



**VALIDACIÓN NUMÉRICA DE DISEÑO DE PARRILLA HÍBRIDA  
"PLÁSTICA-METÁLICA" PARA ENFRIADORES COMERCIALES**

**TESIS**

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN**

**MANUFACTURA AVANZADA**

PRESENTA

**ING. ERÉNDIRA GONZÁLEZ MENDIETA**

**ASESOR: M.C. IVÁN JUÁREZ SOSA**

QUERÉTARO, QUERÉTARO, DICIEMBRE 2018

**VALIDACIÓN NUMÉRICA DE DISEÑO DE PARRILLA HÍBRIDA  
"PLÁSTICA-METÁLICA" PARA ENFRIADORES COMERCIALES**

# CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



20 del mes de septiembre 2018

Mtro. Geovany González Carlos  
Coordinador Académico  
CIATEQ, A.C.

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno ING. ERÉNDIRA GONZÁLEZ MENDIETA, una vez revisada la Tesis o tesina titulada: "VALIDACIÓN NUMÉRICA DE DISEÑO DE PARRILLA HÍBRIDA PLÁSTICA-METÁLICA PARA ENFRIADORES COMERCIALES", autorizamos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para la revisión del mismo con el fin de alcanzar el grado de MAESTRO EN MANUFACTURA AVANZADA durante el Examen de Titulación correspondiente.

Y para que así conste se firma la presente a los 19 días del mes de septiembre del año 2018.

M. en C. Iván Juárez Sosa

---

Grado y nombre completo  
Asesor Académico

---

Grado y nombre completo  
Asesor en Planta

# CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



Santiago de Querétaro, Qro.  
13 de noviembre del 2018

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero  
Directora  
Posgrado CIATEQ  
PRESENTE.

Por medio de la presente me estoy dirigiendo a Ud. de la manera más atenta, de que fui designado como revisor del trabajo de tesis del (la) **Ing. Eréndira González Mendieta**, del trabajo titulado:

**"VALIDACIÓN NUMÉRICA DE DISEÑO DE PARRILLA HÍBRIDA "PLÁSTICA-METÁLICA" PARA ENFRIADORES COMERCIALES"**

Después de haber leído, corregido e intercambiado información con el (la) estudiante antes mencionado(a), el trabajo de tesis que me fue entregado y haciendo resaltar que el (la) estudiante realizó todos los cambios que le fueron sugeridos a la tesis, ésta puede ser autorizada para su publicación y que de ésta manera pueda iniciar los trámites correspondientes para iniciar el proceso de titulación.

Sin otro particular por el momento y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta y en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención que se sirva prestar a la presente,

ATENTAMENTE

  
M. C. y T. Alfredo Chávez Luna

## RESUMEN

En este trabajo se presenta la validación numérica de dos conceptos de diseño de la parrilla híbrida "plástica-metálica" para enfriadores comerciales mediante el análisis de elemento finito con el software Workbench ANSYS.

La primera parte del estudio consiste en la validación numérica de una parrilla plástica de ABS cuyos resultados en las pruebas de flexión no fueron satisfactorios. En la segunda parte, se propone una mejora al diseño inicial mediante dos conceptos híbridos, es decir, con refuerzos metálicos embebidos, los cuales se analizan numéricamente con el módulo estructural aplicando una carga máxima distribuida de 45 kg. Para el primer concepto de diseño, que consiste en refuerzos en paralelo, se encuentra que no se satisface el requerimiento de flexión central de 5mm solicitado por el cliente. Es por este motivo que se evalúa el segundo concepto de diseño con refuerzos en posición H, el cual presenta una flexión menor a 5mm. Una vez confirmado esto para el concepto con refuerzos en H, se le realizan los análisis térmicos, los cuales consisten en exponer al componente a una alta temperatura (60°C), a una baja temperatura (-25°C) y a choque térmico en un rango de -25°C a 60°C en 10 ciclos. En ninguna de estas condiciones se encuentran deformaciones permanentes, fracturas o grietas, satisfaciendo así el requerimiento del cliente.

Los resultados de los análisis estructurales y térmicos son comparados con los de las pruebas experimentales de laboratorio para verificar la correlación entre ellos, encontrándose que éstos son representativos para predecir fallas en los diseños. Con base a lo obtenido en este trabajo, se encuentra que, al incorporar un método de análisis numérico en las etapas tempranas de diseño, es decir, previo a la fabricación de prototipos, se podría tener una reducción de costos en la elaboración de éstos, en las pruebas y retrabajos, ya que se cambiaría el diseño basado en prueba y error por el fundamentado en el análisis numérico.

Palabras clave: **Ingeniería y Tecnología, Diseño, materiales híbridos, Elemento finito.**

## **ABSTRACT**

In this document, numeric validation of two design concepts for the hybrid plastic-metallic grill, utilized in commercial fridges, by means of finite element analysis software: Workbench ANSYS, is presented.

The first part of this study consists of numeric validation of an ABS plastic grill, for which deflection tests results were not satisfactory. In the second part, an initial design improvement is proposed, by means of two hybrid designs, that is, incorporating embedded reinforcement elements. Such elements are numeric analyzed with the structural module, applying a maximum distributed load of 45Kg.

For the first design concept, that includes parallel arrange reinforcements, non-satisfactory central deflection requirements were found, customer defined requirement is 5mm. Due to such results, second design concept is evaluated, in this case, H position arrange reinforcements were used. This concept presented deflection under 5mm limit. Once confirmed satisfactory analysis results for H arrange reinforcements, thermal analyses were performed. Thermal analyses consist on exposing the component to high temperatures (60°C), also were exposed to low temperatures (-25°C) and a thermal shock in a -25°C to 60°C range in 10 cycles. In any of the previous conditions described, permanent deformations, fractures nor cracks were found, fulfilling then customer requirements.

Structural and thermal analyses results are compared with the experimental tests from laboratory, this verifies statistical correlation between them. It was found that such results are representative enough to predict design failures. Based on results obtained in this thesis, it was found that incorporating a numeric analysis method at early design stages, this is, before manufacturing prototypes, a cost reduction in prototyping, tests and rework can be achieved. In this manner design changes will be based on numeric analysis methods instead of trial and error method.

Keywords: **Engineering and technology, Design, Hybrid materials, Finite element.**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR .....	I
CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR .....	II
RESUMEN .....	III
ABSTRACT .....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
AGRADECIMIENTOS .....	XII
GLOSARIO .....	XIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.5 HIPÓTESIS .....	5
2. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 INTRODUCCIÓN.....	6
2.2 POLÍMEROS.....	6
2.2.1 Plásticos.....	8
2.2.2 Acrilonitrilo-butadieno estireno (ABS) .....	10
2.3 ACEROS .....	12
2.3.1 Acero ASTM-A36 .....	14
2.4 MATERIALES HÍBRIDOS .....	15
2.5 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES .....	18
2.6 ANALISIS DE ELEMENTO FINITO .....	19

2.7	CASOS DE ESTUDIO CON MATERIALES HÍBRIDOS .....	21
2.7.1	Pavimento reforzado con capas de fibra de acero para pistas de aterrizaje. [10] .....	21
2.7.2	Pisos con estructura de madera. [9].....	21
3.	PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN .....	23
3.1	ANÁLISIS DEL MODELO VIRTUAL .....	23
3.1.1	Análisis estructural de concepto inicial. Parrilla plástica.....	23
3.1.2	Proceso de Convergencia de malla.....	28
3.1.3	Análisis estructural de concepto de parrilla híbrida "plástica-metálica" con refuerzos en paralelo.....	29
3.1.4	Análisis de convergencia de malla para la parrilla híbrida "plástica-metálica" con refuerzos en paralelo .....	33
3.1.5	Análisis estructural de concepto de parrilla híbrida "plástica-metálica" con refuerzos en H.....	34
3.1.6	Análisis de convergencia de malla para la parrilla híbrida "plástica-metálica" con refuerzos en H .....	35
3.1.7	Análisis termal.....	36
3.2	PRUEBAS DE LABORATORIO .....	39
3.2.1	Prueba de Flexión de Parrilla .....	39
3.2.2	Prueba de Laboratorio para Choque Térmico .....	40
4.	RESULTADOS.....	42
4.1	RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE ELEMENTO FINITO .....	42
4.1.1	Resultados del análisis de la parrilla plástica.....	42
4.1.2	Resultados del análisis estructural de la parrilla híbrida "plástica-metálica" con refuerzos en paralelo.....	43
4.1.3	Resultados del análisis estructural de la parrilla híbrida "plástica-metálica" con refuerzos en H. ....	46
4.1.4	Resultados del análisis térmico de la parrilla híbrida "plástica-metálica" con refuerzos en H. ....	49

4.2	RESULTADOS DE LABORATORIO.....	53
4.2.1	Resultados de flexión de la parrilla plástica. ....	53
4.2.2	Resultados de flexión en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H. ....	53
4.2.3	Resultados de las pruebas térmicas en laboratorio de la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H. ....	54
4.3	TABLA GENERAL DE RESULTADOS .....	55
	CONCLUSIONES .....	56
	APORTACIÓN DE LA TESIS .....	57
	RECOMENDACIONES .....	58
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
	ANEXOS .....	60
	ANEXO A. Comparativo de costo de parrillas.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Parrilla plástica .....	1
Figura 1-2: Parrilla híbrida “plástica-metálica” refuerzos paralelos .....	2
Figura 1-3: Parrilla híbrida “plástica-metálica” refuerzos en H.....	2
Figura 2-1: Tipos de polímeros de acuerdo con su estructura.....	7
Figura 2-2: Estructura química de Acrilonitrilo-butadieno estireno (ABS) .....	10
Figura 2-3: Resistencia a la flexión vs Temperatura de Toray Plastics resina ABS....	11
Figura 2-4: Curva de tensión-deformación para aceros estructurales .....	13
Figura 2-5: Configuración básica de un material compuesto.....	15
Figura 2-6: Clasificación de los materiales híbridos según su estructura .....	17
Figura 2-7: Proceso general del análisis de elemento finito .....	20
Figura 3-1: Concepto inicial. Parrilla plástica.....	24
Figura 3-2: Concepto parrilla plástica. Mallado. ....	25
Figura 3-3: Condiciones de frontera, montaje sobre clips. ....	26
Figura 3-4: Detalle de restricción de soportes.....	27
Figura 3-5: Concepto parrilla plástica. Detalle de carga y soporte .....	28
Figura 3-6: Concepto de parrilla híbrida “plástica-metálica”, con refuerzos en paralelo.....	30
Figura 3-7: Curva esfuerzo-deformación del ABS.....	31
Figura 3-8: Mallado de parrilla híbrida “plástica-metálica”, con refuerzos en paralelo.....	32
Figura 3-9: Definir contactos entre materiales. ....	33
Figura 3-10: Carga para parrilla “plástica-metálica”, con refuerzos en paralelo..	33
Figura 3-11: Concepto mejorado soleras en H.....	35

**Figura 3-12: Grafica Ciclos (Tiempo 1s - Temperatura)..... 38**

**Figura 3-13 Posición inicial ..... 40**

**Figura 3-14 Primera cama de latas..... 40**

**Figura 3-15 Segunda cama de latas ..... 40**

**Figura 3-16: Ciclo de choque térmico ..... 41**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1: Propiedades Generales Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS) .....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 2-2: Propiedades Generales Acero A36.....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 3-1: Propiedades Generales ABS con retardante a la flama .....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 3-2: Propiedades Generales Acero A36 y ABS con retardante a la flama ....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 3-3: Convergencia de malla para parrilla híbrida con refuerzos en paralelo .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 3-4: Convergencia de malla para parrilla híbrida con refuerzos en H.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 3-5: Ciclos de temperatura en 1 segundo .....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 4-1: Resultados de la deformación en la parrilla plástica.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 4-2: Resultados de esfuerzos en la parrilla plástica.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 4-3: Resultados de la deformación en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en paralelo .....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 4-4: Resultados de esfuerzos en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en paralelo .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 4-5: Resultados de la deformación en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 4-6: Resultados de esfuerzos en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 4-7: Resultados de la deformación por choque térmico en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 4-8: Resultados de esfuerzos por choque térmico en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 4-9: Resultados de todo el ciclo esfuerzo y deformación .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 4-10: Resultados en prueba experimental de flexión de parrilla plástica .....</b>	<b>53</b>

<b>Tabla 4-11: Resultados en prueba experimental de flexión de parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 4-12: Resultados de pruebas de baja temperatura, alta temperatura y choque térmico.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 4-13: Tabla General de Resultados Numéricos y Experimentales.....</b>	<b>55</b>

## **AGRADECIMIENTOS**

Al finalizar este trabajo, veo todo el esfuerzo y la persistencia para lograrlo, en mi caso la tesis de maestría no fue sencilla, pues fue un trabajo constante en no rendirse ante las adversidades que surgían. Sin embargo, las ganas de finalizarla fueron alimentadas por personas e instituciones que me han facilitado el proceso, por eso mediante este espacio quiero expresarles mis agradecimientos.

Agradezco de manera especial a mi amado esposo Luis Roberto que con sus conocimientos me ayudo desde el inicio de la maestría y me mostro como hacer las cosas mejor, también en la realización de esta tesis sus conocimientos fueron un gran aporte, así como su paciencia, dedicación y fortaleza para impulsarme en no rendirme.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor el Maestro Iván Juárez, principalmente por aceptarme para realizar esta tesis de maestría, por compartirme muchos de sus conocimientos, al ser mi maestro particular en análisis numérico y uso del software, pues gracias a ello pude entender muchos términos para la realización de este trabajo, también agradezco su paciencia y disponibilidad para encaminar y dirigir adecuadamente mis ideas.

Un especial agradecimiento a mi amiga la Maestra Ma. Guadalupe Flores que, con su apoyo dentro de la empresa, proporciono los medios necesarios para lograr la realización de la tesis.

Agradezco al Maestro Alfredo Chávez que fungió como revisor de tesis y que apporto una extraordinaria retroalimentación en la investigación, que me permitió ver otras áreas de oportunidad.

También agradezco al Maestro Fernando Talavera que, como coordinador académico de la institución, apoyo en darme la oportunidad y tiempo necesario para poder finalizar la tesis, así como el estar al pendiente de los avances.

Agradezco el tener una hermosa inspiración, mi bebita Anya Irene quien fue una motivación constante para finalizar la tesis, quiero ser un buen ejemplo para ella y en un futuro poder mostrarle este trabajo para así enseñarle la importancia de cumplir sus metas.

Finalmente agradezco a mí suegra Auristela que siempre me apoyo en el cuidado de mi bebe cuando fue necesario y me impulsaba en seguir avanzando.

## GLOSARIO

<b>ABS</b>	Copolímero de acrilonitrilo-butadieno estireno (acrylonitrile butadiene styrene)
<b>ABAQUS</b>	Programa CAE de cálculo por elementos finitos
<b>AMEF</b>	Análisis de Modo y Efecto de Falla
<b>ANSYS</b>	Programa CAE de cálculo por elemento finitos
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana en Pruebas de Materiales (American Society of Testing Materials)
<b>CAE</b>	Ingeniería Asistida por Computadora (Computer Aided Engineering)
<b>CREO parametric</b>	Software de modelación virtual en 3D y 2D
<b>FEA</b>	Análisis de Elemento Finito (Finite Element Analysis)
<b>FOS</b>	Factor de Seguridad (Factor of safety)
<b>GPA</b>	Giga Pascales
<b>ISO</b>	Organización Internacional para la Estandarización (International Organization for Standardization)
<b>MPA</b>	Mega pascales
<b>PE</b>	Polietileno (polyethylene)
<b>PP</b>	Polipropileno (polypropylene)
<b>PS</b>	Poliestireno (polystyrene)
<b>PVC</b>	Cloruro de polivinilo (polyvinyl chloride)
<b>RTI</b>	Índice Térmico relativo (Relative Temperature Index)
<b>SAN Poli</b>	Estireno-co-acrilonitrilo
<b>T<sub>g</sub></b>	Temperatura de transición vítrea

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES

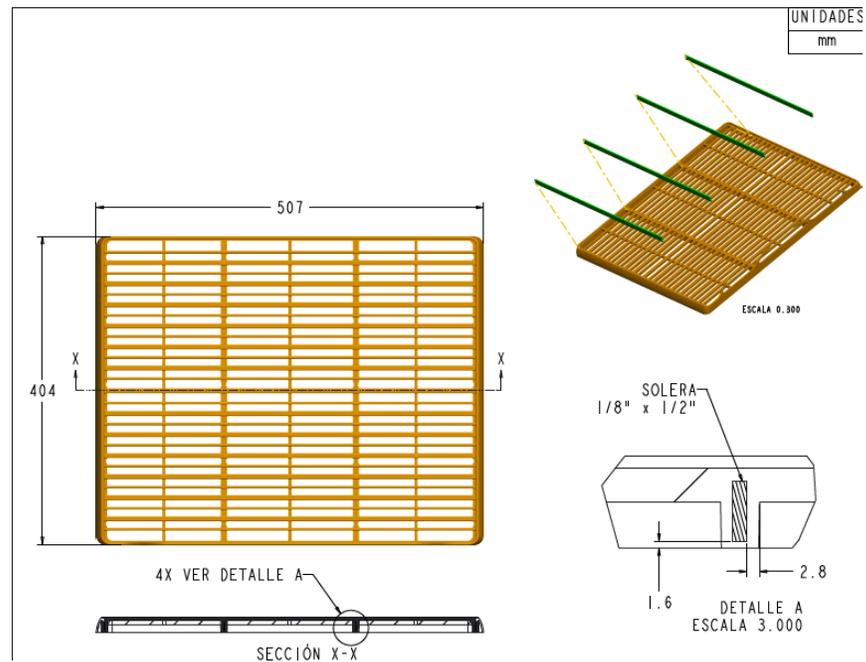
En la industria de la Refrigeración comercial se desarrollan proyectos desde la conceptualización del enfriador en un boceto, hasta la comercialización de este. Para lograr esto se tienen diferentes etapas: concepto-diseño, prototipos, evaluación, y producción.

Durante la etapa de diseño, el área de innovación de la empresa de refrigeración busca reemplazar los componentes existentes por otros que brinden el mismo nivel de confiabilidad, pero que aporten en reducción de costos, mejora en la apariencia, y que cumplan con los requerimientos y normas de nuevos clientes y mercados. Es así como surge la necesidad de reemplazar la parrilla metálica que actualmente se usa por una parrilla fabricada con material plástico (ver figura 1-1). Sin embargo, ésta no cumple con la especificación del cliente en la prueba de flexión de parrilla, ya que presenta una flexión mayor a los 5mm. Es por esta razón que el equipo de innovación en conjunto con el de ingeniería sugieren reforzar la parrilla con metal, naciendo así el concepto de la parrilla híbrida “plástica-metálica”. Esta parrilla híbrida debe obtener resultados satisfactorios en las pruebas de confiabilidad estructurales y térmicas, cumplir con una reducción de costo del 14% y presentar una mejora de apariencia con respecto a la metálica.

