



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
DISEÑO MECANICO

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CONTENDOR MODULAR

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERIA

PRESENTA:

SERGIO ALFREDO HERNANDEZ FLORES

TUTOR PRINCIPAL:

DR JESUS MANUEL DORADOR GONZALEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

DR ALEJANDRO RAMIREZ REIVICH
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

DR MARCELO LOPEZ PARRA
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

DRA MAGDALENA TRUJILLO BARRAGAN
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

M EN I OSIRIS RICARDO TORRES
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

JURIQUILLA, QUERETARO, JULIO 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Tabla de contenido

CAPITULO 1.....	9
1.1 Introducción.....	9
1.2 Antecedentes.....	11
1.3 Justificación.....	13
1.4 Alcance.....	13
CAPITULO 2.....	15
2.1 Metodología de diseño DMADOV.....	15
2.2 Tipos de uniones.....	17
2.2.1 Uniones móviles deslizantes (guía).....	17
2.2.2 Uniones Roscadas.....	17
2.2.3 Snap-fit.....	18
2.2.4 Chaveta.....	18
2.2.5 Interferencia Geométrica.....	19
2.3 Matriz de Pugh.....	20
2.4 Simulación de elemento finito.....	21
2.5 Análisis de flujo para manufactura de inyección.....	23
2.5.1 Marcas de hendiduras. (<i>Autodesk Moldflow Sink Marks, s. f.</i>).....	24
2.5.2 Aire atrapado. (<i>Autodesk Moldflow Air Traps, s. f.</i>).....	24
2.5.3 Deformación. (<i>Autodesk Moldflow Warpage Tolerance, s. f.</i>).....	25
2.5.4 Predicción de calidad. (<i>AutoDesk MoldFlow Quality prediction, s. f.</i>).....	26
2.5.5 Líneas de soldadura. (<i>Autodesk Moldflow Weld Lines, s. f.</i>).....	26
2.5.6 Deflexión (todos los efectos) pantalla de resultados. (<i>Autodesk Moldflow Deflection (all effects), s. f.</i>).....	27
2.5.7 Llenado de cavidad (<i>Autodesk Moldflow Fill animation result, s. f.</i>).....	28
CAPITULO 3.....	30
3.1 Selección de método de sujeción.....	30
3.1.1 Propuesta de sujeción guía – snap.....	31
3.1.2 Propuesta de sujeción Interferencia, guía, perno.....	35
3.1.3 Propuesta de sujeción interferencia, snap, guía.....	36
3.2 Desarrollo de prototipos.....	40
3.2.1 Primer prototipo.....	40
3.2.2 Segundo Prototipo.....	42

3.2.3 Tercer prototipo.....	43
3.3 Análisis de geometría finita.	44
3.4 Simulación de flujo para manufacturabilidad.	45
3.3.1 Pieza Mod2_Corto.	46
3.3.2 Pieza Mod2_Ex.	49
3.3.3 Pieza Mod2_largo.	52
3.3.4 Pieza Mod2_base.	55
3.5 Rediseño en la pieza.....	58
3.5.1 Pieza mod2_corta.	58
3.5.2 Pieza mod2_ex.	58
3.5.3 Pieza mod2_larga.	58
3.5.4 Pieza mod2_base.....	59
CAPITULO 4.....	61
4.1 Diseño conceptual fase dos.	61
4.2 Comparativo de piezas mod1 vs mod2.	61
4.1.1 Rediseño de pieza larga.....	62
4.1.2 Rediseño de pieza corta.....	63
4.1.3 Rediseño de pieza base.	64
4.3 Desarrollo de prototipos.....	65
4.3.1 Primera iteración.....	65
4.3.2 Segunda iteración.....	67
4.3.3 Tercer iteración.	68
4.3.4 Cuarta iteración.	69
4.4 Análisis de geometría finita concepto final.....	71
4.4.1 Simulación en base y funcionalidad de pines.	71
4.4.2 Simulación en bases unidas y snap.	72
4.4.3 Simulación de manejo de contenedor.	74
4.4.4 Análisis de estiba.	75
4.5 Simulación de flujo para manufacturabilidad modelo final	78
4.5.1 Pieza Base.	78
4.5.2 Pieza Corta.	81
4.5.3 Pieza larga.	82
4.6 Ajustes de diseño a piezas.....	85

4.6.1 Punto de inyección.....	85
4.6.2 Rediseño de los snaps.	85
4.6.3 Rediseño de guías para ensamble de snap.....	85
4.6.4 Ángulo de desmoldeo de 1° en toda la pieza.	86
4.6.5 Homologación de espesores a .100” en toda la pieza.	86
4.6.6 Se agregan radios a la pieza.	86
4.6.7 Reducción de material.....	87
4.7 Diseño aprobado de las piezas.	88
4.7.1 Pieza larga (295D4918P001).	88
4.7.2 Pieza corta (259C1721P001).	88
4.7.3 Pieza base (295D4917P001).	89
4.8 Propuestas para evaluar las propiedades de las piezas.....	90
4.9 Desarrollo de metodología para probar contenedores.....	90
4.9.1 Método de prueba de armado de contenedores.	90
4.9.2 Método de prueba de resistencia del contenedor.	92
4.10 Conclusiones.....	93
4.10.1 Diseño.	93
4.10.2 Interpretación de análisis de flujo.	94
4.10.3 Impresión de prototipos.	94
4.10.4 Aprendizajes.	95
Bibliografía.....	97

Ilustración 1 Vista explosionada y contenedor armado	9
Ilustración 2 Contenedor plegable (A) Contenedor apilable (B) Contenedor acceso rápido (C).....	10
Ilustración 3 Tamaños de contenedores más usados en Mabe.....	12
Ilustración 4 Cantidad de números de parte y de contenedores por planta	12
Ilustración 5 tipos de uniones.....	17
Ilustración 6 Tipos de uniones móviles deslizantes	17
Ilustración 7 Elementos de unión roscada.....	18
Ilustración 8 Diseños de snap-fit.....	18
Ilustración 9 Ejemplo de chaveta	19
Ilustración 10 Ejemplos de uniones por interferencia geométrica	19
Ilustración 11 Ejemplo de matriz de Pugh	20
Ilustración 12 Variación de la presión dentro de la cavidad del molde	23
Ilustración 13 Código de color de la predicción de calidad	26
Ilustración 14 Pantalla que muestra ejemplo de deflexión.....	27
Ilustración 15 Ejemplo de llenado de cavidad	28
Ilustración 16 Ejemplo de llenado que no se realiza al mismo tiempo (1) uso adecuado de punto de inyección (2)	28
Ilustración 17 Ejemplo de matriz de Pugh.....	30
Ilustración 18 Propuesta de contenedor Guía - Snap	31
Ilustración 19 Propuesta de sujeción guía - snap	31
Ilustración 20 Ejemplo 1 de unión de dos bases tamaño 12inx12in	32
Ilustración 21 Ejemplo 2 de unión dos bases tamaño 6inx 24in	32
Ilustración 22 Unión de base con pieza “lateral” (verde)	32
Ilustración 23 Ejemplo de unión de piezas a 90°	33
Ilustración 24 Diseño de pieza corta.....	33
Ilustración 25 Ejemplo de aumento de tamaño en pieza corta.....	34
Ilustración 26 Diseño de base con interferencia y largo con guía.....	35
Ilustración 27 Unión con perno entre caras	35
Ilustración 28 Diseño de contenedor interferencia, snap, guía.	36
Ilustración 29 Diseño de base interferencia y snap.....	36
Ilustración 30 Ejemplo de unión entre bases 6inx12in (a) y 12inx12in (b)	36
Ilustración 31 Ensamble cara lateral con base mediante snaps.....	37
Ilustración 32 Diseño de pieza lateral (figura 1) y ensamble de dos piezas verticalmente con snap (figura 2)	37
Ilustración 33 Ensamble de pieza de manera lateral mediante guías	38
Ilustración 34 Ensamble de pieza larga con corta mediante guía	38
Ilustración 35 Diseño de guías para uniones laterales y frontales	38
Ilustración 36 Geometría de snaps	39
Ilustración 37 Ensamble vertical de dos piezas "cortas"	39
Ilustración 38 Impresión 3D de modelo referente al primer prototipo	40
Ilustración 39 Estandarizado de las guías a forma "T"	40
Ilustración 40 Rediseño en base para permitir el ensamble de pieza larga	41
Ilustración 41 Impresión 3D de nuevo modelo con modificaciones.....	42
Ilustración 42 Cambio de altura de pines para reforzar	42

Ilustración 43 Impresión de piezas con rediseños.....	43
Ilustración 44 Se retrabajan las guías para poder realizar el ensamble.....	43
Ilustración 45 Análisis de elemento finito para bases 1kg y 15kg respectivamente	44
Ilustración 46 Análisis de elemento finito ejerciendo el esfuerzo en los pines de unión lateral.....	44
Ilustración 47 Hoja de datos de polietileno de alta densidad.....	45
Ilustración 48 Carga de datos en MoldFlow®	45
Ilustración 49 Representación predicción de calidad.....	46
Ilustración 50 Representación aire atrapado	46
Ilustración 51 Representación líneas de unión.....	46
Ilustración 52 Representación calidad de pieza durante enfriamiento.....	47
Ilustración 53 Representación de deformación en pieza.....	47
Ilustración 54 Secuencia de llenado de pieza corta.....	47
Ilustración 55 Parámetros de proceso de llenado pieza corta.	48
Ilustración 56 Representación de predicción de calidad de la pieza	49
Ilustración 57 Representación de aire atrapado	49
Ilustración 58 Representación líneas de unión.....	49
Ilustración 59 Representación de calidad durante el enfriamiento	50
Ilustración 60 Representación de deformación.....	50
Ilustración 61 Representación del tiempo de llenado de la pieza Ex	50
Ilustración 62 Parámetros de procesamiento de llenado de pieza Ex	51
Ilustración 63 Representación predicción de calidad.....	52
Ilustración 64 Representación de aire atrapado	52
Ilustración 65 Representación de líneas de unión.....	53
Ilustración 66 Representación de calidad durante el enfriamiento	53
Ilustración 67 Representación de la deformación	54
Ilustración 68 Proceso de llenado de pieza larga.....	54
Ilustración 69 Parámetros de proceso de llenado de pieza larga.....	54
Ilustración 70 Representación de predicción de calidad.....	55
Ilustración 71 Representación de aire atrapado	55
Ilustración 72 Representación de líneas de unión.....	56
Ilustración 73 Representación de calidad durante el enfriamiento	56
Ilustración 74 Representación de deformación.....	57
Ilustración 75 Proceso de llenado de pieza Base	57
Ilustración 76 Parámetros de llenado de pieza "base"	57
Ilustración 77 Pieza final "corta"	58
Ilustración 78 Ajustes en pieza final "extra"	58
Ilustración 79 Aumento de espesor en ventanas	58
Ilustración 80 Homologación de espesores en caras.....	59
Ilustración 81 Diseño de costillas para pieza "larga"	59
Ilustración 82 Ubicación de radios para pieza "base"	59
Ilustración 83 Diseño de costillas en pieza "base"	60
Ilustración 84 Diseño de contenedor final con retroalimentación de simulación de inyección	60
Ilustración 85 Comparativo de reducción de peso	61
Ilustración 86 Cambio de unión lateral por medio de esferas (A) union por medio de snaps de 4 a 2 (B).62	

Ilustración 87 Vista superior de pieza "larga"	62
Ilustración 88 Se independiza el snap para tener flexibilidad	63
Ilustración 89 Las flechas indican donde se aplicará la fuerza para la deformación	63
Ilustración 90 Pieza "corta" vista frontal cambio de diseño de snap	63
Ilustración 91 Pieza "base" cambio a diseño liso en parte inferior (A) y diseño de costillas en parte inferior (B)	64
Ilustración 92 Se diseña solo la mitad de la pieza y su contraparte para realizar pruebas de ensamble	65
Ilustración 93 Primeras piezas 3D, se tiene un gap muy amplio en el ensamble lateral	65
Ilustración 94 El ensamble vertical no es adecuado, no se cuenta con flexibilidad para realizar la unión	66
Ilustración 95 Propuesta de diseño, colocar chaflanes para facilitar ensamble	66
Ilustración 96 Propuesta de diseño, colocar guías en ensamble de esferas	66
Ilustración 97 Segunda impresión 3D	67
Ilustración 98 El espesor del snap sigue siendo muy alto, se sugiere ajustar para lograr el ensamble	67
Ilustración 99 Rediseño de geometría de snap para facilitar el ensamble	68
Ilustración 100 Impresión 3D de tercer prototipo	68
Ilustración 101 Ensamble de piezas con rediseño de snap	68
Ilustración 102 Diseño de piezas finales	69
Ilustración 103 Rediseño de detalles de ensamble lateral de piezas "base"	69
Ilustración 104 Diseño final de contenedor	69
Ilustración 105 Impresión 3D a tamaño real de contenedor	70
Ilustración 106 Resultados de análisis de esfuerzo en pines con carga distribuida de 15Kg	71
Ilustración 107 resultados de análisis de elemento finito en pines con carga distribuida de 30Kg	71
Ilustración 108 Resultados de análisis de elemento finito con carga en pines 15Kg	72
Ilustración 109 Resultados de análisis de elemento finito en pines 30Kg	72
Ilustración 110 Resultados de análisis de elemento finito bases unidas con carga uniforme de 15Kg	73
Ilustración 111 Resultados de análisis de elemento finito bases unidas con carga uniforme de 30Kg	73
Ilustración 112 Resultados de análisis de elemento finito bases unidas con carga uniforme de 50Kg	73
Ilustración 113 Condiciones de frontera	74
Ilustración 114 Resultados de análisis de contenedor con carga de 15Kg	74
Ilustración 115 Resultados de análisis de contenedor con carga de 30Kg	75
Ilustración 116 Resultados de desplazamiento en contenedor con carga de 30Kg	75
Ilustración 117 Resultados de análisis de estiba con 3 contenedores	76
Ilustración 118 Resultados de análisis de estiba con 6 contenedores	76
Ilustración 119 Resultados de análisis de estiba con 9 contenedores	77
Ilustración 120 Hojas de datos de materiales	78
Ilustración 121 Representación de predicción de calidad	78
Ilustración 122 Representación de aire atrapado	79
Ilustración 123 Representación de líneas de unión	79
Ilustración 124 Representación de hendiduras	79
Ilustración 125 Representación de deformación	80
Ilustración 126 Proceso de llenado de pieza base	80
Ilustración 127 Parámetros de llenado de pieza "base"	80
Ilustración 128 Representación de la predicción de la calidad	81
Ilustración 129 Representación de aire atrapado	81

Ilustración 130 Representación de deformación	81
Ilustración 131 Proceso de llenado de pieza corta	82
Ilustración 132 Parámetros proceso de llenado de la pieza "corta"	82
Ilustración 133 Representación de predicción de la calidad	82
Ilustración 134 Representación del aire atrapado	83
Ilustración 135 Representación de la líneas de unión	83
Ilustración 136 Proceso de llenado de pieza larga	83
Ilustración 137 Parámetros proceso de llenado de la pieza "larga"	84
Ilustración 138 Punto de inyección en pieza base.....	85
Ilustración 139 Rediseño de snap en piezas corta y larga.....	85
Ilustración 140 Rediseño de guía de ensamble en pieza larga y corta.....	85
Ilustración 141 Ángulos de desmoldeo de 1° en todas las piezas	86
Ilustración 142 Homologación de espesores en pieza larga y corta (Vista lateral).....	86
Ilustración 143 homologación de espesores en piezas larga y corta (vista de detalles).....	86
Ilustración 144 Radios de .025" - 0.050" generados en todas las piezas	87
Ilustración 145 Pieza base con ajuste de espesor en la vista superior.....	87
Ilustración 146 Pieza base con ajuste de espesor en vista inferior.....	87
Ilustración 147 Diseño final de pieza larga.....	88
Ilustración 148 Diseño final de pieza corta.....	88
Ilustración 149 Diseño final de pieza base vista superior	89
Ilustración 150 Diseño final de pieza base vista inferior	89
Ilustración 151 Contenedor de 6inx12in ilustrativo.....	90
Ilustración 152 Contenedor de 12inx24in ilustrativo.....	91
Ilustración 153 Contenedor de 18inx24in ilustrativo.....	91
Ilustración 154 Método de levantamiento de contenedor ilustrativo	92
Ilustración 155 Síntesis de resultados de cada etapa del proyecto.....	95
Ilustración 156 Síntesis de aprendizajes	96

CAPITULO 1

1.1 Introducción

El presente proyecto consiste en el desarrollo de un contenedor, el cual estará conformado por tres piezas plásticas diferentes llamadas: base (dimensión de 6inx12in), pared larga (dimensión de 6inx12in) y pared corta (dimensión de 6inx6in), las cuales puedan ensamblarse por medio de uniones mecánicas y que dependiendo de la cantidad de piezas utilizadas permitan variar el tamaño del contenedor, desde una base de 6inx12in hasta una base de 24inx36in.

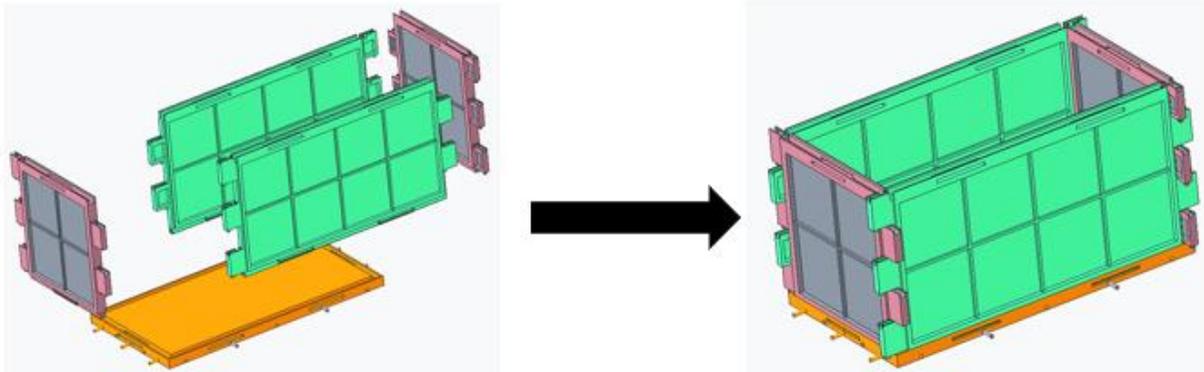


ILUSTRACIÓN 1 VISTA EXPLOSIONADA Y CONTENEDOR ARMADO

En la ilustración 1 se muestra un contenedor que cuenta con una dimensión de 6inx12in y está conformado por una pieza base (naranja), dos piezas pared larga (verde) y dos piezas pared corta (rosa).

El diseño de las piezas pared larga y pared corta permitirá realizar uniones verticales y horizontales, con lo que se pretende aumentar la dimensión del contenedor en múltiplos de 12in para la pared larga y 6in para la pared corta, mientras que la base solo permitirá ensambles laterales que se acoplarán a las longitudes de las paredes seleccionadas.

Este contenedor deberá de tener la capacidad de sostener una carga de 15Kg, de acuerdo con el estándar mabe para levantamiento de cargas realizadas por un operador, los tamaños de contenedores que un operador manipula manualmente son de 6inx12in, 12inx12in y 12inx24in.

Adicional deberá de ser apilable para poder optimizar espacio cuando no se está en uso, y que pueda resistir la vibración de los traslados por medio de plataformas con ruedas desde el almacén de materia prima hasta la línea de producción (aproximadamente 500m la línea de ensamble más lejana).

En el mercado se pueden encontrar contenedores similares al propuesto; en la ilustración 2 A se muestra un contenedor plegable el cual puede flexionar sus paredes para facilitar el transporte, en la ilustración 2 B se muestra un contenedor que puede ser apilado uno dentro de otro, reduciendo el espacio utilizado. Finalmente, en la ilustración 2 C, se muestra un contenedor que puede abatir una de sus paredes permitiendo acceder al interior de este con mayor facilidad. Una característica común entre estos contenedores es que no podrían aumentar su tamaño o reemplazar una de sus paredes en caso de dañarse y el contenedor tendría que ser desechado.

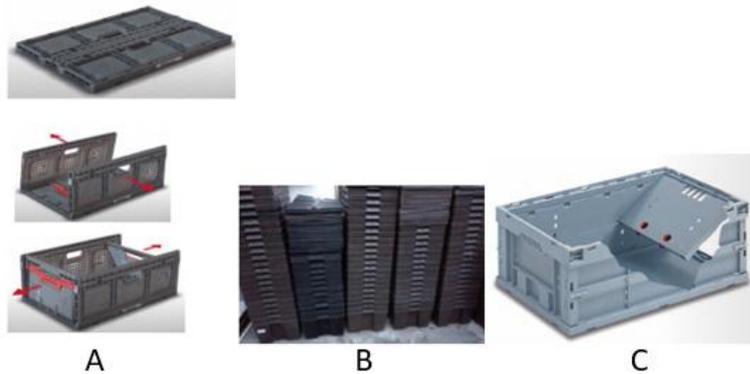


ILUSTRACIÓN 2 CONTENEDOR PLEGABLE (A) CONTENEDOR APILABLE (B) CONTENEDOR ACCESO RÁPIDO (C)

Por las razones antes expuestas, en este proyecto, se propone el diseño de un contenedor modular que permita llevar a cabo cambios dimensionales.

Para llevar a cabo la propuesta de diseño se usará la metodología seis sigma, la cual es una filosofía de trabajo y estrategia de negocios, ésta se basa en el enfoque hacia el cliente, en un manejo eficiente de los datos y metodologías y diseños robustos. Esta metodología cuenta con dos variantes una para procesos (DMAIC) y otra para nuevos productos (DMADOV), el proyecto en desarrollo estará basándose en la segunda ya que esta metodología, entre otras cosas, provee una serie de pasos lógicos y ordenados que permiten tener un objetivo y alcance bien definido, detectar de entre la información presentada por el cliente que de esto se convierte en requerimientos o especificaciones de diseño, y finalmente realizar un proceso iterativo hasta llegar al diseño con mejor desempeño de acuerdo a los requerimientos planteados.

Otra de las herramientas utilizadas en el diseño del contenedor es la matriz de Pugh que es una herramienta cuantitativa que permite comparar opciones entre sí mediante un arreglo multidimensional. En la que se identifican los criterios que serán evaluados (requerimientos del cliente o también conocidos como requerimientos de diseño) los cuales se ubican en las filas de la matriz, contra los posibles conceptos que apunten al cumplimiento de los criterios establecidos, estos conceptos se colocaran en las columnas de la matriz.

Una vez que se defina una propuesta de diseño del contenedor, se utilizará un software de simulación de elemento finito que pondrá a prueba las uniones e integridad del contenedor. El elemento finito (MEF) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy complejas utilizado en diversos problemas de ingeniería física. El MEF se usa en el diseño y mejora de productos y aplicaciones industriales, así como en la simulación de sistemas físicos y biológicos complejos.

El MEF permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo, estructura o dominio, sobre el que están definidas ciertas ecuaciones diferenciales que caracterizan el comportamiento físico del problema, típicamente se puede utilizar para obtener desplazamientos y, posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas las deformaciones y tensiones respectivamente. Esto permitirá realizar ajustes de diseño en las piezas en donde se lleguen a presentar deformaciones plásticas o concentraciones de esfuerzos, permitiendo tener un diseño capaz de soportar como mínimo 15Kg de carga al ser levantado por un operador, con uniones capaces de soportar esta carga sin presentar deformaciones ni que comprometan la integridad del contenedor. De esta manera se reduce el tiempo de diseño ya que el

proceso iterativo entre una propuesta fallida y una propuesta ganadora se realiza por medio del software de simulación en lugar de realizar prototipos en cada una de las iteraciones.

El diseño de una pieza o artículo de plástico es un proceso de gran complejidad en el que no solo se deben de conocer los requerimientos funcionales de la pieza, también se debe de conocer y estar familiarizado con las propiedades de los materiales plásticos, el proceso de transformación, así como las condiciones a que estará sometida durante su vida en servicio. Para el lanzamiento al mercado de un nuevo producto, deben de seguirse una serie de etapas, todas ellas interrelacionadas; esto incluye básicamente el diseño de la pieza, diseño del molde, mecanizado del molde e inyección de las piezas.

El diseño de estas piezas plásticas no es la excepción a lo antes mencionado por lo que para llegar a una pieza que pueda ser manufacturable se debe de tener en cuenta, entre otras cosas, la distribución del material dentro del molde, las orientaciones del flujo, los diferentes grados de contracción que pueden producirse y tenerse en cuenta antes de la construcción del molde.

Todo esto se deriva de la complejidad del diseño, ya que cada cambio producido puede afectar y condicionar a todo lo demás, esto provocaría diversas iteraciones y replanteamientos en las diferentes etapas antes de proceder a la construcción del molde, es por eso que durante el desarrollo de estas piezas plásticas se realicen análisis de flujo para inyección de plásticos del modelo final seleccionado, previo al desarrollo del molde. Esto permitirá tener una certidumbre del comportamiento de las piezas así como también del plástico durante el proceso de llenado del molde, si las geometrías propuestas tendrán las formas finales planteadas o si sufrirán alguna deformación que perjudique la intención de diseño, tiempos de llenado de las cavidades, la presión de llenado del molde, si la pieza tendrá una calidad adecuada después del proceso de enfriamiento, e incluso la contracción que va a tener la pieza una vez se enfríe, esto entre otras cosas permitirá conocer a detalle cómo se comportará la pieza durante el proceso de inyección.

1.2 Antecedentes

Actualmente en la industria manufacturera y en específico en Mabe, se utiliza una gran cantidad de contenedores para el traslado de materiales, refacciones y materia prima. El flujo del material inicia desde que el proveedor de la pieza o materia prima lo coloca en un contenedor, lo empaca con algún embalaje y posteriormente dicho contenedor será enviado por barco, avión, tren hasta llegar a su planta destino en México. Una vez que el contenedor llega a planta es enviado a la bodega donde es almacenado hasta que es requerido en el siguiente proceso.

Mabe cuenta con diferentes plantas productoras en México, la planta productora de secadoras, lavadoras y centros de lavado en Saltillo, planta de estufas en San Luis Potosí, planta de refrigeradores en Celaya, así como la planta de tarjetas electrónicas y componentes, ambas en Queretaro.

Debido a la gran variedad de piezas que se producen en Mabe, y agregando que no son para una sola línea de producto ya que mabe maneja alrededor de 1 millón de cajas de distintos tamaños. En la ilustración 3 se muestran los tamaños de contenedores más usados en mabe, en la figura se observa la referencia numérica relacionada con las dimensiones de cada contenedor, por ejemplo si el contenedor es de 22x24in la referencia correspondiente es de 2422.



ILUSTRACIÓN 3 TAMAÑOS DE CONTENEDORES MÁS USADOS EN MABE

Como se puede observar en la ilustración 4 tan solo en las cuatro plantas principales se tiene un total de 4763 números de parte de las cuales se piden aproximadamente 1,036,000 de contenedores por año, lo cual le cuesta a Mabe \$23,909,000 de dólares, agregando los costos logísticos un contenedor nos termina costando \$24usd sin tener ningún beneficio monetario de los mismos, lo que termina siendo solo un “gasto” para Mabe.

Planta	# Parte	#Cont
Quantum	1,287	285 000
Saltillo	811	180 000
Leiser	2175	482 000
Componentes	490	109 000
Total	4,763	1,036 000

ILUSTRACIÓN 4 CANTIDAD DE NÚMEROS DE PARTE Y DE CONTENEDORES POR PLANTA

En esta propuesta se busca reducir la gran cantidad de números de parte existentes, así como también estandarizar los tamaños de los contenedores en las plantas.

El almacenamiento en planta se realiza por medio de montacargas, racks y carritos de transporte para mover los materiales de un punto a otro, los contenedores deben de ser muy resistentes ya que estos movimientos se realizan sin tener cuidado. Una vez que los contenedores cumplieron su función y son desocupados son apilados en alguna parte de la planta para posteriormente ser enviados de nuevo a proveedor y que vuelvan a ser reutilizados. Este ciclo se repite hasta que el contenedor se rompe y queda inservible.

Estos contenedores son de diferentes tamaños ya que tienen que adaptarse a la gran cantidad de piezas que Mabe maneja. El contenedor más pequeño mide 12in x 7in, mientras que el más grande llega a los 32in x 24in. Por lo que los contenedores más pequeños usualmente utilizan un embalaje adicional para soportar el transporte y evitar que las piezas se dañen en el trayecto.

Los contenedores más pequeños se manipulan en racks los cuales son sujetos por carritos y son desplazados desde el almacén hasta la línea de ensamble; en donde son descargadas por un operador de manera manual hacia la mesa de trabajo.

El que las cajas sean de diferentes tamaños implica tener una variedad de proveedores diferentes, los cuales envían sus contenedores empacados de diferentes maneras y generan diferentes números de parte por cada contenedor.

1.3 Justificación

La variación en el tamaño de las cajas a través de ensambles versátiles generará a la empresa ahorros significativos ya que actualmente Mabe solo compra contenedores en un costo promedio de pieza de 24usd, generando una inversión de 23,000,000 usd según datos proporcionados por el departamento de compras, el personal de compras asegura que fabricando los contenedores por cuenta propia de mabe se tendrá un ahorro de 9usd por pieza.

Objetivo del proyecto.

Diseñar partes de contenedores por medio de inyección de plásticos que, con la ayuda de uniones mecánicas, permitan armar un contenedor que pueda aumentar o disminuir su tamaño según el requerimiento de la línea de producción y que conste del mínimo número posible de piezas.

Requerimientos del proyecto:

- Que los contenedores de 6inx12in, 12inx12in y 12inx24in soporten un peso de 15kg (normativa Mabe), la razón de que solo estos contenedores soporten este peso es debido a que son los tamaños de contenedores que más comúnmente son manejados por un operador(a). Los contenedores más grandes serán usados solo para almacenamiento estos se colocan sobre tarimas y son manipulados por montacargas.
- Que sea apilable
- Que sea robusto (uso en planta y transporte)
- Que permita la configuración de diferentes tamaños (modularidad)
- Máximo 4 piezas diferentes.

Especificaciones de contenedor:

- Peso mínimo de carga 15kg, peso máximo 30Kg en la configuración más pequeña, los contenedores se diseñarán para poder soportar una carga superior a la requerida para tener una tolerancia de seguridad, sin embargo la carga por especificación será de 15Kg.
- Cantidad máxima a apilar 6 contenedores con 15Kg cada uno, se diseña bajo el requerimiento de 15Kg, por esta razón es la carga máxima considerada.
- Cumplir con ciclo 2 secuencia B del ETP 921 GE (Vehicle vibration, warehouse stacking & drop test)
- Configuración de tamaños 6inx12in, 12inx12in, 12inx24in, 24inx36
- Material Polietileno de alta densidad

1.4 Alcance

El alcance de este proyecto consiste en el diseño de tres a cuatro piezas plásticas que se puedan utilizar para armar un contenedor que dependiendo de la cantidad de piezas permita ensamblar contenedores de diferentes tamaños, los cuales puedan ser utilizados para almacenar piezas y transportarlas a la línea de producción dentro de las plantas Mabe.

El diseño de estas piezas debe de contar con uniones robustas que les otorguen a los contenedores una rigidez adecuada para cumplir con su función principal de almacenar piezas, en segundo lugar, pero no

menos importante que las uniones permitan que el contenedor pueda cargar como máximo 15Kg este peso se determina debido a que a pesar de que la NOM-006-STPS-2014 estipula que el peso de carga máximo para hombres es de 25Kg Mabe se coloca aun por debajo de este peso.

El contenedor ensamblado deberá de tener la rigidez suficiente para soportar el transporte a través de vagones de tren o camiones de carga ya sea que se encuentre con carga o sin carga. Además de que se pueda realizar la estiba de máximo seis contenedores con un peso de 15kg (esto para simular que los contenedores estarán en un área esperando a que el operador llegue y los transporte a su lugar final en la línea de ensamble)

- Se usará el software Altair SimSolid ® 2020 para realizar los análisis de elemento finito para validar rigidez de uniones, soportar los 15kg de carga y simular la estiba de los contenedores.

Debido a que se estarán diseñando piezas plásticas es importante que las mismas cuenten con las mejores prácticas de diseño para facilitar el desarrollo de los moldes, esto ayuda en el diseño del molde final ya que dependiendo de la complejidad de la pieza a su vez el molde es más complejo y esto genera más costo se traduce a un molde más costoso.

Las prácticas de diseño no solo ayudan a reducir el costo del molde, la calidad y la integridad de la pieza final también se ve comprometida, una pieza sin ángulos de desmoldeo, puede provocar que la pieza se rompa al ser desmoldeada o incluso dañar el molde, por otro lado, el agregar radios mejora el flujo del material y la resistencia de la pieza.

- Se usará el software Autodesk Moldflow Adviser 2014 para el análisis de inyección de las piezas.

Finalmente, las piezas se están diseñado para Mabe por lo que es esencial cumplir con los estándares y prácticas de diseño estipulados por la compañía, así como también los procesos internos para la liberación de planos y piezas que serán manufacturados por Mabe.

- Desarrollo de piezas en MBD (Definición basada en modelo), las cuales deben de cumplir con los estándares Mabe de cotas, notas, secciones, etc. Además de cumplir con el proceso interno de “liberación”, el cual consiste en una revisión por el personal Mabe de información técnica especialista en este proceso.

CAPITULO 2

2.1 Metodología de diseño DMADOV

La metodología que se utiliza como referencia para el diseño del contenedor será DFSS (Design for Six Sigma), es una metodología aplicada al lanzamiento de nuevos productos mediante una serie de pasos que aseguren la calidad y su aceptación en el mercado. La seleccionada en este caso es la metodología DMADOV. La cual está conformada por los siguientes pasos:

- *Define*
- *Measure*
- *Analyze*
- *Design*
- *Optimize*
- *Validate*

La etapa *Define* consiste en identificar los requerimientos y necesidades a cubrir de mi cliente, así como generar y verificar los CTQ's (*Critical to Quality*) del proyecto. Lo más importante en esta etapa es traducir las necesidades del cliente en requerimientos detallados del producto.

Para el caso de este proyecto el cliente es la planta y operadores que utilizan día a día los contenedores, por lo que es importante estar en contacto con ellos durante el desarrollo de prototipos y tomar en cuenta sus opiniones para la optimización del diseño.

2.1.1 Medir.

Esta etapa se utiliza para identificar fuentes de error y variabilidad en mi sistema, dicha variación se traduce para tener en cuenta la variación en las dimensiones que se tiene en las piezas al realizar el proceso de inyección, para un buen desarrollo de piezas y asegurar la ensamblabilidad se tiene que manejar ciertas tolerancias en las dimensiones. Dichas tolerancias son definidas al medir al menos 30 piezas inyectadas con el material a utilizar o tener referencia de un material similar.

