



Facultad de Ingeniería

TRABAJO DE DIPLOMA

**Anteproyecto de la Estructura de una Grúa
Puente Tipo Pórtico de 5 ton. Para el Nuevo
Taller Electromecánico de la
CTE “Carlos Manuel de Céspedes”**

AUTOR: Yoan R. Rodríguez Cozar

**TUTORES: Dr. Víctor Gómez Rodríguez
Dr. Rafael A. Goytisoló Espinosa**

CURSO 2010-2011

“Año 53 de la Revolución”



Hago constar que el presente trabajo fue realizado por la Universidad de Cienfuegos, como parte de la culminación de los estudios de la especialidad de Ingeniería Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por los fines que estime conveniente: tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación de la Universidad

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según el acuerdo de la dirección de nuestro centro y en mismo cumple con los requisitos que debe tener en cuenta un trabajo de esta envergadura, refiriendo la temática señalada.

Información Científico-Técnica
Nombre Apellidos y Firma

Computación
Nombre Apellidos y Firma

Firma del Tutor

Oponente
Nombre Apellidos y Firma

PENSAMIENTO



“Lo que tengamos en el futuro tenemos que crearlo nosotros, tenemos que conquistarlo con nuestros brazos, con nuestro sudor y nuestra inteligencia.”

Fidel Castro Ruz

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres que han sabido guiarme por un buen camino, a mi hijo que es mi fruto mas anhelado, a mi esposa que ha sabido estar conmigo en todo momento, a todos mis seres queridos y a todas las personas que de una forma u otra me han ayudado con este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia en general por su apoyo incondicional.

A todas aquellas personas que de una forma u otra han mostrado un verdadero interés y preocupación ofreciendo y dando su ayuda para lograr un buen desarrollo en este trabajo entre los que quisiera destacar, por su participación decisiva, a: ing. Yoidel Aguilera Gomez, (Dpto. de piezas y repuesto) por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto, facilitándome todos los datos que estuvieron a su alcance.

Ing. Kendry Rodríguez Bermúdez, (Dpto. de informática) por su interés y búsqueda de las facilidades para que fuera conformado este trabajo.

MSc. Francisco Ernesto Berroa Borrell (Dpto. de producción de la CTE) por la facilitación de datos a fines a la investigación.

Anay Diaz Socarras, (Área de contabilidad) por haber facilitado datos que contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

Yosniel León García, (Área de ATM), por el suministro de datos.

Orestes Clement Reyna Ramírez, (Área de Matto y G.P.M.SUEL), por el suministro de datos

Cresencia Sarria Quintana, (Área de ATM), por el suministro de datos.

Fernando Herrera Gómez, (Área de soldadura), por el suministro de datos.

José Luis Moreira Brunet, (Área de maquinado), por el suministro de datos.

Ing. Luís A Quesada Cabrera, (Técnico de explotación de centrales eléctricas), por su preocupación en este trabajo.

De manera muy especial, agradecer al Dr. Rafael A. Goytisoló Espinosa y al Dr. Víctor Gómez Rodríguez, quienes con su dedicación y conocimientos tutoraron esta investigación, pues sin ellos dicha investigación no hubiera sido posible.

RESUMEN

En el trabajo se proponen y analizan alternativas para calcular y seleccionar los diferentes elementos estructurales que conforman la grúa para garantizar una capacidad de izaje de hasta 5 toneladas, se realizó una evaluación detallada sobre la estructura y el polipasto a utilizar y se evaluó la factibilidad económica y tecnológica de cada una de las alternativas propuestas. Se elaboraron los esquemas de análisis necesarios para evaluar la resistencia de los diferentes elementos estructurales que conforman la grúa lo que permitió seleccionar adecuadamente los perfiles estructurales necesarios y finalmente se realizó una valoración del costo de fabricación de la estructura de la grúa para fundamentar la decisión de fabricar o comprar.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1: Generalidades.....	4
1.1 Generalidades sobre los equipos de elevación.....	4
1.2 Caracterización de las grúas puente y similares.....	5
1.3 Principales componentes de las grúas tipo puente y similares....	8
CAPITULO II. Desarrollo de los esquemas de análisis, evaluación de la... resistencia y selección de los diferentes componentes estructurales que conforman la grúa.	26
2.1 Esquema de la Grúa Puente Tipo Pórtico a calcular.....	26
2.2 Cálculo de la Viga Principal de la Grúa.....	28
2.3 Utilización del Método de las Fuerzas en la solución de vigas hiperestáticas.	30
2.4 Solución utilizando la Ecuación de los Tres Momentos.....	33
2.5 Cálculo de las cargas y de los momentos flectores que provocan las ruedas del carro monorraíl sobre la viga.	38
2.6 Construcción de los diagramas reales de X_1 y X_2	48
2.7 Cálculo de los momentos flectores provocados por M_1 y M_2 en la posición de las cargas R_1 y R_2 .	49
2. 8 Construcción del diagrama de momentos flectores resultantes....	49
2.9 Selección del perfil de la viga principal.....	50
2.10 Evaluación de la resistencia de las patas.....	50
2.11 Conclusiones parciales del Capítulo II.....	55
Capitulo III: Costo de Fabricación de la Estructura de la Grúa.....	56
3.1 El costo de fabricación.	56
3.2 Gastos en materiales y materias primas durante la fabricación...	57
3.3 Gastos en salarios.	59
3.4 Costos generados por la amortización de equipos.....	60
3.5. Costos generados por el consumo de energía eléctrica.....	61
3.6 Total de Gastos Directos.....	62
3.7 Total de Gastos Indirectos.....	62
3.8 Costo de Fabricación.....	62

3.9 Conclusiones del Capítulo III.	62
Conclusiones generales.....	63
Recomendaciones.....	64
Bibliografía.....	65
Anexos.....	67

INTRODUCCIÓN

La Central Termoeléctrica de Cienfuegos forma parte del Sistema Eléctrico Nacional quien se dedica, básicamente, a generar y suministrar energía eléctrica para satisfacer los requerimientos y necesidades crecientes de sus clientes, con alto nivel de profesionalismo, garantizando el necesario equilibrio con el entorno y el medio ambiente.

Esta termoeléctrica cual cuenta con dos unidades japonesas de 158 MW cada una y para garantizar el funcionamiento de las mismas se necesitan varios equipos auxiliares que cumplen diferentes funciones de apoyo a la producción de energía eléctrica.

Entre los ejemplos más recurrentes de este equipamiento pueden mencionarse las bombas de alimentación de agua, las de circulación, las de condensado y otros que debido a su peso y volumen constituyen verdaderos retos para el personal de mantenimiento en el momento de su traslado y manipulación lo que provoca que, en buena parte de los casos, queden a la intemperie para poder realizarle los mantenimientos previstos. Para el traslado de estos equipos en la entidad existe una grúa puente que tiene una capacidad de elevación de 100 toneladas, esta grúa es utilizada en varias funciones a la vez por lo que no siempre está disponible para permanecer en el taller de mantenimiento durante el tiempo que dure el mismo lo que provoca atrasos considerable y paradas prolongadas de los diferentes equipos.

Con el propósito de proteger los motores de permanecer a la intemperie se construyó un nuevo taller eléctrico con capacidad necesaria para los mismos pero se mantiene la necesidad de contar con una grúa con capacidad de 5 Ton para las maniobras a realizar con estos motores y garantizar el cumplimiento de los mantenimientos y reparaciones a realizar minimizando las estadías.

PROBLEMA CIENTIFICO:

La reparación y el mantenimiento programado de los motores eléctricos de gran peso y volumen que llegan al Taller Electromecánico de la CTE “Carlos Manuel de Céspedes” se ven afectados por la no existencia de una grúa puente con capacidad de izaje de hasta 5 toneladas lo que provoca largas estadías del equipamiento en el taller y atenta contra la garantía de que existan equipos de repuesto para cubrir averías e imprevistos.

HIPOTESIS:

Partiendo del Esquema Típico de una Grúa Puente es posible calcular y seleccionar los diferentes elementos estructurales que conforman la misma para garantizar una capacidad de izaje de hasta 5 toneladas y responder a las necesidades actuales del taller para acortar los tiempos de mantenimiento y reparación.

OBJETIVO GENERAL:

Realizar la selección y la evaluación de la resistencia de los diferentes elementos estructurales que conforman una grúa puente tipificada para valorar la factibilidad técnico – económica de su fabricación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Elaborar los esquemas de análisis necesarios para evaluar la resistencia de los diferentes elementos estructurales que conforman la grúa.
- Realizar los cálculos de resistencia para seleccionar los perfiles estructurales necesarios.
- Realizar una valoración del costo de fabricación de la estructura de la grúa para fundamentar la decisión de fabricar o comprar.

METODOLOGÍA.

El presente trabajo de investigación corresponde a una investigación de tipo descriptiva, Las investigaciones descriptivas, parten del hecho de que hay una cierta realidad que resulta insuficientemente conocida y, al mismo tiempo, relevante e interesante para ciertos desarrollos. El objetivo central de estas investigaciones está en proveer un buen registro de los tipos de hechos que tienen lugar dentro de esa realidad y que la definen o caracterizan sistemáticamente.

En éste proyecto, se utiliza un enfoque racionalista-deductivo que se concibe como producto del conocimiento científico, el diseño de sistemas abstractos dotados de alto grado de universalidad que imiten los procesos de generación y de comportamiento de una cierta realidad.

En este orden de ideas, esta investigación fue de tipo descriptiva, puesto que se analizaron variables que determinaron la factibilidad tecnológica y económica del proyecto de diseño de la grúa puente para dar respuesta a las necesidades de la industria en que se desarrolla.

Capítulo I Generalidades constructivas y de operación de las grúas puentes.

1.1 Generalidades sobre los equipos de elevación.

No se concibe a la industria moderna sin la existencia y frecuente aplicación del conjunto de aparatos y equipos de elevación y transporte existentes en la actualidad. Esto han permitido introducir la mecanización y automatización compleja en los procesos de carga y descarga y, algo muy importante, la supresión del pesado trabajo manual característico de estas operaciones. Los modernos aparatos y maquinas de elevación que se caracterizan por tener una amplia gama de velocidades de trabajo y de capacidades de izaje, son la resultante de un largo perfeccionamiento ocurrido durante el de cursar de varios de siglos. Ya en la más remota antigüedad se llevaban a cabo importantes trabajos con la elevación y desplazamientos de grandes cargas. Son bien conocidas, por ejemplo, las grandes pirámides de Egipto, entres las que se destaca la de Keops que con sus 147 metros de altura y sus pesadas piedras de más de 90 toneladas de peso constituyó un enorme reto a los constructores de la época.

En el presente siglo con los enormes avance alcanzados por la técnica y la ciencia, han ido surgiendo nuevos y muy diversos tipos equipos de elevación, aplicables a las diversas ramas de la producción. La fabricación de aparatos y maquinas de elevación en la actualidad se basa en la creación de conjuntos unificados y en bloques, lo que permite tener el mas alto efecto técnico económico en la manufactura y explotación de estos medios. Particular importancia tiene el empleo de estos medios en las operaciones de carga y descarga en los puertos marítimos y en múltiples industrias, obras de construcción y unidades de servicio,

Por la gran variedad y formas de trabajo los equipos de elevación se pueden clasificar atendiendo a varios aspectos:

Atendiendo a la posibilidad de traslación de todo el conjunto pueden ser:

- Fijos – aquellos que se instalan en un lugar en el que desarrollan su trabajo, sin desplazarse.
- Portátiles – son aquellos equipos que pueden ser rápidamente de desensamblados y trasladado hacia otro lugar.
- Móviles – son los que tienen posibilidad de realizar movimientos de desplazamientos, ya sea sobre rieles, ruedas neumáticas, oruga, u otros medios.

En la industria se utilizan diferentes tipos de equipos de elevación. Entre los principales pueden mencionarse las grúas puente y similares (pórtico, semi-pórtico, ménsula y de pluma).

1.2 Caracterización de las grúas puente y similares

La grúa, de forma general, es una máquina de funcionamiento discontinuo destinada a elevar y distribuir las cargas suspendidas de un gancho o de cualquier otro accesorio que forma parte de sus elementos constructivos.

A continuación se presenta una breve descripción de los tipos, características, parámetros, operaciones y partes interesadas, relativas a las grúas puente y similares.

Tipos de Grúas.

La grúa puente consta de un elemento portador formado por una o dos vigas móviles, apoyadas o suspendidas, sobre las que se desplaza el carro con los mecanismos elevadores (Fig. 1).

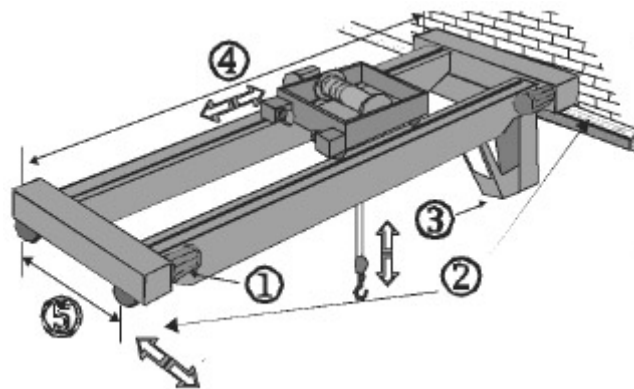


Figura 1 Grúa Puente

Por su parte, la grúa pórtico presenta un elemento portador que se apoya sobre un camino de rodadura por medio de patas de apoyo. Se diferencia de la grúa puente clásica en que los raíles de desplazamiento están en un plano horizontal muy inferior al del carro, normalmente apoyados en el suelo (Fig. 2).

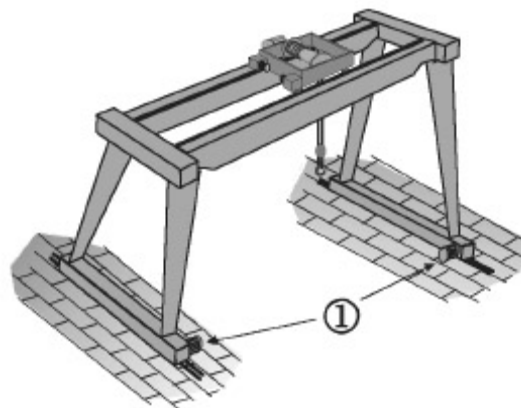


Figura 2 Grúa pórtico

La grúa semipórtico posee un elemento portador que se apoya sobre caminos de rodadura con la particularidad de que, de un lado lo hace como las grúas puente y, del otro, por medio de patas de apoyo como la grúa pórtico (Fig. 3). Puede resumirse entonces que la diferencia fundamental con estos dos tipos de grúas mencionados con anterioridad radica en que uno de los raíles de desplazamiento está aproximadamente en el mismo plano horizontal que el carro, y el otro raíl de desplazamiento está en otro plano horizontal muy inferior al del carro, normalmente apoyado en el suelo.

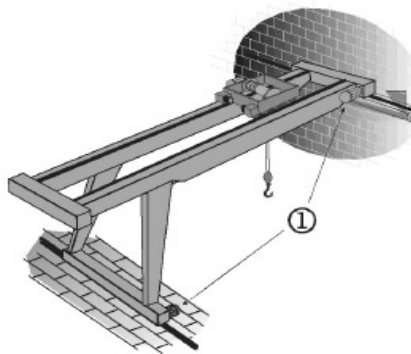


Figura 3 Grúa semipórtico

Existen otros tipos de grúas como por ejemplo la grúa ménsula que se encuentra fijada a un muro, o susceptible de desplazarse a lo largo de un camino de rodadura aéreo fijado a un muro o a una estructura de obra (Fig. 4).

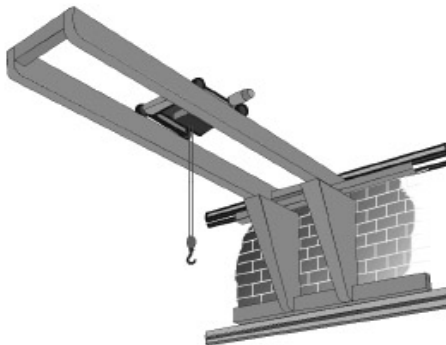


Figura 4 Grúa ménsula

Por su parte, la grúa de brazo giratorio o de palomilla es capaz de girar sobre una columna fijada por su base a la fundación o rotar fijada a una columna giratoria sobre un soporte empotrado (Fig. 5).

