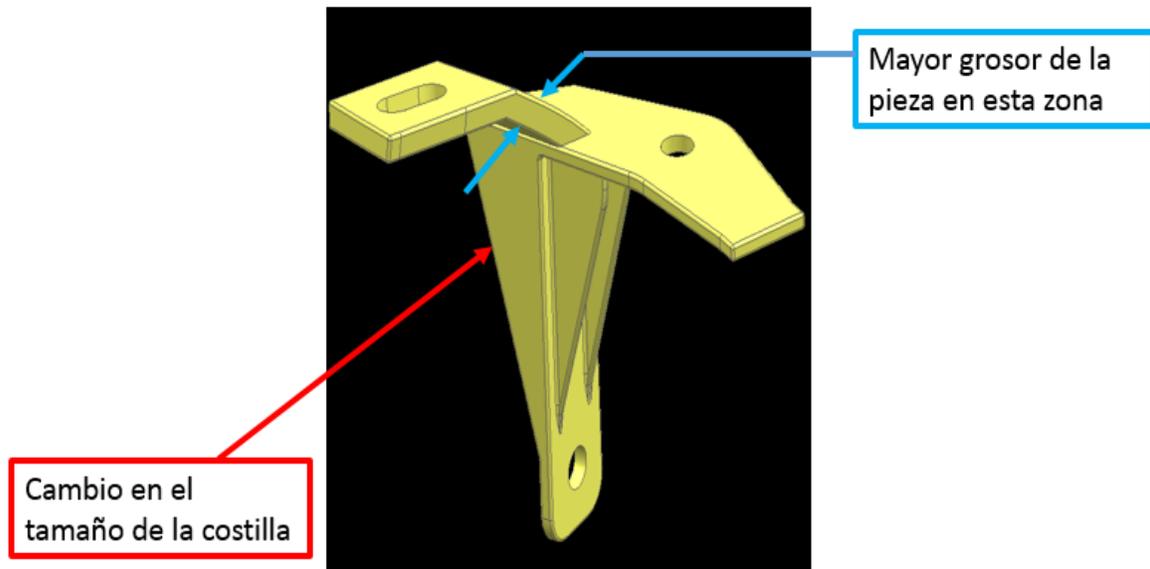


Figura 3.9: Modificaciones estructurales 2

4. Optimizar

5.1 Análisis FEM

Muchos fenómenos físicos en ingeniería pueden ser descritos en términos de ecuaciones diferenciales parciales. En general resolviendo estas ecuaciones por métodos analíticos clásicos para formas arbitrarias es casi imposible. El método de elemento finito (FEM por sus siglas en inglés) es una aproximación numérica con el cual las ecuaciones diferenciales parciales pueden ser resueltas aproximadamente.

“Desde un punto de vista ingenieril el FEM ayuda a resolver problemas de ingeniería como análisis de esfuerzos, transferencia de calor, flujo de fluidos y electromagnetismo por simulación en computadora.”⁸

El análisis por elementos finitos es utilizado en este caso para conocer y comparar los esfuerzos, así como la distribución en la pieza actual y la nueva propuesta.

Los parámetros utilizados para realizar la simulación están dados por los requerimientos que debe cumplir la pieza, 100 N de carga que será aplicada en la sujeción a la consola, la cual es la encargada de mantener unidos a los componentes.

Se tienen dos restricciones de movimiento que se encuentran en las dos sujeciones al módulo de HVAC, la restricción es fija y no permite que el componente en estas áreas se mueva. La consideración se toma a partir de la suposición teórica de que la sujeción es firme en todo momento y ni el tornillo ni el gancho del *bracket* tendrán movimiento relativo.

La pieza ha sido mallada con elementos tetraédricos con un tamaño de 2 mm. Los dos parámetros que serán objeto de estudio en esta simulación son desplazamiento y distribución de esfuerzos debido a que en la pieza en donde se realizaron las pruebas físicas, y con las que se determinó que el componente no cumple con los requerimientos, nunca se observó un daño, deformación plástica o marcas de estrés.

El material que se utiliza en ambos casos es un ABS reforzado con fibra de vidrio. Este es un plástico ampliamente utilizado en aplicaciones automotrices debido a sus propiedades mecánicas, térmicas, químicas y a su gran estabilidad dimensional. Cada uno de los elementos que lo componen aportan ciertas propiedades: el acrilonitrilo provee resistencia térmica, química y dureza; el butadieno proporciona resistencia al impacto; y el estireno imparte brillo superficial, rigidez y facilidad de procesado.

La incorporación de las fibras de vidrio le da ventajas adicionales, mejorando su resistencia a altas temperaturas, la resistencia al impacto, estabilidad dimensional,

⁸ Jacob Fish, Ted Belytschko. (2007). A First Course In Finite Elements. USA: Wiley.

resistencia a la tensión y su módulo de elasticidad, además de ser un retardante a la flama.

Algunas de las propiedades mecánicas y térmicas más importantes de este material se muestran en la Tabla 4.1

MATERIAL: ABS con 30% de refuerzo de fibra de vidrio	
Tipo de material	Polímero - Isotrópico
Densidad	$1050 \frac{kg}{m^3}$
Módulo de Young	3 GPa
Radio de Poisson	0.35
Esfuerzo de cedencia	70 MPa
Coefficiente de expansión térmica	$7 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Gravedad específica	1.3
Resistencia a la compresión	83 MPa

Tabla 4.1: Propiedades del ABS

4.1.1. Diseño actual

La simulación numérica se realiza bajo los parámetros previamente descritos. Los resultados obtenidos se analizan a continuación.

El primer punto bajo investigación es la distribución de esfuerzos. El mapa de colores en la figura 4.1 A), revela que uno de los dos refuerzos estructurales (costillas en la parte superior) está cumpliendo con su función ya que la zona con el valor más grande de esfuerzo es este elemento, en donde se alcanzan casi 60 MPa. Sin embargo, la otra costilla no muestra el mismo nivel de esfuerzo puesto que tan solo soporta la mitad de los efectos en esa área.

Se observa también que alrededor de la sujeción al módulo de HVAC mediante tornillo existen valores altos de esfuerzo de aproximadamente 20 MPa. Muy probablemente esta sea la causa de que esta sujeción no trabaje adecuadamente puesto que la carga aplicada está afectando directamente a una sujeción importante. Si el tornillo de esta sujeción se afloja ayuda principalmente a que la pieza no se fracture o se dañe, pero empobrece directamente al desempeño del componente y del ensamble.

Otra zona con grande concentración de esfuerzos es la parte inferior del elemento voladizo. La acción de la fuerza se concentra en ese punto debido a que esa área es más rígida en comparación con sus alrededores y origina valores más altos registrados (ver figura 4.1 B).

El valor máximo que se alcanza de acuerdo a la simulación está muy cercano al esfuerzo de cedencia del material y que incluso podría provocar deformación plástica. Esto no sucede en realidad porque el movimiento relativo que existe entre los puntos de sujeción entre componentes distribuye de una manera diferente los esfuerzos y ayuda a disiparlos a lo largo de la pieza.

Dicho comportamiento no puede ser simulado aquí puesto que se tomaron condiciones ideales de funcionamiento, es decir, sujeciones perfectas y sin movimiento entre las distintas piezas.

Se confirma que la pieza necesita refuerzos estructurales mejor ubicados y que fomenten una mejor distribución; los nuevos elementos restrictivos de movimiento y los cambios en la forma de sujeción de la pieza proveerán condiciones de trabajo más próximas a las condiciones ideales de simulación, por lo que los resultados deberán ser más exactos y reales.

