

**DISEÑO DE PUENTE GRUA PARA TALLER CON CAPACIDAD
DE 5 TONELADAS**

**PRESENTADO POR
JHONATHAN ARANGO ARIAS**

**PROYECTO DE GRADO PARA OBTENER TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**ASESOR
LIBIA MARIA BAENA PEREZ**

**INSTITUCION UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERIA
MEDELIN ANTIOQUIA**

2017

Tabla de contenido

1. RESUMEN.....	6
2. INTRODUCCION	7
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
4. JUSTIFICACION	9
5. OBJETIVOS	10
5.1 OBJETIVO GENERAL	10
5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
6. MARCO TEORICO.....	11
6.1 Definición de puente grúa	11
6.2 Tipos de puente grúa	11
6.2.1 Puente grúa monorraíl	11
6.2.2 Puente grúa birrail	12
6.2.3 Puente grúa suspendido	13
6.3 Componentes de un puente grua	13
6.3.1 Estructura.	13
6.3.1.1 Carro de desplazamiento Trolley.	14
6.3.1.2 Viga principal de la grúa.	14
6.3.1.3 Chapas de unión.	15
6.3.1.4 Vigas testeras.....	15
6.3.1.5 Motor de translación del puente.	15
6.3.1.6 Mando de control cableado o radio control.....	15
6.3.1.7 Montaje del riel C.....	15
6.3.1.8 Cable alimentación eléctrica.	16
6.3.2 Mecanismos.....	16
6.3.2.1 Mecanismos de elevación.....	17
6.3.2.2 Mecanismos de translación del carro principal o trolley.....	17
6.3.2.3 Mecanismo de translación del puente.	17
6.4 Movimientos característicos.....	17
6.4.1 Movimiento de ascenso/ descenso de carga.	17
6.4.2 Movimiento del Trolley o carro principal.	18
6.4.3 Movimiento de la estructura.....	18
6.5 Clasificación de los puentes grúas.	18
6.5.1 Clasificación según su uso.	18
6.5.2 Clasificación según el número de vigas principales.....	19
6.5.2.1 Puente grúa Monorraíl.....	19
6.5.2.2 Puente grúa Birrail.	20

6.6 Selección de metodología de diseño	20
6.6.1 Especificaciones técnicas	20
6.6.2 Velocidad de movimiento de los diferentes componentes de la grúa.....	21
6.6.4 Factor de seguridad.	22
6.6.5.1 Fuerzas Verticales.	22
6.6.5.2 Fuerzas laterales.	24
6.6.5.3 Fuerzas de torsión.....	24
7. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	25
7.1 Toma de medidas	25
7.2 Identificación de cargas de izaje	25
7.3 Cálculo de estructura.....	26
7.3.1 conversión de unidades de peso a fuerzas ejercidas	26
7.3.2 Momentos flectores	27
7.3.3 Presión.....	28
7.3.4 Esfuerzos	29
7.3.5 Ensayo de tracción	29
7.3.5.1 Clasificación de los alargamientos	30
7.3.6 Fórmulas para cálculo de esfuerzos presentes en la viga	30
7.4 Selección de materiales	32
7.5 Simulación de esfuerzos y deformación de estructura de puente grúa en software inventor	33
7.6 Realización de planos en software inventor	33
8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	34
9. RESULTADOS.....	35
9.1 Recolección de información.....	35
9.2 Identificación de rango de cargas izadas.....	35
9.2.1 Polipasto.....	36
9.4 Cálculos de vigas de puente grúa	38
9.4.1 Calculo de viga de izaje	38
9.4.1.1 carga a levantar (CL):.....	38
9.4.1.2 peso polipasto (PL):	39
9.4.1.3 Margen por impacto (MP):.....	39
9.4.1.4 Peso propio del puente (Pp):	39
9.4.1.5 Carga por rueda (Cpr):	39
9.4.1.6 Cálculo para distancia de análisis de carga	39
9.4.1.8 Análisis de viga por cortes	41
9.4.1.9 Gráficas de esfuerzo cortante y momento flector de la viga de izaje	43

9.4.1.9.1 Esfuerzos cortantes en viga de izaje.....	43
9.4.1.9.2 Momentos flectores en viga de izaje	44
9.4.2 Cálculo de vigas de desplazamiento longitudinal.	45
9.4.2.1 carga a levantar (CL):.....	45
9.4.2.2 peso polipasto (PL):	45
9.4.2.3 Margen por impacto (MP):.....	46
9.4.2.4 ½ Peso propio del puente (Pp):	46
9.4.2.5 Carga por rueda (Cpr):	46
9.4.2.6 Cálculo para distancia de análisis de carga	46
9.4.2.7 Análisis de cargas.....	47
9.4.2.8 Análisis de viga por cortes	48
9.4.2.9 Gráficas de esfuerzo cortante y momento flector de la viga de desplazamiento longitudinal	50
9.4.2.9.1 Esfuerzos cortantes en viga de desplazamiento longitudinal	50
9.4.2.9.2 Momentos flectores en viga de desplazamiento longitudinal.....	51
9.5 Selección de material para vigas de puente grua.....	52
9.5.1 Selección de material para viga de izaje	52
9.5.1.1 Deflexión máxima permitida.....	52
9.5.1.2 selección de material	53
9.5.1.2 Sección transversal de viga de izaje	54
9.5.2 Selección de material para viga de desplazamiento longitudinal	54
9.5.2.2 selección de material	55
9.6 SIMULACIÓN DE ESTRUCTURA EN SOFTWARE INVENTOR	56
9.6.1 Simulación en inventor para viga de izaje.....	56
9.6.2 Simulación en inventor para viga de desplazamiento longitudinal	59
Condiciones de funcionamiento	60
9.7 PLANO DE PUENTE GRUA.....	64
10. CONCLUSIONES	65
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
12. GLOSARIO.....	67

1. RESUMEN

En este proyecto se diseñará un puente grúa con el cual se puedan mover diversos elementos en el taller de mantenimiento de maquinaria de la empresa CONSTRUCCIONES EL CONDOR S.A. más concretamente en el taller de soldadura. dicha empresa se sitúa en el sector de robledo en Medellín Antioquia. Esta empresa se dedica a desarrollar proyectos de infraestructura vial e inversiones a nivel nacional, tales como carreteras, puentes, líneas férreas, túneles, explotaciones mineras, hidroeléctricas y demás.

Esto debido a la necesidad que se presenta en esta área por el constate movimiento de cargas, entre las cuales están: fabricación y reparación de baldes de excavadoras, fabricación de estructuras, volcos para movimiento de tierra y materiales pétreos, y demás equipos y componentes pesados. Con lo cual se deben realizar movimientos de láminas, ejes y piezas de las máquinas, llegando a tener pesos que varían entre los 50Kg hasta rondar los 5000Kg.

En este proyecto se diseña y calcula la estructura para el puente grúa, teniendo en cuenta las dimensiones y condiciones del lugar de trabajo, los volúmenes de los componentes a mover, las cargas y recorridos de izaje y trasporte.

Con esto se logra una adecuada operación de los elementos de las máquinas y materiales para la fabricación y reparación de las mismas, minimizando el riesgo en el personal de mantenimiento y realizando procedimientos de izaje más seguros, reduciendo los tiempos de reparación de las maquinas por una óptima intervención.

2. INTRODUCCION

El taller de mantenimiento de maquinaria de CONSTRUCCIONES EL CONDOR S.A. actualmente es el lugar donde dicha empresa repara su maquinaria, fabrica estructuras, baldes de excavadoras, volcos, palas de bulldozer y componentes con los cuales desarrolla las obras de infraestructura en el país. En ese taller funciona simultáneamente el almacén donde se reciben parte de las mercancías con las cuales la empresa realiza los proyectos. En el taller se cuenta con un montacarga para el movimiento de los elementos que no sean manipulables por los colaboradores tanto del taller como del almacén, este montacarga es indispensable para ambas partes por lo cual su disponibilidad a la hora de realizar un movimiento es crítica, produciendo en algunos momentos retrasos en diferentes actividades.

Al repararse o fabricarse un componente como lo es un balde de una excavadora, el cual ronda los 3000 kg se debe posicionar el componente de diferentes maneras, tornándose peligroso al hacerlo con la montacarga porque se debe sacar del área de soldadura y girarlo en un lugar abierto, sin obstáculos en el cual se pueda voltear sin riesgo de herir a alguien o dañar otro equipo, haciéndose riesgoso y produciendo daños al suelo debido al impacto del balde al caer por no poderse controlar a la hora de voltearse.

Por lo anterior y al momento de optimizar los procedimientos de reparación y fabricación en el área de soldadura donde se requieren movimientos de materiales como aceros de grandes dimensiones, laminas, perfiles estructurales, y demás, se hace necesario de un sistema independiente de izaje de carga, para no afectar el proceso por la disponibilidad del montacarga y para minimizar los riesgos causados por la manipulación de la carga.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el taller de mantenimiento de maquinaria de CONSTRUCCIONES EL CONDOR S.A. donde se realizan fabricaciones y reparaciones de componentes de maquinaria pesada, se presenta en el área de soldadura, la necesidad de un sistema de izaje de componentes, ya que en el momento no cuenta con un dispositivo propio para el movimiento de las materias primas como las diferentes láminas de acero, baldes de excavadoras, volcos, estructuras y demás componentes de las máquinas para movimiento de tierra y construcción de obras civiles con las cuales se desarrollan los proyectos. Actualmente se realizan dichos movimientos con un montacargas, con la cual se deben levantar, desplazar, y girar los diferentes componentes que oscilan entre 1 a 3,5 toneladas llegando en ocasiones a ser maniobras de alto riesgo por los pesos y volúmenes manejados, y en ocasiones con espacios reducidos, dificultándose así el desplazamiento con la máquina y teniendo como obstáculos los demás elementos en intervención. además de eso, dependiendo de la disponibilidad de la máquina para la realización de los movimientos ya que el taller en general cuenta con un almacén al cual llega mercancía constantemente y las demás áreas disponen de la misma máquina para realizar los movimientos. Llegando así la necesidad de implementar dicho sistema de izaje de cargas para independizar el área y reducir el riesgo de accidentes, además reducir tiempos muertos por disponibilidad de montacargas y obstáculos locativos.

4. JUSTIFICACION

En los talleres industriales donde se trabaja con reparación y fabricación de maquinaria pesada para movimiento de tierra se hace necesario manejar diversas materias primas con las cuales se realiza la intervención a los equipos, debido a que son materiales que van a formar parte estructural de las máquinas, y estarán sometidos a diversos esfuerzos mecánicos, fatigas y desgastes, las propiedades de estos deberán de cumplir con las exigencias del trabajo, por lo cual estos materiales en su mayoría son metales y en el caso específico aceros y sus aleaciones. La dimensión de estas materias primas por el tipo de trabajo y por su presentación comercial y los componentes de las maquinas que se intervienen, nos llevan a trabajar con altas cargas, por lo cual en la mayoría de talleres industriales de este tipo lo más versátil para estos movimientos son los puentes grúa con lo cual se puede mover la carga de una manera segura y eficiente.

Por lo anterior se calculará un puente grúa para el área de soldadura ubicado en el taller de mantenimiento de la empresa CONSTRUCCIONES EL CONDOR S.A. situada en Medellín, Antioquia, más precisamente en robledo. Con el cual se logrará mover los componentes de las máquinas y sus materiales, llegando a mejorar la infraestructura del taller con lo que se realizaran tareas en menor tiempo, con más seguridad y de una manera más técnica mejorando la realización de la intervención, y ampliando la cobertura de reparaciones y fabricaciones antes no posible por la ausencia de dicho sistema.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseño de puente grúa para taller con capacidad de 5 toneladas.

5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Calcular propiedades mecánicas para el puente grúa, que cumpla con las especificaciones de carga, y resistencia.
- Selección de materiales conforme a las resistencias requeridas
- Modelamiento de estructura

6. MARCO TEORICO

6.1 Definición de puente grúa

Es un equipo que se utiliza para el izaje y transporte de un punto a otro de cargas pesadas que no pueden ser manipulados por el ser humano, en un volumen de trabajo específico, tanto en el interior de edificaciones como fuera de las mismas. El movimiento de estos elementos se realiza de manera vertical u horizontal a lo largo y ancho de las áreas de trabajo.

El puente grúa consta de una estructura rígida comúnmente formada por vigas de acero en la cual se desplaza una viga que se encarga de levantar la carga. Esta es una forma de mover cargas muy eficiente y económico de implementar y ampliamente usado en la industria para mover diversos objetos siendo una herramienta indispensable en la industria.

6.2 Tipos de puente grúa

Los puentes grúas más usados comúnmente son los siguientes:

6.2.1 Puente grúa monorraíl

Se caracteriza por el aprovechamiento del espacio y se usan con viga de cajón soldada o perfil laminado.