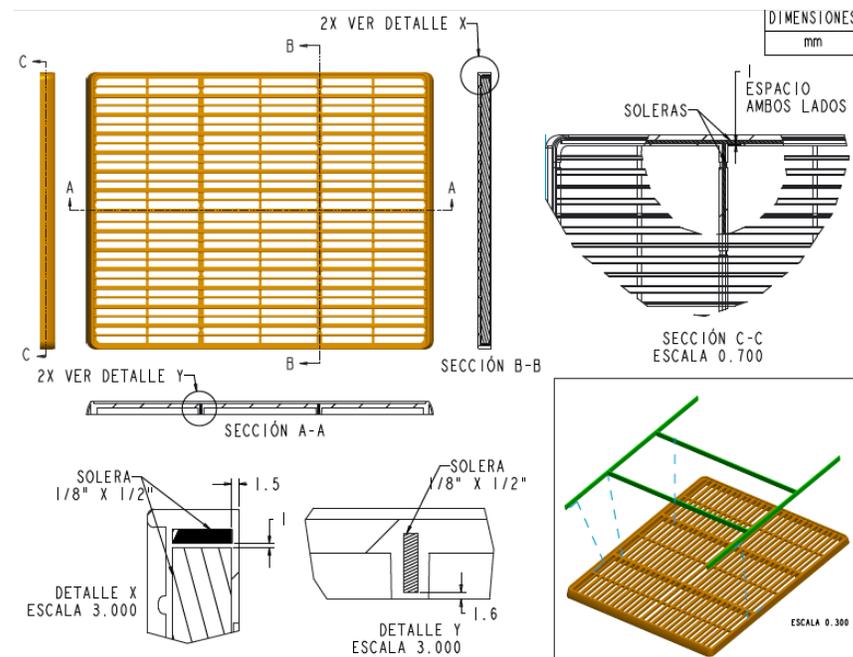


**Figura 1-1: Parrilla plástica**

Para el concepto de la parrilla híbrida se tienen dos propuestas, una con refuerzos en paralelo que se muestra en la figura 1-2 y una con refuerzos en H que se muestra en la figura 1-3.



**Figura 1-2: Parrilla híbrida “plástica-metálica” refuerzos paralelos**



**Figura 1-3: Parrilla híbrida “plástica-metálica” refuerzos en H**

Cabe mencionar que, para poder analizar los riesgos de la implementación de este accesorio, normalmente se utilizan herramientas como, árboles de fallas y AMEF. Y durante este análisis los ingenieros de producto deben entender si es necesario realizar alguna modificación al componente para asegurar el cumplimiento de los requerimientos internos, del cliente o de las normas.

Cuando el prototipo se tiene listo, comienza la etapa de evaluación, en la cual se llevan a cabo pruebas de confiabilidad de componentes para validar que cumple con los requerimientos y especificaciones correspondientes, las pruebas a las cuales se somete la parrilla son: estructurales, térmicas, químicas e impacto

Los resultados de estas evaluaciones deben ser satisfactorios de acuerdo con los parámetros establecidos para la liberación de un proyecto, es decir, para que pueda ser comercializado o entregado al cliente final.

Es muy común que haya retrasos en los tiempos de liberación por diversos factores, algunos de estos están ligados a los resultados no satisfactorios reportados durante las evaluaciones como es el caso de la parrilla plástica. Dado que en este caso no es negociable la fecha de entrega del producto, no se puede responder eficientemente con un rediseño robusto para solucionar el problema desde su causa raíz, sino que tan solo se realizan acciones para mitigar la falla o retardar su tiempo de aparición. Para evitar esto, se pudiera incluir el análisis numérico computacional en los conceptos híbridos previo a la evaluación de los prototipos para encontrar así las posibles fallas, mejorar el diseño y evaluarlo con estos cambios para entregar un componente robusto.

## **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Dado que la parrilla plástica no cumplió con la evaluación de flexión y no se cuenta con suficientes recursos económicos para realizar iteraciones de prueba de las dos propuestas de parrilla híbrida, se debe encontrar cuál de las dos opciones de

concepto de parrilla híbrida “plástica-metálica” es la mejor previo a la evaluación en el laboratorio, utilizando un método numérico para determinar cuál es el mejor y posterior realizar la confirmación en pruebas de laboratorio.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Las parrillas híbridas “plástica–metálica” tienen como principal finalidad remplazar a las parrillas metálicas que actualmente se usan, debido a que esto representa un ahorro sobre el costo del componente. Además, se pretende su implementación en un nuevo mercado que requiere por normativa parrillas plásticas. También se tiene la condición de utilizar el molde de la parrilla plástica que no cumplió con las pruebas de flexión. Debido a esto, es importante que el concepto de parrilla híbrida “plástica-metálica” cumpla satisfactoriamente con el plan de confiabilidad correspondiente para poder ser producidas.

### **1.4 OBJETIVOS**

Objetivo general:

Analizar los dos conceptos de la parrilla híbrida “plástica-metálica” con análisis numérico, con el cual se obtengan resultados confiables que puedan ser usados como criterio de aceptación del diseño previo a la fabricación de prototipos.

Objetivos específicos:

- Garantizar que la flexión central de los conceptos de parrilla híbrida no exceda de 5 mm de acuerdo con el estándar requerido por el cliente (MIT-MYE-010 método interno).
- Analizar la afectación de los coeficientes de expansión térmica entre los materiales (ABS y Acero A36) por medio del módulo termal de ANSYS en baja

temperatura  $-25^{\circ}\text{C}$  en el concepto de parrilla híbrida "plástico-metálica" seleccionada como adecuada en el análisis estructural

- Analizar la afectación de los coeficientes de expansión térmica entre los materiales (ABS y Acero A36) por medio del módulo termal de ANSYS en alta temperatura  $60^{\circ}\text{C}$  en el concepto de parrilla híbrida "plástico-metálica" seleccionada como adecuada en el análisis estructural.
- Verificar que los análisis de elemento finito generen resultados correlacionados a los resultados experimentales.

## **1.5 HIPÓTESIS**

1. Los análisis de elemento finito tienen correlación con los resultados experimentales en un porcentaje menor a 15 %, lo cual es representativo para un criterio de aceptación en la etapa de diseño.
2. La parrilla híbrida "plástica-metálica" tiene una flexión central menor de 5 mm, con una carga máxima distribuida de 45 kg (este valor se obtiene de colocar tres camas de latas que es igual a 126 latas totales de refresco de 355 ml sobre la parrilla), lo cual garantiza el requerimiento de cliente.
3. En los análisis térmicos se puede predecir la afectación que tienen los coeficientes de expansión térmica de los materiales hacia el componente.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se incluyen los principales términos en los cuales se está centrando el trabajo de tesis. Iniciando con la justificación en la selección de los materiales empleados para el diseño los cuales son: el plástico ABS y Acero A36, los cuales son seleccionados por las propiedades que aportan a la parrilla y el requerimiento del cliente. La unión de estos materiales forma un componente híbrido, que aportara una sinergia con la cual se pueda proporcionar mejores propiedades mecánicas que por sí solos no contribuyen, para esto se estudia el emplear un método de elemento finito. También se revisan algunos casos de estudio donde se usan materiales híbridos y como estos contribuyen en la suma de sus propiedades.

### **2.2 POLÍMEROS**

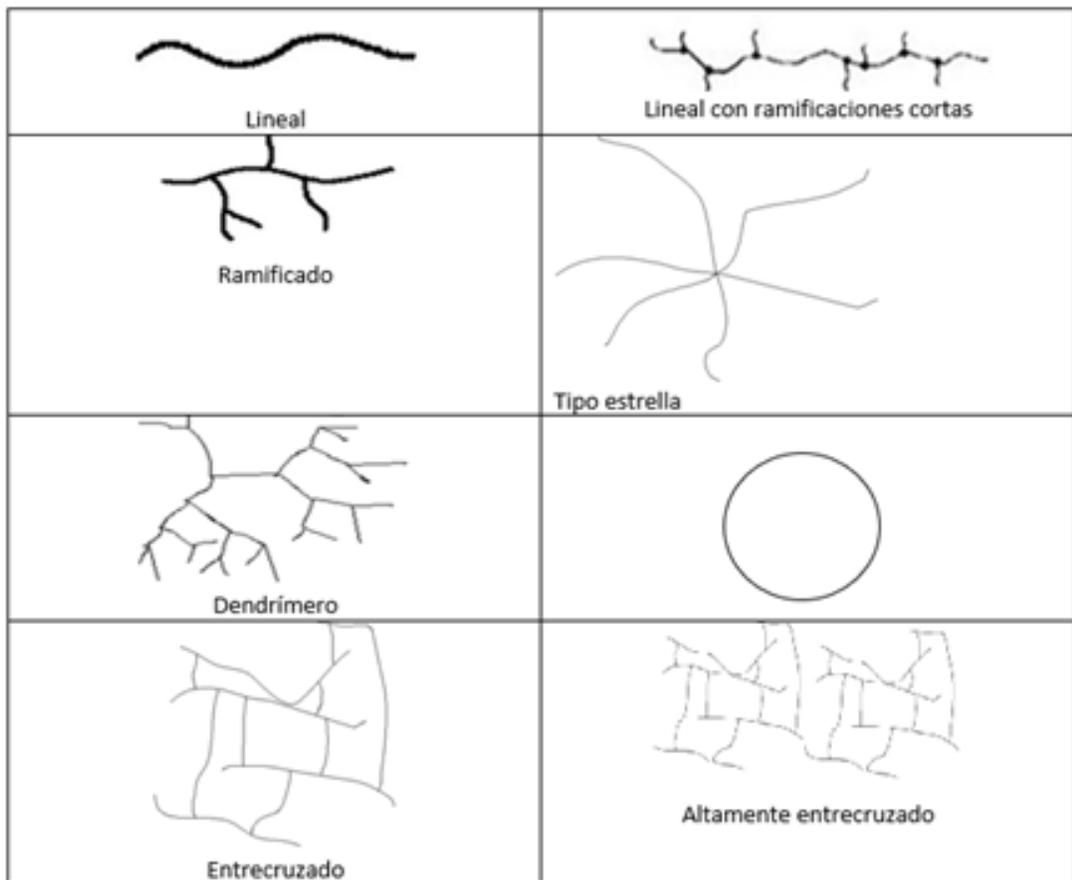
El término de Polímero está compuesto por 2 palabras griegas "polys" (mucho) y "mero" (parte o segmento). Un polímero en el sentido químico es un material formado por la unión de unidades de monómero que forman macromoléculas y estas hacen una consecución de unidades repetidas indicadas con el subíndice "n" que muestra el número de veces que se repite la unidad de monómero que formará el polímero. Los polímeros se encuentran en forma natural o bien desde el siglo XX se procesan en forma sintética.

Son utilizados en diversas ramas de la industria por sus propiedades, como son: la resistencia al impacto, elasticidad, baja densidad, la transparencia, aislamiento térmico y eléctrico, así como la capacidad maleable que poseen.

De acuerdo con la estructura de los polímeros, se define el tipo de propiedades que tendrá el material, por lo regular los materiales con estructura lineal y ramificados son materiales termoplásticos lo cual les permite fundirse y fluir, mientras que los polímeros con estructura entrecruzada son termofijos y estos con la

presencia de calor se degradan pues sus moléculas forman una especie de red, lo que no les permite fluir y tampoco disolverse con algún solvente.

En la Figura 2-1 [8], se pueden apreciar las diferentes estructuras que poseen los polímeros, aun sí se pueden observar estructuras semejantes, sin embargo, el comportamiento de los materiales es diferente, por ejemplo, las estructuras lineales sin ramificaciones pequeñas permiten una mejor cristalización por el acomodo de sus cadenas. Otro ejemplo es con los materiales que poseen estructuras entrecruzadas, a mayor grado de entrecruzado se forman materiales con un nivel de rigidez mayor.



**Figura 2-1: Tipos de polímeros de acuerdo con su estructura**

## 2.2.1 Plásticos

Los polímeros como se mencionó anteriormente son macromoléculas, estas generalmente orgánicas, las cuales toman forma gracias a que existen procesos de transformación como lo es la extrusión, hilado o moldeo. De esa manera se consigue la forma y características que se requieran en el diseño. Sin embargo, antes de procesarlo se debe preparar la materia prima de los plásticos, por ejemplo, la obtención de gránulos o pellets para poder transformarse.

De acuerdo con su producción, propiedades y costo, los plásticos son clasificados de la siguiente forma:

- *Comodities*: Plásticos de bajo costo y que se obtienen en gran tonelaje
- Plásticos de Ingeniería: Son de mayor costo que los *comodities*, se obtienen en gran tonelaje y con propiedades de alto desempeño.
- Plásticos de especialidad: Alto costo y con propiedades específicas.

De acuerdo con sus características en relación a su estructura:

- Termoplásticos: Materiales que se pueden reciclar gracias su estructura química lineal que en la presencia de calor pueden fundirse y fluir a presión. Ejemplo de estos materiales son: el poliestireno (PS), acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), polietileno (PE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC)
- Termofijos o Termoestables: Estos plásticos al calentarse no funden, ya que su estructura química entrecruzada es difícil de separarse y tiende a degradarse con facilidad por lo tanto su reciclaje es complicado. Ejemplo de estos materiales son: Poliuretano, Resinas fenólicas.

- Elastómeros: Estos materiales tienen una estructura amorfa que tienden a no cristalizarse, gracias a su  $T_g$  que se encuentra por debajo de la temperatura ambiente, esto les ayuda a que pueda estirarse en gran medida en varias ocasiones y luego recuperan la forma original sin deformarse. Ejemplo el Neopreno, Caucho natural.

Dependiendo de la naturaleza del monómero, del sistema catalítico y de las condiciones de reacción, los plásticos se pueden clasificar por diferentes procesos de polimerización, y estos tendrán estructuras químicas diferentes. Los mecanismos más usados son los siguientes:

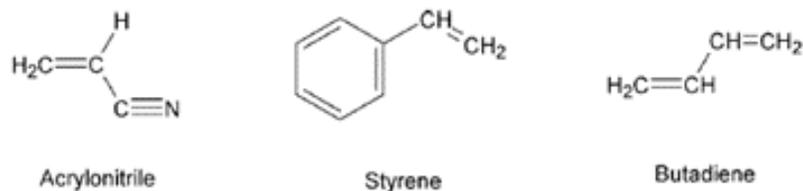
- Poliadicción: Los monómeros se unen a través de un sitio reactivo llamado radical libre o también se le conoce como mecanismo de "cadena creciente" (*chain growth*). Este método produce longitudes de cadena específica, por lo cual no producen sub-productos.
- Policondensación: Este mecanismo consiste en que los monómeros se unen a través de grupos químicos específicos, se le conoce como "crecimiento por etapas" (*step growth*). Y este método crea diferentes longitudes de cadena y se pueden generar subproductos como el agua, amoníaco y etilenglicol.

Algunos plásticos son enriquecidos con aditivos químicos que les ayudan en el aporte de una propiedad específica, para el uso que tendrá el componente diseñado. Por ejemplo, los aditivos de color para obtener colores específicos y darle la apariencia requerida. Los estabilizadores, protegen al polímero de la degradación por el medio ambiente. Los lubricantes, si el componente está expuesto a fricción. Los antioxidantes, de la degradación química. Los plastificantes ayudan al polímero a que se vuelva más flexible. Los aditivos ignífugos o retardantes de flama de acuerdo con el estándar requerido.

### 2.2.2 Acrilonitrilo-butadieno estireno (ABS)

Este plástico de ingeniería es uno de los más usados en la industria, por el buen balance que tienen sus propiedades mecánicas y el costo que esto representa. Este material es obtenido por el método de polimerización de adición, el cual está formado por dos fases mostrado en la figura 2-2 [7] el primer polibutadieno entrecruzado, injertado con SAN en la fase dos, las propiedades que le otorgan son las siguientes:

- Polibutadieno modificado, le proporciona resistencia al impacto.
- Poli (estireno-co-acrilonitrilo) o SAN (siglas en ingles) que le brinda propiedades de procesamiento, alta resistencia, resistencia química, dureza superficial, rigidez y buena apariencia.



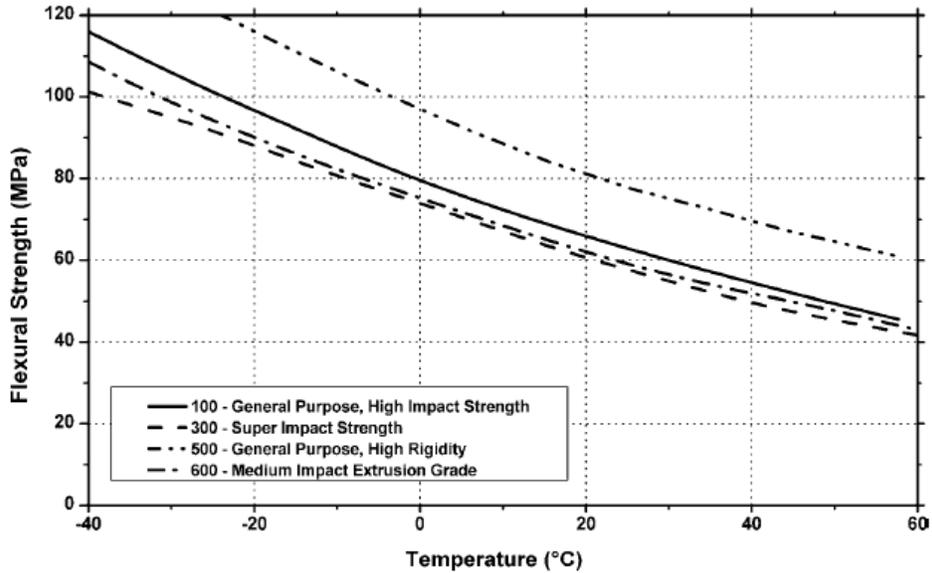
**Figura 2-2: Estructura química de Acrilonitrilo-butadieno estireno (ABS)**

Las aplicaciones de este plástico son diversas en la industria, se puede aplicar en electrodomésticos, juguetes, en la industria automotriz para los tableros, carcasas de espejos, faros, etc.

Las características mecánicas que posee el ABS son ideales para el uso de la parrilla híbrida, sin embargo, es importante revisar la degradación asociada al envejecimiento que proporciona los valores RTI (índice térmico relativo) que afectaran las propiedades mecánicas del material, por lo tanto McKeen [7] expone que el RTI del ABS sin reforzamiento maneja temperaturas de 60-80°C. Recalcando

que el componente se someterá a evaluación de alta temperatura máxima de 60°C.

Es importante mencionar que el efecto de la temperatura tiene correlación con la resistencia a la flexión del material de acuerdo con la figura 2-3 [7].