Mabe ya cuenta con un estándar de tolerancias para la inyección de partes plásticas.

2.1.2 Analizar.

Una vez obtenidas las medidas se obtiene la media y desviación estándar de las 30 piezas y se cargan los valores en la herramienta "tolerance loop" y se realiza un estudio de capacidad para validar que el proveedor tenga la capacidad de mantener las dimensiones y tolerancias especificadas en el plano.

Esto se realiza cuando el proveedor es nuevo y no se tiene conocimiento de su capacidad de proceso, para el caso del contenedor el proveedor seleccionado cuenta con una larga trayectoria de desarrollo de moldes para Mabe, por lo que sus procesos ya se tienen estandarizados.

2.1.3 Diseñar.

En esta etapa se procede a diseñar el contenedor de acuerdo con las especificaciones obtenidas en la etapa de define, y con la etapa de measure y analyze ya se tiene un acercamiento de las tolerancias a utilizar en el diseño de la pieza y poder asegurar el ensamble.

2.1.4 Optimizar.

La etapa de diseño y optimización son un proceso iterativo en el que se trabaja constantemente en el rediseño de las piezas para asegurar que cumplan con la intención de diseño, ensamblabilidad, rigidez del ensamble y snaps, así como mejoras que surjan de la retroalimentación de usuarios. Mabe cuenta con

impresoras 3D las cuales agilizaron el proceso de prototipado ya que se podían obtener piezas “finales” al cabo de una semana.

2.1.5 Validar.

Una vez se concluye el proceso iterativo se cuenta con piezas finales las cuales se validan con un prototipo y se procede a la liberación de ingeniería de las piezas para el desarrollo de los moldes.

2.2 Tipos de uniones.

Existen diferentes tipos de uniones, las cuales se dividen en rígidas y móviles, de las primeras se dividen en fijas y desmontables, y de las móviles se pueden observar las giratorias, deslizantes y flexibles. En la imagen inferior se desglozan los diferentes tipos de uniones.

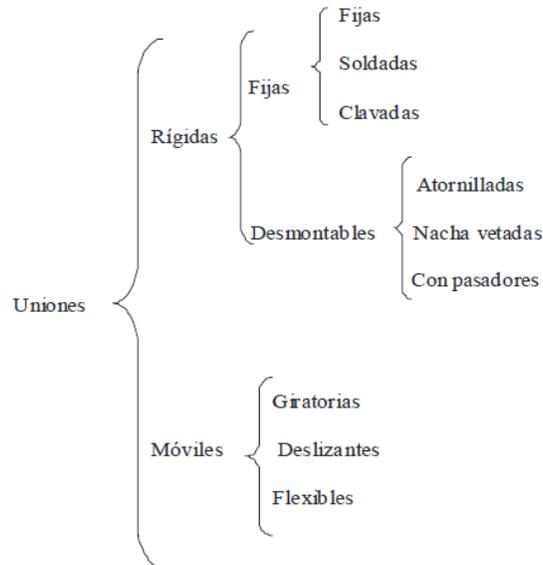


ILUSTRACIÓN 5 TIPOS DE UNIONES

2.2.1 Uniones móviles deslizantes (guía).

Su objetivo es permitir el desplazamiento en una dirección de una pieza respecto a otra fija.

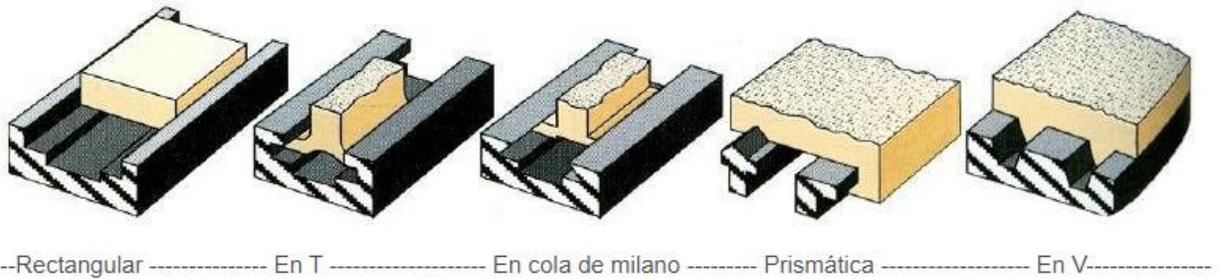


ILUSTRACIÓN 6 TIPOS DE UNIONES MÓVILES DESLIZANTES

2.2.2 Uniones Roscadas.

Consisten en un vástago de diámetro d ; provisto de una cabeza de forma hexagonal o redonda; que se introduce en los taladros de la chapa a enlazar; teniendo en el extremo saliente del vástago una zona roscada, en la cual se colocan una arandela y una tuerca que al ir roscándose consigna el apriete de las chapas unidas. Se suelen hacer con acero. El tamaño se especifica por el diámetro y la longitud. En los tornillos de cabeza plana la longitud incluye la cabeza, en todas las demás formas sólo incluye la longitud del cuerpo o vástago.

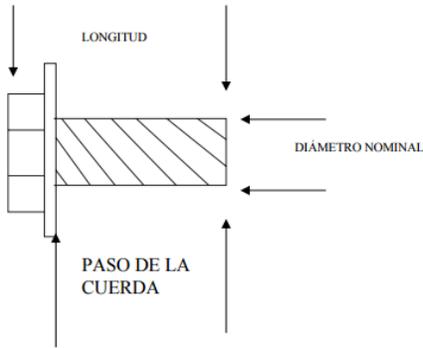


ILUSTRACIÓN 7 ELEMENTOS DE UNIÓN ROSCADA

2.2.3 Snap-fit.

Un *snap-fit* es un tipo de junta de ajuste de forma que generalmente se moldea directamente en una pieza de plástico. Aunque el término “encaje a presión” se usa para referirse a una variedad de uniones diferentes, todos los ajustes a presión consisten en algún tipo de componente que sobresale que se deforma elásticamente durante la operación de unión antes de encajar en un corte o depresión [1]. Un encaje a presión puede diseñarse para ser separable o inseparable, según la aplicación. Los ajustes a presión en voladizo consisten en un brazo en voladizo con un gancho en el extremo que se desvía durante la inserción. Otros tipos de encajes incluyen encajes a presión anulares, que consisten en el acoplamiento de superficies cóncavas y convexas, y encajes a presión de torsión, donde la deflexión ocurre como resultado de un movimiento de torsión.

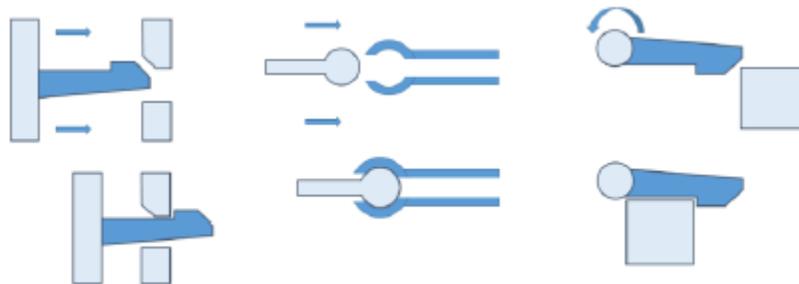


ILUSTRACIÓN 8 DISEÑOS DE SNAP-FIT

2.2.4 Chaveta.

Las uniones de chaveta son uniones desmontables, en las cuales las piezas que deben realizar un movimiento rotativo se unen entre sí, a través de elementos de unión de arrastre de forma; estos son las chavetas. Las uniones de chaveta son realizadas, con el fin de:

- Unir piezas de máquinas, que deben realizar un movimiento rotativo, con un giro de circulación exacto.
- Asegurar piezas de máquinas en su posición, con uniones por apretamiento y cónicas, de tal forma que pueden realizar un movimiento rotativo con giro de circunvalación exacto.
- Unir piezas de máquinas con ejes, de tal forma que pueden realizar un movimiento axial de desplazamiento hacia acá, y hacia allá, garantizando también un movimiento rotativo.

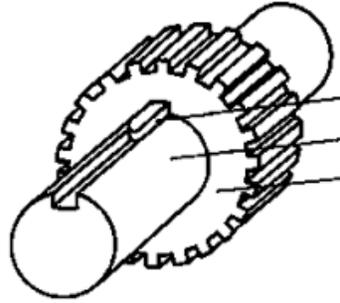


ILUSTRACIÓN 9 EJEMPLO DE CHAVETA

2.2.5 Interferencia Geométrica.

Son aquellas uniones las cuales, con ayuda de la fricción y configuraciones geométricas, solo permiten un movimiento relativo entre ellas (partes a unir), dado que el resto de los movimientos se restringen por la geometría de las partes.

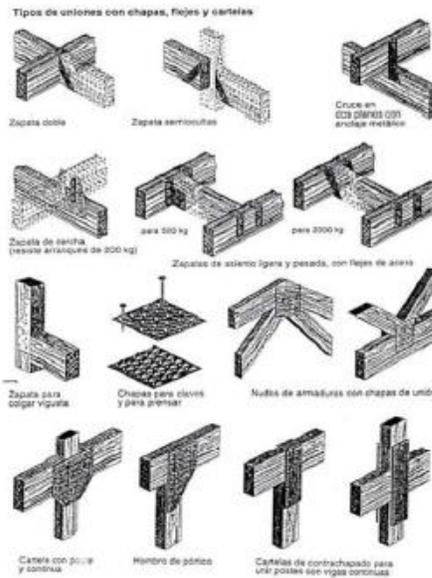


ILUSTRACIÓN 10 EJEMPLOS DE UNIONES POR INTERFERENCIA GEOMÉTRICA

Basados en los diferentes métodos de sujeción se realizó una matriz de Pugh para identificar los **tipos de sujeción** que se acoplan a los requerimientos del proyecto.

2.3 Matriz de Pugh.

A la hora de tomar decisiones es fundamental dejar de lado la subjetividad. Existen numerosas técnicas para lograr objetividad en las decisiones. Una de ellas es la denominada Matriz de Pugh, en honor a su creador: el británico Stuart Pugh. Pugh fue un reconocido ingeniero de diseño, responsable de acuñar el concepto de diseño total.

La Matriz de Pugh es una herramienta cuantitativa que permite comparar opciones entre sí mediante un arreglo multidimensional (una matriz de decisiones). Su aplicación más habitual es durante la fase de diseño de un producto, ya sea completamente nuevo o una actualización de uno existente. El primer paso es identificar los criterios que serán evaluados. Los criterios son básicamente las necesidades del cliente. Estos son ubicados generalmente como filas de la matriz. Luego se deben especificar los posibles conceptos de diseño que apunten al cumplimiento de los criterios definidos. Los mismos aparecerán en las columnas de la matriz.

En general, se utiliza la Matriz de Pugh cuando se desea realizar una mejora a un producto existente. El diseño actual del producto se toma como referencia, el cual aparece como una columna sobre la que se realizarán las comparaciones posteriores. Mediante el uso de técnicas grupales como el de lluvia de ideas se irá evaluando cada criterio para cada alternativa de diseño (concepto) comparándolo con el diseño de referencia, la situación actual.

La mecánica es la siguiente: se toma la primera alternativa de diseño y se analiza criterio por criterio si su cumplimiento es superior al diseño actual, es inferior o es igual. Si es superior se coloca un signo «+», si es inferior un signo «-» y si es igual un «0». Para mayor comodidad, se suelen utilizar los números +1, -1 y 0 respectivamente ya que permiten operar en planillas de cálculo. El concepto de diseño que obtenga un resultado mayor, producto del balance entre aspectos positivos y negativos, será la “mejor solución”.

		CONCEPTOS (Alternativas de diseño)						
		Referencia	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4	Diseño 5	Diseño 6
CRITERIOS	Crterio 1	REF						
	Crterio 2	REF						
	Crterio 3	REF						
	Crterio 4	REF						
	Crterio 5	REF						

ILUSTRACIÓN 11 EJEMPLO DE MATRIZ DE PUGH

2.4 Simulación de elemento finito.

El diseño asistido por computadora (CAD) y la ingeniería asistida por computadora (CAE) son partes intrínsecas de la ingeniería moderna. Las herramientas de simulación CAE son extremadamente importantes porque permiten la validación del rendimiento y la optimización del diseño de un producto antes de que el producto se cree físicamente. Hoy en día, esto se suele hacer utilizando un software basado en el análisis de elementos finitos (FEA).

El eslabón débil del FEA tradicional es la necesidad de crear una malla de elementos finitos precisa y eficiente. El proceso de mallado normalmente fallaría si se realiza en la geometría original, o si produce una cantidad excesiva de elementos, lo que a menudo haría que FEA no fuera práctico. En el caso de los ensamblajes, las mallas incompatibles en las piezas adyacentes dificultan enormemente la manipulación de las conexiones de las piezas. En la práctica, la simplificación del modelo geométrico es imprescindible para un FEA exitoso. Pero la simplificación es un paso no trivial que requiere un especialista altamente calificado en tecnologías FEA y CAD.

Es por estas razones que se utiliza el programa de SimSolid® el cual es una herramienta computacional basada en una extensión de la teoría de aproximaciones externas, esta teoría es una generalización del método de elemento finito en términos de:

- formas geométricas absolutamente arbitrarias se pueden utilizar como "elementos finitos"
- Las funciones básicas que aproximan el campo de interés en el "elemento" pueden ser de clase arbitraria y son independientes de la forma del "elemento", alternativamente a los polinomios estrictamente estructurados utilizados en FEA convencional.

Más detalles del funcionamiento matemático del software pueden ser encontrados en la siguiente referencia (SIMSOLID Corporation ®, 2015), los cuales no se abordarán en este trabajo debido a que se encuentra fuera del alcance de este.

El funcionamiento del software, esta desglosado en los siguientes pasos:

Paso 1. Procesamiento de la geometría, se importa una parte desde cualquier programa de CAD en el formato estándar de STL. Donde posteriormente SimSolid ® creará caras y volúmenes e identificará geometrías especiales las cuales las identificará como tornillos, tuercas o rondanas que pueden ser precargadas.

Paso 2. Crear conexiones de partes. Las interfaces de contacto entre las partes del ensamble son detectadas automáticamente. Inicialmente se admite el contacto deslizante y unido.

Paso 3. Especificación de parámetros de análisis. Se selecciona un tipo de análisis (estático, modal, térmico) y se aplican condiciones/materiales de contorno al modelo. En este punto, el modelo está listo para ser analizado. El usuario no requiere pasos de creación de malla.

Paso 4. Se realiza la solución adaptativa. SIMSOLID ® emplea una tecnología adaptativa patentada para refinar automáticamente la solución en las áreas donde es necesario lograr la mayor precisión. El número máximo de iteraciones adaptativas se establece de forma global o local (parcial). La adaptabilidad siempre está activa en los métodos de resolución.

Paso 5. La malla de respuesta se construye sobre la geometría. La malla de respuesta se usa solo para mostrar gráficos de resultados y se puede refinar "sobre la marcha".

Paso 6. Evaluar cantidades de interés. Las cantidades de interés se evalúan en los nodos de la malla de respuesta y se muestran. La evaluación se realiza "sobre la marcha" cuando se inicia una ventana de posprocesador. Los valores nodales no se guardan, sino que se almacenan las aproximaciones analíticas del campo de interés, lo que proporciona un ahorro significativo en memoria y espacio en disco, en particular para análisis de respuesta dinámica y no lineal. También permite realizar análisis acoplados efectivos cuando los resultados de un análisis se usan directamente en forma analítica en otros análisis.

Paso 7. El reanálisis es rápido. SIMSOLID® recuerda la malla de respuesta de salida. Se pueden realizar rápidamente tipos de análisis de carga o casos de carga adicionales. Una característica exclusiva de SIMSOLID® es la capacidad de aumentar progresivamente los detalles de la solución por partes o regiones. Simplemente seleccione la pieza, haga clic con el botón derecho y seleccione la configuración de la solución de la pieza, luego haga clic en el botón "Regenerar proyecto".

Finalmente se tiene una ventana con resultados de la cual se evaluará la deflexión mecánica presentada en la pieza así como el esfuerzo de Von Mises, también llamado criterio de la máxima energía de distorsión, es un criterio de resistencia estática, aplicado a materiales dúctiles, según el cual, el material no fluirá en el punto analizado siempre que la energía de distorsión por unidad de volumen en el punto no supere la energía de distorsión por unidad de volumen que se da en el momento de la fluencia en el ensayo de tracción.

Este esfuerzo es comparado contra el esfuerzo de cedencia del material, el cual puede ser encontrado en la tabla de datos de este. Cuando el esfuerzo de Von Mises sobrepasa el de cedencia nos indica que nuestro material ha sufrido una deformación plástica irreversible y se tendría que realizar alguna corrección mecánica para reforzar la pieza en caso de ser necesario.

2.5 Análisis de flujo para manufactura de inyección.

El moldeo por inyección de plástico es uno de los procesos de manufactura más utilizados en la industria; la producción en masa de piezas mediante este proceso es de suma importancia en diversos sectores industriales tales como el automotriz, el aeronáutico, el electrónico, el eléctrico, etc. La ventaja de utilizar polímeros en la producción de piezas reside en que son materiales resistentes, ligeros, económicos y versátiles.

El proceso de inyección de plásticos consta de cuatro etapas: la sujeción, la inyección, el enfriamiento y la eyección. Durante la etapa de sujeción, el molde que contiene la cavidad con la forma deseada se cierra esperando a que ingrese el plástico fundido, las placas del molde deben cerrarse con la fuerza suficiente para soportar la presión interna que se presentará durante la inyección. En la etapa de inyección, el polímero en forma de gránulos o “pellets”, alimentado por la tolva, pasa al cilindro de la inyectora donde por acción del giro del husillo se generan esfuerzos cortantes debidos a la fricción al ser forzado a fluir, mientras calentadores eléctricos generan calor hasta que el polímero se funde, se homogeneiza y se transporta hasta el otro extremo de la unidad de inyección. El constante transporte de material crea una presión en el polímero al final del husillo, que es compensada con el retroceso de este, en la dirección de la posición previa a la inyección. Una vez que se tiene suficiente material fundido, este es inyectado en la cavidad del molde. Cuando el molde está lleno de polímero fundido es cuando entra en acción la fase de solidificación; en esta fase el sistema de enfriamiento baja la temperatura del material que se encuentra dentro del molde hasta llevarlo al estado sólido. Cuando la pieza se solidifica, es posible eyectarla.

Dentro del molde, la presión varía con el tiempo de acuerdo con la fase en la que se encuentre el proceso. En la gráfica de la ilustración 12 se observa que durante la fase de llenado aumenta la presión, es necesario incrementarla en forma constante inyectando más plástico buscando una buena compactación para evitar piezas incompletas, burbujas o huecos, posteriormente, se busca mantener esta presión para evitar que el material regrese al cilindro de inyección. Durante el enfriamiento y solidificación, el material empieza a contraerse reduciendo la presión de forma gradual; finalmente, la pieza es eyectada dando paso al fenómeno denominado contracción. Generalmente se consideran cinco fases para la variación de presión en la cavidad del molde: llenado, compactación, contención, solidificación y contracción.

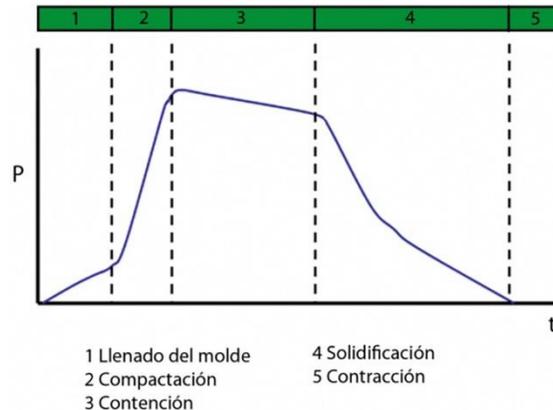


ILUSTRACIÓN 12 VARIACIÓN DE LA PRESIÓN DENTRO DE LA CAVIDAD DEL MOLDE

La simulación de un proceso de inyección de plásticos puede ser aplicada en la etapa inicial del desarrollo de un producto nuevo en donde la viabilidad del proceso no es del todo clara. La simulación trae consigo resultados que permiten una retroalimentación y ayudan en la toma de decisiones para el proceso.

Los resultados que se pueden obtener del proceso de simulación de inyección y que se abordaran durante el desarrollo del proyecto son los siguientes:

2.5.1 Marcas de hendiduras. (*Autodesk Moldflow Sink Marks, s. f.*)

Este resultado indica la presencia y ubicación de hundimientos (y huecos) probablemente causados por características en la cara opuesta de la superficie. Las marcas de hundimiento generalmente ocurren en molduras con secciones más gruesas o en ubicaciones opuestas a las nervaduras, protuberancias o filetes internos. El resultado no indica hundimientos causados por regiones localmente gruesas. Dado que las marcas de hundimiento son un defecto visual más que estructural, el resultado debe evaluarse con respecto a las especificaciones de diseño visual de la pieza. Los colores más claros y las superficies texturizadas tienden a hacer que las marcas de hundimiento sean menos visibles.

El índice de resultado indica un grado de severidad de profundidad afectado por el material, la geometría de la pieza, la posición relativa a la ubicación de la inyección y las condiciones de llenado del molde. Cambiar cualquiera de estos le permitiría determinar su contribución a la gravedad de las marcas de hundimiento.

Generalmente, si el grosor de la nervadura es menor o igual al 60% de la sección de la pared principal, es probable que no haya marcas de hundimiento significativas.

Si no es posible eliminar o reducir una marca de hundimiento, puede ocultarla. Esto se puede hacer agregando una característica de diseño, como una serie de dientes en el área donde ocurre.

Para reducir la aparición de marcas de hundimiento, pruebe una de estas opciones:

1. Modificar el diseño de la pieza para evitar secciones gruesas y reduzca el grosor de cualquier característica que se cruce con la superficie principal.
2. Reubicar la puerta hacia o cerca de las áreas problemáticas. Esto permite empaquetar estas secciones antes de que las secciones más delgadas entre la entrada y las áreas problemáticas se congelen.
3. Aumentar el tamaño de las puertas y corredores para retrasar el tiempo de congelación de la puerta. Esto permitirá que se empaquete más material en la cavidad.
4. A veces, la disminución de la temperatura de fusión y del molde puede ser suficiente. Alternativamente, se puede usar una masa fundida menos viscosa.

2.5.2 Aire atrapado. (*Autodesk Moldflow Air Traps, s. f.*)

Se produce una trampa de aire cuando el fundido atrapa y comprime una burbuja de aire o gas entre dos o más frentes de flujo convergentes, o entre el frente de flujo y la pared de la cavidad. Normalmente, el resultado es un pequeño orificio o una imperfección en la superficie de la pieza. En casos extremos, la compresión aumenta la temperatura a un nivel que hace que el plástico se degrade o se queme.

Las trampas de aire a menudo se deben a frentes de flujo convergentes causados por efectos de carrera o vacilación, o por patrones de relleno no uniformes o no lineales. Incluso cuando la pieza tiene vías de flujo equilibradas, una ventilación inadecuada puede provocar que se produzcan trampas de aire en los extremos de las vías de flujo.

El resultado de Trampas de aire muestra qué tan severas serán las trampas de aire y dónde es probable que ocurran en la pieza. Las trampas de aire pueden ser aceptables si ocurren en una superficie que no tiene que ser visualmente perfecta.

El gráfico de trampas de aire se utiliza para determinar la probabilidad de que ocurra una trampa de aire en un lugar en particular. Un valor más alto indica una probabilidad más alta de que ocurra una trampa de aire, y un valor más bajo indica una probabilidad más baja de que ocurra una trampa de aire.

El resultado de las trampas de aire puede revelar los siguientes problemas en su parte:

- Marcas de quemaduras causadas por el aire en una trampa de aire, que se enciende bajo presión y quema el plástico.
- Golpes cortos provocados por el llenado incompleto de la pieza; si una trampa de aire no se ventila y no se comprime lo suficientemente rápido como para causar una marca de quemadura, puede causar un tiro corto o dejar burbujas de aire o gas en la pieza de plástico.
- Otras imperfecciones superficiales causadas por trampas de aire.

Se pueden utilizar los siguientes métodos para evitar las trampas de aire:

1. Usar guías de flujo o deflectores.
2. Aumentar la velocidad de inyección para eliminar las trampas de aire causadas por los frentes de flujo convergentes y la vacilación.
3. Disminuir la velocidad de inyección para reducir las bolsas de aire causadas por una mala ventilación y para evitar marcas de quemaduras.
4. Disminuir la relación de espesor de la pared de la pieza para reducir el racetracking.
5. Mover las ubicaciones de inyección para que se formen trampas de aire en áreas que sean fáciles de ventilar, como el plano de separación.

2.5.3 Deformación. (*Autodesk Moldflow Warpage Tolerance, s. f.*)

La deformación total de la pieza se debe a varios factores, incluida la contracción diferencial, causada por la variación en la contracción de una región a otra, y los efectos de orientación, causados por variaciones en la magnitud de la contracción paralela y perpendicular a la dirección de orientación del material.

Al ver el resultado de la tolerancia de deformación, observe lo siguiente:

- La tolerancia predeterminada coincide con su tolerancia de diseño.
- La ubicación de la desviación. La deformación en algunas áreas puede ser menos preocupante que en otras.

El resultado de tolerancia de deformación resalta aquellas áreas de la pieza donde las desviaciones fuera del plano superan la tolerancia de deformación especificada. La tolerancia predeterminada se establece en el 86 % de la deformación máxima. Utilice el control deslizante de leyenda para cambiar la tolerancia de deformación para que coincida con sus requisitos de diseño.

Las siguientes opciones se pueden utilizar para reducir la deformación:

- Cambiar la temperatura de fusión
- Cambiar la temperatura del molde
- Cambiar el tiempo de inyección
- Seleccionar un material de la base de datos con una contracción nominal promedio más baja. Los materiales que tienen clasificación de oro para la deformación tienen datos de propiedades de materiales más completos.
- Mover las ubicaciones de inyección para crear un patrón de relleno equilibrado
- Editar el modelo de simulación para hacer que los espesores de las paredes sean más uniformes
- Editar el modelo de simulación para aumentar el grosor de la pared.

2.5.4 Predicción de calidad. (*AutoDesk MoldFlow Quality prediction, s. f.*)

El resultado de la predicción de calidad se utiliza para estimar la calidad de las propiedades mecánicas y el aspecto de la pieza. Este resultado se deriva de la presión, la temperatura y otros resultados.

Los colores que se muestran en el resultado de la predicción de calidad indican lo siguiente:

1. Tendrá alta calidad.
2. Puede tener problemas de calidad.
3. Definitivamente tendrá problemas de calidad.

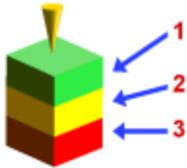


ILUSTRACIÓN 13 CÓDIGO DE COLOR DE LA PREDICCIÓN DE CALIDAD

En caso de que la pieza se presente con media calidad o baja se deberá de consultar el asesor de resultado para corroborar cuál de las siguientes opciones son las que están provocando el problema:

- Necesita alta presión para llenar (Predicción de calidad media)
- La temperatura en el frente de flujo es demasiado baja
- La temperatura en el frente de flujo es demasiado alta
- El tiempo de enfriamiento es demasiado alto
- La tasa de corte es demasiado alta
- El esfuerzo cortante es demasiado alto
- La caída de presión excedió el límite máximo de presión de inyección (baja calidad)
- La temperatura cayó por debajo del límite mínimo (predicción de baja calidad)

2.5.5 Líneas de soldadura. (*Autodesk Moldflow Weld Lines, s. f.*)

El resultado de las líneas de soldadura muestra el ángulo de convergencia cuando se encuentran dos frentes de flujo. La presencia de líneas de soldadura puede indicar una debilidad estructural y/o una imperfección en la superficie.

El término "línea de soldadura" se usa a menudo para referirse tanto a las líneas de soldadura como a las de fusión. La única diferencia entre ellos es el ángulo en el que se forman; las líneas de soldadura se forman en ángulos más bajos que las líneas de fusión. Las líneas de soldadura pueden causar problemas estructurales y hacer que la pieza sea visualmente inaceptable, pero son inevitables cuando el frente de flujo se divide y se une alrededor de un orificio, o si la pieza tiene varias compuertas.

Considerar las condiciones de procesamiento y la posición de las líneas de soldadura para determinar si las líneas de soldadura serán de alta calidad. Deben evitarse las líneas de soldadura y fusión, particularmente las líneas de soldadura en áreas que requieren resistencia o una apariencia uniforme.

Para mejorar la calidad de las líneas de soldadura:

- Aumentar la temperatura de fusión, la velocidad de inyección o la presión de empaque. Esto permitirá que los frentes de flujo se suelden entre sí de manera más efectiva.
- Aumentar los diámetros de las compuertas y corredores para que sea más fácil empaquetar la pieza.

- Mover las ubicaciones de inyección para que las líneas de soldadura se formen más cerca de las compuertas. Luego, la línea de soldadura se crea con una temperatura frontal de flujo más alta y se empaqueta con más presión.
- Mover las ubicaciones de inyección para hacer que los frentes de flujo se encuentren de manera más oblicua, convirtiendo la línea de soldadura en una línea de fusión.
- Colocar un respiradero en el área de la línea de soldadura. Esto eliminará las trampas de aire, que podrían debilitar aún más la línea de soldadura.
- Optimizar el diseño del sistema de guías.
- Reducir las dimensiones de los corredores y mantenga el mismo caudal. Luego se puede utilizar el calentamiento por cizallamiento para aumentar la temperatura de fusión en el frente de flujo.

El resultado líneas de soldadura le ayuda a identificar los siguientes problemas:

- Problemas estructurales: es más probable que la pieza se rompa o se deforme en una línea de soldadura, especialmente si la línea de soldadura es de baja calidad. Esta debilidad es un problema más serio en áreas de la pieza que están sujetas a tensión.
- Defectos visuales: una línea de soldadura puede provocar una línea, una muesca o un cambio de color en la superficie de la pieza. Si la línea de soldadura se coloca en una superficie de pieza no crítica, como la parte inferior, esto puede no ser un problema.

2.5.6 Deflexión (todos los efectos) pantalla de resultados. (*Autodesk Moldflow Deflection (all effects), s. f.*)

Esta pantalla de resultados combina enfriamiento diferencial, encogimiento diferencial y efectos de orientación para mostrar la deformación final de la pieza.

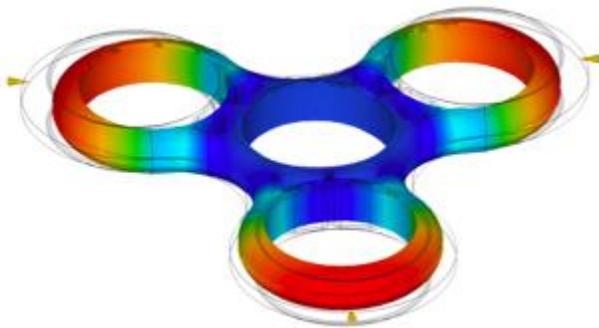


ILUSTRACIÓN 14 PANTALLA QUE MUESTRA EJEMPLO DE DEFLEXIÓN

Warpaje se define como un cambio en la forma en comparación con el diseño del modelo. Todas las piezas moldeadas de plástico se deforman, por lo que el objetivo es reducir la deformación para cumplir con la tolerancia de deformación del diseño. Cuando se ejecutan varios análisis de deformación, la forma de la deformación puede cambiar cuando cambian las entradas, como la geometría, el material, la ubicación de la inyección y las condiciones de procesamiento.

El resultado Deflexión (todos los efectos) muestra la deformación total prevista de la pieza, medida en comparación con un plano de ajuste óptimo. Para interpretar correctamente los resultados de la deflexión, debe considerar:

- Cómo se va a utilizar la pieza.
- Cómo se ensambla la pieza con otros componentes.

Algunas piezas pueden tener una superficie de montaje o una superficie de sellado que debe ser plana dentro de cierta tolerancia. Otras partes tienen muchas características de ensamblaje, como ajustes a presión o protuberancias de tornillos que deben encajar en otras partes. Muchas piezas tienen múltiples dimensiones o tolerancias geométricas que se deben cumplir.

Se pueden utilizar las siguientes opciones para reducir la deflexión:

- Mover las ubicaciones de inyección para crear un patrón de relleno equilibrado
- Editar el modelo de simulación para hacer que los espesores de las paredes sean más uniformes
- Seleccione un material de la base de datos con una contracción nominal promedio más baja. Los materiales que tienen clasificación de oro para la deformación tienen datos de propiedades de materiales más completos.
- Cambiar la temperatura de fusión
- Cambiar el tiempo de inyección
- Editar el modelo de simulación para aumentar el grosor de la pared.

2.5.7 Llenado de cavidad (*Autodesk Moldflow Fill animation result, s. f.*)

La animación de llenado de cavidad muestra la posición del frente de flujo en intervalos regulares mientras la cavidad se llena, en la ilustración 15 se ejemplifica el llenado de la cavidad.

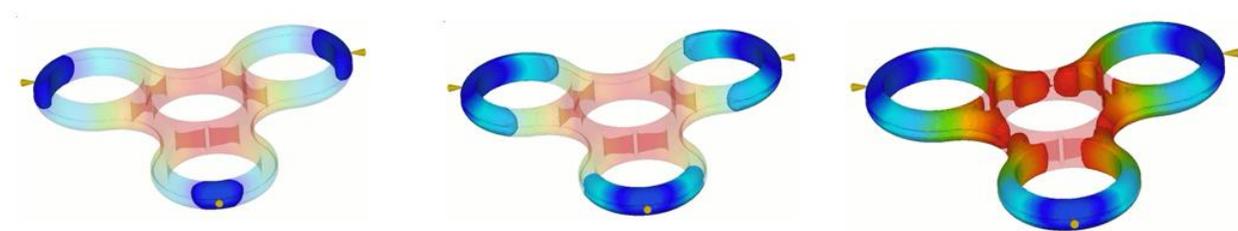


ILUSTRACIÓN 15 EJEMPLO DE LLENADO DE CAVIDAD

2.5.7.1 Patrón de flujo

Idealmente, las ubicaciones de inyección deben colocarse de modo que todas las rutas de flujo dentro de un molde se llenen al mismo tiempo. Además, cuando sea posible, el patrón de llenado en la cavidad debe ser unidireccional, es decir, no debe cambiar de dirección durante la fase de llenado.