Figura 1 puente grúa monorraíl.

6.2.2 Puente grúa birrail

se componen por dos vigas de cajón soldadas, lo cual permiten mayor capacidad de carga y mayores velocidades de desplazamiento.



Figura 2 puente grúa birrail.

6.2.3 Puente grúa suspendido

Se caracteriza por no estar apoyado en columnas o salientes, se suspende del techo permitiendo un desplazamiento horizontal mayor del gancho.



Figura 3 puente grúa suspendido.

6.3 Componentes de un puente grúa

Se clasifican en dos grupos que son:

- Estructuras
- Mecanismos

6.3.1 Estructura.

Es un cuerpo fabricado en acero y en su mayoría rígido, con lo cual la carga es izada y soportada durante su movimiento, y se compone de:

6.3.1.1 Carro de desplazamiento Trolley.

Es un sistema compuesto por una estructura que consta de mecanismo de elevación, desplazamiento y transporte de carga. Esta unidad consta del marco estructural que sirve como estructura de apoyo, para soportar los mecanismos de elevación y desplazamiento del Trolley.



Figura 4 Carro de desplazamiento

6.3.1.2 Viga principal de la grúa.

Sobre este se desplaza el trolley o carro principal y a su vez se mueve longitudinalmente sobre las vigas principales mediante las ruedas que van integradas, transportando la carga a lo largo de la estructura.



Figura 5 viga principal de la grúa

6.3.1.3 Chapas de unión.

Se encargan de unir las vigas principales con las vigas testeras, pueden ser pernadas o soldadas.

6.3.1.4 Vigas testeras.

Son las vigas que soportan las vigas principales y sobre las cuales van integradas las ruedas motorizadas que dan el movimiento longitudinal del sistema.

6.3.1.5 Motor de translación del puente.

Es el que da el movimiento de translación al trolley permitiendo a la carga desplazarse por lo largo del puente.

6.3.1.6 Mando de control cableado o radio control.

Son utilizados para el manejo del puente, están conformados por un conjunto de botones que cumplen la función de dar la orden para permitir el traslado adecuado de la carga, ya sea de manera transversal, longitudinal y de elevación son utilizados para el manejo del puente, están conformados por un conjunto de botones que cumplen la función de dar la orden para permitir el traslado adecuado de la carga, ya sea de manera transversal, longitudinal y de elevación

6.3.1.7 Montaje del riel C.

Estructura que tiene la finalidad de permitir el desplazamiento del cable de alimentación eléctrica.

6.3.1.8 Cable alimentación eléctrica.

Proporcionan la energía requerida para la operación de los diferentes sistemas de motorización del puente grúa, permitiendo así su distribución y desplazamiento.

Entre los sistemas de alimentación eléctrica del puente es el que se realiza con la ayuda de alambres desnudos, los cuales se encuentran ubicados en la parte posterior a lo largo del recorrido de puente, que tomará la energía mediante colectores de ruedas, que al hacer contacto proporciona la energía del puente. Otro de los sistemas de alimentación muy utilizados en la actualidad para el polipasto, es el cable flexible plano aislado, el cual se encuentra suspendido, sostenidos por carritos que se desplazan sobre el rail C.



Figura 6. Cable de alimentación eléctrica

6.3.2 Mecanismos.

Son los elementos que producen el movimiento a la estructura, del carro y de la carga a elevar. Se clasifican en:

- Mecanismo de elevación.
- Mecanismo de translación del carro principal o trolley.
- Mecanismo de translación del puente.

6.3.2.1 Mecanismos de elevación.

Consiste en un conjunto de motores y aparejos (sistemas de poleas y cables destinados a variar la fuerza y velocidades) que se aplican al movimiento de ascenso de la carga, para los mecanismos encargados de la elevación de carga.

6.3.2.2 Mecanismos de translación del carro principal o trolley.

Conjunto de elementos mecánicos tales como motores, cajas reductoras que proporcionan el movimiento longitudinal del carro en dirección del movimiento del Trolley.

6.3.2.3 Mecanismo de translación del puente.

Consiste en el conjunto de motores que incluye tanto los testeros como la estructura en la cual se incorpora este mecanismo, para el movimiento longitudinal de la grúa.

6.4 Movimientos característicos.

Los puentes grúa por lo general cuentan con 3 movimientos característicos independientes, si no se limitan según las disposiciones constructivas. Estos tres movimientos generan un rango del movimiento volumétrico, estos quieren decir que son capaces de mover una carga en un espacio de operación, limitado por las dimensiones de la grúa y las condiciones limitadas de espacio de trabajo.

6.4.1 Movimiento de ascenso/ descenso de carga.

Este movimiento es realizado de manera vertical, perpendicular al plano del piso.

6.4.2 Movimiento del Trolley o carro principal.

Este movimiento realizado por el Trolley, se realiza paralelamente a las vigas principales.

6.4.3 Movimiento de la estructura.

Este movimiento es realizado por la estructura, de manera longitudinal, perpendicular al movimiento del Trolley.

6.5 Clasificación de los puentes grúas.

Se puede dar por el tipo de uso o por la cantidad de vigas principales.

6.5.1 Clasificación según su uso.

Está clasificada por la norma CMAA 70 de la siguiente forma:

Clase A (Servicio de Emergencia o Poco Frecuente): Realiza izajes precisos a velocidad lenta, con un largo período ocioso entre izajes. Realiza izajes a toda capacidad o cerca de la capacidad nominal. Salas de máquinas, empresas de servicio público, salas de turbinas.

Clase B (Servicio Ligero): Exigencia de servicio ligero a velocidad lenta. Realiza de 2 a 5 izajes por hora, cargas ligeras a completas ocasionales a un promedio de 3.1 metros de altura. Talleres de reparación, ensamblado ligero, edificios de servicios, ferretería ligera.

Clase C (Servicio Moderado): Exigencia de servicio moderado con cargas promedio que alcanzan el 50% de la capacidad. 5 a 10 izajes por hora con un promedio de 4.6 metros por izaje. No más de 50% de izajes a la capacidad nominal. Talleres mecánicos, papeleras, salas de máquinas, etc.

Clase D (Servicio Pesado): Servicio con cangilones e imanes en donde se requiere una producción de servicio pesado. Cargas de 50% de la capacidad manejadas constantemente. 10 a 20 izajes por hora con un promedio de 4.6 metros de izaje. No más

de 65% de los izajes a la capacidad nominal. Talleres de maquinaria pesada, fundiciones, plantas de fabricación, almacenes de acero, patios de contenedores, aserraderos, etc.

Clase E (Servicio Severo): Cargas que se aproximan a la capacidad durante toda la vida útil de la grúa. 20 o más izajes por hora a la capacidad nominal o cerca de ella. Grúas con imanes y cangilones para patios de escoria, molinos de cemento, aserraderos, plantas fertilizadoras, manejo de contenedores.

Clase F (Servicio Severo Continuo): Maneja cargas que se aproximan a la capacidad continuamente bajo condiciones de servicio severas durante toda la vida útil de la grúa. Incluye grúas especializadas diseñadas a medida que son que realizan labores críticas para el total de las instalaciones de producción. Necesita tener el más alto grado de confiabilidad y facilidad de mantenimiento.

6.5.2 Clasificación según el número de vigas principales.

Este tipo de clasificación se da por la capacidad de carga y por las luces requeridas.

6.5.2.1 Puente grúa Monorraíl.

Este tipo de puente grúa está formado por un solo riel de donde se suspende el polipasto. Surge de la necesidad de estructuras más económicas con pequeñas luces y ya sea para cargas grandes o pequeñas.

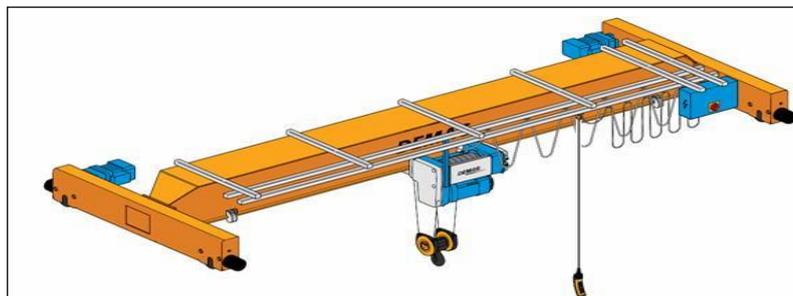


Figura 7. Puente grúa monorraíl

6.5.2.2 Puente grúa Birrail.

Este tipo de puente grúa cuenta con dos vigas principales, son utilizados para cubrir grandes luces, ya que el esfuerzo admisible soportado por las vigas requiere que se divida la fuerza en dos partes.

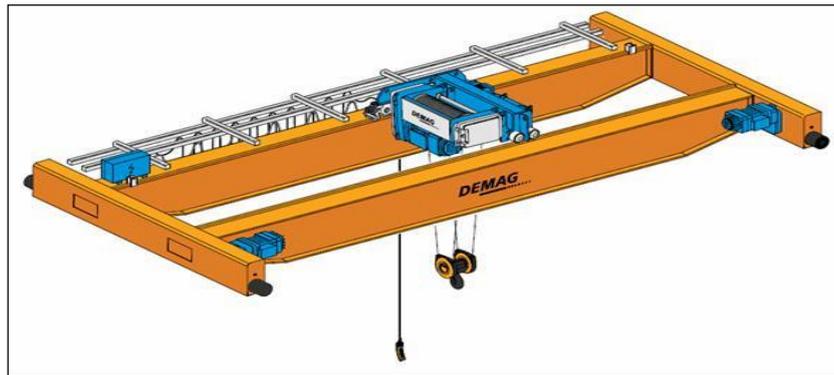


Figura 8. Puente grúa birrail

6.6 Selección de metodología de diseño

Las pautas seleccionadas para diseño del puente grúa se basaron según las normas para el diseño y selección de los componentes que conforman un puente grúa, regidos en la norma CMAA 70 y en manuales de diseño de grúas.

6.6.1 Especificaciones técnicas.

Las normas y especificaciones técnicas a utilizar para el diseño del puente grúa se muestran a continuación:

- CMAA Specification 70 Specifications for Top Running Bridge & Gantry Type Multiple Girder Electric Overhead Traveling Cranes.
- CMAA Specification 74 Specifications for Top Running and Under Running Single Girder Electric Overhead Cranes Utilizing Under Running Trolley Hoist.

- CMAA Specification 78 Standards and Guidelines for Professional Services Performed on Overhead Traveling Cranes and Associated Hoisting Equipment
- ASME A36 Standard Specification for Carbon Structural Steel.
- AWS D1.1 Structural Welding Code-Steel.

6.6.2 Velocidad de movimiento de los diferentes componentes de la grúa.

Para obtener el dato de la velocidad recomendada en la norma para el movimiento del trolley de puente, se toma como referencia la Tabla 1 mostrada a continuación, la cual pertenece a la norma CMAA 70.

La Tabla 1 presenta parámetros para la selección de velocidades más eficientes para el movimiento del puente y sus componentes. Teniendo en cuenta que las velocidades de operación para cada movimiento son factores principales en la determinación de los costos iniciales y de operación de la grúa, ya que, si sus velocidades son mayores a las requeridas, el costo de la grúa, y posteriormente el costo de la energía es mayor debido a la selección de motores más grandes, controles para mayor amperaje, engranes más robustos, etc. Por otra parte, si las velocidades que se seleccionaron son insuficientes para una producción, es posible que la grúa pueda causar pérdidas económicas. Para seleccionar las velocidades es requerido analizar los ciclos de trabajo.

Tabla 1. Velocidades recomendadas de puente grúa

capacidades en toneladas	velocidades recomendadas de puente grúa en pies por minuto								
	velocidad de izaje			velocidad de carro transversal			velocidad de viga longitudinal		
	baja	media	alta	baja	media	alta	baja	media	alta
3	14	35	45	50	80	125	50	115	175
5	14	27	40	50	80	125	50	115	175
7,5	13	27	38	50	80	125	50	115	175
10	13	21	35	50	80	125	50	115	175
15	13	19	31	50	80	125	50	115	175
20	10	17	30	50	80	125	50	115	175
25	8	14	29	50	80	125	50	115	175
30	7	14	28	50	80	125	50	115	150
35	7	12	25	50	80	125	50	115	150
40	7	12	25	40	70	100	40	100	150
50	5	11	20	40	70	100	40	100	150
60	5	9	18	40	70	100	40	75	125
75	4	9	15	40	70	100	30	75	125
100	4	8	13	30	60	80	25	50	100
150	3	6	11	25	60	80	25	50	100

6.6.4 Factor de seguridad.

El factor de seguridad es un término engañoso ya que implica un grado mayor de seguridad del que realmente existe, por ejemplo, un factor de seguridad de 5 no significa que una máquina o estructura pueda soportar 5 veces la carga nominal para la que fue diseñada. El término factor de seguridad es una relación entre la resistencia de la rotura del material y las tensiones admisibles para las diferentes partes de la grúa.