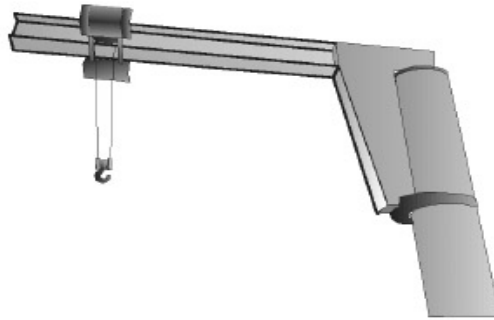


Figura 5 Grúa de brazo giratorio

1.3 Principales componentes de las grúas tipo puente y similares

Entre los principales componentes de las grúas tipo puente y similares se encuentran los descritos a continuación:

- Mecanismo de elevación: conjunto de motores y aparejos (sistema de poleas y cables destinados a variar fuerzas y velocidades) que se aplican en el movimiento vertical de la carga. Este mecanismo puede apreciarse en la Fig. 6 (1).

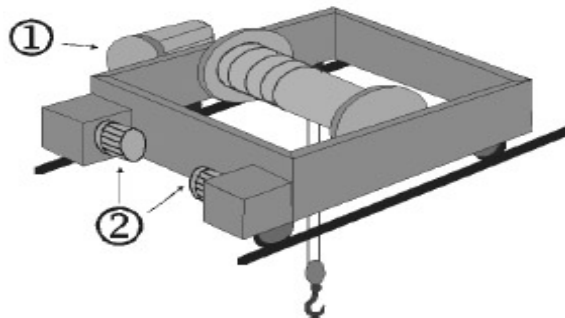


Figura 6 Carro de grúa

- Mecanismo de translación del carro: conjunto de motores que se aplican en el movimiento longitudinal del carro (sistema mecánico con los mecanismos de elevación). Este componente puede apreciarse en la Fig. 6 (2).
- Mecanismo de translación del puente: conjunto de motores que incluye los testeros como estructuras portantes que incorporan este mecanismo para el movimiento longitudinal de la grúa. Fig. 2 (1).
- Camino de rodadura: elemento estructural por el que se desplaza longitudinalmente la grúa. Fig. 1 (2) y Fig. 2 (1)
- Mecanismo de giro: conjunto mecánico que realiza el desplazamiento angular del brazo o bien de la posición de los ganchos de un carro.
- Botonera: dispositivo eléctrico o electrónico unido físicamente mediante una manguera de cables eléctricos a la grúa, para el manejo de la misma desde el exterior de la cabina.
- Telemando: dispositivo electrónico inalámbrico (sin unión física a la grúa), para el manejo de la grúa.
- Cabina: habitáculo destinado, si existe, a la conducción de la grúa y que alberga los dispositivos fijos de mando y al operador o gruista. Fig. 1 (3)
- Accesorios o útiles de prensión: elementos auxiliares cuya función es la de sujetar la carga, tales como: pinzas, pulpos, electroimanes, ventosas, cucharas, etc.

Existen una serie de parámetros que determinan la funcionalidad y aplicabilidad de estos equipos. Entre los principales se encuentran los que se mencionan a continuación:

- Altura máxima de recorrido del gancho: distancia vertical entre el nivel más bajo del suelo (incluido el foso, si existe) y el gancho de carga, cuando éste se encuentra en la posición más elevada de trabajo. Fig. 7 (1)

- Luz: distancia horizontal entre los ejes de los carriles de la vía de rodadura. Fig. 7 (2)
- Distancia entre ejes de las ruedas de los testeros: es la distancia medida paralelamente al eje longitudinal de desplazamiento. Fig. 1 (5).
- Voladizo total: distancia máxima horizontal entre el eje del camino de rodadura más próximo al voladizo y el extremo de la estructura emplazada sobre el voladizo. Fig. 7 (3)
- Voladizo útil: distancia máxima horizontal entre el eje del camino de rodadura más próximo al voladizo y el eje del elemento de prensión emplazado sobre el voladizo. Fig. 7 (4)

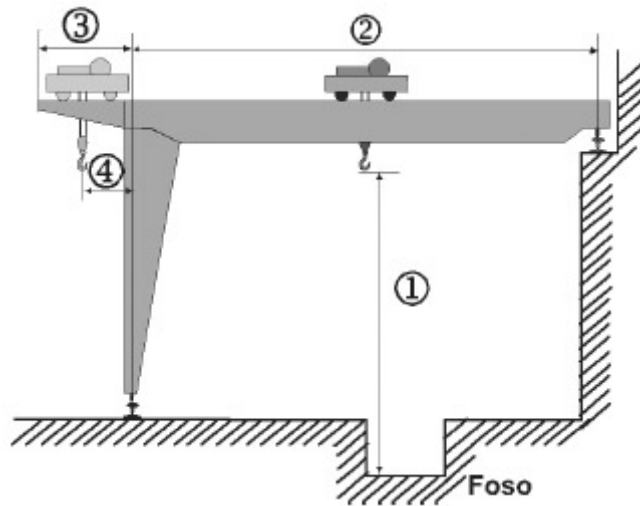


Figura 7 Parámetros funcionales de las grúas tipo puente y similares

- Brazo útil: distancia horizontal entre el eje vertical de la parte giratoria o eje de rodadura y el eje vertical del elemento de prensión.
- Brazo total: distancia horizontal entre el eje vertical de la parte giratoria o eje de rodadura y el eje vertical del extremo de la estructura.

- Carga nominal o máxima: valor de la carga fijado por el fabricante y que se indica en la placa de características (incluye los accesorios de elevación y aprehensión originales).
- Carga útil: carga bajo el aparejo o accesorios si los hay.
- Placa de características: fija en cada grúa indica: el fabricante, año de fabricación, número, carga nominal y útil en función de los alcances, si le es aplicable. Si la grúa dispone de varios mecanismos de elevación, se indicarán las características de cada uno.

Elección de La Velocidades de Elevación

Es frecuente que los mecanismos de elevación de los puentes grúa incorporen dos velocidades de elevación con objeto de obtener el máximo rendimiento en las operaciones de ascenso y descenso de la carga. Ambas velocidades se suelen denominar como velocidades de elevación principal y velocidades de precisión. Ambas velocidades son función de la velocidad de carga, de la distancia vertical máxima que puede recorrer la carga, del grupo de carga y de la clase de elevación (ver tabla 1).

Tabla 1 Recomendaciones de la velocidad de elevación de una grúa puente

Capacidad de carga	Distancia vertical	Elevación principal	Elevación de precisión
0,5	3	15	4
1	5,5	5	1.25
2	3.5	5	0,5
5	3,5	4 8	0,4
	7	12	0.8
8	3.5	5	0,5
10	3,5	4	0.4
16	6	4	0.6
20	6	5	0.5
25	6	6	0.6

Elección de las Velocidades de Translación

Existen ocasiones donde las velocidades de translación constituyen un dato fijo en el cálculo de la instalación del puente grúa. En el resto de los casos, existe un camino abierto a la optimización con vistas a obtener el máximo rendimiento de manutención. La velocidad de translación del mecanismo de elevación (polipasto o carro), va a ser una función lineal de la luz de la grúa, según la gráfica mostrada en la figura

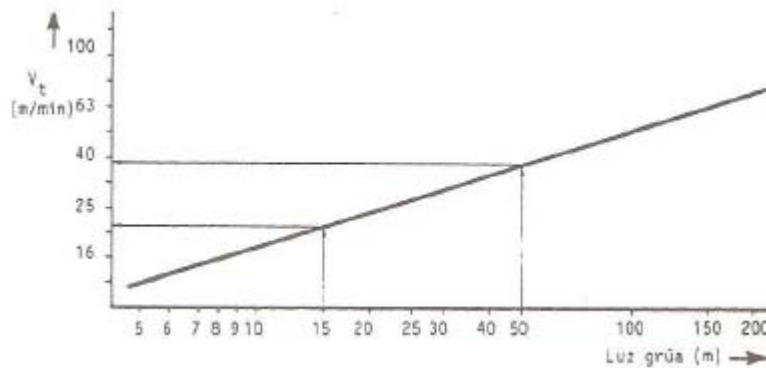


Figura 8 Velocidades de translación del mecanismo de elevación

Selección de Cables

A la hora de seleccionar la estructura del cable, el principal problema que se presenta es determinar cuál es la acción más importante y la que marcará el límite de vida del cable. A modo de orientación, se presenta la siguiente tabla

Tabla 2 Guía de determinación del tipo de estructura de cable.

Trabajo del cable	Características de la estructura
Cable resistiendo principalmente esfuerzos de	Cable grueso. Alambre de mucha
Cable resistiendo principalmente a la abrasión.	Cable de alambres exteriores gruesos. Alambre de mucha
Cable resistiendo principalmente esfuerzos de encurvación.	Cable de alambres delgados. Alambres de baja resistencia. Muchos alambres por cordón. Cableado Lang y
Cable resistiendo principalmente esfuerzos de estrepada y aplastamiento.	Cable grueso. Pocos alambres por cordón. Cableado Cruzado. Alma metálica. Cordoneado

El coeficiente de seguridad depende del límite del acero empleado y las condiciones de la instalación. Existen normas que marcan los coeficientes y normas de cálculo según la aplicación a que se destine el cable. A modo de orientación se presenta la tabla 3:

Tabla 3 Determinación de coeficiente de seguridad

	Coeficientes de Seguridad
Cables fijos, de puentes colgantes	3 - 4
Cable carriles para teleféricos	$3\frac{1}{2}$ -
Cables tractores para teleféricos	5 - 7
Cables de labor, elevación y guías	5 - 9
Cables para instalaciones importantes	8 - 12
Cables para transporte de personal	8 - 12
Cables para planos inclinados	5 - 8
Cables para pozos de extracción	8 - 12
Cables para ascensores	12 - 22
Cables para cabrestantes y trenajes	4 - 6
Cables para montacargas	8 - 12

En cuanto a los cables más utilizados en puentes grúa, grúas pórtico y grúas consola se presentan en la tabla siguiente

Tabla 4 Descripción de cables más utilizados en las grúas puente

Diámetro de utilización	Composición del cable
8 a 25 mm. 10 a 30mm.	6 x 19 (1+6+12) + 1 alma textil 6 x 37 (1+6+12+18) + 1 alma texti 6 x 36 (1+7+7.7+14) W.S. + 1 alma textil
20 a 40 mm.	6 x 61 (1+6+12+18+24) + 1 alma textil 6 x 54 (1+6+9+9.9+18) W.S. + 1 alma textil

Tambores (Polipastos)

Los tambores de cables han de calcularse de modo que en la posición más alta del medio de transporte no pueda arrollar más capas de cable que las previstas. Se pueden dividir los tambores de elevación en dos grandes grupos:

- De una capa: el cable, normalmente ranurado, se enrolla sólo en una capa. Son los tambores que generalmente se montan en los aparatos de elevación.
- De varias capas de cable: El cable se arrolla en capas sucesivas, normalmente son lisos. Utilizados sólo en tambores de obras públicas, en las cucharas mecánicas y en los tambores de almacenamiento que se encuentran detrás de las poleas de fricción.

Según las reglas de Gosgortejnador, los bordes de los tambores deben sobresalir por encima de la capa superior del cable arrollado no menos de dos diámetros del cable y los bordes de los tambores lisos para cadenas soldadas, no menos de la anchura del eslabón de la cadena. Los tambores se fabrican generalmente, bien en fundición de hierro, de acero fundido, o en construcción de chapa de acero soldada.

Los tambores son accionados directamente o, en el caso de grandes tambores mediante corona dentada. La longitud de los tambores debe ser tal que en la posición inferior del gancho queden al menos 1.5 (es preferible de 2 a 3) espiras muertas, a fin de que refuercen la fijación del cable e impidan que la carga quede colgando directamente de ésta.

En la figura se muestra el carro de una grúa portacontenedores:



Figura 9 Carro de una grúa portacontenedores

Equipamiento eléctrico de las grúas puente

La energía eléctrica es la más empleada en el accionamiento de máquinas de elevación. Los equipos empleados difieren bastante de los habituales, debido a varios factores. La variedad de las cargas que se deben elevar es grande. Las condiciones de trabajo son muy diferentes en la subida y en la bajada y además se debe variar la velocidad de desplazamiento. Otras características de los equipos empleados en máquinas de elevación, son la necesidad de disponer elementos de seguridad para evitar un manejo inadecuado de la carga y el poder funcionar casi sin interrupción.

Motores

Los motores eléctricos empleados en máquinas de elevación son, en su mayoría, trifásicos asíncronos de anillos rozantes. En algunos casos se emplean motores en corto y de corriente continua. Los motores síncronos están limitados a usos muy especiales, con grandes potencias y regulación electrónica compleja. En cualquier caso son motores de construcción especial, con zunchos y

refuerzos en las bobinas para soportar los altos esfuerzos mecánicos.

Motores de corriente continua

Los motores de corriente continua se emplean cuando es necesario un margen amplio de regulación de velocidad o cuando la potencia supera los 200 KW. En este caso se desaconseja el uso de máquinas trifásicas por la necesidad del uso de contactores para el control, ya que tienen poca vida con las intensidades producidas. Con motores de corriente continua se pueden alcanzar velocidades en el margen de 3 a 5 veces la nominal, pero el motor ha de ser especialmente construido para ser estable en esa zona. En muy pocas aplicaciones se supera la relación 1:3 y la mayoría de las instalaciones funcionan con valores entre 1:2 y 1:2.5. Estos valores garantizan la ausencia de problemas de conmutación. En cualquier caso no conviene superar las 2000 r.p.m.

Motores trifásicos

Son los más empleados. Su velocidad de sincronismo depende del número de pares de polos. Coincide con la velocidad de giro de los motores síncronos. En los asíncronos es 5 – 6% inferior y varía con la carga. Esta velocidad de giro es muy elevada y se debe colocar un reductor para aprovechar el movimiento.

Motores Asíncronos

- **De anillos rozantes: Puede** ser regulada su velocidad por medio de resistencias rotóricas o por equipos electrónicos. El margen de velocidad obtenida es inferior al conseguido con motores de corriente continua, pero son más baratos, compactos y fiables. El par máximo o par de calado es 2.5 a 3 veces el par nominal.
- **De colector: Pueden** ser regulados decalando a mano las escobillas. Están totalmente fuera de uso.
- **De jaula de ardilla:** Se emplean en polipastos, puentes grúas pequeños, traslación de puentes, etc. Sólo se emplean en accionamientos de poca

potencia. Se conectan sin ningún tipo de regulación. Solo en traslación de puentes y pórticos se instalan arrancadores. Si se quisiera regular la velocidad, se debería recurrir a un convertidor estático. Se construyen motores especiales (de ranura profunda, de jaula doble, etc.) que dan un par de arranque de 1.6 a 2.5 veces el par nominal. Al calcular los motores de jaula se deben sobredimensionar, pero evitando el exceso de potencia que origine el arranque brusco. La aceleración no debe sobrepasar 0.6 m/s^2 en movimientos de elevación ó 0.3 m/s^2 en movimientos horizontales.

Elección del motor en catálogo

Cada fabricante indica en sus catálogos el método de elección, pero todos clasifican sus motores en tablas ordenadas según el tipo de servicio, la potencia necesaria para el accionamiento y el factor de marcha (% ED). Para cada modelo se indican las formas constructivas y las protecciones disponibles. Las demás formas y protecciones se pueden conseguir, aunque no siempre, bajo pedido.

Operaciones

Montaje de la grúa: es el proceso de izar y posicionar la grúa sobre su emplazamiento y fundaciones para que pueda prestar su cometido.

Puesta en servicio: es el conjunto de comprobaciones y maniobras que deben ejecutarse en una grúa instalada por completo en su emplazamiento, sometida a las solicitudes establecidas para que pueda pasar inmediatamente a la condición de servicio, si las circunstancias lo permiten.

Ensayo estático: ensayo de la grúa por aplicación al dispositivo de aprehensión de una carga estática que exceda en un porcentaje fijado a su carga nominal, tal y como se detalla en el epígrafe 4.1.2.3 del RD 1435/1992.

Ensayo dinámico: ensayo de los movimientos de trabajo de la grúa, realizados con una carga que sobrepase un porcentaje fijado su carga nominal, tal como se detalla en el epígrafe 4.1.2.3 del RD 1435/1992.

Verificaciones: Consisten en la realización, por personal autorizado, del conjunto de comprobaciones básicas que se detallan en la UNE EN 12644-1(2001)-2(2000). Estas pueden ser previas a la puesta en marcha de la grúa o de carácter periódico para garantizar el mantenimiento de las condiciones de trabajo y seguridad fijadas por el fabricante.