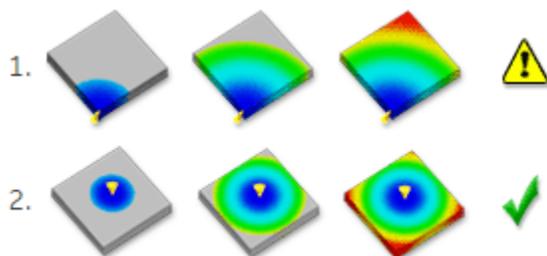


ILUSTRACIÓN 16 EJEMPLO DE LLENADO QUE NO SE REALIZA AL MISMO TIEMPO (1) USO ADECUADO DE PUNTO DE INYECCIÓN (2)

Las ilustraciones anteriores muestran los colores de contorno que representan el flujo de plástico en la pieza. Las regiones que se rellenan al mismo tiempo que otras regiones están representadas por el mismo color. En la ilustración 1, las extremidades de la cavidad no se llenan todas al mismo tiempo. Ilustración 2, muestra cómo se puede mover la ubicación de la inyección para solucionar esto.

El resultado de la animación de llenado es ideal para verificar una variedad de patrones de relleno que pueden predecir qué tan bien se llenará una cavidad.

- Tiro corto: en el resultado de la animación de relleno, aparece un plano corto como translúcido. Verifique los extremos de las rutas de flujo en busca de áreas translúcidas.
- Vacilación: si el resultado de una animación de relleno muestra una sección en la que los contornos están muy juntos, es posible que se haya producido una vacilación. La vacilación puede causar un tiro corto si una sección delgada se congela antes de que la parte esté completamente llena.
- Sobre compactación: si el resultado de una animación de relleno muestra que una ruta de flujo finaliza antes que otras, puede indicar sobre compactación. El sobre embalaje puede provocar un alto peso de la pieza, deformaciones y una distribución no uniforme de la densidad en toda la pieza.
- Líneas de soldadura: compare la animación de relleno y los resultados de las líneas de soldadura para confirmar su presencia. Las líneas de soldadura pueden causar defectos estructurales y visuales.
- Trampas de aire: compare la animación de relleno y los resultados de las trampas de aire para confirmar su presencia. Las trampas de aire pueden causar defectos estructurales y visuales.

El resultado de la animación de relleno utiliza el azul oscuro para representar las primeras áreas que se van a rellenar y termina con el rojo para representar las últimas áreas que se van a rellenar. Si la pieza es una toma corta, la sección que no se llenó no tiene color. En una pieza con un buen resultado de tiempo de llenado, el patrón de flujo está equilibrado, lo que significa lo siguiente:

- Todas las rutas de flujo terminan al mismo tiempo y llegan a los bordes del modelo simultáneamente. En el diagrama anterior, cada ruta de flujo debe terminar con contornos rojos.
- Los contornos están espaciados uniformemente e indican la velocidad a la que fluye el polímero. Los contornos ampliamente espaciados indican un flujo rápido; Los contornos estrechos indican que la pieza se está llenando lentamente.

Se pueden utilizar los siguientes métodos para mejorar el patrón de relleno:

- Agregar líderes de flujo o deflectores a su modelo de simulación para corregir las dudas.
- Mover la ubicación de inyección para que todas las rutas de flujo se llenen al mismo tiempo.
- Agrega ubicaciones de inyección para equilibrar las rutas de flujo.
- Disminuir el tiempo de inyección para aumentar la temperatura de fusión y resolver tomas cortas y áreas difíciles de llenar.

CAPITULO 3

3.1 Selección de método de sujeción

Como se mencionó en el capítulo anterior la herramienta utilizada para determinar el mejor método de sujeción fue la matriz de Pugh, la matriz llenó las filas con los requerimientos acordados de en el capítulo 1 los cuales son:

1. Fácil de ensamblar
2. Uniones rígidas
3. Uso de herramienta para ensamblar
4. Que las uniones puedan soportar 15kg
5. Costo
6. Tiempo de ensamble
7. Manufactura de las piezas
8. Tapa integrada al contenedor

Mientras que las columnas se llenaron con las alternativas de métodos de sujeción que se estudiaron en el capítulo 2:

1. Chaveta
2. Cuña móvil
3. Interferencia
4. Plug
5. Guías
6. Snaps
7. Tornillo tipo mariposa
8. Tornillo contra rosca
9. Pasador

Finalmente, la matriz fue evaluada de acuerdo con los criterios mencionados anteriormente, en conjunto de un grupo de diseñadores de mabe a los que se les explico la problemática y el objetivo del proyecto; esto para que nos apoyaran con su conocimiento en el diseño de piezas con sujeciones mecánicas.

Pugh Matrix Rating: ++ Much Better; + Better; S Same; - Worse; -- Much worse

Key Criteria		Alternatives									
		Importance Rating	Chaveta	Cuña móvil	Lego	Plug	Guías	Snaps	Tornillo tipo mariposa	Tornillo contra rosca	Pasador
Generales	Fácil de ensamblar	10	S	-	++	++	+	++	-	-	-
	Uniones rígidas	10	S	S	+	S	+	++	++	+	+
	Uso de herramienta para ensamblar	8	-	S	++	+	S	+	--	--	-
	Las uniones deberán soportar 15 kg	10	S	S	S	S	S	S	+	+	+
	Costo	8	-	-	--	S	--	+	--	--	--
	Tiempo de ensamble	8	--	-	+	+	+	+	-	-	-
	Manufactura de las piezas	10	S	S	-	S	-	S	S	S	S
	Tapa integrada al contenedor	10	S	--	--	--	-	S	S	S	+
	Sum of Positives 2		0	0	2	1	0	1	1	1	0
	Sum of Positives 1		0	0	2	2	3	4	1	1	3
Sum of Negatives 2		1	1	2	1	1	0	2	2	1	
Sum of Negatives 1		2	3	1	0	2	0	2	2	3	
Sum of Sames		5	4	1	4	2	3	2	2	1	
Weighted Sum of Positives		0	0	54	36	28	54	30	30	30	
Weighted Sum of Negatives		32	46	46	20	36	0	50	60	42	
			-32	-46	8	16	-8	54	-20	-20	-12

GRC V2 11/2016

ILUSTRACIÓN 17 EJEMPLO DE MATRIZ DE PUGH

Al término de la evaluación con el resto del equipo, los métodos de sujeción más adecuados son el INTERFERENCIA, PLUG, SNAP y GUIA.

Al tener estas cuatro opciones como mejores métodos de sujeción para la problemática presentada, se decidió realizar diferentes propuestas que combinaran algunos de estos métodos.

3.1.1 Propuesta de sujeción guía – snap.

En esta propuesta que se puede observar en la ilustración 18, se explora la opción de combinar una guía y que al final se agregue un snap. La idea consiste en 3 piezas diferentes: base, pared lateral largo y pared lateral corto. Para esta configuración se requirieron 2 piezas “lateral largo” que se pueden ver en color verde, 4 piezas “lateral corto” en color café y 3 piezas “base” que se ven en color blanco, la configuración más sencilla solo requeriría 2 piezas “lateral largo”, 2 piezas “lateral corto” y 1 pieza “base”.

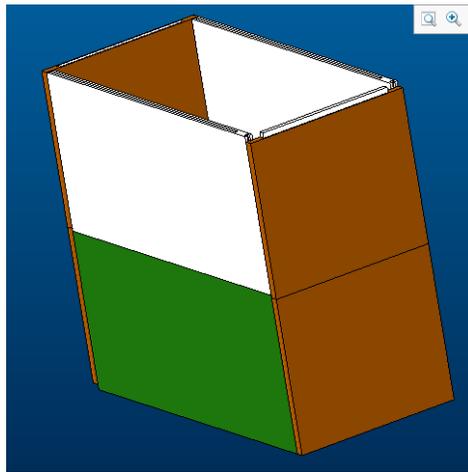


ILUSTRACIÓN 18 PROPUESTA DE CONTENEDOR GUÍA - SNAP

La primera pieza (base) será la que sirva para montar los laterales largo y corto, esta pieza constará de dos guías y dos perfiles, posicionados de manera opuesta sobre el canto de la base como se muestra en la figura siguiente:

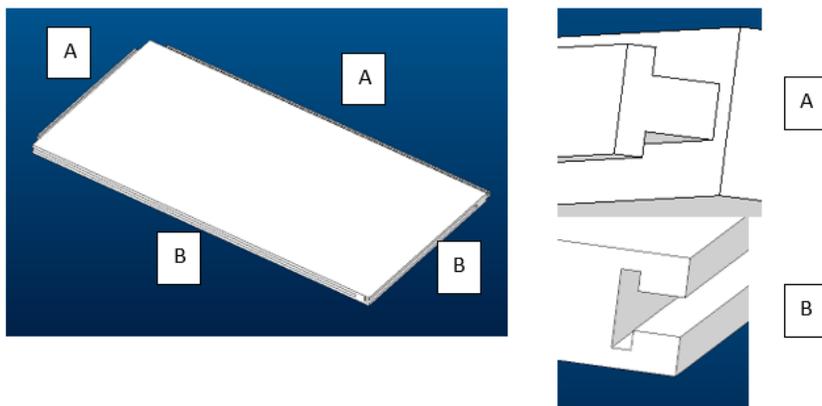


ILUSTRACIÓN 19 PROPUESTA DE SUJECIÓN GUÍA - SNAP

En la ilustración 11 se representa el perfil “macho” marcado con letra “A” que se coloca en el costado de la base y de manera correspondiente se tiene la guía “hembra” marcada con la letra “B”. Esta configuración

permitirá la unión de más cantidades de piezas “base” permitiendo el aumento de tamaño de la base a lo ancho. Por ejemplo, al unir dos piezas base utilizando esa guía su tamaño aumentaría de 6in a 12in.

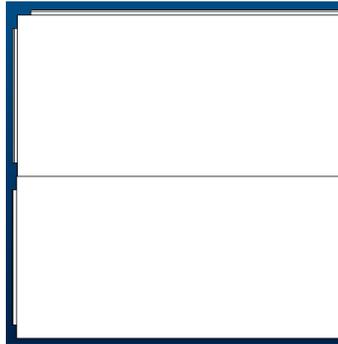


ILUSTRACIÓN 20 EJEMPLO 1 DE UNIÓN DE DOS BASES TAMAÑO 12INX12IN

De igual manera se pueden unir base con base usando el lado más corto, ya que disponen del mismo perfil macho y guía hembra; esto nos permite aumentar el tamaño de 12in a 24in, estas uniones permiten tener una base modular que puede ser configurable a diferentes tamaños.

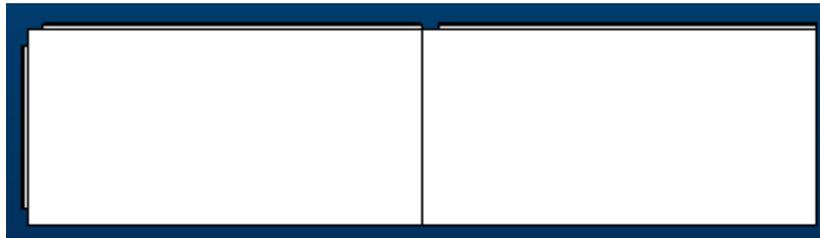


ILUSTRACIÓN 21 EJEMPLO 2 DE UNIÓN DOS BASES TAMAÑO 6INX 24IN

Esta pieza tiene la flexibilidad de que puede ser usada como base y a su vez como cara lateral para completar el ensamble de una cara en caso de que se requiera una caja más alta.

La segunda pieza llamada lateral larga (ilustrada en color verde) cuenta con perfiles hembra en la parte superior e inferior, lo que le permitiría de igual manera unirse con la pieza “base” como se muestra en la siguiente figura.

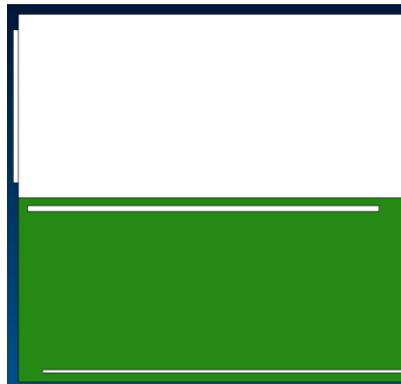


ILUSTRACIÓN 22 UNIÓN DE BASE CON PIEZA “LATERAL” (VERDE)

Esa misma pieza va a contar con perfil macho y una guía hembra posicionados en la cara frontal que le permitirán ensamblarse a la pieza base de manera perpendicular y podrá generar una cara del contenedor.

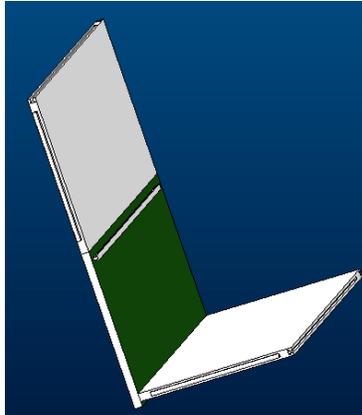


ILUSTRACIÓN 23 EJEMPLO DE UNIÓN DE PIEZAS A 90°

Básicamente la pieza verde nos permitirá hacer las uniones de 90°, mientras que la pieza “base” nos permitirá aumentar las dimensiones de la caja.

El diseño de la pieza más corta fue más complejo, ya que debe de contar con las uniones de las piezas tanto de manera horizontal (a la base) como de manera vertical (para dar más altura a la caja). Para este diseño se consideran guía macho y hembra en la vista frontal (a) el cual permite la unión de 90° con la base como se muestra en la imagen (b):

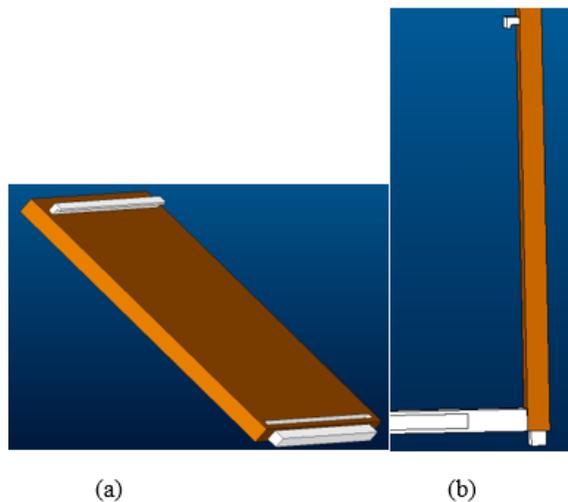


ILUSTRACIÓN 24 DISEÑO DE PIEZA CORTA

Y para las uniones verticales un snap macho en la parte inferior y su contraparte hembra en la parte superior. Permitiendo realizar un ensamble de la siguiente manera:

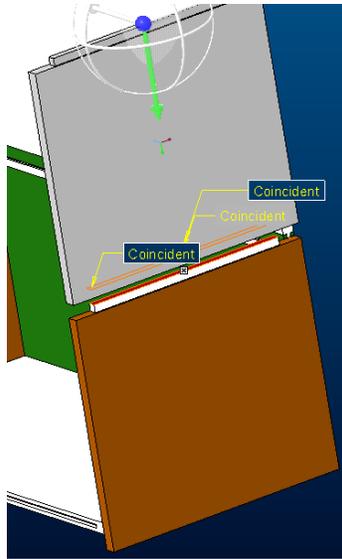


ILUSTRACIÓN 25 EJEMPLO DE AUMENTO DE TAMAÑO EN PIEZA CORTA

3.1.2 Propuesta de sujeción Interferencia, guía, perno.

Esta pieza consta de una base plana con perfiles cilíndricos que la unirán con las caras del contenedor, estos perfiles solo sujetan las bases con su contraparte hembra como se muestra en la siguiente imagen:

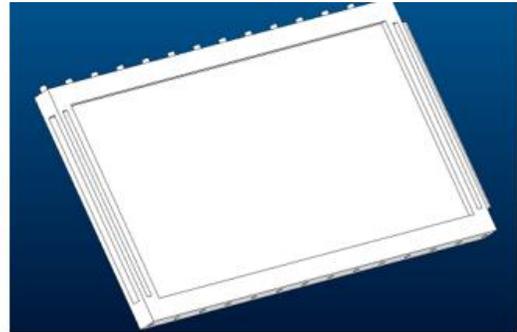
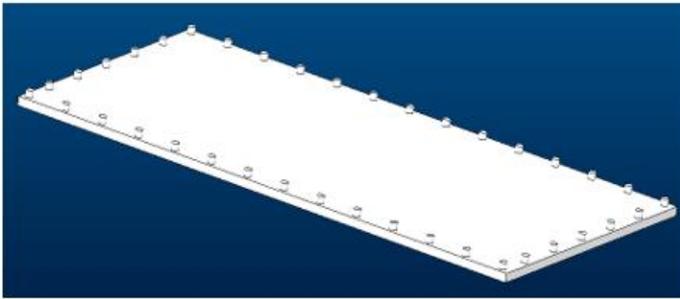


ILUSTRACIÓN 26 DISEÑO DE BASE CON INTERFERENCIA Y LARGO CON GUÍA

Las caras del contenedor se podrán unir de manera vertical para aumentar la altura del contenedor de la misma manera que se unió la base.

La forma de unir las caras se llevará a cabo por medio de un perfil y un perno que se colocará desde la parte superior de la pieza.

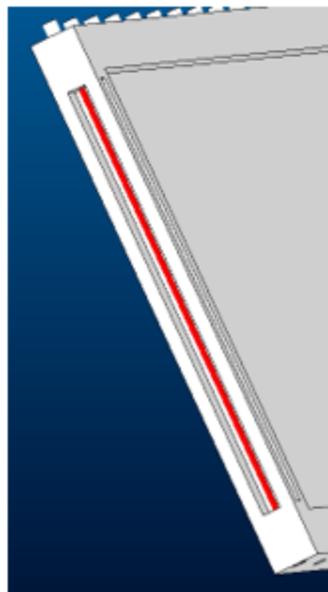


ILUSTRACIÓN 27 UNIÓN CON PERNO ENTRE CARAS

En color rojo se puede observar el perno que servirá para unir ambas piezas. La complejidad de este diseño radica en el diseño de la guía que une las caras a 90°, ya que el diseño del perfil macho debe de considerar el espacio donde se insertará el perno y que sujete ambas piezas de manera correcta

3.1.3 Propuesta de sujeción interferencia, snap, guía.

Esta propuesta se observa en la ilustración 28 y se puede formar un contenedor de 6in x 12in con dos piezas “lateral largo”, dos piezas “lateral corto” y una pieza “base”; el cual queda de la siguiente manera:

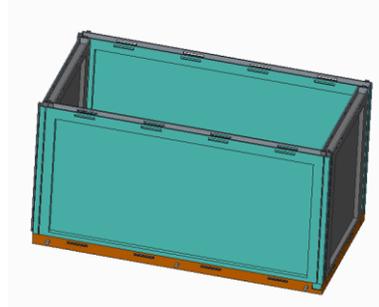


ILUSTRACIÓN 28 DISEÑO DE CONTENEDOR INTERFERENCIA, SNAP, GUÍA.

Esta pieza tiene un nivel mayor de complejidad con respecto a la anterior, más sin embargo de igual manera consta de 3 piezas diferentes: “base” ilustrada en color naranja, “lateral largo” ilustrada en color verde y finalmente “lateral corto” en color gris. A continuación, se muestran las características de cada una de ellas.

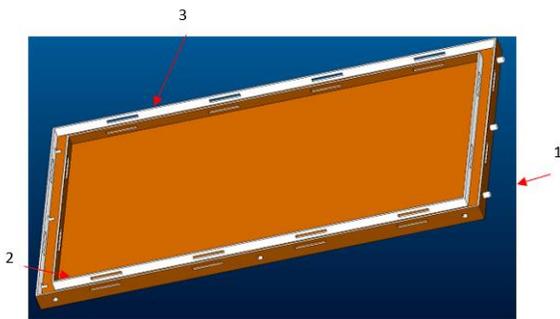


ILUSTRACIÓN 29 DISEÑO DE BASE INTERFERENCIA Y SNAP

Los perfiles redondos que se enuncian con el número 1, permiten la unión de otra pieza “base” de manera horizontal permitiendo aumentar las dimensiones de la base de 12in a 24in, ya que como se puede ver en el numero dos se tiene su contraparte “hembra”. Estas mismas características se pueden ver en el lado más largo de la base, el cual de la misma manera que el anterior permite unir dos bases esta vez para aumentar el ancho del contenedor de 6in a 12in, ambos ejemplos se muestran en la figura a y b respectivamente.

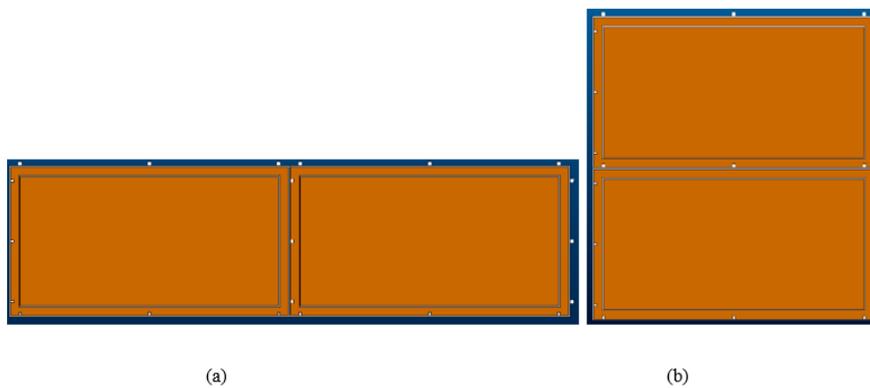


ILUSTRACIÓN 30 EJEMPLO DE UNIÓN ENTRE BASES 6INX12IN (A) Y 12INX12IN (B)

Los orificios que se muestran con el número tres permiten la unión de la pieza “lateral largo” y “lateral corto” de manera vertical, estos orificios se acoplan con un “snap” que se encuentra en las piezas antes mencionadas. La imagen 1 muestra un corte transversal de la sección la cual ilustra la unión de ambas piezas. Y la imagen 2 muestra el movimiento que se sigue para llevar a cabo el ensamble.

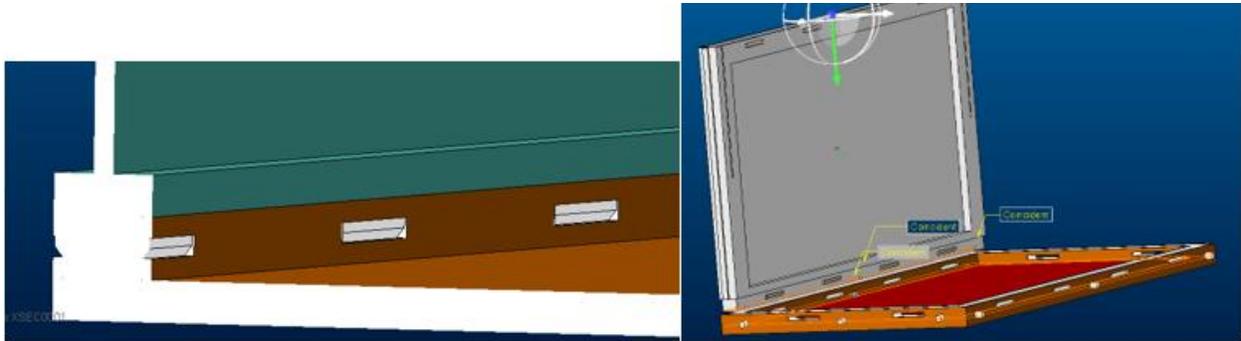


ILUSTRACIÓN 31 ENSAMBLE CARA LATERAL CON BASE MEDIANTE SNAPS

La siguiente pieza es el “lateral largo” la cual como se mostró en el punto anterior cuenta con los snaps que permiten la unión a la pieza “base” pero a su vez tiene su contraparte en la parte superior lo cual permite ensamblarla consigo misma para aumentar el alto de la pared de 6in a 12in como se muestra en la figura (2).

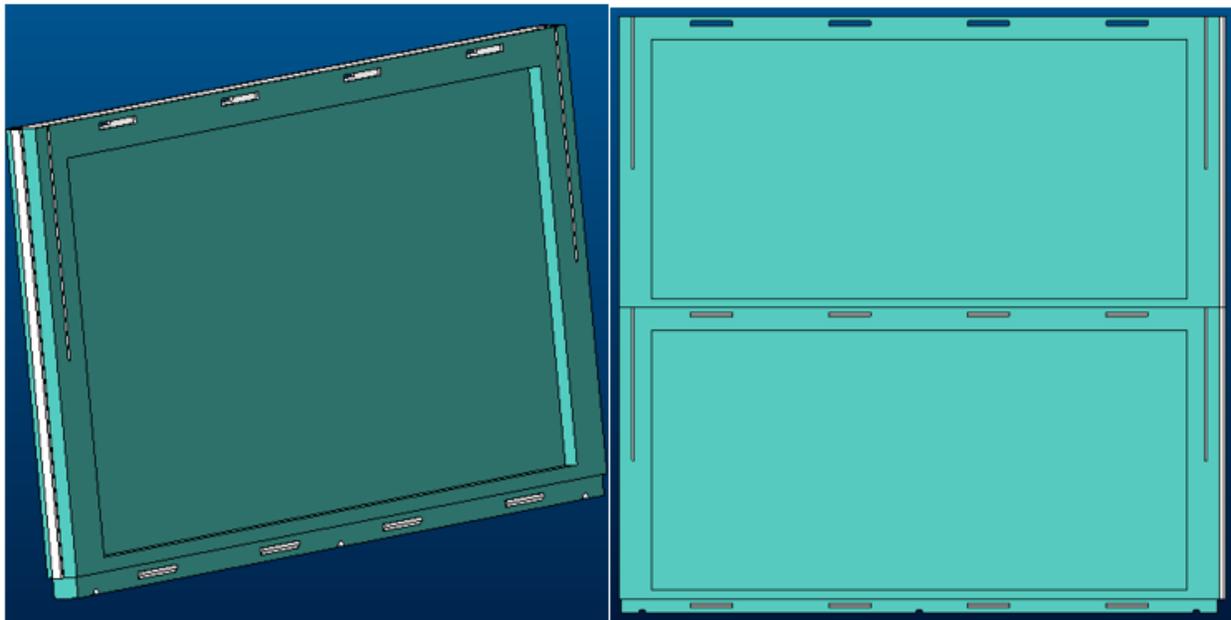


Figura (1)

(figura 2)

ILUSTRACIÓN 32 DISEÑO DE PIEZA LATERAL (FIGURA 1) Y ENSAMBLE DE DOS PIEZAS VERTICALMENTE CON SNAP (FIGURA 2)

La pieza a su vez cuenta con un perfil del lado izquierdo de la figura 1 el cual se puede ensamblar con la guía que se encuentra del lado derecho, permitiéndole a la misma pieza ensamblarse de manera lateral permitiendo el aumento de tamaño como se muestra en la siguiente imagen:



ILUSTRACIÓN 33 ENSAMBLE DE PIEZA DE MANERA LATERAL MEDIANTE GUÍAS

A su vez esta pieza permite el ensamble de la pieza “lateral corto” por medio de un perfil y guía que se encuentran en la vista frontal de la figura 1. Permitiendo una unión como se muestra en la siguiente figura:

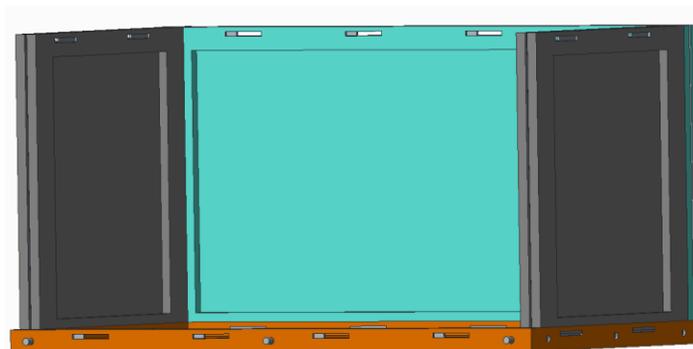


ILUSTRACIÓN 34 ENSAMBLE DE PIEZA LARGA CON CORTA MEDIANTE GUÍA

El perfil seleccionado para llevar a cabo la sujeción de la pieza “lateral largo” a “lateral largo es el siguiente:

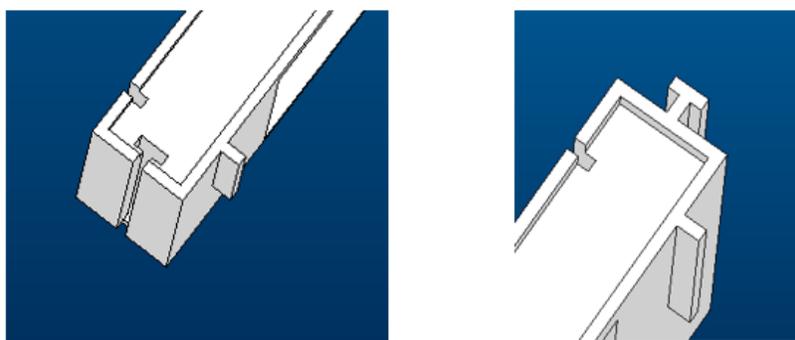


ILUSTRACIÓN 35 DISEÑO DE GUÍAS PARA UNIONES LATERALES Y FRONTALES

Como se puede observar se tiene una “T” macho y su contraparte hembra, y el perfil seleccionado para llevar a cabo la unión entre la pieza “lateral corto” es un perfil con forma de “T” y el cual solo se proyecta hasta la mitad de la pieza; esto nos permite tener un “tope” que nos ayuda a señalar el fin de la sujeción.

La forma de los snaps que unen las piezas de forma vertical es la siguiente:

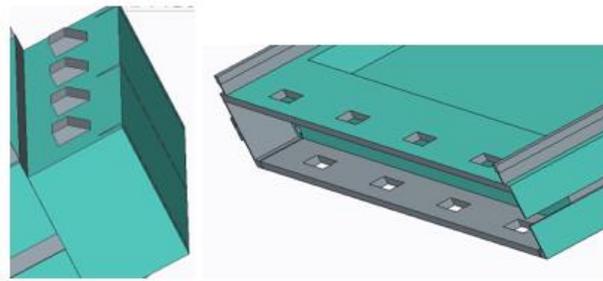


ILUSTRACIÓN 36 GEOMETRÍA DE SNAPS

La última pieza “lateral corto” se puede ver de color gris y ésta cuenta con guía y perfil macho y hembra a los costados de la pieza, que permiten la unión de 90° con la pieza “lateral largo” como se muestra en la figura de arriba. Y además cuenta con el mismo perfil que la pieza “lateral largo” en la parte superior e inferior por lo cual de igual manera se puede ensamblar de manera vertical una sobre otra.

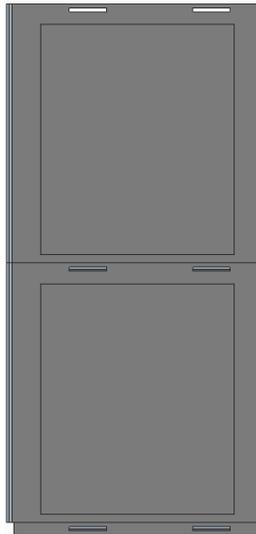


ILUSTRACIÓN 37 ENSAMBLE VERTICAL DE DOS PIEZAS "CORTAS"

3.2 Desarrollo de prototipos.

3.2.1 Primer prototipo.

Para evaluar las uniones y el concepto general de la propuesta indicada en 3.1.3, se decidió fabricar 3 piezas por medio de impresión 3D, utilizando ABS como medio de aporte a una escala de 1:4, como se muestra en la ilustración 31. Como puede observarse, solo se consideró 1 snap al centro que representa los 4 snap del diseño original; además, las dimensiones de las guías y snap se mantienen del mismo tamaño que las originales y los espesores del material no se encuentran a escala.

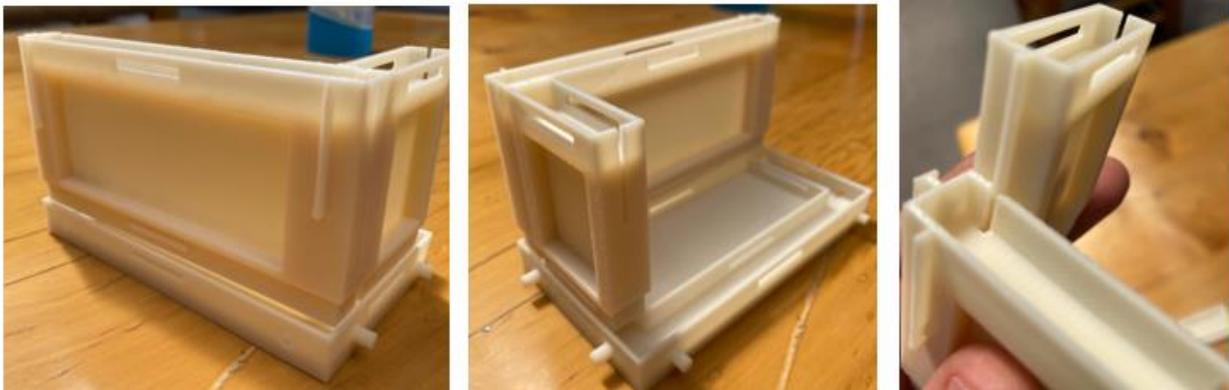


ILUSTRACIÓN 38 IMPRESIÓN 3D DE MODELO REFERENTE AL PRIMER PROTOTIPO

Las observaciones después de generar el modelo en 3D son las siguientes:

1. Los snaps no tienen la flexibilidad suficiente para el ensamble
2. El espesor del material es muy delgado lo cual provoca que se rompan las piezas al intentar unir las
3. Se requiere colocar un diseño diferente de guía para asegurar el ensamble de las piezas “lateral” y “corta”. Además, buscar que los diseños de los detalles sean los mismos tanto para uniones laterales como perpendiculares.
4. El diseño de los detalles que unen dos piezas “base” no está en la posición más adecuada ya que se concentran muchos esfuerzos y tienden a dañar la pieza al ensamblar
5. Al unir dos piezas de manera lateral el diseño de la base no nos permite realizar la unión de manera correcta

3.2.1.4 Rediseño de piezas conforme a primer prototipo.

Se realizaron actualizaciones en las geometrías de sujeción las cuales se muestran a continuación:

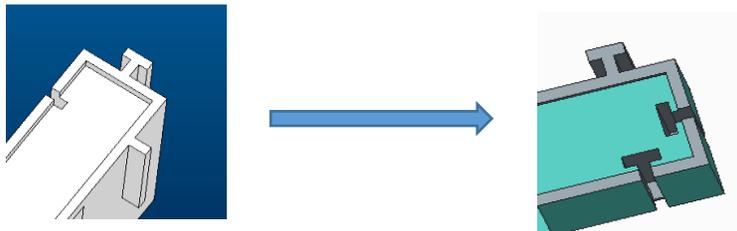


ILUSTRACIÓN 39 ESTANDARIZADO DE LAS GUÍAS A FORMA "T"

Este cambio se realizó para permitir que no solo una pieza corta ensamblara, sino que también para que permitiera el ensamble de una pieza larga, permitiendo modularidad entre las 3 piezas.