6.6.5 Cargas aplicadas.

Debido a que la estructura del puente grúa es sometida a cargas de servicio repetitivas que varían en el tiempo, se generan tensiones variables en los miembros y conexiones a través de la interacción del sistema y la estructura y las formas de la sección transversal. Para las cargas que se deben considerar en el análisis estructural, se tiene:

- Fuerzas Verticales.
- Fuerzas Laterales.
- Fuerzas de Torsión.

6.6.5.1 Fuerzas Verticales.

Estas cargas actúan sobre el eje vertical, paralelo al eje de elevación de la carga. De las cuales se cita las siguientes:

- **Cargas muertas (Wd)**

El peso de todas las partes efectivas, las partes mecánicas y equipo fijo soportado por los apoyos de la estructura. Para poder calcular el momento de la carga muerta hay que tener en cuenta las cargas por unidad de longitud, entre ellas: la carga producida por la viga principal, el riel por donde se moverá el Trolley, las barandillas, eje transversal, voladizo para el movimiento de las personas. Si existen cabinas ubicadas en el centro del vano, se

añadirá la carga como fuerza puntual, mientras que no se considerará para el cálculo el peso de la cabina si este se encuentra ubicado en uno de los extremos de la viga principal.

- **Carga viva (Wl)**

Consiste en las cargas producidas por el trolley y de la carga levantada (Capacidad nominal), estas cargas serán consideradas como cargas puntuales ubicadas en las ruedas en movimiento, por lo que se analizará el momento y cortante máximo con respecto a estas posiciones.

- **Fuerzas verticales de inercia.**

Estas fuerzas son las que se generan debido al movimiento de la grúa o componentes de la misma y las fuerzas debidas a la elevación o descenso de la carga del polipasto o tecla. Estas cargas adicionales se las puede incluir de forma simplificada mediante la aplicación de un factor independiente para la carga muerta (fd). Este factor cubre solamente a las cargas muertas de la grúa, el Trolley, y sus equipos asociados y debe estar acorde con:

$$fd = 1.1 \leq 1.05 + \frac{V[FPM]}{2000} \geq 1.02$$

La carga del polipasto usa el factor (fl) que aplica el movimiento de la carga nominal en la dirección vertical, y cubre las fuerzas de inercia, fuerzas de masa debido a la elevación súbita del polipasto y las incertidumbres en lo que permite otras influencias.

$$fl = 0.15 \leq 0.005VTecla \leq .5$$

fl : Es el factor por el cual las cargas verticales, las fuerzas en los miembros o las tensiones debido a ellas, deberán multiplicarse.

6.6.5.2 Fuerzas laterales.

Carga lateral debido a la aceleración o desaceleración, se considerará como 5% de la carga viva más la carga producida por la estructura del puente grúa, exclusivamente en los truck traseros. El momento lateral se lo dividirá por igual entre las dos vigas y se utilizará el momento de inercia de toda la sección de la viga sobre su sección en el eje vertical para determinar las tensiones debido a las fuerzas laterales.

6.6.5.3 Fuerzas de torsión.

Es el momento de torsión producido al arrancar y parar el motor del puente. Se considerará como el par de arranque del motor en 200% del par a plena carga multiplicada por la relación de transición entre el motor y el eje transversal.

Las fuerzas de torsión debido a las cargas que sobresalen en uno de los lados laterales de la viga, se tomarán como el peso de la respectiva carga multiplicada por la distancia horizontal entre los respectivos centros de gravedad y el centro de gravedad de la sección de la viga.

Los momentos de torsión debido a las fuerzas laterales que actúan de manera excéntrica con respecto al eje neutro horizontal de la viga se consideran aquellas fuerzas multiplicadas por la distancia vertical entre la línea central de la fuerza y el centro de gravedad de la viga.

7. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

7.1 Toma de medidas

Para una correcta recolección de datos para el dimensionamiento del puente grua se tomaron medidas en el área donde se instalará el dispositivo de izaje teniendo en cuenta los procesos de trabajo presentes para no alterar su correcto funcionamiento, para lograrlo el puente grua debe de poder izar las cargas y desplazarse sin interferir en el funcionamiento del área, además de los límites del área y sus áreas circundantes también limitantes como techos e instalaciones eléctricas.

Las columnas que sostienen la estructura deben de situarse en lugares donde no obstruyan movimientos de equipos y herramientas presentes en el área como equipos de soldadura y materiales de trabajo como laminas y perfilería.

7.2 Identificación de cargas de izaje

Para identificar el rango de los pesos de componentes a izar en el área de soldadura se realizó un muestreo de componentes y accesorios como baldes de excavadoras, cuchillas de bulldozer y materias primas para la fabricación y reparación de los mismos en los cuales su intervención sea recurrente en el área y se tomaron sus pesos con un dinamómetro digital, teniendo en cuenta que sean entre los componentes de mayores pesos. En la Figura 9 se observa un balde de excavadora en fabricación el cual se pesa con el dinamómetro digital.



Figura 9. Dinamómetro digital

7.3 Cálculo de estructura

Para calcular esta estructura se necesitó inicialmente las dimensiones anteriormente definidas en el numeral 7.1 y los pesos de las cargas descritas en el numeral 7.2 con las cuales se inicia el cálculo de las fuerzas ejercidas en el puente grúa, para así diseñar la sección de los perfiles a usar. Para calcular correctamente todas estas cargas y fuerzas que se ejercen en la estructura del puente grúa, se hace necesario los siguientes conceptos:

7.3.1 conversión de unidades de peso a fuerzas ejercidas

Al tener un objeto y ejercer un movimiento, sobre el intervienen las fuerzas naturales que la tierra ejerce sobre cualquier objeto llamada fuerza de gravedad, esta fuerza es una atracción que se describe como una aceleración ejercida sobre cualquier cuerpo. se describe en la siguiente formula:

$$g = 9.8m/s^2$$

En esta ecuación m es unidad de longitud en metros, dividida en unidad de tiempo en segundos cuadrados s^2 .

De esta manera una unidad de peso dada en kg y estando expuesta a la fuerza de gravedad se dará como resultado la multiplicación de las unidades de masa por la aceleración de la gravedad que es igual a unidad de newton que es la unidad de medida de la fuerza en el Sistema Internacional de Unidades:

$$N = \frac{kg \times m}{s^2}$$

7.3.2 Momentos flectores

Para diseñar un elemento estructural o mecánico es necesario conocer la carga que actúa dentro de él para asegurarnos de que el material puede resistir esta carga. Las cargas internas pueden determinarse por el método de secciones, seccionando o cortando imaginariamente una sección perpendicular al eje de la viga. Las cargas internas que actúan sobre el elemento quedarán expuestas y se volverán externas en el diagrama de cuerpo libre de cada segmento.

Los componentes de la fuerza (N) que actúa en perpendicular a la sección transversal se denomina fuerza Normal. Los componentes de la fuerza (V) que es tangente a la sección transversal se llama fuerza cortante. El momento de par (M) se conoce como momento flector.

En la Figura 10 se observa la representación gráfica de las fuerzas presentes en una viga y sus respectivas reacciones en un diagrama de cuerpo libre.

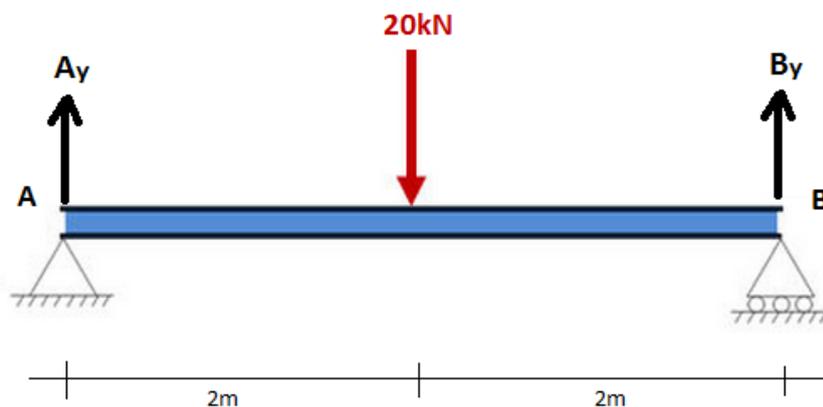


Figura 10. Diagrama de cuerpo libre

En mecánica newtoniana, se denomina momento de fuerza, torque, o par (o sencillamente momento) [respecto a un punto fijo B] a la magnitud que viene dada por el producto vectorial de una fuerza por un vector director (también llamado radio vector). En la Figura 11 se denomina F a una fuerza, aplicada en un punto A, su momento respecto a otro punto B viene dado por:

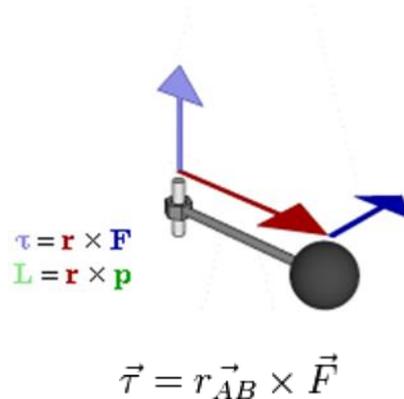


Figura 11. Sistema de fuerzas

Donde \vec{r}_{AB} es el vector director que va desde B a A. Por la propia definición del producto vectorial, el momento $\vec{\tau}$ es un vector perpendicular al plano formado por \vec{F} y \vec{r}_{AB} .

Se expresa en unidades de fuerza por unidades de distancia. En el Sistema Internacional de Unidades resulta Newton metro y se la puede nombrar como newton-metro o newtometro.

7.3.3 Presión

Magnitud que relaciona la fuerza con la superficie sobre la que actúa.

En física y disciplinas afines, la presión es una magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie, y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie. En el Sistema Internacional de Unidades la presión se mide en una unidad derivada que se denomina pascal (Pa) que es equivalente a una fuerza total de un newton actuando uniformemente en un metro cuadrado.

7.3.4 Esfuerzos

Son las fuerzas inmersas, debido a las cargas, sometidas a un elemento resistente siendo la carga la fuerza exterior que actúa sobre un cuerpo y se clasifican en:

Carga estática

Se aplica gradualmente desde en valor inicial cero hasta su máximo valor.

Carga dinámica

Se aplica a una velocidad determinada las cuales pueden ser

- Carga súbita: cuando el valor máximo se aplica instantáneamente
- Carga de choque libre: cuando está producida por la caída de un cuerpo sobre un elemento resistente.
- Carga de choque forzado: cuando una fuerza obliga a dos masas que han colisionado a seguir deformándose después del choque.

7.3.5 Ensayo de tracción

A menudo se realizan una serie de pruebas a los materiales (fundamentalmente metales) para ver su comportamiento, a estas pruebas se les llama ensayos. A partir de estos, se puede determinar:

- Sus características para una posible utilización
- Los defectos de las piezas ya terminadas.

El ensayo de tracción es el más importante y el más empleado de todos. Se realiza con probetas de dimensiones normalizadas, que se someten a esfuerzos de tracción progresivamente crecientes, en dirección longitudinal, hasta producir su rotura.

El ensayo de tracción permite estudiar el alargamiento de la probeta en función de la fuerza o carga actuante. La forma del diagrama depende del material a ensayar.

En la Figura 12 podemos ver un diagrama característico de un material dúctil y maleable, como el acero bajo carbono.

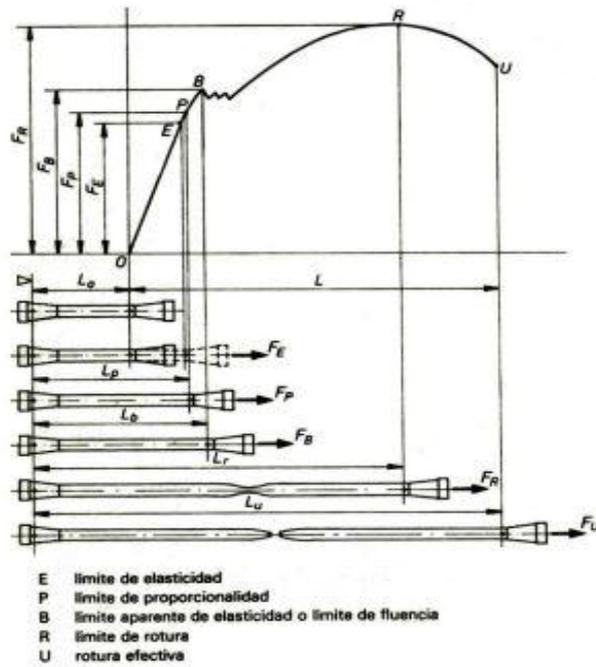


Figura 12. Diagrama de esfuerzo- deformación

7.3.5.1 Clasificación de los alargamientos

- Alargamientos elásticos: Los alargamientos son pequeños y proporcionales a los esfuerzos. cuando el esfuerzo cesa la probeta recupera su estado inicial. zona elástica.
- Alargamientos permanentes: Los alargamientos son grandes, cuando cesa la fuerza, la deformación permanece. zona plástica.
- Alargamientos localizados: Cuando la carga llega a cierto valor, el alargamiento se localiza en una zona concreta (hacia el centro de la probeta) llamada zona de estricción. finaliza en rotura.

