

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Optimización de la resistencia estructural de un  
extractor de cal, mediante la aplicación del método  
FEM en una mina de Pasco - 2023**

Fabricio Paul Rosas Cabrera  
Alexander Gabriel Alvarado Murguía

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Industrial

Lima, 2025

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : WALDRICK CESAR MORRO SUMARY  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 5 de Marzo de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

**OPTIMIZACIÓN DE LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL DE UN EXTRACTOR DE CAL, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO FEM EN UNA MINA DE PASCO – 2023**

**Autores:**

1. **FABRICIO PAUL ROSAS CABRERA** – EAP. Ingeniería Industrial
2. **ALEXANDER GABRIEL ALVARADO MURGUIA** – EAP. Ingeniería Industrial

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 10 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores N° de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"):20 SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

# ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN.....	<b>xi</b>
INTRODUCCIÓN .....	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>14</b>
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	14
1.1.1 Problema general.....	16
1.1.2 Problemas específicos .....	16
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo general .....	16
1.2.2 Objetivo específico .....	16
1.3 Justificación e importancia.....	17
1.3.1 Justificación por conveniencia .....	17
1.3.2 Justificación por relevancia social.....	17
1.3.3 Justificación por implicaciones prácticas .....	17
1.3.4 Justificación por valor teórico.....	17
1.3.5 Justificación por utilidad metodológica.....	18
1.3.6 Justificación empresarial .....	18
1.4 Limitaciones de la presente investigación.....	18
1.5 Delimitación de la investigación.....	19
1.6 Hipótesis y variables.....	19
1.6.1 Hipótesis general .....	19
1.6.2 Hipótesis Especificas .....	19
1.7 Variables de la tesis.....	20
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.1 Antecedentes de la investigación .....	22
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	22
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	24

2.1.3	Antecedentes locales o regionales .....	27
2.2	Bases teóricas definición conceptual de las variables/dimensiones .....	29
2.3	Enfoques teóricos: .....	29
2.3.1	Unidad de análisis: .....	29
2.3.2	Objeto de estudio:.....	29
2.4	Bases teóricas .....	30
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....</b>		<b>43</b>
3.1	Tipo y diseño de la investigación.....	43
3.2	Diseño de la investigación .....	44
3.3	Enfoque de la investigación.....	44
3.4	Alcance de la investigación .....	44
3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
3.5.1	Métodos de recolección de datos y fases de la metodología VDI 2221 45	
3.5.2	Especificación de datos de la investigación .....	45
3.6	Análisis de datos .....	49
<b>CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN .....</b>		<b>51</b>
4.1	Identificación de requerimientos .....	51
4.2	Análisis de solución .....	54
<b>CAPÍTULO V CONSTRUCCIÓN.....</b>		<b>56</b>
4.3	Construcción .....	56
4.4	Pruebas y resultados .....	59
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>97</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>98</b>
<b>TRABAJOS FUTUROS.....</b>		<b>99</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>99</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>105</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación de la Mina .....	19
Figura 2. Extractor de cal .....	30
Figura 3. Gráfica de esfuerzo – deformación para varios grados de acero estructural .....	33
Figura 4. Perfiles de acero estructural .....	34
Figura 5. Momentos de inercia de algunas secciones.....	37
Figura 6. Tipos de electrodos .....	39
Figura 7. Acciones de fuerzas en soldadura .....	40
Figura 8. Tipos de soldadura .....	40
Figura 9. Simbología de soldadura .....	41
Figura 10. Subgrupos de geometría en elementos finitos .....	42
Figura 11. Etapas del método VDI 2221 (50).....	43
Figura 12 Etapas del método VDI 2221 .....	45
Figura 13. Modelo de caja negra. ....	47
Figura 14. Matriz morfológica. ....	47
Figura 15. Estructura de funciones.....	55
Figura 16. Concepto de solución 1. ....	56
Figura 17. Concepto de solución 2. ....	57
Figura 18. Concepto de solución 3. ....	58
Figura 19. Concepto de solución 4. ....	59
Figura 20. Diagrama de evaluación.....	62
Figura 21. Vista previa, simulación de primera propuesta.....	63
Figura 22. Vista previa, simulación de primera propuesta, Direct Stress.....	64
Figura 23. Vista previa, simulación de primera propuesta, Total Deformation.....	65
Figura 24. Vista previa, simulación de primera propuesta, Maxium Combinated Stress.....	65
Figura 25. Vista previa, simulación de segunda propuesta.....	66
Figura 26. Vista previa, simulación de segunda propuesta, Direct Stress.....	67
Figura 27. Vista previa, simulación de segunda propuesta, Total Deformation.....	68
Figura 28. Vista previa, simulación de segunda propuesta, Maxium Combinated Stress.....	68
Figura 29. Vista previa, simulación de tercera propuesta.....	69
Figura 30. Vista previa, simulación de tercera propuesta, Direct Stress.....	70

Figura 31. Vista previa, simulación de tercera propuesta, Total Deformation. ....	71
Figura 32. Vista previa, simulación de tercera propuesta, Maxium Combinated Stress.....	71
Figura 33. Distribución de vigas 1.....	72
Figura 34. Soportes del extractor de cal.....	73
Figura 35. Distribución de vigas para soporte de equipo.....	73
Figura 36. Distribución de columnas.....	74
Figura 37. Concepto de solución óptima.....	75
Figura 38. Distribución entre vigas 1.....	71
Figura 39. Diagrama cuerpo libre en viga V5.....	72
Figura 40. Cortante y Momento flecto de viga V5.....	73
Figura 41. Selección viga V5.....	74
Figura 42. Diagrama cuerpo libre en viga V9.....	74
Figura 43. Cortante y Momento flecto de viga V9.....	75
Figura 44. Selección viga V9.....	76
Figura 45. Diagrama cuerpo libre en viga V10.....	76
Figura 46. Cortante y Momento flecto de viga V10.....	77
Figura 47. Selección viga V10.....	78
Figura 48. Selección viga final.....	79
Figura 49. Distribución entre columnas.....	80
Figura 50. Selección columna final.....	81
Figura 51. Distribución de soldaduras.....	82
Figura 52. Soldadura en C5 y V10.....	82
Figura 53. Medida de cordón de soldadura.....	85
Figura 54. Dimensiones y fuerzas en la viga más crítica.....	86
Figura 55. Datos de ingeniería de la estructura.....	87
Figura 56. Tamaño de malla.....	88
Figura 57. Fuerzas en la estructura.....	88
Figura 58. Esfuerzo combinado máximo de la estructura.....	89
Figura 59. Deformación máxima de la estructura.....	90
Figura 60. Lista de materiales parte 1.....	91
Figura 61. Lista de materiales parte 2.....	91
Figura 62. Plano en vista en 3D y vista de planta del diseño propuesto.....	92
Figura 63. Plano de vista frontal del diseño propuesto.....	93
Figura 64. Plano de vista lateral del diseño propuesto.....	94
Figura 65. Lista de materiales parte 1.....	95
Figura 66. Lista de materiales parte 2.....	95
Figura 67. Costos de construcción.....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	20
Tabla 2. Bases teóricas definición conceptual de las variables/dimensiones .....	29
Tabla 3. Modelo de lista de exigencias. ....	46
Tabla 4. Tabla de exigencias .....	49
Tabla 5. Lista de exigencias pág. 2. ....	50
Tabla 6. Lista de exigencias pág. 1. ....	52
Tabla 7. Lista de exigencias pág. 2. ....	53
Tabla 8. Evaluación técnica de los conceptos de solución.....	61
Tabla 9. Evaluación técnica de los conceptos de solución.....	61
Tabla 10. Cuadro de detalles, primera propuesta. ....	63
Tabla 11. Cuadro de detalles, segunda propuesta. ....	66
Tabla 12. Cuadro de detalles, tercera propuesta. ....	69
Tabla 13. Pesos de los componentes de la estructura.....	74
Tabla 14. Resistencia de soldadura. ....	84
Tabla 15. Restricciones de soldadura. ....	84

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Dimensión estándar de los perfiles W .....	105
ANEXO 2 Plano del extractor de cal.....	106
ANEXO 3 Zona del Extractor de cal. ....	50
ANEXO 4 Reporte de análisis de elementos finitos por ANSYS parte 1.....	51
ANEXO 5 Reporte de análisis de elementos finitos por ANSYS parte 2.....	52
ANEXO 6 Reporte de análisis de elementos finitos por ANSYS parte 3.....	53
ANEXO 7 Deformación estructural parte 1.....	54
ANEXO 8 Deformación estructural parte 2.....	55
ANEXO 9 Deformación estructural parte 3.....	56
ANEXO 10 Deformación estructural parte 4 .....	57
ANEXO 11 Deformación estructural parte 5 .....	58
ANEXO 12 Deformación estructural parte 6 .....	59
ANEXO 13 Esfuerzos estructurales.....	59
ANEXO 14 Geometría de la propuesta 1.....	60
ANEXO 15 Secciones cruzadas de la propuesta 1.....	61
ANEXO 16 Dimensión de secciones de la propuesta 1 .....	61
ANEXO 17 Sistemas coordinados de la propuesta 1 .....	61
ANEXO 18 Malla de la propuesta 1 .....	62
ANEXO 19 Controles de malla de la propuesta 1 .....	63
ANEXO 20 Análisis de la propuesta 1.....	63
ANEXO 21 Estática estructural de la propuesta 1 .....	64
ANEXO 22 Cargas de la propuesta 1.....	65
ANEXO 23 Diagrama de fuerza 1 de la propuesta 1 .....	65
ANEXO 24 Diagrama de fuerza 2 de la propuesta 1 .....	66
ANEXO 25 Diagrama de fuerza 3 de la propuesta 1 .....	66
ANEXO 26 Diagrama de fuerza 4 de la propuesta 1 .....	67
ANEXO 27 Diagrama de fuerza 5 de la propuesta 1 .....	67
ANEXO 28 Diagrama de fuerza 7 de la propuesta 1 .....	68
ANEXO 29 Diagrama de fuerza 8 de la propuesta 1 .....	68
ANEXO 30 Diagrama de fuerza 9 de la propuesta 1 .....	69
ANEXO 31 Solución de la propuesta 1 .....	69
ANEXO 32 Información de la solución de la propuesta 1 .....	70
ANEXO 33 Herramienta de simulación de la propuesta 1 .....	70
ANEXO 34 Resultados de la propuesta 1 .....	71

ANEXO 35 Estrés directo de la propuesta 1 .....	72
ANEXO 36 Tabla de estrés directo de la propuesta 1 .....	72
ANEXO 37 Mínimo estrés combinado de la propuesta 1 .....	73
ANEXO 38 Tabla de mínimo estrés combinado de la propuesta 1 .....	73
ANEXO 39 Máximo estrés combinado total de la propuesta 1 .....	74
ANEXO 40 Tabla de máximo estrés combinado total de la propuesta 1 .....	74
ANEXO 41 Deformación total de la propuesta 1 .....	75
ANEXO 42 Tabla de deformación total de la propuesta 1 .....	75
ANEXO 43 Máximo estrés combinado 2 de la propuesta 1 .....	76
ANEXO 44 Tabla de máximo estrés combinado 2 de la propuesta 1 .....	76
ANEXO 45 Datos del material de la propuesta 1 .....	76
ANEXO 46 Elasticidad Isotrópica de la propuesta 1 .....	76
ANEXO 47 Geometría de la propuesta 2.....	77
ANEXO 48 Secciones cruzadas de la propuesta 2.....	78
ANEXO 49 Dimensión de secciones de la propuesta 2 .....	78
ANEXO 50 Sistemas coordinados de la propuesta 2 .....	78
ANEXO 51 Malla de la propuesta 2.....	79
ANEXO 52 Controles de malla de la propuesta 2 .....	80
ANEXO 53 Análisis de la propuesta 2.....	80
ANEXO 54 Estática estructural de la propuesta 2 .....	81
ANEXO 55 Cargas de la propuesta 2.....	82
ANEXO 56 Diagrama de fuerza 1 de la propuesta 2.....	82
ANEXO 57 Diagrama de fuerza 2 de la propuesta 2.....	83
ANEXO 58 Diagrama de fuerza 3 de la propuesta 2.....	83
ANEXO 59 Diagrama de fuerza 4 de la propuesta 2.....	84
ANEXO 60 Diagrama de fuerza 5 de la propuesta 2.....	84
ANEXO 61 Diagrama de fuerza 7 de la propuesta 2.....	85
ANEXO 62 Diagrama de fuerza 8 de la propuesta 2.....	85
ANEXO 63 Diagrama de fuerza 9 de la propuesta 2.....	86
ANEXO 64 Solución de la propuesta 2 .....	86
ANEXO 65 Información de la solución de la propuesta 2.....	87
ANEXO 66 Herramienta de simulación de la propuesta 2.....	87
ANEXO 67 Resultados de la propuesta 2 .....	88
ANEXO 68 Estrés directo de la propuesta 2.....	88
ANEXO 69 Tabla de estrés directo de la propuesta 2.....	89
ANEXO 70 Mínimo estrés combinado de la propuesta 2.....	89
ANEXO 71 Tabla de mínimo estrés combinado de la propuesta 2.....	89
ANEXO 72 Máximo estrés combinado total de la propuesta 2 .....	90
ANEXO 73 Tabla de máximo estrés combinado total de la propuesta 2 .....	90

ANEXO 74 Deformación total de la propuesta 2 .....	91
ANEXO 75 Tabla de deformación total de la propuesta 2 .....	91
ANEXO 76 Máximo estrés combinado 2 de la propuesta 2 .....	92
ANEXO 77 Tabla de máximo estrés combinado 2 de la propuesta 2.....	92
ANEXO 78 Datos del material de la propuesta 2 .....	92
ANEXO 79 Elasticidad Isotrópica de la propuesta 1.....	92
ANEXO 80 Geometría de la propuesta 3.....	93
ANEXO 81 Secciones cruzadas de la propuesta 3.....	94
ANEXO 82 HSSRound de secciones de la propuesta 3.....	94
ANEXO 83 Sistemas coordinados de la propuesta 3 .....	94
ANEXO 84 Malla de la propuesta 3.....	95
ANEXO 85 Controles de malla de la propuesta 3 .....	96
ANEXO 86 Análisis de la propuesta 3.....	96
ANEXO 87 Estática estructural de la propuesta 3 .....	97
ANEXO 88 Cargas de la propuesta 3.....	98
ANEXO 89 Diagrama de fuerza 1 de la propuesta 3 .....	98
ANEXO 90 Diagrama de fuerza 2 de la propuesta 3 .....	99
ANEXO 91 Diagrama de fuerza 3 de la propuesta 3 .....	99
ANEXO 92 Diagrama de fuerza 4 de la propuesta 3 .....	100
ANEXO 93 Diagrama de fuerza 5 de la propuesta 3 .....	100
ANEXO 94 Diagrama de fuerza 7 de la propuesta 3 .....	101
ANEXO 95 Diagrama de fuerza 8 de la propuesta 3 .....	101
ANEXO 96 Diagrama de fuerza 9 de la propuesta 3 .....	102
ANEXO 97 Solución de la propuesta 3 .....	102
ANEXO 98 Información de la solución de la propuesta 3 .....	103
ANEXO 99 Herramienta de simulación de la propuesta 3.....	103
ANEXO 100 Resultados de la propuesta 3 .....	104
ANEXO 101 Estrés directo de la propuesta 3.....	104
ANEXO 102 Tabla de estrés directo de la propuesta 3.....	105
ANEXO 103 Mínimo estrés combinado de la propuesta 3 .....	105
ANEXO 104 Tabla de mínimo estrés combinado de la propuesta 3.....	105
ANEXO 105 Máximo estrés combinado total de la propuesta 3.....	106
ANEXO 106 Tabla de máximo estrés combinado total de la propuesta 3 .....	106
ANEXO 107 Deformación total de la propuesta 3.....	107
ANEXO 108 Tabla de deformación total de la propuesta 3.....	107
ANEXO 109 Máximo estrés combinado 2 de la propuesta 3 .....	108
ANEXO 110 Tabla de máximo estrés combinado 2 de la propuesta 3.....	108
ANEXO 111 Datos del material de la propuesta 3.....	108
ANEXO 112 Elasticidad Isotrópica de la propuesta 3 .....	109

## RESUMEN

En la actualidad, se busca diseños mecánicos para optimizar los tiempos de mantenimiento y evitar paralizaciones por alguna rotura de los componentes de las estructuras metálicas, que pueden ocasionar por paralizaciones de emergencia que ocasionarían pérdidas monetarias; tal como señala la International Council on Mining and Metals (ICMM) en 2019 que estima que las pérdidas de producción medias por un fallo estructural en una planta concentradora de cobre pueden ascender a 10 millones de dólares. El presente estudio busca impactar en la reducción del costo del mantenimiento anual de infraestructura en la industria minera donde el promedio del costo global se sitúa entre los 100 y los 200 millones de dólares por mina, por ello el objetivo general fue optimizar la resistencia estructural de un extractor de cal, aplicando el método FEM en una mina de pasco - 2023. Mediante la aplicación de la norma alemana VDI 2221, que propone un modelo de diseño de productos, como resultado se diseñó una estructura para el soporte de cal con la capacidad de soportar 2 toneladas y en sus condiciones operacionales, con los perfiles w8x21 y w6x20 que presentan un mejor comportamiento para soportar cargas y esfuerzos. Se concluyo que el nuevo diseño cuenta con la capacidad de soportar las condiciones de trabajo del equipo, donde su esfuerzo máximo soportado en la simulación de elementos finitos es de 10.8 Mpa, estando dentro de los límites del permitido por el acero estructural A36.

Palabras clave: Método de elementos finitos; acero estructural; ANSYS; extractor de cal; resistencia de materiales.

# INTRODUCCIÓN

Cerro de Pasco es la región donde su economía está orientada mayormente en la minería de acuerdo con el INEI (Instituto peruano de economía, 2022), los sectores que más influyen en la economía de la región son minería que representa el 53.4% del PBI de la región, la agropecuaria 9.7%, construcción 5.5% y el comercio 5.0%. Sin embargo, el BCRP (Banco Central de Reserva del Perú, 2023) señala que la producción minera registró un resultado negativo en el año 2023, ya que decreció en 28,9% interanual, ante la reducción en la producción de cobre (-72,1%), zinc (-12,5 %), oro (-56,9 %) y plata (-16,7 %).

Como referencia se toma a la Sociedad Minera El Brocal, el cual explota dos minas contiguas: Tajo Norte, operación a tajo abierto que produce minerales de plata, plomo y zinc; y Marcapunta-Norte, mina subterránea que produce minerales de cobre. El mineral extraído se procesa en dos plantas concentradoras, que actualmente cuentan con una capacidad instalada de tratamiento de 18,000 toneladas métricas por día. El Brocal cuenta asimismo con toda la infraestructura asociada requerida, como centrales hidroeléctricas, subestaciones, talleres, almacenes, canchas de relaves, planta de tratamiento de aguas ácidas, viviendas y oficinas administrativas (Sociedad Minera El Brocal S.A.A., s.f.). Por tal motivo, el presente estudio tiene como objetivo general: Optimizar la resistencia estructural de un extractor de cal, aplicando el método FEM en una mina de pasco – 2023 y como objetivos específicos: Obtener los parámetros de diseño de la estructura del soporte del extractor de cal, hallar los esfuerzos y la deformación del diseño de la estructura propuesta mediante el método FEM, con la finalidad de proponer un nuevo diseño óptimo y elaborar los planos de construcción de la estructura del extractor de cal optimizada.

En el primer capítulo de la presente investigación, se realizó el planteamiento del problema, donde se analizó la problemática junto con las hipótesis y las variables que conllevan, que están relacionadas el método de elementos finitos. Por otro lado, en el capítulo 2, se presentó las bases teóricas que se abordaran en el presente estudio con la finalidad de tener un sustento científico y matemático de los temas que se abordaran. También se comenta de los estudios hechos antes, en ellos se analizan sus problemáticas y resultados. En el capítulo 3, se aplica la metodología y los parámetros que debe tener la investigación para tener resultados acorde a los objetivos planteados anteriormente, por tal

motivo se aplica un diagrama de flujo basado en el método VDI 2221. En el capítulo 4, se ordenan los parámetros obtenidos y se analizan los diferentes conceptos de solución obtenidos por la matriz morfológica, que fueron analizados en tablas de valorización para optar por el más adecuado. Finalmente, en el capítulo 5, se desarrolla el concepto de solución elegido. Además, realiza el análisis mediante el método de elementos finitos y su construcción.

Entre los meses de abril y mayo del 2020, la planta y la mina no llegaron a producir debido a la paralización de las actividades generadas por estado de emergencia establecidas por el gobierno peruano, como consecuencia los costos de producción no absorbidos aumentaron a un importe total de US\$10,216,000 (Sociedad Minera El Brocal S.A.A., 2021). Esto da a entender que, si se paraliza la operación, el costo por pérdida de producción puede llegar a ser un problema serio; en este sentido, hay muchas maneras en las que se puede generar paralizaciones o cuellos de botellas en proceso productivo y uno de ellos puede llegar a ser la falla estructural de algún equipo o componente mecánico, que interviene en la cadena de valor de procesamiento de mineral; ya sea, por un mal diseño o por no considerar variables específicas en la elaboración en este; por otro lado, la seguridad de los trabajadores estaría comprometida, llegando a ser catastrófica en el peor de los casos. Un claro ejemplo de ello es el accidente operacional donde colapsó una estructura del chancador primario en Chuquicamata (Tiempo Minero, 2022).

Por tal motivo, el presente trabajo de investigación planea diseñar una estructura de soporte para un extractor de cal que cumpla con las condiciones necesarias para un óptimo funcionamiento; con el fin de, evitar paradas de emergencia, accidentes que podrían llegar a ser fatales para los trabajadores y llegar a paralizar operaciones que pueden ser perjudiciales para la economía, tanto de las empresas locales como de la economía de región Pasco.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1 Planteamiento y formulación del problema

De acuerdo con McKinsey & Company (McKinsey & Company, 2021), el costo anual de mantenimiento de la infraestructura en la industria minera oscila entre 100 y 200 millones de dólares por mina. Este costo se compone principalmente de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.

En los últimos tres años, el precio del acero ha mostrado fluctuaciones (Capital.com, 2023). En 2021, el precio del acero BLC en EE. UU. tuvo una tendencia al alza, alcanzando un récord histórico de 1,725 dólares en septiembre de 2023. En 2022, los precios del acero BLC fueron volátiles y tendieron a la baja, llegando a 1,635 dólares por tonelada corta; en 2023, alcanzaron los 1,165 dólares.

El índice de costos de materiales del BCIS (Building Cost Information Service, 2022) aumentó a un ritmo sin precedentes, reflejando un continuo incremento en los costos de los materiales de construcción. En los meses de noviembre y abril, el índice de costos de materiales creció en más de un 20% en comparación al -1.1% correspondiente al mes de junio del 2020. El último caso registrado en el que la inflación de los costos de materiales tuvo un alza tan significativa fue en el año de 1980. A diferencia de la situación actual, el alza no se presentó de golpe, si no que se desarrolló de manera gradual. Según Price It Here (Price It Here, 2023), el costo promedio de mantenimiento de una estructura de acero corresponde a valores entre el 1% y 3% del costo de la estructura. El alza de costos de materiales y mantenimiento, a largo plazo, afectaría en mala forma la rentabilidad de los proyectos relacionados a estructuras metálicas.

Según el Instituto Peruano de Economía (Instituto peruano de economía , 2023) la economía peruana podría haber perdido alrededor de 700 mil millones de soles, lo cual es superior al PBI anual del país. Esto se debe al retraso de proyectos mineros debido a inconvenientes internos. El cese de operaciones en las 11 más grande unidades mineras entre los años 2021 y 2023 tuvo un impacto de 7,000 millones de soles que afectaron directamente al PBI nacional.

Además, la paralización de las operaciones en las 11 principales unidades mineras entre 2021 y 2023 tuvo un impacto económico de 7,000 millones de soles en el PBI nacional.

Es crucial que el diseño estructural de un equipo en el Perú cumpla con las normas internacionales y nacionales, ya que esto puede prevenir gastos imprevistos debido a factores no considerados en el diseño, como los movimientos sísmicos. Según Ramos (Ramos Chura, 2017), Perú se ubica en una zona de alta actividad sísmica y es parte del Cinturón de Fuego del Pacífico. Además de los factores externos y las condiciones de trabajo que afectan directamente al equipo, se deben considerar los costos del proyecto y los de mantenimiento a largo plazo.

El costo anual de mantenimiento en cuanto a infraestructura minera corresponde a una cantidad significativa capaz de afectar en gran manera los costos operativos de la mina en cuestión. Un adecuado diseño estructural permitiría a las empresas mineras ahorrar en costos de mantenimiento. Según McKinsey & Company, las empresas mineras que decidieron implementar un programa de diseño estructural eficaz tuvieron como resultado una disminución de costos por mantenimiento en un promedio de 20% (McKinsey & Company, 2021). En adición, las pérdidas de producción que conlleva las fallas por un mal diseño estructural de soporte de plantas concentradoras suelen ser significativas. Reforzando lo mencionado, el estudio realizado por la International Council on Mining and Metals (ICMM) (International Council on Mining and Metals, 2019) en 2019 da un estimado de 10 millones de dólares por pérdida de producción ante el caso mencionado.

El dinero no es el único factor relevante en cuanto a la implementación de diseño de estructuras de soporte. Las vidas humanas, el impacto ambiental y social, además del daño material se deben tener en consideración. En 2010 (Ministerio de Minería de Chile, 2010), una estructura de soporte falló y tuvo como resultado la muerte de 29 trabajadores. Otro caso similar, ocurrido en 2012 (Ministerio de Energía y Minas de Perú, 2012), una estructura colapsó en una planta concentradora de oro, provocando una pérdida de 14 millones de dólares en cuanto a producción. Como último caso por mencionar, en 2014 (Comisión Federal de Minería (COFEMI), 2014), en México se contaminó un río cercano por el fallo estructural de una estructura de soporte.

Como producto de lo mencionado hasta el momento, se tiene como objetivo de este trabajo diseñar una estructura capaz de soportar una extractora de cal que pueda cumplir

con las condiciones requeridas para su óptimo funcionamiento. Esto traerá como resultado evitar paradas de producción, lo cual se traduce como pérdidas de aproximadamente 10 millones de dólares (International Council on Mining and Metals , 2019) y accidentes con fatales humanos (Ministerio de Minería de Chile, 2010).

### 1.1.1 Problema general

¿Cómo optimizar la resistencia estructural de un extractor de cal, aplicando el método FEM en una mina de pasco - 2023?

### 1.1.2 Problemas específicos

¿Como se determinará los parámetros de diseño de la estructura del soporte del extractor de cal?

¿Cómo se obtendrá la deflexión y la deformación del diseño de la estructura propuesta mediante el método FEM?

¿Cómo elaborar los planos de construcción de la estructura del soporte de extractor de cal?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Optimizar la resistencia estructural de un extractor de cal, aplicando el método FEM en una mina de pasco - 2023. Se espera que la resistencia de la propuesta analizada alcance un mínimo de 10 MPa.

### 1.2.2 Objetivo específico

- Obtener los parámetros de diseño de la estructura del soporte del extractor de cal.
- Hallar los esfuerzos y la deformación del diseño de la estructura propuesta mediante el método FEM, con la finalidad de proponer un nuevo diseño optimo.
- Elaborar los planos de construcción de la estructura del extractor de cal optimizada.

### 1.3 Justificación e importancia

#### 1.3.1 Justificación por conveniencia

Optimizar el diseño estructural del extractor de cal, que soporta cargas críticas durante las operaciones metalúrgicas, asegurará la disponibilidad recomendada del equipo (Environment Agency, 1996) y prevendrá su deterioro prematuro. Esto se debe a que la vida útil de la estructura está directamente relacionada con su disponibilidad.

#### 1.3.2 Justificación por relevancia social

La seguridad de los trabajadores corresponde a un aspecto sumamente importante para las empresas (RECOBA, 2014). La implementación de un correcto diseño estructural para los soportes garantizaría que esta resista las adversidades ambientales y las distintas condiciones de trabajo, permitiendo a los trabajadores realizar sus actividades sin inconvenientes.

#### 1.3.3 Justificación por implicaciones practicas

Este trabajo de investigación se lleva a cabo para promover buenas prácticas de diseño para extractores de cal. No obstante, en muchos casos, estas estructuras no cumplen con los requisitos de las condiciones de trabajo de los equipos y las condiciones externas, lo que puede resultar en pérdidas económicas para la empresa debido a la disminución de la producción. De acuerdo al panorama actual (Capital.com, 2023), ha aumentado la dificultad de acceder a la financiación de proyectos. Esto no suele ser así para empresas que cuentan con gastos de capital y operativos bajos y procesos eficientes de metalurgia.

#### 1.3.4 Justificación por valor teórico

Se podrán analizar los esfuerzos resultantes de las cargas operacionales mediante el método de elementos finitos (Elias & Eduardo., 2009). Con lo aplicado se optimizará el diseño planteado y servirá como referente para futuros diseños de estructuras más confiables.

### 1.3.5 Justificación por utilidad metodológica

Este informe contribuirá a la investigación al innovar y optimizar el diseño estructural de los extractores de cal mediante la propuesta de una nueva metodología centrada en mejorar dicho diseño. Además, se busca aportar significativamente a la literatura relacionada con el diseño estructural de extractores de cal, brindando una nueva metodología que permita optimizar el diseño estructural. Como resultado, las empresas mineras reducirían costos, mejorarían la seguridad y aumentarían la eficiencia de sus operaciones.

### 1.3.6 Justificación empresarial

Se busca fomentar la buena praxis en cuanto a la realización de diseños estructurales de extractores de cal, esto debido a que gran parte las estructuras no cumplen con el requerimiento mínimo para soportar las condiciones de trabajo, tanto de los equipos como condiciones externas. Esto ocasionaría pérdidas económicas producto del cese de la producción. Un adecuado diseño estructural disminuiría el costo anual de mantenimiento de las infraestructuras entre 100 y 200 millones de dólares por cada mina (McKinsey & Company, 2021).

## 1.4 Limitaciones de la presente investigación

El alcance de este trabajo es diseñar una estructura para el extractor de cal que soporte un peso total de 2000 kg, que sea eficiente, cumpla con las condiciones operativas del equipo y garantice la seguridad de los trabajadores. No se considerará la base de la estructura de concreto, solo la estructura de acero. Todos los datos utilizados para la investigación se tomarán en base a una mina promedio de la zona de Cerro de Pasco

Además, se verificarán las complicaciones y problemas estructurales principales mediante el uso de la herramienta causa/efecto.

También, se identificará las principales complicaciones y problemas de la estructura haciendo uso de la herramienta causa/efecto. Para analizar el comportamiento del diseño final, se utilizarán elementos finitos en el software ANSYS, considerando variables como las condiciones y la capacidad de trabajo requeridas. Una vez aprobado el diseño final con

un factor de seguridad específico, se procederá a dibujar y elaborar los planos en el software Autodesk Advance Steel y, posteriormente, se realizará el análisis final de costos.

## 1.5 Delimitación de la investigación

Demográfica:

El modelo de base de la investigación corresponde a un soporte estructural de una mina de Cerro de Pasco



Figura 1. Cerro de Pasco. Fuente: Google Maps

Temporal:

La presente investigación será realizada durante el año 2023.

Conceptual:

El presente estudio tiene como finalidad optimizar el diseño estructural de un extractor de cal de 2000 kg.

## 1.6 Hipótesis y variables

### 1.6.1 Hipótesis general

Se optimizará la resistencia estructural de un extractor de cal de 2000 kg por medio del método FEM en una mina de cerro de pasco, año 2023

### 1.6.2 Hipótesis Especificas

- Se obtendrán los parámetros de diseño de la estructura del soporte del extractor de cal.
- Se hallará la deflexión y los esfuerzos del diseño de la estructura propuesta mediante el método FEM.
- Se elaborarán los planos de construcción de la estructura del extractor de cal optimizada.

### 1.7 Variables de la tesis

Se empleará una variable llamada dependiente para realizar la investigación que es la resistencia estructural del extractor de cal y la variable dependiente que es el método de elementos finidos es la que establece una inhibición entre ambas variables, tal como se detalla en la siguiente tabla.

**VARIABLE DEPENDIENTE:** RESISTENCIA ESTRUCTURAL

**VARIABLE INDEPENDIENTE:** MÉTODO FEM

Tabla 1. Operacionalización de variables

VARIABLE dependiente	DIMENSIÓN	INDICADOR	ITEMS	INSTRUMENTO
RESISTENCIA ESTRUCTURAL	Resistencia estructural	Forma de perfil de viga: Esfuerzo ( $\sigma = P/A$ )	Software Ansys	Observación
		Largo de viga: Esfuerzo ( $\sigma = P/A$ )		
	Parámetros de diseño	Rigidez: Módulo de elasticidad	Software Ansys	Observación
	Plano de construcción	Ancho y largo: Dimensión	Autocad	Observación
VARIABLE independiente	DIMENSIÓN	INDICADOR	ITEMS	INSTRUMENTO

MÉTODO FEM	Método de elementos finitos (FEM)	Deflexión: Desplazamiento de viga ( $y = -\frac{4S}{EI}$ )	Software Ansys	Observación
		Deformación unitaria: $\epsilon = -\frac{\Delta L}{L_0}$		

*Fuente:* Elaboración propia

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

En la investigación “Structural optimization of a wind turbine blade using a hybrid genetic algorithm and finite element method” de Zhang, Wang y Liu (Zhang, Wang, & Liu, 2023) realizada en el año de 2023 se tuvo como objetivo optimizar la resistencia estructural de una pala de turbina eólica mediante el uso del método de elementos finitos y un algoritmo híbrido genético. Se usó como metodología BEMT, la cual se utiliza para el diseño aerodinámico inicial de la pala. El diseño de la estructura de la pala fue realizado mediante el número optimizado de capas. La optimización del diseño de las secciones de la pala y su evaluación estructural se realizaron mediante el criterio de falla de Puck. Producto de los métodos mencionados, el algoritmo híbrido genético permitió encontrar una propuesta que mejoraría la resistencia estructural del cuerpo analizado en un 15%. De la investigación se concluyó que tanto el método de FEM y los algoritmos híbridos genéticos podrían ser usados para aumentar la resistencia estructural de estructuras complejas.

En el mismo año de la investigación anterior, Li, Zhang y Li (Li, Zhang, & Li, 2023) presentaron la investigación “Optimization of the structural performance of a high-rise building using a combined genetic algorithm and finite element method”. Esta ocasión se examinó el rendimiento estructural de un edificio de gran altura con la finalidad de optimizarlo. Para ello se usó el método de elementos finitos y algoritmos genéticos combinados. Se combinaron las técnicas FEM y AG como metodología. Se descubrió que el rendimiento estructural del edificio analizado podría aumentar en un 10%. Se llegó a la conclusión de que la propuesta de los investigadores permitiría la optimización de la estructura de un rascacielos al reducir el peso de la estructura o aumentar su resistencia a deformaciones y vibraciones. Sin importar la complejidad del problema o la cantidad de variables que se presenten, los métodos utilizados en la investigación permiten a un proceso de optimización encontrar soluciones apropiadas a la problemática planteada.

En el año 2023, Zhao, Chen y Wang (Zhao, Chen, & Wang, 2023) en su investigación “Structural optimization of a bridge using a non-dominated sorting genetic algorithm and finite element method” buscaban optimizar la resistencia de la estructura de un puente mediante el uso del método de FEM y un algoritmo genético de clasificación no dominada. Se utilizó la discretización de la geometría del puente y las cargas aplicadas del puente como metodología. El algoritmo mencionado anteriormente encontró una solución ideal que permitió aumentar la resistencia estructural del puente en un 15%. Se encontró que la optimización estructural de puentes mediante FEM y algoritmos genéticos de clasificación no dominada son herramientas efectivas capaces de lograr el objetivo de la investigación. El peso, la resistencia y las deformaciones se utilizaron para evaluar el rendimiento estructural del puente examinado.

En la investigación realizada el 2023 por Han, Wang y Li (Han, Wang, & Li, 2023), “Structural optimization of a ship using a multi-objective genetic algorithm and finite element method”, se tuvo como objetivo optimizar la resistencia estructural de un barco mediante el método de elementos finitos y el uso de un algoritmo genético multiobjetivo. Como metodología de la investigación se aplicó el modelado, el análisis del método de elementos finitos y las cargas aplicadas al barco. Los investigadores obtuvieron que es posible disminuir el peso del buque en un 10% sin afectar su resistencia estructural. Las resistencias del barco frente a cargas dinámicas y estáticas aumentaron un 10% y 5% respectivamente. En cuanto a las tensiones de la estructura del buque, esta se redujo en un 15%. De la investigación se concluyó que la optimización estructural de buques mediante los métodos mencionados comprende una herramienta eficaz que permite mejorar el rendimiento estructural de los buques en términos de peso, resistencia, estabilidad y vibraciones.

Brown et al. (Brown, 2021) en su investigación “Structural Integrity Optimization of Lime Extractors using FEM in Australian Mines” (2021), se aplicó el método de elementos finitos (FEM) para optimizar la integridad estructural de extractores de cal en las minas australianas. Como metodología se desarrollaron modelos de elementos finitos a detalle, los cuales permitieron simular las distintas condiciones operativas y cargas involucradas. Los resultados de la investigación mostraron que el uso del método de elementos finitos permite detectar los posibles puntos de fallo en la estructura. Esos datos permitirán mejorar en gran medida el diseño de los extractores, prolongando su vida útil y garantizando un

funcionamiento más seguro. En base a la investigación se concluye que la implementación del FEM es primordial para garantizar un diseño óptimo y correctos mantenimientos de equipos de minería de alta eficiencia y seguridad.

El estudio titulado "Finite Element Analysis for Structural Enhancement in Coal Mines: A Case Study from China" por Li et al. (2020) abordó la utilización del método de elementos finitos (FEM) para mejorar la resistencia estructural de equipos en minas de carbón en China (Li X. W., 2020). Se planteó como metodología realizar el modelado y simular la estructura bajo distintos parámetros de carga y estrés. Se observó que los resultados de la metodología aplicada mostraban las áreas críticas productos del esfuerzo estructural. En respuesta a dichos esfuerzos se implementó mejoras a fin de reducir fallos mecánicos. Se concluye que el FEM es una herramienta poderosa para la optimización de la resistencia estructural, contribuyendo a la seguridad y eficiencia operativa en la minería subterránea.

### 2.1.2 Antecedentes nacionales

Pérez, López y Pérez (Pérez, 2022) en su trabajo de estudio realizado el año 2022 "Optimización de la resistencia estructural de un extractor de cal mediante el uso de materiales compuestos. Ingeniería, investigación y tecnología", se evaluó el uso de materiales compuestos para mejorar la resistencia estructural de un extractor de cal. Como metodología se aplicó el método de elementos finitos y se consideró dos casos, uno con la estructura del extractor de cal original y otra reforzada con materiales compuestos de fibra de carbono. La metodología contempló 4 fases: definir el problema, modelado del extractor de cal mediante el uso del MEF, implementación de un algoritmo de optimización y análisis de resultados. Se obtuvo que la resistencia de la estructura del extractor de cal mediante el uso de materiales compuestos puede mejorar el rendimiento del cuerpo analizado. Esto permite disminuir el peso, aumentar la resistencia y aumentar la rigidez de los extractores de cal.

Quiroz, Aguilar y Vásquez (Quiroz, 2021) en su investigación "Optimización de la resistencia estructural de un extractor de cal mediante el uso de una estructura de celosía." En el año 2021. Teniendo como objetivo de evaluar el efecto del uso de una estructura de

celosía en la resistencia estructural de un extractor de cal. La metodología utilizada en la investigación consta de cuatro fases: definición del problema, modelado del extractor de cal utilizando el método de elementos finitos (MEF), implementación del algoritmo de optimización y análisis de los resultados para encontrar las soluciones óptimas. Del estudio se obtuvo una estructura de celosía óptima capaz de reducir en un 30% el peso del extractor de cal sin afectar su resistencia. El diseño optimizado pudo distribuir mejor las cargas y tensiones, confiriendo de una mayor rigidez y estabilidad a la estructura. Se concluye que la aplicación de estructuras de celosía puede optimizar de manera eficaz la resistencia estructural de los extractores de cal en el Perú.

Sánchez, Huamaní y Mendoza (Sánchez, 2020) en el estudio “Optimización de la resistencia estructural de un extractor de cal mediante el uso de un sistema de refuerzo externo. Revista de investigación e innovación tecnológica”, en el año 2020 con el objetivo de analizar el impacto del uso de un sistema de refuerzo externo en la resistencia estructural de un extractor de cal utilizando la metodología FEM. La investigación utiliza el método de elementos finitos (MEF) para modelar el extractor de cal, implementar el algoritmo de optimización y analizar los resultados para encontrar soluciones óptimas. Como resultados de la investigación se obtuvo un sistema de refuerzo externo que redujo el peso del extractor de cal en un 25% sin afectar su resistencia estructural. En conclusión, el uso de sistemas de refuerzo externo son una herramienta que permite optimizar la resistencia estructural de los extractores de cal. La metodología propuesta permite reducir el peso, aumentar la resistencia y la rigidez de la estructura. Hay que recalcar que la investigación considera solo cargas estáticas, sin embargo, los extractores de cal están sometidos a cargas dinámicas. Se recomienda realizar estudios que complementen lo analizado, considerando cargas dinámicas.

Palomino (Nicolas, 2022) en su tesis “Diseño estructural de una nave industrial fabricado con perfiles conformado en frío bajo la norma AISI COLD STEEL FORMED para carga de cinco toneladas en la provincia constitucional del Callao” hecha en el año 2022. Con el objetivo de diseñar estructuralmente una nave industrial fabricado con perfiles conformado en frío bajo la norma AISI COLD STEEL FORMED para carga de cinco toneladas en la provincia constitucional del Callao es determinar la estructura óptima que cumpla con los requisitos de diseño, proporcionando la resistencia y rigidez necesarias para soportar las cargas aplicadas. La investigación se lleva a cabo en cuatro pasos:

definición del problema, modelado de un barco industrial utilizando el método de elementos finitos (MEF), implementación estructural del MEF y análisis de los resultados. A partir de la investigación se obtuvo que el diseño estructural propuesto consta de una estructura de pórticos en dos direcciones, además de un sistema de arriostramiento en diagonal que proporciona rigidez. Los pórticos están compuestos por perfiles de acero AISI C1020 cromados en frío, con secciones transversales IPN y UPN. Las dimensiones de los perfiles fueron determinados por medio del análisis estructural aplicado con el método de elementos finitos. En esta se consideró cargas aplicadas y los requisitos de diseño planteados en la investigación. Se concluye que el diseño propuesto refiere a una solución eficaz para la construcción de naves industriales en la provincia constitucional del Callao.

En el estudio realizado por Jiménez et al (Jiménez, 2021). “Optimización de la resistencia de materiales en estructuras mineras mediante el método FEM: Aplicación en minas peruanas” publicado el año 2021. Se evidencia el uso del método de elementos finitos para evaluar y optimizar la resistencia de las estructuras mineras subterráneas en el Perú. Para ello se planteó modelos tridimensionales detallados de las estructuras a analizar mediante el uso de software especializado. Se obtuvo que mediante el método de elementos finitos se puede identificar las secciones con mayor estrés y deformación. Los puntos mencionados mejoraron y optimizaron el diseño de la estructura, lo que aumentó la seguridad estructural. El estudio concluye que el método de elementos finitos puede mejorar la resistencia de una estructura, lo que reduce los costos operativos y los riesgos de fallas estructurales.

Martínez y Sánchez (Martínez, 2023) en el estudio titulado “Evaluación de la resistencia estructural de extractores de mineral mediante el método de elementos finitos en la mina Las Bambas”, en el año 2023 se propuso el análisis y mejora de la resistencia estructural de extractores de mineral en la mina Las Bambas. Se desarrolló un modelo tridimensional de los extractores de minerales como método. Se utilizó software especializado en análisis estructural para simular diversas condiciones de carga y operatividad sobre el modelo. Se demostró que el método de elementos finitos puede identificar los puntos más susceptibles a fallas estructurales. Los datos recopilados permitieron ejecutar sugerencias para mejorar el diseño y elegir el material adecuado para modificar la estructura. La conclusión principal fue que el uso del MEF no solo permitió optimizar la resistencia estructural de los extractores, sino que también mejoró la seguridad

y la eficiencia operativa, disminuyendo el número de incidentes de fallas mecánicas y prolongando la vida útil de los equipos involucrados.

### 2.1.3 Antecedentes locales o regionales

Estrada y Diaz en su investigación realizada en el año 2019, “Análisis y diseño estructural de una nave industrial con puente grúa en el distrito de Talara” (Estrada Salvador Ramirez, 2019), se tuvo como objetivo determinar el diseño óptimo de los elementos estructurales de una nave industrial. Esto se realizó usando las características mecánicas y geométricas del puente grúa, además de aligerar la estructura y aumentar su resistencia frente a cargas estáticas. Las variables de diseño utilizadas fueron: dimensiones de las columnas, vigas y pilares. La metodología utilizada consta de 3 fases, definir el problema, modelar la nave mediante el método de elementos finitos y la implementación de un algoritmo genético no dominado. Los resultados mostraron un diseño el cual presentaba una reducción en su peso en un 10%, manteniendo su resistencia original. Además, el diseño propuesto presentó una mejor distribución de cargas y tensiones, confiriendo una mayor rigidez y estabilidad a la estructura. Del estudio se concluye que el uso de algoritmos genéticos y el método de elementos finitos para optimizar la estructura de naves industriales conllevan a una herramienta útil capaz de mejorar el rendimiento del cuerpo analizado en términos de peso, rigidez y resistencia.

Flores (Victor, 2020) en su estudio “Diseño de pórtico estructural para puente grúa de 16Tn de capacidad para movimiento de materiales y equipos” del año 2020, con el objetivo de diseñar una grúa pórtico para la carga y descarga de materiales y equipos con una capacidad de 10 toneladas en la empresa SMELTINGINGENIEROS SAC, diseñó un pórtico estructural en donde aplica la metodología LRFD AISC/ANSI 360, en donde recomiendan utilizar esta metodología; con el fin de, diseñar una estructura con un peso aligerado. La metodología propuesta consta de 3 fases: definición del problema, modelado del pórtico usando el método de elementos finitos (MEF) y análisis estructural con el MEF. Se obtuvo que el uso de materiales ligeros como el acero galvanizado permiten reducir el peso del pórtico. Cabe recalcar que una estructura eficiente es capaz de reducir el peso sin comprometer su resistencia. Por otro lado, el uso de materiales fuertes como el acero de alta resistencia pueden aumentar la resistencia del pórtico. En este caso, un correcto diseño

estructural permitiría distribuir las cargas de manera eficiente, disminuyendo las tensiones en la estructura. Se concluye que el uso de algoritmos para optimizar estructuras es capaz de encontrar diseños que cumplan con lo planteado de manera eficiente. Los resultados del diseño varían según los objetivos de diseño y variables seleccionadas.

