

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y
MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS

**DISEÑO DE UN PUENTE GRÚA DE 20 TONELADAS DE CAPACIDAD PARA EL
TALLER DE MAQUINAS DE LA SUCURSAL DEL CUSCO FERREYROS**

PRESENTADO POR:

Br. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO MECÁNICO.**

ASESOR:

Mg. Ing. MARIO GABRIEL CASTRO
IRRARAZABAL

CUSCO – PERÚ

2024



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor MARIO GABRIEL CASTRO
IRRARAZABAL quien aplica el software de detección de similitud al
 trabajo de investigación/tesis titulada: "DISEÑO DE UN PUENTE GRÚA DE
20 TONELADAS DE CAPACIDAD PARA EL TALLER DE
MAQUINAS DE LA SUCURSAL DEL CUSCO FERREYROS

Presentado por: ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA DNI N° 45093351 ;
 presentado por: DNI N°:
 Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO MECÁNICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
 Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

| Porcentaje | Evaluación y Acciones | Marque con una (X) |
|----------------|---|--------------------|
| Del 1 al 10% | No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud. | <u>X</u> |
| Del 11 al 30 % | Devolver al usuario para las subsanaciones. | |
| Mayor a 31% | El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley. | |

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 20 de AGOSTO de 20 25.....



 Firma

Post firma MARIO G. CASTRO J

Nro. de DNI 23904002

ORCID del Asesor 0000-0002-4667-4954

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:485020096

ROGER ATAULLUCO

DISEÑO DE UN PUENTE GRÚA DE 20 TONELADAS DE CAPACIDAD PARA EL TALLER DE MAQUINAS DE LA SUCURSA...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::27259:485020096

207 páginas

Fecha de entrega

20 ago 2025, 2:06 p.m. GMT-5

27.511 palabras

Fecha de descarga

20 ago 2025, 2:20 p.m. GMT-5

153.330 caracteres

Nombre del archivo

DISEÑO DE UN PUENTE GRÚA DE 20 TONELADAS DE CAPACIDAD PARA EL TALLER DE MAQUINASpdf

Tamaño del archivo

7.1 MB

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
28 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mis padres, pilares fundamentales en mi vida. A mi madre, por su amor incansable, su fortaleza silenciosa y su presencia constante en cada paso que doy. Y a mi padre, quien ya no está físicamente entre nosotros, pero cuya memoria vive intensamente en mi corazón. Su ejemplo, sus enseñanzas y el profundo amor que me brindó siguen guiando mis decisiones y dándome fuerza en los momentos más difíciles.

A Nohelya, mi compañera de vida, gracias por caminar a mi lado con paciencia, ternura y una comprensión que trasciende las palabras. Tu amor me sostiene, me impulsa y me recuerda que en medio de las tormentas siempre hay refugio en los brazos de quien ama de verdad.

Y a mi pequeña hija Luana, el latido más puro de mi corazón. Tu existencia transforma cada día en una oportunidad para ser mejor, para luchar con más fuerza, y para encontrar sentido incluso en los momentos más difíciles. En tu sonrisa descubro la esperanza que me sostiene, y en tus abrazos, la paz que tanto necesito. Eres mi luz en la oscuridad, mi refugio en la tormenta, y el motor que impulsa cada uno de mis pasos.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | 13 |
| INTRODUCCIÓN | 14 |
| CAPITULO I: GENERALIDADES | 15 |
| 1. Planteamiento del problema | 15 |
| 1.1. El problema | 15 |
| 1.1.1. Formulación del problema | 15 |
| 1.2. Justificación e importancia del problema | 16 |
| 1.2.1. Justificación..... | 16 |
| 1.2.2. Importancia..... | 17 |
| 1.3. Alcances y limitaciones | 18 |
| 1.3.1. Alcances | 18 |
| 1.3.2. Limitaciones y restricciones de la investigación | 18 |
| 1.4. Objetivos de la investigación | 18 |
| 1.4.1. Objetivo general | 18 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 18 |
| 1.5. Hipótesis de investigación | 19 |
| 1.5.1. Hipótesis general | 19 |
| 1.6. Metodología de investigación | 19 |
| 1.6.1. Tipo de investigación | 19 |
| 1.6.2. Nivel de la investigación | 19 |
| 1.6.3. Método de la investigación | 20 |
| 1.6.4. Diseño de la investigación | 21 |
| 1.6.5. Técnicas e instrumentos de recolección de información | 21 |
| 1.7. Variables..... | 22 |

| | |
|--|-----------|
| 1.7.1. Operacionalización de las variables | 23 |
| CAPITULO II: MARCO TEÓRICO | 24 |
| 2.1. Antecedentes | 24 |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales | 24 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales | 27 |
| BASES TEÓRICAS | 29 |
| 2.1.3. Historia de la grúa | 29 |
| 2.1.4. Puente grúa | 30 |
| 2.1.4.5. Selección de sistema de izaje. | 39 |
| 2.1.4.6. Comparación de posibles opciones de sistemas de izaje. | 40 |
| 2.1.5. Normalización | 47 |
| 2.1.6. Diseño..... | 48 |
| 2.1.7. Diseño de máquinas | 50 |
| 2.1.8. Metodología del diseño | 52 |
| 2.1.9. Diseño estructural..... | 52 |
| 2.1.10. Análisis de estructuras..... | 53 |
| 2.1.11. Criterios de selección de estructuras metálicas | 53 |
| 2.1.12. Tipos de estructuras metálicas..... | 55 |
| 2.1.13. Esfuerzos en estructuras | 56 |
| 2.1.14. Uniones soldadas | 59 |
| 2.1.15. Tipos de soldadura..... | 63 |
| 2.1.16. Posiciones de soldadura..... | 64 |
| 2.1.17. Selección tipo de electrodo para soldadura a tope | 65 |
| 2.1.17.1. Geometría de la soldadura..... | 67 |
| 2.1.17.2. Soldadura manual por arco | 68 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.1.17.3. | Soldadura MIG – MAG | 69 |
| 2.1.18. | Tensiones y deformaciones | 70 |
| 2.1.19. | Vigas | 72 |
| 2.1.20. | Relación existente entre la fuerza cortante y el momento flector | 73 |
| 2.1.21. | Teoría de la flexión..... | 74 |
| 2.1.22. | Tipos de flexión..... | 75 |
| 2.1.23. | Módulo o momento resistente de la sección | 76 |
| 2.1.24. | Análisis de capacidad de cargas | 76 |
| 2.1.25. | Riesgos y factores de riesgos..... | 78 |
| 2.1.26. | Fuerza | 80 |
| 2.1.27. | Software de simulación | 80 |
| 2.1.28. | Software de simulación | 81 |
| CAPITULO III: CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO | | 83 |
| 3. | Resultados y discusión..... | 83 |
| 3.1. | Metodología de diseño | 83 |
| 3.1.1. | Metodología de diseño | 83 |
| 3.1.2. | Determinar portadores de funciones (matriz morfológica) | 85 |
| 3.1.2.1. | Concepto de solución | 87 |
| 3.1.2.2. | Evaluación técnica económica | 90 |
| 3.2. | Especificaciones de la grúa | 91 |
| 3.3. | Diseño mecánico estructural | 93 |
| 3.4. | Análisis estructural de la viga por LRFD | 100 |
| 3.5. | Análisis de elementos finitos para viga principal | 114 |
| 3.6. | Definiendo Cargas | 116 |
| 3.7. | Análisis De Diseño | 117 |

| | | |
|--|---|------------|
| 3.8. | Análisis de desplazamiento..... | 118 |
| 3.9. | Análisis modal para viga principal | 118 |
| 3.9.1. | Recomendaciones para evitar vibraciones excesivas y ruidos. | 123 |
| 3.10. | Especificaciones de tolerancias en construcción | 124 |
| 3.11. | Diseño de las vigas carrileras..... | 125 |
| 3.12. | Análisis de elementos finitos viga carrilera | 151 |
| 3.13. | Análisis modal para viga carrilera | 153 |
| 3.14. | Análisis de elementos finitos viga puente..... | 158 |
| 3.15. | Selección de elementos | 161 |
| 3.15.1. | Selección de testers..... | 161 |
| 3.15.2. | Selección de polispastos | 164 |
| 3.15.3. | Motores..... | 168 |
| 3.16. | Impacto en la eficiencia y procedimiento de mantenimiento correctivo..... | 173 |
| CAPÍTULO IV: COSTOS..... | | 176 |
| 1. | Costo de materiales..... | 176 |
| 2. | Costo de fabricación | 177 |
| 3. | Costo de Trolley y accesorios de izaje | 178 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 180 |
| CONCLUSIONES | | 181 |
| RECOMENDACIONES | | 183 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 184 |
| APÉNDICE Y ANEXOS | | 188 |
| ANEXOS I: GLOSARIO..... | | 188 |
| ANEXOS II: MATRIZ DE CONSISTENCIA | | 191 |
| ANEXO III: Clasificación del Servicio de Grúas según la Norma CMAA 70 | | 192 |

| | |
|---|------------|
| ANEXO IV: Cálculos estructurales de la viga carrilera..... | 193 |
| ANEXO V: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES..... | 194 |
| ANEXO VI: PRESUPUESTO..... | 195 |
| ANEXO VII: PLANOS..... | 195 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 <i>Partes del puente grúa.</i> | 31 |
| Figura 2 <i>Mecanismos del puente grúa.</i> | 33 |
| Figura 3 <i>Mecanismo de elevación de carga (polipasto).</i> | 33 |
| Figura 4 <i>Puente Grúa Monorriel</i> | 35 |
| Figura 5 <i>Puente Grúa Birriel</i> | 35 |
| Figura 6 <i>Puente Grúa Pórtico</i> | 36 |
| Figura 7 <i>Puente Grúa Semi-Pórtico</i> | 37 |
| Figura 8 <i>Puente de Grúa Ménsula</i> | 38 |
| Figura 9 <i>Puente Grúa con Brazo Giratorio</i> | 38 |
| Figura 10 <i>Equipos con mayor frecuencia de uso del sistema de izaje</i> | 43 |
| Figura 11 <i>Espectro de carga Liviana</i> | 45 |
| Figura 12 <i>Espectro de carga Mediana</i> | 46 |
| Figura 13 <i>Espectro de cargas Pesadas</i> | 46 |
| Figura 14 <i>Espectro de Carga muy Pesada</i> | 47 |
| Figura 15 <i>Características Iniciales para el Diseño del Proyecto</i> | 51 |
| Figura 16 <i>Grupo de Funcionamiento de Polipasto</i> | 54 |
| Figura 17 <i>Polipasto de una Grúa</i> | 55 |
| Figura 18 <i>Vigas Carrileras</i> | 56 |
| Figura 19 <i>Esfuerzo Cortante Axial</i> | 57 |
| Figura 20 <i>Esfuerzo de Flexión</i> | 58 |
| Figura 21 <i>Esfuerzos normales en vigas de materiales elástico</i> | 59 |
| Figura 22 <i>Soldadura a tope</i> | 60 |
| Figura 23 <i>Soldadura en ángulo</i> | 61 |
| Figura 24 <i>Soldadura en T</i> | 62 |
| Figura 25 <i>Tipos de juntas o uniones soldadas</i> | 63 |
| Figura 26 <i>Geometrías de piezas para soldadura</i> | 67 |
| Figura 27 <i>Soldadura manual por arco (SMAW)</i> | 68 |
| Figura 28 <i>Soldadura MIG – MAG</i> | 69 |
| Figura 29 <i>Pieza Sometida a Torsión</i> | 70 |
| Figura 30 <i>Deformación por Pandeo</i> | 71 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Figura 31 | <i>Direcciones de Signos de: a) Momento Flexionante y b) Fuerza Cortante</i> | 73 |
| Figura 32 | <i>Caja negra del sistema técnico global</i> | 85 |
| Figura 33 | <i>Matriz morfología de Zwicky para selección de alternativas</i> | 86 |
| Figura 34 | <i>Evaluación técnica económica de soluciones</i> | 90 |
| Figura 35 | <i>Bosquejo de solución 1</i> | 90 |
| Figura 36 | <i>Bosquejo de solución 2</i> | 91 |
| Figura 37 | <i>Bosquejo de solución 3</i> | 91 |
| Figura 38 | <i>Cargas consideradas para el diseño</i> | 92 |
| Figura 39 | <i>Imagen de puente grúa de viga doble</i> | 93 |
| Figura 40 | <i>Vista lateral de puente grúa</i> | 93 |
| Figura 41 | <i>Presiones de rueda de carros accionados eléctricamente con elevación auxiliar</i> . | 94 |
| Figura 42 | <i>Sección de viga encajonada principal (viga de perfil de alma llena doble)</i> | 96 |
| Figura 43 | <i>Efecto de corte en los cordones soldadas</i> | 98 |
| Figura 44 | <i>Diagrama de fuerza, 2 cargas móviles P de igual magnitud</i> | 103 |
| Figura 45 | <i>Diagrama de fuerza cortante para 2 cargas móviles P de igual magnitud</i> | 103 |
| Figura 47 | <i>Diagrama de fuerza para cargas Muertas</i> | 104 |
| Figura 48 | <i>Diagrama de fuerza cortante para cargas Muertas</i> | 105 |
| Figura 49 | <i>Diagrama de momentos para cargas muertas</i> | 105 |
| Figura 50 | <i>Diagrama de fuerzas para carga centrada del peso del carro</i> | 106 |
| Figura 51 | <i>Diagrama de momentos por carga centrada del peso del carro</i> | 106 |
| Figura 52 | <i>Tamaño de mallado de 50 mm en ANSYS para simulación de la viga principal</i> .. | 115 |
| Figura 53 | <i>Deformación Total</i> | 116 |
| Figura 54 | <i>Factor de Seguridad</i> | 116 |
| Figura 55 | <i>Esfuerzo equivalente de Von Misses</i> | 117 |
| Figura 56 | <i>Deformación elástica equivalente</i> | 117 |
| Figura 57 | <i>Desplazamiento máximo</i> | 118 |
| Figura 58 | <i>Primer modo de vibración</i> | 119 |
| Figura 59 | <i>Segundo modo de vibración</i> | 120 |
| Figura 60 | <i>Tercer modo de vibración</i> | 120 |
| Figura 61 | <i>Cuarto modo de vibración</i> | 121 |
| Figura 62 | <i>Quinto modo de vibración</i> | 121 |

| | |
|--|------|
| Figura 63 <i>Sexto modo de vibración</i> | 121 |
| Figura 64 <i>Tolerancias para el puente grúa</i> | 124 |
| Figura 65 <i>Reacciones en viga testera</i> | 127 |
| Figura 66 <i>Sección de viga testero</i> | 130 |
| Figura 67 <i>Soldadura intermitente en perfil</i> | 130 |
| Figura 68 <i>Tamaño mínimo de soldadura de filete</i> | 131 |
| Figura 69 <i>La simulación indica el rango de esfuerzos en las vigas</i> | 131 |
| Figura 70 <i>La simulación indica el rango de esfuerzos en las vigas</i> | 132 |
| Figura 71 <i>Se observa las deformaciones</i> | 133 |
| Figura 72 <i>Sección de desplazamientos máximos</i> | 133 |
| Figura 73 <i>Áreas de sección viga testera</i> | 135 |
| Figura 74 <i>Centroide de sección encima del eje neutral</i> | 136 |
| Figura 75 <i>Centroide de sección bajo eje neutral</i> | 137 |
| Figura 76 <i>Solo ala superior</i> | 137 |
| Figura 77 <i>Sección para el análisis de la sección monosimétrica</i> | 140 |
| Figura 78 <i>Centroide de sección superior e inferior</i> | 143 |
| Figura 79 <i>Eje neutral para sección equivalente</i> | 143 |
| Figura 80 <i>Diagrama de momento flector para carga de ruedas</i> | 146 |
| Figura 81 <i>Distribución de empuje lateral</i> | 149 |
| Figura 82 <i>Momentos alrededor de centro de corte</i> | 150 |
| Figura 84 <i>Factor de seguridad</i> | 152 |
| Figura 85 <i>Esfuerzo equivalente Von Misses</i> | 152 |
| Figura 86 <i>Deformación elástica equivalente</i> | 152x |
| Figura 87 <i>Primer modo de vibración</i> | 154 |
| Figura 88 <i>Segundo modo de vibración</i> | 154 |
| Figura 89 <i>Tercer modo de vibración</i> | 155 |
| Figura 90 <i>Cuarto modo de vibración</i> | 155 |
| Figura 91 <i>Quinto modo de vibración</i> | 156 |
| Figura 92 <i>Sexto modo de vibración</i> | 156 |
| Figura 93 <i>Deformación Total</i> | 158 |
| Figura 94 <i>Factor de Seguridad</i> | 158 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Figura 95 | <i>Esfuerzo equivalente de Von Misses</i> | 159 |
| Figura 96 | <i>Deformación elástica equivalente</i> | 159 |
| Figura 97 | <i>Diseño de grúa final</i> | 160 |
| Figura 98 | <i>Diámetro de rueda y distancia entre ruedas para testers</i> | 161 |
| Figura 99 | <i>Testeros R&M Materials Handling</i> | 162 |
| Figura 100 | <i>Especificaciones de bloques de rueda R&M</i> | 163 |
| Figura 101 | <i>Cargas admisibles en bloques de ruedas</i> | 164 |
| Figura 102 | <i>Características de polipastos SX6</i> | 166 |
| Figura 103 | <i>Carro para puentes grúa birriel tipo SX6061</i> | 167 |
| Figura 104 | <i>Factor de fricción</i> | 168 |
| Figura 105 | <i>Tasa de aceleración para desplazamiento</i> | 169 |
| Figura 106 | <i>Tasa de aceleración para desplazamiento</i> | 170 |
| Figura 107 | <i>Motores tipo ABB tipo M2QA de 6 polos</i> | 171 |
| Figura 108 | <i>Tabla de reductores Motovario</i> | 172 |
| Figura 109 | <i>Ciclo de trabajo</i> | 192 |
| Figura 110 | <i>Perfiles americanos de alas paralelas</i> | 193 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| <i>Tabla 1 Operacionalización de variable</i> | 23 |
| <i>Tabla 2 Puente Grúa con Brazo Giratorio</i> | 39 |
| <i>Tabla 3 Puente grúa con Brazo Giratorio</i> | 40 |
| <i>Tabla 4 Matriz morfológica ponderada de selección de sistema de izaje</i> | 41 |
| <i>Tabla 5 Clasificación de mecanismos</i> | 49 |
| <i>Tabla 6 Clasificación de la estructura</i> | 50 |
| <i>Tabla 7 Soldadura a tope</i> | 66 |
| <i>Tabla 8 Soldadura a solape y en T</i> | 66 |
| <i>Tabla 9 Materiales y propiedades del acero</i> | 81 |
| <i>Tabla 10 Matriz de requerimientos de diseño</i> | 83 |
| <i>Tabla 11 Evaluación de proyectos preliminares según su valor técnico</i> | 88 |
| <i>Tabla 12 Evaluación de proyectos preliminares según su valor técnico</i> | 89 |
| <i>Tabla 13 Relaciones ancho/espesor para elementos comprimidos rigidizados</i> | 102 |
| <i>Tabla 14 Coeficiente de corrección</i> | 111 |
| <i>Tabla 15 Coeficiente de choque</i> | 112 |
| <i>Tabla 16 Esfuerzos Admisibles para elementos de estructuras metálicas</i> | 113 |
| <i>Tabla 17 Clasificación de las máquinas de elevación</i> | 114 |
| <i>Tabla 18 Modos de vibración viga principal</i> | 119 |
| <i>Tabla 19 Criterios de diseño</i> | 125 |
| <i>Tabla 20 Componentes del Sistema de Izaje</i> | 126 |
| <i>Tabla 21 Componentes del Sistema de Izaje</i> | 126 |
| <i>Tabla 22 Materiales y valores</i> | 138 |
| <i>Tabla 23 Materiales y valores</i> | 141 |
| <i>Tabla 24 Modos de vibración viga carrilera</i> | 154 |
| <i>Tabla 25 Tabla de polipastos R&M</i> | 165 |
| <i>Tabla 26 Velocidades de operación recomendadas en pies por minuto para grúas controladas desde piso</i> | 174 |
| <i>Tabla 27 Comparación de costo de izaje por componente con y sin uso del puente grúa</i> | 175 |
| <i>Tabla 28 Costo de materiales</i> | 176 |

| | |
|--|------------|
| <i>Tabla 29 Costo de fabricación.....</i> | <i>177</i> |
| <i>Tabla 30 Costo de trolley y accesorios de izaje</i> | <i>178</i> |
| <i>Tabla 32 Cronograma de actividades</i> | <i>194</i> |
| <i>Tabla 33 Presupuesto</i> | <i>195</i> |

RESUMEN

En el taller de desarmado y armado de máquinas de la empresa FERREYROS que tiene su sucursal en la ciudad de Cusco se plantea la realización del diseño de un equipo para mejorar el proceso de trabajo de izado, instalación y transporte de máquinas y sus partes. Se plantea la instalación de un puente grúa de dos vigas cuya capacidad debe ser de 20 Toneladas para cumplir con los requerimientos del taller. Se seleccionan los accesorios y equipo de izado y se diseña la viga del puente grúa junto a las vigas testeras de acuerdo con las normas CMAA 70 y CISC. La viga principal diseñada es simulada numéricamente en el programa ANSYS en el que se obtienen los modos principales de vibración y se analiza el impacto de cargas dinámicas en la estructura. El análisis comparativo de tiempos demuestra una reducción de hasta 80% del tiempo de transporte de partes y máquinas para el armado y desarmado en el taller. Por último, se plantea los costos que incluyen la fabricación de las vigas testeras y principales, así como la adquisición de equipos de izado y traslación de la grúa.

Palabras clave: diseño, planos, taller, puente grúa,

INTRODUCCIÓN

En el creciente panorama actual industrial el movimiento y manejo eficiente de cargas pesada y materiales es vital. Entre los diversos sistemas de elevación y manipulación utilizados en industrias de manufactura, construcción y logística, los puentes grúa son herramientas indispensables para realizar tareas demandantes con precisión y rapidez. Estas versátiles máquinas ofrecen capacidades excepcionales en capacidad de carga, flexibilidad y adaptabilidad a diferentes ambientes de trabajo.

El diseño e ingeniería de un puente grúa cumplen un papel fundamental para determinar el rendimiento, seguridad y efectividad para cumplir los requerimientos de la aplicación en una industria en particular. El desarrollo de principios de diseño óptimos que mejoren la eficiencia operativa, la confiabilidad y la seguridad ha llevado a avances significativos en la tecnología de puentes grúa.

Esta investigación apunta a explorar la integración de la simulación numérica a través del método de Elementos Finitos en el diseño del puente grúa. Junto a estas simulaciones es posible mejorar la precisión, eficiencia y seguridad en el diseño del puente grúa. Tecnologías como el análisis por elementos finitos no solo agilizan los procesos industriales, sino que también contribuyen a una reducción del error humano y una mejora en la productividad general.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1. Planteamiento del problema

1.1. El problema

Se ha observado en los últimos servicios, en el proceso de realizar el desmontaje, mantenimiento y armado de las máquinas, se realizan muchas maniobras de forma inapropiada, ya que estas generan condiciones de peligro hacia el trabajador y a la máquina que se le está realizando el proceso de mantenimiento.

Otra condición de riesgo que se está analizando en la presente investigación, es la utilización de puentes grúas móviles, ya que estos al ser aplicados pueden generar problemas y accidentes, debido a que estos deben estar fijados en estructuras que les permita recorrer distancias medianas y al momento de alzar el peso a trabajar, pueden generar daños tanto a los trabajadores como a la estructura donde se está realizando el proceso productivo.

1.1.1. Formulación del problema

Durante el proceso de montaje, desmontaje y mantenimiento se realizan maniobras de izajes de componentes con equipos adicionales generando un gasto mayor de horas hombre para la ejecución de los servicios, así mismo los trabajos no son ergonómicos por realizarse con equipos no diseñados para estos trabajos en específico pero que pueden cumplir con dicha función.

Según lo descrito en la formulación del problema:

1.1.1.1. Problema general

¿Qué equipo se puede implementar para mejorar la ejecución de los servicios de mantenimiento correctivo el taller de máquinas de la sucursal del Cusco Ferreyros?

1.1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cómo realizar el diseño de un puente grúa de 20 toneladas de capacidad para el taller de máquinas de la sucursal del Cusco Ferreyros?
- ¿Con el uso del software de análisis mediante elementos finitos podremos evidenciar la factibilidad del puente grúa de 20 toneladas de capacidad?
- ¿Cómo mejorar la eficiencia y procedimiento de los servicios de mantenimiento correctivo?
- ¿Cómo estimar la inversión necesaria y calcular la tasa de retorno (ROI) de la implementación del puente grúa?

1.2. Justificación e importancia del problema

1.2.1. Justificación

La presente investigación tiene como justificación la realización del diseño de un equipo para mejorar el proceso de trabajo en el taller de desarmado y armado de máquinas de la empresa FERREYROS que tiene su sucursal en la ciudad de Cusco, ya que se ha visto que en el proceso actual de reparaciones en el taller, se han encontrado falencias en términos de equipamiento y seguridad, ya que tanto los trabajadores como

el equipo usado para los servicios de montaje y desmontaje corren riesgo de tener accidentes, como caídas y daños.

Tanto para los trabajadores por caídas de objetos contundentes, lesiones por cortes, etc. Y de forma similar las máquinas se pueden dañar y tener fracturas, quedar inoperativas y/o deficientes.

Además, que este diseño deberá satisfacer las recomendaciones, parámetros y procedimientos de instalación en función técnica de la empresa Ferreyros.

En consideración, se estará diseñando el puente grúa para que pueda soportar una carga de 20 Toneladas, ya que esta capacidad es un rango estimado de peso que se estará considerando como máximo en función de las máquinas y equipos que se pueden trabajar en el taller de desarmado, lo cual mejorara el proceso y eficiencia de los trabajos en el taller de máquinas, así como la seguridad ocupacional de los trabajadores para así evitar daños colaterales y de otro tipo en el proceso del desarmado.

1.2.2. Importancia

La empresa FERREYROS S.A. tiene como objetivo velar por la integridad de su personal tanto profesional como técnico dentro de sus instalaciones por lo cual la implementación de este puente grúa de 20 toneladas en el taller de desarmado reduciría el sobre esfuerzo humano durante la ejecución de los servicios correctivos.

FERREYROS S.A. en post de la satisfacción y cuidado de los bienes de sus clientes reduciría el riesgo de accidentes por el uso de equipo no diseñado para los trabajos de mantenimiento correctivo.

1.3. Alcances y limitaciones

1.3.1. Alcances

El alcance de la presente investigación radica en la diseño y simulación del puente grúa de 20 toneladas, el cual reemplazaría la aplicación de grúas móviles o grúas de pórtico, ya que estos últimos presentan mayor riesgo en el proceso de trabajo, además que su diseño y proceso de mantenimiento será de forma más eficiente y cumpliendo con los reglamentos actuales de seguridad en el trabajo, que se tienen en el país.

1.3.2. Limitaciones y restricciones de la investigación

- No se realiza el diseño del control electrónico del puente grúa para el funcionamiento y manipulación correcta del puente grúa.
- No se realiza el diseño de cimentación y/o soportes del puente grúa.
- No se realiza el análisis de costos del puente grúa.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un puente grúa de 20 toneladas de capacidad para el taller de máquinas de la sucursal del Cusco FERREYROS.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar el cálculo estructural y dimensionamiento de los elementos de izaje.
- Simular mediante el método de elementos finitos el comportamiento de un puente grúa de 20 toneladas de capacidad.

- Mejorar la eficiencia y procedimiento de los servicios de mantenimiento correctivo, demostrando una reducción en los tiempos de operación.
- Estimación de la inversión y cálculo de la tasa de retorno (ROI) de la implementación.

1.5. Hipótesis de investigación

1.5.1. Hipótesis general

Con el diseño del puente grúa de 20 toneladas mejorara la eficiencia de los servicios de mantenimiento y montajes de componentes en el taller de máquinas de la sucursal del Cusco Ferreyros.

1.6. Metodología de investigación

1.6.1. Tipo de investigación

Según Borja (2016), la investigación puede clasificarse en función del objetivo que persigue. Una de estas clasificaciones es la investigación tecnológica, cuyo objetivo es resolver problemas prácticos a través del diseño o mejora de productos aplicables en contextos reales. Bajo esta perspectiva, la presente investigación se enmarca dentro de este tipo, ya que propone el diseño de un puente grúa para ser implementado en el taller de desmontaje de la empresa FERREYROS.

Su aplicación no es aislada, sino que tiene un impacto directo en el funcionamiento del taller, ya que influye en el rendimiento de los operarios, la eficiencia de los procesos, la seguridad en las operaciones y la gestión de cargas de hasta 20 toneladas. (Borja Suarez, 2016)

1.6.2. Nivel de la investigación

De acuerdo con Hernández (2010), las investigaciones pueden clasificarse según el nivel de evaluación utilizado. En este caso, se ha optado por un enfoque cuantitativo, ya que permite el análisis de variables específicas a través de la evaluación de sus parámetros, lo cual influye directamente en el diseño y en los resultados. Por tanto, esta investigación se enmarca en el nivel cuantitativo, ya que el diseño del puente grúa será evaluado y ajustado en función de variables como la simulación, los requerimientos estructurales y, especialmente, la carga de trabajo. Esto permitirá obtener un diseño preciso y adaptado a las condiciones reales del entorno donde se implantará. (Hernández, 2010)

1.6.3. Método de la investigación

La metodología aplicada en esta investigación, según Borja (2016), corresponde al tipo no experimental, específicamente dentro de la subclase explicativa. Este enfoque se centra en analizar las causas que originan el fenómeno de estudio y cómo estas influyen en el desarrollo y evaluación del proyecto. En este caso, busca comprender la relación entre las variables involucradas, identificando cómo una afecta a la otra en el contexto del diseño y aplicación del puente grúa. (Borja Suarez, 2016)

Por tanto, esta investigación se enmarca dentro de este tipo metodológico, ya que se centra en el diseño de un nuevo puente grúa con el objetivo de mejorar la calidad del trabajo en el taller. Esta necesidad es la causa que da origen al desarrollo del estudio, y permitirá analizar la relación entre las técnicas de diseño utilizadas y la simulación del modelo propuesto. (Borja Suarez, 2016)

1.6.4. Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación, según lo analizado por Borja (2016) y Hernández (2010), se caracteriza por ser del tipo no experimental, aplicado cuantitativo-descriptivo, ya que se va a realizar el diseño de un equipo, donde no se realizará ningún proceso aleatorio, sino un desarrollo metodológico y directo aplicando los principios del diseño y el modelado aplicando las restricciones de las normas de diseño para izaje. (Hernández, 2010)

1.6.5. Técnicas e instrumentos de recolección de información

Las técnicas de recolección que se utilizaron en la presente investigación serán los siguientes:

- Técnica documental:

Se analiza según la investigación de manuales de aplicación de los puentes grúas.

Los materiales de selección y utilización de los componentes para su construcción.

- Base de datos de las dimensiones del taller
 - Planos de la ubicación
 - Manuales de diseño
 - Tablas de datos para analizar los valores de factor de seguridad
- Técnica de observación:

Se analizará según el análisis de modelos previos de sistemas de puente grúas, como estos son aplicados y como son evaluados.

1.7. Variables

VARIABLE DEPENDIENTE

- Deformación
- Esfuerzos en elementos del sistema.
- Respuesta dinámica del sistema.

VARIABLES INDEPENDIENTES

- Propiedades de los materiales.
- Parámetros del diseño de máquinas: Capacidad de carga, altura de elevación, velocidad de elevación y desplazamiento, longitud del vano (distancia entre soportes), tipo de polipasto, sistema de rieles y ruedas.
- Área para el diseño del puente grúa.

1.7.1. Operacionalización de las variables

Tabla 1

Operacionalización de variable

| Variable | Dimensión |
|--|---|
| Independiente | |
| Parámetros del diseño y simulación de máquinas | Restricciones de aplicación |
| Propiedades de los materiales | Esfuerzos de fluencia |
| Resistencia | Esfuerzos máximos reales |
| Tensión | Esfuerzos de diseño |
| Esfuerzos máximos | Parámetros de simulación |
| Área para el diseño del puente | Características del área |
| Material recomendado para el puente grúa | Características del material a utilizar |
| | Potencia de equipos |
| Dependiente | |
| | Parámetros de funcionamiento |
| El puente grúa | Dimensiones |

Nota: Elaboración propia

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Según (Ayala Herrera & Cabrera Dávalos, 2018), se desarrolló una investigación enfocada en la creación de un programa en Java para el diseño de la viga principal y selección de elementos mecánicos en puentes grúa con capacidades de hasta 50 toneladas y luces entre 3 y 30 metros, utilizando vigas tipo cajón. El objetivo fue generar una herramienta que facilite el diseño estructural de estos sistemas, tomando como base los criterios técnicos de la Crane Manufacturers Association of America (CMAA) aplicables tanto a puentes birriel como monorriel. El estudio se dividió en tres etapas: primero, se revisaron los métodos de cálculo de propiedades geométricas de secciones armadas y aspectos clave como estabilidad, esfuerzos, torsión y resistencia. En segundo lugar, se elaboró un diseño ilustrativo de una viga principal para un puente grúa birriel, usando cargas individuales para obtener resultados más representativos de la realidad. Finalmente, toda esta información fue entregada a un programador para su implementación dentro del entorno del software propuesto., en este caso fue JAVA donde complementó con una base de datos con el soporte de MySQL Workbench. Esta investigación, da como resultado que la simulación comparando con los resultados obtenidos en SolidWorks y SAP2000 comprobándose que se obtienen resultados confiables por su bajo porcentaje de error. También, se resalta que los puentes grúas cuando se evalúan cargar más de 20 Tn deberán ser del modelo tipo birriel, para este punto también se ha evaluado el diseño de los

componentes, tales como los diámetros de las ruedas de los testers, considerando que la velocidad y el peso a soportar del puente grúa sobrepasa las 32 toneladas, estas deben ser de una dimensión de 500 milímetros.

Arcos et al. (2020): Diseño, Construcción y montaje de puente grúa tipo pórtico automatizado. Esta investigación tiene como finalidad dar directrices para la construcción, montaje y automatización de un puente grúa. La metodología utilizada fue experimental donde se seleccionó los componentes para la automatización de la grúa y la selección del diseño más adecuado para implementarlo. La investigación se desarrolló en 3 partes: En primer lugar, se detalla el problema y sus posibles soluciones, identificándose como la más óptima el diseño de un puente grúa tipo pórtico. En segundo lugar, se realiza el diseño matemático que incluye los cálculos y simulaciones de cada componente que se utilizará en la programación final. Finalmente, se realiza un análisis de resultados y sus conclusiones. Adicionalmente, se elabora un portafolio guía para la operación de la grúa. También, resalta sobre el factor de seguridad, ya que dentro de sus análisis en el programa AutoCAD Inventor, se tuvo resultados aceptables con los cálculos teóricos. Sobre los montos invertidos, tras la comparativa, se determinó que la inversión realizada para la construcción del puente grúa tipo monorraíl es baja en comparación con lo que se invertiría en utilidades y seguridad dentro del laboratorio y sus operarios. Esta investigación nos deja una recomendación sobre la importancia de añadir almas en las esquinas del pórtico en la base de la grúa para que de esta manera sea más estable y no falle la soldadura por los movimientos pendulares de la carga una vez sea levantada con la grúa.

También, las recomendaciones de la Norma ASME B30.11-2010 sobre lineamientos de seguridad para tipos de grúas.

Fernández (2021) desarrolló una investigación orientada al diseño de un puente grúa aislado con capacidad de carga de 10 toneladas, destinado a una nave industrial ya existente. El objetivo principal fue responder a las necesidades productivas específicas de la empresa analizada. Para lograrlo, se optó por un enfoque metodológico experimental, que abarcó desde la selección de los elementos mecánicos hasta los cálculos estructurales, diseño de cimentación, uniones, elaboración de planos, esquemas eléctricos, mediciones y el presupuesto general. Como herramientas de apoyo, se utilizaron diversos softwares especializados como Autodesk Robot Structural Analysis, Dlubal Craneway, Microsoft Excel y Autodesk Inventor Professional. Tras evaluar varias alternativas, se concluyó que la solución más adecuada para las condiciones del cliente y la empresa era un puente grúa monorraíl, con estructura independiente del resto de la nave y un último tramo de viga carril en voladizo. Entre los aspectos más relevantes durante el proceso de diseño destacan la elección de componentes mecánicos, el dimensionamiento eficiente de perfiles, las uniones estructurales y el diseño de la cimentación. Este trabajo ofrece una visión clara del proceso de diseño de una grúa puente, validando perfiles estructurales mediante el software Craneway y asegurando su cumplimiento con las exigencias del sistema productivo, considerando una longitud total de viga de 18,300 mm dividida en cuatro tramos para su implementación. (Fernández Bueno, 2021)

2.1.2. Antecedentes nacionales

Carlos (2022) desarrolló un proyecto de investigación orientado a diseñar una grúa pórtico de 10 toneladas de capacidad para facilitar la carga y descarga de materiales y equipos en la empresa Fundición Ingenieros SAC, ubicada en Arequipa. El estudio buscaba responder a tres necesidades clave de la empresa: facilidad de uso, disponibilidad y coste asequible. Para ello, se aplicó la metodología VDI 2221-2225, que proporciona directrices para desarrollar soluciones de diseño eficientes basadas en requisitos específicos. Como parte del proceso, se elaboró una lista de requisitos que incluía criterios como la estructura, el transporte, la vida útil, el plazo de entrega, la seguridad, la ergonomía, el impacto ambiental y la normativa legal. Además, se utilizó una matriz morfológica para evaluar las funciones básicas del sistema, como elevar, soportar, desplazar, estabilizar y mover. Tras una evaluación técnica y económica, se concluyó que la alternativa más adecuada era la solución 02, que contempla una capacidad de 10 toneladas, con un motorreductor de ejes paralelos para la elevación y un motorreductor de tornillo sin fin para el desplazamiento del carro. Esta investigación es valiosa porque demuestra la aplicación práctica de la metodología VDI 2221-2225, centrada en resolver necesidades reales mediante soluciones viables. También se utilizó el software SolidWorks para validar dimensionalmente el diseño y confirmar la idoneidad de los componentes seleccionados. (*Carlos Merma, 2022*)

Flores (2020) llevó a cabo una investigación enfocada en el diseño de un pórtico estructural para un puente grúa con capacidad de 16 toneladas, destinado al movimiento de materiales y equipos en la empresa Fixer S.A.C., ubicada en Lima. El objetivo fue proponer un diseño que permitiera mejorar la productividad del servicio

ofrecido. El enfoque metodológico fue de tipo básico, ya que se recurrió a información previa para elaborar la propuesta estructural. Como base normativa se utilizó la metodología LRFD (Load and Resistance Factor Design), y el apoyo de herramientas como Autodesk Robot Structural Analysis, Autodesk Advance Steel y Mathcad Prime 4.0 resultó clave para el desarrollo de los cálculos y la elaboración de planos. El trabajo se dividió en tres etapas: primero, el cálculo y selección del perfil adecuado para la viga, considerando todos los parámetros que influyen en su comportamiento; luego, se revisaron los cálculos para la columna, seleccionando el perfil con base en sus propiedades mecánicas y en criterios de falla aplicables a las vigas. Finalmente, se eligieron los perfiles más adecuados en función de sus propiedades estructurales, y en los anexos se presentaron las piezas diseñadas en Advance Steel. Esta investigación resulta relevante para el presente trabajo, ya que demuestra la aplicación práctica de la metodología LRFD y el uso confiable de software especializado de Autodesk en el diseño estructural de un pórtico para puente grúa. (Flores Cayllahua, 2020)

Ureta (2021) desarrolló el diseño e implementación de un sistema automatizado para un puente grúa de 3 toneladas en la empresa Representaciones Martin S.A.C., en Lima. El objetivo fue mejorar la eficiencia en el transporte de piezas de melamina. Se empleó la metodología PMBOK, desglosando la estructura del proyecto mediante la EDT, que incluyó planificación, diseño de planos, prototipos, selección de equipos y reuniones con las partes interesadas. Además, se gestionaron aspectos como calidad, comunicación, cronograma y riesgos. Los resultados mostraron que el sistema permite trasladar 480 piezas en una jornada de 10 horas, superando el rendimiento del método manual con estocas. Se utilizó el software TIA Portal para el

diseño del sistema, destacando su contribución en la simulación de cargas y la automatización del puente grúa. (Ureta Cirineo, 2021)

BASES TEÓRICAS

2.1.3. Historia de la grúa

2.1.3.1. Origen del término grúa

La palabra viene de Crane (inglés) = Grulla y se tradujo al español como Grúa. Esta teoría se refiere a los movimientos de cómo un pájaro lleva objetos con su pico de un lugar a otro. El ave que en España se llama grullas (del latín grus), recibe de los Pirineos el nombre de grue, muchas veces es rechazada, pero está muy relacionada con otras tres palabras españolas. La primera de las cuales es grulla, que se ha utilizado desde los años 1500, para asignar una máquina diseñada para levantar cargas pesadas, porque se asemeja a la imagen de una grúa de cuello largo y pico alargado. También es muy reconocido en español para nuestros vecinos europeos, que tienen una sola palabra para describir ambos conceptos. Definitivamente es una onomatopeya, como la grulla. (Gruas Puente s.a.c, 2016)

2.1.3.2. Idea del puente grúa

La idea de puente grúa radica en un dispositivo de elevación de funcionamiento discontinuo que consta de varios elementos y mecanismos diseñados para distribuir una carga específica de toneladas sobre un área de trabajo.

Una grúa puede verse como una evolución de varios elementos combinados en un dispositivo que conocemos hoy. Este suele ser un dispositivo formado por poleas dentadas, contrapesos, mecanismos simples y otros elementos cuyo único fin es producir una ventaja mecánica y controlar grandes cargas. El uso está limitado al lugar de instalación. (Huaroc, 2018)

2.1.4. Puente grúa

El puente grúa es un equipo mecánico utilizado para elevar y trasladar cargas como herramientas, equipos o lotes entre distintas áreas de trabajo, de forma segura y eficiente. Su estructura puede fabricarse con diversos tipos de acero aleado, seleccionados según las propiedades mecánicas necesarias

Son los componentes físicos que conforman un puente grúa. La estructura básica de los puentes grúas, suele ser frecuentemente genérica para todos los tipos de puentes grúas. A menudo se caracteriza por la concurrencia de casos iguales y similares en su fase y funcionamiento. (Huaroc, 2018)

2.1.4.1. Partes de un puente grúa

a) Polipasto. Sistema que permite el desplazamiento vertical mediante poleas, usando cadenas o cables de acero según la tarea.

b) Viga principal. Es una pieza para la distribución de carga, su uso es aguantar la carga viva en el transcurso de la manipulación.

c) Viga testera. Es una pieza activa que va adosada a la viga principal, su función es soportar la carga viva y muerta de la principal.

d) Chapas de conexión. Son piezas de metal cuya misión es robustecer y templar la viga testera, ya que no tiene un extremo sólido largo.

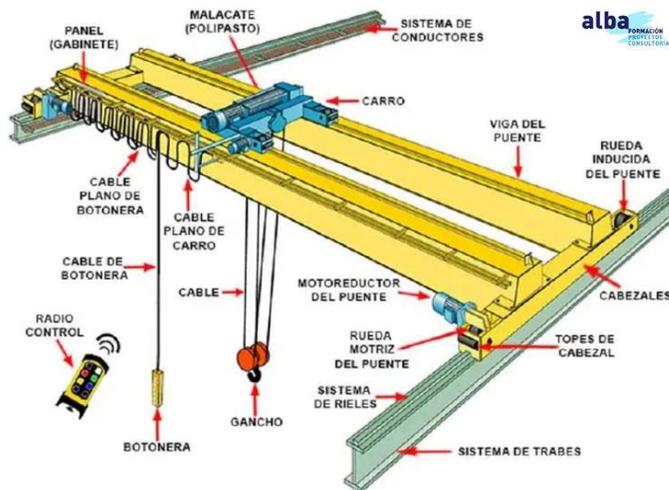
e) Viga carrilera. Es un elemento quieto de una estructura, cuya función es aguantar y orientar cargas vivas y muertas a lo largo de sus rieles y a su mismo nivel.

f) Fuente de alimentación eléctrica. Es el sistema de poder, el cual se transforma en energía mecánica por medio de un sistema formado con el objetivo de izaje.

g) Mando de control. Es la zona por donde se integran las señales a todo el sistema para la acción, cuidado y funcionamiento del puente grúa. (Huaroc, 2018)

Figura 1

Partes puente grúa.



Nota: Adaptado de “Diseño de un puente grúa para el winche de servicios en Mina Yauricocha”, (p. 22.), por Huaroc, 2018, Universidad Nacional del Centro del Perú.

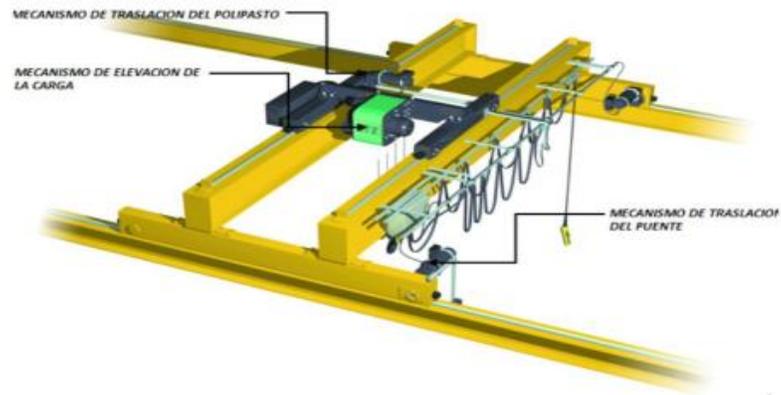
2.1.4.2. Mecanismos

Los mecanismos son los elementos que permiten la operación y desempeño de los puentes grúas mencionados anteriormente. (Huaroc, 2018)

- a) **Mecanismos de traslación del puente.** Es el mecanismo sobre rieles en la viga carrilera, que se encarga que todo el puente grúa se desplace horizontalmente con dos motores síncronos para evitar el movimiento de la grúa.
- b) **Mecanismo de elevación de la carga.** Tiene como misión conectar canales que permitan el movimiento vertical de la carga viva. El mecanismo es muy robusto y requiere todos los equipos de seguridad para evitar accidentes imprevistos. Existen varios métodos de elevación, como el polipasto, carro polipasto y los camiones abiertos. (Huaroc, 2018)
- c) **Mecanismo de traslación del polipasto.** Es un mecanismo que permite el movimiento horizontal y el transporte de carga del polipasto con ausencia o presencia de carga. (Huaroc, 2018)

Figura 2

Mecanismos puente grúa para winche.



Nota: Adaptado de “*Diseño de un puente grúa para el winche de servicios en Mina Yauricocha*”, (p. 24.), por Huaroc, 2018, Universidad Nacional del Centro del Perú.

Figura 3

Mecanismo para izaje de carga (polipasto).



Nota: Adaptado de “*Diseño de un puente grúa para el winche de servicios en Mina Yauricocha*”, (p. 25.), por Huaroc, 2018, Universidad Nacional del Centro del Perú.

2.1.4.3. Principio de funcionamiento

El principio de fundamento del puente grúa radica en el uso de este, en las industrias de diferentes tipos de objetivos, los cuales cuentan con la presencia de equipos, maquinas, materiales, productos de gran tonelaje, etc. Esta cualidad lo hace casi necesario para su uso, con el fin de mejorar las labores de montaje y mantenimiento. (Huaroc, 2018)

2.1.4.4. Tipos de puentes grúas

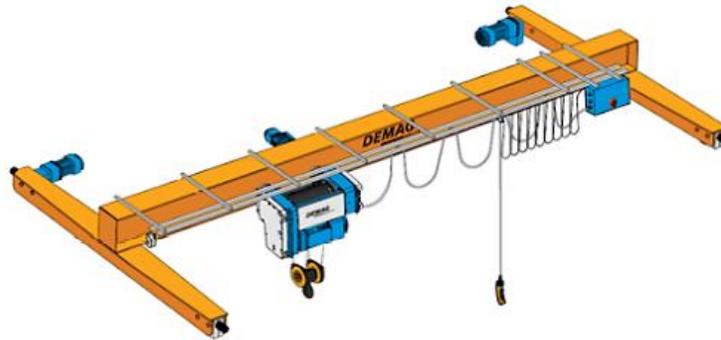
La clasificación de los diferentes tipos de puente grúa se basa en la disposición y número de vigas de desplazamiento. Otro parámetro a considerar son las dimensiones de compactación.

Puente Grúa tipo monorriel

Esta clasificación de grúa posee integrada en su diseño una viga destinada para el movimiento del carro. También poseen estructuras delgadas y poseen el doble de velocidad en sus movimientos de traslación y elevación de carga.

Figura 4

Puente Grúa Monorriel



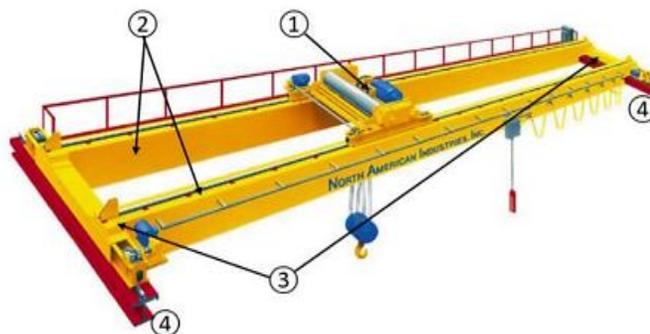
Nota: Adaptado de *Puente Grúa Monorriel*, por DEMAG, 2022

Puente Grúa tipo Birriel

Este tipo de grúa tiene como principal característica la presencia de dos vigas. El polipasto se encuentra por encima de las dos vigas generando una mayor altura idónea para cargas altas.

Figura 5

Puente Grúa Birriel



Nota: Adaptado de *Maquinaria*, por GDC Elevación y Componentes S.L., 2022

Puente Grúa del tipo Pórtico

Presenta su principal viga conectada a dos soportes metálicos, pero las rodaduras se encuentran en el suelo. Esto facilita el movimiento a lo largo del área de trabajo. (Rodríguez Planas, 2000)

Es una grúa cuyo componente está sostenido por un camino de rodaduras de soporte. Se diferencian de los puentes grúa, en que los raíles están a un nivel horizontal más bajo del vehículo (mayormente descansados en el piso). (Rodríguez Planas, 2000)

Figura 6

Puente Grúa Pórtico



Nota: Adaptado de *Grúa Pórtico Móvil*, por etw cloud, 2022-

Puente Grúa del tipo Semi-Pórtico

Este tipo de grúa se caracteriza porque tiene uno de los rieles de desplazamiento empotrado a un soporte fijo y el otro a uno móvil. El soporte móvil se encuentra a la misma altura de la carga.