Riesgos y factores de riesgo

El riesgo laboral es la posibilidad de que un trabajador sufra daños por la exposición a los peligros asociados al trabajo que realiza. Las técnicas preventivas son las actuaciones o medidas que se toman en todas las actividades de la empresa para eliminar o reducir los riesgos y, en su defecto, minimizar sus consecuencias, si estos se materializan.

Los factores de riesgo específicos de las grúas, lo constituyen el desplazamiento del equipo (sea en carga o en vacío) y su posible interacción con el personal o con otras máquinas u objetos que se encuentren dentro de la zona de desplazamiento de la grúa.

Los riesgos y factores de riesgo más importantes son los mecánicos, eléctricos, ergonómicos, por fallo de energía y por falta o inadecuación de medidas de seguridad.

Riesgos mecánicos

De arrastre o atrapamiento por la carga o por la propia grúa.

De impacto por la carga o por la propia grúa.

De pérdida de estabilidad (de la carga, de la máquina o de sus elementos).

De rotura de elementos de la máquina (por envejecimiento, fatiga, etc.)

Riesgos eléctricos

Pueden ser debidos a contactos eléctricos directos o indirectos.

Riesgo térmico producido por las resistencias de puesta en marcha que pueden producir quemaduras por contacto.

Riesgos producidos por defectos ergonómicos en el diseño

Posturas forzadas o esfuerzos excesivos (especialmente en las grúas con cabina para el operador).

Inadecuada iluminación localizada.

Riesgos producidos por fallo en la alimentación de energía, y otros trastornos funcionales:

Fallo en la alimentación de energía (de los circuitos de potencia y/o de mando).

Fallo del sistema de mando (puesta en marcha o aceleración intempestivos).

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

Inexistencia o diseño inadecuado de resguardos o dispositivos de protección.

Diseño inadecuado de dispositivos de marcha y paro.

Ausencia o inadecuación de señales y pictogramas seguridad.

Ausencia o inadecuación de los dispositivos de paro de emergencia.

Medios inadecuados de carga/descarga.

Ausencia y/o inadecuación de accesorios en las operaciones de ajuste y/o mantenimiento.

Ausencia o inadecuación de equipos de protección individual.

A estos riesgos deben añadirse aquellos que son propios del entorno de trabajo de las grúas, como por ejemplo:

Caída de personas a nivel y desde altura

Inhalación de sustancias nocivas

Estrés térmico por calor o frío

Trauma sonoro

Etc.

Medidas de prevención. Equipamiento de las grúas

Dispositivos de seguridad

No todos los dispositivos relacionados a continuación deben equipar una grúa. Cada grúa debe equiparse con los dispositivos de seguridad que se requieran, en función del resultado de su evaluación específica de riesgos realizada según su uso específico.

Dispositivo Antichoque: dispositivo que impide la colisión entre grúas con zonas de acción coincidentes. Enclavamiento de la grúa: dispositivo de anclaje que evita su desplazamiento una vez situada en una posición de paro o reposo.

-Limitador de aflojamiento del cable: dispositivo que evita los posibles riesgos generados por el aflojamiento del cable.

-Limitador de altura de elevación superior e inferior: dispositivo para impedir que el accesorio de prensión de la carga se eleve/descienda de forma que, pueda golpear la estructura de la grúa o sobrepasar el límite superior o inferior establecido.

-Limitador de altura de elevación de seguridad: dispositivo redundante, como elemento de seguridad, que impide que la carga golpee la estructura de la grúa, si fallan el dispositivo anterior

-Limitador de la carga: dispositivo automático que impide el manejo de cargas que excedan de la capacidad nominal establecida.

-Limitador de traslación o de giro: dispositivos que impiden todo movimiento, a lo largo de los caminos de rodadura o de giro respecto a su eje, que superen los límites establecidos.

-Pestillo de seguridad: dispositivo mecánico que impide el desenganche involuntario de los elementos de sujeción de la carga.

Señal acústica: elemento de señalización sonoro que indica el funcionamiento de la grúa.

-Señales ópticas luminosas: elementos de señalización luminosos que indican el funcionamiento de la grúa.

-Paro de emergencia: dispositivo de accionamiento manual, que al ser pulsado, asegura la inmediata desconexión de todos los elementos motores de la grúa e impide su puesta en marcha intempestiva al ser desenclavado.

Disposiciones e instalaciones básicas de seguridad en las grúas

Con independencia de que la grúa posea o no marcado CE, el usuario deberá realizar la evaluación de riesgos en función de las operaciones y de la ubicación real de la grúa, indicando los elementos de seguridad adicionales precisos para asegurar su funcionamiento seguro. En la tabla 1 se relacionan las normas y las medidas de seguridad básicas para las grúas tipo puente que se indican en las mismas.

Elementos de seguridad básicos para una grúa puente

-Botonera de control, con clara señalización diferenciada de los mandos.

-Dispositivo de paro de emergencia, claramente identificado, que corta el circuito eléctrico de todos los elementos de la grúa excepto los dispositivos de sujeción de la carga, está dotado de un dispositivo que impide su rearme involuntario.

-Las botoneras de control móviles, serán de mando sensitivo, deteniéndose automáticamente la maniobra si se dejan de pulsar.

- Dispositivo de bloqueo de seguridad, con llave, para evitar la utilización de los controles por personal no autorizado.
- Dispositivos de final de carrera superior e inferior en el mecanismo de elevación.
- Finales de carrera de traslación del carro.
- Finales de carrera de traslación del puente y pórtico.
- Limitadores de carga y de par.
- Dispositivo de seguridad que evite la caída de la carga durante su manipulación.
- Ganchos de elevación provistos de pestillo de seguridad.
- Indicación, claramente visible, de la carga nominal.
- Barandillas adecuadas de protección en todos los pasos elevados.
- Carteles de señalización de los riesgos residuales.

Método de evaluación del riesgo

Para la evaluación de los riesgos propios de las grúas reseñadas en esta NTP, se aconseja seguir las indicaciones que se establecen en la UNE EN 1050:1997; mientras que para la evaluación de las condiciones de trabajo asociadas a las mismas se recomiendan las indicaciones contenidas en el manual "Evaluación de las condiciones de trabajo en pequeñas y medianas empresas" y en la TP 330 "Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente", ambas publicadas por el INHST

Normas constructivas relacionadas con la seguridad

Las medidas de prevención deben contemplar todas las etapas de la vida de la grúa: diseño, emplazamiento, instalación, utilización, mantenimiento, revisión, etc. Para el diseño de la grúa deben aplicarse un conjunto de normas que se exponen en la tabla 2.

La evaluación de los riesgos derivados del emplazamiento de la grúa, debe realizarse previamente a su instalación y para su realización, los analistas deberán aplicar su experiencia en procesos de utilización de grúas en ámbitos similares.

En la NTP 738 se tratará de la instalación - montaje, utilización, mantenimiento e inspección de las grúas.

Accesorios de elevación y eslinga do

Los accesorios (eslingas, cadenas, cucharas, cables, etc.), deben poseer la misma seguridad y fiabilidad que el resto de los componentes de la grúa, y sus características, sistemas de verificación, control y revisiones deben formar parte de la información a facilitar a los operadores de la grúa y figurar en la documentación de la misma.

Para ello todos los accesorios dispondrán del correspondiente marcado "CE" y en sus placas de identificación figurarán, entre otras marcas, el nombre del fabricante y la carga máxima permitida. La reposición de accesorios se realizara solo con elementos certificados y de características idénticas a las originales.

Cuando se utilicen éstos, dispondrán de su correspondiente marcado "CE", su manual de instrucciones y su placa de características, debiendo figurar en el manual de utilización de la grúa, cabina de la misma y/o en las instrucciones del gruista las limitaciones de carga y/o actividad que impone la utilización de uno u otro accesorio.

Instalación y montaje

En la instalación y montaje de las grúas, como en cualquier otra actividad similar, deben aplicarse las reglas de prevención de riesgos que emanan de la correcta evaluación de los mismos en cada operación y que debe contemplar ineludiblemente la correcta formación de las personas que las realizan, la utilización correcta de los equipos de protección individual (EPI), el uso de herramientas y medios de acceso adecuados.

La instalación y montaje deben basarse estrictamente en las instrucciones del fabricante. Por su importancia para la prevención de riesgos durante la vida de la grúa, este tema se trata en la NTP 738.

Mantenimiento

El mantenimiento consiste en aplicar técnicas de detección, sustitución de partes, corrección de anomalías de funcionamiento y reparación de averías, para que las condiciones de funcionamiento de las grúas se mantengan como en su inicio, en el que se certificó su conformidad con la Directiva 98/37/CE.

A este respecto deben seguirse escrupulosamente las pautas y criterios de mantenimiento básico que el fabricante de la grúa incluye en el Manual de Instrucciones, que obligatoriamente debe entregar con cada máquina y que debe estar redactado en el idioma del país donde se utilice el equipo.

El mantenimiento lo realiza el fabricante, empresas conservadoras autorizadas o el usuario si dispone de personal especializado, formado en el tipo concreto de grúa. Todo el personal encargado del mantenimiento, deberá estar formado adecuadamente y utilizar los EPI necesarios para realizar su trabajo de forma segura.

Las consideraciones sobre el mantenimiento en su vertiente de prevención de riesgos se tratan también en la NTP 738.

Operación de las grúas

El RD 1215/97 establece la obligación de los empresarios de formar e informar a los operadores para que puedan desempeñar correctamente su trabajo. Esta formación, para este tipo de grúas, no está actualmente reglada.

Cada grúa debe disponer de su evaluación de riesgos, correspondiente a su marcado CE. El usuario deberá realizar la evaluación de riesgos en función de las operaciones y la ubicación real de la grúa, indicando los elementos de seguridad adicionales a los básicos para asegurar el funcionamiento seguro de la grúa. Las disposiciones reglamentarias y las normas aplicables, son: ANEXO

Capítulo II. Desarrollo de los esquemas de análisis, evaluación de la resistencia y selección de los diferentes componentes estructurales que conforman la grúa.

2.1 Esquema de la Grúa Puente Tipo Pórtico a calcular.

En la Figura 2.2 se muestran las tres vistas de la grúa puente a calcular donde se pueden apreciar las dimensiones básicas fundamentales necesarias para poder realizar la evaluación de su resistencia.

La grúa como se puede apreciar está compuesta por tres conjuntos estructurales fundamentales y el carro monorraíl.

1. La estructura superior o puente, con la viga fundamental de carga.
2. Las patas compuestas por una estructura tipo armadura.
3. El sistema de rodamiento para facilitar el desplazamiento de la grúa
4. El carro monorraíl de la grúa que se desplaza por la viga principal.

En la Figura 2.1 se muestra una vista del carro monorraíl que se empleará en la Grúa Puente a diseñar

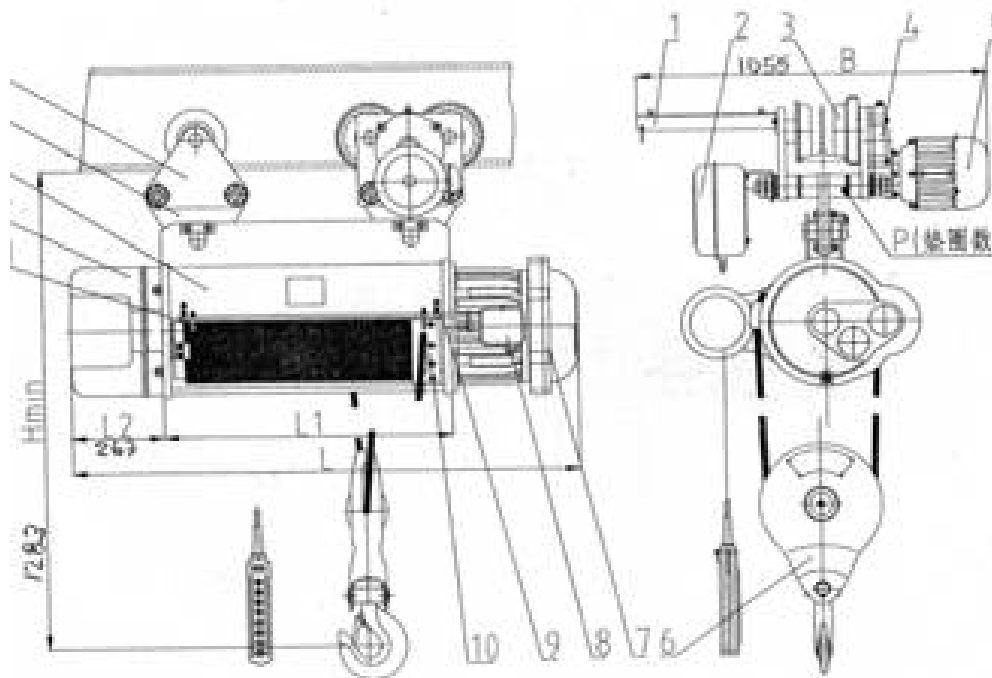


Fig. 2.1 Carro Monorraíl que se empleará en la Grúa Puente

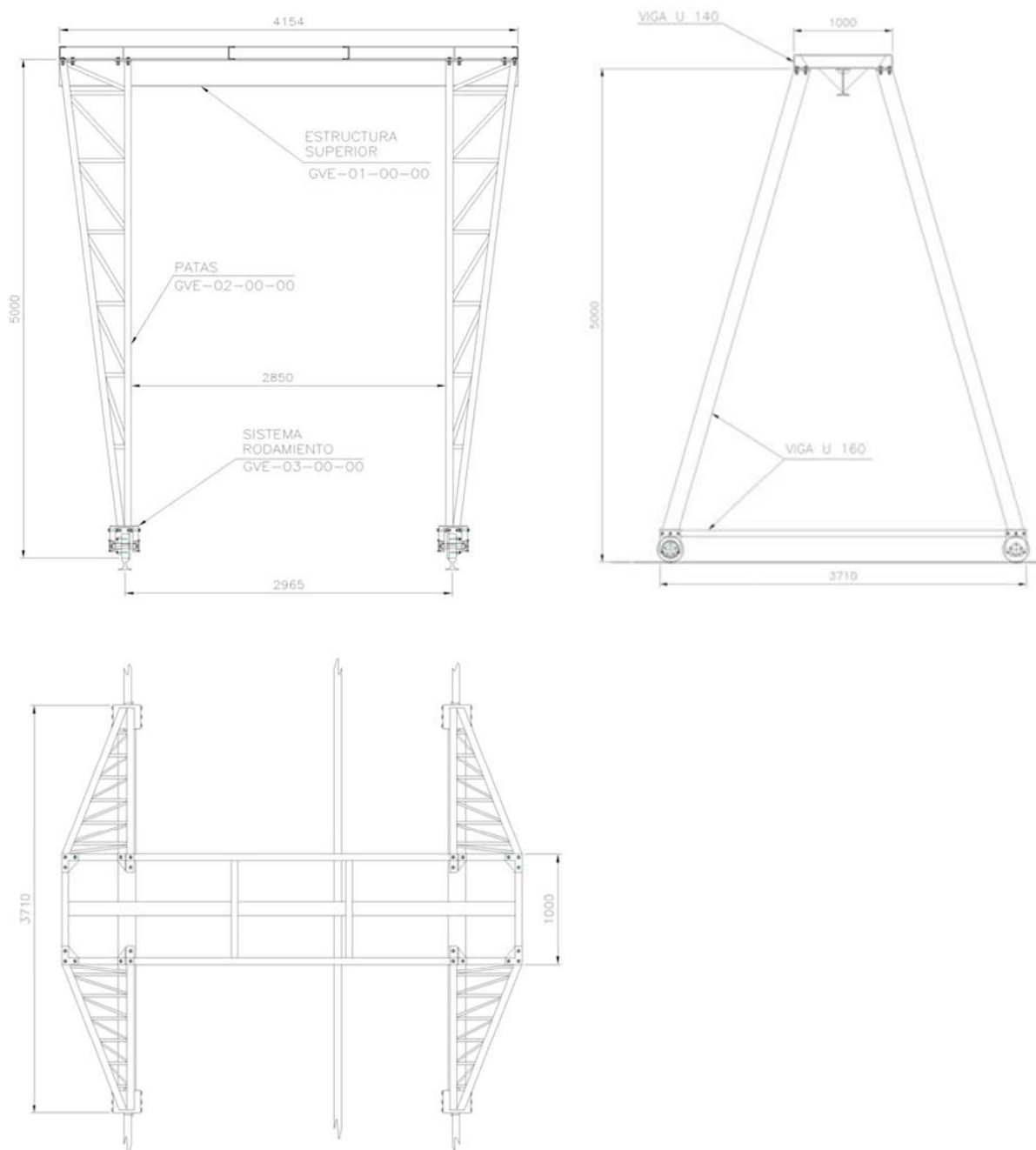


Fig. 2.2 Vistas de la Grúa Puente a calcular y dimensiones fundamentales.