Farfán (Jose, 2019) en su estudio “Análisis y diseño de una nave industrial con un puente grúa de 60 TN, Ubicada en la Joya-Arequipa” hecha en el año 2019. Con el objetivo de determinar el diseño estructural óptimo para una nave industrial con un puente grúa de 60 toneladas de capacidad. Se impuso como requisitos del diseño factores como la resistencia, rigidez y eficiencia. La metodología utilizada consta de 4 fases, definición del problema, modelado con el método de elementos finitos, análisis estructural con el método planteado y diseño de la cimentación. El estudio permitió hallar el diseño estructural más adecuado para la nave industrial. Este cumple con los requisitos de diseño, además, proporciona la rigidez y resistencia necesarios para soportar las cargas con las cuales interactúa. Como diseño se planteó una estructura de pórticos en dos direcciones, la cual cuenta con un sistema de arriostramiento diagonal para brindar rigidez. Los pórticos están elaborados por perfiles de acero en frío AISI C1020; las secciones transversales, por perfiles IPN y UPN. Las dimensiones fueron determinadas por medio de un análisis estructural realizado mediante el método de elementos finitos, para el cual se consideró las cargas aplicadas y los requisitos de diseño. Se concluye que el uso de perfiles formados en frío conlleva a una solución óptima para el diseño de naves industriales. Estos perfiles suelen ser más ligeros y económicos que los perfiles laminados en caliente. El sistema de arriostramiento diagonal brinda una resistencia al pandeo lateral de los pórticos, haciéndolos más resistentes frente a las cargas laterales.

Además, se explicará cómo ingresar valores al software Rocky DEM y cómo validar la simulación comparando los resultados del caso base. También se explicará el proceso de calibración en caso de que la validación de la simulación no cumpla con las expectativas.

## 2.2 Bases teóricas definición conceptual de las variables/dimensiones

Tabla 2. Bases teóricas definición conceptual de las variables/dimensiones

<b>VARIABLE dependiente</b>	<b>Definición</b>	<b>Autor</b>
Resistencia estructural	La capacidad de una estructura para resistir las cargas sin causar daños estructurales. Los materiales utilizados, el diseño de la estructura y las condiciones ambientales son factores que afectan la resistencia estructural.	(Francisco J. Rubio y José A. Domínguez, 2022)
Parámetros de diseño	valores utilizados para establecer el diseño de una estructura. Las dimensiones de la estructura, los materiales utilizados, las cargas a las que será sometida la estructura y las condiciones ambientales pueden ser parte de estos parámetros.	(Domínguez M. J., 2021)
Plano de construcción	Representación gráfica de un proyecto de construcción. Los ingenieros, arquitectos y constructores utilizan planos de construcción para planificar, diseñar y construir estructuras.	(Domínguez J. A., 2022)
<b>VARIABLE independiente</b>	<b>Dimensión</b>	<b>INDICADOR</b>
Método de elementos finitos (FEM)	Método numérico general para aproximar soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy complejas utilizado en diversos problemas de ingeniería física. El MEF divide un cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones diferenciales débiles o integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema en un número elevado de subdominios no intersecantes entre sí para obtener una solución numérica aproximada.	(Gómez, 2022)

*Fuente:* (Francisco J. Rubio y José A. Domínguez, 2022) (Domínguez M. J., 2021) (Domínguez J. A., 2022) (Gómez, 2022)

## 2.3 Enfoques teóricos:

### OPTIMIZACIÓN DE LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL DE UN EXTRACTOR DE CAL EN UNA MINA DE PASCO – 2023 MEDIANTE EL MÉTODO FEM

#### 2.3.1 Unidad de análisis:

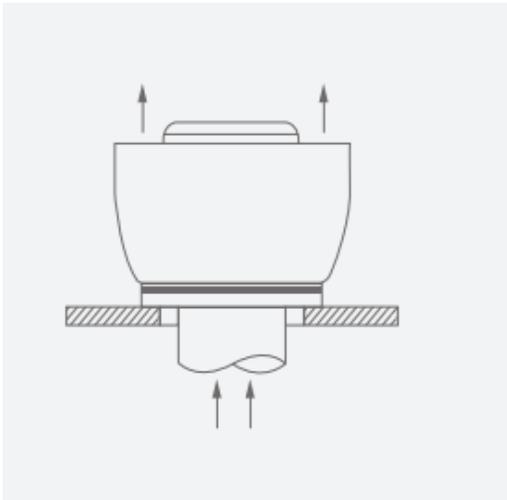
La unidad de análisis de este trabajo de investigación es un extractor de cal en una mina de Pasco. El extractor de cal es una estructura metálica que transporta cal viva desde la planta de producción hasta el área de almacenamiento. El extractor de cal está sujeto a cargas de peso propio, cargas de viento y cargas vivas.

#### 2.3.2 Objeto de estudio:

Se tiene como objeto de estudio la resistencia estructural del extractor de cal. Se entiende como resistencia estructural a la capacidad de una estructura de soportar cargas sin sufrir daños estructurales.

## 2.4 Bases teóricas

Los extractores son ventiladores con la boca de aspiración conectada a un conducto y la boca de descarga desconectada a un espacio libre (Victor, 2020). Como se muestra en



la

Figura , su función es transferir aire entre dos espacios de cara de pared a otro.

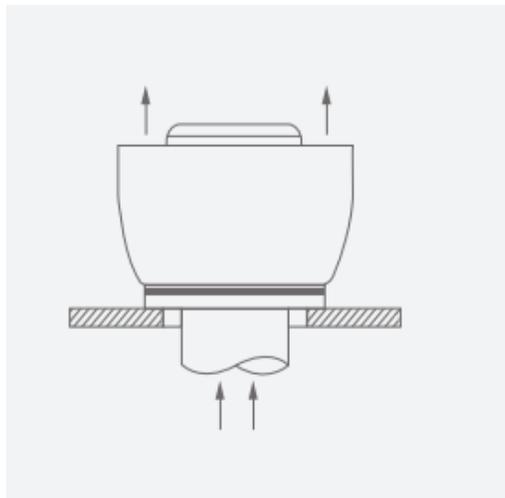


Figura 2. Extractor de cal .Fuerte: Flores Cayllahua (Victor, 2020)

2.4.1 Conocer los tipos de extractores que existen es crucial porque nos brinda una visión más completa del problema al cual se está enfrentando. De acuerdo con la presión del ventilador, las condiciones de funcionamiento y su función, existen varios tipos de extractores; sin embargo, cada uno tiene una característica única que lo identifica como tal y tiene un uso específico.

#### 2.4.2 Extractores según su función

- Extractores con envolvente: Presenta forma tubular, lo que le da el nombre de tubulares. Además, tienen como objetivo transferir aire dentro de un ducto.
- Extractores murales: Sirven para transferir aire de un lado de la pared a otro.

#### 2.4.3 Extractores según la trayectoria del aire en el ventilador

- Extractores centrífugos: El aire ingresa al rodete con una trayectoria axial y sale con una perpendicular.
- Extractores axiales: El aire ingresa y sale del ventilador a través de superficies cilíndricas coaxiales desde la hélice.

#### 2.4.4 Extractores según la presión del ventilador

- Extractores de baja presión: Cuando la presión del ventilador es inferior a 72 mm c.d.a.
- Extractores de mediana presión: Cuando la presión del ventilador está entre 72 y 360 mm c.d.a.
- Extractores de alta presión: Cuando la presión del ventilador es superior a 360 mm c.d.a.

### 2.5 Marco conceptual.

#### 2.5.1 Diseño estructural

Un diseño estructural (BuildSoft, 2023) es una geometría definida que sirve para dar soporte al equipo. Esta geometría debe tener características que permitan que el equipo

funcione correctamente y debe tener la capacidad de resistir vientos, condiciones ambientales, sismos, etc. Por lo tanto, los materiales y los tipos de sección transversal deben seleccionarse correctamente.

El hormigón armado, el acero, la madera, el aluminio, las membranas textiles y otros materiales son todos utilizados en estructuras, pero el acero es el material más resistente a las cargas.

#### 2.5.1.1 Aceros estructurales

Los aceros están disponibles en una amplia gama y tienen diferentes composiciones químicas (YENA Engineering , 2022), lo que los hace específicos para ciertos campos de aplicación. Entre ellos se encuentran los aceros estructurales, que tienen una alta resistencia que les permite ser soldados, una alta ductilidad y resistencia a la corrosión en condiciones normales.

Existen aceros estructurales estandarizados por la ASTM (Asociación Española para la Calidad , 2019) en función de su composición química y límite de fluencia. Este punto es crucial tener en cuenta porque la elección del material a utilizar tiene un impacto significativo en la capacidad de la estructura para resistir sismos, cargas y condiciones ambientales.

#### 2.5.1.2 Características de los aceros estructurales.

Los aceros estructurales más usados y comerciales en el territorio peruano son:

- ASTM A-36: Es un tipo de acero que se puede encontrar en una amplia gama de perfiles estructurales laminados en caliente. Su esfuerzo a la fluencia es de 250 MPa o 36 Ksi y tiene una buena soldabilidad.
- ASTM A-992: Solo se encuentra en perfiles W y se usa en la construcción de edificios. Su esfuerzo de fluencia es de 354 MPa o 50 Ksi.
- ASTM A-53: Se pueden encontrar secciones con soldadura por resistencia (E) y secciones sin costura (S). Presenta esfuerzos de fluencia y resistencia en tensión de 35 y 50 Ksi respectivamente.

- ASTM A-500: Se puede encontrar en tubos de sección hueca HSS que se forman en frío. Presenta un esfuerzo a la fluencia de 46 y 58 Ksi, respectivamente, y 405 MPa.
- ASTM A-501: Este tipo de acero se puede encontrar en tubos con secciones circulares, cuadradas y rectangulares. Es similar al acero ASTM A-36.
- Como se muestra en la Figura , varios aceros estructurales tienen diferentes propiedades mecánicas, comportamientos de esfuerzo y deformación, siendo el acero A36 el que mejor desempeña, según lo que se busca en este estudio. Además, se debe considerar su límite elástico y plástico, la disponibilidad en el mercado y el precio para el diseño de la estructura del trabajo de investigación actual.

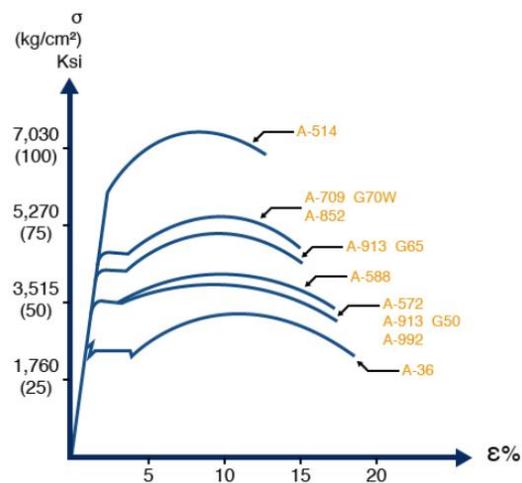


Figura 3. Gráfica de esfuerzo – deformación para varios grados de acero estructural  
Fuente: ¿Qué es la Norma ASTM? (Aceros Crea, 2021)

### 2.5.1.3 Perfiles estructurales



La Figura muestra una variedad de perfiles o secciones transversales de aceros estructurales que, dependiendo del perfil con el que se trabaje, tienen la capacidad de soportar cargas y tipos específicos. Los siguientes son los más utilizados:

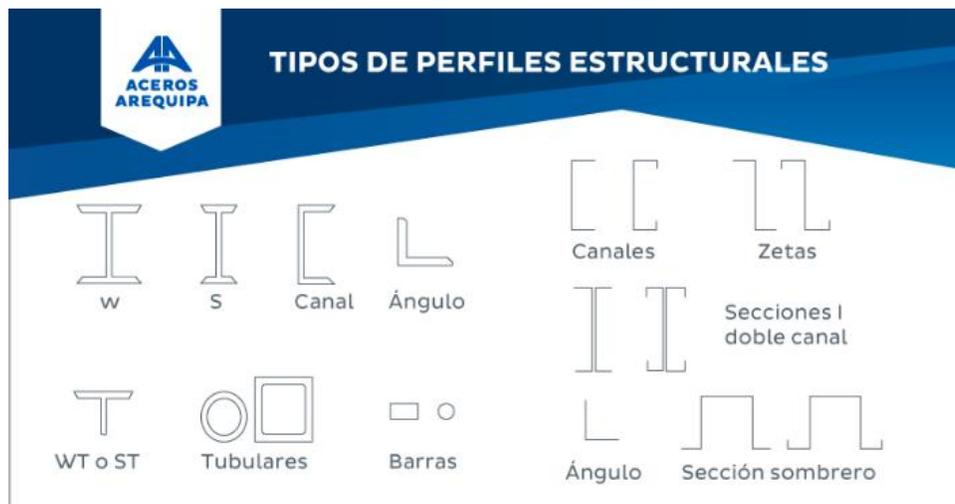


Figura 4. Perfiles de acero estructural. Fuente: Tipos de perfiles estructurales y tipos de estructuras de acero. (Aceros Arequipa, 2022)

- Perfiles IPR: Son responsables de transportar la carga hacia las columnas, que luego llega a sus bases y al suelo. Presentan una alta soldabilidad y un alto límite elástico.

- Perfiles IPS: Este perfil I estándar se usa para construir bóvedas caseras; a diferencia de los perfiles IPR, es más ligero, lo que puede reducir significativamente el peso de algunas estructuras si se tienen en cuenta.
- Perfil o canal U: El canal, también conocido como perfil U, es comúnmente usado para construir puentes, estructuras arquitectónicas, fabricación de vehículos y otras estructuras industriales.
- Perfil PTR: Es un perfil tubular rectangular o cuadrado hueco, y uno de sus beneficios es que se pueden armar fácilmente.
- Perfil angular: Este tipo de perfil es resistente a los esfuerzos dinámicos y se utiliza para construir soportes, marcos, barras empalme y muebles.

#### 2.5.1.4 Condiciones ambientales y corrosión

Una consideración crucial a tener en cuenta es la corrosión de los aceros, que puede comprometer el funcionamiento del equipo porque sus propiedades químicas se alteran y destruir el metal. La corrosión es causada por las condiciones químicas y atmosféricas en las que se encuentra el equipo (BARDAHL, s.f.). Para proteger el material, se deben aplicar tratamientos al acero o recubrimientos, uno de los cuales es el galvanizado.

#### 2.5.2 Fuerzas y esfuerzos mecánicos

2.5.3 Una estructura está destinada a soportar un esfuerzo estático y una carga distribuida o puntual a lo largo del soporte, por lo que es necesario realizar un análisis adecuado de estos factores. Por lo tanto, se necesita trabajar con los materiales para seleccionar correctamente estos factores (Beer J. D., 2020).

##### 2.5.3.1 Esfuerzo estático

Las cargas estáticas estacionales, ya sean fuerzas o momentos, son la causa de este fenómeno. Al considerar la condición de equilibrio, se obtiene lo siguiente:

$$\sum F = 0 \quad (2.1)$$

$$\sum M = 0 \quad (2.2)$$

Los esfuerzos cortantes y normales que se generan en la sección transversal de las estructuras se producen al existir cargas y momentos, donde el momento de inercia es crucial para calcularlos.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2.4)$$

$$\sigma_x = \frac{My}{I} \quad (2.5)$$

$$I = \int y^2 dA \quad (2.6)$$

Donde:

F: Fuerza

A: Sección transversal

$\sigma$ : Esfuerzo normal

$\tau$ : Esfuerzo cortante

V: Fuerza cortante

$\sigma_x$ : Esfuerzo en flexión

M: Momento flector

y: Distancia hacia el eje neutro

También, es importante conocer los momentos de inercia de los principales, los cuales se muestran en la Figura 5., y serán muy importantes para realizar los cálculos de esfuerzos flectores en los siguientes capítulos.

Rectangle		$\bar{I}_x = \frac{1}{12} bh^3$ $\bar{I}_y = \frac{1}{12} b^3 h$ $I_x = \frac{1}{3} bh^3$ $I_y = \frac{1}{3} b^3 h$ $J_C = \frac{1}{12} bh(b^2 + h^2)$	Semicircle		$I_x = I_y = \frac{1}{8} \pi r^4$ $J_O = \frac{1}{4} \pi r^4$
Triangle		$\bar{I}_x = \frac{1}{36} bh^3$ $I_x = \frac{1}{12} bh^3$	Quarter circle		$I_x = I_y = \frac{1}{16} \pi r^4$ $J_O = \frac{1}{8} \pi r^4$
Circle		$\bar{I}_x = \bar{I}_y = \frac{1}{4} \pi r^4$ $J_O = \frac{1}{2} \pi r^4$	Ellipse		$\bar{I}_x = \frac{1}{4} \pi a b^3$ $\bar{I}_y = \frac{1}{4} \pi a^3 b$ $J_O = \frac{1}{4} \pi a b (a^2 + b^2)$

Figura 5. Momentos de inercia de algunas secciones. Fuente: Mecánica De Materiales (Beer J. D., 2020)

#### 2.5.4 Columnas

La teoría de las columnas debe estar presente en el diseño porque el diseño debe tener en cuenta los elementos que están sometidos a cargas axiales, que son las columnas de una estructura. Para lograrlo, se debe calcular la carga crítica (2.7), que indica la carga máxima que el elemento puede soportar antes de fallar; también se debe conocer el esfuerzo crítico (2.8), que es crucial al seleccionar el acero o material correspondiente y debe ser menor al esfuerzo de fluencia. Además, se debe calcular la relación de esbeltez

como se muestra en (2.9) y (2.10). Esto con el fin de verificar un correcto análisis de la estructura.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{4 \cdot L^2} \quad (2.7)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(L/r)^2} \quad (2.8)$$

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{L}{r} \quad (2.9)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2.10)$$

Donde:

$P_{cr}$ : Carga crítica

$\sigma_{cr}$ : Esfuerzo crítico

$E$ : Módulo elástico

$L$ : Longitud de columna

$r$ : Radio de curvatura

### 2.5.5 Soldadura

La soldadura es responsable de unir dos miembros de una estructura, si no se realiza correctamente, la estructura puede caer. Esto resultaría en fallas en las uniones soldadas. Además, hay estándares que se deben cumplir para realizar una soldadura correcta, como el código AWS D1.1, que especifica los requerimientos, pasos y cálculos para realizar una soldadura correcta para aceros estructurales (AWS, 199).

#### 2.5.5.1 Electrodo para unión de soldadura

La elección del electrodo adecuado para soldar dependerá de la resistencia que debe soportar la estructura frente a las cargas que se le aplicarán. Como se muestra en la Figura , hay una amplia gama de electrodos con un código EXXYY, donde la letra E representa el prefijo del electrodo, los 2 o 3 números indican la resistencia al voltaje y el último número indica la técnica de soldadura, así como la técnica de corriente. Es importante tener en cuenta que la resistencia a la tensión de las uniones de la estructura debe ser menor que la resistencia a la tensión de la soldadura.

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Figura 6. Tipos de electrodos. Fuente: MECÁNICA VECTORIAL PARA INGENIEROS (Beer, Johnston, Mazurek, & Eisenberg, 2010)

#### 2.5.5.2 Resistencia de uniones soldadas

El esfuerzo promedio en el que está sometida una soldadura se muestra en (2.11) y el esfuerzo normal se muestra en (2.12); asimismo, en la Figura se muestran todas las variables que intervienen el cálculo de estos.

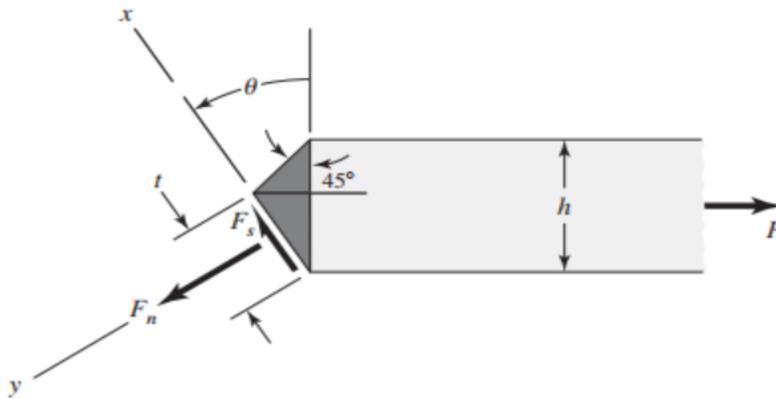


Figura 7. Acciones de fuerzas en soldadura. Fuente: MECÁNICA VECTORIAL PARA INGENIEROS (Beer, Johnston, Mazurek, & Eisenberg, 2010)

$$\tau = \frac{F}{hl} \cdot (\sin \theta \cdot \cos \theta + \sin^2 \theta) \quad (2.11)$$

$$\sigma = \frac{F}{hl} \cdot (\cos^2 \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta) \quad (2.12)$$

### 2.5.5.3 Tipos de soldadura

La Figura. muestra los tipos de soldadura más utilizados por los soldadores, destacando la soldadura por filete. El tipo de ranura también depende de los miembros que se soldarán, como una ranura cuadrada, v, bisel, etc.

Tipo de soldadura							
Cordón	Filete	Tapón o muesca	Ranura				
			Cuadrada	V	Bisel	U	J

Figura.8. Tipos de soldadura. Fuente: Mecánica vectorial para ingenieros (Beer, Johnston, Mazurek, & Eisenberg, 2010)

#### 2.5.5.4 Simbología de soldadura

Las soldaduras deben especificarse con precisión en los planos y tener la simbología adecuada porque le permitirá al soldador comprender las longitudes de soldadura, las especificaciones, el acabado y el contorno, tal como se muestra en la Figura. La AWS también ha estandarizado estas simbologías.

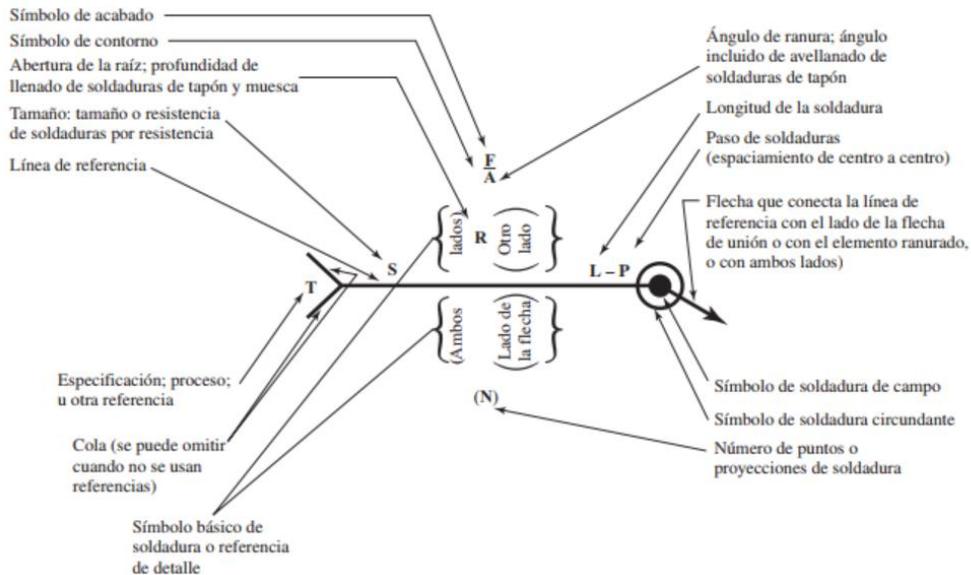


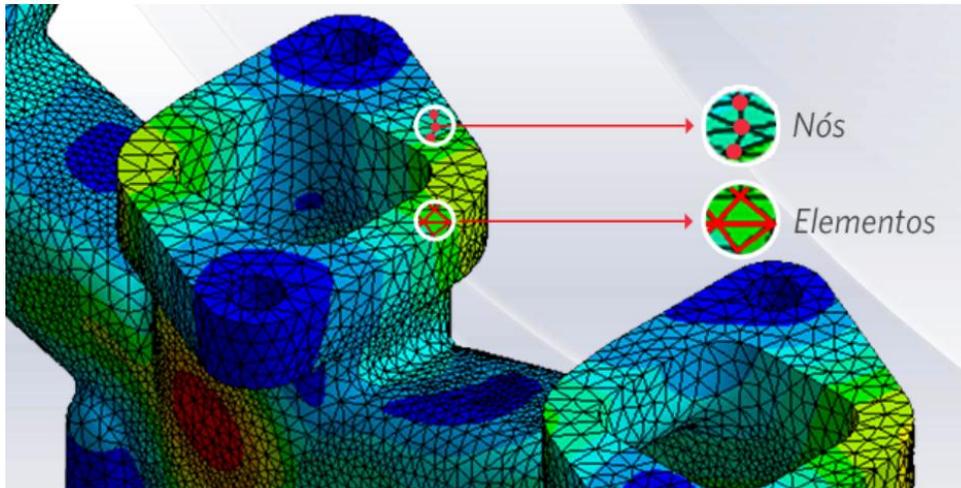
Figura.9. Simbología de soldadura. Fuente: MECÁNICA VECTORIAL PARA (Beer, Johnston, Mazurek, & Eisenberg, 2010)

#### 2.5.6 Análisis por elementos finitos

Antes de implementar el diseño en el mundo real, es posible realizar una simulación con las condiciones reales en las que funcionará el componente. Existe una amplia gama de programas informáticos que emplean elementos finitos para lograrlo, pero su principio de funcionamiento es idéntico.

El método permite a la computadora completar las tareas dividiendo la geometría en partes más pequeñas conocidas como "elementos". Este método también propone definir los elementos con una forma específica, como un triángulo, un cuadrado, etc. Estos elementos se conectan entre sí por puntos llamados nodos o puntos nodales, como se muestra en la Figura y el conjunto de estos nodos se conoce como "malla". La precisión del método de elementos finitos depende de la cantidad de nodos y elementos, el tamaño

y los tipos de elementos de la malla. Por lo tanto, los resultados del análisis serán más precisos si el tamaño es menor y mayor el número de elementos de la malla (24).



*Figura 10.* Subgrupos de geometría en elementos finitos  
Fuente: Mirlisenna Giuseppe (Mirlisenna, 2016)

# CAPÍTULO III METODOLOGÍA

## 2.6 Tipo y diseño de la investigación

El presente trabajo se enfoca en la investigación tecnológica, ya que, según Casaño (De La Cruz Casaño, 2016), altera la realidad y no solo la estudia en comparación con una investigación científica. Por ejemplo, se aplicarán conceptos de selección y cálculo del material y elementos de máquinas para crear una estructura de soporte eficiente para un equipo mecánico, que no solo será un concepto, sino que se convertirá en una realidad.

La norma alemana VDI 2221 proporciona un modelo de diseño de productos que incluye los requisitos, los modelos conceptuales y una fase de selección para la producción mencionados en la AWS (AWS, 199). Este trabajo de investigación se basa en esta norma. Además, en comparación con otros tipos de modelos de diseño, como la metodología I + P + D3, el modelo VDI 2221 se puede utilizar para procesos productivos complejos, como el presente trabajo, debido a su estructura que permite encontrar soluciones a las restricciones presentadas en las especificaciones (Arias, y otros, ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES RELEVANTES EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS, 2018). La

Figura muestra los pasos de la norma VDI 2221, que se detallan a continuación.

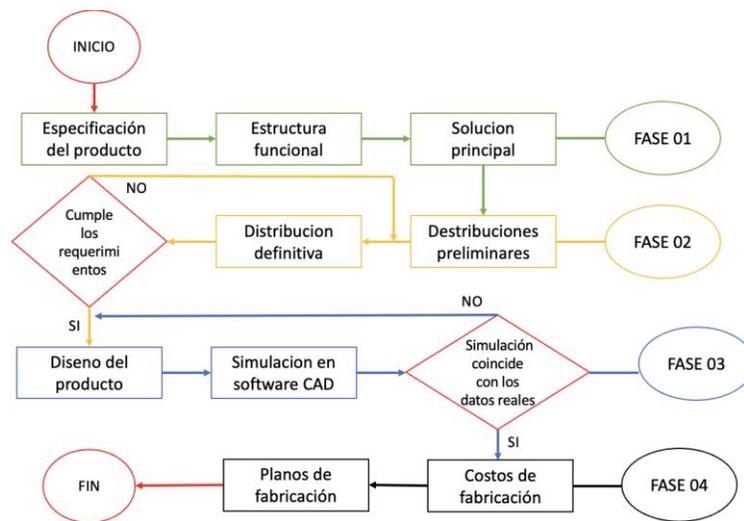


Figura 11. Etapas del método VDI 2221 (Arias, y otros, ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES RELEVANTES EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS, 2018)

Fuente: Elaboración propia

## 2.7 Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación será experimental transversal.

Experimental: La presente investigación manipula variables de intencionalmente, mediante simuladores computacionales a lo largo del tiempo (Heferson., 2018) (Roberto Hernández Sampieri, 2018).

Transversal: Ya que es un tipo de investigación observacional que recolecta datos de una muestra de la población en un solo punto en el tiempo. Es como tomar una fotografía de la población en un momento determinado (Heferson., 2018) (Roberto Hernández Sampieri, 2018).

## 2.8 Enfoque de la investigación

El estudio actual utiliza una metodología cuantitativa basada en la recolección y análisis de datos numéricos. Es un enfoque objetivo, generalizable y reproducible. Según Hernández (Roberto Hernández Sampieri, 2018), el método cuantitativo es un método de investigación basado en la recopilación y evaluación de datos numéricos. Se usa para medir, explicar y probar hipótesis.

## 2.9 Alcance de la investigación

La tesis tiene un alcance exploratorio porque este tipo de investigación se lleva a cabo cuando uno tiene poco conocimiento sobre un tema o problema (Roberto Hernández Sampieri, 2018). Su objetivo principal es recopilar información y familiarizarse con el tema para poder formular preguntas de investigación más precisas.

## 2.10 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los pasos de la norma VDI 2221 se muestran en la Figura , se aplica a procesos productivos complejos.

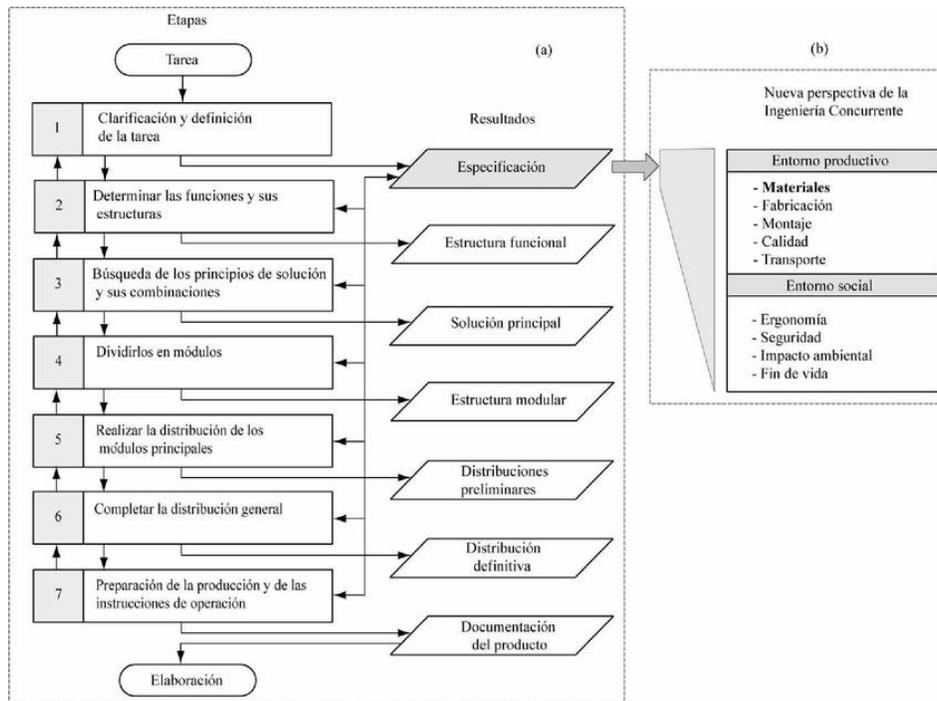


Figura 12. *Etapas del método VDI 2221*. Fuente: EXPERIENCIAS EN LA SELECCIÓN DE ACEROS ASISTIDA POR COMPUTADORA EN LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (Luminita , Quesada Estrada, Perez Rodriguez, & Hernández Gonzáles, 2010)

El caso de este estudio adaptará el modelo de metodología que se muestra en la

Figura , que permite la búsqueda de soluciones a las restricciones presentadas en las especificaciones. A continuación, se describen los métodos de recolección y recopilación utilizados en cada fase de la presente investigación.

### 2.10.1 Métodos de recolección de datos y fases de la metodología VDI 2221

Para fines de la investigación, la recolección de datos conlleva una etapa crucial que busca garantizar la precisión y relevancia de la información que se utilizará en el planteamiento del diseño. Se utilizará la metodología VDI 221, el cual proporciona una estructura para ingeniería de diseño. La metodología cuenta con diversas fases que buscan guiar al equipo de diseño a través de un proceso metódico y sistemático.

### 2.10.2 Especificación de datos de la investigación

Para desarrollar la estructura de soporte del extractor de cal, se requiere información importante y precisa en esta etapa. Se requiere una lista de exigencias. En este contexto, se examinan las necesidades que el extractor de cal va a satisfacer (Arias, y otros, ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES RELEVANTES EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS., 2018). Por lo tanto, se consultará a la empresa minera para estudiar y analizar los planos estructurales obtenidos.

### 2.10.2.1 Elaboración de lista de exigencias según especificaciones

Se debe crear una tabla, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para enumerar las exigencias, distinguiendo entre lo que se requiere como imprescindible (exigencia) y lo que se requiere como aspiraciones. La lista tiene como objetivo colocar los datos que se obtuvieron de la especificación de datos.

Tabla 3. *Modelo de lista de exigencias.*

LISTA DE EXIGENCIAS		EDICION:	Pág. __ de __
PROYECTO		CLIENTES	Fecha:
			Autor:
Características	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

*Fuente:* Elaboración propia

### 2.10.2.2 Estructura funcional

En este punto, se determinan todas las funciones que la estructura de cal debe ejecutar para realizar su función. Estas funciones se dividen en una función general, que es la función principal que el producto debe realizar y se representa por la caja negra, y subfunciones, que son funciones parciales que el equipo debe realizar para realizar una tarea en particular (Arias, y otros, ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES RELEVANTES EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS., 2018).

## Funcional principal del sistema (Caja Negra)

La función principal se representa en una caja negra (Black-box), donde las entradas y salidas corresponden a la señal, energía y materia, tal como se muestra en la Figura .

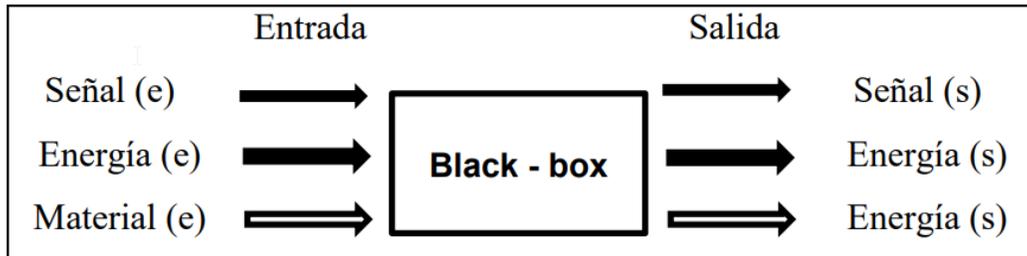


Figura 13. *Modelo de caja negra*. Fuente: Ciprian Barzola (Ciprian Barzola, 2018)

### 2.10.2.3 Selección de solución principal

Todas las soluciones posibles para todas las subfunciones se presentan en esta etapa; también puede documentarse como un esbozo, diagrama, circuito o descripción (Arias, y otros, ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES RELEVANTES EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS., 2018). Una forma efectiva de documentar es utilizando la matriz morfológica de Fritz Zwicky.

### 2.10.2.4 Matriz morfológica

La matriz morfológica muestra todas las posibles soluciones para el total de las funciones parciales que el equipo debe realizar.

Funciones parciales (o lamentos)	Alternativas				
	De efecto, de portadores, de principios de solución, de forma, de grupos funcionales, de bloques funcionales.				
	1	2	3	4	n
1	S11	S12	S13	S14	S1 n
2	S21	S22	S23	S24	S2 n
3	S31	S32	S3	S34	S3 n
4	S41	S42	S43	S43	
-					
-					
-					
-					

Solución 01      Solución 03      Solución 02

Figura 14.. *Matriz morfológica*. Fuente: Ciprian Barzola (Ciprian Barzola, 2018)

#### 2.10.2.5 Modulación de estructuras para creación de diseños preliminares

En este paso, la solución se divide en grupos o módulos realizables y alcanzables. De esta manera, se definen las especificaciones antes de crear bosquejos específicos del producto (Arias, y otros, ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES RELEVANTES EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS., 2018).

#### 2.10.2.6 Análisis de diseños preliminares

Se detallan las características de los módulos de la etapa anterior, se les asigna la geometría, los materiales y otros detalles. Además, se muestran los diseños finales de los módulos como bosquejos preliminares a escala, diagramas de circuitos y otros recursos (Arias, y otros, ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES RELEVANTES EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS., 2018). Para lograrlo, se utilizará el software inventor para el dibujo técnico y el software ANSYS para el almacenamiento y análisis de los datos.

#### 2.10.2.7 Selección del diseño óptimo

Los diseños preliminares se complementan con información detallada sobre conjuntos y componentes que no se incluyeron en la etapa anterior. Además, se obtiene un modelo o diseño final que contiene todas las características necesarias para crear el modelo o producto. Por otro lado, se deben incluir dibujos a escala, una lista de piezas preliminares, diagramas de flujo de instrumentación, entre otras cosas (Arias, y otros, ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES RELEVANTES EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS., 2018).

#### 2.10.2.8 Documentos del producto – planos de ingeniería

En esta última etapa se incluyen todos los dibujos, planos, lista de piezas, producción, pruebas y otras instrucciones necesarias para un montaje y fabricación adecuados de la estructura para el extractor de cal (Arias, y otros, ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES RELEVANTES EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS, 2018). Para crear el dibujo y el plano técnico de la propuesta de investigación actual, se utilizará el software de inventor.

## 2.11 Análisis de datos

Después de aplicar y cumplir con la metodología propuesta para lograr el diseño ideal del soporte del extractor de cal, identificando los requerimientos, que incluyen una lista de requisitos y una estructura de funciones; principios y análisis de solución, en el que se determinarán y seleccionarán los componentes que conformarán el soporte. Finalmente, se define el diseño del extractor de cal de 2000 Kg con planos de sus componentes corredizos.

### Identificación de requerimientos

#### Lista de exigencias

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestran los antecedentes del problema que se analizaron en los capítulos anteriores. Para resolver este problema, se tomaron en cuenta las especificaciones del extractor de cal proporcionadas por la Sociedad Minera El Brocal. Además, se tomaron en cuenta todas las condiciones necesarias para que la estructura de soporte del extractor de cal pueda desempeñar su función de manera eficiente y de acuerdo con los requerimientos de la empresa. Por otro lado, el siguiente capítulo encontrará y determinará el diseño de solución ideal utilizando estas listas de exigencia.

Tabla 4. *Tabla de exigencias*

LISTA DE EXIGENCIAS		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	Pág. 1 de 2
PROYECTO: Soporte para extractor de cal		Facultad de Ingeniería	Fecha: 04/11/2022
		Ingeniería Industrial	
		Área de diseño	
características	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
A	B	C	D

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Lista de exigencias pág. 2.

LISTA DE EXIGENCIAS		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	Pág. 2 de 2
PROYECTO: Soporte para extractor de cal		Facultad de Ingeniería	Fecha: 04/11/2022
		Ingeniería Industrial	
		Área de diseño	Autor: Fabricio Rosas Cabrera
Características	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
A	B	C	D

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

#### 3.1 Identificación de requerimientos

Se diseñará una estructura para el soporte de cal con la capacidad de soportar 2000 Kg y las condiciones de trabajo de los equipos, para ello se empleará los perfiles que mejor se adecuen al diseño, con la capacidad de soportar las condiciones de trabajo del equipo, en donde presentó un esfuerzo máximo soportado en la simulación de elementos finitos, estando dentro de los límites del permitido por el acero estructural A36, elegido para soportar dichas condiciones.

En el presente capítulo tiene como objetivo cumplir con metodología propuesta en beneficio del diseño óptimo del soporte del extractor de cal, mediante la identificación de los requerimientos, donde abarca desde la lista de exigencias hasta la estructura de funciones; los principios y análisis de la solución, en donde se determinarán y seleccionarán los componentes que comprenderá el soporte, para finalmente definir el diseño del extractor de cal que cal del 2000 Kg mediante planos sus componentes correspondientes.

Las listas de exigencias, mostradas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, fueron elaboradas de acuerdo con los antecedentes del problema, mostrados en capítulos anteriores en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**; en este sentido, se tuvo en cuenta las exigencias que debe cumplir el extractor de cal dadas por la Sociedad Minera El Brocal; asimismo, se consideró todas las necesidades para que la estructura de soporte del extractor de cal cumpla su función de manera óptima de acuerdo con los requerimientos de la empresa, relacionadas con la función principal, la seguridad, la geometría, la energía, la fabricación, el uso e instalación de este soporte. Por otro lado, estas listas de exigencia permitirán, en el siguiente capítulo, identificar y determinar el diseño óptimo de solución.

Tabla 6. Lista de exigencias pág. 1.

LISTA DE EXIGENCIAS		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	Pág. 1 de 2
PROYECTO: Soporte para extractor de cal		Facultad de Ingeniería	Fecha: 04/11/2022
		Ingeniería Industrial	
		Área de diseño	Autor: Fabricio Rosas Cabrera y Alexander Alvarado
características	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
FUNCIÓN	E	El soporte debe tener dimensiones de 8x6x9 m y debe sujetar al extractor de cal de forma segura sin obstruir su funcionamiento y mantenimiento	F. Rosas y A. Alvarado
FUNCIÓN	E	El soporte para el extractor de cal debe tener dimensiones de 8x6x9 m y debe tener un área de trabajo que permita realizar mantenimiento al equipo.	
GEOMETRÍA	E	El soporte de 8x6x9 m debe permite el ingreso y salida de mangueras en su parte inferior que permita llevar a cabo el funcionamiento de otros equipos o procesos.	
GEOMETRÍA	E	El soporte para el extractor de cal ocupará un espacio no mayor a los 8 metros de largo, 6 metros de anchos y 9 metros de alto.	

GEOMETRÍA	E	La capacidad máxima de carga del extractor de cal deberá ser de 2,000 Kg.
GEOMETRÍA	D	El extractor de cal deberá ser lo más compacto posible para su fácil instalación y transporte de piezas.
ENERGÍA	E	Las fuerzas que el extractor debe soportar serán producidas por el equipo (vibración, peso) con un máximo de 2000 Kg.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Lista de exigencias pág. 2.

LISTA DE EXIGENCIAS		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	Pág. 2 de 2
PROYECTO: Soporte para extractor de cal		Facultad de Ingeniería	Fecha: 04/11/2022
		Ingeniería Industrial	
		Área de diseño	
Características	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
SEGURIDAD	E	El soporte del extractor será seguro para los trabajadores sin riesgo de colapso y accidentes; de este modo, evitar paradas de planta.	F. Rosas y A. Alvarado
SEGURIDAD	E	El soporte del extractor de cal permitirá sujetar al equipo sin riesgo de sufrir accidente por mal funcionamiento del equipo.	

FABRICACIÓN	E	El soporte del extractor de cal debe ser armado en planta y los materiales de fabricación deben ser de fácil transporte y deben estar disponibles en el mercado
GEOMETRÍA	E	El diseño del soporte del extractor de cal no debe pandearse ni doblarse mientras el equipo esté en funcionamiento
USO	E	El soporte del extractor de cal será diseñado para soportar las condiciones de trabajo del equipo, así como, las condiciones del entorno.
GEOMETRÍA	E	El soporte del extractor de cal debe tener un espacio para instalación de escalera para que los trabajadores puedan tener acceso al equipo y realizar mantenimiento y otros.
INSTALACIÓN	E	El soporte del extractor de cal debe de ser de fácil instalación para agilizar el tiempo según parada de planta

*Fuente:* Elaboración propia.

### 3.2 Análisis de solución

#### Matriz morfológica

Un camino por el cual se puede encontrar la mejor solución posibles es usando la matriz morfológica, que se construye a partir de las funciones parciales y funciones importantes que complementa ello, las cuales se mencionaron previamente. El resultado de ello se muestra en la Figura , donde se visualiza las posibles acciones, materiales y diferentes selecciones para llegar a cumplir con las funciones; asimismo, se ha detectado 4 posible soluciones o conceptos de solución, los cuales se analizará a continuación, y

permitirán identificar u obtener el primer acercamiento hacia la solución óptima de la estructura del extractor de cal.