**Figura 2-3: Resistencia a la flexión vs Temperatura de Toray Plastics resina ABS**

En la tabla 2-1 [6]. Se muestran las propiedades generales del Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno con retardante de flama.

Densidad	1.04 – 1.33 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de Elasticidad	1.5 – 1.9 GPA
Coefficiente de Poisson	0.33
Coefficiente de expansión térmica	72 – 144 μm/m-°C
Resistencia a la tensión	28.3 – 53.9 MPA
Elongación	10 a 30%
Gravedad específica	1.06

**Tabla 2-1: Propiedades Generales Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS)**

## 2.3 ACEROS

Los aceros son aleaciones de hierro y carbono, prácticamente se clasifican por su composición química, propiedades de tensión, que ayudan al diseñador a seleccionar el acero que más convenga para su diseño optimizando el costo y por los métodos de fabricación. Las aleaciones con elementos como el níquel, molibdeno, cromo, vanadio, etc., tienen la función de dar al acero características para aplicaciones específicas de ingeniería.

La "American Society of Testing Materials" - ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales), y el American Iron and Steel Institute - Society of Automotive Engineers AISI-SAE (Instituto Americano de Hierro y Acero – Sociedad de Ingenieros Automotores), son algunas organizaciones que han clasificado a los aceros y dividirlos por nomenclaturas de acuerdo con su composición, y por ende también se encargan de dar a conocer los materiales al público.

La clasificación por su contenido de carbono:

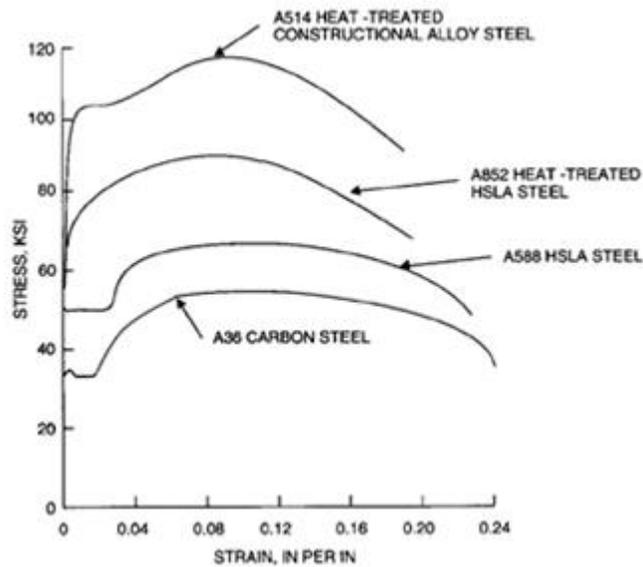
- Bajo Carbono, el acero contiene menos de 0.30% de carbono
- Medio Carbono, el acero contiene entre el 0.30% a 0.60% de carbono
- Alto Carbono, el acero contiene arriba del 0.60% de carbono

La clasificación por aleantes:

- Carbono simples, el acero contiene menos de 1.65% de Mn
- Baja Aleación, el acero contiene menos del 5% de aleación

- Alta Aleación, el acero contiene más del 5% de aleación, estos tienen una sub-clasificación: Los aceros inoxidable y los aceros para herramientas.

Como se muestra en la figura 2-4 [2] la curva de tensión-deformación de los aceros se pueden clasificar de esta forma las características que poseen para una selección de materiales de acuerdo con la necesidad de uso que se tenga y así optimizar los costos sin sobre diseñar.



**Figura 2-4: Curva de tensión-deformación para aceros estructurales**

Los elementos de Aleación dan al acero determinadas propiedades, por ejemplo, a mayor contenido de carbono proporciona la dureza, pero perjudica la ductilidad, también genera un desgaste por abrasión y a un menor contenido de carbono y se incrementa el desgaste por adherencia. Con el Cromo, Molibdeno, Wolframio, Vanadio, Titanio, Niobio, incrementan el desgaste por abrasión. El Niobio aumenta la resistencia. El Molibdeno, Níquel y Titanio, ayudan a la corrosión atmosférica. El Vanadio, Niobio y Molibdeno, no perjudica a la soldabilidad. El oxígeno influye en la maquinabilidad y oxidación. El Aluminio, Titanio, Vanadio, Niobio, se usa para que el acero sea más tenaz y fácil de mecanizar.

### 2.3.1 Acero ASTM-A36

El Acero A36 es un acero estructural al carbono, este acero además de hierro los elementos que lo integran son los siguientes.: (Para una placa de hasta  $\frac{3}{4}$  in de espesor)

- Carbono 0.25%
- Fósforo 0.04%
- Azufre 0.05%
- Silicio 0.40% máximo,
- Cobre 0.20% (cuando es especificado acero de cobre)

Las aplicaciones del Acero A36 son diversas en el mercado, ya que es un acero altamente comercial y es usado para muchas aplicaciones por las diferentes formas que los podemos encontrar, ejemplo de ello: en cables para puentes colgantes, en la construcción de edificios y estructuras industriales con forma de perfiles, tubos, barras o laminas, también para reforzar concreto y lo podemos encontrar hasta en placas de 8 pulgadas de espesor (esta placa tiene esfuerzo de fluencia min de 220 MPa, mientras los de menor espesor están por arriba de los 250 MPa) [2]. En la tabla 2-2 [1] se muestran las propiedades generales del Acero A36.

Densidad	7860 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de Elasticidad	200 GPa
Módulo de Rigidez	77.2 GPa
Coefficiente de Poisson	0.26
Coefficiente de expansión térmica	11.7 X 10 <sup>-6</sup> /°C
Resistencia a la tensión	400 MPA
Elongación	21%

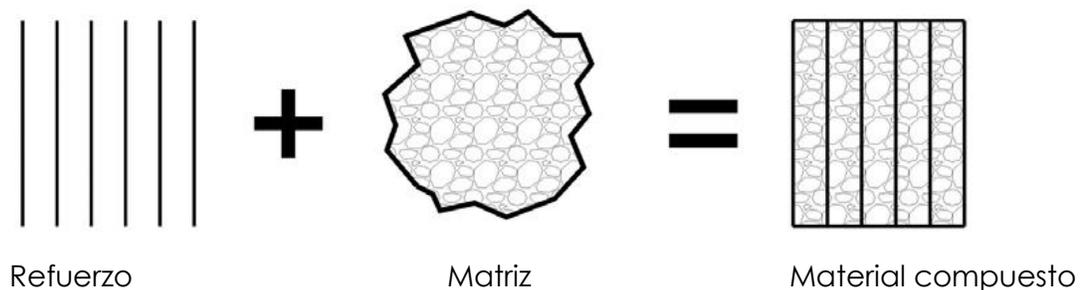
**Tabla 2-2: Propiedades Generales Acero A36**

## 2.4 MATERIALES HÍBRIDOS

La definición para los materiales híbridos o compuestos es la combinación de dos o más materiales ensamblados con una configuración y escala predeterminada, de tal forma que se generen propiedades o atributos que no son dados por un material por sí mismo [5].

Estos materiales se dan por la convergencia de materiales uno como la matriz y el otro material como la fibra, estos aportan mayores propiedades y por ello cada vez se usan más en la industria, ya que aportan beneficios, como son: bajo costo, menor peso, ayudan a evitar la corrosión, más resistentes, rígidos, aislantes térmicos y acústicos. Hasta en el uso de materiales que ayuden al medio ambiente, en su reutilización.

La composición de un material compuesto o híbrido se muestra en la figura 2-5 [3], la cual está formada por un refuerzo y matriz, la superficie que une a estos materiales se le llama interfaz, en algunos casos también van a requerir compuestos extras que ayuden en el acoplamiento de los materiales, a rellenar o en revestir para mejorar la apariencia final el material compuesto.



**Figura 2-5: Configuración básica de un material compuesto**

Existen 3 tipos de matrices:

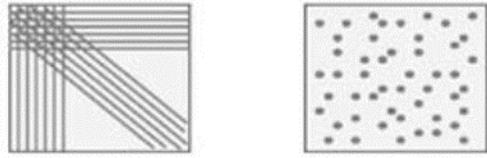
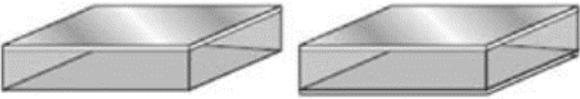
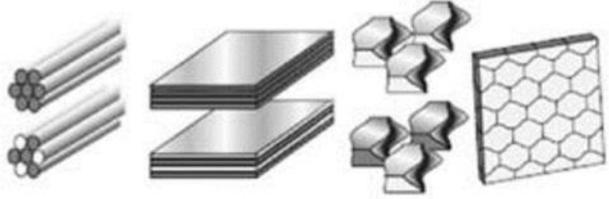
Matriz cerámica: Este tipo de matriz se adiciona con refuerzos cerámicos lo que ayuda a que tenga mayor resistencia a la fractura, oxidación y resistencia en altas

temperaturas. Usualmente la matriz cerámica también es usada en industria aeroespacial ya que representa menor densidad que la matriz metálica y con mayores propiedades térmicas.

Matriz Polimérica: Esta matriz es de las más usadas en cualquier industria. Los refuerzos usados en esta matriz pueden ser metálicos, cerámicos o poliméricos. Se caracteriza por densidades bajas, propiedades térmicas, bajo costo en procesos de manufactura.

Matriz Metálica: Este tipo de matriz se adiciona con refuerzos metálicos o cerámicos para generar compuestos con algo grado de resistencia mecánica, dureza, altas temperaturas, por lo regular su aplicación es usada en la industria aeroespacial y automotriz. Son matrices costosas por los procesos de manufactura que se emplea para fabricarlos.

Los materiales híbridos se clasifican de acuerdo con la matriz, al tipo de refuerzo y en el tipo de acoplamiento como lo muestra la imagen 2-6 [3].

FAMILIA	EJEMPLOS
1. COMPUESTO	
2. SÁNDWICH	
3. ENREJADO	
4. ESTRUCTURA SEGMENTADA	

**Figura 2-6: Clasificación de los materiales híbridos según su estructura**

Las aplicaciones de los materiales híbridos son diversas. Las industrias donde se observa el mayor uso de estos materiales son las siguientes:

- Aviación, con compuestos cerámicos que ayuden en las turbinas a disipar la temperatura.
- Construcción, con materiales laminados fibra-metal constituido por materiales metálicos y compuestos de matriz polimérica con adhesivos estructurales.
- Automotriz, la aplicación en la construcción de la carrocería, que ayude en la resistencia del carro en impacto, pero con baja densidad y con ello genere ventaja en el consumo de combustible.

- Naval, aplicación para la realización de los cascos y las estructuras de los barcos, ya que esto al tener menor densidad ayuda en su aplicación.
- Otros, por ejemplo, en la industria de la refrigeración usualmente se usan este tipo de materiales híbridos, uno de los ejemplos representativo es en la construcción del gabinete del enfriador, el gabinete es manufacturado con lamina pre-pintada para darle forma, posteriormente se rellena con espuma de poliuretano con la finalidad de proporcionarle estructura y rigidez.

## **2.5 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

Con la finalidad de obtener las especificaciones de calidad de cada material para el uso requerido en el diseño de componentes, los materiales unitarios o híbridos son sometidos a diferentes pruebas para comparar propiedades, con ayuda de algunas organizaciones como lo son ASTM e ISO, que cuentan con métodos de prueba ya estandarizados, para someter a los materiales a pruebas, como son algunas mencionadas abajo:

- Teoría de fallas, deflexiones basadas en constantes elásticas, esto para verificar el comportamiento de sus propiedades.
- Las pruebas mecánicas, que en base al esfuerzo o deformación se obtengan las propiedades del material con respecto a la resistencia a la fractura.
- Las pruebas de tensión, para obtener tensión estática, predecir fallas en piezas sometidos a estrés.
- El módulo de resiliencia, la cantidad de energía almacenada al estresar el material hasta el límite elástico dado por el área debajo de la porción elástica del diagrama.
- La ductilidad de un material es su capacidad de deformarse bajo carga y se puede medir ya sea por un cambio de longitud o un cambio de área.

Para los materiales compuestos también se están desarrollando pruebas por estas mismas organizaciones para poder verificar las propiedades que se tienen con la sinergia de los materiales.

## **2.6 ANALISIS DE ELEMENTO FINITO**

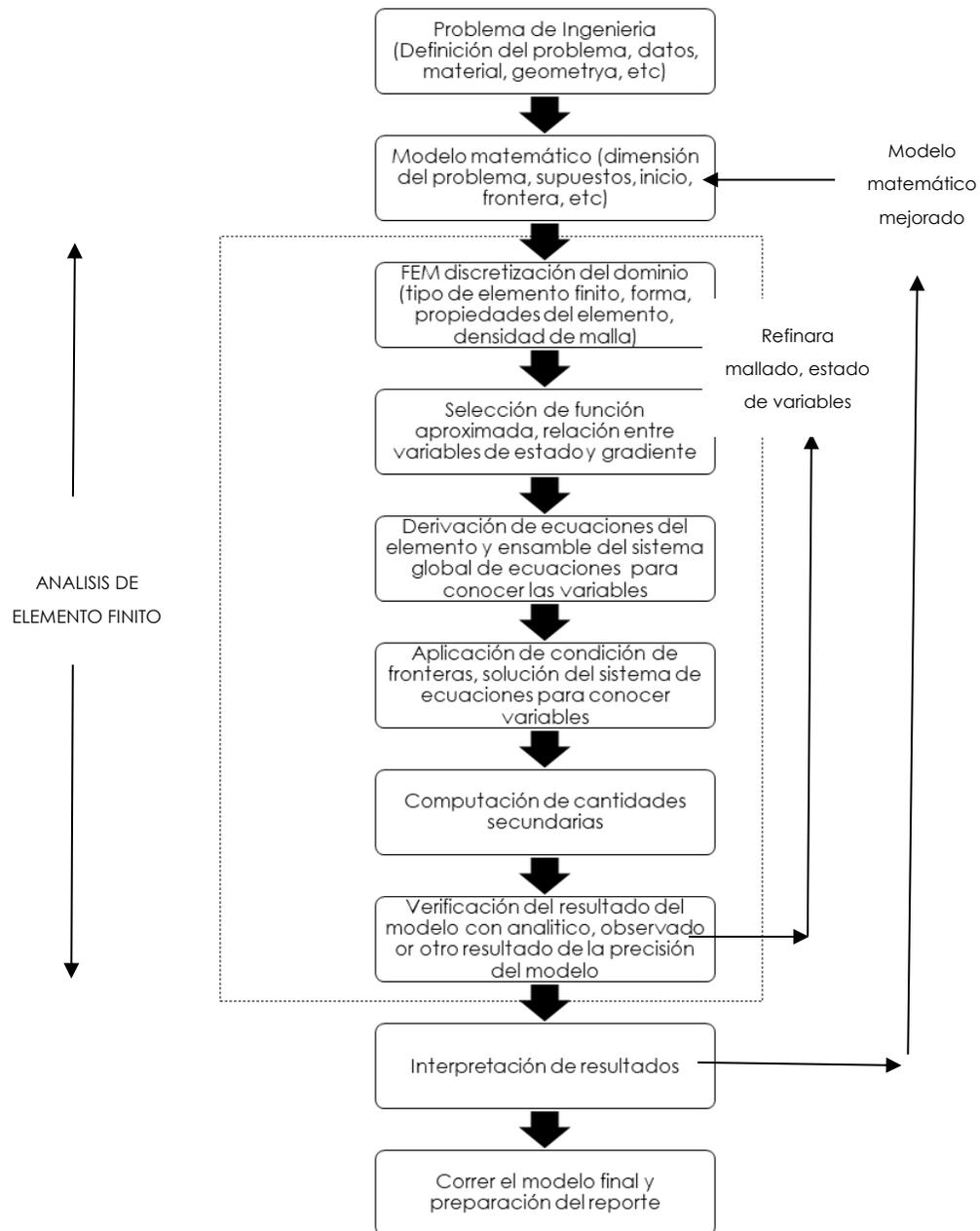
El FEA es un método numérico que consiste en la simulación matemática para la solución de problemas complejos de ingeniería, este método inicio en los años cuarenta con el análisis en una dimensión y posteriormente gracias a la evolución computacional se han podido resolver los sistemas de ecuaciones complejos de dos o tres dimensiones, que anteriormente eran complicadas de resolver.

La industria automotriz y aeroespacial usan el método FEA con mayor auge, porque esto representa ahorros importantes, al minimizar pruebas en la confiabilidad del diseño. Sin embargo, cada vez este método es usado por otros campos de la industrial, sobre todo en los nuevos materiales compuestos, ya que su geometría es compleja. Con ayuda del FEA se pueden analizar lo siguientes:

- Análisis estructurales
- Mecánica del solido
- Mecánica de fluidos
- Transferencia de calor
- Problemas electromagnéticos, etc.

El proceso de desarrollo de un análisis de elemento finito es realizar la discretización del elemento, lo cual consiste en dividir el dominio en pequeños dominios los cuales formaran un sistema de ecuaciones, para obtener una solución se deben sacar cada uno de los dominios y posteriormente se conjuntan para obtener la solución del dominio general. Los puntos discretos considerados en el dominio se llaman nodos y los dominios más pequeños o unidades consideradas se llaman elementos. Los nodos y elementos forman la malla. La exactitud de la malla será en función al

tamaño que sea discretizada. El proceso general de un análisis de elemento finito de acuerdo con Eldho y otros [4] se muestra en la figura 2-7.



**Figura 2-7: Proceso general del análisis de elemento finito**

Hoy en día se tienen varios softwares en los cuales apoyarse para el análisis de elemento finito, algunos son ABACUS, ANSYS, Autodesk Simulation, CREO Simulate, etc.

## **2.7 CASOS DE ESTUDIO CON MATERIALES HÍBRIDOS**

### **2.7.1 Pavimento reforzado con capas de fibra de acero para pistas de aterrizaje. [1]**

Esta investigación con materiales híbridos, en el uso de ingeniería de pavimentos, para ambientes demandantes, como en la pista de aterrizaje, en el cual aporten mejores propiedades para una mayor resistencia.

Se analiza por medio de elemento finito con el software ABAQUS, el análisis es realizado con dos opciones: el concreto plano y el concreto con vigas de hormigón reforzado con capas de fibra de acero. El comparativo es enfocado en las propiedades entre la deflexión de la carga en tres puntos de acuerdo con las pruebas físicas. Los resultados del cálculo se acercan con los experimentales, lo cual muestra que el método es efectivo, mostrando que el hormigón reforzado con fibra de acero no es afectado significativamente en la etapa elástica, por lo cual tiene una mayor capacidad de carga en comparación con el concreto simple.

