



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

## **T E S I S**

**OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL DE UN VAGÓN PLATAFORMA**

**DE 100 TONELADAS DE CARGA GENERAL PARA SPCC ILO**

**2019**

**PRESENTADA POR:**

**PIERO DAVID ROLAN SUCASACA ROQUE**

**MILAGROS MABEL APAZA GAMERO**

**ASESOR:**

**DR. WILLIAMS SERGIO ALMANZA QUISPE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2021**

## CONTENIDO

|                             | <b>Pág.</b> |
|-----------------------------|-------------|
| Página de jurado.....       | i           |
| Dedicatoria.....            | ii          |
| Agradecimientos.....        | iii         |
| Contenido.....              | iv          |
| CONTENIDO DE TABLAS.....    | vii         |
| CONTENIDO DE FIGURAS.....   | ix          |
| CONTENIDO DE APENDICES..... | xi          |
| RESUMEN.....                | xii         |
| ABSTRACT.....               | xiii        |
| INTRODUCCION.....           | xiv         |

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

|   |   |
|---|---|
| 1.1. Descripción de la realidad del problema..... | 1 |
| 1.2. Definición del problema.....                 | 3 |
| 1.2.1. Problema general.....                      | 3 |
| 1.2.2. Problemas específicos.....                 | 4 |
| 1.3. Objetivos de la Investigación.....           | 4 |
| 1.3.1. Objetivo General.....                      | 4 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos.....                 | 4 |
| 1.4. Justificación.....                           | 5 |
| 1.5. Alcances y limitaciones.....                 | 6 |
| 1.6. Variables.....                               | 7 |

|  |   |
|--|---|
| 1.6.1. Operacionalización de variables. .... | 7 |
| 1.7. Hipótesis de la Investigación .....     | 9 |
| 1.7.1. Hipótesis general.....                | 9 |
| 1.7.2. Hipótesis derivadas. ....             | 9 |

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

|   |    |
|---|----|
| 2.1. Antecedentes de la investigación ..... | 10 |
| 2.2. Bases Teóricas.....                    | 11 |
| 2.3. Definición de Términos.....            | 19 |

## **CAPITULO III**

### **METODO**

|  |    |
|--|----|
| 3.1. Tipo de la investigación .....                              | 21 |
| 3.2. Diseño de la investigación .....                            | 22 |
| 3.3. Población y muestra .....                                   | 23 |
| 3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos ..... | 23 |

## **CAPITULO IV**

### **ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS**

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 4.1. Presentación de resultados ..... | 24  |
| 4.2. Contrastación de hipótesis ..... | 114 |
| 4.3. Discusión de resultados.....     | 114 |

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 5.1. Conclusiones .....   | 116 |
| 5.2. Recomendaciones..... | 117 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 118 |
| APENDICE.....                   | 122 |
| MATRIZ DE CONSISTENCIA .....    | 137 |

## CONTENIDO DE TABLAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Tabla 1. Tabla de variables.....                            | 8           |
| Tabla 2. Propiedades de prototipo Cobrasma.....             | 30          |
| Tabla 3. Tabla de parámetros de prototipo 00.....           | 31          |
| Tabla 4. Propiedades de material seleccionado.....          | 34          |
| Tabla 5. Tabla de resumen de resultados.....                | 46          |
| Tabla 6. Tabla de datos de simulación de prototipo 00.....  | 47          |
| Tabla 7. Propiedades de prototipo 01.....                   | 52          |
| Tabla 8. Tabla de parámetros de prototipo 01.....           | 53          |
| Tabla 9. Tabla de resumen de resultados.....                | 58          |
| Tabla 10. Tabla de datos de simulación de prototipo 01..... | 59          |
| Tabla 11. Propiedades de prototipo 02.....                  | 65          |
| Tabla 12. Tabla de parámetros de prototipo 02.....          | 66          |
| Tabla 13. Tabla de resumen de resultados.....               | 71          |
| Tabla 14. Tabla de datos de simulación de prototipo 02..... | 72          |
| Tabla 15. Propiedades de prototipo 03.....                  | 78          |
| Tabla 16. Tabla de parámetros de prototipo 03.....          | 79          |
| Tabla 17. Tabla de resumen de resultados.....               | 84          |
| Tabla 18. Tabla de datos de simulación de prototipo 03..... | 85          |
| Tabla 19. Propiedades de prototipo 04.....                  | 91          |
| Tabla 20. Tabla de parámetros de prototipo 04.....          | 92          |
| Tabla 21. Tabla de resumen de resultados.....               | 97          |
| Tabla 22. Tabla de datos de simulación de prototipo 04..... | 98          |
| Tabla 23. Propiedades de prototipo 05.....                  | 104         |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 24. Tabla de parámetros de prototipo 05.....                | 105 |
| Tabla 25. Tabla de resumen de resultados.....                     | 110 |
| Tabla 26. Tabla de datos de simulación de prototipo 05.....       | 111 |
| Tabla 27. Tabla de comparaciones de resultados de simulación..... | 113 |

## CONTENIDO DE FIGURAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Figura 1. Prototipo Cobrasma.....   | 26          |
| Figura 2. Viga Chasis de prototipo Cobrasma. ....   | 28          |
| Figura 3. Aplicación de selección del material.....   | 33          |
| Figura 4. Visualización de la aplicación de puntos fijos.....   | 35          |
| Figura 5. Visualización de la aplicación de cargas. ....  | 37          |
| Figura 6. Mallado del vagón plataforma Cobrasma. ....   | 39          |
| Figura 7. Aplicación de simulación de resultados.....   | 41          |
| Figura 8. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón plataforma.                         | 43          |
| Figura 9. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón plataforma.                         | 44          |
| Figura 10. Visualización del factor de seguridad del vagón plataforma.....                                | 45          |
| Figura 11. Prototipo 01.....  | 48          |
| Figura 12. Viga Chasis de prototipo 01.....   | 50          |
| Figura 13. Visualización del desplazamiento de prototipo 01.....  | 55          |
| Figura 14. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón<br>plataforma de prototipo 01..... | 56          |
| Figura 15. Visualización del factor de seguridad del vagón plataforma de<br>prototipo 01.....             | 57          |
| Figura 16. Prototipo 02.....  | 61          |
| Figura 17. Viga Chasis de prototipo 02.....   | 63          |
| Figura 18. Visualización del desplazamiento del prototipo 02.....   | 68          |
| Figura 19. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón<br>plataforma prototipo 02.....    | 69          |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 20. Visualización del factor de seguridad del vagón plataforma<br>prototipo 02.....                | 70  |
| Figura 21. Prototipo 03.....  | 74  |
| Figura 22. Viga Chasis de prototipo 03.....   | 76  |
| Figura 23. Visualización del desplazamiento del prototipo 03.....   | 81  |
| Figura24. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón<br>plataforma de prototipo 03.....  | 82  |
| Figura25. Visualización del factor de seguridad del vagón plataforma de<br>prototipo 03.....              | 83  |
| Figura 26. Prototipo 04.....  | 87  |
| Figura 27. Viga Chasis de prototipo 04.....   | 89  |
| Figura 28. Visualización del desplazamiento del prototipo 04.....   | 94  |
| Figura 29. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón<br>plataforma de prototipo 04..... | 95  |
| Figura 30. Visualización del factor de seguridad del vagón plataforma de<br>prototipo 04.....             | 96  |
| Figura 31. Prototipo 05.....  | 100 |
| Figura 32. Viga Chasis de prototipo 05.....   | 102 |
| Figura 33. Visualización del desplazamiento del prototipo 05.....   | 107 |
| Figura 34. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón<br>plataforma de prototipo 05..... | 108 |
| Figura 35. Visualización del factor de seguridad del vagón plataforma de<br>prototipo 05.....             | 109 |



## CONTENIDO DE APENDICES

|                                       | <b>Pág.</b> |
|---------------------------------------|-------------|
| Apéndice A. Figuras.....              | 122         |
| Apéndice B. Registro Fotográfico..... | 130         |

## RESUMEN

La presente investigación, tuvo como propósito proponer un diseño estructural con el objetivo de optimizar el peso estructural de los vagones plataforma sin sacrificar la capacidad de carga que tienen los vagones de SPCC, para el transporte de sus productos y materiales, teniendo como base las 100 toneladas de capacidad. El método empleado para el diseño, son los elementos finitos con el software SolidWorks, proporcionándonos datos que permite realizar comparaciones para el cumplimiento de las normas AAR (asociación americana de ferrocarriles). Los parámetros de la propuesta del diseño, se empleó el método de prueba y error. El nivel de estudio se define como una investigación aplicada, porque busca mejorar la eficiencia estructural de los vagones-plataformas. El diseño estructural propuesto bajo el análisis de elemento finitos permite aligerar el peso del vagón plataforma sin alterar su capacidad de carga del modelo original COBRASMA. El proceso de diseño, proporciono una serie de resultados a través de diversos prototipos aplicando simulación con el software SolidWorks. Para el diseño de las estructuras se realizó trabajos previos como la consulta a los clientes y diversos contactos con los asesores externos de WABTEC, quien además es proveedor de SPCC, quienes proporcionan el sistema de frenos y el sistema de ruedas, todas estas acciones nutrieron sustancialmente el diseño propuesto desde un enfoque integral para el producto final. Definido y aprobado el diseño propuesto, la siguiente etapa correspondió a su implementación para el proceso de fabricación arrojando resultados favorables en su funcionamiento dentro de las instalaciones de SPCC.

*Palabras clave: cálculos, informes, SolidWorks.*

## **ABSTRACT**

The purpose of this research had as purpose a structural design with the objective of optimizing the structural weight of the platform cars without sacrificing the load capacity that SPCC, cars have for the transportation of its products and materials, having as a base the 100 tons of capacity. The method used for the design is finite element analysis with SolidWorks software, providing us data that allows us to make comparisons for compliance with AAR (American Association of Railroads) standards. The parameters of the design proposal, the trial and error method was used. The level of study is defined as an applied research, because it seeks to improve the structural efficiency of railcars-platforms. The structural design proposed under the finite element analysis allows lightening the weight of the platform car without altering its load capacity of the original COBRASMA model. The design process provided a series of results through various prototypes applying simulation with SolidWorks software. For the design of the structures, previous work was carried out such as consultation with customers and various contacts with external consultants WABTEC, who is also a supplier of SPCC, who provide the brake system and the wheel system, all these actions substantially nurtured the proposed design from an integral approach to the final product. Once the proposed design was defined and approved, the next stage corresponded to its implementation for the manufacturing process, yielding favorable results in its operation within SPCC's facilities.

Keywords: calculations, reports, SolidWorks.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el desarrollo de la industria metal mecánica se ha expandido exponencialmente con el avance de la ciencia y la tecnología, este sector está abarcando significativamente en la industria de la construcción principalmente en el sector energético y minero metalúrgico. La metalmecánica, definida como ciencia y arte, por la combinación de base científica y la creatividad junto con las competencias de las personas especializadas, hoy por hoy, se constituye en un factor determinante en la productividad y competitividad de las empresas.

El objetivo del estudio es optimizar el peso de la estructura del vagón plataforma para que sea más ligera, y que pueda mantener la misma capacidad de carga que el modelo original (Cobrasma), cumpliendo con la norma AAR, si bien es cierto que nuestro propósito podría confundirse con un nivel de investigación explicativo que busca las relaciones causales. La presente tesis se ubica en el nivel aplicativo, cuya esencia, es proponer mejoras, eficiencia, eficacia o diseños, pero muchas veces se confunde que cuando se habla del diseño experimental, se relaciona con el experimento, no necesariamente es así, entonces podemos afirmar que el diseño experimental, es buscar el mejor prototipo previamente establecidas cuyas modificaciones, se realizaron en los parámetros estructurales, y que fueron planteados a la empresa SPCC – Área Ilo en el año 2019.

Nuestra hipótesis se formuló de la siguiente manera “Si es posible optimizar el peso de la estructura del vagón plataforma para que sea más ligera, y que pueda mantener la misma capacidad de carga que el modelo original (Cobrasma),

cumpliendo con la norma AAR, con los cinco prototipos planteados a la empresa SPCC – Ilo en el año 2019”.

La presente investigación, se realizó en las instalaciones de la empresa Minera Southern Perú Copper Corporation, dentro del área de Patio Puerto -Ilo.

El presente trabajo está estructurado en cinco capítulos, las cuales, explicamos brevemente a continuación:

En el primer capítulo, se describe el problema de la investigación, se plantea la formulación, los objetivos, la justificación, los alcances y las variables, así como la operacionalización, este capítulo se termina con las hipótesis de la investigación.

En el segundo capítulo, se detalla el marco teórico que está constituido por los antecedentes investigativos, las bases teóricas y la definición de términos

En el tercer capítulo, se refiere al marco metodológico, se describe el tipo, el diseño y el método de investigación que incluye a las técnicas y los instrumentos para la recolección de los datos.

En el cuarto capítulo, se presenta los resultados encontrados el software aplicado para el análisis estructural del modelo original (Cobrasma), para establecer un base referencial que se convertirá en un patrón para las comparaciones. De igual modo, se realizan el análisis estructural de los cinco prototipos propuestos, la corrida de datos se genera por la aplicación del software SolidWorks. En este capítulo, también se realiza la discusión de los resultados, para lo cual, se sigue el proceso del análisis e interpretación de resultados.

Finalmente, en el quinto capítulo, se termina con las conclusiones y resultados que esta basados en los objetivos y el planteamiento de la hipótesis.

Los siguientes contenidos, se constituyen por la bibliografía y los anexos que evidencian la objetividad del estudio realizado.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Descripción de la realidad del problema**

Actualmente, el desarrollo de la industria metal mecánica, se ha expandido exponencialmente con el avance tecnológico, y está abarcando significativamente en la industria de la construcción principalmente en el sector energético y minero metalúrgico.

La empresa minera SPCC, tiene tres áreas operativas en ILO, CUAJONE Y TOQUEPALA, las cuales, usan como medio de transporte para su conectividad logística de sus tres áreas.

En el área de Ilo, en la sección de Patio Puerto, se tiene una unidad de mantenimiento y reparación de vagones, el cual, se encarga de realizar los trabajos de mantenimiento y reparación de los mismos, que en ocasiones se hace necesario hacer una reparación parcial, que, al paso del tiempo, no se hace rentable y se realiza una renovación total, así, adquiriendo nuevos vagones plataforma para continuar con sus operaciones mineras.

Como parte de renovación total SPCC, realiza la compra de nuevos vagones plataforma denominados COBRASMA, y basado en el modelo original, se observó el sobredimensionamiento del vagón plataforma, motivo por lo cual, se propone un nuevo diseño con el objetivo de aligerar el peso cumpliendo con las normas AAR.

Al aligerar el peso estructural del vagón plataforma, provoca efectos de reducción de carga en los sistemas de rueda del vagón plataforma, menor esfuerzo de los resortes de los bogíes, menor capacidad de trabajo de la locomotora, ahorro de combustible de la locomotora, mayor capacidad de transporte de materiales.

En base a la situación descrita en párrafos anteriores, se decidió como alternativa un diseño que busca optimizar la estructura del vagón COBRASMA.

El método de elementos finitos, se ha empleado en el área de ingeniería para la encontrar la manera de lograr la optimización del modelo de la estructura del vagón COBRASMA.

A lo largo de la historia, se usaron vagones para el transporte de grandes volúmenes a distancias establecidas, constantes evitando la aglomeración y mejorando la productividad, teniendo como ventajas el uso de combustible, el impacto ambiental que causa y el transporte masivo de productos.

Debido a que, en la localidad cercana a la Minera, no se encuentra una empresa o entidad que pueda realizar un diseño estructural y una fabricación de estructuras móviles que pueda garantizar la confiabilidad y calidad de su construcción. Razón por la cual, se desarrolló la optimización estructural del vagón plataforma asimilando los modelos existentes en la planta aplicada en la Provincia



de Ilo, el cual, ha requerido varios informes de análisis estructural para tomar una decisión adecuada.

## **1.2. Definición del problema**

El problema pasa en como optimizar el peso del vagón plataforma y que cumpla las normas y estándares nacionales e internacionales. Y se puede definir a través de la siguiente pregunta. ¿Será posible optimizar el peso de la estructura del vagón plataforma para que sea más ligera, y que pueda mantener la misma capacidad de carga que el modelo original (Cobrasma), cumpliendo con la norma AAR, diseñando cinco prototipos con el fin de optar por el más óptimo para la empresa SPCC – Ilo en el año 2019?

Para el análisis estructural, se consideró una serie de informes con indicadores específicos, para realizar una toma de decisión adecuada en cuanto a las normas y estándares que garantizan un buen diseño.

### **1.2.1. Problema general.**

¿Será posible optimizar el peso de la estructura del vagón plataforma para que sea más ligera, y que pueda mantener la misma capacidad de carga que el modelo original (Cobrasma), cumpliendo con la norma AAR, diseñando cinco prototipos con el fin de optar por el más óptimo para la empresa SPCC – Ilo en el año 2019?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

- ¿Es posible optimizar el peso de la estructura del vagón plataforma para que sea más ligera, mediante el uso del método de elementos finitos con el software SolidWorks, para la empresa SPCC – Ilo?
- ¿Es posible comparar los datos de los prototipos y optar por el que cumpla la norma AAR, a fin de obtener un diseño óptimo, para la empresa SPCC – Ilo?

### **1.3. Objetivos de la Investigación**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Optimizar el peso de la estructura del vagón plataforma para que sea más ligera, y que pueda mantener la misma capacidad de carga que el modelo original (Cobrasma), cumpliendo con la norma AAR, con los cinco prototipos planteados a la empresa SPCC – Ilo en el año 2019.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Optimizar el peso de la estructura del vagón plataforma para que sea más ligera, mediante el uso del método de elementos finitos con el software SolidWorks, para la empresa SPCC – Ilo.
- Comparar los datos de los prototipos y optar por el que cumpla la norma AAR, a fin de obtener un diseño óptimo, para la empresa SPCC – Ilo.

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Aspecto Técnico.**

Actualmente, hay varias empresas de fabricación de estructuras metálicas; sin embargo, no se presenta una empresa que pueda satisfacer las necesidades del cliente que requiere el diseño y la fabricación de una estructura móvil, la cual, es un vagón plataforma de carga general. Ya que no existe investigación anterior con respecto al diseño por computadora con el método de elementos finitos.

Debido a ello, se realiza una mejora constructiva de la estructura del vagón plataforma COBRASMA, mejorando su diseño preestablecido y reduciendo la carga máxima de trabajo.

El resultado de la investigación, podrá usarse como una fuente de información en el área de diseño, análisis y fabricación de estructuras móviles y estáticas metálicas, para el conocimiento de profesionales en ingeniería mecánica eléctrica.

### **4.1.2. Aspecto Económico.**

El planteamiento de este nuevo diseño, beneficiara al aspecto económico en la reducción de la cantidad de materiales que se necesiten para su fabricación, al reducir la carga muerta de la estructura el trabajo de la locomotora, se reduce, motivo por el cual, el trabajo de ello reduce significativamente el consumo de combustible y la fuerza de trabajo que debe ejercer, en cuanto a la carga máxima que puede realizar el vagón plataforma, aumentara debido a la reducción del peso

de la estructura, por lo cual, aumentara la capacidad máxima de material que pueda transportar.

Por ello, este trabajo de investigación realiza un desarrollo de la esquematización del vagón plataforma, planteando el análisis estructural asistido por el software SolidWorks, obteniendo informes en base a selección de material y espesores diferentes.

### **1.5. Alcances y limitaciones**

La presente investigación abarcara los campos del diseño de estructuras móviles y estáticas metálicas en los sectores de industria minera y ferroviaria en el Perú. Además de presentar un modelo de ingeniería basada en el diseño de cualquier estructura móvil y estática para ser aplicado a investigaciones futuras.

En el desarrollo de la investigación se presentaron las siguientes limitaciones:

- La optimización no incluye la información del sistema de freno, el sistema de enganche, los bogíes, por lo que esos sistemas y equipos son adquiridos de los fabricantes.
- Se tomó el diseño de un vagón plataforma existente, con los siguientes parámetros de diseño: Longitud entre superficies de enganche de 17,646 m; Longitud entre topes (Superficies externas) de 16,859 m; Longitud entre centros de bogíes de 12,802 m; Ancho total (superficies externas) de 3,098 m; Altura desde nivel riel a tope de 1,157 m y Ancho de vía (track gauge) de 1,435m.

- En vista de que se tomó como referencia el diseño de un vagón plataforma existente con los parámetros de diseño anteriormente mencionados, se procedió a seguir las pautas del diseño original, es decir, se consideró los parámetros mencionados para los nuevos prototipos.

## **1.6. Variables**

### **1.6.1. Operacionalización de variables.**

**Tabla 1***Tabla de variables*

| <b>Variab</b> les  | <b>Concepto</b>  | <b>Indicadores</b>  | <b>Unid. de medida</b>         | <b>Instrumentos</b>  |
|--|--|---|--------------------------------|--|
| <b>Variab</b> les<br><b>Independientes:</b>  |  |   |                                |  |
| Parámetros geométricos y estructurales del modelo original de vagón plataforma.      | Dimensiones establecidas del vagón plataforma existente.   | Largo del vagón plataforma original.<br>Ancho del vagón plataforma original.<br>Alto del vagón plataforma original.<br>Material del vagón plataforma original.<br>Peso del vagón plataforma Cobrasma. | m.<br>m.<br>m.<br>MPa.<br>Ton. | Planos SPCC.<br>Wincha métrica.<br>Ficha técnica SPCC.<br>Tabla de propiedades de material.<br>Software de simulación: SolidWorks. |
| Parámetros geométricos y estructurales del prototipo modificado de vagón plataforma. | Dimensiones establecidas para la simulación del vagón plataforma prototipo.  | Largo del vagón plataforma original.<br>Ancho del vagón plataforma original.<br>Alto del vagón plataforma original.<br>Peso del vagón plataforma Prototipo.   | m.<br>m.<br>m.<br>Ton.         | Planos SPCC.<br>Wincha métrica.<br>Ficha técnica SPCC.<br>Software de simulación: SolidWorks.                                      |
| <b>Variab</b> les<br><b>dependientes:</b>  |  |   |                                |  |
| Factor de seguridad según norma AAR  | El factor de seguridad para determinado material es la relación entre el esfuerzo máximo al que puede llegar una pieza y su esfuerzo de trabajo. | Factor de seguridad $\geq 1,2$ según la norma AAR   | Porcentaje.                    | Cuadro comparativo de resultados. (Excel)<br><br>Normas AAR  |
| Deformación  | Cuando se aplica una fuerza a un cuerpo, ésta tiende a cambiar la forma y tamaño del cuerpo.   | Desplazamiento máximo $\leq 6,70$ mm según la norma AAR. .  | mm.                            | Normas AAR.  |
| Optimización del peso.   | Fracción de la diferencia entre el peso original y el peso reducido, en relación al peso original; expresado en porcentaje.                      | Porcentaje de optimización del peso total.<br>$x = \frac{(P_o - P_p)100\%}{P_o}$  | Porcentaje.                    | Cuadro comparativo de resultados. (Excel)  |

*Nota:* La tabla 1 describe las variables de la investigación aplicada.

## **1.7. Hipótesis de la Investigación**

### **1.7.1. Hipótesis general.**

Es posible optimizar el peso de la estructura del vagón plataforma para que sea más ligera, y que pueda mantener la misma capacidad de carga que el modelo original (Cobrasma), cumpliendo con la norma AAR, con los cinco prototipos planteados a la empresa SPCC – Ilo en el año 2019.

### **1.7.2. Hipótesis derivadas.**

- Es posible optimizar el peso de la estructura del vagón plataforma para que sea más ligera, mediante el uso del método de elementos finitos con el software SolidWorks, para la empresa SPCC – Ilo.
- Es posible comparar los datos de los prototipos y optar por el que cumpla la norma AAR, a fin de obtener un diseño óptimo, para la empresa SPCC – Ilo.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. A nivel internacional.**

En la investigación de Lamoru (2014), titulada “Diseño de un vagón plano de carga para alimentación en los rieles para la Empresa Mecánica del Níquel Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”. Realizada para obtener el título de Ingeniero Mecánico; en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa en Cuba. Basándose en la búsqueda bibliográfica, la realización de los cálculos de resistencia mecánica, diseños y simulación de los elementos principales.

Por otro lado, Muñoz (2016), en su trabajo de tesis titulado “Simulación de la dinámica de un vehículo ferroviario mediante herramientas de ingeniería asistidas por ordenador”. Realizada para Obtener el título de Grado en Ingeniería Mecánica; en la Universidad de Extremadura de la Escuela de Ingenierías Industriales en Badajoz – España. Utilizando los métodos de elementos finitos para el diseño y construcción de diferentes componentes.



De la misma forma, Nores (2018), en la realización de su investigación titulado “Plataforma porta vehículos ferroviaria”. Realizada para obtener el título de grado en Ingeniería Mecánica; en la universidad Tecnológica Nacional Facultad regional Villa María en Córdoba-Argentina.

### **2.1.2. A nivel nacional.**

Por su lado, Liviác (2006), en su trabajo denominado “Análisis estructural de vagones de uso ferroviario mediante el método de elementos finitos para aumento de capacidad de carga”. Realizada para obtener el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico, en la Universidad Nacional del centro el Perú.

Saravia (2012), denominada “Rediseño de un carro ferroviario para incrementar la capacidad de carga en 30%”. Realizada para obtener el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico, en la Universidad Nacional del centro el Perú.

## **2.2. Bases Teóricas**

Como bases teóricas aplicables a este trabajo de investigación son:

- Definiciones de Elementos Finitos.
- Método de simulación con elementos finitos.
- Software de simulación.
- Secuencias de trabajo para la simulación estructural con elementos finitos.

El marco teórico presenta los contenidos preliminares, los cuales, van a ejecutarse, durante el trabajo de investigación de la tesis.

### **2.2.1. Definiciones de elementos finitos.**

La definición de elementos finitos teoriza los siguientes conceptos:

- Definiciones de método de elementos finitos.
- Nudo.
- Grados de libertad.
- Apoyo o nudo.

#### ***2.2.1.1. Definiciones de método de elementos finitos.***

“El método de elementos finitos es una herramienta general para la solución de problemas de contorno gobernados por ecuaciones diferenciales ordinarias o parciales. En esencia se trata de una técnica que sustituye el problema diferencial por otro algebraico, aproximadamente equivalente, para el cual se conocen técnicas generales de resolución. Para ello hace uso de la "discretización" o subdivisión de una región sobre la cual están definidas las ecuaciones en formas geométricas simples denominadas elementos finitos. Las propiedades materiales y relaciones gobernantes en estos elementos se expresan en función de los valores desconocidos en las "esquinas" de los elementos o nodos.” (Moreland & Igham, 1993)

#### ***2.2.1.2. Nudo.***

“Punto donde se encontrará la solución del problema, para luego generalizar dicha solución. Los nodos pueden estar en los vértices o dentro del elemento. Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito, al conjunto de nodos tomando en consideración sus relaciones de adyacencia lo conocemos con el nombre de malla. ” (Martinez & Patiño, 2015)

### **2.2.1.3. Grados de libertad.**

“Un grado de libertad es el número de movimientos posibles de un sistema estructural. Los grados de libertad se pueden usar para describir desplazamientos y giros en un punto de nudo.” (SDlupal, 2021)

### **2.2.1.4. Apoyo o nudo.**

“Cada estructura transfiere sus fuerzas de arriba a abajo en los cimientos. Las cimentaciones se idealizan como apoyos en la ingeniería estructural. Deben entenderse como grados de libertad y, por lo tanto, forman las condiciones de contorno para una estructura. Es decir, impiden el desplazamiento o giro en una determinada dirección, por lo que no se puede producir ninguna deformación. Dependiendo de la definición, los apoyos pueden restringir ciertos grados de libertad.” (SDlupal, 2021)

## **2.2.2. Método de simulación con elementos finitos.**

Se define los siguientes conceptos:

- Descripción del método.
- Tipos de elementos finitos.
- Procedimiento del método.

### **2.2.2.1. Descripción del método.**

“El método de Elementos Finitos está basado en el proceso de descomposición del sistema analizado en pequeños subsistemas cuyo modelado sea más sencillo, para

luego ensamblar resultados parciales y obtener el comportamiento global.”  
(Martinez & Patiño, 2015)

#### **2.2.2.2. Tipos de elementos finitos.**

Según Martínez Bustamante y Patiño Zarate se encuentran 3 tipos:

- En 1-D los elementos finitos son segmentos de línea.
- En 2-D son figuras geométricas de cualquier número de lados, por facilidad se usan triángulos y cuadriláteros.
- En 3-D los elementos finitos son poliedros de cualquier número de caras, los más usados son los tetraedros, hexágonos, dependiendo del problema a analizar.

#### **2.2.2.3. Procedimiento del método.**

- Discretización: Es el proceso de transformar el dominio geométrico continuo en una malla de elementos finitos. En este proceso se determina el tipo, la forma y tamaño del elemento. Los elementos están unidos entre sí mediante un número finito de nodos, ubicados en el contorno de los elementos. (Martinez & Patiño, 2015)
- Determinación de las ecuaciones para cada elemento: En esta etapa se aplica a cada elemento las ecuaciones que gobiernan el problema, de la misma manera se aplican las condiciones de frontera del problema a tratar. Para este proceso se cuenta con varios métodos como: Método de Galerkin, de los Mínimos Cuadrados, de colocación. (Martinez & Patiño, 2015)
- Ensamble de las ecuaciones de los elementos: Luego de obtener los sistemas que nos proporcionan las ecuaciones de cada elemento, en esta etapa se ensamblan en un solo sistema. El método de elementos finitos debe cumplir condiciones de

continuidad en la frontera entre los elementos. Con este proceso se logra obtener una matriz cuyo tamaño es igual al número de nodos de la malla por el número de grados de libertad. (Martinez & Patiño, 2015)

- Solución de las ecuaciones del sistema: Se procede a resolver el sistema de ecuaciones. (Martinez & Patiño, 2015)
- Postproceso: Se calculan los valores de las variables, se grafican los resultados y se analizan los mismos. (Martinez & Patiño, 2015)

### **2.2.3. Software de simulación.**

El software de simulación aplicado es el SolidWorks conteniendo los siguientes conceptos:

- El software SolidWorks.
- Análisis, cálculo y validación: SOLIDWORKS Simulation.