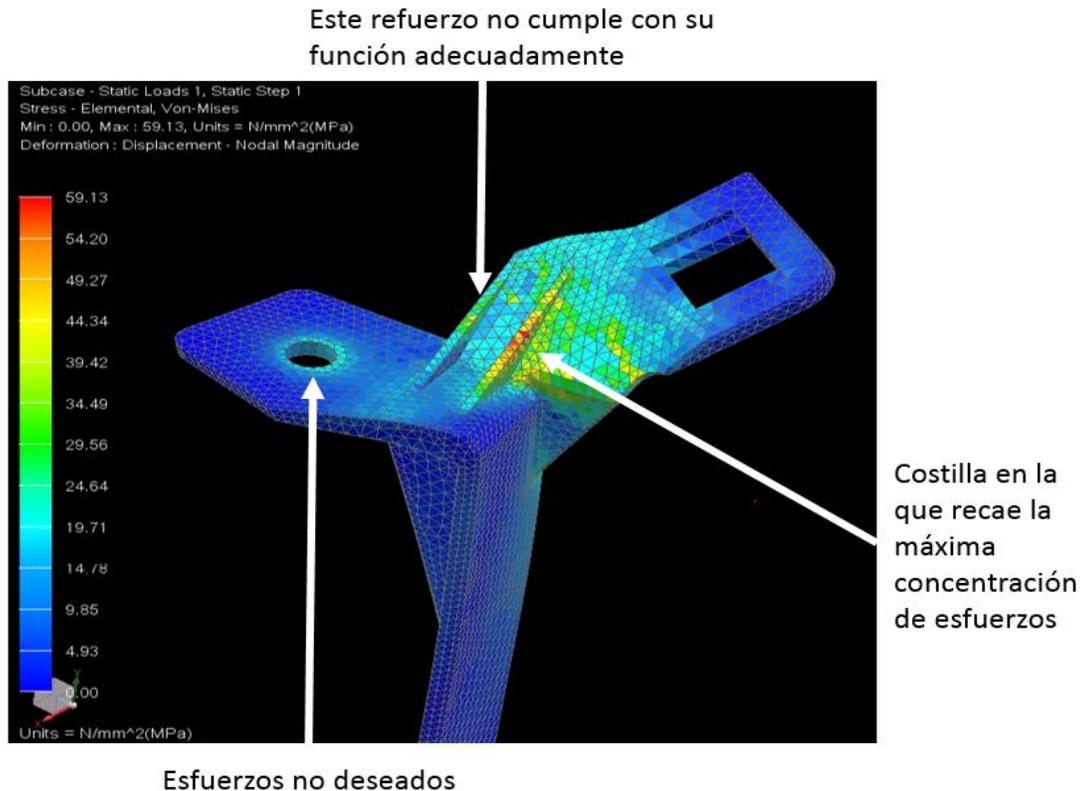
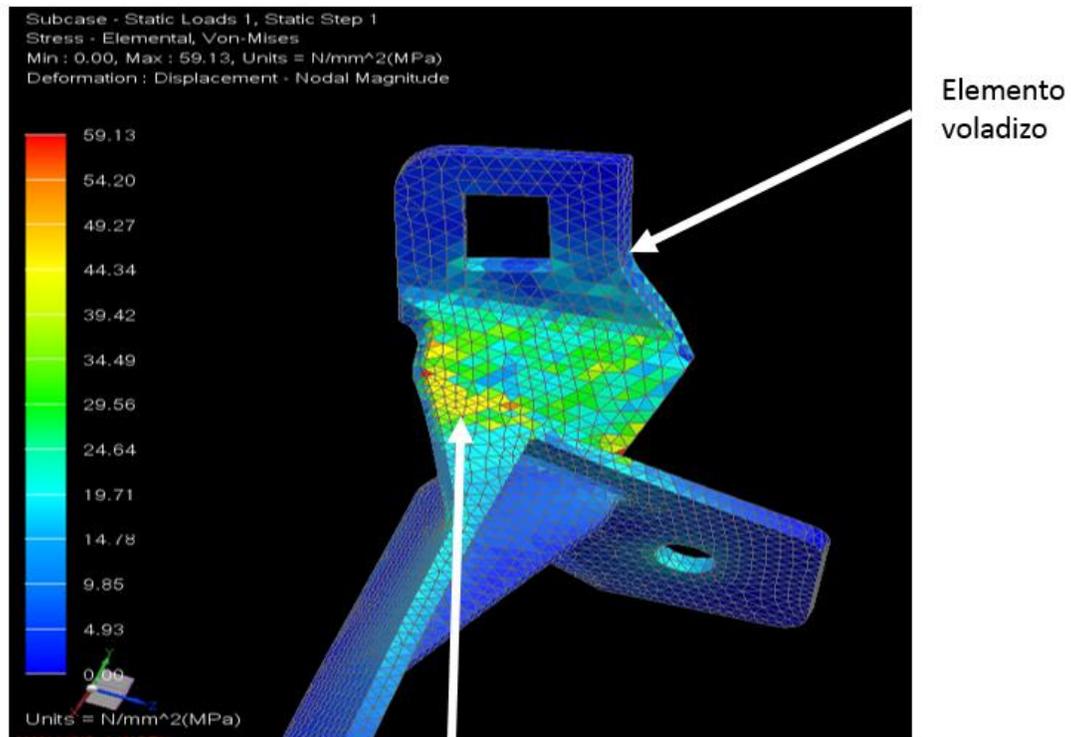


Figura 4.1 A) Distribución de esfuerzos en el diseño actual



Zona con alta concentración de esfuerzos

Figura 4.1 B) Distribución de esfuerzos en el diseño actual

Para el caso del desplazamiento los resultados son poco alentadores, se obtiene como desplazamiento máximo un valor de 7.288 mm según la figura 4.2, lo cual supera por 2.88 la especificación de la consola. La zona que sufre el mayor desplazamiento es la sujeción del *bracket* con la consola, era un resultado esperado puesto que dicha zona es la más alejada al otro par de sujeciones, además de que su condición por diseño es en *cantiléver*.

En la zona media de la sujeción con la consola se tienen valores de 5.5 mm, lo cual podría sugerir que basta tan sólo alguna acción correctiva para cumplir por diseño con el requerimiento, pero eso no sería una solución robusta puesto que no se eliminan los otros factores que probablemente estén causando el problema.

El análisis con elemento finito viene a reafirmar que el *bracket* no es robusto, atribuye al diseño como principal contribuyente a tal grado que puede ser considerado como causa raíz del problema.