En la pieza base se removió el material de las caras exteriores como se muestra en la imagen inferior, el cual permite ensamblar una pieza “lateral largo” a lo ancho de la base como se muestra en la siguiente imagen:

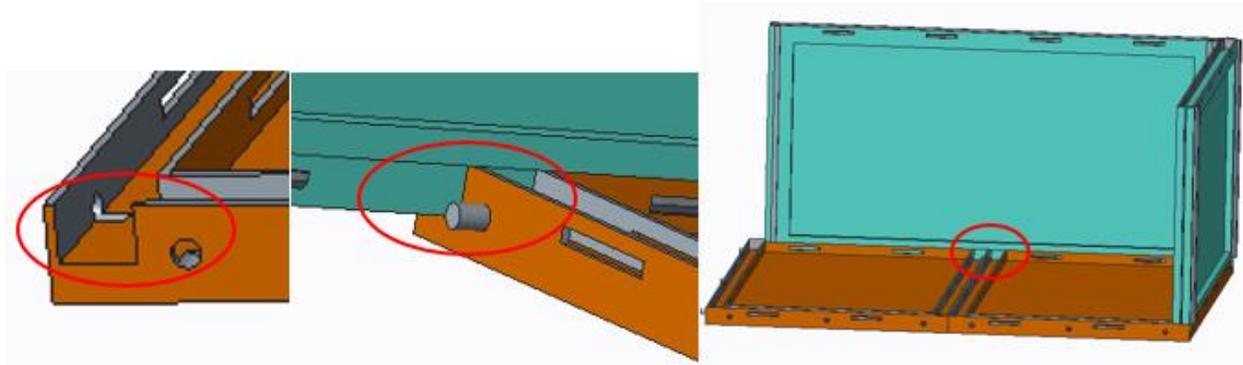


ILUSTRACIÓN 40 REDISEÑO EN BASE PARA PERMITIR EL ENSAMBLE DE PIEZA LARGA

3.2.2 Segundo Prototipo.

Se imprime un segundo juego de prototipos a escala con las modificaciones derivadas del primer set de piezas. Con este nuevo juego de piezas se procede a ensamblar el contenedor más grande que se pretende alcanzar (tercera foto), el cual mide 24"x36".

3.2.2.1 Consideraciones de las piezas

1. Las piezas están en escala 1:4
2. Se remueven los snaps para facilitar el ensamble a las bases
3. Las dimensiones de las guías y snap se mantienen del mismo tamaño que las originales
4. Los espesores del material no se encuentran a escala.
5. Material ABS



ILUSTRACIÓN 41 IMPRESIÓN 3D DE NUEVO MODELO CON MODIFICACIONES

3.2.2.2 Retroalimentación de las piezas:

1. El ensamble lateral de las piezas se realiza de manera correcta, sin embargo, se tiene que aumentar la tolerancia en las guías hembra para facilitar el ensamble.
2. Es preciso reubicar los pines de las bases ya que tienden a dañarlas al ensamblar, además de aumentar el espesor del material.
3. Aumentar los espesores de las guías ya que se rompen con facilidad
4. A pesar de no contar con los snaps las piezas se mantuvieron unidas solo por la interferencia, la misma unión de las paredes de la caja le proporciona suficiente rigidez, en un nuevo prototipo se probará la funcionalidad de los snaps

3.2.2.3 Rediseño de piezas conforme a segundo prototipo.

Se lleva a cabo el aumento del espesor del material (de 0.50" a 0.100") esto nos lleva a tener que modificar el tamaño de las piezas y ajustar las dimensiones para mantener los ensambles.

Los detalles "pins" que se utilizan para realizar el ensamble de dos piezas "base" se reubicaron .30" más abajo para evitar concentrar los esfuerzos en las paredes y que se dañen. En esta nueva ubicación los detalles se colocaron sobre la parte sólida inferior de la pieza.



ILUSTRACIÓN 42 CAMBIO DE ALTURA DE PINES PARA REFORZAR

3.2.3 Tercer prototipo.

Una vez que se tiene el CAD listo, se procede a imprimir las piezas en tamaño real para tratar de tener un ensamble del cajón mucho más realista, así como poder realizar algunas pruebas de ensamble.

Las piezas son impresas en VeroClear con las dimensiones finales:



ILUSTRACIÓN 43 IMPRESIÓN DE PIEZAS CON REDISEÑOS

Debido a las características del material resulta difícil realizar las uniones de las piezas, por lo que se toman las siguientes notas para que sean consideradas en la impresión del modelo final, además de considerar el material adecuado para su impresión:

- Al aumentar espesores la pieza pierde flexibilidad, lo que genera que la base comience a fracturarse al intentar unirla por medio de snaps.
- Las tolerancias en la cara interna de las guías tienen que ser más grande para permitir una unión que permita un desliz suave, provocando que las guías se fracturen.

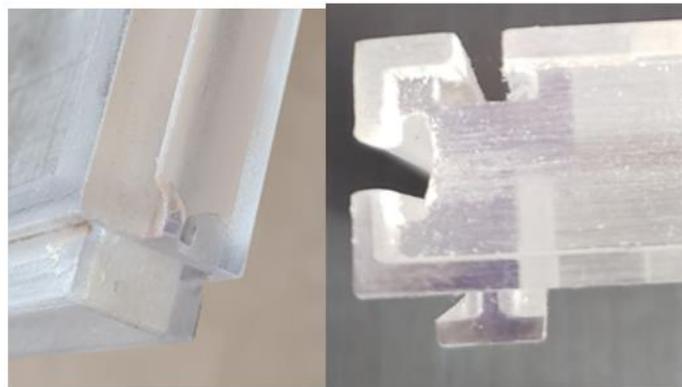


ILUSTRACIÓN 44 SE RETRABAJAN LAS GUÍAS PARA PODER REALIZAR EL ENSAMBLE

Las piezas impresas en este material fueron utilizadas para mostrar al VP de industrial, al VP de TyP y al VP de Lean el concepto en el que se estaba trabajando, las dimensiones con las que contarían los contenedores finales, además de realizar una demostración con la cual se aprobara el presupuesto para el desarrollo de los moldes.

3.3 Análisis de geometría finita.

El programa utilizado para las simulaciones se llama SimSolid® de Altair version 2019 el cual funciona utilizando una nueva matematica que genera un mallado automatico en base a la geometria, lanzando como resultado elementos tipo tetrahedricos, gracias a esta nueva tecnologia los analisis se llevan a cabo de una manera mas rapida permitiendo relizar un proceso iterativo mucho mas rapido que con las herramientas convencionales de elemento finito.

Se llevaron a cabo los análisis de elemento finito sobre las piezas bajo diferentes suposiciones:

La primera fue directamente colocando una carga sobre la base y tomando como punto de sujecion los snaps y simulando una carga de 1Kg, 5Kg, 10Kg y 15Kg, lo que se puede observa es que aun con la carga de 15Kg el limite elastico generado por la carga aun se encuentra muy por debajo de mi limite elastico de ruptura del material. El material utilizado es polietileno de alta densidad proporcionado por la librería del software, la cual conserva una densidad muy similar a la utilizada por el material seleccionado.

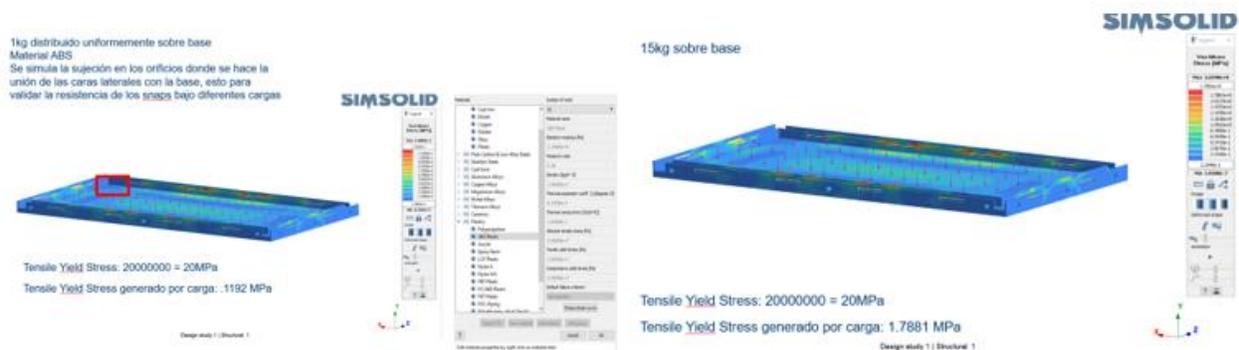


ILUSTRACIÓN 45 ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO PARA BASES 1KG Y 15KG RESPECTIVAMENTE

Se simula esta misma carga pero ahora teniendo como puntos rigidos los pines que sujetan dos bases donde el esfuerzo maximo de von misses llega a los 7.79MPa, con el cual aun se encuentra por debajo del limite maximo de 20MPa:

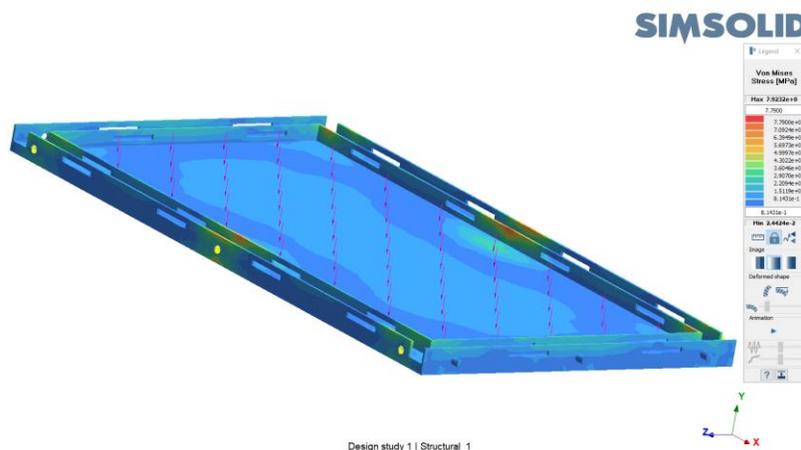


ILUSTRACIÓN 46 ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO EJERCIENDO EL ESFUERZO EN LOS PINES DE UNIÓN LATERAL

3.4 Simulación de flujo para manufacturabilidad.

Para evaluar la manufacturabilidad del diseño propuesto, se llevó a cabo una simulación y flujo con el uso del software Autodesk moldflow adviser® se consideró el efecto de los ángulos de desmoldeo de las piezas, los puntos de inyección, tiempos de llenado y la predicción de la calidad en las piezas. Los parámetros bajo los que se realizó el estudio son:

Un punto de inyección directa en la parte superficial de la pieza, utilizando una colada fría para posteriormente cortar la colada sobrante. El material por utilizar es PEHD Pemex 65050, pero al no contar con el mismo en la base de datos de Moldflow se utiliza el PEHD Marlex 9005 Chevron Philips.



POLIETILENO ALTA DENSIDAD GRADO 65050

Identificación: PETI-037

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Índice de fluidez (190°C/2.16 Kg)	g/10 min.	ASTM-D-1238	4.0 – 6.0
Densidad	g/cm ³	ASTM-D-1505	0.9635– 0.9695
PROPIEDADES			** VALOR TÍPICO
Resistencia a la Tensión (cedencia *)	MPa	ASTM-D-638	30.4
Resistencia a la Tensión (ruptura *)	MPa	ASTM-D-638	17.1
Impacto Izod (*) MÉTODO A	J /m	ASTM-D-256	54
Módulo de Flexión (*)	MPa	ASTM-D-790	60.2
Resistencia Ambiental (ESCR) (F50) CONDICIÓN B (*)	hrs	ASTM-D-1693	≥ 3
Dureza Shore (*)	Tipo D	ASTM-D-1706	64
Temperatura de Reblandecimiento (Vicat) (*)	°C	ASTM-D-1525	128
Distancia de Flujo en espiral (SFD)	cm	ASTM-D-3123	62
Temperatura de fusión	°C	ASTM-E-794	130

Este producto contiene aditivo antioxidante, lubricante y protector ultravioleta

ILUSTRACIÓN 47 HOJA DE DATOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

Family name	POLYETHYLENES (PE)	Viscosity	Default viscosity model	Cross-WLF	View viscosity model coefficients...
Trade name	Marlex® 9005 PE				Plot Viscosity
Manufacturer	Chevron Phillips	Juncture loss method coefficients			
Link		c1		Pa ⁿ [1-c2]	
Family abbreviation	HDPE	c2			
Material structure	Crystalline	Transition temperature			
Data source	Manufacturer (Chevron Phillips) : pvT-Supplemental : mech-Measured	Ttrans	112.78	C	View test information...
Date last modified	14-SEP-05	Moldflow Viscosity Index		VI(230)0144	
Date tested		Melt mass-flow rate (MFR)			
Data status	Non-Confidential	Temperature	190	C	
Material ID	12519	Load	2.16	Kg	
Grade code	CM12519	Measured MFR	6	g/10min	
Supplier code	PHILLIPS				
Fibers/fillers	Unfilled				

ILUSTRACIÓN 48 CARGA DE DATOS EN MOLDFLOW®

Los resultados del análisis de cada pieza se muestran a continuación:

3.3.1 Pieza Mod2_Corto.

La ilustración 49 se puede ver la representación de la predicción de calidad las zonas amarillas indican un ligero cambio de espesor más sin embargo la calidad de la pieza se aprecia en un 82.6%; por lo que no es necesario realizar ajustes, en esta pieza no aplica alta apariencia, el 82% equivale a una muy buena apariencia para este tipo de piezas en particular. (*Autodesk MoldFlow Quality prediction, s. f.*)

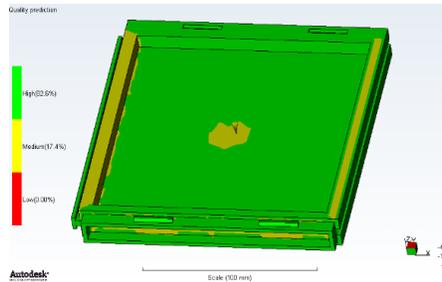


ILUSTRACIÓN 49 REPRESENTACIÓN PREDICCIÓN DE CALIDAD

La ilustración 50 muestra la representación del aire atrapado, por medio del estudio se puede determinar dónde habría aire atrapado, éste producirá huecos o pequeñas imperfecciones en la superficie de la pieza. Para evitar esto se sugieren venteos que se pueden apreciar en círculos rosa y las flechas rojas indican donde puede quedar maquinado la salida para los venteos, adicional debido a que la pieza cuenta con espesores que no son uniformes se recomienda realizar los ajustes de estos. (*Autodesk Moldflow Air Traps, s. f.*)

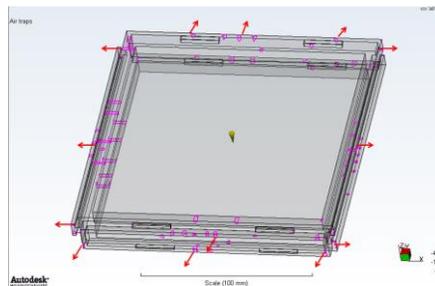


ILUSTRACIÓN 50 REPRESENTACIÓN AIRE ATRAPADO

En la ilustración 51 se puede apreciar que las líneas de unión o líneas de soldadura se presentan en ciertas partes de la pieza, esto es debido nuevamente a la variación de espesores presentes en las piezas. No hay líneas que atraviesen la geometría de lado a lado por lo que no hay afectaciones estructurales importantes, por lo que se considera que las líneas de unión son por choque de flujo, pero mecánicamente no se aprecia un riesgo. (*Autodesk Moldflow Weld Lines, s. f.*)

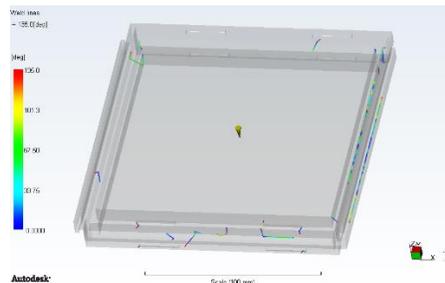


ILUSTRACIÓN 51 REPRESENTACIÓN LÍNEAS DE UNIÓN

En la ilustración 52 se muestra la calidad de la pieza durante el enfriamiento está aproximadamente en un 80%, con excepción de las zonas en rojo que tienen una calidad del 9% generando ligeramente un mayor espesor, por cuestiones de ensamblabilidad no se ve afectado debido a que la unión de las piezas se llevará a cabo en la vista superior y en esa zona se tiene una buena calidad.

En esta etapa el resultado es bueno ya que entregó retroalimentación de las zonas en donde se debe de mejorar la pieza. (AutoDesk MoldFlow Quality prediction, s. f.)

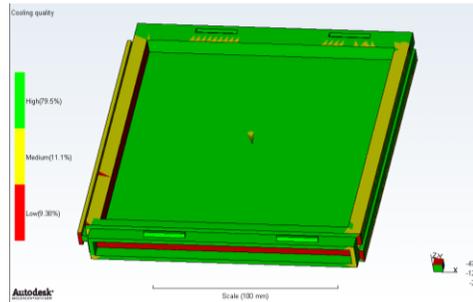


ILUSTRACIÓN 52 REPRESENTACIÓN CALIDAD DE PIEZA DURANTE ENFRIAMIENTO

En la ilustración 53 se muestra el resultado del análisis de deformación nominal de la pieza donde se tiene 0.0672” in de deformación, el cual se puede ver ilustrado con las flechas de color azul indicándonos la dirección de este. En general la pieza no se verá afectada por esta deformación, esta pieza se corrió en modo básico por lo que la refrigeración final queda pendiente hasta la liberación de la pieza, pudiendo reducir la posible deformación un poco más. (Autodesk Moldflow Warpage Tolerance, s. f.)

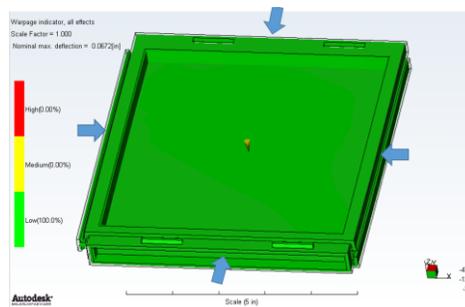


ILUSTRACIÓN 53 REPRESENTACIÓN DE DEFORMACIÓN EN PIEZA

En la ilustración 54 se puede apreciar la secuencia de llenado, así como la ubicación del punto de inyección en la pieza, como se puede apreciar el llenado se está dando de manera unidireccional, el tiempo de llenado consta de 1.870s.

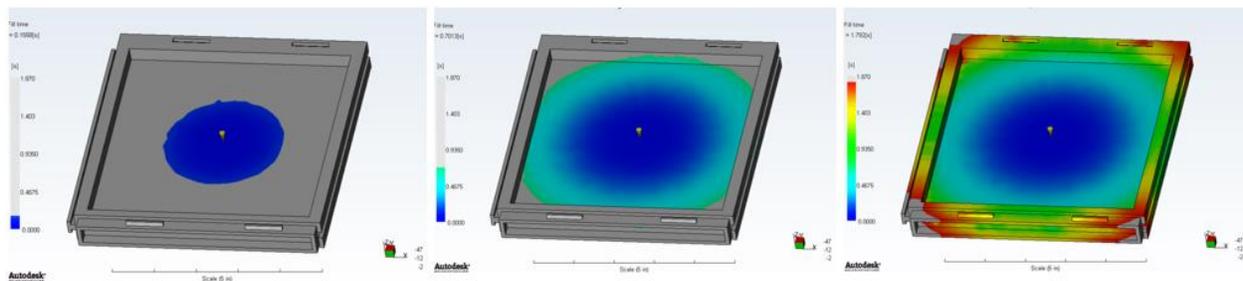


ILUSTRACIÓN 54 SECUENCIA DE LLENADO DE PIEZA CORTA

Finalmente, en la ilustración 55 se puede observar el tiempo de llenado, la presión de inyección, el peso de la pieza al final del llenado, el peso final de la pieza, el tiempo de enfriamiento y tiempo de ciclo.

Fill Analysis time: 155.48 (s)

Your part can be filled easily but part quality may be unacceptable.
View the [Quality Prediction plot](#) and use the [Results Adviser](#) to get help on how to improve quality of the part.

Actual filling time	1.87 (s)
Actual injection pressure	14.196 (MPa)
Clamp force area	268.0562 (cm ²)
Max. clamp force during filling	15.480 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	99.17 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	1.84 (s)
Total part weight at the end of filling	100.687 (g)
Shot volume	139.3130 (cm ³)

Maximum clamp force during cycle	27.391 (tonne)
Max. wall shear stress	0.232 (MPa)
Total part weight	112.246 (g)
Cooling time	33.00 (s)
Cycle time	49.84 (s)

ILUSTRACIÓN 55 PARÁMETROS DE PROCESO DE LLENADO PIEZA CORTA.

Lo que se puede concluir del análisis de la primera pieza es que no va a presentar deformaciones ni hendiduras que puedan afectar el **ensamble** de las piezas, cabe destacar que al ser piezas para contenedores la calidad de la pieza se considera como buena ya que no es una parte visual o con requerimientos estéticos.

3.3.2 Pieza Mod2_Ex.

La ilustración 56 muestra el resultado del análisis de predicción de calidad, en éste se puede apreciar que la calidad de la pieza está en un 80% más sin embargo se debe de realizar un ajuste en los espesores señalados con flechas rojas ya que lo ideal en la pieza es que sea simétrica, lo cual nos ayudará a mejorar la calidad de esta. (*Autodesk MoldFlow Quality prediction, s. f.*)

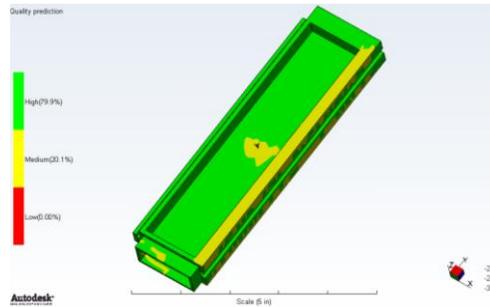


ILUSTRACIÓN 56 REPRESENTACIÓN DE PREDICCIÓN DE CALIDAD DE LA PIEZA

En la ilustración 57 se muestra la representación del aire atrapado de la misma manera que en la pieza Mod2_corta se aprecian puntos con aire atrapado, los cuales pueden deberse a los espesores no homogéneos, en caso de que el diseño sea aprobado se procederá a trabajar en las modificaciones de las piezas. (*Autodesk Moldflow Air Traps, s. f.*)

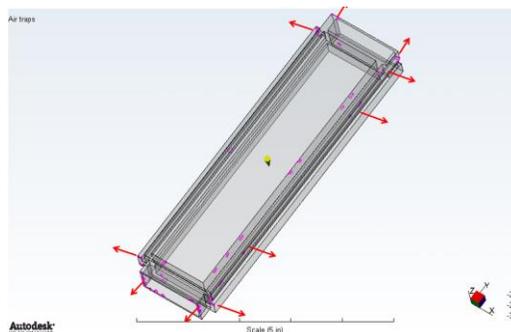


ILUSTRACIÓN 57 REPRESENTACIÓN DE AIRE ATRAPADO

En la ilustración 58 se muestra la representación de las líneas de unión, de igual manera no representan ningún problema mecánico en la misma ni comprometen su integridad. (*Autodesk Moldflow Weld Lines, s. f.*)

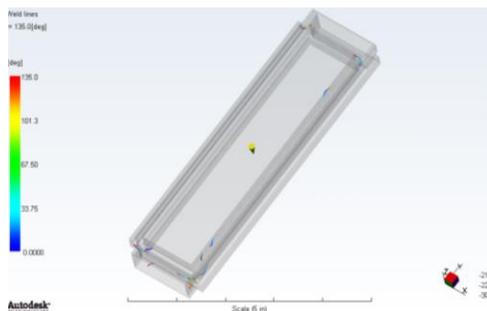


ILUSTRACIÓN 58 REPRESENTACIÓN LÍNEAS DE UNIÓN

En la ilustración 59 se muestra la representación de la calidad de la pieza durante enfriamiento y se puede apreciar que la pieza pierde su calidad en uno de los extremos donde se realizará una unión mecánica, por lo que de la misma manera que en la gráfica “predicción de la calidad” se recomienda que se realice un ajuste de los espesores para evitar este problema. (*AutoDesk MoldFlow Quality prediction, s. f.*)

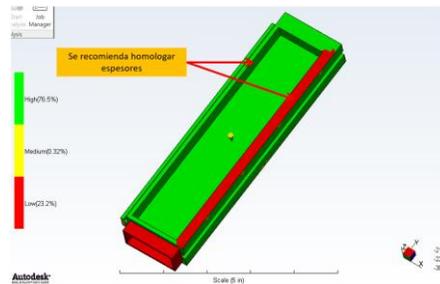


ILUSTRACIÓN 59 REPRESENTACIÓN DE CALIDAD DURANTE EL ENFRIAMIENTO

En la ilustración 60 representación de deformación se puede apreciar que la deformación de la pieza será de 0.0512 in, así como la dirección de ésta. Esta deformación no compromete la integridad ni la funcionalidad de la pieza. (*Autodesk Moldflow Warpage Tolerance, s. f.*)

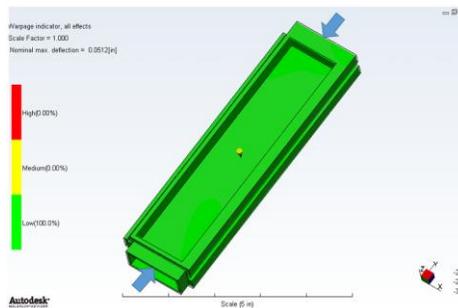


ILUSTRACIÓN 60 REPRESENTACIÓN DE DEFORMACIÓN

En la ilustración 61 se puede apreciar el proceso de llenado de la pieza corta, así como también el flujo que el plástico siguió para completar toda la geometría, se puede apreciar que el flujo es unidireccional y su tiempo de llenado es de 1.064s

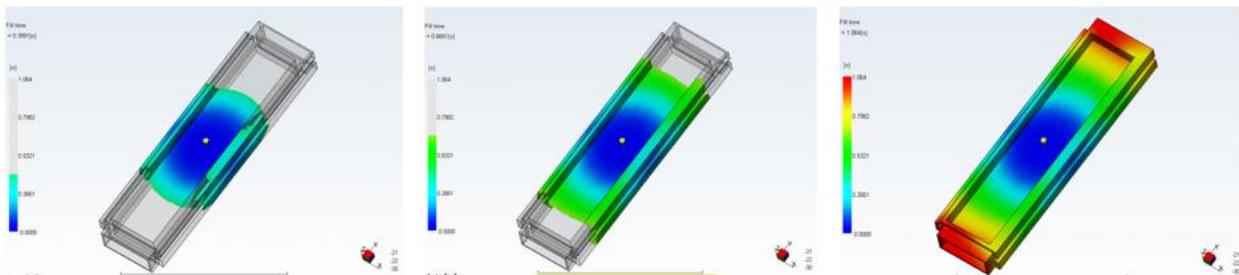


ILUSTRACIÓN 61 REPRESENTACIÓN DEL TIEMPO DE LLENADO DE LA PIEZA EX

Finalmente se puede observar en la ilustración 62 el tiempo de llenado, la presión de inyección, el peso de la pieza al final del llenado, el peso final de la pieza, el tiempo de enfriamiento y tiempo de ciclo.

Fill Analysis time: 84.46 (s)

 Your part can be filled easily but part quality may be unacceptable.

View the [Quality Prediction plot](#) and use the [Results Adviser](#) to get help on how to improve quality of the part.

Actual filling time	1.07 (s)
Actual injection pressure	11.189 (MPa)
Clamp force area	87.9472 (cm ²)
Max. clamp force during filling	4.714 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	99.17 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	1.05 (s)
Total part weight at the end of filling	33.138 (g)
Shot volume	46.1328 (cm ³)

Maximum clamp force during cycle	7.104 (tonne)
Max. wall shear stress	0.259 (MPa)
Total part weight	39.113 (g)
Cooling time	10.25 (s)
Cycle time	26.30 (s)

ILUSTRACIÓN 62 PARÁMETROS DE PROCESAMIENTO DE LLENADO DE PIEZA EX

Las recomendaciones finales de la pieza son homologar los espesores para mejorar la calidad final de la pieza.

3.3.3 Pieza Mod2_largo.

En la ilustración 63 se puede apreciar el resultado de la representación de calidad, en esta pieza es necesario realizar una mayor cantidad de ajustes para mejorar la calidad de esta, esta pieza se vio más afectada por la deformación y calidad final debido a sus dimensiones; al ser más larga va a requerir costillas que reduzcan la deformación a lo largo de la misma. Así como también en las piezas anteriores, es necesario homologar los espesores. (*AutoDesk MoldFlow Quality prediction, s. f.*)

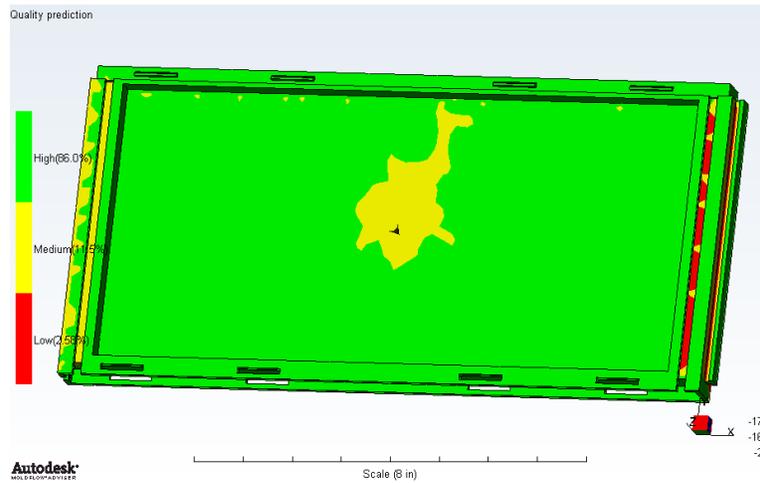


ILUSTRACIÓN 63 REPRESENTACIÓN PREDICCIÓN DE CALIDAD

En la ilustración 64 se puede observar la representación de aire atrapado, de la misma manera que en la pieza Mod2_corta y Mod2_ex se indica con círculos color rosa las zona de mayor acumulación de aire y en rojo se recomiendan hacer las salidas para maquinarse. (*Autodesk Moldflow Air Traps, s. f.*)

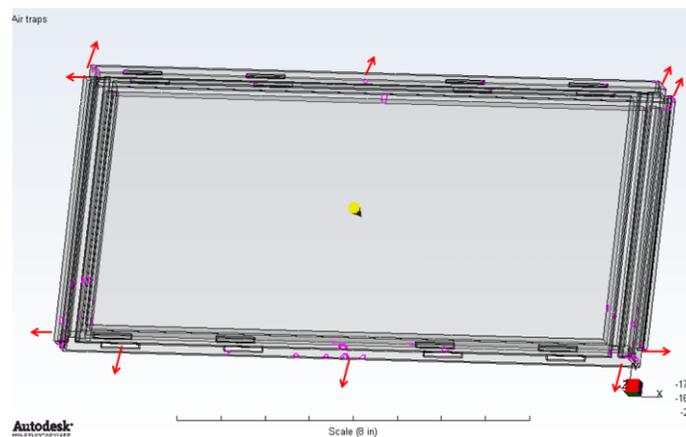


ILUSTRACIÓN 64 REPRESENTACIÓN DE AIRE ATRAPADO

En la ilustración 65 se observa la representación de líneas de unión, en algunas ventanas donde ensamblarán los snaps se pueden ver líneas de unión que por efecto del llenado tendrán una línea de unión al final, lo cual al ensamblar las piezas y por exceso de movimiento se pudiera provocar que se fracturen, en estas zonas se tiene dos opciones:

- Engrosar el material
- Colocar costillas extras en la orilla de la ventana

Se descarta el agregar costillas en esa zona debido a que va a ser una zona de unión entre las piezas lo cual generará una interferencia que no permitirá el ensamble, además de que agregar las costillas aumentaría la complejidad del molde y esto incrementaría el costo. (Autodesk Moldflow Weld Lines, s. f.)

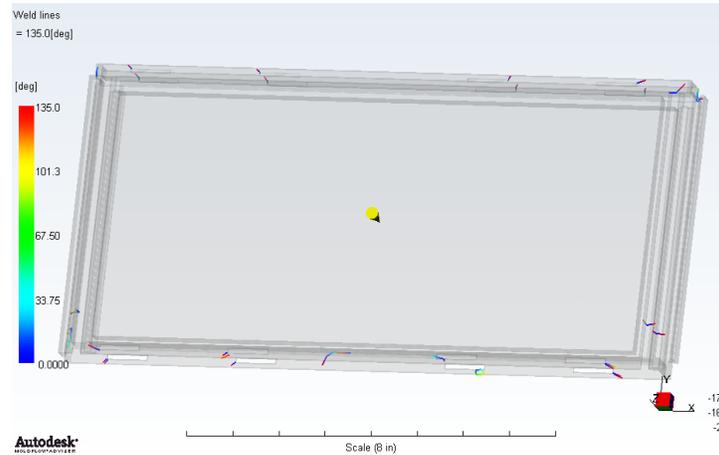


ILUSTRACIÓN 65 REPRESENTACIÓN DE LÍNEAS DE UNIÓN

En la ilustración 66 se muestra la gráfica de calidad durante el enfriamiento se observa que los orificios del snap pueden presentar fragilidad, por lo que es necesario realizar los ajustes pertinentes en la pieza antes de realizar el molde final. Los cambios en el espesor son mínimos y no afectarían la calidad de la pieza. (AutoDesk MoldFlow Quality prediction, s. f.)



ILUSTRACIÓN 66 REPRESENTACIÓN DE CALIDAD DURANTE EL ENFRIAMIENTO

En la ilustración 67 la gráfica de deformación se puede observar que esta pieza tiene una afectación por la longitud de ésta, se genera una contracción desde las esquinas hacia el centro y este problema puede ser solucionado agregando costillas en el centro que le den rigidez a la pieza o, así como también tener un buen sistema de refrigeración en las esquinas.

En base a la experiencia que se tiene con moldes de inyección en Mabe se sugiere agregar un diseño de costillas para mejorar la rigidez en la pieza y balancear la posible deformación en la misma. (Autodesk Moldflow Warp Tolerance, s. f.)