El elemento portador de la grúa se apoya directamente sobre rieles por un lado y con medio de patas de soporte en el otro lado. Al contraste con las grúas puentes y las grúas de pórtico, la grúa semi – pórtico cuenta con raíles en movimiento que están en el mismo plano que el carro y otro raíl en movimiento que está en otro plano más bajo que el carro (siempre con soporte en el suelo). (Rodríguez, 2010)

Figura 7

Puente Grúa Semi-Pórtico



Nota: Adaptado de *Puente Grúa Semi-Pórtico*, por ABUS SISTEMAS DE GRÚAS, 2022, fuente (<https://www.abusgruas.es/gruas/puentes-grua/semiportico>)

Puente de Grúa del tipo Ménsula

Se encuentra ubicada en un lugar fijo en base a un muro. Se desplaza por un riel y se diferencia del tipo Semi-Pórtico en que el la Grúa Ménsula se ubica íntegramente en el aire.

Figura 8

Puente de Grúa Ménsula



Nota: Adaptado de *Puente de Grúa Consola*, por Sistema de grúas ABUS, 2022, fuente (<https://www.abusgruas.es/gruas/puentes-grua/grua-consola>)

Sistema de elevación de puente grúa de Brazo Giratorio

Finalmente, se tiene el puente de grúa con brazo giratorio diseñado especialmente para espacios reducidos, debido a que presenta su viga principal fija y el brazo giratorio le permite cubrir toda un área circunferencial de trabajo.

Figura 9

Puente Grúa con Brazo Giratorio



Nota: Adaptado de *Grúas de brazo*, por KONEGRANES, 2022, fuente (<https://www.konecranes.com/es-pe/equipo/sistemas-de-elevacion-para-estaciones-de-trabajo/gruas-de-brazo>)

2.1.4.5. Selección de sistema de izaje.

Para elegir el sistema de izaje más adecuado, se analizan las condiciones del entorno y las necesidades del proyecto. Se comparan un puente grúa y una grúa pórtico considerando factores como capacidad, facilidad de uso, espacio, mantenimiento, seguridad y costo, con sus respectivos pesos en la siguiente tabla.

Tabla 2

Puente Grúa con Brazo Giratorio

| Criterio | Ponderación (%) | Justificación |
|---------------------------------|------------------------|--|
| Capacidad de carga | 20% | Se prioriza este criterio porque los equipos a trasladar pesan entre 18 y 20 toneladas, lo que exige un sistema robusto y seguro. Es el más crítico. |
| Dimensiones del entorno | 20% | El área disponible presenta restricciones en espacio lateral y altura, lo que justifica su alta ponderación en la selección del sistema. |
| Portabilidad / Movilidad | 15% | Aunque no es el más determinante, la posibilidad de mover o reutilizar el sistema es relevante a mediano y largo plazo. |
| Facilidad de operación | 10% | La eficiencia, seguridad de operarios y precisión en el uso diario impactan directamente en la productividad del proyecto. |
| Facilidad de montaje | 10% | Se valora la simplicidad y rapidez en el montaje inicial, ya que influye en los tiempos y elementos necesarios para la implementación. |
| Mantenimiento | 10% | Un sistema con menor necesidad de mantenimiento o con acceso fácil a sus componentes reduce costos y tiempos fuera de servicio. |
| Costo inicial | 10% | Es importante, pero se evalúa en equilibrio con los beneficios funcionales del sistema. No es el factor decisivo. |
| Seguridad estructural | 5% | Criterio de verificación indispensable, aunque con menor ponderación. Ambos sistemas deben cumplir estándares mínimos de seguridad. |

Nota: Se asignan los pesos ponderados de cada criterio con su respectiva justificación.

2.1.4.6. Comparación de posibles opciones de sistemas de izaje.

Teniendo como opciones optar por un puente grúa o grúa tipo pórtico será necesario realizar una matriz morfología comparativo para ver la selección del sistema de izaje más adecuadas para nuestras condiciones.

Tabla 3

Puente grúa con Brazo Giratorio

| Criterio | Peso | Puente Grúa | Grúa Tipo Pórtico |
|------------------------------------|-------------|----------------------------------|--|
| 1. Capacidad de carga | 20% | Alta capacidad, hasta 30 t o más | Alta, pero menos estable en cargas móviles |
| 2. Portabilidad / Movilidad | 15% | Fija, difícil de reubicar | Reubicable, pero con logística compleja |
| 3. Dimensiones del entorno | 20% | Adaptable a espacios cerrados | Requiere espacio libre amplio |
| 4. Facilidad de operación | 10% | Operación precisa y automatizada | Requiere mayor supervisión |
| 5. Facilidad de montaje | 10% | Instalación estructural fija | Montaje lento y requiere nivelación |
| 6. Mantenimiento | 10% | Accesible y estandarizado | Requiere desmontaje parcial |
| 7. Costo inicial | 10% | Medio a alto | Medio |
| 8. Seguridad estructural | 5% | Muy estable | Estable, pero depende del terreno |

Nota: Características principales de cada posible opción de sistema de izaje.

Conociendo las características técnicas de cada sistema de izaje, es necesario aplicar una ponderación cuantitativa a cada criterio, a fin de obtener una valoración objetiva que facilite la toma de decisiones.

Esta ponderación permite comparar numéricamente el desempeño del puente grúa y la grúa tipo pórtico, identificando cuál de las dos alternativas se adecúa mejor a las condiciones del entorno, las dimensiones de los equipos y las restricciones operativas del proyecto. A través de esta matriz morfológica, se busca seleccionar la opción más eficiente, segura y funcional para el sistema de izaje requerido.

Tabla 4

Matriz morfológica ponderada de selección de sistema de izaje.

| Criterio | Peso | Puente Grúa (P) | P x Peso | Grúa Pórtico (G) | G x Peso |
|----------------------------|-------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| Capacidad de carga | 0.20 | 5 | 1.00 | 4 | 0.80 |
| Portabilidad/ Movilidad | 0.15 | 2 | 0.30 | 3 | 0.45 |
| Dimensiones del entorno | 0.20 | 5 | 1.00 | 2 | 0.40 |
| Facilidad de operación | 0.10 | 5 | 0.50 | 3 | 0.30 |
| Facilidad de montaje | 0.10 | 3 | 0.30 | 2 | 0.20 |
| Mantenimiento | 0.10 | 4 | 0.40 | 3 | 0.30 |
| Costo inicial | 0.10 | 3 | 0.30 | 4 | 0.40 |
| Seguridad estructural | 0.05 | 5 | 0.25 | 3 | 0.15 |
| TOTAL | 1.00 | | 4.05 | | 3.00 |

Nota: Muestra los puntajes ponderados parcial y total de las opciones.

Como se observa en la matriz morfológica ponderada, el puente grúa obtiene un puntaje total de **4.05**, superando significativamente al sistema de grúa tipo pórtico, que alcanza un valor de **3.00**. Esta diferencia se debe principalmente a su alta capacidad de carga, mejor adaptación a espacios cerrados, mayor precisión en la operación y estabilidad estructural.

Si bien la grúa tipo pórtico ofrece ciertas ventajas en términos de portabilidad y menor costo inicial, estas características no resultan prioritarias dentro del contexto operativo de este proyecto, donde se requiere una solución fija, segura y eficaz para el izaje y traslado de equipos de gran volumen y peso. Por tanto, la selección del puente grúa representa la alternativa más adecuada para garantizar un desempeño eficiente y seguro en las condiciones específicas de trabajo establecidas.

2.1.4.7. Material Traslado

Se debe analizar el tipo de materia que se requiera transportar y su clasificación de peligrosidad. Las características a considerar son: estado de agregación, toxicidad, accesorios complementarios para su carga.

En esta sección se analizarán a detalle mediante la ficha técnica de los equipos sujetos a carga con mayor fluencia para el puente grúa a partir de ellos se deducirá el tonelaje que puente grúa requerirá para realizar el trabajo de forma óptima y sin sobre esfuerzo.

2.1.4.7.1.1. Identificación de equipos cargados

Se presentarán los principales equipos que estarán sujetos a operaciones de izaje mediante el puente grúa. Asimismo, se detallará el procedimiento operativo que justifica su uso, la frecuencia estimada de estas maniobras, y la ficha técnica correspondiente de cada equipo. La **tabla 10** muestra los elementos que deberán ser trasladados mediante el sistema de izaje. A partir de los pesos registrados, se determinará el tonelaje máximo.

Figura 10*Equipos con mayor frecuencia de uso del sistema de izaje*

| N° | Equipo | Peso (Kg) | Peso (Ton) | Observaciones |
|----|--|-----------|------------|--|
| 1 | Rodillos CS56B | 11,555 | 11.56 | Equipo de compactación. Requiere izaje para mantenimiento y reubicación. |
| 2 | Cargador de ruedas 962 | 19,043 | 19.04 | Equipo operativo pesado. Su peso se aproxima al límite de carga del puente grúa. |
| 3 | Cargador de ruedas 966GC | 19,577 | 19.58 | Requiere grúa para intervenciones mecánicas. Cercano al límite máximo de carga. |
| 4 | Bucket GP - General Purpose (Cucharón) | 2,125.99 | 2.13 | Accesorio independiente que se iza por separado. Su peso no es significativo, pero debe sumarse al equipo base si está acoplado. |
| 5 | Cargador R1600H [Eje delantero] | 12,884 | 12.88 | Parte del equipo móvil. Requiere desmontaje para mantenimiento. |
| 6 | Cargador R1600H [Eje trasero] | 17,266 | 17.27 | Parte más pesada del cargador. Requiere maniobra cuidadosa. |
| 7 | Cargador R1300G [Sin Cucharón] | 19,451.01 | 19.45 | Equipo pesado que se encuentra muy cercano al límite de carga del puente grúa. |
| 8 | Moto Niveladora 140 (JOYSTICKS) | 18,400 | 18.40 | Uso frecuente en operación. Se iza para mantenimiento preventivo. |
| 9 | Counter Weigh GP | 10,290 | 10.29 | Contrapeso desmontable que debe izarse con accesorios como eslingas. |
| 10 | Moto Niveladora | 18,400 | 18.40 | Similar al anterior, es equipo completo en operación continua. |

Nota: Esta tabla presenta los equipos que, por sus características operativas y necesidades de traslado, harán un uso más frecuente del sistema de izaje. La información servirá como referencia para dimensionar la capacidad operativa y la resistencia requerida del puente grúa.

2.1.4.8. Tonelaje de carga

El contenido máximo de carguío que el tipo de puente grúa levantará involucra el peso de cadenas de carga, recipientes, bandas y estructuras propias de la grúa.

2.1.4.9. Requerimientos

Esta característica se refiere a las condiciones a las que está expuesta el tipo de grúa durante su operación, debido a que el espacio, condiciones ambientales, tiempo de uso, etc. influyen directamente sobre el tiempo de vida de la grúa.

2.1.4.10. Producción requerida

La inversión destinada a la compra de una grúa implica un gasto muy significativo para la industria. Es importante evaluar el impacto económico que tendrá como consecuencia la adquisición de la grúa y las ventajas iniciales, medianas y largo plazo.

2.1.4.11. Clase de servicio

Otro aspecto muy importante es: el espectro de carga y el tiempo de utilización promedio por día.

- **Espectro de cargas**

La clasificación de cargas y el tiempo de uso son reguladas por la European Materials Handling Federation (FEM). Se divide en las siguientes categorías:

- **Cargas ligeras**

Se aplica a estructuras con baja frecuencia de uso para cargas livianas, por ejemplo, eslingas. Solo en contadas ocasiones se utiliza su carga máxima.

Figura 11

Espectro de carga Liviana



Nota: Adaptado de *¿Sabes qué es el “Espectro de Carga” en equipos de elevación?*, por Hernandez, 2018, fuente (Hernandez, 2018)

- **Cargas Medianas**

Hacen referencia a las estructuras que frecuentemente operan a bajas cargas y ocasionalmente se utiliza su capacidad máxima.

Figura 12

Espectro de carga Mediana



Nota: Adaptado de *¿Sabes qué es el “Espectro de Carga” en equipos de elevación?*, por Hernandez, 2018, fuente (Hernandez, 2018)

- **Cargas Pesadas**

Estas estructuras requieren un uso cíclico de cargas máximas. Generalmente operan con cargas medianas. Por ejemplo, ganchos del tipo C.

Figura 13

Espectro de cargas Pesadas



Nota: Adaptado de *¿Sabes qué es el “Espectro de Carga” en equipos de elevación?*, por Hernandez, 2018, (Hernandez, 2018)

Cargas muy Pesadas

Finalmente, este tipo de mecanismos son utilizados frecuentemente a tonelajes cercanos a su máxima capacidad a lo largo de su vida útil.

Figura 14

Espectro de Carga muy Pesada



Nota: Adaptado de *¿Sabes qué es el “Espectro de Carga” en equipos de elevación?*, por Hernandez, 2018, fuente (Hernandez, 2018)

2.1.5. Normalización

En general, las estructuras mecánicas necesitan ser capaces de aguantar los esfuerzos a los que se les somete para su propósito. Los soportes deben pertenecer a una determinada categoría y las estructuras no deben tener mayor tensión o deformación que puedan sobrepasar a los mencionados para cada material de estructura en su norma específica. En particular, se consideran las siguientes normas: (Huaroc, 2018)

- NTE E. 020 Norma de cargas.
- NTE E. 090 Norma de diseño de estructuras metálicas.

2.1.6. Diseño

2.1.6.1. Configuración geométrica de la grúa

a) Altura. Corresponde a la distancia vertical entre el punto donde se ubica el polipasto sobre la viga y el nivel del suelo, siendo esta aproximadamente de seis metros de altura. (Guerra, 2018)

b) Luz. Es la longitud entre los extremos de esta, el cual es una distancia aproximada de 15 metros. (Guerra, 2018)

c) Tipo de grúa. Se corresponde con una configuración monocarril, debido a la luz de la grúa y a su altura. (Guerra, 2018)

2.1.6.2. Cargas

a) Carga útil. Es la capacidad que tiene la grúa de elevarse mediante un gancho. Es de aproximadamente diez toneladas. (Guerra, 2018)

b) Carro - Polipasto. Es la carga que fue desarrollada por el grupo de dos componentes que suman un peso de 1.5 toneladas. (Guerra, 2018)

c) Carga servicio. Se refiere a la unión de la carga útil y del carro – polipasto, la cual se convertirá en la carga total que toda la estructura debe aguantar y será aproximadamente de 11.5 toneladas. (Guerra, 2018)

2.1.6.3. Mecanismos

a) **Utilización mecanismo.** Se determina a partir del uso que se realice de ellos a lo largo del servicio. El sistema está formado por 3 mecanismos que posibilitan los movimientos del sistema.

b) **Estado carga mecanismo.** Se define como el número de carga que es levantada por medio de su magnitud, también unido al estado de carga se halla el coeficiente del espectro de cargas. (Guerra, 2018)

c) **Clasificación mecanismo.**

Tabla 5

Clasificación de mecanismos.

| Estado de carga | COEFICIENTE NOMINAL DEL ESPECTRO DE CARGAS Kp | Clases de utilización y número máximo de ciclos de maniobra del aparato | | | | | | | | | |
|--------------------|---|---|-------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|
| | | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 |
| | | L1 – Ligero | 0,125 | M-1 | M-1 | M-1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
| L2 – Moderado | 0,25 | M-1 | M-1 | M-2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M8 |
| L3 - Pesado | 0,50 | M-1 | M-2 | M-3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M8 | M8 |
| L4 – Muy Pesado | 1,00 | M-2 | M-3 | M-4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M8 | M8 | M8 |

Nota: Adaptado de Puente grúa 10 TN, por J. Guerra Albuje, 2018, Universitat Politècnica de València.Estructura

a) **Utilización estructura.** La utilización de estructuras se puede visualizar en cuadros y están formados según su máximo número de ciclos.

b) **Estado carga estructura.** Se define como el número de carga que es levantada por medio de su magnitud, también, unido al estado de carga se halla el coeficiente del espectro de cargas. (Guerra, 2018)

c) **Clasificación de la estructura.**

Tabla 6

Clasificación de la estructura

| Estado de carga | COEFICIENTE NOMINAL DEL ESPECTRO DE CARGAS Kp | Clases de utilización y número máximo de ciclos de maniobra del aparato | | | | | | | | | |
|-----------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 |
| Q1 – Ligero | 0,125 | A1 | A1 | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 |
| Q2 – Moderado | 0,25 | A1 | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A8 |
| Q3 - Pesado | 0,50 | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A8 | A8 |
| Q4 – Muy Pesado | 1,00 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A8 | A8 | A8 |

Nota: Adaptado de Puente grúa 10 TN, p. [28], por J. Guerra Albujaer, 2018, Universitat Politècnica de València.Estructura

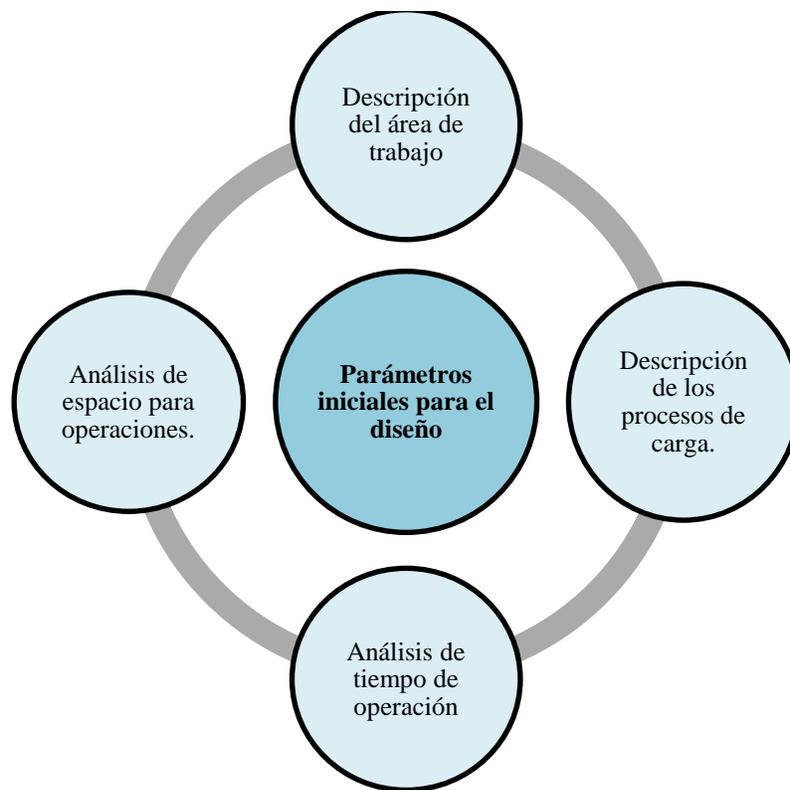
2.1.7. Diseño de máquinas

El diseño es un proceso creativo y repetitivo. Se debe elegir decisiones muchas veces con escasa información y muchas dudas; no obstante, estas decisiones e implementación de innovaciones debe tomarse con responsabilidad con la finalidad de la resolución de problemas (Budynas y Nisbett, 2012).

Para el diseño de las máquinas como puentes grúa se requiere evaluar el área de trabajo, los procedimientos de operación, el tiempo y el espacio disponible para las operaciones.

Figura 15

Características Iniciales para el Diseño del Proyecto



Nota: Elaboración propia

2.1.8. Metodología del diseño

La metodología del diseño de máquinas pasa por diferentes etapas (Ingeniería BQ, 2020):

- Especificación inicial: En esta etapa se definen las necesidades del cliente, se determina clientes potenciales y se evalúa la demanda. Tiene por objetivo establecer los requisitos de un producto.
- Desarrollo conceptual: Se descompone el sistema en subsistemas o elementos, según sea el caso. El propósito es ejecutar una comparación de productos similares y saber cómo funcionan. Se adjuntan principios de ingeniería para brindar nuevas alternativas conceptuales.
- Diseño básico: En esta etapa se realiza la arquitectura del producto y se plantean evaluaciones y test para ver qué tan efectivas son las alternativas en el diseño conceptual y de acuerdo a ello, se eligen las mejores. Al finalizar, se elige la estructura constructiva.
- Desarrollo detallado: Se elaboran los documentos que detallan todo, que servirán para tener una base en la fabricación de la máquina.
- Fabricación: Se desarrollan prototipos para verificar que tan eficiente es el diseño y continuar con la fabricación en serie

2.1.9. Diseño estructural

El diseño estructural permite generar una buena estabilidad de las estructuras mediante una buena selección de materiales para su construcción basados en estudios, cálculos y metodologías.

Estos cálculos se deben apoyar mediante el uso de simulaciones en softwares de análisis estructural para validar su viabilidad. Aparte, gracias al diseño estructural se puede elegir los materiales idóneos para cubrir no solo las propiedades mecánicas requeridas, sino, las necesidades económicas. (Diaz, s.f.)

2.1.10. Análisis de estructuras

El análisis de estructura tiene como finalidad fundamental evaluar las respuestas de las estructuras al momento de ser sometidas a diferentes acciones externas e internas durante su tiempo de vida útil. El análisis de estructuras busca satisfacer criterios como:

- Funcionalidad
- Seguridad
- Economía
- Estética

2.1.11. Criterios de selección de estructuras metálicas

2.1.11.1. Espectro de cargas

Sirve para determinar el grado de exigencia al que está sometido el polipasto durante su tiempo de servicio. Se pueden clasificar en cargas ligeras, medias, pesadas y muy pesadas. El gráfico determina el porcentaje de carga en función del tiempo de operación.

2.1.11.2. Tiempo de operación diario

Es el tiempo de operación al que está sometida la grúa. Para su determinación se considera los parámetros de números de ciclo por hora, tiempo de operación, velocidad de funcionamiento y la altura de elevación.

2.1.11.3. Asignación del grupo de funcionamiento

Después de identificar el espectro de funcionamiento y el tiempo de operación de todos los días, se selecciona el equipo de trabajo requerido para el polipasto, de tal forma que se pueda operar de forma segura y permanente.

Figura 16

Grupo de Funcionamiento de Polipasto

| Tiempo medio diario de funcionamiento en horas | | | 0,5 | | 1 | | 2 | | 4 | | 8 | | 16 | |
|--|---|---------------|-------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|
| Cláusula de funcionamiento | | | V0,25 | T2 | V0,5 | T3 | V1 | T4 | V2 | T5 | V3 | T6 | V4 | T7 |
| Estado de solicitud | 1 | L1 Ligero | | | | | 1Bm | M3 | 1Am | M4 | 2 m | M5 | V4 | M6 |
| | 2 | L2 Medio | | | 1B m | M3 | 1Am | M4 | 2 m | M5 | 3 m | M6 | | |
| | 3 | L3 Pesado | 1Bm | M3 | 1A m | M4 | 2 m | M5 | 3 m | M6 | | | | |
| | 4 | L4 Muy pesado | 1Am | M4 | 2 m | M5 | 3 m | M6 | | | | | | |
| Grupo | | | | | | | 1Bm | M3 | 1A m | M4 | 2 m | M5 | 3 m | M6 |
| Factor de marcha* | | | | | | | 25 % | | 30 % | | 40 % | | 50 % | |
| Cantidad de arranques por hora | | | | | | | 150 | | 180 | | 240 | | 300 | |

Nota: Adaptado de grupo de funcionamiento de polipasto, por Euroblock vt, fuente (<http://www.verlinde.com/>)

2.1.12. Tipos de estructuras metálicas

2.1.12.1. Viga Principal

Es el elemento que soporta el sistema de elevación. Su forma varía según la luz y la capacidad de carga, y si las cargas son frecuentes y pesadas, se utilizan vigas de doble alma..

2.1.12.2. Polipasto

Es el componente encargado de elevar y bajar las cargas. Generalmente se usa un gancho, aunque también pueden emplearse otros elementos como canastas, electroimanes u otros dispositivos especiales.

Figura 17

Polipasto de una Grúa



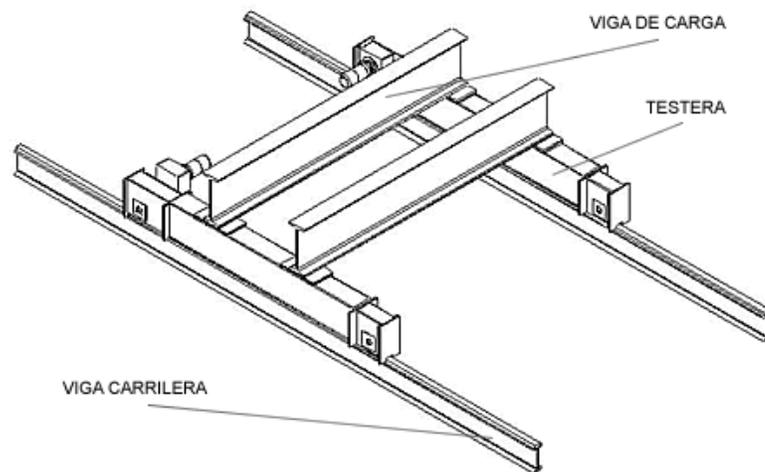
Nota: Adaptado de Polipastos a cable mono vigas y birrieles por ELEVACION SAC, 2015, fuente (https://elevacion.com.pe/polipastos_de_cadena.html)

2.1.12.3. Vigas Carrileras

Se utiliza vigas paralelas destinadas a soportar las estructuras que soportaran el izaje y el peso muerto de la propia estructura. No se sueldan a las vigas con la finalidad de optimizar el mantenimiento del equipo, sino se utilizan pernos.

Figura 18

Vigas Carrileras



Nota: Adaptado de Puentes Grúa Birrieles por FORVIS, s.f, fuente (<https://www.forvis.com.ar/puentes-grua-birrieles>)

2.1.13. Esfuerzos en estructuras

2.1.13.1. Esfuerzo Cortante Axial

Este esfuerzo actúa de manera tangencial y ejerce una fuerza de cizalla sobre su área transversal. Se representa mediante el siguiente modelo matemático:

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (1)$$

Donde:

V = fuerza cortante (N)

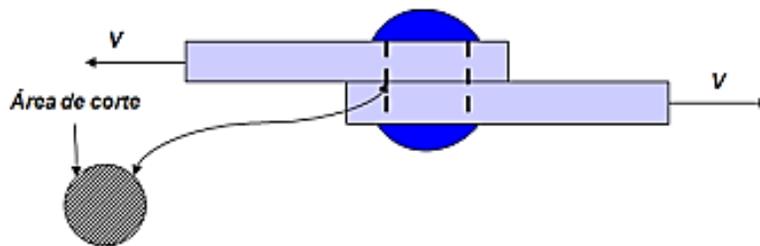
A = área de corte (m^2)

τ = esfuerzo cortante (Pa)

Ecuación obtenida de (Alarcón Mata et al., 2016)

Figura 19

Esfuerzo Cortante Axial



Nota: Adaptado de Análisis estructural de los planos de vuelo del dirigible 27T del centro de investigación y desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana para mejorar su comportamiento mecánico, (p. 14.), por Pineda, 2015, Universidad Técnica de Ambato.

2.1.13.2. Esfuerzo por Flexión

Las estructuras están sometidas a dos tipos de esfuerzos: por encima del centro de gravedad predominan las fuerzas de compresión, mientras que por debajo de este punto predominan las fuerzas de tracción. (Ayala Herrera & Cabrera Dávalos, 2018)

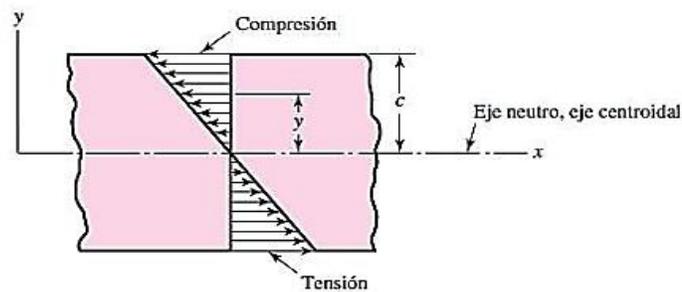
$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{Mc}{I} \quad (2)$$

Donde:

- M = momento flector ($N \cdot m$)
- c = distancia al centro de gravedad (mm)
- τ = momento de inercia (mm^4)
- $\sigma_{\text{máx}}$ = esfuerzo máximo en la flexión (Pa)
- Ecuación obtenida de (Morales Ayala, 2016).

Figura 20

Esfuerzo de Flexión



Nota: Adaptado de Esfuerzo de flexión, (p. 85.), por Budynas y Keith, 2012, McGraw Hill

2.1.13.3. Esfuerzos normales en vigas

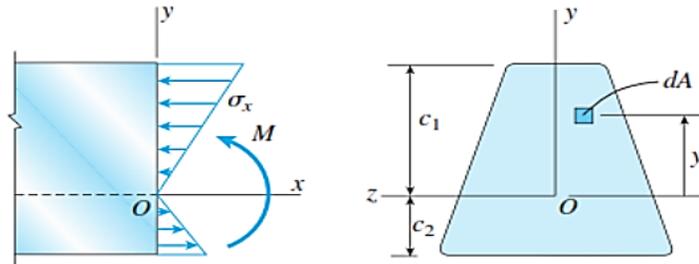
Son esfuerzos de compresión y tensión máximos ejercidos en el área transversal, específicamente en las zonas más alejadas de los puntos neutros. Los esfuerzos máximos se representan mediante las siguientes ecuaciones matemáticas.

$$\sigma_1 = -\frac{M \cdot c_1}{I} = -\frac{M}{S_1} \quad \sigma_2 = -\frac{M \cdot c_2}{I} = -\frac{M}{S_2} \quad (3)$$

Ecuación obtenida de (Alarcon Cuba, 2018).

Figura 21

Esfuerzos normales en vigas de materiales elástico



Nota: Adaptado de Esfuerzos normales en vigas de materiales elásticos, (p. 90.), por Budynas y Keith, 2012, Mc Graw Hill

2.1.14. Uniones soldadas

Son uniones permanentes entre estructuras metálicas mediante un metal de aporte de la misma naturaleza que las piezas soldadas o compatibles con su estructura metálica. La unión soldada es más rígida que la unión por tornillos (Gómez, 2020). La gran parte de los procesos de soldadura se adquieren por el uso de calor, otros por el uso de presión sin emplear mucho calor y otros se logran por la mezcla de calor y presión al mismo tiempo (Núñez, 2018).

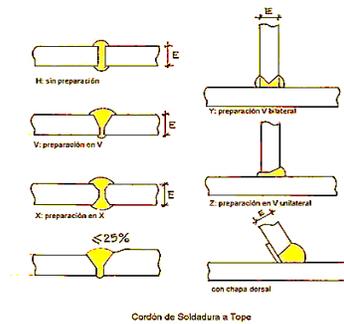
Los tipos de uniones soldadas pueden ser clasificadas como 05 tipos descritos a continuación (Díaz, 2018):

Junta a tope (Butt joint)

Esta junta se refiere a la conexión entre dos elementos alineados en el mismo plano. En el caso de piezas con secciones transversales diferentes, la parte más gruesa debe rebajarse gradualmente -con una pendiente no superior al 25%- para igualar el grosor de la parte más fina en la zona de unión.

Además, la soldadura debe realizarse de forma continua a lo largo de toda la junta, garantizando una penetración completa.

Figura 22



Soldadura a tope

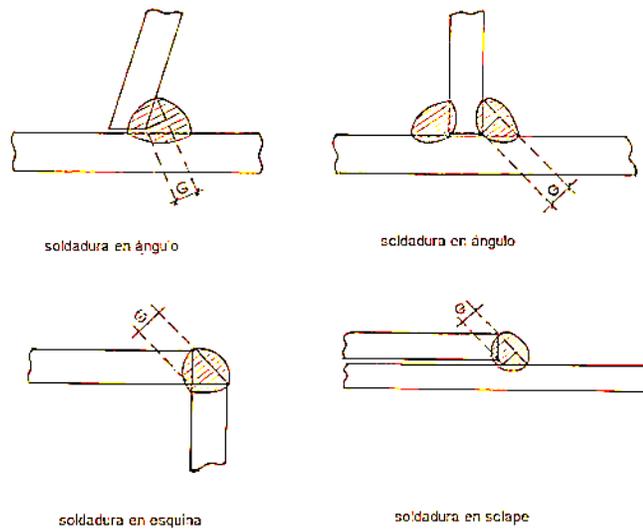
Nota: Adaptado de Uniones soldadas y su simbología según AWS, (p. 7.), por Díaz del Castillo, 2018, Universidad Nacional Autónoma de México.

Junta esquina (Joint Corner): Es la coalición entre dos miembros situados en ángulo recto (90°) entre sí. Puntos a tener en cuenta que, si la longitud de la cuerda:

- Cuando la longitud no supera los 500 mm, la soldadura se ejecuta empezando por un extremo y continuando por el otro.
- Si la longitud está comprendida entre 500 mm y 1.000 mm, el proceso se realiza en dos partes, empezando desde el centro hacia los extremos.
- Para longitudes superiores a 1000 mm, la soldadura se aplica mediante cordones parciales, solapando cada nuevo tramo con el final del anterior.

Figura 23

Soldadura en ángulo



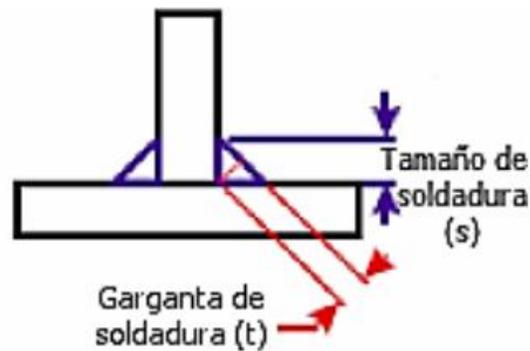
Cordón de Soldadura en Ángulo - G.

Nota: Adaptado de Uniones soldadas y su simbología según AWS, (p. 9.), por Díaz del Castillo, 2018, Universidad Nacional Autónoma de México

T en junta (Joint-T): Esta unión, conocida como unión en «T», se produce cuando dos elementos metálicos se unen en ángulo recto, formando una perpendicular. La soldadura puede realizarse en uno o en ambos lados de la unión, como ocurre cuando se une una viga al revestimiento del tejado. Si uno de los elementos se coloca centrado sobre el otro, formando una figura en cruz, el resultado será una unión soldada en cruz.

Figura 24

Soldadura en T



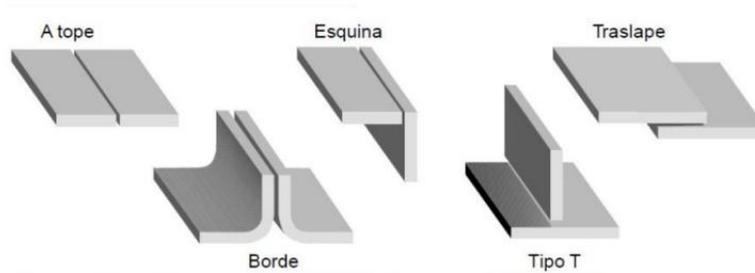
Nota: Adaptado de *Uniones soldadas y su simbología según AWS*, (p. 9.), por Díaz del Castillo, 2018, Universidad Nacional Autónoma de México.

Junta en traslape o solape (Lap joint): Esta unión consiste en solapar dos elementos metálicos. Para ello, se establece un solape de aproximadamente 12 mm en la zona donde se va a realizar la soldadura. Este solape se ajusta mediante un escalón en el borde de la unión, que se determina en función de la dureza del material de la superficie solapada.

Junta de borde (Edge joint): Es una unión por fusión entre dos o más elementos iguales o muy similares. La soldadura por flancos se aplica en los bordes de piezas -generalmente chapas o placas finas- en las que las superficies de los elementos están alineadas en paralelo en al menos uno de sus bordes comunes. La fusión se produce precisamente en ese límite compartido, logrando una integración continua entre las piezas.

Figura 25

Tipos de juntas o uniones soldadas



Nota: Adaptado de *Uniones soldadas y su simbología según AWS*, (p. 6.), por Díaz del Castillo, 2018, Universidad Nacional Autónoma de México.

2.1.15. Tipos de soldadura

2.1.15.1. Soldadura por arco manual

Este procedimiento utiliza un arco eléctrico para generar la coalescencia entre metales mediante el calentamiento entre un electrodo consumible y las piezas a unir. Es el método de soldadura más sencillo y utilizado, ideal para trabajar con metales férricos y no férricos con espesores superiores a 1 mm, y se aplica en todos los niveles de fabricación y mantenimiento. (Oxgasa, s.f.)

2.1.15.2. Soldadura de revestimiento duro y recuperación de piezas

El recubrimiento y el pulido consisten en aplicar una aleación sobre una pieza metálica mediante distintos procesos de soldadura, con el fin de mejorar su resistencia al desgaste o recuperar sus dimensiones originales.

Generalmente, el objetivo es aumentar la durabilidad frente a factores como la abrasión, el impacto, la fricción metal-metal, el calor, la corrosión o una combinación de ellos. (Oxgasa, s.f.)

2.1.15.3. Soldadura eléctrica por arco sumergido

En la soldadura eléctrica, los materiales se unen mediante el calor generado por un arco eléctrico entre un electrodo metálico y las piezas a soldar. Este proceso se realiza sin aplicar presión, y la unión queda protegida por una capa de material granular fundido que cubre completamente la zona de soldadura. El metal de aportación procede del electrodo o de varillas adicionales, y tanto el material de fusión como el material de protección desempeñan un papel complementario para garantizar una soldadura eficaz y de calidad. (Oxgasa, s.f.)

2.1.16. Posiciones de soldadura

Se refiere a la técnica utilizada por el operario durante el proceso de soldadura. La calidad de la unión final depende en gran medida de la capacidad del soldador para colocar correctamente cada electrodo con respecto a la línea de soldadura. (*Urgilés, 2018*)

2.1.16.1. Plana

Esto indica que la soldadura se realiza con el lado biselado hacia arriba, mientras que el electrodo se coloca casi verticalmente, apuntando hacia abajo.

2.1.16.2. Horizontal

El cordón se aplica a lo largo del eje de la dirección horizontal, mientras que el electrodo se mantiene horizontal y perpendicular a la línea de soldadura.

2.1.16.3. Vertical

En este caso, la soldadura se hace con un bisel vertical, y el avance o recorrido del electrodo es verticalmente hacia arriba o verticalmente hacia abajo.

2.1.16.4. Sobre cabeza

En este caso, la junta está por encima de la cabeza del operario, por lo que la soldadura se realiza de abajo arriba. El electrodo está orientado verticalmente hacia arriba, mientras que la cara del bisel está dirigida hacia abajo.

2.1.17. Selección tipo de electrodo para soldadura a tope

Uno de los métodos modernos de soldadura más utilizados es el de arco eléctrico, que aprovecha el calor generado por un arco entre el electrodo y la pieza a soldar. Este calor funde los bordes del metal, creando una unión sólida al enfriarse sin necesidad de aplicar presión externa. El proceso requiere una correcta elección del electrodo y de la intensidad de corriente, que depende del diámetro del electrodo y del material. También se pueden hacer correcciones según la forma y posición de la unión.

Tabla 7
Soldadura a tope

| Espesor del material (mm) | Diámetro del electrodo (mm) | Intensidad de corriente (A) |
|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1.5 | 2.0 | 30 - 50 |
| 2.0 | 2.5 | 45 - 70 |
| 3.0 | 3.0 | 70 - 100 |
| 4.0 | 3.0 - 4.0 | 90 - 130 |
| 5.0 | 4.0 | 115 - 160 |

Nota: La tabla muestra los regímenes de la soldadura a tope de acero de bajo porcentaje de carbono por (Mora, 1990)

Tabla 8
Soldadura a solape y en T

| Espesor del material (mm) | Diámetro del electrodo (mm) | Intensidad de corriente (A) |
|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1.5 | 2.5 | 40 - 75 |
| 2.0 | 2.8 - 3.0 | 50 - 85 |
| 3.0 | 3.0 - 4.0 | 80 - 135 |
| 4.0 | 4.0 | 100 - 150 |
| 5.0 | 4.0 - 5.0 | 150 - 190 |

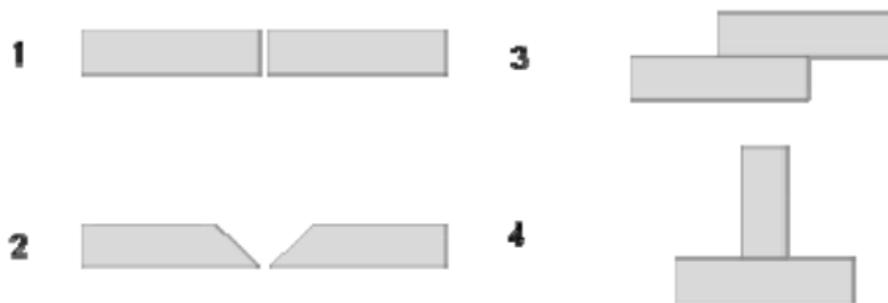
Nota: La tabla muestra los regímenes de la soldadura en solape y en T de acero de bajo porcentaje de carbono por (Mora, 1990).

2.1.17.1. Geometría de la soldadura

Las uniones para soldadura pueden diseñarse de distintas formas. Las más comunes son cinco: junta de extremo, junta de regazo, junta de esquina, junta de borde y junta en T. Además, hay otras variantes como la junta doble-V, donde ambas piezas se afilan hacia un punto en el centro. También se usan juntas solo-U y doble-U, que tienen bordes curvos en forma de U en lugar de rectos. En el caso de las juntas de regazo, no se limitan a dos piezas; pueden incluir varias, dependiendo del tipo de soldadura y el espesor del material. (Mora, 1990)

Figura 26

Geometrías de piezas para soldadura



Nota: (1) La junta de extremo cuadrado, (2) Junta de preparación solo-V, (3) Junta de regazo o traslape, (4) Junta-T

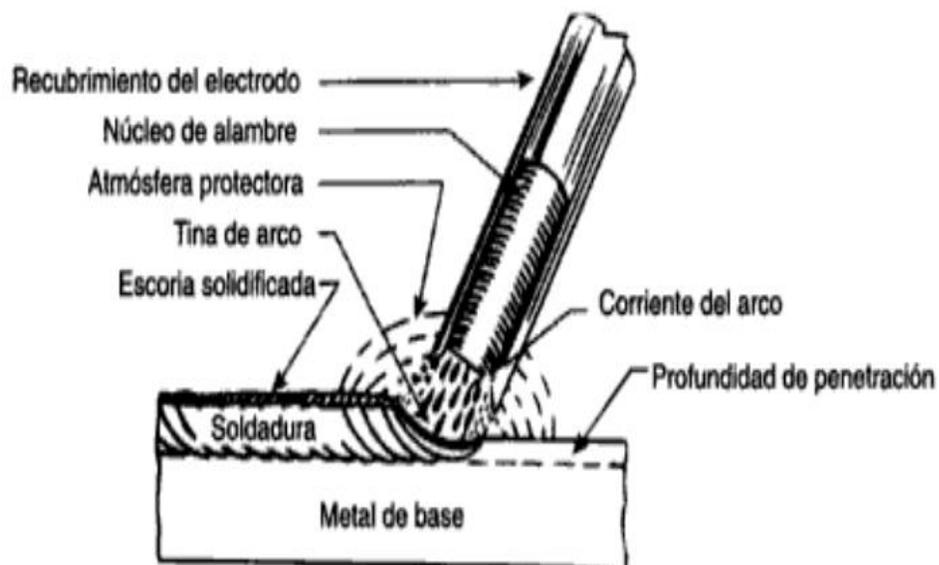
Algunos métodos de soldadura se utilizan casi exclusivamente con determinados tipos de juntas. Por ejemplo, procesos como la soldadura por puntos de resistencia, la soldadura por rayo láser y la soldadura por haz de electrones se aplican principalmente a uniones de tipo solapado. En cambio, técnicas como la soldadura por arco con electrodo destacan por su gran versatilidad, ya que permiten trabajar eficazmente con casi cualquier tipo de unión. (Mora, 1990)

2.1.17.2. Soldadura manual por arco

La soldadura manual por arco (SMAW) utiliza un electrodo metálico recubierto que genera un arco eléctrico entre este y la pieza a soldar, El calor del arco funde el electrodo y su recubrimiento, creando una atmósfera protectora y formando una capa de escoria sobre el cordón de soldadura, Los electrodos se componen de un alma metálica y un revestimiento de compuestos seleccionados. Puede usarse con corriente continua o alterna, dependiendo del tipo de trabajo, Es un método económico, sencillo y muy usado en trabajos de reparación, fabricación y construcción. Sin embargo, es un proceso manual, no automatizable, con electrodos de longitud limitada, lo que requiere pausas frecuentes para el cambio. (Mora, 1990)

Figura 27

Soldadura manual por arco (SMAW)



Nota: Descripción del proceso de soldadura por arco (SMAW) con electrodo metálico.

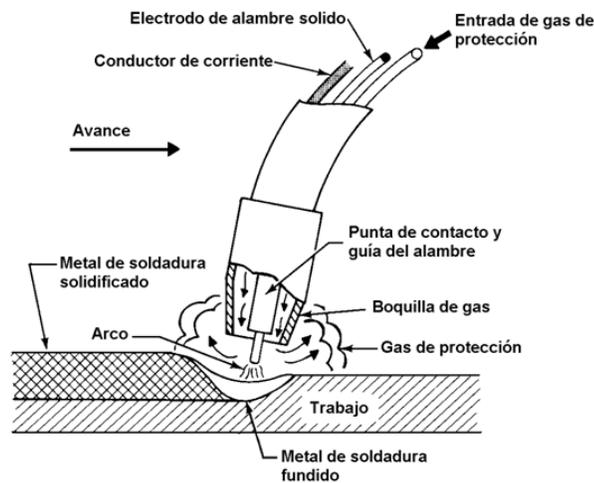
2.1.17.3. Soldadura MIG – MAG

Los métodos de soldadura MIG y MAG, denominados así por sus siglas en inglés, emplean un electrodo consumible que se funde para formar el cordón de soldadura, Ambos procesos protegen el arco eléctrico con un gas, pero en el caso de MIG, este gas es inerte (como el argón), lo que evita reacciones químicas durante la soldadura, en cambio, la soldadura MAG utiliza gases activos, como dióxido de carbono o mezclas con oxígeno, que influyen en el proceso y pueden generar uniones porosas. (Mora, 1990)

Ambos métodos son muy usados en la industria por su eficiencia, facilidad de automatización y buen rendimiento con distintos metales. La protección por gas permite soldaduras limpias y precisas, ideales para sectores como el automotriz. Aunque requieren un suministro constante de gas y electrodo, lo que puede elevar los costos, su desempeño supera al de métodos manuales, sobre todo al usar hilos sólidos o tubulares.

Figura 28

Soldadura MIG – MAG



Nota: Descripción del proceso de soldadura por arco (MIG-MAG) con electrodo de alambre sólido.

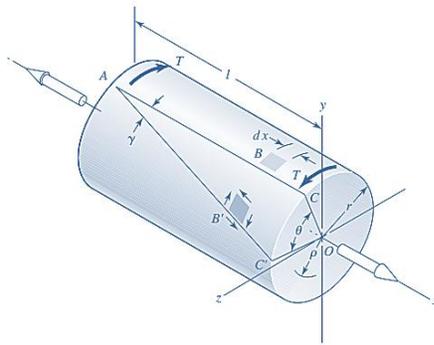
2.1.18. Tensiones y deformaciones

2.1.18.1. Fuerzas de Torsión

Son producidas por fuerzas verticales que poseen su línea de acción sobre las excéntricas a la viga. La torsión que se aplica a cuerpos se designa mediante flechas salientes de la superficie de la estructura.

Figura 29

Pieza Sometida a Torsión



Nota: Adaptado de Esfuerzos normales en vigas de materiales elásticos, (p. 95.), por Budynas y Keith, 2012, Mc Graw Hill

2.1.18.2. Pandeo

Es un tipo de falla producida por la inestabilidad de estructuras, generalmente de cuerpos verticales, sometidas a fuerzas axiales de compresión. La fuerza crítica de pandeo es el valor mediante el cual no solo generan en la estructura un acortamiento de su longitud, sino que desplazan su eje central respecto de su centroide a tal punto que causa el colapso del material. La carga de pandeo se establece mediante la ecuación de Euler.

$$P = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2} \quad (4)$$

Donde:

E = módulo de elasticidad

I = momento de inercia respecto al eje principal

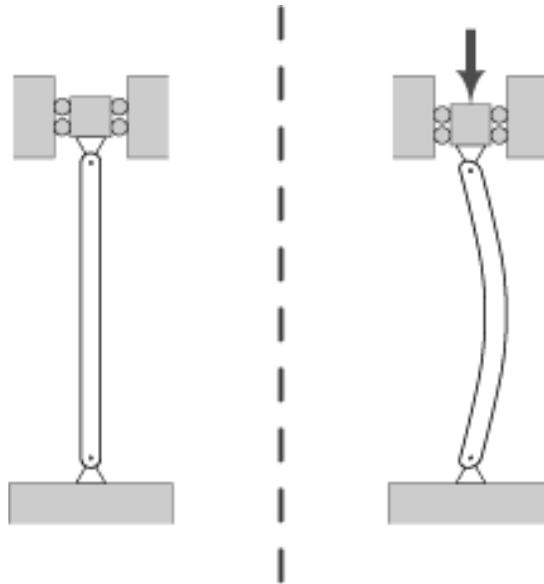
L = longitud entre soportes

P = fuerza de pandeo

Ecuación obtenida de (Torrano & Pérez, 2011).

Figura 30

Deformación por Pandeo



Nota: Elaboración propia

2.1.18.3. Deflexión

Son las deformaciones producidas en un cuerpo por efecto de flexiones internas. En el ámbito de los puentes de grúa la máxima deflexión en sentido vertical producida por la carga muerta (peso propio de las estructuras que componen el montaje de la grúa) no debe exceder $\frac{1}{600}$ de luz.

2.1.19. Vigas

2.1.19.1. Viga cajón

Se construye a partir de cuatro placas de acero que forman un cuadrilátero cerrado. Es una de las vigas principales más utilizadas por los diseñadores, gracias a su sencillez y a su gran resistencia a los esfuerzos de deformación.