### **2.7.2 Pisos con estructura de madera. [9]**

En este artículo se busca simular pisos de edificios o casas, al analizar numéricamente el comportamiento de la madera en conjunto con la carga de los bloques de hormigón, se realizan varias configuraciones de ensamble de la madera, en las cuales puedan revisar que configuración puede aumentar las propiedades estructurales, también es considerado el análisis termal donde se muestra como son afectadas las propiedades mecánicas en caso de un siniestro de fuego. Tuvieron que generar más medidas por los retos en la investigación, en la compleja composición de la madera en su anisotropía, heterogeneidad y porosidad.

Emplearon el método de FEA con el software ANSYS en el análisis térmico y análisis estructural para predecir el comportamiento mecánico de dos configuraciones una construcción que consiste en soportes de madera dimensionales, y la segunda, un ensamblaje de piso con soportes de madera I-joist diseñados por ingeniería, para casas en condiciones normales. Utilizaron información detallada sobre condiciones de contorno, geometría de ensamble y construcción, cargas, material propiedades y modos de falla esperados.

### **3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 ANÁLISIS DEL MODELO VIRTUAL**

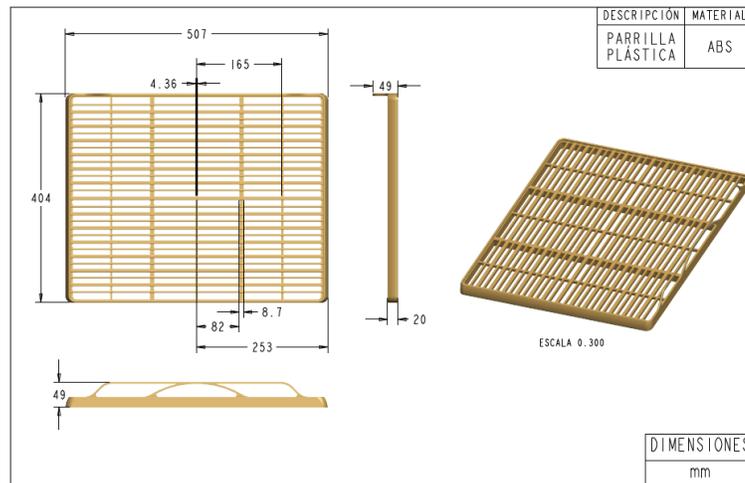
Los análisis se desarrollarán de acuerdo con el siguiente programa:

1. Análisis estructural para el concepto de parrilla plástica.
2. Se explica como es el proceso de convergencia de malla.
3. Análisis estructural para el concepto de parrilla híbrida "plástica-metálica" con refuerzos en paralelo.
4. Convergencia de malla para el concepto de parrilla híbrida "plástica-metálica" con refuerzos en paralelo.
5. Análisis estructural para el concepto de parrilla híbrida "plástica-metálica" con refuerzos en H.
6. Convergencia de malla para el concepto de parrilla híbrida "plástica-metálica" con refuerzos en H.
7. Análisis termal de baja temperatura, alta temperatura y choque térmico en el concepto de parrilla híbrida "plástica-metálica" con los refuerzos en H.

##### **3.1.1 Análisis estructural de concepto inicial. Parrilla plástica.**

En los siguientes pasos se muestra el desarrollo del análisis estructural para el concepto de parrilla plástica.

1. Desarrollo del modelado del concepto de la parrilla plástica, el cual consiste en una parrilla de ABS. En la figura 3-1 se puede observar el modelo 3D generado mediante el software de diseño CREO Parametric.



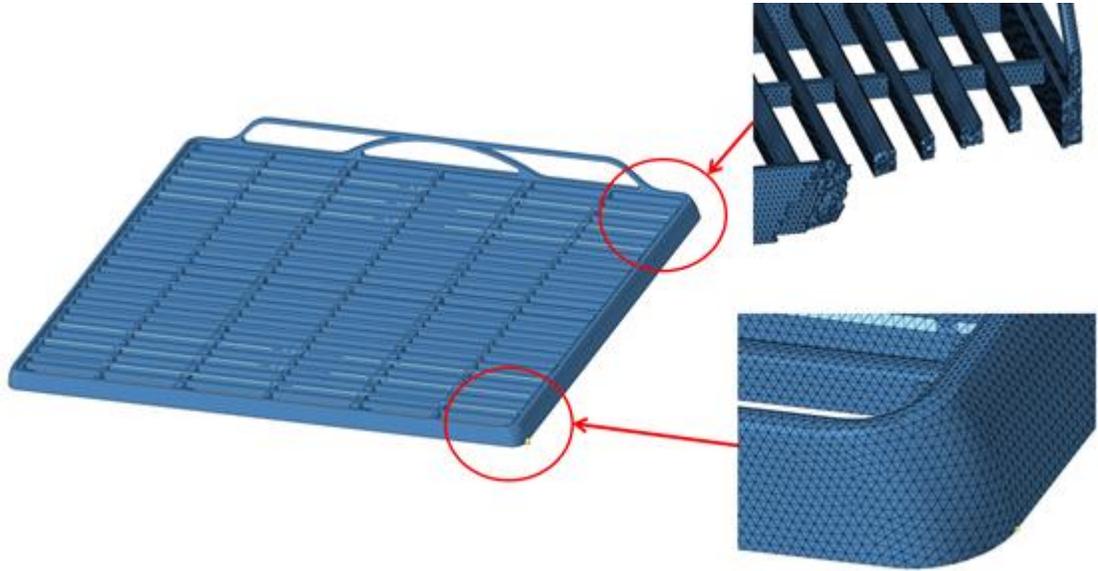
**Figura 3-1: Concepto inicial. Parrilla plástica.**

- Para el análisis estructural se utiliza el módulo "Static Structural" de ANSYS Workbench. Para poder utilizar el modelo 3D en ANSYS es necesario importarlo como un archivo del tipo. iges previamente generado desde CREO.
- Se seleccionan las propiedades mecánicas para el ABS con retardante a la flama que será utilizado en el análisis con ANSYS. Estas propiedades son mostradas en la tabla 3-1.

PROPIEDADES MECÁNICAS	ABS [6]
Densidad	1.04 – 1.33 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de Elasticidad	2.2 GPa
Coefficiente de Poisson	0.32
Coefficiente de expansión térmica	72 – 144 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$
Resistencia a la tensión	35 MPa
Elongación	10 a 30%
Gravedad específica	1.06

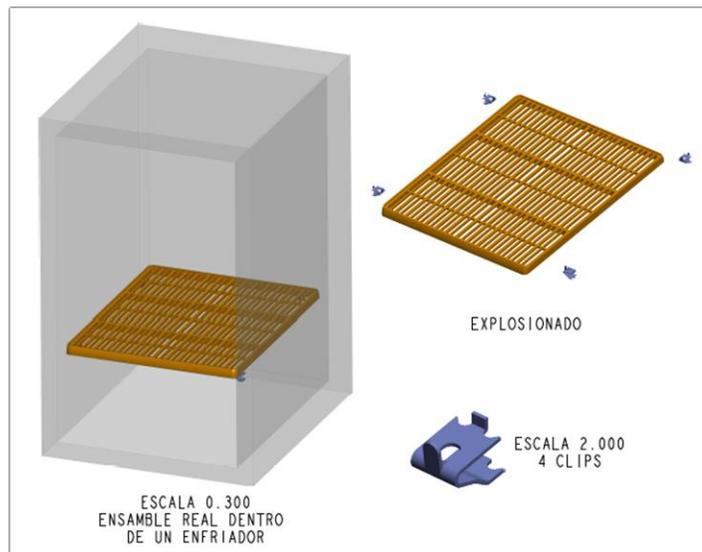
**Tabla 3-1: Propiedades Generales ABS con retardante a la flama**

- Mallado, el modelo seleccionado de malla cuenta con 184531 elementos y 357563 nodos, esto se observa en la figura 3-2.

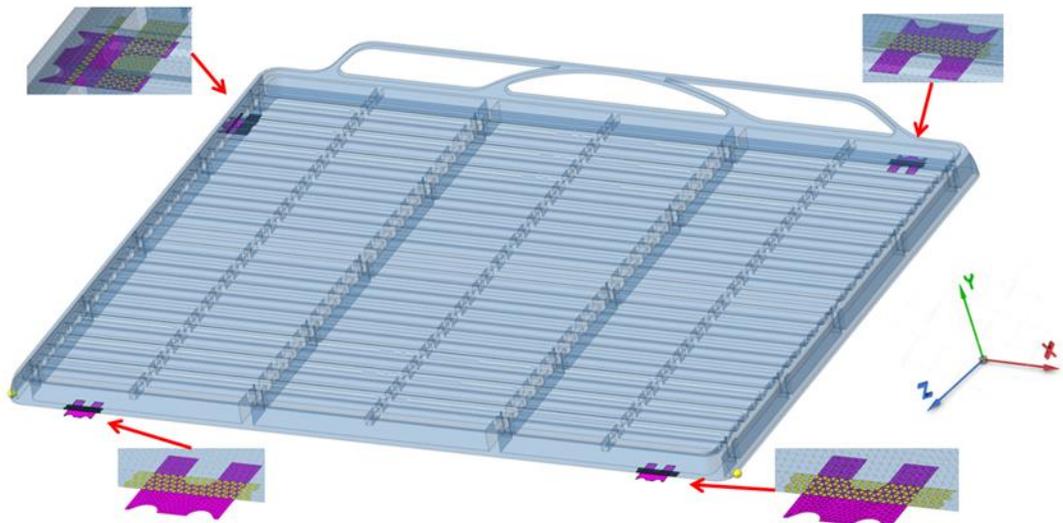


**Figura 3-2: Concepto parrilla plástica. Mallado.**

5. Se establecen condiciones de frontera, para lo cual se toma como referencia el ensamble de la parrilla montada dentro de un enfriador sobre los cuatro clips que se encuentran ensamblados en los costados del gabinete como se muestra en la figura 3-3.

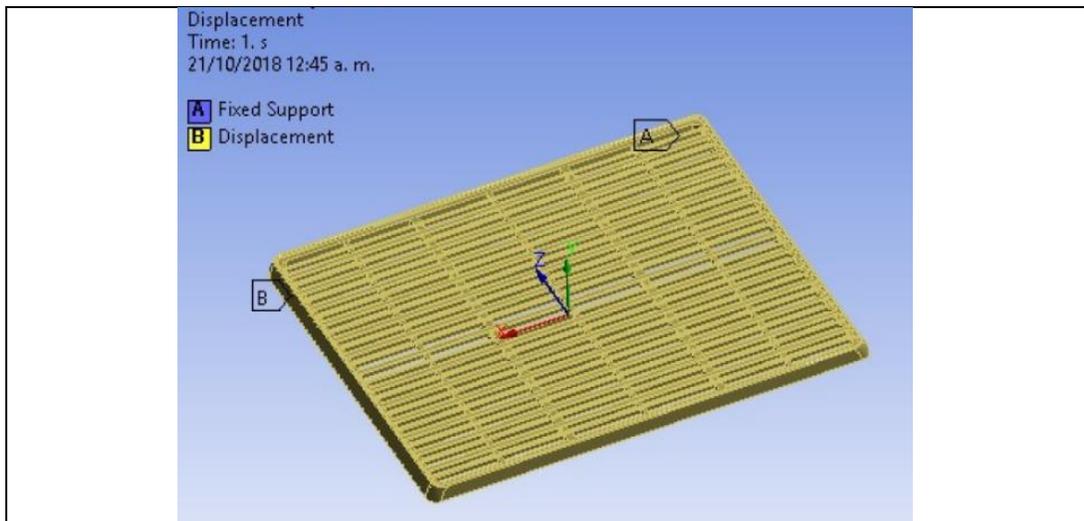


### Detalle del montaje sobre Clips y Contactos

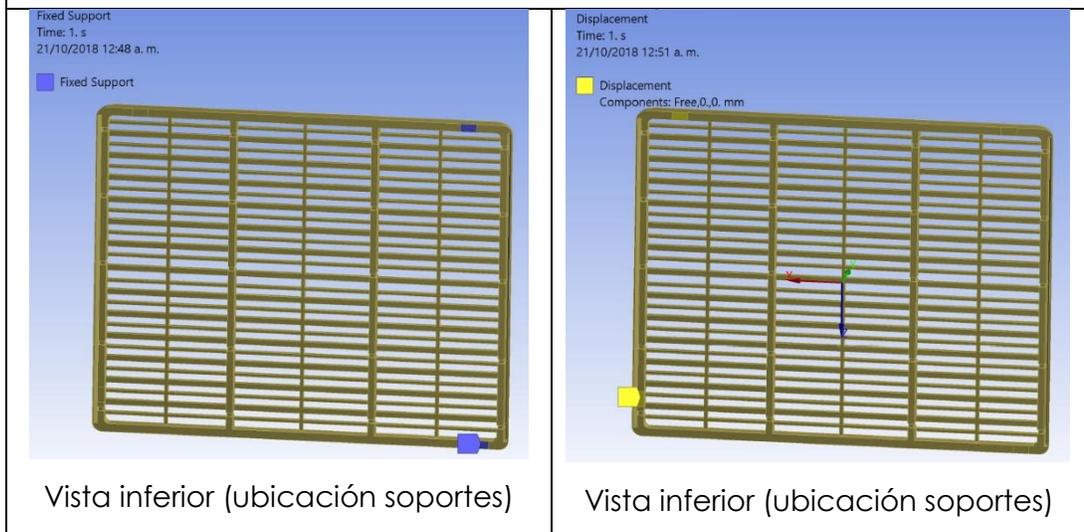


**Figura 3-3: Condiciones de frontera, montaje sobre clips.**

6. Con la finalidad que la parrilla tenga restricciones necesarias para simular el comportamiento del análisis real, las condiciones de frontera referente a los soportes se muestran en la figura 3-4 y se establecen de la siguiente forma:
- Dos soportes con una traslación de cero en los ejes "X", "Y" y "Z". (soportes mostrados con A)
  - Los otros dos con una traslación de cero en el eje "Y" con traslación libre en los ejes "X" y "Z". (soporte mostrado con B).



Vista superior

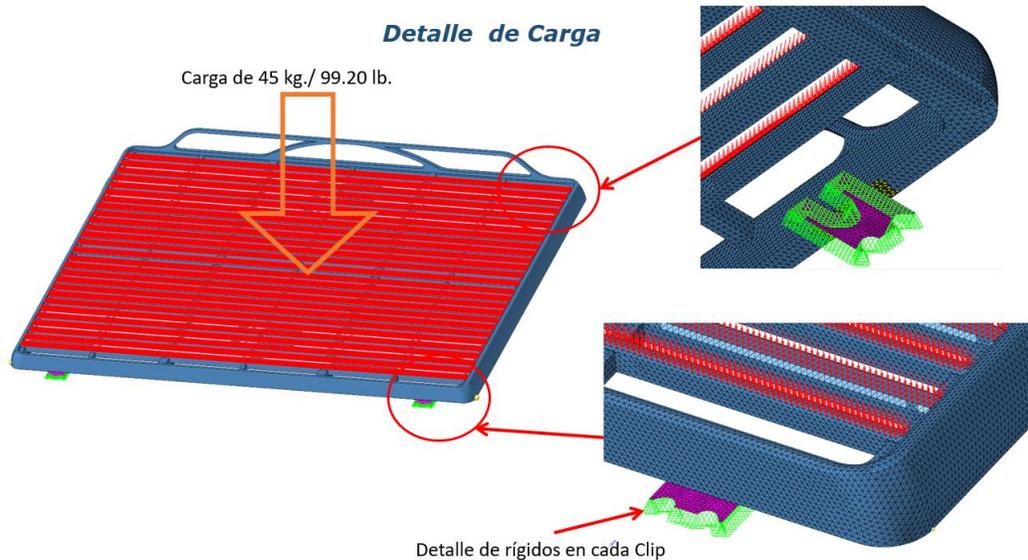


Vista inferior (ubicación soportes)

Vista inferior (ubicación soportes)

**Figura 3-4: Detalle de restricción de soportes**

- Se definen en el modelo, flexión (V), momento (M), Fuerza (F) y Gravedad (G) como:  $V_0 = 0$ ,  $M_0 = 0$ ,  $F = 441\text{N}$  y  $G = 9.8\text{ m/s}^2$  para poder realizar el análisis, esto se puede ver en la figura 3-5.



**Figura 3-5: Concepto parrilla plástica. Detalle de carga y soporte**

### 3.1.2 Proceso de Convergencia de malla.

Con el propósito de obtener resultados más precisos, se pudiera usar una malla refinada, pero esto por lo general incrementa el tiempo de cálculo, por lo cual para los conceptos híbridos de parrilla “plástica-metálica” se corren varios análisis con diferente mallado para que con ello se pueda determinar el mallado ideal en tiempo y precisión, a esto se le llama estudio de convergencia de malla y se desarrolla con los siguientes pasos:

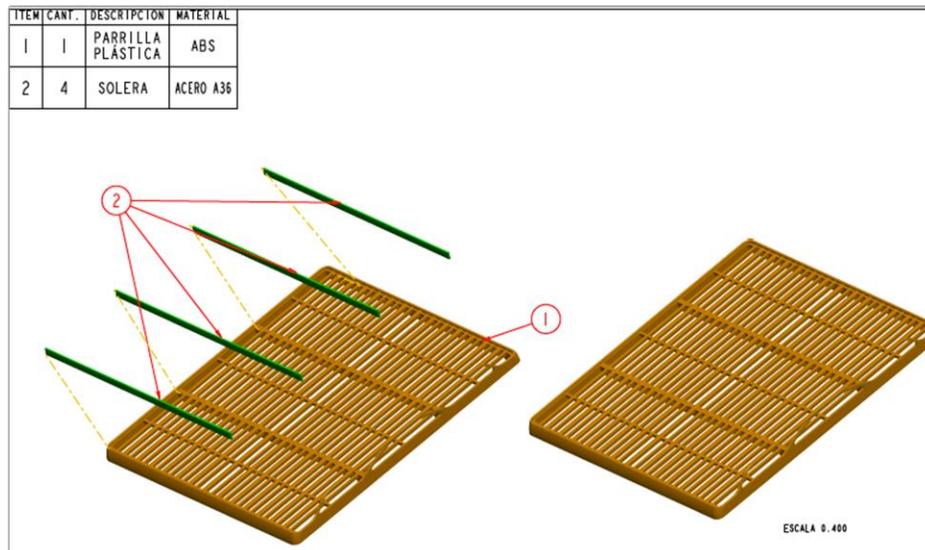
1. Primer paso se debe crear una malla con el menor número de elementos y se analiza el modelo de la parrilla plástica.
2. Volver a crear la malla o bien irse a editar el tamaño de los elementos, de tal forma que la distribución de elementos sea más densa y correr el análisis nuevamente, con estos datos comparar contra el primer mallado.