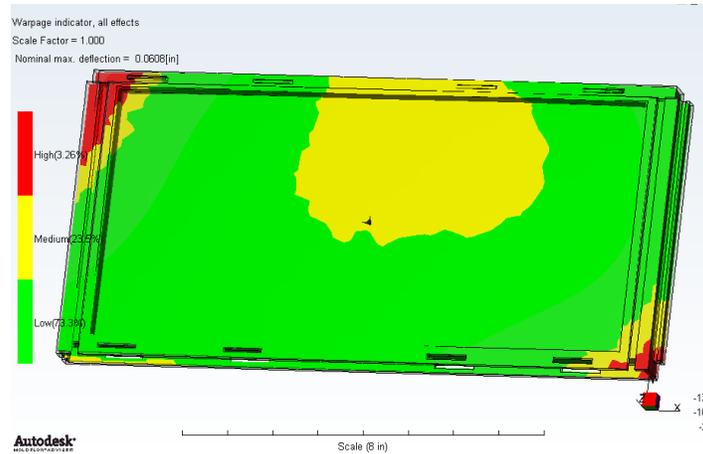


ILUSTRACIÓN 67 REPRESENTACIÓN DE LA DEFORMACIÓN

En la ilustración 68 se puede apreciar el proceso de llenado de la pieza larga, se aprecia que la dirección es unidireccional y el tiempo de llenado es de 2.3s.

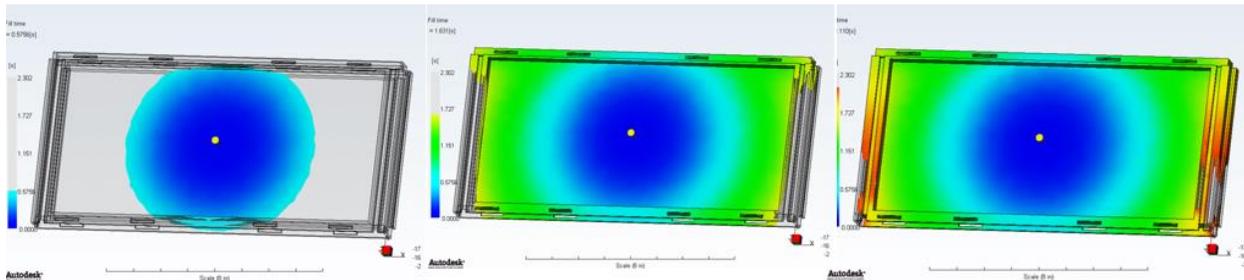


ILUSTRACIÓN 68 PROCESO DE LLENADO DE PIEZA LARGA

Finalmente, en la ilustración 69 se muestran los parámetros del procesamiento, así como el peso final de la pieza:

Fill Analysis time: 179.55 (s)

Your part can be filled easily but part quality may be unacceptable.
View the [Quality Prediction plot](#) and use the [Results Adviser](#) to get help on how to improve quality of the part.

Actual filling time	2.30 (s)
Actual injection pressure	27.942 (MPa)
Clamp force area	662.9553 (cm ²)
Max. clamp force during filling	79.653 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	99.06 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	2.25 (s)
Total part weight at the end of filling	209.987 (g)
Shot volume	282.5576 (cm ³)
Maximum clamp force during cycle	123.096 (tonne)
Max. wall shear stress	0.381 (MPa)
Total part weight	238.183 (g)
Cooling time	31.75 (s)
Cycle time	49.00 (s)

ILUSTRACIÓN 69 PARÁMETROS DE PROCESO DE LLENADO DE PIEZA LARGA.

Es necesario ajustar los orificios del snap, y agregar las costillas en la pieza para reforzarla y evitar la deformación.

3.3.4 Pieza Mod2_base.

En la ilustración 70 se muestra la representación de predicción de la calidad y se observa que la pieza base tiene una buena calidad de inyección con un 99.9% (*AutoDesk MoldFlow Quality prediction, s. f.*)

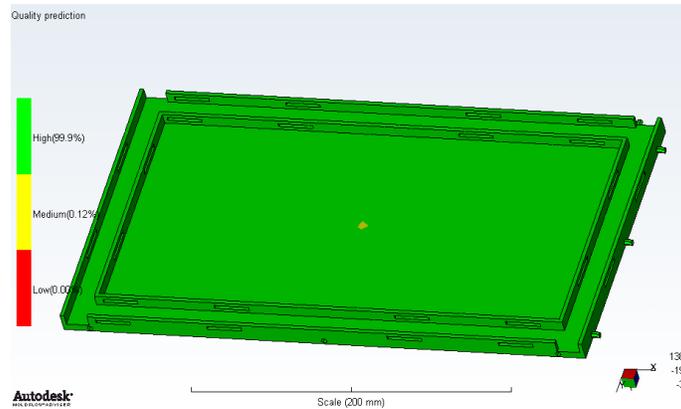


ILUSTRACIÓN 70 REPRESENTACIÓN DE PREDICCIÓN DE CALIDAD

En la ilustración 71 se muestra la acumulación de aire atrapado en color rosa y en rojo se puede ver la sugerencia de la ubicación de los venteos. Al igual que las anteriores piezas es necesario realizar los ajustes de espesores para volver a evaluar. (*Autodesk Moldflow Air Traps, s. f.*)

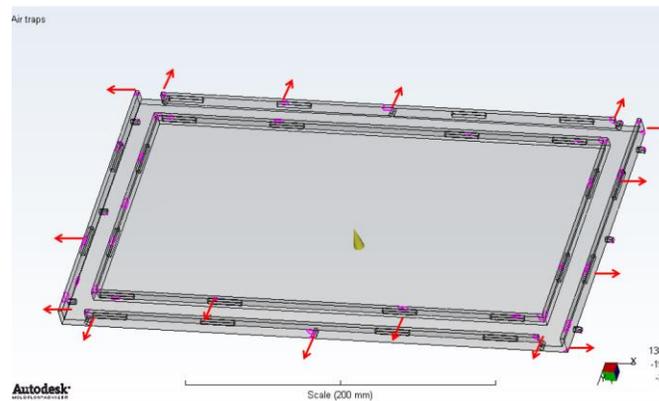


ILUSTRACIÓN 71 REPRESENTACIÓN DE AIRE ATRAPADO

En la ilustración 72 se muestra la representación de las líneas de unión, de manera similar a la pieza mod2_largo se tienen líneas de unión, pero esta vez se presentan en las esquinas interiores tal y como se ve en la figura, estas zonas pueden fracturarse al ensamblar las piezas del contenedor. La razón por la que se generan las líneas de unión en esta zona es debido a que se tiene un ángulo de 90° en las esquinas. Lo que se recomienda es agregar un radio para mejorar el desmoldeo de las piezas, así como también disminuir los esfuerzos provocados por la fricción durante la expulsión de la pieza. (*Autodesk Moldflow Weld Lines, s. f.*)

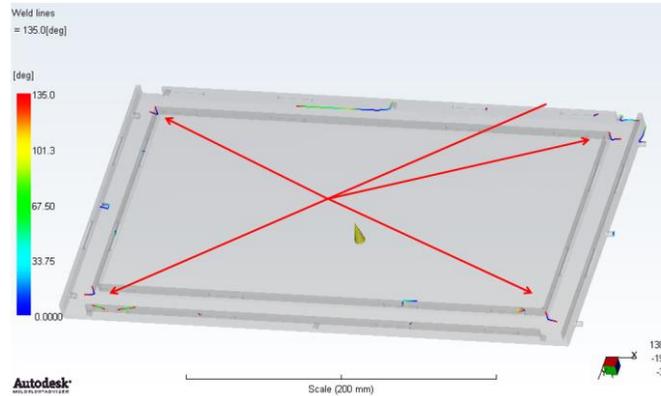


ILUSTRACIÓN 72 REPRESENTACIÓN DE LÍNEAS DE UNIÓN

En la ilustración 73 se tiene la representación de la calidad de la pieza en el enfriamiento, y se tiene una calidad alta (76%); las zonas en color rojo se deben a que debido al ángulo de desmolde se volvieron más delgadas, sin embargo, no generan ningún problema estructural. (*AutoDesk MoldFlow Quality prediction, s. f.*)

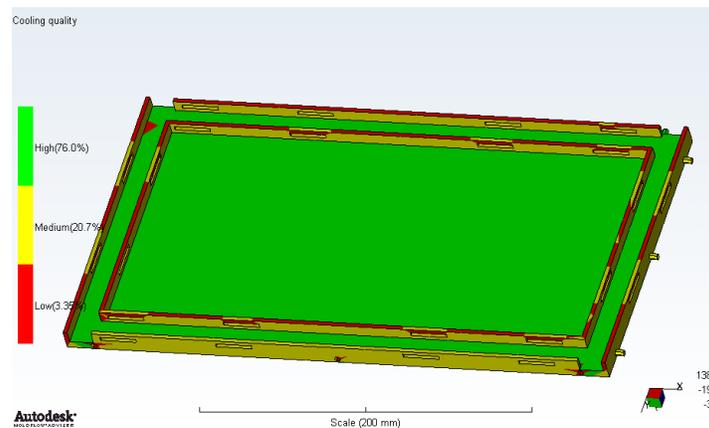


ILUSTRACIÓN 73 REPRESENTACIÓN DE CALIDAD DURANTE EL ENFRIAMIENTO

En la ilustración 74 se muestran los resultados del análisis de deformación, se puede observar que la deflexión nominal es de 2.140 [mm] este resultado genera un levantamiento en la zona central.

La deformación obtenida no es aceptable debido que al intentar realizar el ensamble de las piezas que componen el contenedor no será posible, por lo que se tienen que realizar las correcciones necesarias y volver a evaluar para asegurar que se reduzca esta deformación. (*Autodesk Moldflow Sink Marks, s. f.*)

Se sugieren dos modelos de costillas, uno en forma de “gato” (#) y el segundo en forma de “panal de abejas”.

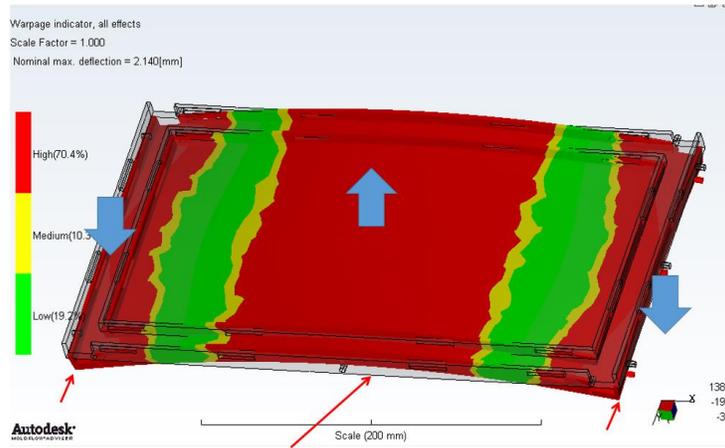


ILUSTRACIÓN 74 REPRESENTACIÓN DE DEFORMACIÓN

La ilustración 75 muestra el proceso de llenado de la pieza, como se puede apreciar se tiene un flujo unidireccional y un tiempo de llenado de 2.47s

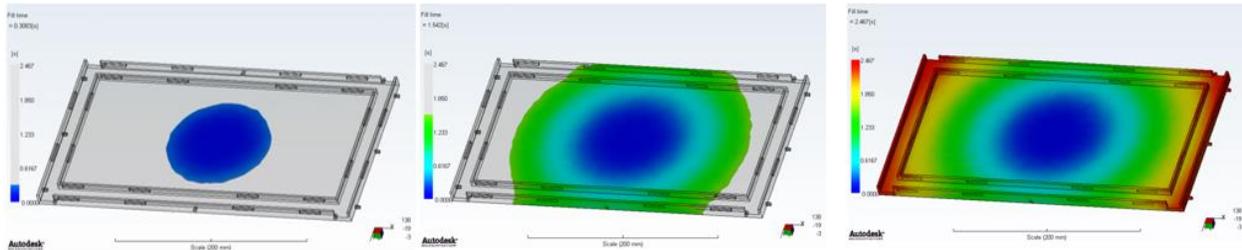


ILUSTRACIÓN 75 PROCESO DE LLENADO DE PIEZA BASE

Finalmente, la ilustración 76 se puede observar los parámetros del tiempo de llenado, la presión de inyección, el peso de la pieza, tiempo de enfriamiento y el tiempo de ciclo.

Fill Analysis time: 61.34 (s)

Your part can be filled easily with acceptable quality using the current injection locations.

Actual filling time	2.47 (s)
Actual injection pressure	10.478 (MPa)
Clamp force area	683.2633 (cm ²)
Max. clamp force during filling	43.005 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	99.06 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	2.40 (s)
Total part weight at the end of filling	301.375 (g)
Shot volume	358.9990 (cm ³)
Maximum clamp force during cycle	54.074 (tonne)
Max. wall shear stress	0.375 (MPa)
Total part weight	301.493 (g)
Cooling time	22.75 (s)
Cycle time	40.15 (s)

ILUSTRACIÓN 76 PARÁMETROS DE LLENADO DE PIEZA “BASE”

En los siguientes subcapítulos se mostrarán los ajustes realizados a las piezas para mejorar su proceso de inyección.

3.5 Rediseño en la pieza.

De acuerdo con los resultados del análisis de inyección se procede a realizar los ajustes de diseño pertinentes.

3.5.1 Pieza mod2_corta.

Esta pieza no requiere ajustes de diseño, por lo que se mantiene la forma y dimensiones (ilustración 77).

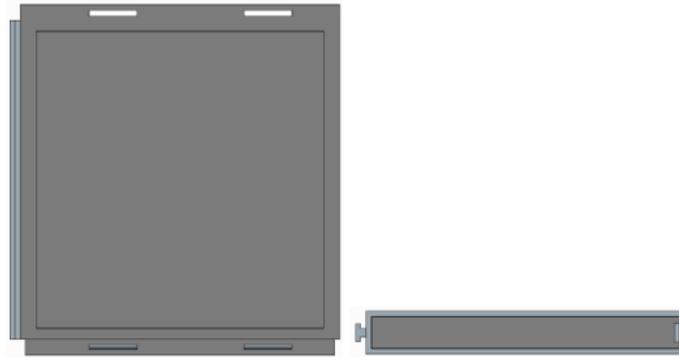


ILUSTRACIÓN 77 PIEZA FINAL "CORTA"

3.5.2 Pieza mod2_ex.

En esta pieza se realizan los ajustes de los espesores laterales para obtener una simetría y mejorar los resultados de la predicción de calidad en la pieza (ilustración 78):



ILUSTRACIÓN 78 AJUSTES EN PIEZA FINAL "EXTRA"

3.5.3 Pieza mod2_larga.

A continuación, se enumeran los ajustes realizados en esta pieza:

- 1.- Se agrega espesor a las ventanas para mejorar su rigidez (.050" a .100") (ilustración 79).

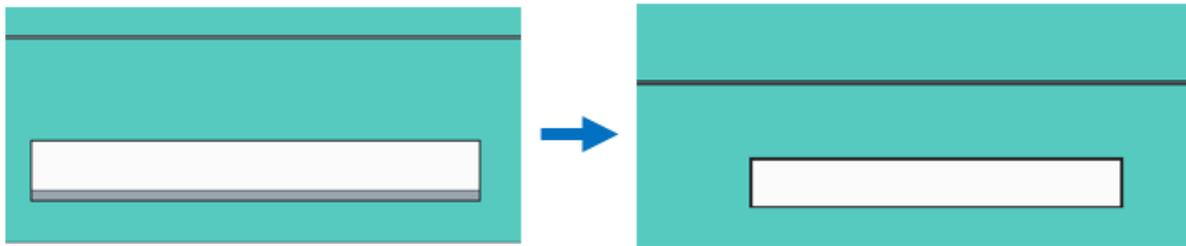


ILUSTRACIÓN 79 AUMENTO DE ESPESOR EN VENTANAS

2.- Se homologan los espesores de las caras (ilustración 80)

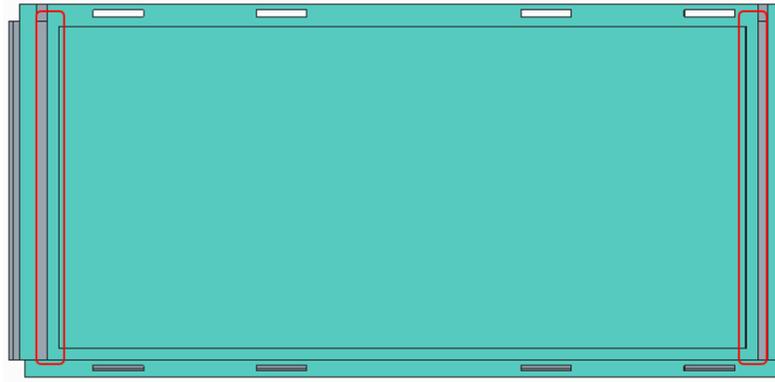


ILUSTRACIÓN 80 HOMOLOGACIÓN DE ESPESORES EN CARAS

3. Se agrega diseño de costillas para disminuir la deformación en las esquinas (ilustración 81).

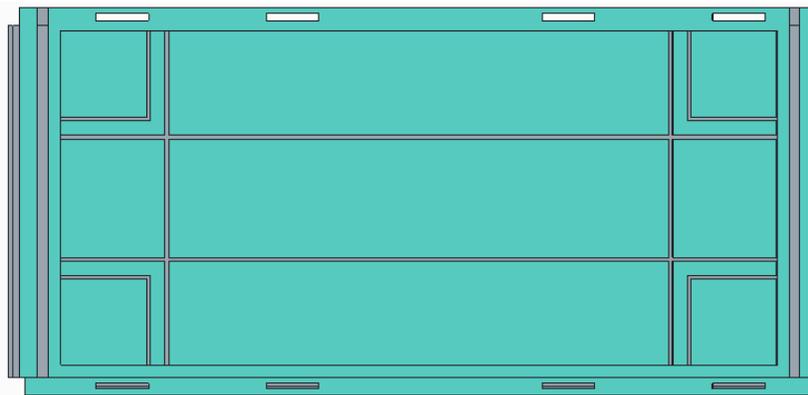


ILUSTRACIÓN 81 DISEÑO DE COSTILLAS PARA PIEZA "LARGA"

3.5.4 Pieza mod2_base.

A continuación, se enumeran los ajustes realizados en esta pieza:

1.- Se agregan los radios en las esquinas interiores para mejorar el proceso de desmoldeo (ilustración 82).

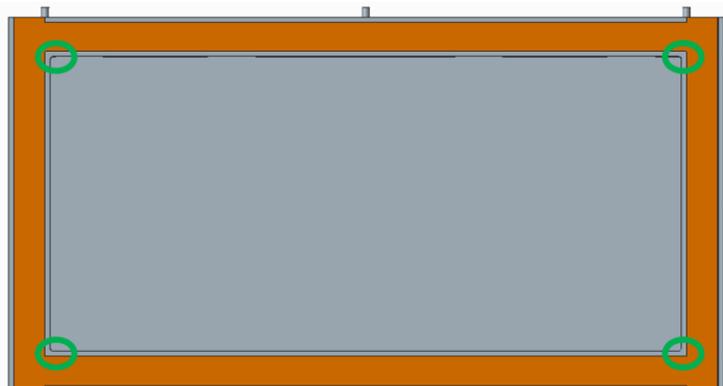


ILUSTRACIÓN 82 UBICACIÓN DE RADIOS PARA PIEZA "BASE"

2.- Se agregan costillas para reducir la deformación (ilustración 83).

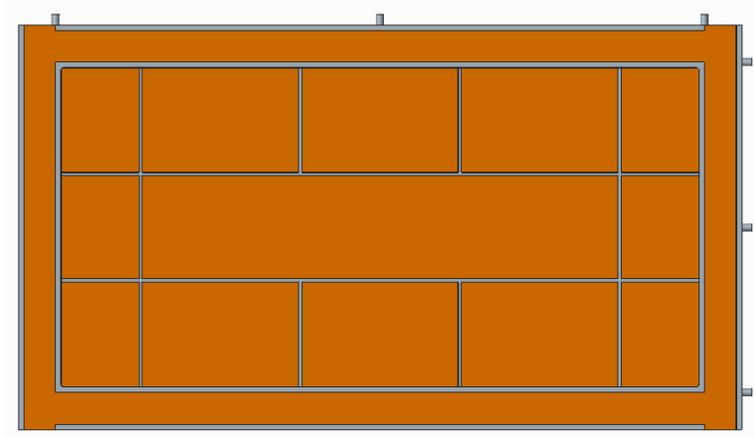


ILUSTRACIÓN 83 DISEÑO DE COSTILLAS EN PIEZA "BASE"

El contenedor final se muestra a continuación (ilustración 84):

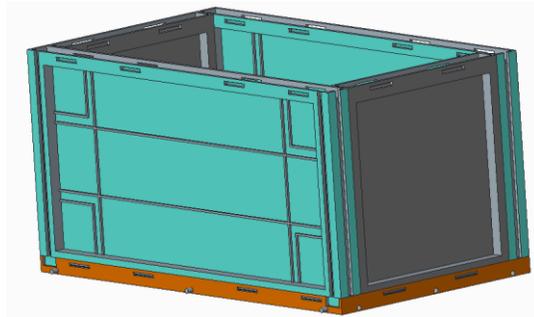


ILUSTRACIÓN 84 DISEÑO DE CONTENEDOR FINAL CON RETROALIMENTACIÓN DE SIMULACIÓN DE INYECCIÓN

CAPITULO 4

4.1 Diseño conceptual fase dos.

Con la información obtenida del desarrollo del primer contenedor y retomando algunos de los diseños propuestos en primera instancia se trabaja en el desarrollo de un segundo set de piezas que cumplieran con las características antes mencionadas. Esto debido a que se busca tener una mejor opción en la geometría de las piezas, reducción de peso y reducir la cantidad de piezas. A continuación, se enuncian las ventajas obtenidas de este nuevo juego de piezas.

4.2 Comparativo de piezas mod1 vs mod2.

A continuación, se listan algunas de las ventajas de la propuesta dos contra la propuesta uno:

1. Reducción de un numero de parte. El desarrollo de tan solo un numero de parte extra para la planta genera una gran implicación en los sistemas internos manejados por Mabe, desde el costo, manejo y ensamble interno de la pieza, por lo que la reducción es un gran beneficio a nivel estructuras.
2. Reducción de costos en el desarrollo de moldes. El diseño de un molde menos reduce el costo de inversión por lo cual se puede llegar al retorno de inversión objetivo en un menor tiempo.
3. Ensamblabilidad de las piezas. Al reducir el número de partes se resta complejidad en las piezas y facilitaría el ensamble para los operadores.
4. Reducción en peso de piezas. Uno de los mayores objetivos del diseño del contenedor es que su peso no sea una limitante para la capacidad máxima de carga del contenedor, (el diseño anterior de una sola pieza inyectada tenía un peso de casi 3kg, mientras que la capacidad de carga estaba reducida de 15Kg a 12Kg descontando el peso del contenedor). Con el diseño de este nuevo juego de piezas logramos reducir lo siguiente:

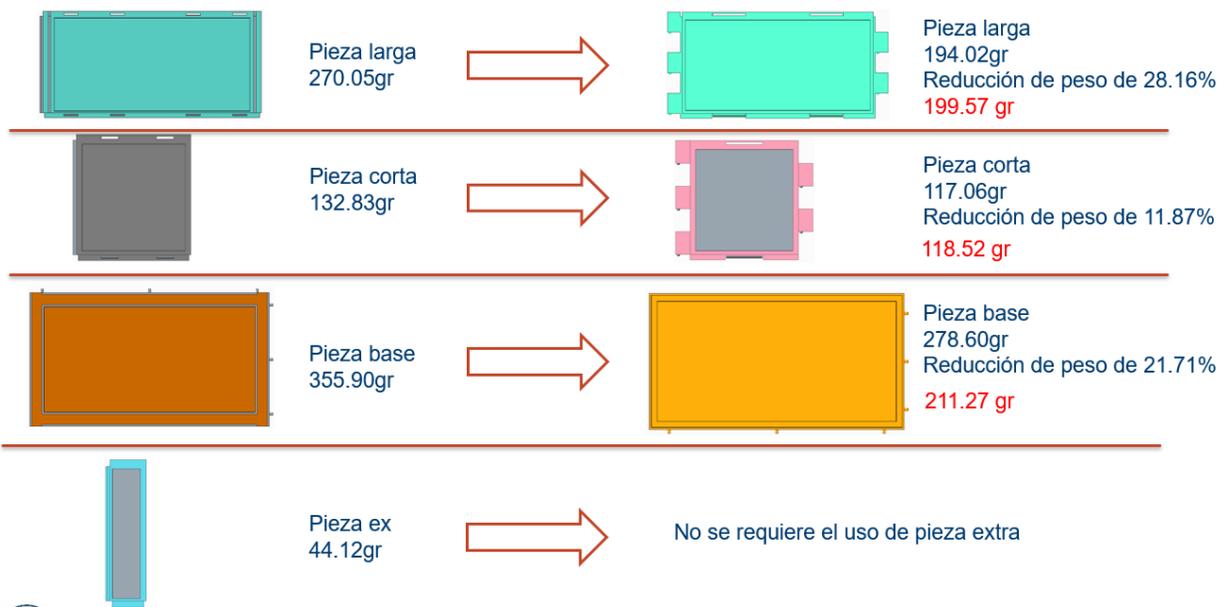


ILUSTRACIÓN 85 COMPARATIVO DE REDUCCIÓN DE PESO

El peso del contenedor base de 6x12in en la primera propuesta era de aproximadamente 1.161Kg, mientras que para la propuesta dos .847Kg lo cual es una reducción del 27% un poco más de una cuarta parte de la

primera propuesta, la cual es un beneficio muy grande ya que no comprometimos la estructura del contenedor.

A continuación, se explican los nuevos diseños:

4.1.1 Rediseño de pieza larga.

El primer cambio es la unión lateral de la pieza, en esta primera iteración se diseñan esferas que entraran a presión en su contraparte hembra, la cual contará con los orificios que permitan la unión de la pieza en un ángulo de 90° así como también 0° o 180° . (Ilustración 86)

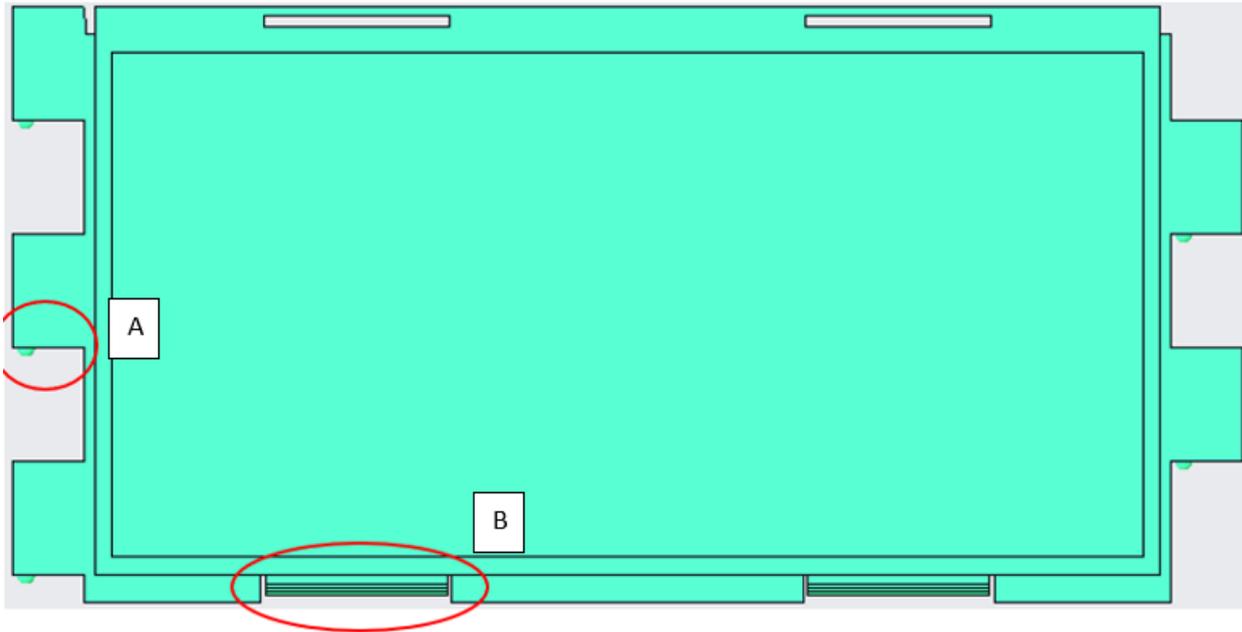


ILUSTRACIÓN 86 CAMBIO DE UNIÓN LATERAL POR MEDIO DE ESFERAS (A) UNIÓN POR MEDIO DE SNAPS DE 4 A 2 (B)

La vista superior de los orificios se muestra en la ilustración 87:

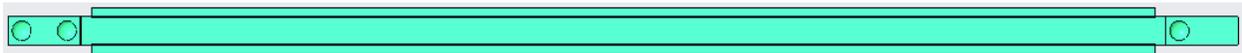


ILUSTRACIÓN 87 VISTA SUPERIOR DE PIEZA "LARGA"

Los snaps son otra de las partes que obtienen un cambio, en lugar de utilizar 4 posicionados en la parte inferior de la pieza se reducen a dos teniendo una distancia mucho mayor que permitirá un agarre más robusto y sencillo de implementar.

A su vez la parte inferior de la pieza se retrabaja de tal manera que se mantienen los espesores de .1" del diseño anterior sin perder la flexibilidad de la pieza, por lo que se independiza el snap de la base de la pieza, permitiendo que el snap se deforme al realizar la unión y recobrando su posición para la sujeción, esto se puede apreciar en la ilustración 88:

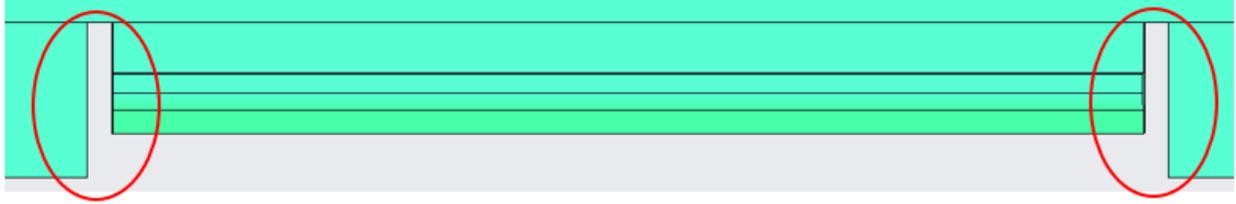


ILUSTRACIÓN 88 SE INDEPENDIZA EL SNAP PARA TENER FLEXIBILIDAD

De igual manera se realiza un detalle que separe los snaps frontales de los traseros para permitir la deformación presionando donde indican las flechas. El cual se puede apreciar en la ilustración 89.

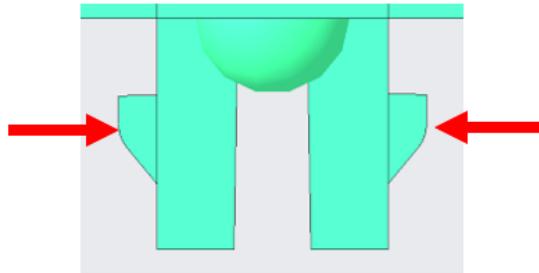


ILUSTRACIÓN 89 LAS FLECHAS INDICAN DONDE SE APLICARÁ LA FUERZA PARA LA DEFORMACIÓN

4.1.2 Rediseño de pieza corta.

La pieza corta mantiene las mismas características de la pieza larga a diferencia de que en lugar de tener dos snaps se reduce a uno. Esto se puede apreciar en la ilustración 90.

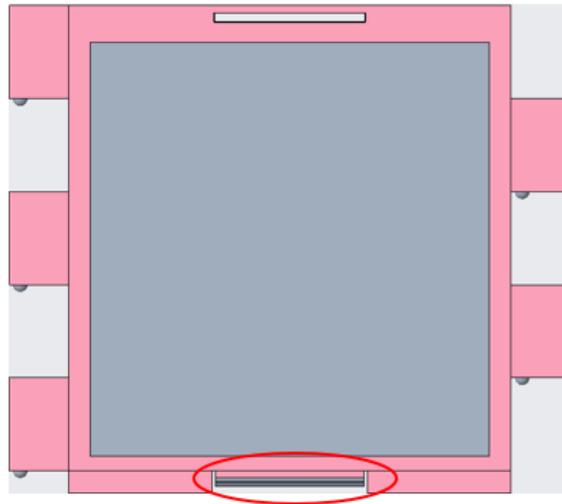


ILUSTRACIÓN 90 PIEZA "CORTA" VISTA FRONTAL CAMBIO DE DISEÑO DE SNAP

4.1.3 Rediseño de pieza base.

La modificación más significativa en la base fue diseñar la base “lisa” para tener una superficie completamente plana, a diferencia del modelo anterior en el cual las costillas se encontraban hacia el interior del contenedor en este modelo se encuentran hacia la parte inferior de la base.

De la misma manera que el modelo anterior las piezas se van a alojar por medio de snaps en las orillas de la base (marcado en color verde) y se mantienen los detalles que unen las bases de manera paralela.

Se diseñan los detalles que permitirán realizar la estiba de los contenedores y evitar el deslizamiento.

Con estos diseños se comienzan las iteraciones para mejorar la sujeción lateral y la propuesta de los snaps, estos cambios se pueden apreciar en la ilustración 91.

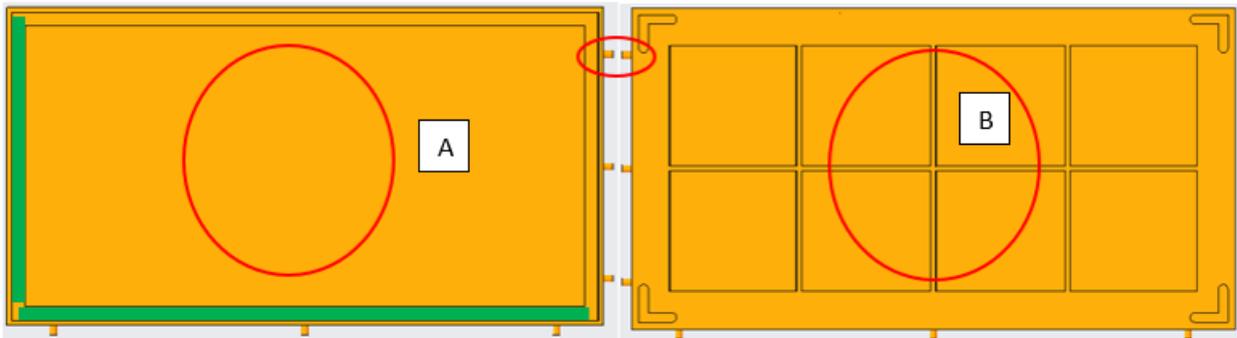


ILUSTRACIÓN 91 PIEZA "BASE" CAMBIO A DISEÑO LISO EN PARTE INFERIOR (A) Y DISEÑO DE COSTILLAS EN PARTE INFERIOR (B)

4.3 Desarrollo de prototipos.

Para la validación de estos nuevos modelos se proceden a imprimir un par de piezas a escala en las cuales una se mantiene el lado derecho y en la otra el izquierdo; en las que se mantienen las dimensiones finales los detalles de unión, en la ilustración 92:

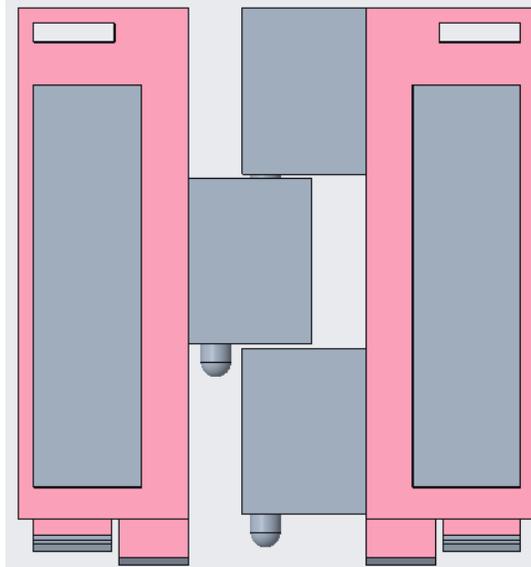


ILUSTRACIÓN 92 SE DISEÑA SOLO LA MITAD DE LA PIEZA Y SU CONTRAPARTE PARA REALIZAR PRUEBAS DE ENSAMBLE

4.3.1 Primera iteración.

En esta primera iteración se detecta que las paredes de los detalles son muy delgadas, provocando que se deforme a unirlos por primera vez, a su vez el “gap” que se dejó entre las piezas es muy grande provocando que la pieza tenga juego de manera vertical. El gap se aprecia encerrado en rojo en la ilustración 93.