2.2 Cálculo de la Viga Principal de la Grúa.

2.2.1 Particularidades de la Viga Principal del Puente.

La viga principal del puente es una viga continua con cuatro apoyos ubicados en la posición de los travesaños del puente formado por perfiles canales laminados en caliente, a los cuales la viga principal esta soldada por su parte superior.

La viga principal soporta el carro monorraíl de la grúa que representa un sistema de tres cargas móviles (el carro monorraíl posee tres ruedas) por lo tanto el Esquema de Análisis de la Viga Principal es el de una Viga Hiperestática sometidas a la acción de cargas móviles.

2.2.2 Momento máximo debido a cargas móviles.

Si varias cargas concentradas se mueven o ruedan sobre una viga de tal manera que la distancia entre ellas permanezca constante, como por ejemplo, las cargas de las ruedas de una locomotora al moverse sobre un puente, o las ruedas de la grúa monorraíl objeto de estudio del presente trabajo y se desea hallar la posición de las cargas cuando las cargas actuantes produzcan el momento flector máximo sobre la viga, se hace necesario aplicar los conceptos que se derivan del esquema de análisis de viga con cargas móviles.

Cuando las cargas están en posición dada sobre la viga, la sección critica debe quedar bajo una de ellas, ya que la fuerza cortante vertical pasará por cero bajo algunas de las mismas sin embargo, aunque el momento flector sea máximo en una sección situada bajo unas de las carga como, por ejemplo W_2 en la Figura 3.2, cuando éstas estén en una posición dada , el momento flector en la sección que quede debajo de la misma carga (W_2), después de que el conjunto de ellas se hayan desplazado a otra segunda posición , puede ser mayor o menor que en la primera .

En la Figura 2.3 se muestran un conjunto de cargas W_1 , W_2 , W_3 , W_4 y W_5 que son cargas concentradas que permanecen separadas por distancias fijas en la medida que se desplazan sobre una viga de luz l , y se requiere hallar la posición de W_2 tal que el momento flector para la sección situada de bajo de ella sea mayor que para cualquiera otra posición de la misma carga.

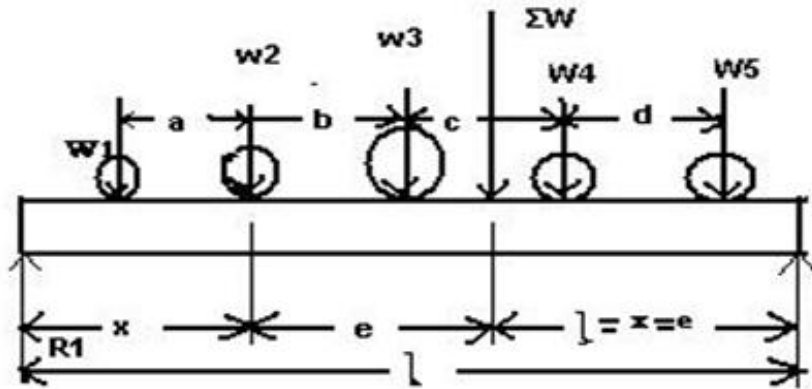


Fig. 2.3. Conjunto de cargas móviles

La resultante de las cargas es ΣW , y se supone que actúa a una distancia e de W_2 . Sustituyendo las distintas cargas por su resultante y aplicando sumatoria de momentos respecto al apoyo derecho se tiene que, la reacción R_1 sobre el apoyo izquierdo será:

$$R_1 = \frac{l - x - e}{l} \Sigma W \quad (2.1)$$

Designando por x la distancia de W_2 al apoyo izquierdo luego; el momento flector en la sección que se encuentra debajo de W_2 es

$$M_x = \frac{l - x - e}{l} \cdot x \cdot \Sigma W - W \cdot a \quad (2.2)$$

El valor de x que hace máximo a M_x puede hallarse igualando a cero la primera derivada de M_x con respecto a x . Luego,

$$\frac{dM_x}{dx} = \frac{l - 2x - e}{l} \Sigma W = 0 \quad (2.3)$$

Por tanto,

$$\frac{l - 2x - e}{l} = 0 \quad (2.4)$$

O sea:

$$x = \frac{l}{2} - \frac{e}{2} \quad (2.5)$$

Este resultado significa que, W_2 estará en su posición de momento máximo cuando esté a uno de los lados del centro de la luz y a la misma distancia de este que a la que se halle, al otro lado, la resultante de todas las cargas que actúan sobre la viga. Puede aplicarse este mismo enunciado sucesivamente a cada una de las cargas. Para hallar el momento flector máximo a que está sometida la viga debe ponerse sucesivamente cada carga en su posición de momento flector máximo, y debe hallarse éste en la sección situada debajo de la carga; el mayor de estos momentos máximos será el momento flector máximo que actúa sobre la viga.

2.3 Utilización del Método de las Fuerzas en la solución de vigas hiperestáticas.

El sistema que posee un número de ligaduras superior a las necesarias es un sistema hiperestático y el número de ligaduras suplementarias es igual al grado de hiperestaticidad. La hiperestaticidad puede ser exterior o interior en dependencia de que las ligaduras suplementarias sean exteriores o interiores. En los sistemas hiperestáticos con ligaduras exteriores suplementarias no es posible la determinación de las reacciones de apoyo mediante las ecuaciones de equilibrio y si la hiperestaticidad es interior no es posible determinar las fuerzas internas en las barras por el método de las secciones, de donde se puede definir un Sistema Hiperestático como, durante la solución de los sistemas hiperestáticos por el Método de las Fuerzas es necesario elegir un Sistema Base y conformar lo que se conoce como Sistema Equivalente.

El Sistema Base es el sistema hiperestático dado en el cual se han eliminado todas las ligaduras suplementarias tanto exteriores como interiores y el Sistema Equivalente es el sistema base en el cual las ligaduras suplementarias eliminadas han sido sustituidas por las fuerzas que las representan. En un Sistema Equivalente dado, las fuerzas se designan por $X_1, X_2, \dots, X_n$. Los desplazamientos originados por el sistema de fuerzas aplicado al Sistema Equivalente, en el caso de apoyos rígidos, en la dirección de cada una de las ligaduras eliminadas, tienen que ser cero. O sea:

$$\begin{aligned} \delta_{1[X_1, X_2, X_3, \dots, X_n, P, P_1]} &= 0 \\ \delta_{2[X_1, X_2, X_3, \dots, X_n, P, P_1]} &= 0 \\ \vdots & \\ \delta_{n[X_1, X_2, X_3, \dots, X_n, P, P_1]} &= 0 \end{aligned}$$

Puesto que cada uno de los desplazamientos δ_{iX_k} es proporcional a la fuerza correspondiente se puede escribir que:

$$\delta_{iX_k} = \delta_{ik} \cdot X_k$$

Donde δ_{ik} es el desplazamiento en la dirección i provocada por una fuerza unitaria colocada en la posición de X_k . Las expresiones anteriores quedarán entonces escritas como:

$$\begin{aligned} \delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \dots & \dots + \delta_{1n} \cdot X_n + \delta_{1P} = 0 \\ \delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \dots & \dots + \delta_{2n} \cdot X_n + \delta_{2P} = 0 \\ \vdots & \vdots \\ \delta_{n1} \cdot X_1 + \delta_{n2} \cdot X_2 + \delta_{n3} \cdot X_3 + \dots & \dots + \delta_{nn} \cdot X_n + \delta_{nP} = 0 \end{aligned} \tag{2.6}$$

Estas ecuaciones se conocen como Ecuaciones Canónicas del Método de las Fuerzas pues en las mismas las incógnitas son las fuerzas $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ y existirán tantas ecuaciones como fuerzas X_k desconocidas existan. Para resolver el sistema de ecuaciones es necesario hallar los desplazamientos δ_{ik} que constituyen los coeficientes de las incógnitas X_k y además los términos independientes de las diferentes ecuaciones δ_{ip} . Según el Método de Mohr, para hallar el desplazamiento en una dirección i determinada es necesario colocar una fuerza unitaria en esa dirección y obtener las acciones interiores provocadas por dicha fuerza unitaria y después obtener la integral del producto de las acciones interiores provocadas por esta fuerza unitaria y las acciones originadas por las cargas que provocan el desplazamiento.

Pero en este caso, como cada uno de los desplazamientos δ_{ik} es originado por una fuerza unitaria colocada en la posición X_k , el desplazamiento δ_{ik} es la integral del producto de dos funciones unitarias, una originada por una fuerza unitaria colocada en la dirección i la otra por una fuerza unitaria colocada en la dirección X_k . Los coeficientes δ_{ip} se hallan resolviendo las integrales correspondientes a los productos de la fuerza unitaria colocada en la dirección i , o sea, de las acciones interiores originadas por esta fuerza unitaria por las acciones interiores originadas por las cargas externas P . Tanto los coeficientes δ_{ik} de las incógnitas, como los términos independientes δ_{ip} se hallan aplicando la Regla de Vereschaguin. Este Método de Solución de Sistemas Hiperestáticas se conoce como Método de las Fuerzas y es la Base Teórica de la casi totalidad de los Métodos de Solución de Árboles Hiperestáticos.

2.4 Solución utilizando la Ecuación de los Tres Momentos.

La ecuación de los tres momentos se deriva de aplicar el Método de las Fuerzas a una viga continua hiperestática de múltiples apoyos. El grado de hiperestaticidad en este caso será igual también al número de ligaduras suplementarias.

Para calcular estas vigas resulta muy cómodo partir del sistema base que se obtiene, introduciendo articulaciones en los apoyos y aplicando los momentos $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ que son precisamente las fuerzas que representan las ligaduras eliminadas entre los tramos vecinos (Fig. 2.4). Consideraremos positivos los momentos representados en la Fig. 2.4. Se podrán plantear tantas ecuaciones canónicas como fuerzas desconocidas existan en la viga. Analizaremos como se transforma la ecuación n del sistema de ecuaciones canónicas para el caso de este esquema:

$$\delta_{n1} \cdot X_1 + \delta_{n2} \cdot X_2 + \dots + \delta_{n(n-1)} \cdot X_{(n-1)} + \delta_{nn} \cdot X_n + \delta_{n(n+1)} \cdot X_{(n+1)} + \dots + \delta_{nP} = 0 \quad (2.7)$$

Determinemos los coeficientes de esta ecuación. Para ello construimos los diagramas de momentos de las cargas externas MP (Fig. 2.4) y los diagramas unitarios de las fuerzas $X_{n-1} = 1, X_n = 1$ y $X_{n+1} = 1$ correspondientes a los tramos vecinos al tramo n (Fig. 2.4). Como al introducir articulaciones entre los diferentes tramos, los diagramas de momentos de las cargas externas se construyen de forma independiente para cada tramo como vigas articuladas en ambos extremos. De la misma forma se construyen los diagramas unitarios de los momentos que actúan en los apoyos.

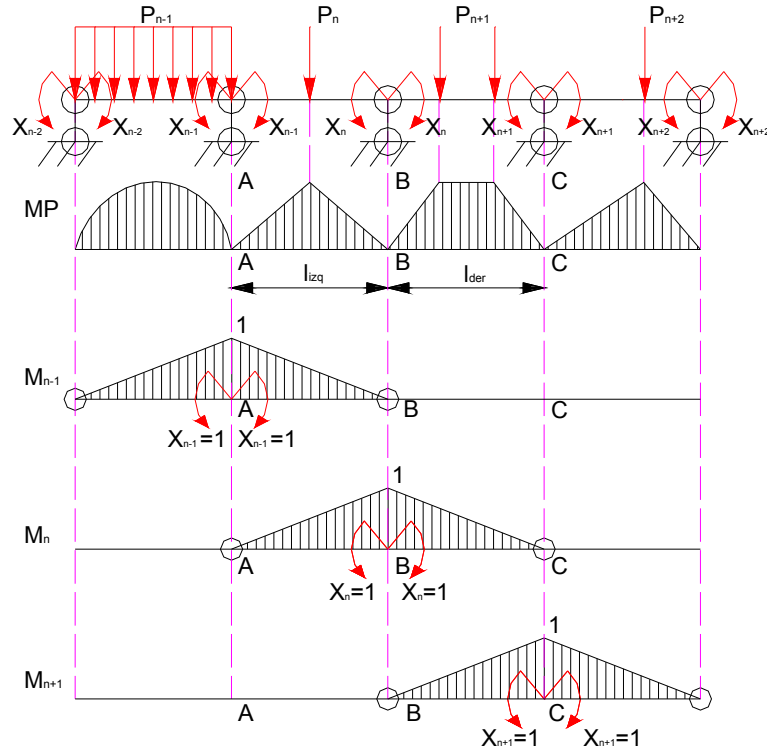


Fig. 2.4 Aplicación de la Ecuación de los Tres Momentos.

En la ecuación (2.6) son cero todos los coeficientes de las incógnitas excepto $\delta_{n(n-1)}$, δ_{nn} y $\delta_{n(n+1)}$. En efecto el momento unitario n origina momentos flectores solamente en los tramos AB y BC. En estos mismos tramos aparecen momentos flectores provocados por los momentos unitarios $(n-1)$ y $(n+1)$ y por las cargas externas, de aquí que los productos de Vereschaguin de los diagramas son iguales a cero menos aquellos que determinan los coeficientes $\delta_{n(n-1)}$, δ_{nn} , $\delta_{n(n+1)}$ y δ_{nP} (Fig. 2.4).

Si la rigidez de la viga $E \cdot I_x$ es constante a través de toda la longitud se obtiene que:

$$\delta_{n(n-1)} = \frac{l_i}{6 \cdot E \cdot I_x}, \quad \delta_{nn} = \frac{l_i + l_d}{6 \cdot E \cdot I_x} \quad y \quad \delta_{n(n+1)} = \frac{l_d}{6 \cdot E \cdot I_x} \quad (2.8)$$

Sustituyendo (2.8) en (2.7) se obtiene:

$$X_{(n-1)} \cdot l_i + 2 \cdot X_n \cdot (l_i + l_d) + X_{(n+1)} \cdot l_d + 6 \cdot \delta_{nP} = 0 \quad (2.9)$$

Donde l_i es la longitud del tramo a la izquierda del momento X_n y $X_{(n-1)}$ el momento a la izquierda del mencionado tramo y l_d es la longitud del tramo a la derecha del momento X_n y $X_{(n+1)}$ el momento a la derecha de este último tramo.

Para mejor claridad se designarán como $M_{izq} = X_{(n-1)}$, $M_{med} = X_n$ y $M_{der} = X_{(n+1)}$ y se obtiene definitivamente la ecuación:

$$M_{izq} \cdot l_{izq} + 2 \cdot M_{med} \cdot (l_{izq} + l_{der}) + M_{der} \cdot l_{der} + 6 \cdot \delta_{nP} = 0 \quad (2.10)$$

Esta ecuación se denomina Ecuación de los Tres Momentos. El mecanismo de planteamiento de esta ecuación es el siguiente: se analizan consecutivamente todos los pares de tramos contiguos y para cada par de tramos se plantea la ecuación de los tres momentos. El número de pares de tramos es igual al número de apoyos adicionales intermedios. Es decir, que el número de ecuaciones de la viga continua es igual al grado de hiperestaticidad de ésta. Una vez resuelto el sistema de ecuaciones y después de determinar los momentos, sin dificultad se construye el diagrama de momentos flectores y se determinan las tensiones en la viga.

Se verá a continuación un ejemplo de aplicación de este Método: Demostrar que para una viga de rigidez constante $E \cdot I_x$ con tres apoyos y los extremos en voladizo, la posición óptima de los voladizos que garantiza los menores momentos flectores en la viga es cuando $\alpha = 0,408$, cuando la viga soporta una carga uniformemente distribuida a lo largo de toda la longitud. Resuelva el problema aplicando la Ecuación de los Tres Momentos.