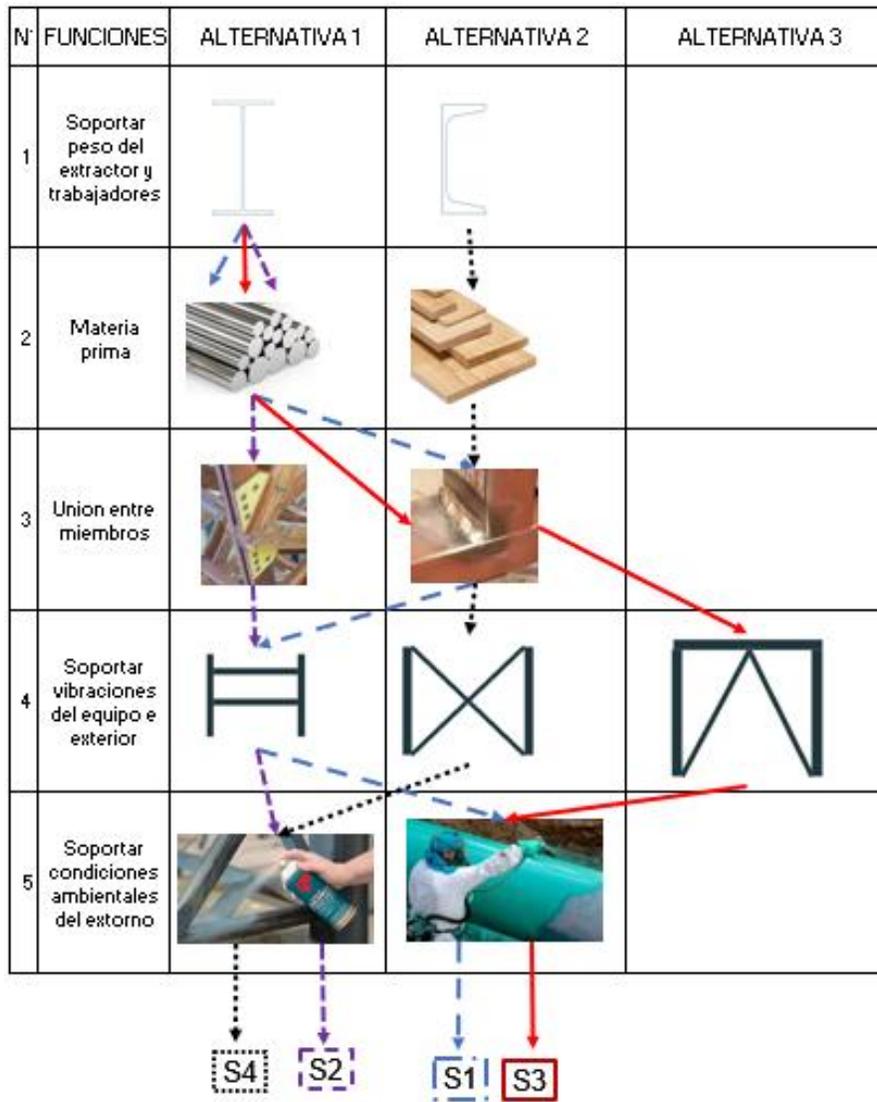


Figura 15. Estructura de funciones. Fuente: Elaboración propia

# CAPÍTULO V

## CONSTRUCCIÓN

### 4.1 Construcción

#### Determinación del proyecto preliminar

#### Concepto de solución 01

La estructura está compuesta por perfiles I de acero estructural, cuyas uniones se realizan a través de soldadura; asimismo, para mantener a raya las vibraciones se usan vigas horizontales que son unidas a las columnas; si bien es cierto que, no son las mejores para vibraciones en comparación al resto, pero si se requiere que pase por debajo de la estructura alguna tubería es la mejor opción para ello, tal como se muestra en la Figura ; por otro lado, para afrontar las condicione ambientales se usa inhibidor de corrosión.

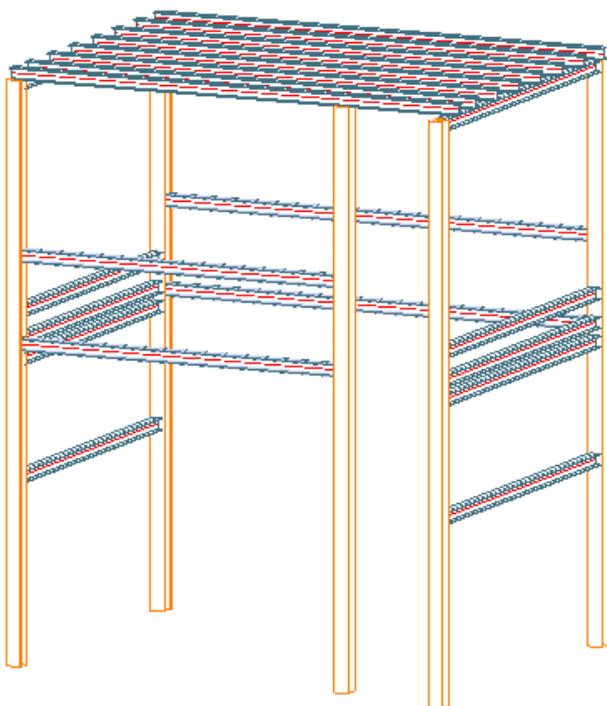


Figura 16. *Concepto de solución 1.*Fuente: Elaboración propia.

## Concepto de solución 02

La estructura está compuesta por el perfil de acero estructural I, cuyas uniones se realizan a través de pernos que lo hacen más propenso a fallar que los otros conceptos de solución; asimismo, para afrontar las vibraciones utiliza vigas horizontales unidas hacia las columnas al igual que la solución anterior, tal como se muestra en la Figura ; por otro lado, para evitar la corrosión se usa protección catódica, que es mejor que la protección a través de inhibidores de corrosión.

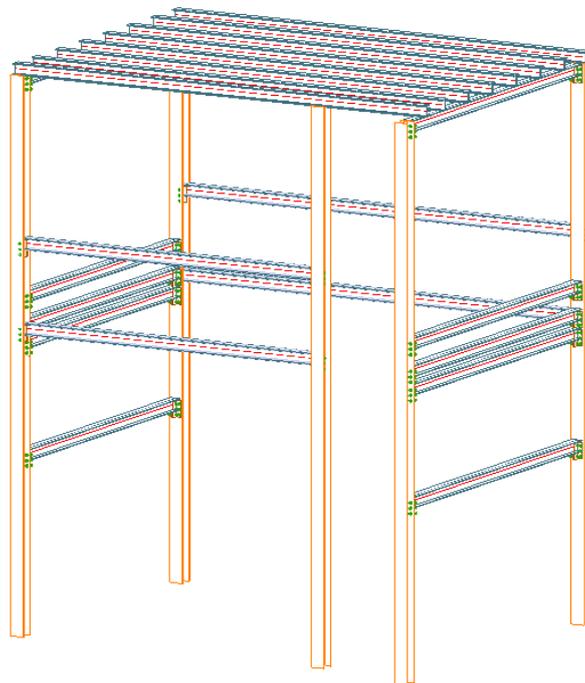


Figura 17. *Concepto de solución 2.* Fuente: Elaboración propia

## Concepto de solución 03

La estructura de soporte está compuesta de perfiles I de acero estructural, cuyas uniones entre miembros se realizan a través de soldadura; asimismo, para hacer frente a las vibraciones, se usan tipo de arriostras en forma de V, tal como se muestra en la Figura , que permiten a la estructura ser más estable que solo poner vigas en horizontal y una de las desventajas es que son complicadas de instalar e interrumpen el paso para tuberías u otros; por otro lado, usa protección catódica para hacer frente a la corrosión.

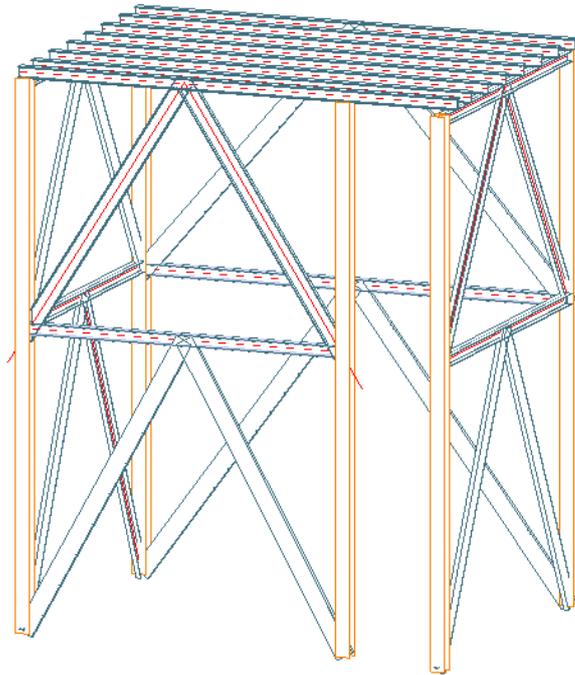


Figura 18. *Concepto de solución 3.* Fuente: Elaboración propia

#### Concepto de solución 04

La estructura está compuesta por perfil cuadrangular de madera, que, en comparación con los otros conceptos, este es menos resistente a las cargas cortantes y pandeo; asimismo, se los miembros se unen a través de pernos y para afrontar la vibración de usan arriostras en X, tal como se muestra en la Figura , dándole una buena estabilidad en comparación a los otros; asimismo, este material no es propenso a sufrir corrosión, sin embargo, debido a la humedad se puede estropear, por lo que usa pintura especial para evitar ello.

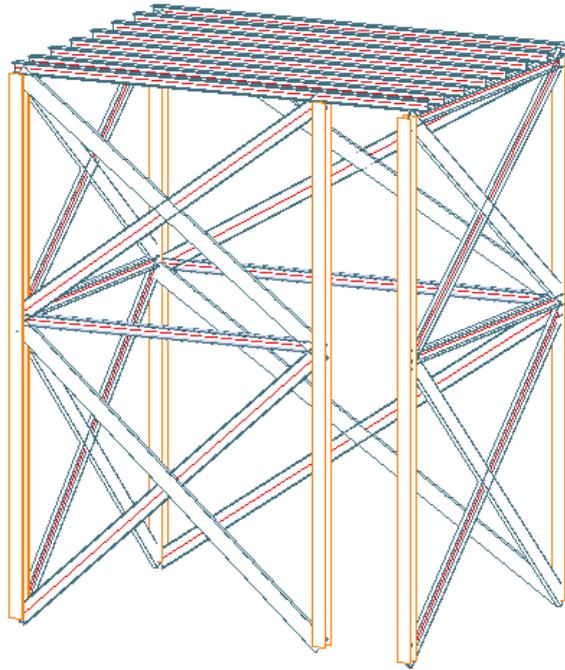


Figura 19. *Concepto de solución 4.* Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Pruebas y resultados

### Determinación de concepto óptimo de solución

Ya dados los conceptos de solución anteriormente, ahora es el turno de evaluarlos con respecto a factores que incluyen o están relacionados con los costos de fabricación y diseño; es decir, un análisis técnico económico. Para ello la metodología VDI da ciertos criterios y recomendaciones para hacerlo de manera correcta y propone que se evalúa cada criterio con una nota o puntaje, tanto la evaluación técnica como económica, con un valor de entre 1 y 4; asimismo, entre los criterios que se evalúan se tienen:

- a) **Confiabilidad:** La estructura debe tener la capacidad de realizar su función frente a distintas situaciones, es por ello, que se tiene que ver cuan confiable es el diseño o concepto de diseño se está proponiendo.
- b) **Seguridad:** La estructura tiene que garantizar la seguridad de los trabajadores del área y evitar inconvenientes que pueden terminar siendo catastróficos.
- c) **Fácil montaje:** Este criterio está relacionado con la variable tiempo, un mayor tiempo en ensamble es perdida de dinero por parada o no funcionamiento del equipo, claro está, este tiene que estar ligado a la calidad del trabajo final que se entrega.

- d) Resistencia: El diseño tiene que ser capaz de soportar toda las cargas mecánicas y condiciones de trabajo; por lo tanto, se tiene que garantizar una buena resistencia para evitar accidentes o perdidas monetarias a causa de paralizaciones de emergencia por la ruptura de alguna viga o columna.
- e) Diseño: Un diseño optimo tiene la capa
- f) Complejidad: Capacidad de cumplir con todos los requerimientos necesarios; es por ello, que se tiene que validar o evaluar de acuerdo con ello.

El análisis tanto técnico como económico se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que muestran la evaluación técnica y económica respectivamente que tiene como finalidad seleccionar la propuesta más idónea para la presente investigación, en donde se obtiene resultados acumulados y los valores técnicos y económicos en el cual se obtiene de la siguiente operación:

$$X_i, Y_i = \frac{g_1 \cdot p_1 + g_2 \cdot p_2 + \dots + g_n \cdot p_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot p_{max}}$$

En donde:

X<sub>i</sub>: Valor técnico

Y<sub>i</sub>: Valor Económico

g: Peso ponderado

p: puntaje de 0 a 4

En la Tabla 8 y 9 se detalla el análisis realizado a cada concepto de solución, ponderando en base a los criterios mencionados en el punto 5.2. Los valores obtenidos en cada tabla serán ponderados y analizados en una gráfica, para ver qué propuesta se encuentra más cercana al valor ideal. La que se aproxime a la solución ideal será la base para las simulaciones correspondientes.

Tabla 8. *Evaluación técnica de los conceptos de solución.*

Valor Técnico (Xi)												
EXTRUCTURA DE SOPORTE PARA EXTRACTOR DE CAL												
<p>p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)                      0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien                      g: el peso ponderado está en función de los criterios de evaluación</p>												
Variantes de concepto / Proyectos			S1		S2		S3		S4		Solución ideal	
N°	Criterios de evaluación	g	p	pg	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Confiabilidad	3	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12
2	Seguridad	4	3	12	4	16	4	16	2	8	4	16
3	Fácil montaje	3	4	12	2	6	2	6	2	6	4	12
4	Resistencia	4	3	12	3	12	4	16	2	8	4	16
5	Diseño	4	4	16	3	12	3	12	3	12	4	16
6	Complejidad	1	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4
Puntaje máximo $\Sigma gp$			21	65	17	57	18	61	16	47	24	76
Valor Técnico (Xi)			0.86		0.75		0.80		0.62		1.00	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. *Evaluación técnica de los conceptos de solución.*

Valor Económico (Yi)												
EXTRUCTURA DE SOPORTE PARA EXTRACTOR DE CAL												
<p>p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)                      0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien                      g: el peso ponderado está en función de los criterios de evaluación</p>												
Variantes de concepto / Proyectos			S1		S2		S3		S4		Solución ideal	
N°	Criterios de evaluación	g	p	pg	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Confiabilidad	3	3	9	2	6	3	9	2	6	4	12
2	Seguridad	4	3	12	1	4	3	12	2	8	4	16
3	Fácil montaje	3	4	12	2	6	1	3	3	9	4	12
4	Resistencia	4	3	12	2	8	2	8	2	8	4	16
5	Diseño	4	3	12	2	8	2	8	2	8	4	16
6	Complejidad	1	4	4	2	2	1	1	2	2	4	4
Puntaje máximo $\Sigma gp$			20	61	11	34	12	41	13	41	24	76
Valor Económico (Xi)			0.80		0.89		0.72		0.72		1.00	

Fuente: Elaboración propia.

	S1	S2	S3	S4
Valor Técnico (Xi)	0.86	0.75	0.80	0.62
Valor Económico (Yi)	0.80	0.89	0.72	0.72

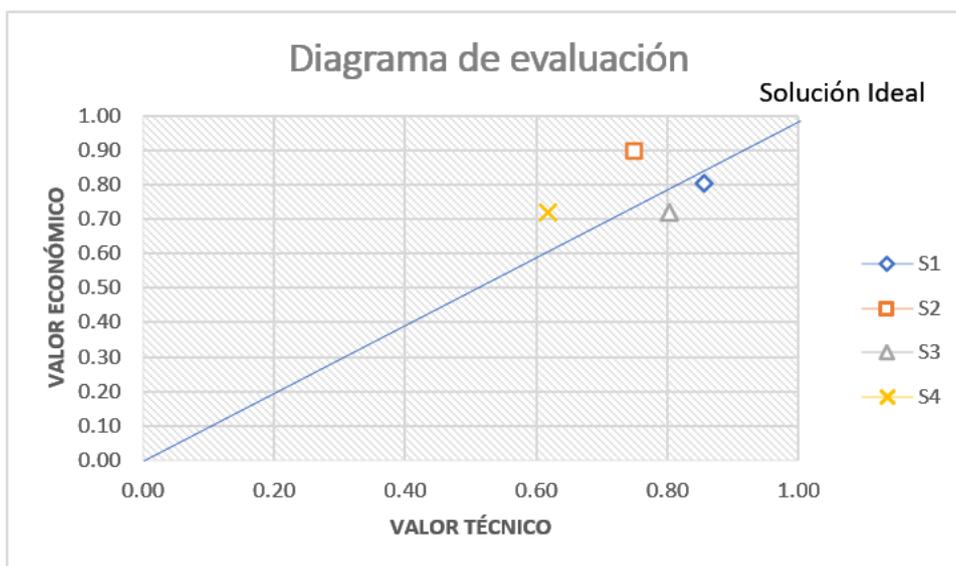


Figura 20. *Diagrama de evaluación*. Fuente: Elaboración propia.

Del diagrama de evaluación, se observa que el concepto de solución 1 se encuentra más cercano a la recta de la solución ideal. Por ende, el diseño sobre el cual se desarrollará el análisis mediante el método de elementos finitos de la estructura será realizado en base a este.

#### Análisis de propuestas mediante el método de elementos finitos

##### Primera propuesta

Se detalla la propuesta de solución de una estructura con elementos fijados mediante soldadura con volumen de  $1.37 \text{ m}^3$ . El tipo de material usado para la simulación es acero A36 a manera de perfil cuadrado. En cuanto a los parámetros de temperatura, se consideró temperatura ambiente. Para la simulación mediante el método de elementos finitos, se consideró 6387 nodos y 3202 elementos.

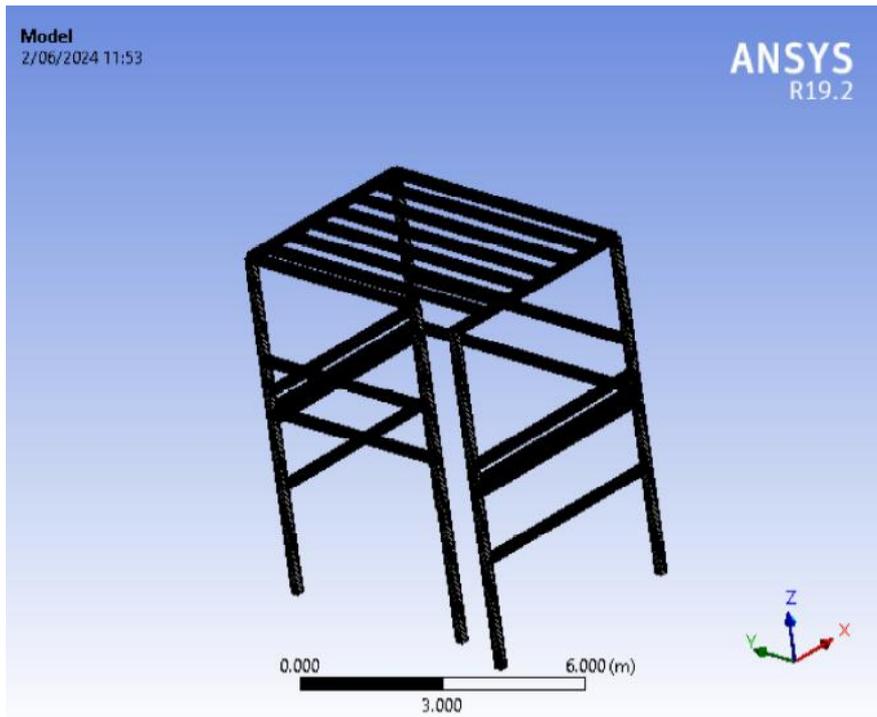


Figura 21. Vista previa, simulación de primera propuesta. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Cuadro de detalles, primera propuesta.

**TABLE 3**  
**Model (C4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Line Body</i>
State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Cross Section	RectTube1
Offset Mode	Refresh on Update
Offset Type	Centroid

Model Type	Beam
<b>Material</b>	
Assignment	A36
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	5.02 m
Length Y	6.325 m
Length Z	7.986 m
<b>Properties</b>	
Volume	1.3622 m <sup>3</sup>
Mass	0. kg
Length	158.77 m
Cross Section Area	8.58e-003 m <sup>2</sup>
Cross Section IYY	3.9173e-005 m <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup>
Cross Section IZZ	3.9173e-005 m <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	6387
Elements	3202
Mesh Metric	None

Fuente: Elaboración propia.

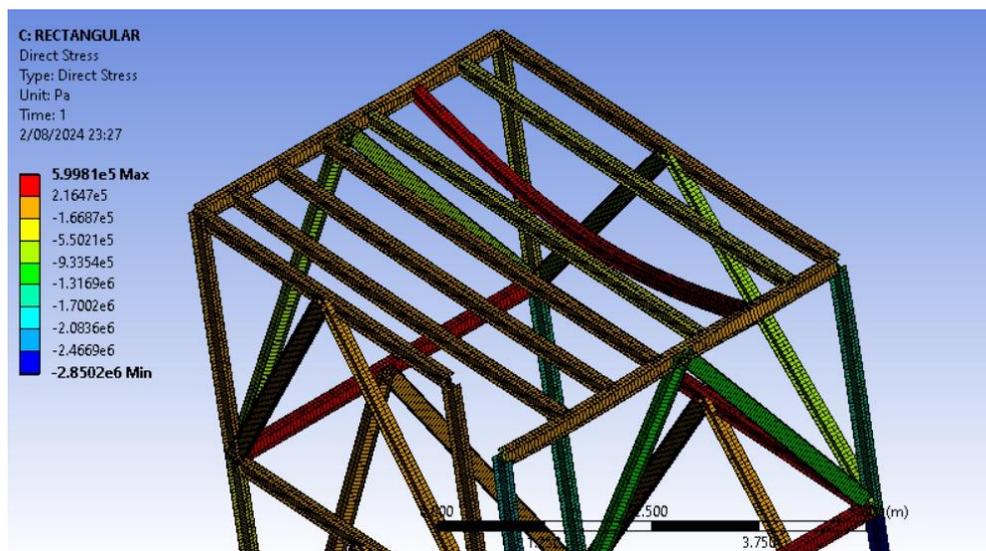


Figura 22. Vista previa, simulación de primera propuesta, Direct Stress. Fuente: Elaboración propia.

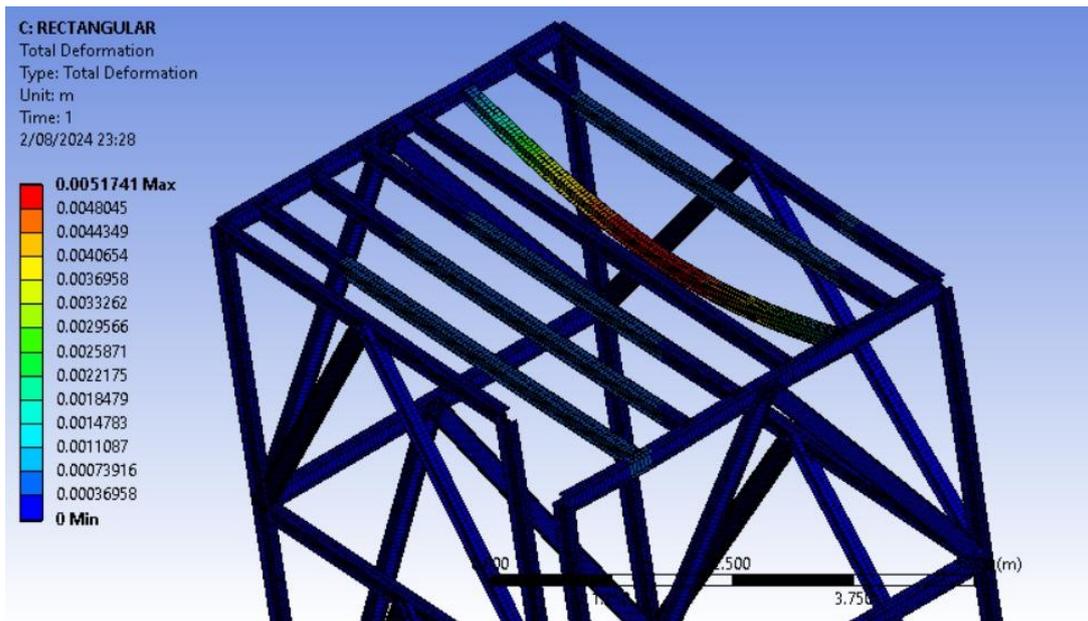


Figura 23. Vista previa, simulación de primera propuesta, Total Deformation.  
 Fuente: Elaboración propia.

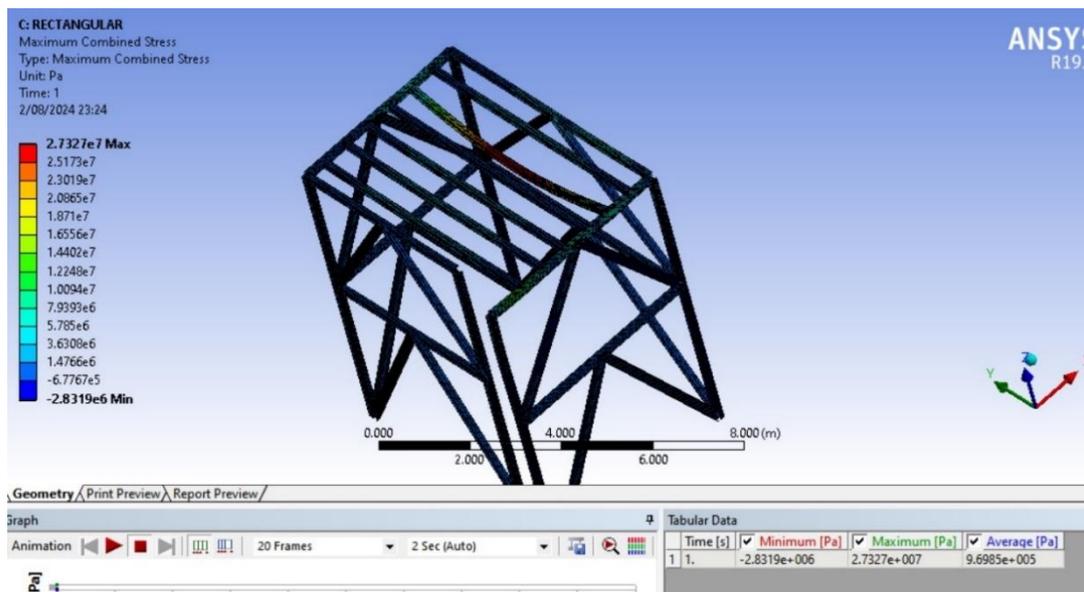


Figura 24. Vista previa, simulación de primera propuesta, Maxium Combinated Stress.  
 Fuente: Elaboración propia.

## Segunda propuesta

Se detalla la propuesta de solución de una estructura con elementos fijados mediante soldadura con volumen de  $0.48 \text{ m}^3$ . El tipo de material usado para la simulación es acero A36 a manera de canal C. En cuanto a los parámetros de temperatura, se consideró temperatura ambiente. Para la simulación mediante el método de elementos finitos, se consideró 6387 nodos y 3202 elementos.

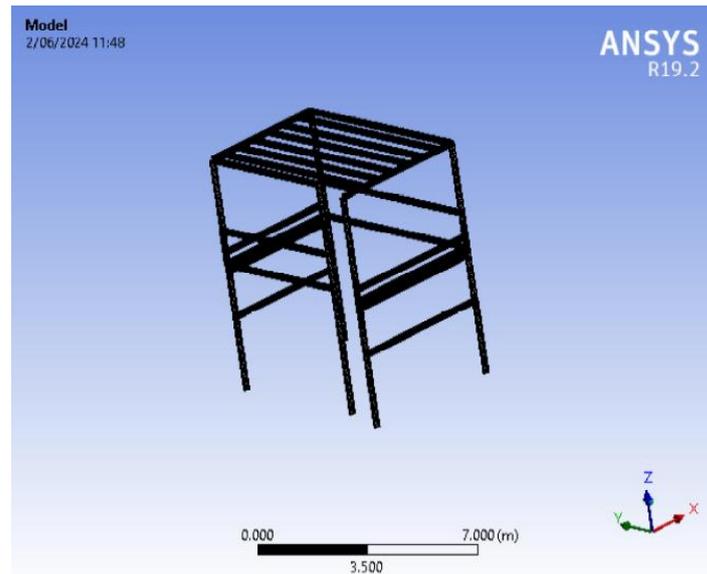


Figura 25. Vista previa, simulación de segunda propuesta.  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Cuadro de detalles, segunda propuesta.

**TABLE 3**  
**Model (A4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Line Body</i>
State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Cross Section	Channel1
Offset Mode	Refresh on Update
Offset Type	Centroid

Model Type	Beam
<b>Material</b>	
Assignment	A36
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	5.02 m
Length Y	6.325 m
Length Z	7.986 m
<b>Properties</b>	
Volume	0.47789 m <sup>3</sup>
Mass	0. kg
Length	158.77 m
Cross Section Area	3.01e-003 m <sup>2</sup>
Cross Section IYY	1.6105e-005 m <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup>
Cross Section IZZ	7.8817e-007 m <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	6387
Elements	3202
Mesh Metric	None

Fuente: Elaboración propia.

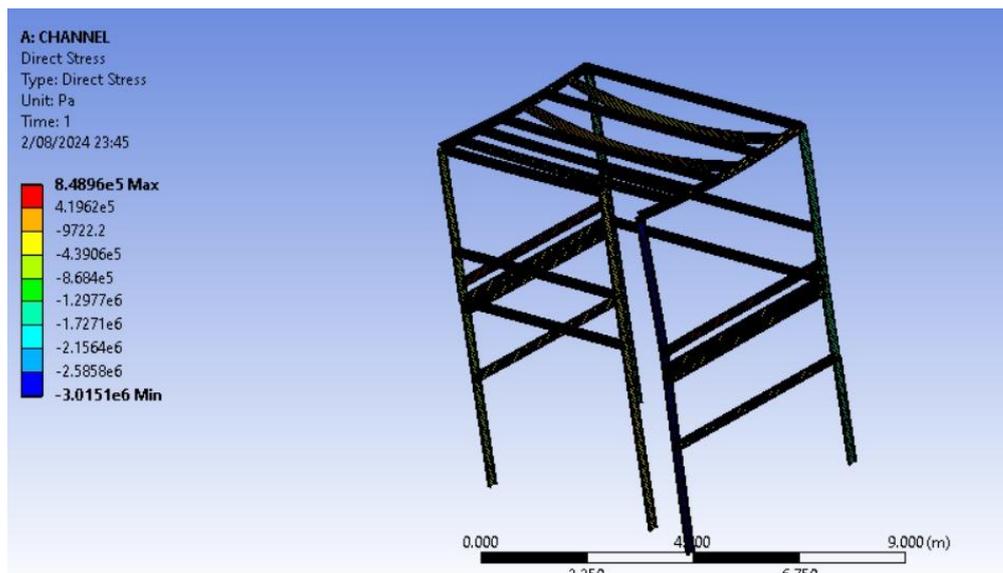


Figura 26. Vista previa, simulación de segunda propuesta, Direct Stress.  
 Fuente: Elaboración propia.

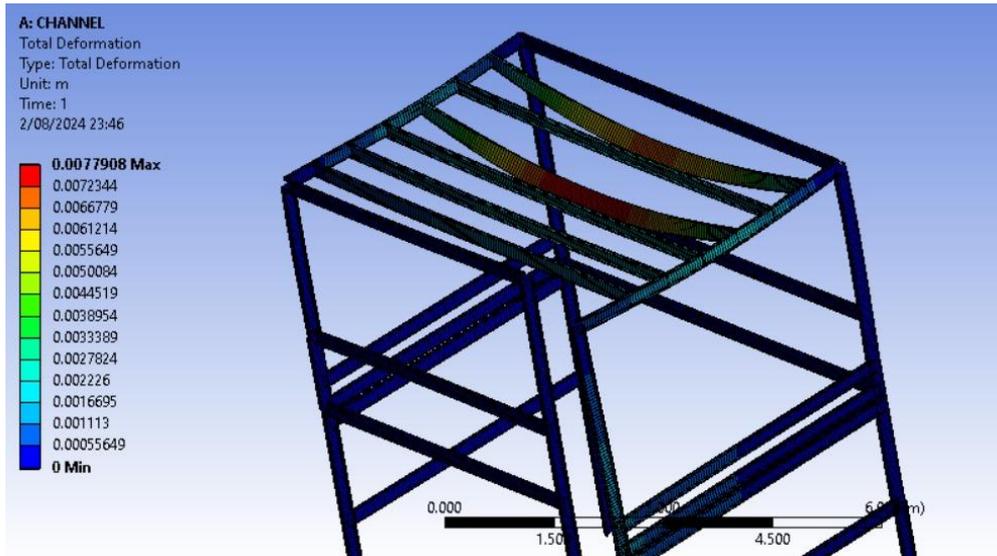


Figura 27. Vista previa, simulación de segunda propuesta, Total Deformation.  
 Fuente: Elaboración propia.

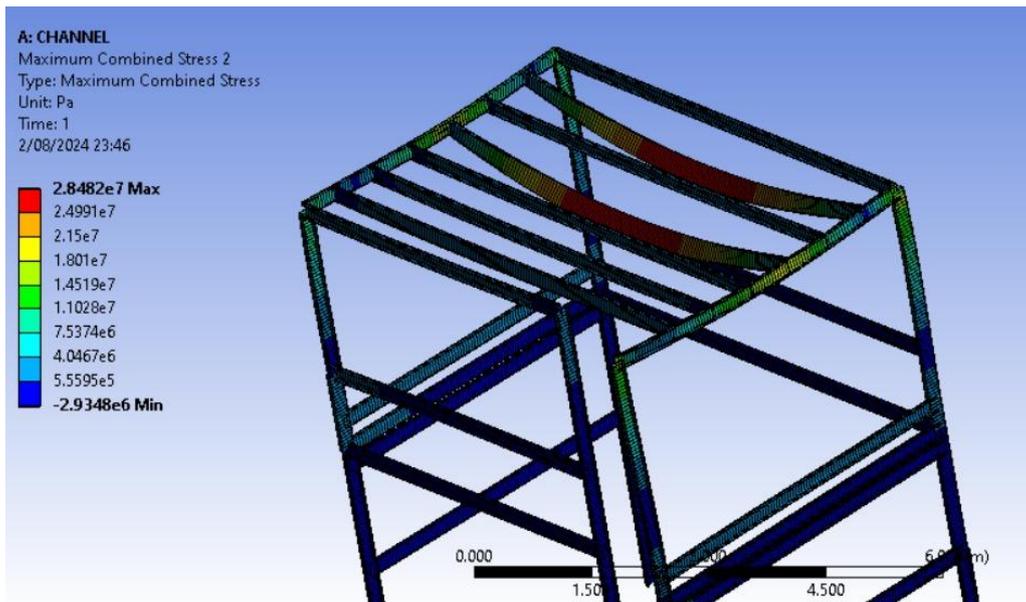


Figura 28. Vista previa, simulación de segunda propuesta, Maxium Combinated Stress.  
 Fuente: Elaboración propia.

### Tercera propuesta

Se detalla la propuesta de solución de una estructura con elementos fijados mediante soldadura con volumen de 1.07 m<sup>3</sup>. El tipo de material usado para la simulación es acero A36 a manera de perfil circular. En cuanto a los parámetros de temperatura, se consideró temperatura ambiente. Para la simulación mediante el método de elementos finitos, se consideró 6387 nodos y 3202 elementos.

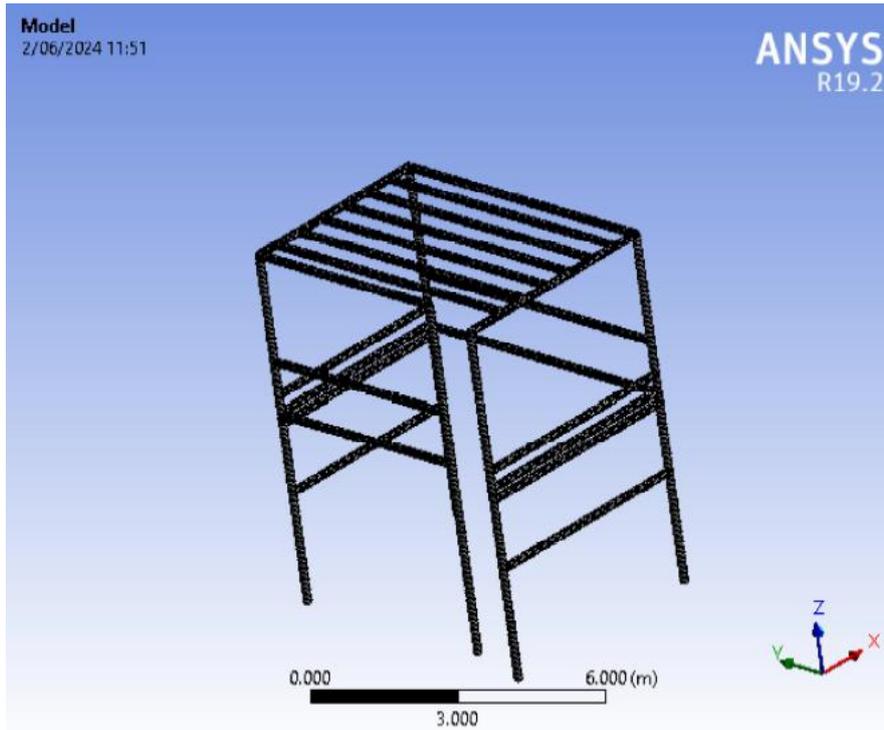


Figura 29. Vista previa, simulación de tercera propuesta.  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Cuadro de detalles, tercera propuesta.

**TABLE 3**  
**Model (B4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Line Body</i>
State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Cross Section	HSSRound
Offset Mode	Refresh on Update
Offset Type	Centroid

Model Type	Beam
<b>Material</b>	
Assignment	A36
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	5.02 m
Length Y	6.325 m
Length Z	7.986 m
<b>Properties</b>	
Volume	1.0698 m <sup>3</sup>
Mass	0. kg
Length	158.77 m
Cross Section Area	6.7384e-003 m <sup>2</sup>
Cross Section IYY	2.3072e-005 m <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup>
Cross Section IZZ	2.3072e-005 m <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	6387
Elements	3202
Mesh Metric	None

Fuente: Elaboración propia.

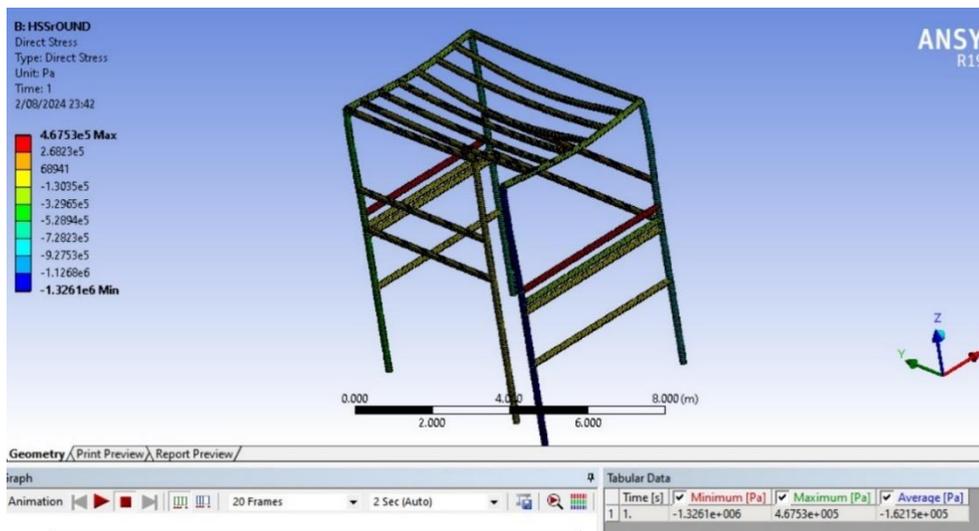


Figura 30. Vista previa, simulación de tercera propuesta, Direct Stress.

Fuente: Elaboración propia.

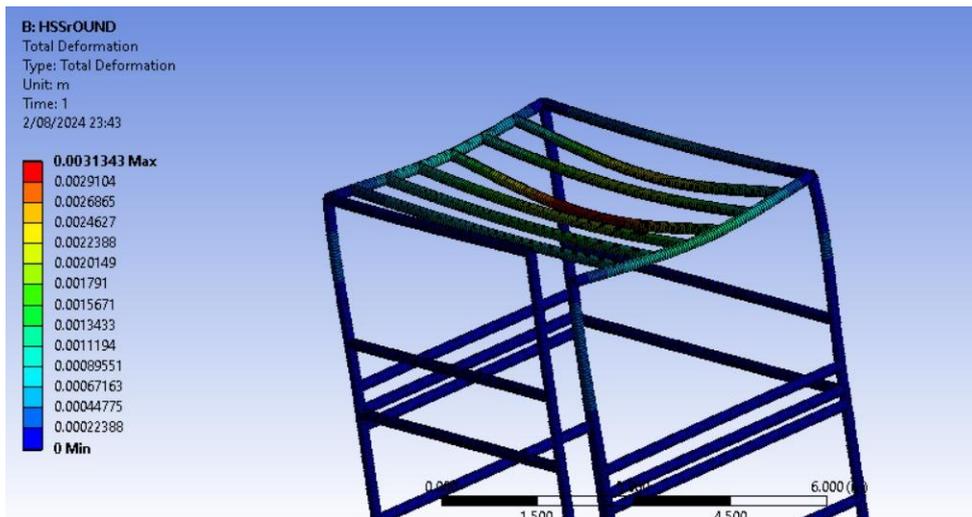


Figura 31. Vista previa, simulación de tercera propuesta, Total Deformation.  
Fuente: Elaboración propia.

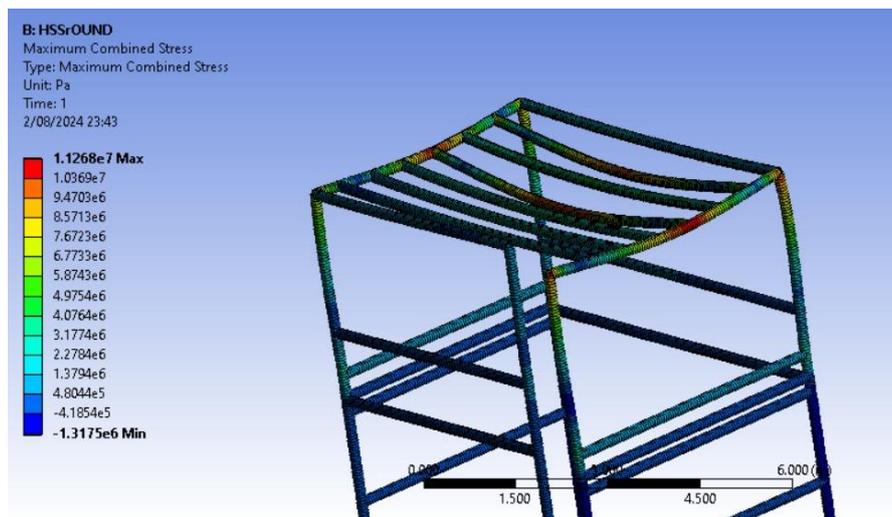


Figura 32. Vista previa, simulación de tercera propuesta, Maxium Combined Stress.  
Fuente: Elaboración propia.

## Diseño

### Distribución de vigas y columnas

Hay puntos importantes para tener en cuenta relacionados a la distribución de cargas en la parte superior de la estructura, tal como se muestra en la Figura , dentro de las que se comprende:

Peso de las personas: El peso de las personas que van a hacer mantenimiento al extractor de cal influye directamente en el comportamiento de la estructura; asimismo,

se tiene que considerar una plataforma y barandas para que puedan realizar su trabajo respectivamente; asimismo, estas barandas y plataforma también tiene un peso y se deben considerar para la selección de perfil de las vigas. En este sentido, para soportar todo ello, se tiene que considerar vigas que cumplan con este rol, tal como se muestra en Figura .

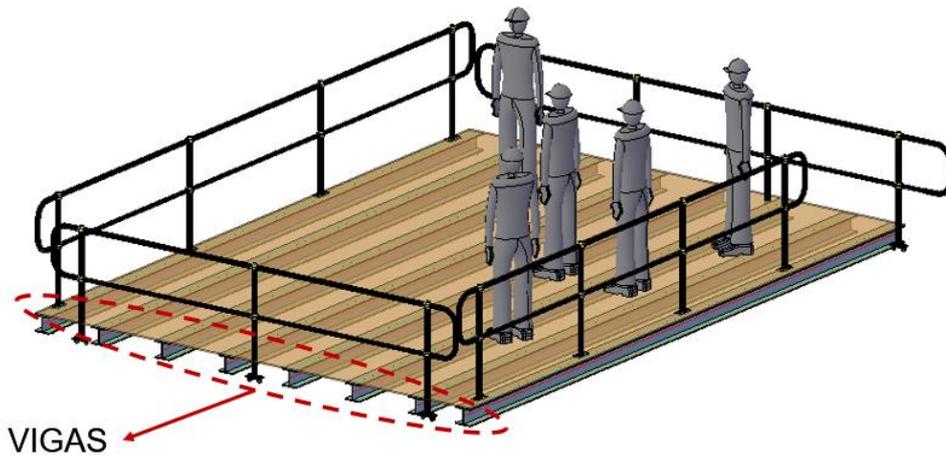


Figura 33. *Distribución de vigas 1.* Fuente: Elaboración propia.

#### a) Peso del equipo

El equipo tiene una base con 4 soportes a ser fijados en las vigas, tal como se muestra en la Figura ; asimismo, hay 2 vigas, tal como se muestra en la Figura , que deben tener la capacidad de soportar el peso de este equipo, el cual está distribuido en los 4 puntos de anclaje, y la vibración que se genera en ellos.



Figura 34. Soportes del extractor de cal.  
Fuente: Sociedad Mineral el brocal.

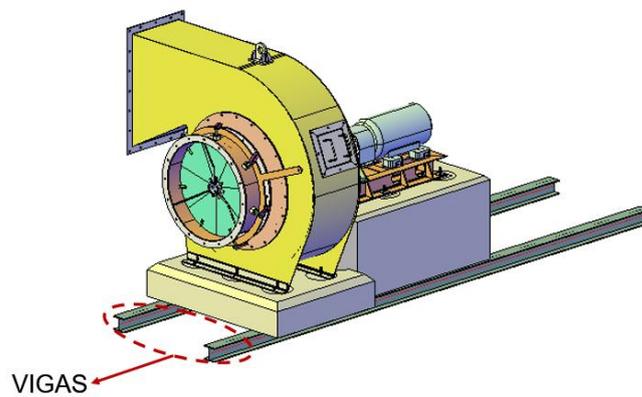


Figura 35. Distribución de vigas para soporte de equipo.  
Fuente: Elaboración propia.

**b) Escalera:**

Este es otro punto para tener en cuenta para la distribución de vigas y columnas; asimismo, según las dimensiones tomadas en campo, la estructura debe ser de 5.00x6.32x7.90 m tomadas en conformación con la Sociedad Minera El Brocal. Asimismo, se debe dejar un espacio de 0.5 m y 1.6 m para la escalera, tal como se

muestra en Figura ; asimismo, teniendo en cuenta ya se tiene la distribución de columnas de acuerdo con lo requerido.

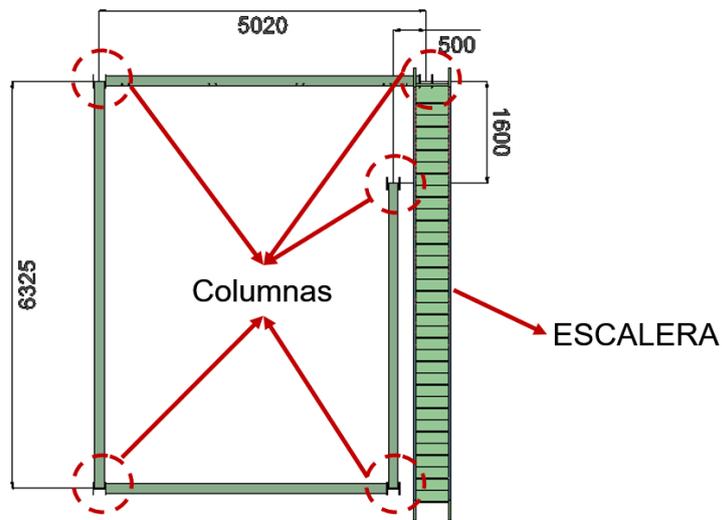


Figura 36. Distribución de columnas.  
Fuente: Elaboración propia.