#### ***2.2.3.1. El software SolidWorks.***

El software CAD SOLIDWORKS® es una aplicación de automatización de diseño mecánico que les permite a los diseñadores coquizar ideas con rapidez, experimentar con operaciones y cotas, y producir modelos y dibujos detallados. (Dassault Systemes, 1995)

#### ***2.2.3.2. Análisis, cálculo y validación: SOLIDWORKS Simulation.***

El software de cálculo y validación SOLIDWORKS Simulation, somete los diseños a condiciones idénticas que experimentaría en la realidad, aumentando la calidad de los productos al tiempo que reduce el coste de sus prototipos. Sus funcionalidades principales son las siguientes (SOLIDBI, 2017):

- Genera menor número de prototipos gracias a la posibilidad de configurar y probar los productos simulando un entorno real antes de fabricarlos. De esta forma se evitan errores costosos y el producto llega antes al mercado.
- Evalúa el rendimiento de los productos para mejorar la eficacia de éstos desde las primeras fases de diseño y controlar su ciclo de vida. Se perfeccionan los diseños gracias al análisis de simulación y se adapta el producto según los resultados obtenidos.
- Las pruebas virtuales en las fases iniciales del desarrollo de producto integradas en CAD ayudan a comercializar los productos más rápido utilizando menor número de prototipos físicos los cuales suponen una pérdida de tiempo.

#### **2.2.4. Secuencias de trabajo para la simulación estructural con elementos finitos.**

Se define los siguientes conceptos y las secuencias de trabajo para la simulación:

- Cargas de trabajo.
- Análisis estructural.
- Criterio y consideraciones de diseño de vagones plataforma.
- Factor de seguridad de la norma AAR.
- Combinaciones de carga según la norma AAR.

##### **2.2.4.1. Carga Muerto (D).**

“Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados, incluyendo su peso propio, que sean permanentes o con una

variación en su magnitud, pequeña en el tiempo.” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

#### **2.2.4.2. Carga viva (L).**

“Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos movibles soportados por la edificación.” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006). En el caso de los vagones plataformas, se consideraría como carga viva los materiales, maquinaria entre otros que sean cargados por la misma plataforma.

#### **2.2.4.3. Análisis estructural.**

El análisis estructural, se realiza mediante el método de elementos finitos de ingeniería (FEM), mediante el módulo computacional SolidWorks, permitiendo modelar el comportamiento de las diferentes combinaciones de carga y restricciones de movimiento. Para este tipo de estructuras, el programa se basa en la utilización de elementos de placa tridimensionales cuadráticos de alto orden con seis (6) grados de libertad por nodo: tres grados de libertad para movimiento en ejes X, Y y Z; y tres grados de libertad de rotación en los mismos ejes: X, Y y Z. (Solidworks, 2017)

El programa SolidWorks, trabaja asumiendo que en los elementos componentes de la estructura se cumplen las siguientes hipótesis:

- Una relación entre desplazamientos y deformaciones de primer orden.
- Una relación entre tensiones y deformaciones del tipo elástica lineal e isotrópica.

#### **2.2.4.4. Criterio y consideraciones de diseño de vagones plataforma.**

Para los criterios y las consideraciones de diseño, se tomaron de la norma AAR para vagones tipo plataforma (AAR, 2011, p. 61) del “Manual of Standard and Recommended Practices Section C- Part II”, Specifications for Design, Fabrication and construction of Freight CARS m-1001 Volume 1 Standard 2007 para un valor de esfuerzo son:

- $\sigma_y$  o 80% de  $\sigma_u$ , donde  $\sigma_y$ , es el esfuerzo de fluencia del material y  $\sigma_u$  es el esfuerzo de ruptura del material.

#### **2.2.4.5. Factor de seguridad de la norma AAR.**

Se ajustará como factor de seguridad lo establecido en la norma AAR, en el punto (AAR, 2011, p. 61), y se considera aceptable un factor de seguridad mayor al 1,2

$$FS = \frac{\text{tension maxima}}{\text{tension diseño}}$$

#### **2.2.4.6. Combinaciones de carga según la norma AAR.**

Las combinaciones de carga utilizadas según norma (AAR, 2011, pp. 61-71) para el análisis, son las siguientes:

- Caso A – carga por tracción:  $1,8 \times (T + D + L)$ .
- Caso B – carga normal:  $D + L$ .
- Caso C – carga por compresión:  $C + D + L$ .
- Caso D – levante por enganches:  $D + L$ .
- Caso E – carga de impacto:  $I + D + L$ .
- Caso F – levante por gatas:  $D + (0,4 \times L)$ .



## **2.3. Definición de Términos**

### **2.3.1. Vagón Plataforma.**

“El vagón consiste en una plataforma sin bordes, que le otorga una gran flexibilidad para transportar cargas de tamaños diversos; la única limitación la determina el gálibo máximo de la línea.” (Barry & Soler, 2008).

### **2.3.2. Deformación.**

“Cuando se aplica una fuerza a un cuerpo, ésta tiende a cambiar la forma y tamaño del cuerpo. A esos cambios se les llama deformación y ésta puede ser visible o prácticamente inadvertida si no se emplea el equipo apropiado para hacer mediciones precisas” (Hibbeler & Goodno, 1985, p. 69)

### **2.3.3. Factor de seguridad.**

“El factor de seguridad para determinado material es la relación entre el esfuerzo máximo al que puede llegar una pieza y su esfuerzo de trabajo” (Rodas, 2014)

$$fs = \frac{\sigma_{\text{maximo}}}{\sigma_{\text{diseño}}}$$

### **2.3.4. Simulación.**

“La simulación se refiere a la operación de un modelo numérico que representa la estructura de un proceso dinámico. Dados los valores de las condiciones iniciales, los parámetros y las variables exógenas, se lleva a cabo una simulación.” (Parra, 1981)

### **2.3.5. Modelado.**

“Se trata de un objeto físico que reproduce algunas propiedades de un sistema real, para ayudarnos a responder preguntas del sistema.” (Fritzon, 2015)

### **2.3.6. Normas AAR.**

“Las normas AAR son los estándares elaborados por la Asociación Norteamericana del Ferrocarril. Dentro de la AAR, se incluye el sector ferroviario de Estados Unidos, Canadá y México.” (Asociación Norteamericana del Ferrocarril, 2019).

### **2.3.7. Tonelada.**

“Tonelada es un término que deriva de tonel y que hace referencia a una medida de masa en el Sistema Internacional de Unidades y en el sistema métrico decimal. La tonelada equivale a un peso de 1000 kilogramos.” (Perez & Gardey, 2012)

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1. Tipo de la investigación**

La presente investigación es aplicada. Porque se utiliza conceptos y conocimientos de diseño mecánico con el software SolidWorks, el cual, por el método de elementos finitos, se logrará el objetivo de la optimización del espesor de los aceros estructurales cumpliendo con la norma AAR y manteniendo la misma capacidad de carga del modelo original (Cobrasma).

“La Investigación Aplicada tiene por objetivo resolver un determinado problema o planteamiento específico, enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación y, por ende, para el enriquecimiento del desarrollo cultural y científico.” (Duoc UC Bibliotecas, 2018).

### **3.2. Diseño de la investigación**

Para establecer el diseño del estudio, es preciso mencionar que los diseños, son el conjunto de tipos de estudio que debemos realizar, y que nos permiten alcanzar nuestro objetivo, es decir, que se convierten en una estrategia para el nivel investigativo que estamos abordando en base al vacío de conocimiento que demanda esta ausencia o necesidad. Nuestro nivel investigativo es aplicativo y las unidades de estudio, son los cinco prototipos diseñados previamente, las que fueron ajustado en sus parámetros con anticipación en base a los análisis correspondientes, quienes permitieron realizar el análisis estructural, buscando optimizar el peso óptimo. Adicional a esto podemos mencionar una taxonomía para la clasificación de nuestro estudio que los mencionamos seguidamente:

- Según la intervención del investigador: Es un estudio intervencionista. (Supo, 2012)
- Según la planificación de las mediciones: Es un estudio prospectivo, porque existe una planificación para realizar las mediciones de los resultados obtenidos en el diseño, por lo tanto, son denominados como datos primarios. (Supo, 2012)
- Según el número de mediciones de la variable de estudio: Es longitudinal, porque se va realizar diferentes mediciones en función al cambio de parámetros de los prototipos empleados, buscando la mejor combinación de estos parámetros que permita lograr el diseño óptimo. (Supo, 2012)
- Según el número de variables analíticas: Es analítico, porque se busca encontrar el mejor diseño ajustando los parámetros de las variables fijas (prototipos de vagones). (Supo, 2012)

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población de estudio.**

Cinco prototipos de vagones plataforma.

### **3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos**

- Observación directa: Se observa el vagón modelo Cobrasma, para la obtención de los datos.
- Análisis comparativo: Se realiza un modelado del vagón plataforma Cobrasma, para la evaluación de resultados base y se simula nuevos prototipos para la contratación de resultados.
- Ficha de observación: Se realiza una toma de parámetros de medición del vagón plataforma Cobrasma y se plantean nuevos parámetros para los nuevos prototipos.
- Software de simulación: Se realiza la utilización del software SolidWorks, el cual, realiza la simulación de estructuras mediante elementos finitos.
- Norma AAR. (Association of American Railroads): Se utiliza las normas para la guía de elaboración de los prototipos de vagones plataforma.
- Cuadro comparativo de resultados: Se utiliza un cuadro comparativo para el análisis de resultados obtenidos de la simulación de los prototipos y el vagón modelo Cobrasma.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS**

#### **4.1. Presentación de resultados**

Las instalaciones de SPCC, según su rubro de activada minera, hacen uso de unidades de transporte, las cuales, son los vagones plataforma de carga general, el cual, se analiza y se modela mediante el uso el software y se determina un exceso de peso de la estructura. A lo cual, determinado el sobredimensionamiento de la estructura del vagón plataforma, se plantea realizar prototipos que puedan cumplir con la norma AAR.

Teniendo el modelo vagón plataforma diseñado por Cobrasma para reemplazar a los vagones existentes en las instalaciones de SPCC, se tomó la decisión de evaluarlo con el objetivo de ver las conveniencias de las desventajas y ventajas del modelo, después del análisis, se encontró un exceso de sobredimensionamiento estructural. En el desarrollo del diseño, se tomó elaborar cinco prototipos para optimizar los parámetros con el software SolidWorks, el cual, nos permita hacer un cuadro comparativo de sus resultados arrojados por el cálculo, en el cual, se presentan los indicadores como factor de seguridad, peso de la estructura y carga aplicada.

Los datos obtenidos por la simulación con el uso del software, fueron ajustándose en el proceso de diseño. Mediante, el cual, se insertaron datos como el espesor, acero ASTM A36 y dimensiones de materiales, los cuales, se presentan en las siguientes imágenes:

Inicialmente, realizamos el uso del software SolidWorks, para comenzar a dibujar la estructura del vagón plataforma, mediante la herramienta sketch, de ahí comenzamos a trazar las líneas establecidas, para poder realizar la formación de sólidos del vagón plataforma y poder obtener un modelado en 3D del vagón plataforma.

En los siguientes apartados 4.1.1. al 4.1.16. en adelante, se mostrarán todos los procesos que se realizaron para el análisis de resultados.

A continuación, se presentan el prototipo Cobrasma, que deriva del mismo modelo Cobrasma, en el cual, se plasma el vagón en el software SolidWorks.

#### **4.1.1. Prototipo Cobrasma.**

En la siguiente imagen, se observa el modelado del vagón plataforma Cobrasma en vista isométrica, al cual, fue aplicada todas las medidas tomadas en campo y plasmadas al software para su modelado.

(Ver en el panel fotográfico, en el apéndice B)

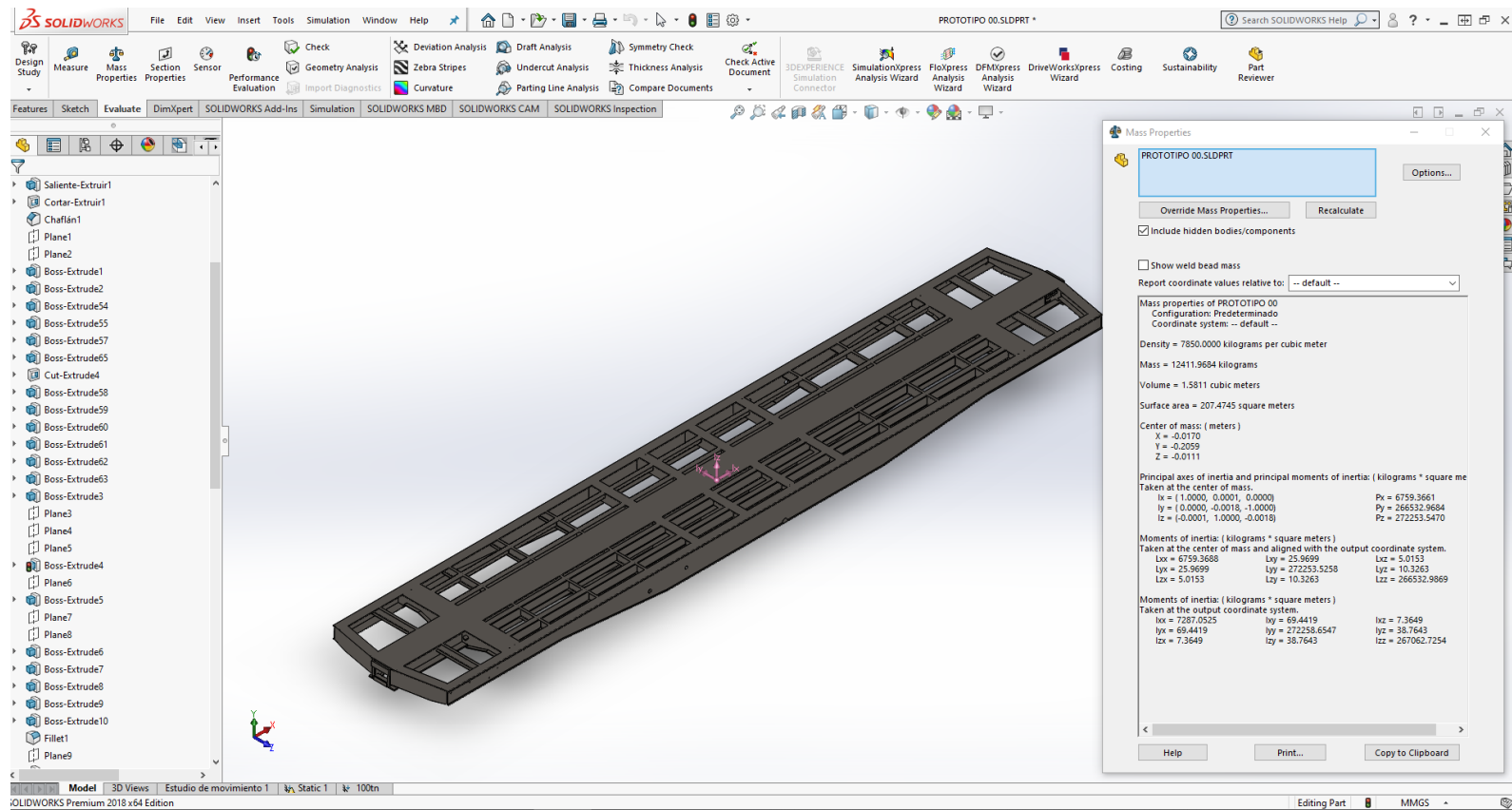


Figura 1. Prototipo Cobrasma.

Nota: Se ha plasmado el modelado del vagón plataforma de Cobrasma, en el cual, se hecho uso del software SolidWorks para modelar las piezas de la estructura.



Así podemos observar las partes principales del vagón plataforma, como el cajón o viga centro (como se muestra en la figura 2), el cual, se considera el centro del vagón plataforma, así mismo, internamente se encuentra el cajón guiador del pin, ubicado en los dos extremos del núcleo de la plataforma, por otro lado, tenemos a los brazos principales, los cuales, son los encargados de dar una estabilidad a la estructura del vagón plataforma, adicionalmente, tenemos a los brazos intermedios, encargados dar un mayor soporte a la parte superior de la estructura, así mismo, los brazos secundarios, los cuales, se encargan de brindar aún más la forma estructural del vagón plataforma, finalmente, los marcos estructurales encargados de dar la forma del vagón plataforma. De esta manera, se logra ingresar información al software respecto al vagón Cobrasma, que servirá de base para establecer el análisis estructural comparativo de los demás prototipos, y poder verificar sus parámetros reales de deformación y factor de seguridad.

#### **4.1.2. Medidas internas de vigas chasis.**

En la siguiente figura, se muestra la viga principal del vagón plataforma, al cual, podemos visualizar los espesores de la viga centro. Parte superior de la viga centro con un espesor de 25mm, parte inferior de la viga centro 25 mm, y laterales de la viga centro 16 mm (Como se muestra en la tabla 3). Esta viga centro mostrada, será la parte principal que estará sometida a cambios de espesores con el fin de reducir el peso.

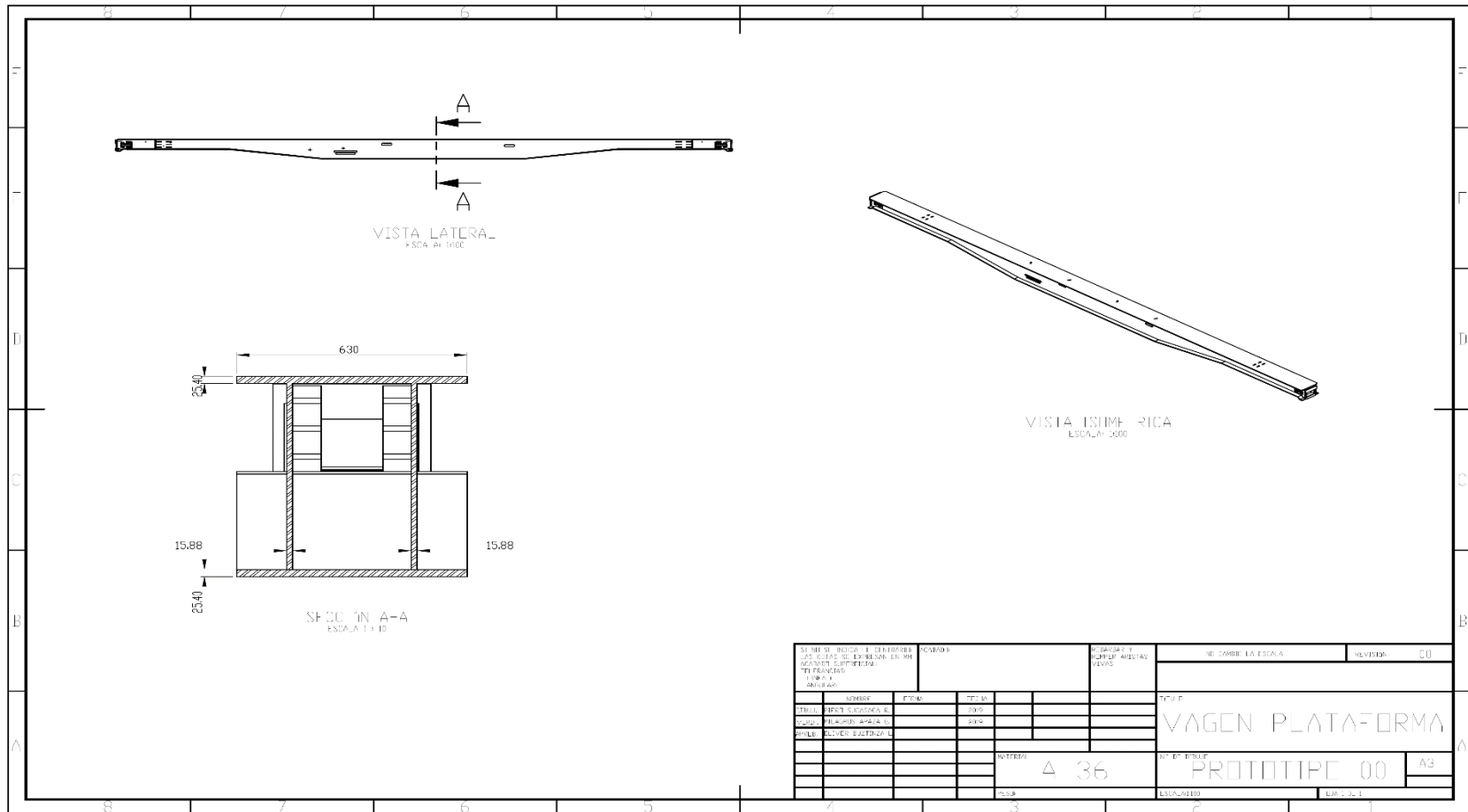


Figura 2. Viga Chasis de prototipo Cobrasma.

Nota: Medida de los espesores de la viga chasis, en tanto, la parte superior, laterales, superior e inferior.

#### **4.1.3. Propiedades de masa del vagón Cobrasma.**

En la tabla 2, se aprecia con mayor detalle las propiedades del vagón plataforma modelado, en el cual, se aprecia la densidad del material, peso del vagón plataforma, área del vagón plataforma, centro de masa, entre otros datos, de los cuales, utilizamos la masa mostrada para nuestro análisis.

**Tabla 2***Propiedades de prototipo Cobrasma*

| <b>Prototipo 00</b>  |                                       |                         |
|--|---------------------------------------|-------------------------|
| <b>Propiedades de masa de prototipo 00:</b>  |                                       |                         |
| <b>Densidad=</b>   | 7860,0000 kilogramos por metro cubico |                         |
| <b>Masa=</b>   | 12411,9684 kilogramos                 |                         |
| <b>Volumen=</b>  | 1,5811 metros cúbicos                 |                         |
| <b>Área de superficie=</b>   | 207,4745 metros cuadrados             |                         |
| <b>Centro de masa:</b>   | (metros)                              |                         |
| <b>x=</b>  | -0,0170                               |                         |
| <b>y=</b>  | -0,2059                               |                         |
| <b>z=</b>  | -0,0111                               |                         |
| Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: Kilogramos*metros cuadrados |                                       |                         |
| Tomando en el centro de masa.  |                                       |                         |
| <b>Ix=</b> (1,0000; 0,0001; 0,0000)  | <b>Px=</b> 6759,3661                  |                         |
| <b>Iy=</b> (0,0000; -0,0018; -1,0000)  | <b>Py=</b> 266532,9684                |                         |
| <b>Iz=</b> (-0,0001; 1,0000; -0,0018)  | <b>Pz=</b> 272253,5470                |                         |
| Momentos de inercia: (Kilogramos*metros cuadrados).  |                                       |                         |
| Tomando el centro de la masa y alineado con el sistema de coordenadas de salida.           |                                       |                         |
| <b>Lxx=</b> 6759,3688  | <b>Lxy=</b> 25,9699                   | <b>Lxz=</b> 5,0153      |
| <b>Lyx=</b> 25,9699  | <b>Lyy=</b> 272253,5258               | <b>Lyz=</b> 10,3263     |
| <b>Lzx=</b> 5,0153   | <b>Lzy=</b> 10,3263                   | <b>Lzz=</b> 266532,9869 |
| Momento de inercia: (Kilogramos *metros cuadrados).  |                                       |                         |
| Tomando en el sistema de coordenadas de salida.  |                                       |                         |
| <b>Ixx=</b> 7287,0525  | <b>Ixy=</b> 69,4419                   | <b>Iyx=</b> 7,3649      |
| <b>Iyx=</b> 69,4419  | <b>Iyy=</b> 272258,6547               | <b>Iyz=</b> 38,7643     |
| <b>Izx=</b> 7,3649   | <b>Izy=</b> 38,7643                   | <b>Izz=</b> 267062,7254 |

*Nota:* Parámetros y propiedades físicas aplicadas al prototipo Cobrasma, tales como, masa, densidad, volumen, área y centro de masa. Informe extraído del software, ver anexo A.

Seguidamente, en la siguiente tabla 3, se muestran los parámetros que van a ser sometidos a cambios por la simulación de los prototipos.

**Tabla 3**

*Tabla de parámetros de prototipo 00*

| <b>Parámetros</b>                      | <b>Prototipo Cobrasma</b> |
|--|---------------------------|
| <b>Longitud de plataforma (mm)</b>     | 16307                     |
| <b>Ancho de plataforma (mm)</b>        | 3200                      |
| <b>Material</b>                        | ASTM A-36                 |
| <b>Viga chasis lado superior (mm)</b>  | 25                        |
| <b>Viga chasis lado inferior (mm)</b>  | 25                        |
| <b>Viga chasis lado derecho (mm)</b>   | 16                        |
| <b>Viga chasis lado izquierdo (mm)</b> | 16                        |
| <b>Peso de viga chasis (kg)</b>        | 5451                      |
| <b>Peso total de plataforma (kg)</b>   | 12411,96                  |

*Nota:* Parámetros de diseño del vagón plataforma.

Como podemos observar en la tabla 3, contamos con los parámetros que van a estar implicados en la simulación de los prototipos que serán alterados, los cuales, son los lados de la viga chasis superior, inferior y laterales, donde, se muestran los datos obtenidos al realizar el modelado de la estructura del vagón plataforma Cobrasma.

#### **4.1.4. Simulación de la estructura.**

A partir de esta sección, se pretende explicar la secuencia de la simulación, la cual, estará conformado por una serie de modificaciones de los elementos relacionados a la tabla anteriormente mostrada y aplican la siguiente secuencia.

#### **4.1.5. Selección del material.**

Para realizar la aplicación de la selección del material en el software SolidWorks, aplicamos el comando de selección de material, el cual, nos otorgara un listado completo de varios tipos de materiales, como se observa en la figura 3, de lo cual, para nuestro diseño se ha seleccionado el material ASTM A36, el cual, se puede apreciar. La selección del material, fue propuesto por el cliente, siendo la empresa minera SPCC, el cual, se considera un material más comercial y de menor costo.

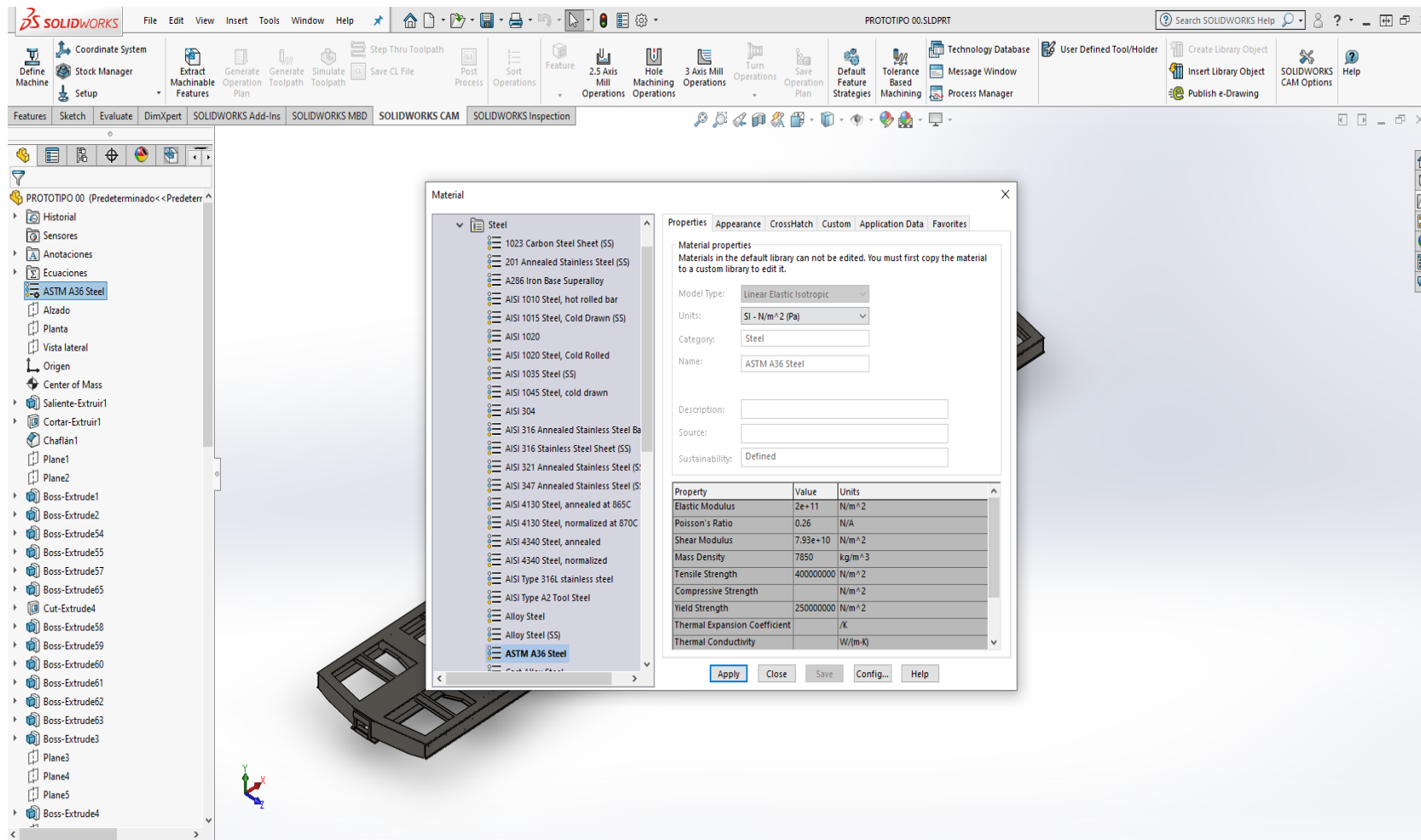


Figura 3. Aplicación de selección del material.

Nota: Cuadro de selección, donde se realiza la selección del material del catálogo de SolidWorks.

Como observamos en la figura 3, podemos apreciar la aplicación de la selección del material para el vagón plataforma Cobrasma, y para una mejor visualización se muestra una vista ampliada y el catálogo otorgado por el software SolidWorks.

**Tabla 4**

*Propiedades de material seleccionado*

| <b>Propiedades</b>        | <b>Valor</b> | <b>Unidades</b>   |
|---------------------------|--------------|-------------------|
| Módulos elásticos         | 2e+11        | N/m <sup>2</sup>  |
| Coefficiente de poisson   | 0,26         | N/A               |
| Módulo de corte           | 7,93e+10     | N/m <sup>2</sup>  |
| Densidad de masa          | 7850         | Kg/m <sup>3</sup> |
| Resistencia a la tracción | 400000000    | N/m <sup>2</sup>  |
| Fuerza de fluencia        | 250000000    | N/m <sup>2</sup>  |

*Nota:* Parámetros de diseño del vagón plataforma.

Como podemos ver en la figura 3, nos muestra materiales desde el carbón steel sheet, hasta el ASTM A36, adicionalmente, también podemos observar todas las propiedades del material seleccionado que se le aplica al vagón plataforma de carga general.

#### **4.1.6. Aplicación de Puntos fijos de la estructura.**

Continuando con la simulación del modelo Cobrasma, ubicamos los puntos fijos en la parte inferior de la estructura, la cual, representara un punto importante para la simulación de la estructura.