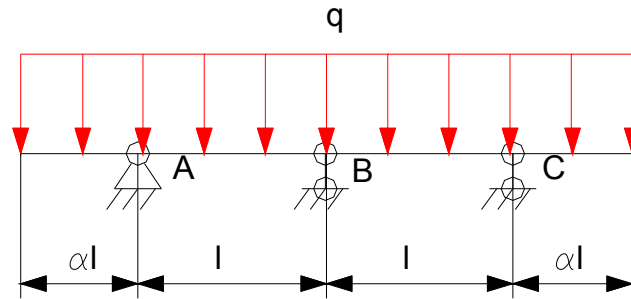


Fig. 2.5 Aplicación de la Ecuación de los Tres Momentos para una viga con carga uniformemente distribuida y tres apoyos.

Se adoptará el sistema equivalente que se aprecia en la Fig. 2.6.

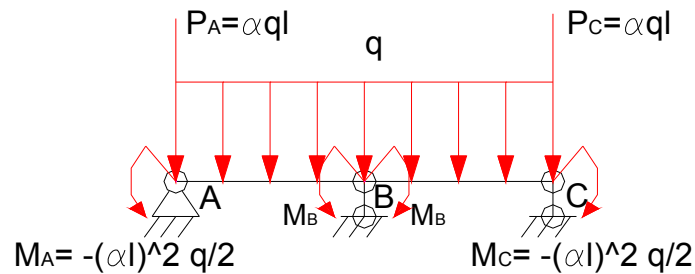


Fig. 2.6 Sistema equivalente para su solución.

Los voladizos son sustituidos por una carga concentrada $P_A = P_C = \alpha \cdot q \cdot l$ y los momentos $M_A = M_C = -\frac{\alpha^2 \cdot l^2 \cdot q}{2}$ y se articularán los tramos en el apoyo intermedio, sustituyendo la ligadura eliminada por el momento desconocido M_m . Construyendo ahora el diagrama de la carga externa y el diagrama unitario $M_m = 1$ (Fig. 2.7)

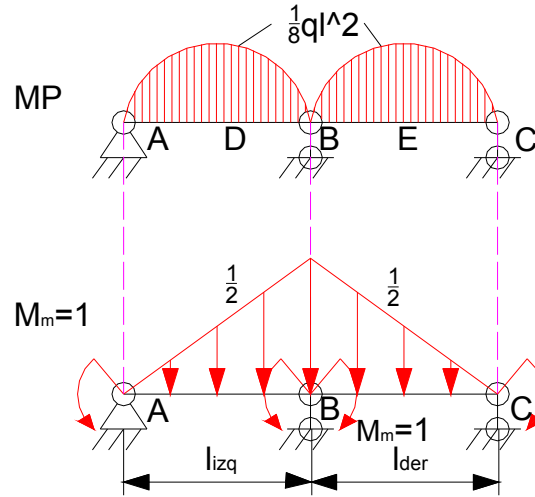


Fig. 2.7 Diagramas de momentos de la carga q y del momento unitario $M_m = 1$.

Los momentos M_A y M_C se considerarán como momentos de apoyo. O sea:

$$M_{izq} = M_A = -\frac{\alpha^2 \cdot l^2 \cdot q}{2} \quad \text{y} \quad M_{der} = M_C = -\frac{\alpha^2 \cdot l^2 \cdot q}{2}. \text{ Las cargas } P_A \text{ y } P_C \text{ solo tienen}$$

influencia en la magnitud de las reacciones en A y C.

La ecuación de los tres momentos quedará como:

$$M_{izq} \cdot l_{izq} + 2 \cdot M_{med} \cdot (l_{izq} + l_{der}) + M_{der} \cdot l_{der} + 6 \cdot \delta_{nP} = 0 \quad (2.11)$$

$$-\frac{\alpha^2 \cdot l^2 \cdot q}{2} \cdot l + 2 \cdot M_B \cdot (2 \cdot l) - \frac{\alpha^2 \cdot l^2 \cdot q}{2} \cdot l + 6 \cdot (\text{parabola} \times \text{triangulo} + \text{parabola} \times \text{triangulo}) = 0$$

$$4 \cdot M_B \cdot l - \alpha^2 \cdot l^3 \cdot q + 6 \left(2 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 \cdot 1 \cdot l \right) = 0$$

$$4 \cdot M_B = \alpha^2 \cdot l^2 \cdot q - \frac{q \cdot l^2}{2} = \frac{q \cdot l^2}{2} \cdot (2 \cdot \alpha^2 - 1)$$

$$M_B = \frac{q \cdot l^2}{8} \cdot (2 \cdot \alpha^2 - 1) \quad (2.12)$$

El momento flector será mínimo cuando los momentos flectores en todos los apoyos sean iguales. O sea, $M_A = M_B = M_C$ de donde:

$$\frac{q \cdot l^2}{8} \cdot (2 \cdot \alpha^2 - 1) = -\frac{\alpha^2 \cdot l^2 \cdot q}{2}$$

$$2 \cdot \alpha^2 - 1 = -4 \cdot \alpha^2 \quad (2.13)$$

$$\alpha = 0,408$$

En este caso el momento en los apoyos y en el centro del tramo será:

$$M_A = M_B = M_C = -\frac{q \cdot l^2}{12}, \quad M_E = M_D = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 - \frac{1}{24} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{12} \cdot q \cdot l^2 \quad (2.14)$$

El diagrama de momentos resultante será:

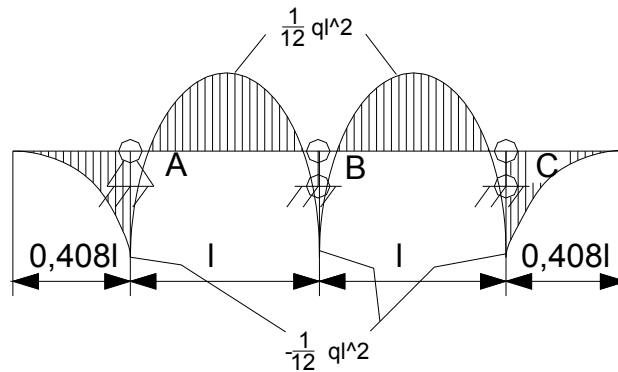


Fig. 2.8 Diagrama de Momentos Flectores Resultante.

2.5 Cálculo de las cargas y de los momentos flectores que provocan las ruedas del carro monorraíl sobre la viga.

2.5.1 Vista del carro monorraíl que será empleado en la grúa.

Para poder calcular las cargas que provocan el peso propio del carro monorraíl y la carga que se elevará con la grúa, sobre las ruedas del carro y por lo tanto sobre la viga principal se hizo necesario desempacar el carro para poder pesarlo y localizar la posición de su centroide. En la Fig. 2.9 se muestra una vista del carro una vez desempacado. En esa misma posición se giró y se pesó como se mostrará a continuación para determinar su centroide.



Fig. 2.9 Vista del carro monorraíl desempacado.

2.5.2 Determinación del centroide del carro monorraíl.

En la Fig. 2.10 se muestra el esquema de la posición del pesaje del carro.

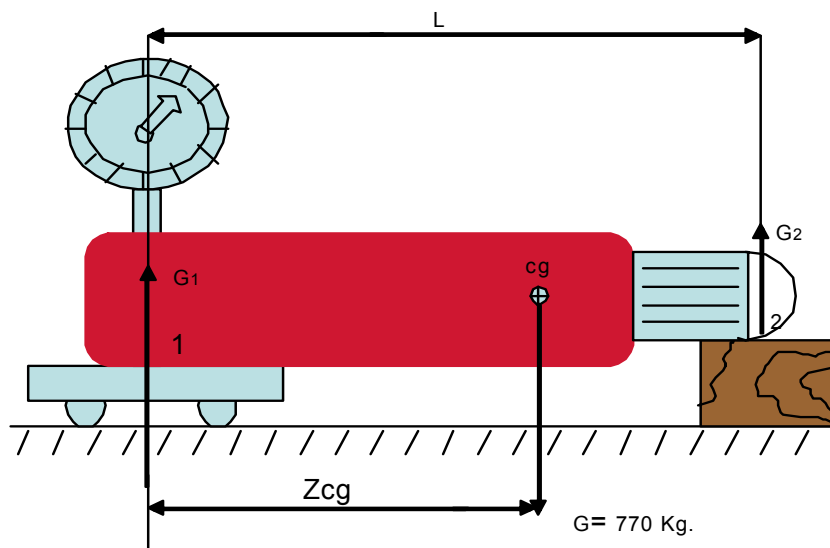


Fig. 2.10 Pesaje del carro para obtener su centroide.

El carro monorraíl fue pesado como se muestra en la Figura. 2.10. El extremo del motor fue apoyado sobre una viga de madera y el extremo opuesto del carro fue colocado sobre una balanza de 500 kgf. El resultado de la medición arrojó que el peso registrado en la balanza fue de $G_1 = 350$ kgf. La distancia de centro a centro de los extremos apoyados fue de $L = 200$ cm.

De la ecuación de equilibrio de fuerzas se obtuvo que $G_2 = 420$ kgf y de la ecuación de momento con respecto al punto 1 se obtuvo que:

$$\Sigma M_1 = G \cdot Z_{cg} - G_2 \cdot L = 0 \quad (2.15)$$

De donde:

$$Z_{cg} = \frac{G_2 \cdot L}{G} = \frac{420 \cdot 200}{770} \approx 110 \text{ cm}$$

2.5.3. Cálculo de las reacciones sobre las ruedas del carro monorraíl para $Z_p = 0$.

En la Fig. 2.11 se muestra el esquema de análisis que será empleada para calcular las fuerzas de reacción sobre las ruedas del carro. La rueda de la izquierda coincide exactamente con el extremo izquierdo del tambor. Se calcularán las reacciones para tres posiciones de la carga P sobre la grúa. El extremo izquierdo del tambor $Z_p = 0$, cuando la carga P coincide con el peso G o sea, $Z_p = Z_G = 80$ cm y cuando la carga P coincide con el centro de las dos ruedas de la derecha $Z_p = 124$ cm

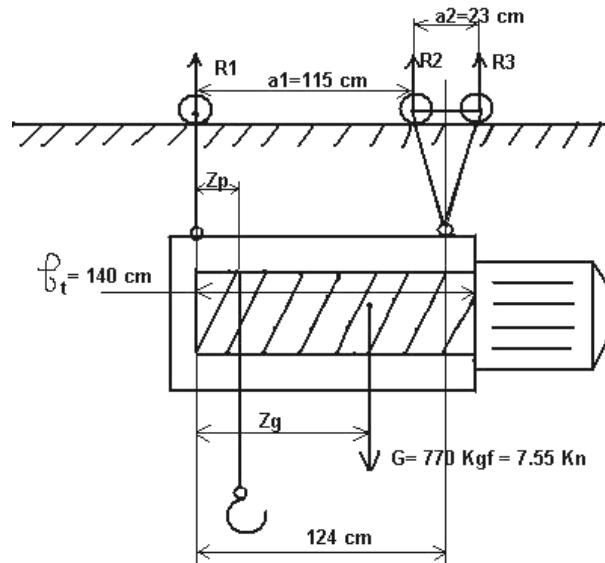


Fig.2.11- Esquema de análisis para hallar las reacciones sobre las ruedas.

La distancia Z_G desde el extremo izquierdo del tambor al centroide del carro monorraíl es un poco mas pequeño que $Z_{cg} = 110$ cm. Mediante mediciones realizadas en el carro se estableció que $Z_G = 80$ cm.

El sistema de reacciones R_1 , R_2 y R_3 es hiperestático. Se aplicará el Método de las Fuerzas para su solución. El sistema equivalente que será empleado se muestra en la Fig. 2.12. En la propia figura se muestra el diagrama unitario de la reacción X_1 y el diagrama de la carga externa constituida por el peso G del carro monorraíl, ubicado a una distancia Z_G del extremo izquierdo del tambor y la carga $P = 5\,000$ Kg. colocada exactamente en el extremo izquierdo del tambor, o sea, para $Z_P = 0$.

La ecuación canónica correspondiente es:

$$\delta_{ll} X_l + \delta_{lp} = 0 \quad (2.16)$$

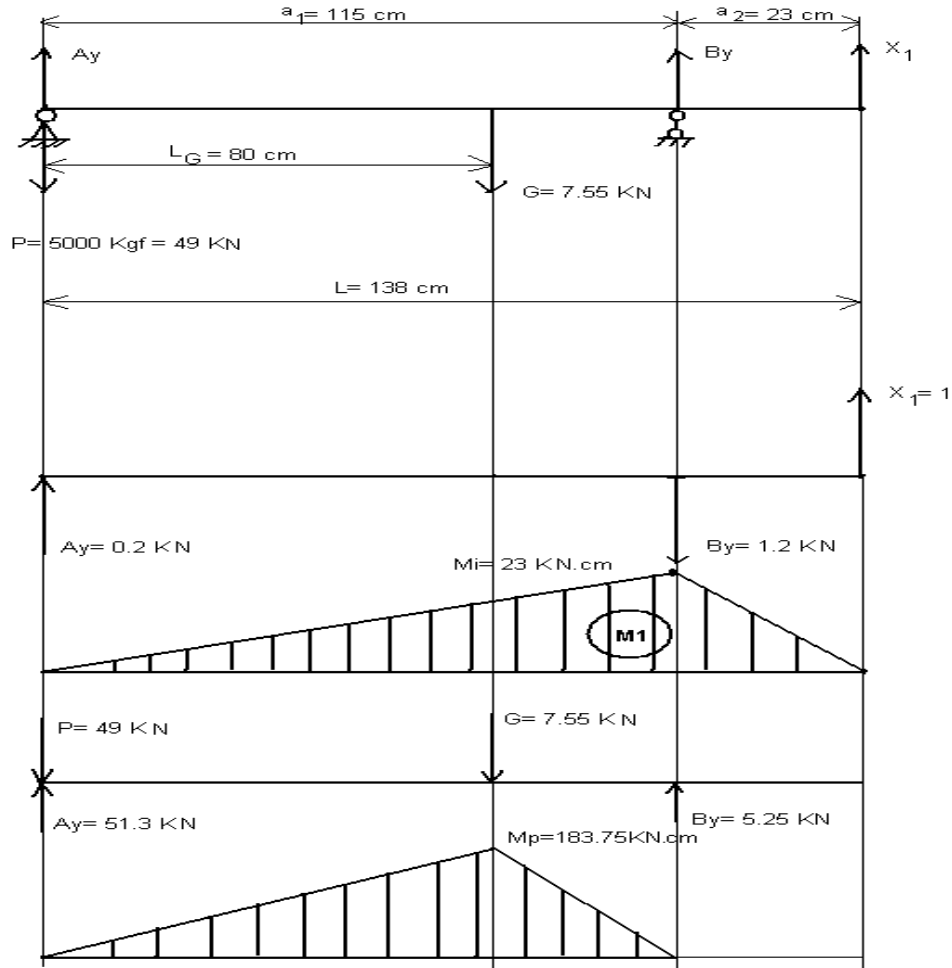


Fig. 2.12. Sistema equivalente, diagrama unitario de X_1 y diagrama de la carga externa.

Las reacciones tanto para la carga $X_1 = 1$ como para la carga externa se hallaron de las ecuaciones de equilibrio.

Para la carga $X_1 = 1$

$$\sum M_A = B_y \cdot 115 - 1(115 + 23) = 0 \quad (2.17)$$

$$B_y = \frac{138}{115} = 1.2 \text{ K.N}$$

$$\sum M_A = A_y + 1 - B_y = 0 \quad (2.19)$$

$$A_y = B_y - 1 = 1.2 - 1 = 0.2 \text{ K.N}$$

Para la carga externa.

$$\Sigma M_A = B_Y \cdot 115 - G \cdot 80 = 0 \quad (2.20)$$

$$B_Y = \frac{7,55 \cdot 80}{115} = 5.25 \text{ KN}$$

$$\Sigma F_Y = A_Y + B_Y - G - P = 0 \quad (2.21)$$

$$A_Y = 49 + 7,55 - 5,25$$

$$A_Y = 51,3 \text{ KN}$$

Los coeficientes δ_{II} y δ_{IP} de la ecuación canónica se hallan aplicando la Regla de Vereschaquin

$$\delta_{II} = \frac{1}{3} \frac{M_i \cdot M \cdot L}{EI} = \frac{23 \cdot 23 \cdot 138}{EI} = \frac{73002}{EI} \quad (2.22)$$

$$\delta_{IP} = \frac{1}{6} \frac{M_i \cdot M_P \cdot a_l}{EI} = \frac{23 \cdot 183,75 \cdot 115}{6EI} = \frac{81003}{EI} \quad (2.23)$$

$$X_I = -\frac{\delta_{IP}}{\delta_{II}} = -\frac{81003}{73002} = -1,1 \text{ KN}$$

El signo negativo indica que para esa posición de la carga P la reacción sobre la rueda extrema derecha debería ser hacia abajo. Esta situación es imposible, para ello tendría que ocurrir que la rueda se apoyara en su parte superior y esto no es posible. Se calcularán entonces las reacciones en las ruedas 1 y 2 que sería las únicas que funcionan en esta situación.