### Pesos de equipos y componentes preliminares.

Antes de empezar a realizar los cálculos para la selección de perfiles, es primordial definir los pesos de los objetos que intervienen directamente con la estructura del extractor de cal y estos se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y su forma como se observa en la Figura , con un peso total de soporte de 3,300 Kg.

Tabla 13. Pesos de los componentes de la estructura.

COMPONENTE	CANT.	PESO UN. (Kg)	PESO TOTAL (Kg)
Extractor de cal	1	1200	1200
Baranda	4	50	200
Trabajadores	5	70	350
Plataforma	1	50	50
Escalera	1	1500	1500
<b>PESO TOTAL DE SOPORTE (KG)</b>			<b>3300</b>

Fuente: Elaboración propia.

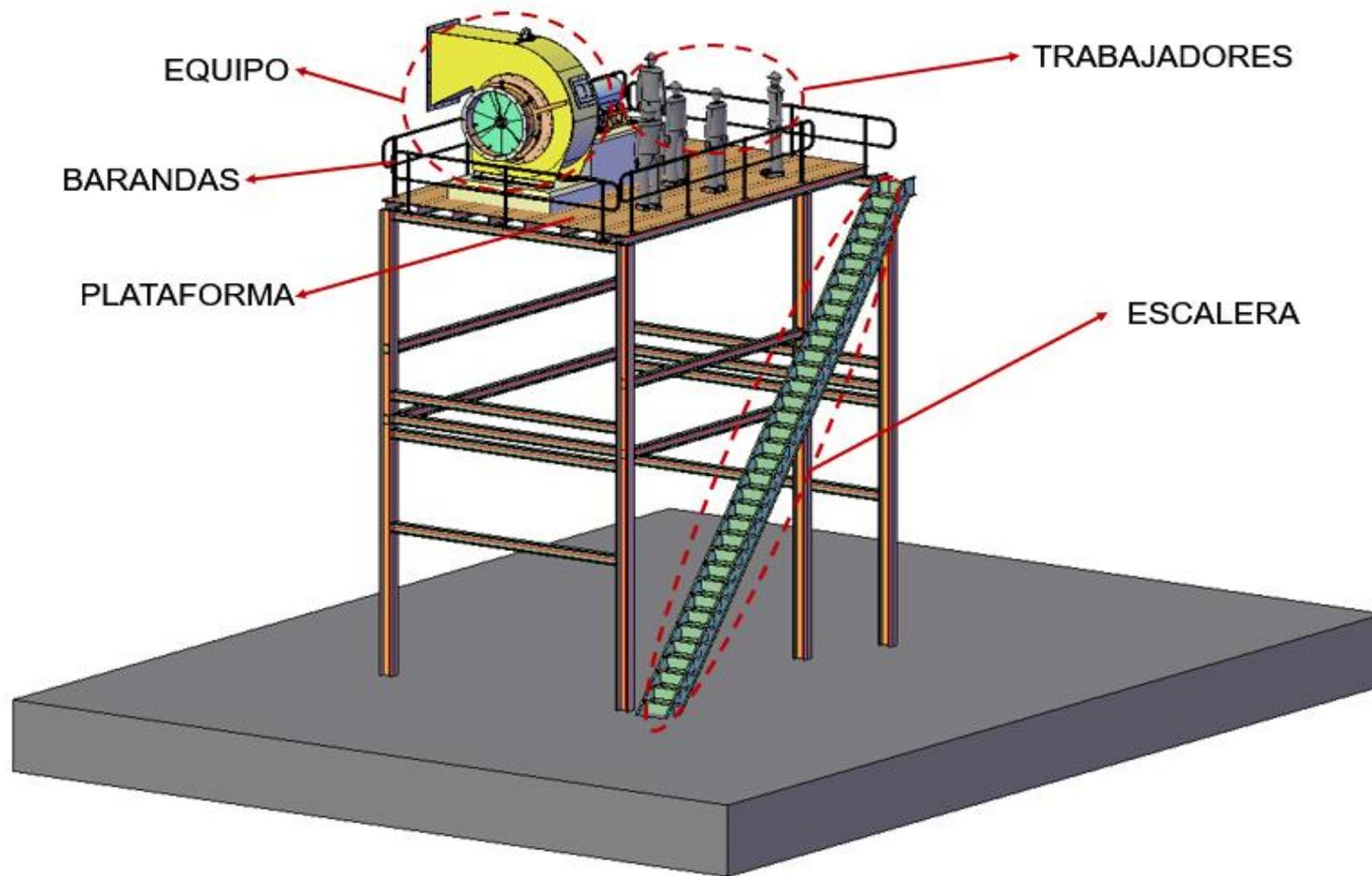


Figura 37. *Concepto de solución óptima.* Fuente: Elaboración propia.

## Selección de perfil para las vigas

Para la selección del perfil que se va a usar en la estructura, es importante considerar, en la parte superior de la viga, las que presenta mayor carga y son las que soportan la carga del extracto de cal; tal como se muestra en la Figura , la viga V5 y V7; asimismo, se analizará las vigas V9 y V10, debido a que estas soportan las vigas V1 al V8 y el peso de la escalera. De este modo, se seleccionará las vigas de la parte superior de acuerdo con el que presente, según los cálculos, una mayor carga.

Por otro lado, se ha considerado, tal como se muestra en la Figura , una distancia proporcional entre viga de 680 mm, que está relacionado directamente con la distancia entre soportes del extractor de cal; asimismo, de acuerdo con los cálculos se hará la modificación de estas si fuera el caso en que no soportan las vigas V9 y V10.

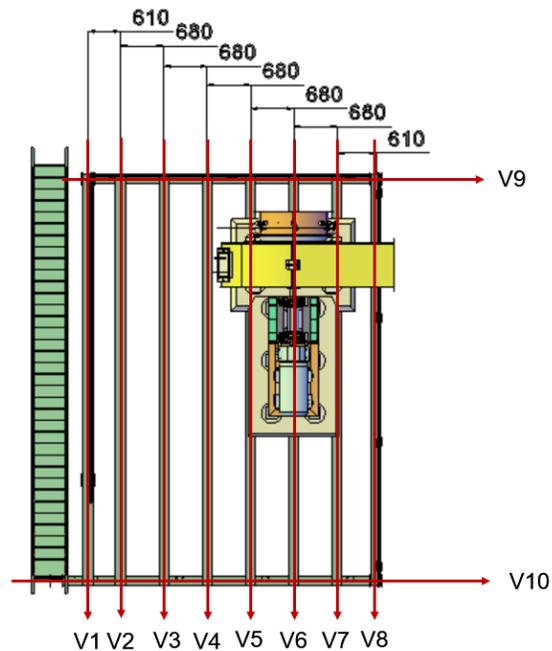


Figura 38. *Distribución entre vigas 1.* Fuente: Elaboración propia.

## 1) Vigas V5 Y V7

Estas 2 vigas soportan el peso del extractor de cal; en este sentido, solo se analizará la V5 ya que ambas tienen el mismo comportamiento; por otro lado, los cálculos correspondientes para la selección del perfil correspondiente se muestran a continuación:

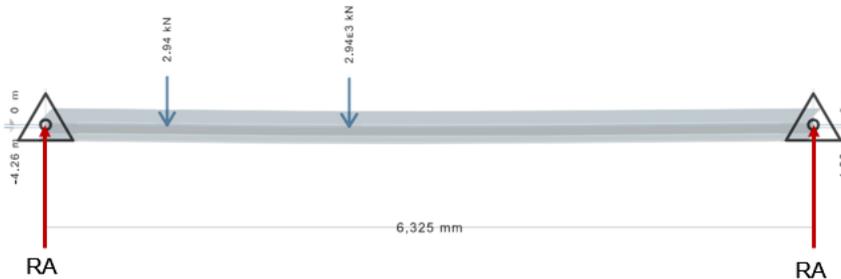


Figura 39. Diagrama cuerpo libre en viga V5.  
Fuente: Elaboración propia.

Conservación de fuerzas y momentos:

$$\sum F = 0$$

$$R_A + R_B = 5.88 \text{ KN}$$

$$\sum M = 0$$

$$2.94 \cdot 1 + 2.94 \cdot 2.5 = R_B \cdot 6.23$$

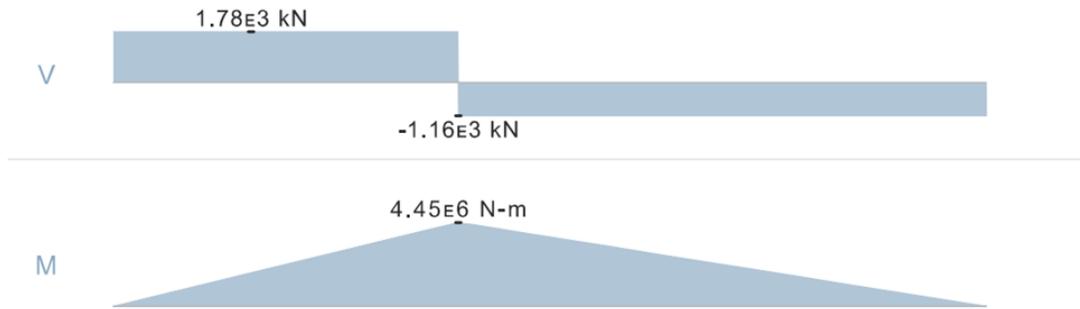
$$R_B = 1.62 \text{ KN}$$

$$R_A = 4.25 \text{ KN}$$

Ya encontradas las reacciones que se generan en los extremos, se procesa a encontrar los cortantes y momentos flectores máximos tal como se muestra en la figura 4.16, siendo sus valores:

$$V \text{ max} = 1780 \text{ KN}$$

$$M \text{ max} = 4450 \text{ KN} \cdot \text{m}$$



*Figura 40.* Cortante y Momento flector de viga V5.  
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se selecciona el perfil, según el esfuerzo normal permisible y el momento flector máximo, encontrando el módulo de sección(S):

$$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{perm}}} = \frac{4.45 \cdot 10^3}{250 \cdot 10^6} = 17.80 \text{ cm}^3$$

Como se ve en la Figura , el perfil W6x8.5 es el ideal para la estructura teniendo un módulo de sección menor a 85.8 cm<sup>3</sup>.

X - X				Eje Y - Y				Calibre in x lb/ft	r <sub>x</sub> cm	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	Esbeltez		C <sub>w</sub> cm <sup>6</sup>	U m <sup>2</sup> /m
I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>				Mesa b / 2t <sub>f</sub>	Alma d' / t <sub>w</sub>		
635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	W 6 x 8,5	2,49	4,34	10,20	27,49	4.181	0,67
939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	W 6 x 12	4,10	4,75	11,52	20,48	6.683	0,69
1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	W 6 x 15	2,73	11,08	4,95	17,48	10.206	0,69
1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	W 6 x 16	4,18	10,95	8,23	17,94	30.277	0,90
1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	W 6 x 20	4,22	20,58	6,64	14,67	39.930	0,91
2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	W 6 x 25	2,55	2,05	9,62	39,44	8.222	0,77
1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	W 8 x 10	2,59	4,02	7,85	29,31	11.098	0,79
1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	W 8 x 13	2,63	6,18	6,38	27,42	13.868	0,79
2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	W 8 x 15	3,54	7,65	7,92	29,34	32.477	0,92
2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	W 8 x 18	3,60	12,59	6,57	26,50	40.822	0,93
3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	W 8 x 21	4,50	14,51	8,09	25,90	69.502	1,03
3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	W 8 x 24	4,53	23,19	7,03	21,86	83.948	1,04
4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	W 8 x 28	5,58	22,01	9,23	22,36	141.342	1,19
4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	W 8 x 31	5,61	33,34	8,10	19,85	166.710	1,19
5.298	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	265,8	W 8 x 35	5,57	31,93	9,16	14,28	155.075	1,20
4.977	488,0	8,55	551,3	1.673	161,7	4,96	248,6	HP 8 x 36	5,64	47,69	7,22	17,32	195.418	1,20
6.140	584,8	8,99	655,9	2.041	199,1	5,18	303,0	W 8 x 40	5,70	81,66	5,92	15,80	249.976	1,22
7.660	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	W 8 x 48	5,77	142,19	5,07	12,06	317.844	1,23
9.498	855,7	9,26	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	W 8 x 58	5,80	212,61	4,43	10,87	385.454	1,25
11.355	991,7	9,45	1152,2	3.664	349,0	5,37	533,4	W 8 x 67						

Figura 41. Selección viga V5. Fuente: Gerdau.

## 2) Viga V9

La viga V9 está dominada por las fuerzas de los pesos de los trabajadores y de la plataforma; así como, del peso del extractor de cal, tal como se muestra en la Figura .

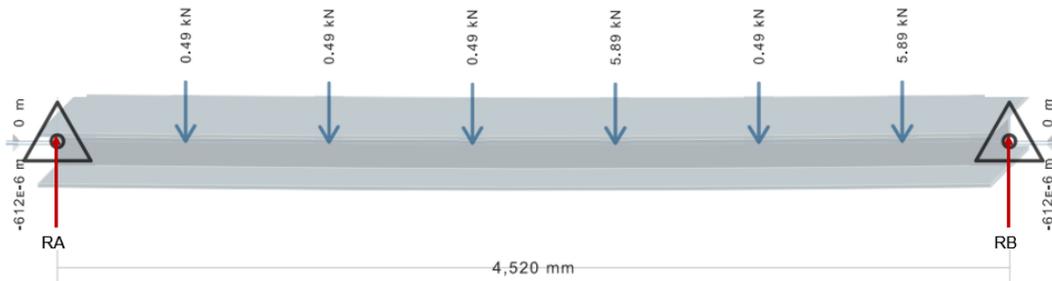


Figura 42. Diagrama cuerpo libre en viga V9. Fuente: Elaboración propia.

Los cálculos pertinentes relacionados a la selección del correcto perfil se muestran a continuación:

Conservación de fuerzas y momentos:

$$\sum F = 0$$

$$R_A + R_B = 13.74 \text{ KN}$$

$$\sum M = 0$$

$$0.49 \cdot 0.61 + 0.49 \cdot 1.29 + 0.49 \cdot 1.97 + 5.89 \cdot 2.65 + 0.49 \cdot 3.33 + 5.89 \cdot 4.01 \\ = R_B \cdot 4.62$$

$$R_B = 9.45 \text{ KN}$$

$$R_A = 4.28 \text{ KN}$$

Ya encontradas las reacciones que se generan en los extremos, se procese a encontrar los cortantes y momentos flectores máximos tal como se muestra en la Figura , siendo sus valores:

$$V_{\text{max}} = 9.45 \text{ KN}$$

$$M_{\text{max}} = 9.34 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

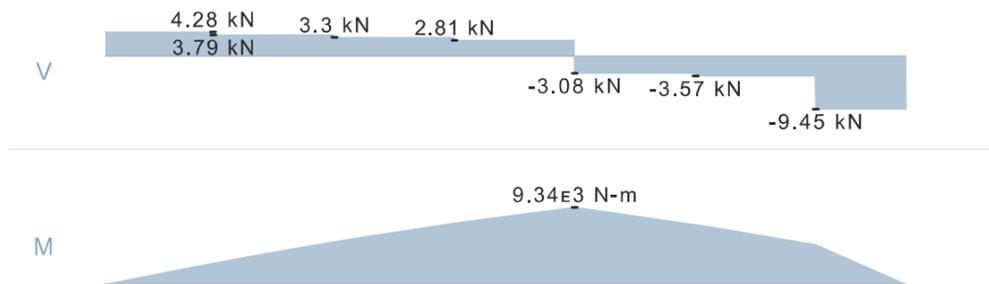


Figura 43. Cortante y Momento flector de viga V9.  
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se selecciona el perfil, según el esfuerzo normal permisible y el momento flector máximo, encontrando el módulo de sección(S):

$$S = \frac{M_{\text{max}}}{\sigma_{\text{perm}}} = \frac{9.34 \cdot 10^3}{250 \cdot 10^6} = 37.36 \text{ cm}^3$$

Como se ve en la Figura , el perfil W6x8.5 es el ideal para la estructura teniendo un módulo de sección menor a 85.8 cm<sup>3</sup>.

X - X				Eje Y - Y				Calibre in x lb/ft	r <sub>x</sub> cm	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	Esbeltez		C <sub>w</sub> cm <sup>6</sup>	U m <sup>2</sup> /m
I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>				Mesa b / 2t <sub>f</sub>	Alma d' / t <sub>w</sub>		
635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	W 6 x 8,5	2,49	4,34	10,20	27,49	4,181	0,67
939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	W 6 x 12	4,10	4,75	11,52	20,48	6,683	0,69
1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	W 6 x 15	2,73	11,08	4,95	17,48	10,206	0,69
1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	W 6 x 16	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90
1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	W 6 x 20	4,22	20,58	6,64	14,67	39,930	0,91
2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	W 6 x 25	2,55	2,05	9,62	39,44	8,222	0,77
1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	W 8 x 10	2,59	4,02	7,85	29,31	11,098	0,79
1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	W 8 x 13	2,63	6,18	6,38	27,42	13,868	0,79
2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	W 8 x 15	3,54	7,65	7,92	29,34	32,477	0,92
2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	W 8 x 18	3,60	12,59	6,57	26,50	40,822	0,93
3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	W 8 x 21	4,50	14,51	8,09	25,90	69,502	1,03
3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	W 8 x 24	4,53	23,19	7,03	21,86	83,948	1,04
4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	W 8 x 28	5,58	22,01	9,23	22,36	141,342	1,19
4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	W 8 x 31	5,61	33,34	8,10	19,85	166,710	1,19
5.298	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	265,8	W 8 x 35	5,57	31,93	9,16	14,28	155,075	1,20
4.977	488,0	8,55	551,3	1.673	161,7	4,96	248,6	HP 8 x 36	5,64	47,69	7,22	17,32	195,418	1,20
6.140	584,8	8,99	655,9	2.041	199,1	5,18	303,0	W 8 x 40	5,70	81,66	5,92	15,80	249,976	1,22
7.660	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	W 8 x 48	5,77	142,19	5,07	12,06	317,844	1,23
9.498	855,7	9,26	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	W 8 x 58	5,80	212,61	4,43	10,87	385,454	1,25
11.355	991,7	9,45	1152,2	3.664	349,0	5,37	533,4	W 8 x 67						

Figura 44. Selección viga V9. Fuente: Gerdau.

### 3) Viga V10

Esta es la viga que más carga soporta, el peso de la escalera, el peso de los trabajadores, de la plataforma y de los equipos, siendo su distribución tal como se muestra en la Figura .

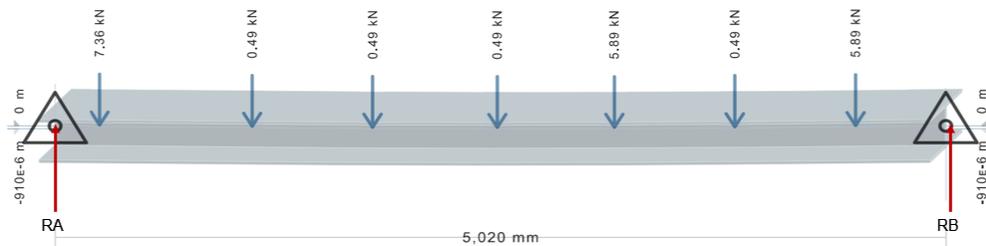


Figura 45. Diagrama cuerpo libre en viga V10. Fuente: Gerdau.

Los cálculos pertinentes relacionados a la selección del correcto perfil se muestran a continuación:

Conservación de fuerzas y momentos:

$$\sum F = 0$$

$$R_A + R_B = 21.10 \text{ KN}$$

$$\sum M = 0$$

$$0.49 \cdot 0.61 + 0.49 \cdot 1.29 + 0.49 \cdot 1.97 + 5.89 \cdot 2.65 + 0.49 \cdot 3.33 + 5.89 \cdot 4.01 \\ = R_B \cdot 5.02$$

$$R_B = 10.20 \text{ KN}$$

$$R_A = 10.80 \text{ KN}$$

Ya encontradas las reacciones que se generan en los extremos, se procese a encontrar los cortantes y momentos flectores máximos tal como se muestra en la Figura , siendo sus valores:

$$V_{\text{max}} = 10.80 \text{ KN}$$

$$M_{\text{max}} = 10.80 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

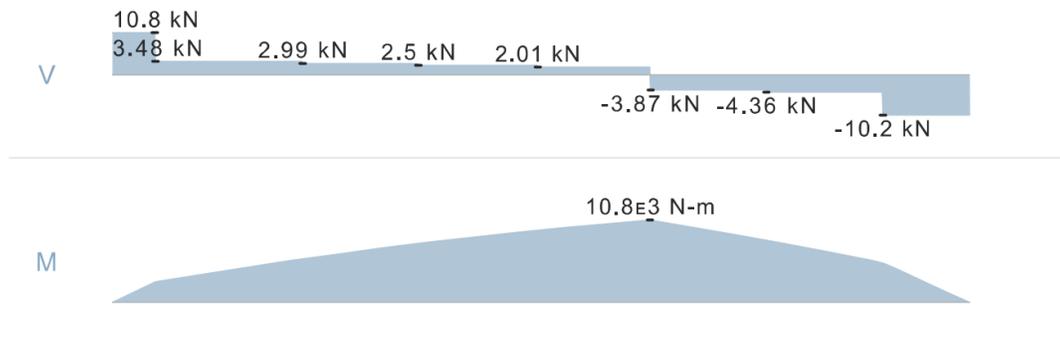
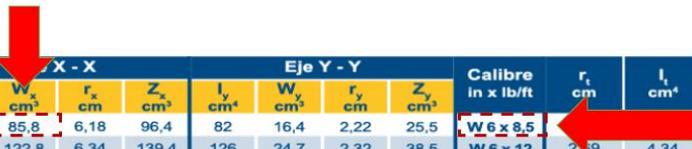


Figura 46. Cortante y Momento flecto de viga V10.  
Fuente: Gerdau.

Se selecciona el perfil, según el esfuerzo normal permisible y el momento flector máximo, encontrando el módulo de sección(S):

$$S = \frac{M_{\text{max}}}{\sigma_{\text{perm}}} = \frac{10.80 \cdot 10^3}{250 \cdot 10^6} = 43.20 \text{ cm}^3$$

Como se ve en la Figura , el perfil W6x8.5 es el ideal para la estructura teniendo un módulo de sección menor a 85.8 cm3.



X - X				Eje Y - Y				Calibre in x lb/ft	r <sub>t</sub> cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	Esbeltez		C <sub>w</sub> cm <sup>4</sup>	U m <sup>2</sup> /m
I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	V <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	V <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>				Mesa b / 2t <sub>f</sub>	Alma d' / t <sub>w</sub>		
635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	W 6 x 8,5	2,19	4,34	10,20	27,49	4,181	0,67
939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	W 6 x 12	2,19	4,34	7,18	20,48	6,683	0,69
1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	W 6 x 15	4,10	4,75	11,52	20,48	20,417	0,88
1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	W 6 x 16	2,73	11,08	4,95	17,48	10,206	0,69
1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	W 6 x 20	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90
2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	W 6 x 25	4,22	20,58	6,64	14,67	39,930	0,91
1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	W 8 x 10	2,55	2,05	9,62	39,44	8,222	0,77
1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	W 8 x 13	2,59	4,02	7,85	29,31	11,098	0,79
2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	W 8 x 15	2,63	6,18	6,38	27,42	13,868	0,79
2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	W 8 x 18	3,54	7,65	7,92	29,34	32,477	0,92
3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	W 8 x 21	3,60	12,59	6,57	26,50	40,822	0,93
3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	W 8 x 24	4,50	14,51	8,09	25,90	69,502	1,03
4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	W 8 x 28	4,53	23,19	7,03	21,86	83,948	1,04
4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	W 8 x 31	5,58	22,01	9,23	22,36	141,342	1,19
5.298	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	265,8	W 8 x 35	5,61	33,34	8,10	19,85	166,710	1,19
4.977	488,0	8,55	551,3	1.673	161,7	4,96	248,6	HP 8 x 36	5,57	31,93	9,16	14,28	155,075	1,20
6.140	584,8	8,99	655,9	2.041	199,1	5,18	303,0	W 8 x 40	5,64	47,69	7,22	17,32	195,418	1,20
7.660	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	W 8 x 48	5,70	81,66	5,92	15,80	249,976	1,22
9.498	855,7	9,26	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	W 8 x 58	5,77	142,19	5,07	12,06	317,844	1,23
11.355	991,7	9,45	1152,2	3.664	349,0	5,37	533,4	W 8 x 67	5,80	212,61	4,43	10,87	385,454	1,25

Figura 47. Selección viga V10. Fuente: Gerdau.

Finalmente, la viga V10 es la más crítica y se va a tomar el perfil que le corresponde a ella para todas las vigas; asimismo, el factor de seguridad (FS) es de:

$$FS = \frac{Steorico}{Sreal} = \frac{85.80}{43.20} = 1.98$$

El factor de seguridad pedido por el cliente es de 5; por lo tanto, teniendo en cuenta esto, la sección de la viga a elegir tendría que ser de:

$$5 = \frac{Steorico}{43.20} \quad Steorico = 216 \text{ cm}^3$$

Teniendo en cuenta ello, la viga a usar en las W6X20, ya que tiene un valor que da un factor de seguridad aproximado a 5 y un valor de sección de viga de 222.5 cm3, tal como se muestra en la Figura .

Eje X - X				Eje Y - Y				Calibre in x lb/ft	r <sub>1</sub> cm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	Esbeltez		C <sub>w</sub> cm <sup>6</sup>	U m <sup>2</sup> /m
I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>				Mesa b <sub>f</sub> / 2t <sub>f</sub>	Alma d' / t <sub>w</sub>		
635	11,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	W 6 x 8,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4.181	0,67
939	17,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	W 6 x 12	2,69	4,34	7,18	20,48	6.683	0,69
1.229	23,8	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	W 6 x 15	4,10	4,75	11,52	20,48	20.417	0,88
1.384	11,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	W 6 x 16	4,73	11,08	4,95	17,48	10.206	0,69
1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	W 6 x 20	4,22	20,58	6,64	14,67	39.930	0,91
2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	W 6 x 25	4,22	20,58	6,64	14,67	39.930	0,91
1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	W 8 x 10	2,55	2,05	9,62	39,44	8.222	0,77
1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	W 8 x 13	2,59	4,02	7,85	29,31	11.098	0,79
2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	W 8 x 15	2,63	6,18	6,38	27,42	13.868	0,79
2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	W 8 x 18	3,54	7,65	7,92	29,34	32.477	0,92
3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	W 8 x 21	3,60	12,59	6,57	26,50	40.822	0,93
3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	W 8 x 24	4,50	14,51	8,09	25,90	69.502	1,03
4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	W 8 x 28	4,53	23,19	7,03	21,86	83.948	1,04
4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	W 8 x 31	5,58	22,01	9,23	22,36	141.342	1,19
5.298	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	265,8	W 8 x 35	5,61	33,34	8,10	19,85	166.710	1,19
4.977	488,0	8,55	551,3	1.673	161,7	4,96	248,6	HP 8 x 36	5,57	31,93	9,16	14,28	155.075	1,20
6.140	584,8	8,99	655,9	2.041	199,1	5,18	303,0	W 8 x 40	5,64	47,69	7,22	17,32	195.418	1,20
7.660	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	W 8 x 48	5,70	81,66	5,92	15,80	249.976	1,22
9.498	855,7	9,26	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	W 8 x 58	5,77	142,19	5,07	12,06	317.844	1,23
11.355	991,7	9,45	1152,2	3.664	349,0	5,37	533,4	W 8 x 67	5,80	212,61	4,43	10,87	385.454	1,25

Figura 48. Selección viga final. Fuente: Gerdau.

### Selección de perfil para las columnas

Las reacciones las vigas vistas previamente, corresponden a las cargas que deben soportar las columnas; asimismo, como se vio la viga V10 presenta mayores cargas que otras; a su vez, mayores cargas en las vigas, siendo la viga C5 la más crítica, tal como se muestra en la Figura .

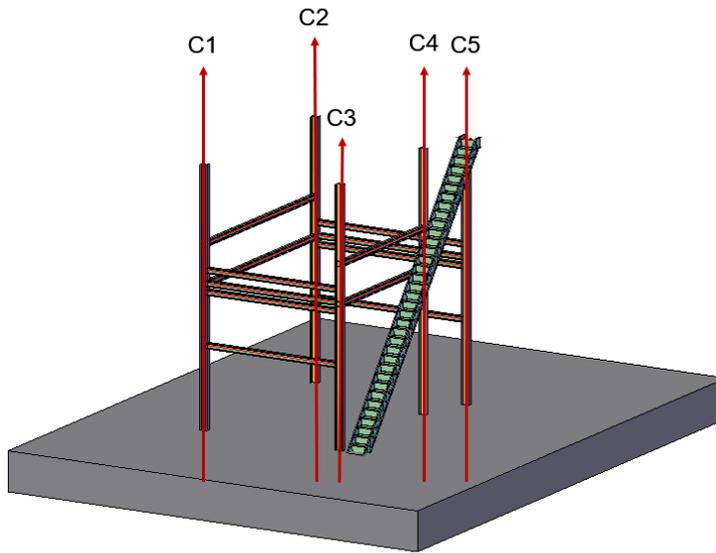


Figura 49. Distribución entre columnas.  
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se selecciona el perfil, según el esfuerzo normal permisible y la carga:

$$\sigma_{perm} = \frac{FC5}{A}$$

$$250 \cdot 10^6 = \frac{10.80 \cdot 10^6}{A}$$

$$A = 43.20 \text{ cm}^2$$

Como se ve en la Figura , el perfil W8x31es el ideal para la estructura teniendo un módulo de sección menor a 58.60 cm<sup>2</sup>.

Eje X - X				Eje Y - Y				Calibre in x lb/ft	$r_t$ cm	$I_x$ cm <sup>4</sup>	Esbeltez		$C_w$ cm <sup>6</sup>	U m <sup>2</sup> /m
$I_x$ cm <sup>4</sup>	$W_x$ cm <sup>3</sup>	$r_x$ cm	$Z_x$ cm <sup>3</sup>	$I_y$ cm <sup>4</sup>	$W_y$ cm <sup>3</sup>	$r_y$ cm	$Z_y$ cm <sup>3</sup>				Mesa $b_f / 2t_f$	Alma $d' / t_w$		
635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	W 6 x 8,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4.181	0,67
939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	W 6 x 12	2,69	4,34	7,18	20,48	6.683	0,69
1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	W 6 x 15	4,10	4,75	11,52	20,48	20.417	0,88
1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	W 6 x 16	2,73	11,08	4,95	17,48	10.206	0,69
1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	W 6 x 20	4,18	10,95	8,23	17,94	30.277	0,90
2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	W 6 x 25	4,22	20,58	6,64	14,67	39.930	0,91
1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	W 8 x 10	2,55	2,05	9,62	39,44	8.222	0,77
1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	W 8 x 13	2,59	4,02	7,85	29,31	11.098	0,79
2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	W 8 x 15	2,63	6,18	6,38	27,42	13.868	0,79
2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	W 8 x 18	3,54	7,65	7,92	29,34	32.477	0,92
3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	W 8 x 21	3,60	12,59	6,57	26,50	40.822	0,93
3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	W 8 x 24	4,50	14,51	8,09	25,90	69.502	1,03
4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	W 8 x 28	5,53	23,19	7,03	21,86	83.948	1,04
4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	W 8 x 31	5,61	33,34	9,23	22,36	141.342	1,19
5.298	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	265,8	W 8 x 35	5,61	33,34	8,10	19,85	166.710	1,19
4.977	488,0	8,55	551,3	1.673	161,7	4,96	248,6	HP 8 x 36	5,57	31,93	9,16	14,28	155.075	1,20
6.140	584,8	8,99	655,9	2.041	199,1	5,18	303,0	W 8 x 40	5,64	47,69	7,22	17,32	195.418	1,20
7.660	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	W 8 x 48	5,70	81,66	5,92	15,80	249.976	1,22
9.498	855,7	9,26	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	W 8 x 58	5,77	142,19	5,07	12,06	317.844	1,23
11.355	991,7	9,45	1152,2	3.664	349,0	5,37	533,4	W 8 x 67	5,80	212,61	4,43	10,87	385.454	1,25

Figura 50. Selección columna final. Fuente: Gerdau.

### Selección de las uniones de soldadura

Hay varias secciones que se deben soldar en la estructura, tal como se muestra en la Figura ; asimismo, con el fin de agilizar el cálculo, se tomará en consideración la unión que presenta una mayor carga cortante; en este sentido, estas cargas se calcularon anteriormente; por lo cual, se tomarán en consideración los miembros que interactúan con esta carga cuyo modulo es de 10.80 KN y se encuentra en la interacción de la viga V10 y las columnas C1 Y C5 y corresponde a S5, como se muestra en la Figura y Figura . Para las otras zonas de soldadura se tomará como referencia esta y se procederá a especificar sus características en los planos correspondientes, los cuales se dará a conocer en los capítulos posteriores.

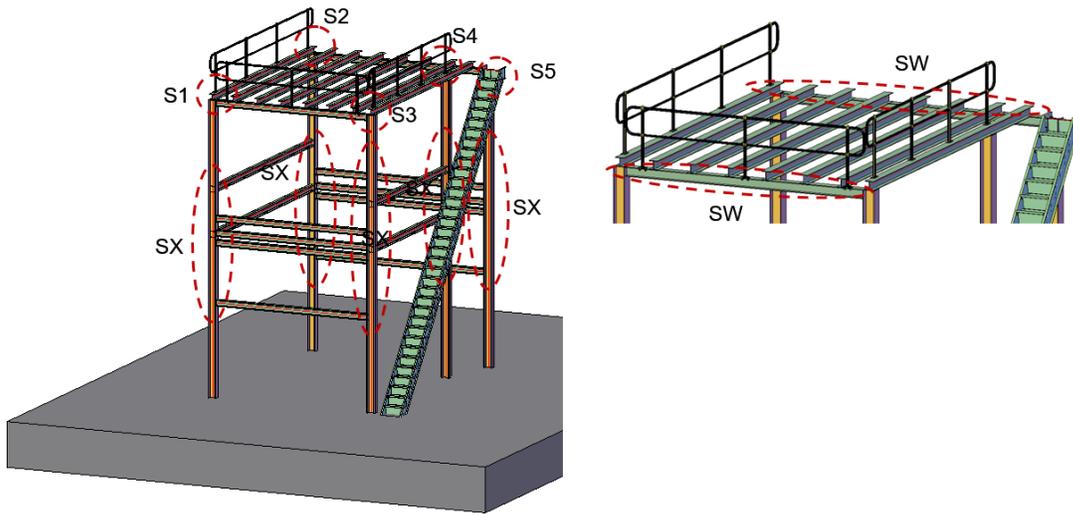


Figura 51. Distribución de soldaduras. Fuente: Elaboración propia.

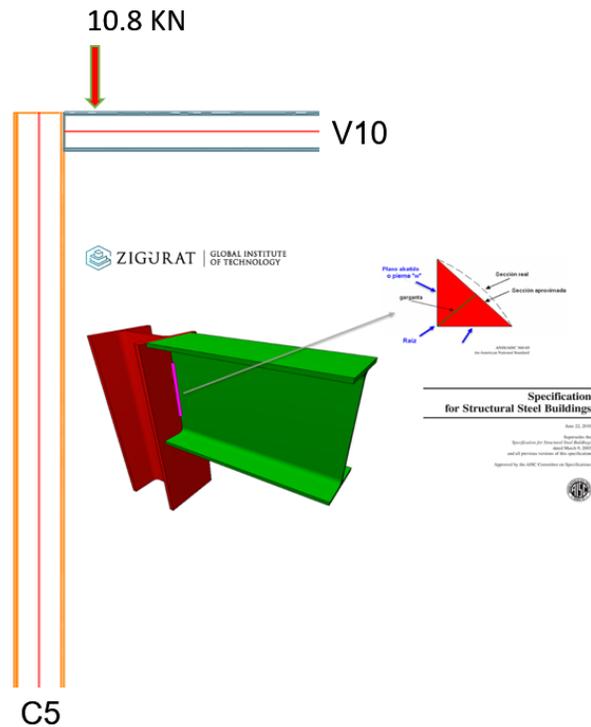


Figura 52. Soldadura en C5 y V10. Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la soldadura, se tendrá en cuenta la norma americana AISC-360 con la metodología Máster Internacional de Estructuras y Mixtas de Zigurat; asimismo, se dan los siguientes datos de entrada:

$$Esfuerzo = 10.8 \text{ KN}$$

Columna C5:

$$Espesor \text{ de ala } t_{fc} = 270 \text{ mm}$$

Viga V10:

$$Canto \text{ } h = 157 \text{ mm}$$

$$Espesor \text{ de alma } t_{wv} = 6.60 \text{ mm}$$

i. Resistencia de cordón de soldadura

La resistencia de soldadura está relacionada con el electrodo que se va a usar, el área efectiva del cordón y el coeficiente de seguridad, tal como se muestra en la ecuación.

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot (0.6 \cdot F_{EXXX}) \cdot t_e \cdot L_w$$

Donde:

$\phi$ : Coeficiente de seguridad

$F_{EXXX}$ : Electrodo

$t_e \cdot L_w$ : Área efectiva del cordón

De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** saca los valores mencionados previamente para encontrar el valor de la resistencia de la soldadura, en donde:

$$\phi = 0.75$$

$$t_e = 6.60 \cdot \sin(45) = 4.66 \text{ mm}$$

$$L_w = 150 \text{ mm}$$

$$\phi \cdot R_n = 132.35 \text{ KN}$$

Tabla 14. Resistencia de soldadura.

TABLE J2.5 (continued) Available Strength of Welded Joints, ksi (MPa)					
Load Type and Direction Relative to Weld Axis	Pertinent Metal	$\phi$ and $\Omega$	Nominal Stress ( $F_{tBM}$ or $F_{wM}$ ) ksi (MPa)	Effective Area ( $A_{EM}$ or $A_{wM}$ ) in. <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Required Filler Metal Strength Level <sup>1,4,5,6</sup>
<b>FILLET WELDS</b> INCLUDING FILLETS IN HOLES AND SLOTS AND SKEWED T-JOINTS					
Shear	Base	Governed by J4			Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal is permitted.
	Weld	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60F_{EXX}^H$	See J2.2a	
Tension or compression Parallel to weld axis	Tension or compression in parts joined parallel to a weld need not be considered in design of welds joining the parts.				
<b>PLUG AND SLOT WELDS</b>					
Shear Parallel to faying surface on the effective area	Base	Governed by J4			Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal is permitted.
	Weld	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60F_{EXX}$	See J2.3a	
<sup>H</sup> For matching weld metal see AWS D1.1/D1.1M, Section 3.3. <sup>I</sup> Filler metal with a strength level one strength level greater than matching is permitted. <sup>J</sup> Filler metals with a strength level less than matching may be used for groove welds between the webs and flanges of built-up sections transferring shear loads, or in applications where high restraint is a concern. In these applications, the weld joint shall be detailed and the weld shall be designed using the thickness of the material as the effective throat, where $e = 0.60$ , $\Omega = 1.80$ and $0.60F_{EXX}$ is the nominal strength. <sup>K</sup> Alternatively, the provisions of Section J2.4(a) are permitted provided the deformation compatibility of the various weld elements is considered. Sections J2.4(b) and (c) are special applications of Section J2.4(a) that provide for deformation compatibility.					

Fuente: AISC-360.

Tabla 15. Restricciones de soldadura.

**User Note:** The following User Note Table summarizes the AWS D1.1/D1.1M provisions for matching filler metals. Other restrictions exist. For a complete list of base metals and prequalified matching filler metals see AWS D1.1/D1.1M, Table 3.1.

Base Metal	Matching Filler Metal
A36 $\leq 3/4$ in. thick	60 & 70 ksi filler metal
A36 > 3/4 in. A588* A1011	A572 (Gr. 50 & 55) A913 (Gr. 50) A992 A1018 SMAW: E7015, E7016, E7018, E7028 Other processes: 70 ksi filler metal
A913	(Gr. 60 & 65) 80 ksi filler metal
*For corrosion resistance and color similar to the base metal, see AWS D1.1/D1.1M, subclause 3.7.3.	
Notes: Filler metals shall meet the requirements of AWS A5.1, A5.5, A5.17, A5.18, A5.20, A5.23, A5.28 or A5.29. In joints with base metals of different strengths, use either a filler metal that matches the higher strength base metal or a filler metal that matches the lower strength and produces a low hydrogen deposit.	

Fuente: AISC-360.

ii. Dimensionado de cordón de soldadura

Debe cumplirse que la unión actual debe ser inferior a la resistencia de soldadura; es decir:

$$\frac{V}{2} \leq \phi \cdot R_n$$

$$\frac{V}{2} = 10.8 \text{ KN}$$

$$V = 21.6 \text{ KN} \leq 132.35 \text{ KN} \quad ; \text{ Sí cumple!}$$

Entonces el aprovechamiento sería:

$$A_{prov} = \frac{21.6}{132} \cdot 100 = 16.36 \%$$

Finalmente, las dimensiones de la soldadura serían:

$$W = 150 \text{ mm}$$

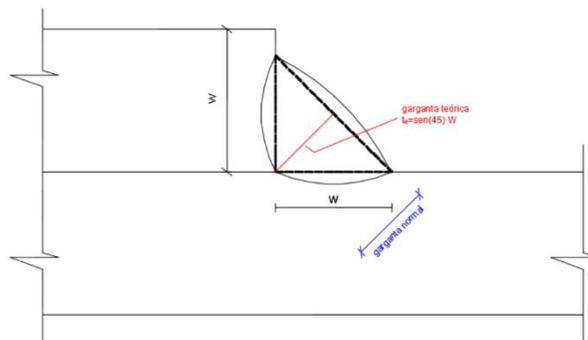


Figura 53. Medida de cordón de soldadura.  
Fuente: Elaboración propia.

Ya realizado el dimensionamiento de la soldadura, el siguiente paso es hacer el cálculo estático, donde interviene las fuerzas cortantes en la soldadura; por este motivo se encontrará el cortante directo:

$$\tau' = \frac{V}{A_g}$$

Donde:

$\tau'$ : Cortante directo

V: Fuerza Cortante

$A_g$ : Área de la garganta de soldadura

Teniendo en cuenta los valores y dimensiones mostrados en la Figura , el esfuerzo cortante máximo en la garganta de soldadura es:

$$\tau' = \frac{10.8 \cdot 10^3 N}{0.707 \cdot 157 \cdot 2 \cdot 157 mm^2} = 0.324 Mpa = 0.046 Ksi$$

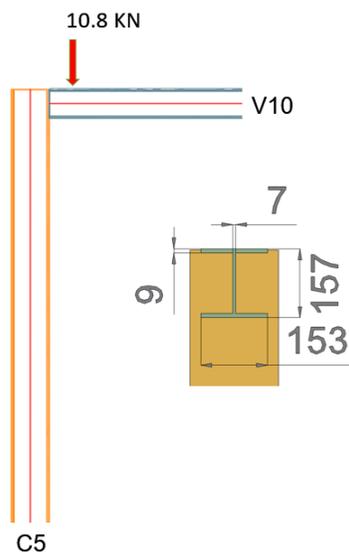


Figura 54. Dimensiones y fuerzas en la viga más crítica.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se vio, el esfuerzo máximo de la soldadura fue de 0.046 Ksi, cabe recalcar que no hay esfuerzos por flexión y solo cortante puro; asimismo, este valor es esfuerzo es menor al esfuerzo del electrodo E70; por lo tanto, cumple su función.

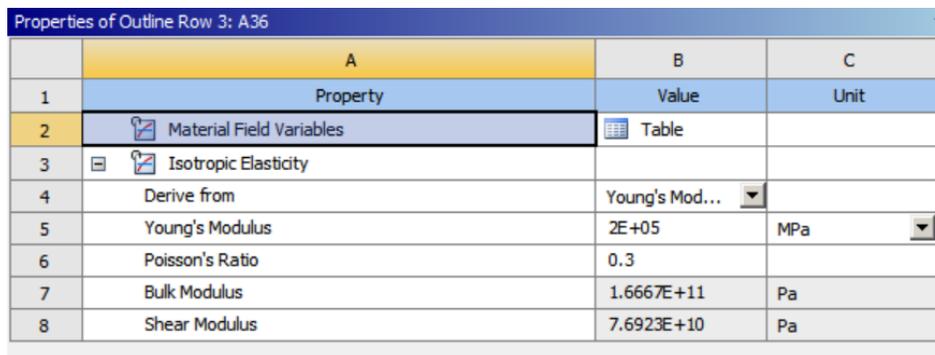
## Simulación con software CAD

### Simulación con elementos finitos en ANSYS

Para el comportamiento de las cargas del modelo con las vigas y columnas seleccionadas previamente, se realizó un análisis estático estructural, en donde se consideraron algunos aspectos importantes los cuales se muestran a continuación:

#### A. Datos de Ingeniería

Se estableció las propiedades mecánicas del material a analizar, como se mencionó en capítulos anterior, el acero estructural A36, donde se definió el módulo elástico y el radio de Poisson, tal como se muestra en la Figura .



Properties of Outline Row 3: A36			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	 Material Field Variables	 Table	
3	 Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Mod...	
5	Young's Modulus	2E+05	MPa
6	Poisson's Ratio	0.3	
7	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa
8	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa

Figura 55. Datos de ingeniería de la estructura.  
Fuente: Elaboración propia.

#### B. Geometría

Se importó la geometría de la estructura teniendo en cuenta los perfiles, tanto de las vigas como de las columnas, como se vio en el capítulo anterior.

#### C. Modelo

Se seleccionó un tamaño de malla de 50 mm, tal como se muestra en la Figura ; ya que, se desea evitar usar la falta de capacidad de procesamiento del computador.

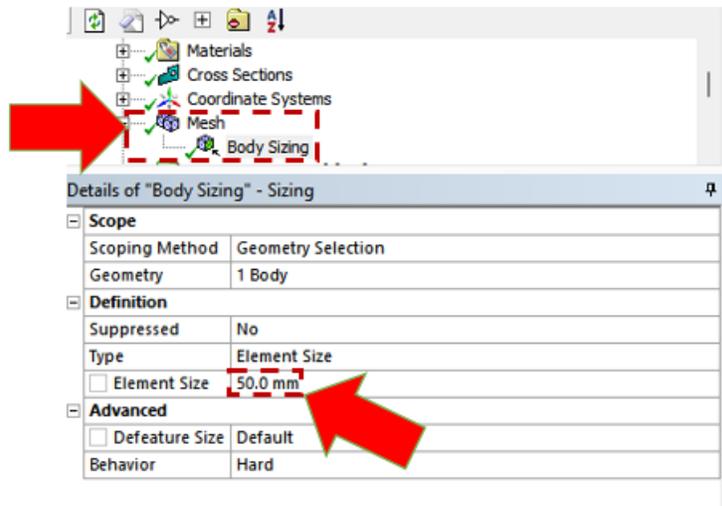


Figura 56. Tamaño de malla.  
Fuente: Elaboración propia.