Como podemos observar en la figura 4 del modelado del vagón plataforma Cobrasma, se está aplicando los puntos fijos en la parte inferior de esta.



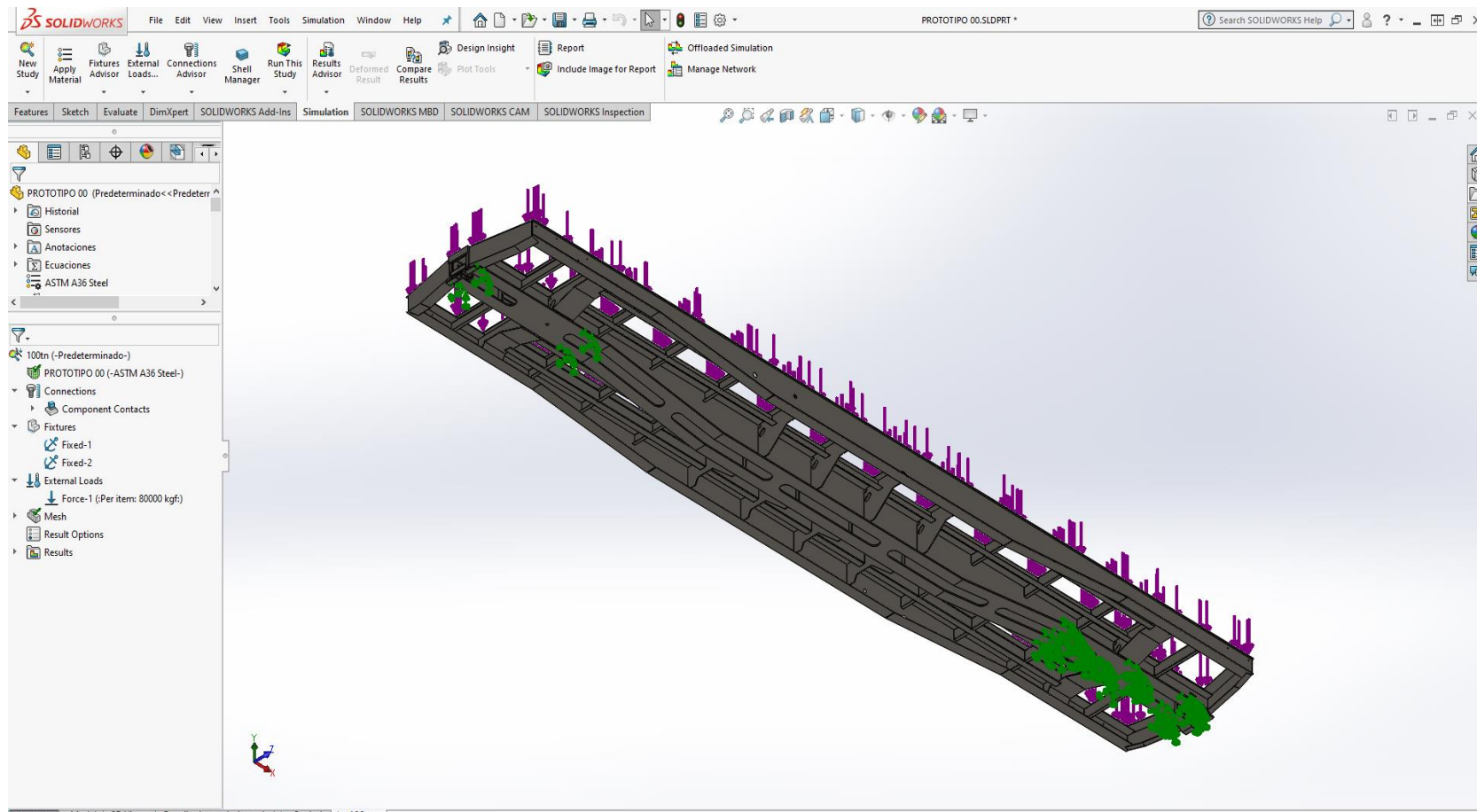


Figura 4. Visualización de la aplicación de puntos fijos.

*Nota:* Se observa los puntos fijos, los cuales, se aplican en la parte inferior del vagón plataforma, para que el software pueda realizar la simulación de la estructura.

Los puntos de apoyo fijos, se asignan en las áreas de contacto con los bogíes (ruedas de la plataforma), las cuales, son fijadas por un eje apoyadas con un plato centro, donde, tiene para deslizarse en la dirección X. Para la simulación los puntos fijos, son asignados para lograr la semejanza de la simulación con la realidad, ya que esta estructura por ser simétrica, la zona de deformación máxima, se encuentra en el medio de la estructura. Lo cual, se logra poniendo dicha condición.

#### **4.1.7. Aplicación de cargas en la parte superior de la estructura.**

Continuando con la simulación, se aplica una fuerza de 100 Ton, para que el software SolidWorks, pueda simular la estructura en condiciones reales de trabajo y, nosotros poder observar los resultados que nos otorgue. Este parámetro de asignación de fuerza aplicada de 100 Ton, es determinado por las condiciones del cliente, en relación a su estándar operativo, el cual, indican que el vagón tendrá la cantidad de carga anteriormente mencionada.

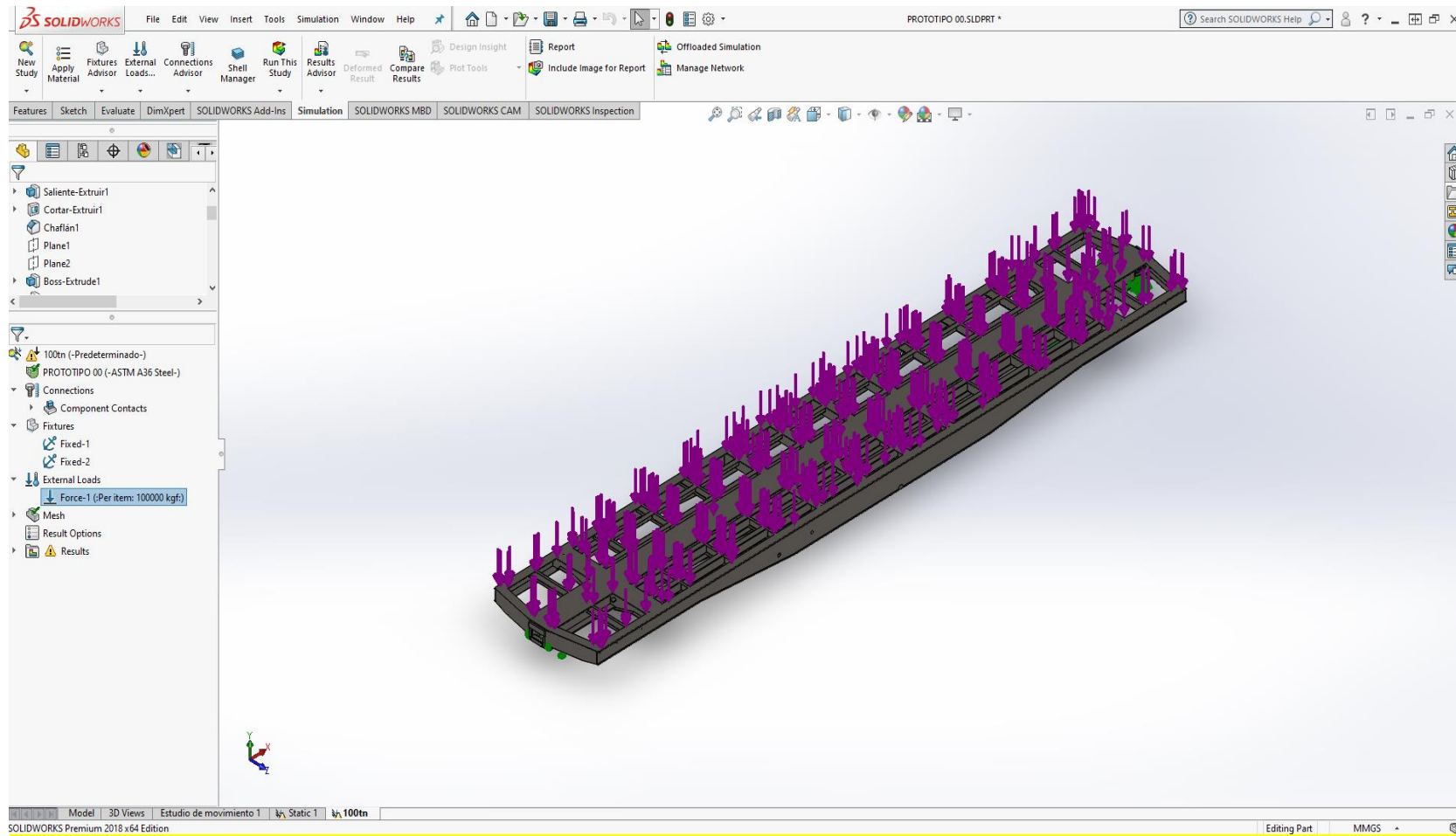


Figura 5. Visualización de la aplicación de cargas.

Nota: Se otorga al modelo Cobrasma una carga máxima de 100 Ton, en toda la parte superior de la estructura.

#### **4.1.8. Aplicación de mallado de la estructura.**

Mediante la extensión del complemento SolidWorks Simulation, se realiza la aplicación de mallado, el cual, el software genera elementos sólidos tetraédricos en 3D. En la aplicación del modelado del software SolidWorks, para el prototipo de Cobrasma, para poder lograr una mejor precisión, utilizamos el tamaño más fino en el mallado. Optamos, por detallar un análisis más detallado, respecto a los elementos finitos, de manera, que podamos tener una información más precisa para los análisis siguientes.

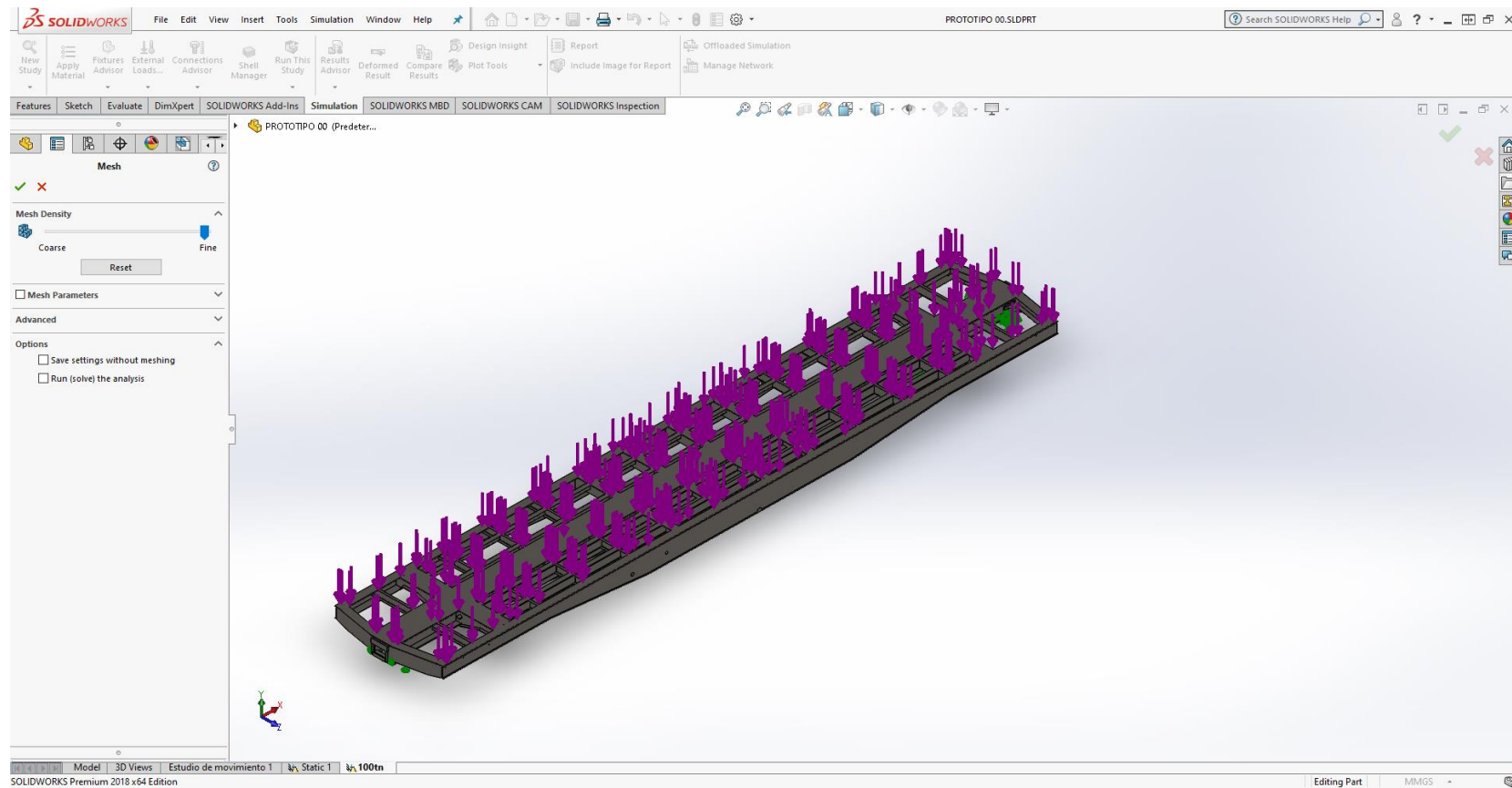


Figura 6. Mallado del vagón plataforma Cobrasma.

Nota: Se le otorga al modelado la aplicación de mallado más fino, para obtener un resultado más preciso.

#### **4.1.9. Presentación de la simulación de resultados.**

Siguiendo la secuencia respecto al literal anterior, el software SolidWorks, nos muestra los resultados, que, además, de no haberse ingresado los datos de manera correcta, el software te muestra las inconsistencias previas antes de proceder a los resultados. Una vez aplicado el mallado el software, detectará posibles inconsistencias del modelado, y según su análisis, procederá a ejecutar la simulación de la estructura del vagón plataforma.

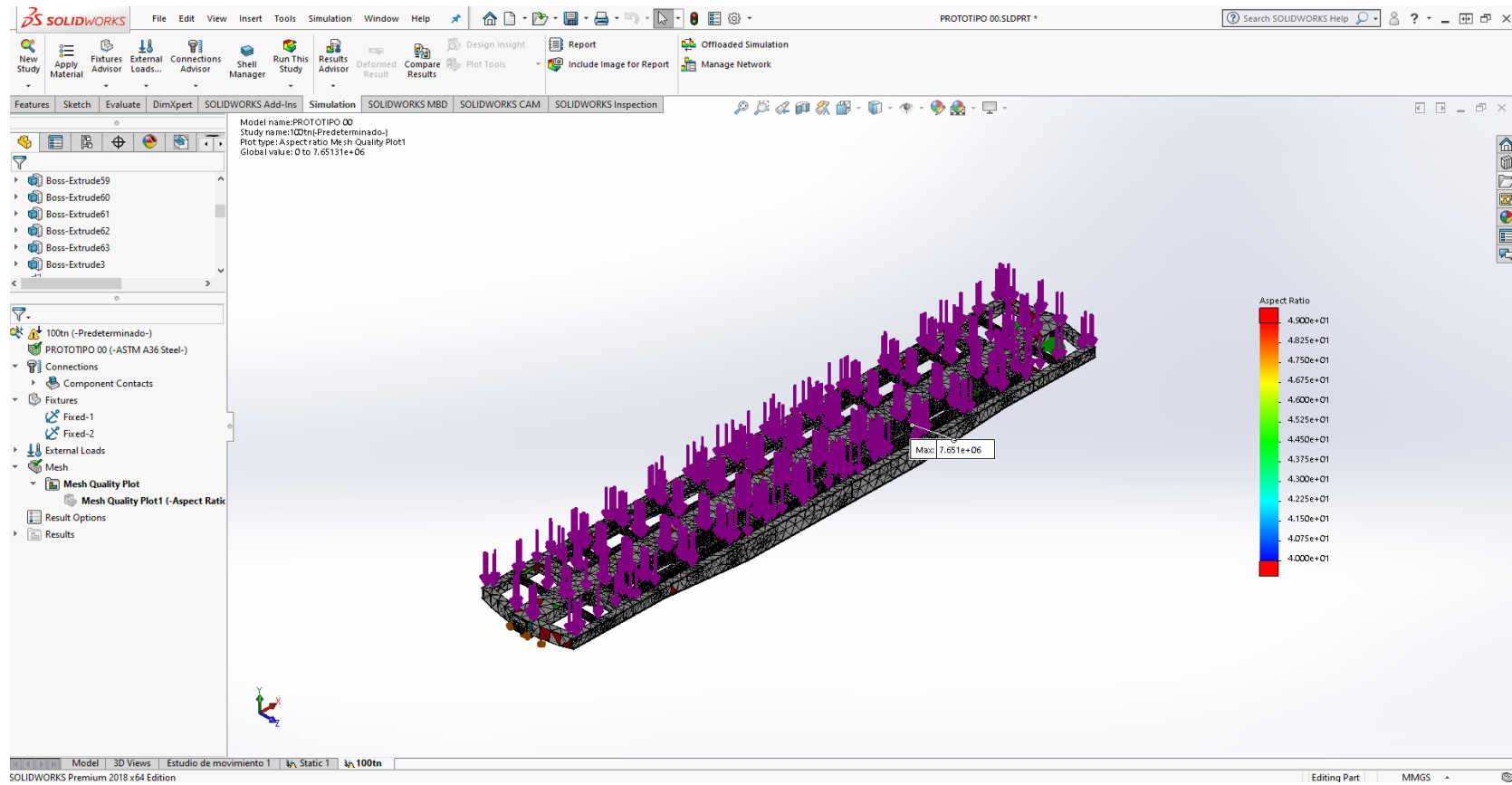


Figura 7. Aplicación de simulación de resultados.

Nota: Se da la ejecución del software, para que inicie con el procesamiento de datos.

#### **4.1.10. Presentación de datos del software SolidWorks.**

Terminando de ejecutarse el análisis del vagón plataforma mediante la simulación del software SolidWorks, los resultados se muestran en la tabla 5, en el cual, nos brindará los resultados de la deformación máxima, deformación mínima y factor de seguridad mínima representados en la figura 8, 9 y 10, se hace necesario indicar, que esta información es muy importante, ya que será una base referencial de los cuadros comparativos.



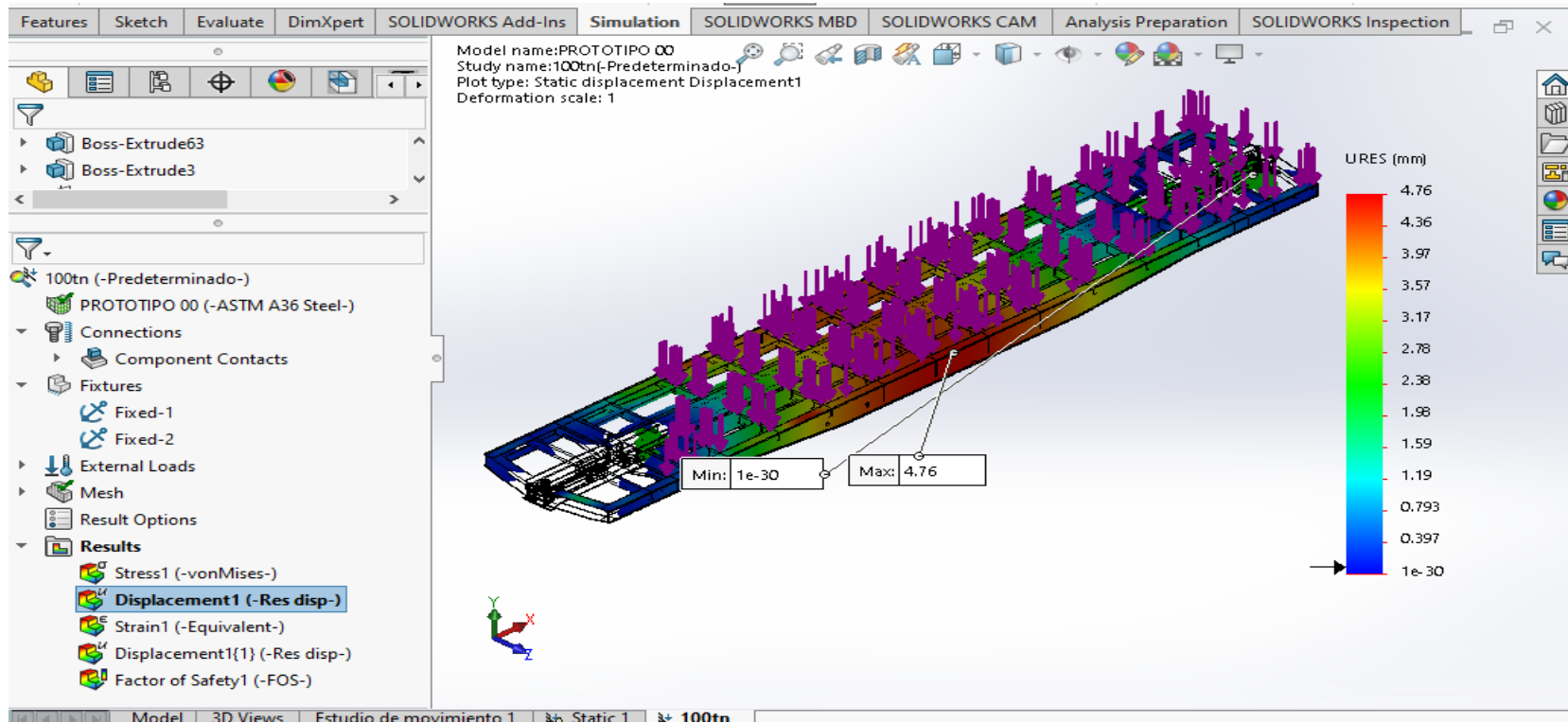


Figura 8. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón plataforma.

Nota: Se observa la deformación máxima del modelo Cobrasma, el cual, indica 4,76 mm de deformación en su punto crítico.

En la siguiente figura, observaremos como el software muestra el desplazamiento de la estructura del vagón plataforma, el cual, está representado en milímetros.

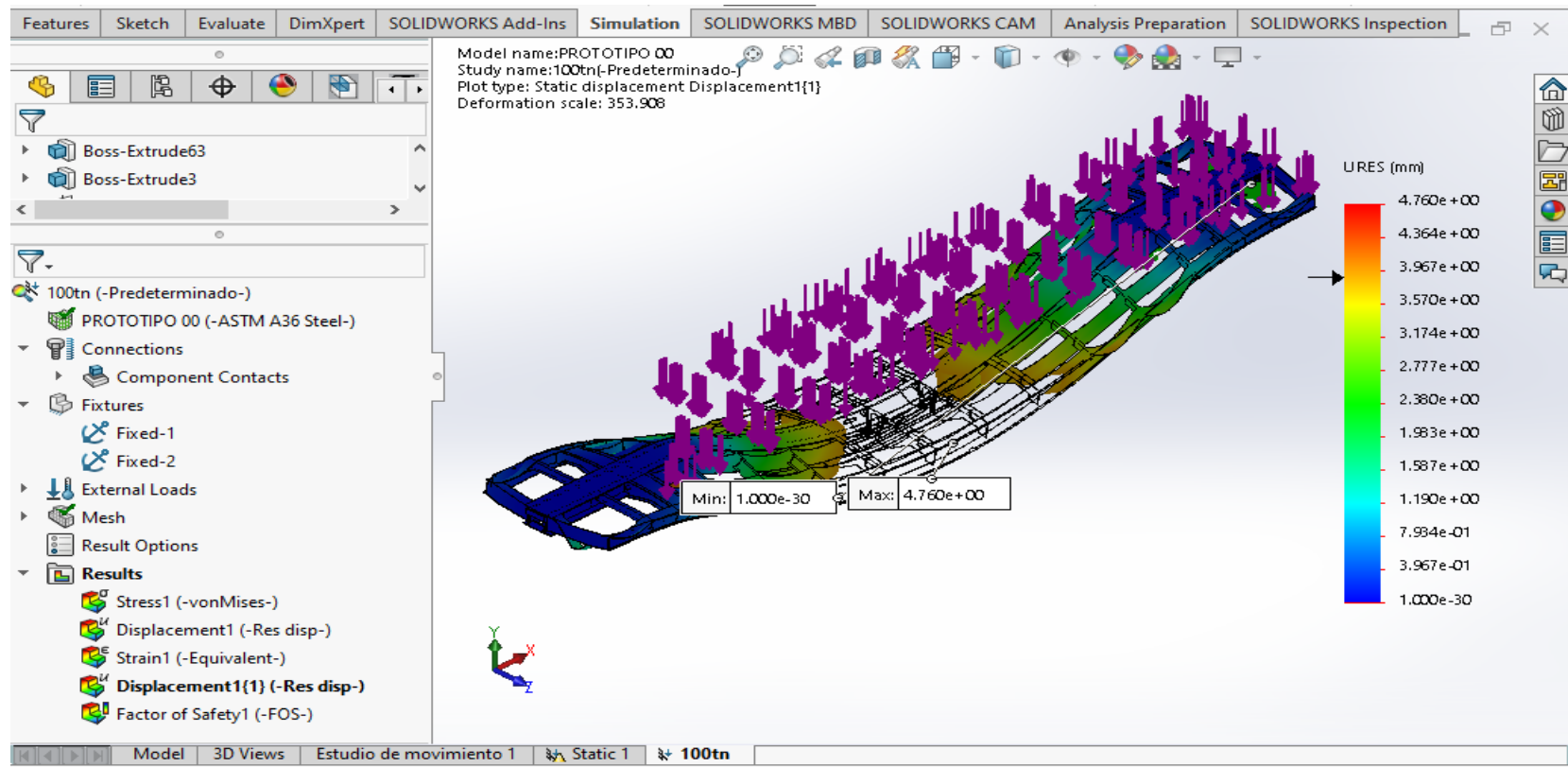


Figura 9. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón plataforma.

Nota: Se observa la deformación máxima del modelo Cobrasma, el cual, indica 4,76 mm de deformación en su punto crítico.

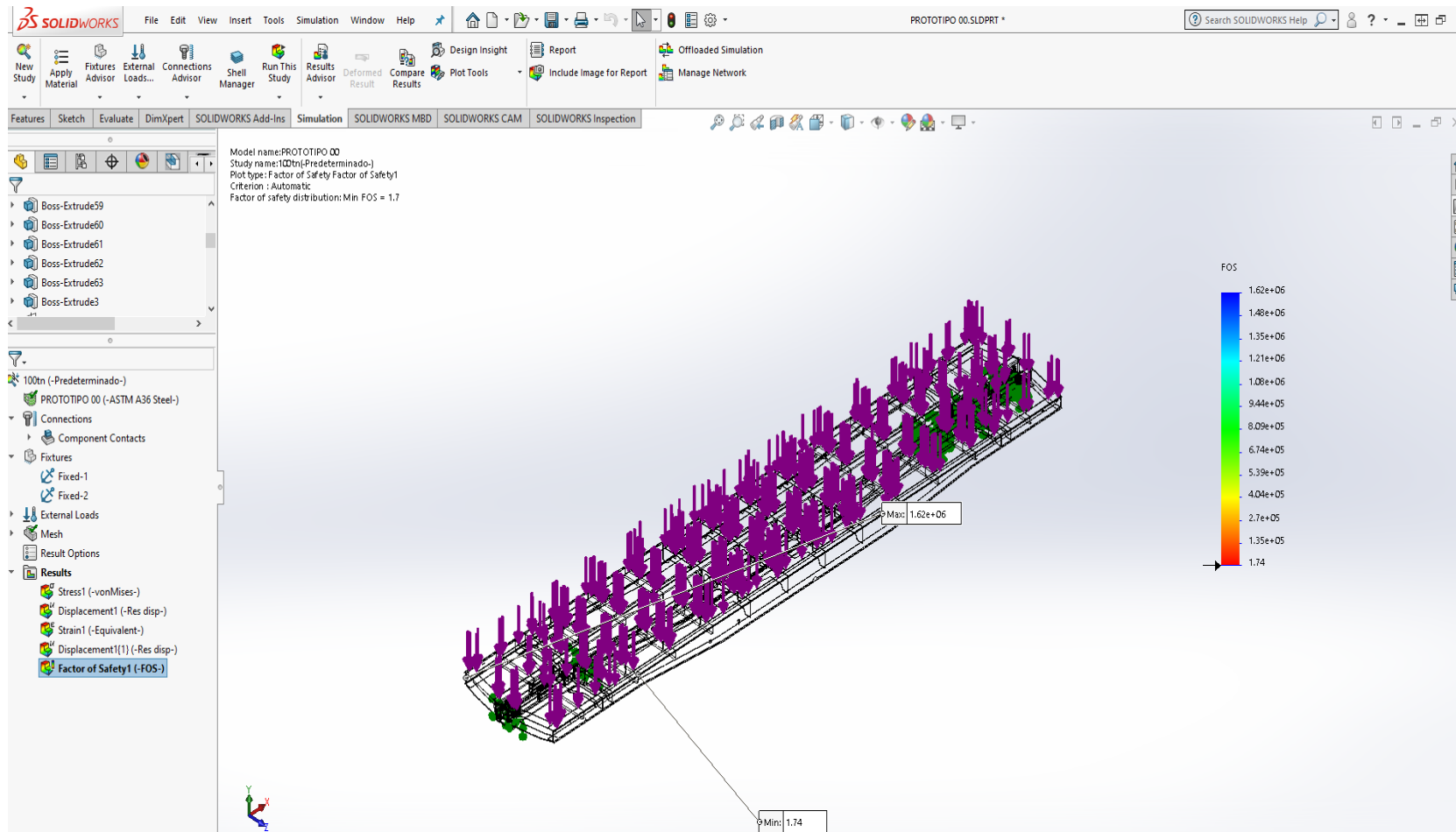


Figura 10. Visualización del factor de seguridad del vagón plataforma.

Nota: Se observa el factor de seguridad mínimo del modelo Cobrasma.