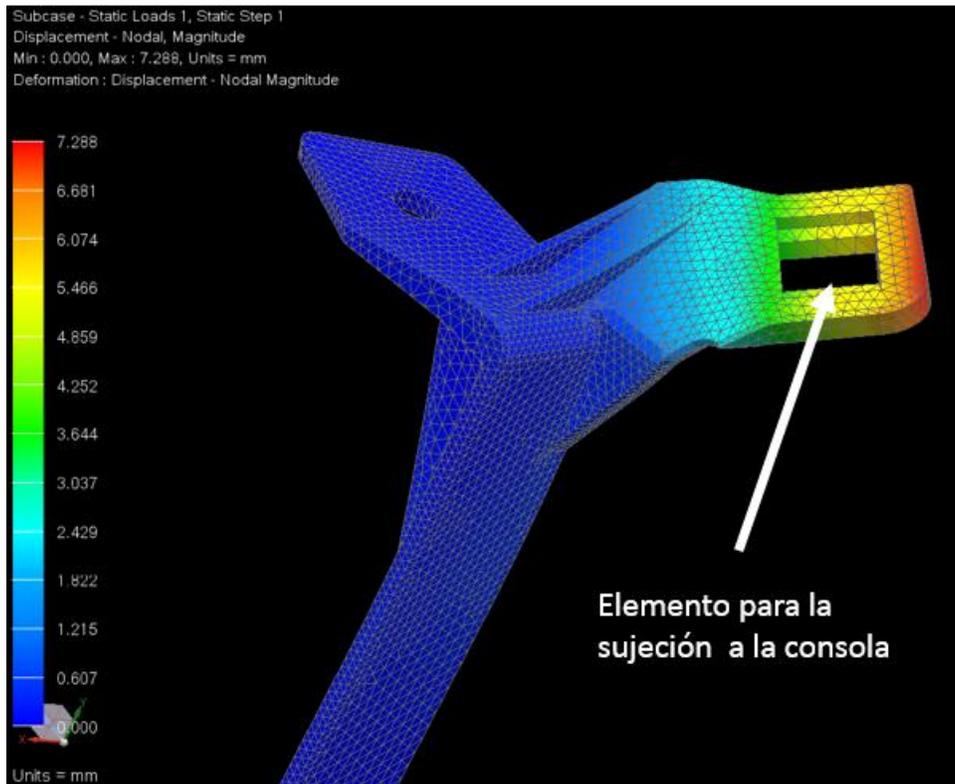


Figura 4.2: Desplazamiento nodal

4.1.2. Prueba física

El experimento que se lleva a cabo pretende reproducir el modo de falla en el ensamble completo (ya instalado en un vehículo). La prueba busca recopilar el rango de valores en el que se encuentra la deflexión para contrastarlo con los valores obtenidos mediante la simulación numérica.

Una prueba física se vuelve de gran utilidad para entender en qué orden de magnitud se encuentra el problema realmente y saber cuánto debe corregir la solución propuesta. A esta prueba se le conoce como “*pull test*”.

El experimento es llevado a cabo mediante la acción de una fuerza de 100 N aplicada al centro y en la parte superior de la red en el compartimiento lateral de la consola. La carga debe ser aplicada perpendicularmente al plano en que se encuentra la red.

Para el experimento la fuerza aplicada es manual y es controlada mediante un dinamómetro que tiene adaptado en su extremo inferior un gancho que garantiza la sujeción de la red en todo momento. La carga se aplica gradualmente hasta alcanzar los 100 N que se muestran en la pantalla del aparato.

Para medir la deflexión de la consola se utiliza una regla graduada que tiene como punto base y referencia el punto de sujeción entre el *bracket* y la consola de piso. Es necesario retirar el componente que cubre esa zona para tener una visión amplia y cómoda de la zona de trabajo.

Se toma en la regla la distancia de referencia a la que se encuentra ubicada la sujeción en la consola de piso, posteriormente se inicia la aplicación gradual de la carga hasta llegar a los 100 N y en ese momento se toma una segunda lectura en la regla graduada (ver figura 4.3). La diferencia entre el valor de referencia y el punto final es la deflexión que experimento el *bracket* (ver tabla 4.2).

1° Vehicle			
Trial Number	Reference [mm]	Result [mm]	Deflection [mm]
1	106	89	17
2	107	89	18
3	106	85	21
4	106	89	17
2° Vehicle			
Trial Number	Reference [mm]	Result [mm]	Deflection [mm]
1	106	91	15
2	105	89	16
3	105	90	15
4	104	90	14
3° Vehicle			
Trial Number	Reference [mm]	Result [mm]	Deflection [mm]
1	106	90	16
2	106	89	17
3	106	88	18
4	106	89	17

Tabla 4.2: Resultados de la prueba

Los resultados obtenidos de la prueba física demuestran la gravedad del problema y el pobre desempeño del *bracket*. Mientras que, por especificación, la deflexión en la consola no debe ser mayor a 5 mm, físicamente se pueden llegar a obtener valores de hasta 21 mm y en ningún caso es menor a 14 mm.



a) Inicio del *pull test*



b) Fin del *pull test*

Figura 4.3: *Pull Test*

Poder reproducir el modo de falla y obtener valores numéricos de ella también sirve como punto de comparación contra los datos obtenidos matemáticamente. El resultado de la simulación arrojó que la deflexión máxima en el componente es de 7.288 mm, mientras que el valor promedio obtenido de los 16 intentos realizados es de 16.75; lo cual representa más del doble que el valor real obtenido.

El resultado proveniente de la simulación numérica es un primer acercamiento, pero que no representa con fidelidad lo que físicamente está sucediendo ni en la pieza ni en el ensamble.

La discrepancia entre la simulación y la prueba física radica principalmente en las condiciones del entorno y los puntos fijos en el estudio (ver figura 4.4). Mientras que numéricamente se simularon condiciones ideales en donde no existe movimiento relativo entre los componentes, es evidente que realmente si existen. Las sujeciones en la corredera y en el tornillo no son firmes completamente lo cual permite cierto grado de libertad entre componentes y por lo tanto movimiento relativo entre ellos.

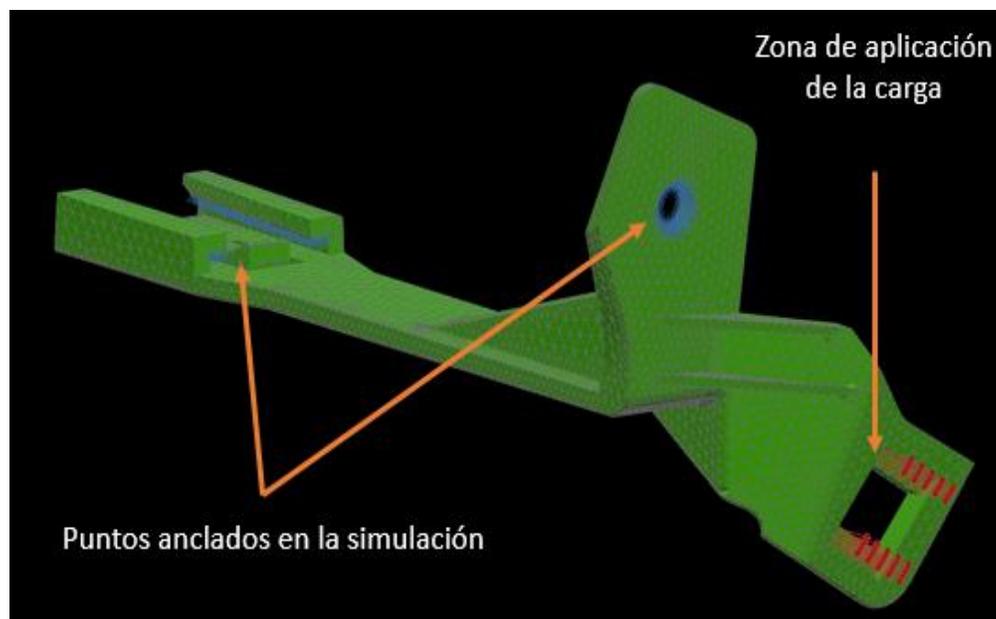


Figure 4.4: Condiciones simuladas

Los valores obtenidos física y teóricamente refuerzan la idea de que a pesar de que el *bracket* no es robusto en su diseño y de que es la causa raíz del problema, existen otros contribuyentes que agravan el problema, lo cual crea la necesidad de atacar esas áreas para conseguir un ensamble lo más rígido posible y un diseño a nivel componente lo más robusto posible, principal objetivo de la metodología *Design For Six Sigma*.

4.1.3. Propuesta de diseño

Con la nueva propuesta de diseño la distribución de esfuerzos en la pieza se ha visto mejorada considerablemente. La zona en azul claro predomina en toda la superficie superior del *bracket* con algunos tintes en verde y amarillo, según se aprecia en la figura 4.5. Según la escala de colores que representa la magnitud, en esta zona se tiene un valor para el esfuerzo de entre 10 MPa (para la zona azul) y hasta 23 MPa (para la zona amarilla).