7.3.6 Fórmulas para cálculo de esfuerzos presentes en la viga

En la Figura 13 se observa la sección transversal de una viga con sus puntos de mayor esfuerzo sobre su eje neutro

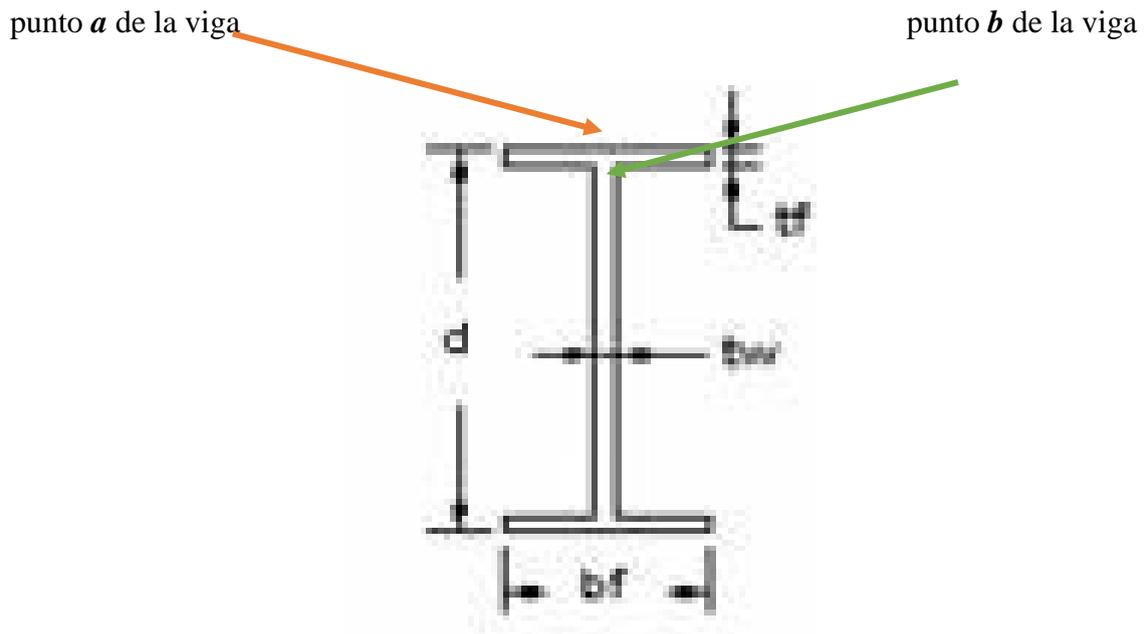


Figura 13. Sección transversal de viga

Los cálculos de esfuerzos presentes en los puntos a, y b de la Figura 13, se determinan mediante las siguientes fórmulas:

$$\sigma_a = \frac{M_{max}}{S_x} = \sigma_a < \sigma_{adm} \text{ esfuerzo presente en el punto a de la viga} \quad (1)$$

$$\sigma_b = \frac{M \times Y}{I_x} = \sigma_b < \sigma_{adm} \text{ esfuerzo presente en el punto b de la viga} \quad (2)$$

$$\tau_b = \frac{V \times Q}{I_x \times t} \text{ esfuerzo cortante presente en la viga} \quad (3)$$

$$\sigma_{\max b} = \frac{\sigma_b}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau_b} < \sigma_{adm} \text{ esfuerzo máximo en el punto b de la viga}$$

Donde:

V = fuerza cortante

σ_{adm} = Esfuerzo admisible

M_{max} = momento flector máximo

I_x = momento de inercia

7.4 Selección de materiales

Para la fabricación de la estructura del puente grúa luego de obtener las fuerzas resultantes de trabajo, las deformaciones máximas permitidas y los esfuerzos máximos, se busca un perfil adecuado que cumpla con los requerimientos de diseño. Teniendo en cuenta su disponibilidad, peso por unidad de longitud y requerimientos de resistencia.

Este tipo de perfiles comercialmente vienen fabricados en acero SAE1020 con los cuales se fabrican todo tipo de estructuras, puentes edificios y demás.

En la Tabla 2 se muestran propiedades mecánicas del acero SAE 1020 siendo este el material de fabricación de los perfiles estructurales con los cuales se fabrica la estructura del puente grúa.

Tabla 2. Propiedades mecánicas del acero SAE 1020

Composición de colada	Carbono (c)	0,26% máx.			
	Manganeso (Mn)	No hay requisito			
	Fosforo (P)	0,04% máx.			
	Azufre (S)	0,05% máx.			
	Silicio (Si)	0,40% máx.			
	Cobre (Cu)	0,20% máx.			
Propiedades mecánicas	Densidad	7850 Kg/m ³		0,28 lb/in ³	
	Límite de fluencia mínimo	250 MPa		36000 Psi	
	Resistencia a la tracción	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
		400 MPa	550 MPa	58000 Psi	80000 Psi
	Módulo de cortante (G)	77 GPa		12200 Ksi	
Módulo de Elásticidad (E)	200 GPa		29000 Ksi		

En base a estos datos se puede hacer los cálculos requeridos de resistencia, esfuerzos y deformaciones de la estructura.

7.5 Simulación de esfuerzos y deformación de estructura de puente grúa en software inventor

Al tener los cálculos de las fuerzas ejercidas por el izaje del puente grúa, sus movimientos y sus dimensiones, se realiza el modelamiento en el software inventor, ingresando los bocetos en tres dimensiones con los cuales se dibuja a escala el puente grúa, al cual se le ingresan cada una de sus restricciones, cargas, con los cuales el simulador realiza los cálculos debidos para probar el comportamiento de cada una de las vigas, al efecto de las cargas sometidas. El cual realiza análisis de esfuerzos de estructuras, análisis de tensión y deformación, entregando un informe de resultados sobre el cual se pueden corroborar los cálculos realizados y garantizar el cumplimiento de las normas aplicables al puente grúa.

7.6 Realización de planos en software inventor

Al tener la estructura y cada uno de sus componentes aprobados por los análisis y las simulaciones, se pueden realizar los planos del puente grúa, con los cuales se piden materiales y la fabricación de la estructura.

8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES		MES																
		FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Recoleccion de informacion	■	■	■														
2	Identificacion de rango de cargas izadas			■														
3	diseño de puente grua				■	■												
4	Calculos de vigas de puente grua				■	■	■	■	■									
5	Selección de material para vigas de puente grua								■	■	■							
6	simulacion de estructura en software inventor								■	■	■							
7	Realizacion de planos en software inventor									■	■	■	■					
8	Realizacion de informe										■	■	■	■				
9	Entrega final														■	■		
10	analisis de resultados																■	■

9. RESULTADOS

Para los resultados de este proyecto inicialmente se dan los parámetros de trabajo con los cuales se calculan las fuerzas ejercidas en el puente grúa.

9.1 Recolección de información

Esta se realizó en el área donde se instala el puente grua teniendo en cuenta cantidad de izajes a realizar y espacios de trabajo.

- Capacidad de carga: 5000 kg
- Tipo de servicio según CMMA: servicio clase C
- Distancia de izaje: 5 metros
- Distancia entre apoyos de viga de carga: 7 metros
- Distancia de desplazamiento de viga de carga: 16 metros
- Distancia entre columnas de apoyo de viga: 8 metros

9.2 Identificación de rango de cargas izadas

Para esta toma de muestras se realizaron izajes de componentes como los baldes que se fabrican y reparan en el área de soldadura con un dinamómetro digital, con esos pesos se toma un rango de trabajo para poder seleccionar las cargas de trabajo sobre las cuales se realiza el diseño.

En la Tabla 3 a continuación se observan algunos componentes de reparación habitual y su correspondiente máquina, los cuales se pesaron con el dinamómetro digital y son de intervención continuo en el área de soldadura donde se instalará el puente grua.

Tabla 3. Pesos de componentes

COMPONENTE	DESCRIPCION DE LA MAQUINA	CODIGO DE LA MAQUINA	PESO (Kg)
balde	excavadora de orugas kobelco 350	ro-78	2425
balde	excavadora de orugas caterpillar 336	ro-46	2525
cuchilla	bulldozer caterpillar d8t	bo-33	3375
materia prima	lamina de acero de 2" x 1,2m x 2,4 m	n/a	1185
materia prima	eje de acero 9" x 5m	n/a	1600

9.2.1 Polipasto.

En base a lo anterior se selecciona el polipasto con el cual se harán los izajes en el puente grua, teniendo en cuenta sus parámetros para el diseño de la estructura

- Distancia de izaje: 5 metros
- Peso: 250 kg
- Capacidad de carga: 5000 kg
- Distancia entre ruedas de sujeción (d): 0,291 metros

En la Figura 14 se observa el polipasto eléctrico de cadena con desplazamiento transversal integrado, seleccionado para realizar los izajes

POLIPASTO 5 TON TROLE
(FT-S500)



Figura 14. Polipasto eléctrico de cadena con desplazamiento transversal integrado

9.3 Diseño de puente grúa

Inicia con las medidas tomadas en el área usando una cinta métrica de 30 metros identificando los puntos de ubicación de máquinas y de equipos para no interferir con su posicionamiento.

Por espacios locativos y apoyos necesarios de columnas se decide un puente grúa con seis columnas de apoyo para distribuir las cargas ejercidas por el puente grúa.

En la Figura 15 Se describe distribución de columnas y estructura de puente grúa donde se tendrán movimientos en tres ejes teniendo como límites: 5 metros de altura, 16 metros de desplazamiento longitudinal, y 7 metros de movimiento transversal.

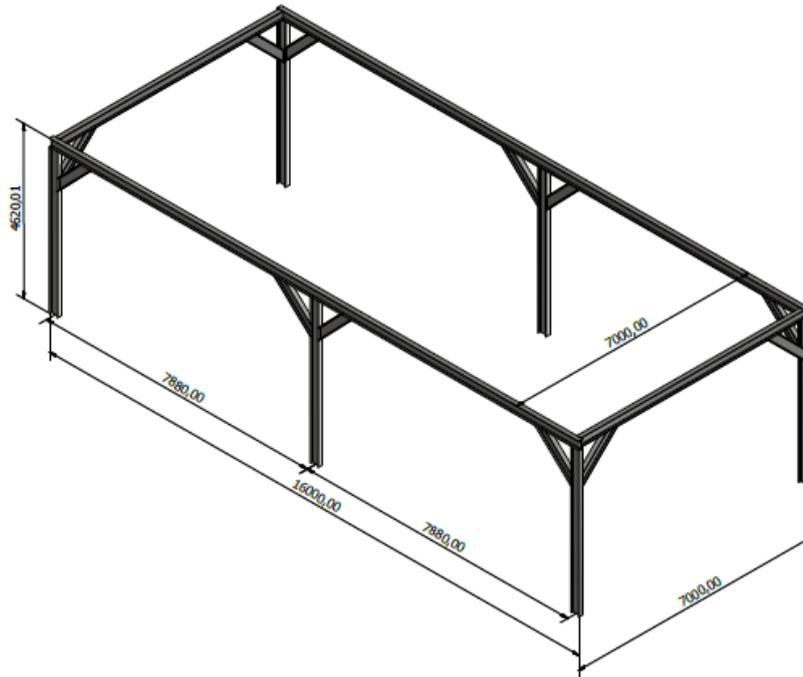


Figura 15. Estructura de puente grúa

Las vigas seleccionadas para la estructura de este puente grúa se seleccionan en base a cálculos realizados en el numeral 9.4.