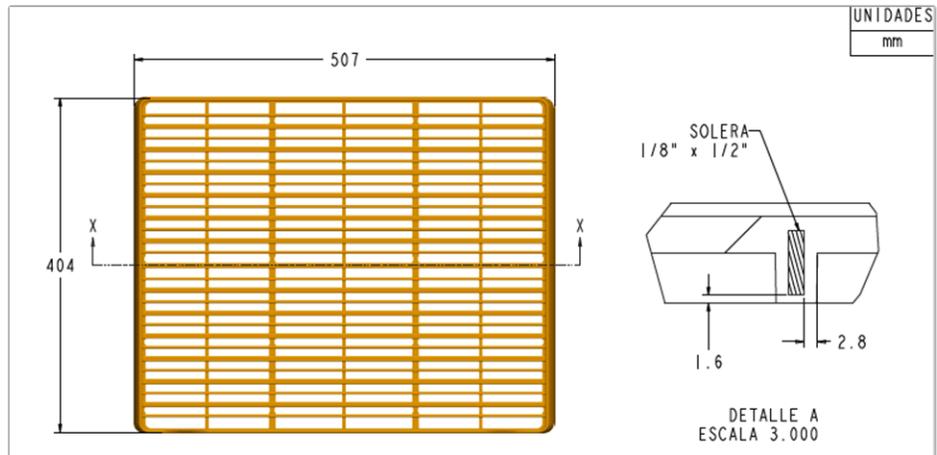
3. Volver a modificar la densidad de la malla cuanto sea necesario y comparar todos los resultados. del modelo anterior hasta que esos tengan una convergencia.
4. Por último, seleccionar el mallado con menor tiempo de procesamiento, pero que los resultados del análisis sean cercanos a los mallados más densos, este mallado en cantidad de elementos y nodos, es tomado para los tres conceptos de diseño.

### 3.1.3 Análisis estructural de concepto de parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en paralelo

En los siguientes pasos se muestra el desarrollo del análisis estructural para el concepto de parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en paralelo.

1. Desarrollo del modelado consiste en una parrilla de ABS con cuatro refuerzos embebidos (soleras) de acero A36 en posición paralela. En la figura 3-6 se puede observar el modelo 3D generado mediante el software de diseño CREO Parametric.





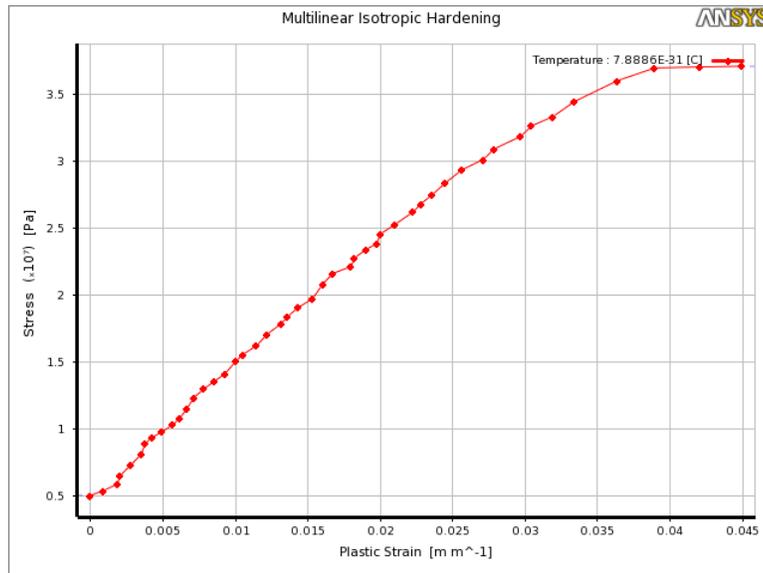
**Figura 3-6: Concepto de parrilla híbrida “plástica-metálica”, con refuerzos en paralelo.**

2. Para el análisis estructural se utiliza el módulo “Static Structural” de ANSYS Workbench. Para poder utilizar el modelo 3D en Ansys es necesario importarlo como un archivo del tipo. iges previamente generado desde CREO.
  
3. Se seleccionan las propiedades mecánicas para los materiales comerciales ABS con retardante a la flama y el acero A36 que serán utilizados en el análisis con ANSYS. Estas propiedades son mostradas en la tabla 3-2.

PROPIEDADES MECÁNICAS	ACERO A36 [1]	PROPIEDADES MECÁNICAS	ABS [6]
Densidad	7860 kg/m <sup>3</sup>	Densidad	1.04 – 1.33 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de Elasticidad	200 GPa	Módulo de Elasticidad	2.2 GPa
Módulo de Rigidez	77.2 GPa	Coefficiente de Poisson	0.32
Coefficiente de Poisson	0.26	Coefficiente de expansión térmica	72 – 144 μm/m·°C
Coefficiente de expansión térmica	11.7 X 10 <sup>-6</sup> /°C	Resistencia a la tensión	35 MPa
Resistencia a la tensión	400 MPa	Elongación	10 a 30%
Elongación	21%	Gravedad específica	1.06

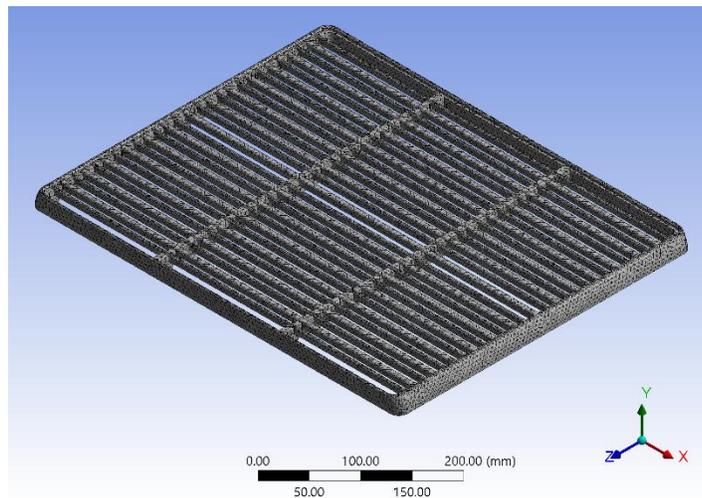
**Tabla 3-2: Propiedades Generales Acero A36 y ABS con retardante a la flama**

4. Se agregan valores de la curva de esfuerzo-deformación para el material ABS, como lo muestra la siguientes Figura 3-7. [7]



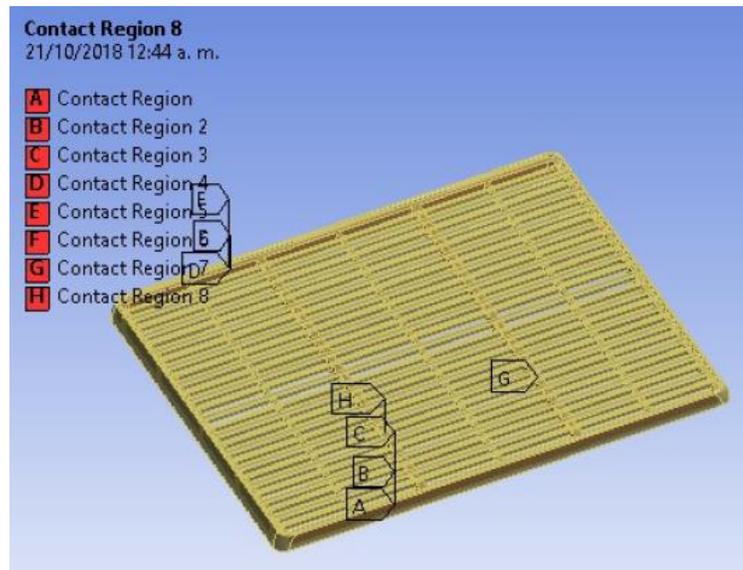
**Figura 3-7: Curva esfuerzo-deformación del ABS.**

5. Se genera el mallado, el modelo seleccionado de malla cuenta con 337,576 elementos y 698,147 nodos, esto se observa en la figura 3-8.



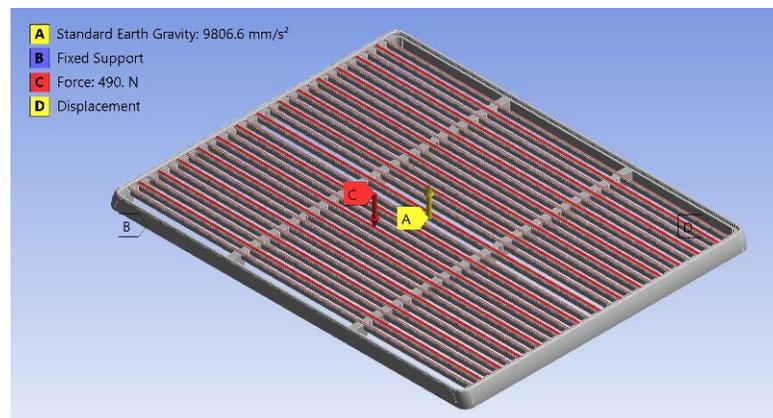
**Figura 3-8: Mallado de parrilla híbrida “plástica-metálica”, con refuerzos en paralelo.**

6. Se establecen condiciones de frontera, para lo cual se toma como referencia el ensamble de la parrilla montada dentro de un enfriador sobre los cuatro clips que se encuentran ensamblados en los costados del gabinete como se muestra en la figura 3-3 y las consideraciones de la figura 3-4.
  
7. Para el modelo se definen los contactos “tipo unión” entre el material plástico y el metálico como lo muestra la figura 3-9, con la finalidad de establecer que los materiales están unidos, esto por el proceso de co-inyección.



**Figura 3-9: Definir contactos entre materiales.**

8. Se definen en el modelo, flexión ( $V$ ), momento ( $M$ ), Fuerza ( $F$ ) y gravedad ( $G$ ) como:  $V_0 = 0$ ,  $M_0 = 0$ ,  $F = 441\text{N}$  y  $G = 9.8\text{ m/s}^2$  para poder realizar el análisis, esto se puede ver en la figura 3-10.



**Figura 3-10: Carga para parrilla “plástica-metálica”, con refuerzos en paralelo.**

### 3.1.4 Análisis de convergencia de malla para la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en paralelo

Se corren 3 análisis con diferente mallado, los resultados se muestran en la siguiente tabla 3-3, (se sigue los pasos del Proceso de convergencia de malla 3.1.2):

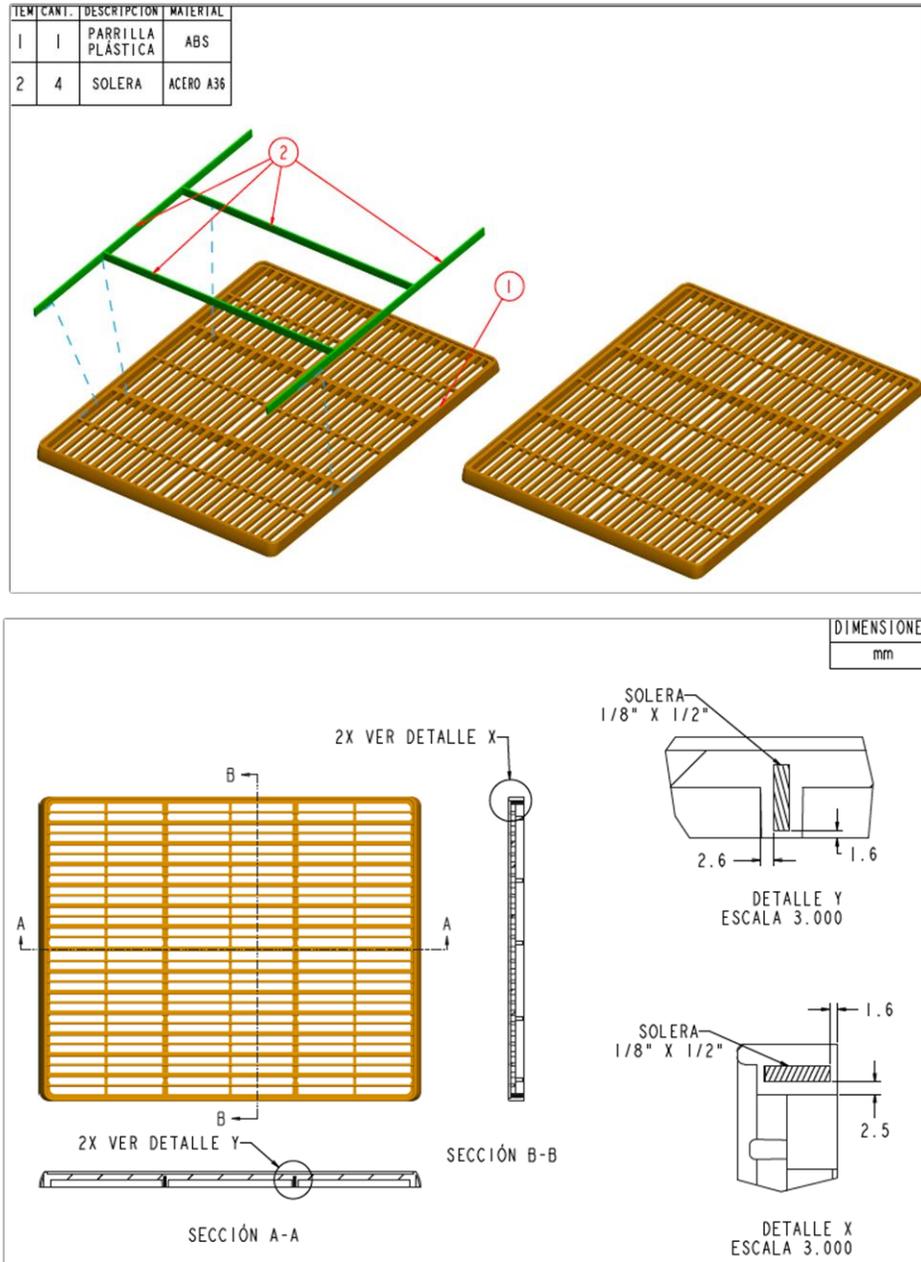
# Corrida	1	2	3
Tamaño Elemento de malla (mm)	3	2	1
Cantidad de Nodos	428584	698147	2430064
Cantidad de elementos	207684	337576	1187259
Deformación Total (mm)	6.02	6.07	6.123
Esfuerzo equivalente general (MPa)	126.3	<b>119.62</b>	118.6
Tiempo de proceso (min)	40	<b>90</b>	360
% Diferencia esfuerzo contra corrida 1	-	5.29	6.10
% Diferencia esfuerzo contra corrida 2	5.29	-	0.85
% Diferencia esfuerzo contra corrida 3	6.10	0.85	-

**Tabla 3-3: Convergencia de malla para parrilla híbrida con refuerzos en paralelo**

Se selecciona la corrida número 2 por el tiempo de proceso y que los resultados son cercanos contra la corrida número 3 que es más fina y con un tiempo de proceso mayor.

### **3.1.5 Análisis estructural de concepto de parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H**

1. Para el análisis del modelo con la propuesta de mejora, colocando las soleras en forma de H como se muestra en la figura 3-11, se utilizan los pasos 1 a 6 solo se cambia el modelo previamente convertido en archivo tipo. iges.



**Figura 3-11: Concepto mejorado soleras en H**

### 3.1.6 Análisis de convergencia de malla para la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H

Se corren 4 análisis con diferente mallado, como se muestra en la siguiente tabla 3-4, (se siguen los pasos del Proceso de convergencia de malla 3.1.2):

# Corridas	1	2	3	4
Tamaño Elemento de malla (mm)	5	3	2	1
Cantidad de Nodos	226558	403470	736269	2314986
Cantidad de elementos	110586	194651	359557	1103428
Deformación Total (mm)	1.73	1.77	1.77	1.78
Esfuerzo equivalente general (MPa)	96.89	99.01	<b>101.71</b>	103.2
Tiempo de proceso (min)	30	45	<b>180</b>	240
% Diferencia esfuerzo contra corrida 1	-	2.1	4.97	6.51
% Diferencia esfuerzo contra corrida 2	2.1	-	2.72	4.23
% Diferencia esfuerzo contra corrida 3	4.73	2.65	-	1.46
% Diferencia esfuerzo contra corrida 4	6.1	4.1	1.4	-

**Tabla 3-4: Convergencia de malla para parrilla híbrida con refuerzos en H**

Se selecciona la corrida número 3 por el tiempo de proceso y que los resultados son cercanos contra la corrida número 4 que es más fina y tiempo de proceso mayor.

### 3.1.7 Análisis termal

2. Para hacer el análisis térmico se utiliza el módulo "Structural y Steady-State Thermal" de ANSYS Workbench.
3. Se usan las mismas propiedades mecánicas de los materiales del análisis estructural.

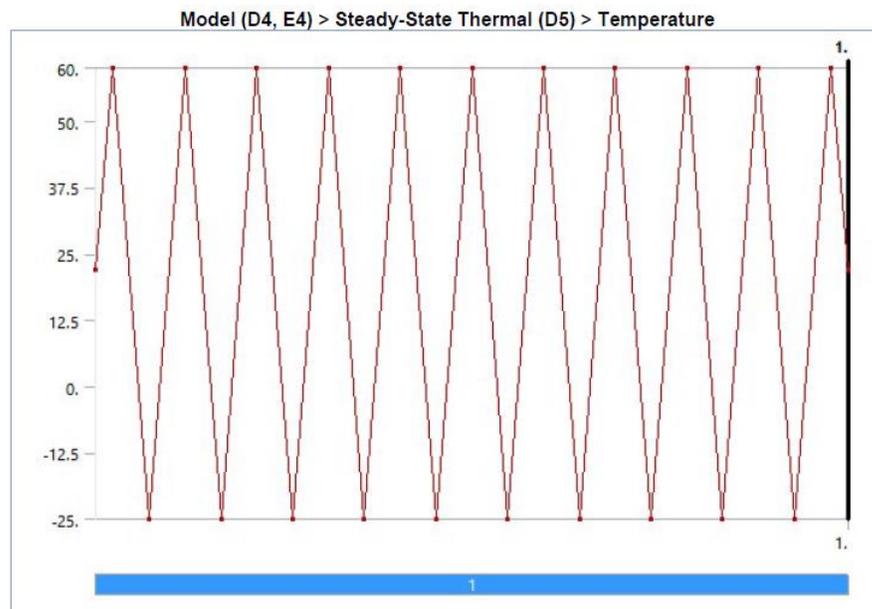
4. Se usa la misma malla seleccionada del análisis estructural con un tamaño de elementos de 2 mm que equivale a 736269 Nodos y 359557 Elementos.
5. En las condiciones de frontera se toman los mismos puntos de fijación y se agregan las temperaturas a evaluar:
  - Temperatura ambiente  $T_1 = 22^{\circ}\text{C}$  (inicio de prueba)
  - Alta temperatura  $T_2 = 60^{\circ}\text{C}$  (10 ciclos)
  - baja temperatura  $T_3 = -25^{\circ}\text{C}$  (10 ciclos)
  - Temperatura ambiente  $T_1 = 22^{\circ}\text{C}$  (fin de prueba)

En 10 ciclos se deben distribuir las temperaturas, iniciando con la  $T_1$ , posteriormente el inicio de los ciclos con la  $T_2$  y  $T_3$  y finalizando con la  $T_1$ . Se realiza la sumatoria de las horas totales que tarda en pasar de una temperatura a otra y estas se distribuyen en 1 segundo de acuerdo con el tiempo de cada temperatura de tal forma que para el software sea procesable se agregaron los datos de la tabla 3-5. Los ciclos se muestran en la figura 3-12.