El sistema entonces isostático, la ecuación de equilibrio son las mismas que se aplicaran para la carga externa, y las reacciones en esos apoyos son $R_1 = 51.3 \text{ KN}$ y $R_2 = 5.25 \text{ KN}$.

Esta situación hace que esta posición sea la más crítica para la viga principal, en ninguna otra posición la reacción sobre una rueda será mayor, ni existirá ninguna otra posición donde la carga máxima esté tan cerca de la resultante, lo que hace que

la posición sea la más peligrosa desde el punto de vista de la posición de momento máximo de las cargas...

Se hallará entonces la posición de la resultante de estas dos cargas.

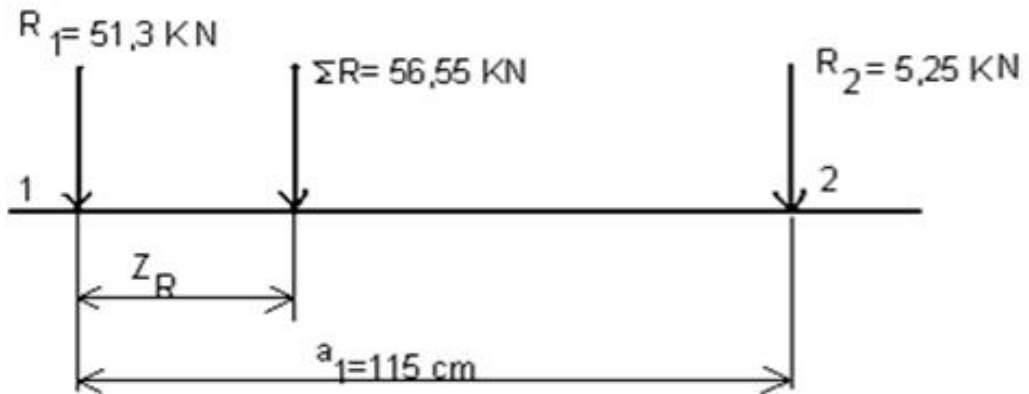


Fig. 2.13. Posición de la resultante entre R_1 y R_2

La resultante ΣR es:

$$\Sigma R = R_1 + R_2 = 51.3 + 5.25 = 56.55 \text{ kN}$$

Su posición se halla partiendo del Principio de D' Alembert de que el momento de la resultante tiene que ser igual a la de la suma de los momentos de los componentes respecto a cualquier punto del plano. Se realizará momento con respecto al punto 1 para hallar Z_R . O sea:

$$\Sigma R \cdot Z_R = R_2 \cdot a_1 \quad (2.24)$$

$$Z_R = \frac{R_2 \cdot a_1}{\Sigma R} = \frac{5.25 \cdot 115}{56.55}$$

$$Z_R = 10.7 \text{ cm}$$

2.5.4 Cálculo de la posición de momento flector máximo de las reacciones del carro monorraíl sobre la viga principal para $Z_P = 0$.

La posición del momento flector Máximo de cada una de las reacciones es cuando ella y la resultante equidistan del centro de la luz de la viga. En la Fig. 2.13 se muestra la posición del momento máximo de la reacción R_1 que es la posición más crítica para la viga.

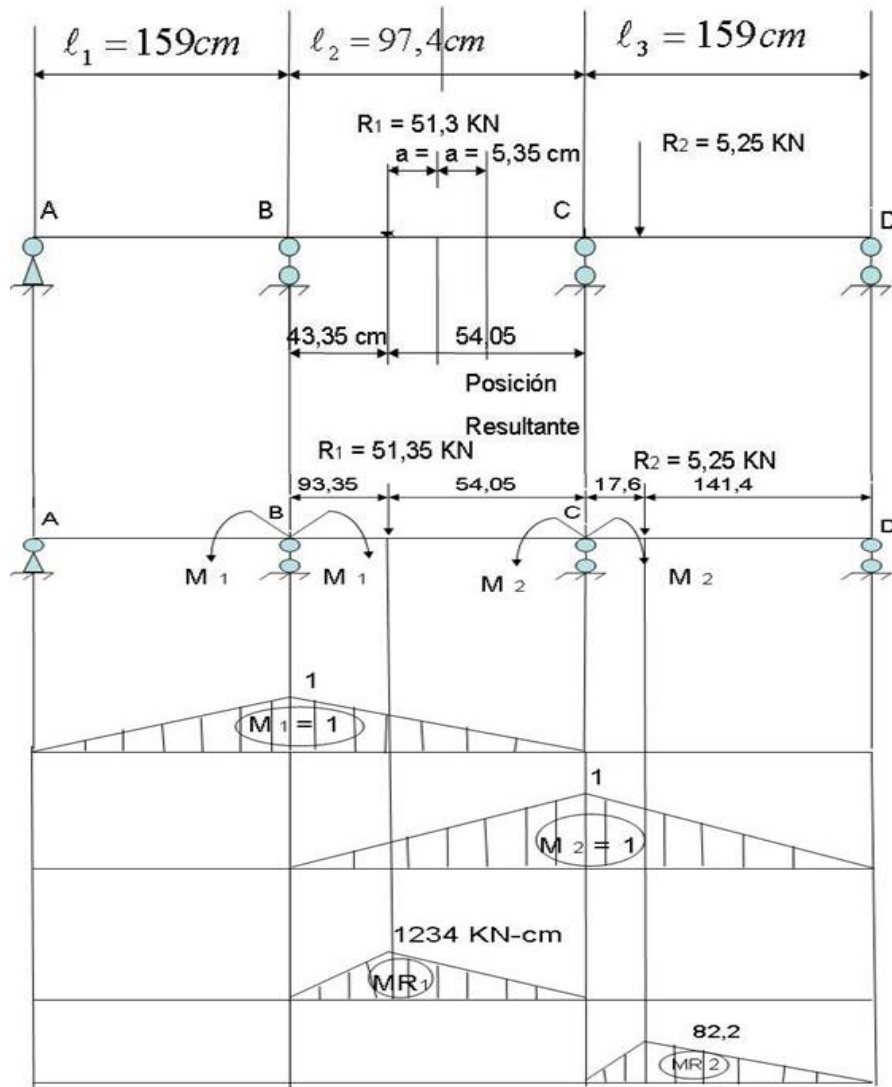


Fig. 2.14 Esquema de análisis de la viga principal para la posición más crítica de la carga, diagrama unitario de las incógnitas M_1 y M_2 y diagrama de la carga.

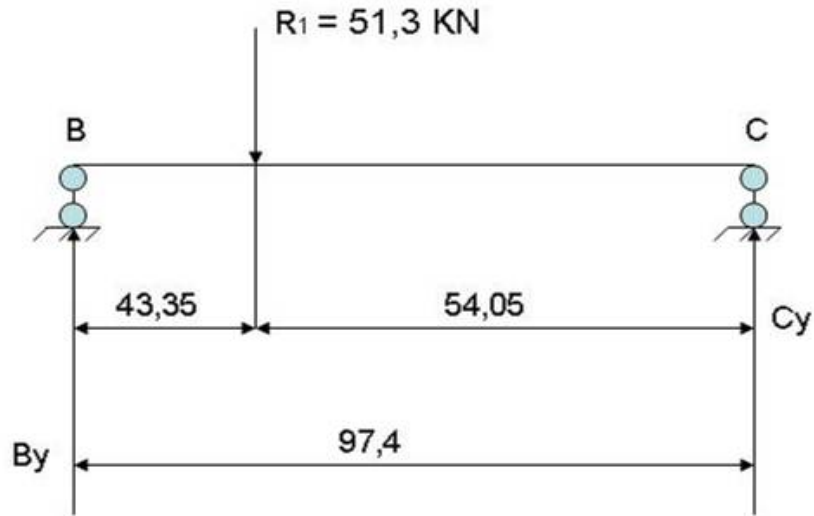


Fig. 2.15 Esquema de las cargas sobre el tramo BC

Las reacciones en los apoyos para la carga externa en este tramo son:

$$\Sigma F_y = B_y + C_y - 51,3 = 0 \quad (2.25)$$

$$\Sigma M_A = C_y \cdot 97,4 - 51,3 \cdot 43,35 = 0 \quad (2.26)$$

$$C_y = 22,83 \text{ kN}$$

$$B_y = 51,3 - 22,83 = 28,47 \text{ kN}$$

El diagrama de momentos flectores es el que se muestra en la Fig. 2.13 El momento flector máximo es:

$$M_{f \max} = B_y \cdot 43,35 = C_y \cdot 54,05 = 1234 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

La posición de la carga R_2 en la posición de momento máximo de R_1 se muestra en la Fig. 2.16. Las reacciones en los apoyos son:

$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= C_y + D_y - 5,25 = 0 \\ \Sigma M_A &= D_y \cdot 159 - 5,25 \cdot 17,6 = 0 \end{aligned} \quad (2.28)$$

$$D_y = 0,58 \text{ kN}$$

$$C_y = 5,25 - 0,58 = 4,67 \text{ kN}$$

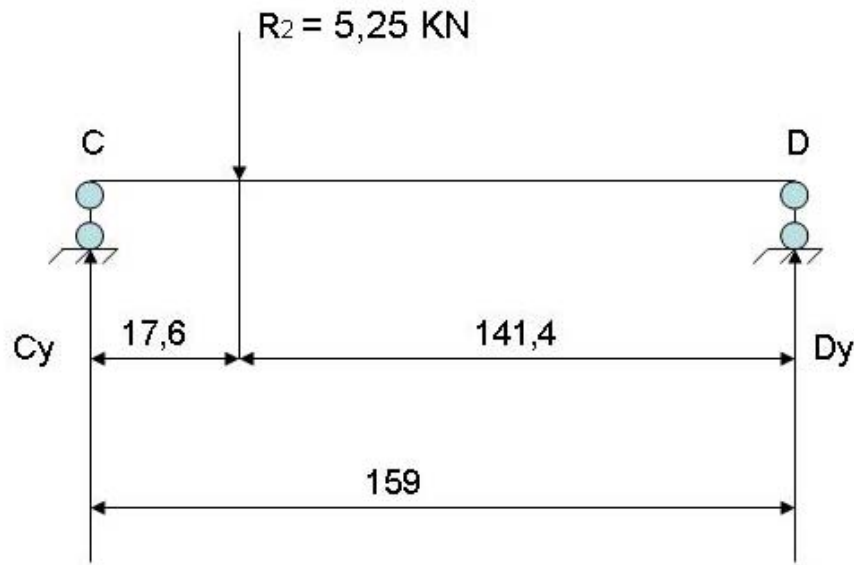


Fig. 2.16 Esquema de las cargas para el tramo CD

El diagrama de momentos flectores se muestra también en la Fig. 2.13. El momento flector máximo es: $M_{f \max} = C_y \cdot 17,6 = D_y \cdot 141,4 = 82,2 \text{ kN} - \text{cm}$

2.5.5 Aplicación de la ecuación de los tres momentos para hallar X_1 y X_2 .

Aplicando la ecuación de los tres momentos para el par de tramos ABC se tiene que:

$$M_{l_{zq}} \cdot \ell_{l_{zq}} + 2M_{med}(\ell_{l_{zq}} + \ell_{der}) + M_{der} \cdot \ell_{der} - 6\delta_{ip} = 0$$

$$0 \cdot 159 + 2 \cdot M_1(159 + 97,4) + M_2 \cdot 97,4 = +6 \cdot \frac{1}{6} \left(1.1234 \left(1 + \frac{43,38}{97,4} \right) \right) 97,4$$

$$2M_1 \cdot 256,4 + 97,4M_2 = 182130,5 \quad (2.29)$$

Aplicando ahora la ecuación de los tres momentos para el par de tramos BCD.

$$M_{l_{zq}} \cdot \ell_{l_{zq}} + 2M_{med}(\ell_{l_{zq}} + \ell_{der}) + M_{der} \cdot \ell_{der} - 6\ell_{ip} = 0$$

$$M_1 \cdot 97,4 + 2M_2(97,4 + 159) + 0.159 = 6 \cdot \frac{1}{6} \left(1.82,2 \left(1 + \frac{141,4}{159} \right) \right) 159$$

$$97,4M_1 + 2M_2 \cdot 256,4 = 24692,88 \quad (2.30)$$

Simplificando las ecuaciones 1y 2.

$$5,265M_1 + M_2 = 18699$$

$$M_1 + 5,265M_2 = 253,5$$

Multiplicando la segunda ecuación $\times - 5,265$ y sumando

$$-26,7 M_2 = 17364,32$$

$$M_2 = 650,35 \text{ kN-cm}$$

cm

Sustituyendo para calcular M_1 .

$$M_1 = 253,5 - 5,265 * (- 650,35)$$

$$M_1 = 253,5 + 3424,1$$

$$M_1 = 3677,60 \text{ kN-cm}$$

2.6 Construcción de los diagramas reales de X_1 y X_2 .

Para construir el diagrama de momentos flectores de la viga es necesario construir los diagramas reales de M_1 y M_2 y sumar con los de las cargas.

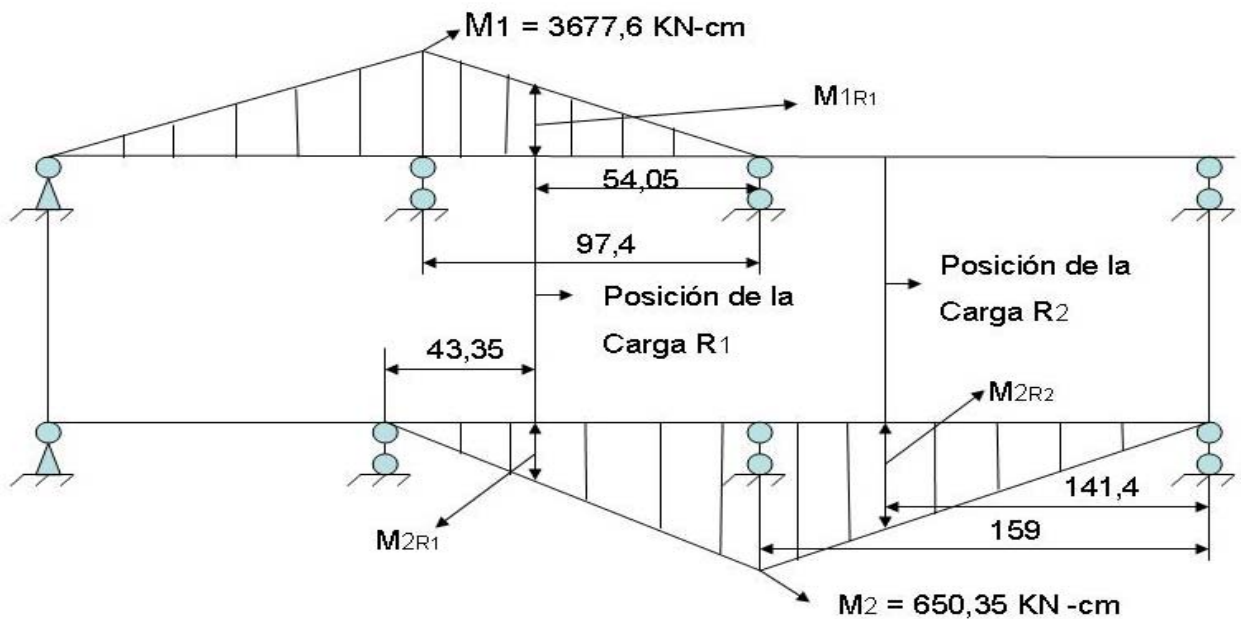


Fig.2.17 Diagrama reales de M_1 y M_2

2.7 Cálculo de los momentos flectores provocados por M_1 y M_2 en la posición de las cargas R_1 y R_2 .

Estos momentos se hallan por proporciones dentro del mismo diagrama .O sea:

$$M_{1R1} = \frac{54,05}{97,4} \cdot M_1 = 0,555 \cdot 3677,6 = 2041 \text{ KN} - \text{cm}$$

$$M_{2R1} = \frac{43,35}{97,4} \cdot M_2 = 0,445 \cdot 650,35 = 290 \text{ KN} - \text{cm}$$

$$M_{2R2} = \frac{141,4}{159} \cdot M_2 = 0,889 \cdot 650,35 = 578 \text{ KN} - \text{cm}$$

2.8 Construcción del diagrama de momentos flectores resultantes.

En la Fig. 2.18 Se muestra la suma de los diagramas M_1 , M_2 y M_{R1} , M_{R2} , que conforman el diagrama de momentos flectores de la viga principal.