**Tabla 5***Tabla de resumen de resultados*

| <b>Resultados prototipo 00</b> | <b>Desplazamiento</b> | <b>Factor de Seguridad</b> |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Valor máximo</b>            | 4,76(mm)              | 1,62E+06                   |
| <b>Valor 1</b>                 | 4,36(mm)              | 1,48E+06                   |
| <b>Valor 2</b>                 | 3,97(mm)              | 1,35E+06                   |
| <b>Valor 3</b>                 | 3,57(mm)              | 1,21E+06                   |
| <b>Valor 4</b>                 | 3,17(mm)              | 1,08E+06                   |
| <b>Valor 5</b>                 | 2,78(mm)              | 9,44E+05                   |
| <b>Valor 6</b>                 | 2,38(mm)              | 8,09E+05                   |
| <b>Valor 7</b>                 | 1,98(mm)              | 6,74E+05                   |
| <b>Valor 8</b>                 | 1,59(mm)              | 5,39E+05                   |
| <b>Valor 9</b>                 | 1,19(mm)              | 4,04E+05                   |
| <b>Valor 10</b>                | 0,793(mm)             | 2,70E+05                   |
| <b>Valor 11</b>                | 0,397(mm)             | 1,35E+05                   |
| <b>Valor mínimo</b>            | 1E-30(mm)             | 1,74E+00                   |

*Nota:* Valores tomados del resultado de la simulación realizada.

En la Figura 10, se observa el factor de seguridad mínimo del vagón plataforma, el cual, es un punto importante que nos indica que la estructura, está sobredimensionada, debido a que su valor es de factor de seguridad=1,74; el cual; cumple con la norma de factor de seguridad mínimo, establecido por la normativa AAR, para fabricación de vehículos ferroviarios.

De acuerdo a todos los parámetros de resultados brindados por el software SolidWorks, se inserta en un cuadro de información del prototipo Cobrasma.

En la tabla 6, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos por el software referidos al prototipo Cobrasma.

**Tabla 6***Tabla de datos de simulación de prototipo 00*

| <b>Datos de simulación</b>           | <b>Prototipo Cobrasma</b>                            |
|--------------------------------------|--|
| <b>Geometría fija aplicada</b>       | Aplicado en zona estructural del vagón<br>plataforma |
| <b>Malla aplicada</b>                | Malla muy fina                                       |
| <b>Fuerza aplicada</b>               | 100000 kg  |
| <b>Material Aplicado</b>             | ASTM A-36  |
| <b>Deformación máxima resultado</b>  | 4,76 mm  |
| <b>Factor de seguridad resultado</b> | 1,74   |

*Nota:* Parámetros de diseño del vagón plataforma.

En la tabla 6, podemos apreciar los resultados obtenidos por el software SolidWorks, los cuales, son la aplicación de la fuerza que se le ingresa como dato a la estructura, el tipo de material que se selecciona para la aplicación de las propiedades de la estructura, la deformación máxima, a la cual, se desplazaría la estructura en el punto máximo, cuando sea sometida a la fuerza aplicada en la estructura y por último, el punto determinante de la estructura, el cual, es el factor de seguridad de la estructura del vagón plataforma, quien determina la funcionabilidad del diseño de la estructura, tanto como los espesores de las planchas y la selección del material, cumpliendo esta con la normativa de fabricación de ferrocarriles.

Entonces, se tomará como punto de partida la simulación del vagón Cobrasma y se procede a realizar la simulación de los prototipos N°01, N°02, N°03, N°04 y N°05.

#### 4.1.2. Prototipo N°01.

En la figura 11, se observa el modelado del vagón plataforma N°01, en vista isométrica, al cual, fue aplicada todas las medidas del vagón Cobrasma, al software para su modelado.

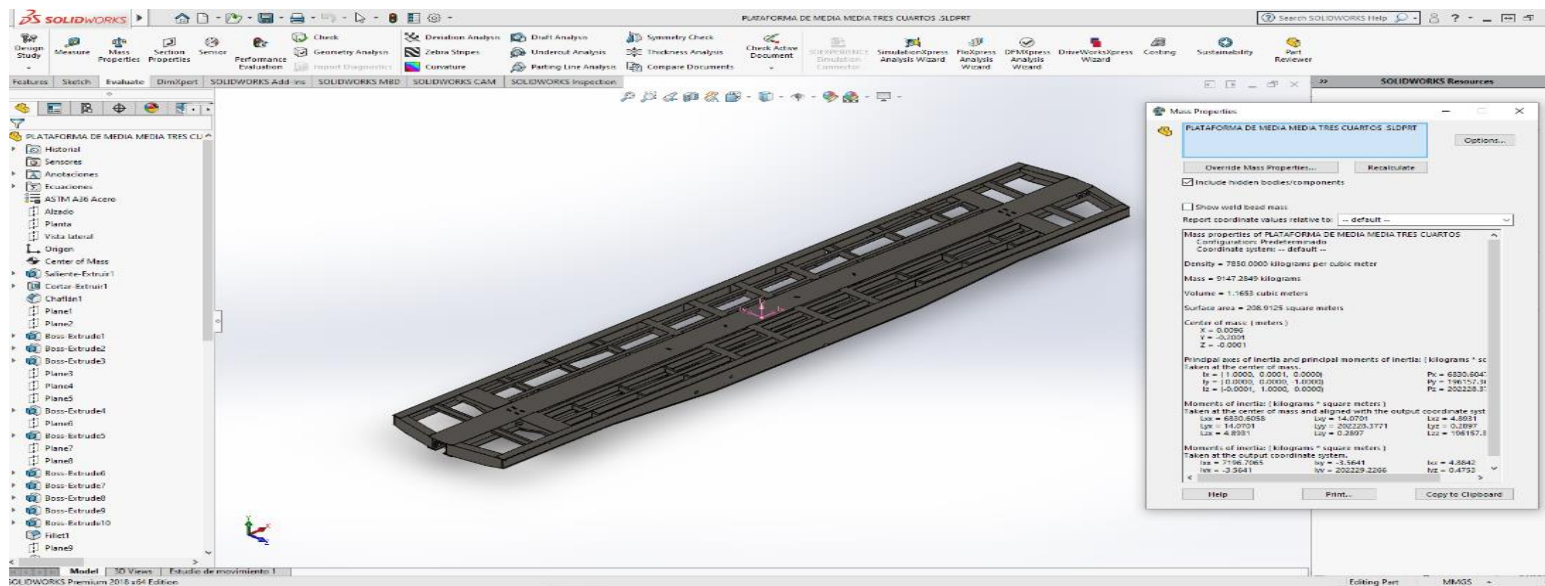


Figura 11. Prototipo N°01,

Nota: Se observa el modelado del primer prototipo, en el cual, se toma todas las dimensiones del vagón modelo Cobrasma, alterando la parte interna del vagón plataforma, para la reducción del peso, y poder observar nuevos resultados.

#### ***4.1.2.1. Medidas internas de vigas chasis.***

En la figura 12, se muestra la viga principal del vagón plataforma, al cual, podemos visualizar los espesores de la viga centro. Parte superior de la viga centro con un espesor de 12mm, parte inferior de la viga centro 19 mm y laterales de la viga centro 12 mm (como se muestra en la tabla 8). Esta viga centro mostrada, será la parte principal, que estará sometida a cambios de espesores, con el fin de reducir el peso.

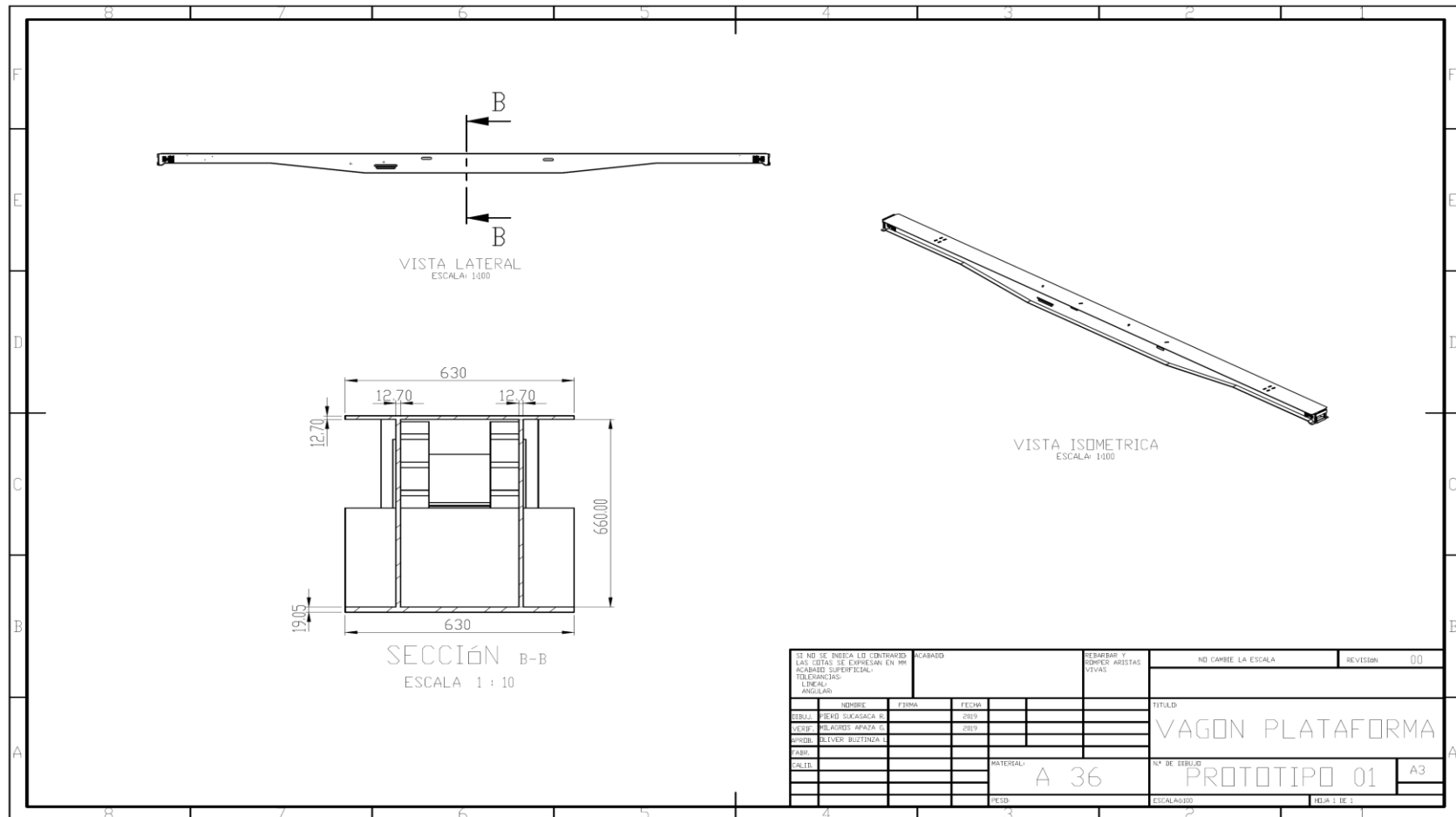


Figura 12. Viga Chasis de prototipo N°01.

Nota: Medida de los espesores de la viga chasis, en tanto, la parte superior, laterales, superior e inferior.



#### ***4.1.2.2. Cuadro de propiedades de la masa del prototipo N°01.***

En la tabla 7, se aprecia con mayor detalle las propiedades del vagón plataforma modelado, en el cual, se aprecia la densidad del material, peso del vagón plataforma, área del vagón plataforma, centro de masa, entre otros datos, de los cuales, utilizamos la masa mostrada para nuestro análisis.

**Tabla 7***Propiedades de prototipo N°01*

| <b>Prototipo N°01</b>                        |                                       |
|--|---------------------------------------|
| <b>Propiedades de masa de Prototipo N°01</b> |                                       |
| <b>Densidad=</b>                             | 7850,0000 Kilogramos por metro cubico |
| <b>Masa=</b>                                 | 9147,2849 kilogramos                  |
| <b>Volumen=</b>                              | 1,1653 metros cúbicos                 |
| <b>Área de superficie=</b>                   | 208,9125 metros cuadrados             |
| <b>Centro de masa:</b>                       | (metros)                              |
| <b>x=</b>                                    | 0,0096                                |
| <b>y=</b>                                    | -0,2001                               |
| <b>z=</b>                                    | -0,0001                               |

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (Kilogramos\* metros cuadrados).

Tomando en el centro de masa.

|                                    |                  |
|------------------------------------|------------------|
| $I_x = (1,0000; 0,0001; 0,0000)$   | $P_x = 6830,604$ |
| $I_y = (0,0000; 0,0000; -1,0000)$  | $P_y = 196157,3$ |
| $I_z = (-0,0001; 1,0000; -0,0000)$ | $P_z = 202228,3$ |

Momentos de inercia: (Kilogramos\*metros cuadrados).

Tomando el centro de la masa y alineado con el sistema de coordenadas de salida.

|                      |                        |                     |
|----------------------|------------------------|---------------------|
| $L_{xx} = 6830,6058$ | $L_{xy} = 14,0701$     | $L_{xz} = 4,8931$   |
| $L_{yx} = 14,0701$   | $L_{yy} = 202228,3771$ | $L_{yz} = 0,2897$   |
| $L_{zx} = 4,8931$    | $L_{zy} = 0,2897$      | $L_{zz} = 196157,3$ |

Momento de inercia: (Kilogramos \*metros cuadrados).

Tomando en el sistema de coordenadas de salida.

|                      |                        |                   |
|----------------------|------------------------|-------------------|
| $I_{xx} = 7196,7065$ | $I_{xy} = -3,5641$     | $I_{xz} = 4,8842$ |
| $I_{yx} = -3,5641$   | $I_{yy} = 202229,2266$ | $I_{yz} = 0,4753$ |

*Nota:* Parámetros y propiedades físicas aplicadas al prototipo Cobrasma, tales como, masa, densidad, volumen, área y centro de masa. Información extraída del software, ver apéndice A.

Seguidamente, en la siguiente tabla 8, se muestran los parámetros sometidos a cambios por la simulación del prototipo.

**Tabla 8**

*Tabla de parámetros de prototipo N°01*

| <b>Parámetros</b>                      | <b>Prototipo N°01</b> |
|--|-----------------------|
| <b>Longitud de plataforma (mm)</b>     | 16307                 |
| <b>Ancho de plataforma (mm)</b>        | 3200                  |
| <b>Material</b>                        | ASTM A-36             |
| <b>Viga chasis lado superior (mm)</b>  | 12                    |
| <b>Viga chasis lado inferior (mm)</b>  | 19                    |
| <b>Viga chasis lado derecho (mm)</b>   | 12                    |
| <b>Viga chasis lado izquierdo (mm)</b> | 12                    |
| <b>Peso de viga chasis (kg)</b>        | 4397,2014             |
| <b>Peso total de plataforma (kg)</b>   | 8949,3868             |

*Nota:* Parámetros de diseño del vagón plataforma.

Como podemos observar en la tabla 8, contamos con los parámetros implicados en la simulación del prototipo N°01, los cuales, son los lados de la viga chasis superior, inferior y laterales, donde, se muestran los datos obtenidos al realizar el modelado de la estructura del vagón plataforma.

#### ***4.1.2.3. Simulación de la estructura del prototipo N°01.***

A partir de esta sección, se explica la secuencia de la simulación del prototipo N°01, la cual, estará conformado por una serie de modificaciones de los elementos relacionados a la tabla anteriormente mostrada y aplican la siguiente secuencia.

#### ***4.1.2.4. Presentación de datos del software SolidWorks.***

Terminando de ejecutarse el análisis del vagón plataforma mediante la simulación del software SolidWorks, los resultados se muestran en la tabla 9, en el cual, nos brindará los resultados de la deformación máxima, deformación mínima y factor de seguridad mínima representados en la figura 13, 14 y 15, se hace necesario indicar, que esta información, es muy importante para la comparación de resultados.

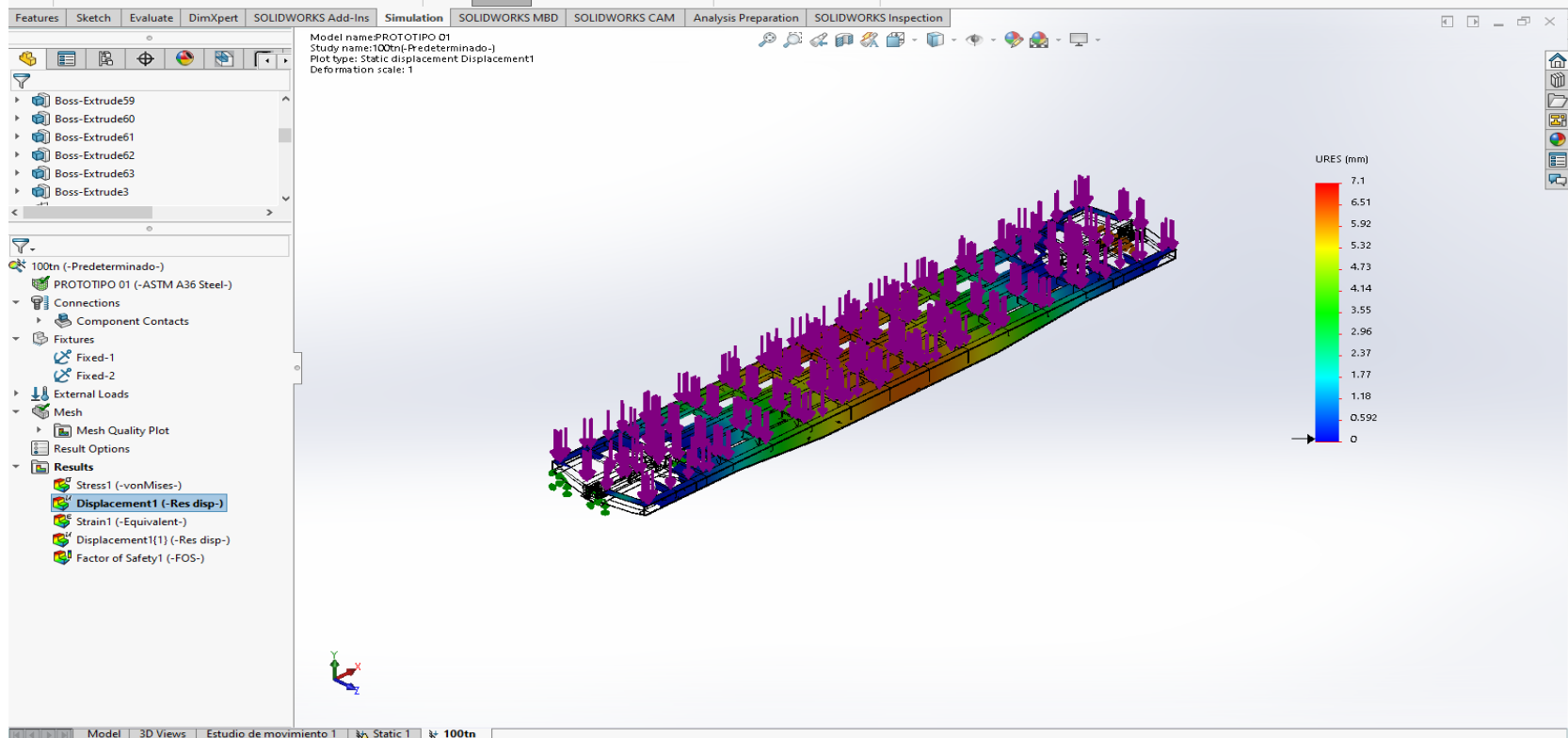


Figura 13. Visualización del desplazamiento de prototipo N°01.

Nota: Se observa la deformación máxima del Prototipo N°01, el cual, indica 7,10 mm de deformación en su punto crítico.

En la figura 14, observaremos como el software muestra el desplazamiento de la estructura del vagón plataforma, el cual, está representado en milímetros.

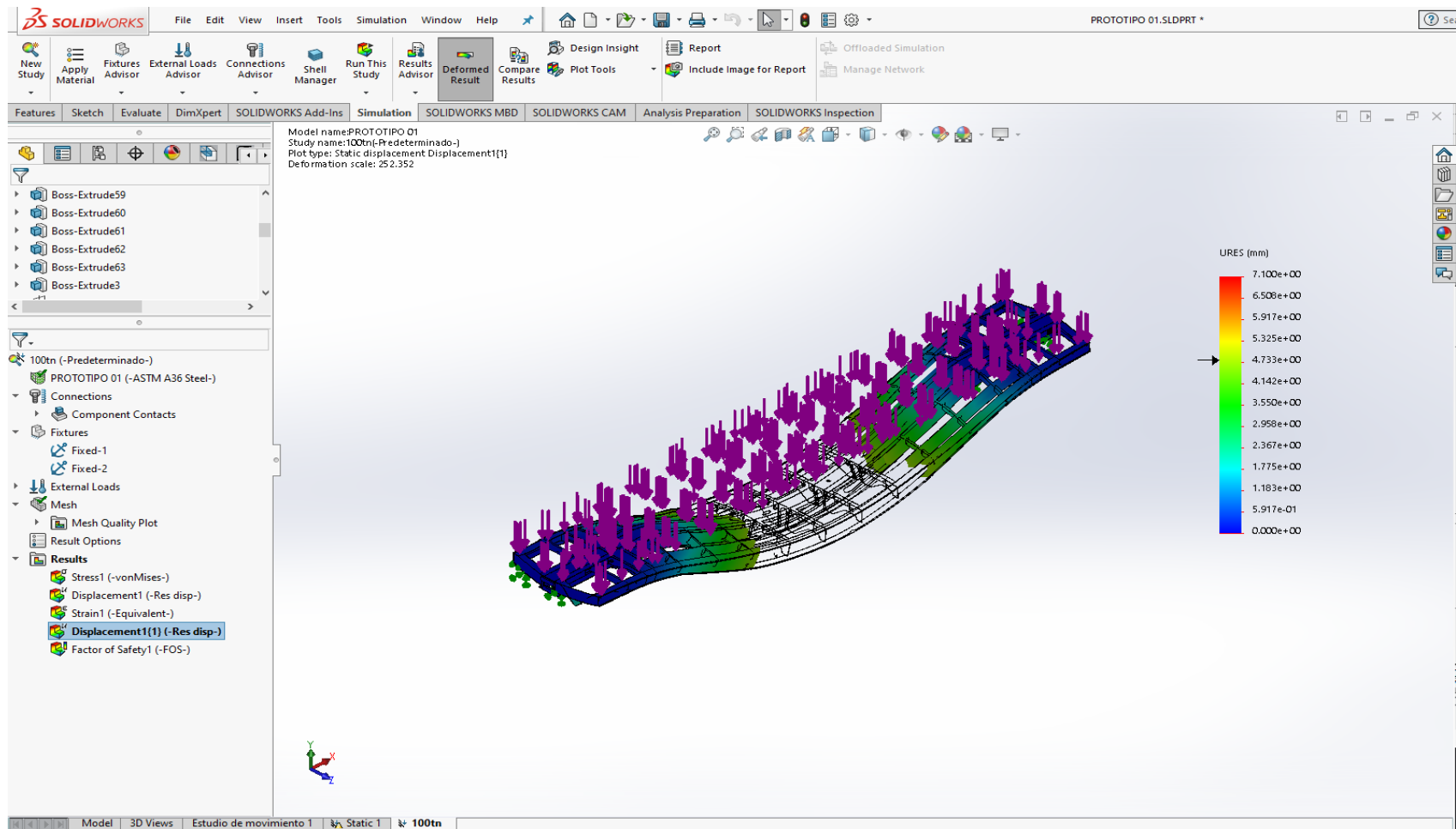


Figura 14. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón plataforma de prototipo N°01.

Nota: Se observa la deformación máxima del Prototipo 01, el cual, indica 7,10 mm de deformación en su punto crítico.

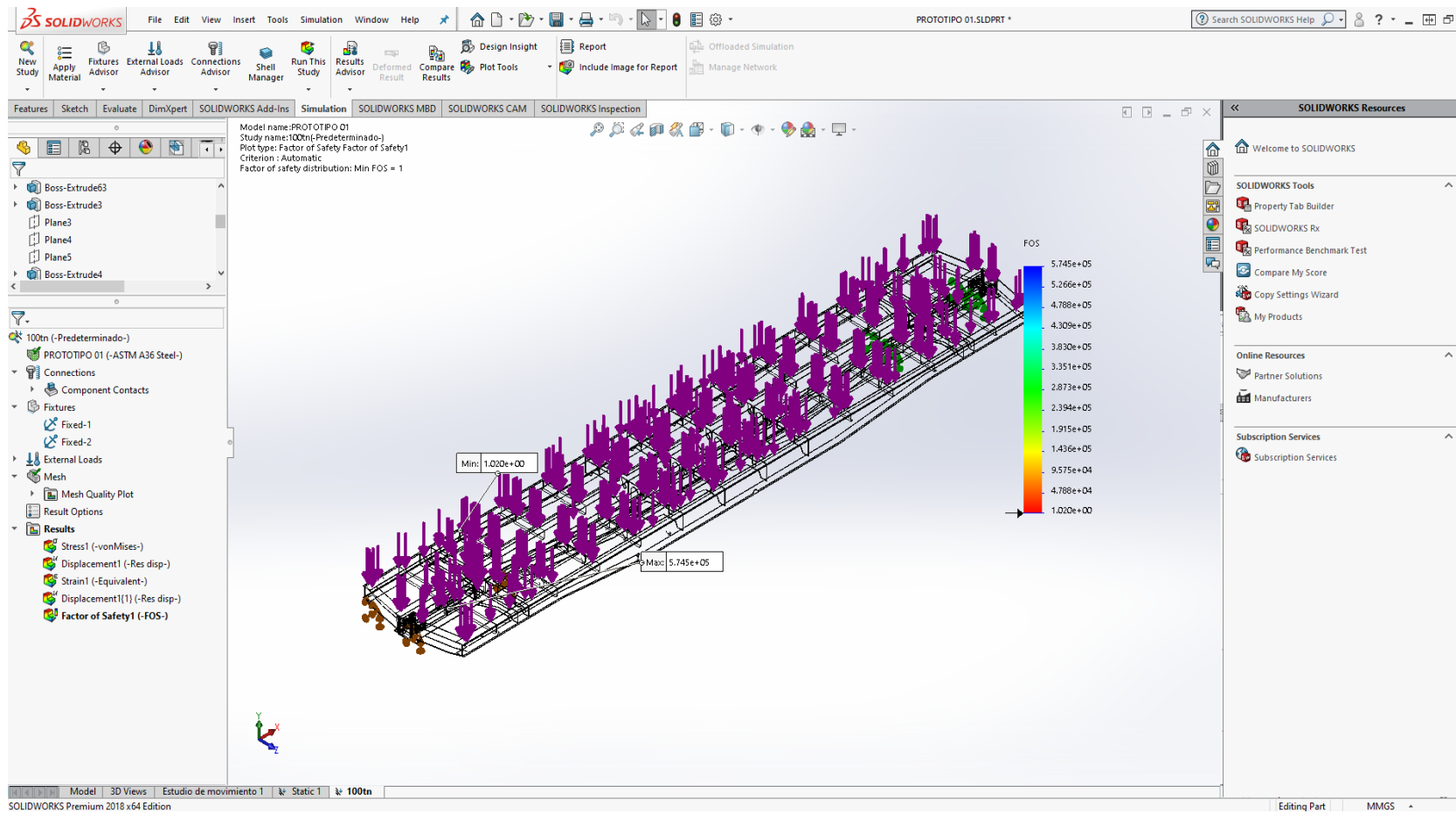


Figura 15. Visualización del factor de seguridad del vagón plataforma de prototipo N°01.

Nota: Se observa el factor de seguridad mínimo del prototipo N°01.

**Tabla 9***Tabla de resumen de resultados*

| <b>Resultados prototipo N°01</b> | <b>Desplazamiento</b> | <b>Factor de Seguridad</b> |
|----------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Valor máximo</b>              | 7,10(mm)              | 5,745E+05                  |
| <b>Valor 1</b>                   | 6,51(mm)              | 5,266E+05                  |
| <b>Valor 2</b>                   | 5,92(mm)              | 4,788E+05                  |
| <b>Valor 3</b>                   | 5,32(mm)              | 4,309E+05                  |
| <b>Valor 4</b>                   | 4,73(mm)              | 3,830E+05                  |
| <b>Valor 5</b>                   | 4,14(mm)              | 3,351E+05                  |
| <b>Valor 6</b>                   | 3,55(mm)              | 2,873E+05                  |
| <b>Valor 7</b>                   | 2,96(mm)              | 2,394E+05                  |
| <b>Valor 8</b>                   | 2,37(mm)              | 1,915E+05                  |
| <b>Valor 9</b>                   | 1,77(mm)              | 1,436E+05                  |
| <b>Valor 10</b>                  | 1,18(mm)              | 9,575E+04                  |
| <b>Valor 11</b>                  | 0,592(mm)             | 4,788E+04                  |
| <b>Valor mínimo</b>              | 1E-30(mm)             | 1,02E+00                   |

*Nota:* Valores tomados del resultado de la simulación realizada.



En la Figura 15, se observa el factor de seguridad mínimo del vagón plataforma prototipo N°01, el cual, indica su valor de factor de seguridad=1,02.

De acuerdo a todos los parámetros de resultados brindados por el software SolidWorks, se inserta en un cuadro de información del prototipo N°01.

En la tabla 10, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos por el software referidos al prototipo N°01.

**Tabla 10**

*Tabla de datos de simulación de prototipo N°01*

| <b>Datos de simulación</b>           | <b>Prototipo N°01</b>                                      |
|--------------------------------------|--|
| <b>Geometría fija aplicada</b>       | Aplicado en zona estructural inferior del vagón plataforma |
| <b>Malla aplicada</b>                | Malla muy fina   |
| <b>Fuerza aplicada</b>               | 100000 kg  |
| <b>Material Aplicado</b>             | ASTM A-36  |
| <b>Deformación máxima resultado</b>  | 7,10 mm  |
| <b>Factor de seguridad resultado</b> | 1,02   |

*Nota:* Parámetros de diseño del vagón plataforma.

En la tabla 10, podemos apreciar los resultados obtenidos por el software SolidWorks, los cuales, son la aplicación de la fuerza que se le ingresa como dato a la estructura, el tipo de material que se selecciona para la aplicación de las propiedades de la estructura, la deformación máxima, a la cual, se desplazaría la estructura en el punto máximo, cuando sea sometida a la fuerza aplicada en la estructura y por último, el punto determinante de la estructura, el cual, es el factor

de seguridad de la estructura del vagón plataforma, quien determina la funcionabilidad del diseño de la estructura, tanto como los espesores de las planchas y la selección del material, cumpliendo esta con la normativa de fabricación de ferrocarriles.

#### **4.1.3. Prototipo N°02.**

En la figura 16, se observa el modelado del vagón plataforma N°02, en vista isométrica, al cual, fue aplicada todas las medidas del vagón Cobrasma al software para su modelado.