Ciclos	Tiempo real en horas	Pasos	Ciclos en 1 segundo	Temperatura
Temperatura ambiente inicial	0 horas	1	0	22 °C
1	2 horas	2	0.023809524	60° C
1	4 horas	3	0.071428571	-25°C
	4 horas	4	0.119047619	60° C
2	4 horas	5	0.166666667	-25°C
	4 horas	6	0.214285714	60° C
3	4 horas	7	0.261904762	-25°C
	4 horas	8	0.30952381	60° C
4	4 horas	9	0.357142857	-25°C
	4 horas	10	0.404761905	60° C
5	4 horas	11	0.452380952	-25°C

	4 horas	12	0.5	60° C
6	4 horas	13	0.547619048	-25° C
	4 horas	14	0.595238095	60° C
7	4 horas	15	0.642857143	-25° C
	4 horas	16	0.69047619	60° C
8	4 horas	17	0.738095238	-25° C
	4 horas	18	0.785714286	60° C
9	4 horas	19	0.833333333	-25° C
	4 horas	20	0.880952381	60° C
10	4 horas	21	0.928571429	-25° C
	4 horas	22	0.976190476	60° C
Final. Temperatura ambiente	2 horas	23	1	22° C

**Tabla 3-5: Ciclos de temperatura en 1 segundo**



**Figura 3-12: Grafica Ciclos (Tiempo 1s - Temperatura)**

## **3.2 PRUEBAS DE LABORATORIO**

En breve se describe los procesos de evaluación con los cuales se estarán validando los resultados de los análisis contra los resultados de las pruebas experimentales.

### **3.2.1 Prueba de Flexión de Parrilla**

El método de evaluación se describe en los siguientes pasos:

1. Se ajustan las dimensiones del soporte donde se monta la parrilla.
2. Se colocan los cuatro clips en el soporte en la posición correspondiente a la del gabinete.
3. La parrilla se acomoda sobre los cuatro clips, figura 3-13.
4. Un comparador digital se coloca por debajo de la parrilla en cada uno de los siguientes puntos: en el centro de ésta, en el centro de la parte frontal y en el centro de la parte lateral.
5. Se ajustan en cero los comparadores digitales.
6. Se coloca sobre la parrilla la primera cama de latas y se toman notas de la flexión, figura 3-14.
7. Se agrega una segunda cama de latas y se anota el valor de la flexión, figura 3-15.
8. Se agrega la tercera cama de latas y se vuelve a registrar la flexión.
9. Se reportan los resultados.

Colocación de parrilla	Evaluación con una cama de latas. (15 kg)	Evaluación con dos camas de latas. (30 kg)
		
<p><b>Figura 3-13</b> Posición inicial</p>	<p><b>Figura 3-14</b> Primera cama de latas</p>	<p><b>Figura 3-15</b> Segunda cama de latas</p>

### 3.2.2 Prueba de Laboratorio para Choque Térmico

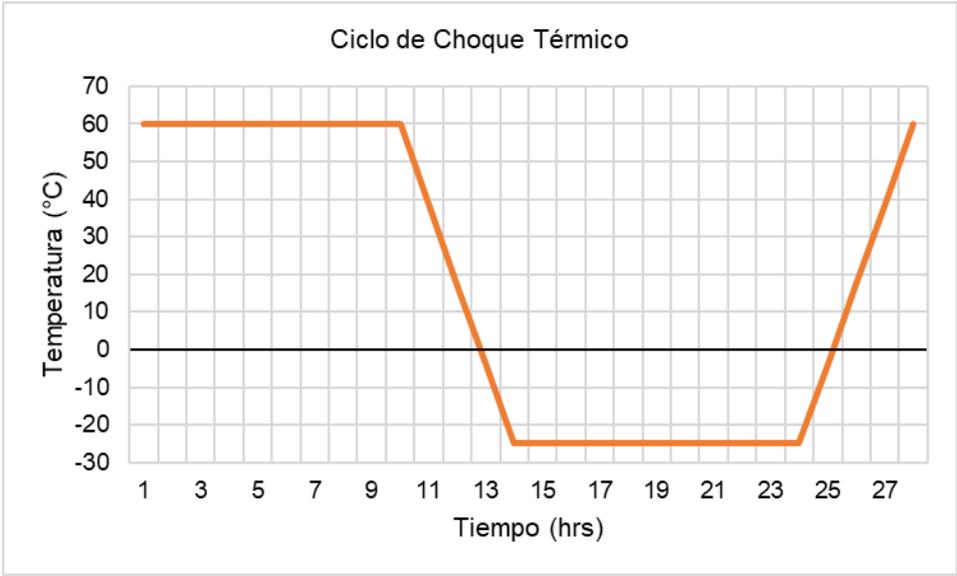
Para la evaluación de baja y alta temperatura se siguen los siguientes pasos:

1. Se ajusta la cámara térmica con las condiciones de evaluación, por ejemplo, para baja temperatura en  $-25^{\circ}\text{C}$ .
2. Se coloca la parrilla dentro de la cámara.
3. La prueba se lleva a cabo durante 168 horas una vez alcanzada la temperatura deseada.
4. Cada 24 horas se detiene la prueba para sacar la parrilla y realizar una inspección visual, si se encuentran fallas en el componente ya no se continúa con la prueba.
5. Se reportan los resultados.

Para la evaluación de choque térmico se siguen los siguientes pasos:

1. Se ajusta la cámara térmica con el ciclo de temperatura que se muestra en la figura 3-16.
2. Se coloca la parrilla dentro de la cámara.
3. Se repite el ciclo mostrado en la figura 3-16 diez veces.

4. Se realiza una inspección visual de la parrilla cada que termina cada ciclo, ésta se hace a través de la ventana que tiene la cámara.



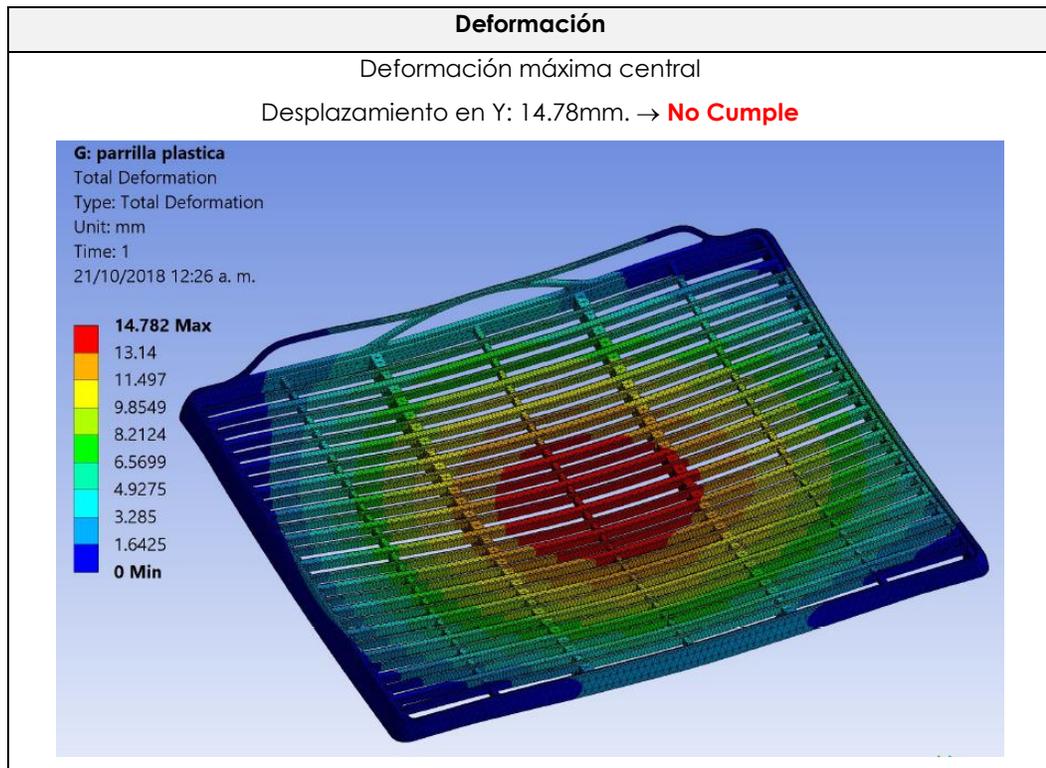
**Figura 3-16: Ciclo de choque térmico**

## 4. RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE ELEMENTO FINITO

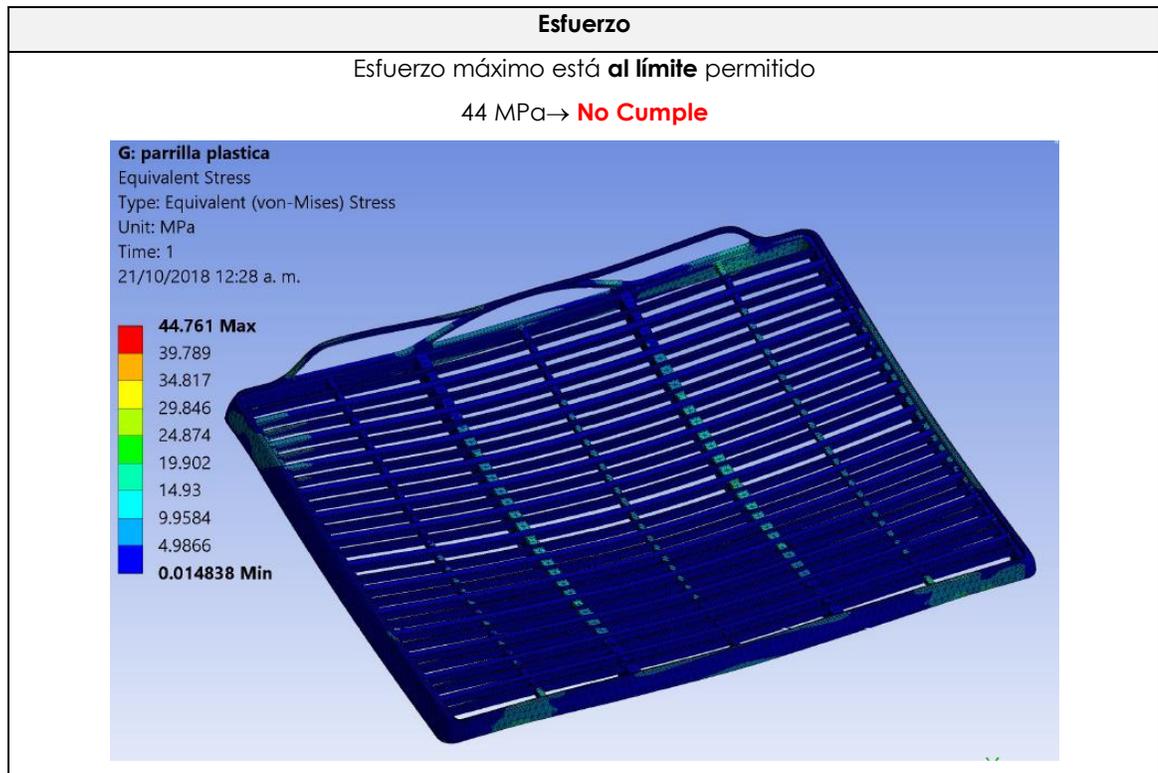
#### 4.1.1 Resultados del análisis de la parrilla plástica.

Para obtener un resultado satisfactorio en el análisis se debe cumplir con la especificación, la cual indica que la flexión máxima tendrá que ser menor de 5 mm con una carga máxima distribuida de 45 kg. Los resultados se muestran en la tabla 4-1.



**Tabla 4-1: Resultados de la deformación en la parrilla plástica**

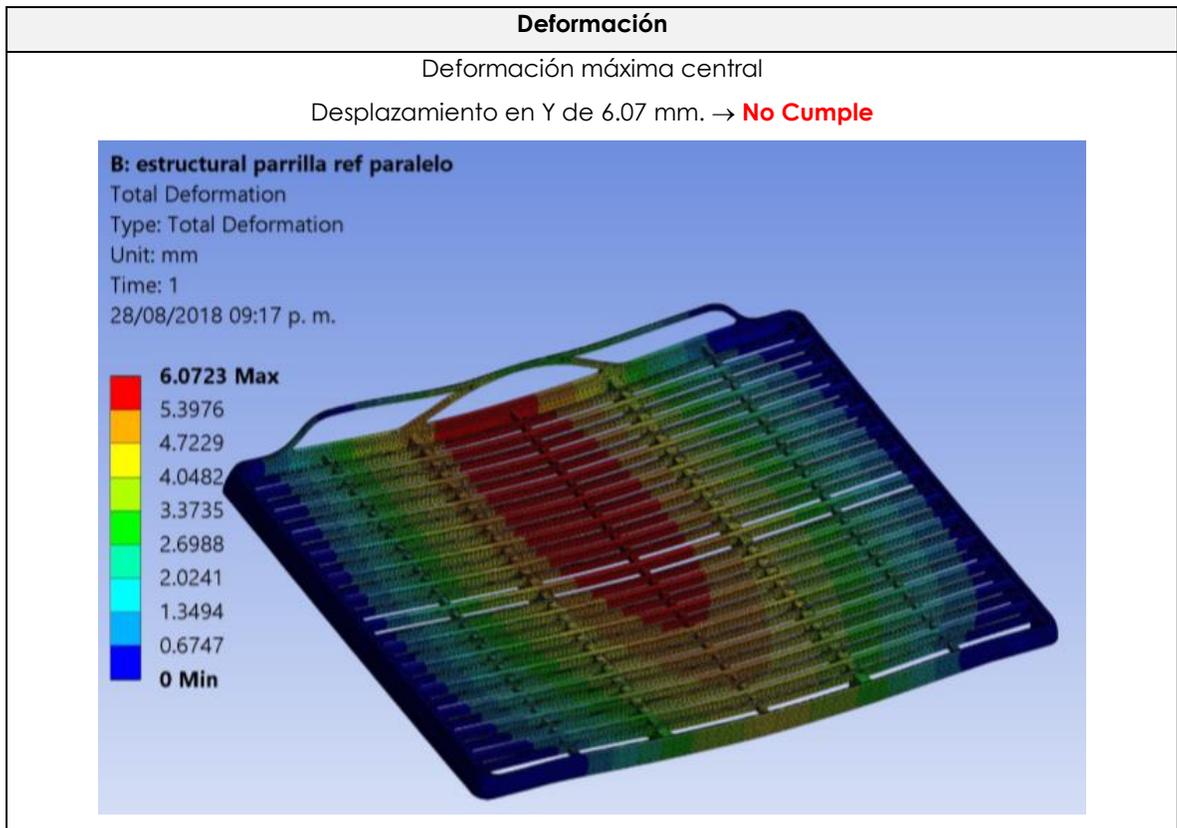
La resistencia a la tensión máxima del ABS son 35 MPa. Con esta resistencia se comparan con los resultados de la tabla 4-2:



**Tabla 4-2: Resultados de esfuerzos en la parrilla plástica**

#### **4.1.2 Resultados del análisis estructural de la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en paralelo.**

El criterio será el mismo para este concepto, para obtener un resultado satisfactorio en el análisis se debe cumplir con la especificación, la cual indica que la flexión máxima tendrá que ser menor de 5 mm con una carga máxima distribuida de 45 kg. Los resultados de los análisis estructurales realizados en Workbench para este concepto se muestra en la tabla 4-3.



**Tabla 4-3: Resultados de la deformación en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en paralelo**

La resistencia a la tensión del ABS son 35 MPa y la del Acero A36 es de 250 MPa, con estos datos se comparan con los resultados de la tabla 4-4:

### Esfuerzo

Esfuerzo máximo del plástico ABS

17 MPa → **Cumple**

#### B: estructural parrilla ref paralelo

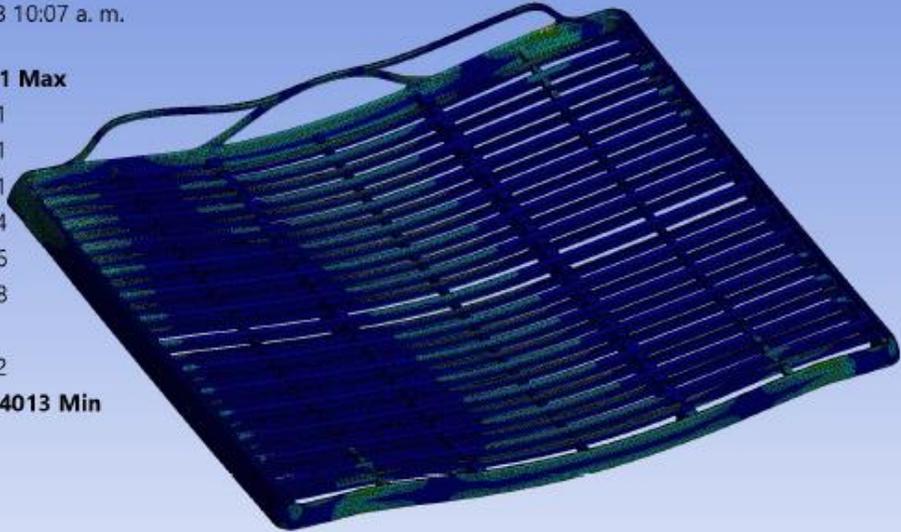
Equivalent Stress 2

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

17/08/2018 10:07 a. m.