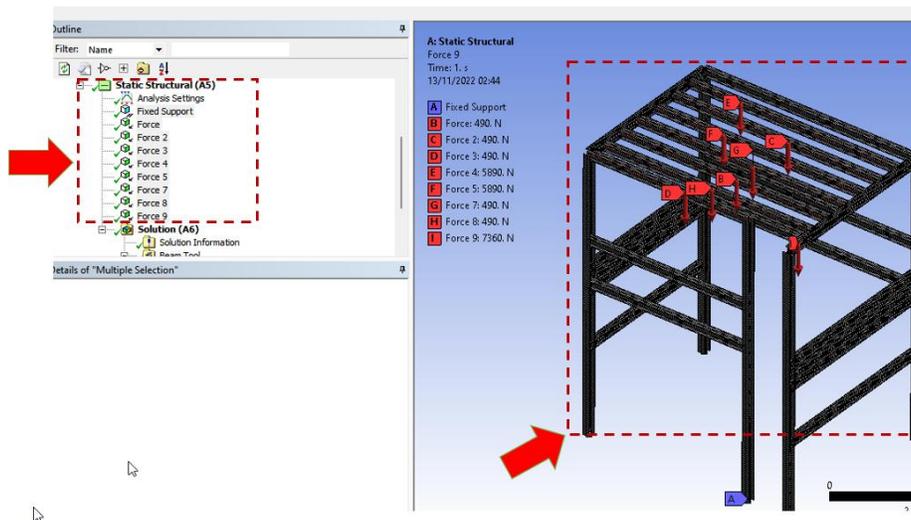


Figura 57. Fuerzas en la estructura.  
Fuente: Elaboración propia.

## D. Resultados

Como se ve en la Figura , la estructura puede soportar un esfuerzo combinado máximo de 10.48 MPa, en una simulación bajo condiciones dadas y mencionadas previamente; asimismo, esto trae a su vez una deformación máxima de 2.83 mm, tal como

se muestra en la Figura 51, siendo las vigas V5 y V7 las que presentan mayor carga y de las cuales se seleccionó el perfil correspondiente en el capítulo anterior. Por otro lado, se debe tener cuenta que el acero estructura A36 tiene un esfuerzo nominal de 250Mpa; por lo tanto, la estructura soporta las cargas con total normalidad y de manera sobresaliente con un factor de seguridad de 23.

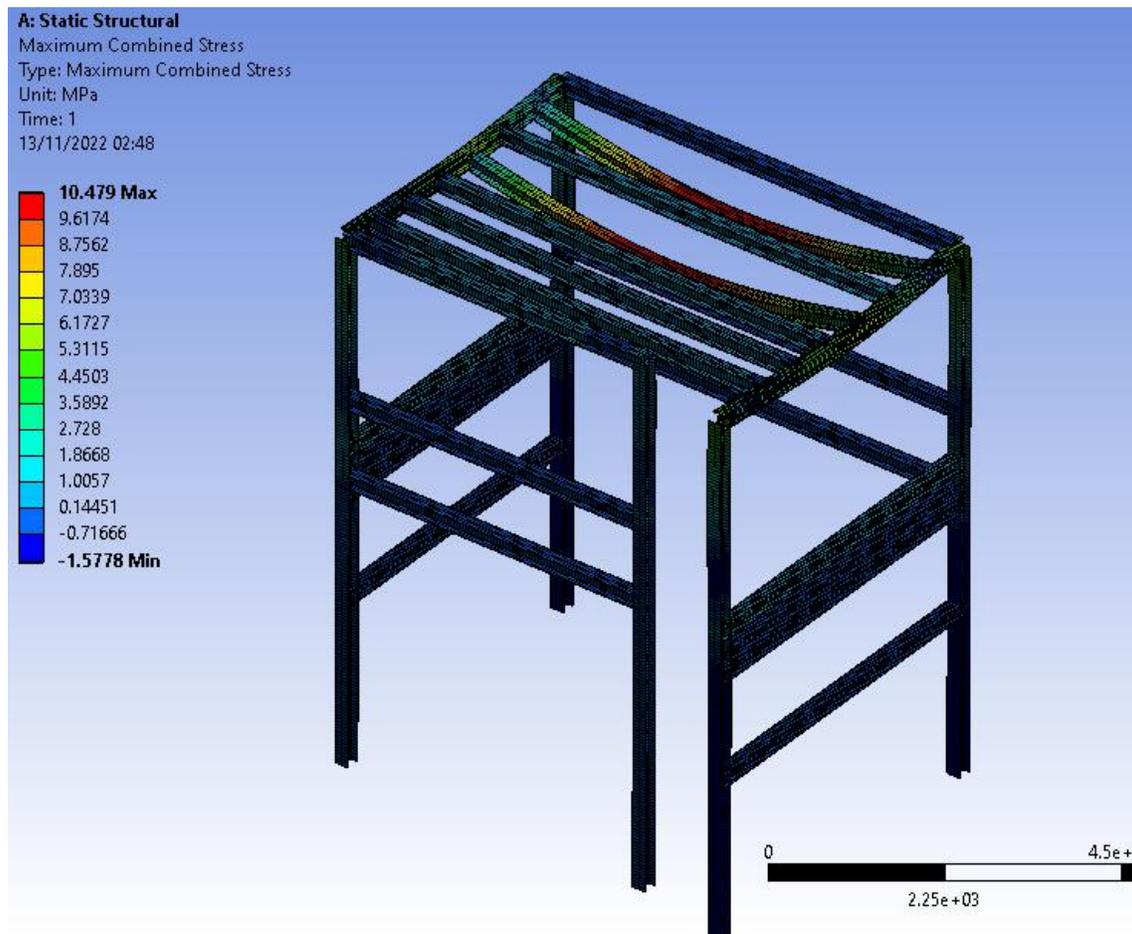


Figura 58. Esfuerzo combinado máximo de la estructura.  
Fuente: Elaboración propia.

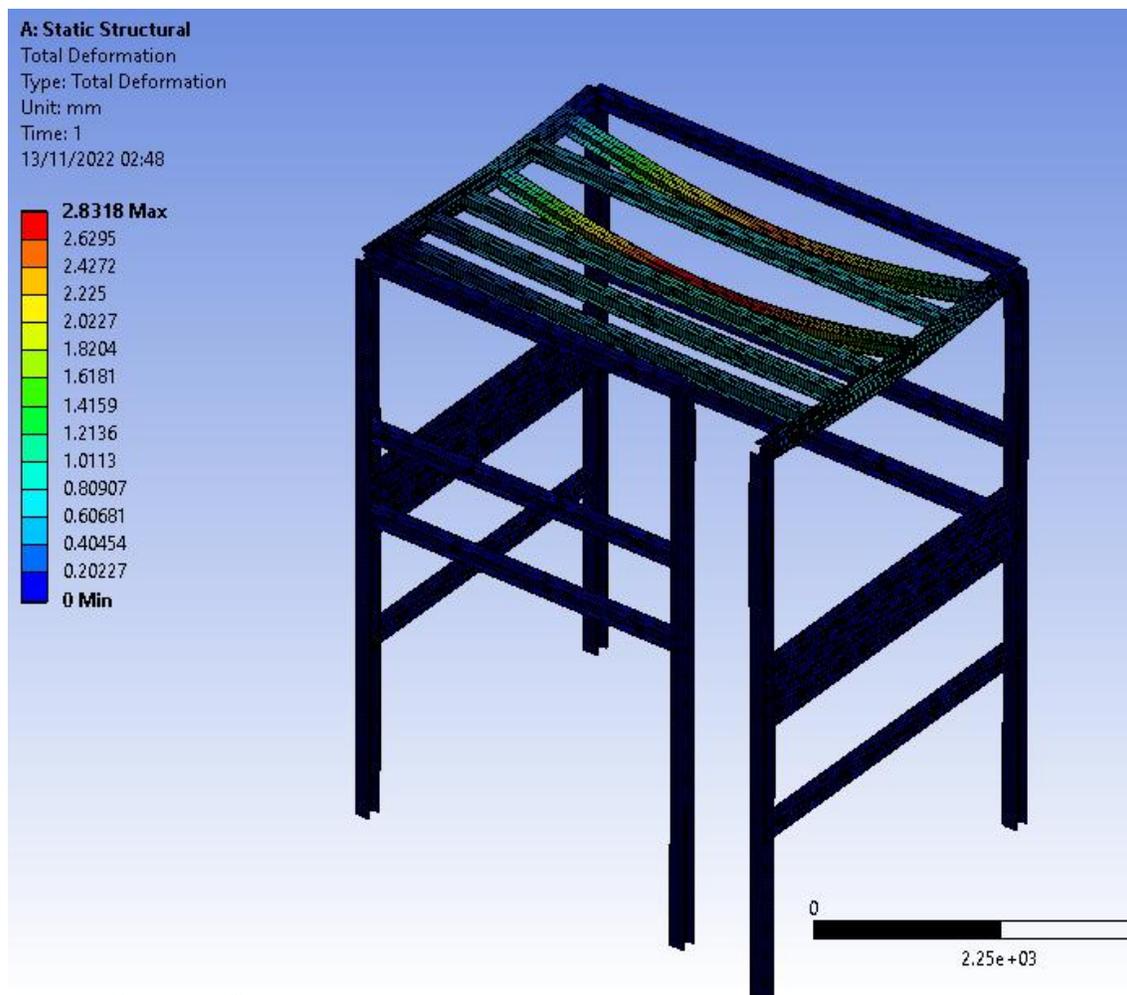


Figura 51. Deformación máxima de la estructura  
 Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. Selección de materiales

Se ha usado aproximadamente 27 piezas estructurales entre vigas y columnas con un peso total de 11,870 libras o 5,874 Kg, tal como se muestra en la Figura y Figura .



Universidad Continental			
Client:	Sociedad Minera El Brocal	Job No:	001
Project:	Estructura de Extractor de Cal		
Detailer:		Date:	13-Nov.-22

Quantity	Mark	Description	Length	Grade	Part weight	Total weight	Remark
			(inch)		pound	pound	
<b>W6x20</b>							
1	B#internal1	W6x20	15'-9 5/8"	A36	316.01	316.01	
1	B#internal2	W6x20	15'-9 5/8"	A36	316.01	316.01	
1	B#internal3	W6x20	15'-9 5/8"	A36	316.01	316.01	
1	B#internal4	W6x20	15'-9 5/8"	A36	316.01	316.01	
1	B#internal5	W6x20	14'-1 15/16"	A36	283.27	283.27	
1	B#internal6	W6x20	14'-1 15/16"	A36	283.27	283.27	
1	B#internal7	W6x20	14'-1 15/16"	A36	283.27	283.27	
1	B#internal8	W6x20	14'-1 15/16"	A36	283.27	283.27	
1	B#internal9	W6x20	15'-6 9/16"	A36	310.89	310.89	
1	B#internal10	W6x20	15'-6 9/16"	A36	310.89	310.89	
1	B#internal11	W6x20	20'-9"	A36	415.03	415.03	
1	B#internal12	W6x20	20'-9"	A36	415.03	415.03	
1	B#internal13	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal14	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal15	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal16	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal17	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal18	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal19	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal20	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal21	W6x20	15'-9 5/8"	A36	316.01	316.01	
1	B#internal22	W6x20	14'-1 15/16"	A36	283.27	283.27	
22	<b>TOTAL</b>		<b>TOTAL</b> 392'-4 15/16"			7,848.23	

Figura 60. Lista de materiales parte 1.  
Fuente: Elaboración propia.

Quantity	Mark	Description	Length	Grade	Part weight	Total weight	Remark
			(inch)		pound	pound	
<b>W8x31</b>							
1	B#internal23	W8x31	25'-11 7/16"	A36	804.49	804.49	
1	B#internal24	W8x31	25'-11 7/16"	A36	804.49	804.49	
1	B#internal25	W8x31	25'-11 7/16"	A36	804.49	804.49	
1	B#internal26	W8x31	25'-11 7/16"	A36	804.49	804.49	
1	B#internal27	W8x31	25'-11 7/16"	A36	804.49	804.49	
5	<b>TOTAL</b>		<b>TOTAL</b> 129'-9 1/16"			4,022.47	

<b>TOTAL QUANTITY</b>	27
<b>TOTAL WEIGHT</b>	11,870.70 pound

Figura 61. Lista de materiales parte 2.  
Fuente: Elaboración propia.

Ya verificada la simulación de la estructura con los respectivos elementos, el siguiente paso es la construcción de la estructura en campo; es decir, se deben tener los materiales suficientes para tener una correcta unión de miembros, tanto vigas y columnas, y los elementos encargados de ello son los planos; en este sentido, estos se presentan a continuación y serán pieza clave en la construcción de la estructura, como se muestran en las Figura 62, Figura 63 y Figura 64.

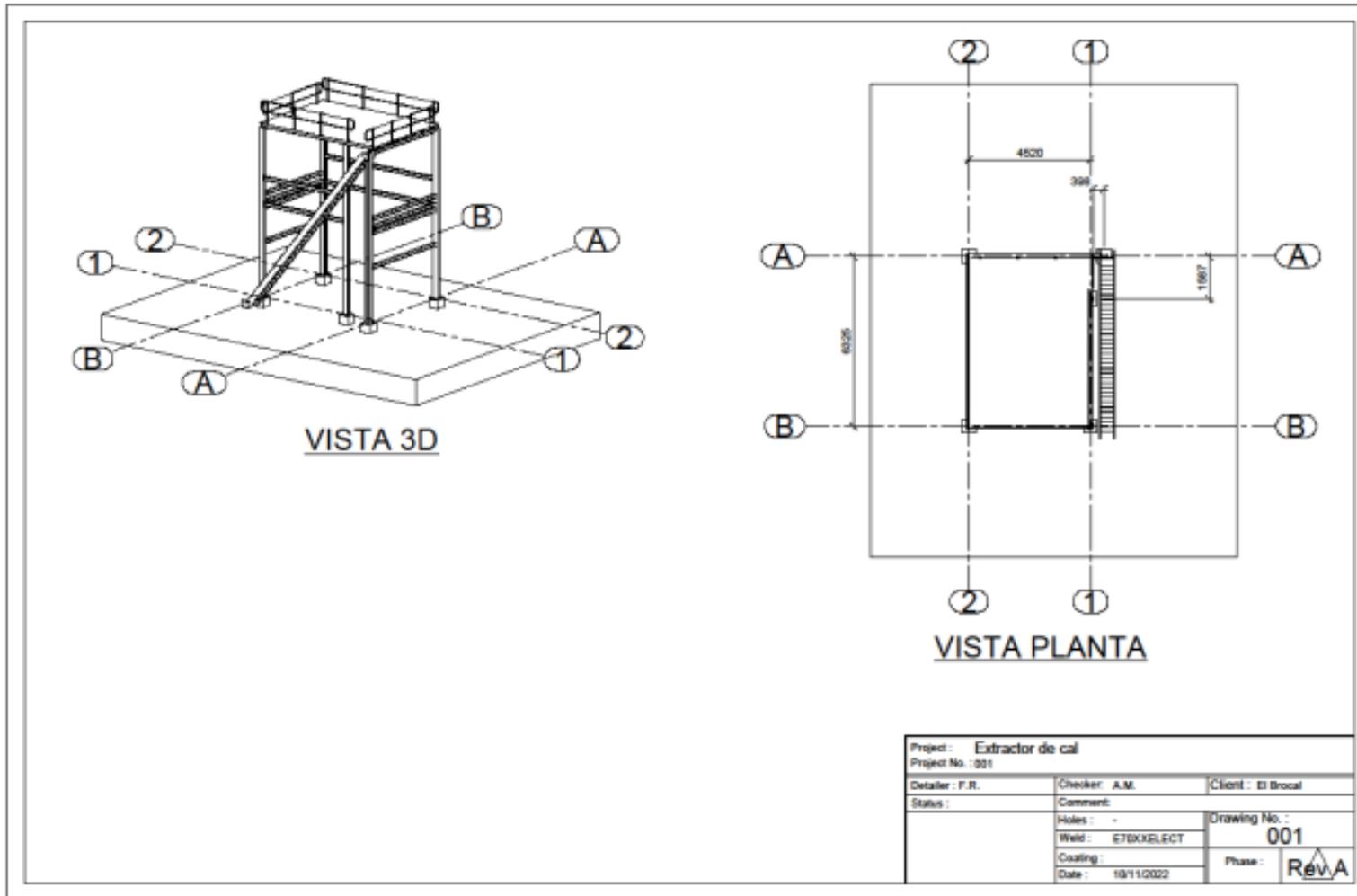
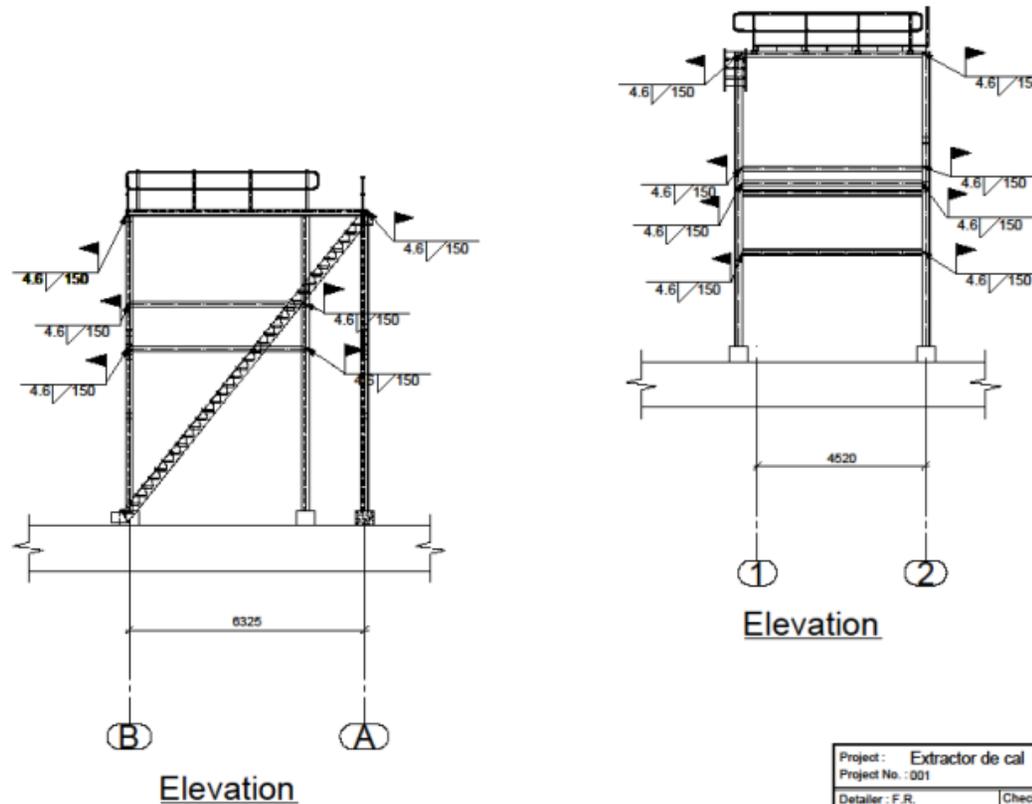
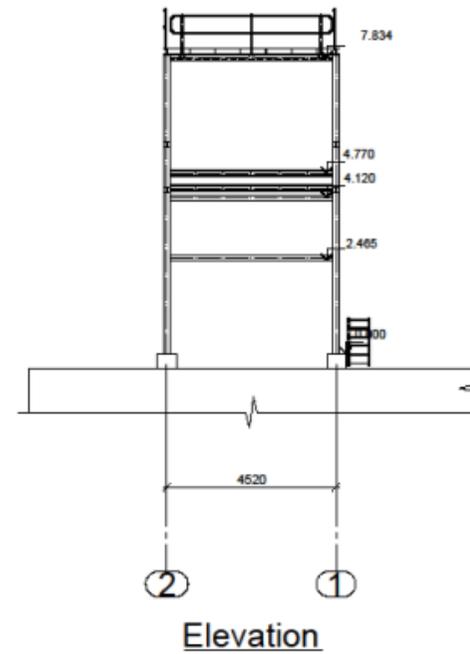
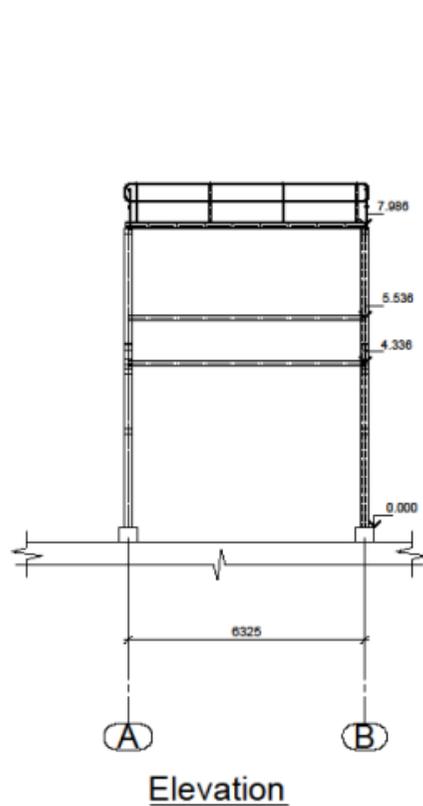


Figura 62. Plano en vista en 3D y vista de planta del diseño propuesto  
Fuente: Elaboración propia.



Project : Extractor de cal		
Project No. : 001		
Detailer : F.R.	Checker : A.M.	Client :
Status :	Comment :	
<b>Autodesk.</b>	Holes : -	Drawing No. :
	Weld : E70XXELECT	00
	Coating : None	Phase :
	Date : 10/11/2022	F

Figura 63. Plano de vista frontal del diseño propuesto  
Fuente: Elaboración propia.



Project : Extractor de cal		
Project No. : 001		
Detailer : F.R.	Checker : A.M.	Client : El Bro
Status :	Comment :	
<b>Autodesk.</b>	Holes : -	Drawing No. : 00
	Weld : E70XXELECT	Phase :
	Coating :	
	Date : 10/11/2022	

Figura 64. Plano de vista lateral del diseño propuesto  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.3. Costos de construcción

En la actualidad, el costo de kg de acero estructural A36 es de aproximadamente 4.38 soles por kilogramo, tal como se muestra en la Figura 21; asimismo, se ha usado aproximadamente 27 piezas estructurales entre vigas y columnas con un peso total de 11,870 pounds o 5,874 Kg, tal como se muestra en la Figura 66 y 67; por consiguiente, el costo de materia prima o material es de aproximadamente 23,858 soles. Por otro lado, se debe tener en cuenta los costos de maquinaria, herramientas, mano de obra, donde se han considerado un soldador y oficial de la estructura metálica, cuyo costo unitario y horas totales se muestra en la Figura 21. Finalmente, la implementación de la presente estructura tiene un costo aproximado de 29,002.00 soles.

AUTODESK® ADVANCE STEEL		Universidad Continental					
		Client:	Sociedad Minera El Brocal	Job No:	001		
		Project:	Estructura de EXtractor de Cal				
		Detailer:		Date:	13-Nov.-22		
Quantity	Mark	Description	Length	Grade	Part weight	Total weight	Remark
			(inch)		pound	pound	
<b>W6x20</b>							
1	B#internal1	W6x20	15'-9 5/8"	A36	316.01	316.01	
1	B#internal2	W6x20	15'-9 5/8"	A36	316.01	316.01	
1	B#internal3	W6x20	15'-9 5/8"	A36	316.01	316.01	
1	B#internal4	W6x20	15'-9 5/8"	A36	316.01	316.01	
1	B#internal5	W6x20	14'-1 15/16"	A36	283.27	283.27	
1	B#internal6	W6x20	14'-1 15/16"	A36	283.27	283.27	
1	B#internal7	W6x20	14'-1 15/16"	A36	283.27	283.27	
1	B#internal8	W6x20	14'-1 15/16"	A36	283.27	283.27	
1	B#internal9	W6x20	15'-6 9/16"	A36	310.89	310.89	
1	B#internal10	W6x20	15'-6 9/16"	A36	310.89	310.89	
1	B#internal11	W6x20	20'-9"	A36	415.03	415.03	
1	B#internal12	W6x20	20'-9"	A36	415.03	415.03	
1	B#internal13	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal14	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal15	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal16	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal17	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal18	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal19	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal20	W6x20	21'-3"	A36	425.00	425.00	
1	B#internal21	W6x20	15'-9 5/8"	A36	316.01	316.01	
1	B#internal22	W6x20	14'-1 15/16"	A36	283.27	283.27	
22	<b>TOTAL</b>		<b>TOTAL</b> 392'-4 15/16"			7,848.23	

Figura 65. Lista de materiales parte 1  
Fuente: Elaboración propia.

Quantity	Mark	Description	Length	Grade	Part weight	Total weight	Remark
			(inch)		pound	pound	
<b>W8x31</b>							
1	B#internal23	W8x31	25'-11 7/16"	A36	804.49	804.49	
1	B#internal24	W8x31	25'-11 7/16"	A36	804.49	804.49	
1	B#internal25	W8x31	25'-11 7/16"	A36	804.49	804.49	
1	B#internal26	W8x31	25'-11 7/16"	A36	804.49	804.49	
1	B#internal27	W8x31	25'-11 7/16"	A36	804.49	804.49	
5	<b>TOTAL</b>		<b>TOTAL</b> 129'-9 1/16"			4,022.47	

<b>TOTAL QUANTITY</b>	27
<b>TOTAL WEIGHT</b>	11,870.70 pound

Figura 66. Lista de materiales parte 2  
Fuente: Elaboración propia.

	Unidad	Descripción	Cantidad	P. unitario	Precio total
<b>Materiales</b>	kg	Acero ASTM A36 con imprimación antioxidante	5384	S/ 4.38	S/ 23,581.92
<b>Equipos</b>	h	Equipos y elemento de soldadura	80.76	S/ 9.90	S/ 799.52
	h	Operario en estructura metálica	102.296	S/ 26.56	S/ 2,716.98
<b>Mano de obra</b>	h	Oficial en estructura metálica	102.296	S/ 18.51	S/ 1,893.50
<b>Herramientas</b>	Un	Herramientas	2	S/ 5.39	S/ 10.78
<b>Costo Total</b>					<b>S/ 29,002.70</b>

*Figura 67.* Costos de construcción  
Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

- 1) Se diseñó una estructura para el soporte de cal con la capacidad de soportar 2000 Kg y las condiciones de trabajo de los equipos, obteniendo los perfiles w8x21 y w6x20 mejor comportamiento para soportar cargas y esfuerzos que interactúan en la estructura.
- 2) Se diseñó una estructura para el soporte del extractor de cal con la capacidad de soportar las condiciones de trabajo del equipo, en donde presentó un esfuerzo máximo soportado en la simulación de elementos finitos de 10.8 MPa, estando dentro de los límites del permitido por el acero estructura A36, elegido para soportar dichas condiciones.
- 3) Se diseñó una estructura para el soporte del extractor de cal con la capacidad de soportar las condiciones externas de trabajo como las condiciones ambientales, en donde, los elementos pertenecientes a esta estructura tendrán un recubrimiento anticorrosivo.
- 4) Se diseñó una estructura para el soporte del extractor de cal segura para los trabajadores, en donde, se consideraron 5 trabajadores, una escalera para acceso al equipo y barandas para el cálculo correspondiente del perfil óptimo; asimismo, según la simulación por elementos finitos se presenta un factor de seguridad de 23.

## RECOMENDACIONES

- Para un análisis más completo acerca de la tesis en cuestión, se recomienda analizar el tipo de anclaje de la estructura sobre la superficie en la cual reposará. El anclaje debe presentar las características necesarias para resistir el peso y la vibración de la estructura y el extractor de cal.
- En el estudio, se ha analizado el tipo de perfil de acero y su resistencia, si se desea implementar alguna de las propuestas señaladas en la tesis se recomienda galvanizar los perfiles. El galvanizado generará una capa protectora a la estructura que la protegerá frente a los agentes externos como la humedad.
- Se recomienda que los pernos, también, sean galvanizados y en caso se use soldadura sobre la estructura galvanizada, esta se puede cubrir con galvanizado en frío. El galvanizado en frío correctamente aplicado presenta características similares al galvanizado en caliente. Sin embargo, se recomienda usar el galvanizado en frío solo en lugares que no se pudieron galvanizar en caliente en un inicio, como las soldaduras.
- Si la estructura se va a galvanizar hay que tener en cuenta el aumento de espesor de los perfiles de acero para evitar inconvenientes durante el ensamblaje.

## TRABAJOS FUTUROS

- En el presente trabajo, no se analizó el comportamiento de las zapatas en las bases de la estructura, que no formaba parte del alcance; por tal motivo, para trabajos futuros se recomienda tomar este punto en consideración; ya que, sin una zapata diseñada adecuadamente, la estructura podría tener un comportamiento ineficiente. Para el diseño de la zapata, se debe de seguir la Norma Técnica E.050 “Suelos y Cimentaciones”.
- Si se requiere de mayor precisión en la instalación o ver interferencias, como el tema del sondeo de las tuberías que pasan debajo de la estructura, se recomienda, escanear la zona y digitalizarla; de esta manera, se va a poder tomar mejores decisiones en el diseño e instalación de la estructura de soporte.
- Se sugiere, a fin de realizar un análisis integral de la estructura y de los suelos o de las resistencias de la superficie sobre donde posará el extractor de cal, con la finalidad de evitar asentamiento de suelos por el peso o rotura de superficie, según sea el caso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceros Arequipa. (21 de octubre de 2022). *Tipos de perfiles estructurales y tipos de estructuras de acero*. Obtenido de Tipos de perfiles estructurales y tipos de estructuras de acero: <https://www.construyendoseguro.com/tipos-de-perfiles-estructurales-y-tipos-de-estructuras-de-acero/>
- Aceros Crea. (2021). ¿Qué es la Norma ASTM?
- Arias, K., Sánchez Ríos, M., Betancourt Cortez, J., Leguizamón Sierra, G., Guillermo García, R., & Mendoza Patiño, D. (2018). ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES RELEVANTES EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS. 39(09).
- Arias, K., Sánchez Ríos, M., Betancourt Cortez, J., Leguizamón Sierra, G., Guillermo García, R., & Mendoza Patiño, D. (2018). ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES RELEVANTES EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS. 39(09).
- Asociación Española para la Calidad . (2019). Normas ASTM.
- AWS. (199). *Structural Welding Code - Steel*. Miami.
- Banco Central de Reserva del Peru. (2023). Pasco: Síntesis de Actividad Económica - Enero 2023.
- Bardahl. (s.f.). *Causas y Efectos de la Corrosión y la Oxidación*. Recuperado el 17 de Octubre de 2022, de Causas y Efectos de la Corrosión y la Oxidación: <https://www.bardahlindustria.com/causas-efectos-corrosion-oxidacion/>
- Beer, F., Johnston, R., Mazurek, D., & Eisenberg, E. (2010). *MECÁNICA VECTORIAL PARA INGENIEROS*. México D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.
- Beer, J. D. (2020). *Mecanica De Materiales* . McGraw Hill.
- Brown, T. S. (2021). Structural Integrity Optimization of Lime Extractors using FEM in Australian Mines. 25(1)(134-150).
- Building Cost Information Service. (30 de 5 de 2022). *BCIS Materials Cost Index: Materials costs continue to grow at unprecedented rate*. Obtenido de <https://bcis.co.uk/news/material-cost-increases-may-22/>
- BuildSoft. (2023). Basics of structural design and analysis.
- Capital.com. (6 de 4 de 2023). *Steel price forecast 2023: What's next for the market?* Obtenido de <https://capital.com/steel-price-forecast>

- Chavarría, E., Hernández, J., Silva, F., & Ramos, J. (2017). Diseño Estructural de la Sección Cilíndrica del Túnel de Viento Didáctico del TecNM/ITLaguna. 3(ISSN: 2448-623X).
- Ciprian Barzola, P. (2018). DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL Y POSICIONAMIENTO DE TRABAJO DE UN SOPORTE SUJESOR PARA MOTORES DE COMBUSTION INTERNA DE CAPACIDAD DE 1300 KG.
- Comisión Federal de Minería (COFEMI). (2014). *Informe de investigación del accidente de la mina Buenavista del Cobre*. Ciudad de México: COFEMI.
- De La Cruz Casaño, C. (2016). METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA. 1(1).
- Domínguez, J. A. (2022). *Manual de construcción*. McGraw-Hill.
- Domínguez, M. J. (2021). *Diseño estructural*. Pearson.
- Elias, L. O., & Eduardo., A. R. (2009). *ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR ELEMENTO FINITO DEL IMPULSOR DE UN. .* Guanajuato: Universidad de Guanajuato.
- Environment Agency. (1996). *Technical and economic review of cement and lime process*. Bristol: National Information Centre.
- Estephania, R. C. (2017). *ANÁLISIS Y EVALUACION DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA SISMICIDAD Y LAGUNAS SÍSMICAS PRESENTES EN EL BORDE OCCIDENTAL DE SUDAMERICA. .* Arequipa.
- Estrada Salvador Ramirez, J. L. (2019). Análisis y diseño estructural de una nave industrial con puente grúa en el distrito de Talara.
- Francisco J. Rubio y José A. Domínguez. (2022). *Resistencia de materiales.*, McGraw-Hill.
- Gómez, F. A. (2022). *Método de los elementos finitos para ingenieros*. McGraw-Hill.
- Han, J., Wang, Z., & Li, X. (2023). *Structural optimization of a ship using a multi-objective genetic algorithm and finite element method*. Ocean Engineering.
- Heferson., C. B. (2018). DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL Y POSICIONAMIENTO DE TRABAJO DE UN SOPORTE SUJESOR PARA MOTORES DE COBUSTIÓN INTERNA DE CAPACIDAD MÁXIMA DE 1300 Kg.
- Hernández S., R., Fernández C., C., & Baptista L., P. (2014). *UNIVERSIDAD FLORENCIO DEL CASTILLO*. Recuperado el 16 de Ene de 2023, de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

- Instituto peruano de economía . (2023). Costo del retraso de proyectos mineros por conflictividad y tramitología.
- Instituto peruano de economía. (2022). En 2021, la economía de Pasco se contrajo en 4.2% respecto a 2019.
- International Council on Mining and Metals . (2019). *Structural integrity management in the mining industry: A guide for good practice*. Londres: ICMM.
- Jiménez, A. P. (2021). Optimización de la resistencia de materiales en estructuras mineras mediante el método FEM: Aplicación en minas peruanas. *17(1)*( 45-60.).
- Jose, F. P. (2019). Análisis y diseño de una nave industrial con un puente grúa de 60 TN, Ubicada en la Joya-Arequipa.
- Junior, H. G. (2022). Diseño de una nave industrial.
- Junior, O. D., & Riccardo, D. R. (2016). Cálculo y diseño estructural de una nave industrial aplicando la normativa AISC en la ciudad de Juliaca.
- Li, X. W. (2020). Finite Element Analysis for Structural Enhancement in Coal Mines: A Case Study from China. *48(2)*( 200-215).
- Li, X., Zhang, Z., & Li, Y. (2023). *Optimization of the structural performance of a high-rise building using a combined genetic algorithm and finite element method*. Beijing: Structures.
- Luminita , D., Quesada Estrada, A., Perez Rodriguez, R., & Hernández Gonzáles, L. (2010). EXPERIENCIAS EN LA SELECCIÓN DE ACEROS ASISTIDA POR COMPUTADORA EN LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA. *16(1)*.
- Martínez, P. &. ( 2023). Evaluación de la resistencia estructural de extractores de mineral mediante el método de elementos finitos en la mina Las Bambas. . *22(2)*(110-125).
- McKinsey & Company. (2021). *The future of mining: The role of technology in the next wave of productivity*. USA.
- Ministerio de Energía y Minas de Perú. (2012). *Informe de investigación del accidente de la mina Santa Fortunata*. Lima: Ministerio de Energía y Minas de Perú. .
- Ministerio de Minería de Chile. (2010). *Informe de investigación del accidente de la mina San José*. Satiago: Ministerio de Minería de Chile.
- Mirlisenna, G. (22 de Enero de 2016). *Método de los elementos finitos: ¿qué es?* (ESSS) Recuperado el 17 de Octubre de 2022, de Método de los elementos

finitos: ¿qué es?: <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>

Nicolas, P. (2022). Diseño estructural de una nave industrial fabricado con perfiles conformado en frio bajo la norma AISI COLD STEEL FORMED para carga de cinco toneladas en la provincia constitucional del Callao.

Pérez, M. L. (2022). *Optimización de la resistencia estructural de un extractor de cal mediante el uso de materiales compuestos. Ingeniería, investigación y tecnología.*

Price It Here. (2023). Recuperado el 30 de 09 de 2023, de The Cost Factor: Understanding the Pricing and Maintenance of Steel Buildings : <https://priceithere.com/steel-buildings/the-cost-factor-understanding-the-pricing-and-maintenance-of-steel-buildings/>

Quiroz, E. A. (2021). *Optimización de la resistencia estructural de un extractor de cal mediante el uso de una estructura de celosía. . Junin.*

Ramos Chura, S. E. (2017). ANÁLISIS Y EVALUACION DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA SISMICIDAD Y LAGUNAS SÍSMICAS PRESENTES EN EL BORDE OCCIDENTAL DE SUDAMERICA.

Recoba, L. V. (2014). *SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO, ALCANCES E IMPORTANCIA ACTUAL: ASPECTOS PROCESALES.* Lima.

Roberto Hernández Sampieri, C. F. (2018). *Metodología de la Investigación.* Ciudad de Mexico: McGraw-Hill Interamericana.

Rodríguez Felipe, o. (2018). *Conceptual design and structural analysis of ground support.* Bogotá: Revista DYNA, 2020, Vol. 88.

Rodríguez, F. y. (2020). Conceptual design and structural analysis of ground support. Vol. 88(ISSN 0012-7353).

Sánchez, J. H. (2020). *Optimización de la resistencia estructural de un extractor de cal mediante el uso de un sistema de refuerzo externo. Revista de investigación e innovación tecnológica.* Lima.

Sociedad Minera El Brocal S.A.A. (s.f.). Obtenido de <https://www.elbrocal.pe/nosotros.html>.

Sociedad Minera El Brocal S.A.A. (31 de diciembre de 2021). Obtenido de <https://www.smv.gob.pe/ConsultasP8/temp/EEFF4Q2021.pdf>

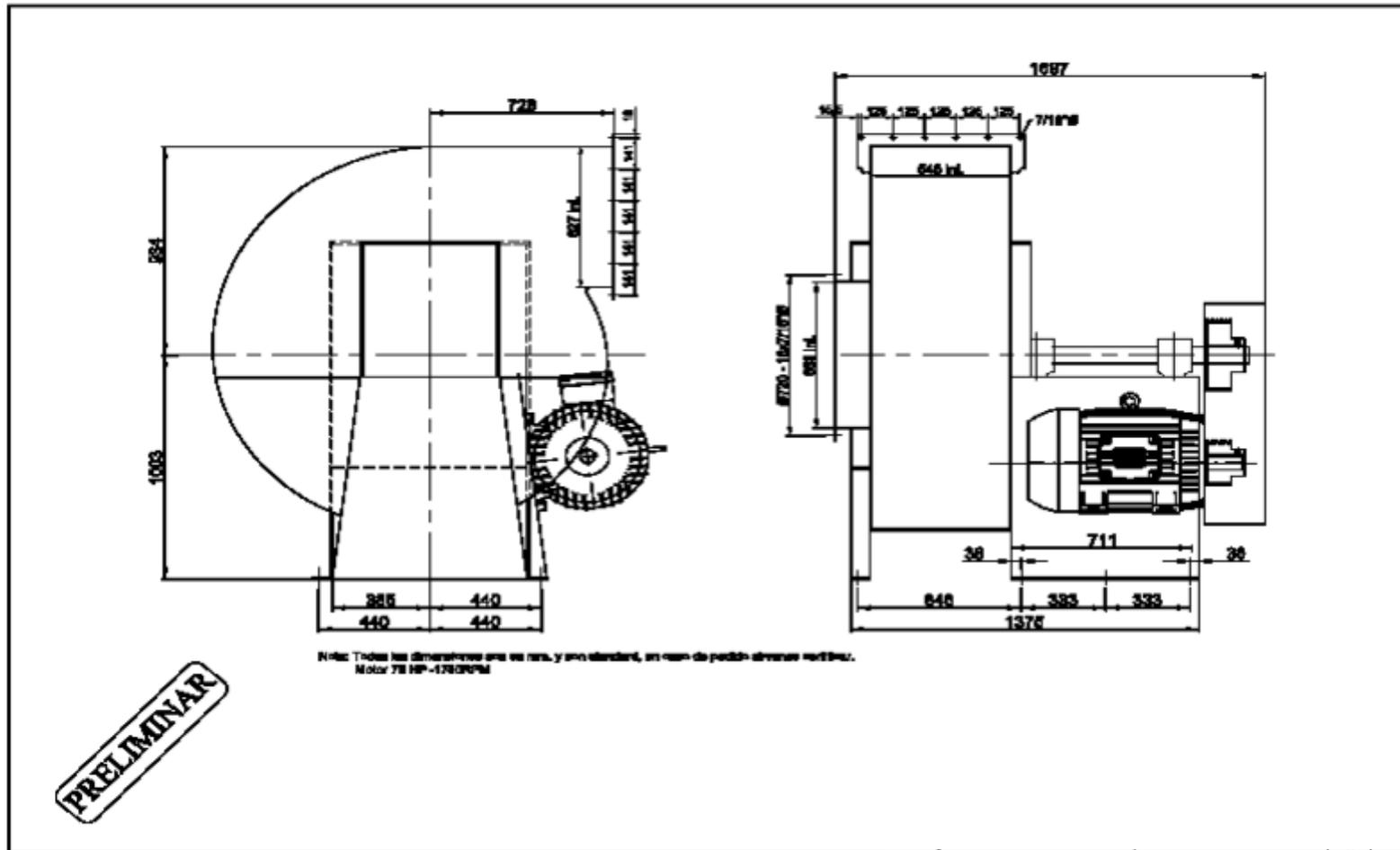
- Solórzano Mogollón, V. A. (2020). Guía de análisis y diseño estructural de una nave industrial con puente grúa, empleando la normativa peruana y americana, en la ciudad de Lima. .
- Tiempo Minero. (3 de Agosto de 2022). *Accidente operacional en Chuquicamata: Colapsa estructura del chancador primario*. Obtenido de <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/accidente-operacional-en-chuquicamata-colapsa-estructura-del-chancador-primario/>.
- Victor, F. C. (2020). Diseño de pórtico estructural para puente grúa de 16Tn de capacidad para movimiento de materiales y equipos.
- Yena Engineering . (2022). A COMPREHENSIVE GUIDE TO STRUCTURAL STEEL.
- Zapico, E., Torresán, G., & Garay, R. (2005). ANÁLISIS ESTRUCTURAL PRELIMINAR DE UN NANOSATÉLITE. (14).
- Zhang, L., Wang, J., & Liu, J. (2023). *Structural optimization of a wind turbine blade using a hybrid genetic algorithm and finite element method*. Hamburgo: Wind Energy.
- Zhao, Y., Chen, H., & Wang, Y. (2023). *Structural optimization of a bridge using a non-dominated sorting genetic algorithm and finite element method*. Engineering Structures.