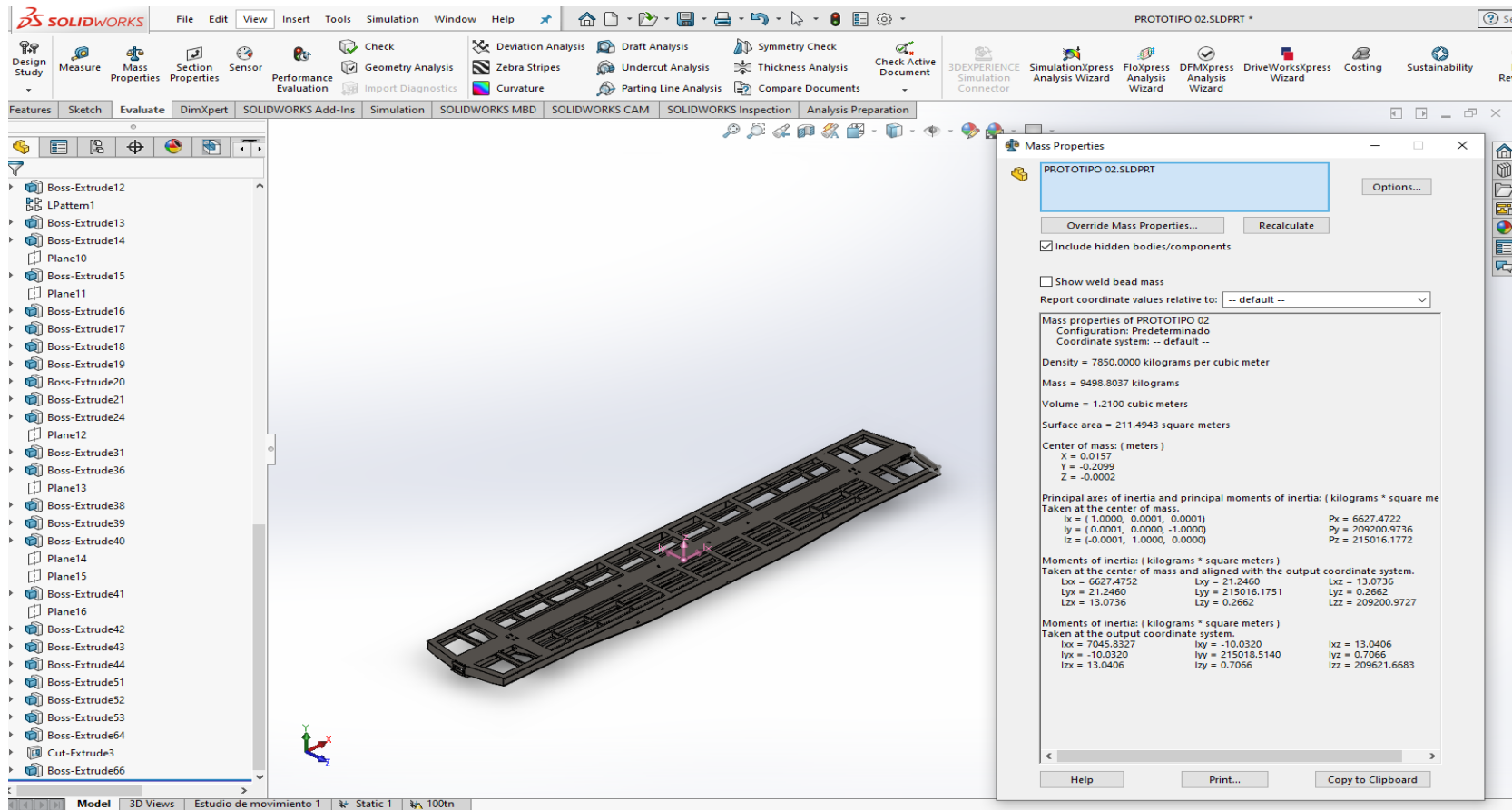


Figura 16. Prototipo N°02.

Nota: Se observa el modelado del prototipo a realizar, en el cual, se toma todas las dimensiones del vagón modelo Cobrasma, alterando la parte interna del vagón plataforma para la reducción del peso de la estructura y poder observar nuevos resultados.

#### ***4.1.3.1. Medidas internas de vigas chasis.***

En la siguiente figura 17, se muestra la viga principal del vagón plataforma, al cual, podemos visualizar los espesores de la viga centro. Parte superior de la viga centro con un espesor de 12mm, parte inferior de la viga centro 25 mm y laterales de la viga centro 12 mm (Como se muestra en la tabla 12). Esta viga centro mostrada, será la parte principal, que estará sometida a cambios de espesores, con el fin de reducir el peso.

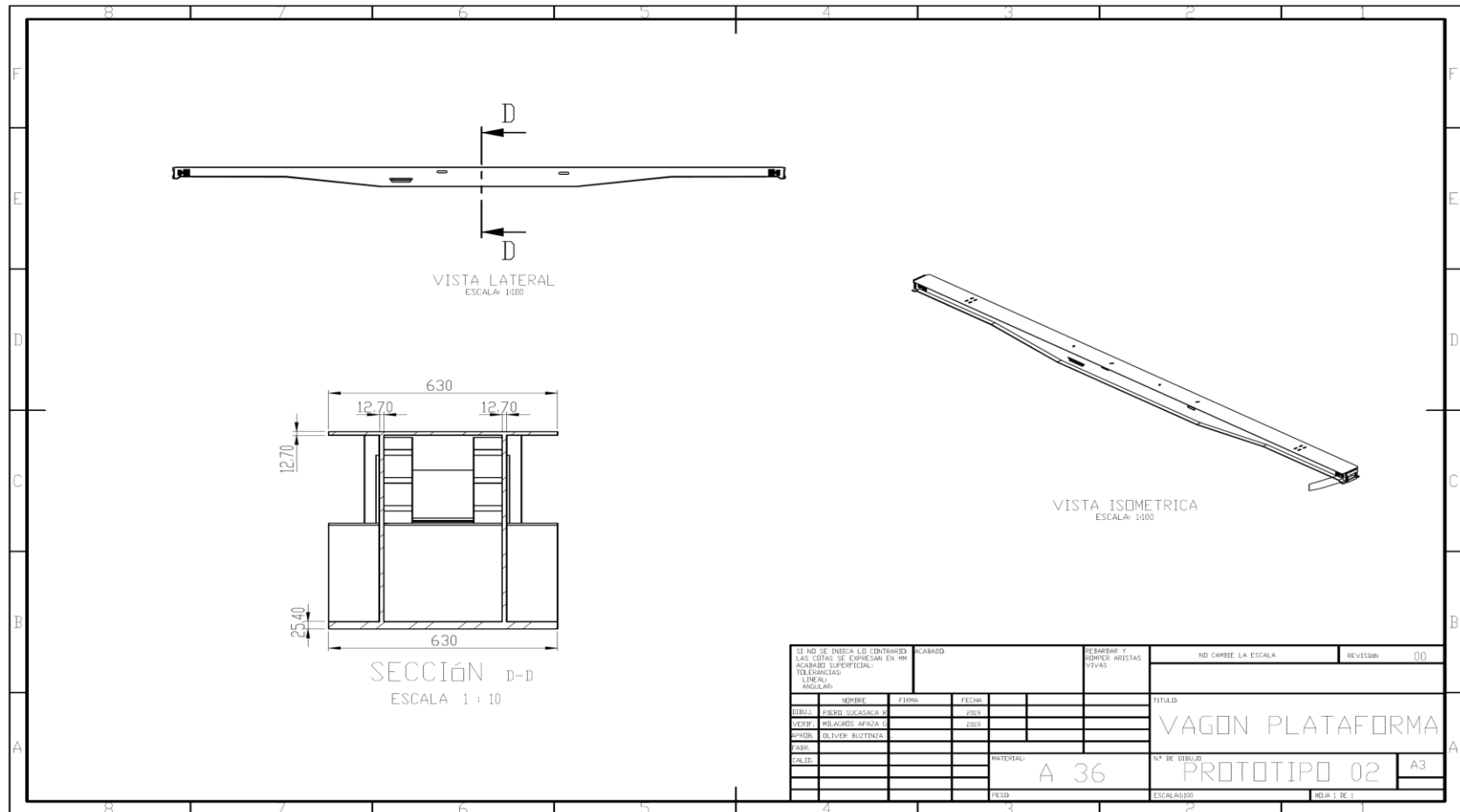


Figura 17. Viga Chasis de prototipo N°02.

Nota: Medida de los espesores de la viga chasis, en tanto, la parte superior, laterales, superior e inferior.

#### ***4.1.3.2. Cuadro de propiedades de la masa del prototipo N°02.***

En la tabla 11, se aprecia con mayor detalle las propiedades del vagón plataforma modelado, en el cual, se aprecia la densidad del material, peso del vagón plataforma, área del vagón plataforma, centro de masa, entre otros datos, de los cuales, utilizamos la masa mostrada para nuestro análisis.

**Tabla 11***Propiedades de prototipo N°02*

| <b>Prototipo N°02</b>   |                                       |                  |
|---|---------------------------------------|------------------|
| <b>Propiedades de masa de Prototipo N°02</b>  |                                       |                  |
| <b>Densidad=</b>  | 7850,0000 kilogramos por metro cubico |                  |
| <b>Masa=</b>  | 9498,8037 kilogramos                  |                  |
| <b>Volumen=</b>   | 1,2100 metros cúbicos                 |                  |
| <b>Área de superficie=</b>  | 211,4943 metros cuadrados             |                  |
| <b>Centro de masa:</b>  | (metros)                              |                  |
| x=  | 0,0157                                |                  |
| y=  | -0,2099                               |                  |
| z=  | -0,0002                               |                  |
| Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: Kilogramos*metros cuadrados. |                                       |                  |
| Tomando en el centro de masa.   |                                       |                  |
| Ix= (1,0000; 0,0001; 0,0001)  | Px= 6627,4722                         |                  |
| Iy= (0,0001; 0,0000; -1,0000)   | Py= 209200,9736                       |                  |
| Iz= (-0,0001; 1,0000; -0,0000)  | Pz= 215016,1772                       |                  |
| Momentos de inercia: (Kilogramos*metros cuadrados).   |                                       |                  |
| Tomando el centro de la masa y alineado con el sistema de coordenadas de salida.            |                                       |                  |
| Lxx= 6627,4752  | Lxy= 21,2460                          | Lxz= 13,0736     |
| Lyx= 21,2460  | Lyy= 215016,1751                      | Lyz= 0,2662      |
| Lzx= 13,0736  | Lzy= 0,2662                           | Lzz= 209200,9727 |
| Momento de inercia: (Kilogramos *metros cuadrados).   |                                       |                  |
| Tomando en el sistema de coordenadas de salida.   |                                       |                  |
| Ixx= 7045,8327  | Ixy= -10,0320                         | Iyy= 13,0406     |
| Iyx= -10,0320   | Iyx= 215018,5140                      | Iyy= 0,7066      |
| Izx= 13,0406  | Izx= 0,7066                           | Izz= 209621,6683 |

*Nota:* Parámetros y propiedades físicas aplicadas al prototipo Cobrasma, tales como, masa, densidad, volumen, área y centro de masa. Información extraída del software, ver apéndice A.

Seguidamente, en la siguiente tabla 12, se muestran los parámetros sometidos a cambios por la simulación del prototipo.

**Tabla 12**

*Tabla de parámetros de prototipo N°02*

| <b>Parámetros</b>                      | <b>Prototipo N°02</b> |
|--|-----------------------|
| <b>Longitud de plataforma (mm)</b>     | 16307                 |
| <b>Ancho de plataforma (mm)</b>        | 3200                  |
| <b>Material</b>                        | ASTM A-36             |
| <b>Viga chasis lado superior (mm)</b>  | 12                    |
| <b>Viga chasis lado inferior (mm)</b>  | 25                    |
| <b>Viga chasis lado derecho (mm)</b>   | 12                    |
| <b>Viga chasis lado izquierdo (mm)</b> | 12                    |
| <b>Peso de viga chasis (kg)</b>        | 4926,3638             |
| <b>Peso total de plataforma (kg)</b>   | 9498                  |

*Nota:* Parámetros de diseño del vagón plataforma.

Como podemos observar en la tabla 12, contamos con los parámetros implicados en la simulación del prototipo N°02, los cuales, son los lados de la viga chasis superior, inferior y laterales, donde, se muestran los datos obtenidos, al realizar el modelado de la estructura del vagón plataforma.



#### ***4.1.3.3. Simulación de la estructura del prototipo N°02.***

A partir de esta sección, se explica la secuencia de la simulación del prototipo N°02, la cual, estará conformado por una serie de modificaciones de los elementos relacionados a la tabla anteriormente mostrada y aplican la siguiente secuencia.

#### ***4.1.3.4. Presentación de datos del software SolidWorks.***

Terminando de ejecutarse el análisis del vagón plataforma mediante la simulación del software SolidWorks, los resultados se muestran en la tabla 13, en el cual, nos brindará los resultados de la deformación máxima, deformación mínima y factor de seguridad mínima representados en la figura 18, 19 y 20, se hace necesario indicar, que esta información, es muy importante para la comparación de resultados.

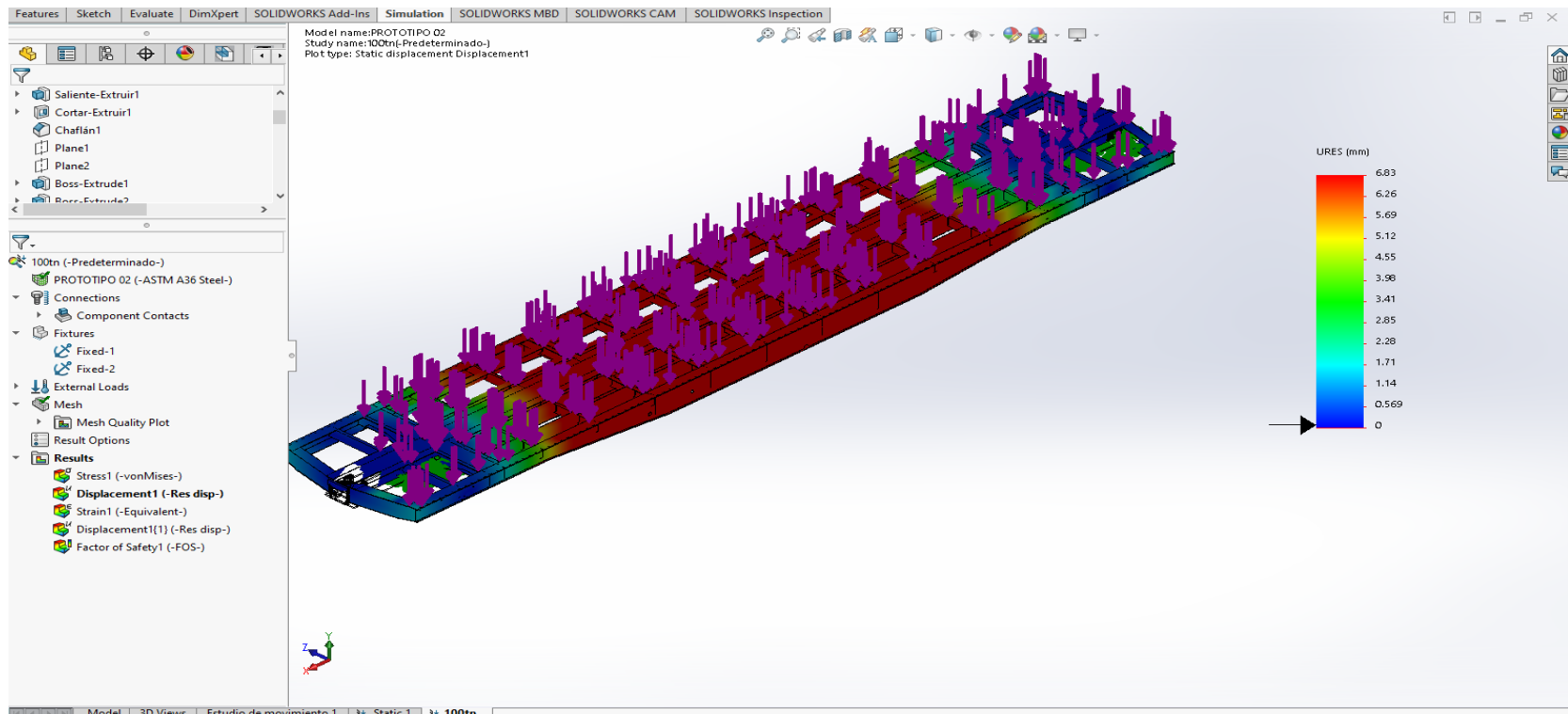


Figura 18. Visualización del desplazamiento del prototipo N°02.

Nota: Se observa la deformación máxima del prototipo N°02, el cual, indica 6,83 mm de deformación en su punto crítico.

En la siguiente imagen, observaremos como el software muestra el desplazamiento de la estructura del vagón plataforma, el cual, está representado en milímetros.

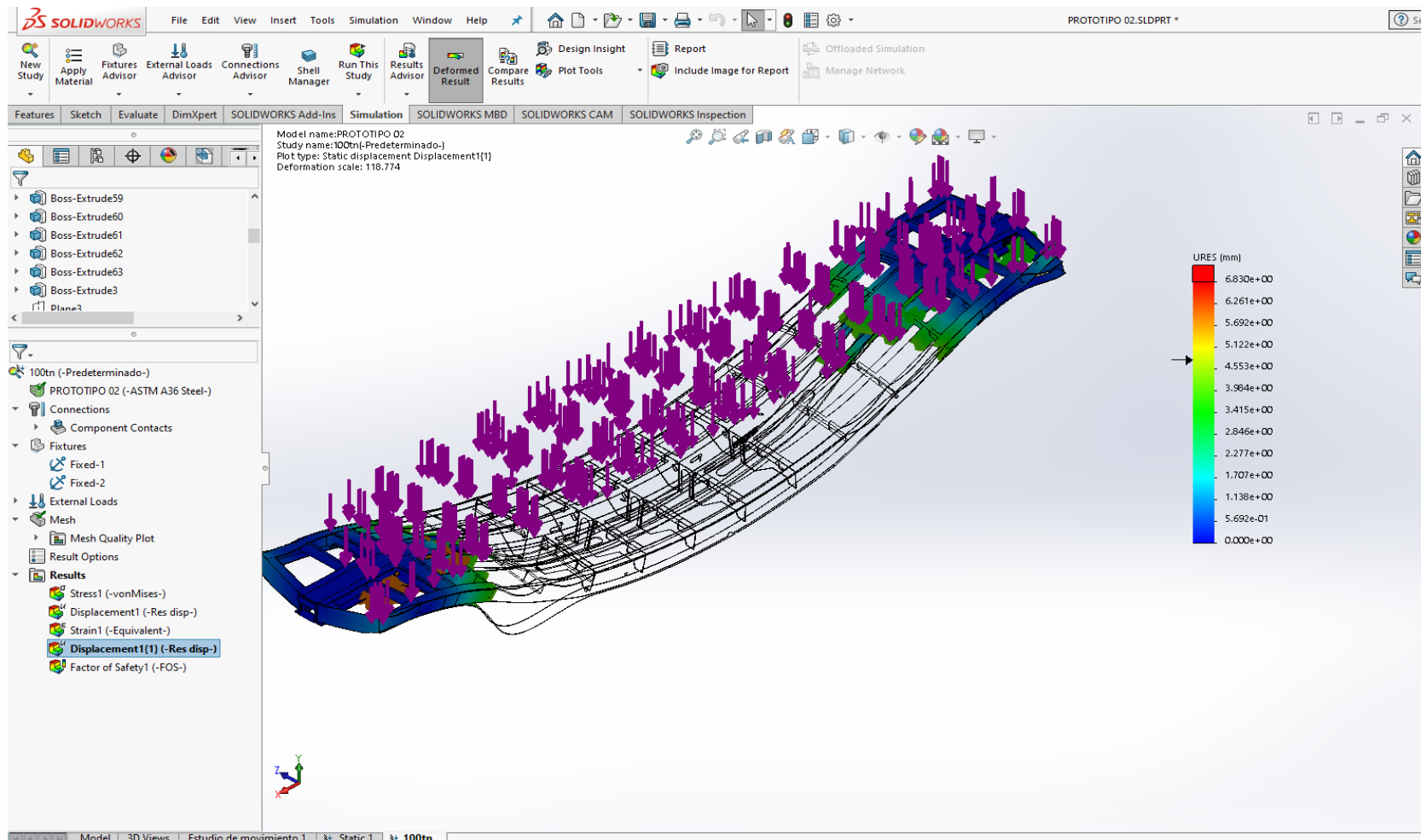


Figura 19. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón plataforma prototipo N°02.

Nota: Se observa la deformación máxima del prototipo N° 02, el cual, indica 6,83 mm de deformación en su punto crítico.

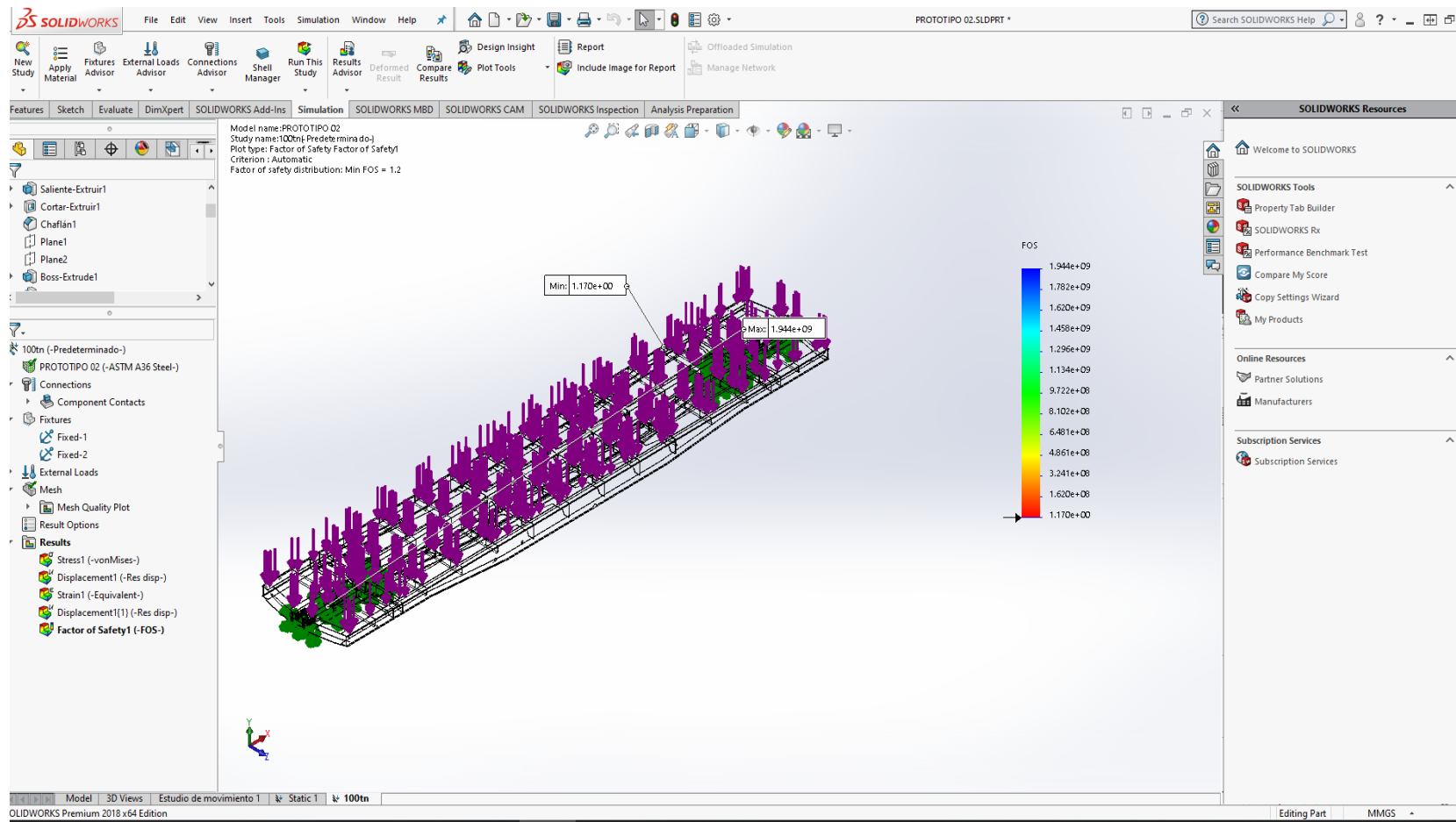


Figura 20. Visualización del factor de seguridad del vagón plataforma prototipo N°02.

Nota: Sé observa el factor de seguridad mínimo del prototipo N°02.

**Tabla 13***Tabla de resumen de resultados*

| <b>Resultados prototipo N°02</b> | <b>Desplazamiento</b> | <b>Factor de Seguridad</b> |
|----------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Valor máximo</b>              | 6,83(mm)              | 1,944E+09                  |
| <b>Valor 1</b>                   | 6,26(mm)              | 1,782E+09                  |
| <b>Valor 2</b>                   | 5,69(mm)              | 1,620E+09                  |
| <b>Valor 3</b>                   | 5,12(mm)              | 1,458E+09                  |
| <b>Valor 4</b>                   | 4,55(mm)              | 1,296E+09                  |
| <b>Valor 5</b>                   | 3,98(mm)              | 1,134E+09                  |
| <b>Valor 6</b>                   | 3,41(mm)              | 9,722E+08                  |
| <b>Valor 7</b>                   | 2,85(mm)              | 8,102E+08                  |
| <b>Valor 8</b>                   | 2,28(mm)              | 6,481E+08                  |
| <b>Valor 9</b>                   | 1,71(mm)              | 4,861E+08                  |
| <b>Valor 10</b>                  | 1,14(mm)              | 3,241E+08                  |
| <b>Valor 11</b>                  | 0,569(mm)             | 1,62E+08                   |
| <b>Valor mínimo</b>              | 1E-30(mm)             | 1,17E+00                   |

*Nota:* Valores tomados del resultado de la simulación realizada.

En la Figura 20, se observa el factor de seguridad mínimo del vagón plataforma prototipo N°02, el cual indica que su factor de seguridad=1,17.

De acuerdo a todos los parámetros de resultados brindados por el software SolidWorks, se inserta en un cuadro de información del prototipo N°02.

En la tabla 14, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos por el software referidos al prototipo N°02.

**Tabla 14***Tabla de datos de simulación de prototipo N°02*

| <b>Datos de simulación</b>           | <b>Prototipo N°02</b>                                      |
|--------------------------------------|--|
| <b>Geometría fija aplicada</b>       | Aplicado en zona estructural inferior del vagón plataforma |
| <b>Malla aplicada</b>                | Malla muy fina   |
| <b>Fuerza aplicada</b>               | 100000 kg  |
| <b>Material Aplicado</b>             | ASTM A-36  |
| <b>Deformación máxima resultado</b>  | 6,83mm   |
| <b>Factor de seguridad resultado</b> | 1,17   |

*Nota:* Parámetros de diseño del vagón plataforma.

En la tabla 14, podemos apreciar los resultados obtenidos por el software SolidWorks, los cuales, son la aplicación de la fuerza que se le ingresa como dato a la estructura, el tipo de material que se selecciona para la aplicación de las propiedades de la estructura, la deformación máxima, a la cual, se desplazaría la estructura en el punto máximo, cuando sea sometida a la fuerza aplicada en la estructura y por último, el punto determinante de la estructura, el cual, es el factor de seguridad de la estructura del vagón plataforma, quien determina la funcionabilidad del diseño de la estructura, tanto como los espesores de las planchas y la selección del material, cumpliendo esta con la normativa de fabricación de ferrocarriles.

#### **4.1.4. Prototipo N°03.**

En la siguiente imagen, se observa el modelado del vagón plataforma N°03, en vista isométrica, al cual, fue aplicada todas las medidas del vagón Cobrasma al software para su modelado.

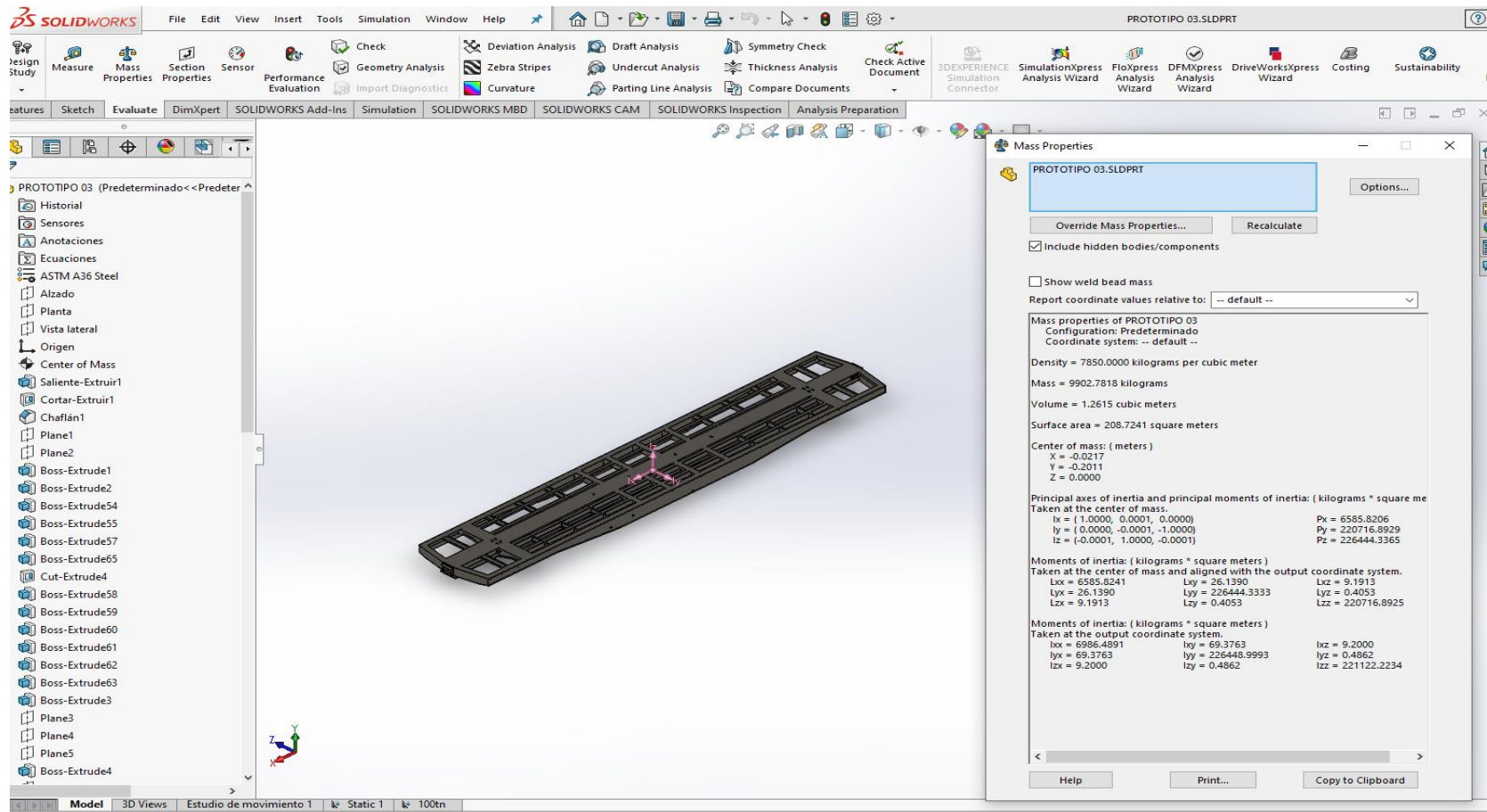


Figura 21. Prototipo N°03.