Esfuerzo máximo de los refuerzos de Acero A36 (soleras):

119 MPa → **Cumple**

#### B: estructural parrilla ref paralelo

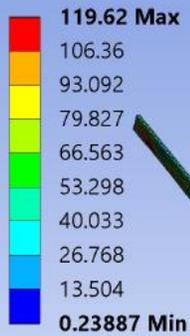
Equivalent Stress 3

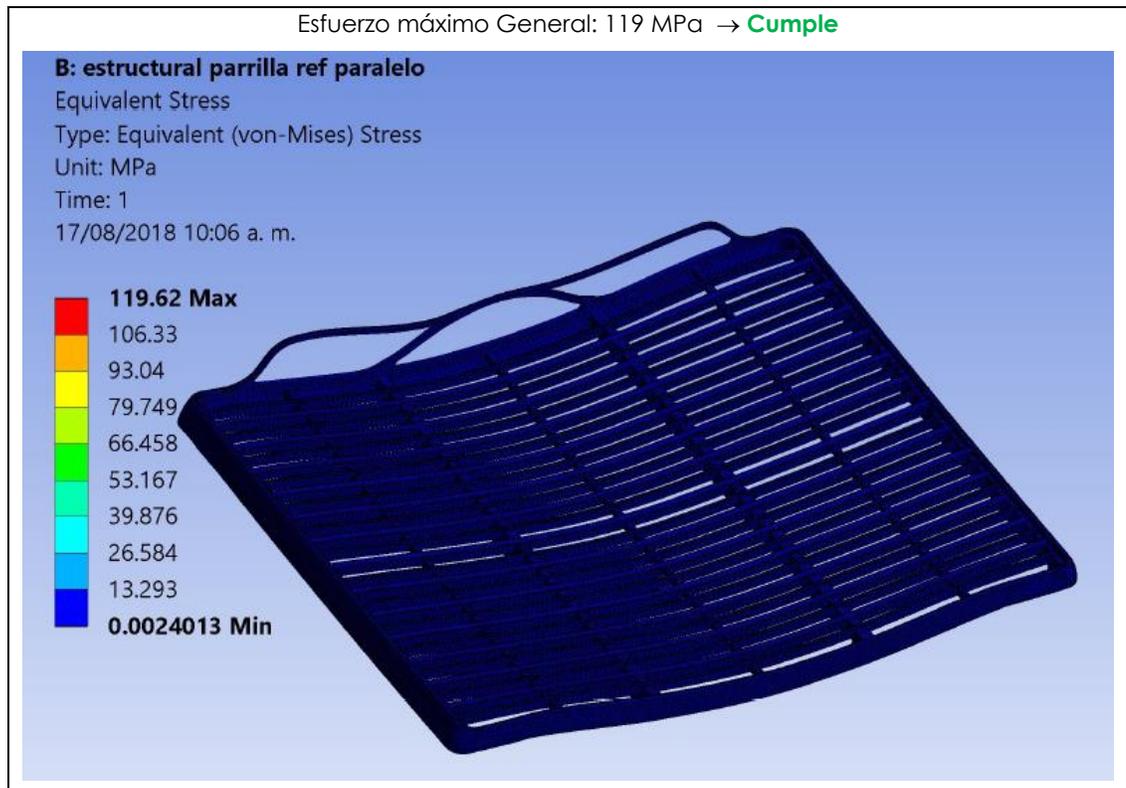
Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

17/08/2018 10:07 a. m.

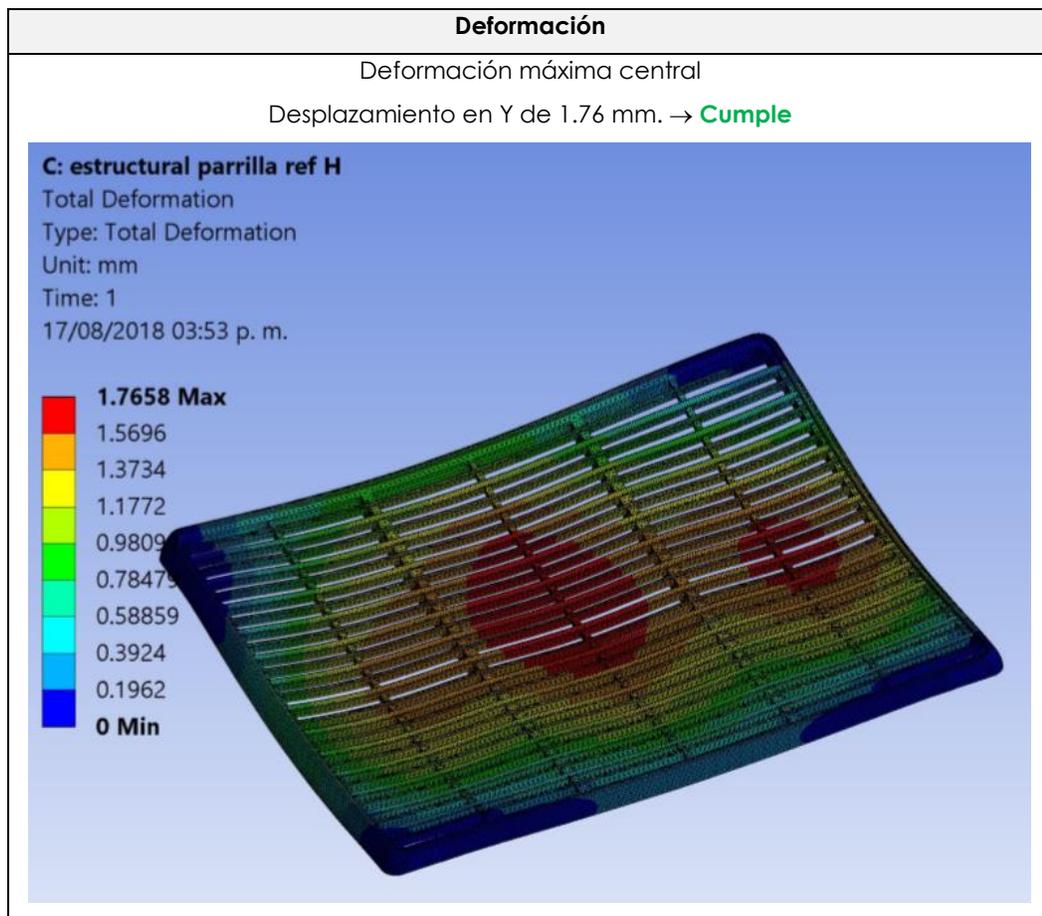




**Tabla 4-4: Resultados de esfuerzos en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en paralelo**

#### **4.1.3 Resultados del análisis estructural de la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H.**

El criterio será el mismo para este concepto, para obtener un resultado satisfactorio en el análisis se debe cumplir con la especificación, la cual indica que la flexión máxima tendrá que ser menor de 5 mm con una carga máxima distribuida de 45 kg. Los resultados de los análisis estructurales realizados en Workbench para este concepto se muestra en la tabla 4-5.



**Tabla 4-5: Resultados de la deformación en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H**

La resistencia a la tensión del ABS son 35 MPa, la del Acero A36 es de 250 MPa, con estos datos se comparan con los resultados de la tabla 4-6:

### Esfuerzo

Esfuerzo máximo del plástico ABS. **8 MPa** → **Cumple**

#### C: estructural parrilla ref H

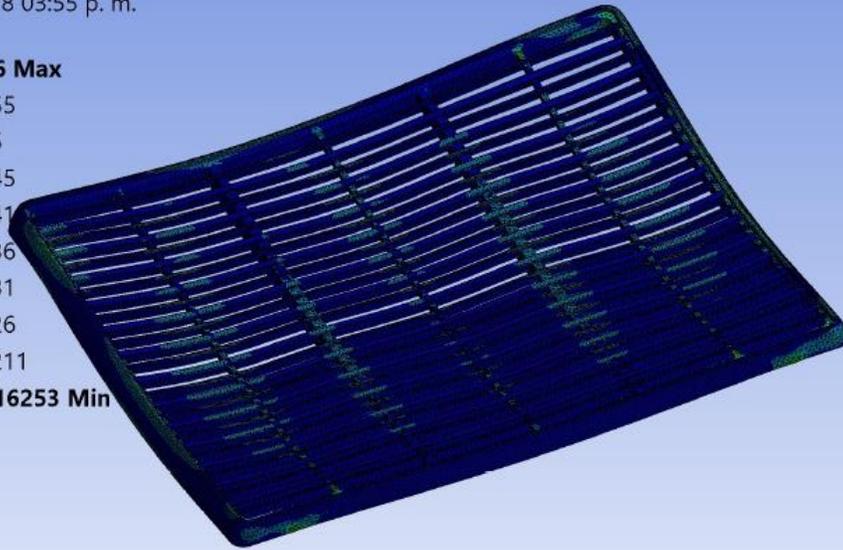
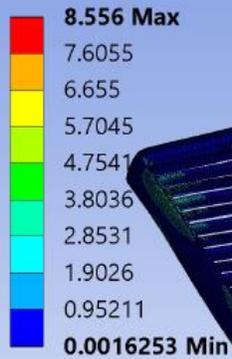
Equivalent Stress 3

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

17/08/2018 03:55 p. m.



Esfuerzo máximo de los refuerzos de Acero A36 (soleras): **101 MPa** → **Cumple**

#### C: estructural parrilla ref H

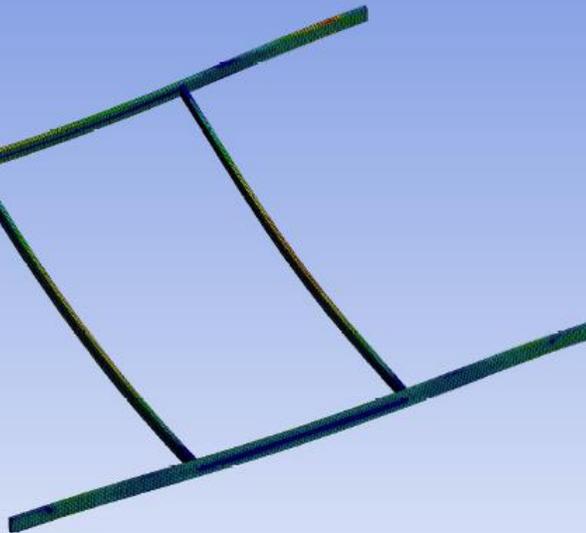
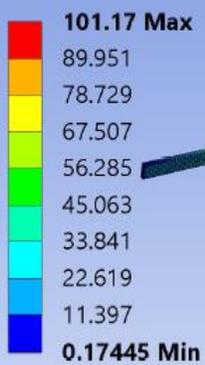
Equivalent Stress 2

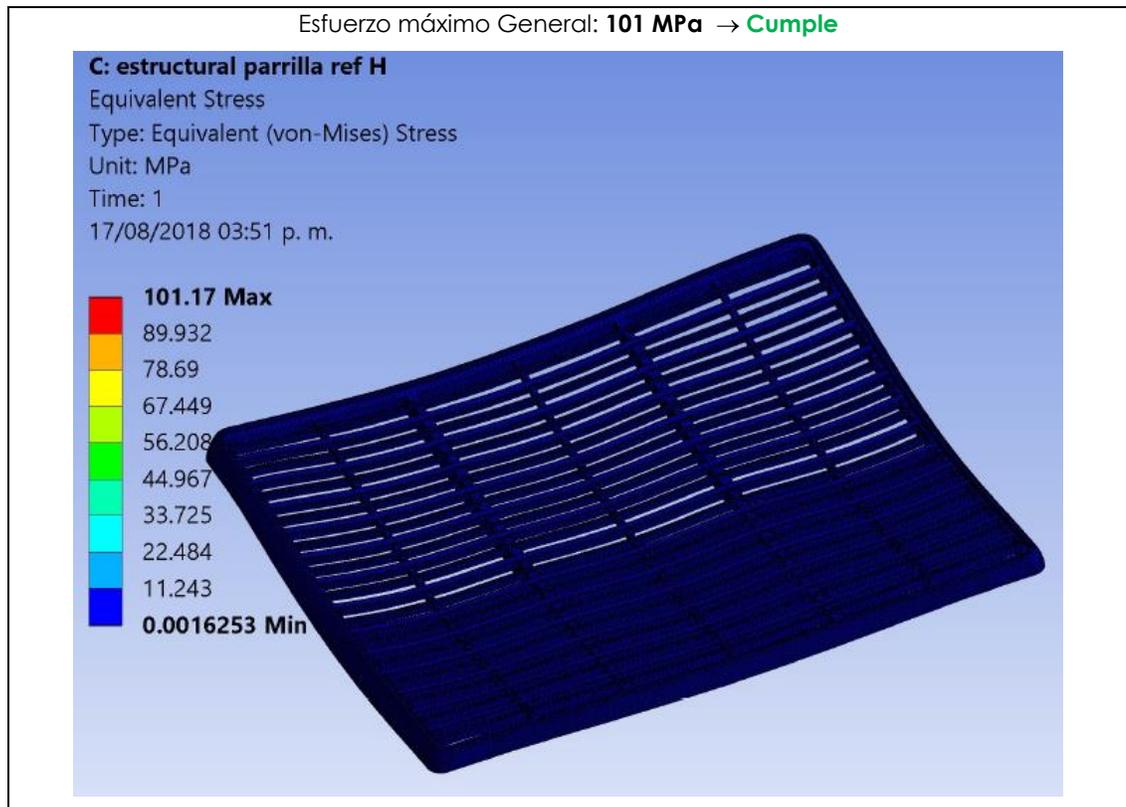
Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

17/08/2018 03:54 p. m.





**Tabla 4-6: Resultados de esfuerzos en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H**

Con los resultados del esfuerzo máximo general se puede revisar el factor de seguridad del diseño, el cual se establecerá con las siguientes siglas:

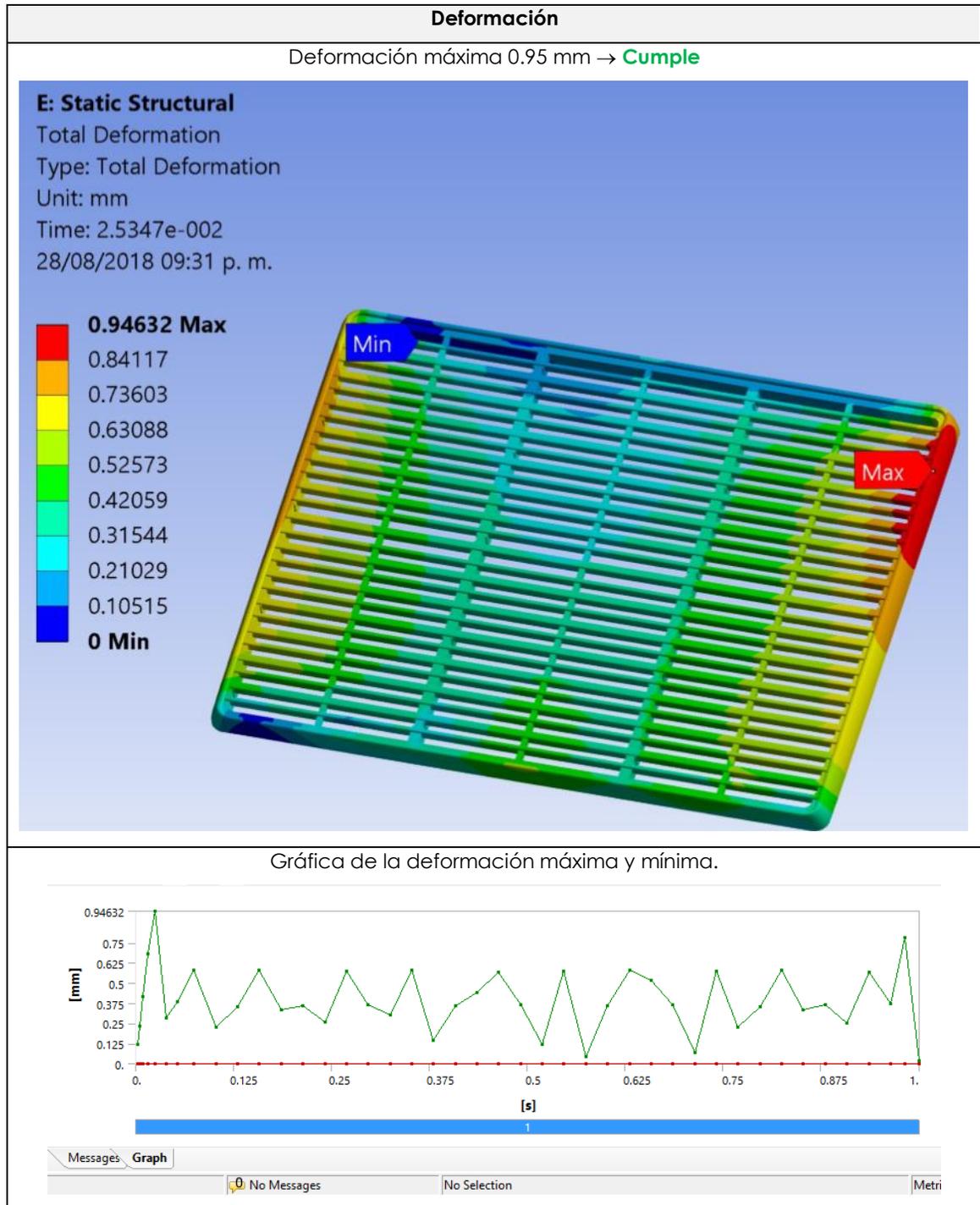
**FOS** = (Esfuerzo de fluencia) / (Esfuerzo inducido por carga.)

$$FOS = \frac{250 \text{ MPa}}{101 \text{ MPa}} = 2.47$$

El resultado indica que el diseño podría soportar 2.47 veces la carga especificada de la parrilla.