9.4 Cálculos de vigas de puente grúa

9.4.1 Calculo de viga de izaje

para estos cálculos se deben de contemplar las siguientes cargas presentes en la viga de soporte del polipasto

9.4.1.1 carga a levantar (CL):

$$5000 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 49\text{KN}$$

9.4.1.2 peso polipasto (PL):

$$250 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2.45 \text{ KN}$$

9.4.1.3 Margen por impacto (MP):

$$\text{MP} = 25\%(\text{CL}) \quad 0.25 \times 49 \text{ KN} = 12.25 \text{ KN}$$

9.4.1.4 Peso propio del puente (Pp):

$$P_p = L \times W$$

W = peso de la viga en kg/m = 89.29 kg/m

L = longitud de la viga = 7 metros

$$P_p = (89.29 \text{ kg/m} \times 7 \text{ m} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) = 6,125 \text{ KN}$$

9.4.1.5 Carga por rueda (Cpr):

$$C_{pr} = \frac{CL + PL + MP}{2}$$

$$C_{pr} = \frac{49 \text{ KN} + 2.45 \text{ KN} + 12.25}{2} = 31.85 \text{ KN}$$

9.4.1.6 Cálculo para distancia de análisis de carga

$$\text{En } x = \frac{1}{2} \left(L - \frac{d}{2} \right)$$

donde:

L = longitud de la viga = 7 metros

d: Distancia entre ruedas de sujeción (d): 0,291 metros

$$\frac{1}{2} \left(7 - \frac{0,291m}{2} \right) = 3.427m$$

9.4.1.7. Diagrama de cuerpo libre

En la Figura 16 se observan las fuerzas y reacciones presentes en la viga y el análisis de cargas

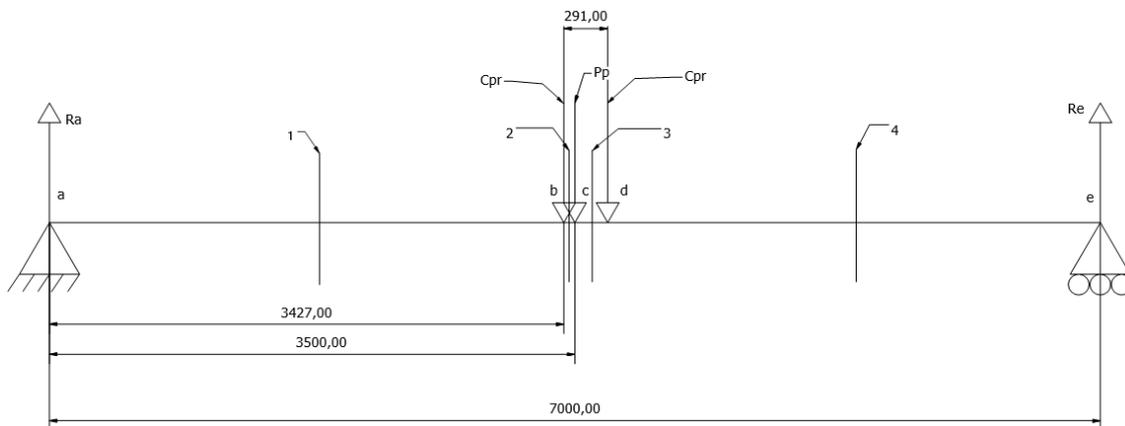


Figura16. diagrama de cuerpo libre de viga de izaje

$$\sum Fy = 0 \rightarrow Ra - Cpr - Pp - Cpr + Re = 0$$

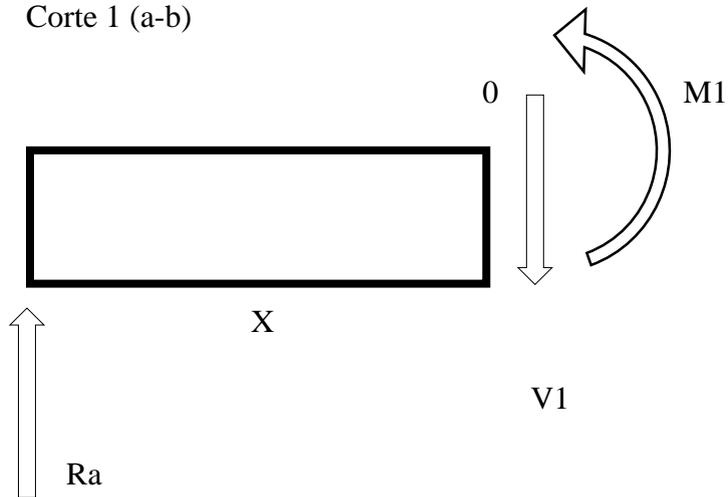
$$\sum Ma = 0 \rightarrow -Cpr(3,427m) - Pp(3,5m) - Cpr(3,719) + Re(7m) = 0$$

$$Re = 35,57KN$$

$$Ra = 34,255KN$$

9.4.1.8 Análisis de viga por cortes

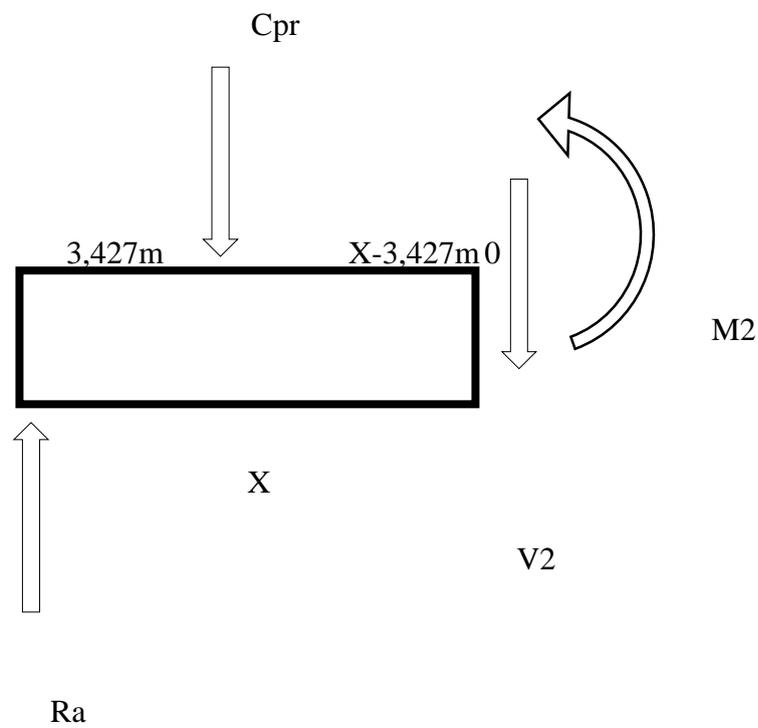
Corte 1 (a-b)



$$\sum Fy = 0 \rightarrow V1 = 34,255 \text{KN}$$

$$\sum M0 = 0 \rightarrow M1 = 34,225 \text{KN} \times X \rightarrow M1 = 117,4 \text{KNxm}$$

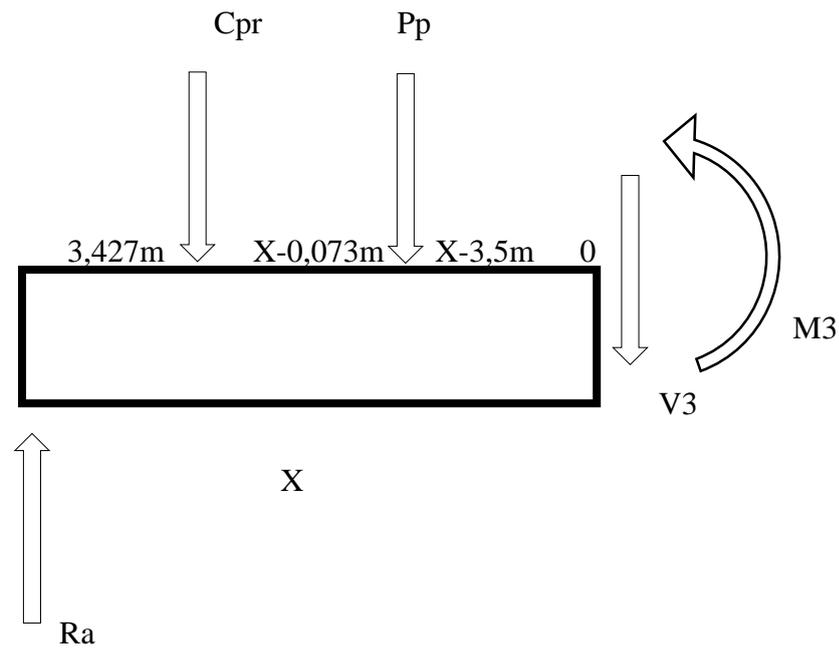
Corte 2 (b-c)



$$\sum F_y = 0 \rightarrow V_2 = 2,4 \text{ KN}$$

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow M_2 = 109,15 \text{ KNxm} + 2,4 \text{ KN} \times X \rightarrow M_2 = 117,55 \text{ KNxm}$$

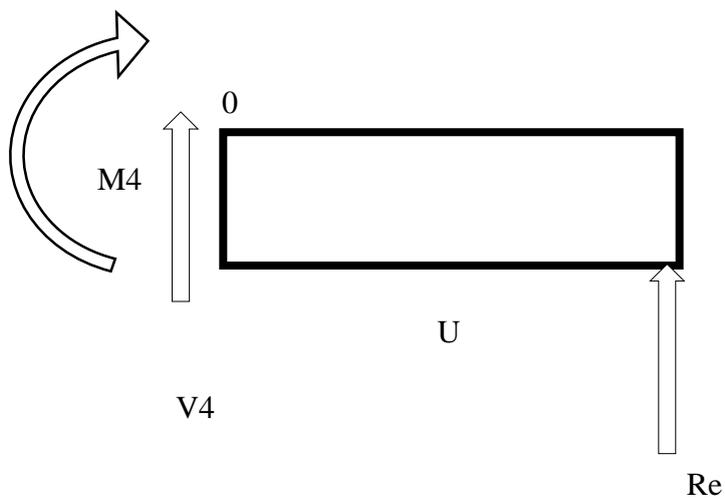
Corte 3 (c-d)



$$\sum F_y = 0 \rightarrow V_3 = -3,72 \text{ KN}$$

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow M_3 = 130,58 \text{ KNxm} - 3,725 \text{ KN} \times X \rightarrow M_3 = 116,72 \text{ KNxm}$$

Corte 4 (d-e)



$$\sum Fy = 0 \rightarrow V4 = -35,57 \text{ KN}$$

$$\sum M0 = 0 \rightarrow M4 = 35,57 \text{ KN}\times\text{U} \rightarrow M3 = 116,72 \text{ KN}\times\text{m}$$

9.4.1.9 Gráficas de esfuerzo cortante y momento flector de la viga de izaje

9.4.1.9.1 Esfuerzos cortantes en viga de izaje

En la Tabla 4 se muestran los valores de las fuerzas cortantes vs las distancias donde se aplican.

Tabla 4. Distancias vs fuerzas cortantes

longitud (m)	V(KN)
0	34,25
3,427	34,25
3,427	2,4
3,5	2,4
3,5	-3,72
3,719	-3,72
3,719	-35,57
7	-35,57
7	0

En la Figura 17 se muestra la variación de las fuerzas cortantes a lo largo de la viga de izaje

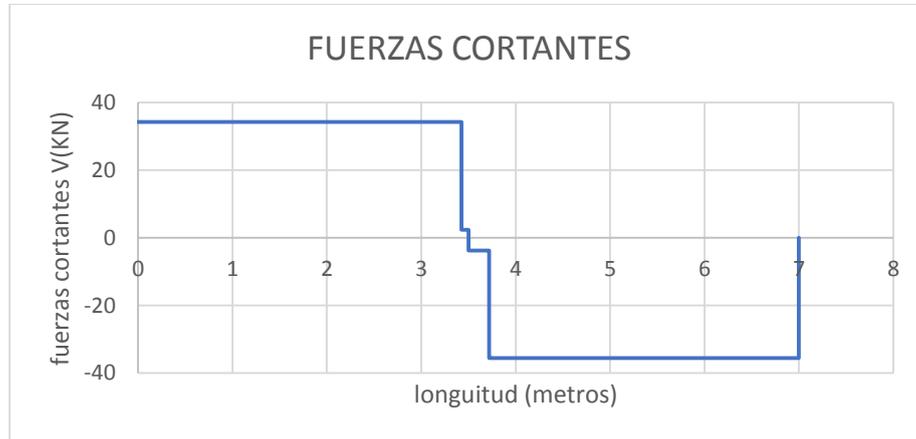


Figura 17. Gráfica de esfuerzo cortante.

9.4.1.9.2 Momentos flectores en viga de izaje

En la tabla 9.4.2 se muestran los valores de los momentos flectores vs las distancias donde se aplican.