Nota: Se observa el modelado del prototipo a realizar, en el cual, se toma todas las dimensiones del vagón modelo Cobrasma, alterando la parte interna del vagón plataforma para la reducción del peso de la estructura y poder observar nuevos resultados.



#### ***4.1.4.1. Medidas internas de vigas chasis.***

En la siguiente figura, se muestra la viga principal del vagón plataforma, al cual, podemos visualizar los espesores de la viga centro. Parte superior de la viga centro con un espesor de 19mm, parte inferior de la viga centro 25 mm y laterales de la viga centro 12 mm (Como se muestra en la tabla 16). Esta viga centro mostrada será la parte principal, que estará sometida a cambios de espesores, con el fin de reducir el peso.

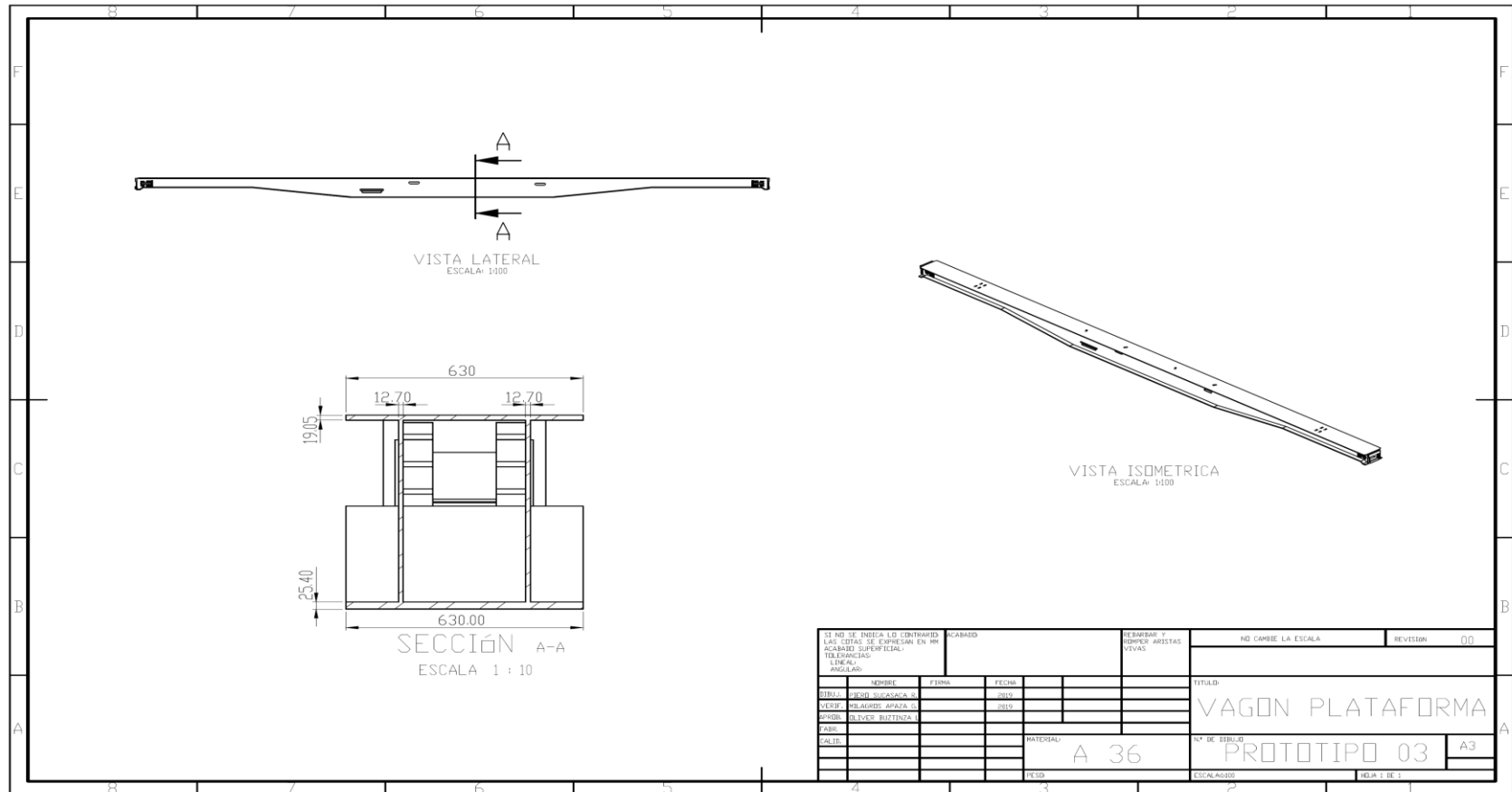


Figura 22. Viga Chasis de prototipo N°03.

Nota: Medida de los espesores de la viga chasis, en tanto, la parte superior, laterales, superior e inferior.

#### ***4.1.4.2. Cuadro de propiedades de la masa del prototipo N°03.***

En la tabla 15, se aprecia con mayor detalle las propiedades del vagón plataforma modelado, en el cual, se aprecia la densidad del material, peso del vagón plataforma, área del vagón plataforma, centro de masa, entre otros datos, de los cuales, utilizamos la masa mostrada para nuestro análisis.

**Tabla 15***Propiedades de prototipo N°03*

| <b>Prototipo N°03</b>  |                                       |                  |
|--|---------------------------------------|------------------|
| <b>Propiedades de masa de Prototipo N°03</b>   |                                       |                  |
| <b>Densidad=</b>   | 7850,0000 kilogramos por metro cubico |                  |
| <b>Masa=</b>   | 9902,7818 kilogramos                  |                  |
| <b>Volumen=</b>  | 1,2615 metros cúbicos                 |                  |
| <b>Área de superficie=</b>   | 208,7241 metros cuadrados             |                  |
| <b>Centro de masa:</b>   | (metros)                              |                  |
| x=   | -0,0217                               |                  |
| y=   | -0,2011                               |                  |
| z=   | 0,0000                                |                  |
| <br>   |                                       |                  |
| Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: Kilogramos* metros cuadrados. |                                       |                  |
| Tomando en el centro de masa.  |                                       |                  |
| Ix= (1,0000; 0,0001; 0,0000)   | Px= 6585,8206                         |                  |
| Iy= (0,0000; -0,0001; -1,0000)   | Py= 220716,8929                       |                  |
| Iz= (-0,0001; 1,0000; -0,0001)   | Pz= 226444,3365                       |                  |
| <br>   |                                       |                  |
| Momentos de inercia: (Kilogramos*metros cuadrados).  |                                       |                  |
| Tomando el centro de la masa y alineado con el sistema de coordenadas de salida.             |                                       |                  |
| Lxx= 6585,8241   | Lxy= 26,1390                          | Lxz= 9,1913      |
| Lyx= 26,1390   | Lyy= 226444,3333                      | Lyz= 0,4053      |
| Lzx= 9,1913  | Lzy= 0,4053                           | Lzz= 220716,8925 |
| <br>   |                                       |                  |
| Momento de inercia: (Kilogramos *metros cuadrados).  |                                       |                  |
| Tomando en el sistema de coordenadas de salida.  |                                       |                  |
| Ixx= 6986,4891   | Ixy= 69,3763                          | Ixy= 9,2000      |
| Iyx= 69,3763   | Iyx= 226448,9993                      | Ixy= 0,4862      |
| Izx= 9,2000  | Izx= 0,4862                           | Izx= 221122,2234 |

*Nota:* Parámetros y propiedades físicas aplicadas al prototipo Cobrasma, tales como, masa, densidad, volumen, área y centro de masa. Información extraída del software, ver apéndice A.

Seguidamente, en la siguiente tabla, se muestran los parámetros sometidos a cambios por la simulación del prototipo.

**Tabla 16**

*Tabla de parámetros de prototipo N°03*

| <b>Parámetros</b>                      | <b>Prototipo N°03</b> |
|--|-----------------------|
| <b>Longitud de plataforma (mm)</b>     | 16307                 |
| <b>Ancho de plataforma (mm)</b>        | 3200                  |
| <b>Material</b>                        | ASTM A-36             |
| <b>Viga chasis lado superior (mm)</b>  | 19                    |
| <b>Viga chasis lado inferior (mm)</b>  | 25                    |
| <b>Viga chasis lado derecho (mm)</b>   | 12                    |
| <b>Viga chasis lado izquierdo (mm)</b> | 12                    |
| <b>Peso de viga chasis (kg)</b>        | 5451,1758             |
| <b>Peso total de plataforma (kg)</b>   | 9902,7818             |

*Nota:* Parámetros de diseño del vagón plataforma.

Como podemos observar en la tabla 16, contamos con los parámetros implicados en la simulación del prototipo N°03, los cuales, son los lados de la viga chasis superior, inferior y laterales, donde, se muestran los datos obtenidos al realizar el modelado de la estructura del vagón plataforma.

#### ***4.1.4.3. Simulación de la estructura del prototipo N°03.***

A partir de esta sección, se explica la secuencia de la simulación del prototipo N°03, la cual, estará conformado por una serie de modificaciones de los elementos relacionados a la tabla anteriormente mostrada y aplican la siguiente secuencia.

#### ***4.1.4.4. Presentación de datos del software SolidWorks.***

Terminando de ejecutarse el análisis del vagón plataforma mediante la simulación del software SolidWorks, los resultados se muestran en la tabla 17, en el cual, nos brindará los resultados de la deformación máxima, deformación mínima y factor de seguridad mínima representados en la figura 23, 24 y 25, se hace necesario indicar, que esta información, es muy importante para la comparación de resultados.

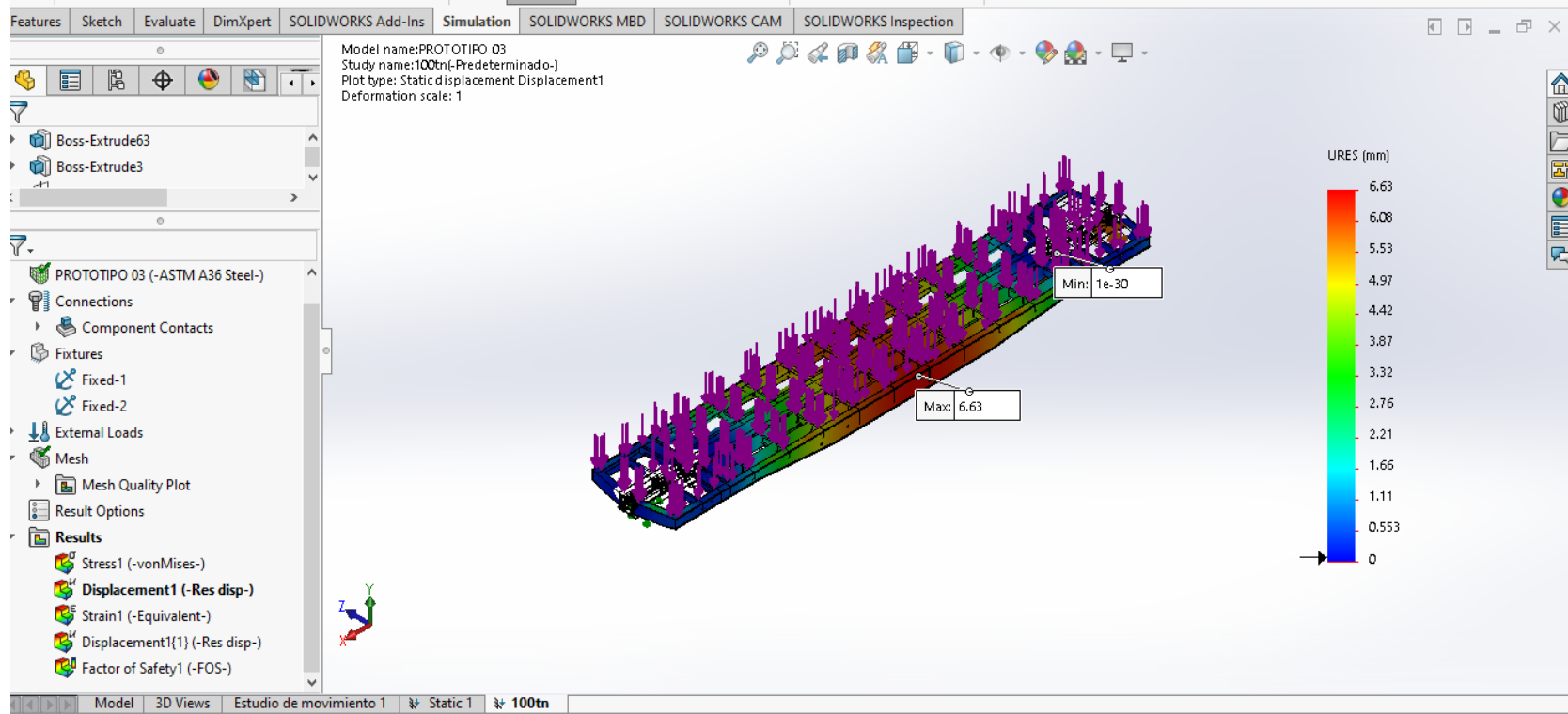


Figura 23. Visualización del desplazamiento del prototipo N°03.

Nota: Se observa la deformación máxima del prototipo N°03, el cual, indica 6,63 mm de deformación en su punto crítico.

En la siguiente imagen, observaremos como el software muestra el desplazamiento de la estructura del vagón plataforma, el cual, está representado en milímetros.

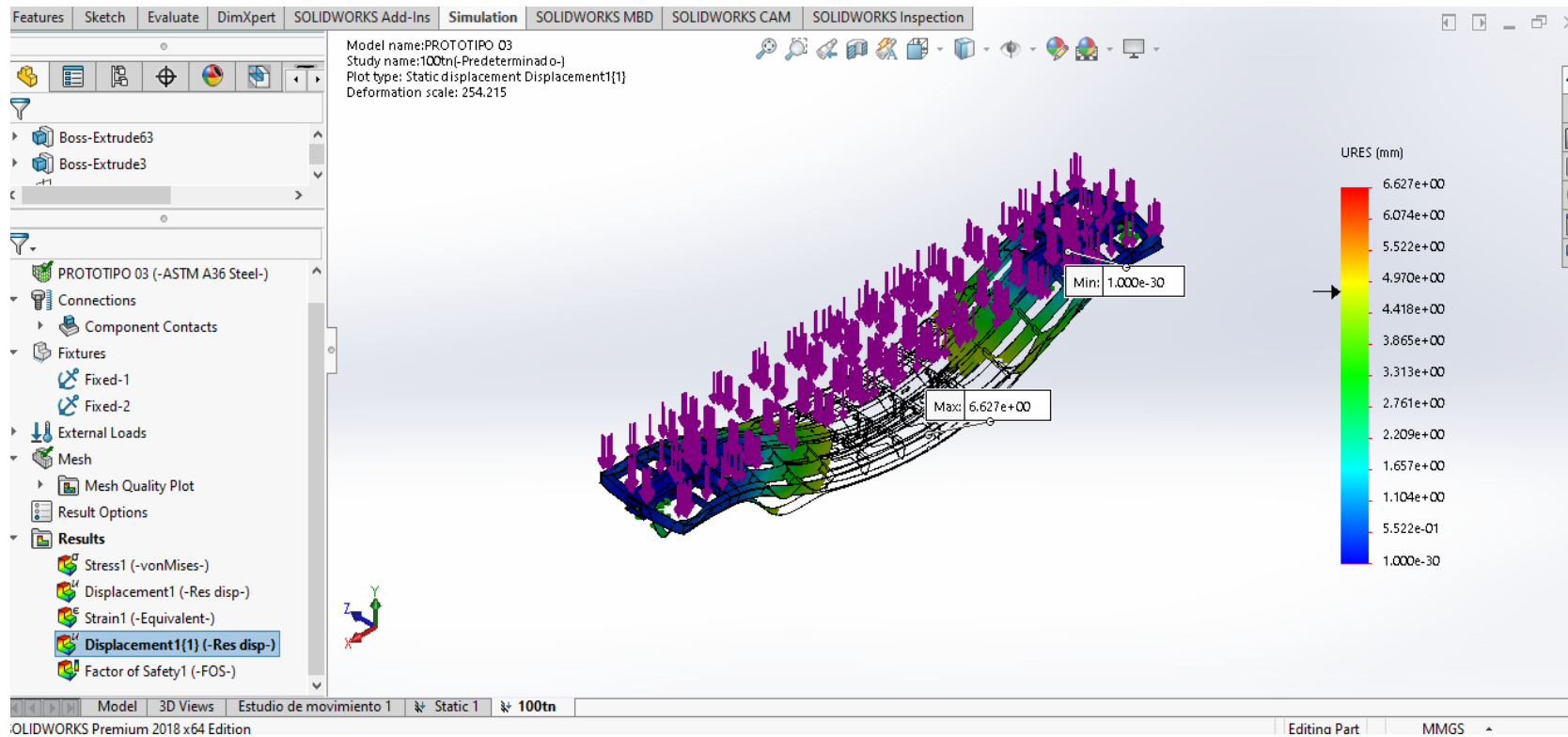


Figura 24. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón plataforma de prototipo N°03.

Nota: Se observa la deformación máxima del prototipo N°03, el cual, indica 6,63 mm de deformación en su punto crítico.



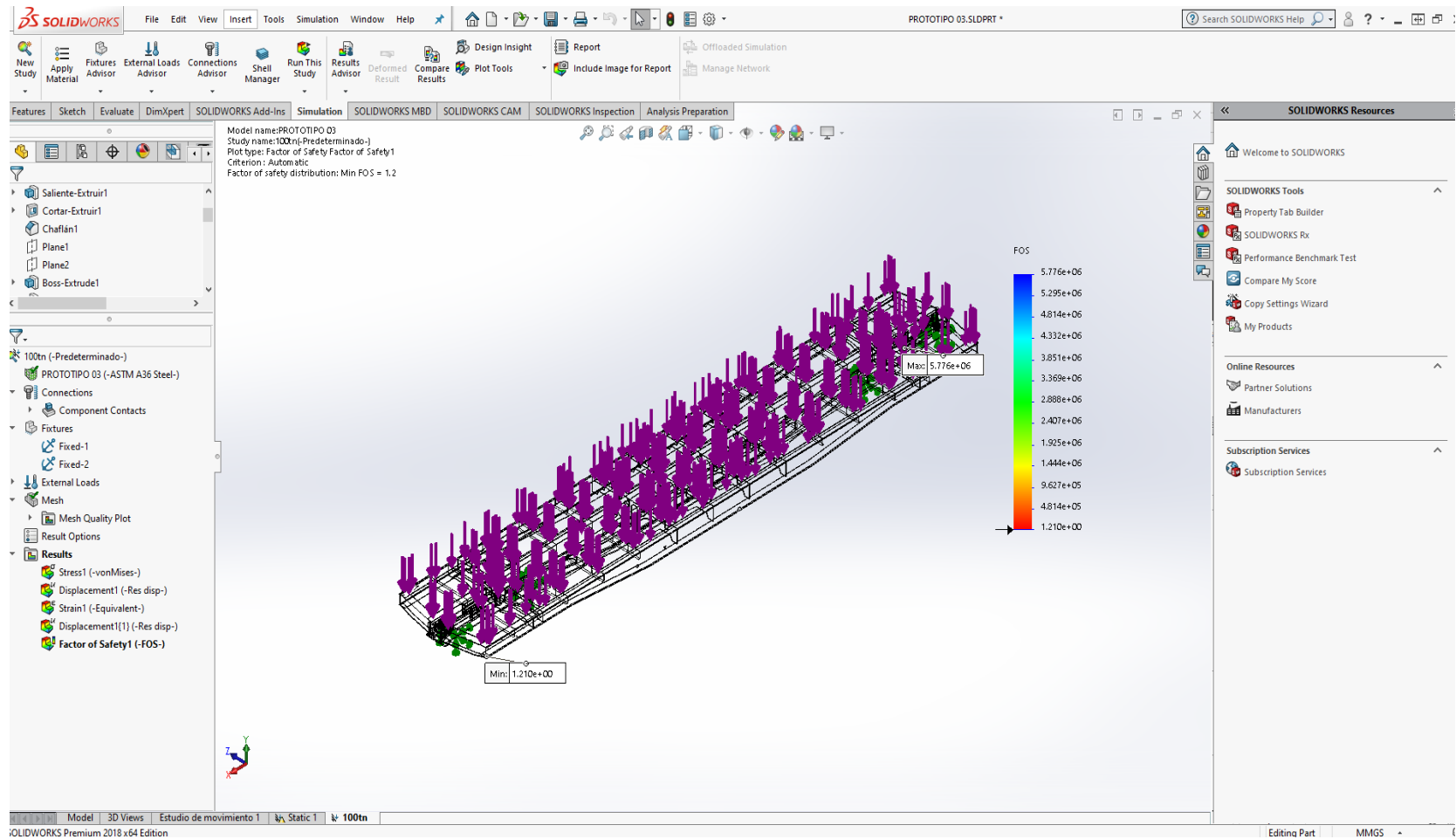


Figura 25. Visualización del factor de seguridad del vagón plataforma de prototipo N°03.

Nota: Se observa el factor de seguridad mínimo del prototipo N°03.

**Tabla 17***Tabla de resumen de resultados*

| <b>Resultados prototipo N°03</b> | <b>Desplazamiento</b> | <b>Factor de Seguridad</b> |
|----------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Valor máximo</b>              | 6,63(mm)              | 5,776E+06                  |
| <b>Valor 1</b>                   | 6,08(mm)              | 5,295E+06                  |
| <b>Valor 2</b>                   | 5,53(mm)              | 4,814E+06                  |
| <b>Valor 3</b>                   | 4,97(mm)              | 4,332E+06                  |
| <b>Valor 4</b>                   | 4,42(mm)              | 3,851E+06                  |
| <b>Valor 5</b>                   | 3,87(mm)              | 3,369E+06                  |
| <b>Valor 6</b>                   | 3,32(mm)              | 2,888E+06                  |
| <b>Valor 7</b>                   | 2,76(mm)              | 2,407E+06                  |
| <b>Valor 8</b>                   | 2,21(mm)              | 1,925E+06                  |
| <b>Valor 9</b>                   | 1,66(mm)              | 1,444E+06                  |
| <b>Valor 10</b>                  | 1,11(mm)              | 9,627E+05                  |
| <b>Valor 11</b>                  | 0,553(mm)             | 4,814E+05                  |
| <b>Valor mínimo</b>              | 1E-30(mm)             | 1,21E+00                   |

*Nota:* Valores tomados del resultado de la simulación realizada.

En la Figura 25, se observa el factor de seguridad mínimo del vagón plataforma, el cual, indica que su valor de factor de seguridad=1,21.

De acuerdo a todos los parámetros de resultados brindados por el software SolidWorks, se inserta en un cuadro de información del prototipo N°03.

En la tabla 18, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos por el software referidos al prototipo N°03.

**Tabla 18**

Tabla de datos de simulación de prototipo N°03

Nota: Parámetros de diseño del vagón plataforma.

| <b>Datos de simulación</b>           | <b>Prototipo N°03</b>                                      |
|--------------------------------------|--|
| <b>Geometría fija aplicada</b>       | Aplicado en zona estructural inferior del vagón plataforma |
| <b>Malla aplicada</b>                | Malla muy fina   |
| <b>Fuerza aplicada</b>               | 100000 kg  |
| <b>Material Aplicado</b>             | ASTM A-36  |
| <b>Deformación máxima resultado</b>  | 6,63 mm  |
| <b>Factor de seguridad resultado</b> | 1,21   |

En la tabla 18, podemos apreciar los resultados obtenidos por el software SolidWorks, los cuales, son la aplicación de la fuerza que se le ingresa como dato a la estructura, el tipo de material que se selecciona para la aplicación de las propiedades de la estructura, la deformación máxima, a la cual, se desplazaría la estructura en el punto máximo, cuando sea sometida a la fuerza aplicada en la estructura y por último, el punto determinante de la estructura, el cual, es el factor de seguridad de la estructura del vagón plataforma, quien determina la funcionabilidad del diseño de la estructura, tanto como los espesores de las planchas y la selección del material, cumpliendo esta con la normativa de fabricación de ferrocarriles.

#### **4.1.5. Prototipo N°04.**

En la siguiente imagen, se observa el modelado del vagón plataforma N°04, en vista isométrica, al cual, fue aplicada todas las medidas del vagón Cobrasma al software para su modelado.

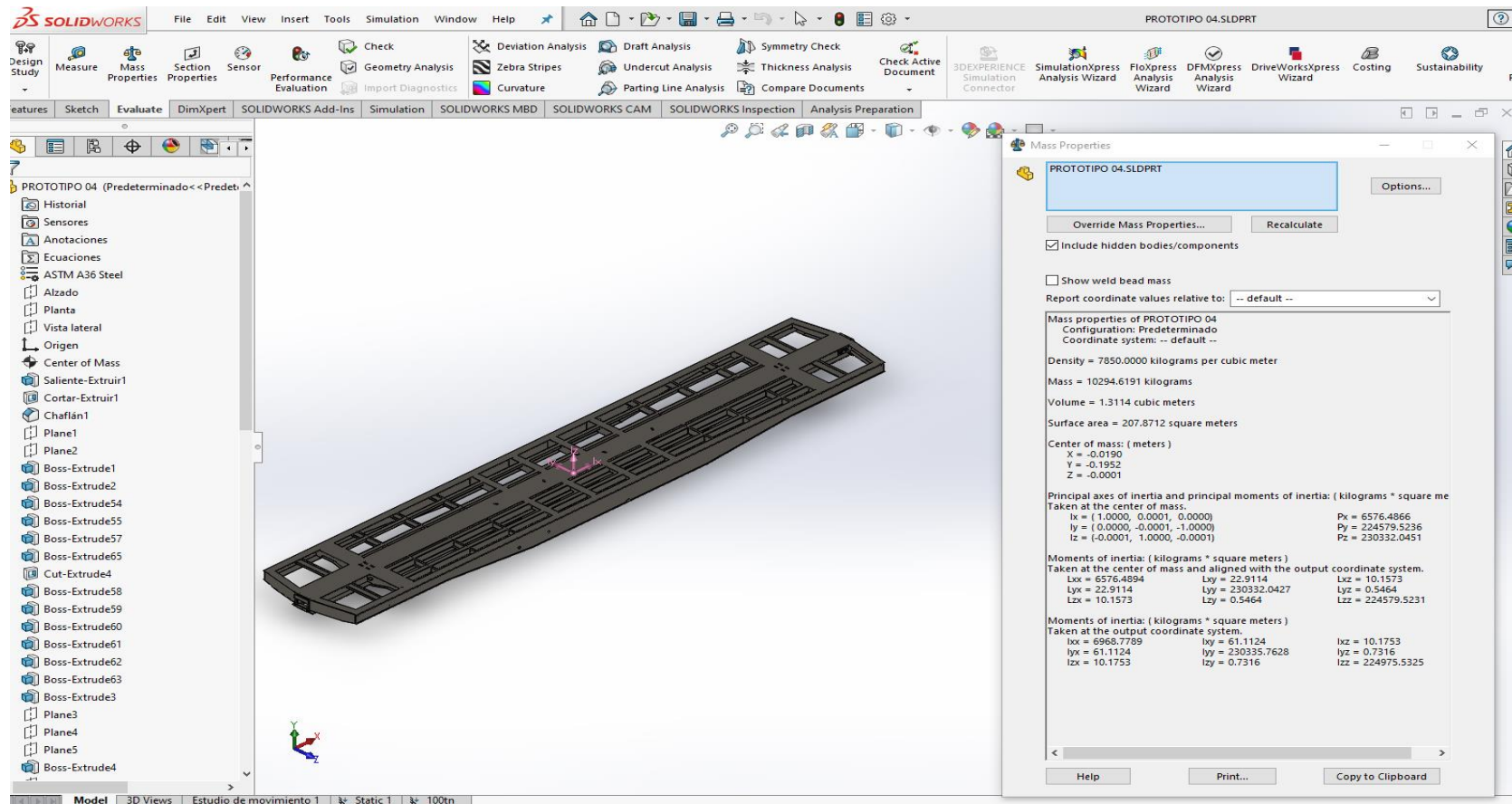


Figura 26. Prototipo N°04.

Nota: Se observa el modelado del prototipo a realizar, en el cual, se toma todas las dimensiones del vagón modelo Cobrasma, alterando la parte interna del vagón plataforma para la reducción del peso de la estructura y poder observar nuevos resultados.

#### ***4.1.5.1. Medidas internas de vigas chasis.***

En la figura 27, se muestra la viga principal del vagón plataforma, al cual, podemos visualizar los espesores de la viga centro. Parte superior de la viga centro con un espesor de 19mm, parte inferior de la viga centro 19 mm y laterales de la viga centro 19 mm. (Como se muestra en la tabla 20). Esta viga centro mostrada, será la parte principal, que estará sometida a cambios de espesores, con el fin de reducir el peso.