2.1.19.2. Viga Carrilera

Se encarga de recibir todo el peso del puente grúa. Además, soporta las cargas transversales y está sujeta a esfuerzos flexionantes y cortantes. La flecha teórica existente en el centro de la viga está determinada por la siguiente fórmula.

$$f = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (5)$$

Donde:

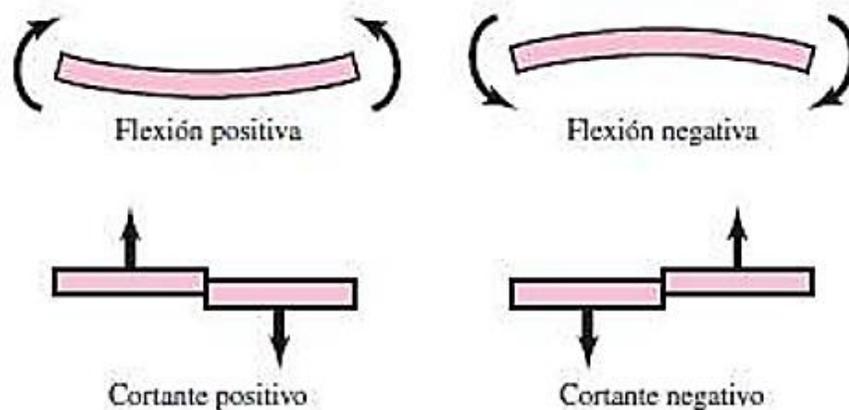
- P = carga útil + peso del sistema de elevación
- E = módulo de elasticidad
- I = momento de inercia de la sección central
- Ecuación obtenida de (Ramirez et al., 2020).

2.1.20. Relación existente entre la fuerza cortante y el momento flector

Cuando se aplica una fuerza de flexión a una viga y se realiza un corte transversal, se generan en la sección una fuerza cortante interna y un momento flector, que actúan para mantener el equilibrio del sistema. El esfuerzo cortante se calcula sumando los esfuerzos en el lado izquierdo de la sección, tomando como referencia un eje determinado.

Figura 31

Orientación de Signos de: a) Momento Flector y b) Fuerza Cortante



Nota: Adaptado de *Esfuerzos normales en vigas de materiales elásticos*, (p. 335.), por Budynas y Keith, 2012, Mc Graw Hill

2.1.21. Teoría de la flexión

La capacidad de una sección para resistir esfuerzos de flexión está directamente relacionada con su momento plástico, que depende del límite elástico del material y del área plástica de la sección. Sin embargo, fallos como el pandeo local o lateral pueden restringir el comportamiento plástico esperado.

Para evitar estas limitaciones, es esencial un diseño adecuado que considere la relación correcta entre el espesor y la anchura de los elementos. Para garantizar que la sección resiste adecuadamente los esfuerzos de flexión, debe cumplirse la siguiente relación:

$$M_u \leq \phi_b M_n \quad (6)$$

Donde:

- M_u : combinación predominante por acción de esfuerzos factorizados
- M_n = resistencia nominal por momento
- ϕ_b = factor de reducción de resistencia (0.9)

Ecuación obtenida de (Ali, n.d.)

2.1.21.1. Análisis de flexión por el método de superposición

Se realiza una separación de la carga total en cargas más simples que poseen soluciones conocidas. Los efectos de individuales de las cargas se pueden sumar posteriormente para el análisis final.

Este método de análisis por superposición permite calcular reacciones en los apoyos, deflexiones y momentos flectores.

2.1.22. Tipos de flexión

2.1.22.1. Flexión recta

Si una pieza está sometida por un momento de flexión puro, cuando sus partes están sometidas a esfuerzos puramente de flexión.

La fuerza normal N , la fuerza cortante T y el momento torso M_t son cero en todas partes de la sección transversal. Materiales compuestos están asociados con el esfuerzo cortante, porque experimentan una flexión simple cuando la pieza sufre una flexión variable. Por el contrario, se dice que una sección está sometida a una flexión compuesta, cuando se somete a momentos de flexión y fuerzas axiales. Finalmente, cuando actúan momentos flectores y momentos de torso simultáneamente, se dice que la parte está sometida a una torsión - flexo. (Cervera & Elena, 2015)

2.1.22.2. Flexión esviada

Una pieza se somete a flexión recta cuando sus componentes están sometidos a un momento flector M , contenido en los planos flectores principales. Esto se refiere a las vigas en el plano medio, es decir, las vigas en la intersección de los ejes perpendiculares que inciden en el plano. En el caso general de componentes inducidos por momentos de flexión en planos arbitrarios, tenemos las flexiones esviadas. Si el momento aplicado es constante sobre el área, hay

una flexión pura esviada, y si el momento varía, se tiene una flexión simple esviada, que esta alado de un esfuerzo cortante. (Cervera & Elena, 2015)

2.1.23. Módulo resistente de la sección transversal

La inercia representa la resistencia de una estructura a la rotación o a la deformación por flexión, y suele simbolizarse con la letra I. Este valor depende de cómo esté distribuida la masa de la sección con respecto a su centro de gravedad.

Cuanto mayor sea la distancia de la masa al centroide, mayor será el momento de inercia, En secciones transversales complejas o compuestas de varias partes, es aconsejable calcular la inercia total sumando los momentos de inercia individuales de cada componente.

2.1.24. Análisis de capacidad de cargas

Se refiere al procedimiento estandarizado cuyo objetivo es evaluar la capacidad de los elementos portantes de resistir el paso de determinadas cargas (Hidalgo, 2017). Las estructuras que forman el puente grúa están sometidas a cargas que varían y que fluctúan a lo largo del tiempo, por lo cual, considerarlas en los cálculos es importante para conseguir un buen diseño y posteriormente un buen funcionamiento. (Ayala Herrera & Cabrera Dávalos, 2018) Según la norma CMAA 70, distribuye las siguientes cargas a considerar para el diseño de un puente grúa: (Calle, 2018)

2.1.24.1. Carga muerta DL (Dead Load)

Se refiere al peso total de todos los elementos estructurales que componen el puente grúa, incluidas las vigas principales, los testeros, los raíles y los equipos que se apoyan en la estructura. (Calle, 2018)

2.1.24.2. Carga del trolley o carro TL (Toller Load)

Se refiere al peso del polipasto, el carro y el equipo unido a este. (Calle, 2018)

2.1.24.3. Carga levantada o nominal LL (Lifted Load)

Va orientando a la carga levantada, que es la carga de trabajo y el peso de los dispositivos de elevación usados para manejar la carga de trabajo como el bloque de carga, vigas, entre otros complementarios. (Calle, 2018)

2.1.24.4. Fuerzas de inercia verticales VIF (Vertical Inertia Forces)

Son las fuerzas de inercia verticales generadas por el movimiento del puente grúa junto con sus componentes, así como por la elevación o descenso de cargas durante las operaciones de elevación. (Calle, 2018)

2.1.24.5. Factor de carga muerta DLF (Dead Load Factor)

Este factor tiene en cuenta tanto la carga muerta como la carga del polipasto, y varía en función de la velocidad de desplazamiento expresada en pies por minuto (ft/min). (Calle, 2018)

2.1.24.6. Factor de carga de alzamiento *HLF* (*Hoist Load Factor*)

Este factor se aplica al movimiento vertical de la carga nominal y tiene por objeto tener en cuenta las fuerzas de inercia generadas durante la elevación. Incluye los efectos causados por elevaciones repentinas, incertidumbres en las fuerzas aplicadas y cargas repentinas sobre la grúa. El valor de este factor de carga equivale al 0,5% de la velocidad de elevación, expresada en pies por minuto (ft/min). (Calle, 2018)

2.1.24.7. Fuerzas de inercia debido al manejo *IFD* (*Inertia Forces from Drives*)

(Ayala Herrera & Cabrera Dávalos, 2018) indica que estas cargas se generan cuando se realiza una aceleración o desaceleración del dispositivo (puente grúa). Según el CMAA 70, estas fuerzas de inercia a causa de estas acciones serán un porcentaje de las cargas verticales. (Calle, 2018)

2.1.25. Riesgos y factores de riesgos

2.1.25.1. Riesgos mecánicos

- De arrastre por carga o por la misma grúa. (Molina, 2015)
- De impacto por la carga o por la propia grúa. (Molina, 2015)
- De disminución de estabilidad (puede ser de la carga, de la maquina o de sus propios elementos). (Molina, 2015)
- De rotura de los componentes de la maquina (puede ser por decadencia, fatiga) (Molina, 2015)

2.1.25.2. Riesgos eléctricos

- Podrían ser a causa de contactos directos o indirectos.
- Probabilidad de peligro térmico procedente de las resistencias de puesta en marcha que provocan quemadura. (Molina, 2015)

2.1.25.3. Riesgos producidos por defectos ergonómicos en el diseño.

- Posturas forzadas o refuerzos excesivos (principalmente en grúas con cabina para el operador). (Molina, 2015)
- Impropia iluminación localizada. (Molina, 2015)

2.1.25.4. Riesgos debidos a cortes de energía y fallos operativos

- Fallo de la alimentación de energía (de los circuitos de potencia y/o de mando). (Molina, 2015)
- Fallo del sistema de mando. (Molina, 2015)

2.1.25.5. Riesgos producidos por la ausencia y/o inadecuación de medidas de seguridad.

- Inexistencia o diseño impropio de resguardos o dispositivos de protección. (Molina, 2015)
- Diseño impropio de conectores de marcha y paro.
- Escases o inadecuación de señales. (Molina, 2015)
- Escases o inadecuación de los componentes de paro de emergencia. (Molina, 2015)
- Medios impropios de carga y descarga.

- Escases y/o inadecuación de elementos en las operaciones de mantenimiento. (Molina, 2015)
- Escases y/o inadecuación de equipos de protección personal. (Molina, 2015)

2.1.26. Fuerza

La fuerza obedece al tercer principio de Newton. Y nace a partir de la oposición a un cuerpo que se sitúe encima. Esa fuerza siempre será perpendicular a esta.

Sin embargo, es importante hacer un balance de las fuerzas en los ejes que se cuenta, utilizando la normal para compensar las otras fuerzas del objeto en base a su superficie. (verticales, horizontales y transversales). (Freedman y Young, 2013)

2.1.27. Software de simulación

2.1.27.1. ANSYS

Es una herramienta de simulación basada en la metodología de elementos finitos. Sus herramientas permiten simular el comportamiento de distintos elementos. Por esto, se puede realizar análisis estructurales, simulación de la mecánica de fluidos, electromagnetismo y la termodinámica de procesos.

2.1.27.2. Elementos Finitos

Consiste en aplicar un análisis estructural a cuerpos sometidos a esfuerzos mecánicos transitorios y estacionarios.

Se fundamenta en la representación discretizada del sólido mediante mallas y puntos que son llamados nodos. Este método permite obtener el conjunto de soluciones que simulan el comportamiento de la estructura, ya que se consideran sus propiedades mecánicas, de carga u restricciones.

2.1.28. Software de simulación

2.1.28.1. Materiales

- Acero estructural ASTM A36

Propiedades del material

Tabla 9

Materiales y propiedades del acero

| Material | | Steel |
|--------------------------|----------------|------------------------|
| Yield Strength | Sy | 300 MPa |
| Modulus of Elasticity | E | 206000 MPa |
| Modulus of Rigidity | G | 80000 MPa |
| Density | ρ | 7860 kg/m ³ |
| Length | L | 13000.000 mm |
| Mass | Mass | 1716.624 kg |
| Maximal Bending Stress | σ_B | 207.387 MPa |
| Maximal Shear Stress | τ_S | 5.973 MPa |
| Maximal Torsional Stress | τ | 0.000 MPa |
| Maximal Tension Stress | σ_T | 0.000 MPa |
| Maximal Reduced Stress | σ_{red} | 207.643 MPa |
| Maximal Deflection | fmax | 56698.319 microm |
| Angle of Twist | φ | 0.0 deg |

Nota: Elaboración propia.

2.2.26.2 Secciones

- Perfil W24X146
- Perfil conformado 912X500X1/4"

CAPITULO III: CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO

3. Resultados y discusión

3.1. Metodología de diseño

3.1.1. Metodología de diseño

Tal como se expuso en el planteamiento del problema, y considerando que el cliente es el taller de reparaciones de FERREYROS, se elaboró y envió la siguiente lista de requerimientos:

Tabla 10
Matriz de requerimientos de diseño

| Nº | CATEGORÍA | EXIGENCIA | RESPONSABLE |
|----|-------------------|--|-------------------|
| 1 | FUNCIÓN PRINCIPAL | Izar y trasladar una carga máxima de 20 toneladas para servicio de izaje de cargas en taller de reparaciones FERREYROS. | R. Atauluco Palma |
| 2 | GEOMETRÍAS | Tamaño, altura, ancho y largo adecuados para taller de reparaciones. Conexiones según la norma E090. | R. Atauluco Palma |
| 3 | FUERZAS | Soporta cargas cumpliendo con las disposiciones de la norma E.020. | R. Atauluco Palma |
| 4 | MATERIAL | <ul style="list-style-type: none">• Perfiles laminados en caliente de acero ASTM A36 para la estructura.• Perfiles conformados en frío para estructura carrilera. | R. Atauluco Palma |
| 5 | CINEMÁTICA | Velocidades de elevación, desplazamiento del carro y del puente según norma UNE 76-201-88. | R. Atauluco Palma |
| 6 | FABRICACIÓN | Elementos empernables y soldables. Fabricación y | R. Atauluco Palma |

| | | | |
|-----------|----------------------|--|-------------------|
| | | ensamble en taller de maestranza. | |
| 7 | SEÑALES | Botones de encendido/apagado, señales acústicas y lumínicas para indicar izaje y operación. | R. Atauluco Palma |
| 8 | SEGURIDAD | <ul style="list-style-type: none"> • Diseño seguro física y emocionalmente. • Cumplir con D.S. E-024-2016-EMSSOMA y normas OSHAI 8000. • Amigable con el medio ambiente (ISO 14001 SGA). | R. Atauluco Palma |
| 9 | ERGONOMÍA | <ul style="list-style-type: none"> • Manejo amigable (ergonómico). • Diseño claro, sin distracciones. • Uso de colores diferenciadores (amarillo, rojo, azul, naranja). | R. Atauluco Palma |
| 10 | MONTAJE | Instalación segura y de fácil comprensión para los operarios. | R. Atauluco Palma |
| 11 | MANTENIMIENTO | <ul style="list-style-type: none"> • Fácil mantenimiento gracias al diseño.- Normas aplicables: UNE 58132-5:1994, UNE 58144-11:1997, UNE 58919:1995. • Repuestos disponibles en el mercado nacional. | R. Atauluco Palma |
| 12 | USO | Operación con ruido moderado. | R. Atauluco Palma |

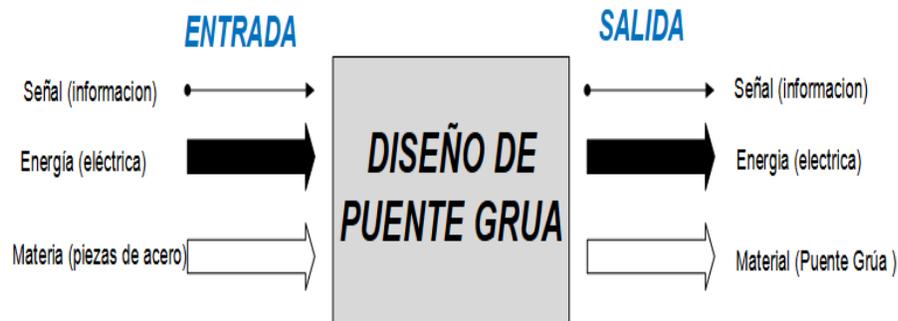
Nota: Elaboración propia.

Para analizar adecuadamente estas exigencias, se empleará el enfoque de la Caja Negra (Black Box) aplicado al sistema técnico global. Este método permite descomponer

el sistema en términos de entradas, salidas y funciones principales, sin centrarse inicialmente en los detalles internos de su funcionamiento. De esta manera, se facilita la identificación concisa de las funcionalidades que el sistema deberá cumplir, dando paso a una bien estructurada evaluación y objetiva de las alternativas tecnológicas que mejor satisfacen los requerimientos planteados.

Figura 32

Caja negra del sistema técnico global



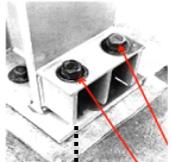
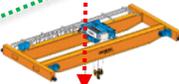
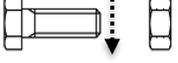
Fuente: (Flores Cayllahua, 2020)

3.1.2. *Determinar portadores de funciones (matriz morfológica)*

Para obtener múltiples alternativas de solución en la etapa de diseño conceptual, se utilizará la matriz morfológica de Zwicky como herramienta sistemática. Esta matriz permite descomponer el problema general en funciones parciales o subfunciones, que luego se disponen en filas. Para cada subfunción se listan diferentes medios posibles de realización en columnas, generando así un espacio morfológico de soluciones potenciales.

Figura 33

Matriz morfología de Zwicky para selección de alternativas.

| FUNCIONES PARCIALES O ELEMENTALES | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 |
|---|---|--|--|
| 1.- CONECTAR AL PEDESTAL |  COLUMNA DE CONCRETO PARA CARGA AXIAL |  PLACA RECTANGULAR PARA CARGAS COMBINADAS |  PLACA CIRCULAR PARA CARGAS COMBINADAS |
| 2.- TRANSMISIÓN DE FUERZAS Y SOPORTE DE CARGAS |  VIGA H |  CHAPA SOLDADA |  VIGA DE CELOSÍA |
| 3.- CONDUCIR Y SOPORTAR LA CARGA SOBRE SU EJE LONGITUDINAL |  VIGA H |  VIGA I |  CHAPA ARMADA |
| 4.- TRASLADAR LA CARGA SOBRE UN EJE HORIZONTAL |  TESTEROS SOBRE RIEL UNA VIGA |  TESTEROS SOBRE RIEL DOBLE VIGA |  TESTERO SUSPENDIDO |
| 5.- TRASLADAR Y SOPORTAR LA CARGA SOBRE OTRO EJE HORIZONTAL |  VIGA SIMPLE |  VIGA DOBLE |  VIGA SUSPENDIDA |
| 6.- LEVANTAR LA CARGA |  POLIPASTO ELECTRICO MONORRAIL |  POLIPASTO ELECTRICO BIRRAIL |  POLIPASTO MANUAL |
| 7.- UNIR COMPONENTES Y RIGIDIZAR LA ESTRUCTURA |  EMPERNADAS |  SOLDADAS |  PASADORES |
| 8.- SUJETAR LA CARGA |  GANCHO AGARRADOR |  GANCHO CON POLEAS |  GANCHO GIRATORIO |

Nota. Elaboración propia. Matriz morfológica de Zwicky utilizada para la selección de funciones.

3.1.2.1. Concepto de solución

Se realiza esquemas de los posibles conceptos de solución y se procede a hacer una evaluación. La **tabla 11** nos muestra una evaluación técnica de tres soluciones de diseño. Cada criterio de evaluación tiene una ponderación o escala de utilidad (g) que se multiplica por la puntuación (p) otorgada a cada solución. El resultado (gp) representa la contribución técnica ponderada de cada criterio. La suma total de estos productos permite calcular el valor técnico (ξ) de cada solución, facilitando su comparación y priorización. Teniendo el valor numérico a su correspondiente puntuación según la siguiente evaluación se realiza en una escala del 1 al 5, donde 0 representa un nivel insuficiente, 1 indica un desempeño mínimamente aceptable, 2 corresponde a un nivel suficiente, 3 a un nivel bueno y 4 se considera muy bueno o ideal.

Para describir los valores de g , se utiliza la siguiente escala de utilidad, la cual evalúa las alternativas técnicas con una valoración del 0 al 10.

- **0:** Solución absolutamente inútil
- **1:** Muy mala solución
- **2:** Solución débil
- **3:** Solución portátil
- **4:** Solución suficiente
- **5:** Solución satisfactoria
- **6:** Buena solución con defectos menores
- **7:** Buena solución
- **8:** Muy buena solución
- **9:** Solución que supera el objetivo
- **10:** Solución ideal

Tabla 11

Evaluación de proyectos preliminares según su valor técnico

| N° | Criterios de evaluación | g | Solución 1 | | Solución 2 | | Solución 3 | | Solución ideal | |
|----|-------------------------|----|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|----------|
| | | | p | gp | p | gp | p | gp | p | Gp |
| 1 | Funciones | 08 | 4 | 24 | 04 | 32 | 01 | 8 | 04 | 32 |
| 2 | Geometrías | 07 | 3 | 14 | 03 | 21 | 03 | 21 | 04 | 28 |
| 3 | Fuerza | 08 | 3 | 16 | 03 | 24 | 03 | 24 | 04 | 32 |
| 4 | Materiales | 07 | 3 | 21 | 03 | 21 | 02 | 14 | 02 | 14 |
| 5 | Cinética | 08 | 2 | 16 | 02 | 16 | 04 | 32 | 04 | 32 |
| 6 | Manufactura | 06 | 2 | 12 | 02 | 12 | 02 | 12 | 04 | 24 |
| 7 | Señalética | 07 | 2 | 14 | 02 | 14 | 02 | 14 | 04 | 28 |
| 8 | Seguridad | 09 | 3 | 18 | 03 | 27 | 03 | 27 | 04 | 36 |
| 9 | Ergonomía | 08 | 3 | 16 | 03 | 24 | 04 | 32 | 04 | 32 |
| 10 | Montaje | 07 | 3 | 14 | 03 | 21 | 03 | 21 | 04 | 28 |
| 11 | Mantenimiento | 07 | 2 | 14 | 02 | 14 | 02 | 14 | 04 | 28 |
| 12 | Usos | 07 | | 21 | 03 | 21 | 03 | 21 | 04 | 28 |
| | Puntajes $\sum gp$ | | | 300 | | 268 | | 288 | | 356 |
| | Valor técnico | | | 0.75 | | 0.56 | | 0.73 | | 1 |
| | xi | | | 1 | | 3 | | 2 | | |
| | Orden | | | 1 | | 3 | | 2 | | |

Nota: La evaluación nos da valor numérico a la calificación y un orden a las alternativas analizadas como posibilidad.

Tabla 12*Evaluación de opciones de proyectos preliminares de solución según su valor técnico*

| N° | Criterios puntuación | g | Opción 1 | | Opción 2 | | Opción 3 | | Opción ideal | |
|----|-------------------------|---|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | | | p | gp | p | gp | p | gp | p | Gp |
| 1 | Funcionalidad | 6 | 3 | 18 | 2 | 12 | 1 | 6 | 4 | 32 |
| 2 | Geometría | 6 | 3 | 18 | 3 | 18 | 2 | 12 | 4 | 28 |
| 3 | Fuerza | 6 | 3 | 18 | 2 | 12 | 2 | 12 | 4 | 32 |
| 4 | Material | 7 | 3 | 21 | 2 | 14 | 2 | 14 | 2 | 14 |
| 5 | Cinemática | 6 | 3 | 18 | 3 | 18 | 2 | 12 | 4 | 32 |
| 6 | Fabricación | 8 | 2 | 16 | 2 | 16 | 2 | 16 | 4 | 24 |
| 7 | Señales | 6 | 3 | 18 | 2 | 12 | 2 | 12 | 4 | 28 |
| 8 | Seguridad | 8 | 3 | 24 | 1 | 8 | 2 | 16 | 4 | 36 |
| 9 | Ergonomía | 6 | 3 | 18 | 2 | 12 | 2 | 12 | 4 | 32 |
| 10 | Montaje | 6 | 2 | 12 | 2 | 12 | 1 | 6 | 4 | 28 |
| 11 | Mantenimiento | 8 | 3 | 24 | 2 | 16 | 2 | 16 | 4 | 28 |
| 12 | Uso | 6 | 3 | 18 | 2 | 12 | 2 | 12 | 4 | 28 |
| | Puntaje $\sum gp$ | | | 223 | 25 | 162 | | 146 | | 356 |
| | Valor técnico xi | | | 0.62 | | 0.45 | | 0.40 | | 1 |
| | Orden | | | 2 | | 1 | | 3 | | |

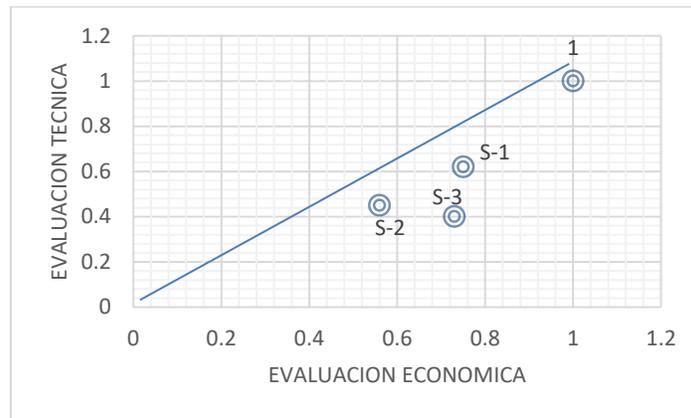
Nota: La evaluación nos da valor numérico a la calificación y un orden a las alternativas analizadas como posibilidad.

3.1.2.2. Evaluación técnica económica

Obteniendo la evaluación ponderada para cada alternativa de solución se realizará la evaluación técnica económica para seleccionar la de mayor conveniencia para nuestro caso de aplicación.

Figura 34

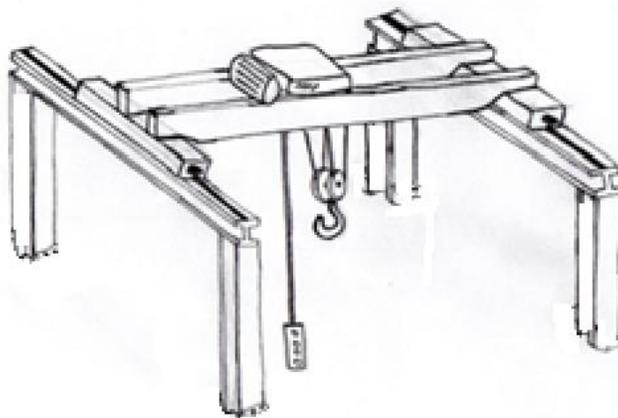
Evaluación técnica económica de soluciones.



Nota: Elaboración propia

Figura 35

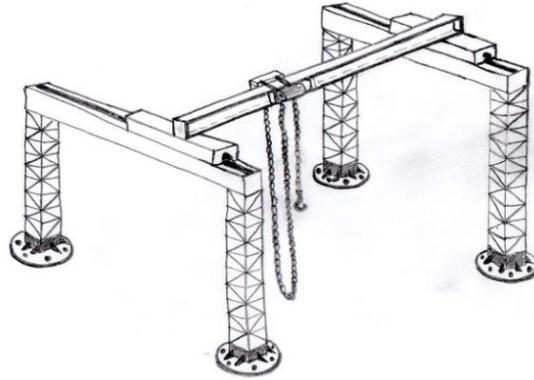
Bosquejo de solución 1.



Nota: Bosquejo de la primera alternativa de solución, elaboración propia.

Figura 36

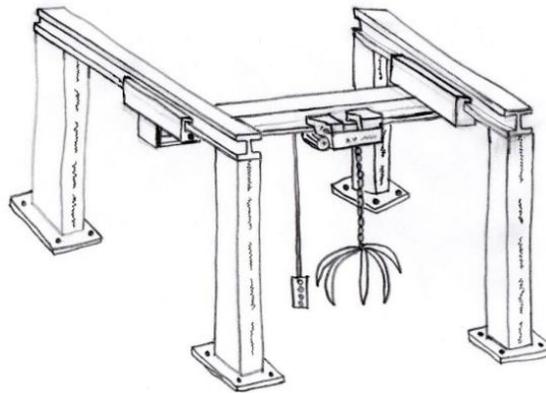
Bosquejo de solución 2.



Nota: Bosquejo de la segunda alternativa de solución, elaboración propia.

Figura 37

Bosquejo de solución 3.



Nota: Bosquejo de la tercera alternativa de solución, elaboración propia.

Se selecciona la primera alternativa de solución por su mayor rendimiento técnico y viabilidad económica, al mostrar un equilibrio óptimo entre funcionalidad, eficiencia, seguridad y mantenimiento, alineándose con los objetivos del proyecto.

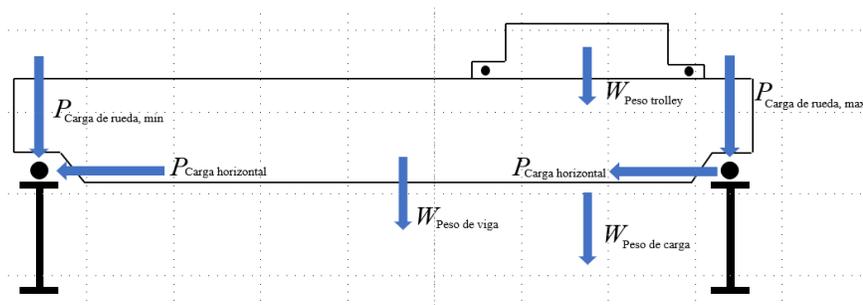
3.2. Especificaciones de la grúa

La grúa fue diseñada con una capacidad de carga de 20 toneladas. Su extensión o envergadura es de 13 m para compensar por el espacio del taller que es de 14m. La altura máxima de elevado es de 7 m. El ciclo de trabajo es asumido como moderado, clase C según el apartado 2.4 de CMAA70 por ser un taller de reparaciones para FERREYROS. Revisar Anexo III

El tipo de puente grúa diseñado es del tipo doble viga, este tipo de puente es recomendado para aplicaciones de servicio pesado (heavy duty) generalmente mayor a 20 toneladas y envergaduras largas. Para el diseño se consideró el peso de la carga y cualquier aumento de carga potencial. Este factor incluye el peso de equipo para elevación (polipasto, carro, etc.). Según la norma CMAA 70 todo material estructural utilizado debe cumplir las especificaciones del material ASTM-A36, por tal motivo se utiliza acero A36. Los cálculos estructurales siguen recomendaciones de la norma DIN 120 y DIN 15011.

Figura 38

Cargas consideradas para el diseño



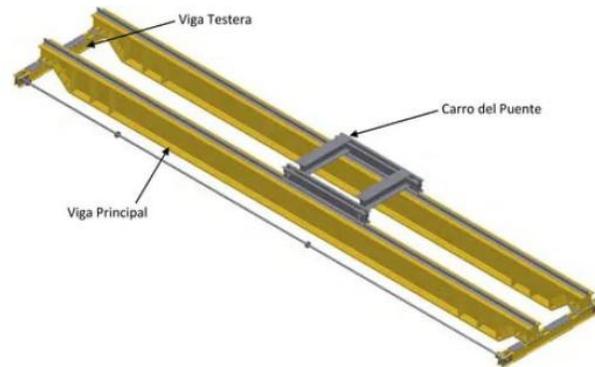
Nota: Elaboración propia

En el diagrama de fuerzas de la **Figura 44** se colocó las cargas consideradas para el diseño mecánico estructural tales como el Peso de la viga, el peso de la carga, el peso del Trolley y cargas de soportes de las dos ruedas

3.3. Diseño mecánico estructural

Figura 39

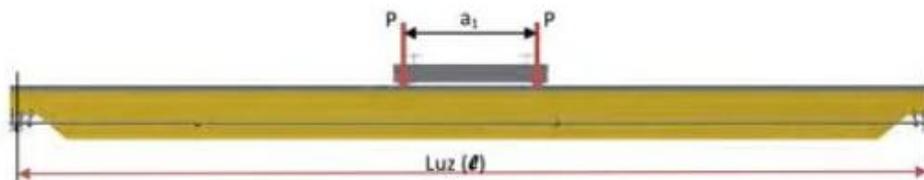
Imagen de puente grúa de viga doble



Nota: Elaboración propia

Figura 40

Vista lateral de puente grúa



Nota: Elaboración propia

Se tienen los siguientes datos:

Longitud (l): 1300 cm

Capacidad de puente grúa: 20 Ton

Distancia ejes de ruedas (a_1): 210 cm

Pasarela: No

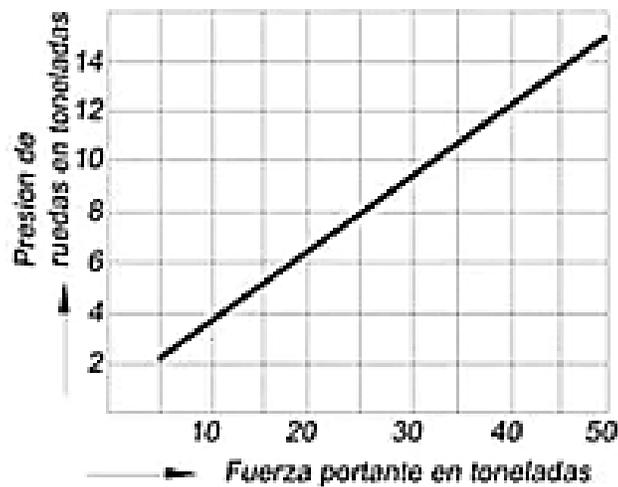
Cabina: No

La deflexión máxima permitida para grúas con elementos móviles según la sección 3.5.5 de la norma CMAA70 es de 1/888 donde la deflexión máxima de 1.46 cm≈1.5 cm.

En la **Figura 10** la carga puntual de contacto de la rueda del carro con el riel de la viga es de 6250 kg para una fuerza portante de 20 toneladas. Calculamos la inercia requerida J con el Módulo de Young del acero E=200GPa (Budynas & Keith, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 2012).

Figura 41

Presiones ejercidas por las ruedas del carro eléctrico con sistema de elevación auxiliar.



Nota: Adaptado de *Die Hebezeuge*, (p. 90.), por Friedr y Sohn, 1961, Winden und Krane (Band II)

Se utilizó la ecuación Nro. 20 propuesta por (Yunga, 2013) para calcular el momento de inercia J:

$$d = \frac{P}{48JE} (L-a_1)[3L^3 - (L-a_1)^2] \quad (7)$$

Donde:

P: carga =6250 kg

E: Modulo de Young= 200 Gpa

d: Deflexión máxima= 1.5 cm

L: Longitud= 1300cm

a1: Distancia de eje de ruedas= 210 cm

Para determinar el momento de inercia J:

$$1.5\text{cm} = \frac{6250 \text{ kg}}{48 * J * 250\text{GPa}} (1300\text{cm} - 210 \text{ cm}) [3 * (1300\text{cm})^3 - (1300\text{cm} - 210 \text{ cm})^2]$$

$$J = 188169.5 \text{ cm}^4 = 0.001881695 \text{ m}^4$$

Seleccionamos una viga tipo encajonada por soportar esfuerzos de flexión tanto como torsionales. Procedemos a hallar la altura económica de viga usado en (Yunga, 2013).

$$h = \frac{L}{15} = \frac{1300\text{cm}}{15} = 86.6\text{cm} \approx 0.9\text{m}$$

Las dimensiones de la viga encajonada escogida en la siguiente relación son valores típicos en puentes grúa alrededor del mundo, las uniones de las planchas de 1 cm y 0.6 cm deben hacerse con uniones tipo soldadura en T proceso SMAW.

Ancho patín superior $A_{ps} = A_{pi}: 50 \text{ cm} = 0.5 \text{ m}$

Espesor patín superior $E_{ps} = E_{pi}: 1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m}$

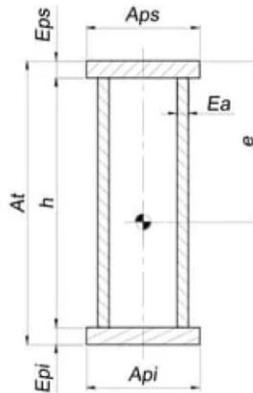
Altura $H: 90 \text{ cm} = 0.9 \text{ m}$

Espesor del alma $E_a: 0.6 \text{ cm} = 0.06 \text{ m}$

Densidad del material de la viga (Acero): 7800 kg/m^3

Figura 42

Sección de viga encajonada principal (viga de perfil de alma llena doble)



Nota: Adaptado de *Diseño y selección de la viga principal* (Figura 16, p. 51), por (Yunga, 2013)

Usando la ecuación número 22 de Yunga (2013, p.51), se calcula el nuevo momento de inercia:

$$J_p = \left(\frac{E_a h^3}{12} \right) + \left[A_{ps} * E_{ps} * \left(e - \frac{E_{ps}}{2} \right)^2 \right] + \left[A_{pi} * E_{pi} * \left(A_t - e - \frac{E_{pi}}{2} \right)^2 \right] + \left[2 * h * E_a * \left(e - \frac{h}{2} \right)^2 \right]$$

Donde:

Ea : Espesor del alma = 0.6 cm = 0.06 m

h : Altura = 90 cm = 0.9 m

Aps : Ancho de patín superior= 50cm = 0.5 m

Eps : Espesor patín superior= 1cm = 0.01 m

Api : Ancho de patín superior= 50cm = 0.5 m

Epi : Espesor de patín inferior= 1cm = 0.01 m

Con esta nueva inercia usamos la ecuación (8) donde nos sale que la nueva flecha es 1.13 cm y cumple con la condición ser menor que la flecha máxima de 1.46 cm. Además, se sabe ahora que el peso del perfil es 2019.12 kg. Se calculan las propiedades de la sección. Comenzando con el cálculo de momento resistente a la compresión W_{xo} , momento resistente a la flexión W_{xu} y módulo de sección S_x .

Dado que el perfil es simétrico, el valor será el mismo para los tres casos. Se utilizan la ecuación 24 de Yunga (2013, p. 52).

$$W_{xo} = \frac{J_p}{e} \quad (8)$$

Donde:

$$J_p: \text{Nuevo momento de inercia} = 243583 \text{ cm}^4 = 0.00243583 \text{ m}^4$$

$$e: \text{Distancia media del perfil de la viga} = 46 \text{ cm} = 0.46 \text{ m}$$

Se hace el uso de la ecuación 25 de Yunga (2013, p. 52), Al ser el perfil simétrico entonces tendríamos:

$$W_{xo} = W_{xu} = S_x = 5295.28 \text{ cm}^3 = 0.00529528 \text{ m}^3$$

De acuerdo con las propiedades del material A36, el esfuerzo de fluencia es $F_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$. A continuación, se calcula el momento de fluencia utilizando la ecuación 31 de Yunga (2013, p. 55), el módulo plástico con la ecuación 33 y el momento plástico mediante la ecuación 34 del mismo autor (p. 55).

$$\text{Momento de Fluencia} = M_y = F_y S_x = 327\,502.99 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\text{Módulo Plástico} = Z_x = A_f h_f + A_w (h/4) = 0.00698 \text{ m}^3$$

$$\text{Momento Plástico} = M_p = F_y Z_x = 11710\,660.88 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Donde:

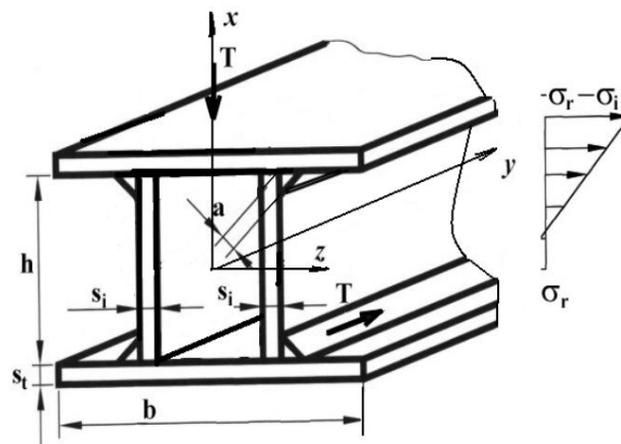
- A_f Área del ala
- h_f Altura o espesor del ala
- A_w Área del alma
- h Altura de la viga

Cálculo de los cordones soldados en viga encajonada

Los cordones de soldadura que conectan el alma con las alas están expuestos a esfuerzos de corte debido al deslizamiento relativo de las alas. Para determinar las tensiones tangenciales generadas, se aplica la fórmula de Jourawski.

Figura 43

Efecto de corte en los cordones soldados



Nota: Esquema de tensiones para corte en vigas del puente grúa.

Para el cálculo de tensiones tangenciales se aplica ecuación 3.28 de Griborio (2010, p. 33).

$$\tau_s = \frac{T.S}{2a.I}$$

Donde:

T : Fuerza cortante.

S : Momento estático del ala respecto al eje neutro.

$2a$: Espesor de la sección donde ocurre el deslizamiento.

a : Tamaño del cordón de soldadura ($a = 0.7 \times s_i$) ($a = 0.7 s_i$).

I : Momento de inercia de la sección de la viga.

Para calcular la fuerza de corte, se utilizará la ecuación 3.29 de Griborio (2010, p. 33).

$$S = b.s_t \cdot \frac{h}{2}$$

Se utilizará la ecuación 3.30 de Griborio (2010, p. 33), para el momento de inercia.

$$I = 2 \frac{s_i h^3}{12} + 2s_t \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2$$

Reemplazando las ecuaciones S e I en τ_s

$$\tau_s = \frac{T \cdot b \cdot s_t \cdot \frac{h}{2}}{2a \cdot \left(2 \frac{s_i h^3}{12} + 2s_t \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2\right)}$$

$$\tau_s = \frac{3 \cdot T \cdot b \cdot s_t}{2a \cdot (s_i h + 3 \cdot s_t \cdot b) \cdot h}$$

Por lo tanto, la tensión equivalente en la soldadura se expresa como:

$$\sigma_e = \sqrt{1,8. \tau_s^2} = 1,34. \frac{3. T. b. s_t}{2a. h. (s_i h + 3. s_t. b)}$$

$$\sigma_e = \frac{2. T. b. s_t}{a. h. (s_i h + 6. s_t. b)}$$

Limitada por solicitaciones estáticas teniendo un $k = 1$, factor de corrección o eficiencia de la unión (a menudo se toma como 1 si no hay defectos):

$$\sigma_e \leq \sigma_{as} = k. \varphi. \sigma_e = 0,65. \sigma_a$$

$$\sigma_e \leq 0,65. \sigma_a$$

3.4. Análisis estructural de la viga por Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD)

Análisis de inestabilidad por pandeo para el ala y el alma.

Calculamos para el ala donde λ es la relación de esbeltez. Usamos la ecuación 36 de Yunga (2013, p. 58).

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \tag{9}$$

Donde:

b_f : Ancho de patín= 50cm

t_f : Espesor de patín= 1cm

$$\lambda = \frac{50 \text{ cm}}{2 * 1 \text{ cm}} = 25$$

De acuerdo con la **Tabla 13**:

$$\lambda_p = \frac{545}{\sqrt{F_y}}$$

Donde:

F_y : Esfuerzo de fluencia del material A36 = 250 *Mpa*

λ_p : Relación de esbeltez de la sección compactada

Sustituyendo obtenemos:

$$\lambda_p = 31.8$$

Al ser $\lambda = 25 < \lambda_p = 31.8$ significa que es compacto en el régimen elástico según (Fratelli, 2003) luego se procede a calcular el momento teórico M_t donde momento plástico es $M_p = 17450000 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ y $\phi_b = 0.9$ factor de diseño según (Fratelli, 2003).

$$M_t = \phi_b \cdot M_p = 0.9 \cdot 17450000 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 1540198.58 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Tabla 13

Relaciones ancho/espesor para elementos comprimidos rigidizados

| Cuadro 8 Relaciones ancho/espesor para elementos comprimidos no rigidizados | | | | |
|--|------------------------|---------------------------------|------------------------------|---|
| Valores Limites | | | | |
| Elemento | Relación ancho/espesor | Sección plástica λ_{pd} | Sección compacta λ_p | Sección no compacta λ_r |
| Compresión por flexión: Alas de vigas híbridas doble "T" y soldadas | b/t | $\frac{436}{\sqrt{F_y}}$ | $\frac{545}{\sqrt{F_y}}$ | $\frac{1360}{\sqrt{\frac{(F_y - F_r)}{K_c}}}$ |
| Para el alma | h/t _w | $\frac{4360}{\sqrt{F_y}}$ | $\frac{5370}{\sqrt{F_y}}$ | $\frac{8130}{\sqrt{F_y}}$ |

| Cuadro 9 Relaciones ancho/espesor para elementos comprimidos rigidizados | | | | |
|--|------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Valores Limites | | | | |
| Elemento | Relación ancho/espesor | Sección plástica λ_{pd} | Sección compacta λ_p | Sección no compacta λ_r |
| Compresión por flexión: Alas de sección cajón cuadrada o rectangular, secciones huecas de espesor uniforme. Planchas de cubierta y diafragma entre líneas de conectores o cordones de soldadura. | b/t | | $\frac{1590}{\sqrt{F_y}}$ | $\frac{2000}{\sqrt{F_y}}$ |
| Para el alma | h/t _w | $\frac{4360}{\sqrt{F_y}}$ | $\frac{5370}{\sqrt{F_y}}$ | $\frac{8130}{\sqrt{F_y}}$ |

Nota: Recuperado de (Fratelli, 2003)

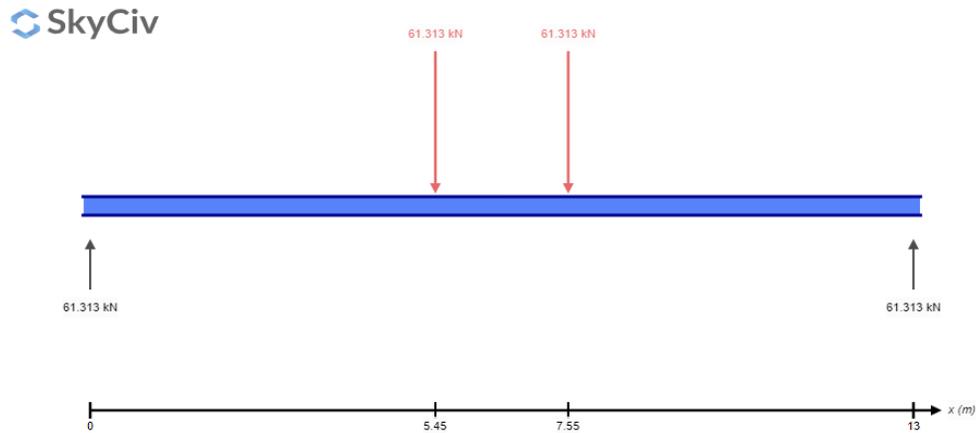
La resistencia de diseño en flexión debe cumplir que $\phi_b M_t \geq M_u$. M_u es la resistencia requerida a flexión y es la suma de los momentos máximos de cargas vivas y carga muerta.

M_g es el momento máximo de carga viva, M_{g1} es el momento máximo de carga muerta (peso de la viga) y M_{g2} es momento por peso del carro de traslación. (Carlos Merma, 2022) A continuación, pasaremos a hallar estos valores y confirmamos nuestros cálculos con el software SkyCiv.

Como la carga de las ruedas es de 6250 kg como lo seleccionamos en la **Figura 44** lo convertimos a kilo newtons para su simulación en SkyCiv lo cual nos da 61.313 kN.

Figura 44

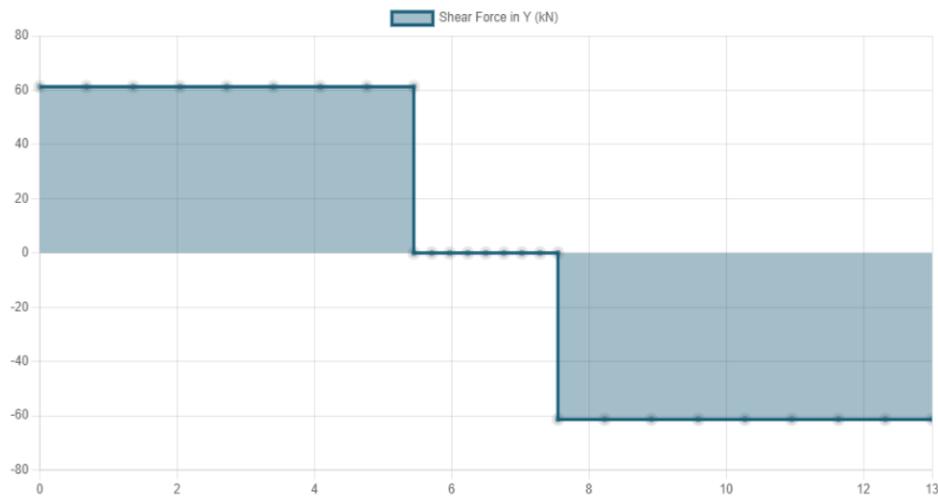
Diagrama de fuerza, 2 cargas móviles P de igual magnitud



Nota: Elaboración propia

Figura 45

Diagrama de fuerza cortante para 2 cargas móviles P de igual magnitud

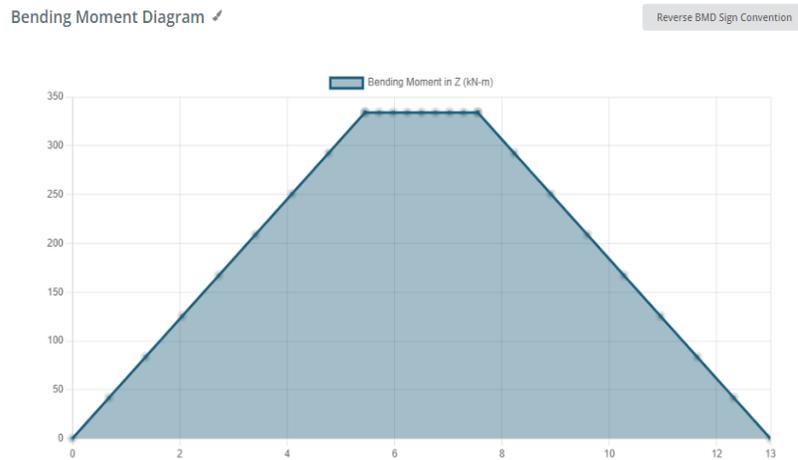


Nota:

Elaboración propia

Figura 46

Diagrama de Momentos flectores para 2 cargas móviles P de igual magnitud



Nota: Elaboración propia

Usamos la ecuación 8 de (Yunga, 2013) el momento máximo de una viga solicitada bajo 2 cargas móviles P de igual magnitud es:

$$\max, M_g = P \left[\frac{\left(1 - \frac{a_1}{2}\right)^2}{2l} \right] = 6125 \left[\frac{\left(13 - \frac{2 \cdot 1}{2}\right)^2}{13} \right] = 333947.70 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Figura 47

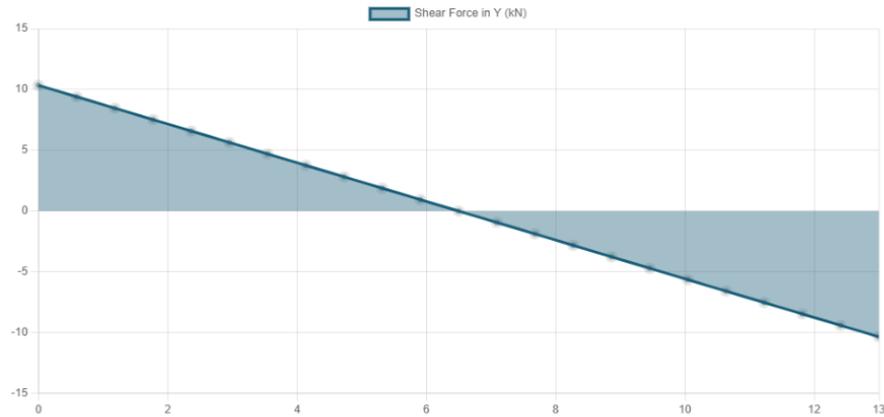
Diagrama de fuerza para cargas Muertas



Nota: Elaboración propia

Figura 48

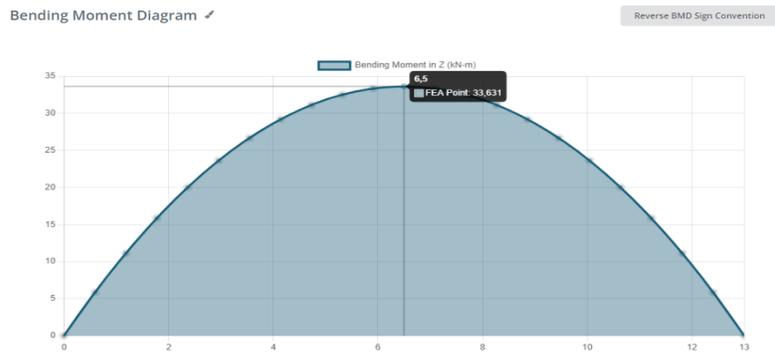
Diagrama de fuerza cortante para cargas Muertas



Nota: Elaboración propia

Figura 49

Diagrama de momentos para cargas muertas



Nota: Elaboración propia

Usamos la ecuación 10 de Yunga (2013, p. 47) para calcular el momento máximo de carga muerta.