Tabla 5. Momentos flectores.

longitud (m)	M(KN*m)
0	0
3,427	117,4
3,5	117,55
3,719	116,72
7	0

En la Figura 18 se muestra la variación de los momentos flectores a lo largo de la viga de izaje

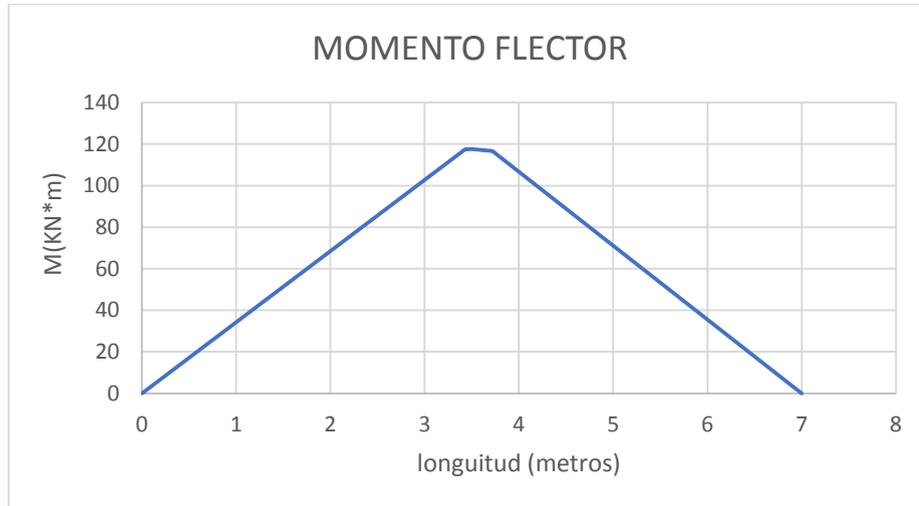


Figura 18. Gráfica de momentos flectores

9.4.2 Cálculo de vigas de desplazamiento longitudinal.

para estos cálculos se deben de contemplar las siguientes cargas presentes en la viga de desplazamiento longitudinal.

9.4.2.1 carga a levantar (CL):

$$5000 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 49\text{KN}$$

9.4.2.2 peso polipasto (PL):

$$250 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2.45\text{KN}$$

9.4.2.3 Margen por impacto (MP):

$$MP=25\%(CL) \quad 0.25 \times 49KN = 12.25 \text{ KN}$$

9.4.2.4 ½ Peso propio del puente (Pp):

$$Pp = L \times W$$

W= peso de la viga en kg/m= 30,7 kg/m

L= longitud de la viga= 7,877 metros

$$Pp = \frac{(30,7 \text{ kg/m} \times 7,877 \text{ m} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}{2} = 2,369 \text{ KN}$$

9.4.2.5 Carga por rueda (Cpr):

$$Cpr = \sum(CL + PL + MP + Pp)$$

$$Cpr = \sum(49KN + 2,45KN + 12,25KN + 2,369KN) = 35.83KN$$

9.4.2.6 Cálculo para distancia de análisis de carga

Donde:

L= longitud de la viga= 7,877 metros

d: Distancia entre ruedas de sujeción (d): 2,1 metros

9.4.2.7 Análisis de cargas

En la Figura 19 se observan las fuerzas y reacciones presentes en la viga y el análisis de cargas

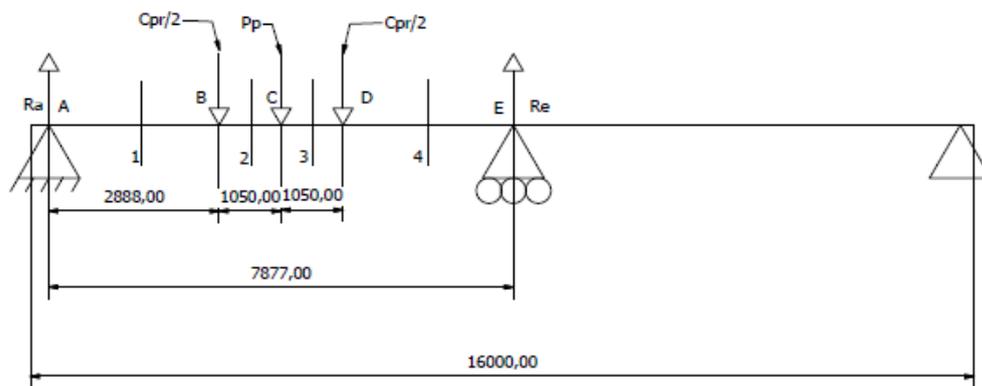


Figura 19. Diagrama de cuerpo libre de viga de desplazamiento longitudinal.

$$\sum Fy = 0 \rightarrow Ra - \frac{Cpr}{2} - Pp - \frac{Cpr}{2} + Re = 0$$

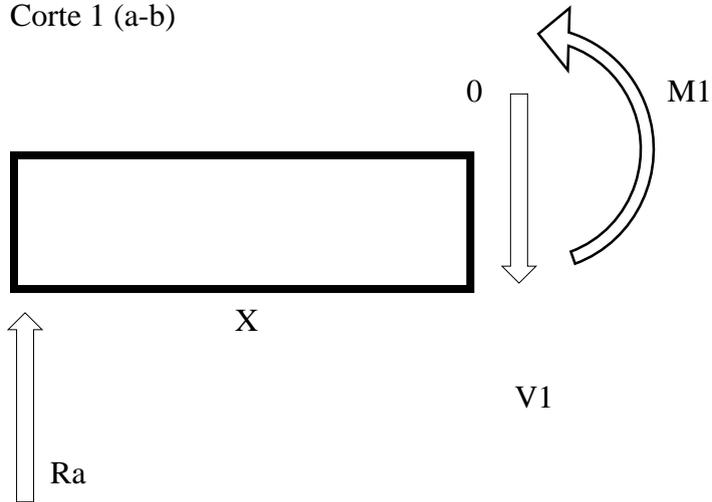
$$\sum Ma = 0 \rightarrow \frac{-Cpr}{2}(2,888m) - Pp(3,938m) - \frac{Cpr}{2}(4,988) + Re(7,877m) = 0$$

$$Re = 17,59KN$$

$$Ra = 17,6KN$$

9.4.2.8 Análisis de viga por cortes

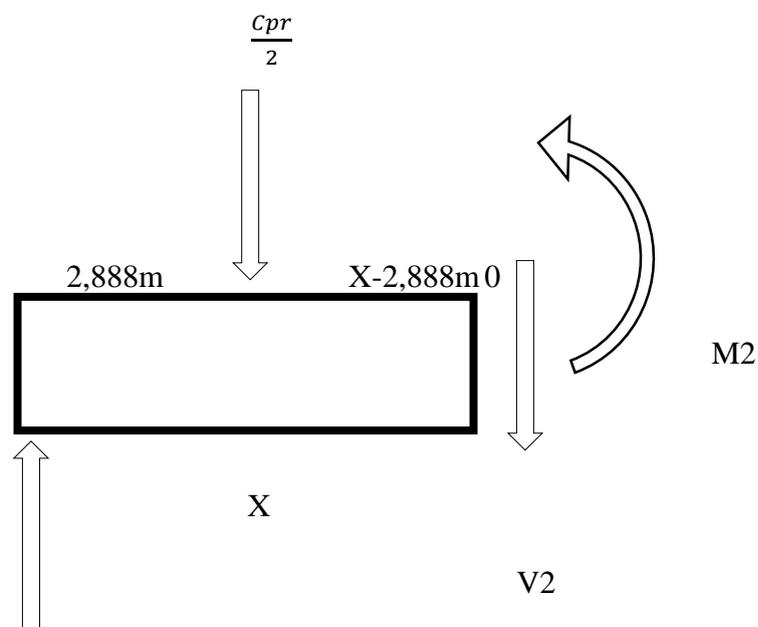
Corte 1 (a-b)



$$\sum F_y = 0 \rightarrow V_1 = 17,6 \text{KN}$$

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow M_1 = 17,6 \text{KN} \times X \rightarrow M_1 = 50,83 \text{KNxm}$$

Corte 2 (b-c)

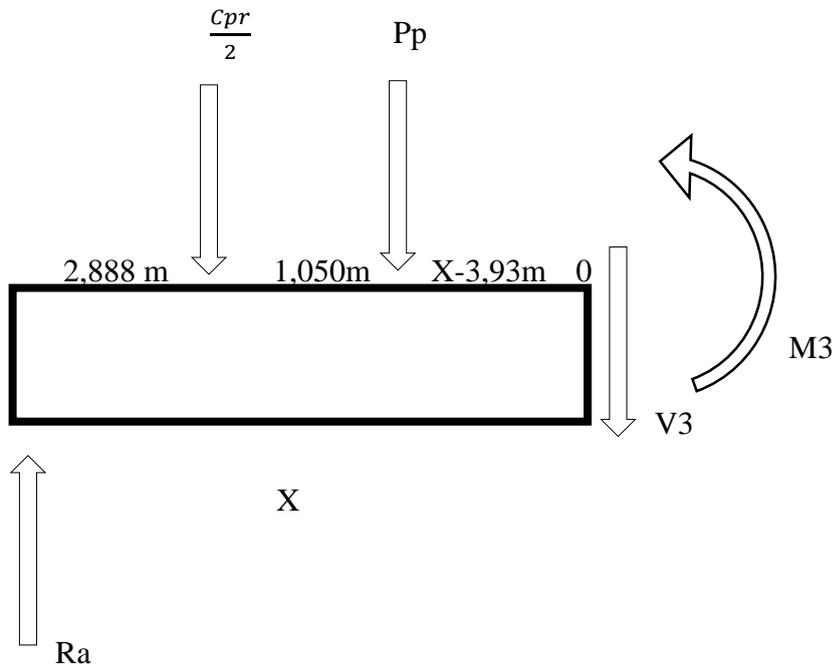


Ra

$$\sum Fy = 0 \rightarrow V2 = 1,185 \text{ KN}$$

$$\sum M0 = 0 \rightarrow M2 = 47,411 \text{ KNxm} + 1,185 \text{ KN} \times X \rightarrow M2 = 52,06 \text{ KNxm}$$

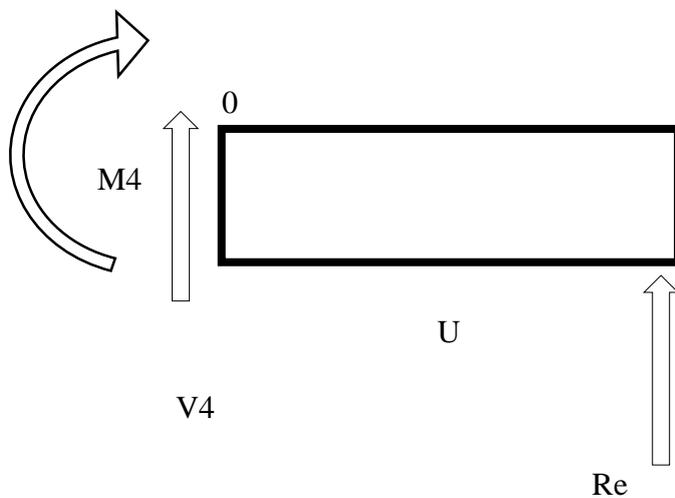
Corte 3 (c-d)



$$\sum Fy = 0 \rightarrow V3 = -1,184 \text{ KN}$$

$$\sum M0 = 0 \rightarrow M3 = 56,72 \text{ KNxm} - 1,184 \text{ KN} \times X \rightarrow M3 = 50,81 \text{ KNxm}$$

Corte 4 (d-e)



$$\sum Fy = 0 \rightarrow V4 = -17,6 \text{ KN}$$

$$\sum M0 = 0 \rightarrow M4 = 17,6 \text{ KN}\times\text{U} \rightarrow M3 = 50,98 \text{ KN}\times\text{m}$$

9.4.2.9 Gráficas de esfuerzo cortante y momento flector de la viga de desplazamiento longitudinal

9.4.2.9.1 Esfuerzos cortantes en viga de desplazamiento longitudinal

En la Tabla 6 se muestran los valores de las fuerzas cortantes vs las distancias donde se aplican.

Tabla 6. Distancias vs fuerzas cortantes.