# ANEXOS

## ANEXO 1 Dimensión estándar de los perfiles W

DIMENSIONES ESTÁNDAR											
DESIGNACIÓN NOMINAL		Peralte altura alma (d)	ALA (b)	ESPESOR NOMINAL		DESIGNACIÓN NOMINAL		Peralte altura alma (d)	ALA (b)	ESPESOR NOMINAL	
pulgada	lb/pie	pulgada	pulgada	ALA (f)	ALMA (w)	pulgada	lb/pie	pulgada	pulgada	ALA (f)	ALMA (w)
8"	48.00	8.50	8.11	17.40	10.16	16"	67.00	16.33	10.24	16.89	10.03
8"	58.00	8.75	8.22	20.57	12.95	16"	77.00	16.52	10.30	19.30	11.56
8"	67.00	9.00	8.28	23.75	14.48	16"	89.00	16.75	10.37	22.23	13.34
10"	12.00	9.87	3.96	5.33	4.83	16"	100.00	16.97	10.43	25.02	14.86
10"	15.00	9.99	4.00	6.86	5.84	18"	35.00	17.70	6.00	10.80	7.62
10"	17.00	10.11	4.01	8.38	6.10	18"	40.00	17.90	6.02	13.34	8.00
10"	19.00	10.24	4.02	10.03	6.35	18"	46.00	18.06	6.06	15.37	9.14
10"	22.00	10.17	5.75	9.14	6.10	18"	50.00	17.99	7.50	14.48	9.02
10"	26.00	10.33	5.77	11.18	6.60	18"	55.00	18.11	7.53	16.00	9.91
10"	30.00	10.47	5.81	12.95	7.62	18"	60.00	18.24	7.56	17.65	10.54
10"	33.00	9.73	7.96	11.05	7.37	18"	65.00	18.35	7.59	19.05	11.43
10"	39.00	9.92	7.99	13.46	8.00	18"	71.00	18.47	7.64	20.57	12.57
10"	45.00	10.10	8.02	15.75	8.89	18"	76.00	18.21	11.04	17.27	10.80
10"	49.00	9.98	10.00	14.22	8.64	18"	86.00	18.39	11.09	19.56	12.19
10"	54.00	10.09	10.03	15.62	9.40	18"	97.00	18.59	11.15	22.10	13.59
10"	60.00	10.22	10.08	17.27	10.67	18"	106.00	18.73	11.20	23.88	14.99
10"	68.00	10.40	10.13	19.56	11.94	18"	130.00	19.25	11.16	30.48	17.02
10"	77.00	10.40	10.19	22.10	13.46	18"	158.00	19.72	11.30	36.58	20.57
10"	88.00	10.84	10.27	25.15	15.37	21"	44.00	20.66	6.50	11.43	8.89
10"	100.00	11.10	10.34	28.45	17.27	21"	50.00	20.83	6.53	13.59	9.65
12"	14.00	11.91	3.97	5.72	5.08	21"	55.00	20.80	8.22	13.26	9.53
12"	16.00	11.99	3.99	6.73	5.59	21"	57.00	21.06	6.56	16.51	10.29
12"	19.00	12.16	4.01	8.89	5.59	21"	62.00	20.99	8.24	15.62	10.16
12"	22.00	12.31	4.03	10.80	5.97	21"	68.00	21.13	8.27	17.40	10.92
12"	26.00	12.22	6.49	9.65	6.60	21"	73.00	21.24	8.30	18.80	11.56
12"	30.00	12.34	6.52	11.18	5.84	21"	83.00	21.43	8.36	21.21	13.08
12"	30.00	12.34	6.52	11.18	6.60	21"	93.00	21.62	8.42	23.62	14.73
12"	35.00	12.50	6.56	13.21	7.62	21"	101.00	21.36	12.29	20.32	12.70
12"	40.00	11.94	8.01	13.08	7.49	21"	111.00	21.51	12.34	22.23	13.97
12"	45.00	12.06	8.05	14.61	8.51	21"	122.00	21.68	12.39	24.38	15.24
12"	50.00	12.19	8.08	16.26	9.40	21"	132.00	21.83	12.44	26.29	16.51
12"	53.00	12.06	10.00	14.61	8.76	21"	147.00	22.06	12.51	29.21	18.29
12"	58.00	12.19	10.01	16.26	9.14	21"	166.00	22.48	12.42	34.54	19.05
12"	65.00	12.12	12.00	15.37	9.91	21"	201.00	23.03	12.58	41.40	23.11
12"	72.00	12.25	12.04	17.02	10.92	24"	55.00	23.57	7.01	12.83	10.03
12"	79.00	12.38	12.08	18.67	11.94	24"	62.00	23.74	7.04	14.99	10.92
12"	87.00	12.53	12.13	20.57	13.08	24"	68.00	23.73	8.97	14.86	10.54
12"	96.00	12.71	12.16	22.86	13.97	24"	76.00	23.92	8.99	17.27	11.18
12"	106.00	12.89	12.22	25.15	15.49	24"	84.00	24.10	9.02	19.56	11.94
12"	120.00	13.12	12.32	28.07	18.03	24"	94.00	24.31	9.07	22.23	13.08
12"	136.00	13.41	12.40	31.75	20.07	24"	104.00	24.06	12.75	19.05	12.70
12"	152.00	13.71	12.48	35.56	22.10	24"	117.00	24.26	12.80	21.59	13.97
14"	22.00	13.74	5.00	8.51	5.84	24"	131.00	24.48	12.86	24.38	15.37
14"	26.00	13.91	5.03	10.67	6.48	24"	146.00	24.74	12.90	27.69	16.51
14"	30.00	13.84	6.73	9.78	6.86	24"	162.00	25.00	12.96	30.99	17.91
14"	34.00	13.98	6.75	11.56	7.24	24"	176.00	25.24	12.89	34.04	19.05
14"	38.00	14.10	6.77	13.08	7.87	24"	192.00	25.47	12.95	37.08	20.57
14"	43.00	13.66	8.00	13.46	7.75	24"	250.00	26.34	13.19	48.01	26.42
14"	48.00	13.79	8.03	15.11	8.64	27"	84.00	26.71	9.96	16.26	11.68
14"	53.00	13.92	8.06	16.76	9.40	27"	94.00	26.92	9.99	18.92	12.45
14"	61.00	13.89	10.00	16.38	9.53	27"	102.00	27.09	10.02	21.08	13.08
14"	68.00	14.04	10.34	18.29	10.54	27"	114.00	27.29	10.07	23.62	14.48
14"	74.00	14.17	10.07	19.94	11.43	27"	129.00	27.63	10.01	27.94	15.49
14"	82.00	14.31	10.13	21.72	12.95	27"	161.00	27.59	14.02	27.43	16.76
14"	90.00	14.02	14.52	21.72	11.18	27"	235.00	28.66	14.19	40.89	23.11
14"	99.00	14.16	14.57	19.81	12.32	27"	307.00	29.61	14.45	53.09	29.46
14"	109.00	14.32	14.61	21.84	13.34	30"	90.00	29.53	10.40	15.49	11.94
14"	120.00	14.48	14.67	23.88	14.99	30"	99.00	29.65	10.45	17.02	13.21
14"	132.00	14.66	14.73	26.16	16.38	30"	108.00	29.83	10.48	19.30	13.84
14"	145.00	14.78	15.50	27.69	17.27	30"	116.00	30.01	10.50	21.59	14.35
14"	159.00	14.98	15.57	30.23	18.92	30"	124.00	30.17	10.52	23.62	14.86
14"	176.00	15.22	15.65	33.27	21.08	30"	132.00	30.31	10.55	25.40	15.62
14"	193.00	15.48	15.71	36.58	22.61	30"	148.00	30.67	10.48	29.97	16.51
16"	26.00	15.69	5.50	8.76	6.35	33"	118.00	32.86	11.48	18.80	13.97
16"	31.00	15.88	5.53	11.18	6.99	33"	152.00	33.49	11.57	26.80	16.13
16"	36.00	15.86	6.99	10.92	7.49	33"	169.00	33.82	11.50	30.99	17.02
16"	40.00	16.01	7.00	12.83	7.75	36"	150.00	35.85	11.98	23.88	15.88
16"	45.00	16.13	7.04	14.35	8.76	36"	160.00	36.01	12.00	25.91	16.51
16"	50.00	16.26	7.07	16.00	9.65	36"	194.00	36.49	12.12	32.00	19.43
16"	57.00	16.43	7.12	18.16	10.92	36"	232.00	37.12	12.12	39.88	22.10

## ANEXO 2 Plano del extractor de cal



ANEXO 3 Zona del Extractor de cal.

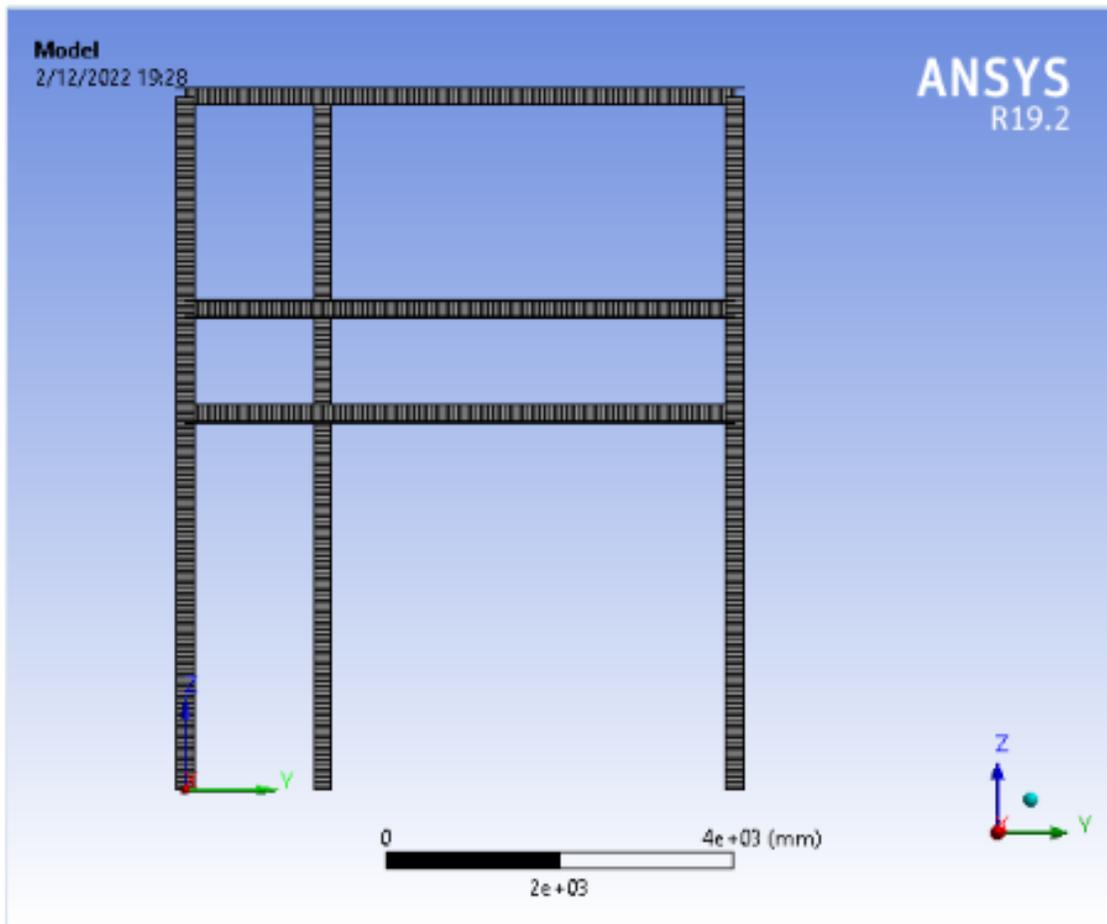


ANEXO 4 Reporte de análisis de elementos finitos por ANSYS parte 1



## Project

First Saved	Friday, November 11, 2022
Last Saved	Sunday, November 13, 2022
Product Version	19.2 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



## ANEXO 5 Reporte de análisis de elementos finitos por ANSYS parte 2

TABLE 4  
Model (A4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	C:\Users\grimal\OneDrive\2022\Check o\TE S\SI\SIMULACIÓN Rev. 1.1\Simulacion_Rev.1.1_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	Design Modeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	5020. mm
Length Y	6325. mm
Length Z	7966. mm
<b>Properties</b>	
Volume	9.1022e+008 mm <sup>3</sup>
Mass	0. kg
Scale Factor Value	1.
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	6387
Elements	3202
Mesh Metric	None
<b>Update Options</b>	
Assign Default Material	No
<b>Basic Geometry Options</b>	
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Analysis Type	3-D
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	No
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

ANEXO 6 Reporte de análisis de elementos finitos por ANSYS parte 3

**TABLE 3**  
**Model (A4) > Geometry > Parts**

Object Name	Line Body
State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Cross Section	I2
Offset Mode	Refresh on Update
Offset Type	Centroid
Model Type	Beam
<b>Material</b>	
Assignment	A36
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	5020. mm
Length Y	6325. mm
Length Z	7986. mm
<b>Properties</b>	
Volume	9.1022e+008 mm <sup>3</sup>
Mass	0. kg
Length	1.5877e+005 mm
Cross Section Area	5733. mm <sup>2</sup>
Cross Section IY	4.4663e+007 mm <sup>2</sup> ·mm <sup>2</sup>
Cross Section IZZ	1.5342e+007 mm <sup>2</sup> ·mm <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	6387
Elements	3202
Mesh Metric	None

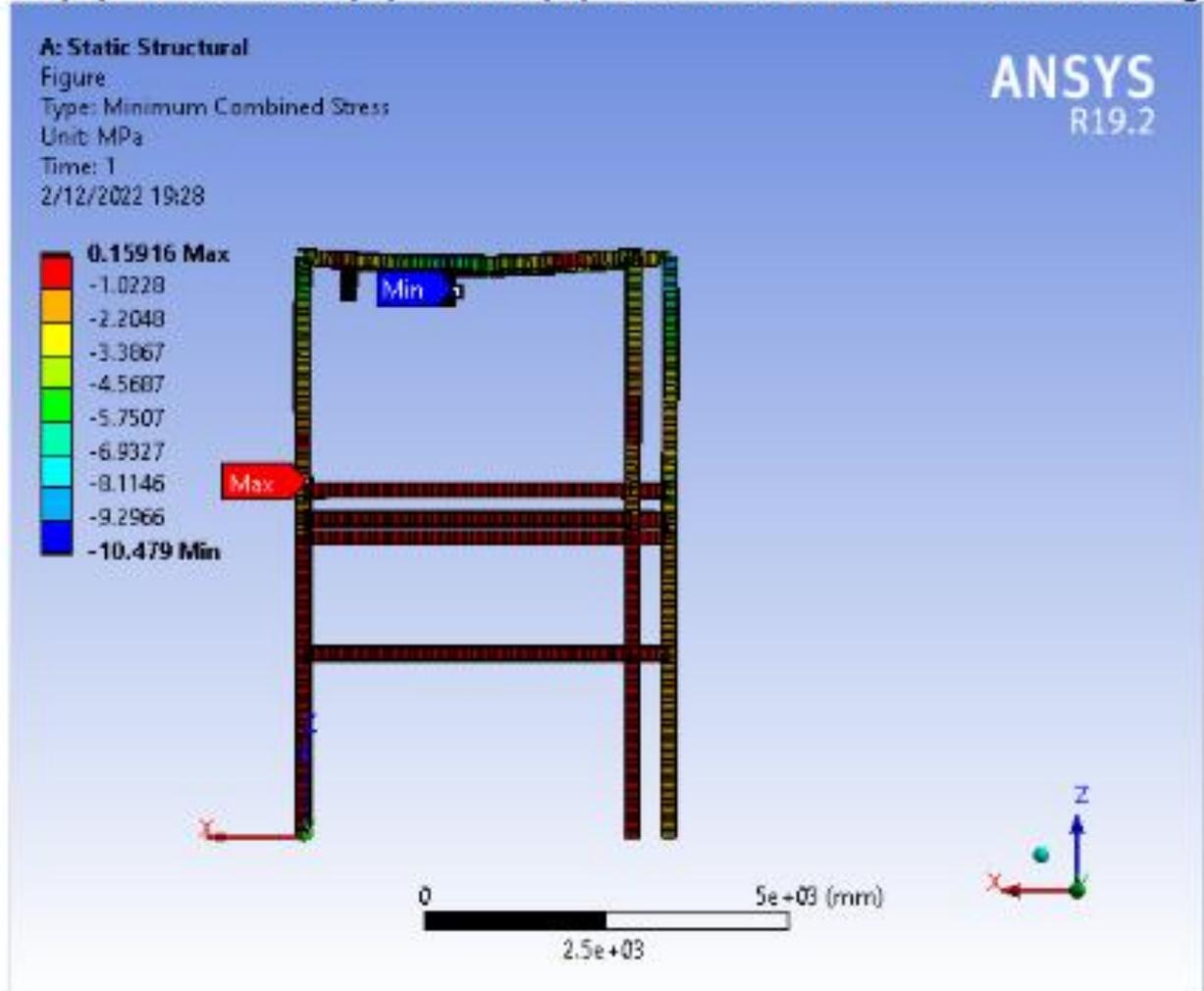
**TABLE 4**  
**Model (A4) > Cross Sections**

Object Name	Cross Sections
State	Fully Defined
<b>Statistics</b>	
Cross Sections	1

ANEXO 7 Deformación estructural parte 1

FIGURE 11

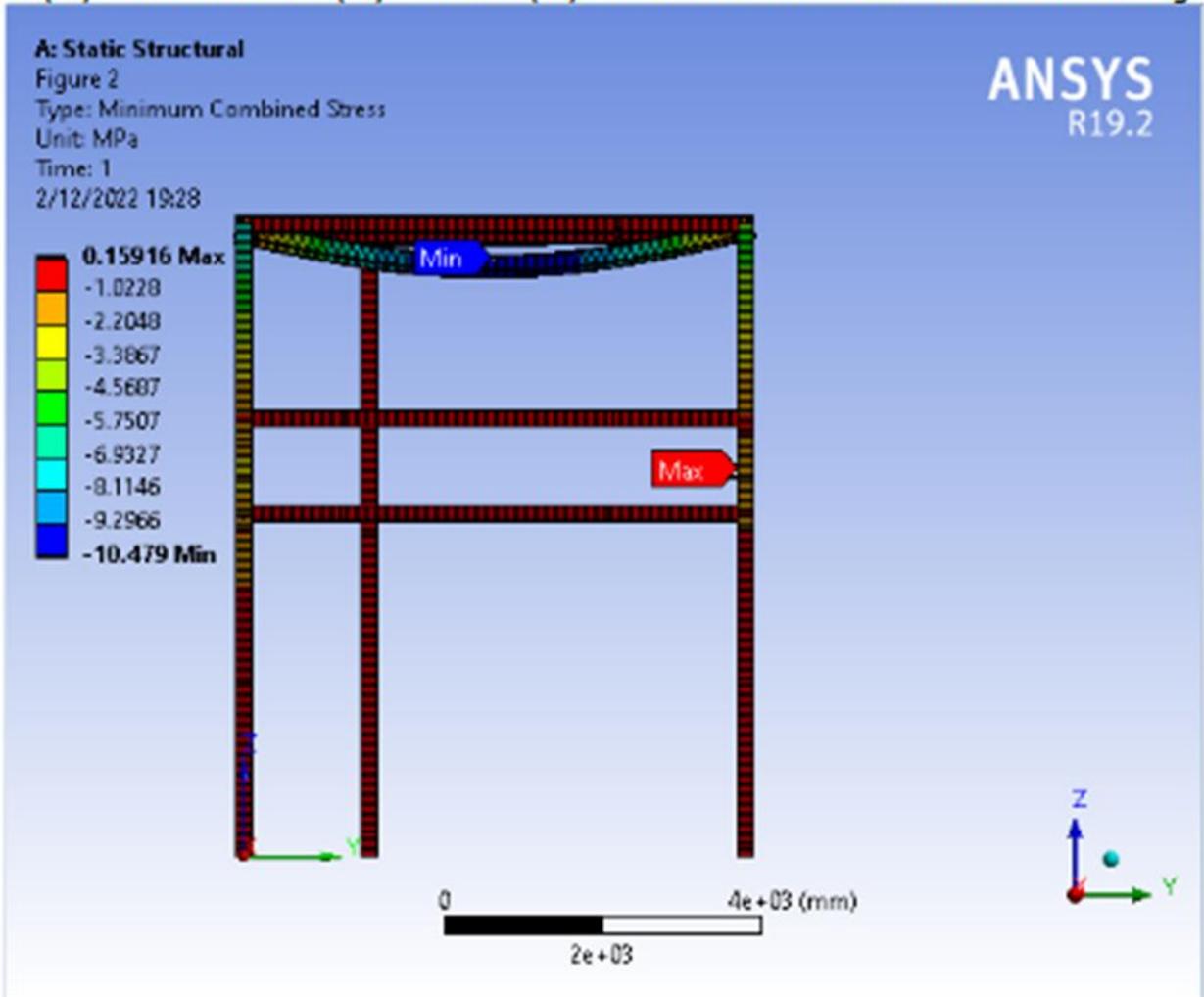
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Minimum Combined Stress > Figure



ANEXO 8 Deformación estructural parte 2

FIGURE 12

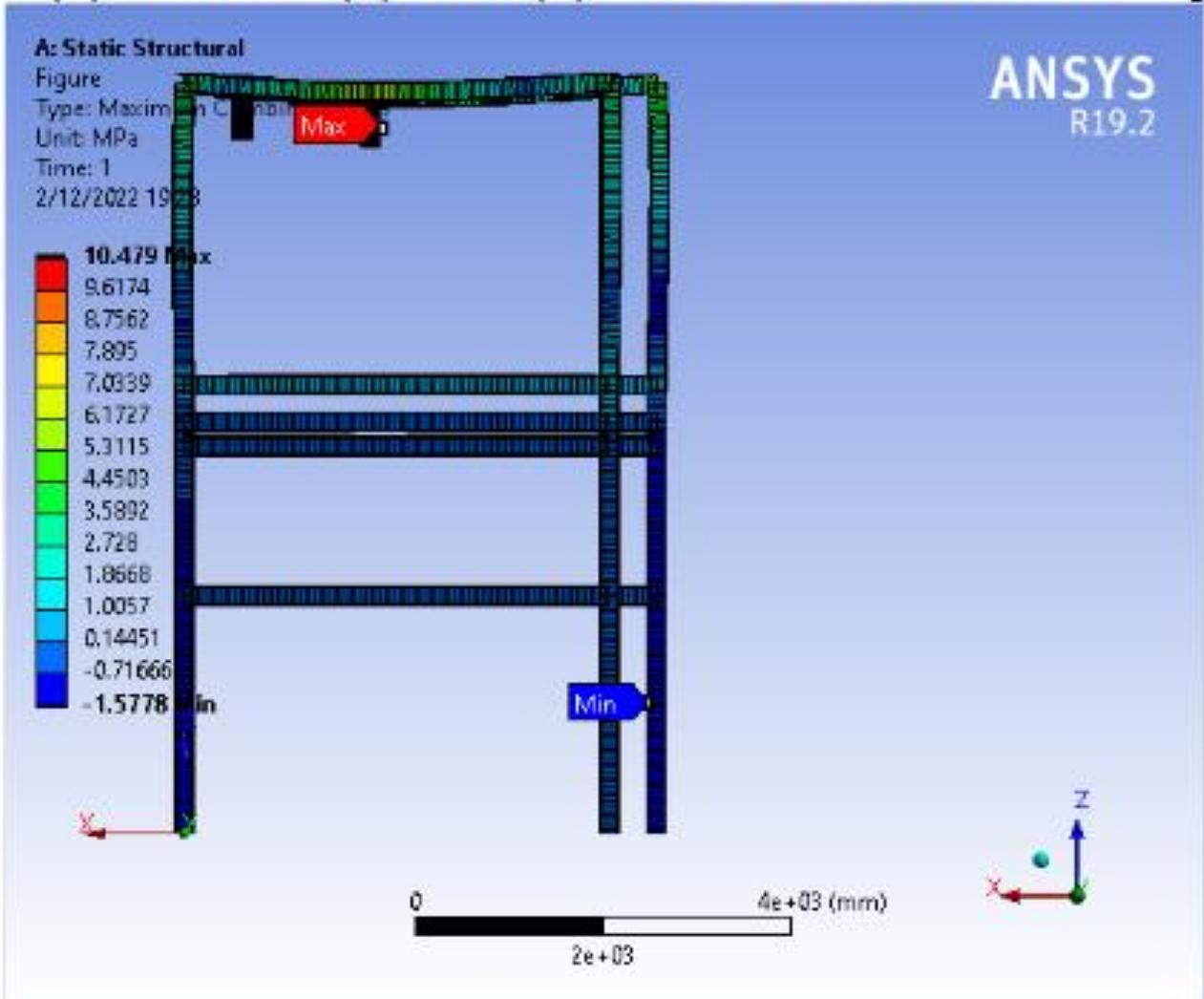
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Minimum Combined Stress > Figure



ANEXO 9 Deformación estructural parte 3

FIGURE 14

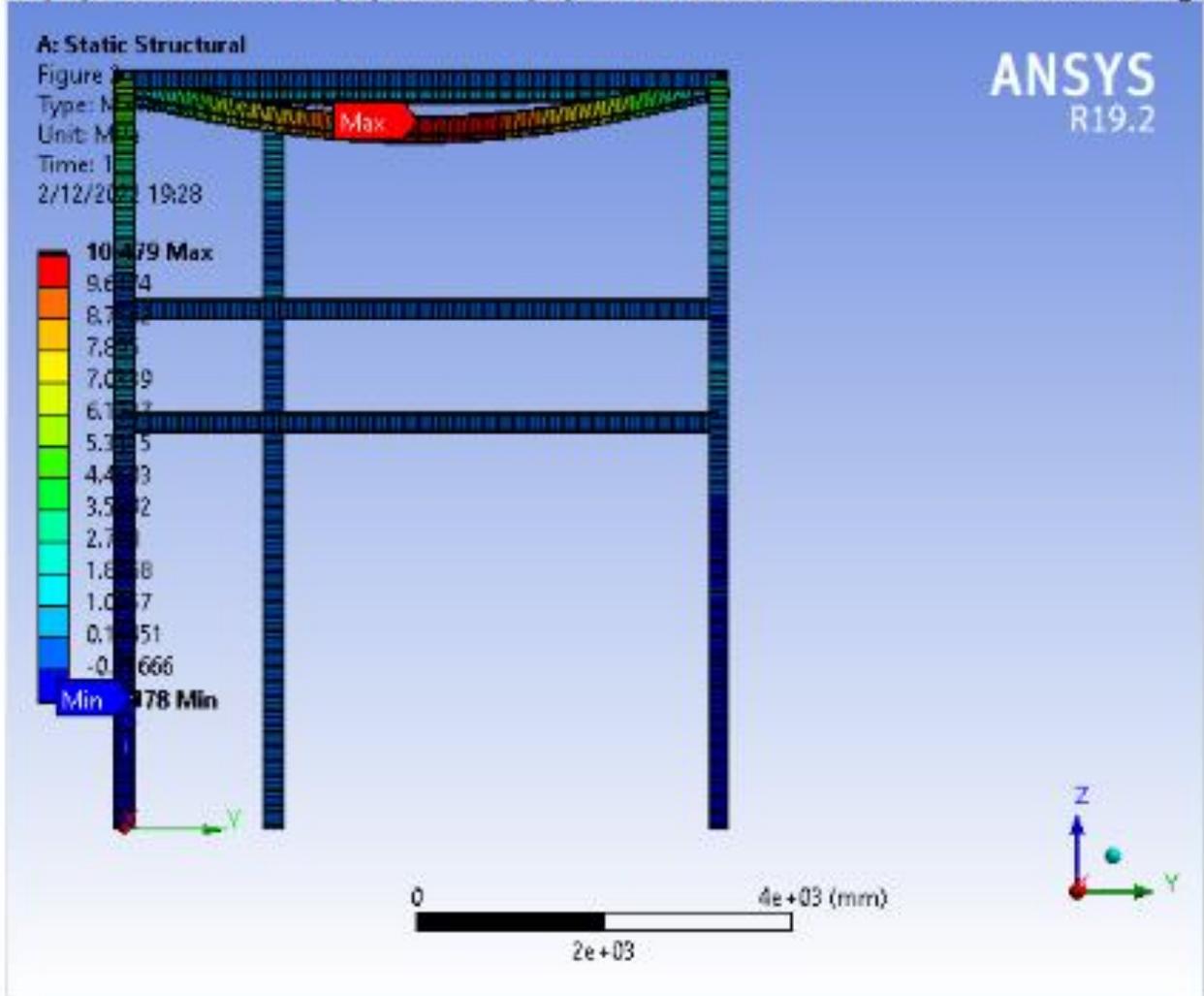
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress > Figur



ANEXO 10 Deformación estructural parte 4

FIGURE 15

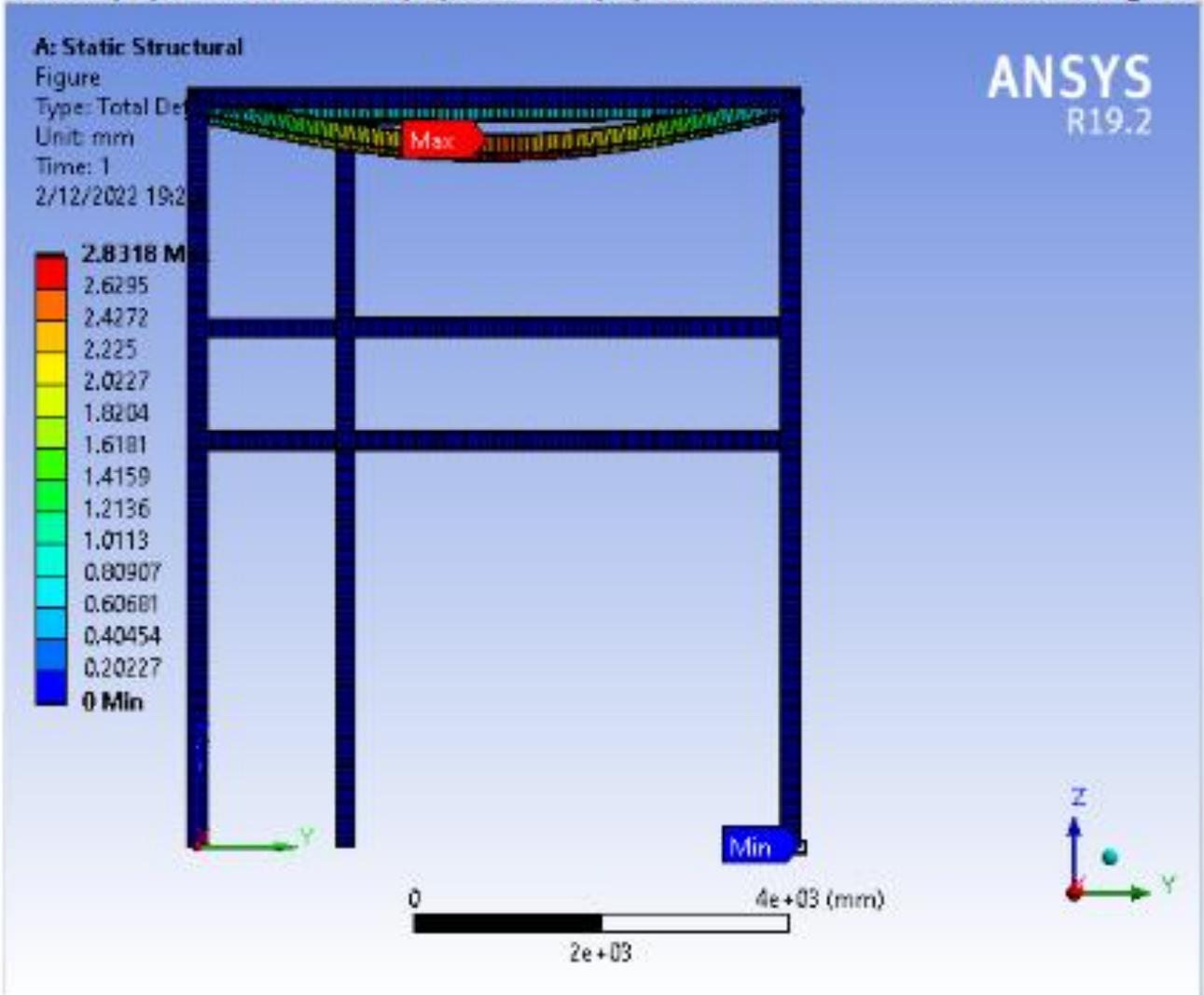
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress > Figure



ANEXO 11 Deformación estructural parte 5

FIGURE 17

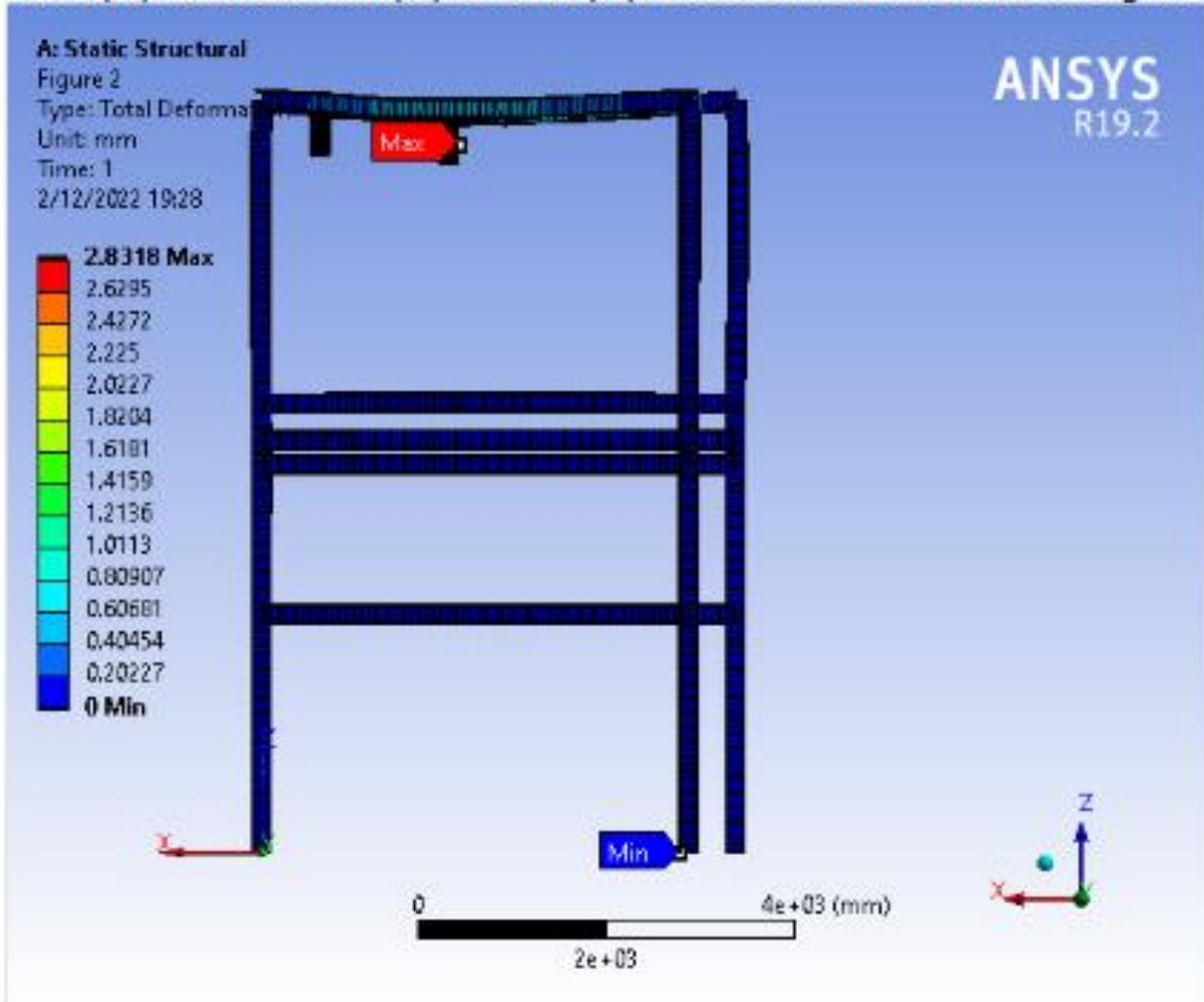
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Total Deformation > Figure



## ANEXO 12 Deformación estructural parte 6

FIGURE 18

Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Total Deformation > Figure 2



## ANEXO 13 Esfuerzos estructurales

TABLE 20

Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress 2

Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]	Average [MPa]
1.	-1.5778	10.479	0.92148

## ANEXO 14 Geometría de la propuesta 1

**TABLE 2**  
**Model (C4) > Geometry**

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	C:\Users\grima\OneDrive\2023\CHESKO\TESIS\SIMULACIÓN\Rev.1.2\Rev.1.2_files\dp0\SYS-2\DM\SYS-2.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	5.02 m
Length Y	6.325 m
Length Z	7.986 m
<b>Properties</b>	
Volume	1.3622 m <sup>3</sup>
Mass	0. kg
Scale Factor Value	1.
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	6387
Elements	3202
Mesh Metric	None
<b>Update Options</b>	
Assign Default Material	No
<b>Basic Geometry Options</b>	
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Analysis Type	3-D
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	No
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

ANEXO 15 Secciones cruzadas de la propuesta 1

**TABLE 4**  
**Model (C4) > Cross Sections**

Object Name	<i>Cross Sections</i>
State	Fully Defined
<b>Statistics</b>	
Cross Sections	1

ANEXO 16 Dimensión de secciones de la propuesta 1

**TABLE 5**  
**Model (C4) > Cross Sections > RectTube1**

Object Name	<i>RectTube1</i>
State	Fully Defined
<b>Dimensions</b>	
W1	0.178 m
W2	0.178 m
t1	1.3e-002 m
t2	1.3e-002 m
t3	1.3e-002 m
t4	1.3e-002 m
<b>Physical Properties</b>	
Beam Section	RectTube1
Type	HREC
A	8.58e-003 m <sup>2</sup>
I <sub>yy</sub>	3.9173e-005 m <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup>
I <sub>zz</sub>	3.9173e-005 m <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup>

ANEXO 17 Sistemas coordinados de la propuesta 1

**TABLE 6**  
**Model (C4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined

<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
<b>Origin</b>	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1. 0. 0. ]
Y Axis Data	[ 0. 1. 0. ]
Z Axis Data	[ 0. 0. 1. ]

## ANEXO 18 Malla de la propuesta 1

**TABLE 7**  
**Model (C4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
Element Size	Default
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	6
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Fine
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	11.357 m
Average Surface Area	0.0 m <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	4.4e-002 m
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No

Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
Nodes	6387
Elements	3202

## ANEXO 19 Controles de malla de la propuesta 1

**TABLE 8**  
**Model (C4) > Mesh > Mesh Controls**

Object Name	<i>Body Sizing</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Type	Element Size
Element Size	5.e-002 m
<b>Advanced</b>	
Defeature Size	Default
Behavior	Hard

## ANEXO 20 Análisis de la propuesta 1

**TABLE 9**  
**Model (C4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (C5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

ANEXO 21 Estática estructural de la propuesta 1

**TABLE 10**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Analysis Settings**

Object Name	Analysis Settings
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Rotordynamics Controls</b>	
Coriolis Effect	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combine Restart Files	Program Controlled
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	C:\Users\grima\OneDrive\2023\CHESKO\TESIS\SIMULACIÓN\Rev.1.2\Rev.1.2_files\dp0\SYS-2\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Contact Summary	Program Controlled
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

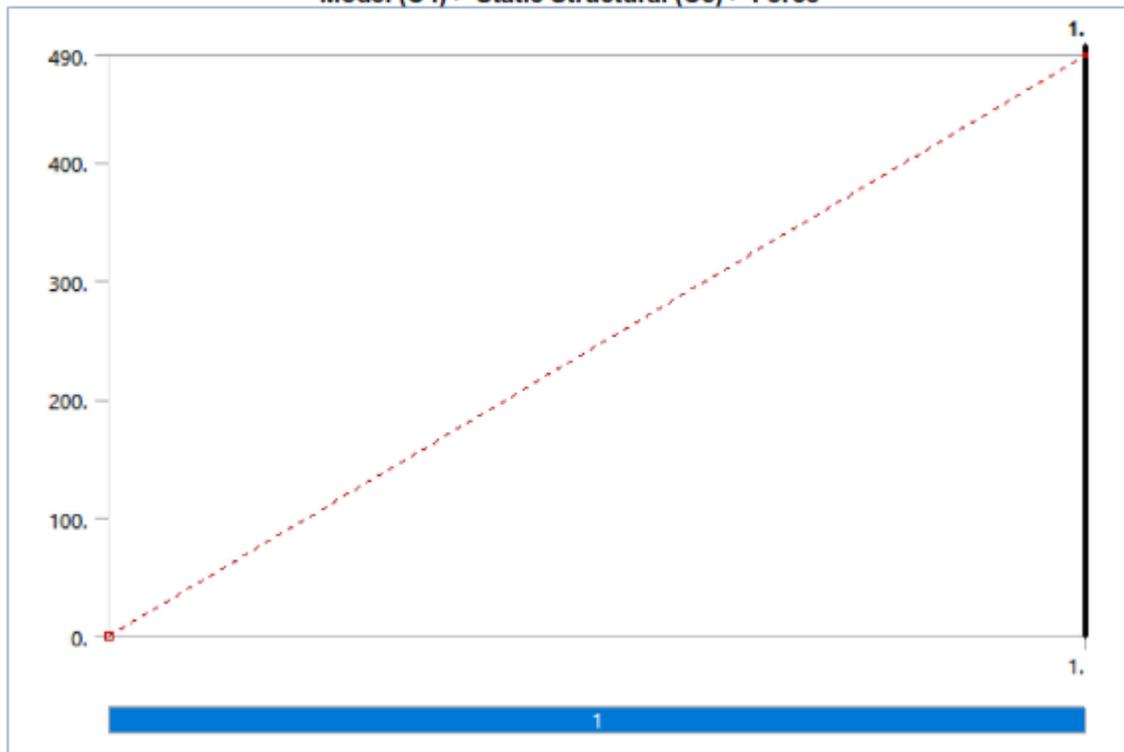
## ANEXO 22 Cargas de la propuesta 1

**TABLE 11**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Loads**

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>	<i>Force 4</i>	<i>Force 5</i>	<i>Force 7</i>	<i>Force 8</i>	<i>Force 9</i>
State	Fully Defined								
<b>Scope</b>									
Scoping Method	Geometry Selection								
Geometry	5 Vertices	1 Edge							
<b>Definition</b>									
Type	Fixed Support	Force							
Suppressed	No								
Define By	Vector								
Magnitude		490. N (ramped)			5890. N (ramped)		490. N (ramped)		7360. N (ramped)
Direction		Defined							

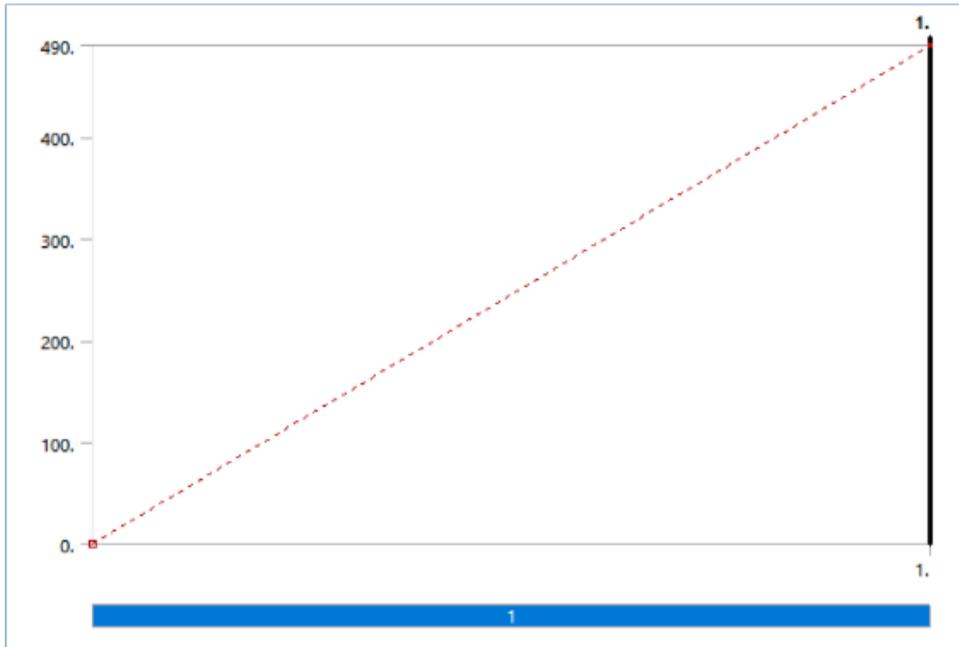
## ANEXO 23 Diagrama de fuerza 1 de la propuesta 1

**FIGURE 1**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Force**



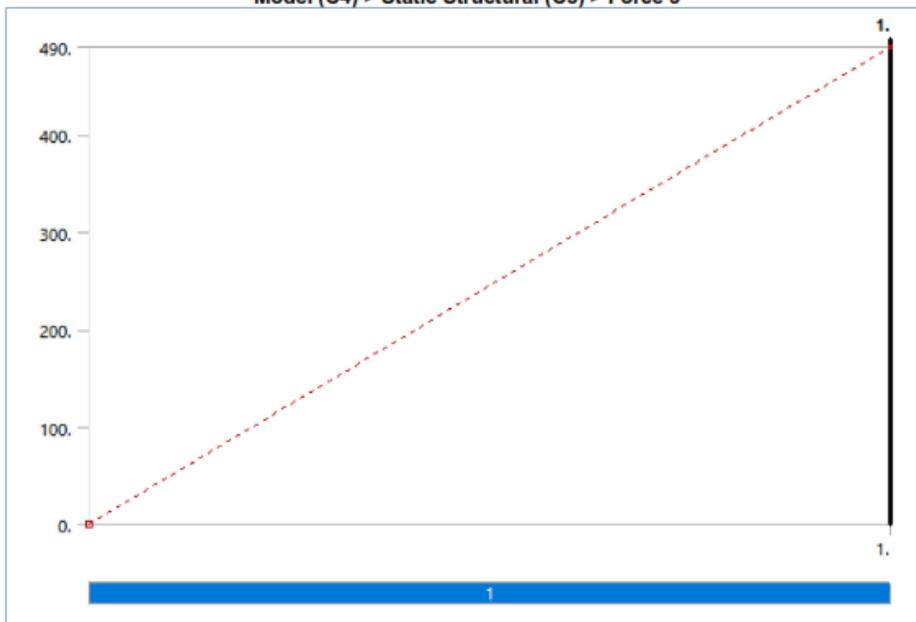
ANEXO 24 Diagrama de fuerza 2 de la propuesta 1

**FIGURE 2**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 2**



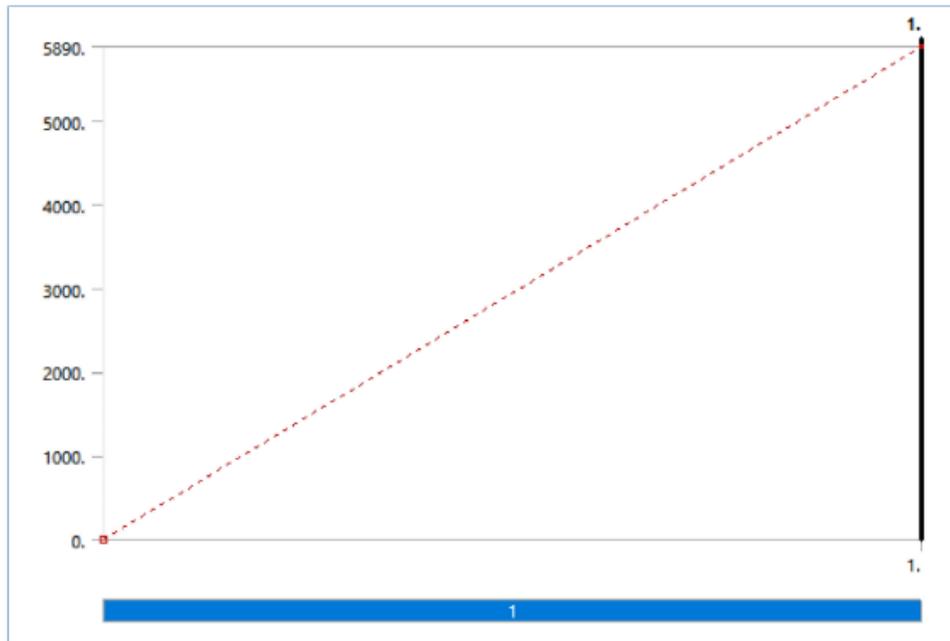
ANEXO 25 Diagrama de fuerza 3 de la propuesta 1