ILUSTRACIÓN 93 PRIMERAS PIEZAS 3D, SE TIENE UN GAP MUY AMPLIO EN EL ENSAMBLE LATERAL

Los snaps tienen un espesor muy grande, por lo cual no se están deformando y no permiten la unión de las piezas, como se puede apreciar en la ilustración 94 encerrado en rojo.

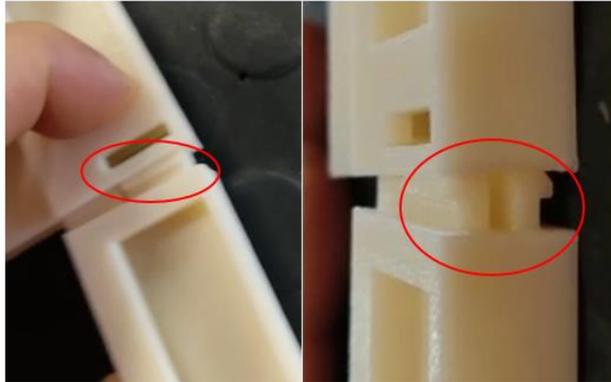


ILUSTRACIÓN 94 EL ENSAMBLE VERTICAL NO ES ADECUADO, NO SE CUENTA CON FLEXIBILIDAD PARA REALIZAR LA UNIÓN

Adicional el taller de modelos realiza las siguientes recomendaciones para mejorar el ensamble de las piezas:

1. Colocar pequeños chaflanes en las orillas de las piezas que faciliten la unión de los snaps, generando un pequeño desliz y direccionando los snaps a su posición final. (Ilustración 95)

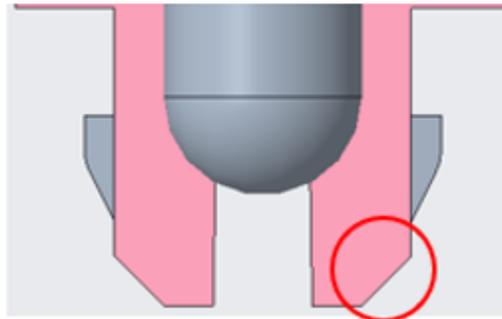


ILUSTRACIÓN 95 PROPUESTA DE DISEÑO, COLOCAR CHAFLANES PARA FACILITAR ENSAMBLE

2. Diseñar pequeñas guías que permitan que las esferas deslicen y se unan lateralmente, mostrado en ilustración 96.

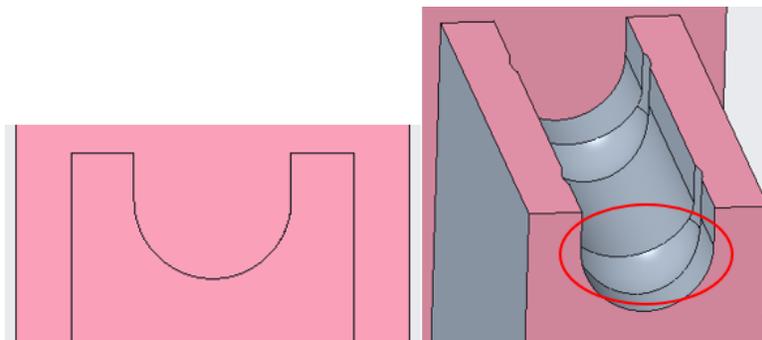


ILUSTRACIÓN 96 PROPUESTA DE DISEÑO, COLOCAR GUÍAS EN ENSAMBLE DE ESFERAS

El propósito de las guías es servir como una pequeña interferencia; mientras las guías tienen una dimensión de .200" de ancho la esfera cuenta con diámetro de .210", hasta llegar a las esferas las cuales tienen de radio .105" y es donde se realizará la unión. De esta manera la unión será más sencilla y se ganará un buen nivel de rigidez.

4.3.2 Segunda iteración.

El diseño del chaflán ayudó a que la pieza se ensamblara con mayor facilidad, sin embargo, se volvió a tener el problema por el espesor del propio snap, debido a que éste no se logra deformar lo suficiente para permitir la unión. (ilustración 97)

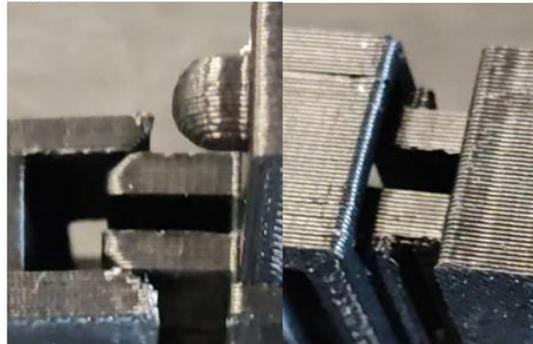


ILUSTRACIÓN 97 SEGUNDA IMPRESIÓN 3D

La guía ayudo en el ensamble lateral, sin embargo, las dimensiones no se encontraban proporcionadas de manera correcta por lo que el ensamble a 90° no se podía realizar.

Al aumentar los espesores se movieron los centros de las piezas por lo cual se tiene que volver a rediseñar la pieza y jugar con las dimensiones de los aumentos de espesor para asegurar el correcto ensamble. (ilustración 98)

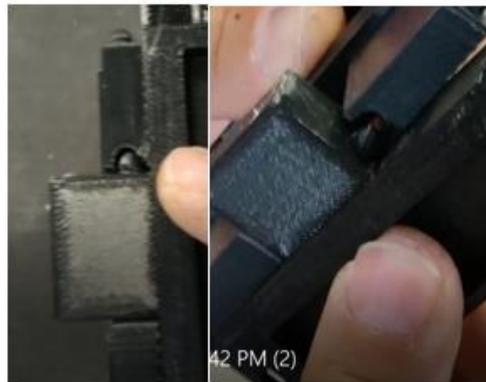


ILUSTRACIÓN 98 EL ESPESOR DEL SNAP SIGUE SIENDO MUY ALTO, SE SUGIERE AJUSTAR PARA LOGRAR EL ENSAMBLE

Aplicando teoría de snaps se diseña este nuevo concepto el cual es probado en el tercer prototipo. En la ilustración 99 se muestra el rediseño del snap.

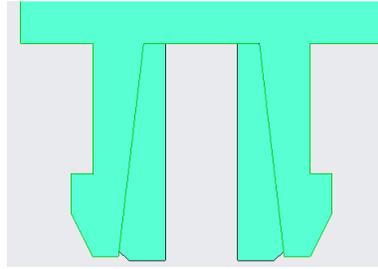


ILUSTRACIÓN 99 REDISEÑO DE GEOMETRÍA DE SNAP PARA FACILITAR EL ENSAMBLE

4.3.3 Tercer iteración.

En este prototipo ya resuelve el detalle del gap y se retrabajan de manera manual las esferas para llegar a la altura ideal para tener una unión más suave y a la vez una unión rígida. (ilustración 100)



ILUSTRACIÓN 100 IMPRESIÓN 3D DE TERCER PROTOTIPO

El nuevo diseño de los snaps presenta una mejoría muy alta, solo el espesor de la base tiene que aumentarse un poco para evitar que se dañen y aumentar el ciclo de vida. (ilustración 101)

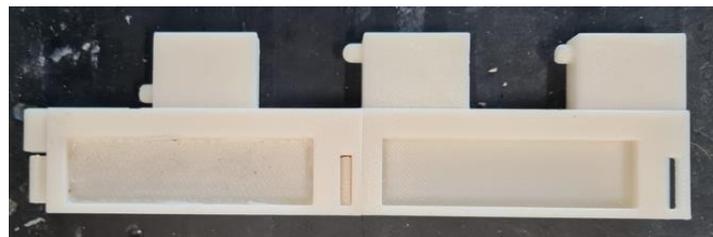


ILUSTRACIÓN 101 ENSAMBLE DE PIEZAS CON REDISEÑO DE SNAP

4.3.4 Cuarta iteración.

Para el cuarto prototipo se procede a imprimir las piezas en tamaño real en material ABS, incluyendo las recomendaciones que resultaron del primer estudio de inyección, las piezas finales se muestran en la ilustración 102:

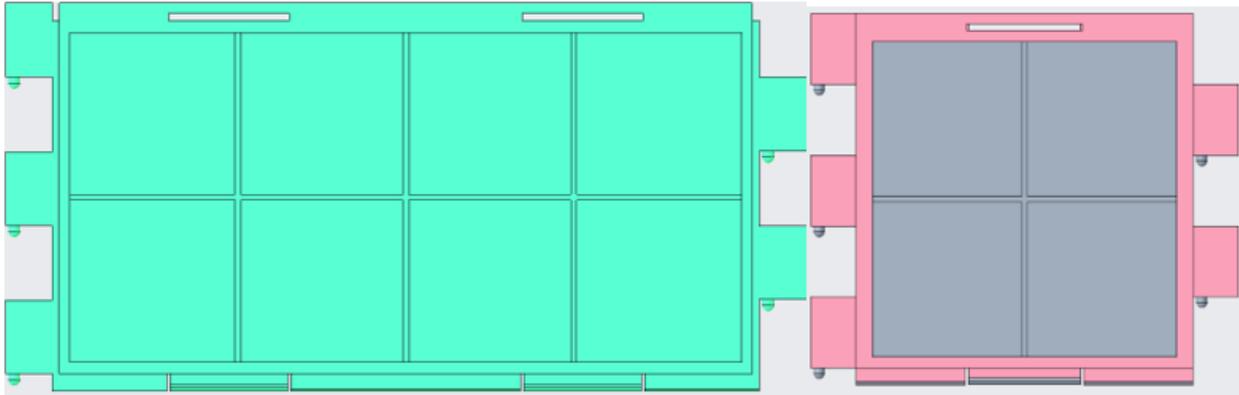


ILUSTRACIÓN 102 DISEÑO DE PIEZAS FINALES

Para la pieza base se agregan más detalles correspondientes que ayudan a reforzar la unión de las bases, con esto se puede aumentar la cantidad de peso que pueden cargar los contenedores. Además, se aumenta el largo para asegurar la rigidez de la unión. (ilustración 103)

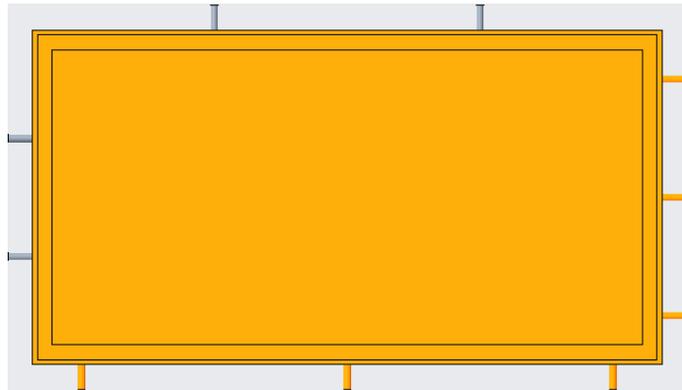


ILUSTRACIÓN 103 REDISEÑO DE DETALLES DE ENSAMBLAJE LATERAL DE PIEZAS "BASE"

El modelo final se puede apreciar en la ilustración 104 y en la ilustración 105 se puede apreciar el modelo impreso en 3D.

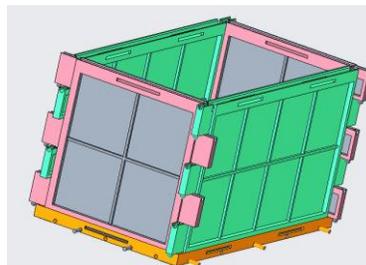


ILUSTRACIÓN 104 DISEÑO FINAL DE CONTENEDOR



ILUSTRACIÓN 105 IMPRESIÓN 3D A TAMAÑO REAL DE CONTENEDOR

4.4 Análisis de geometría finita concepto final.

Se realiza un análisis de esfuerzos en el modelo final del 3D utilizando como referencia los estudios anteriores de las piezas, de esta manera se optimiza el diseño y se reduce el tiempo de iteración entre los rediseños. El material utilizado es polietileno de alta densidad.

4.4.1 Simulación en base y funcionalidad de pines.

Se simula una carga de 15Kg sobre y 30Kg sobre dos puntos diferentes de la pieza base, el primero es sobre los pines; estos detalles son muy importantes debido a que estarán cargando el peso de lo que se coloque dentro del contenedor y nos permitirá asegurar que los contenedores de mayor tamaño puedan ser funcionales.

La ilustración 106 muestra la simulación de una carga de 15Kg uniformemente distribuida sobre toda la base del contenedor y los pines laterales soportan este peso simulando que está unido a otra pieza. Se puede observar que el esfuerzo máximo de Von Mises es de 4.43MPa mientras que el esfuerzo de cedencia se encuentra en los 13.8MPa. Para la carga de 30Kg (ilustración 107) el esfuerzo de Von Mises máximo es de 10.8MPa, para ambos casos los pines cumplen su función y resisten la carga de 15Kg solicitada por Mabe.

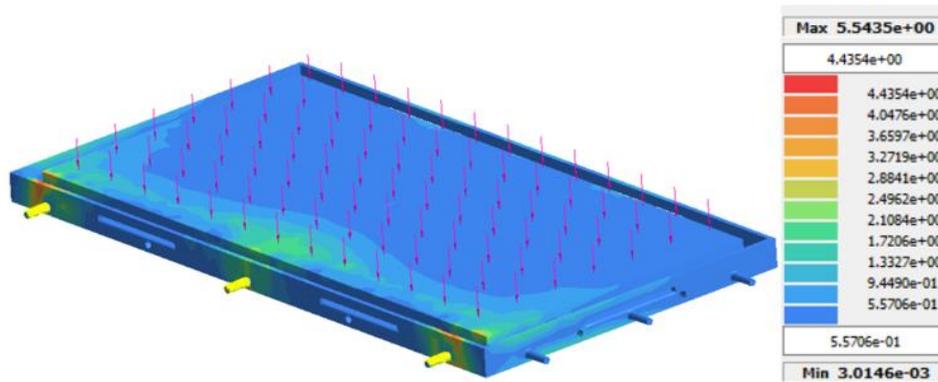


ILUSTRACIÓN 106 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ESFUERZO EN PINES CON CARGA DISTRIBUIDA DE 15KG

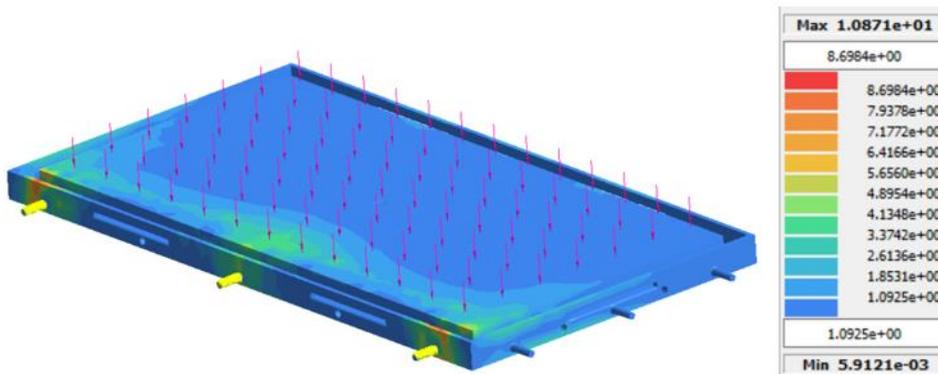


ILUSTRACIÓN 107 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO EN PINES CON CARGA DISTRIBUIDA DE 30KG

Cabe destacar que este peso de 15Kg solo es considerado para los contenedores de 6inx12in, 12inx12in y 12inx24in, esto debido a que ese es el tamaño que podría ser cargado con facilidad por un operador, los contenedores de tamaños superiores son trasladados por un montacargas con tarimas.

La segunda simulación que se realiza en los pines consta de colocar directamente sobre ellos una carga de 15Kg (ilustración 108) y 30Kg (ilustración 10) en lugar de estar distribuida en toda la base, esto para estresar los pines a un mayor nivel. Se sabe que nunca se tendrá una carga de 15Kg directamente sobre ellos, pero nos sirve para validar la resistencia de estos y que no se vayan a romper.

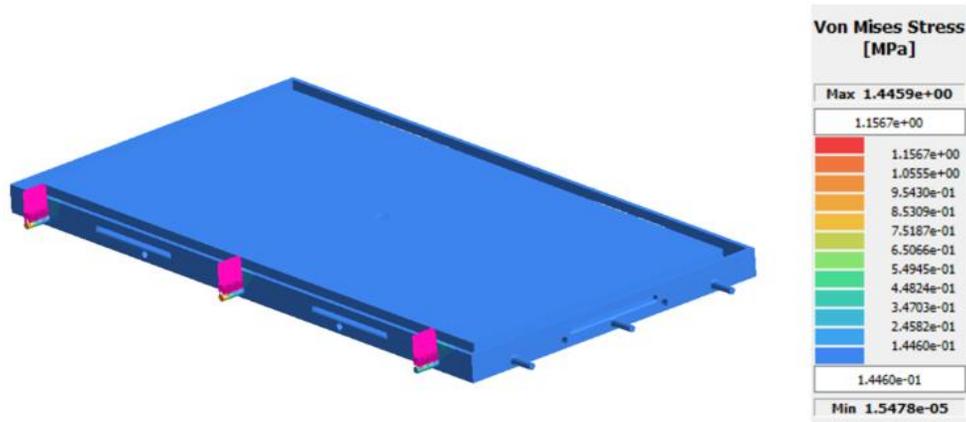


ILUSTRACIÓN 108 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO CON CARGA EN PINES 15KG

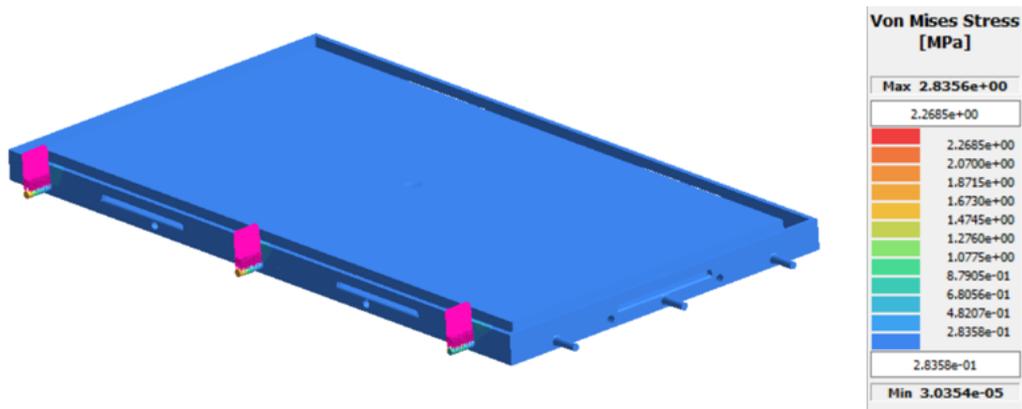
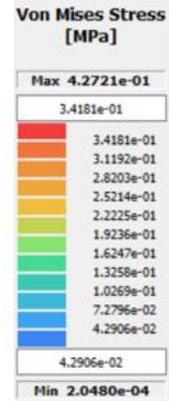
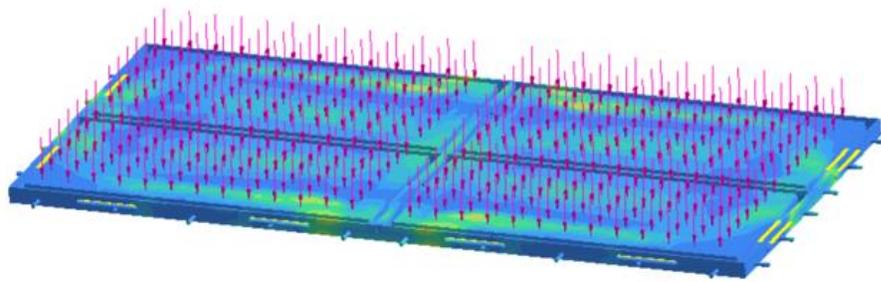


ILUSTRACIÓN 109 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO EN PINES 30KG

4.4.2 Simulación en bases unidas y snap.

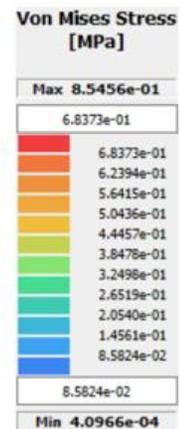
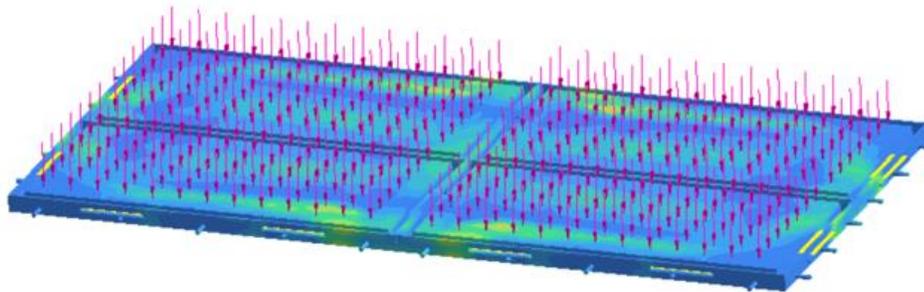
El siguiente análisis de elemento finito que se realiza consiste en colocar una carga sobre las bases ensambladas de la medida de 12inx12in, con este análisis se validan los siguientes puntos:

1. Al tener el ensamble de las bases y colocar la carga distribuida en las misma se evalúa que los detalles de unión puedan soportar la carga
2. Se coloca como punto de soporte la superficie donde ensamblan los snaps, esto para validar que los mismos van a soportar los 15Kg al sujetar el contenedor por las caras laterales.
3. Validar que los espesores seleccionados en esa zona sean los adecuados para la carga seleccionada y no se tengan que colocar costillas de refuerzo



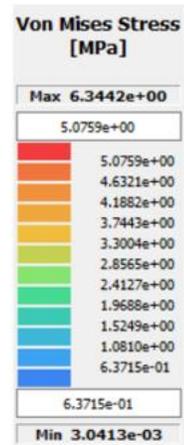
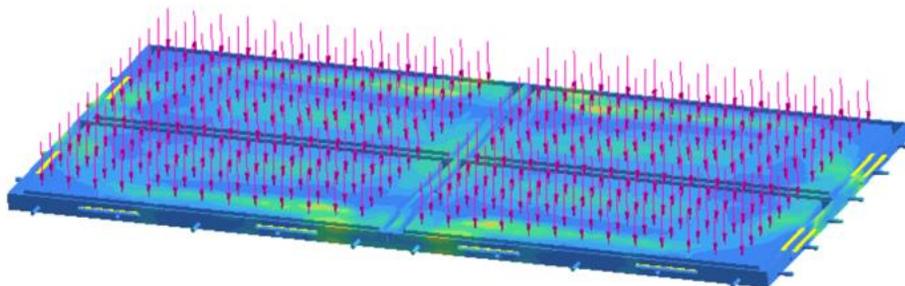
15Kg

ILUSTRACIÓN 110 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO BASES UNIDAS CON CARGA UNIFORME DE 15KG



30Kg

ILUSTRACIÓN 111 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO BASES UNIDAS CON CARGA UNIFORME DE 30KG



50Kg

ILUSTRACIÓN 112 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO BASES UNIDAS CON CARGA UNIFORME DE 50KG

La conclusión de este estudio es que la unión de la base es lo suficientemente robusta para soportar el peso de hasta 50Kg, aunque el peso considerado por la especificación son los 15kg

4.4.3 Simulación de manejo de contenedor.

Esta simulación consiste en sujetar el contenedor desde algún extremo mientras se encuentra con una carga uniforme sobre la base de 15Kg y 30Kg. A continuación, se puede observar en la ilustración 113.

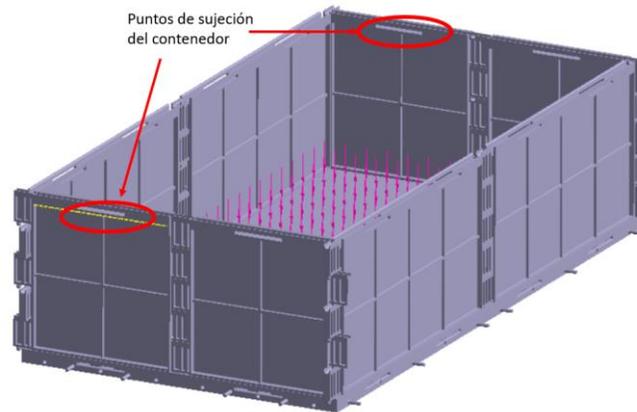


ILUSTRACIÓN 113 CONDICIONES DE FRONTERA

Los resultados del análisis son satisfactorios, mostrando que el contenedor sujetado desde un extremo nos permite mantener una carga de 15Kg (ilustración 114) y 30Kg (ilustración 115) sin sobrepasar el estrés de cedencia en sus uniones tanto laterales como entre las bases.

Además, también se puede observar que las costillas que se diseñaron para la versión anterior del contenedor continúan cumpliendo la función de reforzar el interior del contenedor a pesar de haber homologado los espesores de la pieza.

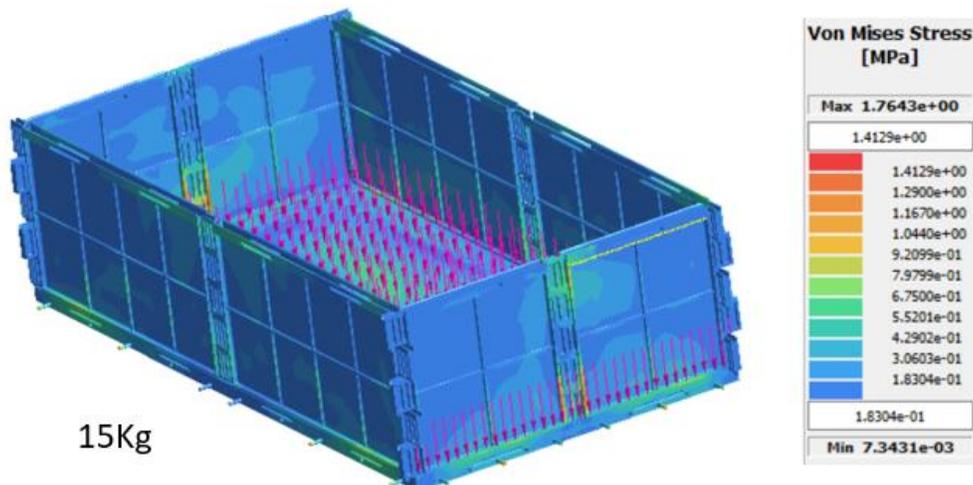


ILUSTRACIÓN 114 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CONTENEDOR CON CARGA DE 15KG

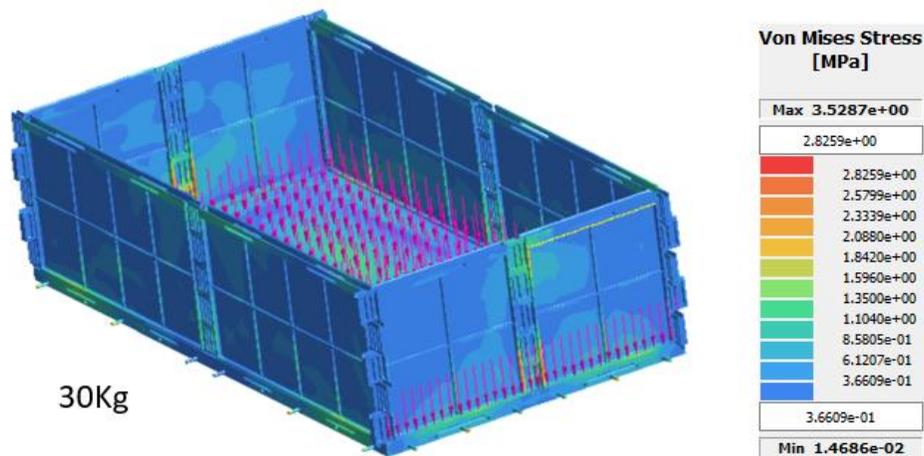


ILUSTRACIÓN 115 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CONTENEDOR CON CARGA DE 30KG

En la ilustración 116 se presenta una deformación de 3mm con el peso de 30Kg, esta deformación se presenta al centro del contenedor. Para la carga de 15Kg la deformación disminuye a 2mm la cual se encuentra dentro de lo esperado debido a la naturaleza del contenedor, para la primera corrida de piezas se decide proceder bajo estas condiciones y evaluar una vez que se tengan los primeros contenedores inyectados.

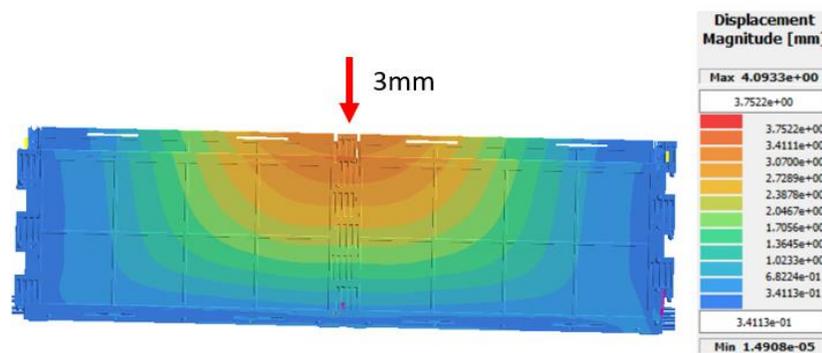


ILUSTRACIÓN 116 RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO EN CONTENEDOR CON CARGA DE 30KG

Este análisis se lleva a cabo solo en este tamaño de contenedor debido a que se considera el tamaño más crítico entre las diferentes combinaciones, ya que es el que permite el mayor peso y tendría más manejo de entre las plantas. Para el contenedor de 24inx36in se tiene pensado que su manejo se lleve a cabo en tarimas por lo que con la información recuperada de este análisis se puede validar el ensamble y factibilidad de las piezas.

4.4.4 Análisis de estiba.

Se lleva a cabo un análisis de elemento finito que simula la estiba de 3, 6 y 9 contenedores colocados uno sobre el otro cada uno con el peso máximo de 15Kg, por lo que el contenedor inferior está cargando un peso de 135Kg en el último caso, la especificación refiere 6 contenedores por lo que como se puede apreciar aún con 9 contenedores no se presenta alguna deformación y permite que se pueda realizar una estiba aún mayor.