De acuerdo a los resultados del análisis, se ha reducido en un 46% el valor del esfuerzo comparándolo contra la pieza actual, la cual llegó a registrar valores de hasta 59 MPa, esto debido a que los elementos que se añadieron a la pieza están cumpliendo correctamente con su objetivo, al igual que la adición de material en algunas regiones.

La sujeción entre el *bracket* y el módulo de aire acondicionado muestra cierto nivel de esfuerzo alrededor de 16 MPa y que comparándolo contra el valor anterior se pudieron reducir alrededor de 9 MPa (ver figura 4.5). A pesar de no ser un valor alto, no es una condición deseable puesto que las sujeciones son zonas propensas a sufrir pérdida de fuerza en la unión (en este caso mediante un tornillo).

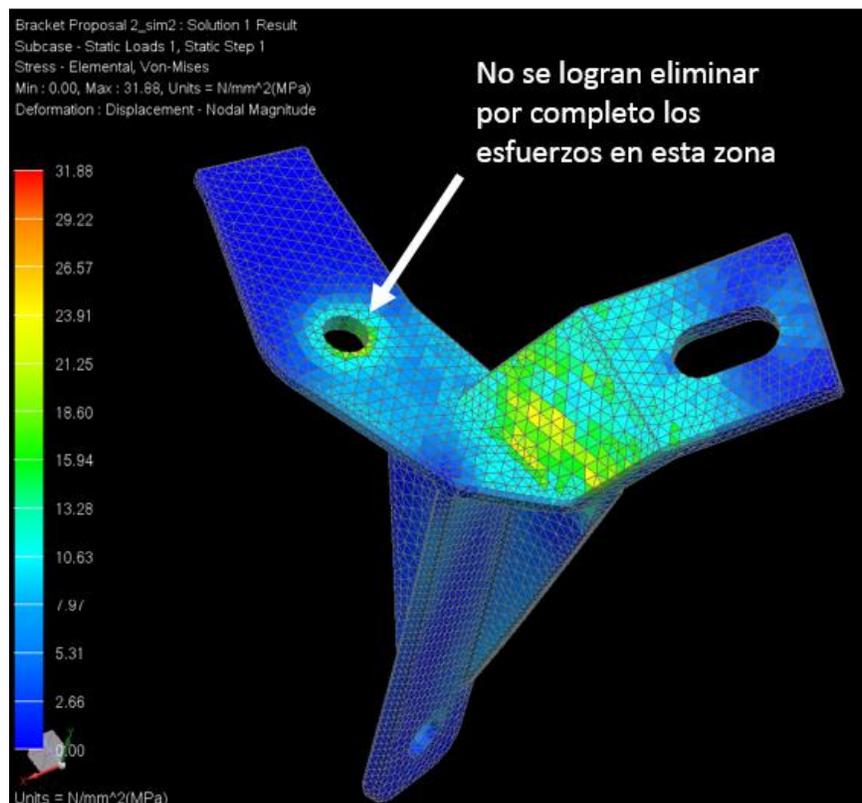


Figura 4.5 A): Distribución de esfuerzos en la propuesta de diseño

Al igual que en el diseño actual se observa una gran concentración de esfuerzos en la zona inferior del elemento voladizo (ver figura 4.5 B), y aunque los valores ya no son críticos podría ser recomendable un refuerzo más en la zona o un grosor ligeramente más grande.

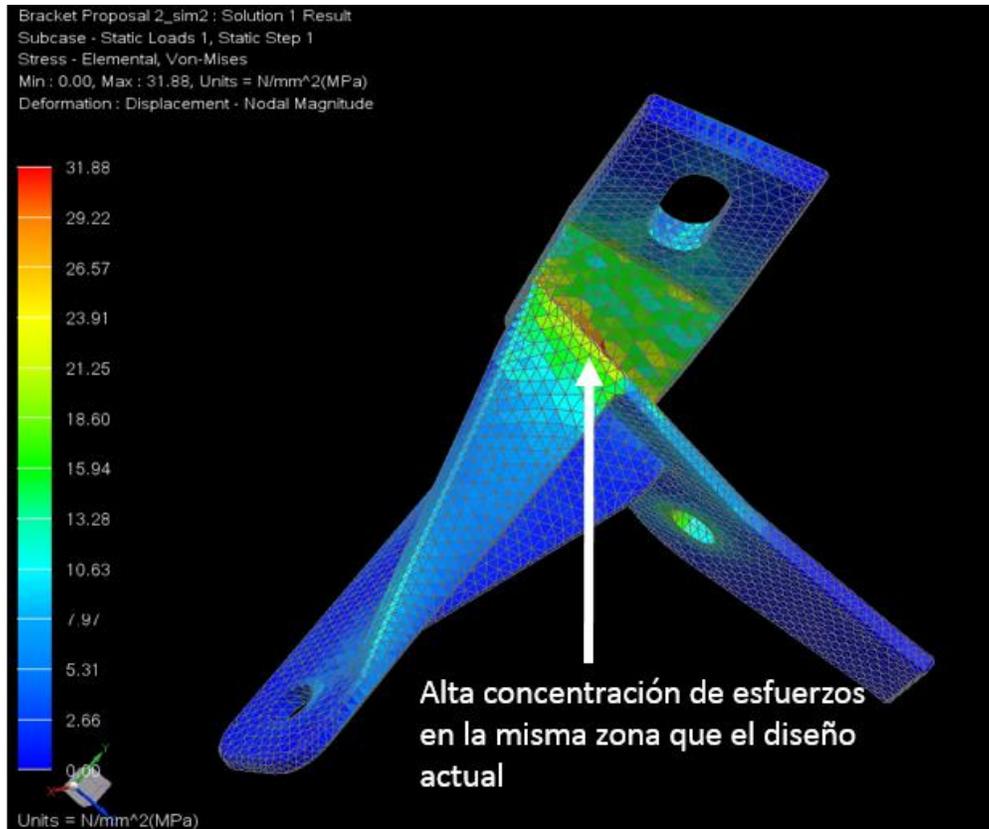


Figura 4.5 B): Distribución de esfuerzos en la propuesta de diseño

En lo referente al desplazamiento se consigue una notable reducción de los valores que se obtuvieron con la pieza original, el cual fue de 7.2 mm a tan solo 3.5 mm para la propuesta de diseño como lo muestra la figura 4.6.

El valor máximo es de 3.586 mm pero que no representa el comportamiento esperado en el *bracket* puesto que la zona que se desplaza esa distancia es una pequeña región en el extremo de la pieza; la zona que contiene la tuerca y el tornillo se desplaza apenas 2.4 mm, que representa con mayor precisión lo que se esperarías ver en campo.

Con tan sólo 2.4 mm de desplazamiento en la zona crítica del *bracket* no solo se cumple con el requerimiento de no más de 5 mm de deflexión, sino que también se da un 50 % de margen para cualquier variación que pudiera presentarse en algún componente del ensamble. No se espera tener movimiento relativo entre sujeciones puesto que éstas han sido modificadas y mejoradas con el objetivo de disminuir la influencia de ese factor y reducir en la mayor medida posible las variables en juego.