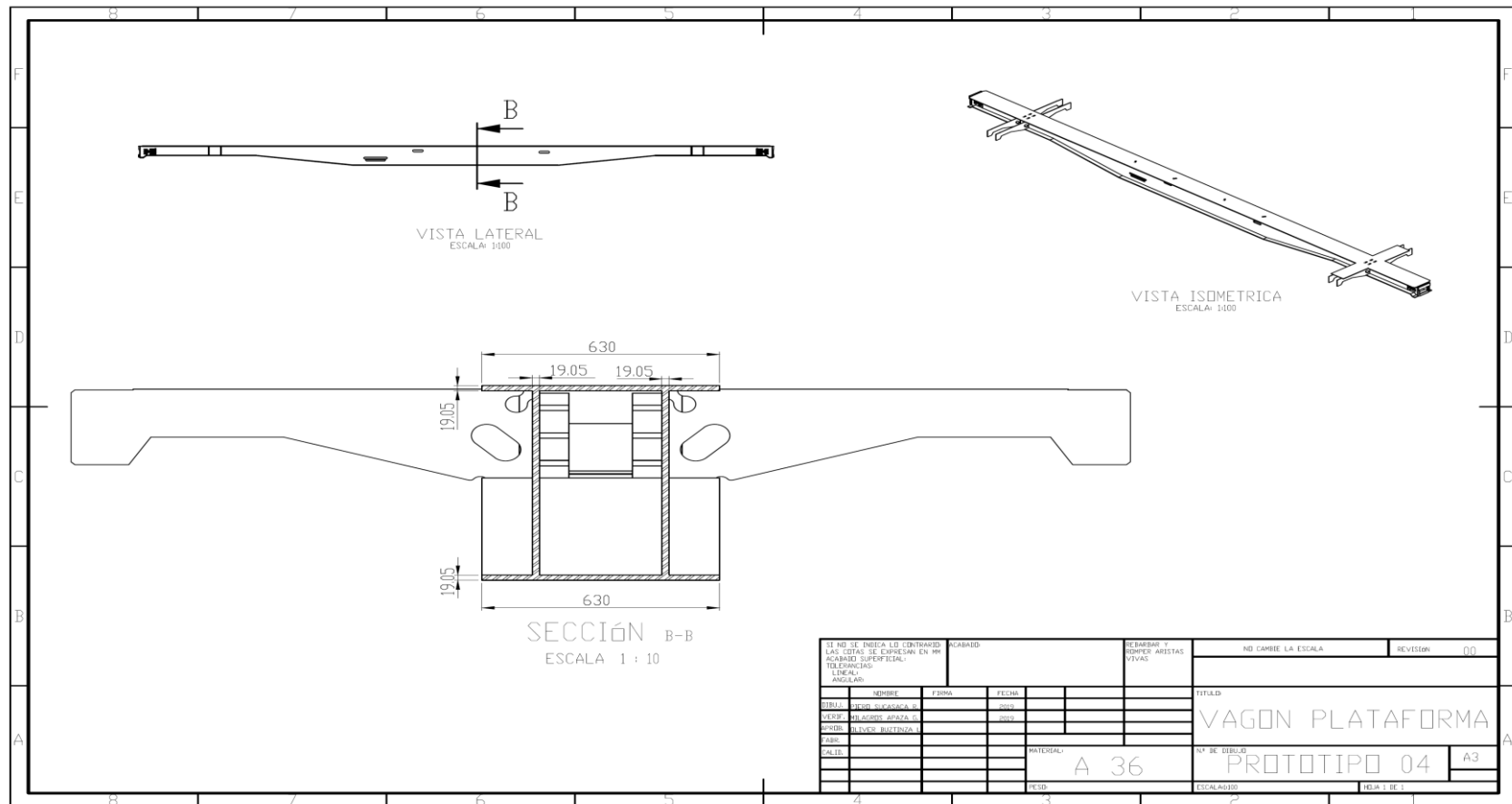


Figura 27. Viga Chasis de prototipo N°04.

Nota: Medida de los espesores de la viga chasis, en tanto, la parte superior, laterales, superior e inferior.

#### ***4.1.5.2. Cuadro de propiedades de la masa del prototipo N°04.***

En la tabla 19, se aprecia con mayor detalle las propiedades del vagón plataforma modelado, en el cual, se aprecia la densidad del material, masa del vagón plataforma, área del vagón plataforma, centro de masa entre otros datos, de los cuales, utilizamos la masa mostrada para nuestro análisis.



**Tabla 19***Propiedades de prototipo N°04*

| <b>Prototipo N° 04</b>   |                                       |                  |
|--|---------------------------------------|------------------|
| <b>Propiedades de masa de Prototipo N°04</b>   |                                       |                  |
| <b>Densidad=</b>   | 7850,0000 kilogramos por metro cubico |                  |
| <b>Masa=</b>   | 10294,6191 kilogramos                 |                  |
| <b>Volumen=</b>  | 1,3114 metros cúbicos                 |                  |
| <b>Área de superficie=</b>   | 207,8712 metros cuadrados             |                  |
| <b>Centro de masa:</b>   | (metros)                              |                  |
| x=   | -0,0190                               |                  |
| y=   | -0,1952                               |                  |
| z=   | -0,0001                               |                  |
| Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (Kilogramos* metros cuadrados). |                                       |                  |
| Tomando en el centro de masa.  |                                       |                  |
| Ix= (1,0000; 0,0001; 0,0000)   | Px= 6576,4866                         |                  |
| Iy= (0,0000; -0,0001; -1,0000)   | Py= 224579,5236                       |                  |
| Iz= (-0,0001; 1,0000; -0,0001)   | Pz= 230332,0451                       |                  |
| Momentos de inercia: (Kilogramos*metros cuadrados).  |                                       |                  |
| Tomando el centro de la masa y alineado con el sistema de coordenadas de salida.               |                                       |                  |
| Lxx= 6576,4894   | Lxy= 22,9114                          | Lxz= 10,1573     |
| Lyx= 22,9114   | Lyy= 230332,0427                      | Lyz= 0,5464      |
| Lzx= 10,1573   | Lzy= 0,5464                           | Lzz= 224579,5231 |
| Momento de inercia: (Kilogramos *metros cuadrados).  |                                       |                  |
| Tomando en el sistema de coordenadas de salida.  |                                       |                  |
| Ixx= 6968,7789   | Ixy= 61,1124                          | Iyz= 10,1753     |
| Iyx= 61,1124   | Iyy= 230335,7628                      | Iyz= 0,7316      |
| Izx= 10,1753   | Izy= 0,7316                           | Izz= 224975,5325 |

*Nota:* Parámetros y propiedades físicas aplicadas al prototipo Cobrasma, tales como, masa, densidad, volumen, área y centro de masa. Información extraída del software, ver apéndice A.

Seguidamente, en la siguiente tabla, se muestran los parámetros sometidos a cambios por la simulación del prototipo.

**Tabla 20**

*Tabla de parámetros de prototipo N°04*

| <b>Parámetros</b>                      | <b>Prototipo N°04</b> |
|--|-----------------------|
| <b>Longitud de plataforma (mm)</b>     | 16307                 |
| <b>Ancho de plataforma (mm)</b>        | 3200                  |
| <b>Material</b>                        | ASTM A-36             |
| <b>Viga chasis lado superior (mm)</b>  | 19                    |
| <b>Viga chasis lado inferior (mm)</b>  | 19                    |
| <b>Viga chasis lado derecho (mm)</b>   | 19                    |
| <b>Viga chasis lado izquierdo (mm)</b> | 19                    |
| <b>Peso de viga chasis (kg)</b>        | 5707,5483             |
| <b>Peso total de plataforma (kg)</b>   | 10294,6191            |

*Nota:* Parámetros de diseño del vagón plataforma.

Como podemos observar en la tabla 20, contamos con los parámetros implicados en la simulación del prototipo N°04, los cuales, son los lados de la viga chasis superior, inferior y lateral, donde, se muestran los datos obtenidos al realizar el modelado de la estructura del vagón plataforma.

#### ***4.1.5.3. Simulación de la estructura del prototipo N°04.***

A partir de esta sección, se explica la secuencia de la simulación del prototipo N°04, la cual, estará conformado por una serie de modificaciones de los elementos relacionados a la tabla anteriormente mostrada y aplican la siguiente secuencia.

#### ***4.1.5.4. Presentación de datos del software SolidWorks.***

Terminando de ejecutarse el análisis del vagón plataforma mediante la simulación del software SolidWorks, los resultados se muestran en la tabla 21, en el cual, nos brindará los resultados de la deformación máxima, deformación mínima y factor de seguridad mínima representados en la figura 28, 29 y 30, se hace necesario indicar, que esta información, es muy importante para la comparación de resultados.

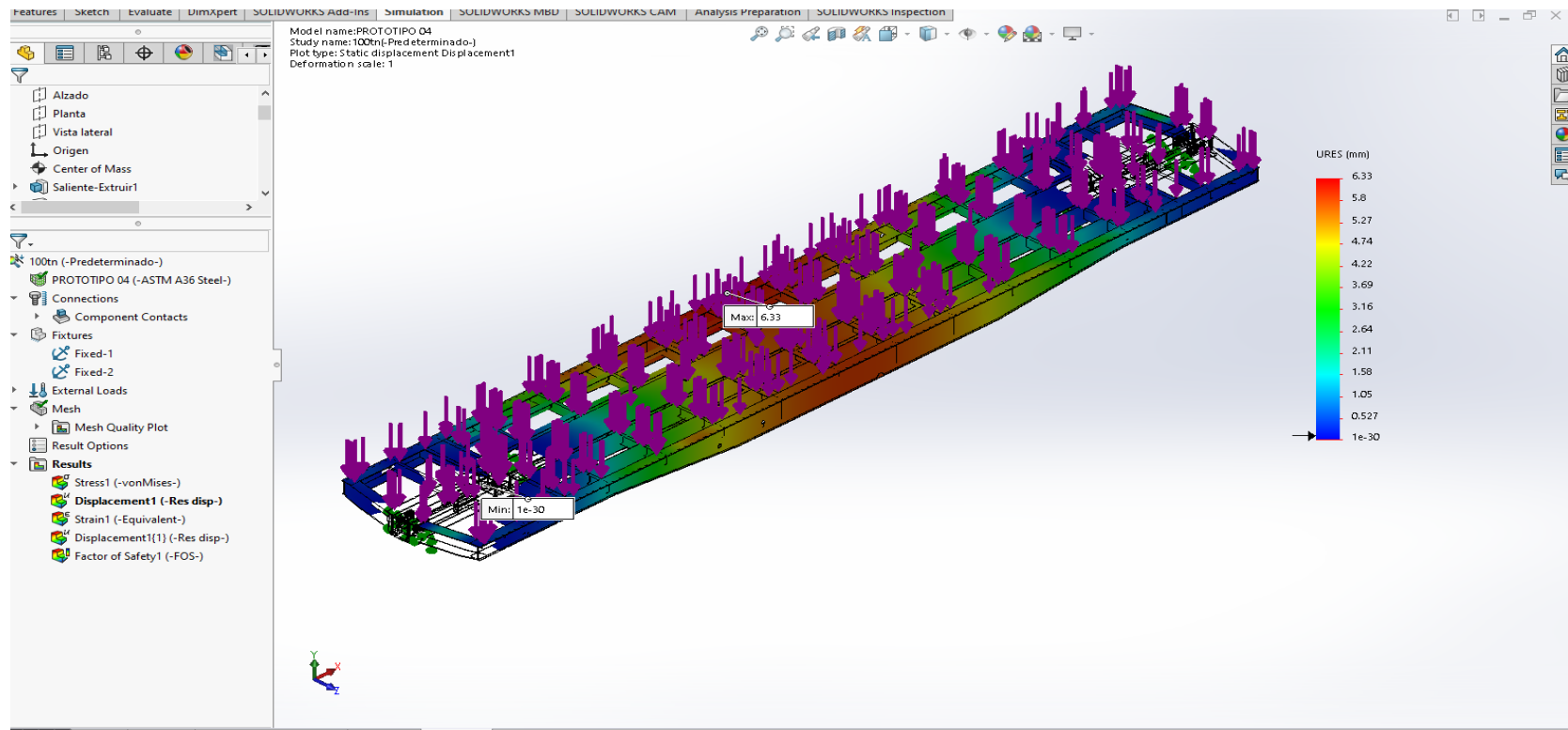


Figura 28. Visualización del desplazamiento del prototipo N°04.

Nota: Se observa la deformación máxima del prototipo N°04, el cual, indica 6,33 mm de deformación en su punto crítico.

En la siguiente imagen, observaremos como el software muestra el desplazamiento de la estructura del vagón plataforma, el cual, está representado en milímetros.

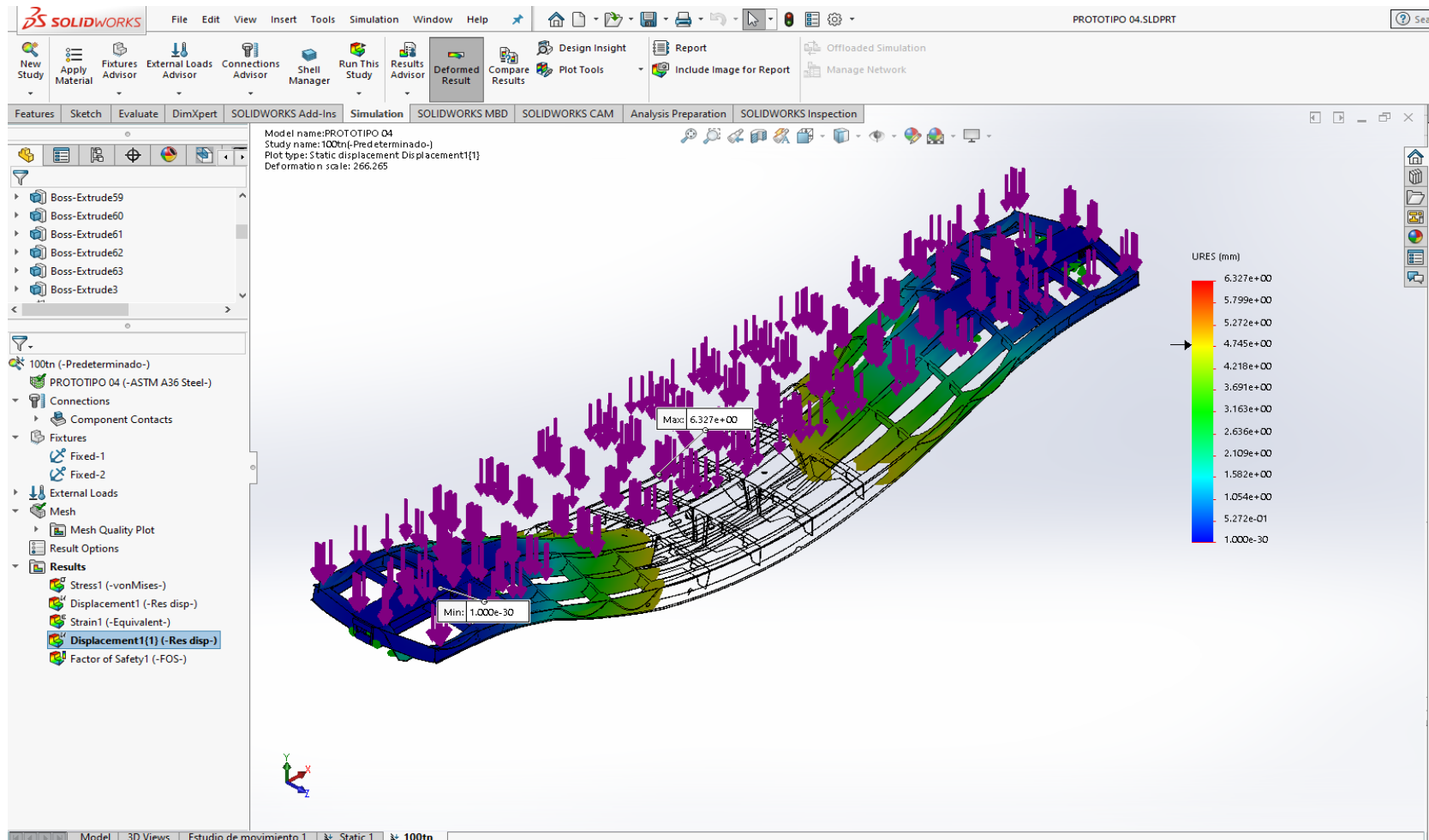


Figura 29. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón plataforma de prototipo N°04.

Nota: Se observa la deformación máxima del prototipo N°04 el cual, indica 6,33 mm de deformación en su punto crítico.

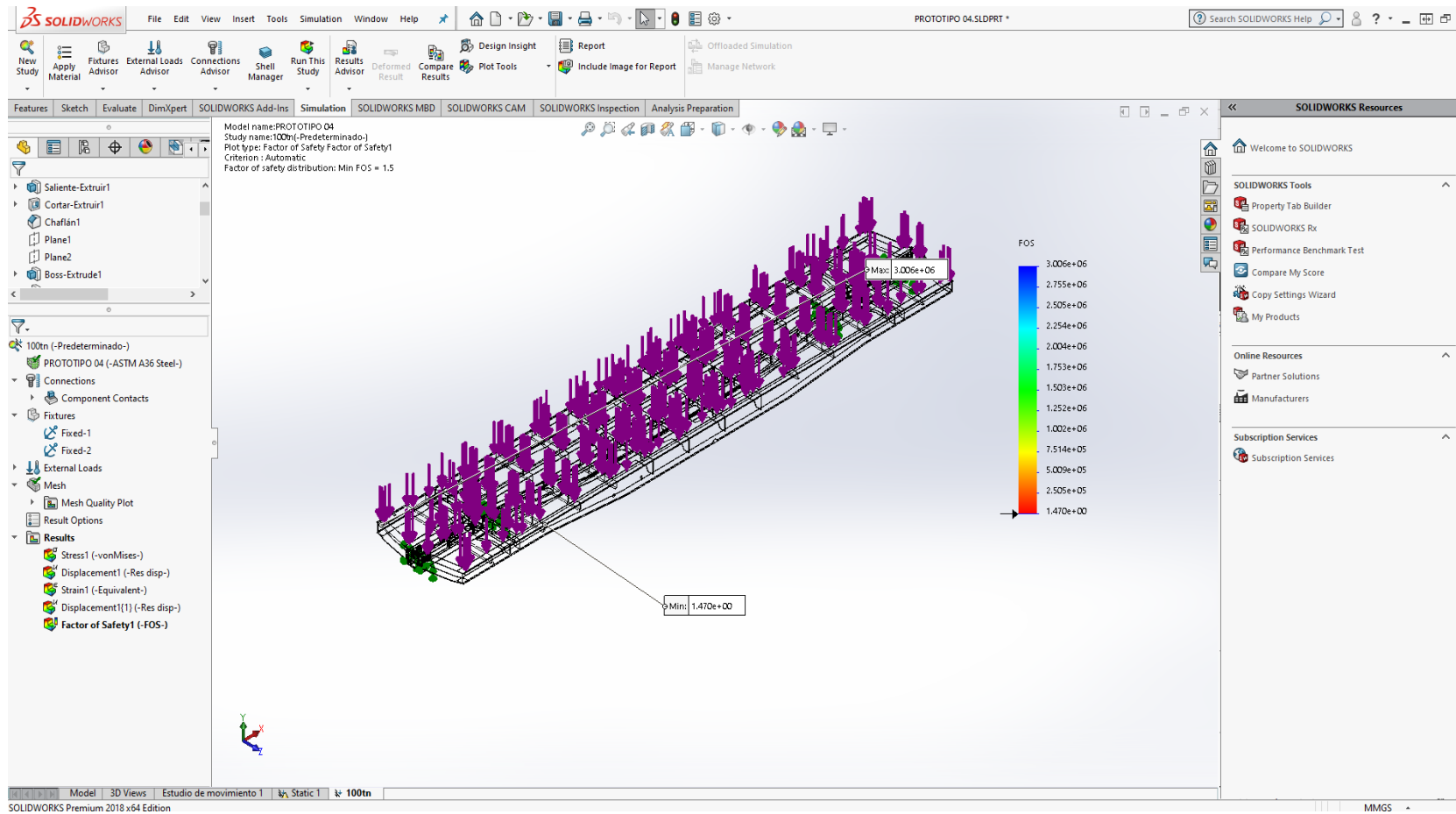


Figura 30. Visualización del factor de seguridad del vagón plataforma de prototipo N°04.

Nota: Se observa el factor de seguridad mínimo del prototipo N°04.

**Tabla 21***Tabla de resumen de resultados*

| <b>Resultados prototipo N°04</b> | <b>Desplazamiento</b> | <b>Factor de Seguridad</b> |
|----------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Valor máximo</b>              | 6,33(mm)              | 3,006E+06                  |
| <b>Valor 1</b>                   | 5,80(mm)              | 2,755E+06                  |
| <b>Valor 2</b>                   | 5,27(mm)              | 2,505E+06                  |
| <b>Valor 3</b>                   | 4,75(mm)              | 2,254E+06                  |
| <b>Valor 4</b>                   | 4,22(mm)              | 2,004E+06                  |
| <b>Valor 5</b>                   | 3,69(mm)              | 1,753E+06                  |
| <b>Valor 6</b>                   | 3,16(mm)              | 1,503E+06                  |
| <b>Valor 7</b>                   | 2,64(mm)              | 1,252E+06                  |
| <b>Valor 8</b>                   | 2,11(mm)              | 1,002E+06                  |
| <b>Valor 9</b>                   | 1,58(mm)              | 7,514E+05                  |
| <b>Valor 10</b>                  | 1,05(mm)              | 5,009E+05                  |
| <b>Valor 11</b>                  | 0,527(mm)             | 2,505E+05                  |
| <b>Valor mínimo</b>              | 1E-30(mm)             | 1,470E+00                  |

*Nota:* Valores tomados del resultado de la simulación realizada.

En la Figura 30, se observa el factor de seguridad mínimo del vagón plataforma, el cual, indica su valor de factor de seguridad =1,47.

De acuerdo a todos los parámetros de resultados brindados por el software SolidWorks, se inserta en un cuadro de información del prototipo N°04.

En la tabla 22, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos por el software referidos al prototipo N°04.

**Tabla 22***Tabla de datos de simulación de prototipo N°04*

| <b>Datos de simulación</b>           | <b>Prototipo N°04</b>                                      |
|--------------------------------------|--|
| <b>Geometría fija aplicada</b>       | Aplicado en zona estructural inferior del vagón plataforma |
| <b>Malla aplicada</b>                | Malla muy fina   |
| <b>Fuerza aplicada</b>               | 100000 kg  |
| <b>Material Aplicado</b>             | ASTM A-36  |
| <b>Deformación máxima resultado</b>  | 6,33 mm  |
| <b>Factor de seguridad resultado</b> | 1,47   |

*Nota:* Parámetros de diseño del vagón plataforma.

En la tabla 22, podemos apreciar los resultados obtenidos por el software SolidWorks, los cuales, son la aplicación de la fuerza que se le ingresa como dato a la estructura, el tipo de material que se selecciona para la aplicación de las propiedades de la estructura, la deformación máxima, a la cual, se desplazaría la estructura en el punto máximo, cuando sea sometida a la fuerza aplicada en la estructura, y por último, el punto determinante de la estructura, el cual, es el factor de seguridad de la estructura del vagón plataforma, quien determina la funcionabilidad del diseño de la estructura, tanto como los espesores de las planchas y la selección del material, cumpliendo esta con la normativa de fabricación de ferrocarriles.



#### **4.1.6. Prototipo N°05.**

En la siguiente imagen, se observa el modelado del vagón plataforma N°05, en vista isométrica, al cual, fue aplicada todas las medidas del vagón Cobrasma al software para su modelado.

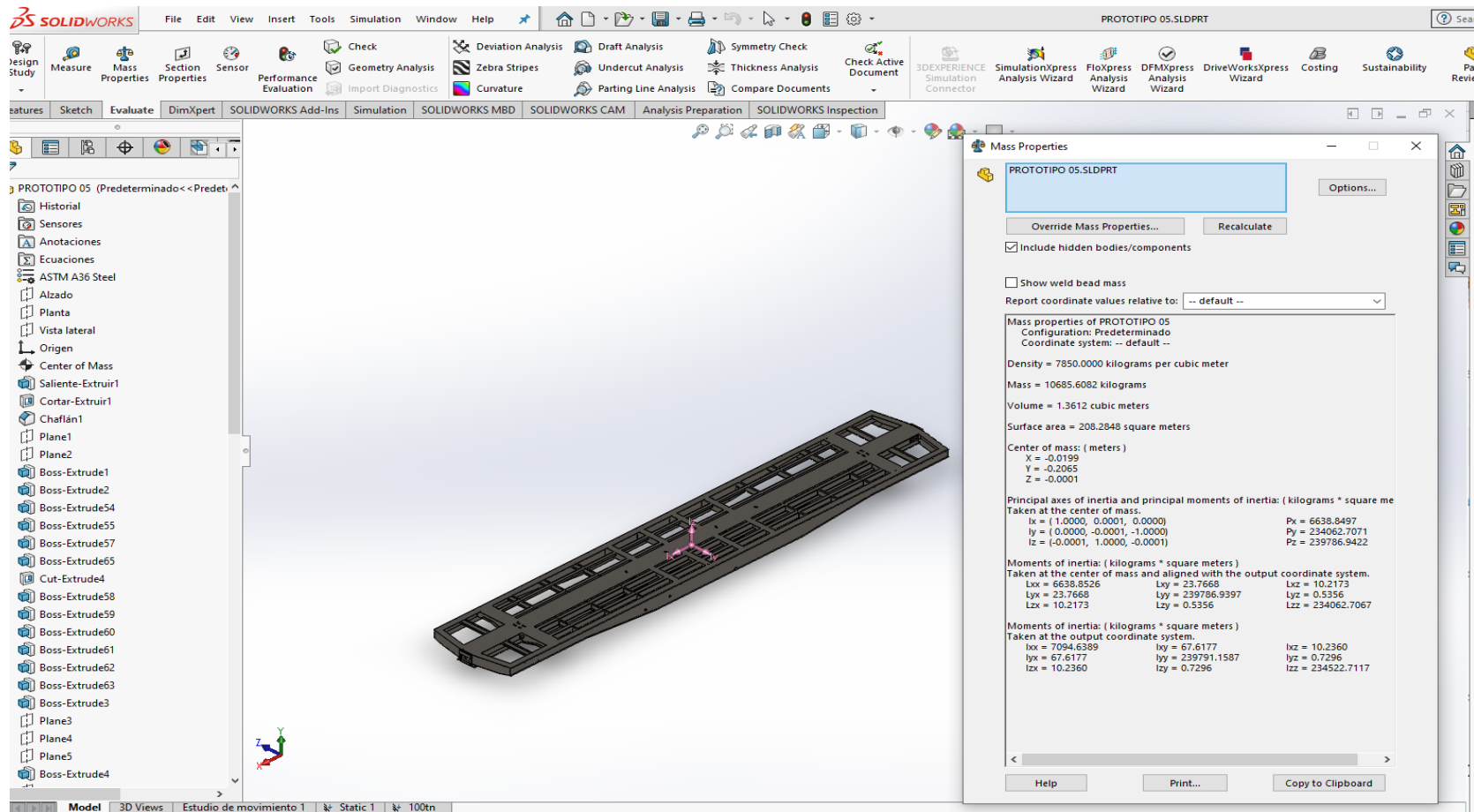


Figura 31. Prototipo N°05.

Nota: Se observa el modelado del prototipo a realizar, en el cual, se toma todas las dimensiones del vagón modelo Cobrasma, alterando la parte interna del vagón plataforma para la reducción del peso de la estructura y poder observar nuevos resultados.

#### ***4.1.6.1. Medidas internas de vigas chasis.***

En la figura 32, se muestra la viga principal del vagón plataforma, al cual, podemos visualizar los espesores de la viga centro. Parte superior de la viga centro con un espesor de 19mm, parte inferior de la viga centro 25 mm y laterales de la viga centro 19 mm (Como se muestra en la tabla 24). Esta viga centro mostrada, será la parte principal, que estará sometida a cambios de espesores, con el fin de reducir el peso.

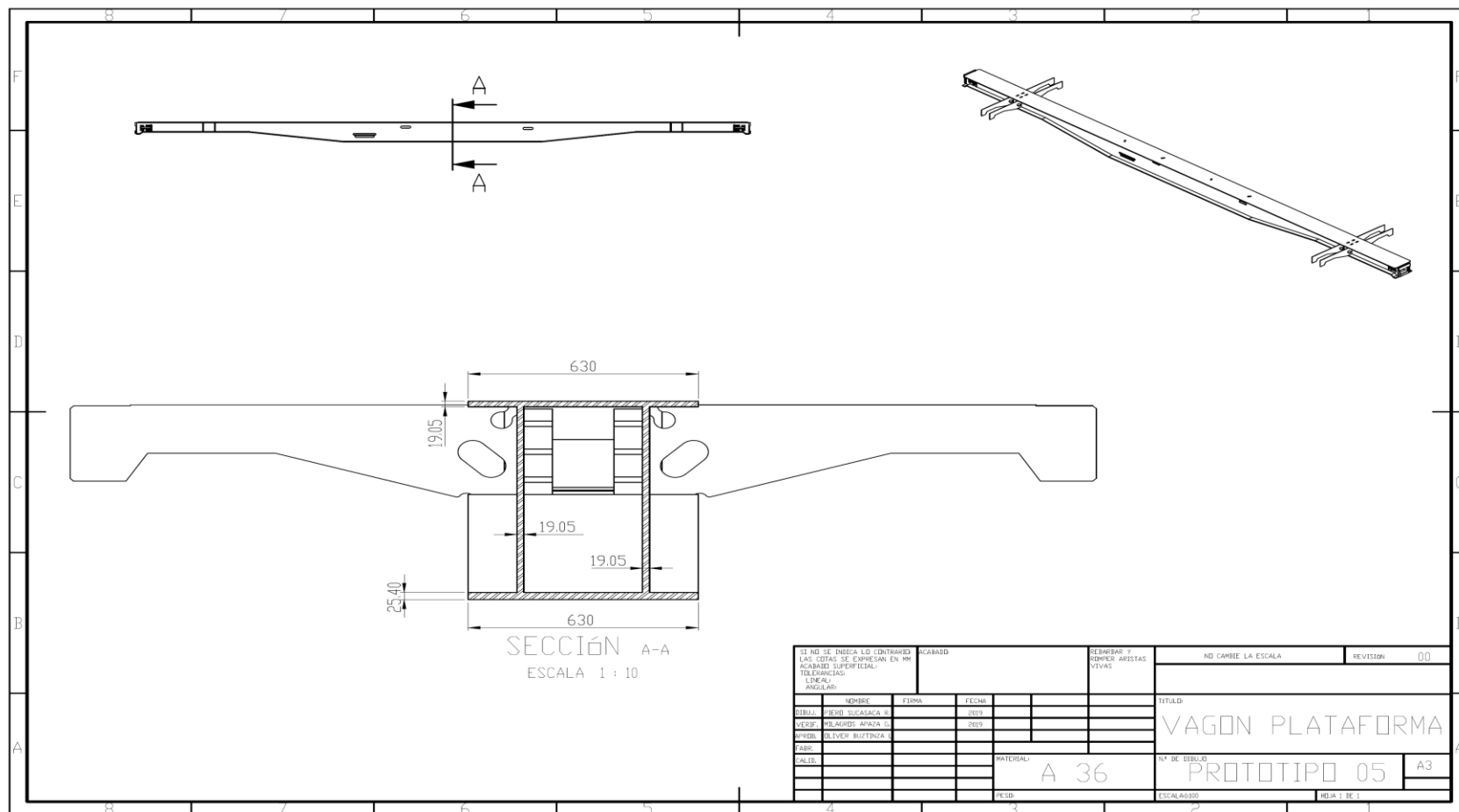


Figura 32. Viga Chasis de prototipo N°05.