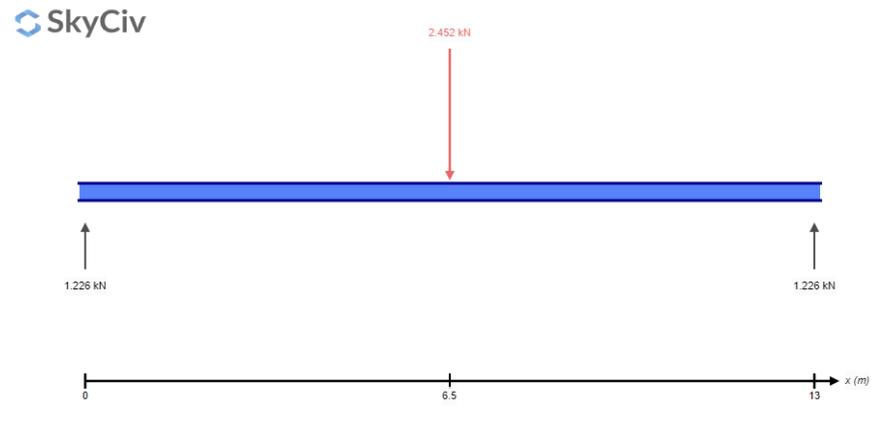
$$M_{g1} = \frac{g_e l^2}{8} = 33\,616.61 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (9)$$

Donde:

g_e : Peso por metro lineal de la viga

Figura 50

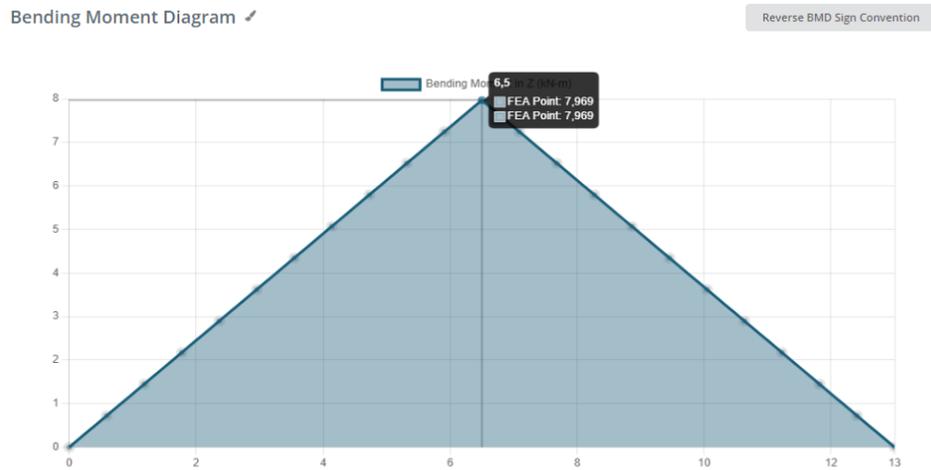
Diagrama de fuerzas para carga centrada del peso del carro



Nota: Elaboración propia

Figura 51

Diagrama de momentos por carga centrada del peso del carro



Nota: Elaboración propia

Usamos la ecuación 11 de Yunga (2013, p. 47) para calcular el momento producido por el peso del carro de traslación:

$$M_{g2} = \frac{g_2 l}{2 \times 4} = 81233.44 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

$$M_{g2} = 81233.44 \text{ kg}\cdot\text{cm} \left(0.0980665 \frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\text{kg}\cdot\text{cm}} \right) = 7968.48 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Donde:

g_2 : Carga puntual del carro.

Ya con todo resuelto tendríamos lo siguiente

$$M_g = 3406279.307 \text{ kg}\cdot\text{cm} = 334041.889 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$M_{g1} = 342823.65 \text{ kg}\cdot\text{cm} = 33619.515 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$M_{g2} = 81233.44 \text{ kg}\cdot\text{cm} = 7966.279 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Por último, para hallar la resistencia requerida a flexión M_u según (Fratelli, 2003) sumamos los momentos máximos de cargas vivas, carga muerta y momento por peso del carro de traslación:

$$M_u = M_g + M_{g1} + M_{g2}$$

$$M_u = 3406279.307 \text{ kg}\cdot\text{cm} + 342823.65 \text{ kg}\cdot\text{cm} + 81233.44 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

$$M_u = 3830336.39 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

$$M_u = 3.76 * 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Según Yunga (2013, p. 58), en su ecuación 35, la resistencia de diseño a la flexión debe cumplir la siguiente relación:

$$M_u < \phi_b M_t$$

Entonces sustituimos:

$$M_u = 3.76 * 10^5 N.m < \phi_b M_t = 1.54 * 10^6 N.m \quad \text{OK}$$

El ala cumple los requerimientos de diseño en flexión.

Calculo para el alma:

$$\lambda = \frac{90}{0.6} \rightarrow \lambda = 150 \text{ de acuerdo con la } \mathbf{Tabla 13}, \lambda_p = 107.4 \leq \lambda = 150 \leq \lambda_r = 162.6$$

Se determinó que el perfil es no compacto en el alma por tal razón **el pandeo local se origina en el rango elastoplástico**. Según Yunga (2013, p. 59), en su ecuación 38:

$$M_t = M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \leq M_p$$

Donde:

- $M_p = F_y Z_x$
- $M_r = F_L S_x$
- F_L es el menor valor entre $(F_{yf} - F_r)$ y F_{yw}
- F_{yf} es el esfuerzo cedente en las alas
- F_{yw} es el esfuerzo cedente del alma

- $F_r = 1160 \text{ kg/cm}^2$ es el esfuerzo residual de compresión en el ala (Yunga, 2013)

$$M_t = 939065.79 \text{ N.m} < M_p = 1710660.88 \text{ N.m} \quad \text{OK}$$

El alma cumple con el diseño de acuerdo con la flexión y, al ser más esbelta que el ala, es la que garantiza que la viga no se flecte.

Se calculó también el esfuerzo máximo para los requerimientos de carga y también la fatiga admisible. Para la carga utilizamos los factores de corrección $\psi = 1.4$ y Coeficiente de choque $\phi = 1.1$. Al ser una máquina en operación con cargas principales, inercia y viento, el coeficiente $\psi = 1.4$ se escoge porque el tipo de máquina es un puente grúa de taller y de parque y pertenece al grupo II según la clasificación en la **Tabla 14**.

De acuerdo con la tabla de esfuerzos Admisibles en la **Tabla 16** para elementos de estructuras metálicas el esfuerzo de fatiga máximo para aceros de 37kg, equivalentes a aceros A36 soportan hasta 140 Mpa en fatiga en el caso 1 y 160 Mpa para el caso 2. El caso 1 está compuesto por la forma más desfavorable de aplicación de las cargas fija y móviles, contracción oblicua sobre el cable y cargas por diferencias de temperatura, Para ello, usamos la ecuación 19 de Yunga (2013, p. 49):

$$\sigma_{\text{caso 1}} = \frac{\phi(M_{g1} + M_{g2}) + \psi \max.M_p}{W_x} \leq \sigma_{\text{adm}}$$

$$\sigma_{\text{caso 1}} = 96.96 \text{ Mpa} < 140 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

El caso 2 este compuesto por la aplicación más desfavorable de las cargas del caso 1 sumado a las fuerzas de frenado y horizontales igualmente usamos la ecuación 19 de Yunga (2013, p. 49):

$$\sigma_{\text{caso 2}} = \left[\frac{\varphi(M_{g1} + M_{g2}) + \psi \max.M_p}{W_x} \right] + \left[\frac{\max.M'_p + M'_{g1}}{\frac{W_y}{2}} \right] = \leq \sigma_{\text{adm}}$$

W_x y W_y se han de referir al mismo punto de la sección, el que da la sollicitación más desfavorable. (Yunga, 2013)

$\max.M'_p = \frac{\max.M_p}{14}$ Fuerza de inercia horizontal generada por la carga y el peso del carro.

$M'_{g1} = M_{g1}/14$ Momento flector horizontal causado por el peso propio de la viga.

Realizamos la ecuación 19 de Yunga (2013, p. 49):

$$\sigma_{\text{caso 2}} = 120.119 \text{ Mpa} < 160 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

Cálculo de cordones de soldadura

A partir de la carga máxima del puente grúa se calcular V_{max}

$$V_{max} = 20\,000 \cdot 9.81 = 196200 \text{ N} = 0.1962 \text{ MN}$$

$$a = 0.7s_i$$

$$a = 0.7(0.006) = 0.0042$$

$$\sigma_e = \frac{2.V_{max}.b.s_t}{a.h.(s_i.h + 6.s_t.b)} = \frac{2(0.1962)(0.5)(0.01)}{0.0042(0.9)(0.006(0.9) + 6(0.01).0.5)} = 14.662 \text{ Mpa}$$

Limitada con carga estática:

$$\sigma_e \leq \sigma_{as} = k \cdot \varphi \cdot \sigma_e = 0.65 \cdot \sigma_a$$

$$0.65 \cdot \sigma_a = 0.65 * 275 \text{ MPa} = 178 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_e \leq \sigma_a$$

$$\sigma_e = 14.662 \text{ Mpa} < 178 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

Tabla 14

Coefficiente de corrección

Cuadro de Coeficiente de corrección

| Grupos | Coefficientes de corrección ψ |
|--------|------------------------------------|
| I | 1,2 |
| II | 1,4 |
| III | 1,6 |
| IV | 1,9 |

Nota: Recuperado de (FRIEDR y SOHN, 1961)

La Tabla 15 presenta los valores del **coeficiente de choque** (ϕ) en función de la **velocidad de traslación** del puente grúa y del tipo de carril utilizado. Se observa que cuando las velocidades son moderadas (≤ 1.0 m/s para carriles con juntas normales y ≤ 1.5 m/s para carriles sin juntas o con juntas soldadas), el coeficiente de choque recomendado es **1.1**. Para velocidades mayores a 1.5 m/s, el coeficiente se incrementa a **1.2**, reflejando el aumento del impacto dinámico en la estructura.

Tabla 15

Coeficiente de choque

Cuadro de Coeficiente de choque

| Velocidad de Traslación (m/s) | | Coeficiente de choque ϕ |
|-------------------------------|---|---------------------------------|
| Carril con juntas normales | Carril sin juntas o con juntas soldadas | |
| $\leq 1,0$ | $\leq 1,5$ | 1,1 |
| $> 1,5$ | $> 1,5$ | 1,2 |

Nota: Recuperado de (FRIEDR y SOHN, 1961)

Tabla 16

Esfuerzos Admisibles para elementos de estructuras metálicas

| Elementos | Solicitud | Parámetros en estructuras en celosía, compuesta, pies derechos | | | | Materiales | Calculadora sobre la |
|-------------------------------|----------------------------|--|--------|----------------|--------|-----------------------|----------------------|
| | | Acero de 37 kg | | Acero de 52 kg | | | |
| | | Caso 1 | Caso 2 | Caso 1 | Caso 2 | | |
| a. Barras Chapas, etc | {Tracción y flexión} | 1400 | 1600 | 2100 | 2400 | | |
| | Cortadura τ_{adm} | 1120 | 1280 | 1680 | 1920 | | |
| b. Remaches | Cortadura $\tau_{c adm}$ | 1120 | 1280 | 1120 | 1280 | Remaches en St 34-13 | Sección del agujero |
| | | - | - | 1680 | 1920 | >> en St 44 | |
| | Aplast. $\sigma_{m adm}$ | 2800 | 3200 | 2800 | 3200 | >> en St 34-13 | |
| | | - | - | 4200 | 4800 | >> en St 44 | |
| c. Tornillos ajustados | Cortamiento $\tau_{c adm}$ | 1120 | 1280 | 1120 | 1280 | Tornillos en St 38-13 | Sección del agujero |
| | | - | - | 1680 | 1920 | >> en St 52 | |
| | Aplast. $\sigma_{m adm}$ | 2800 | 3200 | 2800 | 3200 | >> en St 38-13 | |
| | | - | - | 4200 | 4800 | >> en St 52 | |
| | | Aplast. σ_{adm} | 1000 | 1100 | 1000 | 1100 | >> en St 38-13 |
| - | - | 1500 | 1700 | >> en St 52 | | | |

Nota: Recuperado de (FRIEDR y SOHN, 1961)

Tabla 17*Clasificación de las máquinas de elevación*

| Tipo de maquina | Grupo | Observaciones |
|--|--------|---|
| 1 Polipastos, gatos y dispositivos manuales | I | |
| 2 Puentes grúa de uso central | I-II | |
| 3 Puentes grúa para locomotoras | II | |
| 4 Puentes grúa de taller y parque (baja capacidad) | II-III | Las máquinas de menor tamaño son más propensas a sufrir sobrecargas durante su operación. |
| 5 Puentes grúa de taller y parque (alta capacidad) | II | |
| 6 Puentes grúa para trabajos de montaje | I-III | |

Nota: Adaptado de (FRIEDR y SOHN, 1961) p.297

3.5. Análisis de elementos finitos para viga principal

De acuerdo con el modelo numérico analizado en ANSYS, la deformación máxima obtenida (**Figura 53**) es de 10.4 mm, lo cual representa el desplazamiento máximo que sufre la estructura bajo la carga aplicada; este valor permite evaluar si la pieza mantiene su funcionalidad sin comprometer otras partes del sistema. Según lo simulado en la **Figura 54**, el factor de seguridad es 4 en la zona superior de la viga, lo que significa que la estructura puede soportar hasta cuatro veces más carga de la que realmente se le aplica, indicando un diseño estructural seguro y conservador. En la **Figura 40** se muestra que el esfuerzo de Von Mises alcanza aproximadamente 118 MPa en esa misma zona.

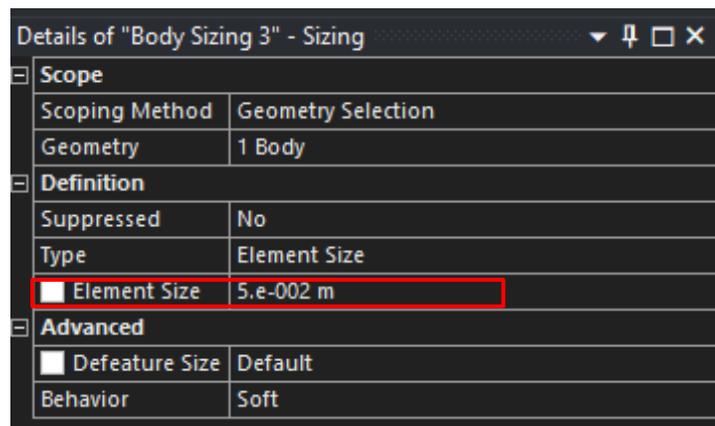
El cálculo analítico en el caso más desfavorable nos da un valor de 120 Mpa, la aproximación nos da un porcentaje de aproximación de 1.76 %, el valor del esfuerzo confirma que la viga trabajará dentro del rango elástico, sin fallar ni deformarse permanentemente.

Finalmente, la deformación elástica equivalente arrojada por la simulación es de 0.486 mm/mm, lo cual representa la relación entre el alargamiento y la longitud original del material, es decir, una deformación del 48.6%. Este valor debe ser verificado, ya que resulta elevado para un material como el acero, que usualmente presenta deformaciones mucho menores en régimen elástico, por lo que podría tratarse de un pico localizado o una interpretación incorrecta de la escala.

Cabe resaltar que para simular las vigas diseñadas en ANSYS se consideró un tamaño de mallado de 50 mm **Figura 52**, tamaño recomendado para vigas según (Rodríguez, 2010) para así conseguir mejores resultados y no sobresaturar nuestro equipo.

Figura 52

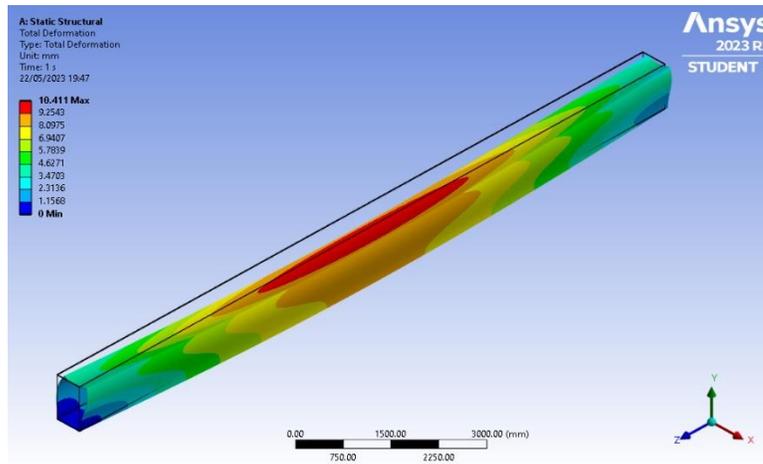
Tamaño de mallado de 50 mm en ANSYS para simulación de la viga principal.



Nota: Detalle de malla. Elaboración propia basada en el modelo de Rodríguez (2010).

Figura 53

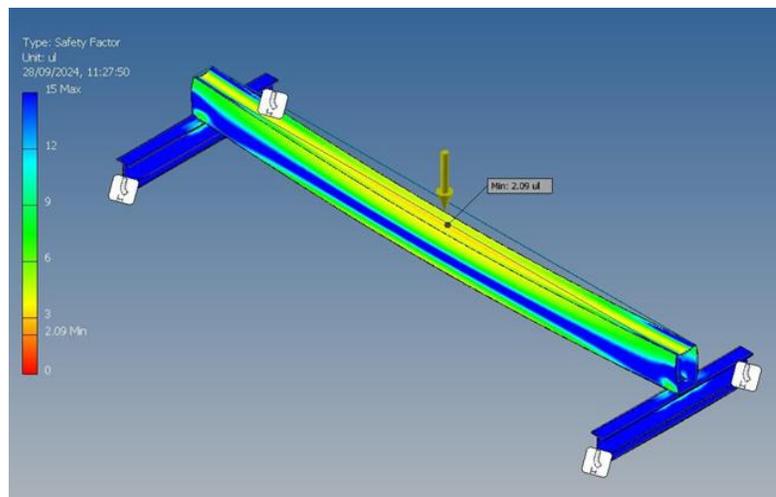
Deformación Total



Nota: La figura muestra una simulación de la deformación total. El valor máximo de deformación se presenta en la parte central de la viga. Elaboración propia.

Figura 54

Simulación para el actor de Seguridad



Nota: El valor de factor de seguridad mínimo obtenido es de 2.09, lo cual indica un diseño estructural dentro de límites aceptables. Captura de ANSYS. Elaboración propia.

3.6. Definiendo Cargas

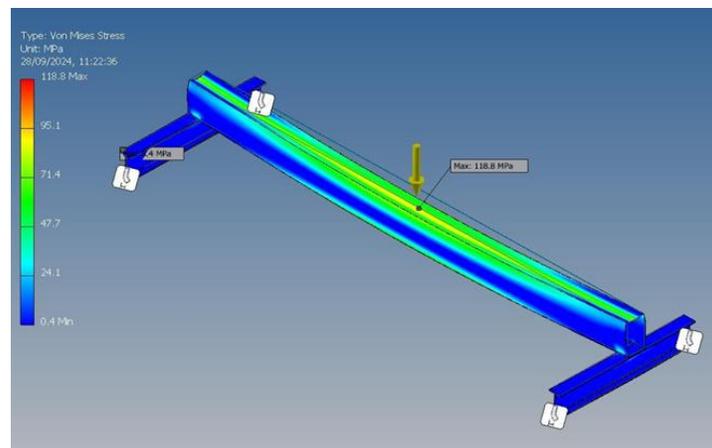
- Sea considerado una carga de 20000kg
- Dicha Carga será distribuida en el centro del perfil rectangular conformado.

3.7. Análisis De Diseño

El análisis se realizará en el software inventor, mediante análisis infinitos.

Figura 55

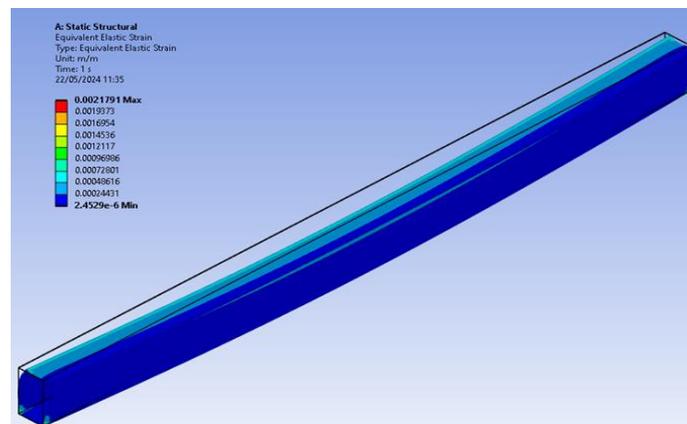
Esfuerzo resultante equivalente de Von Mises en simulación



Nota: El análisis de esfuerzo de Von Mises muestra que tendrá un máximo 118.8MPa.

Figura 56

Deformación elástica equivalente.



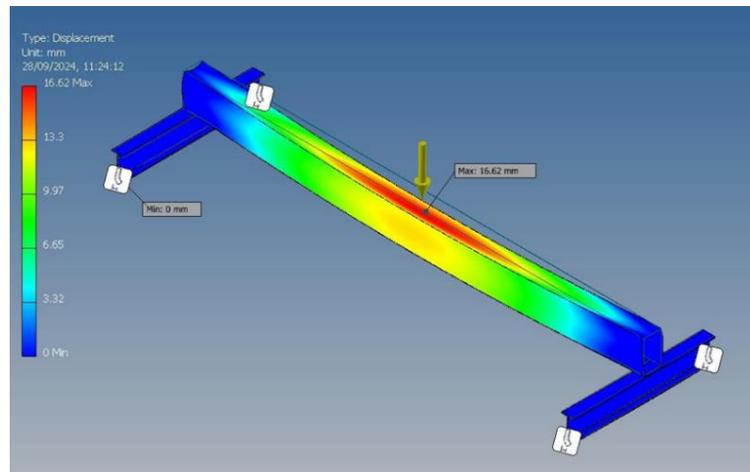
Nota: simulación de deformación elástica. Máx: 0.0021791 m/m. Elaboración propia.

3.8. Análisis de desplazamiento.

El desplazamiento máximo ocurre en sección de la parte central específicamente en la parte superior alcanzando un máximo de 16.62 mm.

Figura 57

Desplazamiento máximo.



Nota: Elaboración propia.

3.9. Análisis modal para viga principal

El análisis modal del ANSYS nos permite calcular numéricamente los 6 primeros modos de vibración para la viga, los valores de frecuencia se ordenan en la **Tabla 18**. En el primer modo de vibración se denota que la activación se da por los motores de traslación lateral. El cuarto modo de vibración es en el que se debe tener especial atención ya que está relacionado con la frecuencia de impulso que puede generar el motor de izaje y la frecuencia en la que se debe evitar que el elemento izado este oscilando en dirección “y”. Por ejemplo, que un motor este colgando y que al ser izado empiece a oscilar en dirección “y”.

Todos los otros modos pueden activarse por cargas laterales ocasionadas por frenos en los motores de carril u oscilaciones de tipo péndulo de las cargas izadas. Para el análisis a desarrollar para la viga principal solo se consideraron fuerzas de condición de contorno desplazamiento al inicio y al final de la viga ya que esta va a estar en constante movimiento por las ruedas.

Tabla 18

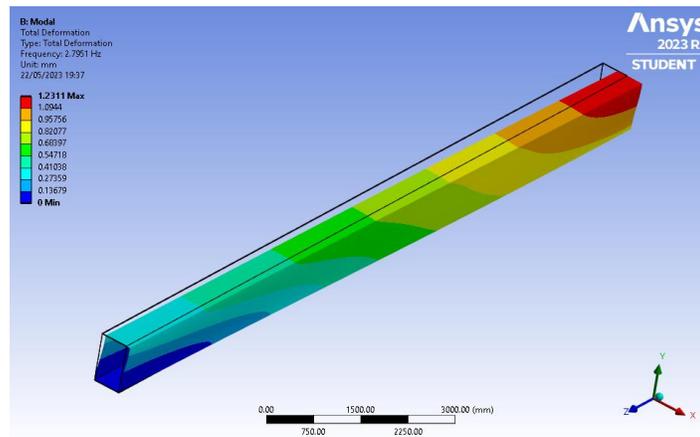
Modos de vibración viga principal

| Modos de vibración | Frecuencia (Hz) |
|---------------------------|------------------------|
| 01 | 2.7951 |
| 02 | 7.7278 |
| 03 | 19.504 |
| 04 | 21.989 |
| 05 | 22.473 |
| 06 | 30.719 |

Nota: Modos de vibración viga principal, Elaboración propia

Figura 58

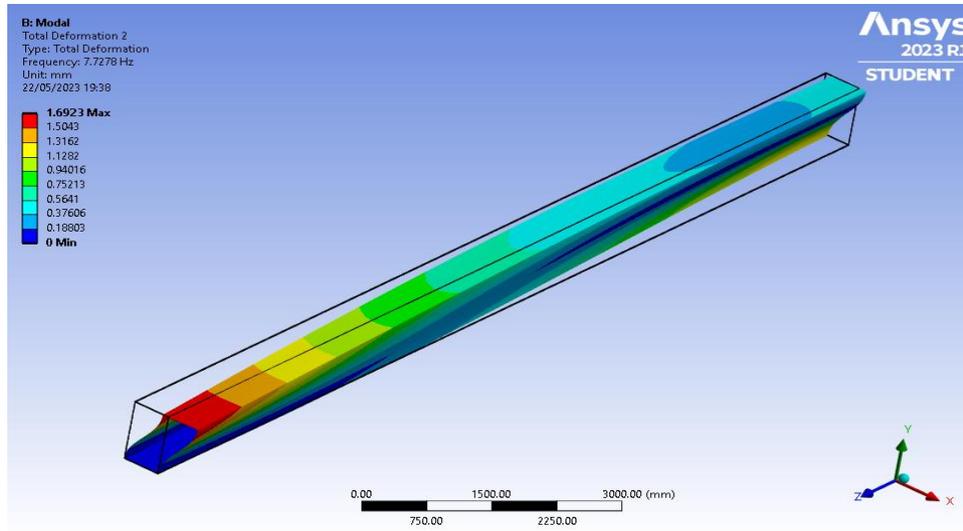
Primer modo de vibración



Nota: Elaboración propia

Figura 59

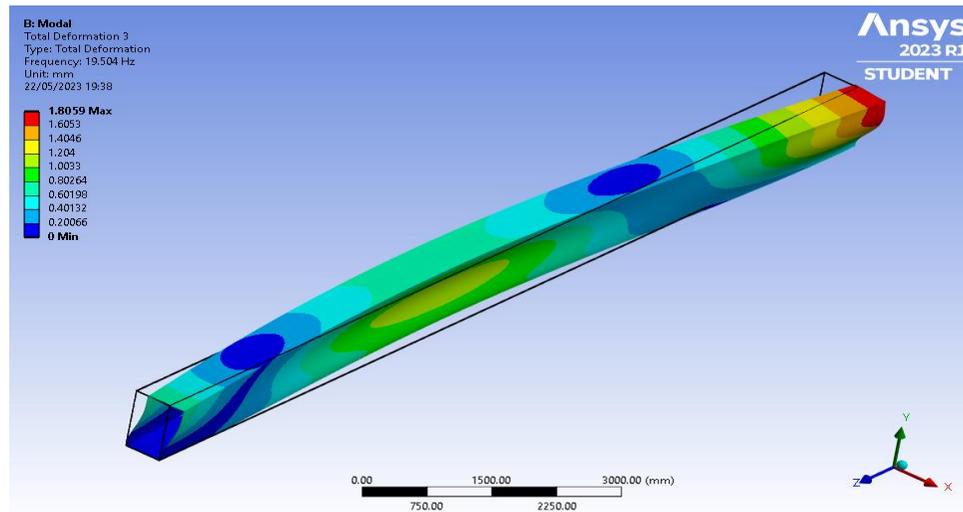
Segundo modo de vibración



Nota: Captura de ANSYS, Elaboración propia

Figura 60

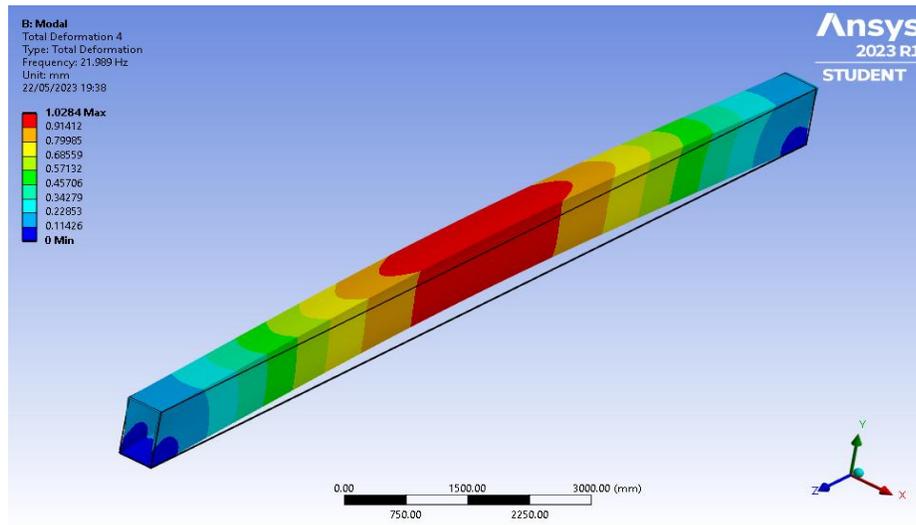
Tercer modo de vibración



Nota: Captura de ANSYS, Elaboración propia

Figura 61

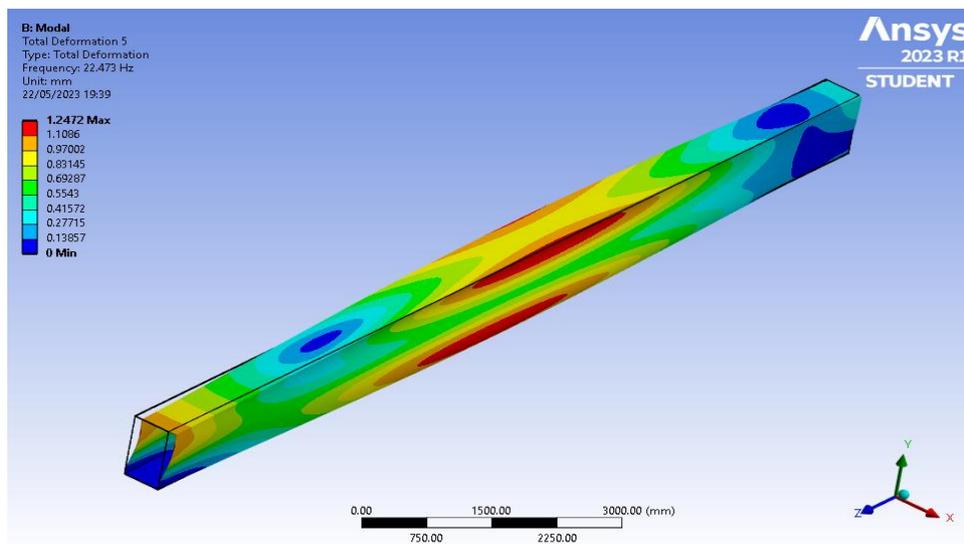
Cuarto modo de vibración



Nota: Captura de ANSYS, Elaboración propia

Figura 62

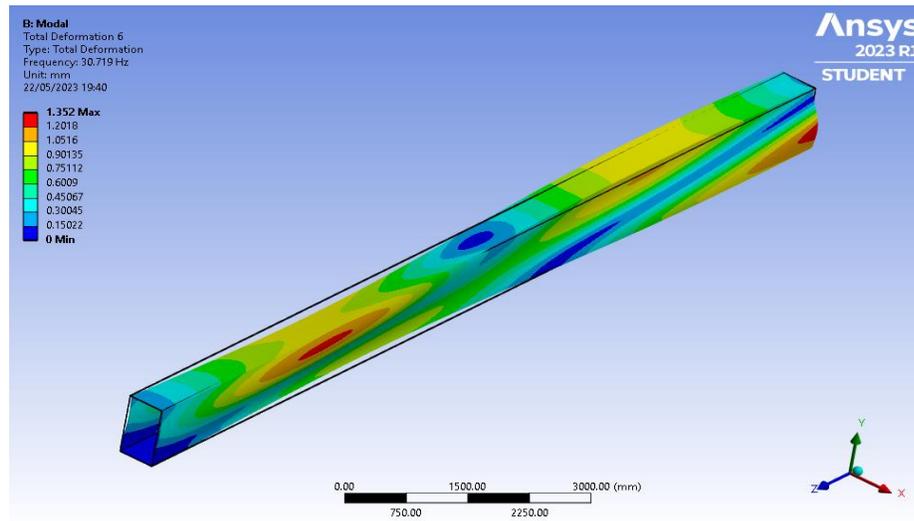
Quinto modo de vibración



Nota: Captura de ANSYS, Elaboración propia

Figura 63

Sexto modo de vibración



Nota: Captura de ANSYS, Elaboración propia

Los resultados presentes muestran la deformación total que causan los 6 distintos modos de vibración, de color azul están los valores mínimos mientras que los máximos están de color rojo. El valor de deformación mayor se tuvo en el tercer modo de vibración de 1.80 mm **Figura 60** lo cual está dentro de los valores aceptados según (Yunga, 2013).

Como las vigas principales son 2 y están influenciadas por las mismas cargas, esta simulación también contempla la 2da viga principal.

3.9.1. Recomendaciones para evitar vibraciones excesivas y ruidos.

Para mitigar vibraciones y ruidos, se deberán considerar las siguientes recomendaciones, organizadas según los aspectos técnicos correspondientes:

a) Frecuencias de operación:

- Asegurar que las frecuencias de operación (como la del motor de izaje) no coincidan con los modos naturales identificados, especialmente el cuarto modo (21.989 Hz), para evitar resonancia.

b) Mantenimiento de equipos móviles:

- Verificar regularmente el alineamiento de ruedas, motores y rieles, ya que desalineaciones pueden generar fuerzas dinámicas adicionales.
- Lubricación adecuada y revisión de sistemas de freno para evitar impactos bruscos que puedan excitar modos de vibración.

c) Control de carga y velocidad:

- Limitar las aceleraciones y desaceleraciones durante el izaje y traslado para evitar oscilaciones del tipo péndulo.

d) Disposición de guías laterales:

- Incorporar guiado mecánico o topes laterales en zonas críticas para reducir oscilaciones transversales de las cargas suspendidas.

e) Monitoreo y mantenimiento predictivo:

- Instalar sensores de vibración (acelerómetros) para detectar patrones anómalos y realizar mantenimiento preventivo.
- Desarrollar un programa de inspección periódica para evaluar posibles fisuras, desgaste o soldadura en uniones.

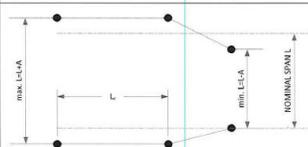
3.10. Especificaciones de tolerancias en construcción

Las especificaciones geométricas para cumplir la instalación y operación del puente grúa de acuerdo con la **Figura 64** son:

- $L=13\text{ m}$
- $L < 50'$, $A = 3/16'' = 4.76\text{ mm} = 5\text{ mm}$
- Rectitud $B = 3/8'' = 9.5\text{ mm} = 10\text{ mm}$
- Elevación $C = 10\text{ mm}$
- Elevación riel a riel
- $L = 13\text{ m} < 50'$
- $D = 3/16'' = 5\text{ mm}$

Figura 64

Tolerancias para el puente grúa

| ITEM | FIGURE | OVERALL TOLERANCE | MAXIMUM RATE OF CHANGE |
|----------------------------|---|--|------------------------|
| CRANE SPAN (L) |  | $L \leq 50'$ $A = 3/16''$ $50' < L \leq 100'$ $A = 1/4''$ $L > 100'$ $A = 3/8''$ | $1/4'' / 20' - 0''$ |
| STRAIGHTNESS (B) |  | $B = 3/8''$ | $1/4'' / 20' - 0''$ |
| ELEVATION (C) |  | $C = 3/8''$ | $1/4'' / 20' - 0''$ |
| RAIL-TO-RAIL ELEVATION (D) |  | $L \leq 50'$ $D = \pm 3/16''$ $50' < L \leq 100'$ $D = \pm 1/4''$ $L > 100'$ $D = \pm 3/8''$ | $1/4'' / 20' - 0''$ |

Nota: Adaptado de *Tolerancias para el puente grúa*, por Crane Manufacturers Association of America Inc (CMAA), 2020, fuente (<https://www.mhi.org/cmaa/specifications>)

3.11. Diseño de las vigas carrileras

Se realizó el diseño de la sección mono-simétrica de la viga testera de acuerdo con la guía criterios de diseño estructural en acero para soporte de grúas de la Institución Canadiense de Construcción de Acero. La viga estará apoyada en 5 ménsulas de la nave de 40 metros de largo por lo que se diseñó la viga con una envergadura de 10 metros de viga vertical a vertical. El peso del puente grúa, peso del carro de grúa, el espaciado entre llantas del puente y carga máxima de llanta son valores recomendados de la guía (MacCrimmon, 2021) pág. 82 y 83

Tabla 19

Criterios de diseño

| <i>Criterio de Diseño</i> | <i>Valor / Unidades</i> |
|--|-------------------------|
| Código y estándares | CSA S16-01 |
| Materiales | ASTM A572 |
| Envergadura | 10,000 mm |
| Envergadura simple | Sí |
| Soporte lateral para ala superior | No |
| ¿Empuje lateral igualmente distribuido en ambos lados? | Sí |
| Número de puentes | 1 |
| Diseño para futuros puentes adicionales | No |
| Disposición para grúas giratorias | No |
| Diseño para futuras mejoras | No |
| Clase de grúas | CMAA Clase C |
| Tipo de trabajo | Moderado |

Nota: Ilustración de diseño de una viga para grúa de sección mono simétrica. Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

Tabla 20
Componentes del Sistema de Izaje

| Elemento | Valor / Unidades |
|------------------------------------|----------------------------|
| Capacidad de cada gancho | 22.68 ton (incluye equipo) |
| Peso del puente grúa | 20.969 kN |
| Peso del carro de grúa | 2,721 kg |
| Llantas por riel | 2 |
| Número total de llantas | 1 |
| Espaciado entre llantas del puente | 3,050 mm |
| Carga máxima por llanta | 169 kN |
| Riel de viga – Carga propia | ASCE 40, 89 mm de alto |
| Riel de viga – Peso por metro | 19.8 kg/m |

Nota: Ilustración de diseño de una viga para grúa de sección mono simétrica. Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

Tabla 21
Componentes del Sistema de Izaje

| Criterio | Valor / Unidades |
|---|--------------------------------|
| Criterio de deflexión – Límite vertical | Envergadura / 600 |
| Criterio de deflexión – Límite horizontal | Envergadura / 400 |
| Criterio de impacto | 25% de cargas máximas en rueda |

Nota: Ilustración de diseño de una viga para grúa de sección mono simétrica. Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

Datos de diseño

$$\text{Carga de Elevación} = \frac{22680 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2}{1000} = 222.4 \text{ kN}$$

$$\text{Carga de Carro} = \frac{2721 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2}{1000} = 26.69 \text{ kN}$$

Envergadura de testero de apoyo a apoyo = 10000 mm

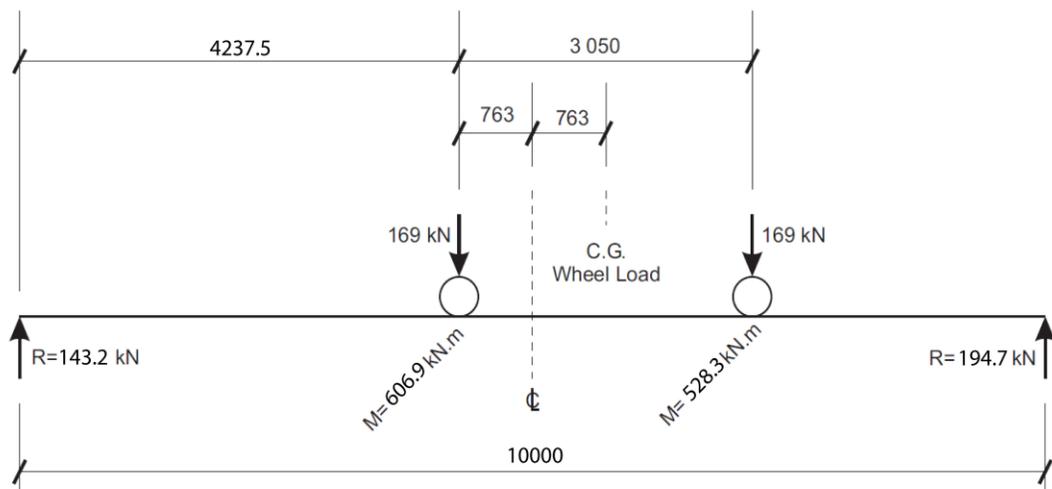
Espaciado entre llantas del puente = 3050 mm

Máxima carga de llantas = 169 kN, sin incluir impacto

1. Calcular momento flector máximo en una viga M_x

Figura 65

Reacciones en viga testera



Nota: Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

Para calcular M_x aplicamos el siguiente procedimiento según (MacCrimmon, 2021) Apéndice A sección 1:

El punto de momento de flexión máximo es en $0.5 \left(10000 - \frac{3050}{2} \right) = 4237.5 \text{ mm}$

M_{LL} bajo la carga de las llantas cerca al centro de la viga
 $= 143.23 \times 4.2375 = 606.94 \text{ kN} \cdot \text{m}$

La reacción izquierda y derecha son calculadas de la siguiente forma:

$$R_l = 169 \frac{[10 - (4.2375 + 3.050)]}{10} + 169 \frac{[10 - 4.2375]}{10.67}$$
$$= 45.84 + 97.38 = 143.23 \text{ kN}$$

$$R_r = 169 \frac{[4.2375 + 3.050]}{10} + 169 \frac{4.2375}{10}$$
$$= 123.16 + 71.61 = 194.77 \text{ kN}$$

M debido a impacto = $0.25 \times 606.94 = 151.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$

La carga muerta estimada, incluyendo riel y conductores es 2.64 kN/m

$$M_{DL} = 2.64 \times \frac{10^2}{8} = 33 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento con factor $M_{fx} = 1.25(33) + 1.5(606.94 + 151.7) = 1179.21 \text{ kN} \cdot \text{m}$

2. Determinar empuje lateral

Según el apartado 2 del apéndice A de (MacCrimmon, 2021) el proceso de determinar el empuje lateral es el siguiente:

Se usa el 20% de la suma de la carga elevada y el carro distribuidas igualmente a cada lado.

Empuje lateral = $0.2(222.4 + 26.69) = 49.82 \text{ kN} = 12.45 \text{ kN/llanta}$

Tasa de empuje lateral a carga máxima en llanta = $\frac{12.45}{169} = 0.07367$

Momento especificado M_H debido a carga lateral

$$M_H = 0.07367 \times 606.94 = 44.71 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento factorizado debido a empuje lateral

$$M_{HF} = 1.5 \times 44.71 = 67.07 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

3. Seleccionar una sección de prueba

Según el apartado 3 del apéndice A de (MacCrimmon, 2021) el proceso de seleccionar una sección de prueba es el siguiente:

Para la deflexión vertical un análisis preliminar muestra que una sección con $I_x = 2 \times 10^9 \text{ mm}^4$ se deflectará máximo 18.5 mm.

Usando el criterio $\frac{l}{600}$ la deflexión máxima permitida es $= \frac{10000}{600} = 16.67 \text{ mm}$

entonces I_x debe ser por lo menos $\frac{18.75}{16.67} \times 2.0 \times 10^9 = 2.25 \times 10^9 \text{ mm}^4$

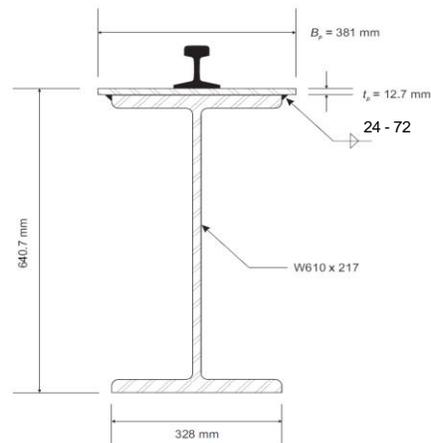
Considerando la deflexión horizontal $< \frac{l}{400}$, entonces $\Delta_{max} = \frac{10000}{400} = 25 \text{ mm}$, y

$$I_{y(\text{ala superior})} \geq \frac{18.75}{25} \times 0.07367 \times 2.0 \times 10^9 = 110.5 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Después de cálculos preliminares, la cubierta chapada W610x217 es seleccionada para el análisis, detalle de selección en el Anexo IV.

Figura 66

Sección de viga testero

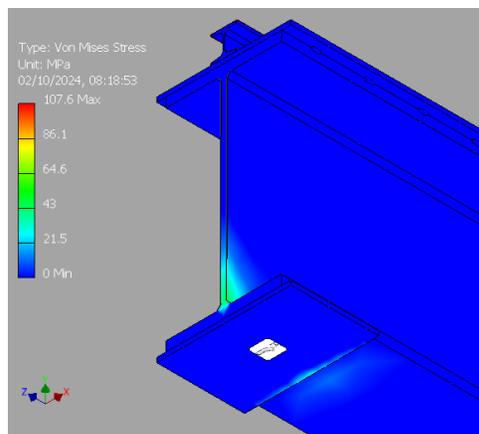


Nota: Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

El proceso de soldadura será FCAW, seleccionado por su mayor velocidad de soldado, y se empleará una soldadura intermitente. Dado que el tamaño del cordón es de 6 mm, el manual LRFD recomienda que el largo del cordón sea 4 veces el tamaño del cateto, es decir, 24 mm. La separación entre cordones, basada en una relación de 6 x 12, será de 72 mm.

Figura 67

Soldadura intermitente en perfil.



Nota: Soldadura intermitente

A continuación, se indicará la altura del cordón de soldadura. Dado que la plancha más delgada tiene un espesor de 12.7 mm, el manual LRFD recomienda un cordón con un tamaño de 1/4"

Figura 68

Tamaño mínimo de soldadura de filete.

9.6.1 TAMAÑO MÍNIMO DE LA SOLDADURA DE FILETE

Los tamaños permisibles mínimos de los filetes según las especificaciones del LRFD se dan en la Tabla 9-3⁷, donde los valores varían de 1/8 hasta 5/16 de pulgada.

| Espesor del material de la parte unida con mayor espesor (in). | Tamaño mínimo de la soldadura de filete [a], in. |
|--|--|
| Hasta 1/4 inclusive | 1/8 |
| Mayor de 1/4 hasta 1/2 | 3/16 |
| Mayor de 1/2 hasta 3/4 | 1/4 |
| Mayor de 3/4 | 5/16 |

[a] Dimension del lado de los filetes.
 [b] Véase la Sección J2.2b de tamaño máximo de la soldadura de filete.

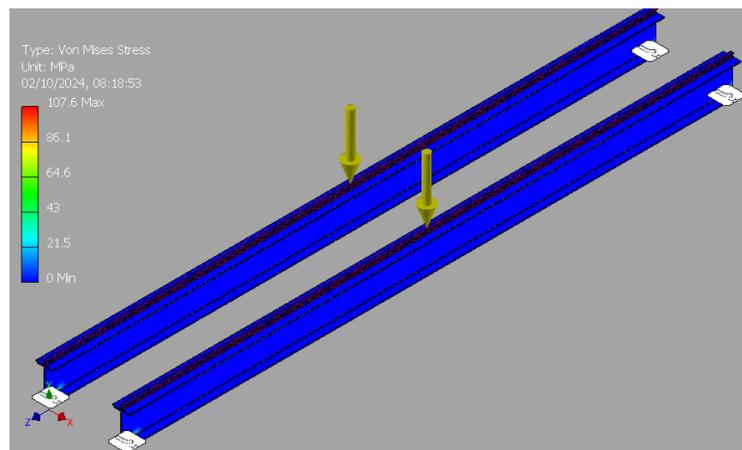
Tabla 9-3. Tamaños mínimos para la soldadura de filete.