Longitud (m)	V(KN)
0	17,6
2,8883	17,6
2,8883	1,185
3,93	1,185
3,93	-1,185
4,98	-1,185
4,98	-17,6
7,877	-17,6
7,877	0

En la Figura 20 se muestra la variación de las fuerzas cortantes a lo largo de la viga de desplazamiento longitudinal

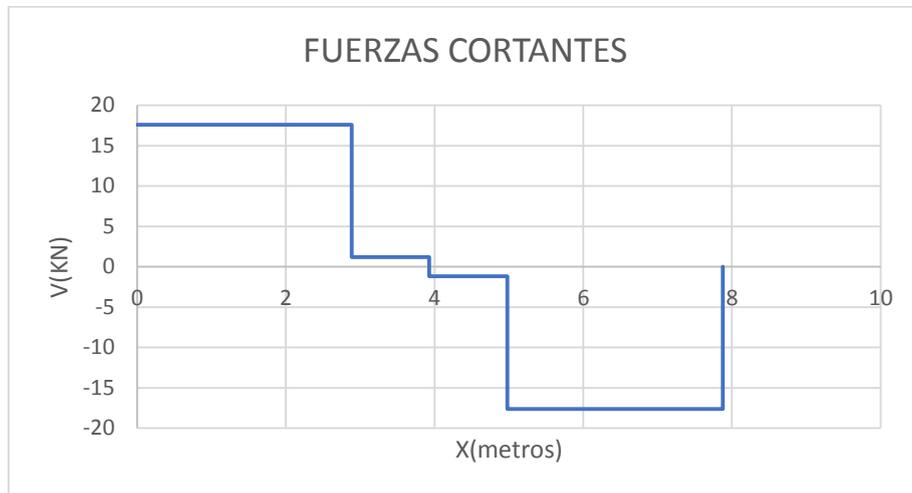


Figura 20. Diagrama de fuerzas cortantes

9.4.2.9.2 Momentos flectores en viga de desplazamiento longitudinal

En la Tabla 7 se muestran los valores de los momentos flectores vs las distancias donde se aplican.

Tabla 7. Momentos flectores

Longitud (m)	M(KN*m)
0	0
2,8883	50,83
3,93	52,06
4,98	50,81
7,877	0

En la Figura 21 se muestra la variación de los momentos flectores a lo largo de la viga de izaje

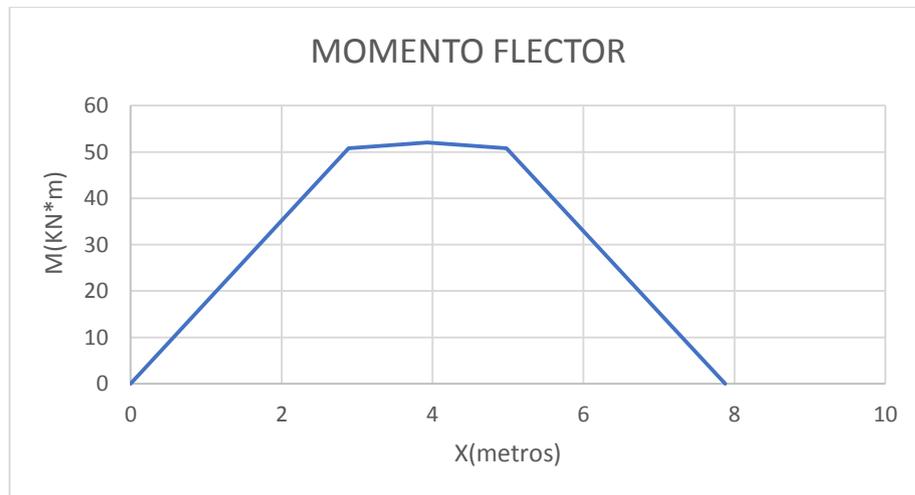


Figura 21. Diagrama de momento flectores

9.5 Selección de material para vigas de puente grua

9.5.1 Selección de material para viga de izaje

9.5.1.1 Deflexión máxima permitida

Para hallar la sección de la viga conforme a la norma CMMA 70 donde se admite una deformación máxima de $\frac{L}{600}$ para un puente grua tipo C, se calcula en el software inventor la sección de la viga con todas sus cargas y restricciones correspondientes, donde se debe cumplir con una deformación máxima de:

$$deformacion\ max = \frac{7000mm}{600} = 11,66\ mm$$

9.5.1.2 selección de material

Este tipo de perfiles comercialmente vienen fabricados en acero SAE1020 con los cuales se fabrican todo tipo de estructuras, puentes edificios y demás.

En la tabla 8 se observan las propiedades mecánicas del perfil estructural

Tabla 8. Propiedades mecánicas de viga de izaje

Nombre	Acero, suave	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	220 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 su
	Módulo cortante	86,2745 GPa
Nombre(s) de pieza	ANSI W18 x 60 00000006.ipt	

9.5.1.2 Sección transversal de viga de izaje

En la figura 22 se observa la sección transversal de la viga de izaje El perfil seleccionado es el ANSI W18x 60 con las siguientes características:

$$I_x = 409,4 \times 10^6 \text{mm}^4$$

$$S_x = 1,768 \times 10^6 \text{mm}^3$$

$$d = 463 \text{mm}$$

$$b_f = 192 \text{mm}$$

$$t_f = 17,7$$

$$t_w = 10,5 \text{mm}$$

$$\text{peso} = 89,29 \text{kg/m}$$

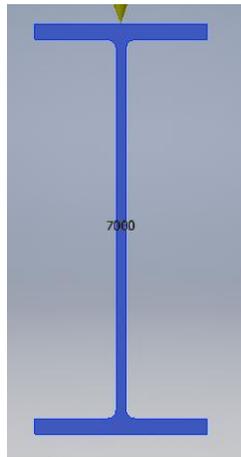


figura 22. Sección transversal de perfil

9.5.2 Selección de material para viga de desplazamiento longitudinal

9.5.2.1 Deflexión máxima permitida

Para hallar la sección de la viga conforme a la norma CMMA 70 donde se admite una deformación máxima de $\frac{L}{600}$ para un puente grúa tipo C, se calcula en el software inventor la sección de la viga con todas sus cargas y restricciones correspondientes, donde se debe cumplir con una deformación máxima de:

$$deformacion\ max = \frac{7877mm}{600} = 13,12\ mm$$

9.5.2.2 selección de material

Este tipo de perfiles comercialmente vienen fabricados en acero SAE1020 con los cuales se fabrican todo tipo de estructuras, puentes edificios y demás. En la tabla 9 se observan las propiedades mecánicas del perfil estructural.

Tabla 9. Propiedades del perfil estructural

Nombre	Acero, suave	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	220,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 su

En la Figura 23 se observa la sección transversal de la viga de desplazamiento longitudinal

El perfil seleccionado es el DIN IPE 240 con las siguientes características:

$$I_x = 38,92 \times 10^6 \text{mm}^4$$

$$S_x = 324 \times 10^3 \text{mm}^3$$

$$d = 240 \text{mm}$$

$$b_f = 120 \text{mm}$$

$$t_f = 9,8 \text{mm}$$

$$t_w = 6,2 \text{mm}$$

$$\text{peso} = 30,7 \text{ kg/m}$$

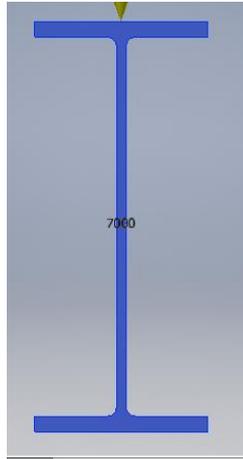


Figura 23. Sección transversal de perfil

9.6 SIMULACIÓN DE ESTRUCTURA EN SOFTWARE INVENTOR

9.6.1 Simulación en inventor para viga de izaje

Al ingresar el modelo de la estructura y aplicar todas las cargas y restricciones en el software inventor, y simular los efectos que ejercen las cargas en la estructura, el software entrega un informe de datos de los esfuerzos y deformaciones presentes en determinados puntos de la estructura, con lo cual se procede a un análisis de resultados.

En la tabla 9.6.1 se entrega el resumen de resultados en el cual están los valores mínimos y máximos de los desplazamientos en los tres ejes, las tensiones de von mises, coeficiente de seguridad y las deformaciones.

Tabla 10. Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	79582600 mm ³	
Masa	624,723 kg	
Tensión de Von Mises	0,0731717 MPa	46,6189 MPa
Primera tensión principal	-6,02475 MPa	11,1203 MPa
Tercera tensión principal	-53,2306 MPa	0,396109 MPa
Desplazamiento	0 mm	1,63627 mm
Coefficiente de seguridad	4,44026 su	15 su
Tensión XX	-37,1797 MPa	9,63943 MPa
Tensión XY	-22,5031 MPa	22,8483 MPa
Tensión XZ	-11,588 MPa	11,7811 MPa
Tensión YY	-37,2522 MPa	8,31838 MPa
Tensión YZ	-10,101 MPa	10,3031 MPa
Tensión ZZ	-12,9559 MPa	4,90366 MPa
Desplazamiento X	-0,244607 mm	0,244645 mm
Desplazamiento Y	-1,63627 mm	0,000491389 mm
Desplazamiento Z	-0,00325924 mm	0,00343993 mm

Deformación equivalente	0,000000285033 su	0,00019119 su
Primera deformación principal	0,00000018057 su	0,0000862986 su
Tercera deformación principal	-0,000225378 su	-0,000000246285 su
Deformación XX	-0,000140525 su	0,0000438913 su
Deformación XY	-0,000130416 su	0,000132416 su
Deformación XZ	-0,0000671576 su	0,0000682767 su
Deformación YY	-0,000161149 su	0,0000493721 su
Deformación YZ	-0,00005854 su	0,0000597112 su
Deformación ZZ	-0,0000147475 su	0,0000548551 su

En la Figura 24 observamos la viga de izaje sometida a la carga y entregando la deflexión máxima en unidades de longitud en este caso en milímetros.

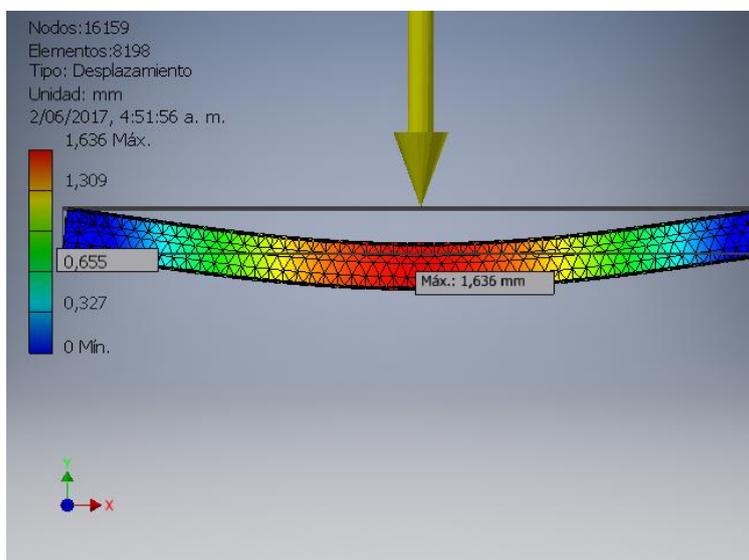


Figura 24. Desplazamiento de viga de izaje.

Conforme a la deformación máxima permitida por la norma CMMA 70 se tiene que:

$$deformacion\ max = \frac{7000mm}{600} = 11,66\ mm$$

El resultado dado por la simulación en el software inventor nos da como deformación máxima presente en las vigas de desplazamiento longitudinal un valor de 1,6 mm con el cual se está cumpliendo la norma.

Con el perfil de la viga ya seleccionado, entramos a calcular los esfuerzos presentes en la viga con las cargas resultantes de los cálculos de momentos y cortantes.

$$V = 34,25\ KN$$

$$M\ max = 117,55\ KNxm$$

$$Ix = 409,4 \times 10^6 mm^4$$

$$\sigma_a = \frac{Mmax}{Sx} = \frac{117,55 \times 10^6 N \times mm}{1,768 \times 10^6 mm^3} = 66,48\ Mpa < \sigma_{adm}$$

$$\sigma_b = \frac{M \times Y}{Ix} = \frac{117,55 \times 10^6 N \times mm \times 213,8 mm}{409,4 \times 10^6 mm^4} = \sigma_b = 61,38 Mpa < \sigma_{adm}$$

$$\tau_b = \frac{V \times Q}{Ix \times t} = \frac{34,25 \times 10^3 N \times 756653,76 mm^3}{409,4 \times 10^6 mm^4 \times 10,5 mm} = 6,02 Mpa$$

$$\sigma\ max\ b = \frac{\sigma_b}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau_b} < \sigma_{adm} =$$

$$\sigma\ max\ b = \frac{61,38 Mpa}{2} + \sqrt{\left(\frac{61,38 Mpa}{2}\right)^2 + 6,02} = 30,69 Mpa < \sigma_{adm}$$

La viga es aprobada por ser los esfuerzos presentes menores que el esfuerzo admisible de la misma.

9.6.2 Simulación en inventor para viga de desplazamiento longitudinal

Al ingresar el modelo de la estructura y aplicar todas las cargas y restricciones en el software inventor, y simular los efectos que ejercen las cargas en la estructura, el software

entrega un informe de datos de los esfuerzos y deformaciones presentes en determinados puntos de la estructura, con lo cual se procede a un análisis de resultados.