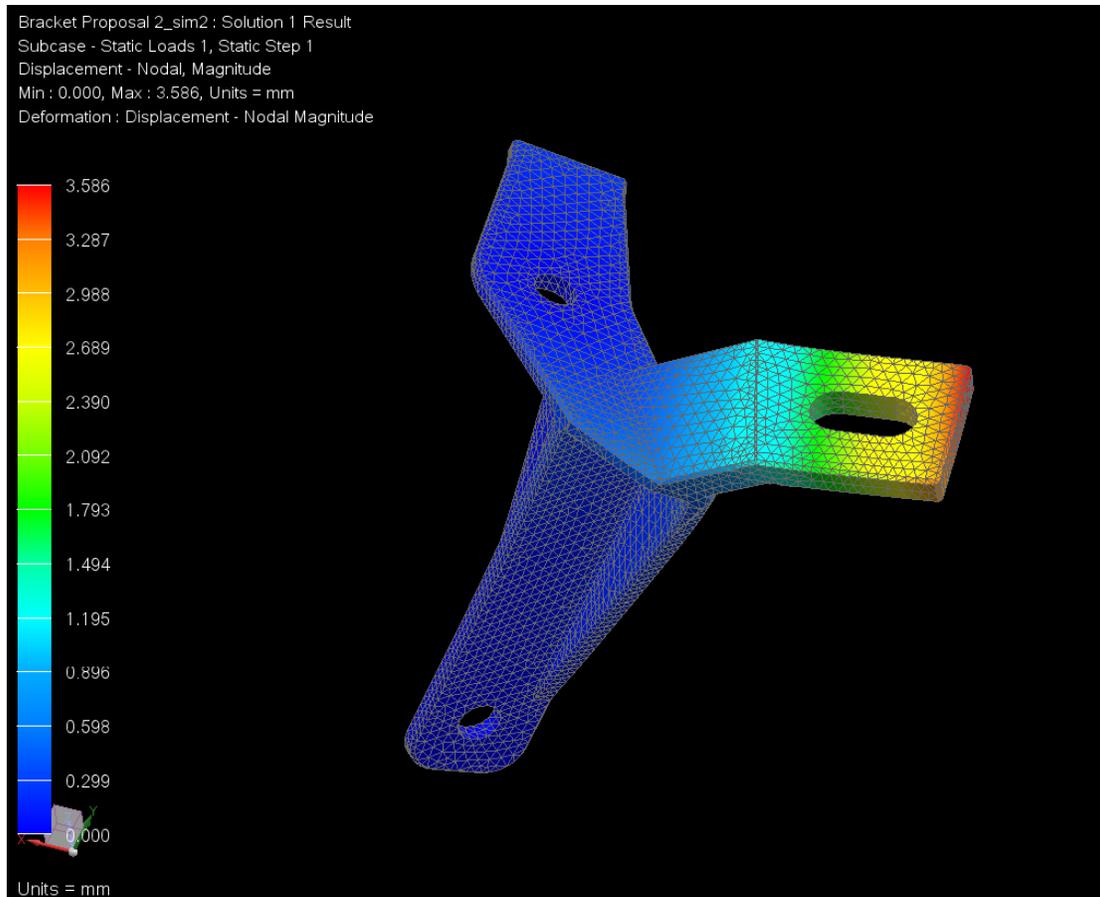


Figura 4.6: Desplazamiento nodal de la propuesta de diseño

Con base en los resultados obtenidos mediante la simulación y la comparativa entre ambos modelos se puede concluir que la propuesta de diseño ha mejorado significativamente los campos de interés en el *bracket*.

La distribución de esfuerzos se vio favorecida al igual que su magnitud, disminuyendo así el riesgo de falla debido a la carga aplicada. Por otro lado, con la nueva propuesta se consigue cumplir con las especificaciones de desplazamiento desde un ambiente de simulación computacional, lo cual da soporte al diseño y confirma como una propuesta aceptable. El factor de seguridad alcanzado con los datos computacionales en términos de esfuerzo es de 2.25.

El modelo computacional pasará ahora a una construcción de prototipos y posteriormente a la etapa de validación, para verificar tanto el componente, como el ensamble.

5. Validar

La validación es la actividad formal de confirmar que el sistema y los componentes cumplen con los requerimientos. Existen diversas maneras de demostrar el cumplimiento como probar a falla ambos diseños (actual y propuesta), probar el producto para medir la magnitud de los indicadores de un funcionamiento pobre en presencia factores de ruidos cambiantes.

El principal objetivo de esta fase es:

- ✓ Verificar que el diseño cumple con todos los requerimientos y no ha causado ni causará ningún problema
- ✓ Documentar las mejoras hechas y formular un plan de implementación

5.1 Plan y Reporte de Verificación de Diseño

El Plan y Reporte de Verificación de Diseño (DVP&R por sus siglas en inglés) es una herramienta sencilla y fácil de usar que documenta el plan que será usado para confirmar que un producto, sistema o componente cumple con sus especificaciones de diseño y requerimientos de desempeño.

Cada una de las especificaciones o requerimientos del producto son documentadas en el DVP&R al igual que las pruebas detalladas que se utilizarán para determinar si cumplen el criterio de aceptación. Los reportes de cada prueba y su resultado son presentados en una de las secciones del documento.

El DVP&R permite documentar de una manera sencilla y concisa las actividades de análisis y verificación completadas durante un cambio de diseño, recertificaciones y comúnmente en el desarrollo de un nuevo producto. La estructura bien organizada del DVP&R lo hace un formato entendible por todos los miembros del equipo y sirve como un documento histórico para futuros proyectos.

Si no se tiene un plan de validación y una correcta verificación del desempeño del producto, muy probablemente se tendrán fallas en campo o aplicación, incrementos en costos por garantías y en el peor de los casos se tendrá que retirar el producto del mercado para corregir el daño, los llamados *recalls* en la industria automotriz, lo cual desemboca en la pérdida de confianza y devaluación de la marca o compañía.

El DVP&R se asocia como resultado del análisis de modo y efecto de falla (desarrollado en el Capítulo 3). Del FMEA se obtienen los puntos clave a tener en consideración y la lista de pruebas a desarrollar, y del DVP&R se establece cómo son los métodos o pruebas que se llevarán a cabo incluyendo su criterio de aceptación. Mientras que el FMEA determina el “qué”, el DVP&R determina el “cómo”.

DESIGN VERIFICATION PLAN AND REPORT

System Description:	Interior - Cockpit	Supplier Name:	Inyeccion de plasticos S.A. De C.V.		Team:	Responsable de Desarrollo - Juan Perez Responsable de Programa - Jose Lopez Ingeniero de Calidad - Carlos Sanchez	
Subsystem Description:	Floor Console	Supplier Code:	1234 A	Affected Program(s):	Todos		
Assembly Description:	Part Number	Supplier Address:	Avenida Plasticos, Zona Industrial 14, Coyoacan				
Side Panel - HVAC	12345678AA	City:	Ciudad de Mexico				
Component Description:	Part Number	State:	Ciudad de Mexico				
Bracket plastico que sujeta la consola de piso con el modulo de aire acondicionado	09876543ZZ	Test Stage ED = Engineering Development Test, DV = Design Verification Test, PV = Production Verification Test, CCT = Continued Compliance Testing Target Requirements. State required probability and confidence of meeting criteria, e.g. R90, C90 or all must pass.					
Planned Product Testing							
# Test #	Specification / Test Name	Method or Procedure	Duration	Acceptance Criteria	Test Results / Findings	Notes	Test Results Pass / Fail
1.0	Rigidez del ensamble de la consola de piso	Se aplica una carga de 100 N perpendicular al plano en el que se encuentra la red de la consola. La sujeción a la red se realiza mediante un gancho colocado en la parte media y superior de la red.	Repetir 10 veces la prueba en 3 ensambles distintos	La deflexión en la consola no debe ser mayor a 5 mm desde su posición original al empezar la prueba.	Acceptable / No Acceptable		Pendiente
2.0	Prueba térmica (en caliente)	En una cámara térmica a 50 ° C se aplica una carga de 70 N al bracket, procurando mantener fijos los puntos de sujeción en el vehículo. La carga se aplica en el punto de unión entre la consola y el bracket plástico.	Repetir 3 veces la prueba en 3 ensambles distintos	No debe existir daño estructural en el componente, fracturas, grietas o deformación plástica después de concluir la prueba.	Acceptable / No Acceptable		Pendiente