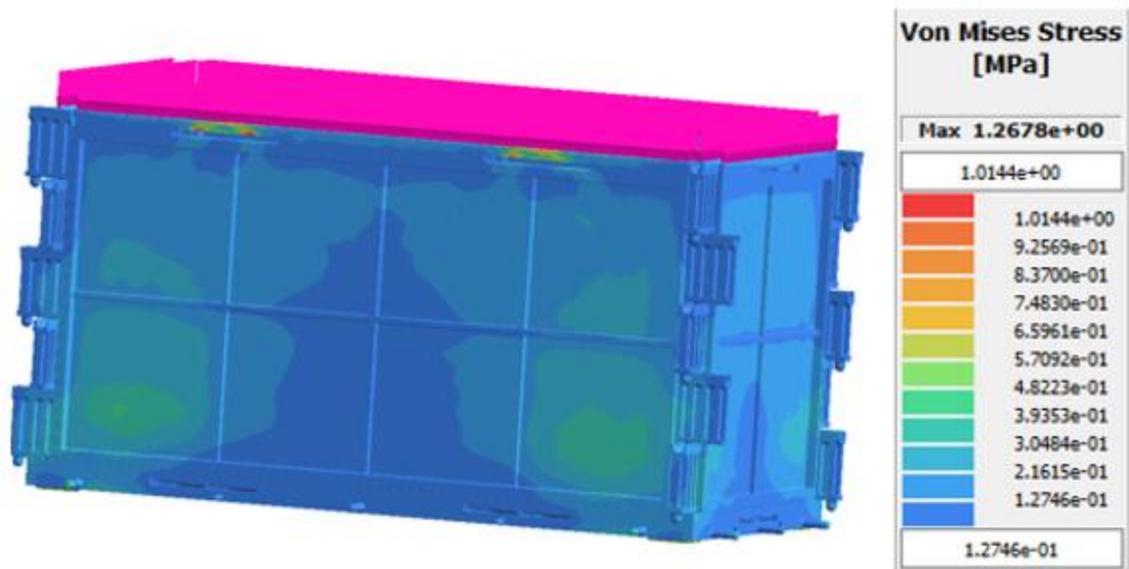


ILUSTRACIÓN 117 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ESTIBA CON 3 CONTENEDORES

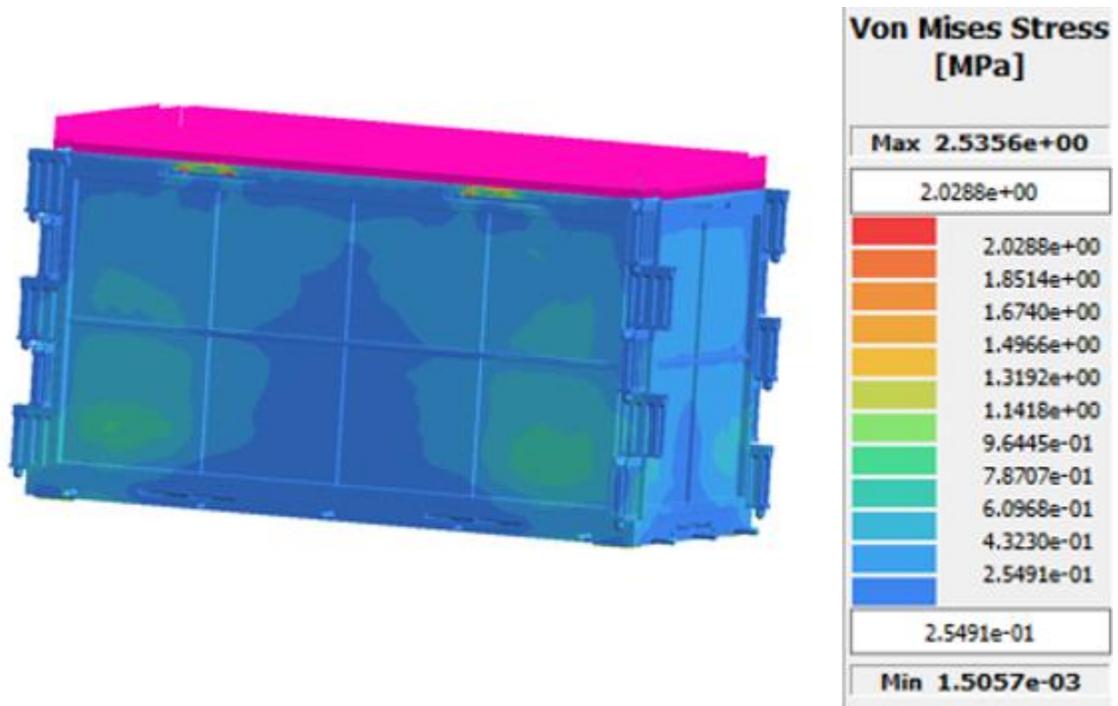


ILUSTRACIÓN 118 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ESTIBA CON 6 CONTENEDORES

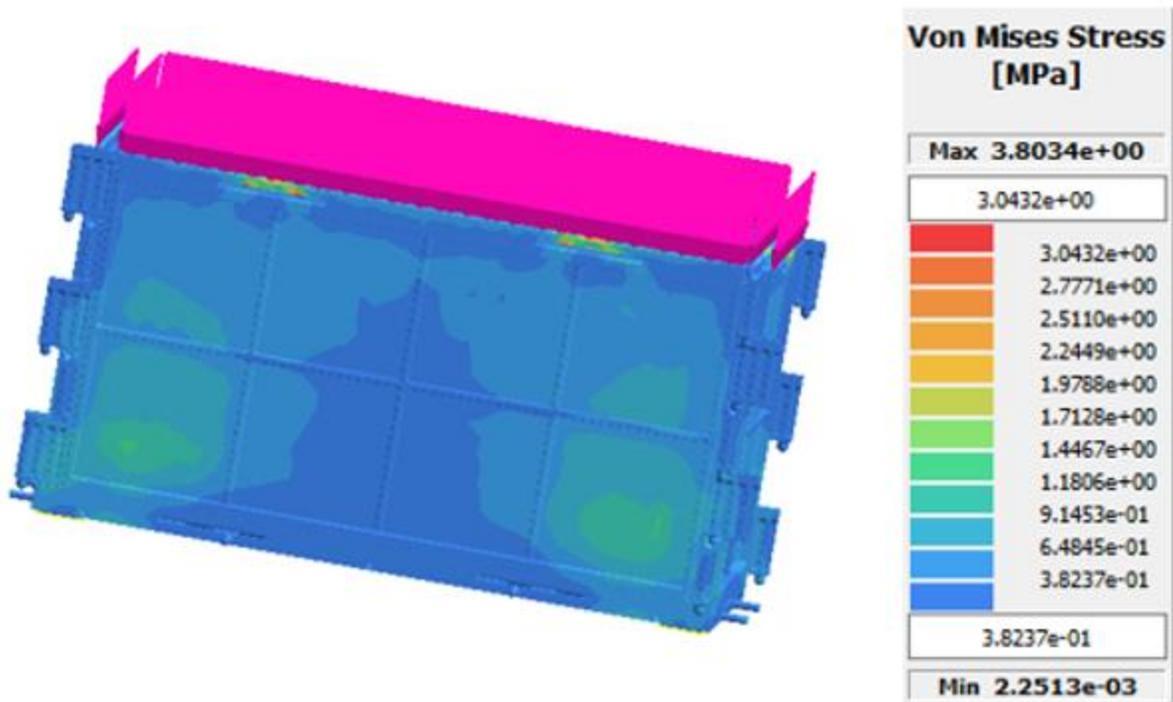


ILUSTRACIÓN 119 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ESTIBA CON 9 CONTENEDORES

4.5 Simulación de flujo para manufacturabilidad modelo final

Se llevó a cabo un análisis de llenado de cavidad con el software Autodesk moldflow adviser® para validar los ángulos de desmoldeo de las piezas, los puntos de inyección, tiempos de llenado y la predicción de la calidad en las piezas. Los parámetros bajo los que se realizó el estudio son:

Un punto de inyección directa en la parte superficial de la pieza, utilizando una colada fría. El material por utilizar es PEHD Pemex 65050, pero al no contar con el mismo en la base de datos de Moldflow se utiliza el PEHD Marlex 9005 Chevron Philips, por cuestiones de caracterización no se pudo realizar en el material, por lo que se optó en utilizar un material alternativo utilizando como punto de comparación la densidad del polietileno de Pemex y el material más cercano a las propiedades fue el Chevron de Philips, a futuro se caracterizará el material que se tiene como referencia.



HOJA TÉCNICA DE ESPECIFICACIÓN

POLIETILENO ALTA DENSIDAD GRADO 65050

Identificación: PETI-037

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Índice de fluidez (ISO/1218 kg)	g/10 min.	ASTM-D-1238	4.0 - 6.0
Densidad	g/cm ³	ASTM-D-1505	0.9635- 0.9695
PROPIEDADES			** VALOR TÍPICO
Resistencia a la Tensión (cedencia *)	MPa	ASTM-D-638	30.4
Resistencia a la Tensión (ruptura *)	MPa	ASTM-D-638	17.1
Impacto Izod (*) método A	J/m	ASTM-D-256	54
Módulo de Flexión (*)	MPa	ASTM-D-790	60.2
Resistencia Ambiental (ESCR) (F50) condición A (*)	hrs	ASTM-D-1693	2-3
Dureza Shore (*)	Tipo D	ASTM-D-1706	64
Temperatura de Reblandecimiento (Vicat) (*)	°C	ASTM-D-1525	128
Distancia de Flujo en espiral (SFD)	cm	ASTM-D-3123	62
Temperatura de fusión	°C	ASTM-E-794	130

Este producto contiene aditivo antioxidante, lubricante y protector ultravioleta

Marlex® 9005 Polyethylene
HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)

This high density polyethylene is an ethylene-hexene copolymer that is tailored for injection molded applications that:

- Require moderate flow
- Require excellent impact strength
- Require excellent ESCR
- Require good warpage resistance
- Are durable and recyclable for sustainability

This resin meets these specifications:

- ASTM D4976 - PE 233
- FDA 21 CFR 177.1520(c) 3.2a, use conditions B through H per 21 CFR 176.170(c)
- UL94HB yellow card per UL file E349283

Typical injection molded applications for 9005 include:

- Industrial parts
- Seats
- Food and household containers
- Agricultural parts

Nominal Physical Properties ⁽¹⁾	English	SI	Method
Density	---	0.945 g/cm ³	ASTM D1505
Melt Index, 190 °C/2.16 kg	---	6.0 g/10 min	ASTM D1238
Tensile Strength at Yield, 2 in/min, Type IV bar	3,400 psi	23 MPa	ASTM D638
Elongation at Break, 2 in/min, Type IV bar	1,000 %	1,000 %	ASTM D638
Flexural Modulus, Tangent - 16:1 span:depth, 0.5 in/min	155,000 psi	1,070 MPa	ASTM D790
ESCR, Condition B (100 % Igepal), F50	90 h	90 h	ASTM D1693
Durometer Hardness, Type D (Shore D)	62	62	ASTM D2240
Vicat Softening Temperature, Loading 1, Rate A	250 °F	121 °C	ASTM D1525
Brittleness Temperature, Type A, Type I specimen	< -103 °F	< -75 °C	ASTM D746

ILUSTRACIÓN 120 HOJAS DE DATOS DE MATERIALES

Cabe destacar que este análisis de inyección es preliminar y sirve para encontrar las áreas de mejora dentro de las piezas para que finalmente sean enviadas con el proveedor que se encargará de diseñar el molde para posteriormente validar las sugerencias del proveedor contra los resultados obtenidos.

4.5.1 Pieza Base.

Como se puede apreciar en la ilustración 121 la calidad de la pieza en general tiene un 81% y se podría generar una pequeña hendidura en los extremos donde descansarían las piezas largo y corto, más sin embargo no compromete la calidad de esta y no genera problemas. (*AutoDesk MoldFlow Quality prediction, s. f.*)

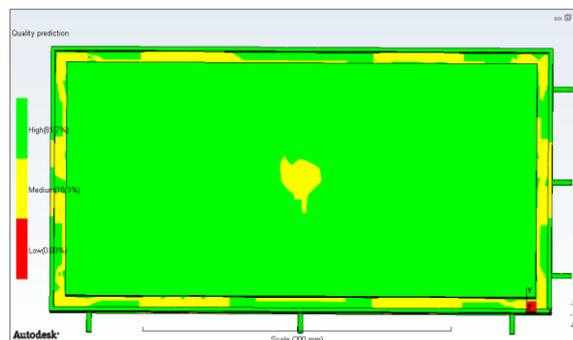


ILUSTRACIÓN 121 REPRESENTACIÓN DE PREDICCIÓN DE CALIDAD

En la ilustración 122 se tiene la representación de aire atrapado y se observan pequeñas burbujas de aire en color rosa, se recomienda que se generen venteos que ayuden a las salidas de aire. (*Autodesk Moldflow Air Traps, s. f.*)

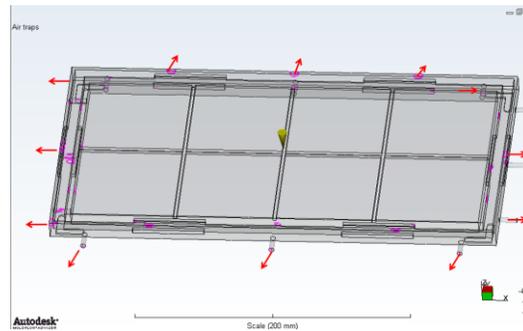


ILUSTRACIÓN 122 REPRESENTACIÓN DE AIRE ATRAPADO

En la ilustración 123 se muestra el resultado de la representación de las líneas de unión, en este caso se sugiere agregar costillas en forma de “X” o en forma de “panal” para reducirlas, Esta es una zona donde se realizarán ensamblajes por lo que se realizará el estudio de elemento finito para visualizar las concentraciones de esfuerzos y que la integridad de la pieza al ensamblar las paredes no se vea comprometida, (*Autodesk Moldflow Weld Lines, s. f.*)

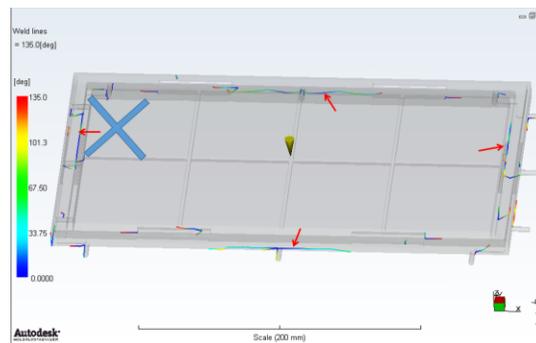


ILUSTRACIÓN 123 REPRESENTACIÓN DE LÍNEAS DE UNIÓN

En la ilustración 124 se muestra la representación de las marcas de hendidura promedio, y se observa que son de 0.006” a 0.012”, y se concluye que no comprometen la integridad estructural de la pieza ni el ensamble. (*Autodesk Moldflow Sink Marks, s. f.*)

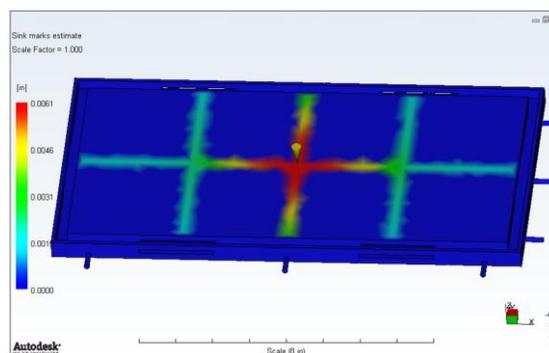


ILUSTRACIÓN 124 REPRESENTACIÓN DE HENDIDURAS

En la ilustración 125 se presenta una deformación de 0.058” que tiende a levantar la parte central de la pieza mientras que desplaza los extremos en dirección contraria, esto complicará el ensamble de las paredes por lo que es necesario realizar ajustes en la pieza que ayuden a disminuir esta deformación. (Autodesk Moldflow Warpage Tolerance, s. f.)

Lo más recomendable es colocar costillas en la parte inferior de la pieza en la zona de las esquinas.

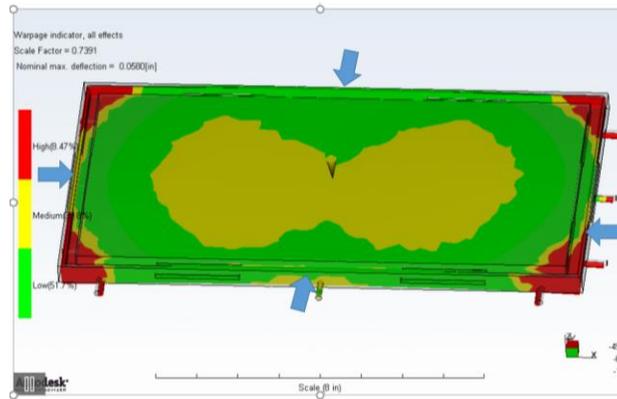


ILUSTRACIÓN 125 REPRESENTACIÓN DE DEFORMACIÓN

En la ilustración 126 se aprecia el proceso de llenado de la pieza base, con una dirección de flujo unidireccional y un tiempo de llenado de 4.23s.

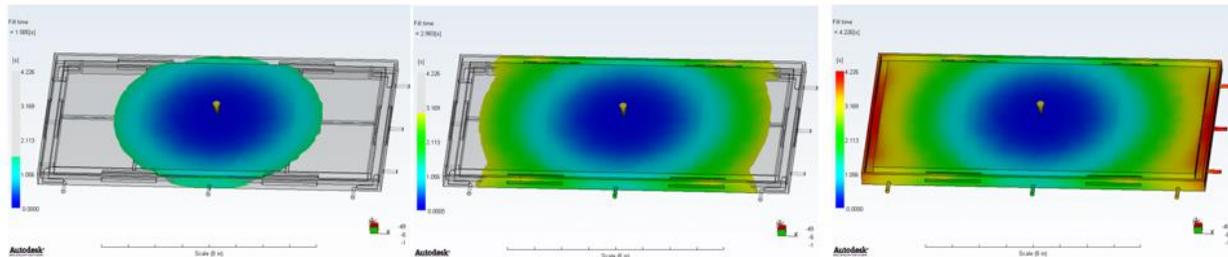


ILUSTRACIÓN 126 PROCESO DE LLENADO DE PIEZA BASE

En la ilustración 127 se puede observar las características del proceso de llenado, así como las dimensiones y peso final de la pieza

Your part can be filled easily but part quality may be unacceptable.

View the [Quality Prediction plot](#) and use the [Results Adviser](#) to get help on how to improve quality of the part.

Actual filling time	4.23 (s)
Actual injection pressure	22.867 (MPa)
Clamp force area	583.7295 (cm ²)
Max. clamp force during filling	80.672 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	98.95 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	4.14 (s)
Total part weight at the end of filling	173.646 (g)
Shot volume	221.6803 (cm ³)
Maximum clamp force during cycle	95.465 (tonne)
Max. wall shear stress	0.401 (MPa)
Total part weight	191.666 (g)
Cooling time	44.75 (s)
Cycle time	63.89 (s)

ILUSTRACIÓN 127 PARÁMETROS DE LLENADO DE PIEZA “BASE”

4.5.2 Pieza Corta.

La ilustración 128 muestra la predicción de la calidad de la pieza, se observa en un 77.3% por lo que se considera de buena calidad y se valida que los hendiduras no afecten el ensamble de las piezas. Sin embargo, es preciso homologar espesores y agregar radios en las zonas faltantes. (*AutoDesk MoldFlow Quality prediction, s. f.*)

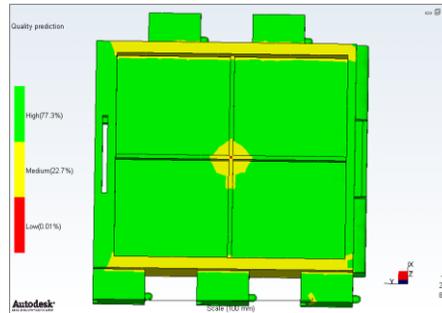


ILUSTRACIÓN 128 REPRESENTACIÓN DE LA PREDICCIÓN DE LA CALIDAD

Al igual que en la pieza base se presentan los venteos sugeridos para la salida del aire acumulado (ilustración 129). (*Autodesk Moldflow Air Traps, s. f.*)

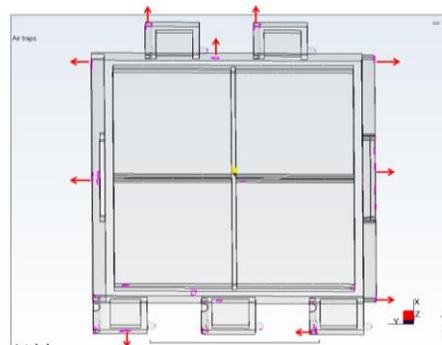


ILUSTRACIÓN 129 REPRESENTACIÓN DE AIRE ATRAPADO

La deformación en la pieza es muy similar a la pieza base con 0.064" (ilustración 130), no se ve afectado el ensamble de esta por lo que se procede únicamente con la homologación de espesores, además sería correcto tratar de considerar un diseño sobre las guías inferiores que permitan el desmolde en una sola dirección, esto también aplica para la pieza larga. (*Autodesk Moldflow Warpage Tolerance, s. f.*)

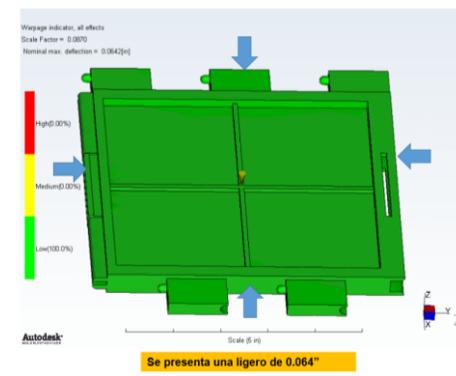


ILUSTRACIÓN 130 REPRESENTACIÓN DE DEFORMACIÓN

En la ilustración 131 se puede apreciar el proceso de llenado de la pieza corta, se puede observar que el llenado es de manera unidireccional y que la duración total del llenado es de 3.587s

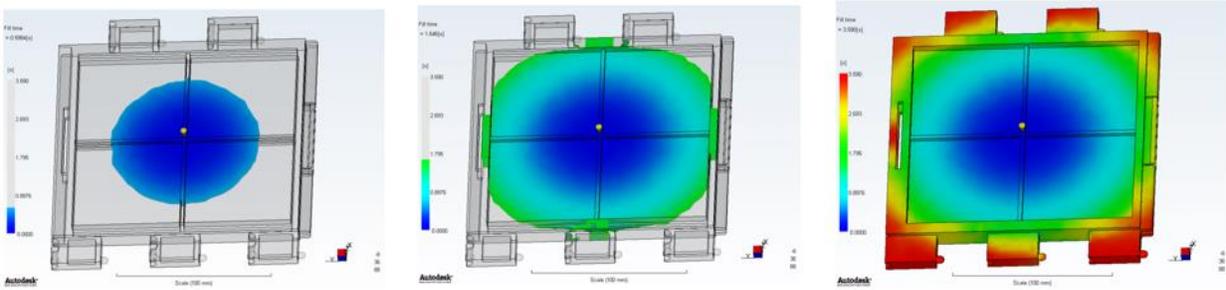


ILUSTRACIÓN 131 PROCESO DE LLENADO DE PIEZA CORTA

Finalmente, en la ilustración 132 se puede observar las características del proceso de llenado y el peso final de la pieza

Fill Analysis time

Your part can be filled easily but part quality may be unacceptable.
View the [Quality Prediction plot](#) and use the [Results Adviser](#) to get help on how to improve quality of the part.

Actual filling time	3.59 (s)
Actual injection pressure	16.113 (MPa)
Clamp force area	312.6205 (cm ²)
Max. clamp force during filling	22.470 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	99.09 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	3.52 (s)
Total part weight at the end of filling	88.053 (g)
Shot volume	124.4539 (cm ³)
Maximum clamp force during cycle	35.711 (tonne)
Max. wall shear stress	0.627 (MPa)
Total part weight	96.743 (g)
Cooling time	61.25 (s)
Cycle time	79.77 (s)

ILUSTRACIÓN 132 PARÁMETROS PROCESO DE LLENADO DE LA PIEZA "CORTA"

4.5.3 Pieza larga.

Al igual que la pieza larga y corta se tiene una muy buena calidad de la pieza final con un 83.9% (ilustración 133). (*AutoDesk MoldFlow Quality prediction, s. f.*)

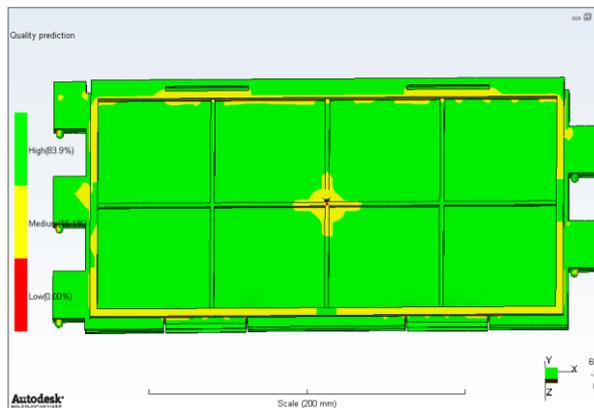


ILUSTRACIÓN 133 REPRESENTACIÓN DE PREDICCIÓN DE LA CALIDAD

La ilustración 134 muestra la representación del aire atrapado, se sugieren las ubicaciones de los venteos, homologar espesores y volver a evaluar. (*Autodesk Moldflow Air Traps, s. f.*)

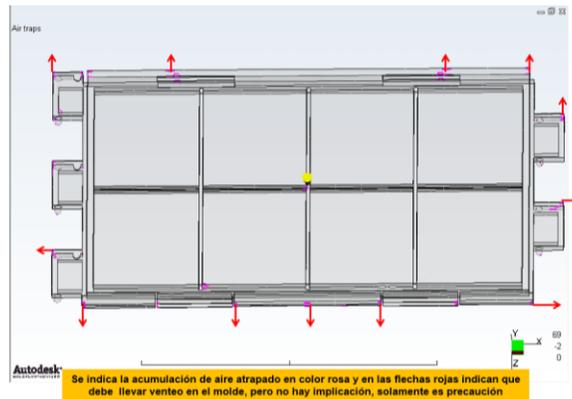


ILUSTRACIÓN 134 REPRESENTACIÓN DEL AIRE ATRAPADO

La ilustración 135 líneas de unión se mantienen como constante en las tres piezas, sin embargo, no presentan implicaciones estructurales. (*Audesk Moldflow Weld Lines, s. f.*)

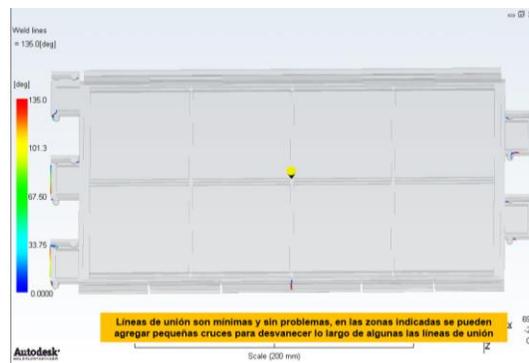


ILUSTRACIÓN 135 REPRESENTACIÓN DE LA LÍNEAS DE UNIÓN

En la ilustración 136 se puede apreciar el proceso de llenado de la pieza larga, se observa que la dirección es unidireccional y que el tiempo de llenado es de 3.96s.

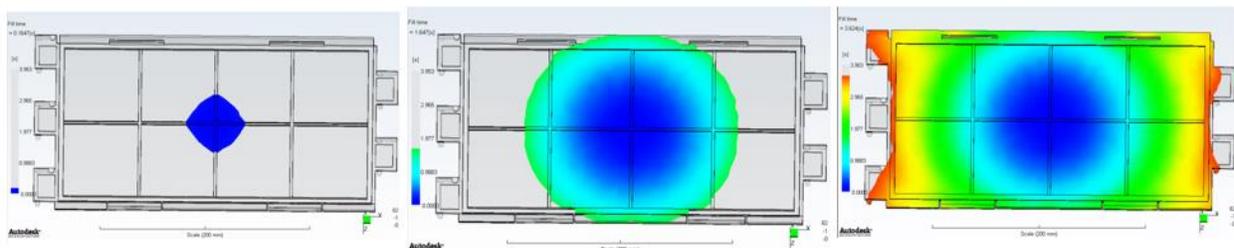


ILUSTRACIÓN 136 PROCESO DE LLENADO DE PIEZA LARGA

Finalmente, en la ilustración 137, los datos del peso y tiempo de ciclo, así como también los datos resultado del proceso de inyección:

Fill		Analysis tim
 Your part can be filled easily but part quality may be unacceptable.		
View the Quality Prediction plot and use the Results Adviser to get help on how to improve quality of the part.		
Actual filling time	3.96 (s)	
Actual injection pressure	25.899 (MPa)	
Clamp force area	100.5845 (cm²)	
Max. clamp force during filling	12.096 (tonne)	
Velocity/pressure switch-over at % volume	98.86 (%)	
Velocity/pressure switch-over at time	3.85 (s)	
Total part weight at the end of filling	148.825 (g)	
Shot volume	209.5916 (cm³)	
Maximum clamp force during cycle	18.269 (tonne)	
Max. wall shear stress	0.532 (MPa)	
Total part weight	165.938 (g)	
Cooling time	22.00 (s)	
Cycle time	40.85 (s)	

ILUSTRACIÓN 137 PARÁMETROS PROCESO DE LLENADO DE LA PIEZA "LARGA"

4.6 Ajustes de diseño a piezas.

Una vez realizado los análisis de inyección y el análisis de elemento finito se realizaron algunos ajustes para que el diseño de los moldes fuera más económico reduciendo la cantidad de mecanismos a utilizar; así como también que se facilitara el proceso de desmoldeo, los cambios realizados en las piezas se enumeran a continuación:

4.6.1 Punto de inyección.

Esto es muy importante ya que es la zona donde se inicia la inyección del material y nos genera un pequeño punto.

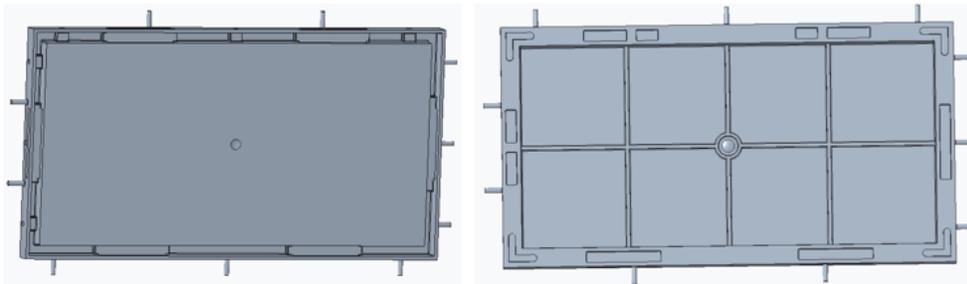


ILUSTRACIÓN 138 PUNTO DE INYECCIÓN EN PIEZA BASE

4.6.2 Rediseño de los snaps.

Este rediseño se lleva a cabo para facilitar el desmoldeo de la pieza, en el caso de la primera imagen el molde requería mecanismos para poder desmoldar en esa parte, lo que se busca en los moldes es que tengan un desmoldeo “natural” (esto significa que la placa superior y la inferior se desprendan hacia arriba y abajo permitiendo tener la pieza final con solo este movimiento). Al no utilizar mecanismos adicionales el costo del molde se reduce significativamente.

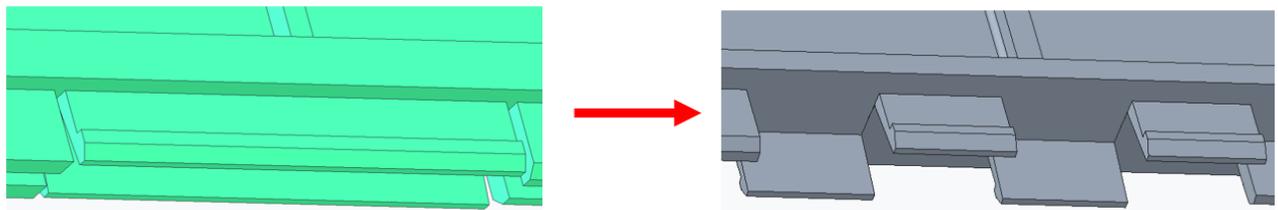


ILUSTRACIÓN 139 REDISEÑO DE SNAP EN PIEZAS CORTA Y LARGA

4.6.3 Rediseño de guías para ensamble de snap.

De la misma manera que el rediseño de los snaps permite que el desmoldeo se lleve a cabo de manera más sencilla.

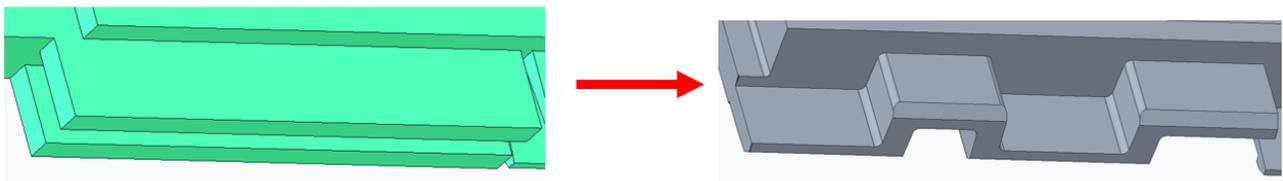


ILUSTRACIÓN 140 REDISEÑO DE GUÍA DE ENSAMBLE EN PIEZA LARGA Y CORTA

4.6.4 Ángulo de desmoldeo de 1° en toda la pieza.

Los ángulos de desmoldeo ayudan a que la pieza sea extraída con mayor facilidad del molde, de no haber agregado estos ángulos a la pieza hubiese generado en la superficie arrapes o algunos desgarros en el material, los cuales son causados entre el metal de la cavidad y el plástico durante el proceso de extracción.

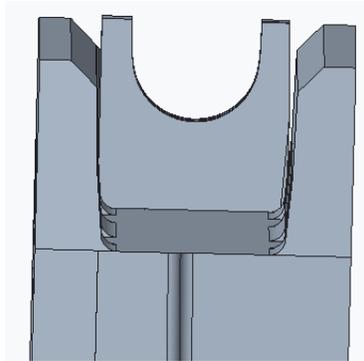


ILUSTRACIÓN 141 ÁNGULOS DE DESMOLDEO DE 1° EN TODAS LAS PIEZAS

4.6.5 Homologación de espesores a .100” en toda la pieza.

Esta regularidad en el diseño ayuda a evitar turbulencias de flujo durante el llenado de la pieza. Estas turbulencias dificultan una ordenación entre las diferentes cadenas moleculares y por lo tanto puede provocar una orientación que no sea idónea para que la pieza trabaje al máximo rendimiento.

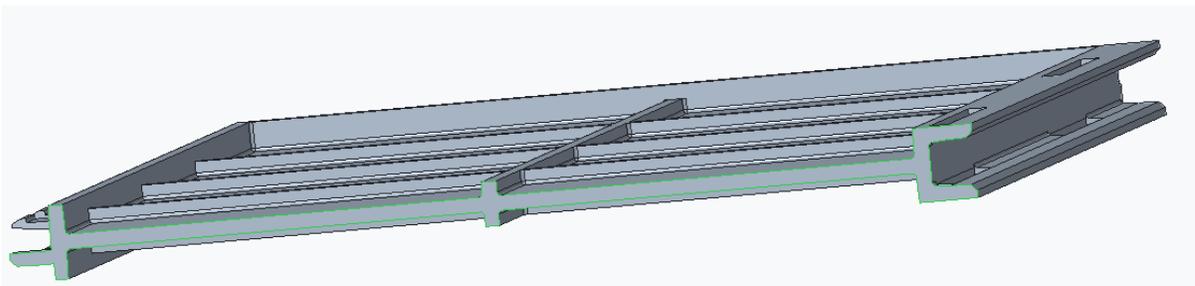


ILUSTRACIÓN 142 HOMOLOGACIÓN DE ESPESORES EN PIEZA LARGA Y CORTA (VISTA LATERAL)

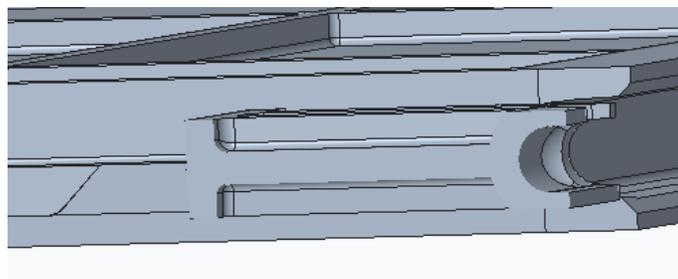


ILUSTRACIÓN 143 HOMOLOGACIÓN DE ESPESORES EN PIEZAS LARGA Y CORTA (VISTA DE DETALLES)

4.6.6 Se agregan radios a la pieza.

El uso adecuado de radios durante el diseño reduce de un modo importante la concentración de tensiones en la pieza. Eliminar las zonas donde se producen un elevado número de concentración de tensiones, permite realizar un modelo de constitución más fuerte y eliminar, sin duda, posibles zonas de iniciación de una

fractura. En definitiva, eliminando ángulos agudos en la geometría, lo que posibilitamos es una más larga vida de la pieza. Por tanto, siempre que lo permita la funcionalidad de la pieza, para realizar la transición de una pared a otra utilizaremos curvas lo más abiertas posibles

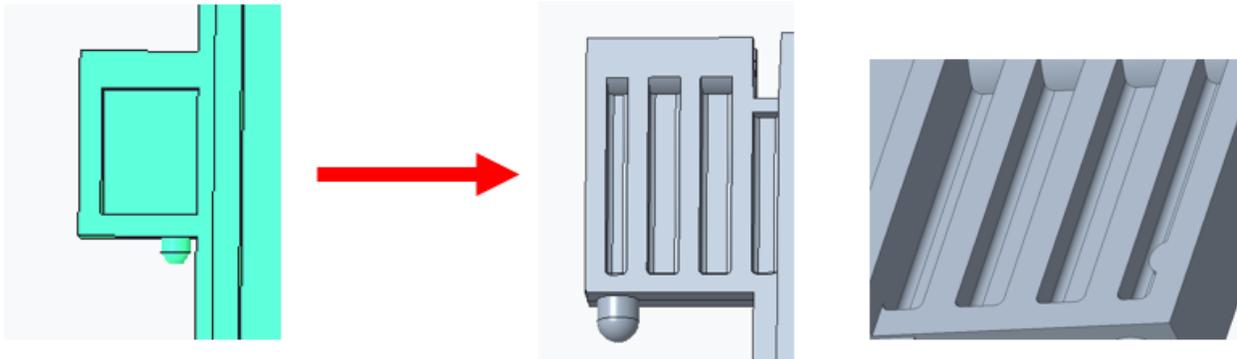


ILUSTRACIÓN 144 RADIOS DE .025" - 0.050" GENERADOS EN TODAS LAS PIEZAS

4.6.7 Reducción de material.

En algunas zonas de la pieza se realizó una reducción de material, esto ayudará en la homologación de los espesores y su vez en la reducción de peso de esta.