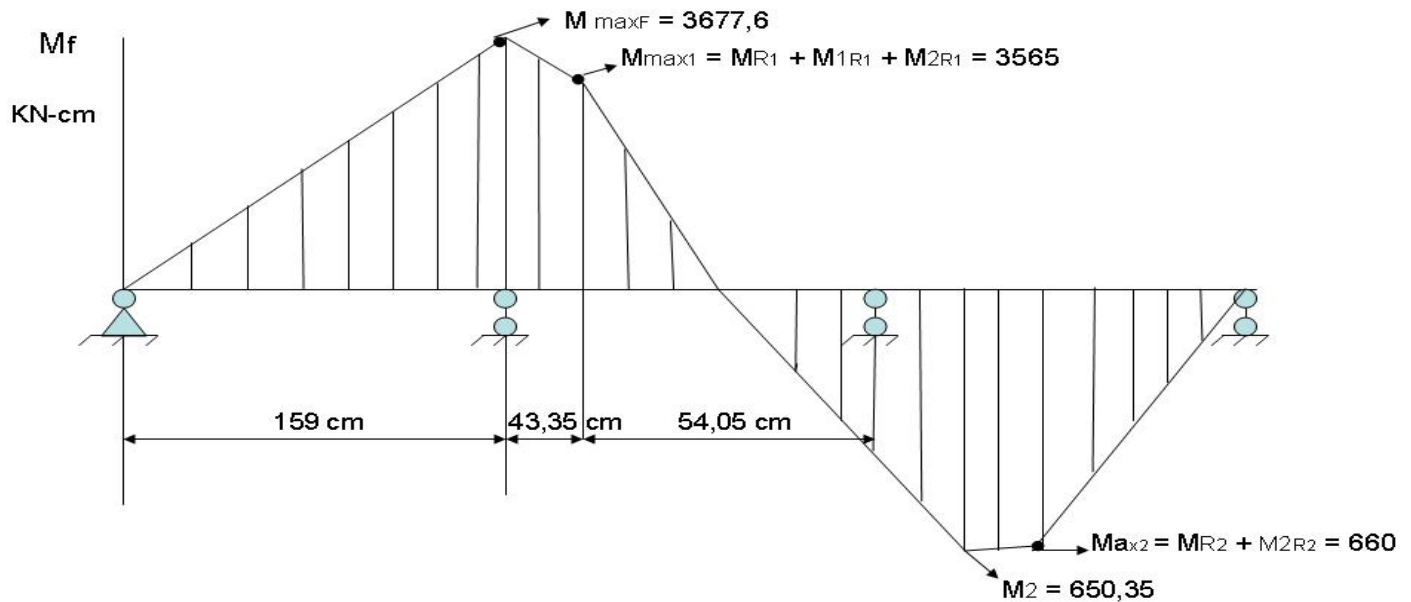


Fig. 2.18 Diagrama de momentos flectores resultantes.

$$M_{\max 1} = M_{R1} + M_{1R1} + M_{2R2} = 1234 + 2041 + 290 = 3565 \text{ KN} - \text{cm}$$

$$M_{\max 2} = M_{R2} + M_{2R2} = 82,2 + 578 \cong 660 \text{ KN} - \text{cm}$$

2.9 Selección del perfil de la viga principal

El material de los perfiles laminados en caliente es acero de bajo carbono con $\sigma_f = 24 \text{ kN/cm}^2$. Se tomará un factor de seguridad $n = 3$ para tomar en cuenta posibles incrementos de las cargas por aceleraciones o impactos. La tensión permisible será:

$$[\sigma]_t = \frac{\sigma_f}{n} = \frac{24}{3} = 8 \text{ kN/cm}^2$$

La condición de resistencia del perfil es:

$$\sigma_{\max} = \frac{Mf_{\max}}{W_x} \Sigma [\sigma]_t$$

De donde el módulo necesario de la viga es:

$$W_x \geq \frac{Mf_{\max}}{[\sigma]_t} = \frac{3677,6}{8} \cong 460 \text{ cm}^3$$

El Perfil I N° 30 tiene un módulo de la sección $W_x = 472 \text{ cm}^3$, por lo tanto es el adecuado.

2.10 Evaluación de la resistencia de las patas.

La posición más crítica de la patas es precisamente cuando la reacción $R_1 = 51,3 \text{ kN}$ (Para $Z = 0$), que es la mayor de todas las posibles reacciones sobre la ruedas coincide con el plano de la estructura de la pata. En la Fig. 2.19 se muestra el esquema de Análisis para esta posición.

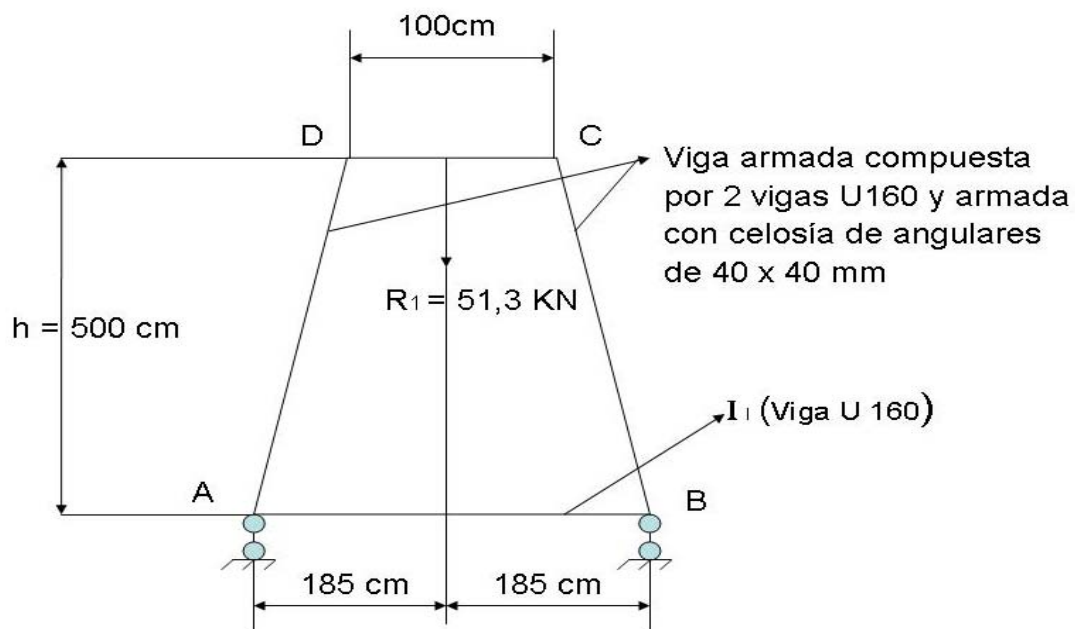


Fig. 2.19 Esquema de Análisis de la estructura de las patas.

El sistema es hiperestático donde el elemento travesaño inferior AB es un elemento a dos fuerzas. El sistema equivalente se muestra en la Fig. 2.20

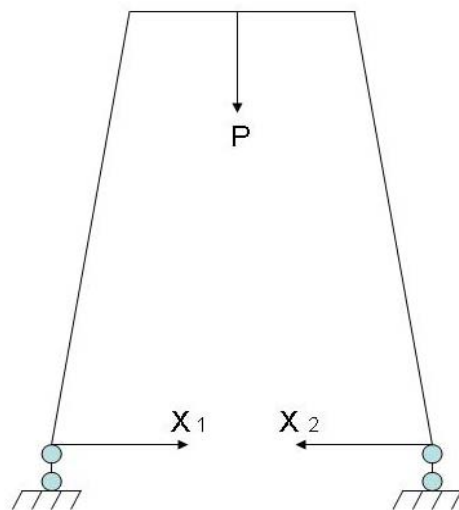


Fig. 2.20 Sistema equivalente de la estructura de las patas.

Para su solución se aplicará el Método de las Fuerzas. Existe un solo grado de hiperestaticidad. La ecuación canónica es:

$$\delta_{ll} X_l + \delta_{lp} = 0$$

El grafico unitario de la fuerza $X_1 = 1$ KN es:

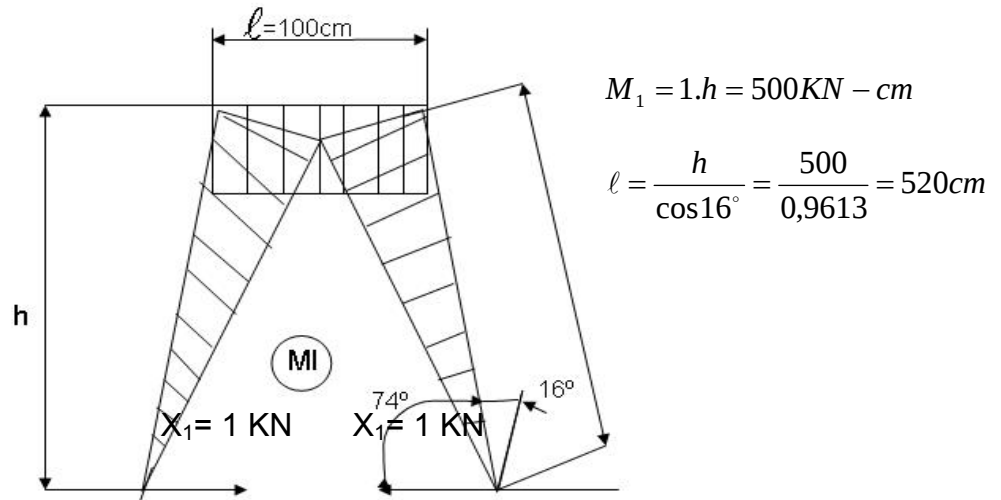


Fig. 2.21 Diagrama unitario de las cargas X_1

El gráfico de la carga P es:

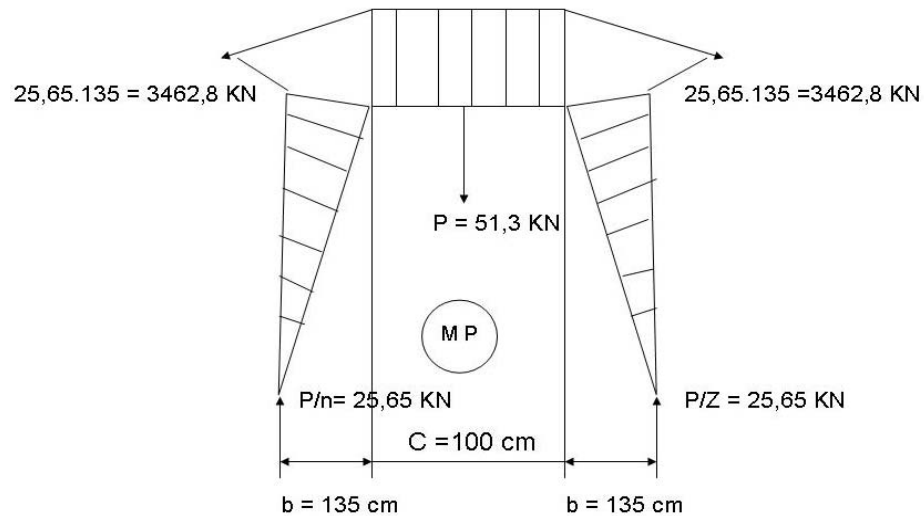


Fig. 2.22 Diagrama de la carga P

El coeficiente δ_{II} es:

$$\delta_{II} = \frac{l}{EI} \left[2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 500 \cdot 500 \cdot 520 + 500 \cdot 560 \cdot 100 \right]$$

$$\delta_{II} = \frac{l}{EI} (86,7 \cdot 10^6 + 25 \cdot 10^6) \cong \frac{112 \cdot 10^6}{EI}$$

$$\delta_{IP} = -\frac{l}{EI} \left[2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 500 \cdot 3462,8 \cdot 520 + 3462,8 \cdot 500 \cdot 100 \right]$$

$$\delta_{IP} = -\frac{776 \cdot 10^6}{EI}$$

De donde se tiene que despejando X_1 de la ecuación canónica, se tiene que:

$$X_1 = \frac{\delta_{IP}}{\delta_{II}} = -\frac{\frac{776 \cdot 10^6}{EI}}{\frac{112 \cdot 10^6}{EI}} = 6,39 KN$$

Esta es la fuerza de tracción en el tirante AB

Para hallar el diagrama de momento flector de la estructura, hay que construir el diagrama de $MX_1 = M_1 \cdot X_1$ y sumarlo con el de la carga P. En la Fig. 3 se muestra el diagrama de MX_1

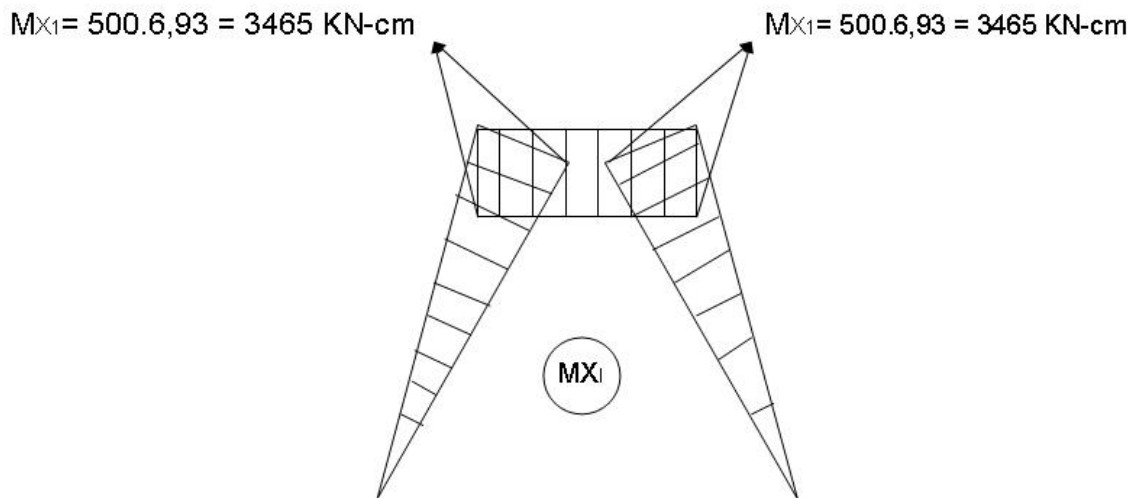


Fig. 2.23. Diagrama de Momentos flectores MX_1

El diagrama de momentos flectores resultante es la suma de MX_1 con M_p .

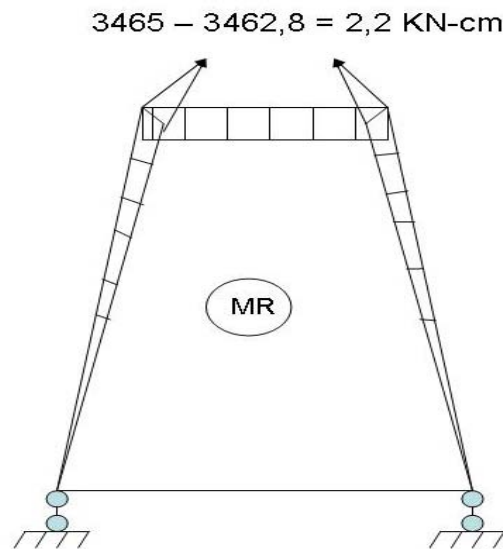


Fig. 2.24 Diagrama de momentos flectores resultante

Como se aprecia el diseño de las patas es muy racional el momento flector sobre las vigas es casi cero, no obstante se utilizará el perfil compuesto por dos canales N 16 armado con celosía de angulares simplemente por rigidez y estética. El elemento más crítico de las patas es el AB que está sometido a tracción con una fuerza: $X_1 = 6,93 \text{ KN}$.