3.0	Prueba térmica (en frío)	En una cámara térmica a -30° C se aplica una carga de 70 N al bracket, procurando mantener fijos los puntos de sujeción en el vehículo. La carga se aplica en el punto de unión entre la consola y el bracket plástico.	Repetir 3 veces la prueba en 3 ensambles distintos	No debe existir daño estructural en el componente, fracturas, grietas o deformación plástica después de concluir la prueba.	Acceptable / No Acceptable	Pendiente
4.0	Requerimientos de torque	Estudio de torques para determinar la fuerza de sujeción óptima entre componentes. Especificar valores mínimos y máximos para torque dinámico y residual.	1 vez durante el desarrollo de la pieza	Los resultados obtenidos, deben ser validados y aprobados por el equipo de ingeniería que lleva a cabo el estudio. Los componentes involucrados debe permanecer completamente asentados y las uniones no deben mostrar daños, fisuras, pérdida de torque o marcas de estrés.	Acceptable / No Acceptable	Pendiente
5.0	Retención de tuerca "snap-in"	Después de la aplicación de una carga de 100 N al ensamble verificar la retención de la tuerca "snap-in".	Carga aplicada 10 veces y verificación al término a 3 ensambles distintos	La pieza debe permanecer completamente insertada / asentada en la cavidad que la contiene sin mostrar desprendimiento, marcas de estrés o daños físicos.	Acceptable / No Acceptable	Pendiente
6.0	Ruido y vibración	Aplicar una carga de 100 N al ensamble y posteriormente verificar que no se presente la existencia de ruido debido a que las sujeciones se aflojen o el bracket sufra algún daño.	Carga aplicada 10 veces y prueba en shaker (maquina de vibraciones) al término a 3 ensambles distintos	El ensamble no debe presentar ningún tipo de ruido después de la aplicación de la carga. El ensamble no debe emitir ningún tipo de ruido durante la operación normal del vehículo durante su ciclo de vida.	Acceptable / No Acceptable	Pendiente
7.0	Barrenos y cavidades	Remover tornillos y tuercas (si aplica) del componente para checar integridad física de la pieza.	Remover tornillos y tuercas 10 veces a 3 brackets distintos	No debe existir pérdida de funcionalidad, marcas de estrés y / o deformación plástica en el bracket después de la remoción de los tornillos y tuercas.	Acceptable / No Acceptable	Pendiente

8.0	Mold Flow	Toda pieza plástica debe contar con análisis de mold flow antes de la fabricación del molde.	1 vez durante el desarrollo de la pieza	Los resultados obtenidos, tiempo de llenado, vectores de salida, puntos de inyección y demás parámetros del análisis deben ser aprobados y revisados por el equipo de ingeniería y manufactura.	Acceptable / No Acceptable	Pendiente
9.0	Prueba de ensamble	Correr una prueba de ensamble en la línea de producción. Los operadores toman la pieza y la instalan de la misma forma en que se hace regularmente.	15 piezas	El tiempo que toma a los operadores realizar el ensamble debe ser inferior o igual al tiempo empleado al establecido en las hojas de proceso y / o especificaciones de la compañía. No se deben tener dificultades adicionales al proceso normal de ensamble ni obstrucción en las sujeciones entre componentes.	Acceptable / No Acceptable	Pendiente
10.0	Concentricidad en barrenos	Instalar el bracket y verificar la concentricidad entre barrenos en cada una de las uniones que permitan el paso de un tornillo entre ellas.	10 Ensamblajes	Los barrenos deben ser concéntricos entre si y permitir el libre paso de los tornillos o elementos que los unan.	Acceptable / No Acceptable	Pendiente
Verification Report Authorization						
I affirm that the samples used for verification testing are representative of our parts, and I authorize the use of this data.						
				Date		
				Authorized Signature		

6. Conclusiones generales

Se ha llegado finalmente a un diseño que logra cumplir con las especificaciones requeridas para la pieza. Se buscaba reducir el desplazamiento del subsistema cuando éste era sometido a una carga, y ahora con el diseño propuesto se confirma que, al menos virtualmente, la pieza es suficientemente robusta para cumplir al 100% con su objetivo primordial que es dar rigidez al ensamble.

Tomando en cuenta el alcance del proyecto, que solo contempla la validación virtual y el desarrollo conceptual, se puede establecer que los objetivos se han cumplido satisfactoriamente. Los datos de la simulación numérica son lo suficientemente sólidos para proceder a crear piezas físicas susceptibles a evaluaciones de campo para confirmar que la nueva pieza cumplirá con su función adecuadamente.

El proceso de diseño y fabricación de nuevos productos ha sufrido muchos cambios con el pasar del tiempo. La forma tradicional de creación y mejora de un objeto había sido a prueba y error durante mucho tiempo; los resultados obtenidos eran perfeccionados hasta corregir los defectos y conseguir satisfacer las necesidades de los clientes.

El problema de esta vieja técnica de desarrollo es que se convierte sumamente costosa en cuanto a tiempo, dinero y esfuerzo debido a las múltiples iteraciones que se debían realizar. Por tal motivo, la mejor manera de diseñar y crear un nuevo producto o proceso es a través de una metodología bien definida y la correcta aplicación de conceptos y herramientas.

La metodología *Design For Six Sixma* con su estructura bien definida y organizada apoya al proceso de creación, basándose en una buena recolección de información y técnicas que guían paso a paso en el diseño y ayudan a soportar las decisiones tomadas en cada etapa de proceso.

Cada etapa de la metodología aporta información relevante y útil que ayuda a dar forma al nuevo producto. Durante la etapa de Identificación se detectó el problema, se establecieron las acciones a seguir y el tiempo estimado para las actividades, se bosquejó el camino, definiendo así los objetivos y alcances del proyecto. Este es el primer paso que ayuda a organizar y clarificar el tema expuesto, siembra las bases del trabajo tratando de hacerlo de la manera más organizada posible.

Posteriormente en la etapa de Definición, que se caracterizó por la recolección de información y su posterior análisis, mostró la importancia que tiene el correcto uso de los datos y la mejor manera de convertirlos en necesidades reales. Pasar de una idea vaga o un pensamiento confuso a algo concreto es la parte más valiosa, puesto que

determina qué es lo que se necesita realmente para satisfacer al mercado que reclama un buen producto.

Los pasos previos dieron un fuerte sustento para proceder a tomar decisiones. Entendido el problema se debe soltar la imaginación y el conocimiento técnico para bosquejar una primera aproximación a lo que será la solución al problema. Con las propuestas sobre la mesa no queda más que elegir la más adecuada y próxima a resolver los problemas detectados.

En la búsqueda de un diseño robusto, por supuesto que no se pueden quedar las cosas sin buscar una optimización del producto. Es ahí donde entraron en juego las herramientas tecnológicas, computacionales y experimentales para entender realmente si las propuestas funcionarían. El conocimiento del ingeniero responsable juega un papel muy importante en esta etapa puesto que un buen análisis reduce el riesgo de que el componente sea rechazado en la etapa de validación. El componente ya debe ser robusto en esta etapa.

Finalmente, no quedó más que validar el trabajo hecho, una vez más, los buenos cimientos del proyecto ayudaron a saber cuáles eran las áreas críticas y que necesitaban, más atención. El proceso finaliza en este punto y una vez que el componente pasa las pruebas establecidas, está listo para llevarse a producción regular con la confianza de que nos mostrará problemas de desempeño durante su ciclo de vida.