Nota: Cateto de soldadura

Los resultados de la simulación, aplicando la soldadura, muestran un esfuerzo máximo de 107.6 MPa. Sabiendo que el límite elástico del acero es de 250 MPa, esto indica que nos encontramos dentro del rango seguro.

Figura 69

La simulación indica el rango de esfuerzos en las vigas.

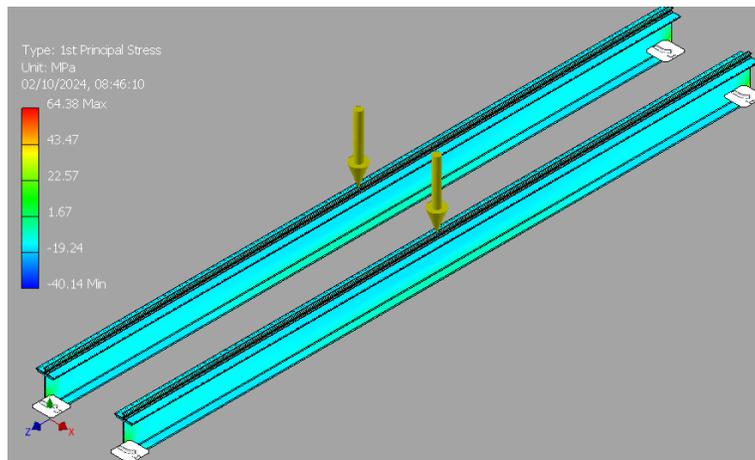


Nota: Limite elástico.

El esfuerzo principal se visualiza en el diagrama de colores, donde cada tono representa una magnitud específica de esfuerzo. Las áreas con colores más cálidos, como rojo o amarillo, indican regiones con mayores esfuerzos principales, mientras que los colores más fríos, como azul o verde, muestran zonas con menores esfuerzos. Este tipo de representación gráfica facilita la identificación de puntos críticos en el material, donde los esfuerzos máximos pueden acercarse al límite de falla, ayudando en la evaluación del comportamiento estructural bajo carga.

Figura 70

La simulación indica el rango de esfuerzos en las vigas.

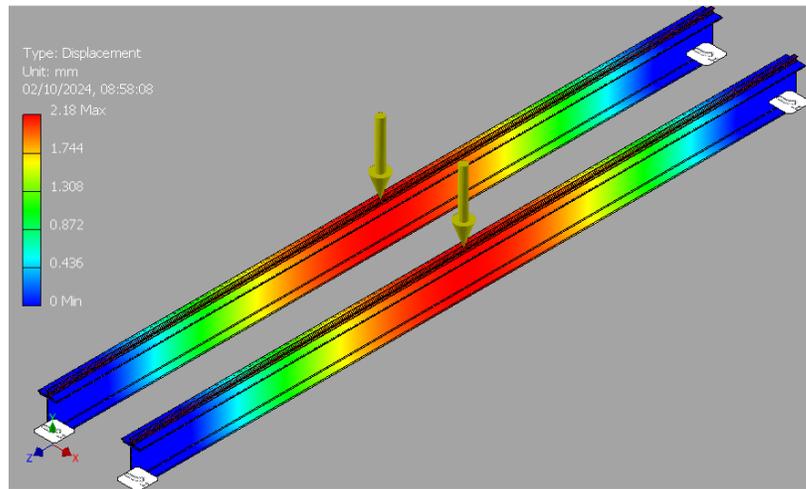


Nota: Esfuerzo principal

Ahora se observa el desplazamiento que ocurre cuando las vigas soportan las 20 toneladas de peso. En esta condición, la soldadura seleccionada funciona adecuadamente bajo dicha carga, demostrando ser óptima para la construcción.

Figura 71

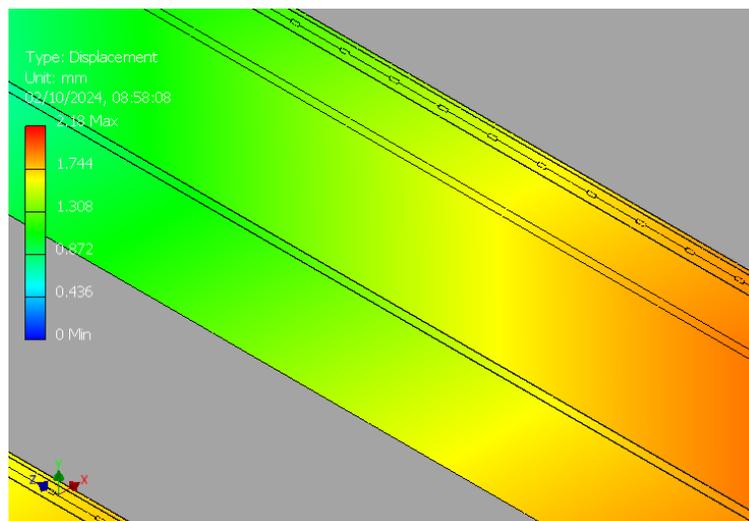
Se observa las deformaciones.



Nota: Esfuerzo principal.

Figura 72

Sección de desplazamientos máximos.



Nota: Esfuerzo principal.

W621X217 en unidades internacionales = W24X146 en unidades imperiales

Unidades en mm. Las propiedades para el perfil W621X217 se encuentran en el

Anexo IV.

| | | |
|--------------------------|------------------------|---------------------------|
| $A = 27800$ | $d = 628$ | $r_x = 262$ |
| $I_x = 1910 \times 10^6$ | $b = 328$ | $Z_x = 6850$ |
| $S_x = 6070 \times 10^3$ | $t = 27.7$ | $r_y = 76.7$ |
| $I_y = 163 \times 10^6$ | $w = 16.5$ | $Z_y = 1530$ |
| $S_y = 995 \times 10^3$ | $J = 5600 \times 10^3$ | $C_w = 14700 \times 10^9$ |

Riel 40[#], d = 89 mm

4. Determinar clase de sección

Chequeo por clase 2 (Compacta) en norma S16.01, sección 11.2.

$$\text{Para alas y elementos salientes } \frac{b}{t} \leq \frac{170}{\sqrt{F_y}} = 9.09$$

$$\text{Cubre placas entre líneas de soldadura } \frac{b}{t} \leq \frac{525}{\sqrt{F_y}} = 28.06$$

W610X217 – Clase 1 para flexión en tabla 5.1 de Handbook CISC (Albert, 2010).

Cubre placa 381×12.7 mm, proyección = $(381-328)/2=26.5$ mm

$$\frac{b}{t} \text{ de elemento saliente} = \frac{26.5}{12.7} = 2.09 < 9.09 \quad OK$$

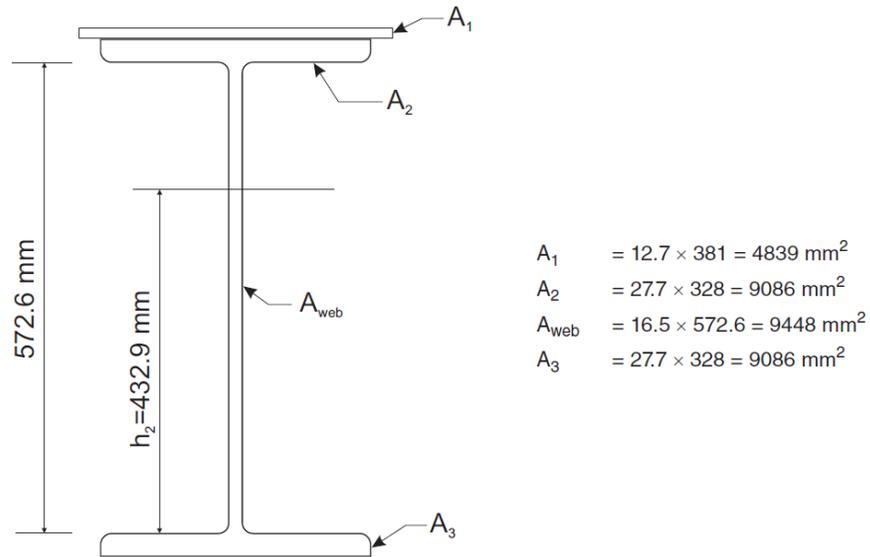
$$\frac{b}{t} \text{ entre soldaduras} = \frac{328}{12.7} = 25.82 < 28.06 \quad OK$$

Sección califica como Clase 2 en flexión

5. Calcular M_p y Z para ambos ejes

Figura 73

Áreas de sección viga testera



Nota: Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

Se calculó el eje neutral plástico de la sección de la **Figura 73** según el apartado 5 del Anexo 1 de (MacCrimmon, 2021) aplicamos el siguiente procedimiento:

$$16.5 h_2 = 16.5(572.6 - h_2) + 4839$$

$$33 h_2 = 9448 + 4839$$

$$h_2 = 432.9 \text{ mm}$$

Se calcularon los centroides de la zona superior e inferior

$$\text{Centroide superior} = \frac{(4839 \times 173.8) + (9086 \times 153.6) + (2305 \times 69.9)}{4839 + 9086 + 2305} = 147.7 \text{ mm}$$

$$\text{Centroide inferior} = \frac{(9086 \times 446.8) + (7143 \times 216.5)}{9086 + 7143} = 345.4 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia centroide a centroide} = 147 + 345.4 = 493.1 \text{ mm}$$

$$M_{p1} = \frac{350 \times 16229 \times 493.1}{10^6} = 2800 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

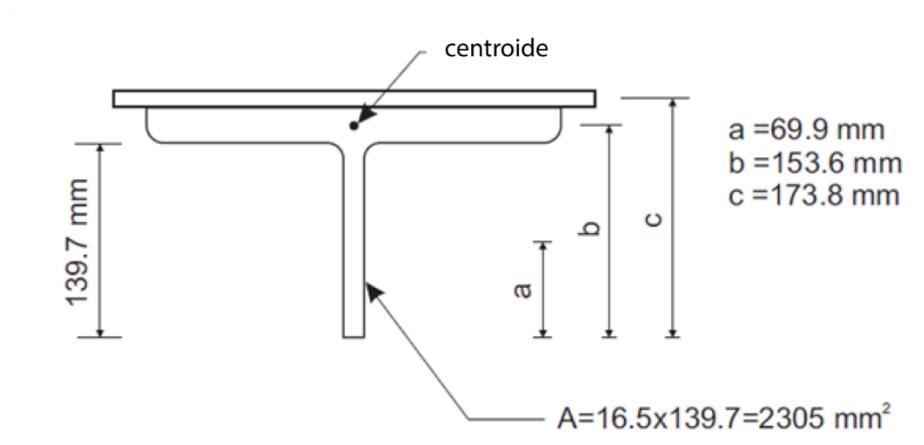
$$Z_1 = \frac{2800 \times 10^6}{350} = 8 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Siguiendo con los pasos del apartado 5 del Anexo 1 de (MacCrimmon, 2021)

continuamos haciendo el procedimiento de análisis de centroides separados:

Figura 74

Centroide de sección encima del eje neutral



Nota: Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

Figura 75

Centroide de sección bajo eje neutral



Nota: Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

Para el eje débil, solamente el ala superior

$$Z_2 = 12.7 \times \frac{381^2}{4} + 27.7 \times \frac{328^2}{4} = 1.206 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$M_{p2} = 350 \times 1.206 \times \frac{10^6}{10^6} = 422 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Figura 76

Solo ala superior



Nota: Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

6. Calcular Propiedades Elásticas de la sección x-x de la Figura 76

Según el apéndice A sección 6 de (MacCrimmon, 2021) el procedimiento es el siguiente:

$$y_B = \frac{\sum Ay_b}{\sum A} = \frac{11800 \times 10^3}{32639} = 361.5 \text{ mm y}$$

$$y_T = 640.7 - 631.5 + 279.2 \text{ mm}$$

$$I_{xx} = \sum I_0 + \sum Ay_b^2 - y_b^2 \sum A$$

$$I_{xx} = 1910 \times 10^6 + 4688 \times 10^6 - 1910(361.5)^2 = 2332 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{xx} = 2332 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$S_B = \frac{I_{xx}}{y_B} = \frac{2332 \times 10^6}{361.5} = 6451 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_T = \frac{I_{xx}}{y_T} = \frac{2332 \times 10^6}{279.2} = 8352 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Tabla 22

Materiales y valores

| Elemento | $A(\text{mm}^2)$ | $y_b(\text{mm})$ | $Ay_b(10^3 \text{mm}^3)$ | $Ay_b^2(10^6 \text{mm}^4)$ | $I_0(10^6 \text{mm}^4)$ |
|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|
| W=A2+A_{web}+A | 27800 | 314 | 8730 | 2740 | 1910 |
| 3) Figura 73 | | | | | |
| Placa | | | | | |
| A1(Figura 73) | 4839 | 634.4 | 3070 | 1948 | 0.065 |
| Σ | 32639 | | 11800 | 4688 | 1910 |

Nota: Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

7. Calcular Propiedades Elásticas de la sección y-y de la Figura 76

Según el apéndice A sección 7 de (MacCrimmon, 2021) el procedimiento es el siguiente:

$$I_{yy} \text{ ala superior} = \left(27.7 \times \frac{328^3}{12} \right) + \left(12.7 \times \frac{381^3}{12} \right)$$

$$I_{yy} = 81.46 \times 10^6 + 58.53 \times 10^6 = 140 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{yy} \text{ alma} = 572.6 \times \frac{16.5^3}{12} = 0.2143 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{yy} \text{ ala inferior} = 81.46 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\sum I_{yy} = 221.7 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$S_{yy} \text{ ala superior} = \frac{140 \times 10^6}{190.5} = 0.7349 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$S_{yy} \text{ ala inferior} = \frac{81.46 \times 10^6}{164} = 0.4967 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

8. Calcular ala superior equivalente

Según el apéndice A sección 8 de (MacCrimmon, 2021) el procedimiento es el siguiente:

$$A = (27.7 \times 328) + (12.7 \times 381) = 13.92 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$I = 140 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\frac{t w^3}{12} = 140 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$t w = 13.92 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$\frac{13.92 \times 10^3}{w} \times \frac{w^3}{12} = 140 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

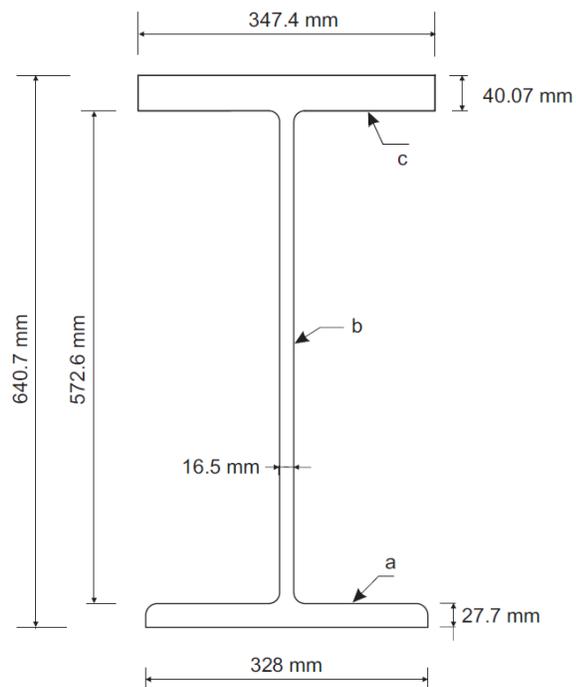
$$w = \sqrt{\frac{12 \times 140 \times 10^6}{13.92 \times 10^3}} = 347.4 \text{ mm}$$

$$t = \frac{13.92 \times 10^3}{347.4} = 40.07 \text{ mm}$$

Usamos el ala superior equivalente para el propósito de analizar la sección monosimétrica.

Figura 77

Sección para el análisis de la sección monosimétrica



Nota: Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

9. Calcular propiedades de la sección x-x

Según el apéndice A sección 9 de (MacCrimmon, 2021) el procedimiento es el siguiente:

$$y_B = \frac{\sum Ay_b}{\sum A} = \frac{11730 \times 10^3}{32450} = 361.5 \text{ mm y } y_T = 640.7 - 631.5 + 279.2 \text{ mm}$$

$$I_{xx} = \sum I_0 + \sum Ay_b^2 - y_b^2 \sum A$$

$$= 260.5 \times 10^6 + 6292 \times 10^6 - 32450(361.5)^2 = 2317 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$S_{xB} = \frac{I_{xx}}{y_B} = \frac{2317 \times 10^6}{361.5} = 6409 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_{xT} = \frac{I_{xx}}{y_T} = \frac{2317 \times 10^6}{279.2} = 8300 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Tabla 23

Materiales y valores

| Material | $A(\text{mm}^2)$ | $y_b(\text{mm})$ | $Ay_b(\mathbf{10^3mm^3})$ | $Ay_b^2(\mathbf{10^6mm^4})$ | $I_0(\mathbf{10^6mm^4})$ |
|--|------------------|------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Sección a (Figura 77) | 9086 | 13.85 | 125.8 | 1.743 | 0.5809 |
| Sección b (Figura 77) | 9448 | 314 | 2967 | 931.5 | 258.1 |
| Sección c (Figura 77) | 13920 | 620.7 | 8640 | 5363 | 1.863 |
| Σ | 32450 | | 11730 | 6296 | 260.5 |

Nota Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

10. Calcular propiedades de la sección y-y

Según el apéndice A sección 10 de (MacCrimmon, 2021) el procedimiento es el siguiente:

$$I_{yy} \text{ ala superior} = 140 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{yy} \text{ alma} = 572.6 \times \frac{16.5^3}{12} = 0.2143 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{yy} \text{ ala inferior} = 81.46 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\sum I_{yy} = 221.7 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

11. Calcular Momento plástico M_p y Modulo plástico Z

Según el apéndice A sección 11 de (MacCrimmon, 2021) el procedimiento es el siguiente:

Se determinó la distancia al eje neutral

$$13920 + 16.5(572.6 - h_2) = 9086 + 16.5h_2$$

$$13920 + 9448 - 16.5h_2 = 9086 + 16.5h_2$$

$$h_2 = \frac{23368 - 9086}{33} = 432.8 \text{ mm}$$

entonces:

$$M_{p3} = 350 \times 16227 \times \frac{(354.4 + 147)}{10^6} = 2797 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

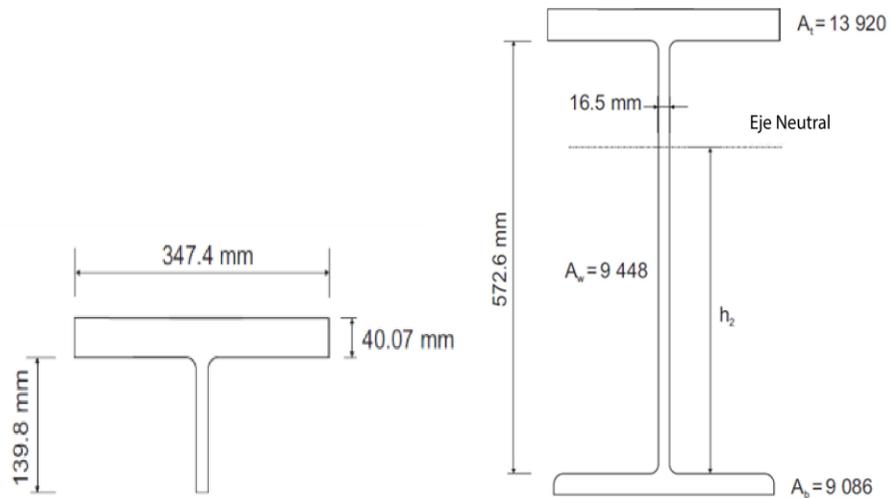
$$Z_3 = \frac{2797 \times 10^6}{350} = 7.99 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\text{Centroide superior} = \frac{\frac{16.5 \times 139.8^2}{2} + 13920 \times 159.8}{16227} = 147 \text{ mm}$$

$$\text{Centroide inferior} = \frac{\frac{16.5 \times 432.8^2}{2} + 9086 \times 446.7}{16227} = 345.4 \text{ mm}$$

Figura 78

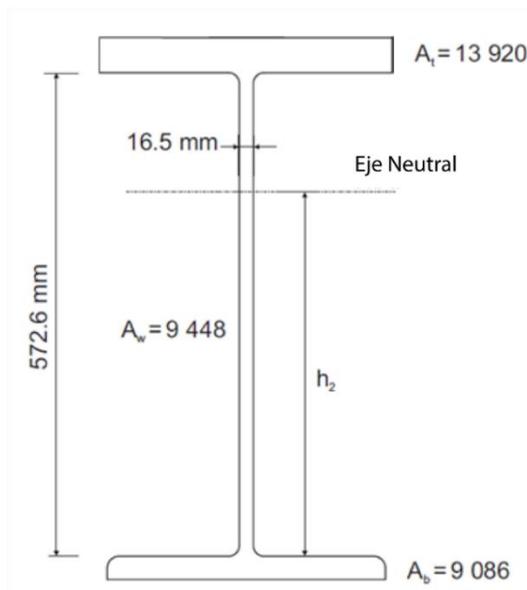
Centroide de sección superior e inferior



Nota: Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

Figura 79

Eje neutral para sección equivalente



Nota: Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

12. Calcular propiedades de sección para el análisis mono simétrico

Según el libro Guía para criterios de diseño de estabilidad para estructuras (Galambos, 1998), se calcularon los siguientes parámetros.

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{347.4}{328} \right)^3 \times \left(\frac{40.07}{27.7} \right) \right]} = 0.3678$$

$$d' = 640.7 - \frac{(40.07 + 27.7)}{2} = 606.8 \text{ mm}$$

$$J = \frac{(347.4 \times 40.07^3) + (328 \times 27.7^3) + (606.8 \times 16.5^3)}{3} = 10.69 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$C_w = \frac{606.8^2 \times 347.4^3 \times 40.07 \times 0.3678}{12} = 19 \times 10^{12} \text{ mm}^6$$

Ubicación del centro de corte

$$y_0 = 279.2 - \frac{40.7}{2} = (0.3678 \times 606.8) = +35.98 \text{ mm por lo tanto, sobre el centroide}$$

$$\rho = \frac{140 \times 10^6}{221.7 \times 10^6} = 0.6315$$

$$\frac{I_y}{I_x} = \frac{221.7 \times 10^6}{2317 \times 10^6} = 0.0957 < 0.5$$

Entonces

$$\beta_x = (+1) \times 0.9 \left((2 \times 0.6315) - 1 \right) \times 606.8 (1 - 0.0957^2) = 142.3 \text{ mm}$$

13. Cálculo de la resistencia de la sección en flexión

Usamos el procedimiento de la referencia 8 y sección 5.9, basado de procedimientos SSRC y AISC .

$$M_u = \frac{\omega_3 \pi^2 E I_y}{2L^2} \left[\beta_x + \sqrt{\beta_x^2 + 4 \left(\frac{GJL^2}{\pi^2 E I_y} + \frac{C_w}{I_y} \right)} \right]$$

$\omega_3 = \omega_2$ para vigas con dos alas

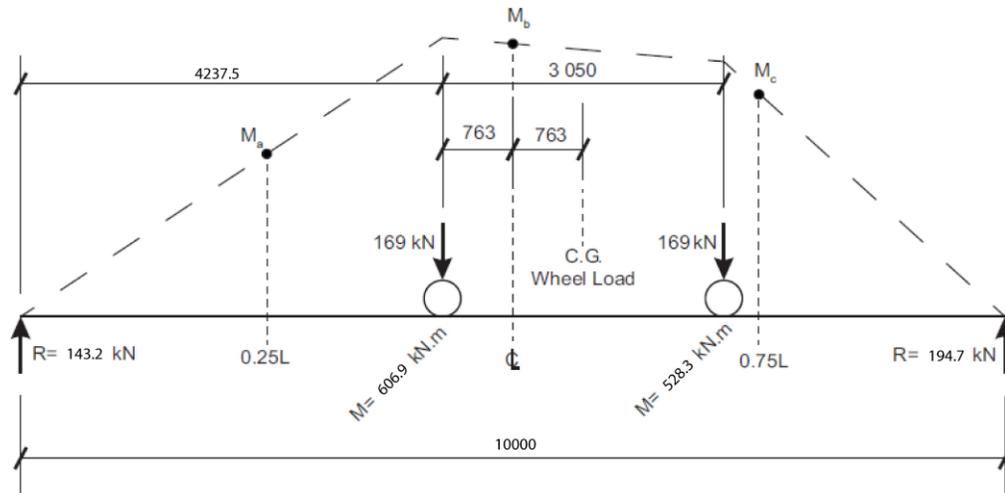
$$\omega_2 = \frac{4M_{\max}}{\sqrt{M_{\max}^2 + 4M_a^2 + 7M_b^2 + 4M_c^2}} \leq 2.5$$

- M_{\max} = magnitud máxima del momento flector con factor en el segmento no arriostrado
- M_a = momento de flexión con factor en un cuarto de punto del segmento no arriostrado
- M_b = momento de flexión con factor en el punto medio del segmento no arriostrado
- M_c = momento de flexión con factor en el punto tres cuartos del segmento no arriostrado
- ω_2 = Coeficiente para tener en cuenta el aumento de la resistencia al momento de un segmento de viga doblemente simétrico sin soporte lateral cuando está sujeto a un gradiente de momento.

Para hallar M_u y ω_2 aplicamos el procedimiento que nos recomienda la guía de diseño de grúas (MacCrimmon, 2021) pág. 84 donde primero hacemos un diagrama de momento flector de cargas para las ruedas donde determinaremos los valores de M_a , M_b y M_c **Figura 80**

Figura 80

Diagrama de momento flector para carga de ruedas



Nota: Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

$$M_a = 358 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_b = 587.24 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_c = 486.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\omega_2 = \frac{4 \times 606.9}{\sqrt{606.9^2 + 4 \times 358^2 + 7 \times 587.24^2 + 4 \times 486.75^2}} = 1.179$$

$$M_u = \frac{1.179 \times \pi^2 \times 200000 \times 221.7 \times 10^6}{2 \times 10000^2} \left[142.3 + \sqrt{142.3^2 + 4 \left(\frac{77000 \times 10.69 \times 10^6 \times 10000^2}{\pi^2 \times 200000 \times 221.7 \times 10^6} + \frac{19 \times 10^{12}}{221.7 \times 10^6} \right)} \right]$$

$$= 3.092 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm} = 3092 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

14. Cálculo del momento resistente a la fluencia en el eje menor M_{yr}

Aplicamos la ecuación del apartado 14 apéndice A de (MacCrimmon, 2021)

$$M_{yr}=0.7S_xF_y, \text{ con } S_x \text{ mínimo}$$
$$= \frac{0.7 \times 6409 \times 10^3 \times 350}{10^6} = 1570 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El factor 0.7 fue introducido en la norma S16-09 para tomar en cuenta esfuerzos residuales.

15. Cálculo de la longitud crítica no arriostrada de la viga L_u

Aplicamos la ecuación del apartado 15 apéndice A de (MacCrimmon, 2021):

$$L_u = 1.1r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} = \frac{490r_t}{\sqrt{F_y}}$$

Donde

- h_c = profundidad del alma en compresión
- h_c = ancho del ala de compresión
- h_c = espesor del ala de compresión

$$r_t = \frac{b_c}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{h_c w}{3b_c t_c} \right)}}$$
$$r_t = \frac{347.4}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{239.1 \times 16.5}{3 \times 347.4 \times 40.07} \right)}} = 95.86 \text{ mm}$$

$$L_u = \frac{490 \times 95.86}{\sqrt{350}} = 2511 \text{ mm}$$

16. Como $M_u > M_{yr}$

Aplicamos la ecuación del apartado 17 apéndice A de (MacCrimmon, 2021):

$$M_r = \phi \left[M_p - (M_p - M_{yr}) \left(\frac{L - L_u}{L_{yr} - L_u} \right) \right] \leq \phi M_{p3}$$

$$\phi = 0.9$$

$$L_{yr} = \text{largo } L \text{ obtenido seteando } M_u = M_{yr}$$

Para hallar L_{yr} , M_u puede ser expresado de la siguiente forma

$$M_u = \frac{2.5797 \times 10^{14}}{L_{yr}^2} \left[142.3 + \sqrt{20249 + 4(1.881 \times 10^{-3} L_{yr}^2 + 85701)} \right]$$

$$L_{yr} = 16812 \text{ mm}$$

17. Cálculo del momento resistente reducido M_r , flexión lateral inelástica

Desde el paso 11, $M_{p3} = 2797 \text{ kN} \cdot \text{m}$, $\phi M_{p3} = 0.9 \times 2797 = 2517 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M_r = 0.9 \left[2797 - (2797 - 1570) \left(\frac{10000 - 2511}{16812 - 2511} \right) \right]$$

$$= 0.9 \times 2154.46$$

$$= 1939 \text{ kN} \cdot \text{m} < 2517 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad OK$$

18. Determinación de la distribución de empuje lateral C_s mediante la analogía de flexión

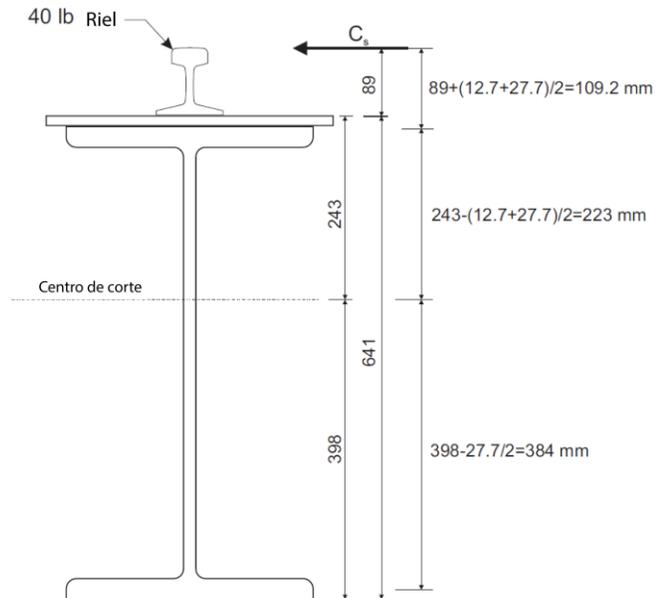
Según (MacCrimmon, 2021) pág. 94 en la **Figura 81** y **Figura 82** tenemos:

$$\text{Momento en el centro de corte} = C_s(243+89) = 332C_s$$

$$\text{Acoplados, aplicado a cada ala} = \frac{332C_s}{(223+384)} = 0.5470C_s$$

Figura 81

Distribución de empuje lateral



Nota: Adaptado de (MacCrimmon, 2021)

Distribución horizontal de carga aplicado en el centro de corte, como simple analogía de viga

$$A_{\text{ala superior}} = \frac{384 \times C_s}{(223 + 384)} = 0.6326 C_s$$

$$A_{\text{ala inferior}} = 0.3674 C_s$$

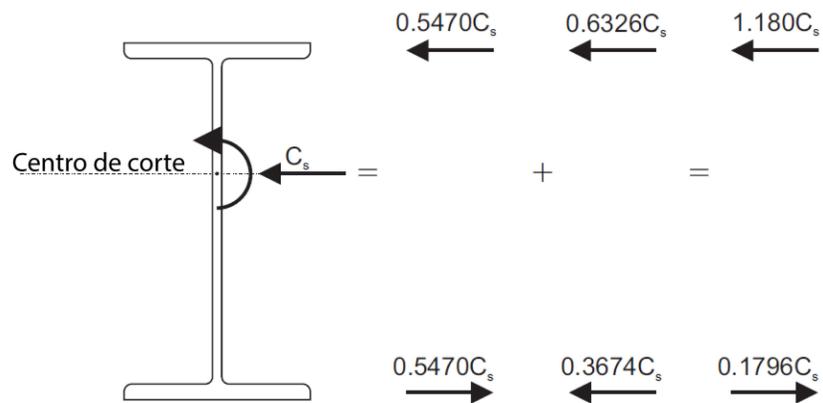
$$M_{fyt}(\text{ala superior}) = 1.18 \times 67.07 = 79.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{fyb}(\text{ala inferior}) = 0.1796 \times 67.07 = 12.05 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{fx} = 1179.21 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Figura 82

Momentos alrededor de centro de corte



Nota: Elaboración propia

19. Verificación de resistencia general del miembro

Aplicamos la ecuación del apartado 19 apéndice A de (MacCrimmon, 2021):

$$\frac{M_{fx}}{M_{rx}} + \frac{M_{fy}}{M_{ry}} \leq 1.0$$

$$\frac{M_{fx}}{\phi M_{p1}} + \frac{M_{fy}}{\phi M_{p2}} \leq 1.0$$

$$\frac{1179.21}{0.9 \times 2800} + \frac{79.14}{0.9 \times 422} = 0.676 \leq 1.0 \quad \text{OK}$$

20. Verificación de la estabilidad por pandeo lateral-torsional

Aplicamos la ecuación del apartado 20 apéndice A de (MacCrimmon, 2021):

$$\frac{M_{fx}}{M_r} + \frac{M_{fy}}{\phi M_{p2}} \leq 1.0$$

$$\frac{1179.21}{0.9 \times 2154.46} + \frac{79.14}{0.9 \times 422} = 0.8165 \leq 1.0 \quad \text{OK}$$

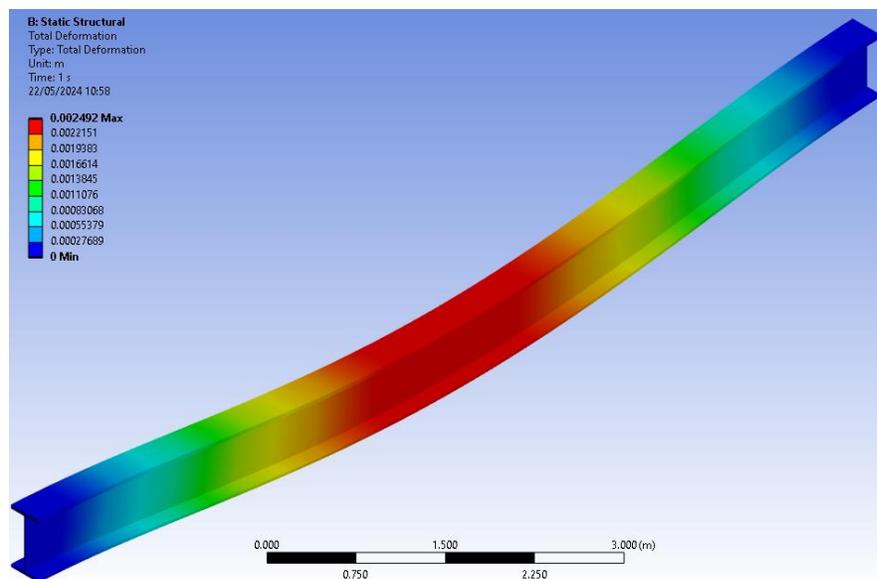
3.12. Análisis de elementos finitos viga carrilera

De acuerdo con el modelo numérico analizado en ANSYS la deformación máxima en la **Figura 83** es 2.492 mm. Según lo simulado en ANSYS en la **Figura 84** el factor de seguridad es 15 en la mayor parte de la viga. El máximo esfuerzo de Von Mises es de aproximadamente 54 MPa **Figura 85** lo que nos da una muy buena aproximación de acuerdo con los cálculos analíticos. Finalmente, la deformación elástica equivalente en la simulación nos muestra un valor de 0.2726 mm/mm en la **Figura 86**.

Igualmente se considera un mallado de 50 mm, tamaño recomendado para vigas según (Rodríguez, 2010) para así conseguir mejores resultados y no sobresaturar nuestro equipo.

Figura 83

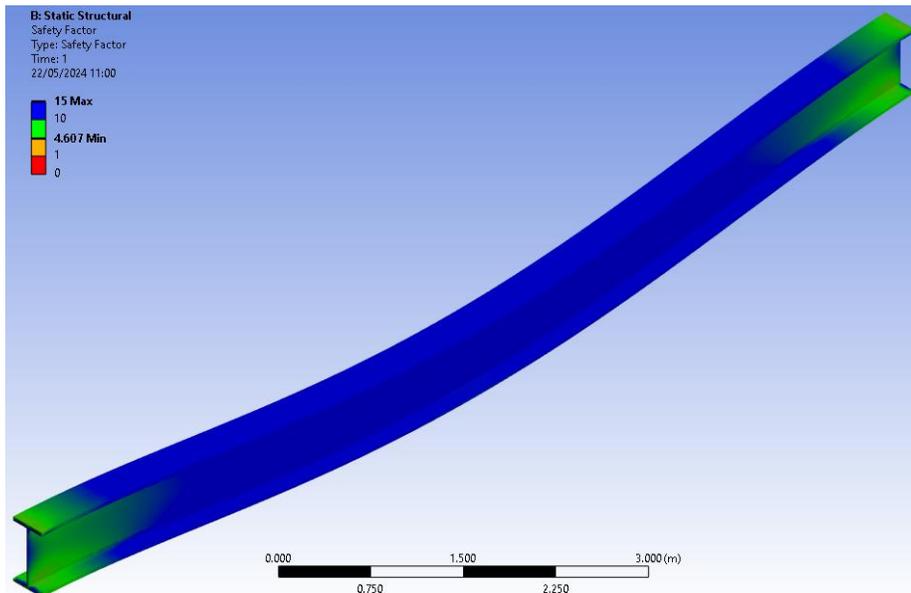
Deformación Total



Nota: Captura ANSYS, Elaboración propia.

Figura 84

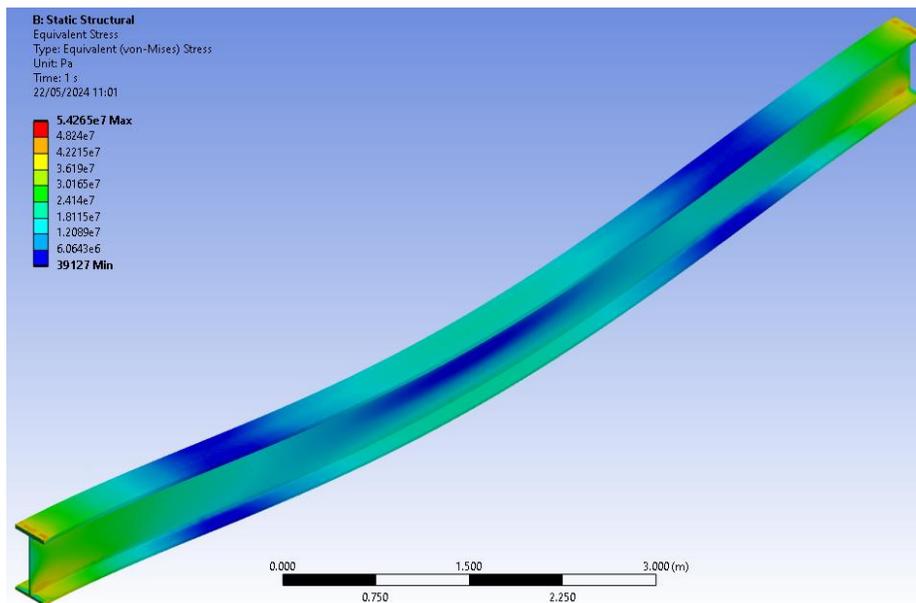
Factor de seguridad



Nota: Captura ANSYS, Elaboración propia.

Figura 85

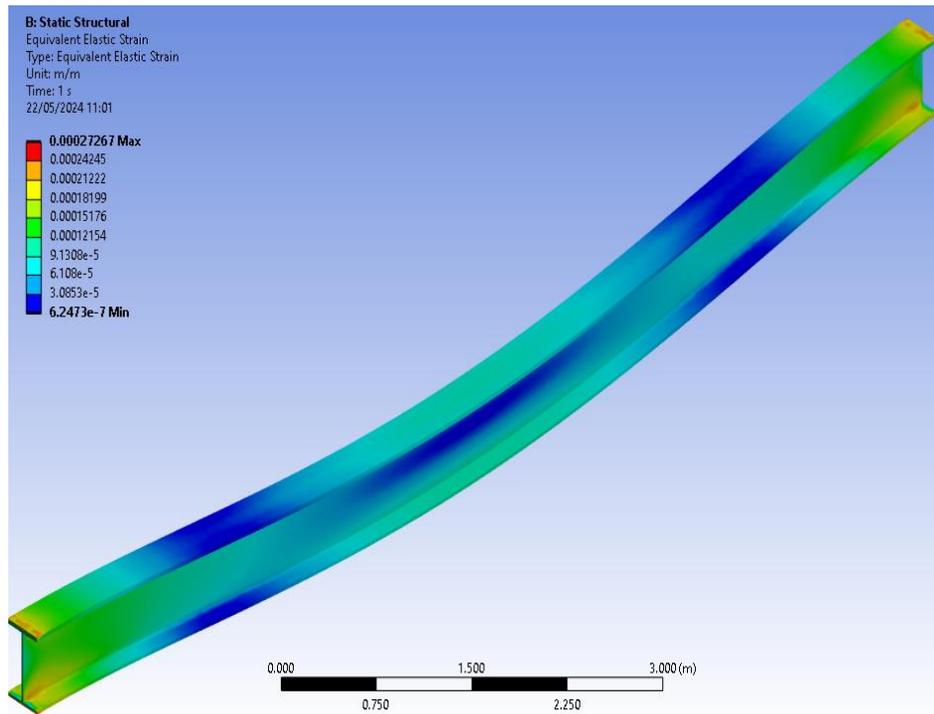
Esfuerzo equivalente Von Mises



Nota: Captura ANSYS, Elaboración propia.

Figura 86

Deformación elástica equivalente



Nota: Elaboración propia

3.13. Análisis modal para viga carrilera

Al igual que el caso anterior, el programa ANSYS nos permite hacer simulación para los 6 primeros modos de vibración. Hacemos la simulación para la viga carrilera.

Para el análisis a desarrollar para la viga carrilera se consideró soporte fijo al inicio y al final de la viga ya que esta junto con toda la estructura metálica van a estar fijadas.

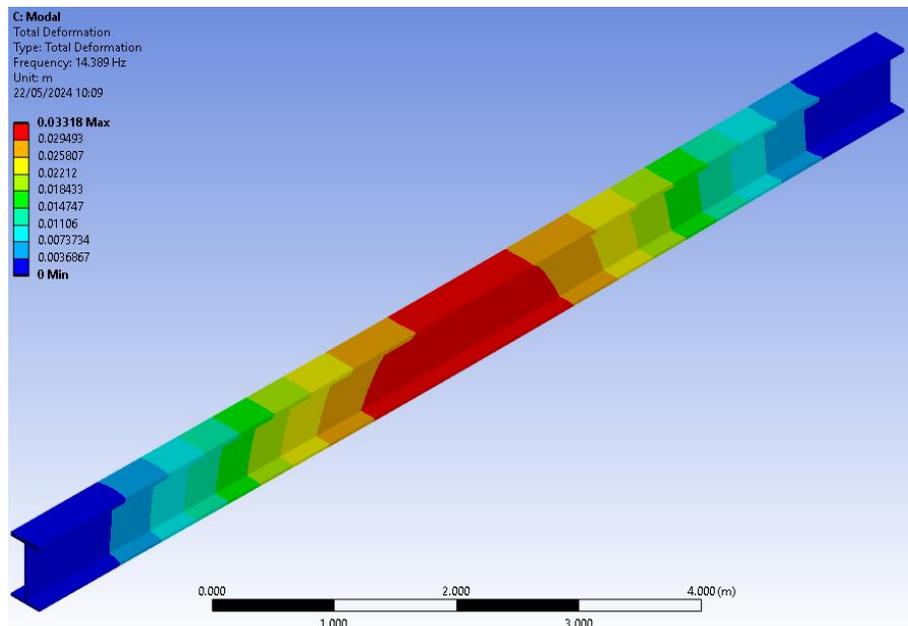
Tabla 24

Modos de vibración viga carrilera

| Modo de vibración | Frecuencia (Hz) |
|-------------------|-----------------|
| 1 | 14.389 |
| 2 | 23.147 |
| 3 | 39.439 |
| 4 | 42.815 |
| 5 | 54.9 |
| 6 | 76.573 |

Figura 87

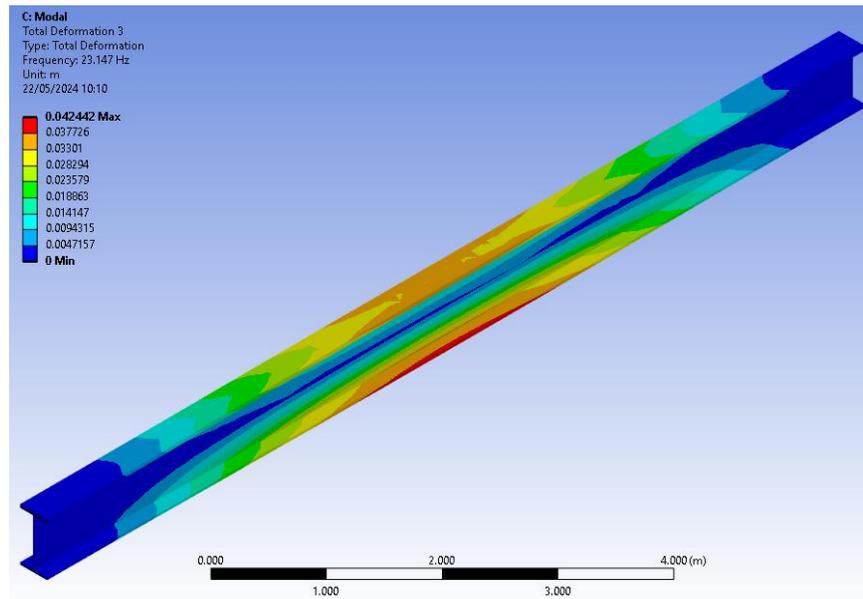
Primer modo de vibración



Nota: Captura ANSYS, Elaboración propia.

Figura 88

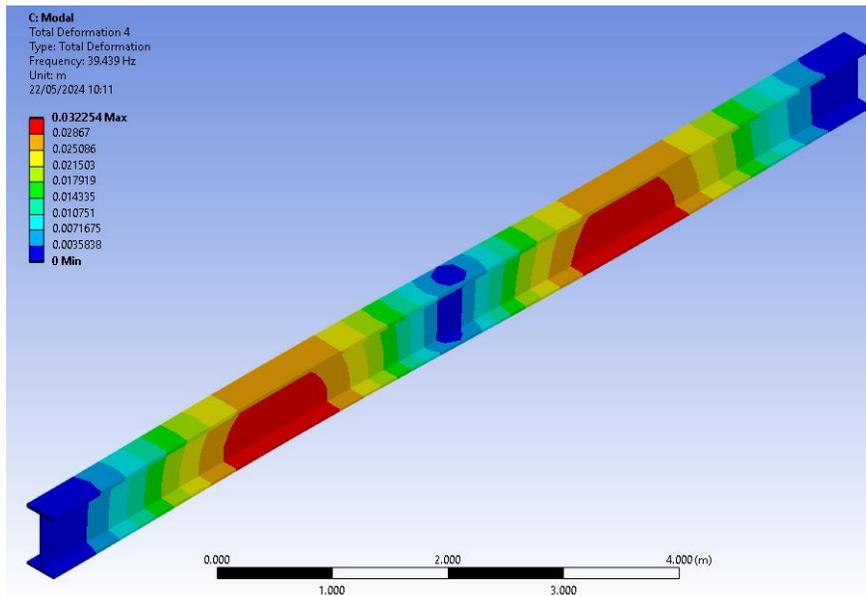
Segundo modo de vibración



Nota: Captura ANSYS, Elaboración propia.

Figura 89

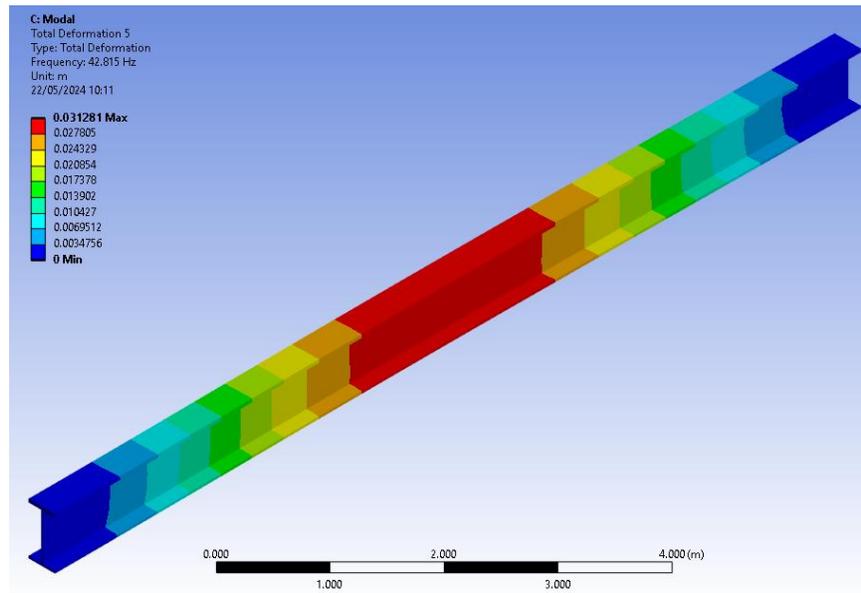
Tercer modo de vibración



Nota: Captura ANSYS, Elaboración propia.

Figura 90

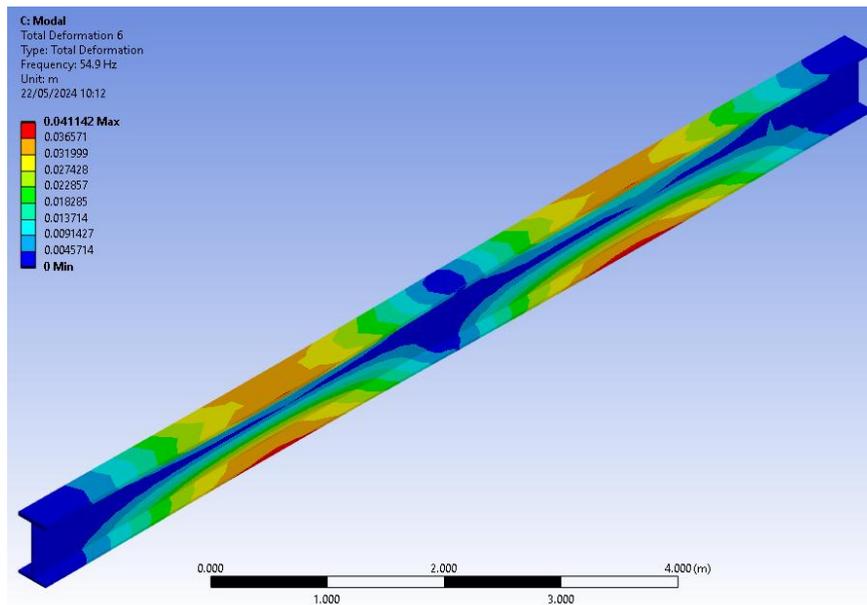
Cuarto modo de vibración



Nota: Captura ANSYS, Elaboración propia.