**FIGURE 3**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 3**



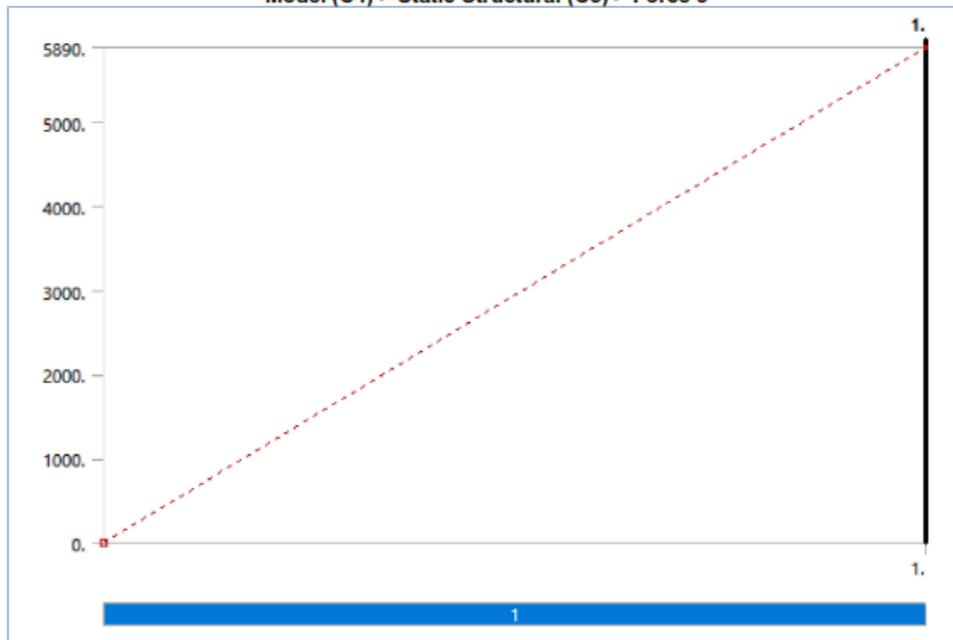
ANEXO 26 Diagrama de fuerza 4 de la propuesta 1

**FIGURE 4**  
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 4



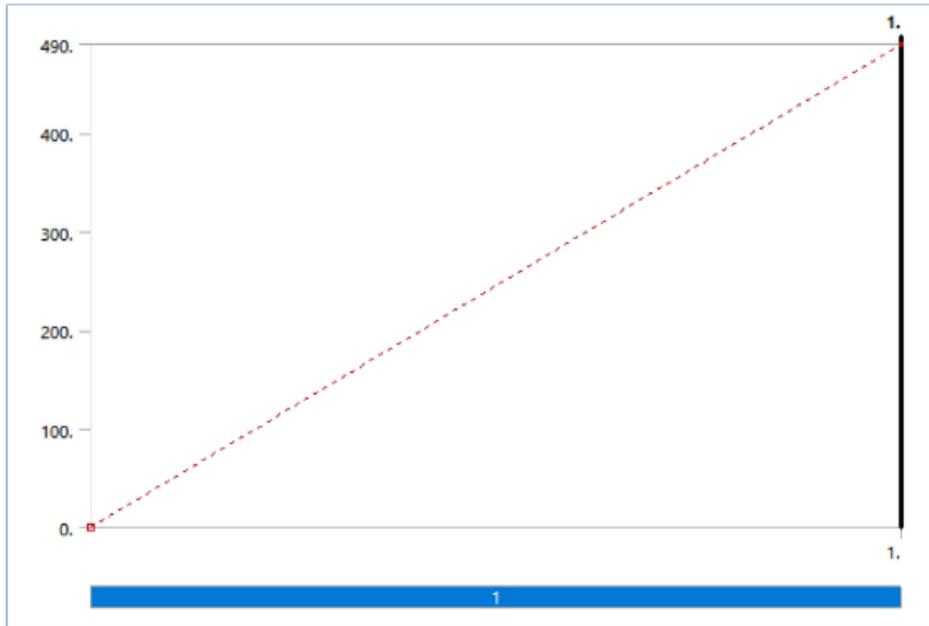
ANEXO 27 Diagrama de fuerza 5 de la propuesta 1

**FIGURE 5**  
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 5



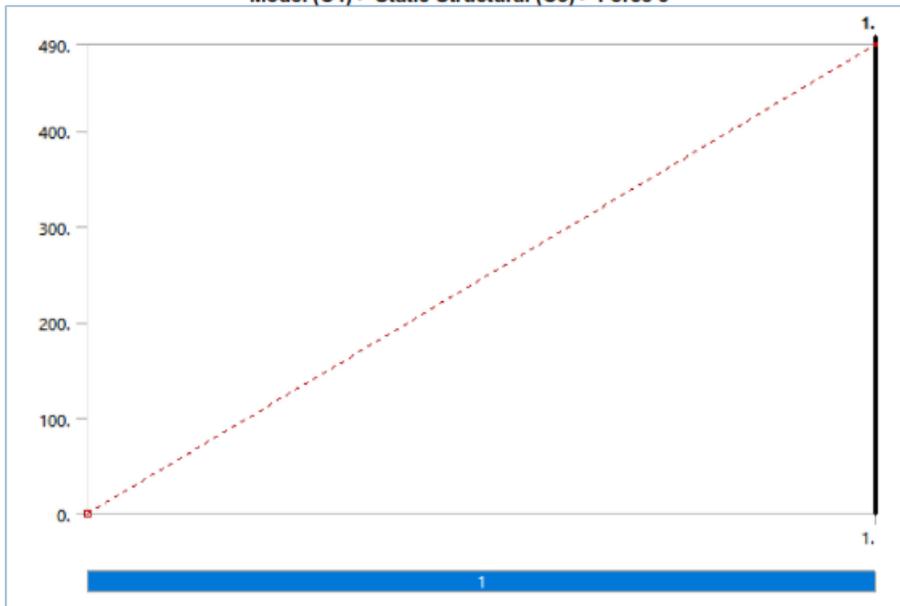
ANEXO 28 Diagrama de fuerza 7 de la propuesta 1

**FIGURE 6**  
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 7



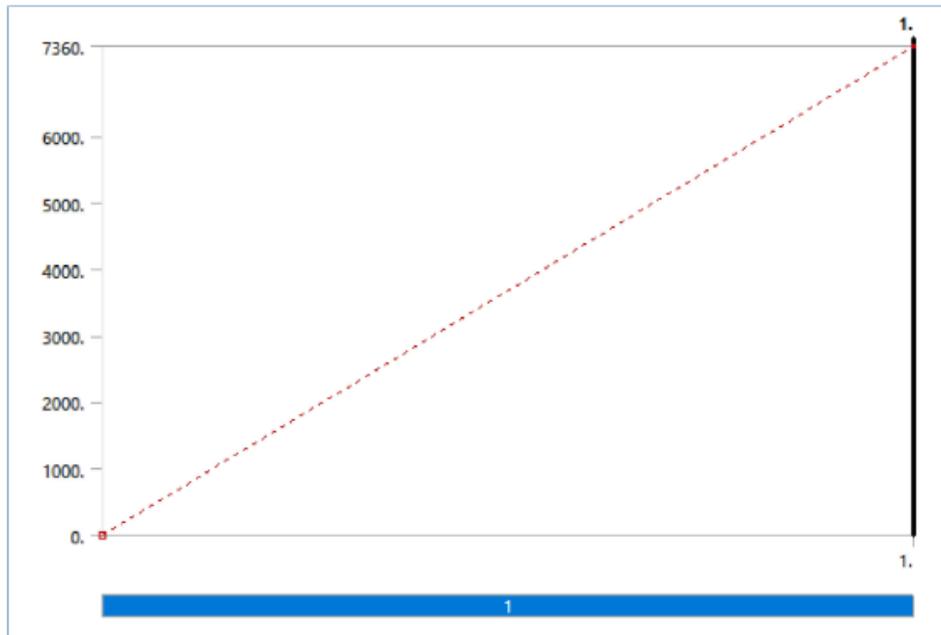
ANEXO 29 Diagrama de fuerza 8 de la propuesta 1

**FIGURE 7**  
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 8



ANEXO 30 Diagrama de fuerza 9 de la propuesta 1

**FIGURE 8**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 9**



ANEXO 31 Solución de la propuesta 1

**TABLE 12**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
<b>Information</b>	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	3. s
MAPDL Memory Used	286. MB
MAPDL Result File Size	10.438 MB
<b>Post Processing</b>	
Beam Section Results	No
On Demand Stress/Strain	No

ANEXO 32 Información de la solución de la propuesta 1

**TABLE 13**

**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

ANEXO 33 Herramienta de simulación de la propuesta 1

**TABLE 14**

**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Beam Tool**

Object Name	<i>Beam Tool</i>
State	Solved
<b>Scope</b>	
Geometry	All Line Bodies

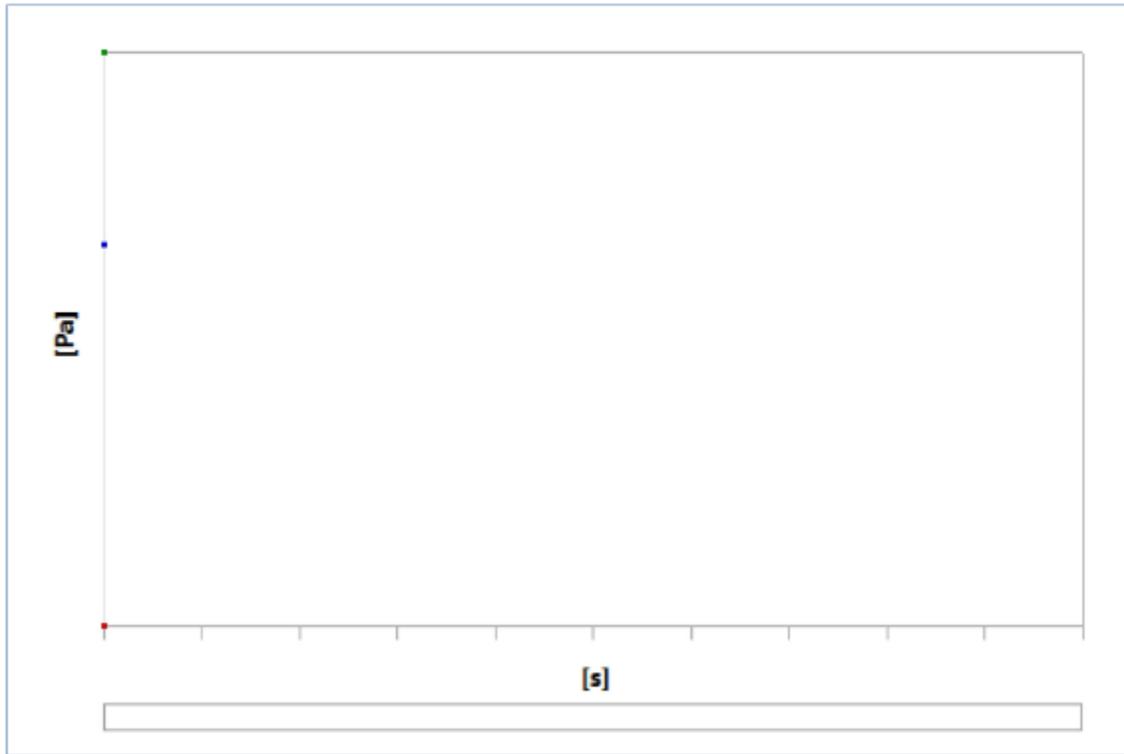
ANEXO 34 Resultados de la propuesta 1

**TABLE 15**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Beam Tool > Results**

Object Name	<i>Direct Stress</i>	<i>Minimum Combined Stress</i>	<i>Maximum Combined Stress</i>	<i>Total Deformation</i>	<i>Maximum Combined Stress 2</i>
State	Solved				
<b>Definition</b>					
Type	Direct Stress	Minimum Combined Stress	Maximum Combined Stress	Total Deformation	Maximum Combined Stress
By	Time				
Display Time	1. s	Last			
Calculate Time History	Yes				
Identifier					
Suppressed	No				
<b>Integration Point Results</b>					
Display Option	Averaged				Averaged
<b>Results</b>					
Minimum	-1.0428e+006 Pa	-7.1992e+006 Pa	-1.039e+006 Pa	0. m	-1.039e+006 Pa
Maximum	3.3798e+005 Pa	1.3087e+005 Pa	6.6234e+006 Pa	1.9277e-003 m	6.6234e+006 Pa
Average	-1.2723e+005 Pa	-1.1355e+006 Pa	8.8101e+005 Pa	2.7216e-004 m	8.8101e+005 Pa
Minimum Occurs On	Line Body				
Maximum Occurs On	Line Body				
<b>Information</b>					
Time	1. s				
Load Step	1				
Substep	1				
Iteration Number	1				

## ANEXO 35 Estrés directo de la propuesta 1

**FIGURE 9**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Beam Tool > Direct Stress**



## ANEXO 36 Tabla de estrés directo de la propuesta 1

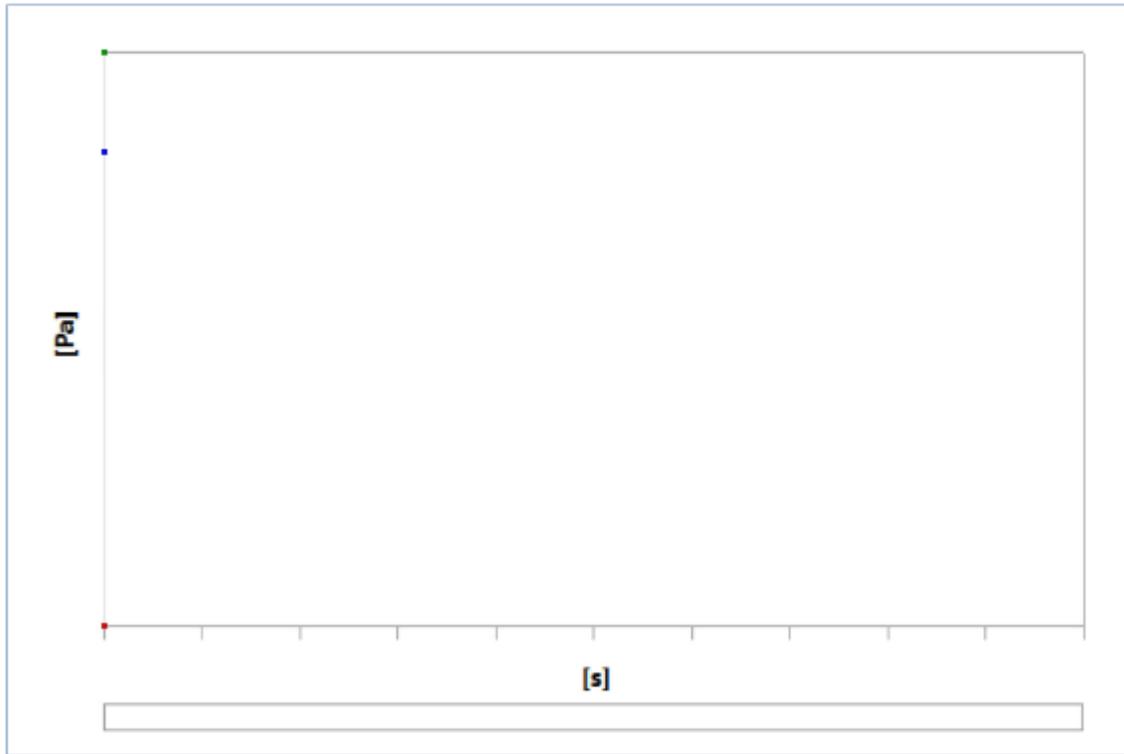
**TABLE 16**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Beam Tool > Direct Stress**

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.	-1.0428e+006	3.3798e+005	-1.2723e+005

ANEXO 37 Mínimo estrés combinado de la propuesta 1

FIGURE 10

Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Beam Tool > Minimum Combined Stress



ANEXO 38 Tabla de mínimo estrés combinado de la propuesta 1

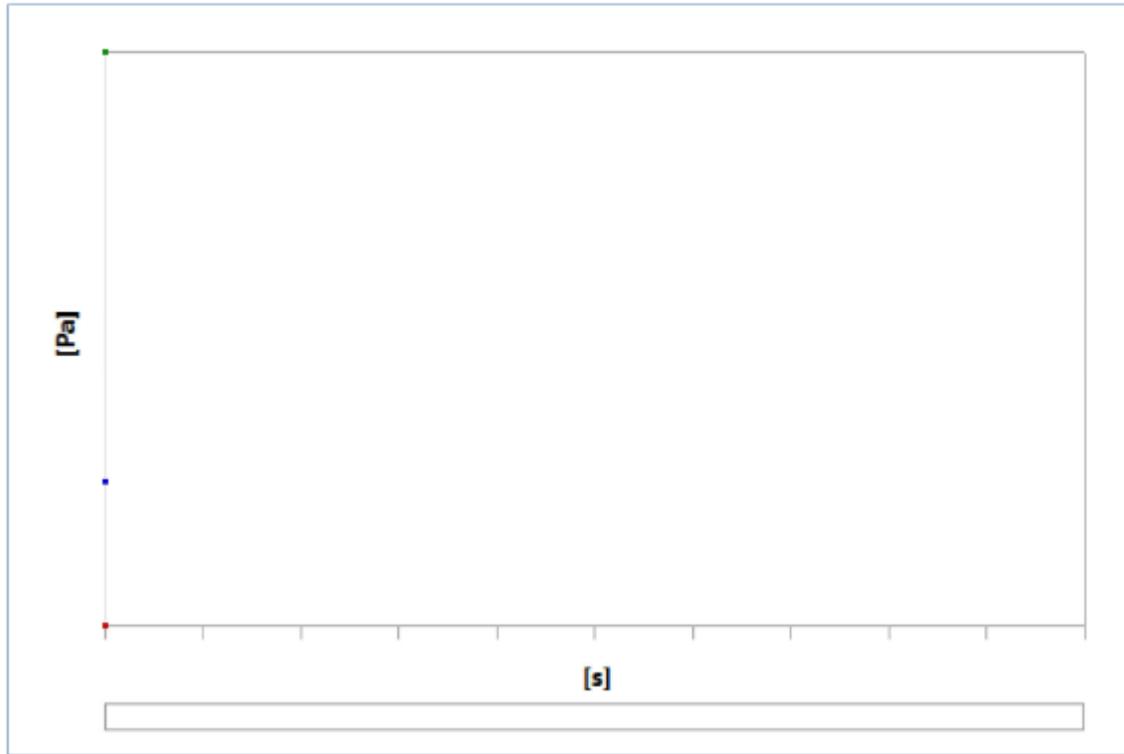
TABLE 17

Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Beam Tool > Minimum Combined Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.	-7.1992e+006	1.3087e+005	-1.1355e+006

ANEXO 39 Máximo estrés combinado total de la propuesta 1

**FIGURE 11**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress**



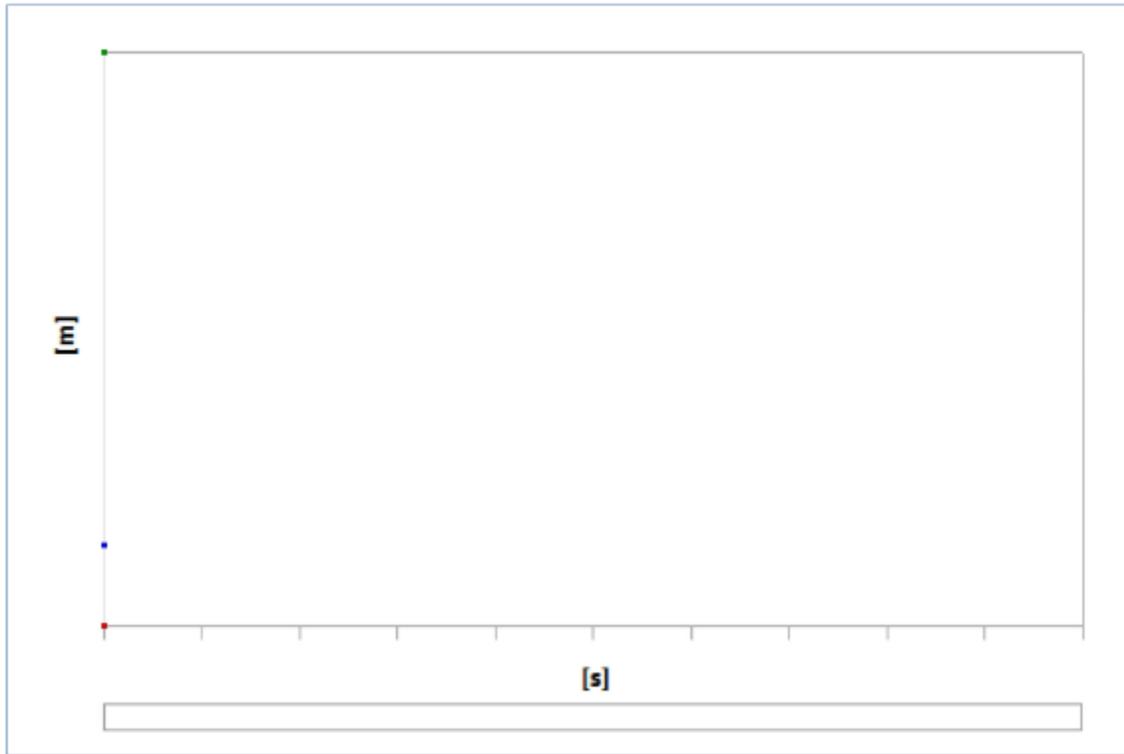
ANEXO 40 Tabla de máximo estrés combinado total de la propuesta 1

**TABLE 18**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress**

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.	-1.039e+006	6.6234e+006	8.8101e+005

ANEXO 41 Deformación total de la propuesta 1

**FIGURE 12**  
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Beam Tool > Total Deformation



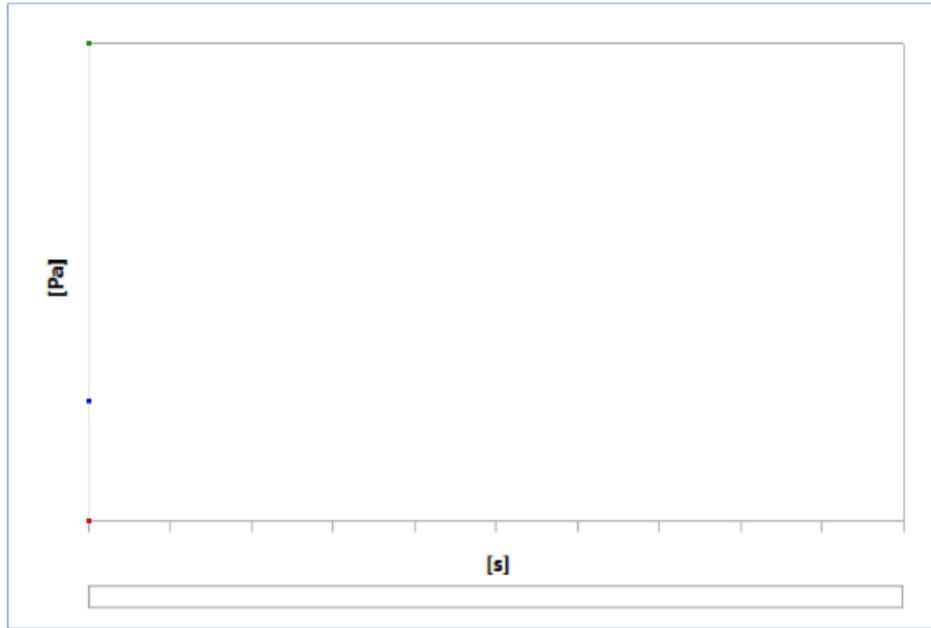
ANEXO 42 Tabla de deformación total de la propuesta 1

**TABLE 19**  
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Beam Tool > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1.	0.	1.9277e-003	2.7216e-004

ANEXO 43 Máximo estrés combinado 2 de la propuesta 1

**FIGURE 13**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress 2**



ANEXO 44 Tabla de máximo estrés combinado 2 de la propuesta 1

**TABLE 20**  
**Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress 2**

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.	-1.039e+006	6.6234e+006	8.8101e+005

ANEXO 45 Datos del material de la propuesta 1

**TABLE 21**  
**A36 > Color**

Red	Green	Blue
155	244	255

ANEXO 46 Elasticidad Isotrópica de la propuesta 1

**TABLE 22**  
**A36 > Isotropic Elasticity**

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010	

ANEXO 47 Geometría de la propuesta 2

**TABLE 2**  
**Model (A4) > Geometry**

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	C:\Users\grima\OneDrive\2023\CHESKO\TESIS\SIMULACIÓN\Rev.1.2\Rev.1.2_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	5.02 m
Length Y	6.325 m
Length Z	7.986 m
<b>Properties</b>	
Volume	0.47789 m <sup>3</sup>
Mass	0. kg
Scale Factor Value	1.
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	6387
Elements	3202
Mesh Metric	None
<b>Update Options</b>	
Assign Default Material	No
<b>Basic Geometry Options</b>	
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Analysis Type	3-D
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	No
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

ANEXO 48 Secciones cruzadas de la propuesta 2

**TABLE 4**  
**Model (A4) > Cross Sections**

Object Name	<i>Cross Sections</i>
State	Fully Defined
<b>Statistics</b>	
Cross Sections	1

ANEXO 49 Dimensión de secciones de la propuesta 2

**TABLE 5**  
**Model (A4) > Cross Sections > Channel1**

Object Name	<i>Channel1</i>
State	Fully Defined
<b>Dimensions</b>	
W1	5.9e-002 m
W2	5.9e-002 m
W3	0.203 m
t1	1.e-002 m
t2	1.e-002 m
t3	1.e-002 m
<b>Physical Properties</b>	
Beam Section	Channel1
Type	CHAN
A	3.01e-003 m <sup>2</sup>
I <sub>yy</sub>	1.6105e-005 m <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup>
I <sub>zz</sub>	7.8817e-007 m <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup>

ANEXO 50 Sistemas coordinados de la propuesta 2

**TABLE 6**  
**Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined

<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
<b>Origin</b>	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1. 0. 0. ]
Y Axis Data	[ 0. 1. 0. ]
Z Axis Data	[ 0. 0. 1. ]

## ANEXO 51 Malla de la propuesta 2

**TABLE 7**  
**Model (A4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
Element Size	Default
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	6
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Fine
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	11.357 m
Average Surface Area	0.0 m <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	4.4e-002 m
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No

Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
Nodes	6387
Elements	3202

## ANEXO 52 Controles de malla de la propuesta 2

**TABLE 8**  
**Model (A4) > Mesh > Mesh Controls**

Object Name	<i>Body Sizing</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Type	Element Size
Element Size	5.e-002 m
<b>Advanced</b>	
Defeature Size	Default
Behavior	Hard

## ANEXO 53 Análisis de la propuesta 2

**TABLE 9**  
**Model (A4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

ANEXO 54 Estática estructural de la propuesta 2

**TABLE 10**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Rotordynamics Controls</b>	
Coriolis Effect	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combine Restart Files	Program Controlled
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	C:\Users\grima\OneDrive\2023\CHESKO\TESIS\SIMULACIÓN\Rev.1.2\Rev.1.2_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Contact Summary	Program Controlled
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

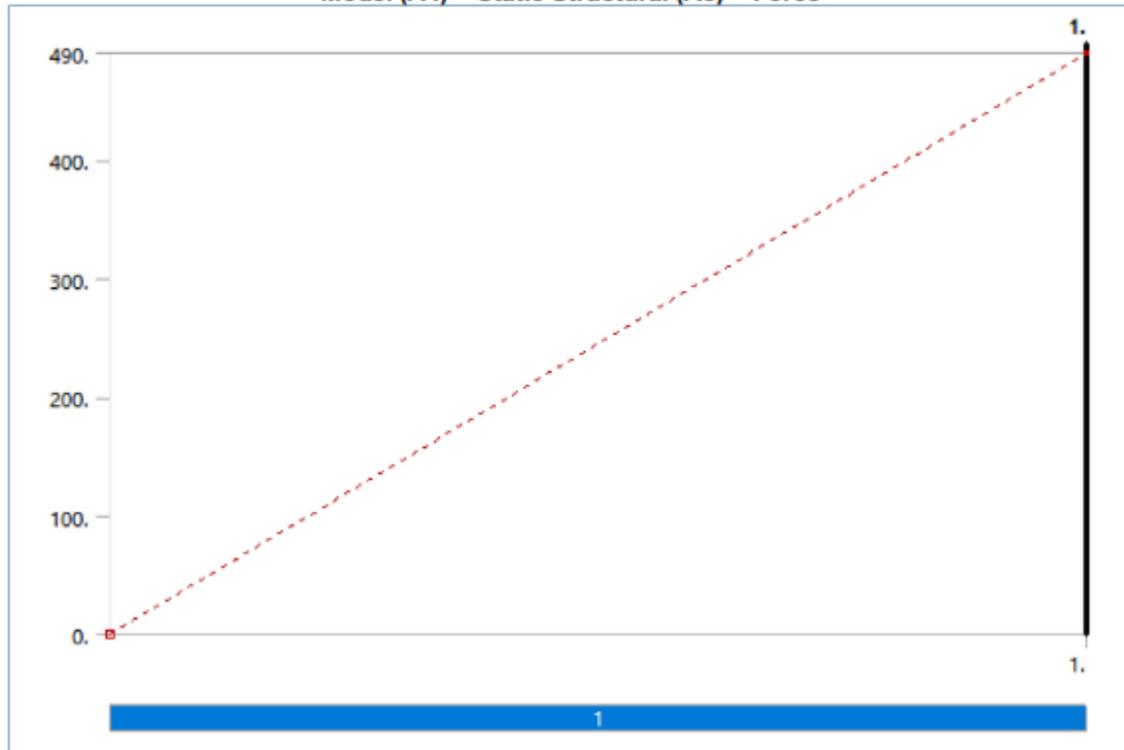
## ANEXO 55 Cargas de la propuesta 2

**TABLE 11**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>	<i>Force 4</i>	<i>Force 5</i>	<i>Force 7</i>	<i>Force 8</i>	<i>Force 9</i>
State	Fully Defined								
<b>Scope</b>									
Scoping Method	Geometry Selection								
Geometry	5 Vertices	1 Edge							
<b>Definition</b>									
Type	Fixed Support	Force							
Suppressed	No								
Define By	Vector								
Magnitude		490. N (ramped)	5890. N (ramped)			490. N (ramped)	7360. N (ramped)		
Direction		Defined							

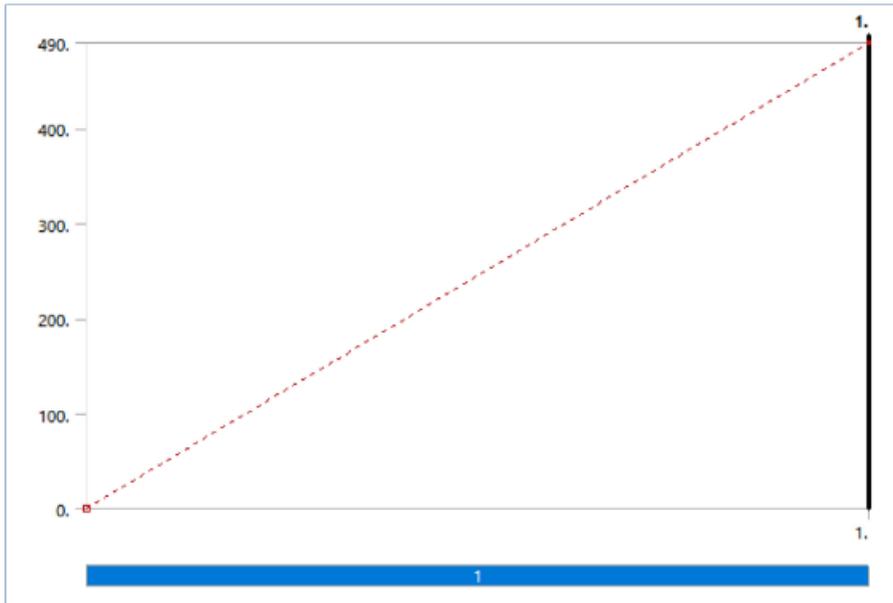
## ANEXO 56 Diagrama de fuerza 1 de la propuesta 2

**FIGURE 1**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force**



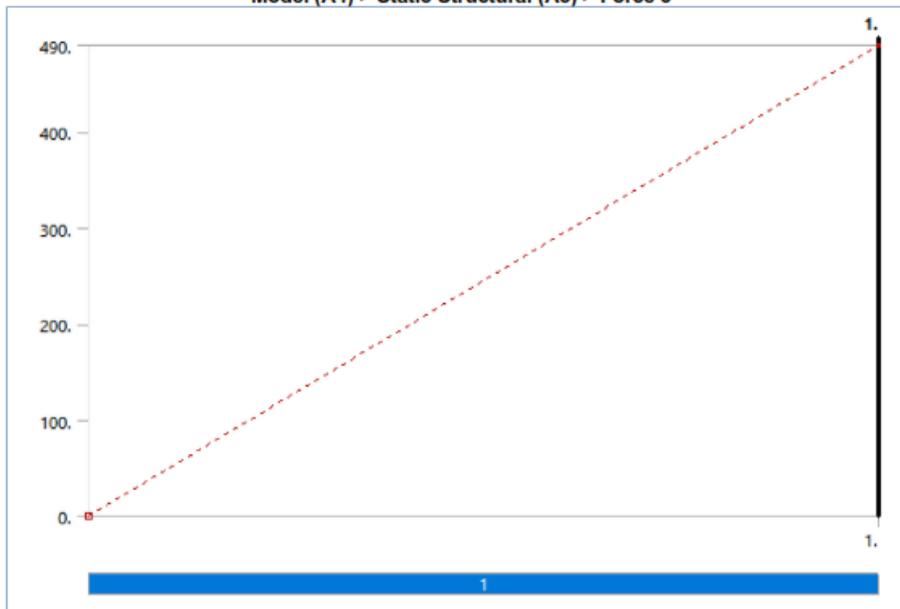
ANEXO 57 Diagrama de fuerza 2 de la propuesta 2

**FIGURE 2**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 2**



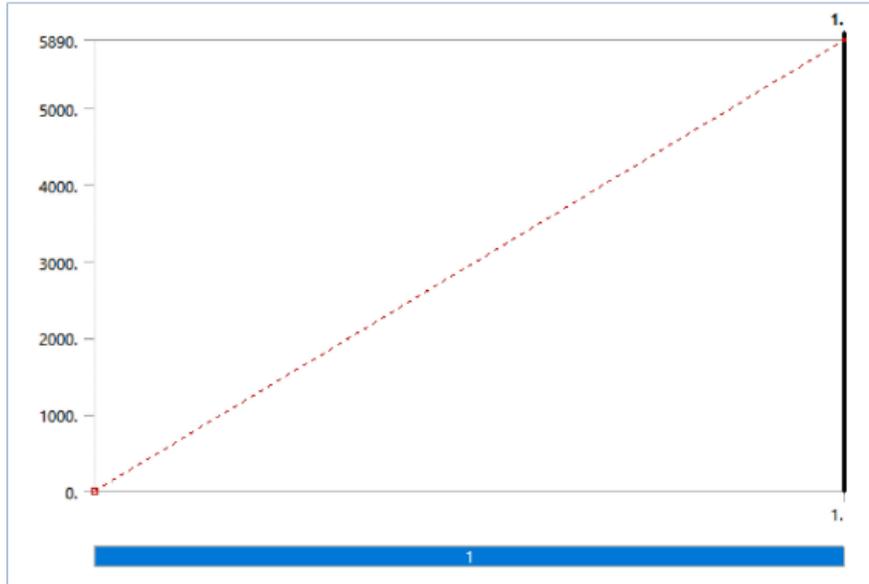
ANEXO 58 Diagrama de fuerza 3 de la propuesta 2

**FIGURE 3**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 3**



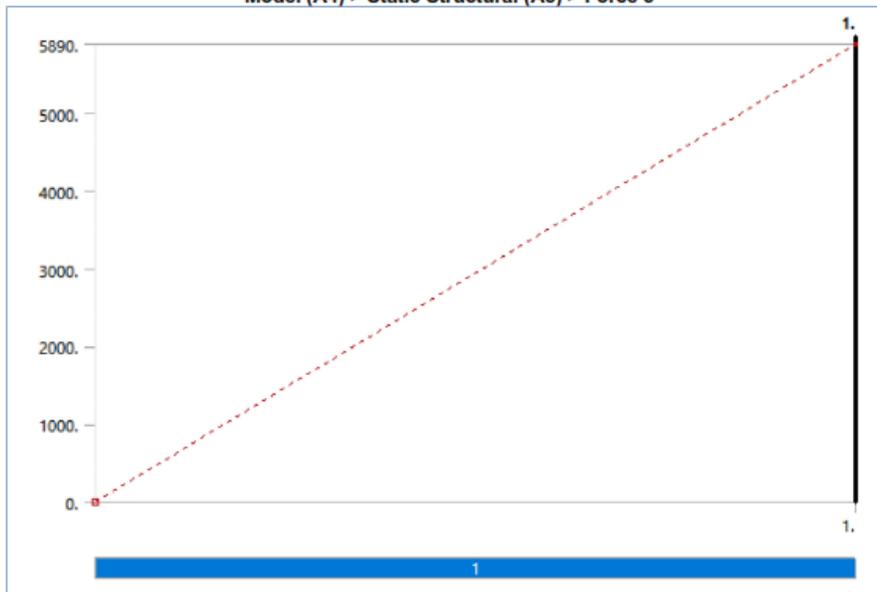
ANEXO 59 Diagrama de fuerza 4 de la propuesta 2

**FIGURE 4**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 4**



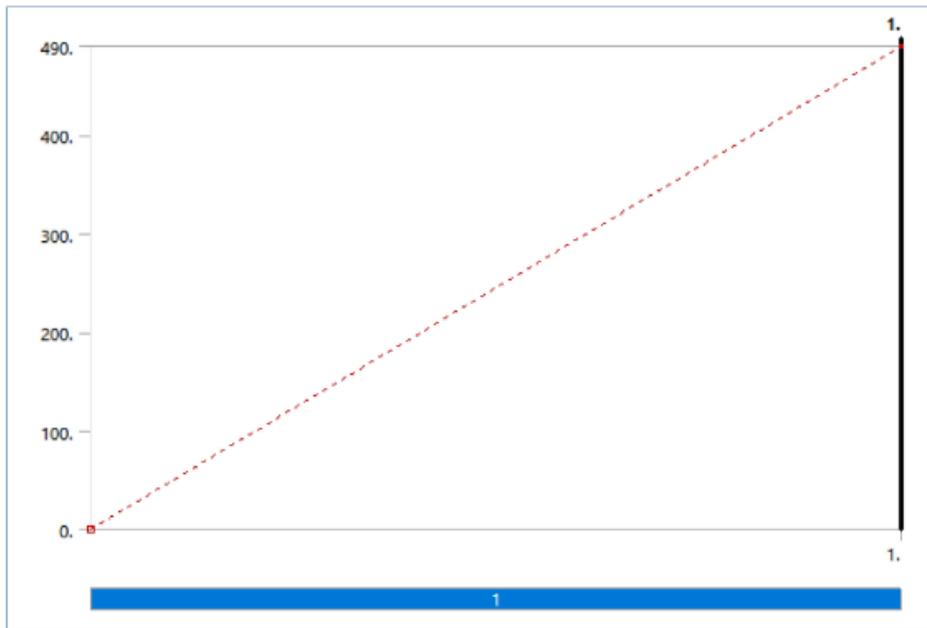
ANEXO 60 Diagrama de fuerza 5 de la propuesta 2

**FIGURE 5**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 5**



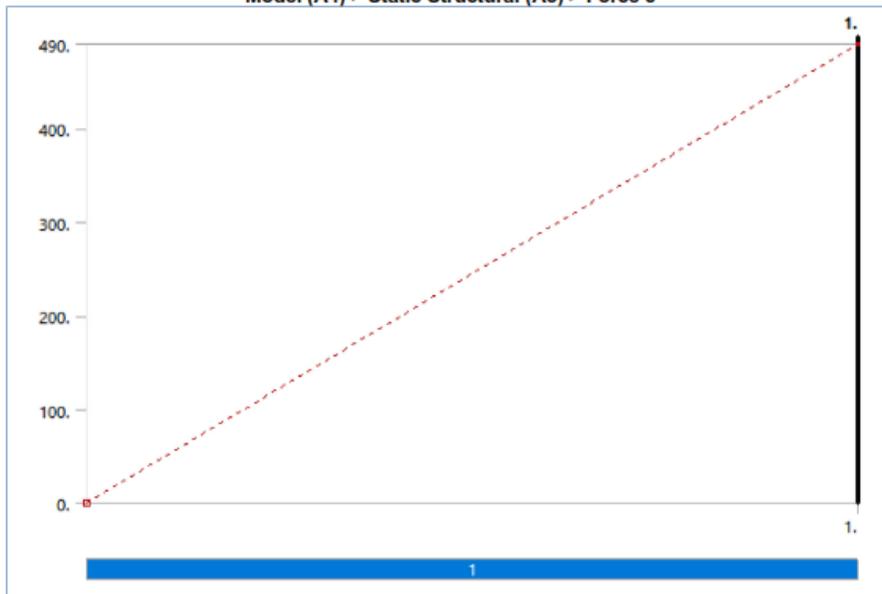
ANEXO 61 Diagrama de fuerza 7 de la propuesta 2

**FIGURE 6**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 7**



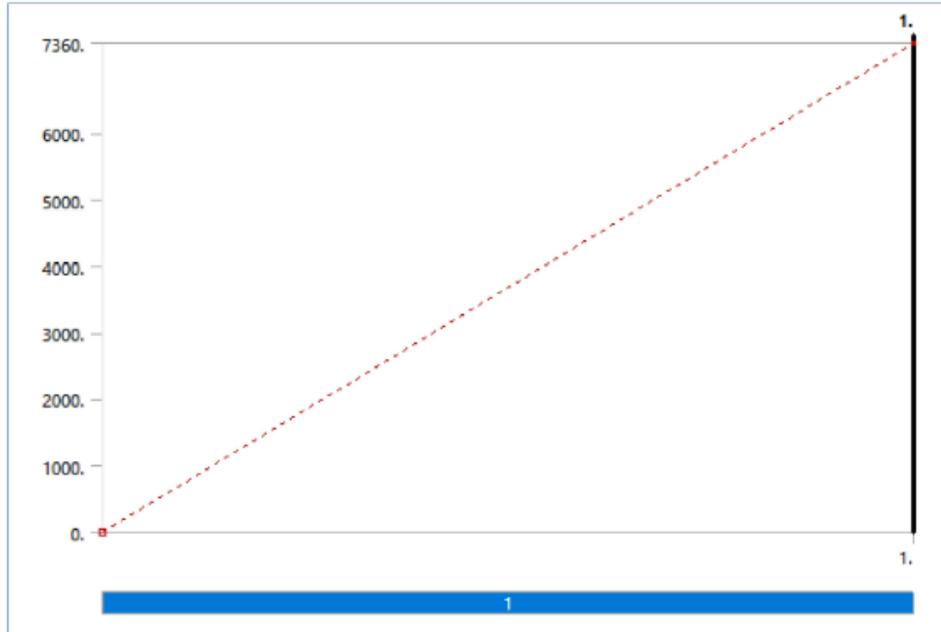
ANEXO 62 Diagrama de fuerza 8 de la propuesta 2

**FIGURE 7**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 8**



ANEXO 63 Diagrama de fuerza 9 de la propuesta 2

**FIGURE 8**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 9**



ANEXO 64 Solución de la propuesta 2

**TABLE 12**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
<b>Information</b>	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	4. s
MAPDL Memory Used	286. MB
MAPDL Result File Size	8.75 MB
<b>Post Processing</b>	
Beam Section Results	No
On Demand Stress/Strain	No

ANEXO 65 Información de la solución de la propuesta 2

**TABLE 13**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

ANEXO 66 Herramienta de simulación de la propuesta 2

**TABLE 14**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool**

Object Name	<i>Beam Tool</i>
State	Solved
<b>Scope</b>	
Geometry	All Line Bodies

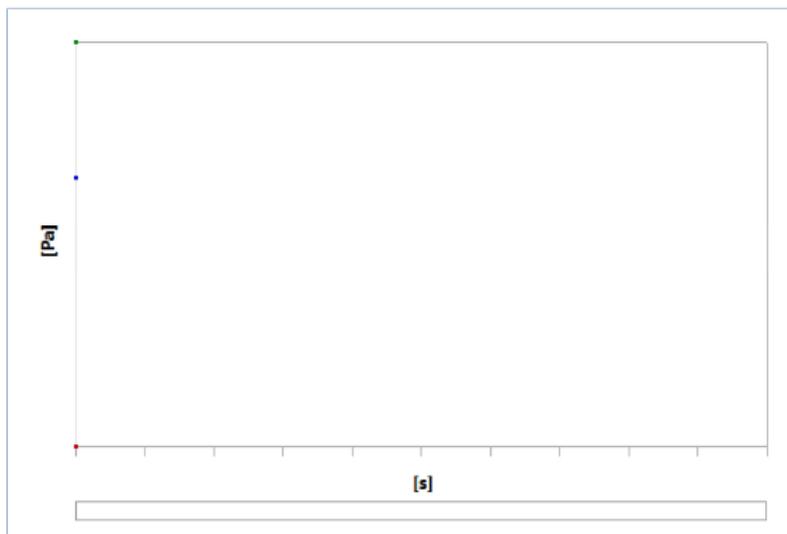
## ANEXO 67 Resultados de la propuesta 2

**TABLE 15**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Results**

Object Name	Direct Stress	Minimum Combined Stress	Maximum Combined Stress	Total Deformation	Maximum Combined Stress 2
State	Solved				
<b>Definition</b>					
Type	Direct Stress	Minimum Combined Stress	Maximum Combined Stress	Total Deformation	Maximum Combined Stress
By	Time				
Display Time	1. s	Last			
Calculate Time History	Yes				
Identifier					
Suppressed	No				
<b>Integration Point Results</b>					
Display Option	Averaged			Averaged	
<b>Results</b>					
Minimum	-3.0151e+006 Pa	-2.8482e+007 Pa	-2.9348e+006 Pa	0. m	-2.9348e+006 Pa
Maximum	8.4896e+005 Pa	1.243e+005 Pa	2.8482e+007 Pa	7.7908e-003 m	2.8482e+007 Pa
Average	-3.6244e+005 Pa	-3.5421e+006 Pa	2.8046e+006 Pa	9.3798e-004 m	2.8046e+006 Pa
Minimum Occurs On	Line Body				
Maximum Occurs On	Line Body				
<b>Information</b>					
Time	1. s				
Load Step	1				
Substep	1				
Iteration Number	1				