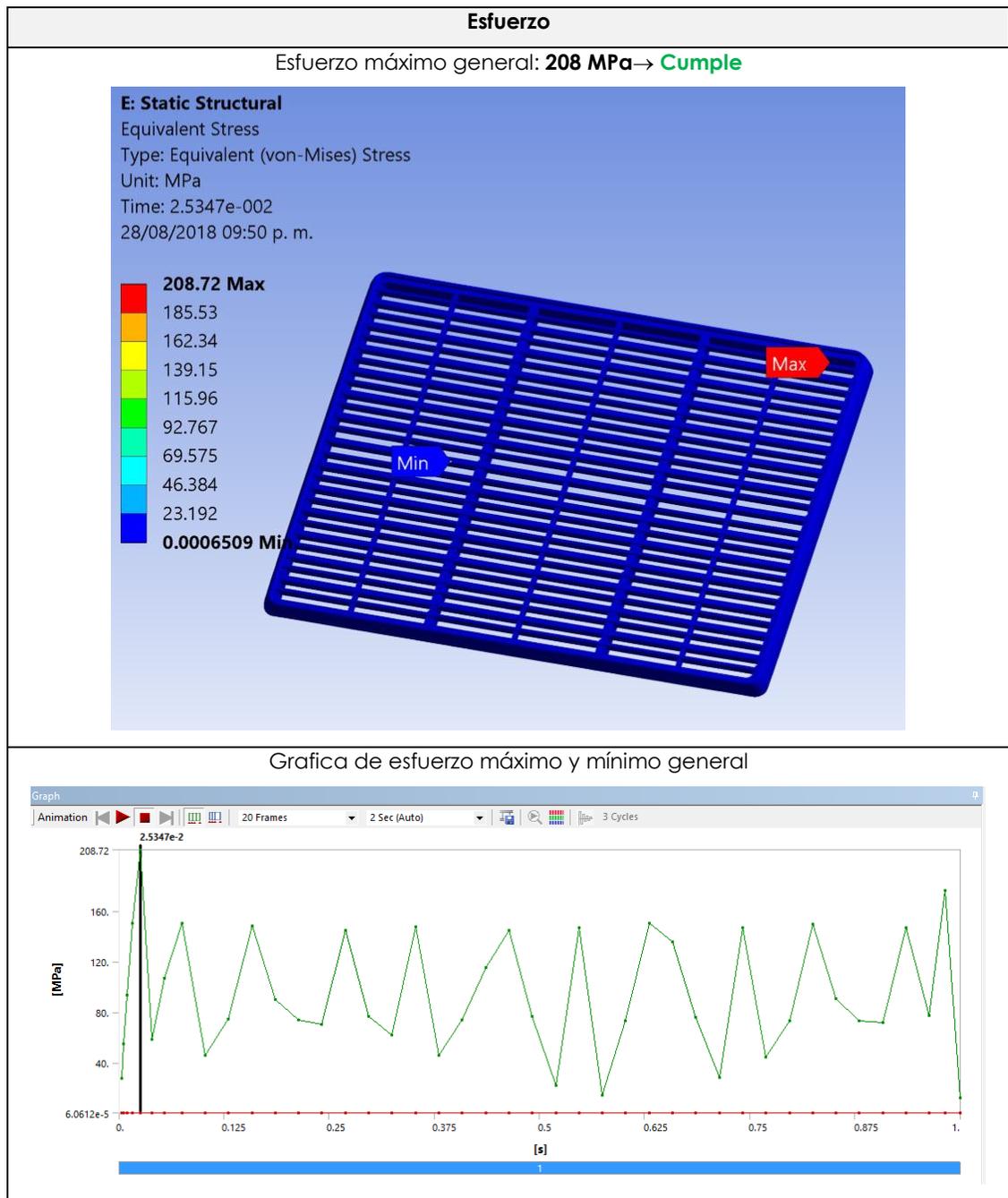
#### **4.1.4 Resultados del análisis térmico de la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H.**

Dado que el análisis estructural del diseño híbrido con refuerzos en H es satisfactorio se procede a la realización del análisis térmico, los resultados se muestran en la tabla 4-7.



**Tabla 4-7: Resultados de la deformación por choque térmico en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H.**

El esfuerzo máximo que presenta la solera en baja temperatura es de 208 MPa de acuerdo con la tabla 4-8.



**Tabla 4-8: Resultados de esfuerzos por choque térmico en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H**

La siguiente tabla 4-9 muestra la relación de los ciclos contra los resultados en esfuerzo y elongación general en choque térmico.

Esfuerzo General			Elongación General		Ciclos	
Tiempo	min MPa	Max MPa	Tiempo	max mm	Temperatura	Tiempo aproximado
2.78E-03	9.91E-05	27.141	2.78E-03	0.11847	60°C	2.38E-02
5.56E-03	1.05E-04	54.513	5.56E-03	0.23645		
9.72E-03	2.37E-04	93.781	9.72E-03	0.4136		
1.60E-02	3.68E-04	150.58	1.60E-02	0.68162		
<b>2.53E-02</b>	<b>6.51E-04</b>	<b>208.72</b>	<b>2.53E-02</b>	<b>0.94632</b>	<b>-25 °C</b>	2.62E-01
3.94E-02	2.39E-04	58.601	3.94E-02	0.28311		
5.35E-02	3.11E-04	106.78	5.35E-02	0.38436		
7.46E-02	1.76E-04	150.08	7.46E-02	0.5779		
0.10234	1.92E-04	45.53	0.10234	0.22589		
0.13012	1.81E-04	74.167	0.13012	0.35283		
0.1579	2.99E-04	148.13	0.1579	0.58198		
0.18568	2.46E-04	89.699	0.18568	0.33512		
0.21345	2.33E-04	73.913	0.21345	0.3623		
0.24123	2.00E-04	70.266	0.24123	0.25788		
0.26901	2.88E-04	145.04	0.26901	0.57343		
0.29679	2.05E-04	76.493	0.29679	0.36741		
0.32457	1.02E-04	61.815	0.32457	0.30503		
0.35234	4.24E-04	147.71	0.35234	0.57932		
0.38012	1.16E-04	45.654	0.38012	0.14757		
0.4079	6.06E-05	73.544	0.4079	0.36041		
0.43568	3.51E-04	115.17	0.43568	0.44234		
0.46345	5.13E-04	145.1	0.46345	0.56862		
0.49123	1.99E-04	76.269	0.49123	0.36675		
0.51901	1.30E-04	21.58	0.51901	0.11828	60 °C	0.5
0.54679	3.44E-04	147.14	0.54679	0.57683		
0.57457	1.08E-04	14.16	0.57457	4.31E-02		
0.60234	2.29E-04	73.158	0.60234	0.35832		
0.63012	4.00E-04	150.08	0.63012	0.58087		
0.6579	3.52E-04	135.31	0.6579	0.51894		
0.68568	2.09E-04	75.552	0.68568	0.36584		
0.71345	8.16E-05	28.217	0.71345	7.03E-02		
0.74123	4.14E-04	146.88	0.74123	0.57445		
0.76901	2.28E-04	44.362	0.76901	0.22864		
0.79679	2.20E-04	73.137	0.79679	0.35553		
0.82457	3.24E-04	149.4	0.82457	0.57876		
0.85234	2.45E-04	90.626	0.85234	0.33218		
0.88012	1.39E-04	73.414	0.88012	0.36462		
0.9079	1.41E-04	71.679	0.9079	0.25519		
0.93568	4.95E-04	146.84	0.93568	0.57055		
0.96345	1.38E-04	77.419	0.96345	0.37211		
0.98173	3.07E-04	176.06	0.98173	0.7833		
1	6.44E-05	11.611	1	2.02E-02	22 °C	1

**Tabla 4-9: Resultados de todo el ciclo esfuerzo y deformación**

## 4.2 RESULTADOS DE LABORATORIO.

### 4.2.1 Resultados de flexión de la parrilla plástica.

En la tabla 4-10 se muestran los resultados de las pruebas de laboratorio que pertenecen al concepto de parrilla híbrida con refuerzos en posición H. Como se muestra tiene una flexión máxima de 12 mm en promedio.

#### RESULTADO

<b>Parrilla plástica inyectada para enfriadores G326</b>						
La parrilla se carga con 126 latas de 355ml, 6 latas de frete, 7 latas de fondo, a las 3 camas						
Peso de parrilla: 1.060 Kg						

Deflexión máxima registrada (mm)						
# Camas	Frontal	Media 1	Media 2	Promedio frente y media	Resultado	Especificación TCCC e Imbera
1	4.2	5.1	6.3	-	<b>NO CUMPLE</b>	Máximo 5 mm de deflexión con 1 y 2 camas y en promedio con 3 camas de latas
2	8.6	9	9.2	-		
3	10.8	11.8	13.4	12.00		



Tabla 4-10: Resultados en prueba experimental de flexión de parrilla plástica

### 4.2.2 Resultados de flexión en la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H.

En la tabla 4-11 se muestran los resultados de las pruebas de laboratorio que pertenecen al concepto de parrilla híbrida con refuerzos en posición H. Como se muestra tiene una flexión máxima de 2.38 mm en promedio

## RESULTADO

**Parrilla plástica inyectada para enfriador G326, con dos soleras al centro y dos soleras en los laterales.**  
 La parrilla se carga con 126 latas de 355ml, 6 latas de frete, 7 latas de fondo, a las 3 camas  
 Peso de parrilla: 1.223 Kg

# Camas	Deflexión máxima registrada (mm)				Resultado	Especificación TCCC e Imbera
	Frontal	Media 1	Media 2	Promedio frente y media		
1	0.91	0.88	1.01	-	<b>CUMPLE</b>	Máximo 5 mm de deflexión con 1 y 2 camas y en promedio con 3 camas de latas
2	1.38	1.91	1.74	-		
3	2.61	2.3	2.24	2.38		



**Tabla 4-11: Resultados en prueba experimental de flexión de parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H**

### 4.2.3 Resultados de las pruebas térmicas en laboratorio de la parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H.

Los resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio se muestran en la Tabla 4-12 y solo se realizan al modelo de parrilla híbrida “plástica-metálica” con refuerzos en H. El criterio de aceptación es que no se presenten daños como fracturas y deformaciones permanentes.

Prueba de 60°C a -25°C	Resultado
Alta temperatura 168 horas a 60°±3°C	<b>Cumple</b>
Baja temperatura 168 horas a -25°±3°C	<b>Cumple</b>
Choque térmico 10 ciclos de 60°C a -25°C	<b>Cumple</b>

**Tabla 4-12: Resultados de pruebas de baja temperatura, alta temperatura y choque térmico.**

### 4.3 TABLA GENERAL DE RESULTADOS

ANÁLISIS Y PRUEBAS		COMPONENTE			
		Parrilla plástica	Parrilla Híbrida con refuerzos en paralelo	Parrilla Híbrida con refuerzos en H	
<b>Análisis estructural</b>	Deformación total central (<5 mm)	14.7 mm	6 mm	1.76 mm	
	Esfuerzo Equivalente General	44 MPa	119.62 MPa	101 MPa	
	Esfuerzo Equivalente de Soleras (< 400 MPa)	N/A	119.62 MPa	101 MPa	
	Esfuerzo Equivalente De Plástico (<35 MPa)	44 MPa	17 MPa	8.56 MPa	
<b>Análisis Termal</b>	Deformación total	N/A	N/A	0.94 mm	
	Esfuerzo Equivalente máximo	N/A	N/A	208.72 MPa	
	Esfuerzo Equivalente mínimo	N/A	N/A	11.61 MPa	
<b>Resultados Pruebas experimentales</b>	Resultados Deflexión Central (<5 mm)	12 mm	N/A	2.38 mm	
	Pruebas Termales	60°C	N/A	N/A	No presenta daños
		-25°C	N/A	N/A	No presenta daños
		Choque térmico 60 a -25°C	N/A	N/A	No presenta daños
<b>% Correlación de resultados numéricos contra experimentales en deflexión (&lt;15%)</b>		18.4 %	N/A	26 %	
<b>Cumple / No cumple</b>		<b>No cumple</b>	<b>No cumple</b>	<b>Cumple</b>	

**Tabla 4-13: Tabla General de Resultados Numéricos y Experimentales**

El % de correlación o error en las parrillas se obtiene de la diferencia en la deflexión del resultado numérico contra el resultado de las pruebas experimentales.

Para la parrilla plástica:  $\%error = \frac{12-14.7}{14.7} * 100 = -18.4 \approx 18.4\%$

Para la parrilla híbrida con refuerzos en H:  $\%error = \frac{1.76-2.38}{2.38} * 100 = -26 \approx 26\%$

## CONCLUSIONES

La validación del diseño de la parrilla plástica de ABS con el análisis estructural arroja una correlación de resultados del 18.4% (tabla 4-13) en deflexión central contra los resultados experimentales, de acuerdo con la hipótesis planteada del 15% de correlación de resultados es un valor mayor, sin embargo, los resultados de este análisis hubieran servido de apoyo para evitar la realización del herramental, lo cual implicó un gasto por que el componente no cumplió con la especificación.

En cuanto las validaciones de los diseños de parrillas híbridas se tienen que el concepto con refuerzos en H es mejor que el concepto con refuerzos en paralelo ya que para la parrilla con refuerzos en H se encuentra una flexión central menor a 5mm en comparación con la de refuerzos en paralelo que es de 14.7mm.

Dado que el diseño con refuerzos en paralelo no cumplió con la deflexión, solo se analizó térmicamente el concepto con refuerzos en H, el cual en ninguna de las condiciones de temperatura evaluadas muestra deformaciones permanentes o fracturas.

En cuanto a la correlación de resultados se tiene que es del 26% (tabla 4-13) para el análisis estructural lo cual es un valor mayor de lo que se esperaba, este resultado se debe a las propiedades mecánicas del ABS usado en los análisis, ya que se usó una ficha técnica del material comercial al no conseguir con el proveedor las propiedades reales con las que se inyectaron las muestras.

## **APORTACIÓN DE LA TESIS**

Gracias a la realización de este trabajo se encontró la mejor opción de concepto de parrilla híbrida "plástica-metálica" al utilizar el análisis numérico para predecir el comportamiento mecánico del diseño, verificando el cumplimiento en la capacidad y resistencia en la carga especificada y dando un margen de seguridad en su utilización.

Se logró ahorrar tiempo en el proceso de liberación de componente en la etapa de solicitud de muestras y pruebas de confiabilidad al evitar iteraciones por cada concepto de diseño.

En el comparativo de los resultados de los análisis con los resultados experimentales, se pudo observar la correlación y con ello se sugirió que se implemente el análisis numérico como una herramienta de ayuda en la etapa de diseño, y así esta apoye en la predicción de resultados, para generar diseños robustos en las etapas tempranas del desarrollo de nuevos componentes y así evitando sobre costos en retrabajos.

En cuanto al objetivo de reemplazar la parrilla metálica se logró un diseño confiable de la parrilla híbrida "plástica-metálica" obteniendo así un ahorro del 14%.

## RECOMENDACIONES

Para tener una mejor correlación en los resultados se sugiere solicitar la caracterización del ABS inyectado de las muestras para poder obtener la ficha técnica real y se pueda ajustar la curva de esfuerzo-deformación del material y así obtener resultados con mayor precisión.

Para el análisis de choque térmico se encuentra una deformación elástica de 1 mm, la cual no puede ser observada en las inspecciones visuales durante la prueba, por lo cual se recomienda agregar un método de medición para detectar este tipo de eventos y así se puedan comparar los resultados de cada ciclo del análisis contra los ciclos de la prueba.

También se propone la incorporación de un método de análisis numérico en la etapa de diseño para reducir tiempo en los proyectos en la elaboración de prototipos, pruebas y retrabajos pues gracias a este trabajo se confirma que los análisis numéricos estructurales y térmicos previos a las evaluaciones son representativos para encontrar fallas en los diseños.

En cuanto a los componentes reforzados con elementos metálicos se sabe que presentan estrés durante los cambios súbitos de temperatura, por ello se recomienda que en un futuro proyecto se busque un material plástico con la suficiente resistencia mecánica para ser sometido a las cargas especificadas por el cliente, así como a temperaturas de 60°C y -25°C.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Beer, F., Russell Johnston, J., & DeWolf, J. (2007). *MECÁNICA DE MATERIALES*. Ciudad de México: Mc Graw Hill.
- [2]. Brockenbrough, R., & Merritt, F. (1999). *Structural steel designer's handbook*. United States of America: McGraw-Hill.
- [3]. Dávila, J., Galeas, S., Guerrero, V., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *NUEVOS MATERIALES: APLICACIONES ESTRUCTURALES E INDUSTRIALES*. Quito-Ecuador: imprefepp.
- [4]. Eldho, T., Desai, Y., & Shah, A. (2011). *Finite Element Method with Applications in Engineering*. India: PEARSON.
- [5]. Kumar Thakur, V., Kumari Thakur, M., & Pappu, A. (2017). *Hybrid Polymer Composite Materials*. Duxford, UK: Woodhead Publishing.
- [6]. MatWeb, LLC. (05 de Enero de 1996-2018 ). *MatWeb*. Obtenido de [www.matweb.com](http://www.matweb.com):  
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=53d216d78a2c46e08bbe1ccf54252f3e&ckck=1>
- [7]. McKeen, L. (2008). *The Effect of Temperature and Other Factors on Plastic and Elastomers*. Norwich, NY, USA: Wiliam Andrew Inc.
- [8]. Rodríguez, D. D. (2012). *Los plásticos y sus características*. Saltillo, Coah., México: CIQA.
- [9]. Tabaddor, M. (2008). *Thermal and Mechanical Finite Element Modeling of Wood-Floor Assemblies Subjected to Furnace Exposure*. IL, USA: Underwriters Laboratories Inc.
- [10]. Yudong, W. (2009). Numerical Simulation of the Load-Deflection Curve of Layered Steel Fiber Reinforced. *Symposium on Intelligent Information Technology Application* (págs. 103-107). Wuhan, China: School of Civil Engineering and Architecture.

# ANEXOS

## ANEXO A. Comparativo de costo de parrillas.

Comparación del porcentaje de ahorro entre la parrilla metálica contra la parrilla híbrida seleccionada.

### Precio parrilla híbrida

Material 2064010		PARRILLA ABS G326					
Proveedor	Nombre	Reg.	Info	Regla	Borr.		
OrgC.	Infotipo	Ce.	GrC	Hora plan.	Ctd.minima	UM	Var
Origen precio	PrecioNeto	Moneda	Ctd.	UM	Doc.	Pos.	dep.ctd.
19695	RICHTER DE MEXICO SA DE CV			5300229315			
<input type="checkbox"/>	0007 Normal	7000	705	15	Dias	0	PZA
	Condición	50.00	MXP	1	PZA	neto	31.12.9999
	Pedido	50.00	MXP	1	PZA	9000516468	00040 23.08.2018
<input type="checkbox"/>	0007 Maquila (Sub	7000	722	15	Dias	0	PZA
	Condición	2.50	MXP	1	PZA	neto	31.12.9999
	Pedido	2.50	MXP	1	PZA	9000510365	00010 25.07.2018

### Precio parrilla metálica

Material 3030666		PARRILLA ROJ1795C G322*26 V10					
Proveedor	Nombre	Reg.	Info	Regla	Borr.		
OrgC.	Infotipo	Ce.	GrC	Hora plan.	Ctd.minima	UM	Var
Origen precio	PrecioNeto	Moneda	Ctd.	UM	Doc.	Pos.	dep.ctd.
	Condición	No existe precio					
	Pedido	6.50	MXP	1	PZA	9000220823	00010 01.08.2013
63870	TUBOS Y PRODUCTOS DE ALAMBRE, SA DE			5300162321			
<input type="checkbox"/>	0007 Normal	7000	723	15	Dias	0	PZA
	Condición	No existe precio					
	Pedido	49.00	MXP	1	PZA	9000280753	00010 13.10.2014
64824	EXHIBIDORES Y PARRILLAS Z, SA DE CV			5300137656			
<input type="checkbox"/>	0007 Normal	7000	722	15	Dias	0	PZA
	Condición	No existe precio					
	Pedido	54.78	MXP	1	PZA	9000309408	00310 21.04.2015

PARRILLA	PROVEEDOR	PRECIO UNITARIO	COSTO PEDIDO	TOTAL	% AHORRO
Parrilla Metálica	Tubos y Productos de alambre	49.00 MXP	6.50 MXP	55.5 MXP	-
	Exhibidores y Parrillas	54.78 MXP	6.50 MXP	61.28 MXP	-
Híbrida "plástica-metálica"	Richter	50 MXP	2.5 MXP	52.5 MXP	<b>14.32 % (contra el precio más caro de 61.28)</b>