Figura 91

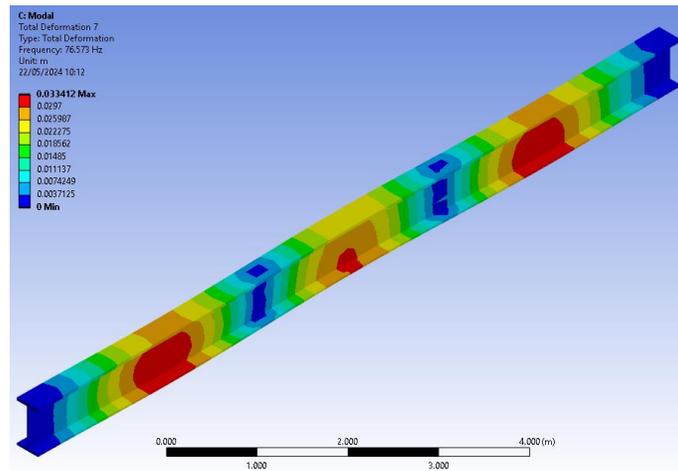
Quinto modo de vibración



Nota: Captura ANSYS, Elaboración propia.

Figura 92

Sexto modo de vibración



Nota: Captura ANSYS, Elaboración propia.

Como las vigas carrileras son 2, entonces esta simulación también contempla la 2da viga carrilera ya que están consideradas las mismas fuerzas para los dos.

Los resultados presentes muestran la deformación total que causan los 6 distintos modos de vibración en la viga carrilera, de color azul están los valores mínimos mientras que los máximos están de color rojo. El valor de deformación mayor se tuvo en el segundo modo de vibración de 4.24 mm **Figura 64** lo cual está dentro de los valores aceptados según (Yunga, 2013).

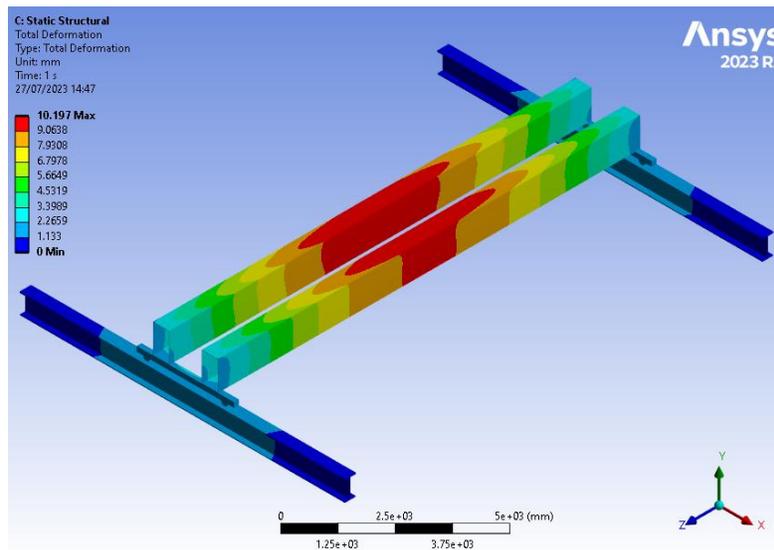
3.14. Análisis de elementos finitos viga puente

De acuerdo con el modelo numérico analizado en ANSYS la deformación máxima es 10.2 mm como se ve en la **Figura 93**, el factor de seguridad es 2.3 en la zona superior de la viga visto en la **Figura 94** y el esfuerzo de Von Mises es de aproximadamente 41 MPa en la zona superior de la viga puente.

Como se aprecia en la **Figura 95** lo que nos da una muy buena aproximación de acuerdo con los cálculos analíticos.

Figura 93

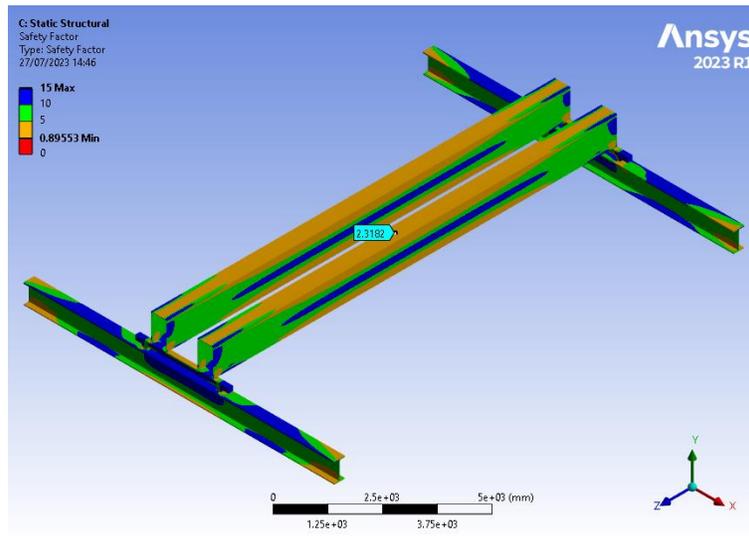
Deformación Total



Nota: Captura ANSYS, Elaboración propia.

Figura 94

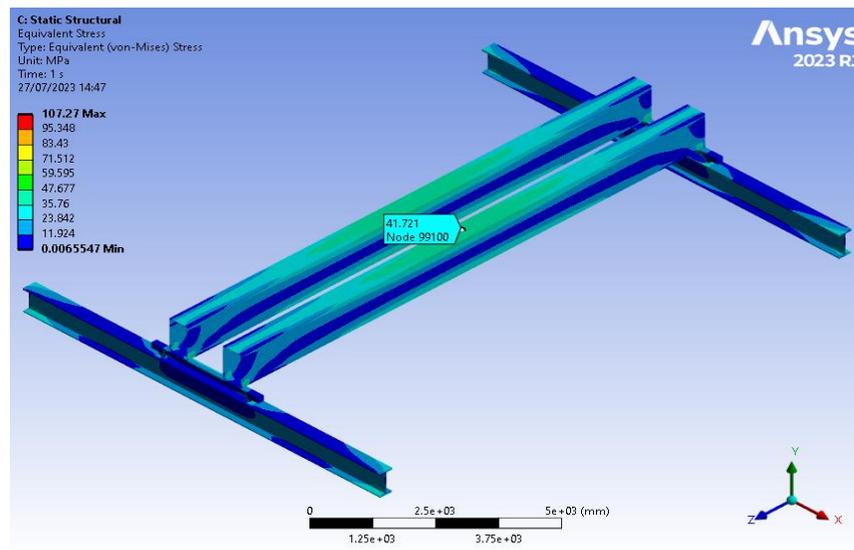
Factor de Seguridad



Nota: Captura ANSYS, Elaboración propia.

Figura 95

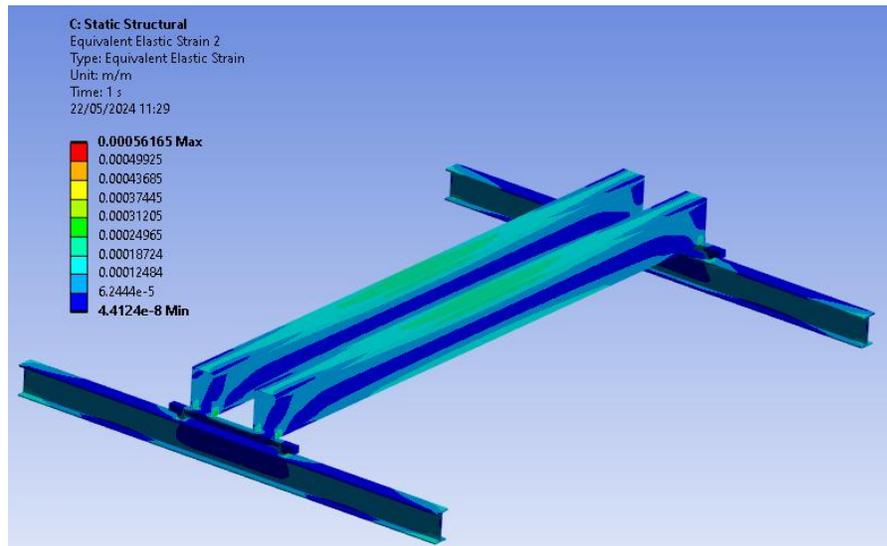
Esfuerzo equivalente de Von Mises



Nota: Captura ANSYS, Elaboración propia.

Figura 96

Deformación elástica equivalente

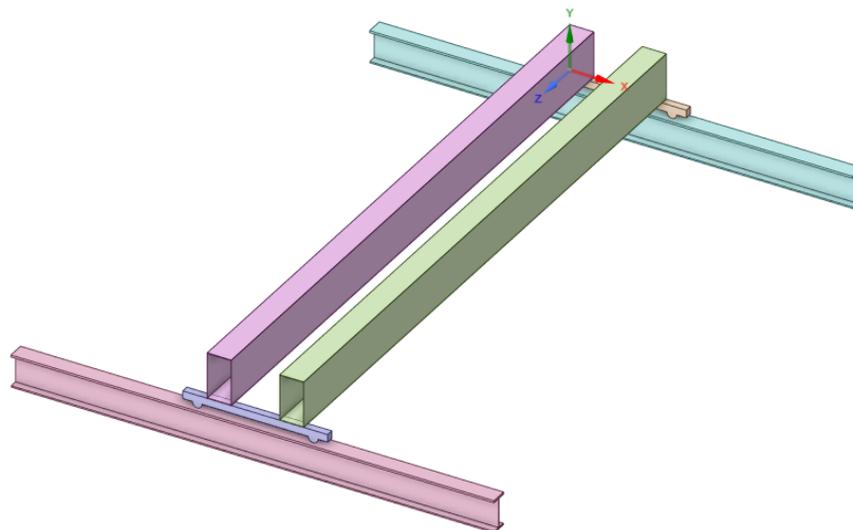


Nota: Elaboración propia

Por consiguiente, el diseño de la grúa quedaría con la siguiente configuración:

Figura 97

Diseño de grúa final.



Nota: Elaboración propia

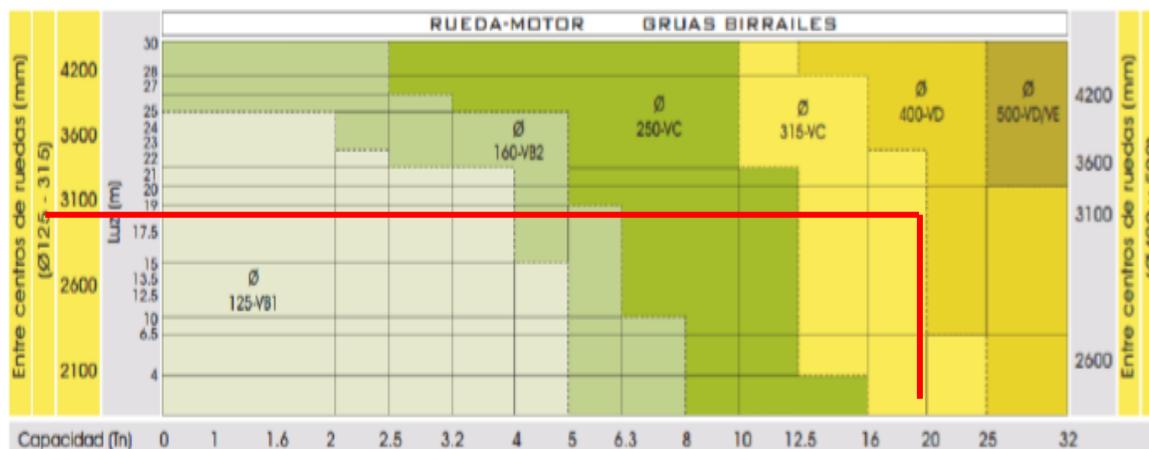
3.15. Selección de elementos

3.15.1. Selección de testeros

Para la selección de testeros usaremos el catálogo de GH (GH Crabes & Components, s.f.) donde el mismo fabricante nos orienta en la selección de estas. Teniendo una capacidad de 20 Tn y una distancia entre ruedas de 3.1 metros seleccionamos el diámetro de ruedas \varnothing 315 mm.

Figura 98

Diámetro de rueda y distancia entre ruedas para testeros



Nota: Adaptado de *Selección de ruedas y motores* de Componentes para grúas mecánicas, (p. 2.) GH Crane & Components

Con la selección del diámetro de las ruedas de \varnothing 315 mm ubicamos las demás especificaciones de las ruedas en la **Figura 99** del manual Testeros R&M, así como sus especificaciones del bloque de ruedas en la **Figura 100**.

Figura 99

Testeros R&M Materials Handling

| Currency: CAD Units: Metric | | QX/QL Crane Components Top Running End Truck Pricing | | | | Page 6 January 2, 2012 | |
|--------------------------------|-------------------------------------|---|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|------|
| Type | Wheel Groove Width Range (mm) | Wheel Diameter (mm) | Wheel Base (mm) | Approx. Weight/trk. (kg) | List Price per End Truck | Lead Time (weeks) | |
| | | | | | | S.G. | D.G. |
| RTN25B-14 | 54 - 84 | 250 | 1400 | 519 | 9578 | NA | 8-10 |
| RTN25B-16 | | | 1600 | 555 | 10052 | NA | 8-10 |
| RTN25B-18 | | | 1800 | 590 | 10499 | NA | 8-10 |
| RTN25B-20 | | | 2000 | 625 | 10973 | NA | 8-10 |
| RTN25B-22 | | | 2200 | 660 | 11452 | NA | 8-10 |
| RTN25B-25 | | | 2500 | 713 | 12147 | NA | 8-10 |
| RTN32-25 | 54 - 94 | 315 | 2500 | 731 | 6653 | 8-10 | 8-10 |
| RTN32-32 | | | 3150 | 816 | 7042 | 8-10 | 2-4 |
| RTN32-40 | | | 4000 | 908 | 7532 | 8-10 | 8-10 |
| RTN32-45 | | | 4500 | 964 | 7758 | 8-10 | 8-10 |
| RTN32-50 | | | 5000 | 1086 | 8728 | 8-10 | 8-10 |
| RTN32-55 | | | 5500 | 1147 | 9422 | 8-10 | 8-10 |
| RTN32B-14 | 54 - 94 | 315 | 1400 | 1334 | 14806 | NA | 8-10 |
| RTN32B-16 | | | 1600 | 1388 | 15528 | NA | 8-10 |
| RTN32B-18 | | | 1800 | 1440 | 16222 | NA | 8-10 |
| RTN32B-20 | | | 2000 | 1492 | 17003 | NA | 8-10 |

See outline drawing for wheel load information or use R&M's QuoteMaster® program.
 Joint plates, bumpers, and drives are sold separately.
 Bogie end truck weight and price is for two end trucks plus connector.

| End Truck | Suitable Bridge Drive |
|---|-----------------------|
| RSN09, RSN11, RSN14, RSN16, RTN/L09, RTN11, RTN14 | GES3 |
| RTN16, RTN20 | GES3, GES4 |
| RT25, RTN25, RTN32 | GES4, GES5 |
| RTN40, RT50 | GES5 |

R&M Materials Handling, Inc.
 4501 Gateway Blvd.
 Springfield, OH 45502



www.rmhoist.com

List prices FOB factory, Springfield, Ohio,
 subject to change without notice.
 Phone: 937-328-5100 Fax: 937-325-5319

Nota: Recuperado de (R&M Materials Handling Inc, 2012).

Figura 100

Especificaciones de bloques de rueda R&M



R&M Materials Handling, Inc
 Springfield, Ohio USA
 ☎: 800 955-9967
 www.rmhoist.com

RTN, RTL & RSN End Trucks
 WB-R Wheel Blocks
 Technical Guide
 June 2012

14.7 Wheel Block Specifications

| Wheel diameter and GES type | Model | Wheel diameter | Specification | GES shaft specification |
|-----------------------------|---------|----------------|---------------|-------------------------|
| | WB-R125 | 125 mm | GES3 | S3 |
| | WB-R160 | 160 mm | GES3, GES4 | S3 |
| | WB-R200 | 200 mm | GES3, GES4 | S3 |
| | WB-R250 | 250 mm | GES4, GES5 | S2 |
| | WB-R315 | 315 mm | GES4, GES5 | S2 |
| | WB-R400 | 400 mm | GES5 | S1 |

| Groove width | Wheel dia. | Groove width | Wheel groove widths - metric | Min. wheel groove - metric |
|--------------|------------|--------------|---|----------------------------|
| | 125 mm | 50 - 60 mm | 50, 55, 60 mm | Rail head width + 10 mm |
| | 160 mm | 52 - 72 mm | 52, 57, 62, 67, 72 mm | Rail head width + 12 mm |
| | 200 mm | 54 - 74 mm | 54, 59, 64, 69, 74 mm | Rail head width + 14 mm |
| | 250 mm | 54 - 84 mm | 54, 59, 64, 69, 74, 79, 84 mm | Rail head width + 14 mm |
| | 315 mm | 64 - 94 mm | 64, 69, 74, 79, 84, 89, 94 mm | Rail head width + 14 mm |
| | 400 mm | 75 - 115 mm | 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115 mm | Rail head width + 15 mm |

Flangeless wheels and guide rollers are used for wider rails.

| Wheel | Idler wheel Drive wheel | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|----------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------|---|-----------------------------|-------------------|---|------------------------------|-------------------|---|-----------------------------|-------------------|---|----------------------------|-------------------|
| Drive wheel orientation | Left hand Right hand | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rail | ASCE Flat Bar BETH | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GES drive | GES gear with Inverter-duty motor GES gear with two-speed, pole change motors; limited travelling speeds available with two-speed motors One wheel per end truck is driven as standard. Standard travel speeds with inverter control: 65, 80, 100, 130 fpm [20, 25, 32, 40 m/min] Standard travel speed with two-speed control: 80/20 fpm [25/6 m/min] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Connection type | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Connection code</th> <th>Specification</th> <th>Models</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H</td> <td>Head (bolted) connection</td> <td>WB-R125 – WB-R400</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>Welded connection</td> <td>WB-R125 – WB-R400</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>Inserted (pinned) connection</td> <td>WB-R125 – WB-R400</td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>Bolted & pinned connection</td> <td>WB-R125 – WB-R400</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>Welded & pinned connection</td> <td>WB-R200 – WB-R400</td> </tr> </tbody> </table> | Connection code | Specification | Models | H | Head (bolted) connection | WB-R125 – WB-R400 | W | Welded connection | WB-R125 – WB-R400 | I | Inserted (pinned) connection | WB-R125 – WB-R400 | S | Bolted & pinned connection | WB-R125 – WB-R400 | A | Welded & pinned connection | WB-R200 – WB-R400 |
| Connection code | Specification | Models | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | Head (bolted) connection | WB-R125 – WB-R400 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| W | Welded connection | WB-R125 – WB-R400 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | Inserted (pinned) connection | WB-R125 – WB-R400 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S | Bolted & pinned connection | WB-R125 – WB-R400 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | Welded & pinned connection | WB-R200 – WB-R400 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bumpers | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Bumper code</th> <th>Specification</th> <th>Wheel block wheel diameter</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G</td> <td>PUR bumper D100 mm x 100 mm</td> <td>125 mm</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>PUR bumper D125 mm x 125 mm</td> <td>160 mm, 200 mm</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>PUR bumper D160 mm x 160 mm</td> <td>250 mm, 315 mm</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>PUR bumper D200 mm x 200 mm</td> <td>400 mm</td> </tr> </tbody> </table> <p>Bumpers must be added to wheel block separately.</p> | Bumper code | Specification | Wheel block wheel diameter | G | PUR bumper D100 mm x 100 mm | 125 mm | M | PUR bumper D125 mm x 125 mm | 160 mm, 200 mm | H | PUR bumper D160 mm x 160 mm | 250 mm, 315 mm | I | PUR bumper D200 mm x 200 mm | 400 mm | | | |
| Bumper code | Specification | Wheel block wheel diameter | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | PUR bumper D100 mm x 100 mm | 125 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | PUR bumper D125 mm x 125 mm | 160 mm, 200 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | PUR bumper D160 mm x 160 mm | 250 mm, 315 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | PUR bumper D200 mm x 200 mm | 400 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Options | <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Anti-derail device</td> <td>Rail cleaning device</td> </tr> <tr> <td>Bumper extension</td> <td>Guide rollers (bolt on)</td> </tr> </tbody> </table> | Anti-derail device | Rail cleaning device | Bumper extension | Guide rollers (bolt on) | | | | | | | | | | | | | | |
| Anti-derail device | Rail cleaning device | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bumper extension | Guide rollers (bolt on) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Surface treatment | Primer only (RAL 7038 gray for frame) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Nota: Selección de especificaciones del bloque de ruedas con el diámetro Ø 315 mm
 Recuperado de (R&M Materials Handling, 2012).

Figura 101

Cargas admisibles en bloques de ruedas



R&M Materials Handling, Inc
 Springfield, Ohio USA
 ☎: 800 955-9967
 www.rmhoist.com

RTN, RTL & RSN End Trucks
 WB-R Wheel Blocks
 Technical Guide
 June 2012

14.8.5 WB-R315

| Pdynamic = 1.15 x Pstatic | | | | Maximum permissible dynamic wheel load 315 mm diameter wheel | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------------------|---------------------|---|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| FEM Duty | CMAA Duty | Speed | Due to bearing | BETH 135 | ASCE 80 | ASCE 60 | 80 mm | 70 mm | 60 mm |
| 2m | C | 20 m/min 65 fpm | 253 kN 56.9 kips | 239.8 kN 54 kips | 175.3 kN 39.4 kips | 164.7 kN 37.1 kips | 243 kN 54.7 kips | 210 kN 47.3 kips | 177 kN 39.8 kips |
| | | 25 m/min 80 fpm | 253 kN 56.9 kips | 235.3 kN 53 kips | 172 kN 38.7 kips | 161.6 kN 36.4 kips | 238 kN 53.6 kips | 206 kN 46.4 kips | 174 kN 39.2 kips |
| | | 32 m/min 100 fpm | 253 kN 56.9 kips | 226.2 kN 50.9 kips | 165.4 kN 37.2 kips | 155.4 kN 35 kips | 229 kN 51.5 kips | 198 kN 44.6 kips | 167 kN 37.6 kips |
| | | 40 m/min 130 fpm | 253 kN 56.9 kips | 219.4 kN 49.4 kips | 160.4 kN 36.1 kips | 150.8 kN 33.9 kips | 222 kN 50 kips | 192 kN 43.2 kips | 162 kN 36.5 kips |
| | | 50 m/min 160 fpm | 253 kN 56.9 kips | 212.6 kN 47.8 kips | 155.5 kN 35 kips | 146.1 kN 32.9 kips | 216 kN 48.6 kips | 186 kN 41.9 kips | 157 kN 35.3 kips |
| | | 63 m/min 200 fpm | 243 kN 54.7 kips | 203.7 kN 45.8 kips | 148.8 kN 34.5 kips | 139.8 kN 31.5 kips | 206 kN 43.4 kips | 178 kN 40.1 kips | 151 kN 44 kips |
| 3m | D | 20 m/min 65 fpm | 253 kN 56.9 kips | 215.9 kN 48.6 kips | 157.8 kN 35.5 kips | 148.2 kN 33.3 kips | 219 kN 49.3 kips | 189 kN 42.5 kips | 160 kN 36 kips |
| | | 25 m/min 80 fpm | 253 kN 56.9 kips | 211.7 kN 47.6 kips | 154.8 kN 34.8 kips | 145.5 kN 32.7 kips | 215 kN 48.3 kips | 186 kN 41.9 kips | 157 kN 35.3 kips |
| | | 32 m/min 100 fpm | 242 kN 54.5 kips | 203.7 kN 45.8 kips | 148.8 kN 33.5 kips | 139.8 kN 31.4 kips | 206 kN 46.4 kips | 178 kN 40.1 kips | 151 kN 34 kips |
| | | 40 m/min 130 fpm | 226 kN 50.9 kips | 197.5 kN 44.4 kips | 144.3 kN 32.5 kips | 135.7 kN 30.5 kips | 200 kN 45 kips | 173 kN 38.9 kips | 146 kN 32.9 kips |
| | | 50 m/min 160 fpm | 212 kN 47.7 kips | 191.4 kN 43.1 kips | 140 kN 31.5 kips | 131.4 kN 29.6 kips | 194 kN 43.7 kips | 168 kN 37.8 kips | 142 kN 32 kips |
| | | 63 m/min 200 fpm | 197 kN 44.3 kips | 183.3 kN 41.2 kips | 134 kN 30.2 kips | 125.8 kN 28.3 kips | 186 kN 41.9 kips | 161 kN 36.2 kips | 136 kN 30.6 kips |

Nota: Recuperado de (R&M Materials Handling, 2012).

3.15.2. Selección de polipastos

Se selecciona al polipasto que cumpla con el requerimiento de velocidad de 20m/min en la **Tabla 25** la cual nos sale el modelo SX60610200P66EH.

Tabla 25

Tabla de polipastos R&M

| Modelo | FEM Duty y Class | Lift (m) | Lift Speed (m/min) | Hoist Motor (KW) | Reeving | Foot Mount (F0) | Low HR (L0) | Norrm al HR (n0) | Double Girder (D0) | D.G.gauge (mm) |
|-------------------|------------------|----------|--------------------|---------------------------------|---------|-----------------|-------------|------------------|--------------------|----------------|
| | | | | 20000 kg Capacity-Single Reeved | | | | | | |
| SX6041020OF64EG | 1Am | 23.5 | 4 8/0 8 | 18/3 | 4 P S | 44357 | NA | 62931 | 54011 | 2400 |
| SX60410200P64EH | 1Am | 30.5 | 4 8/0 8 | 1&/3 | 4 P S | 47911 | NA | 67637 | 58052 | 3100 |
| SX6041020QF64EJ | 1Am | 40 | 4 8/0 8 | 18/3 | 4 P S | 51407 | NA | 71441 | 61316 | 3400 |
| SX6041020OP64EK | 1Am | 48.5 | 4 8/0.8 | 18/3 | 4 P S | 54938 | NA | 75269 | 64602 | 4200 |
| SX60610200P66EC | 3m | 5 | 33/0.5 | 14/2.3 | 6 P S | 40611 | NA | 60581 | 51993 | 1400 |
| SX60610QOOP66ED | 3m | 7 | 3/0.5 | 14/2.3 | 6P S | 42042 | NA | 61973 | 53188 | 1700 |
| SX60610QOOP66EE | 3m | 9 | 3/0.5 | 14/2.3 | 6 P S | 44000 | NA | 64782 | 55599 | 1700 |
| SX60610QOOP66EF | 3m | 12 | 3/0.5 | 14/2.3 | 6P.S. | 46646 | NA | 66394 | 56985 | 2000 |
| SX60610200F66EG | 3m | 15.5 | 3/0.5 | 14/2.3 | 6 P S. | 50066 | NA | 69628 | 59759 | 2400 |
| SX60610200P66EH | 3m | 20 | 3/0.5 | 14/2.3 | 6 P S | 53485 | NA | 73082 | 62724 | 3000 |
| SX60610200P66EJ | 3m | 26.5 | 3/0.5 | 14/2.3 | 6P S | 56860 | NA | 76690 | 65818 | 3400 |
| SX6061020QP66EK | 3m | 32 | 3/0.5 | 14/2.3 | 6 P S | 60325 | NA | 80316 | 68933 | 4200 |
| SX606102SOP6SEC | 2m | 5 | 3/0.5 | 18/3 | 6 P S | 40611 | NA | 60581 | 51993 | 1400 |
| SX606102SOP6SED | 3n | 7 | 3/0.5 | 18/3 | 6 P S | 42042 | NA | 61973 | 53188 | 1700 |
| SX606102\$0C6\$EE | 3n | 9 | 3/0.5 | 18/3 | 6 P S | 44000 | NA | 64782 | 55991 | 1700 |
| SX606102SOP6SEF | 2m | 12 | 3/0.5 | 18/3 | 6 P S | 46646 | NA | 66394 | 56981 | 2000 |
| SX60610250C65EG | 2m | 15.5 | 3/0.5 | 18/3 | 6 P S | 50066 | NA | 69628 | 59759 | 2400 |
| SX606102SOP65EH | 2m | 21 | 3/0.5 | 18/3 | 6 P S | 53485 | NA | 73082 | 62724 | 3100 |
| SX60610210P66EJ | 2m | 26.5 | 3/0 5 | 18/3 | 6 P S | 56860 | NA | 76690 | 65818 | 3400 |
| SX60610200P66EK | 2m | 32 | 3/0.5 | 1&/3 | 6P S | 60325 | NA | 80316 | 65868 | 4200 |

Nota: Recuperado de (R&M Materials Handling Inc, 2012)

Figura 102

Características de polipastos SX6

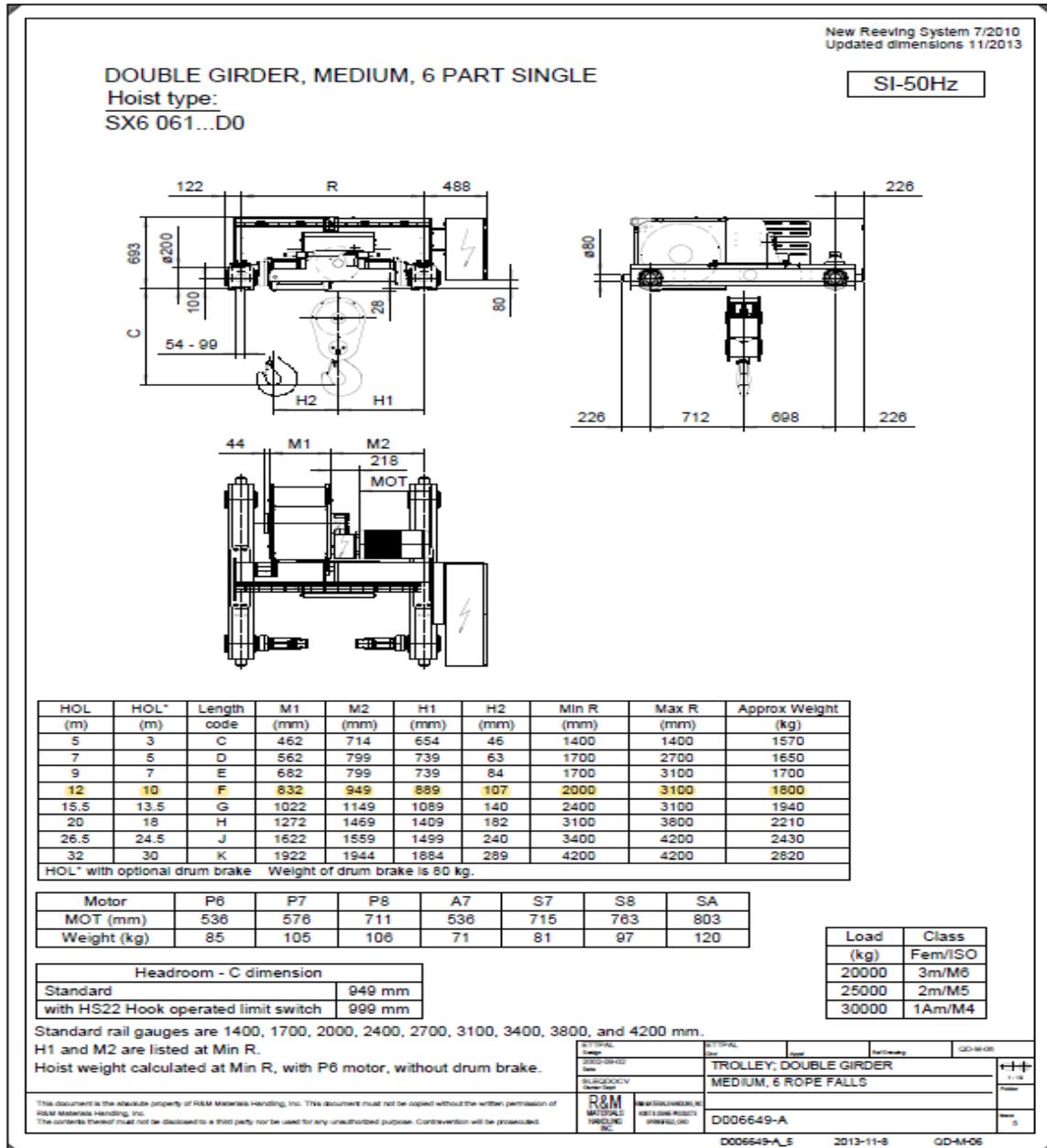
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|---|---|------|---|---------|--|---------|---|-----------------------|--|------------|---|-------------|--------------------------------------|-------|---|-----------|---|--|
| Currency: CAD Units: Metric Frequency: 60 Hz |  SPACEMASTER[®] SX SX6 Hoist Standard Features | Page 4 January 2, 2012 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td style="width: 20%;">Hoist</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Electro-mechanical overload limit device ▶ 4 step rotary limit switch (Lower, upper, upper slowdown, phase mismatch protection) </td> </tr> <tr> <td>Hoist Motor</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Two-speed motor (6:1 ratio) ▶ Self-adjusting D.C. disc motor brake ▶ 60% ED ▶ Class F insulation ▶ IP55 motor protection ▶ Klixon-type bimetal switch for thermal protection </td> </tr> <tr> <td>Hook</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Hook forging size & strength class (See hoist technical guide for information.) ▶ Safety latch </td> </tr> <tr> <td>Reeving</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 2 or 4 part single & 2 or 4 part double (true vertical lift): steel core wire rope ▶ 6 or 8 part single & 6 or 8 part double (true vertical lift): IWRC wire rope ▶ See hoist technical guide for wire rope details. ▶ Double reeved: Two separate ropes, 1 left-hand lay and 1 right-hand lay ▶ Ductile iron rope guide ▶ Ductile iron rope sheaves (See hoist technical guide for sheave-to-rope ratio.) ▶ Sheave to rope diameter ratio meets ISO M6 duty class </td> </tr> <tr> <td>Trolley</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Normal headroom (N0) (Note: 8 part single reeving not available) ▶ Double girder standard gauge (D0) ▶ Double girder trolley - two trolley drives - two wheels driven ▶ Ductile iron wheels ▶ Crown tread trolley wheels on Low Headroom and Normal Headroom ▶ Bumpers ▶ Safety drop lugs </td> </tr> <tr> <td>Trolley Drive & Speed</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Inverter-duty motor with compact brake (Inverter located in hoist control panel.) ▶ 65 fpm [20m/min] standard travel speed - set for stepless speed control ▶ 40% ED </td> </tr> <tr> <td>Electrical</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Standard voltages: 208, 230, 460 or 575 volts - 3 phase - 60Hz ▶ For other voltages - contact R&M ▶ Standard control voltage: 115 volts ▶ IP55 control enclosure ▶ Assembly according to CSA standards, NEMA 3 protection rating ▶ Standard hoist controls DO NOT INCLUDE a mainline contactor, control transformer or a push button pendant assembly. (Sold separately) ▶ Plug connectors for power and control (See hoist technical guide for exceptions.) </td> </tr> <tr> <td>Environment</td> <td>▶ Ambient temperature -10°C to +40°C</td> </tr> <tr> <td>Paint</td> <td>▶ Two-component epoxy paint. (See hoist technical guide for details.)</td> </tr> <tr> <td>Documents</td> <td>▶ One set of owner's manuals - CD ROM + paper</td> </tr> </table> | Hoist | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Electro-mechanical overload limit device ▶ 4 step rotary limit switch (Lower, upper, upper slowdown, phase mismatch protection) | Hoist Motor | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Two-speed motor (6:1 ratio) ▶ Self-adjusting D.C. disc motor brake ▶ 60% ED ▶ Class F insulation ▶ IP55 motor protection ▶ Klixon-type bimetal switch for thermal protection | Hook | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Hook forging size & strength class (See hoist technical guide for information.) ▶ Safety latch | Reeving | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 2 or 4 part single & 2 or 4 part double (true vertical lift): steel core wire rope ▶ 6 or 8 part single & 6 or 8 part double (true vertical lift): IWRC wire rope ▶ See hoist technical guide for wire rope details. ▶ Double reeved: Two separate ropes, 1 left-hand lay and 1 right-hand lay ▶ Ductile iron rope guide ▶ Ductile iron rope sheaves (See hoist technical guide for sheave-to-rope ratio.) ▶ Sheave to rope diameter ratio meets ISO M6 duty class | Trolley | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Normal headroom (N0) (Note: 8 part single reeving not available) ▶ Double girder standard gauge (D0) ▶ Double girder trolley - two trolley drives - two wheels driven ▶ Ductile iron wheels ▶ Crown tread trolley wheels on Low Headroom and Normal Headroom ▶ Bumpers ▶ Safety drop lugs | Trolley Drive & Speed | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Inverter-duty motor with compact brake (Inverter located in hoist control panel.) ▶ 65 fpm [20m/min] standard travel speed - set for stepless speed control ▶ 40% ED | Electrical | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Standard voltages: 208, 230, 460 or 575 volts - 3 phase - 60Hz ▶ For other voltages - contact R&M ▶ Standard control voltage: 115 volts ▶ IP55 control enclosure ▶ Assembly according to CSA standards, NEMA 3 protection rating ▶ Standard hoist controls DO NOT INCLUDE a mainline contactor, control transformer or a push button pendant assembly. (Sold separately) ▶ Plug connectors for power and control (See hoist technical guide for exceptions.) | Environment | ▶ Ambient temperature -10°C to +40°C | Paint | ▶ Two-component epoxy paint. (See hoist technical guide for details.) | Documents | ▶ One set of owner's manuals - CD ROM + paper | |
| Hoist | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Electro-mechanical overload limit device ▶ 4 step rotary limit switch (Lower, upper, upper slowdown, phase mismatch protection) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hoist Motor | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Two-speed motor (6:1 ratio) ▶ Self-adjusting D.C. disc motor brake ▶ 60% ED ▶ Class F insulation ▶ IP55 motor protection ▶ Klixon-type bimetal switch for thermal protection | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hook | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Hook forging size & strength class (See hoist technical guide for information.) ▶ Safety latch | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Reeving | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 2 or 4 part single & 2 or 4 part double (true vertical lift): steel core wire rope ▶ 6 or 8 part single & 6 or 8 part double (true vertical lift): IWRC wire rope ▶ See hoist technical guide for wire rope details. ▶ Double reeved: Two separate ropes, 1 left-hand lay and 1 right-hand lay ▶ Ductile iron rope guide ▶ Ductile iron rope sheaves (See hoist technical guide for sheave-to-rope ratio.) ▶ Sheave to rope diameter ratio meets ISO M6 duty class | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trolley | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Normal headroom (N0) (Note: 8 part single reeving not available) ▶ Double girder standard gauge (D0) ▶ Double girder trolley - two trolley drives - two wheels driven ▶ Ductile iron wheels ▶ Crown tread trolley wheels on Low Headroom and Normal Headroom ▶ Bumpers ▶ Safety drop lugs | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trolley Drive & Speed | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Inverter-duty motor with compact brake (Inverter located in hoist control panel.) ▶ 65 fpm [20m/min] standard travel speed - set for stepless speed control ▶ 40% ED | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Electrical | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Standard voltages: 208, 230, 460 or 575 volts - 3 phase - 60Hz ▶ For other voltages - contact R&M ▶ Standard control voltage: 115 volts ▶ IP55 control enclosure ▶ Assembly according to CSA standards, NEMA 3 protection rating ▶ Standard hoist controls DO NOT INCLUDE a mainline contactor, control transformer or a push button pendant assembly. (Sold separately) ▶ Plug connectors for power and control (See hoist technical guide for exceptions.) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Environment | ▶ Ambient temperature -10°C to +40°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Paint | ▶ Two-component epoxy paint. (See hoist technical guide for details.) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Documents | ▶ One set of owner's manuals - CD ROM + paper | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>R&M Materials Handling, Inc. 4501 Gateway Blvd. Springfield, OH 45502</p> | |  www.rmhoist.com | <p>Phone: 937-328-5100 Fax: 937-325-5319</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Nota: Recuperado de (R&M Materials Handling Inc, 2012)

Luego, del manual R&M Materials Handling ubicamos las características para el carro para puentes grúa birriel tipo SX6061 la cual se muestra en la **Figura 103**.

Figura 103

Carro para puentes grúa birriel tipo SX6061



Nota: Recuperado de (R&M Materials Handling Inc., 2010).

3.15.3. Motores

Para el cálculo del motor a usar vamos a usar la siguiente ecuación de la norma CMMA 70 inciso 5.2.9.1.2.1:

$$HP = K_a * W * V * K_s$$

Hallamos el factor de aceleración K_a donde:

$$K_a = \frac{f + \frac{2000 * a * C_r}{g * E}}{33000 * K_t} * \frac{N_r}{N_f}$$

Donde:

$f = 15$ lb/ton para diámetro de 12 pulgadas (315mm) obtenido de la **Figura 104**

Figura 104

Factor de fricción

TABLE 5.2.9.1.2.1-D

SUGGESTED VALUES FOR F (FRICTION FACTOR) FOR BRIDGES & TROLLEYS
WITH METALLIC WHEELS & ANTI-FRICTION BEARINGS

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Wheel Dia. Inches | 36 | 30 | 27 | 24 | 21 | 18 | 15 | 12 | 10 | 8 | 6 |
| Friction Lb/Ton(f) | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 |

Nota: Recuperado de (R&M Materials Handling Inc., 2010).

$a = 0.25$ ft/s² Tasa de aceleración para desplazamiento recomendado para 1pie/s(20m/min) por la norma CMMA 70 en la **Figura 105**

Figura 105

Tasa de aceleración para desplazamiento

TABLE 5.2.9.1.2.1-A
GUIDE FOR TRAVEL MOTION
TYPICAL ACCELERATION RATES RANGE¹

| Free Running Full Load Speed | | a = Acceleration Rate in Feet per Sec. per Sec. for AC or DC ² Motors |
|---------------------------------|--------------|---|
| Ft. per Min. | Ft. per Sec. | |
| 60 | 1.0 | .25 Min. |
| 120 | 2.0 | .25 - .80 |
| 180 | 3.0 | .30 - 1.0 |
| 240 | 4.0 | .40 - 1.0 |
| 300 | 5.0 | .50 - 1.1 |
| 360 | 6.0 | .60 - 1.1 |
| 420 | 7.0 | .70 - 1.2 |
| 480 | 8.0 | .80 - 1.3 |
| 540 | 9.0 | .90 - 1.4 |
| 600 | 10.0 | 1.0 - 1.6 |

Nota: Recuperado de (R&M Materials Handling Inc., 2010).

C_r = Factor de inercia rotacional, se calcula mediante la ecuación:

$$C_r = 1.05 + \frac{a}{7.5}$$

$$C_r = 1.08$$

$$g = 32.2 \text{ ft/s}^2$$

E= 0.9. Eficiencia mecánica de la máquina recomendado por la norma CMAA 70

Nr/Nf= 0.96 recomendado de CMAA70 inciso 5.2.9.1.2

Kt= 1.5 factor de par de aceleración recomendado por norma CMAA 70 y se obtiene la tabla de la **Figura 106**.

Figura 106

Tasa de aceleración para desplazamiento

TABLE 5.2.9.1.2.1-C
RECOMMENDED VALUES OF K_t (ACCELERATING TORQUE FACTOR)

| Type of Motor | Type of Control | 3K_t |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| AC Wound Rotor | Contactora-Resistor | 1.3-1.5 ⁴ |
| AC Wound Rotor | Static Stepless | 1.3-1.5 ⁴ |
| AC Wound Rotor, Mill | Contactora-Resistor | 1.5-1.7 ⁴ |
| AC Sq Cage | Ballast Resistor | 1.3 |
| AC Induction | Inverter | 1.5 |
| DC Shunt Wound | Adjustable Voltage | 1.5 |
| DC Series Wound | Contactora-Resistor | 2.0 |

³ K_t is a function of control and/or resistor design.

⁴Low end of range is recommended when permanent slip resistance is used.

Nota: Recuperado de (R&M Materials Handling Inc., 2010).

$$K_a = \frac{f + \frac{2000 * a * C_r}{g * E}}{33000 * K_t} * \frac{N_r}{N_f}$$

$$K_a = \frac{15 + \frac{2000 * 0.25 * 1.08}{32.2 * 0.9}}{33000 * 1.5} * 0.96$$

$$K_a = 6.12 * 10^{-4}$$

$W = 20 \text{ ton}$ (según la capacidad de la grúa)

$V = \text{Velocidad de desplazamiento longitudinal es de } 65,6 \text{ ft/min}$

$K_s = 1.3$ recomendado de la norma CMAA 70 en la tabla 5.2.9.1.2.1 – E

Reemplazamos en la siguiente ecuación:

$$HP = K_a * W * V * K_s$$

$$HP = 6.12 * 10^{-4} * 20\text{ton} * 65.6\text{ft/min} * 1.3$$

$$HP = 1.04 \text{ hp} = 0.77\text{Kw}$$

Entonces seleccionamos un motor de 3 HP según la **Figura 107**.

Figura 107

Motores tipo ABB tipo M2QA de 6 polos

Motores trifásicos tipo jaula de ardilla totalmente cerrados autoventilados de Eficiencia Estándar

Velocidad 1200 RPM (6 polos) - M2QA - IP55 - IC411 - Aislamiento clase F/ DT B - 220/380/440V - B3 - 60Hz

| REFERENCIA PEDIDO | TIPO | CARCASA | POTENCIA | | Vel. RPM | F.S. | Eff [%] | F.P. | In[A] 220V | In[A] 440V | PRECIO LISTA |
|-------------------|------|-----------|----------|------|-------------|------|---------|------|---------------|---------------|--------------|
| | | | HP | kW | | | | | | | |
| 3GQA073302-ASA | M2QA | 71 M6B | 0.33 | 0.25 | 1080 | 1.15 | 59,8 | 0,61 | 1.8 | 0.90 | \$ 160.00 |
| 3GQA083301-ASA | M2QA | 80 M6A | 0.5 | 0.37 | 1108 | 1.15 | 63,3 | 0,65 | 2.4 | 1.20 | \$ 182.00 |
| 3GQA083302-ASA | M2QA | 80 M6B | 0.75 | 0.55 | 1105 | 1.15 | 64,9 | 0,67 | 3.4 | 1.7 | \$ 198.00 |
| 3GQA093101-ASA | M2QA | 90 S6A | 1 | 0.75 | 1111 | 1.15 | 70,8 | 0,72 | 3.8 | 1.9 | \$ 241.00 |
| 3GQA093501-ASA | M2QA | 90 L6A | 1.5 | 1.1 | 1105 | 1.15 | 73,3 | 0,75 | 5.4 | 2.7 | \$ 300.00 |
| 3GQA103501-ASA | M2QA | 100 L6A | 2 | 1.5 | 1135 | 1.15 | 76,3 | 0,75 | 6.8 | 3.4 | \$ 316.00 |
| 3GQA113301-ASA | M2QA | 112 M6A | 3 | 2 | 1148 | 1.15 | 79,3 | 0,75 | 9.8 | 4.9 | \$ 379.00 |
| ■ 3GQA113302-ASA | M2QA | 112 M6B * | 4 | 3.0 | 1140 | 1.00 | 80,6 | 0,77 | 12,7 | 6.3 | \$ 473.00 |
| 3GQA133301-ADA | M2QA | 132 M6A | 5 | 3.7 | 1156 | 1.15 | 84,2 | 0,74 | 15.6 | 7.8 | \$ 622.00 |
| 3GQA133301-ADA6 | M2QA | 132 M6A * | 6 | 4.5 | 1147 | 1.15 | 84,0 | 0,79 | 17.8 | 8.9 | \$ 668.00 |
| ■ 3GQA133302-ADA | M2QA | 132 M6B | 7.5 | 5.5 | 1152 | 1.15 | 85,7 | 0,78 | 21.8 | 10.9 | \$ 784.00 |
| 3GQA133303-ADA | M2QA | 132 M6C * | 10 | 7.5 | 1160 | 1.00 | 86 | 0.80 | 28.6 | 14.3 | \$ 861.00 |
| 3GQA163501-ADA | M2QA | 160 L6A | 12.5 | 9 | 1173 | 1.15 | 89,8 | 0,74 | 36.6 | 18.3 | \$ 1,415.00 |
| 3GQA163501-ADA15 | M2QA | 160 L6A | 15 | 11 | 1167 | 1.15 | 90,0 | 0,79 | 41.2 | 20.6 | \$ 1,445.00 |
| 3GQA163502-ADA | M2QA | 160 L6B * | 20 | 15 | 1160 | 1.00 | 85.5 | 0.80 | 57.2 | 28.6 | \$ 1,597.00 |
| 3GQA183502-ADA | M2QA | 180 L6B | 25 | 18.5 | 1180 | 1.15 | 87 | 0.83 | 68.0 | 34.0 | \$ 2,133.00 |
| 3GQA203502-ADA | M2QA | 200 L6B | 30 | 22 | 1173 | 1.15 | 90.6 | 0.85 | 76.0 | 38.0 | \$ 2,654.00 |
| 3GQA203503-ADA | M2QA | 200 L6C | 40 | 30 | 1180 | 1.15 | 90.4 | 0.84 | 103.3 | 51.7 | \$ 3,453.00 |
| 3GQA223302-ADA | M2QA | 225 M6B | 50 | 37 | 1180 | 1.15 | 92 | 0.84 | 126.7 | 63.3 | \$ 4,153.00 |
| 3GQA253301-ADA | M2QA | 250 M6A | 60 | 45 | 1176 | 1.15 | 92.6 | 0.91 | 140.0 | 70.0 | \$ 4,424.00 |
| 3GQA283301-ADA | M2QA | 280 M6A | 75 | 55 | 1176 | 1.15 | 92.9 | 0.88 | 178 | 89 | \$ 6,513.00 |
| 3GQA283302-ADA | M2QA | 280 M6B * | 100 | 75 | 1175 | 1.00 | 93 | 0.88 | 240 | 120 | \$ 8,497.00 |
| ■ 3GQA313101-ADA | M2QA | 315 S6A | 125 | 90 | 1186 | 1.15 | 93.8 | 0.88 | 294 | 147 | \$ 9,031.00 |
| ■ 3GQA313501-ADA | M2QA | 315 L6A | 150 | 110 | 1188 | 1.15 | 94.6 | 0.88 | 352 | 176 | \$ 12,907.00 |

* Incremento de temperatura clase F (Por norma 105 K, diseño ABB <90 K)

NOTAS:

(1) Aplican en general las características descritas en la ficha técnica incluida en esta lista de precios

(2) Para accesorios opcionales y consideraciones especiales consultar con ABB

■ Producto importado bajo pedido

Nota: Recuperado de (ABB, 2015).