El resultado final de la correcta aplicación de la metodología es un producto robusto y que ha sido probado bajo las condiciones extremas de uso y validado para cumplir con todos los requerimientos tanto de la empresa, como del cliente e incluso de regulaciones gubernamentales; además de que el proceso deja al ingeniero responsable un profundo conocimiento tanto del sistema en estudio como de los componentes individuales, a tal grado que puede reconocer fácilmente las carencias, fortalezas y defectos de cada elemento involucrado.

Conocer y entender los problemas de un producto son elementos básicos que debe tener una empresa y sus empleados para mejorar la calidad de sus productos y aumentar la satisfacción del cliente.

7. Referencias

- ¹ Kai Yang, Basem El-Haik. (2009). Design For Six Sigma. USA: McGraw-Hill.
- ² Greg Brue. (2003). Design For Six Sigma. USA: McGraw-Hill .
- ³ M. Larry Shillito. (1994). Advanced QFD: Linking Technology to Market and Company Needs. New York, USA: Wiley-Interscience.
- ⁴ Craig Gygi, Neil DeCarlo. (2005). Sig Sigma For Dummies. Indiana, USA: Wiley Publishing, Inc.
- ⁵ Ranjit K. Roy. (2001). Design of experiments using Taguchi approach. New York: John Wiley & Sons.
- ⁶ Cecil Jensen. (2004). Dibujo y Diseño en Ingeniería. Mexico : McGraw-Hill Interamericana.
- ⁷ Jacob Fish, Ted Belytschko. (2007). A First Course In Finite Elements. USA: Wiley.
- ⁸ Charles Harper. (2000). Modern Plastics Handbook. USA: McGraw-Hill.
- ⁹ Chennakesava R.. (2008). CAD/CAM Concepts and Applications. USA: PHI Learning.
- ¹⁰ Chrysler Corporation, For Motor Company and General Motors Corporation. (1993). Potential Failure Modes and Effect Analysis. USA.
- ¹¹ Eduardo Hernandez . (2012). Gestión de cambios de ingeniería en una planta proveedora T1 en la industria automotriz. Mexico : IPN.
- ¹² Clyde Creveling. (2002). Design for six sigma in technology and product development. USA: Prentice Hall Professional.
- ¹³ Jane Marshall. (2011). Design For Six Sigma DFSS. 14 de febrero del 2017, de The University of Warwick Sitio web:
http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/ftmsc/modules/modulelist/peuss/sessions/design_for_six_sigma_dfss/
- ¹⁴ K. Einsenegger. (2016). Six Sigma. 6 de febrero del 2017, de Six Sigma Leading Perform. Sitio web:
<http://www.sixsigma.ch/index.htm>
- ¹⁵ Anónimo. (2010). QFD. 7 de febrero del 2017, de QFD Online Sitio web: <http://www.qfdonline.com>

¹⁶ Anónimo. (2013). Como calcular el nivel de Seis Sigma de un proceso. 2 de febrero del 2017, de Grupo PDCA Sitio web: <http://www.pdcahome.com/4466/calcular-el-nivel-sigma-del-proceso/>

¹⁷ Quality-One. (2015). Design Verification Plan and Report. Septiembre 2017, de Quality-One Sitio web: <https://quality-one.com/dvpr/>

¹⁸ Mind Tools Content Team . (2015). SMART Goals. 25 de Julio del 2017, de Mind tools Sitio web: <https://www.mindtools.com/pages/article/smart-goals.htm>

Anexos

1. Tablas de evaluación de riesgo⁹

a) Criterio de Severidad

Effect	Criteria: Severity of Effect	Ranking
Hazardous-without warning	Very high severity ranking when a potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation without warning.	10
Hazardous-with warning	Very high severity ranking when a potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation with warning	9
Very High	Vehicle/item inoperable, with loss of primary function.	8
High	Vehicle/item operable, but at reduced level of performance. Customer dissatisfied.	7
Moderate	Vehicle/item operable, but Comfort/Convenience item(s) inoperable. Customer experiences discomfort.	6
Low	Vehicle/item operable, but Comfort/Convenience item(s) operable at reduced level of performance. Customer experiences some dissatisfaction.	5
Very Low	Fit & Finish/Squeak & Rattle item does not conform. Defect noticed by most customers.	4
Minor	Fit & Finish/Squeak & Rattle item does not conform. Defect noticed by average customer.	3
Very Minor	Fit & Finish/Squeak & Rattle item does not conform. Defect noticed by discriminating customer.	2
None	No Effect.	1

b) Criterio de Ocurrencia

Probability of Failure	Possible Failure Rates	Ranking
Very High: Failure is almost inevitable	≥ 1 in 2	10
	1 in 3	9
High: Repeated failures	1 in 8	8
	1 in 20	7
Moderate: Occasional failures	1 in 80	6
	1 in 400	5
	1 in 2,000	4
Low: Relatively few failures	1 in 15,000	3
	1 in 150,000	2
Remote: Failure is unlikely	≤ 1 in 1,500,000	1

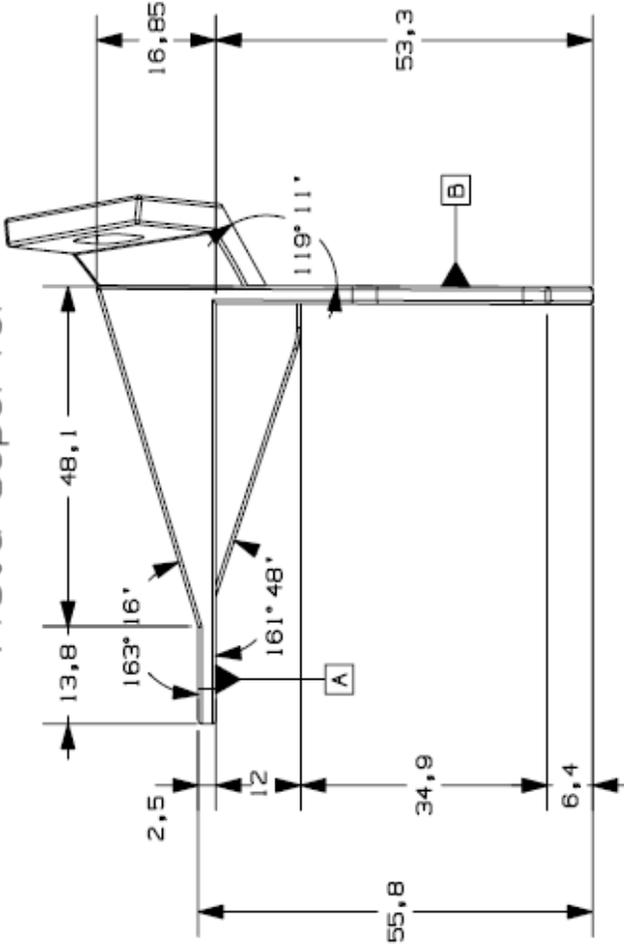
⁹ Chrysler Corporation, For Motor Company and General Motors Corporation. (1993). Potential Failure Modes and Effect Analysis. USA.

c) Criterio de Detención

Detection	Criteria: Likelihood of Detection by Design Control	Ranking
Absolute Uncertainty	Design Control will not and/or can not detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode; or there is no Design Control.	10
Very Remote	Very remote chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	9
Remote	Remote chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	8
Very Low	Very low chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	7
Low	Low chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	6
Moderate	Moderate chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	5
Moderately High	Moderately high chance the Design Control will detect a potential cause/ mechanism and subsequent failure mode	4
High	High chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	3
Very High	Very high chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	2
Almost Certain	Design Control will almost certainly detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	1