Nota: Medida de los espesores de la viga chasis, en tanto, la parte superior, laterales, superior e inferior.

#### ***4.1.6.2. Cuadro de propiedades de la masa del prototipo N°05.***

En la tabla 23, se aprecia con mayor detalle las propiedades del vagón plataforma modelado, en el cual, se aprecia la densidad del material, masa del vagón plataforma, área del vagón plataforma, centro de masa entre otros datos, de los cuales, utilizamos la masa mostrada para nuestro análisis.

**Tabla 23***Propiedades de prototipo N°05*

| <b>Prototipo N°05</b>  |                                       |                  |
|--|---------------------------------------|------------------|
| <b>Propiedades de masa de Prototipo N°05</b>   |                                       |                  |
| <b>Densidad=</b>   | 7850,0000 kilogramos por metro cubico |                  |
| <b>Masa=</b>   | 10685,6082 kilogramos                 |                  |
| <b>Volumen=</b>  | 1,3612 metros cúbicos                 |                  |
| <b>Área de superficie=</b>   | 208,2848 metros cuadrados             |                  |
| <b>Centro de masa:</b>   | (metros)                              |                  |
| x=   | -0,0199                               |                  |
| y=   | -0,2065                               |                  |
| z=   | -0,0001                               |                  |
| <br>   |                                       |                  |
| Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (Kilogramos* metros cuadrados). |                                       |                  |
| Tomando en el centro de masa.  |                                       |                  |
| Ix= (1,0000; 0,0001; 0,0000)   | Px= 6638,8497                         |                  |
| Iy= (0,0000; -0,0001; -1,0000)   | Py= 234062,7071                       |                  |
| Iz= (-0,0001; 1,0000; -0,0001)   | Pz= 239786,9422                       |                  |
| <br>   |                                       |                  |
| Momentos de inercia: (Kilogramos*metros cuadrados).  |                                       |                  |
| Tomando el centro de la masa y alineado con el sistema de coordenadas de salida.               |                                       |                  |
| Lxx= 6638,8526   | Lxy= 23,7668                          | Lxz= 10,2173     |
| Lyx= 23,7668   | Lyy= 239786,9397                      | Lyz= 0,5356      |
| Lzx= 10,2173   | Lzy= 0,5356                           | Lzz= 234062,7067 |
| <br>   |                                       |                  |
| Momento de inercia: (Kilogramos *metros cuadrados).  |                                       |                  |
| Tomando en el sistema de coordenadas de salida.  |                                       |                  |
| Ixx= 7094,6389   | Ixy= 67,6177                          | Ixz= 10,2360     |
| Iyx= 67,6177   | Iyx= 239791,1587                      | Iyz= 0,7296      |
| Izx= 10,2360   | Izx= 0,7296                           | Izx= 234522,7117 |

*Nota:* Parámetros y propiedades físicas aplicadas al prototipo Cobrasma, tales como, masa, densidad, volumen, área y centro de masa. Información extraída del software, ver apéndice A.

Seguidamente, en la siguiente tabla, se muestran los parámetros sometidos a cambios por la simulación del prototipo.

**Tabla 24**

*Tabla de parámetros de prototipo N°05*

| <b>Parámetros</b>                      | <b>Prototipo N°05</b> |
|--|-----------------------|
| <b>Longitud de plataforma (mm)</b>     | 16307                 |
| <b>Ancho de plataforma (mm)</b>        | 3200                  |
| <b>Material</b>                        | ASTM A-36             |
| <b>Viga chasis lado superior (mm)</b>  | 19                    |
| <b>Viga chasis lado inferior (mm)</b>  | 25                    |
| <b>Viga chasis lado derecho (mm)</b>   | 19                    |
| <b>Viga chasis lado izquierdo (mm)</b> | 19                    |
| <b>Peso de viga chasis (kg)</b>        | 6236,8685             |
| <b>Peso total de plataforma (kg)</b>   | 10685,6082            |

*Nota:* Parámetros de diseño del vagón plataforma.

Como podemos observar en la tabla 24, contamos con los parámetros implicados en la simulación del prototipo N°05, los cuales, son los lados de la viga chasis superior, inferior y laterales, donde, se muestran los datos obtenidos al realizar el modelado de la estructura del vagón plataforma.

#### ***4.1.6.3. Simulación de la estructura del prototipo N°05.***

A partir de esta sección, se explica la secuencia de la simulación del prototipo N°05, la cual, estará conformado por una serie de modificaciones de los elementos relacionados a la tabla anteriormente mostrada y aplican la siguiente secuencia.

#### ***4.1.6.4. Presentación de datos del software SolidWorks.***

Terminando de ejecutarse el análisis del vagón plataforma mediante la simulación del software SolidWorks, los resultados se muestran en la tabla 25, en el cual, nos brindará los resultados de la deformación máxima, deformación mínima y factor de seguridad mínima representados en la figura 33, 34 y 35, se hace necesario indicar, que esta información, es muy importante para la comparación de resultados.



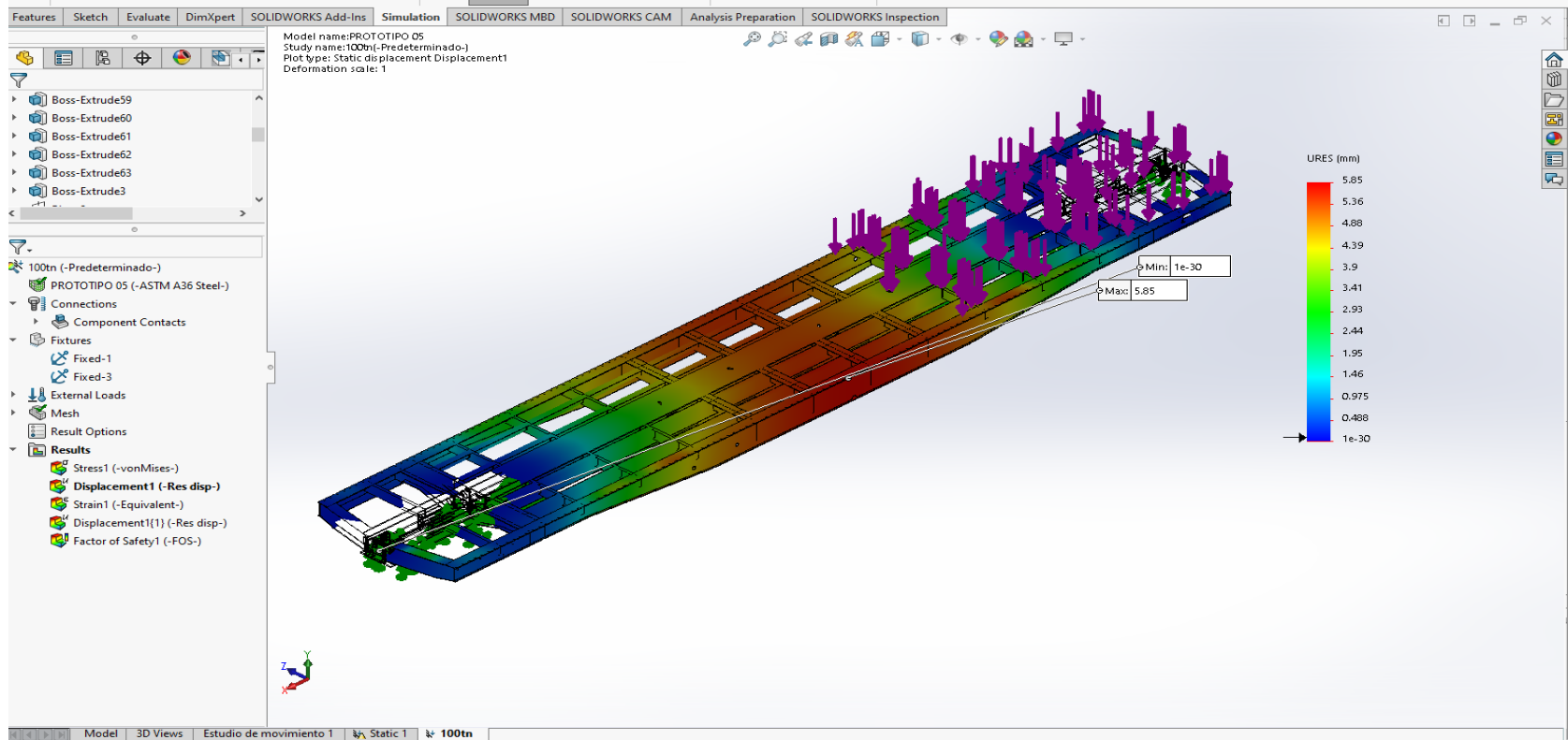


Figura 33. Visualización del desplazamiento del prototipo N°05.

*Nota:* Se observa la deformación máxima del prototipo N°05, el cual, indica 5,85 mm de deformación en su punto crítico.

En la siguiente imagen, observaremos como el software muestra el desplazamiento de la estructura del vagón plataforma, el cual, está representado en milímetros.

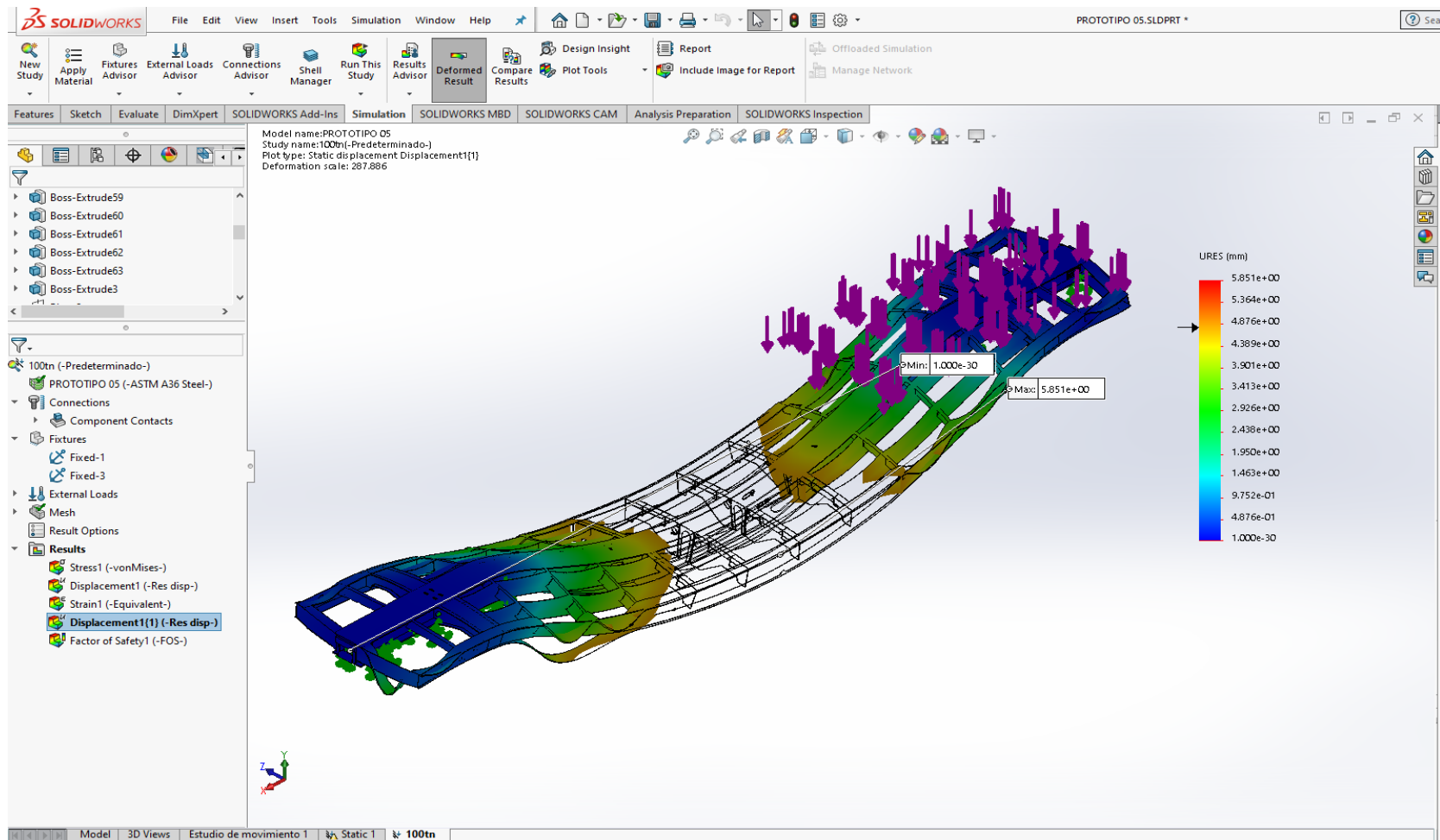


Figura 34. Visualización del desplazamiento de la estructura del vagón plataforma de prototipo N°05.

Nota: Se observa la deformación máxima del prototipo N°05, el cual, indica 5,85 mm de deformación en su punto crítico.

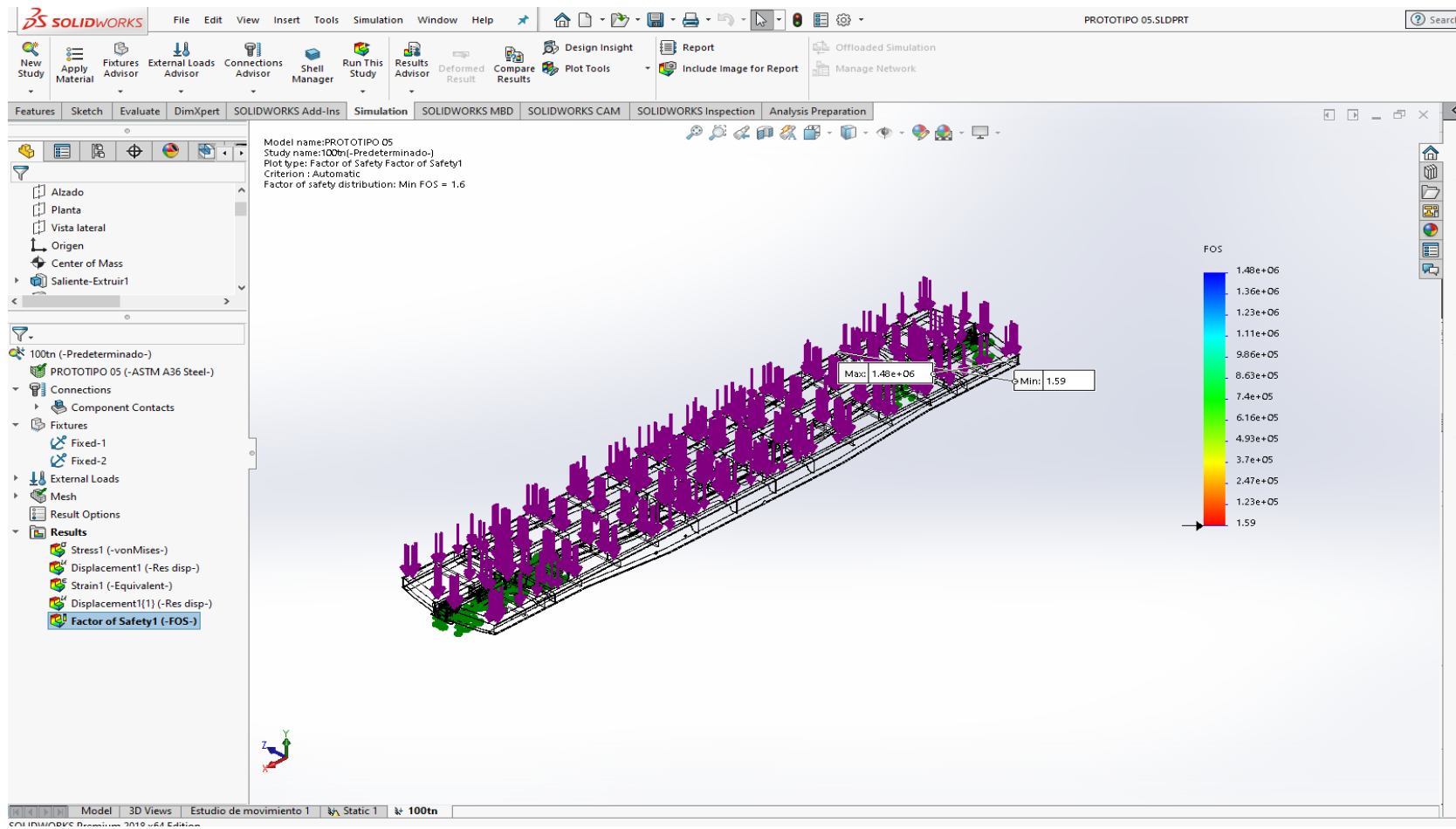


Figura 35. Visualización del factor de seguridad del vagón plataforma de prototipo N°05.

Nota: Se observa el factor de seguridad mínimo del modelo Cobrasma.

**Tabla 25***Tabla de resumen de resultados*

| <b>Resultados prototipo</b> | <b>Desplazamiento</b> | <b>Factor de Seguridad</b> |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>N°05</b>                 |                       |                            |
| <b>Valor máximo</b>         | 5,85(mm)              | 1,48E+06                   |
| <b>Valor 1</b>              | 5,36(mm)              | 1,36E+06                   |
| <b>Valor 2</b>              | 4,88(mm)              | 1,23E+06                   |
| <b>Valor 3</b>              | 4,39(mm)              | 1,11E+06                   |
| <b>Valor 4</b>              | 3,9(mm)               | 9,86E+05                   |
| <b>Valor 5</b>              | 3,41(mm)              | 8,63E+05                   |
| <b>Valor 6</b>              | 2,93(mm)              | 7,40E+05                   |
| <b>Valor 7</b>              | 2,44(mm)              | 6,16E+05                   |
| <b>Valor 8</b>              | 1,95(mm)              | 4,93E+05                   |
| <b>Valor 9</b>              | 1,46(mm)              | 3,70E+05                   |
| <b>Valor 10</b>             | 0,975(mm)             | 2,47E+05                   |
| <b>Valor 11</b>             | 0,488(mm)             | 1,23E+05                   |
| <b>Valor mínimo</b>         | 1E-30(mm)             | 1,59E+00                   |

*Nota:* Valores tomados del resultado de la simulación realizada.

En la Figura 35, se observa el factor de seguridad mínimo del vagón plataforma, el cual, indica su valor de factor de seguridad=1,59.

De acuerdo a todos los parámetros de resultados brindados por el software SolidWorks, se inserta en un cuadro de información del prototipo N°05.

En la tabla 26, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos por el software referido al prototipo N°05.

**Tabla 26***Tabla de datos de simulación de prototipo N°05*

| <b>Datos de simulación</b>           | <b>Prototipo N°05</b>                                      |
|--------------------------------------|--|
| <b>Geometría fija aplicada</b>       | Aplicado en zona estructural inferior del vagón plataforma |
| <b>Malla aplicada</b>                | Malla muy fina   |
| <b>Fuerza aplicada</b>               | 100000 kg  |
| <b>Material Aplicado</b>             | ASTM A-36  |
| <b>Deformación máxima resultado</b>  | 5,85 mm  |
| <b>Factor de seguridad resultado</b> | 1,59   |

*Nota:* Parámetros de diseño del vagón plataforma.

En la tabla 26, podemos apreciar los resultados obtenidos por el software SolidWorks, los cuales, son la aplicación de la fuerza que se le ingresa como dato a la estructura, el tipo de material que se selecciona para la aplicación de las propiedades de la estructura, la deformación máxima, a la cual, se desplazaría la estructura en el punto máximo, cuando sea sometida a la fuerza aplicada en la estructura, y por último, el punto determinante de la estructura, el cual, es el factor de seguridad de la estructura del vagón plataforma, quien determina la funcionabilidad del diseño de la estructura, tanto como los espesores de las planchas y la selección del material cumpliendo esta con la normativa de fabricación de ferrocarriles.

Finalmente, en la tabla 27, se muestra un cuadro comparativo de los resultados de la simulación de los cinco prototipos, cabe destacar, que los parámetros alterados y evaluados de los elementos estructurales, se procederán a analizar en la selección del diseño más adecuado.

Tomando en consideración la deformación de la estructura del vagón plataforma, el cual, se representa en milímetros y, no debe superar el límite de 6,7 mm establecido por la norma AAR.

Otro punto a analizar, es el factor de seguridad mínimo, que debe cumplir la estructura del vagón plataforma, que está sometida a una carga de 100 toneladas, el cual, no debe ser inferior a 1,2 establecida en la normativa AAR, razón por la cual, si está dentro del parámetro establecido, nos da la garantía de que la estructura sea funcional y pueda trabajar en las condiciones que se requiera.

Finalmente, se hará la comparación de las masas de los prototipos para seleccionar el que cumpla todas las condiciones de diseño anteriormente mencionadas.

**Tabla 27***Tabla de comparaciones de resultados de simulación*

| <b>Parámetros</b>                                      | <b>Prototipo Cobrasma</b> | <b>Prototipo N°01</b> | <b>Prototipo N°02</b> | <b>Prototipo N°03</b> | <b>Prototipo N°04</b> | <b>Prototipo N°05</b> |
|--|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Peso total (Kg)</b>                                 | 12411,96                  | 8949,39               | 9498,00               | 9902,78               | 10294,62              | 10685,61              |
| <b>Peso viga chasis (Kg)</b>                           | 5451,00                   | 4397,20               | 4926,36               | 5451,18               | 5707,55               | 6236,87               |
| <b>Material</b>  | ASTM A-36                 | ASTM A-36             | ASTM A-36             | ASTM A-36             | ASTM A-36             | ASTM A-36             |
| <b>Factor de seguridad (Fs. <math>\geq 1.2</math>)</b> | 1,70                      | 1,02                  | 1,17                  | 1,21                  | 1,47                  | 1,59                  |
| <b>Deformación máxima (mm)</b>                         | 4,76                      | 7,10                  | 6,83                  | 6,63                  | 6,33                  | 5,85                  |

*Nota:* La tabla 27 describe los datos obtenidos a través de las simulaciones realizadas.

Realizando un análisis de los criterios de selección del diseño establecido, se determina, que el prototipo N°04, es el más el más óptimo ya que cumple las tres condiciones:

- Factor de seguridad =1,47
- Deformación máxima =6,33 mm
- Peso estructural =10294,62 kg

#### **4.2. Contratación de hipótesis**

La masa del vagón plataforma Cobrasma, se ha logrado optimizar significativamente de 12,4 Ton a 10,29 Ton, cumpliendo con las condiciones de la norma AAR, como son la deformación máxima y el factor de seguridad, manteniendo la misma capacidad de carga de 100 Ton planteados por SPCC- Ilo, en el año 2019. Todo esto, se logró utilizando el software SolidWorks y su aplicación de los elementos finitos.

#### **4.3. Discusión de resultados**

Mediante el uso de métodos de elementos finitos aplicados con el software SolidWorks, se logró realizar la optimización del diseño original Cobrasma. Según la tabla 27, referido a la comparación de la simulación, se puede observar que los prototipos 1 y 2, no cumple con la norma AAR, porque el factor de seguridad es menor a 1,2, por lo tanto, se descarta desde el inicio. Con respecto a los prototipos 3, 4 y 5, podemos afirmar que, si cumple con las exigencias de la norma AAR,



pero como desventaja el prototipo N°03, se encuentra en el límite recomendado por la norma AAR, y el prototipo N°05, se encuentra con un mayor sobredimensionamiento, motivo por el cual, se hace la selección del prototipo N°04.

De los cinco prototipos diseñados, el que cumple con los parámetros evaluados es el prototipo N°04, porque presenta mejoras de la capacidad de carga mayor la estructura del vagón plataforma en un 17,06%; a diferencia del vagón plataforma Cobrasma.

Respecto a otro de los criterios de selección, se toma en cuenta el prototipo N°03, por tener el factor de seguridad de 1,47; el cual; a pesar de ser menor que el vagón Cobrasma, este cumple y están en el rango con el mínimo establecido por la normativa AAR.

De todo lo mencionado y en una relación de costo-beneficio o la combinación de los parámetros evaluados podemos observar, una optimización de la estructura del vagón plataforma, el cual, mejora las condiciones del entorno de funcionamiento, debido a que al reducir el peso base, en condiciones de operación, la locomotora requiere un menor esfuerzo de trabajo, por lo cual, el consumo de combustible del equipo, es mucho menor en cantidades constantes de movimiento.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

**Primera.** Se eligió optar por el prototipo N.º 04, el cual, logra una optimización del peso en 2,1Ton; a diferencia del prototipo Cobrasma, los prototipos Nº01 y Nº02, no cumplen con la normativa AAR. El prototipo Nº03 se encuentra en el límite recomendado por la norma AAR, y el prototipo Nº05 contando con una optimización del 1,7 Ton.

**Segunda.** Mediante el uso del método de elementos finitos aplicado al software se logra la optimización del peso de los cinco prototipos en 3,4 Ton; 2,9 Ton; 2,5 Ton; 2,1 Ton; 1,7 Ton; respectivamente a comparación del prototipo Cobrasma.

**Tercera.** Se obtiene los factores de seguridad de 1,02; 1,17; 1,21; 1,47; 1,59 y una deformación máxima de 7,10 mm; 6,83 mm; 6,63 mm; 6,33 mm; 5,85 mm; respectivamente, motivo por el que se opta por el prototipo Nº04, el cual cumple con el factor de seguridad mayor o igual a 1,2 y una deformación máxima menor a 6,70 mm establecido por la norma AAR.

## 5.2. Recomendaciones

Para futuros trabajos de investigación y para la empresa, se recomienda:

**Primera.** Aplicar este software para el diseño de estructuras similares, y también se recomienda la aplicación de esta metodología para mejorar la optimización del peso, independientemente de la actividad minera o empresarial, ya que demuestra, que es una herramienta consistente, y que nos permite realizar diseños de una mayor envergadura.

**Segunda.** Debe implementarse un dossier de calidad (Planos de fabricación, Reportes de control de calidad, Memorias de cálculos, etc.), para garantizar la correcta fabricación del vagón plataforma óptima, para la empresa SPCC-ILO.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AAR. (2011). *Design, fabrication, and construction of freight cars*. Washington, D.C., United States: The Association of American Railroads 425 Third Street, SW., Washington D.C. 20024.
- Asociación Norteamericana del Ferrocarril. (2019). *AEC*. Recuperado de AEC: <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/normas-aar>
- Barry, S., & Soler, D. (2008). *Wikipedia*. Recuperado de Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Vag%C3%B3n\\_plataforma](https://es.wikipedia.org/wiki/Vag%C3%B3n_plataforma)
- Dassault Systemes. (1995). *Introduccion a solidworks*. Recuperado de [https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS\\_Introduccion\\_ES.pdf](https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduccion_ES.pdf)
- Duoc UC Bibliotecas. (2018). *Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigacion*. Recuperado de Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigacion: <http://www.duoc.cl/biblioteca/crai/definicion-y-proposito-de-la-investigacion-aplicada>
- Fritzon, P. (2015). *Introduccion al modelado y simulacion de sistemas tecnicos y fisicos con modelica*. Modelica.
- Hibbeler, R., & Goodno, B. (1985). *Mecanica de materiales*. Pearson Education.
- Lamoru, Y. (2014). *Diseño de un vagón plano de carga para alimentacion en los rieles para la empresa Mecanica del Niquel Comandante Gustavo Machin Hoed de Beche*. (Tesis de Pregrado). Instituto superior minero metalurgico de Moa, Cuba. Recuperado de

<http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/2973/lamoru.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Liviác, D. (2006). *Análisis estructural de vagones de uso ferroviario mediante el método de elementos finitos para aumento de capacidad de carga*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de ingeniería, Lima. Recuperado de: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/14265>

Martínez, M., & Patiño, D. (2015). *Simulación por ordenador mediante el método de elementos finitos y optimización por el método de ingeniería robusta, de conectores para estantería metálica*. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7767/1/UPS-CT004623.pdf>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Estructuras E.020 Cargas. *EL PERUANO*, 1. Recuperado de [https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02\\_E/RNE2006\\_E\\_020.pdf](https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/RNE2006_E_020.pdf)

Moreland, E., & Ingham, T. (1993). *Método de elementos finitos para resolver problemas de ingeniería*. Recuperado de <https://1library.co/article/m%C3%A9todo-elementos-finitos-resolver-problemas-ingenier%C3%ADa.yjdjg3py>

Muñoz, A. (2016). *Simulación de la dinámica de un vehículo ferroviario mediante herramientas de ingeniería asistidas por ordenador*. (Tesis de pregrado). Universidad de Extremadura, Badajoz. Recuperado de

[https://dehesa.unex.es/flexpaper/template.html?path=https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/7015/1/TFGUEx\\_2017\\_Mu%  
c3%b1oz\\_Pe%  
c3%b1a.pdf](https://dehesa.unex.es/flexpaper/template.html?path=https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/7015/1/TFGUEx_2017_Mu%c3%b1oz_Pe%c3%b1a.pdf)

Nores, R. (2018). *Plataforma portavehiculos ferroviaria*. (Tesis de Pregrado). Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa Maria, Cordoba. Recuperado de <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272>

Parra, J. (1981). Simulación. *Revista colombiana de estadística*, II, 21-50.

Perez, J., & Gardey, A. (2012). *Definición*. Recuperado de Definición: <https://definicion.de/tonelada/>

Rodas, H. (2014). *Estructuras I*. Cuenca: Graficas del sur.

Saravia, J. (2012). *Rediseño de un carro ferroviario para incrementar la capacidad de carga en 30%*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/13639>

SDLubal. (2021). *Software de analisis y dimensionamiento de estructuras*. Recuperado de <https://www.dlubal.com/es/soluciones/servicios-en-linea/glosario/000234>

Solidbi. (2017) *Solidworks ¿Qué es y para que sirve?*. Recuperado de Solidbi: <https://solid-bi.es/solidworks/>

Solidworks. (2017). *Grados de libertad*. Recuperado de help.solidworks: [http://help.solidworks.com/2017/spanish/solidworks/motionstudies/c\\_degrees\\_freedom\\_motion.htm](http://help.solidworks.com/2017/spanish/solidworks/motionstudies/c_degrees_freedom_motion.htm)

Supo, J. (2012). *Tipos de investigacion*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=QXmKN34hbtM>