Figura 108

Tabla de reductores Motovario

Serie VSF / Standard / IEC

5.9 NRV/NMRV-P REDUCTOR COMBINADO - 1140 rpm

CATÁLOGO TÉCNICO

NRV-P063/130

| Mn ₂ [Nm] | i | Pn ₁ [kW] | n ₂ [rpm] | Fr1 [N] | Fr2 [N] |
|-------------------------|---------|-------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1183 | 100,00 | 1,97 | 11,4 | 667 | 10722 |
| 1668 | 150,00 | 1,97 | 7,6 | 667 | 12274 |
| 1600 | 200,00 | 1,44 | 5,7 | 667 | 13500 |
| 1530 | 250,00 | 1,13 | 4,6 | 667 | 13500 |
| 1760 | 300,00 | 1,19 | 3,8 | 667 | 13500 |
| 1650 | 400,00 | 0,88 | 2,9 | 667 | 13500 |
| 1550 | 500,00 | 0,69 | 2,3 | 667 | 13500 |
| 1760 | 600,00 | 0,64 | 1,9 | 700 | 13500 |
| 1760 | 750,00 | 0,53 | 1,5 | 700 | 13500 |
| 1760 | 900,00 | 0,47 | 1,3 | 700 | 13500 |
| 1760 | 1200,00 | 0,37 | 1,0 | 700 | 13500 |
| 1760 | 1500,00 | 0,32 | 0,8 | 700 | 13500 |
| 1760 | 1800,00 | 0,28 | 0,6 | 700 | 13500 |
| 1650 | 2400,00 | 0,21 | 0,5 | 700 | 13500 |
| 1550 | 3000,00 | 0,16 | 0,4 | 700 | 13500 |
| 1550 | 4000,00 | 0,13 | 0,3 | 700 | 13500 |
| 1550 | 5000,00 | 0,12 | 0,2 | 700 | 13500 |

NRV-P063/150

| Mn ₂ [Nm] | i | Pn ₁ [kW] | n ₂ [rpm] | Fr1 [N] | Fr2 [N] |
|-------------------------|---------|-------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 2148 | 150,00 | 2,51 | 7,6 | 580 | 18000 |
| 2195 | 200,00 | 1,97 | 5,7 | 667 | 18000 |
| 2050 | 250,00 | 1,51 | 4,6 | 667 | 18000 |
| 2340 | 300,00 | 1,45 | 3,8 | 700 | 18000 |
| 2670 | 400,00 | 1,40 | 2,9 | 667 | 18000 |
| 2330 | 500,00 | 1,04 | 2,3 | 667 | 18000 |
| 2670 | 600,00 | 0,97 | 1,9 | 700 | 18000 |
| 2330 | 750,00 | 0,72 | 1,5 | 700 | 18000 |
| 2100 | 900,00 | 0,52 | 1,3 | 700 | 18000 |
| 2670 | 1200,00 | 0,55 | 1,0 | 700 | 18000 |
| 2330 | 1500,00 | 0,41 | 0,8 | 700 | 18000 |
| 2100 | 1800,00 | 0,31 | 0,6 | 700 | 18000 |
| 2670 | 2400,00 | 0,33 | 0,5 | 700 | 18000 |
| 2330 | 3000,00 | 0,24 | 0,4 | 700 | 18000 |
| 2330 | 4000,00 | 0,20 | 0,3 | 700 | 18000 |
| 2330 | 5000,00 | 0,18 | 0,2 | 700 | 18000 |

Nota: Recuperado de (Teco Group Company, p. 138).

3.16. Impacto en la eficiencia y procedimiento de mantenimiento correctivo

En campo se observa que el procedimiento desde situado, traslado y colocación de componentes con los equipos de izaje actualmente utilizados toma el tiempo promediado de 2 horas por componente. Según la norma CMAA 70 las velocidades medias recomendadas para puentes grúa de 20 Toneladas de capacidad son: 6 *m/min* para el polipasto, 24 *m/min* para el carro y 40 *m/min* para el puente los valores tomados de la **Tabla 26**. Tomando el caso máximo en el que se tenga que utilizar la altura máxima de izaje y la traslación máxima, es decir, de esquina a esquina, se calcula el tiempo que tomaría el situado, traslado y colocación de un componente con el puente grúa.

La altura de izaje es de 7 metros desde el piso (considerando el espacio que ocupa el puente) por lo tanto el izaje de subida y bajada serian en total de 2 min 20 segundos. Para el movimiento del carro a lo largo de la envergadura del puente tomaría 30 segundos, tomando en cuenta los topes del carro. Para el que el puente recorra todo el largo del taller que son 50 metros el tiempo sería de 1 minuto 15 segundos. El tiempo de colocación y confirmación de enganche del componente se estima a 10 minutos, como debe hacerse este proceso 2 veces o sea montaje y desmontaje, en total serán 20 minutos. El nuevo tiempo entonces es de 24 minutos con 5 segundos en un caso en el que se tenga que trasladar el componente la mayor distancia posible. Por lo que podríamos afirmar que se reduce el tiempo de traslado de componentes en un 80% en comparación a las 2 horas que tomaba hacer esto por componente.

Tabla 26

Velocidades de operación recomendadas en pies por minuto para grúas controladas desde piso

| Capacidad en toneladas | Polipasto | | | Carro | | | Puente | | |
|------------------------------|-----------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| | Lento | Medio | Rápido | Lento | Medio | Rápido | Lento | Medio | Rápido |
| 3 | 20 | 35 | 45 | 50 | 80 | 130 | 60 | 130 | 180 |
| 5 | 20 | 30 | 40 | 50 | 80 | 130 | 60 | 130 | 180 |
| 7.5 | 15 | 25 | 40 | 50 | 80 | 130 | 60 | 130 | 180 |
| 10 | 15 | 25 | 35 | 50 | 80 | 130 | 60 | 130 | 180 |
| 15 | 15 | 20 | 30 | 50 | 80 | 125 | 60 | 130 | 180 |
| 20 | 10 | 20 | 30 | 50 | 80 | 125 | 60 | 130 | 180 |
| 25 | 10 | 20 | 25 | 50 | 80 | 125 | 60 | 130 | 160 |
| 30 | 10 | 15 | 25 | 50 | 80 | 125 | 60 | 130 | 160 |
| 35 | 8 | 15 | 25 | 50 | 80 | 125 | 60 | 130 | 160 |

Nota: Adaptado de Tolerancias para el puente grúa, por Crane Manufactures Association of America Inc (CMAA), 2020, Fuente (<https://www.mhi.org/cmaa/specifications>)

De acuerdo con los equipos y tiempos de operación reales con los que trabaja el taller se ha realizado una comparación de precios tomando en cuenta la reducción de tiempos de operación y se ha plasmado en la **tabla 27**. En esta observamos el ahorro que se logra obtener dependiendo de que equipo o componente se tiene que trasladar en el taller. Se compara el costo actual del traslado vs una proyección del costo usando el puente grúa.

Tabla 27*Comparación de costo de izaje por componente con y sin uso del puente grúa.*

| ACTIVIDAD | COMPONENTE(S) | MODELO | STANDAR JOB | COSTO CON | HORAS DE TRABAJO | COSTO SIN | DIFERENCIA |
|------------|---------------|--------|-------------|-----------|------------------|-----------|------------|
| | | | HRS | PUENTE | ACTUAL | PUENTE | |
| DESMONTAJE | -MOTOR- | CS533 | 20 Hrs. | USD 1140 | 32 Hrs | USD 1824 | USD 684 |
| DESMONTAJE | -MOTOR- | D6TXL | 20 Hrs | USD 1140 | 36 Hrs | USD 2052 | USD 912 |
| DESMONTAJE | -MOTOR- | D8T | 20 Hrs | USD 1140 | 40 Hrs | USD 2280 | USD 1140 |
| DESMONTAJE | -CUCHARON- | 329DL | 3 Hrs | USD 171 | 6 Hrs | USD 342 | USD 171 |
| DESMONTAJE | -CUCHARON- | 336D2L | 6 Hrs | USD 342 | 8 Hrs | USD 456 | USD 114 |
| DESMONTAJE | -CUCHARON- | 365CL | 10 Hrs | USD 570 | 16 Hrs | USD 912 | USD 342 |
| DESMONTAJE | -CUCHARON- | 950GC | 10 Hrs | USD 570 | 18 Hrs | USD 1026 | USD 456 |
| DESMONTAJE | -CUCHARON- | 950H | 10 Hrs | USD 570 | 18 Hrs | USD 1026 | USD 456 |
| DESMONTAJE | DIFERENCIAL | 950GC | 18 Hrs | USD 1026 | 32 Hrs | USD 1824 | USD 798 |
| DESMONTAJE | CADENA | 330CL | 12 Hrs | USD 684 | 34 Hrs | USD 1938 | USD 1254 |
| DESMONTAJE | CADENA | 336D2L | 12 Hrs | USD 684 | 34 Hrs | USD 1938 | USD 1254 |
| DESMONTAJE | SWING DRIVE | 336DL | 8 Hrs | USD 456 | 12 Hrs | USD 684 | USD 228 |
| DESMONTAJE | BUCKET | 966H | 9 Hrs | USD 513 | 12 Hrs | USD 684 | USD 171 |
| DESMONTAJE | BUCKET | 336 | 5 Hrs | USD 285 | 8 Hrs | USD 456 | USD 171 |
| DESMONTAJE | RIPPER | D8T | 10 Hrs | USD 570 | 24 Hrs | USD 1368 | USD 798 |
| DESMONTAJE | DRUM ARMS | CS78 | 40 Hrs | USD 2280 | 56 Hrs | USD 3192 | USD 912 |
| DESMONTAJE | CABINA | 140K | 50 Hrs | USD 2850 | 64 Hrs | USD 3648 | USD 798 |
| DESMONTAJE | TRANSMISION | 140K | 24 Hrs | USD 1368 | 38 Hrs | USD 2166 | USD 798 |
| DESMONTAJE | TRANSMISION | 14H | 22 Hrs | USD 1254 | 36 Hrs | USD 2052 | USD 798 |

Nota: Se detallan los componentes involucrados y la diferencia de costos asociada a la implementación del puente grúa.

CAPÍTULO IV: COSTOS

1. Costo de materiales

Tabla 28

Costo de materiales

| Costo de materiales estructurales para fabricación | | | | |
|---|---|-----------------|------------------------------|--------------------|
| Ítem | Descripción | Cantidad | Precio unitario (S/.) | Total (S/.) |
| 1 | Viga carrilera W24x146 ASTM A572 40 pies | 7 | 2500 | 17500 |
| 2 | Plancha A 572 para refuerzo de viga carrilera 3x12 m | 1 | 2000 | 2000 |
| 3 | Plancha A36 3/8'' para ala de viga cajón 2.4x6 m | 3 | 1500 | 4500 |
| 4 | Plancha A36 1/4'' para alma de viga cajón 1.5x6 m | 9 | 1200 | 10800 |
| 5 | Rieles ASCE 40 Libras/Yardas por 6.00m. | 14 | 2400 | 33600 |
| Total (S/.) | | | | 68400 |

Nota: Elaboración propia

2. Costo de fabricación

Tabla 29

Costo de fabricación

| Costo de soldadura | | | | |
|---------------------------|--|-----------------|----------------------------------|------------------------|
| Ítem | Descripción | Cantidad | Precio unitario (S/.) | Total (S/.) |
| 1 | ET1T-1 de 15kg para soldar viga encajonada y vigas testeras | 31 | 200 | 6200 |
| 2 | Alquiler de máquina de fuente de energía y alimentador de soldar por día | 5 | 150 | 750 |
| 3 | Soldador por día | 5 | 120 | 600 |
| Total (S/.) | | | | 7550 |

Nota: Elaboración propia

3. Costo de Trolley y accesorios de izaje

Tabla 30

Costo de trolley y accesorios de izaje

| Costo de carro y accesorios de izaje | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|----------|-------------|------------|
| Ítem | Descripción | Cantidad | Precio (\$) | Total (\$) |
| 1 | Polipasto SX6061 y trolley | 1 | 56985 | 56985 |
| 2 | Set de viga testera RTN32-32 | 2 | 7042 | 14084 |
| 4 | Motor 3 hp ABB | 2 | 379 | 758 |
| 6 | Reductor | 2 | 400 | 800 |
| Total (\$) | | | | 72627 |

Nota: Elaboración propia

Sumando costos de materiales estructurales para fabricación, costo de soldadura, costos de carro y accesorios de izaje nos da un total aproximado en soles de S/. 346 122.44, sin tomar en cuenta costos de instalación, mantenimiento y transporte. Debe ser tomado en cuenta de que todos los precios son valores referenciales promediados de varios distribuidores y pueden variar con el tiempo y de acuerdo con el mercado peruano y tipo de cambio.

1. Análisis económico.

Para el análisis se consideró la operación del puente grúa según **Tabla 27** por el periodo de una operación completa de izaje de todos los elementos considerando los costos en la **Tabla 28**, costo de fabricación **Tabla 29** y costo de Trolley y accesorios de izaje, **Tabla 30**.

El ahorro por total por evento completo (desmontaje de todos los componentes) por un ciclo de operación es de **USD 12,985.00**.

Tabla 31

Retorno de inversión por una operación descrita en la Tabla 27

| Concepto | Valor |
|----------------------------------|--|
| Costo total de inversión | S/. 346,122.44 |
| Ahorro por evento completo (USD) | USD 12,985 |
| Ahorro por evento (S/.) | USD 12,985 × 3.70 = S/. 48,044.50 |
| ROI por evento | $(48,044.50 / 346,122.44) \times 100 = \mathbf{13.88\%}$ |

Nota: Elaboración propia

El punto de retorno total se determina a partir de la siguiente fórmula::

$$ROI = \frac{\text{Costo Inversion}}{\text{Ahorro por inversion}} = 7.2 \text{ eventos completos}$$

Por lo que se infiere que se deberá realizar el **desmontaje de todos los equipos en aproximadamente 7 veces** para recuperar la inversión inicial.

Frecuencia de eventos y posible vida útil del puente grúa.

- Vida útil promedio de puentes grúa: 15-20 años.
- Eventos necesarios para la rentabilidad: 7 eventos completos.

Tabla 32

Rentabilidad en relación al número de eventos por año.

| Frecuencia de eventos/año | Años para recuperar inversión | Rentabilidad a 15 años (S/.) |
|----------------------------------|--------------------------------------|--|
| 0.5 (cada 2 años) | 14 años | $48,044.50 \times 7.5 = \text{S/. } 360,333.75$ |
| 1 | 7 años | $48,044.50 \times 15 = \text{S/. } 720,667.50$ |
| 2 | 3.5 años | $48,044.50 \times 30 = \text{S/. } 1,441,335.00$ |
| 4 | 1.75 años | $48,044.50 \times 60 = \text{S/. } 2,882,670.00$ |

Nota: Elaboración propia

También se analizó los componentes críticos que tienen mayor tasa de retorno se listó los 5 componentes con mayor ahorro por evento sumando 38% del total.

Tabla 33

Rentabilidad en relación al número de eventos por año.

| N.º | Componente | Ahorro/evento (USD) | % del total |
|------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|
| 1 | Cadena (330CL y 336D2L) | $1,254 \times 2 = 2,508$ | 19.3% |
| 2 | Drum Arms (CS78) | 912 | 7.0% |
| 3 | Motor D8T | 1,140 | 8.8% |
| 4 | Ripper D8T | 798 | 6.1% |
| 5 | Transmisión (140K y 14H) | $798 \times 2 = 1,596$ | 12.3% |
| | Total | 6,954 | 53.5% |

Nota: Elaboración propia

El punto de retorno total considerando únicamente los componentes críticos se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$ROI = \frac{\text{Costo Inversion}}{\text{Ahorro por inversion}} = 13 \text{ eventos completos}$$

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se desarrollo el diseño de una de las vigas cajón de un puente grúa para capacidad nominal de 20 Toneladas y los testeros de la viga, determinando la característica del perfil de 900 mm x 500 mm x 10 mm ala x 6 mm en alma con un largo de 13 m de material ASTM A-36, con un momento flector máximo de $9580854.26 \text{ kg} \cdot \text{cm}$, con un esfuerzo equivalente de $1101.848942 \text{ kg}/\text{cm}^2$ un factor de seguridad de 5. Se cumplen también los lineamientos estructurales y mecánicos de la norma CMAA 70 y se compararon los valores obtenidos de deformación y esfuerzos máximos en el análisis de elementos finitos con los cálculos analíticos. Los testeros del puente grúa son perfiles W24X146 con un cubre placas de 12.7x381 mm y cumplen los criterios de diseño de la Guía de diseño para estructuras de acero de soporte de grúas del instituto canadiense de construcción en acero.
- Se realizó el análisis por el método de elementos finitos (FEM) del puente grúa de 20 toneladas de capacidad para evaluar los factores de diseño como deformación, esfuerzos, factor de seguridad y modos de vibración del perfil de viga cajón del puente grúa. Los valores obtenidos serán validados posteriormente mediante análisis analítico y comparados con las normas de diseño de puentes grúa.
- Se aplicó el software de diseño y simulación ANSYS MECHANICAL basado en el método de elementos finitos, lo cual garantiza la precisión en la determinación de las características estáticas y dinámicas de la viga principal de un puente grúa. Para el análisis modal, el cual es el análisis dinámico lineal más fundamental, se utilizó el

módulo “MODAL”. Se obtuvo información de como el diseño responde a diferentes tipos de cargas dinámicas en 6 modos de vibración.

- Se mejoró la eficiencia y procedimiento de los servicios de mantenimiento correctivo en el taller de Ferreyros Cusco al reducir los procesos de tiempos de situado, traslado y colocación de componentes en un 80%.
- La implementación del puente grúa es económicamente viable, ya que permite recuperar la inversión tras aproximadamente 7 eventos completos descritos en la **tabla 27**. Con una vida útil de hasta 20 años, el proyecto resulta rentable incluso con baja frecuencia de uso.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis estructural y civil del taller, que se tengan los cimientos adecuados, así como consultar con los ingenieros civiles a cargo de la construcción del taller.
- Se recomienda realizar el diseño eléctrico, protección y de control de los motores encargados de la movilidad del puente grúa.
- Se recomienda utilizar normas internacionales como CMAA, OSHA y nacionales como NTP 253 para cumplir estándares de fabricación, operación, instalación y mantenimiento.
- Asegurar que las frecuencias de operación (como la del motor de izaje) no coincidan con los modos naturales identificados, especialmente el cuarto modo (21.989 Hz), para evitar resonancia.
- Limitar las aceleraciones y desaceleraciones durante el izaje y traslado para evitar oscilaciones del tipo péndulo.
- Incorporar guiado mecánico o topes laterales en zonas críticas para reducir oscilaciones transversales de las cargas suspendidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUS. (2022). *Puente de Grúa Semi-Pórtico*. ABUS Sistema de Grúas: <https://www.abusgruas.es/gruas/puentes-grua/semiportico>
- Albert, C. (2010). *Handbook of Steel construction*. Ontario: Canadian Institute of Steel Construction.
- Arcos del Castillo, D. E., Tamayo Endara, O. N., & Arroyo Mena, S. A. (2020). *Diseño, Construcción y Montaje de Puente Grúa Tipo Pórtico Automatizado*. Quito.
- Ayala Herrera, Á. M., & Cabrera Dávalos, E. A. (2018). *Elaboración de un programa en Java para diseño de la viga principal y selección de elementos mecánicos para puentes grúa de capacidad hasta 50 toneladas y luz entre 3 y 30 metros con viga tipo cajón*. Quito.
- Borja Suarez, M. (2016). *Metodología de la Investigacion Cientifica para Ingenieros*. Chiclayo, Lambayeque, Peru. Retrieved 18 de Marzo de 2022, from <https://1library.co/document/y90kr2wy-metodologia-de-la-investigacion-para-ingenieros.html>
- Budynas, R., & Keith, N. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Distrito Federal: McGraw-Hill Companies.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica*.
- Calle, G. F. (2018). *Diseño de puente grua y sistema stand reel para mejorar el transporte de bobinas de papel*. GEOVANNY FABIÁN JARAMILLO CALLE
- Carlos Merma, E. J. (2022). *Diseño de una grúa pórtico para la carga y descarga de materiales y equipos con una capacidad de 10 toneladas en la empresa Smelting Ingenieros SAC, Arequipa-Perú 2021*. Arequipa.
- Cervera, M., & Elena, B. (2015). *Resistencia de materiales*. <http://cervera.rmee.upc.edu/libros/Resistencia%20de%20Materiales.pdf>
- Crane Manufactures Association of America Inc. (CMAA). (2020). *Specifications for top running bridge and gantry type multiple girder electric overhead traveling cranes*. MHI. <https://www.mhi.org/cmaa/specifications>
- DEMAGCRANES. (11 de 7 de 2022). *Puente Grúa Monorriel*. DEMAG: <https://www.demagcranes.com/es/productos/puentes-grua/puentes-grua-universales>

- Díaz del Castillo, F. (2018). Uniones soldadas y su simbología según AWS. Cuautitlán: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Díaz Godínez, S. (s.f.). *Diseño de estructuras para arquitectos*.
- etw cloud. (2022). *Puente Grúa Pórtico*. etw cloud: <https://mx.etwinternational.com/3-3-mobile-gantry-crane-100851.html>
- EUROBLOCK vt. (s.f.). *clasificación normas F.E.M. 951 1*. Verlinde Lifting Equipment: <http://www.verlinde.com/>
- Fernández Bueno, R. (2021). *Diseño de un puente grúa aislada con capacidad de carga de 10 toneladas para una nave industrial preexistente*. Asturias.
- Flores Cayllahua, V. M. (2020). *Diseño de pórtico estructural para puente grúa de 16 Tn de capacidad para movimiento de materiales y equipos - Fixer S.A.C. Lima*. Huancayo.
- Fratelli, M. G. (2003). *Diseño de Estructuras Metálicas: Estado Límites LRFD*. Buenos Aires: ISBN.
- Freedman, & Young. (Febrero de 2013). *Física General*. México: Pearson.
- FRIEDR, V., & SOHN, B. (1961). *DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II)*. Brunswick: Vieweg&Sohn.
- Galambos, T. V. (1998). *Guide to stability design criteria for metal structures*. John Wiley & Sons.
- GDC. (2022). *Puente Grúa Birriel*. GDC Elevación y Componentes S.L: <https://www.gdcgruas.com/web/maquinaria.html>
- GH Crabes & Components. (s.f.). Componentes para grúas. Industrias electromecánicas S.A.
- Gómez, E. (2020). *Simulación en SAP2000 de uniones para estructura metálica y su prototipado a escala usando Eva*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- GriBORIO, F. J. (2010). *Diseño, calculo y comprobacion de union soldada en viga puente*. https://oa.upm.es/3756/1/TESIS_MASTER_FRANCISCO_J_FRAILE_GRIBORIO.pdf
- Gruas Puente s.a.c. (2016). *HISTORIA DE LAS GRUAS QUE AYUDARON A CONSTRUIR NUESTRA CIVILIZACION*. <https://www.gruaspuente.com.pe/>
- Guerra, J. (2018). PUENTE GRÚA 10 TN. *TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA*. Valencia.

- <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/111898/Guerra%20-%20Puente%20gr%C3%BAa%2010%20Tn.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández, F. y. (2010). *Metodología De La Investigación*. España: McGraw-Hill Interamericana de España S.L.; 5a edición (23 Mayo 2014).
- Hernandez, L. J. (8 de 11 de 2018). *Espectro de Cargas*. LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/sabes-qu%C3%A9-es-el-espectro-de-carga-en-equipos-luis-jose-hernandez/?originalSubdomain=es>
- Hidalgo, R. (2017). Aplicación de métodos teóricos de análisis de capacidad de carga propuestos en "The Manual for bridge evaluation" para puentes existentes, aplicado en la superestructura metálica tipo pórtico del puente lita. Quito, Ecuador : Escuela Politécnica Nacional .
- Huaroc, E. (2018). Diseño de un puente grúa para el winche de servicios en Mina Yauricocha. *Tesis*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4946/T010_43054209_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ingenieria BQ. (9 de Septiembre de 2020). *Metodología diseño de máquinas y productos*. 3D Ingenieria BQ: <https://www.3dingenieriabq.com/disenio-de-maquinas/>
- KONEGRANES. (2022). *Puente de Grúa con Brazo Giratorio*. KONEGRANES: <https://www.konecranes.com/es-pe/equipo/sistemas-de-elevacion-para-estaciones-de-trabajo/gruas-de-brazo>
- MacCrimmon, R. A. (2021). *Crane-Supporting Steel Structures: Design Guide, 4th edition*. Canadian Institute of Steel Construction.
- Molina, B. (2015). OPTIMIZAR LOS PLANES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVOS Y RUTINARIOS DE LA GRUA PUENTE DE 200TM EN AREA MILL SITE DE LA UNIDAD PRODUCTIVA TOQUEPALA – SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION 2012 - 2013. *Para optar el Grado profesional de INGENIERO INDUSTRIAL*. UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA, Arequipa.
- Mora, F. Z. (1990). *Diseño de uniones soldadas para un puente grua*. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4547/1/T-13842.pdf>

- Núñez, C. (Junio de 2018). Caracterización de uniones en estructuras de acero. Chile: Universidad Mayor .
- Oxgasa. (s.f.). *Manual del Soldador*.
<https://www.infrasal.com/industria/phocadownloadpap/manual%20del%20soldador.pdf>
- Pineda Silva, G. V. (2015). *Análisis estructural de los planos de vuelo del dirigible 27T del centro de investigación y desarrollo de la fuerza aérea ecuatoriana para mejorar su comportamiento mecánico*. Ambato.
- Rodriguez Planas. (2000). *Generalidades*. <https://www.insst.es/documentacion>
- Rodriguez, A. M. (Noviembre de 2010). Simulación mediante el método de los elementos finitos de una estructura metálica. Universidad Carlos III de Madrid.
- s.a.c, G. P. (2016). *HISTORIA DE LAS GRUAS QUE AYUDARON A CONSTRUIR NUESTRA CIVILIZACION*. <https://www.gruaspente.com.pe/>
- Ureta Cirineo, J. J. (2021). *Diseño e implementación de un sistema automatizado de un puente grúa de 3TN, en la empresa Representaciones Martin S.A.C, Lima 2021*. Lima.
- Urgilés, V. (2018). Estudio de calidad de la soldadura en las edificaciones metálicas. Ecuador, Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Yunga, D. M. (6 de Marzo de 2013). DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO Y SELECCIÓN DE VIGA PRINCIPAL DE UN PUENTE GRÚA. Santiago de Cali.

APÉNDICE Y ANEXOS

ANEXOS I: GLOSARIO

Glosario

- **Puente Grúa:** Un tipo de puente que se sostiene mediante montantes verticales o patas, con una viga horizontal o travesaño que se extiende entre ellos. Comúnmente se utiliza en aplicaciones como manejo de materiales y grúas elevadoras.
- **Análisis Estructural:** El proceso de evaluar las fuerzas y tensiones que actúan sobre la estructura de un puente para garantizar que pueda soportar las cargas y condiciones necesarias.
- **Capacidad de Carga:** La máxima cantidad de peso o carga que un puente grúa puede soportar sin sufrir daños.
- **Carga Muerta:** La carga estática y constante en el puente, como el peso de la propia estructura del puente.
- **Carga en Vivo:** La carga variable y dinámica en el puente, típicamente causada por objetos en movimiento, vehículos o maquinaria.
- **Envergadura:** La distancia horizontal entre los soportes del puente grúa.
- **Voladizo:** Una extensión de la estructura del puente que se extiende más allá de uno de sus soportes.
- **Estructura de Armazón (Truss Structure):** Un entramado de vigas o barras conectadas para formar un patrón triangular, utilizado para añadir resistencia y estabilidad al puente.

- **Cimentación:** La subestructura que soporta y ancla el puente grúa al suelo, generalmente hecha de concreto o acero.
- **Deflexión:** La curvatura o pandeo de un puente bajo carga, que debe mantenerse dentro de límites aceptables para conservar la integridad estructural.
- **Tensión:** La fuerza que tiende a estirar o separar un material o componente estructural.
- **Compresión:** La fuerza que tiende a comprimir o empujar juntos un material o componente estructural.
- **Cizalladura (Shear):** Una fuerza que actúa paralelamente a la superficie de un material o estructura, causando que se deslice o deforme.
- **Análisis de Tensiones:** El estudio de cómo las fuerzas afectan la tensión y la deformación interna dentro de los componentes del puente.
- **Factor de Seguridad:** Un margen de seguridad incorporado en el diseño para garantizar que el puente pueda resistir cargas más allá de su capacidad prevista.
- **Ingeniería de Materiales:** El estudio de los materiales utilizados en la construcción de puentes, incluyendo acero, concreto y materiales compuestos.
- **Límites de Deflexión:** La cantidad máxima permitida de curvatura o pandeo en un puente bajo carga, a menudo definida por normas de la industria.
- **Carga Dinámica:** El impacto de cargas súbitas o dinámicas en el puente, como las causadas por vehículos en movimiento o maquinaria.
- **Carga de Viento:** La fuerza ejercida por el viento sobre la estructura del puente, que debe considerarse en el diseño y análisis.
- **Capacidad de Soporte:** La capacidad de la cimentación y el suelo para soportar el puente grúa sin hundimientos o fallas.

- **Resistencia a la Corrosión:** La capacidad de los materiales para resistir la deterioración debida a factores ambientales, especialmente en aplicaciones de puentes al aire libre.
- **Evaluación de Impacto Ambiental:** Una evaluación de los posibles efectos ambientales de construir y utilizar un puente grúa.
- **Mantenimiento e Inspección:** Revisiones regulares y procedimientos de mantenimiento para garantizar que el puente grúa siga siendo seguro y operativo.
- **Códigos y Normas de Puentes:** Regulaciones y pautas específicas de la industria que dictan los requisitos de diseño, construcción y seguridad para los puentes.

ANEXOS II: MATRIZ DE CONSISTENCIA

| Problema General | Objetivo General | Hipótesis General | Metodología | Técnicas e instrumentos de recolección de información |
|---|--|---|--|--|
| ¿Como se podrá realizar el diseño y simulación de un puente grúa de 20 toneladas de capacidad para el taller de desarmado de máquinas de la sucursal del Cusco Ferreyros? | Realizar el diseño y simulación de un puente grúa de 20 toneladas de capacidad para el taller de desarmado de máquinas de la sucursal del Cusco Ferreyros. | Puede ser realizado el diseño y simulación de un puente grúa de 20 toneladas de capacidad para el taller de desarmado de máquinas de la sucursal del Cusco Ferreyros. | | <p>Técnica documental:</p> <p>Se analiza según la investigación de manuales de aplicación de los puentes grúas, los materiales de selección y utilización de los componentes para su construcción.</p> <p>Técnica de observación:</p> <p>Se analizará según el análisis de modelos previos de sistemas de puente grúas, como estos son aplicados y como son evaluados.</p> |
| | | | <p>Tipo de investigación</p> <p>Se clasifica en el tipo de investigación tecnológica.</p> <p>Nivel de la investigación</p> <p>Se clasifica en el nivel cuantitativo.</p> <p>Método de la investigación</p> <p>Se clasifica por el tipo no experimental de la sub clase Explicativa.</p> | <p>Técnica de observación:</p> <p>Se analizará según el análisis de modelos previos de sistemas de puente grúas, como estos son aplicados y como son evaluados.</p> |
| Problema específico | Objetivo Específico | Hipótesis Especifica | | |
| ¿Cómo realizar el diseño de un puente grúa de 20 toneladas de capacidad para el taller de máquinas de la sucursal del Cusco Ferreyros? | Realizar el cálculo estructural y dimensionamiento de los elementos de izaje. | Es posible realizar el cálculo estructural y dimensionamiento de los elementos de izaje. | | |
| ¿Con el uso del software de análisis mediante elementos finitos podremos evidenciar la factibilidad del puente grúa de 20 toneladas de capacidad? | Simular mediante el método de elementos finitos el comportamiento de un puente grúa de 20 toneladas de capacidad. | Es posible simular mediante el método de elementos finitos el comportamiento de un puente grúa de 20 toneladas de capacidad. | | |
| ¿Cómo mejorar la eficiencia y procedimiento de los servicios de mantenimiento correctivo? | Mejorar la eficiencia y procedimiento de los servicios de mantenimiento correctivo, demostrando una reducción en los tiempos de operación. | Es posible mejorar la eficiencia y procedimiento de los servicios de mantenimiento correctivo, demostrando una reducción en los tiempos de operación. | | |
| ¿Cómo estimar la inversión necesaria y calcular la tasa de retorno (ROI) de la implementación del puente grúa? | Estimación de la inversión y cálculo de la tasa de retorno (ROI) de la implementación. | Es posible estimar la inversión y calcular la tasa de retorno (ROI) de la implementación. | | |

Nota: Elaboración propia

INSTRUMENTOS

- Base de datos de las dimensiones del taller
- Planos de la ubicación
- Manuales de diseño
- Tablas de datos de factor de seguridad

ANEXO III: Clasificación del Servicio de Grúas según la Norma CMAA 70

Se utiliza para clasificar el ciclo de trabajo que se categoriza como clase c según el apartado 2.4 de cmaa70 por ser un taller de reparaciones para Ferreyros.

Figura 109

Ciclo de trabajo

2.4 CLASS C (MODERATE SERVICE)

This service covers cranes which may be used in machine shops or papermill machine rooms, etc., where service requirements are moderate. In this type of service the crane will handle loads which average 50 percent of the rated capacity with 5 to 10 lifts per hour, averaging 15 feet, not over 50 percent of the lift at rated capacity.

Nota: Apartado 2.4 de la Norma CMAA70

ANEXO V: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 34

Cronograma de actividades

| Actividades | Junio | | | | Julio | | | | Agosto | | | | Setiembre | | | |
|---|--------------|---|---|---|--------------|---|---|---|---------------|---|---|---|------------------|---|---|---|
| | 2022 | | | | 2022 | | | | 2022 | | | | 2022 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Establecimiento del problema para la investigación | X | X | X | | | | | | | | | | | | | |
| Investigación bibliográfica del problema | | | | X | X | X | | | | | | | | | | |
| Análisis del problema y posibles soluciones | | | | | | | X | X | X | | | | | | | |
| Recolección de datos | | | | | | | | | | X | X | | | | | |
| Diseño y elaboración de la propuesta | | | | | | | | | | | X | X | X | | | |
| Análisis y discusión de resultados | | | | | | | | | | | | | X | X | X | |
| Informe de resultados de la investigación | | | | | | | | | | | | | | | X | |
| Presentación final de la investigación | | | | | | | | | | | | | | | | X |

Nota: Elaboración propia

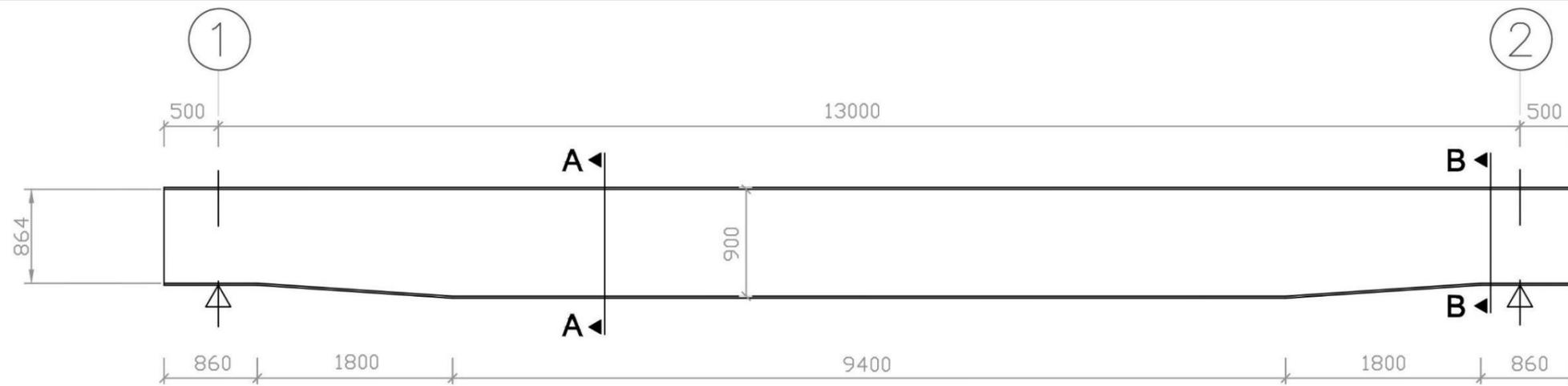
ANEXO VI: PRESUPUESTO

Tabla 35
Presupuesto

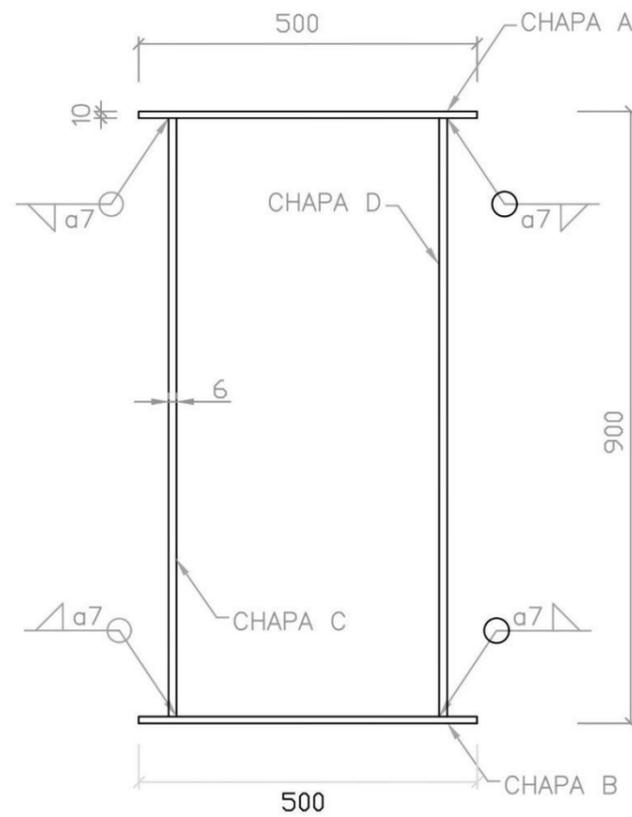
| Recursos | Cantidad | Tipo | Unid | Costo unid | Costo total |
|--------------|----------|------------------------|------|--------------|--------------------|
| Materiales | Paquete | Hojas Bond A-4 | 6 | S/. 15.00 | S/.90.00 |
| | Unidad | Empaste | 1 | S/. 100.00 | S/. 100.00 |
| Servicios | Unidad | Asesoría y consultoría | 1 | S/. 3,200.00 | S/.3200.00 |
| Equipos | Unidad | Impresora | 1 | S/. 900.00 | S/. 900.00 |
| | Unidad | Laptop | 1 | S/. 12500.00 | S/.12500.00 |
| | Unidad | Softwares | 1 | S/. 9000.00 | S/.9000.00 |
| Suministros | Unidad | Memoria USB | 1 | S/. 150.00 | S/. 150.00 |
| | Unidad | Textos de consultas | 3 | S/. 200.00 | S/. 600.00 |
| Total | | | | | S/.26540.00 |

Nota: Elaboración propia

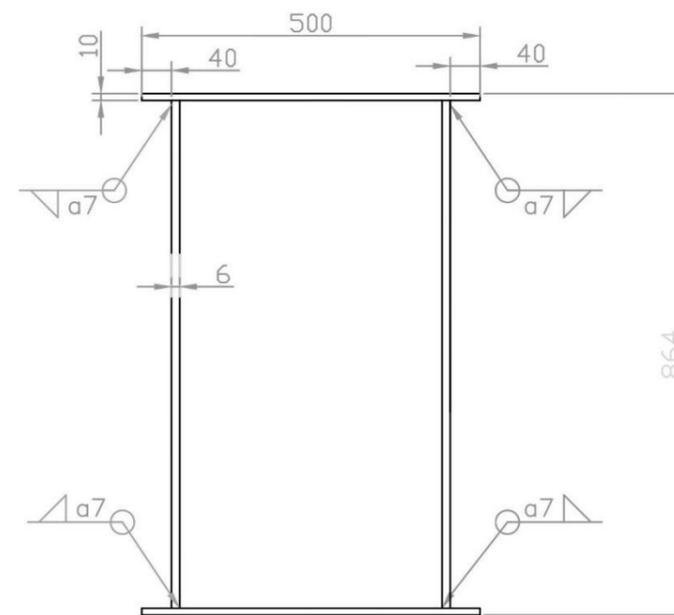
ANEXO VII: PLANOS



DISPOSICION FINAL DE LA VIGA
ESCALA 1:50



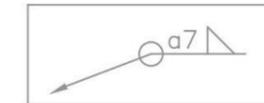
CORTE A-A
ESCALA 1:10



CORTE B-B
ESCALA 1:10

NOTAS:

- 1.- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN DADAS EN MILIMETROS A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
- 2.- TODAS LAS CONEXIONES SERAN SOLDADAS AL MENOS QUE SE DETALLE OTRO TIPO.
- 3.- COMO MATERIAL DE APORTE SE USARA ALAMBRE COBRADO FILCORD C REVESTIDO CON ALCALI.

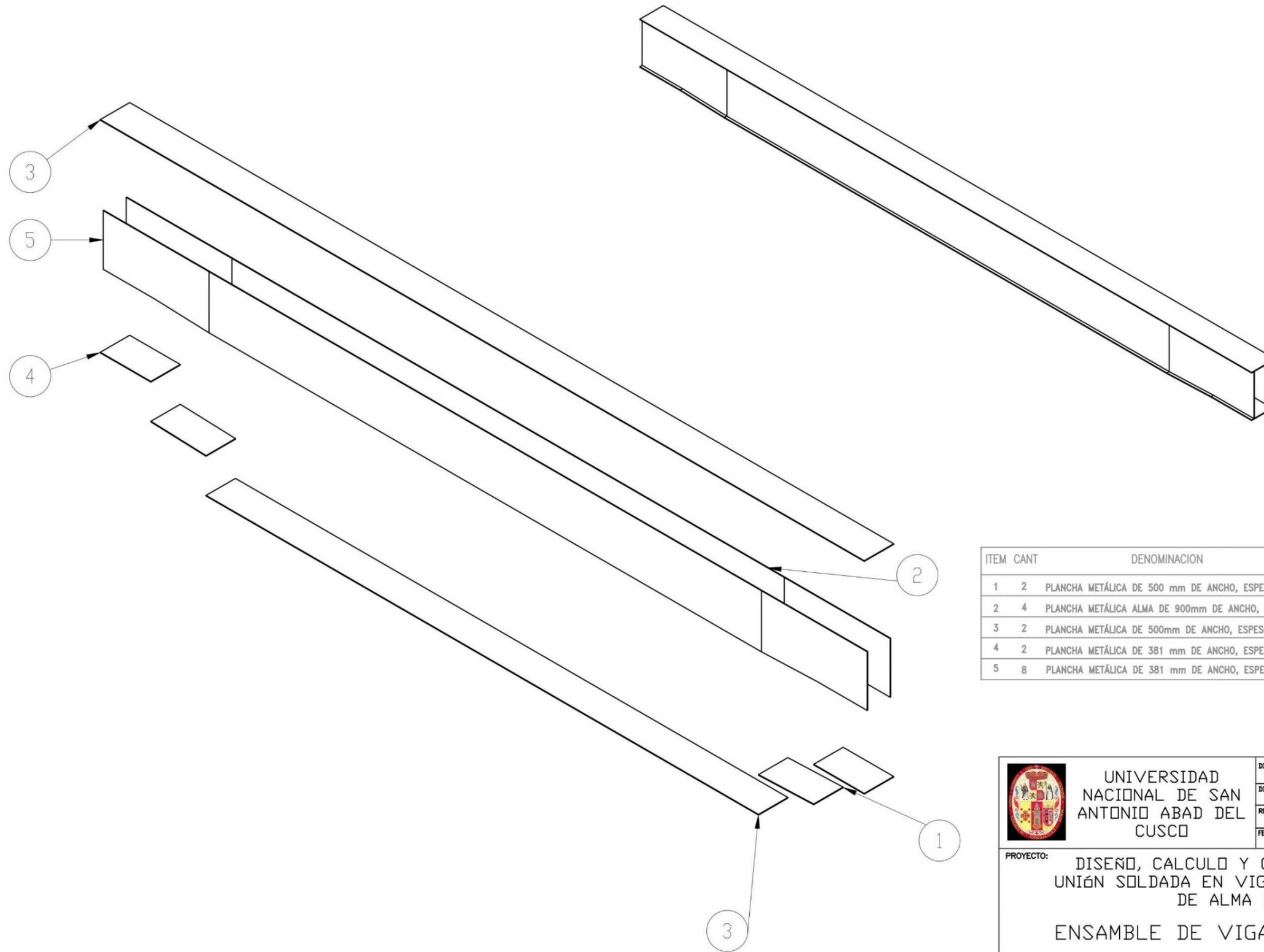


- CIRCULO: Soldadura por todo el contorno.
- a7: espesor de cordón de garganta efectiva.
- Triangulo: Soldadura tipo filete

CALIDAD DE LOS MATERIALES

PLANCHAS S 275-J2 fy= 275 KN

| | | |
|---|---|---|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO | DIBUJO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA |
| | | DISEÑADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA |
| | | REVISADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA |
| | | FECHA: ENERO / 2025 |
| PROYECTO: DISEÑO, CALCULO Y COMPROBACIÓN DE UNIÓN SOLDADA EN VIGA DE PUENTE GRUA DE ALMA DOBLE DISPOSICION FINAL DE VIGA | | PLANO # 1 |



| ITEM | CANT | DENOMINACION | NORMA O MATERIAL |
|------|------|---|------------------|
| 1 | 2 | PLANCHA METÁLICA DE 500 mm DE ANCHO, ESPESOR 10 mm | ASTM A 36 Gr B |
| 2 | 4 | PLANCHA METÁLICA ALMA DE 900mm DE ANCHO, ESPESOR 6 mm | ASTM A 36 Gr B |
| 3 | 2 | PLANCHA METÁLICA DE 500mm DE ANCHO, ESPESOR 10 mm | ASTM A 36 Gr B |
| 4 | 2 | PLANCHA METÁLICA DE 381 mm DE ANCHO, ESPESOR 10 mm | ASTM A 36 Gr B |
| 5 | 8 | PLANCHA METÁLICA DE 381 mm DE ANCHO, ESPESOR 10 mm | ASTM A 36 Gr B |

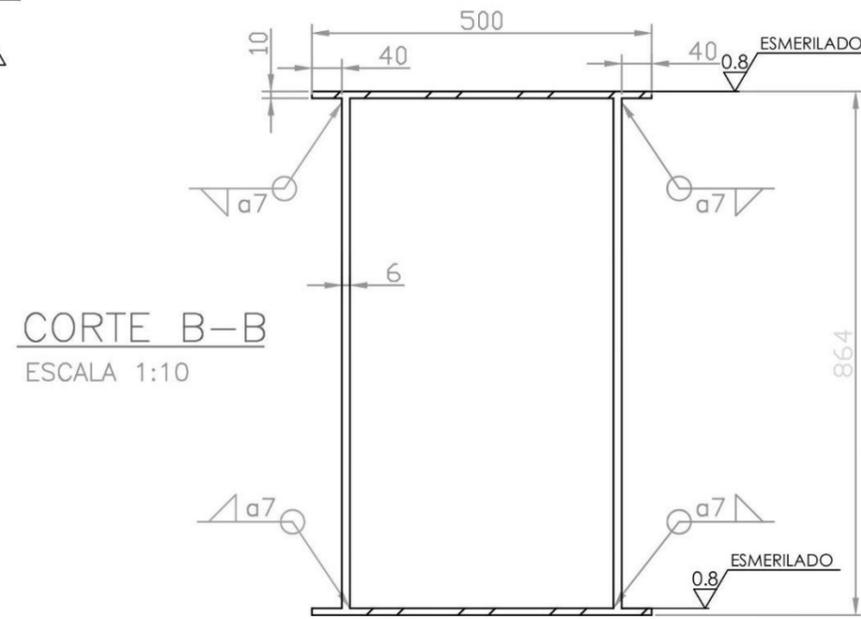
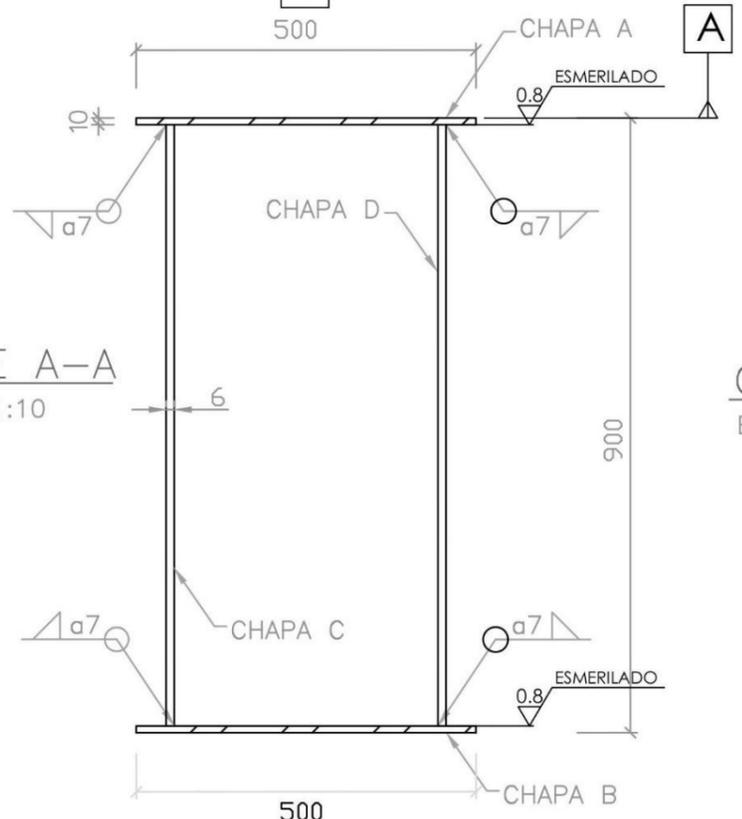
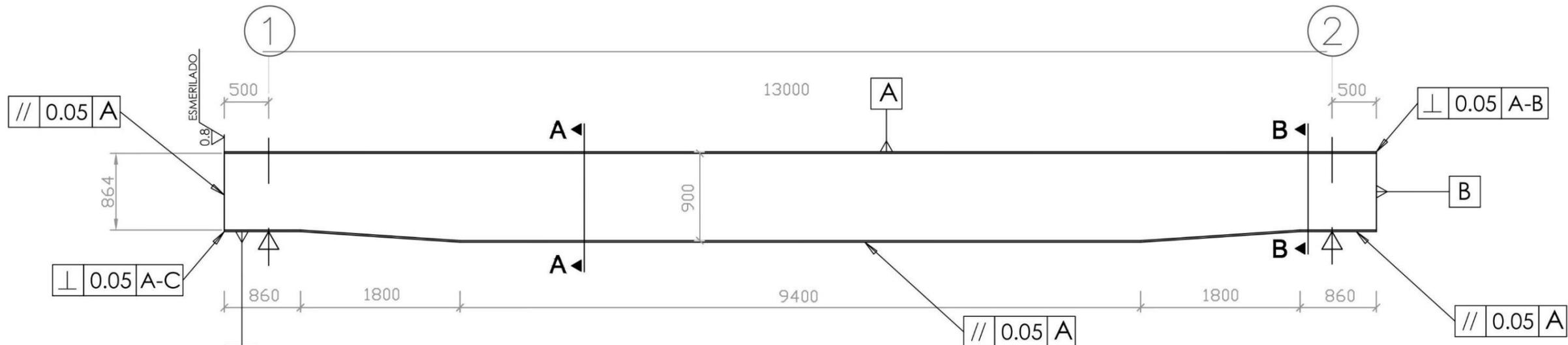


UNIVERSIDAD
NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABAD DEL
CUSCO

DIBUJO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
DISEÑADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
REVISADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
FECHA: ENERO / 2025

PROYECTO: DISEÑO, CALCULO Y COMPROBACIÓN DE
UNIÓN SOLDADA EN VIGA DE PUENTE GRUA
DE ALMA DOBLE
ENSAMBLE DE VIGA ENCAJONADA

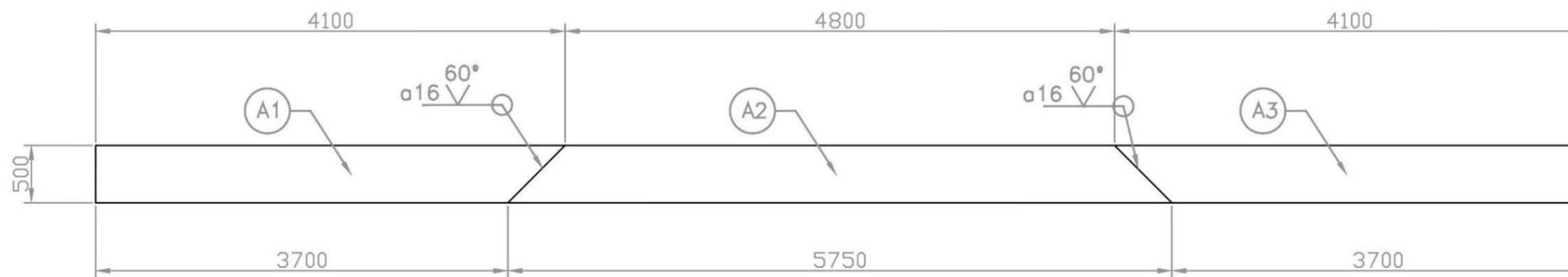
PLANO #
1-I



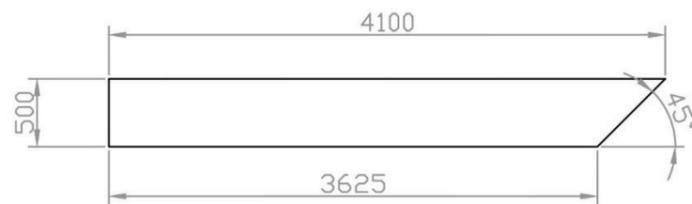
PINTURA EPOXICA
PINTURA BASE ANTICORROSIVA

| TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168 | | | | | | |
|--|-------------------|------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Grado de exactitud | Más de 6 hasta 30 | Más de 3 hasta 6 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
| Medio | ±0.1 | ±0.2 | ±0.3 | ±0.5 | ±0.8 | ±1.2 |

| | | |
|---|--|---|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | DIBUJO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA |
| | | DISEÑADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA |
| | | REVISADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA |
| | | FECHA: ENERO / 2025 |
| PROYECTO: DISEÑO, CALCULO Y COMPROBACIÓN DE UNIÓN SOLDADA EN VIGA DE PUEBTE GRUA DE ALMA DOBLE VIGA ECAJONADA | | |
| METODO DE PROYECCIÓN: | TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO CORTE DE PERFILES POR OXICORTE SEGUN DIN 2310 | PLANO # 1-T |



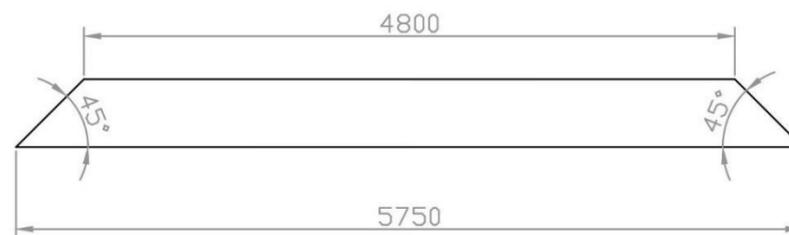
PLANTA CHAPA A
ESCALA 1:50



DETALLE PLANCHA A1
ESCALA 1:50



DETALLE PLANCHA A3
ESCALA 1:50



DETALLE PLANCHA A2
ESCALA 1:50

NOTAS:

- 1.- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN DADAS EN MILIMETROS A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
- 2.- TODAS LAS CONEXIONES SERAN SOLDADAS AL MENOS QUE SE DETALLE OTRO TIPO.
- 3.- COMO MATERIAL DE APORTE SE USARA ALAMBRE COBRADO REVESTIDOS EN 499; E 46 4 B 3 2 H5.
- 4.- COMO MATERIAL DE APORTE SE USARA ALAMBRE COBRADO FILCORD C REVESTIDO CON ALCALI



- Circulo Soldadura por todo el contorno.
- a16 Espesor de cordón de garganta efectiva.
- V: Soldadura a tope en V simple.