## ANEXO 68 Estrés directo de la propuesta 2

**FIGURE 9**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Direct Stress**



ANEXO 69 Tabla de estrés directo de la propuesta 2

**TABLE 16**

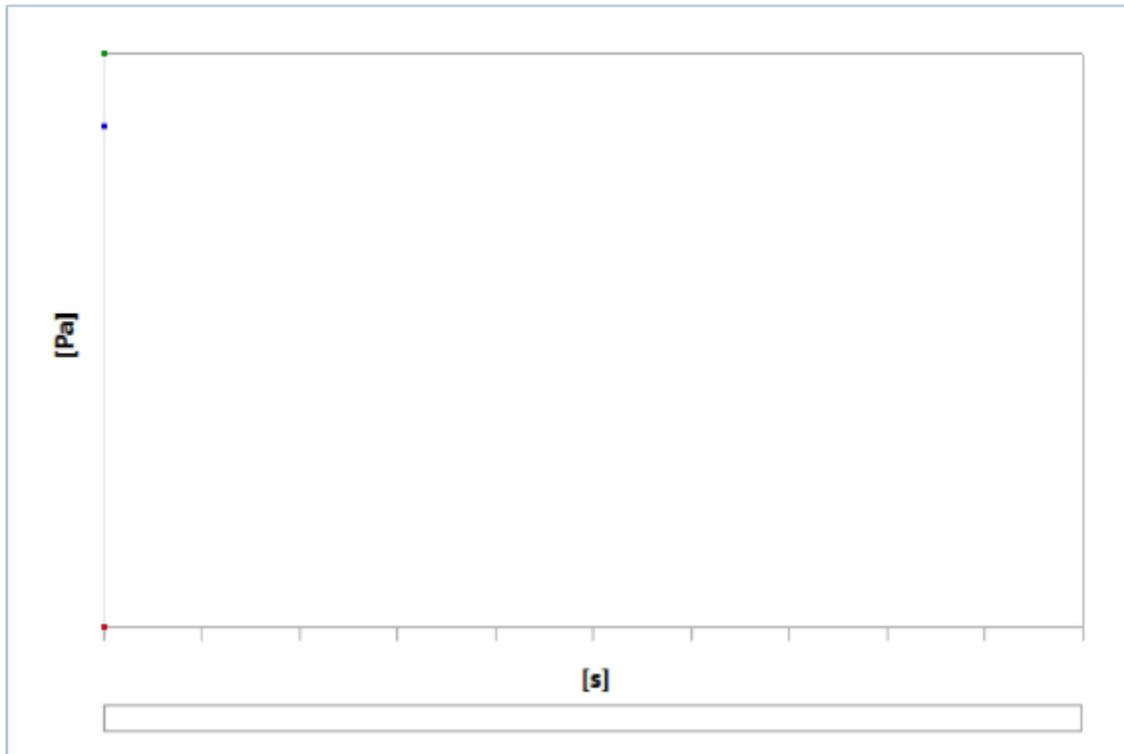
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Direct Stress**

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.	-3.0151e+006	8.4896e+005	-3.6244e+005

ANEXO 70 Mínimo estrés combinado de la propuesta 2

**FIGURE 10**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Minimum Combined Stress**



ANEXO 71 Tabla de mínimo estrés combinado de la propuesta 2

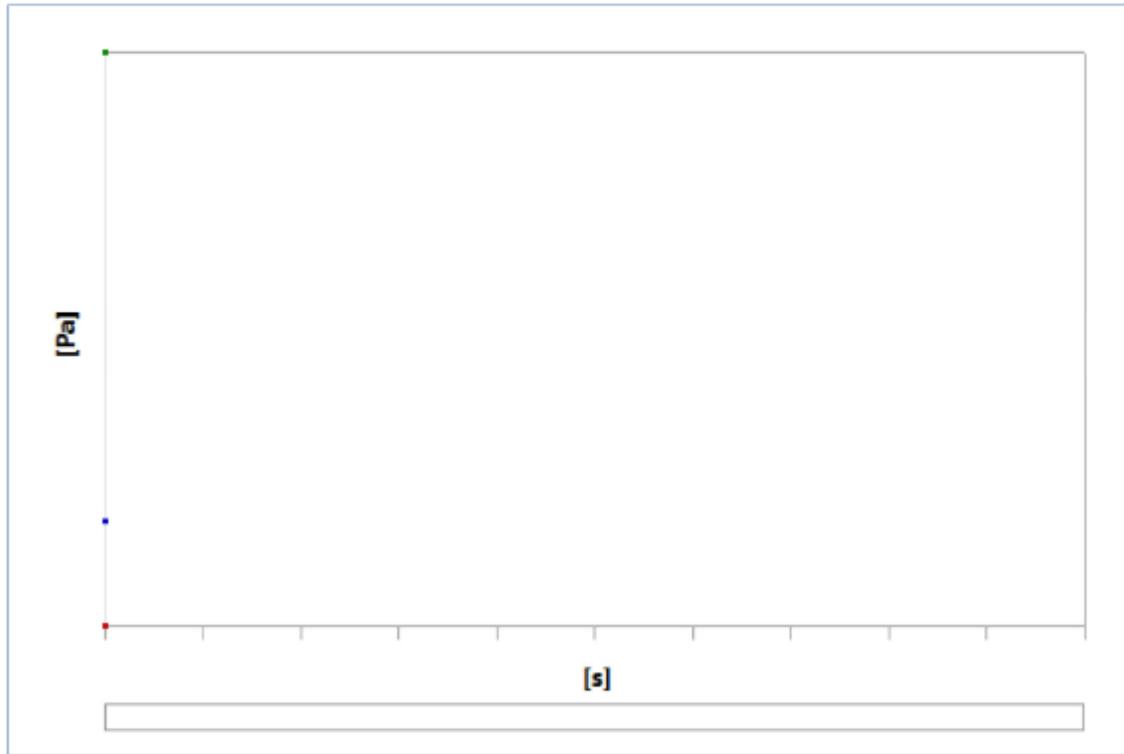
**TABLE 17**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Minimum Combined Stress**

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.	-2.8482e+007	1.243e+005	-3.5421e+006

ANEXO 72 Máximo estrés combinado total de la propuesta 2

**FIGURE 11**  
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress



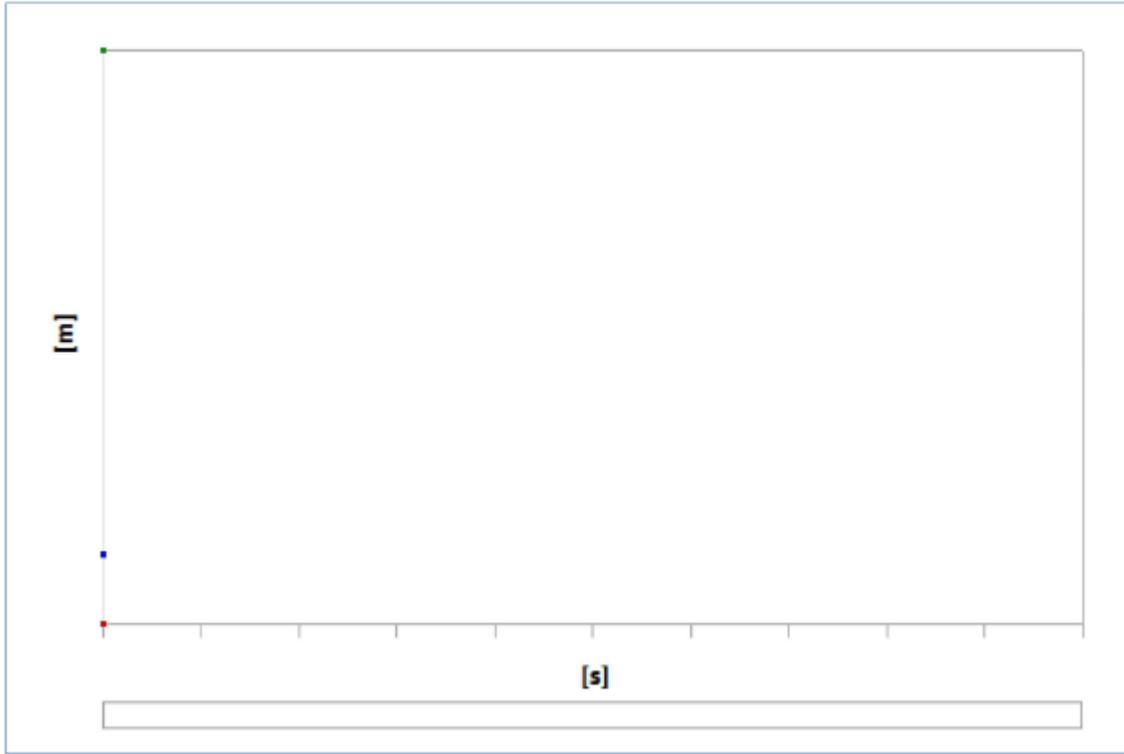
ANEXO 73 Tabla de máximo estrés combinado total de la propuesta 2

**TABLE 18**  
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.	-2.9348e+006	2.8482e+007	2.8046e+006

ANEXO 74 Deformación total de la propuesta 2

**FIGURE 12**  
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Total Deformation



ANEXO 75 Tabla de deformación total de la propuesta 2

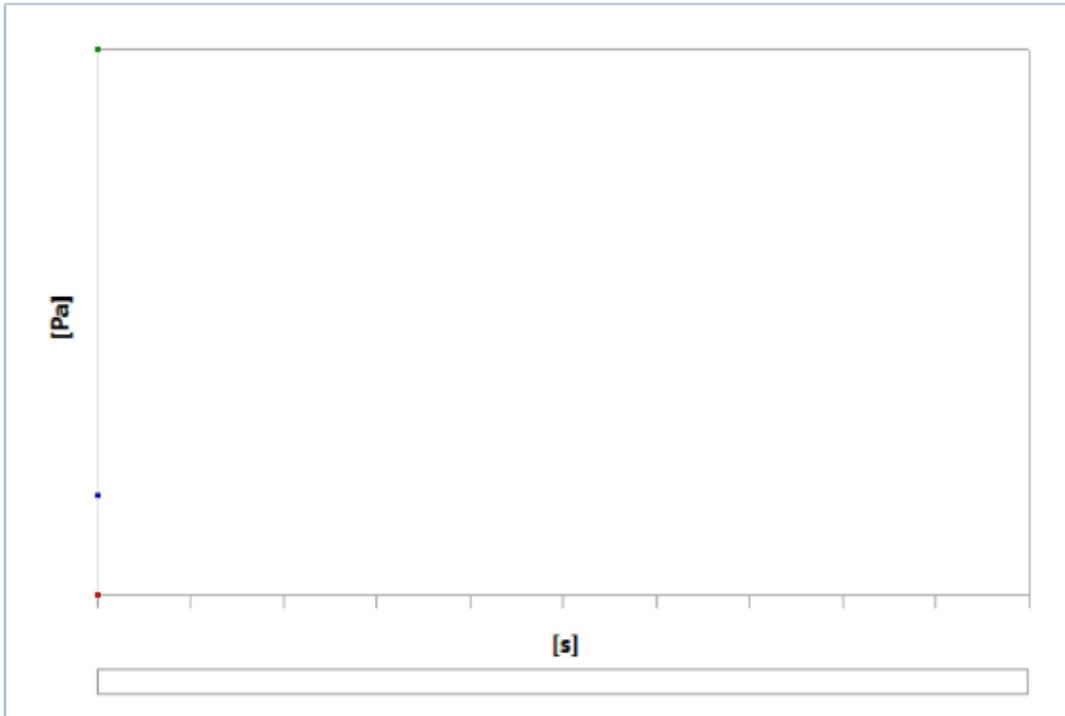
**TABLE 19**  
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1.	0.	7.7908e-003	9.3798e-004

ANEXO 76 Máximo estrés combinado 2 de la propuesta 2

FIGURE 13

Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress 2



ANEXO 77 Tabla de máximo estrés combinado 2 de la propuesta 2

TABLE 20

Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress 2

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.	-2.9348e+006	2.8482e+007	2.8046e+006

ANEXO 78 Datos del material de la propuesta 2

TABLE 21

A36 > Color

Red	Green	Blue
155	244	255

ANEXO 79 Elasticidad Isotrópica de la propuesta 1

TABLE 22

A36 > Isotropic Elasticity

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010	

ANEXO 80 Geometría de la propuesta 3

**TABLE 2**  
**Model (B4) > Geometry**

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	C:\Users\grima\OneDrive\2023\CHESKO\TESIS\SIMULACIÓN\Rev.1.2\Rev.1.2 files\dp0\SYS-1\DM\SYS-1.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	5.02 m
Length Y	6.325 m
Length Z	7.986 m
<b>Properties</b>	
Volume	1.0698 m <sup>3</sup>
Mass	0. kg
Scale Factor Value	1.
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	6387
Elements	3202
Mesh Metric	None
<b>Update Options</b>	
Assign Default Material	No
<b>Basic Geometry Options</b>	
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Analysis Type	3-D
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	No
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

ANEXO 81 Secciones cruzadas de la propuesta 3

**TABLE 4**  
**Model (B4) > Cross Sections**

Object Name	<i>Cross Sections</i>
State	Fully Defined
<b>Statistics</b>	
Cross Sections	1

ANEXO 82 HSSRound de secciones de la propuesta 3

**TABLE 5**  
**Model (B4) > Cross Sections > HSSRound**

Object Name	<i>HSSRound</i>
State	Fully Defined
<b>Dimensions</b>	
Ri	7.6e-002 m
Ro	8.9e-002 m
<b>Physical Properties</b>	
Beam Section	HSSRound
Type	CTUBE
A	6.7384e-003 m <sup>2</sup>
Iyy	2.3072e-005 m <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup>
Izz	2.3072e-005 m <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup>

ANEXO 83 Sistemas coordinados de la propuesta 3

**TABLE 6**  
**Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
<b>Origin</b>	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1. 0. 0. ]
Y Axis Data	[ 0. 1. 0. ]
Z Axis Data	[ 0. 0. 1. ]

ANEXO 84 Malla de la propuesta 3

**TABLE 7**  
**Model (B4) > Mesh**

Object Name	Mesh
State	Solved
<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
Element Size	Default
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	6
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Fine
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	11.357 m
Average Surface Area	0.0 m <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	4.4e-002 m
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
Nodes	6387
Elements	3202

ANEXO 85 Controles de malla de la propuesta 3

**TABLE 8**  
**Model (B4) > Mesh > Mesh Controls**

Object Name	<i>Body Sizing</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Type	Element Size
Element Size	5.e-002 m
<b>Advanced</b>	
Defeature Size	Default
Behavior	Hard

ANEXO 86 Análisis de la propuesta 3

**TABLE 9**  
**Model (B4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (B5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

ANEXO 87 Estática estructural de la propuesta 3

**TABLE 10**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings**

Object Name	Analysis Settings
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Rotordynamics Controls</b>	
Coriolis Effect	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combine Restart Files	Program Controlled
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	C:\Users\grima\OneDrive\2023\CHESKO\TESIS\SIMULACION\Rev.1.2\Rev.1.2_files\dp0\SYS-1\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Contact Summary	Program Controlled
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

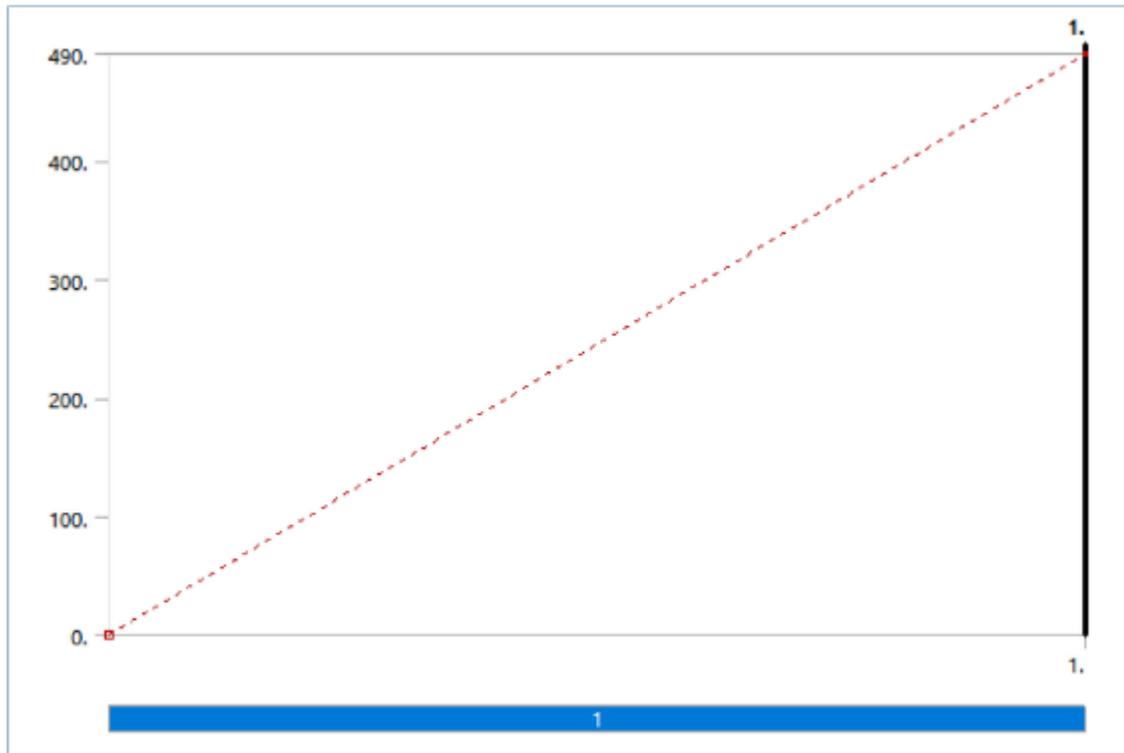
### ANEXO 88 Cargas de la propuesta 3

**TABLE 11**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads**

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>	<i>Force 4</i>	<i>Force 5</i>	<i>Force 7</i>	<i>Force 8</i>	<i>Force 9</i>
State	Fully Defined								
<b>Scope</b>									
Scoping Method	Geometry Selection								
Geometry	5 Vertices	1 Edge							
<b>Definition</b>									
Type	Fixed Support	Force							
Suppressed	No								
Define By	Vector								
Magnitude		490. N (ramped)		5890. N (ramped)		490. N (ramped)		7360. N (ramped)	
Direction	Defined								

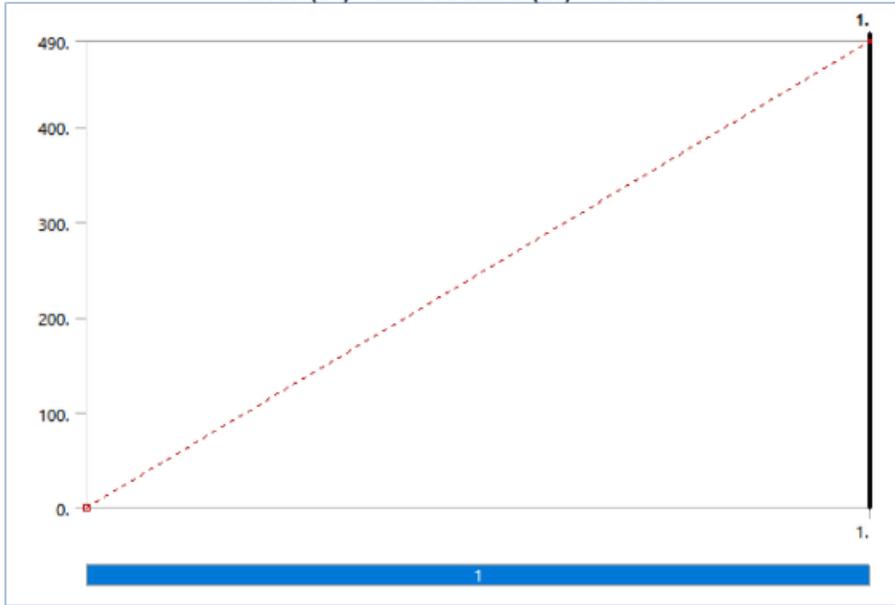
### ANEXO 89 Diagrama de fuerza 1 de la propuesta 3

**FIGURE 1**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Force**



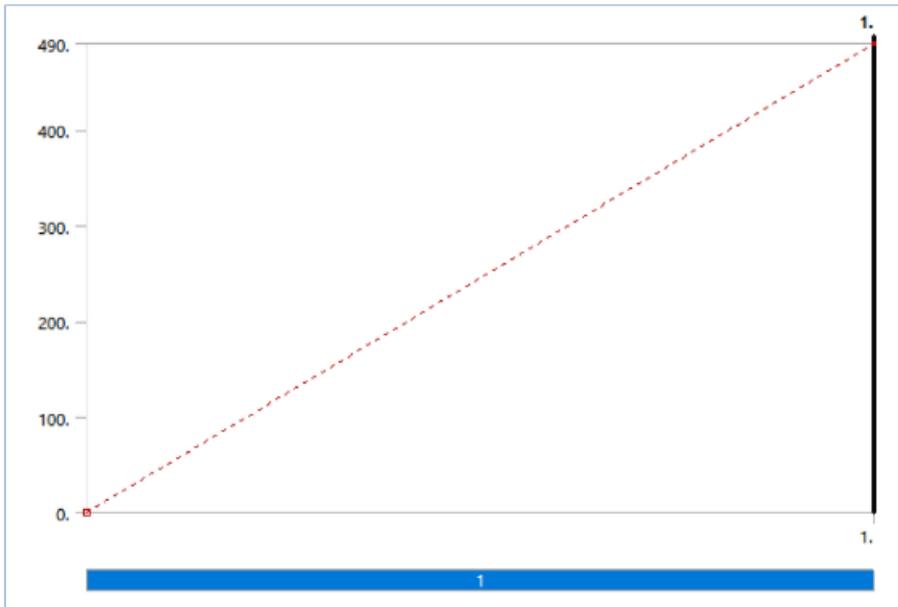
ANEXO 90 Diagrama de fuerza 2 de la propuesta 3

**FIGURE 2**  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 2



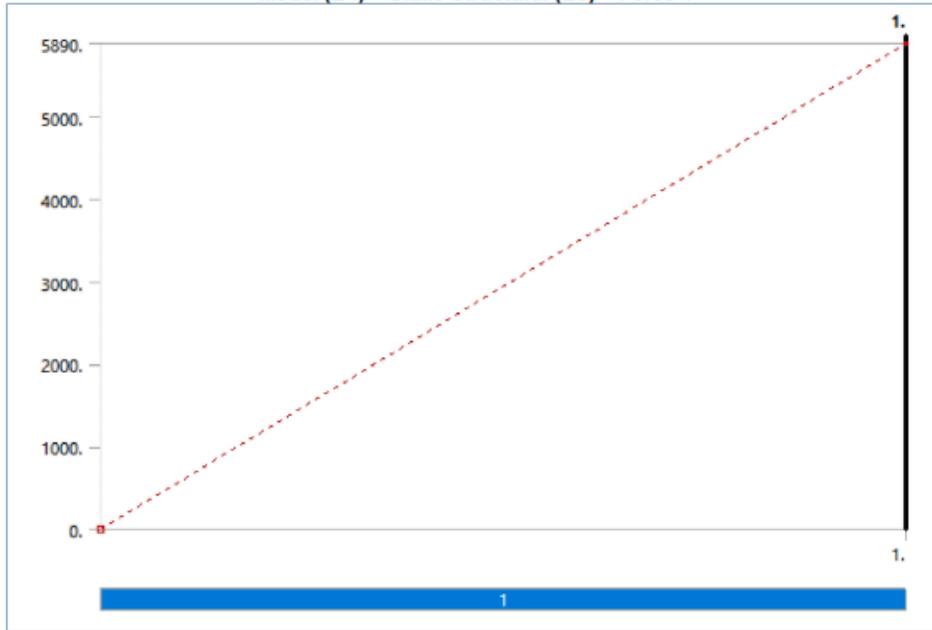
ANEXO 91 Diagrama de fuerza 3 de la propuesta 3

**FIGURE 3**  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 3



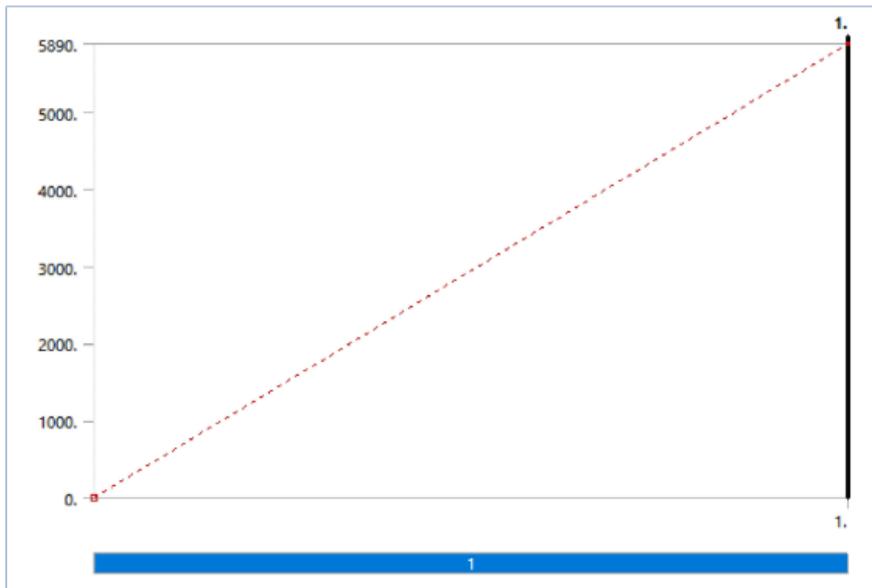
ANEXO 92 Diagrama de fuerza 4 de la propuesta 3

**FIGURE 4**  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 4



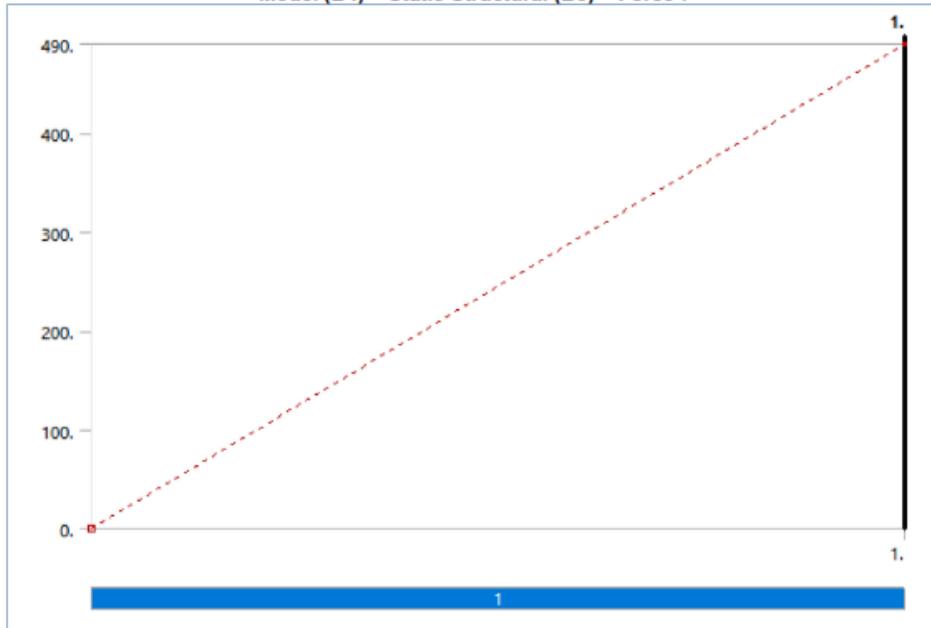
ANEXO 93 Diagrama de fuerza 5 de la propuesta 3

**FIGURE 5**  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 5



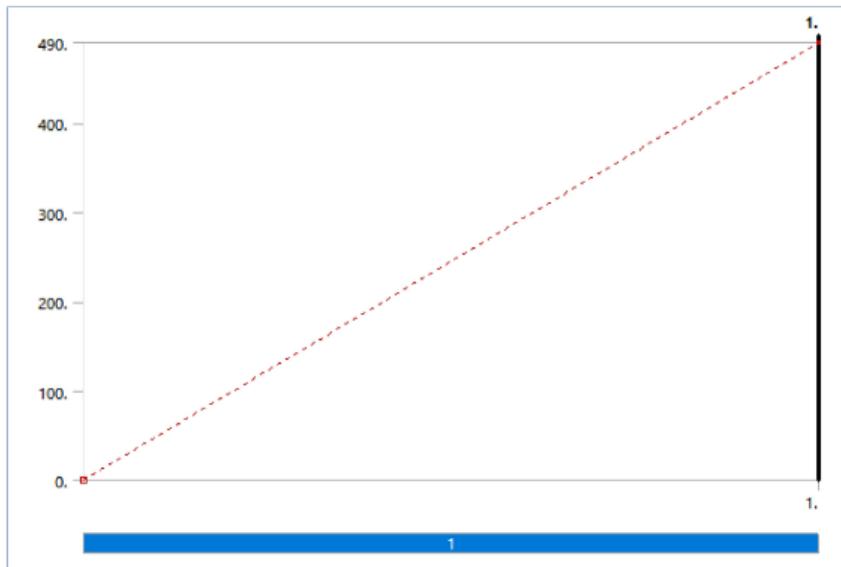
ANEXO 94 Diagrama de fuerza 7 de la propuesta 3

**FIGURE 6**  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 7

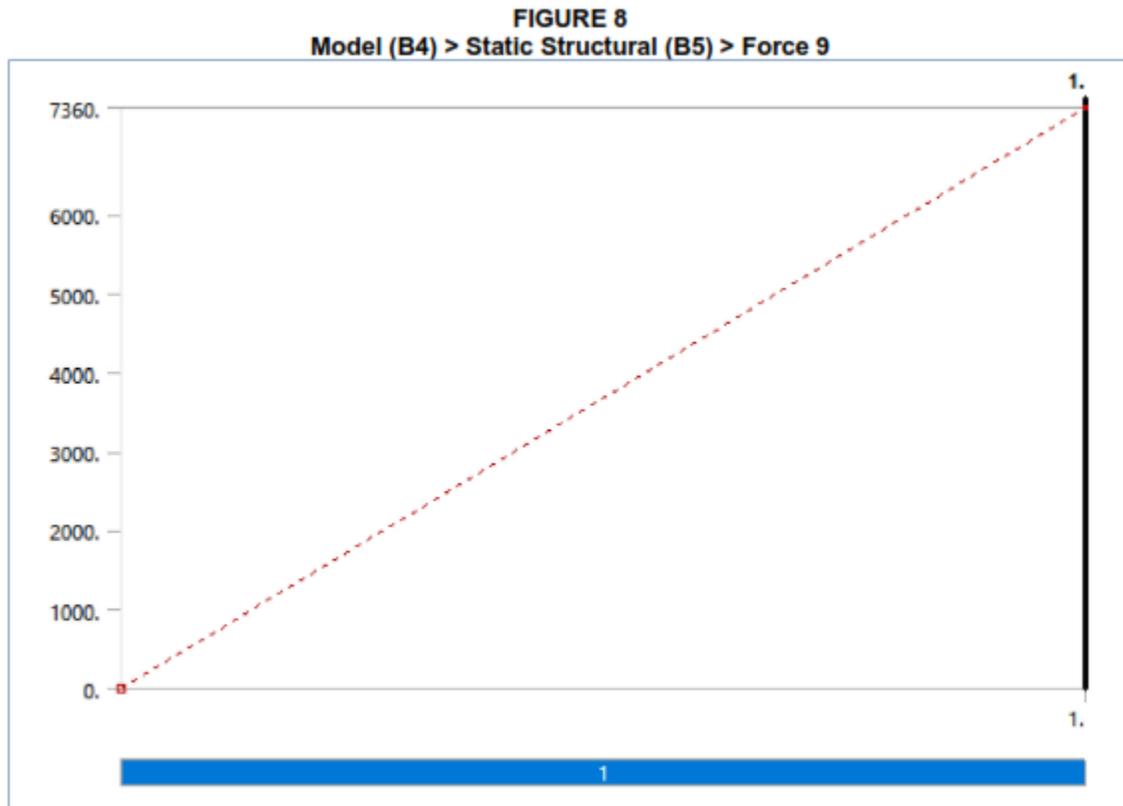


ANEXO 95 Diagrama de fuerza 8 de la propuesta 3

**FIGURE 7**  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 8



ANEXO 96 Diagrama de fuerza 9 de la propuesta 3



ANEXO 97 Solución de la propuesta 3

**TABLE 12**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
<b>Information</b>	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	3. s
MAPDL Memory Used	286. MB
MAPDL Result File Size	8.1875 MB
<b>Post Processing</b>	
Beam Section Results	No
On Demand Stress/Strain	No

ANEXO 98 Información de la solución de la propuesta 3

**TABLE 13**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

ANEXO 99 Herramienta de simulación de la propuesta 3

**TABLE 14**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool**

Object Name	<i>Beam Tool</i>
State	Solved
<b>Scope</b>	
Geometry	All Line Bodies

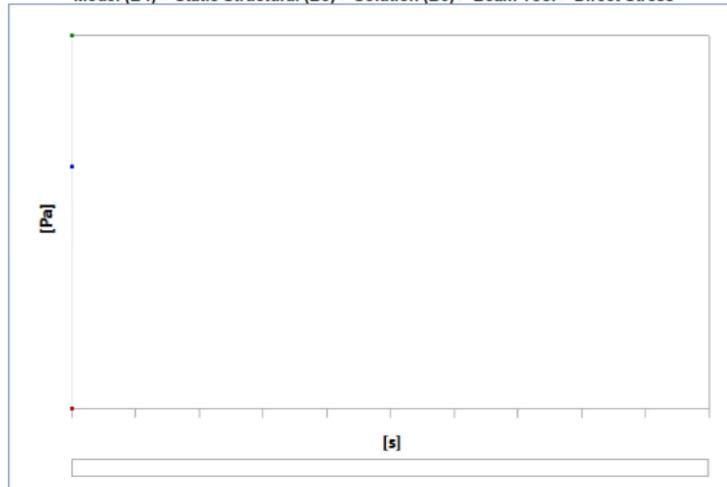
### ANEXO 100 Resultados de la propuesta 3

**TABLE 15**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > Results**

Object Name	Direct Stress	Minimum Combined Stress	Maximum Combined Stress	Total Deformation	Maximum Combined Stress 2
State	Solved				
<b>Definition</b>					
Type	Direct Stress	Minimum Combined Stress	Maximum Combined Stress	Total Deformation	Maximum Combined Stress
By	Time				
Display Time	1. s	Last			
Calculate Time	Yes				
History Identifier					
Suppressed	No				
<b>Integration Point Results</b>					
Display Option	Averaged			Averaged	
<b>Results</b>					
Minimum	-1.3261e+006 Pa	-1.1774e+007 Pa	-1.3175e+006 Pa	0. m	-1.3175e+006 Pa
Maximum	4.6753e+005 Pa	1.6198e+005 Pa	1.1268e+007 Pa	3.1343e-003 m	1.1268e+007 Pa
Average	-1.6215e+005 Pa	-1.86e+006 Pa	1.5356e+006 Pa	4.4962e-004 m	1.5356e+006 Pa
Minimum Occurs On	Line Body				
Maximum Occurs On	Line Body				
<b>Information</b>					
Time	1. s				
Load Step	1				
Substep	1				
Iteration Number	1				

### ANEXO 101 Estrés directo de la propuesta 3

**FIGURE 9**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > Direct Stress**



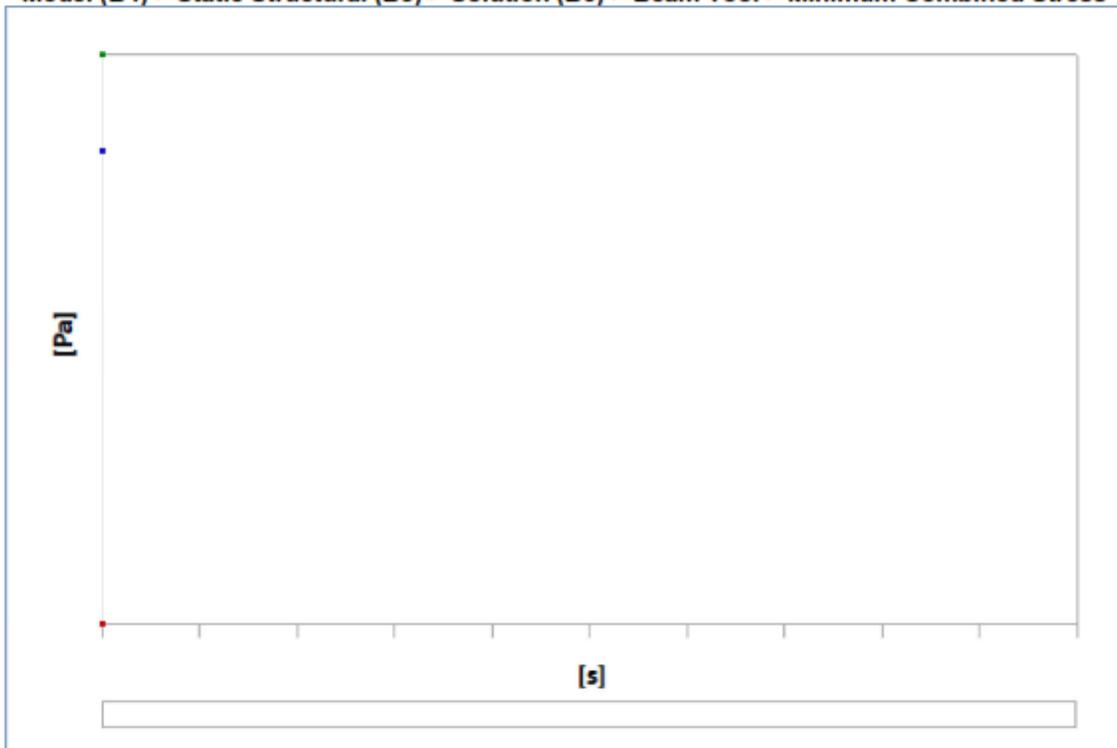
ANEXO 102 Tabla de estrés directo de la propuesta 3

**TABLE 16**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > Direct Stress**

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.	-1.3261e+006	4.6753e+005	-1.6215e+005

ANEXO 103 Mínimo estrés combinado de la propuesta 3

**FIGURE 10**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > Minimum Combined Stress**



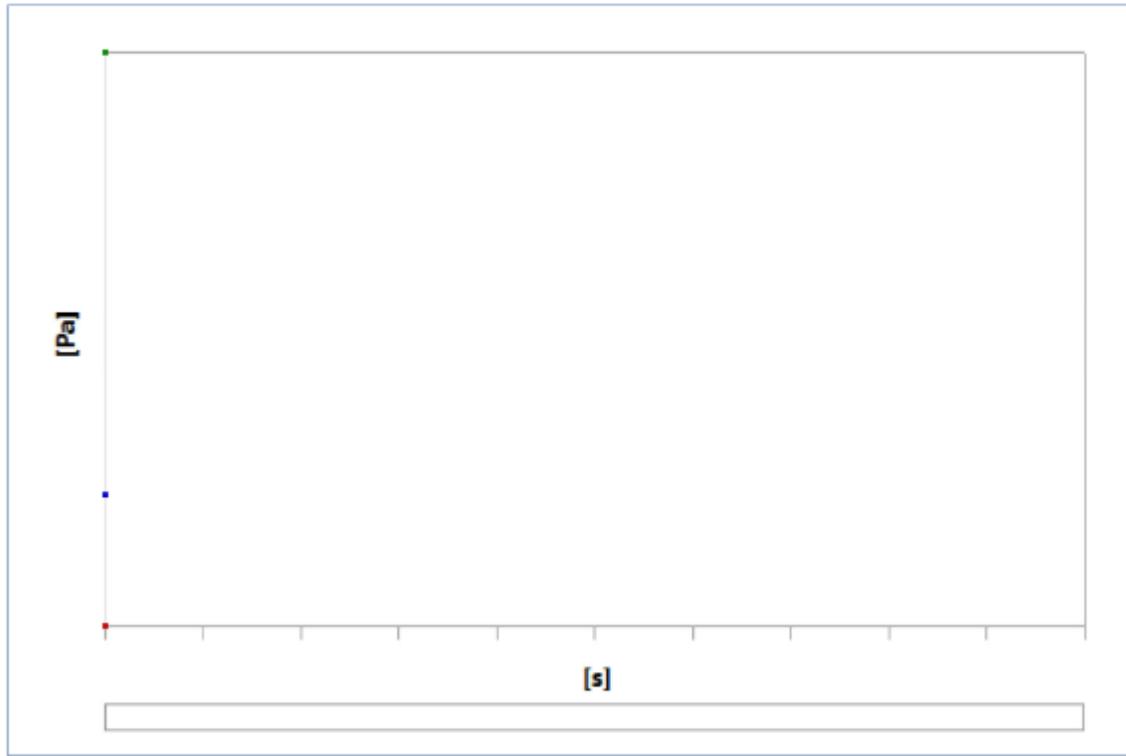
ANEXO 104 Tabla de mínimo estrés combinado de la propuesta 3

**TABLE 17**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > Minimum Combined Stress**

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.	-1.1774e+007	1.6198e+005	-1.86e+006

ANEXO 105 Máximo estrés combinado total de la propuesta 3

**FIGURE 11**  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress



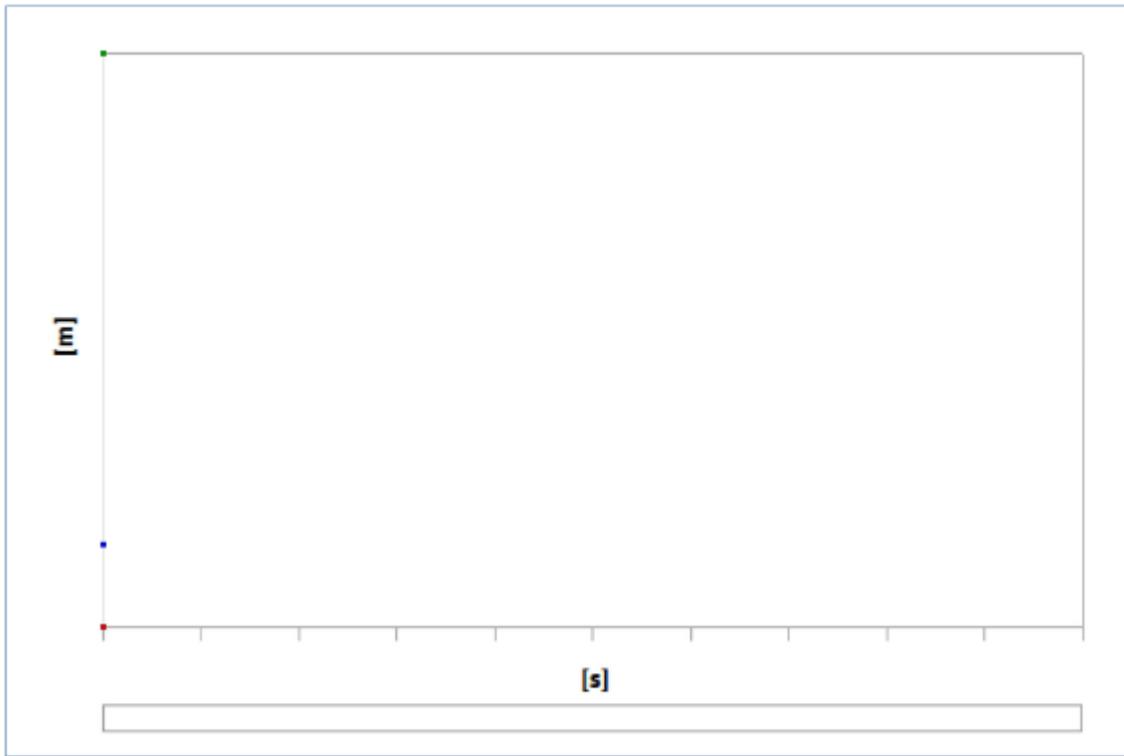
ANEXO 106 Tabla de máximo estrés combinado total de la propuesta 3

**TABLE 18**  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.	-1.3175e+006	1.1268e+007	1.5356e+006

ANEXO 107 Deformación total de la propuesta 3

**FIGURE 12**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > Total Deformation**



ANEXO 108 Tabla de deformación total de la propuesta 3

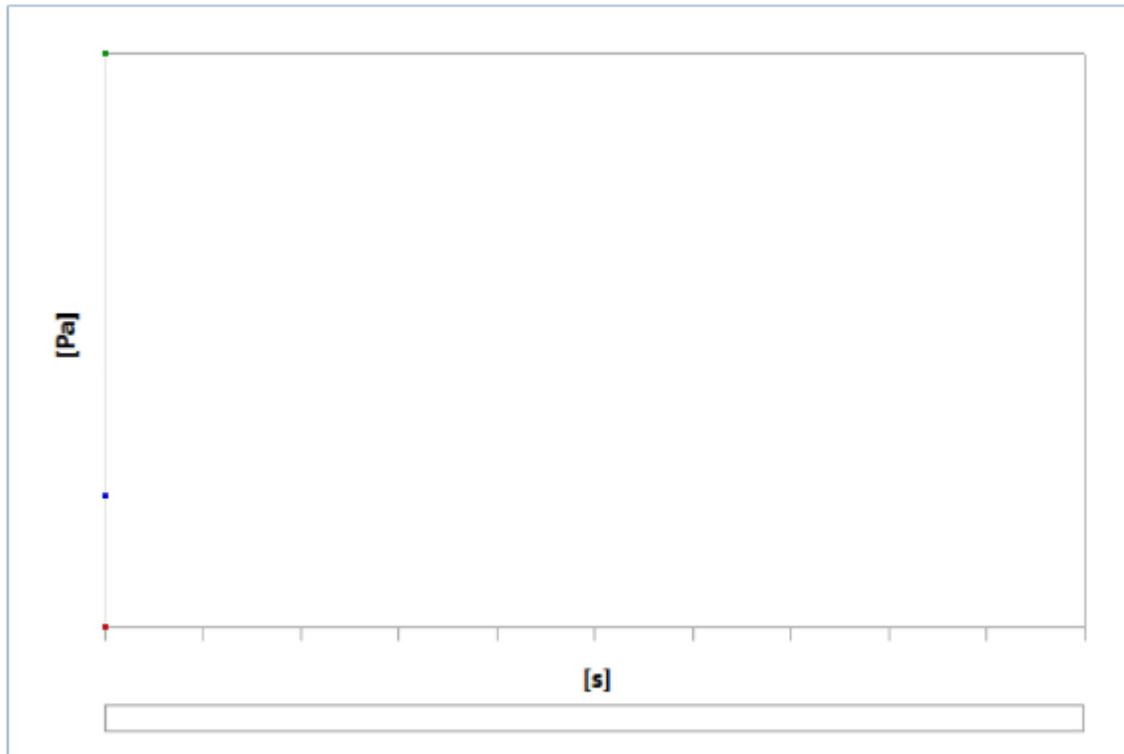
**TABLE 19**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > Total Deformation**

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1.	0.	3.1343e-003	4.4962e-004

ANEXO 109 Máximo estrés combinado 2 de la propuesta 3

FIGURE 13

Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress 2



ANEXO 110 Tabla de máximo estrés combinado 2 de la propuesta 3

TABLE 20

Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Beam Tool > Maximum Combined Stress 2

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.	-1.3175e+006	1.1268e+007	1.5356e+006

ANEXO 111 Datos del material de la propuesta 3

TABLE 21  
A36 > Color

Red	Green	Blue
155	244	255

ANEXO 112 Elasticidad Isotrópica de la propuesta 3

**TABLE 22**  
**A36 > Isotropic Elasticity**

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010	