2. Diseño Geométrico y Tolerancias

Vista Superior

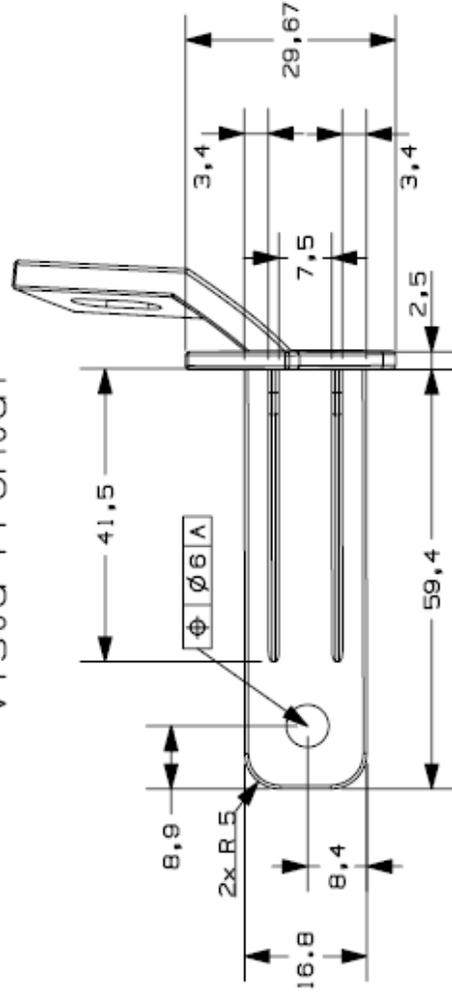


Escala: 1:2

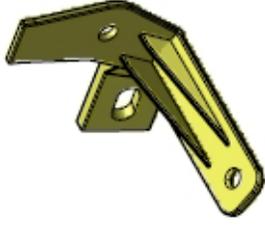
1.- Todos los redondeados y bordes a 0,5 mm a menos que se indique otro valor.

2.- La tolerancia para todas las dimensiones es de +/- 0.02 mm a menos que se indique otro valor.

Vista Frontal



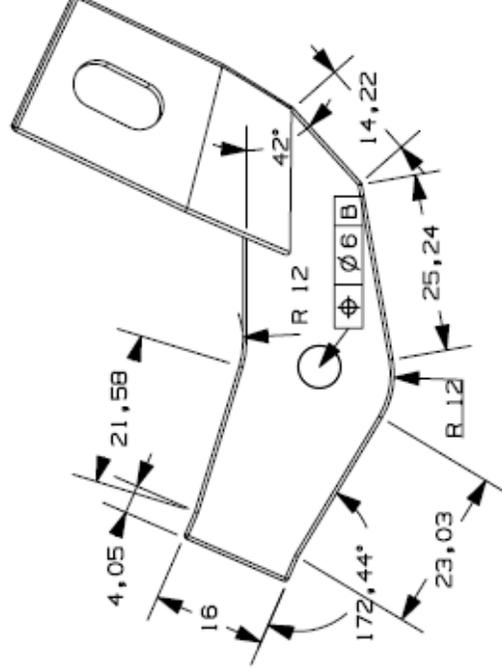
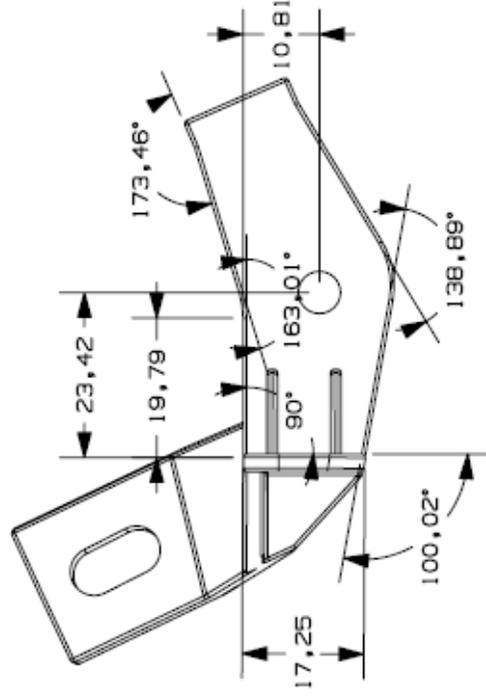
Dibujo		Vistas Ortogonales			
Proyecto	Floor Console Bracket	No. Parte	12344321	Unidad	mm
Responsable		Nazul Emilio Hernandez Rendon		Escala	1:1
				Fecha	Enero 2018
				Hoja	1



Vista Lateral Izquierda

Vista Lateral Derecha

Escala: 1:2



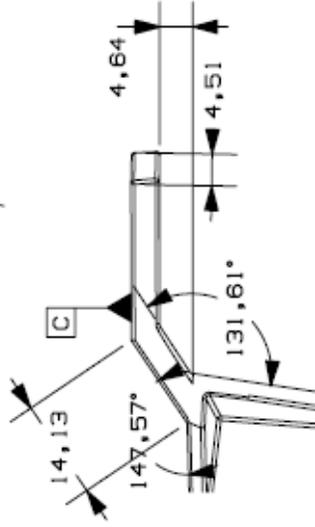
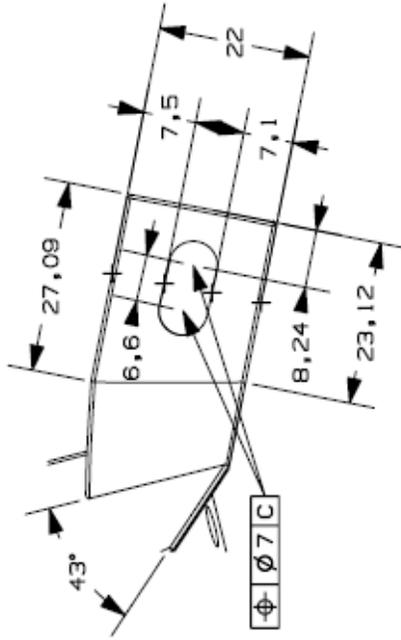
Vista de detalle
en hoja 3

- 1.- Todos los redondeados y bordes a 0.5 mm a menos que se indique otro valor.
- 2.- La tolerancia para todas las dimensiones es de +/- 0.02 mm a menos que e indique otro valor.

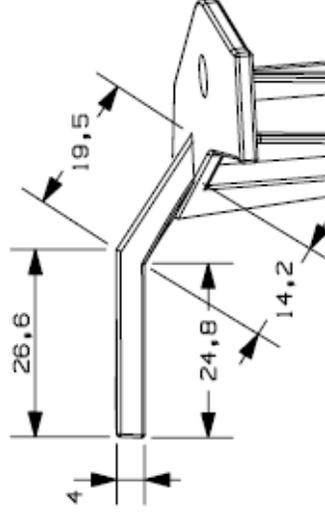
		Dibujo Vistas Ortogonales		Hoja 2	
Proyecto Floor Console Bracket		No. Parte 12344321		Escala 1:1	
Responsable Nazul Emilio Hernandez Rendon		Fecha Enero 2018		Unidad mm	



Vista Superior



Vista Frontal



Vista Posterior

1.- Todos los redondeados y bordes a 0.5 mm a menos que se indique otro valor.

2.- La tolerancia para todas las dimensiones es de ± 0.02 mm a menos que e indique otro valor.

		Hoja 3
Dibujo Vista de Detalle		
Proyecto Floor Console Bracket	No. Parte 12344321	
Responsable Nazul Emilio Hernandez Rendon		
	Unidad mm	Escala 1:1
		Fecha Enero 2018