CALIDAD DE LOS MATERIALES

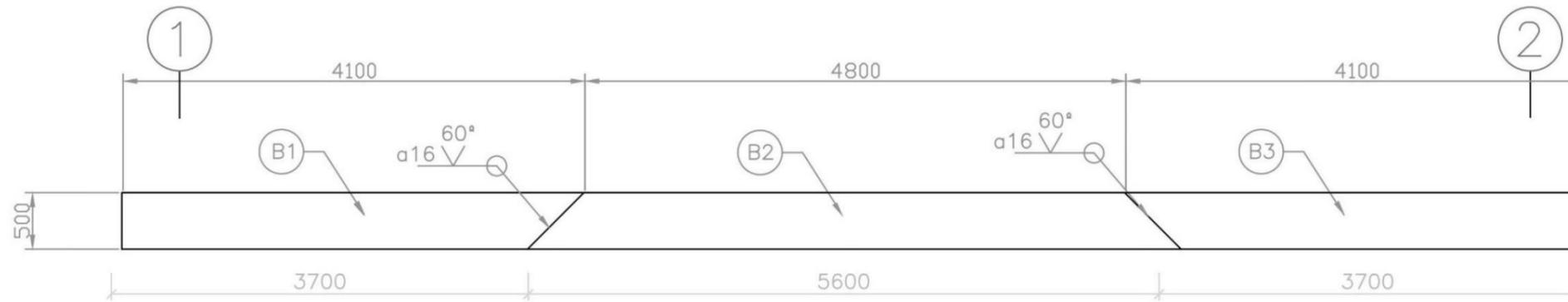
PLANCHAS S 275-J2 fy= 275 KN



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABAD DEL
CUSCO

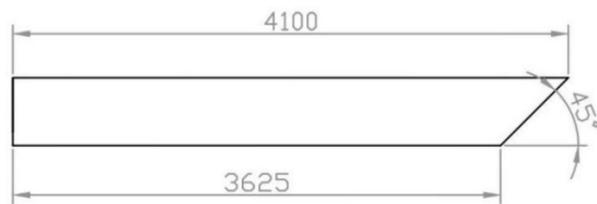
DIBUJADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
DISEÑADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
REVISADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
FECHA: ENERO / 2025

PROYECTO: DISEÑO, CALCULO Y COMPROBACIÓN DE
UNIÓN SOLDADA EN VIGA DE PUENTE GRUA
DE ALMA DOBLE
CHAPA A PLANTA Y DETALLES



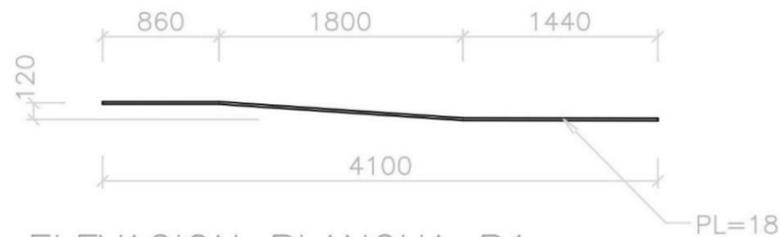
PLANTA CHAPA B

ESCALA 1:50



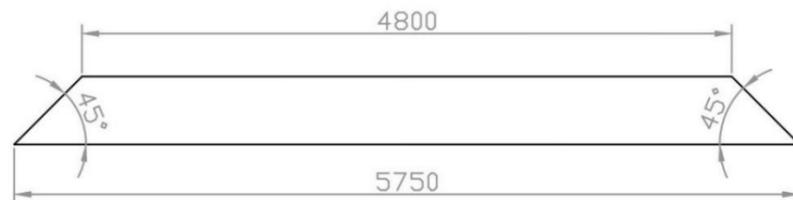
DETALLE PLANCHA A1

ESCALA 1:50



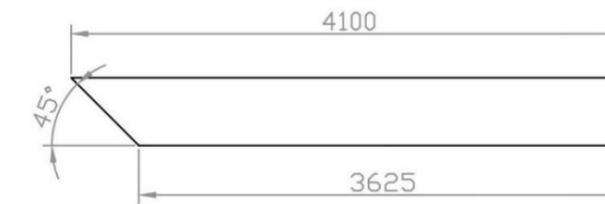
ELEVACION PLANCHA B1

ESCALA 1:50



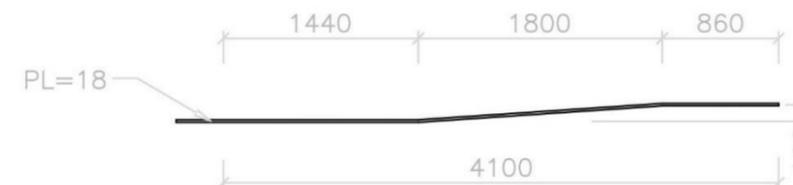
DETALLE PLANCHA B2

ESCALA 1:50



DETALLE PLANCHA A3

ESCALA 1:50

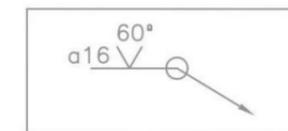


ELEVACION PLANCHA B3

ESCALA 1:50

NOTAS:

- 1.- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN DADAS EN MILIMETROS A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
- 2.- TODAS LAS CONEXIONES SERAN SOLDADAS AL MENOS QUE SE DETALLE OTRO TIPO.
- 3.- COMO MATERIAL DE APORTE SE USARA ALAMBRE COBRADO REVESTIDOS EN 499; E 46 4 B 3 2 HS.
- 4.- COMO MATERIAL DE APORTE SE USARA ALAMBRE COBRADO FILCORD C REVESTIDO CON ALCALI



- Circulo: Soldadura por todo el contorno.
- a16: Espesor de cordón de garganta efectiva.
- V: Soldadura a tope en V simple.

CALIDAD DE LOS MATERIALES

PLANCHAS S 275-J2 fy= 275 KN



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABAD DEL
CUSCO

DIBUJADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA

DISEÑADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA

REVISADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA

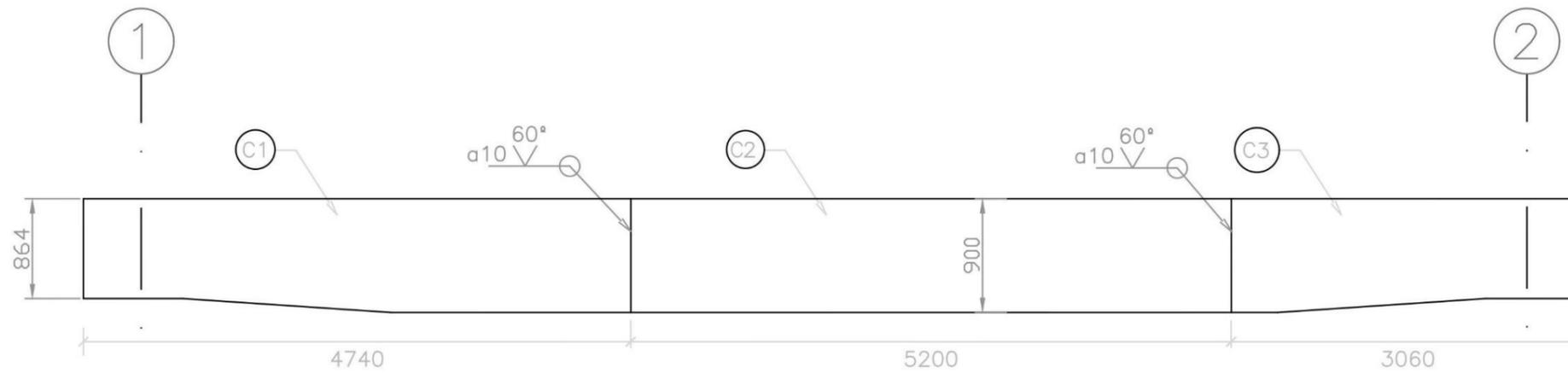
FECHA: ENERO / 2025

PROYECTO:

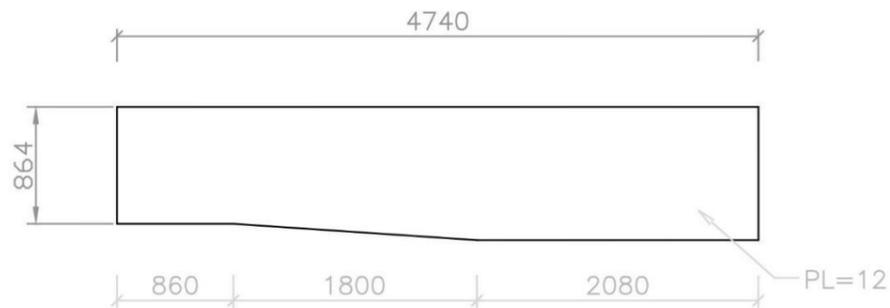
DISEÑO, CALCULO Y COMPROBACIÓN DE
UNIÓN SOLDADA EN VIGA DE PUENTE GRUA
DE ALMA DOBLE

CHAPA B. PLANTA Y DETALLES

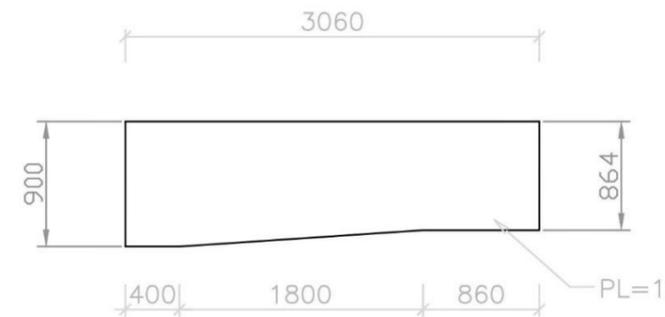
PLANO #
3



PLANTA CHAPA C
ESCALA 1:50



DETALLE PLANCHA C1
ESCALA 1:50



DETALLE PLANCHA C3
ESCALA 1:50

NOTAS:

- 1.- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN DADAS EN MILIMETROS A MENOS QU SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
- 2.- TODAS LAS CONEXIONES SERAN SOLDADAS AL MENOS QUE SE DETALLE OTRO TIPO.
- 3.- COMO MATERIAL DE APORTE SE USARA ELECTRODOS REVESTIDOS EN 499: E 46 4 B 3 2 H5

E

CALIDAD DE LOS MATERIALES

PLANCHAS S 275-J2 fy= 275 KN



DETALLE PLANCHA C2
ESCALA 1:50



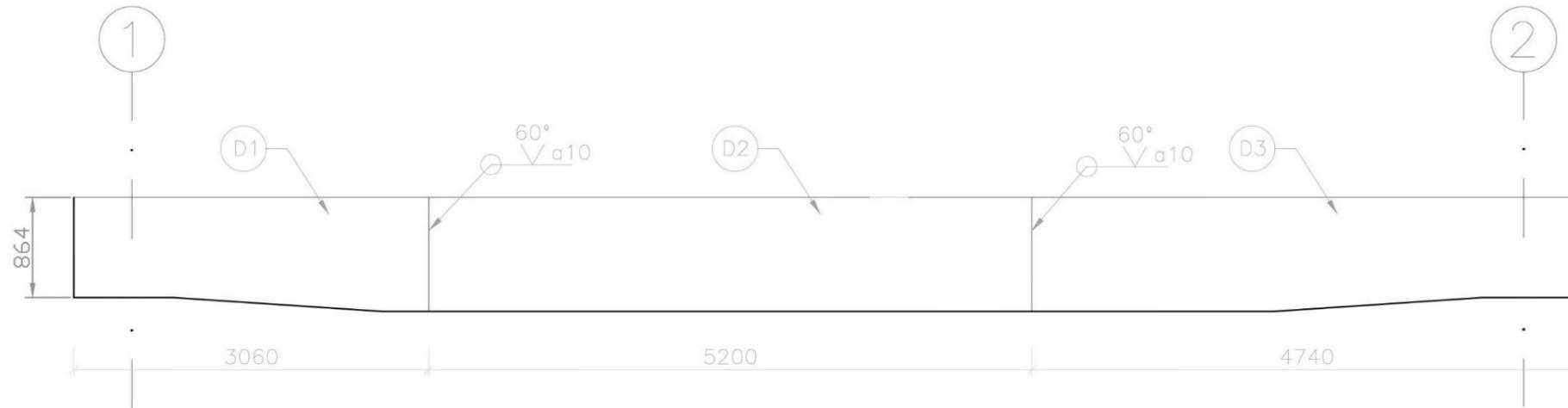
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABADEL DEL
CUSCO

DIBUJADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
DISEÑADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
REVISADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
FECHA: ENERO / 2025

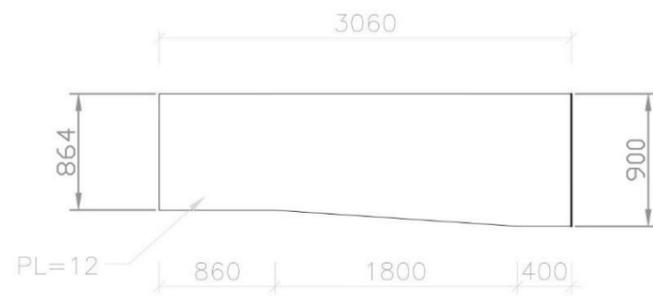
PROYECTO: DISEÑO, CALCULO Y COMPROBACIÓN DE
UNIÓN SOLDADA EN VIGA DE PUENTE GRUA
DE ALMA DOBLE
CHAPA C. PLANTA Y DETALLES

PLANO #

4



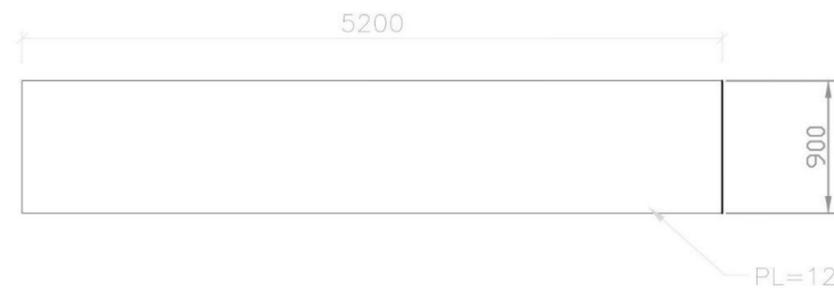
PLANTA CHAPA D
ESCALA 1:50



DETALLE PLANCHA D1
ESCALA 1:50



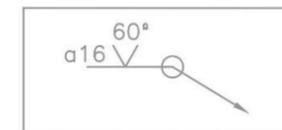
DETALLE PLANCHA D3
ESCALA 1:50



DETALLE PLANCHA D2
ESCALA 1:50

NOTAS:

- 1.- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN DADAS EN MILIMETROS A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
- 2.- TODAS LAS CONEXIONES SERAN SOLDADAS AL MENOS QUE SE DETALLE OTRO TIPO.
- 3.- COMO MATERIAL DE APORTE SE USARA ALAMBRE COBRADO REVESTIDOS EN 499º E 46 4 B 3 2 HS.
- 4.- COMO MATERIAL DE APORTE SE USARA ALAMBRE COBRADO FILCORD C REVESTIDO CON ALCALI



- Circulo Soldadura por todo el contorno.
- a16 Espesor de cordón de garganta efectiva.
- V Soldadura a tope en V simple.

CALIDAD DE LOS MATERIALES

PLANCHAS S 275-J2 $f_y = 275$ KN



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABAD DEL
CUSCO

DIBUJADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA

DISEÑADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA

REVISADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA

FECHA: ENERO / 2025

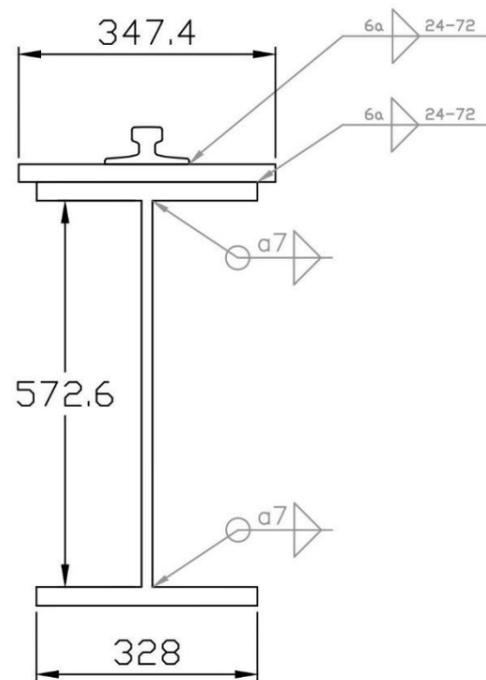
PROYECTO:

DISEÑO, CÁLCULO Y COMPROBACIÓN DE
UNIÓN SOLDADA EN VIGA DE PUENTE GRUA
DE ALMA DOBLE

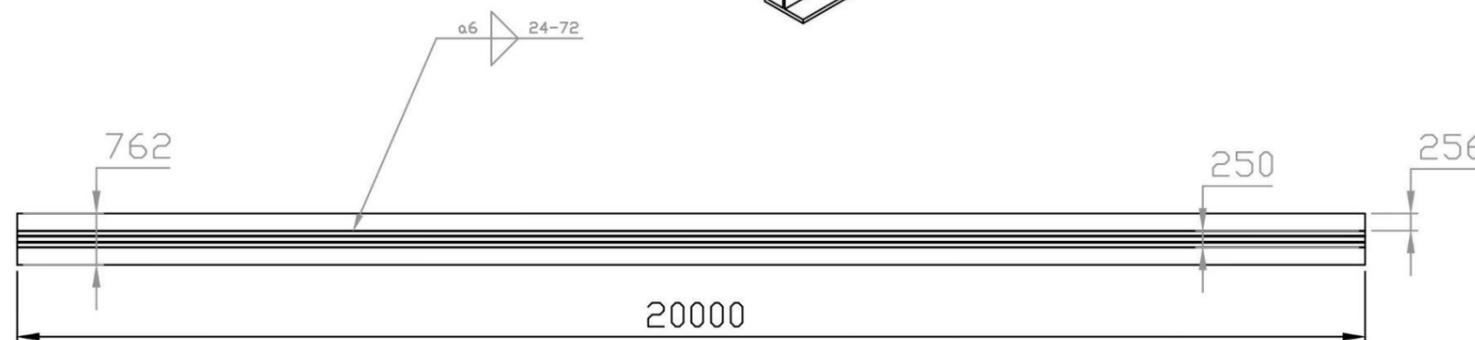
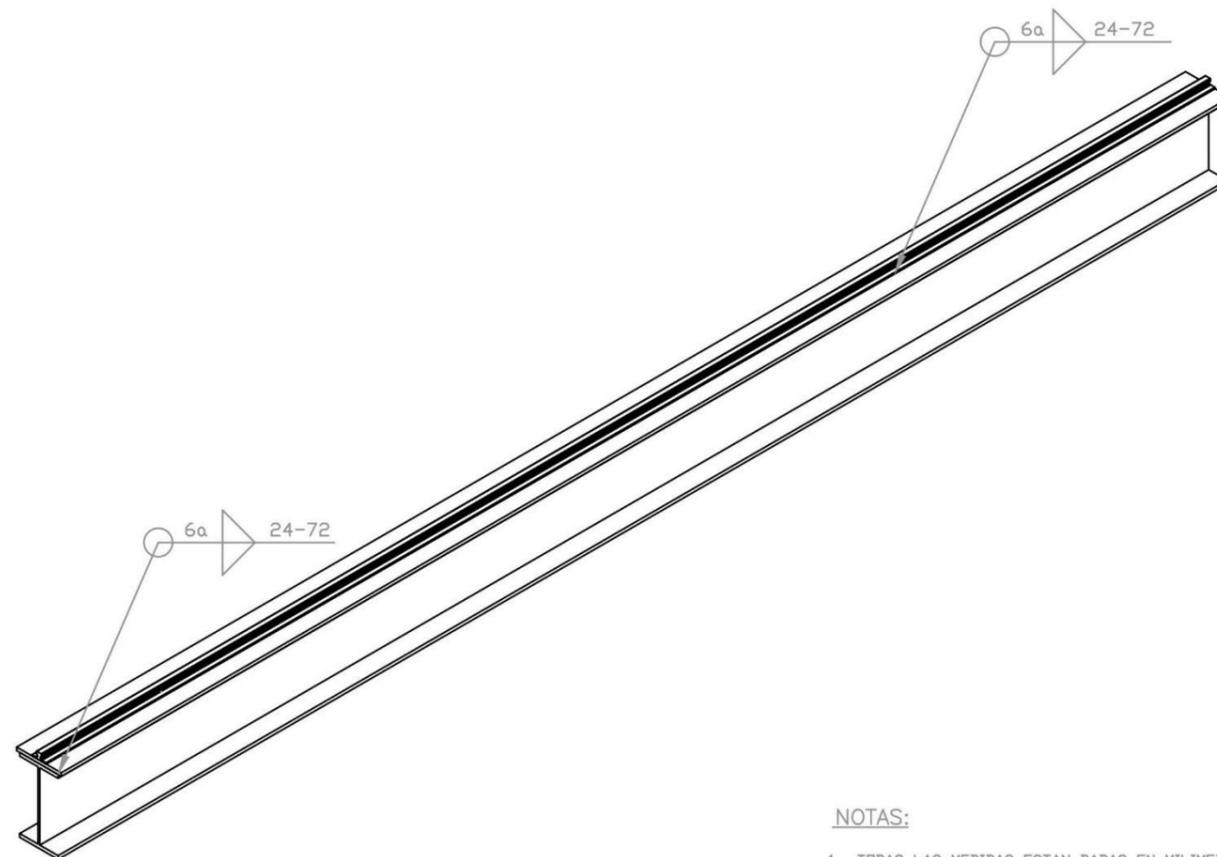
CHAPA D. PLANTA Y DETALLES

PLANO #

5

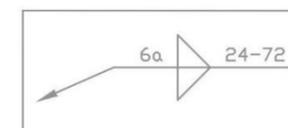


DETALLE A
SCALE 1 : 10



NOTAS:

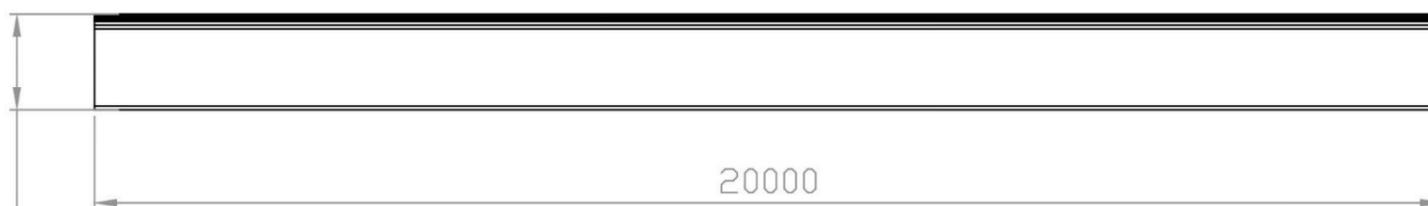
- 1.- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN DADAS EN MILIMETROS A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
- 2.- TODAS LAS CONEXIONES SERAN SOLDADAS AL MENOS QUE SE DETALLE OTRO TIPO.
- 3.- COMO MATERIAL DE APORTE SE USARA ALAMBRE COBRADO REVESTIDOS EN 499; E 46 4 B 3 2 HS.
- 4.- COMO MATERIAL DE APORTE SE USARA ALAMBRE COBRADO FILCORD C REVESTIDO CON ALCALI



- Circulo: Soldadura por todo el contorno.
- a16: Espesor de cordón de garganta efectiva.
- Doble Triangulo: Soldadura tipo filete en ambos lados.



1418,75



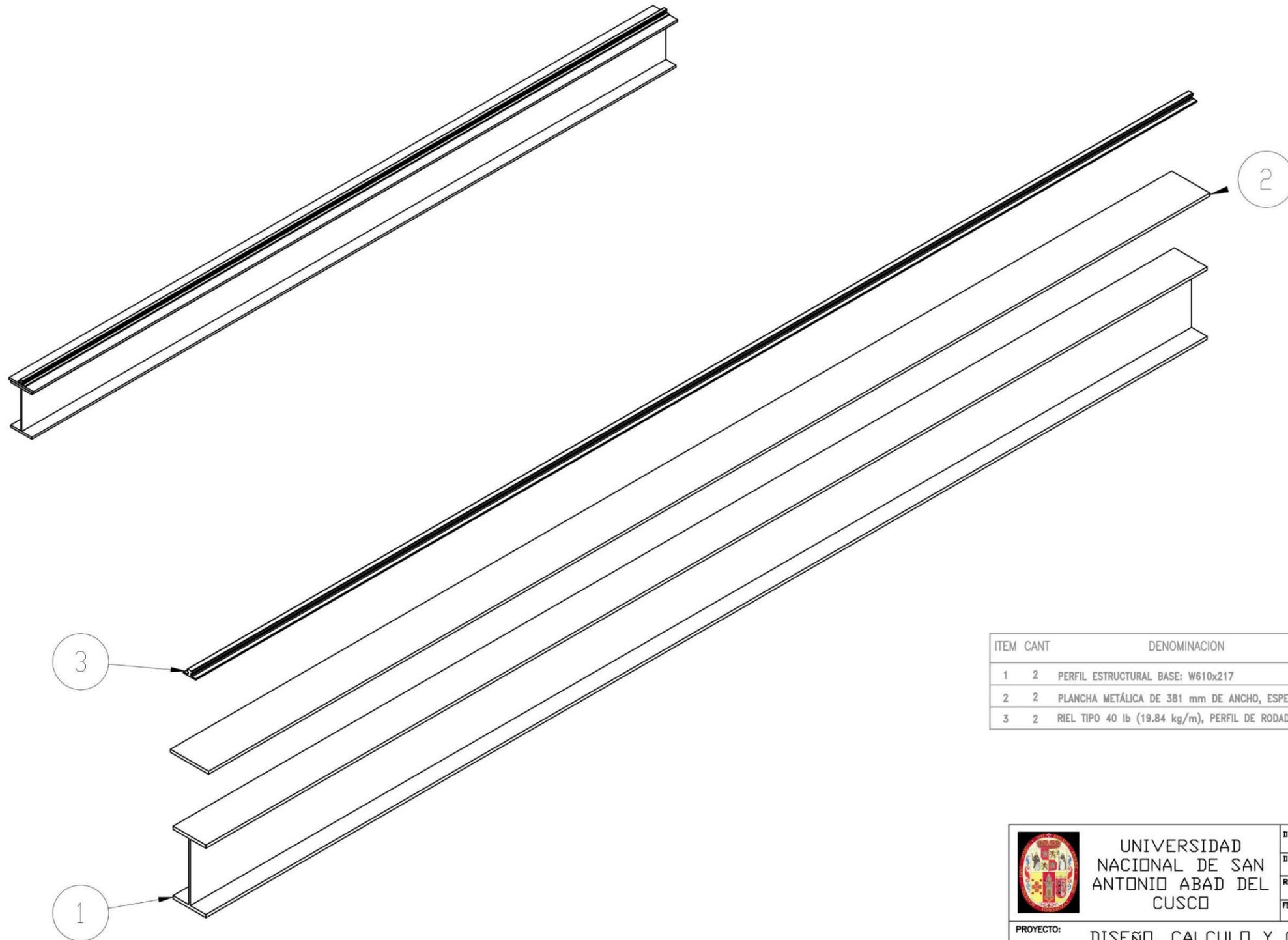
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABAD DEL
CUSCO

DIBUJO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
DISEÑADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
REVISADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
FECHA: ENERO / 2025

PROYECTO: DISEÑO, CALCULO Y COMPROBACIÓN DE
UNIÓN SOLDADA EN VIGA DE PUENTE GRUA
DE ALMA DOBLE
DISPOSICION FINAL DE VIGA H

PLANO #

6



| ITEM | CANT | DENOMINACION | NORMA O MATERIAL |
|------|------|---|------------------|
| 1 | 2 | PERFIL ESTRUCTURAL BASE: W610x217 | ASTM A 36 Gr B |
| 2 | 2 | PLANCHA METÁLICA DE 381 mm DE ANCHO, ESPESOR 12.7 mm (1/2") | ASTM A 36 Gr B |
| 3 | 2 | RIEL TIPO 40 lb (19.84 kg/m), PERFIL DE RODADURA INDUSTRIAL | ASTM A 1 |



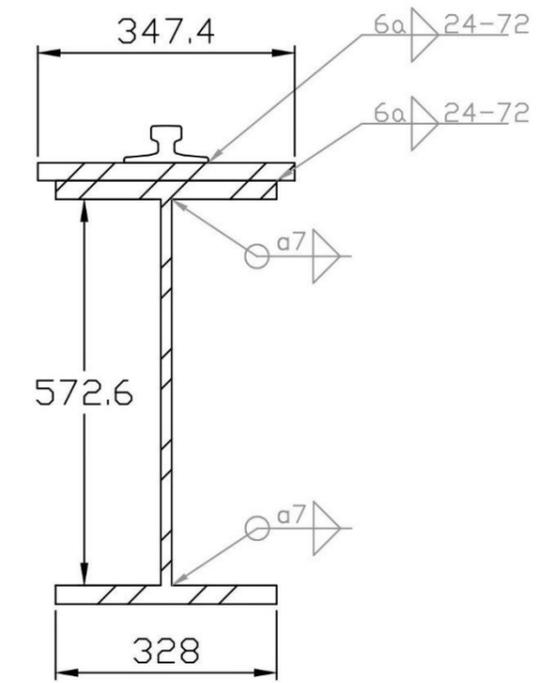
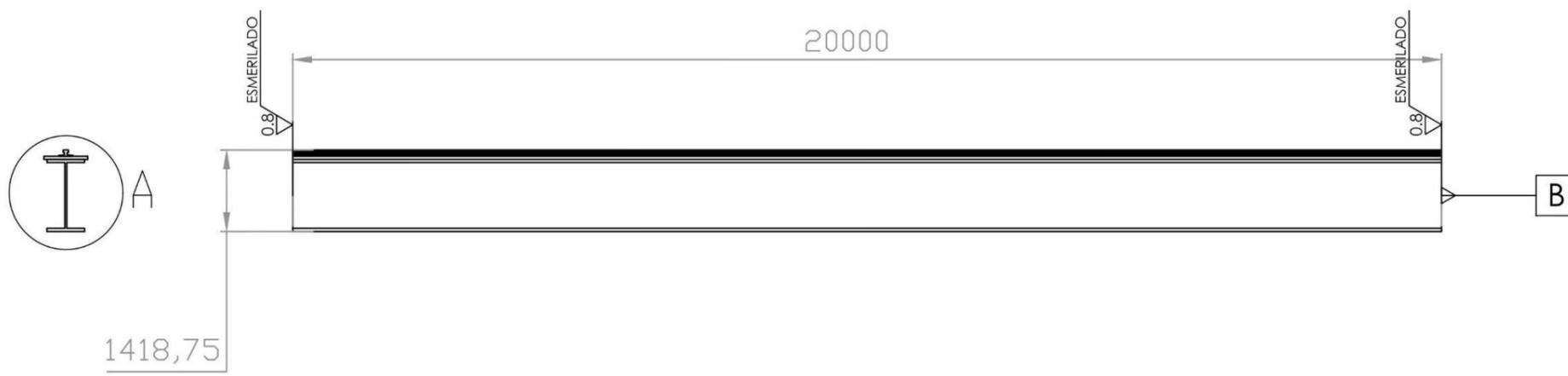
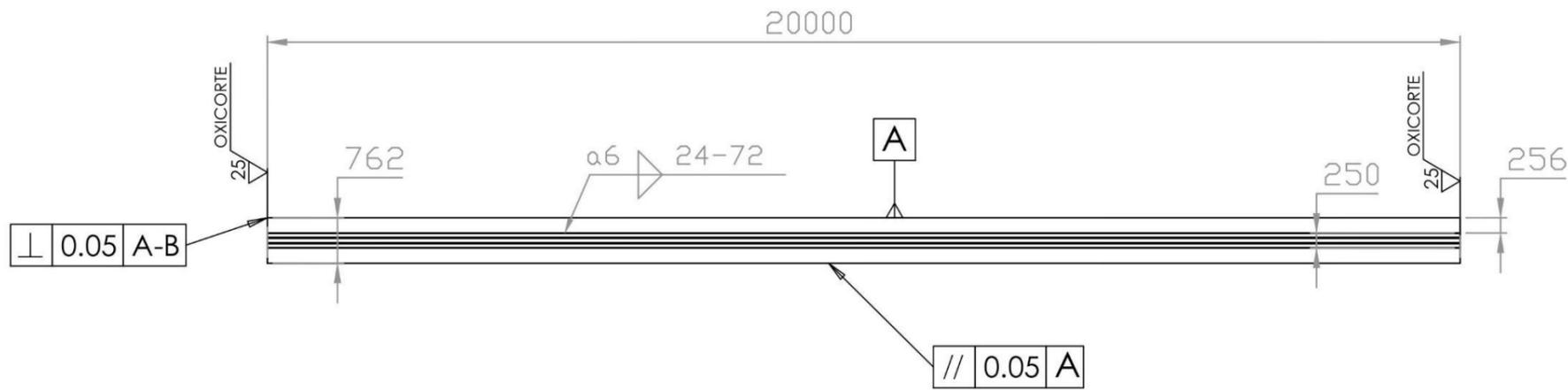
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABAD DEL
CUSCO

DIBUJO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
 DISEÑADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
 REVISADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
 FECHA: ENERO / 2025

PROYECTO: DISEÑO, CALCULO Y COMPROBACIÓN DE
UNIÓN SOLDADA EN VIGA DE PUENTE GRUA
DE ALMA DOBLE

ENSAMBLE DE VIGA H - RIEL

PLANO #
6-I

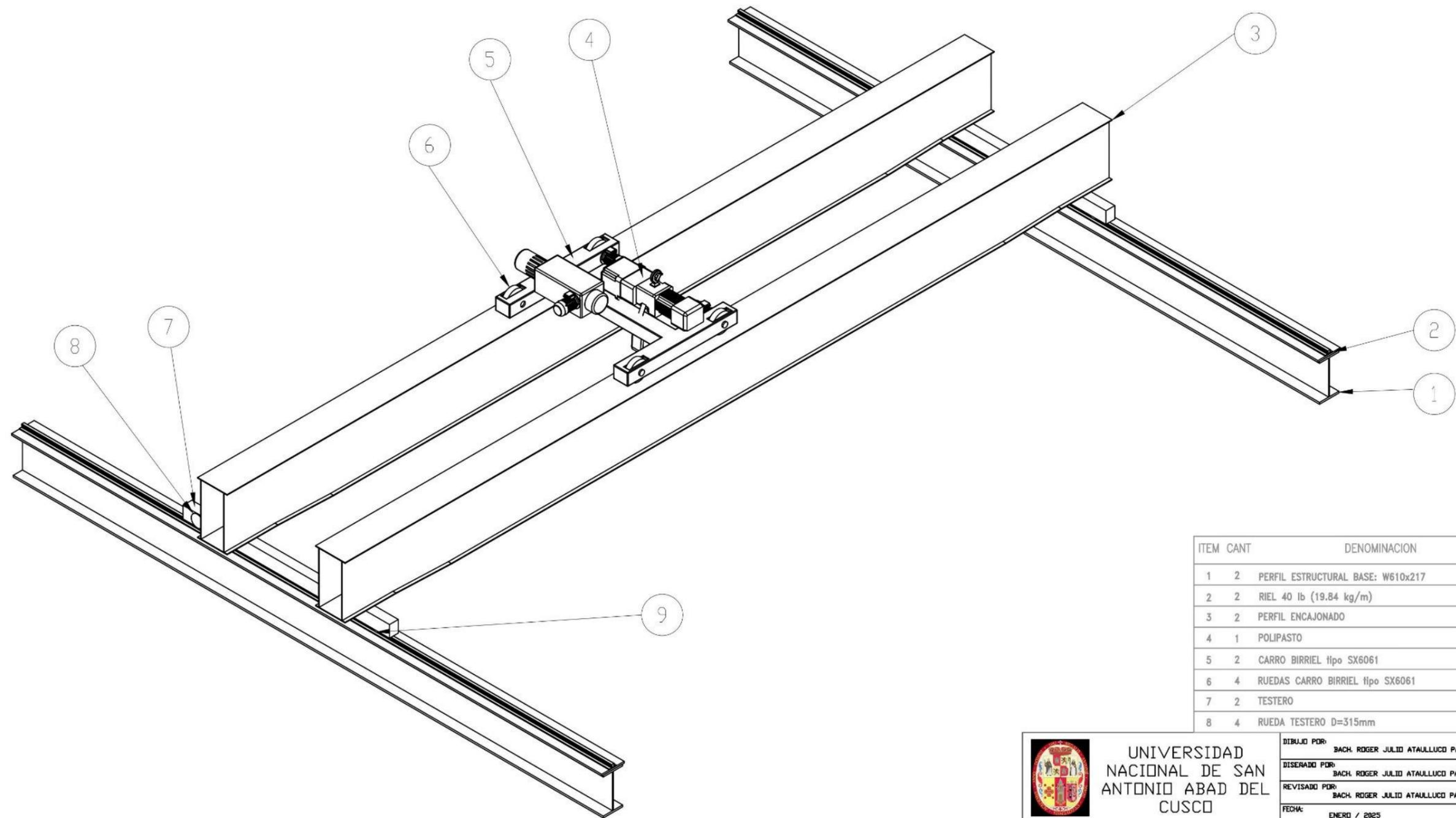


DETALLE A
SCALE 1 : 10

PINTURA EPOXICA
PINTURA BASE ANTICORROSIVA

| TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168 | | | | | | |
|--|-------------------|------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Grado de exactitud | Más de 6 hasta 30 | Más de 3 hasta 6 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
| Medio | ±0.1 | ±0.2 | ±0.3 | ±0.5 | ±0.8 | ±1.2 |

| | | |
|--|--|---|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | DIBUJO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA |
| | | DISEÑADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA |
| | | REVISADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA |
| | | FECHA: ENERO / 2025 |
| PROYECTO: DISEÑO, CALCULO Y COMPROBACIÓN DE UNIÓN SOLDADA EN VIGA DE PUENTE GRUA DE ALMA DOBLE VIGA W - RIEL | | |
| METODO DE PROYECCIÓN: | TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO CORTE DE PERFILES POR OXICORTE SEGUN DIN 2310 | PLANO # 6-T |



| ITEM | CANT | DENOMINACION |
|------|------|-----------------------------------|
| 1 | 2 | PERFIL ESTRUCTURAL BASE: W610x217 |
| 2 | 2 | RIEL 40 lb (19.84 kg/m) |
| 3 | 2 | PERFIL ENCAJONADO |
| 4 | 1 | POLIPASTO |
| 5 | 2 | CARRO BIRRIEL tipo SX6061 |
| 6 | 4 | RUEDAS CARRO BIRRIEL tipo SX6061 |
| 7 | 2 | TESTERO |
| 8 | 4 | RUEDA TESTERO D=315mm |

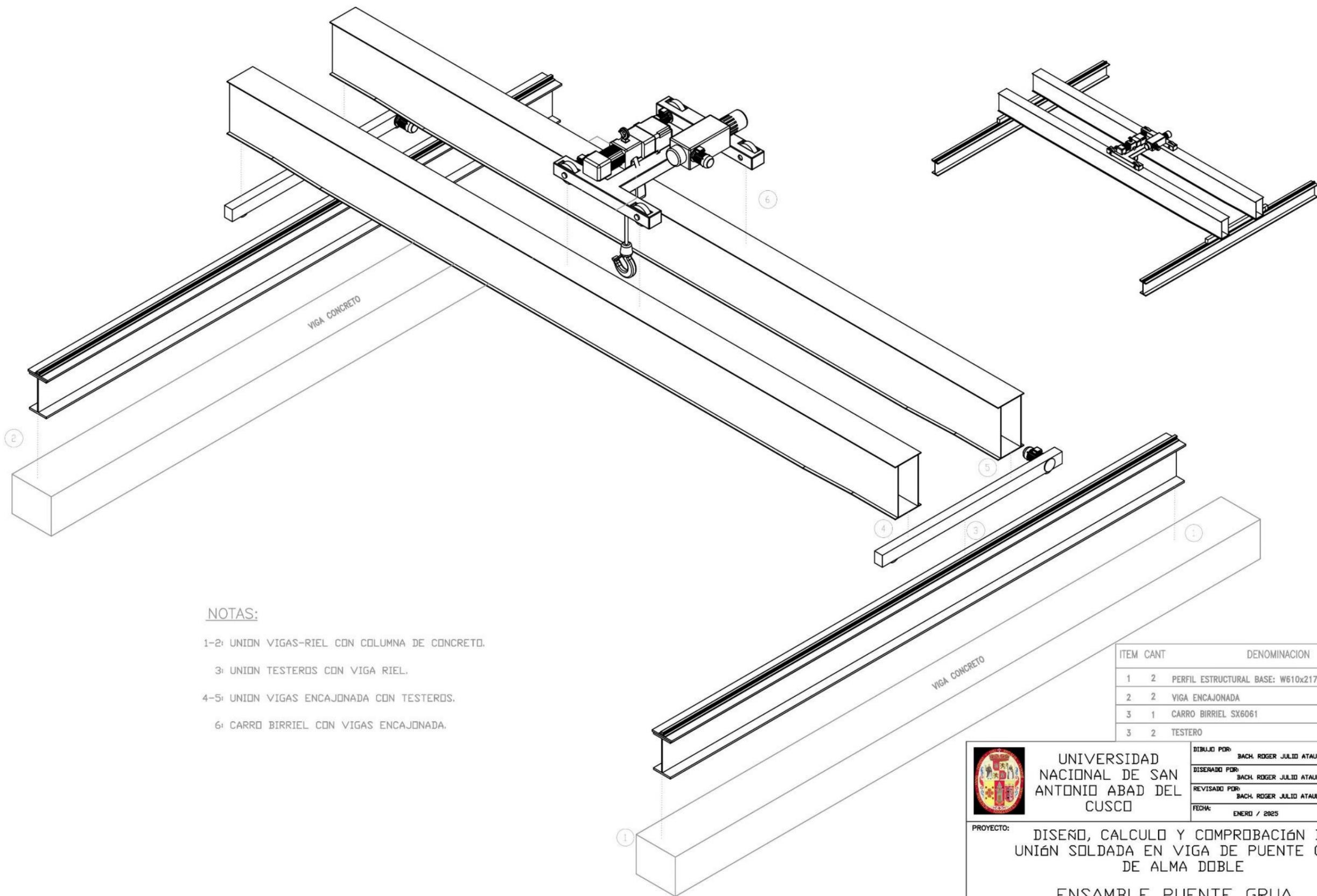


UNIVERSIDAD
NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABADEL
CUSCO

DIBUJO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
 DISEÑADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
 REVISADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA
 FECHA: ENERO / 2025

PROYECTO: DISEÑO, CALCULO Y COMPROBACIÓN DE
 UNIÓN SOLDADA EN VIGA DE PUENTE GRUA
 DE ALMA DOBLE
 ENSAMBLE GENERAL PUENTE GRUA

PLANO #
7



NOTAS:

1-2: UNIÓN VIGAS-RIEL CON COLUMNA DE CONCRETO.

3: UNIÓN TESTEROS CON VIGA RIEL.

4-5: UNIÓN VIGAS ENCAJONADA CON TESTEROS.

6: CARRO BIRRIEL CON VIGAS ENCAJONADA.

| ITEM | CANT | DENOMINACION |
|------|------|--|
| 1 | 2 | PERFIL ESTRUCTURAL BASE: W610x217 - RIEL |
| 2 | 2 | VIGA ENCAJONADA |
| 3 | 1 | CARRO BIRRIEL SX6061 |
| 3 | 2 | TESTERO |



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABADEL DEL
CUSCO

DIBUJO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA

DISEÑADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA

REVISADO POR: BACH. ROGER JULIO ATAULLUCO PALMA

FECHA: ENERO / 2025

PROYECTO: DISEÑO, CALCULO Y COMPROBACIÓN DE
UNIÓN SOLDADA EN VIGA DE PUENTE GRUA
DE ALMA DOBLE

ENSAMBLE PUENTE GRUA

PLANO #
7-E