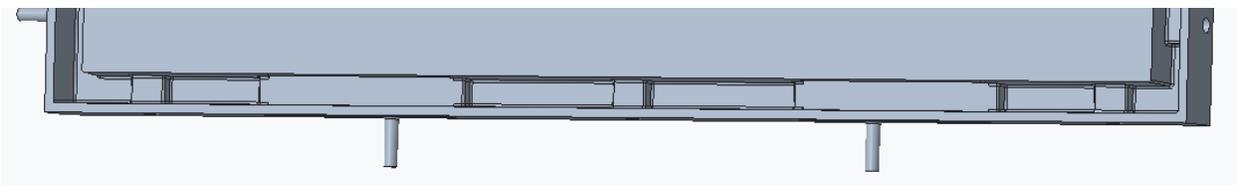


ILUSTRACIÓN 145 PIEZA BASE CON AJUSTE DE ESPESOR EN LA VISTA SUPERIOR

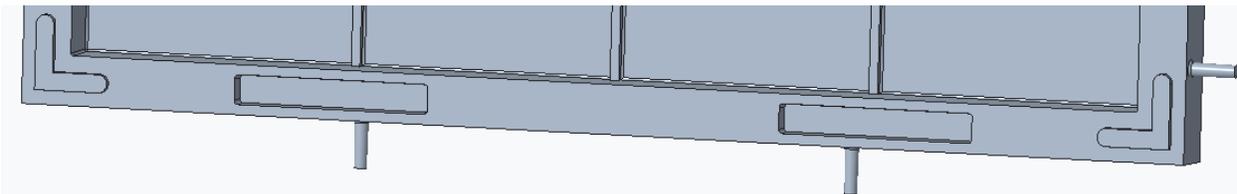


ILUSTRACIÓN 146 PIEZA BASE CON AJUSTE DE ESPESOR EN VISTA INFERIOR

4.7 Diseño aprobado de las piezas.

4.7.1 Pieza larga (295D4918P001).

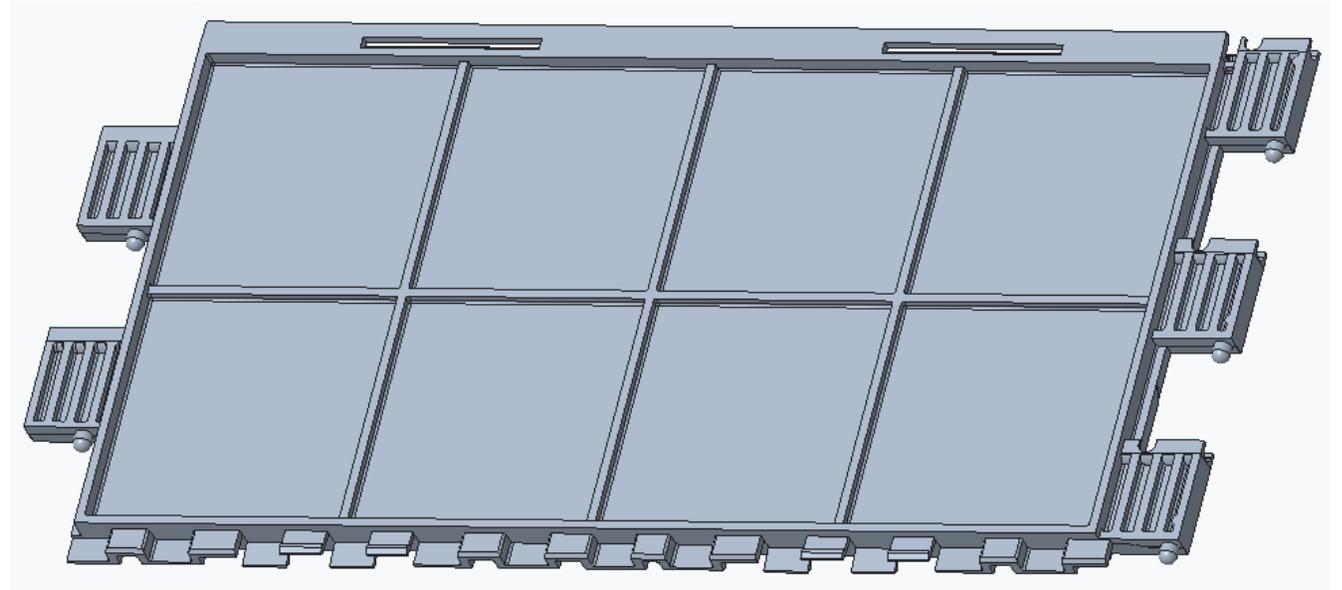


ILUSTRACIÓN 147 DISEÑO FINAL DE PIEZA LARGA

4.7.2 Pieza corta (259C1721P001).

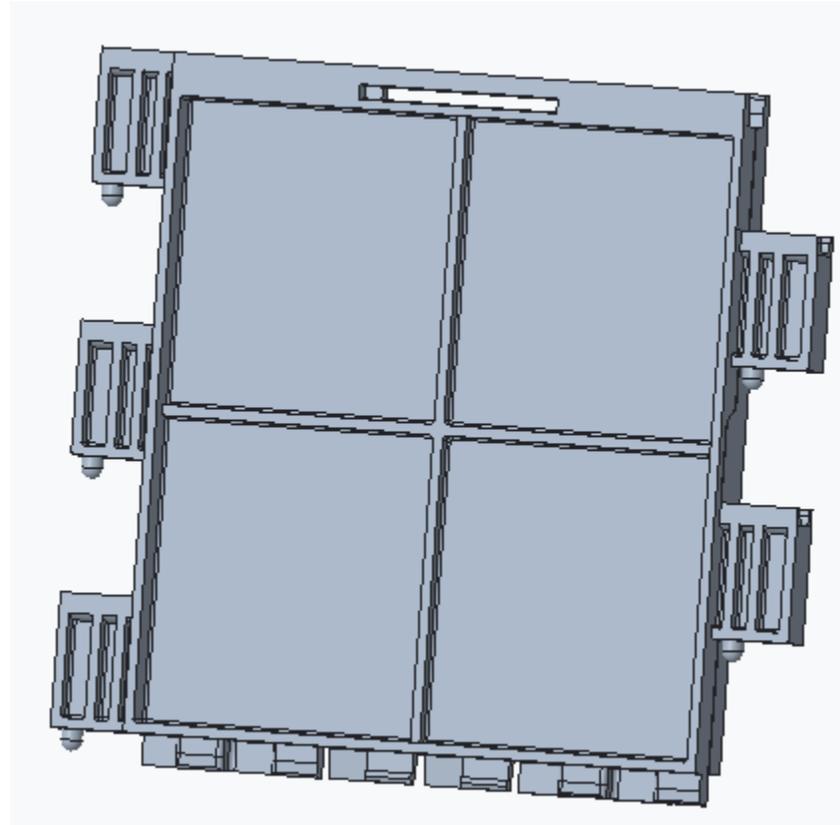


ILUSTRACIÓN 148 DISEÑO FINAL DE PIEZA CORTA

4.7.3 Pieza base (295D4917P001).

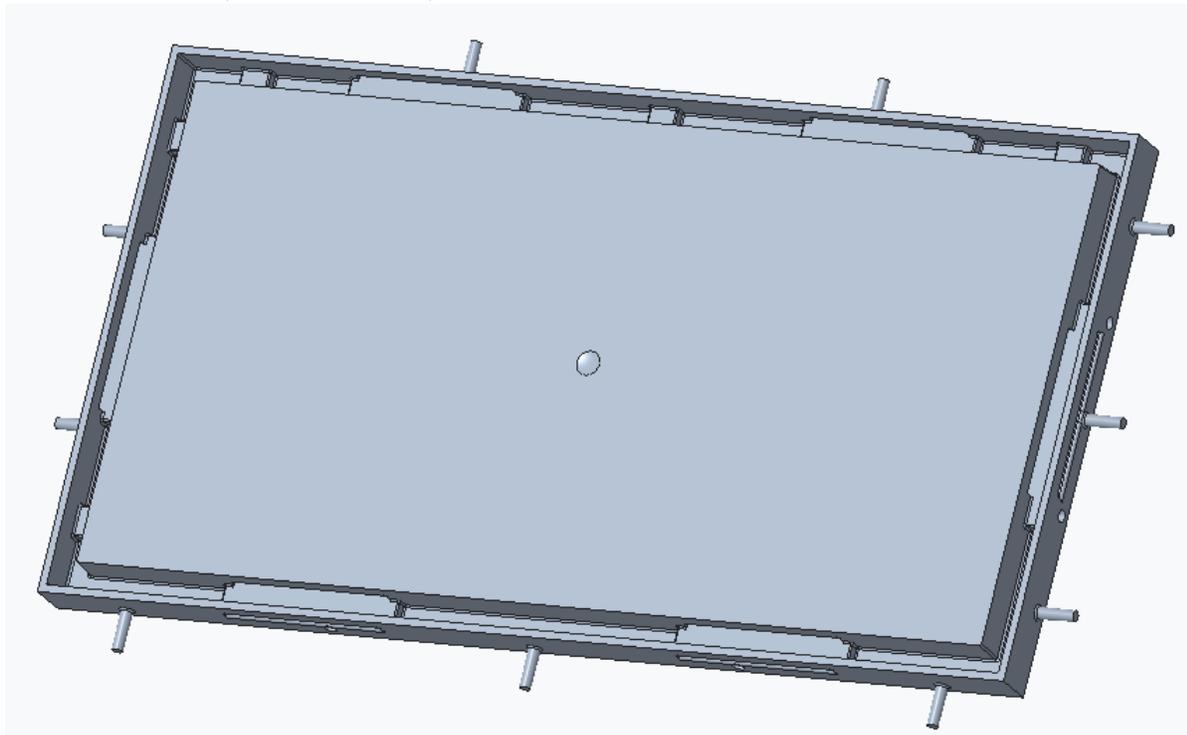


ILUSTRACIÓN 149 DISEÑO FINAL DE PIEZA BASE VISTA SUPERIOR

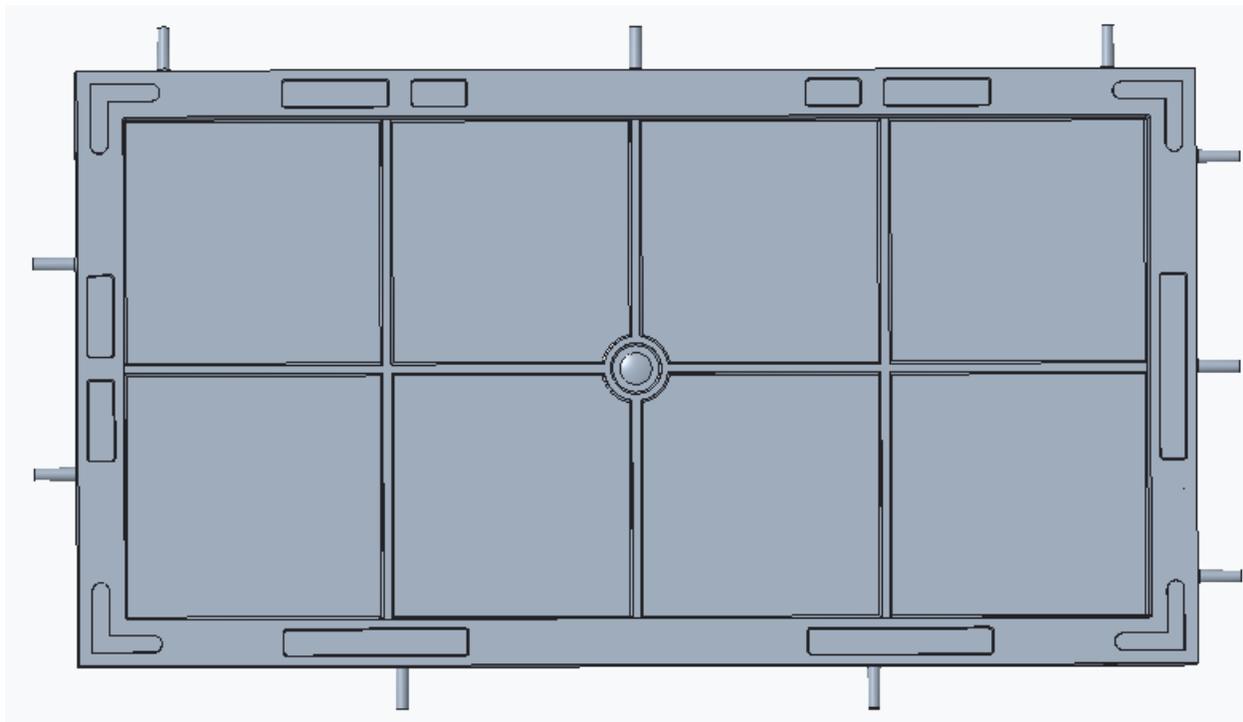


ILUSTRACIÓN 150 DISEÑO FINAL DE PIEZA BASE VISTA INFERIOR

4.8 Propuestas para evaluar las propiedades de las piezas.

Debido al alcance del proyecto a continuación se enunciarán las pruebas mecánicas sugeridas a realizar en los contenedores una vez que se tengan las primeras piezas inyectadas.

1. Armado de Contenedores
2. Resistencia del contenedor
3. Uso en Flow Racks
4. Envío Entreplantas (componentes)
5. Estiba de contenedores (Vacíos)
6. Estiba de Contenedores (Llenos)
7. Desarmado de Piezas (cambio de piezas dañadas)
8. Acomodo de contenedores en Tarima)
9. Caída de Contenedores con Peso

4.9 Desarrollo de metodología para probar contenedores.

4.9.1 Método de prueba de armado de contenedores.

- 1.- Se procede a seleccionar un operador de la línea
- 2.- Se le entregan las piezas exactas para armar el contenedor más sencillo (6inx12in) Utilizando dos piezas largas, dos piezas cortas y una pieza base.
- 3.- Se muestra la imagen de contenedor armado y el instructivo de armado; se le pide que trate de recrearlo
- 4.- Se toma el tiempo que le toma llevar a cabo el proceso.
- 5.- Si el proceso de armado del contenedor es inferior a 3 min la primera vez, la prueba se considera satisfactoria.
- 6.- Repetir el proceso con 5 operadores diferentes y validar.

Tomar nota de los comentarios de los operadores para mejorar el proceso de ensamble

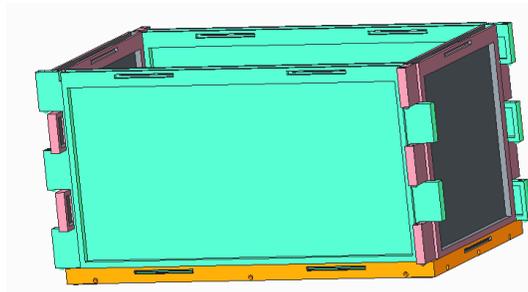


ILUSTRACIÓN 151 CONTENEDOR DE 6INX12IN ILUSTRATIVO

Repetir el proceso en el contenedor de contenedor de 12x24.

- 1.- Se procede a seleccionar un operador de la línea

- 2.- Se le entregan las piezas exactas para armar el contenedor de 12inx24in (cuatro piezas largas, cuatro piezas corta y cuatro piezas base).
- 3.- Se muestra la imagen de contenedor armado y el instructivo de armado; se le pide que trate de recrearlo
- 4.- Se toma el tiempo que le toma llevar a cabo el proceso.
- 5.- Si el proceso de armado del contenedor es inferior a 5 min la primera vez, la prueba se considera satisfactoria.
- 6.- Repetir el proceso con 5 operadores diferentes y validar.

Tomar nota de los comentarios de los operadores para mejorar el proceso de ensamble

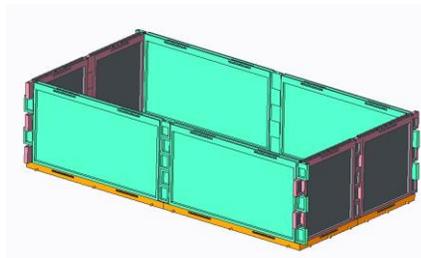


ILUSTRACIÓN 152 CONTENEDOR DE 12INX24IN ILUSTRATIVO

Repetir el proceso en el contenedor de contenedor de 24x18.

- 1.- Se procede a seleccionar un operador de la línea
- 2.- Se le entregan las piezas exactas para armar el contenedor de 12inx24in (cuatro piezas largas, seis piezas cortas, seis piezas base).
- 3.- Se muestra la imagen de contenedor armado y el instructivo de armado; se le pide que trate de recrearlo
- 4.- Se toma el tiempo que le toma llevar a cabo el proceso.
- 5.- Si el proceso de armado del contenedor es inferior a 7 min la primera vez, la prueba se considera satisfactoria.
- 6.- Repetir el proceso con 5 operadores diferentes y validar.

Tomar nota de los comentarios de los operadores para mejorar el proceso de ensamble

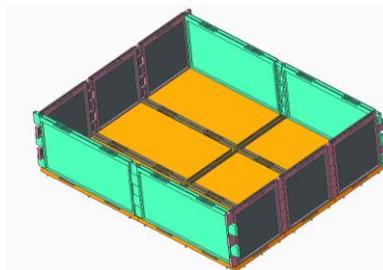


ILUSTRACIÓN 153 CONTENEDOR DE 18INX24IN ILUSTRATIVO

4.9.2 Método de prueba de resistencia del contenedor.

Para la prueba de la resistencia del contenedor se procederá a realizar las siguientes pruebas en el contenedor más pequeño y posteriormente se repetirán en los diferentes tamaños de contenedor.

- 1.- Se procede a armar el contenedor de 6x12in colocando un nivel más alto, para este contenedor se requieren cuatro piezas largo, cuatro piezas corto y una base
- 2.- Se procede a cargar el contenedor con 40 válvulas número de parte 189d7089p001, las cuales tienen un peso de .380gr y en total nos darán un peso de 15Kg el cual es el peso máximo permitido por Mabe para carga por un operador.
- 3.- Una vez cargado el contenedor con el peso se procede tomarlo por las zonas encerradas en un círculo, esta zona funciona como asa:

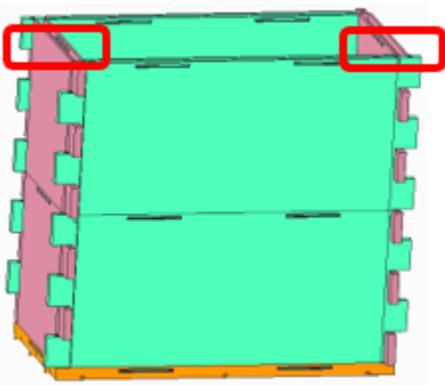


ILUSTRACIÓN 154 MÉTODO DE LEVANTAMIENTO DE CONTENEDOR ILUSTRATIVO

- 4.- Se procede a levantar el contenedor de manera cuidadosa y se verifica la integridad en las uniones y snaps, en caso de que no se vea comprometido el contenedor continuar al siguiente paso. Si el contenedor presenta alguna fractura detener la prueba y reportar la falla
- 5.- Proceder a caminar con el contenedor una distancia de 10m, en esta caminata se debe verificar que los snaps inferiores no presenten algún daño, al término de la caminata colocar el contenedor en una superficie plana y proceder a descargarlo.
- 6.- Una vez que se haya descargado el contenedor verificar la integridad de los snaps y guías de unión, si el contenedor no presenta ningún daño pasar al siguiente paso.

4.10 Conclusiones.

4.10.1 Diseño.

El diseño de las piezas fue un proceso retador debido a que se tuvo que trabajar en dos conceptos muy diferentes durante el desarrollo del proyecto, con respecto al primer diseño el concepto es muy robusto y gracias a las guías se obtiene un ensamble muy sólido y con mayor rigidez en las uniones. Es por lo que este tipo de unión resulto ganadora en la matriz de Pugh.

Como aprendizajes de este primer diseño se pueden resaltar el diseño de partes plásticas y las practicas aplicadas en mabe para este tipo de piezas, durante mi trayectoria en mabe no había tenido oportunidad de realizar un desarrollo de este tipo desde la concepción de la idea hasta la implementación de esta a un nivel de desarrollo de manufactura.

Al diseñar las primeras piezas no se tenía mucha experiencia en el diseño de partes plásticas y el primer diseño sirvió para comprender el comportamiento general del plástico durante el proceso de inyección, y por consecuencia las consideraciones que se tienen que tener en cuenta durante el desarrollo de una pieza de este tipo; desde radios en piezas plásticas, ángulos de desmoldeo, costillas, las razones por las que se deben de tener estas consideraciones y lo que sucede en la pieza final al no tenerlas.

Este entendimiento permitió tener muchas mejoras cuando se decidió tener un segundo acercamiento al diseño inicial, permitiendo tener una pieza con mejores características, un mejor comportamiento durante el proceso de inyección y a su vez una disminución en el costo de la pieza.

Para la segunda propuesta de diseño la comprensión del diseño de los ensambles mejoró sustancialmente por lo que se disminuyó considerablemente la complejidad de los moldes, esto se transforma en un beneficio monetario ya que el costo de los moldes finales disminuyó. La clave de esta pieza es que se puede desmoldar en una sola dirección.

Para este nuevo juego de piezas se mantienen las premisas iniciales, sin embargo se realizaron diversas mejoras en las piezas:

- Se mejora el peso final del contenedor, el peso de las piezas es muy importante debido a que se tiene un peso máximo de carga el cual resultará en una restricción de la cantidad máxima de carga si el peso del contenedor resulta muy elevado, por ejemplo, si el peso del contenedor resulta en 1Kg nos deja con 14Kg de carga libre para poder llenar el contenedor. Con las nuevas piezas el peso del contenedor se redujo en 27%, de pesar 1.161Kg paso a pesar 847.45gr.
- Debido a los ajustes que se realizaron en la nueva geometría el diseño del molde resultó ser mucho más sencillo que el primer concepto, esto como se mencionó anteriormente redujo los costos del molde final.
- Se reducen la cantidad de piezas necesarias para tener un contenedor funcional, la primer propuesta de contenedor se conformaba por 4 piezas, que mientras para el contenedor más pequeño de 6inx12in no se tenía ninguna afectación, la cantidad de piezas para el contendor de 24inx36in si muestra una mejora. Esto dentro del sistema de mabe es muy apreciado ya que reduce la complejidad del manejo de material al tener un numero de parte menos. También de manera monetaria ya no se tiene que invertir en un cuarto molde, lo cual es un ahorro de dinero.
- El proceso de ensamble de las piezas se simplificó ya que al contar con una pieza menos es más intuitivo realizar el ensamble de las piezas.

4.10.2 Interpretación de análisis de flujo.

Gracias al análisis de flujo se obtuvo una mejora considerable entre el primer diseño y el segundo debido a que cuando se desarrolló el primer concepto las nociones de los procesos de inyección eran muy pobres, por esta razón fue que la primera pieza no cuenta con costillas, espesores irregulares, piezas sin radios, ángulos de desmoldeo inexistentes y tolerancias no definidas.

Esto sirvió como una muy buena experiencia para el diseño de la segunda iteración ya que con esto la pieza nació con muchos de los detalles que se tuvieron que agregar sobre la marcha en el primer diseño.

Esto redujo considerablemente el tiempo de desarrollo del segundo modelo y a su vez impacto favorablemente en las etapas de prototipado.

4.10.3 Impresión de prototipos.

El desarrollo de prototipos por medio de las impresoras 3D con las que cuenta Mabe fue un proceso muy ágil y ayudo a tomar decisiones muy rápidas, ya que se realizaron correcciones y nuevas iteraciones de las piezas en cuestión de semanas. El proceso con un molde verde hubiera tomado por lo menos 6 semanas para tener un molde verde y que apenas nos estuviera generando una pieza, por lo que las correcciones y diferentes iteraciones hubiese resultado muy costoso y tardado.

4.10.4 Aprendizajes.

	Resultados	
	Diseño 1	Diseño 2
Simulación moldflow	<p>Agregar costillas para reducir el pandeo en la pieza</p> <ul style="list-style-type: none"> - Homologar espesores en las cuatro piezas - Reforzar zona de snap con costillas - Colocar radios y ángulos de desmoldeo - el peso final de la pieza es muy alto - Complejidad del molde es muy alta, se tienen que usar diversos mecanismos para poder desmoldar la pieza, TC muy alto - Considerar punto de inyección 	<p>Homologar espesores en ciertas zonas de la piezas</p> <p>Ángulos de desmoldeo y radios en zonas pendientes</p> <p>Se reduce considerablemente el peso de las piezas (10%-30%)</p> <p>Se disminuye la complejidad del molde, la pieza desmoldea en un solo sentido</p>
Decisiones de diseño conceptual (ensamblabilidad)	<p>Las uniones realizadas con las guías son muy sencillas y robustas</p> <p>La estructura de el primer diseño es mas resistente debido al espesor de la pieza, lo que permite cargar un peso de hasta 50Kg en la configuración mas pequeña.</p> <p>Los detalles de la pieza son muy complejos y difíciles de inyectar</p> <p>Al desarrollar esta propuesta se tenía mucho desconocimiento del proceso de inyección de piezas.</p>	<p>Para el segundo diseño se mantiene el concepto de uso de guías pero utilizado de una manera diferente.</p> <p>El espesor de la pieza se reduce considerablemente mejorando el peso final de la pieza.</p> <p>A pesar de sacrificar la resistencia de la pieza se cumple con la especificación de carga</p> <p>Teniendo mas conocimientos del proceso de inyección de piezas, se diseña una pieza mas sencilla reutilizando los diferentes métodos de sujeción del primer diseño.</p>
Prototipos y pruebas realizadas	<p>Algunos de los cambios en el primer diseño se derivaron del prototipado rápido:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajuste en los espesores de las guías - Rediseño de la base debido a interferencia al ensamblar - Definición de las tolerancias adecuadas para el ensamble de las guías - Ajuste en los snaps para mejorar flexibilidad - Los pines de las bases necesitan ser mas largos - Ajustes de los espesores de las piezas para mejorar rigidez 	<p>Los cambios derivados del prototipo de la segunda iteración se muestran a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colocar chafan sobre los posicionadores de los snaps - Colocar guías en las esferas de unión para facilitar el ensamble. - Se definen las tolerancias para asegurar el ensamble de la pieza. - Se rediseña la geometría del snap. - Proporción adecuada de las piezas para realizar todos los ensambles requeridos.
Análisis de FEA	<p>Los resultados de los primeros análisis de elemento finito generaron los siguientes cambios en las piezas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se reubica .100" hacia abajo el orificio donde ensambla el snap - Se disminuyen espesores de snap en las piezas largo, corto y ex - Se realiza una apertura en el detalle del snap <p>Nos permite validar la rigidez de los detalles que unen las bases, simulando la carga de 15Kg y llegando hasta los 150Kg en el contenedor mas grande, prueba que no hubiese sido posible hasta no tener varias piezas inyectadas.</p>	<p>Gracias a el estudio previo se valida la funcionalidad de los detalles que sirven para unir las bases.</p> <p>Se simula la estiba de las ocho piezas las cuales fueron satisfactorias</p>
Resultados y acciones propuestas de líderes mabe	<p>Gracias al apoyo de los expertos en mabe se pudo obtener un diseño que cumpliera con los requerimientos solicitados.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jose Luis Moreno, propuso la ubicación de las costillas y snaps, proporcionó sugerencias en las mejores practicas en los diseños de piezas plásticas. - Roberto Cabrera, proporcionó la guía necesaria para poder migrar entre el diseño uno y el diseño dos, orientados a tener un molde que pudiese desmoldar de un solo movimiento. - Jesus Sanchez, proporcionó expertiz en el diseño de partes plásticas y el como simplificar las piezas para poder realizar un desmoldeo mas simple 	

ILUSTRACIÓN 155 SÍNTESIS DE RESULTADOS DE CADA ETAPA DEL PROYECTO

	Aprendizajes
Simulación moldflow	La herramienta de moldflow es muy efectiva para predecir posibles puntos de rechupes en las piezas, pandeo, donde se requiere poner especial atención- ya que se puede afectar la calidad de la misma, así como también poder validar que tanto se verán afectadas las dimensiones y peso final de la pieza.
Decisiones de diseño conceptual (ensamblabilidad)	El utilizar herramientas vistas en la materia de diseño de producto, permitió aterrizar las necesidades del cliente (mabe) en una tabla de especificaciones que permitió tener claro el requerimiento y llegar al resultado que mabe esperaba al desarrollar este proyecto.
Prototipos y pruebas realizadas	El proceso de impresión 3D ahorra mucho tiempo de prototipado y permite realizar una toma de decisiones mucho mas rápida. Las pruebas realizadas con los prototipos a escala ayudaron a mejorar el diseño en poco tiempo y permite detectar fallas tanto en las piezas como en los ensambles que se pudiesen presentar con las de tamaño real Nos permitió simular con operadores el proceso de ensamble de las piezas y obtener una retroalimentación. Nos ayudó a mostrar a la directiva el funcionamiento del contenedor y que se realizara la aprobación del presupuesto. Permitió que se llevaran a cabo pruebas de carga simuladas, resistencia de ensambles y pruebas de caída con las piezas a escala.
Análisis de FEA	Gracias al análisis de elemento finito se realizaron ajustes finos en los detalles de las piezas que permitió entregar un diseño robusto y que cumpliría con los requerimientos de carga y resistencia. Permitió simular pruebas en los ensambles mucho antes de que se tuviera una pieza inyectada, lo cual nos ayudó a reducir el retrabajo en los moldes. Permitió validar que las uniones de los contenedores mas grandes fueran lo suficientemente robustas para poder probar la capacidad máxima del contenedor sin que presente deformaciones. Lo cual permitió definir la especificación de seguridad máxima del mismo

ILUSTRACIÓN 156 SÍNTESIS DE APRENDIZAJES

Bibliografía

- Bonenberger, P. R. (2005). *The First Snap-Fit Handbook*. Hanser Gardner Publications, Inc. Recuperado el 10 de 3 de 2022
- Bonenberger, P. R. (s.f.). *The First Snap-fit Handbook: Creating and Managing Attachments for Plastic Parts*. Hanser. Recuperado el 10 de 3 de 2022, de <https://books.google.com/books?id=M6HYTHVpNgC>
- Injection Molding Process, Defects, Plastic*. (s.f.). Recuperado el 10 de 3 de 2022, de CustomPartNet: <http://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding>
- Koch, P. N., Yang, R.-J., & Gu, L. (2004). Design for six sigma through robust optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 26(3), 235-248. Recuperado el 10 de 3 de 2022, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00158-003-0337-0>
- Rigelsford, J. (2001). The First Snap-Fit Handbook: Creating Attachments for Plastic Parts. *Assembly Automation*, 21(1). Recuperado el 10 de 3 de 2022, de <https://emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/aa.2001.03321aad.011>
- Soković, M., Pavletić, D., & Fakin, S. (2005). *Application of six sigma methodology for process design quality improvement*. Recuperado el 10 de 3 de 2022, de http://journalamme.org/papers_amme05/1414.pdf
- AutoDesk. (s. f.). *Autodesk Moldflow Sink Marks*. (s. f.). Autodesk Moldflow Sink Marks. Recuperado 27 de abril de 2022, de <https://help.autodesk.com/view/MFIA/2019/ENU/?guid=GUID-E37E12FE-DE85-4173-BCD9-064513224425>
- AutoDesk. (s. f.). *Autodesk Moldflow Warpage Tolerance*. (s. f.). Autodesk Moldflow Warpage Tolerance. Recuperado 27 de abril de 2022, de <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=SIM-FIM-WARP-TOLERANCE-RESULT-CPT>
- AutoDesk. (s. f.). *Autodesk Moldflow Weld Lines*. (s. f.). Autodesk Moldflow Weld Lines. Recuperado 27 de abril de 2022, de <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=SIM-FIM-WELD-LINE-RESULT-CPT>
- AutoDesk. (s. f.). *Autodesk Moldflow Air Traps*. Autodesk Moldflow Air Traps. Recuperado 27 de abril de 2022, de <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=SIM-FIM-AIR-TRAP-RESULT-CPT>

AutoDesk. (s. f.). *AutoDesk MoldFlow Quality prediction*. AutoDesk MoldFlow Quality prediction.

Recuperado 27 de abril de 2022, de <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-adviser/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ENU/MoldflowAdvisor/files/GUID-4F115A68-4469-4414-BB62-80B341FAC3AF-htm.html>

SIMSOLID Corporation. (2015). *SIMSOLID Technology Overview*. SIMSOLID Technology Overview.

<https://www.inneo.ch/files/content/Produktentwicklung/Berechnung-Simulation/simsolid-technology-overview-whitepaper.pdf>

Jurado Páramo, Jorge, Reveles Arredondo, Juan Francisco, Plascencia Mora, Héctor, & Aguilera Gómez,

Eduardo. (2019). Análisis de un proceso de inyección de plástico por interacción fluido estructural y cambio de estado. *Acta universitaria*, 29, e2150. Epub 11 de septiembre de 2020. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2150>

AutoDesk. (s. f.). *Autodesk Moldflow Deflection (all effects) result*. Recuperado 27 de mayo de 2022, de

<https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=SIM-FIM-DEFLECTION-ALL-RESULT-CPT>

Autodesk Moldflow Fill animation result. (s. f.). Autodesk Moldflow Fill animation result. Recuperado 27

de mayo de 2022, de <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=SIM-FIM-FILL-ANIMATION-CPT>