Condiciones de funcionamiento

En la tabla 11 corresponde a la fuerza que ejerce la gravedad a la estructura

Tabla 11. Fuerza de gravedad en estructura

Tipo de carga	Gravedad
Magnitud	9810,000 mm/s ²
Dirección	Y-

En la tabla 12 se ven las cargas y restricciones aplicadas para la Simulación.

Tabla 12. Cargas de Simulación

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	35830,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	0,000 N

Fy	-35830,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	2888,500 mm

En la tabla 13 se entrega el resumen de resultados en el cual están los valores mínimos y máximos de los desplazamientos, las tensiones.

Tabla 13. Resultados de Simulación.

Nombre		Mínimo	Máximo
Desplazamiento		0,000 mm	7,155 mm
Fuerzas	Fx	-68,419 N	7623,427 N
	Fy	-33599,440 N	39699,241 N
	Fz	-63463,124 N	92248,857 N
Momentos	Mx	-43561202,759 N mm	25824912,869 N mm
	My	-124526,142 N mm	124526,144 N mm
	Mz	-1573,224 N mm	1573,224 N mm
Tensiones normales	Smax	-23,433 MPa	131,378 MPa
	Smin	-137,273 MPa	6,925 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	134,323 MPa

	Smin(Mx)	-134,323 MPa	-0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	2,634 MPa
	Smin(My)	-2,634 MPa	-0,000 MPa
	Saxial	-23,583 MPa	16,224 MPa
Tensión de corte	Tx	-4,402 MPa	0,040 MPa
	Ty	-30,163 MPa	25,529 MPa
Tensiones de torsión	T	-0,201 MPa	0,201 MPa

En la Figura 25 observamos las vigas de desplazamiento longitudinal y la estructura del puente grúa sometida a la carga y entregando la deflexión máxima en unidades de longitud en este caso en milímetros.

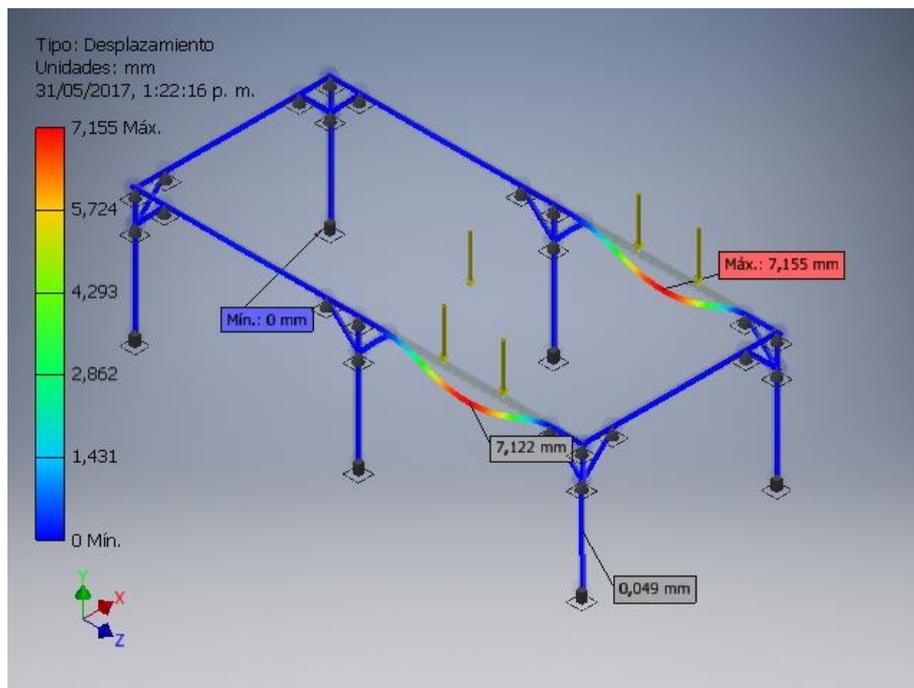


Figura 25. Desplazamientos de vigas de desplazamiento longitudinal

Conforme a la deformación máxima permitida por la norma CMMA 70 se tiene que:

$$deformacion\ max = \frac{7877mm}{600} = 13,12\ mm$$

El resultado dado por la simulación en el software inventor nos da como deformación máxima presente en las vigas de desplazamiento longitudinal un valor de 7,15mm con el cual se está cumpliendo la norma.

Con el perfil de la viga ya seleccionado, entramos a calcular los esfuerzos presentes en la viga con las cargas resultantes de los cálculos de momentos y cortantes.

$$V = 17,6\ KN \qquad \sigma_{adm} = 207,000\ MPa$$

$$M\ max = 52,06\ KN \times m$$

$$I_x = 38,92 \times 10^6\ mm^4$$

$$\sigma_a = \frac{M_{max}}{S_x} = \frac{52,06 \times 10^6\ N \times mm}{324 \times 10^3\ mm^3} = 160,67\ MPa < \sigma_{adm}$$

$$\sigma_b = \frac{M \times Y}{I_x} = \frac{52,06 \times 10^6\ N \times mm \times 110,2\ mm}{38,92 \times 10^6\ mm^4} = \sigma_b = 147,40\ MPa < \sigma_{adm}$$

$$\tau_b = \frac{V \times Q}{I_x \times t} = \frac{17,6 \times 10^3\ N \times 64,79 \times 10^3\ mm^3}{38,92 \times 10^6\ mm^4 \times 6,2\ mm} = 4,72\ MPa$$

$$\sigma_{\max\ b} = \frac{\sigma_b}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau_b} < \sigma_{adm} =$$

$$\sigma_{\max\ b} = \frac{147,40\ MPa}{2} + \sqrt{\left(\frac{147,40\ MPa}{2}\right)^2 + 4,72} = 73,7\ MPa < \sigma_{adm}$$

La viga es aprobada por ser los esfuerzos presentes menores que el esfuerzo admisible de la misma.

9.7 PLANO DE PUENTE GRUA

En la figura 26 se observa el plano de la estructura de puente grua, la cual se selecciona por los cálculos de las vigas realizados en los numerales anteriores, y con los cuales se llevó a cabo la distribución de las columnas teniendo presente los espacios de trabajo en el área de aplicación, y un correcto apoyo de las cargas a izar. Estos serán perfiles estructurales comerciales y regidos por la norma SAE y la norma DIN.

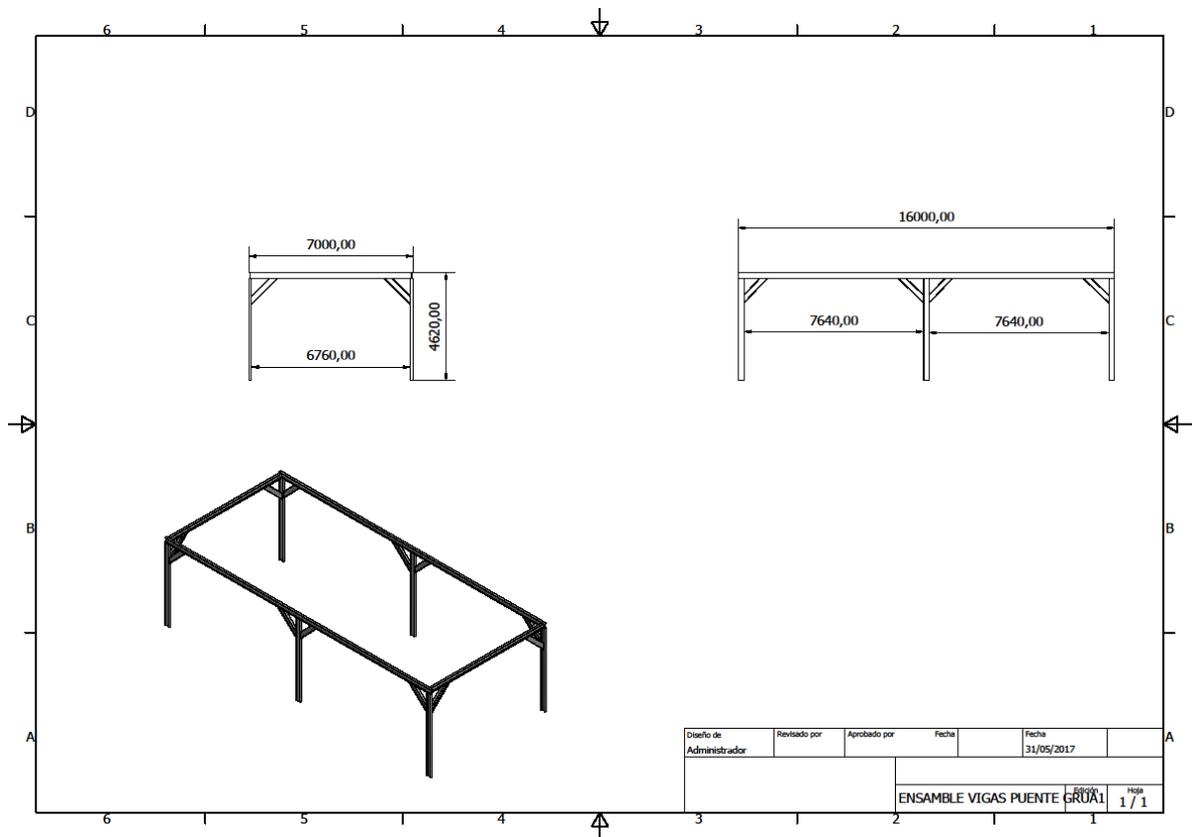


FIGURA 26. Plano de puente grua

10. CONCLUSIONES

- Con un correcto diseño se garantizan óptimas condiciones de operatividad y bajos costos de fabricación por no presentar reprocesos ni adecuaciones de instalación por tener presentes los detalles en la realización del proyecto
- Al realizar simulaciones de esfuerzos y deformación, podemos acercarnos más al diseño adecuado por presentarse resultados concretos y analizables, para así tomar decisiones en cada diseño, logrando dar mayor confiabilidad a las estructuras y corrigiendo posibles fallas al probar los cálculos y diseños tanto en fórmulas como en simuladores.
- Se pueden lograr proyectos de mayor cobertura ya que se logra dimensionar cada detalle en el software de dibujo.
- Para el requerimiento de la norma de los puentes grua la CMMA 70 de la máxima deflexión permitida en una viga apoyada en ambos extremos se debe de sobredimensionar las vigas teniendo así un factor de seguridad muy alto, esto para no correr riesgos en el momento de un golpe o aceleración de la carga, además para garantizar una correcta rodadura de los componentes de translación del puente grua evitando deflexiones de las vigas.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. https://books.google.com.co/books?id=iCBye0_IEXsC&printsec=frontcover&dq=mecanica+de+materiales&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=mecanica%20de%20materiales&f=false
2. <https://books.google.com.co/books?id=0O5NMwEACAAJ&dq=CMAA+70&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiQnLKRh6DUAhVMPiYKHdseAgwQ6AEIIZAA>
3. https://books.google.com.co/books?id=6-WwygAACAAJ&dq=polipastos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiYt_2nh6DUAhVPziYKHR8rAl8Q6AEIIDA
4. https://books.google.com.co/books?id=EaCBmwEACAAJ&dq=polipastos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiYt_2nh6DUAhVPziYKHR8rAl8Q6AEILTAD
5. https://books.google.com.co/books?id=XqqeScJXM0wC&pg=PA80&dq=vigas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjv_eYiKDUAhUF2yYKHU_NCZEq6AEIJTAB#v=onepage&q=vigas&f=false
6. https://books.google.com.co/books?id=CnYSoc1VsdkC&pg=PA71&dq=vigas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjv_eYiKDUAhUF2yYKHU_NCZEq6AEIPTAG#v=onepage&q=vigas&f=false
7. https://books.google.com.co/books?id=0Ztw0Q-ywAoC&pg=PA25&dq=vigas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjv_eYiKDUAhUF2yYKHU_NCZEq6AEITzAJ#v=onepage&q=vigas&f=false

12. GLOSARIO

Carga

Es la fuerza exterior que actúa sobre un cuerpo.

Límite de elasticidad

Es la máxima tensión que se puede producirse sin que haya deformación permanente.

Límite de proporcionalidad

Es la máxima tensión que se puede producir en la zona donde la tensión es una función lineal. Suele coincidir con el anterior.

Límite de fluencia

también llamado límite aparente de elasticidad. Es una medida arbitraria tomada por acuerdo internacional. Surge a partir del punto donde se produce una deformación de 0,2%.

Carga de rotura o límite de rotura

Es la carga máxima por unidad de sección que resiste el material antes de romperse.

Polipasto

Un polipasto, polispasto o aparejo es una máquina compuesta por dos o más poleas y una cuerda, cable o cadena que alternativamente va pasando por las diversas gargantas de cada una de estas poleas. Se utiliza para levantar o mover una carga con una gran ventaja mecánica, ya que así se necesita aplicar una fuerza mucho menor que el peso que hay que mover.