Comprobando la resistencia del elemento a dos fuerzas AB, se tiene que:

El acero de los perfiles laminados es acero de bajo carbono con límite de fluencia del orden de $\sigma_f = 24 \text{ KN/cm}^2$. Tomando un factor de seguridad $n = 3$ que es muy amplio para la estructura analizada; la tensión admisible a tracción sería:

$$[\sigma]_t = \frac{\sigma_{ff}}{n} = \frac{24}{3} = 8 \text{ kN / cm}^2$$

El área de la sección transversal del perfil canal N^o16 es $A = 18,1 \text{ cm}^2$

La tensión de tracción es: $\sigma_t = \frac{X_1}{A} = \frac{6,93}{18,1} = 0,38 \text{ kN / cm}^2 \leq [\sigma]_t \approx 8 \text{ kN / cm}^2$

La resistencia de las patas está más que garantizada.

2.11 Conclusiones parciales del Capítulo II.

1. Partiendo de un esquema tipificado de una grúa puente monorraíl se estructuró la misma y se establecieron las metodologías de cálculo que sería empleadas en el cálculo de los elementos estructurales que la componen: viga principal y patas.
2. Para calcular las cargas sobre la viga principal se utilizó el esquema de viga con cargas móviles considerando como cargas el peso del carro monorraíl y la carga máxima de 5 000 kgf a levantar.
3. Para ubicar la carga peso del monorraíl fue necesario pesar el carro utilizando la metodología descrita en el trabajo, logrando establecer la posición de su centroide.
4. La carga a levantar es también móvil se colocó ésta en la posición $Z = 0$ coincidiendo la carga P con el extremo izquierdo del tambor. Se aplicó el Método de las Fuerzas para hallar las reacciones en las tres ruedas y se comprobó que en esa posición el carro se apoya sólo en dos ruedas, por lo que se convirtió ésta en la posición más crítica siendo la reacción R_1 la reacción mayor posible de todas y muy próxima a la resultante de las cargas sobre las dos ruedas, lo que confirmó que esa es la posición más crítica como carga móvil..
5. La viga principal es también hiperestática, Para solucionar ese sistema hiperestático se utilizó la Ecuación de los Tres Momentos, basada en el Método de las Fuerzas, para la posición de momento máximo de la reacción R_1 y se obtuvo que era posible garantizar su resistencia con un factor de seguridad de tres con una viga I No. 30, pudiendo ser posible utilizar incluso una viga I No. 27, que es la que disponía la CTE, el factor de seguridad en este caso se reduciría un poco por debajo de tres.
6. El diseño de las patas es muy racional el momento flector sobre las vigas es casi cero, no obstante se utilizará el perfil compuesto por dos canales N 16 armado con celosía de angulares simplemente por rigidez y estética.
7. El elemento más crítico de las patas es el AB que es un elemento a dos fuerzas y está sometido a tracción, pero su construcción con un perfil canal No. 16 garantiza ampliamente su resistencia.

Capítulo III: Costo de Fabricación de la Estructura de la Grúa.

3.1 El costo de fabricación.

El costo de fabricación es la expresión monetaria de los gastos de producción, es decir los gastos en que la Empresa incurre durante la fabricación de un artículo cualquiera. La determinación y evaluación de este costo facilita las posibles soluciones a un diseño determinado permitiendo la selección de aquel diseño que brinde mayor beneficio productivo con el mínimo de gastos, por ello dentro de la mentalidad de un diseñador debe estar el costo como un elemento de vital importancia.

Dentro de los costos de producción se incluyen: los gastos de materias primas y materiales auxiliares empleados en la fabricación, los gastos en salarios, el costo de la energía consumida, los gastos generales producto de la amortización de los equipos empleados en la fabricación y los gastos indirectos.

Por medio del costo se expresa la eficiencia en el trabajo, además de ser un indicador generalizador de la calidad, que sirve como índice principal para medir el buen funcionamiento de una Empresa en la utilización de los recursos disponibles, al valor de la producción obtenida y la magnitud de los gastos incurridos en la misma.

Los principales elementos del costo de fabricación expresados en forma monetaria son:

1. El valor de las materias primas utilizadas.
2. Materiales auxiliares empleados en la fabricación de la máquina o equipo.
3. Los gastos en salario de los trabajadores.
4. Los gastos producto de la amortización de los equipos y maquinas empleadas en la fabricación.

5. El valor de la energía consumida en aquellas máquinas o equipos participantes en el proceso de fabricación.
6. Los costos indirectos del proceso.

3.2 Gastos en materiales y materias primas durante la fabricación.

Este elemento del costo es el más importante y sobre el cual recae el mayor peso desde el punto de vista monetario. El mismo resume el valor de todas las materias primas y materiales empleados en la producción. El costo total de los materiales se determina teniendo en cuenta el precio de adquisición, su peso específico y el consumo de unidades.

En la Tabla 3.1 se dan estos gastos para el caso de la grúa analizada.

COMPONENTES	CANT	MAT.	LONG (m)	AREA (m ²)	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL CUC
VIGA I 270 x 125 x 6000	1	CT-3	4.2	----	323.56	226.49
VIGA U 140 x 6000	3	CT-3	12.3	----	147.37	302.10
VIGA U 160 x 6000	8	CT-3	46.6	----	179.04	1390.54
ANGULAR 40X40 x 6000	5	CT-3	26.7	----	32.86	146.22
BARRA Ø70 x 3620	1	G45	20.2	----	82.54	460.58
CHAPA 6mm x 5500	1	Acero corten	----	0.12	610.75	10.25
CHAPA 8mm x 5800	1	Acero corten	----	0.08	1047.97	11.11
CHAPA 10mm x 5500	1	Acero corten	----	0.40	1077.98	60.30
CHAPA 15mm x 5800	1	Acero corten	----	0.29	1125.88	43.30
CHAPA 50mm x 5500	1	Acero corten	----	0.44	4658.61	286.68
CHAPA 80mm x 5800	1	Acero corten	----	0.36	7958.13	379.96
TORNILLO M16X 70 mm	24		----	----	0.35232	84.00
TORNILLO M16 X 110 mm	24		----	----	0.606	14.54

TORNILLO M12 X 90mm	20		----	----	0.19	3.80
TORNILLO M6 X 25mm	20		----	----	0.014	0.28
TUERCA M16	48		----	----	0.53	25.44
ARANDELA Ø16	96		----	----	0.06	5.76
ARANDELA Ø12	20		----	----	0.03	0.60
ARANDELA Ø6	20		----	----	0.001	0.02
TOTAL						3 451.97

Dentro de estos costos serán incluidos también aquellos que serán generados por la soldadura y corte del material

TABLA 3.2 GASTOS GENERADOS POR LA SOLDADURA				
MATERIALES	CANTIDAD	COSTO /	UNIDAD	COSTO TOTAL CUC
ELECTRODO7018 Cajas (3.25 mm)	5	3.2991		16.50
BALON OXIGENO	6	7.1691		43.01
BALON ACETILENO	2	22.6805		45.36
DISCO ABRASIVO (180 mm)	4	1.9687		7.87
CEPILLO DE ALAMBRE	3	1.1644		3.49
TOTAL				116.23

Dentro de este gasto incluiremos también otros artículos adquiridos en el mercado interno y de equipos existentes en la Empresa producto de trabajos que han sido realizados a otras entidades y han quedado como sobrantes o desechos. En la Tabla 3.3 se dan estos.

TABLA 3.3 GASTOS EN ACCESORIOS			
ARTICULO O PIEZA	COSTO/U	CANTIDAD	COSTO TOTAL CUC
POLIPASTO	4191.74	1	4191.74
RODAMIENTO 6309ZZ	12.6733	8	101.38
SAMBLASTIN			886.20
PINTURA OXIDO ROJO	3.79	30 (L)	113.70
PINTURA AMARRILLA	13.70	30 (L)	411.00
TOTAL			5 704.02

3.3 Gastos en salarios.

El gasto en salarios depende de la categoría y el número de horas de trabajo de cada uno de los técnicos y obreros que participan en la producción

TABLA 3,4 GASTOS EN SALARIOS			
TRABAJADORES	HORAS DE TRABAJO	SALARIO HORARIO	GASTOS EN SALARIOS PESOS
Operador maquina herramienta B	54	1.75	94.20
Mecánico de taller B	56	1.75	98.00
SOLDADOR A	132	1.83	241.56
PAILERO A	132	1.88	248.16
Operador maquina herramienta B	37	1.75	64.75
MECANICO DE TALLER A	82	1.88	154.66
MECANICO AJUSTADOR A	75	1.88	141.00
TOTAL			1 042.33

3.4 Costos generados por la amortización de equipos.

El traspaso gradual del valor de los medios de trabajo a medida que estos se desgastan a los productos que se elaboran y la utilización de ese valor para la reproducción posterior de los fondos fijos de producción es lo que conocemos por amortización de un equipo.

En el proceso de producción las máquinas sufren un desgaste físico que lleva a la pérdida de propiedades técnicas y productivas del medio de trabajo y un desgaste moral producto del avance científico que provoca la obsolescencia de la misma y que le resta valor al producto. Estos gastos se determinan partiendo de la amortización horaria de cada máquina y del tiempo en horas en que dicha máquina participa en la producción.

TABLA 3.5 GASTOS DE AMORTIZACIÓN						
	PAÍS	PRECIO (CUC)	Vida útil (horas)	Dep. Anual (CUC)	Tiempo utiliz (horas)	GASTO TOTAL
TORNO CD 6250	CHINA	11454.06	140160	687.24	105	8.58
TALADRO Radial ZQ3050X16	CHINA	14349.33	140160	860.96	89	9.11
SEGUETA MECANICA	URSS	925.00	140160	55.50	32	0.21
FRESADORA X6333	CHINA	9005.00	140160	540.30	78	5.01
EQUIPO OXICORTE	URSS	6878.86	140160	412.61	49	2.40
PULIDOR MANUAL	ESPAÑA	220.33	-	-	18	-
Maquina para soldar	Japón	871.42	140160	52.29	65	0.40
TOTAL						25.71

3.5. Costos generados por el consumo de energía eléctrica.

El funcionamiento de una Empresa o Taller es imposible sin el empleo de la energía eléctrica que está presente en casi todos los procesos y cubre las demandas y necesidades de estos. Los gastos de energía dependen de los equipos que intervinieron en el proceso y de las horas en que intervino cada uno.

El precio de 1 kW - hr se tomó sobre la base a una tarifa diferenciada ajustada para la Empresa de 0.029 CUC/kW – hr.

En la Tabla 3.6 se da la relación de los equipos, el tiempo empleado y el gasto en energía de cada uno de ellos, así como el gasto total de energía.

TABLA 3.6 GASTOS DE ENERGÍA				
EQUIPO	HORAS DE TRABAJO horas	POTENCIA kW	ENERGÍA CONSUMIDA (kW - h)	GASTO TOTAL ENERGÍA CUC
TORNO CD 6250	105	7.5	787.50	22.84
TALADRO Radial ZQ3050X16	89	4.0	356	10.32
SEGUETA MECANICA	32	1.5	48	1.32
FRESADORA X6333	78	11	858	24.88
PULIDORA MANUAL	18	1.0	18	0.52
Maquina para soldar	65	15.2	988	28.65
TOTAL				88.53

3.6 Total de Gastos Directos.

El total de Gastos Directos es igual a la suma de los Gastos en Materiales, Soldadura, Accesorios, Salarios, Amortización y Energía. Considerando un Peso igual a un CUC. Se tiene que:

$$\text{Gastos Directos} = 3\,451.97 + 116.23 + 5\,704.02 + 1\,042.33 + 25.71 + 88.53 = 10\,428.79 \text{ CUC}$$

3.7 Total de Gastos Indirectos.

Los gastos indirectos son aquellos gastos en que incurre la Empresa producto de las Gestiones de Dirección, Administración, Servicios Generales, Transporte de Personal, Iluminación, etc. los cuales hay que cargárselos a los gastos de producción. Estos se estiman como regla como el 30 % de los Gastos Directos. En este caso:

$$\text{Gastos Indirectos} = 0,3 \times \text{Gastos Directos} = 0,3 \times 10\,428.79 = 3\,128.63 \text{ CUC}$$

3.8 Costo de Fabricación.

El Costo de Fabricación es la suma de los Gastos Directos más los Indirectos, o sea:

$$\text{Costo de Fabricación} = \text{G.D.} + \text{G.I.} = 10\,428.79 + 3\,128.63 = 13\,557.42 \text{ CUC}$$

3.9 Conclusiones del Capítulo III.

Este costo está muy por debajo del Costo de Adquisición de un equipo similar en el Mercado Internacional que esta sobre los 25 000 CUC, logrando con esto un ahorro importante para el país en las importaciones.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se cumplió el Objetivo General previsto en el trabajo: Realizar la evaluación de la resistencia y selección de los diferentes elementos estructurales que conforman una Grúa Puente tipificada y calcular su costo de fabricación, para valorar técnico-económicamente su posible fabricación o su compra.
2. Se elaboraron todos los esquemas de análisis necesarios para realizar el cálculo de los elementos estructurales que integran la Grúa Puente Monorraíl y se eligieron los Métodos de Cálculo más adecuados.
3. Para garantizar la resistencia de la Viga Principal, con un factor de seguridad de tres, es necesario emplear una viga I No. 30, pudiendo ser posible utilizar incluso una viga I No. 27, que es la que disponía la CTE, el factor de seguridad en este caso se reduciría un poco por debajo de tres.
4. El diseño de las patas es muy racional el momento flector sobre las vigas es casi cero, no obstante se utilizará el perfil compuesto por dos canales N 16 armado con celosía de angulares simplemente por rigidez y estética.
5. El elemento más crítico de las patas es el AB que es un elemento a dos fuerzas y está sometido a tracción, pero su construcción con un perfil canal No. 16 garantiza ampliamente su resistencia.
6. El cálculo del costo de fabricación de la estructura arrojó un valor de 13 557.42 CUC, mucho más pequeño de lo que cuesta comprar una estructura de este tipo fabricada en el extranjero, con el consiguiente ahorro de importaciones.

RECOMENDACIONES

Se recomienda completar el Proyecto Constructivo, con todos los planos necesarios y construir la estructura de la Grúa Puente Monorraíl proyectada para satisfacer los requerimientos del Taller.

Beer, F. (1989). *Mecánica vectorial para ingenieros(estática)*, 1. La Habana: Revolucionaria.

Benediet, W. (1984). *Tool and manufacturing engieneers handbook forming*. United State: Michigan.

Colectivo, A. (1990). Equipos de elevación. La Habana: CENIC

Dobrovolski, V. (1970). *Elementos de máquinas*. Moscú: MIR.

Doyle, L. (1988). *Materiales y procesos de manufactura para ingenieros*. México: Prentice-Hall.

Feodosiev, V. (1985). *Resistencia de materiales*. Moscú: MIR.

García, J. (1985). Equipos de elevación: Grúas, Elevadores y Montacargas, La Habana: Pueblo y Educación.

González, M. (2010). *Procesos tecnológicos de la industria mecánica*. La Habana: Félix Varela.

Goytisolo, R. (2007). *Folleto de resistencia de materiales avanzada*. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos.

Guliáev, A.P. (1978). *Metalografía*, 1. Moscú: MIR.

Jiménez, L. (1976). *Prontuario de ajustes y tolerancias*. Barcelona: MARCOMBO S.A.

Jorochailov, V. (1988). *Teoría y tecnología del tratamiento térmico de los aceros*. La Habana: Enpes.

Kucher, A. (1989). *Tecnología de metales*. Moscú: MIR.

Lajtin, Y. (1973). *Metalografía y tratamiento térmico de los metales*. Moscú: MIR.

Levy, G. (1992). *Resistencia de materiales*, 1. La Habana: Pueblo y Educación.

Llave de los Aceros. (1985). *Catálogo de aceros*. Moscú: MIR.

Malishev, A. (1987). *Tecnología de los metales*. Moscú: MIR.

Miroliúbov, I. (1990). *Problemas de resistencia de materiales*. Moscú: MIR.

Niemann, G. (1967). *Tratado teórico práctico de elementos de máquinas*. Madrid: Labor SA.

Neese, H. (1965). *Teoría y práctica de la soldadura*, La Habana: Evelio Rodríguez

Pisarenko, G. (1989). *Manual de resistencia de materiales*. Moscú: MIR.

Przybylski, J. (1970). *Dispositivos especiales para el maquinado*. La Habana. Cuba: Revolucionaria.

Reshetov, D. (1985). *Elementos de máquina*. La Habana: ISPJAE.

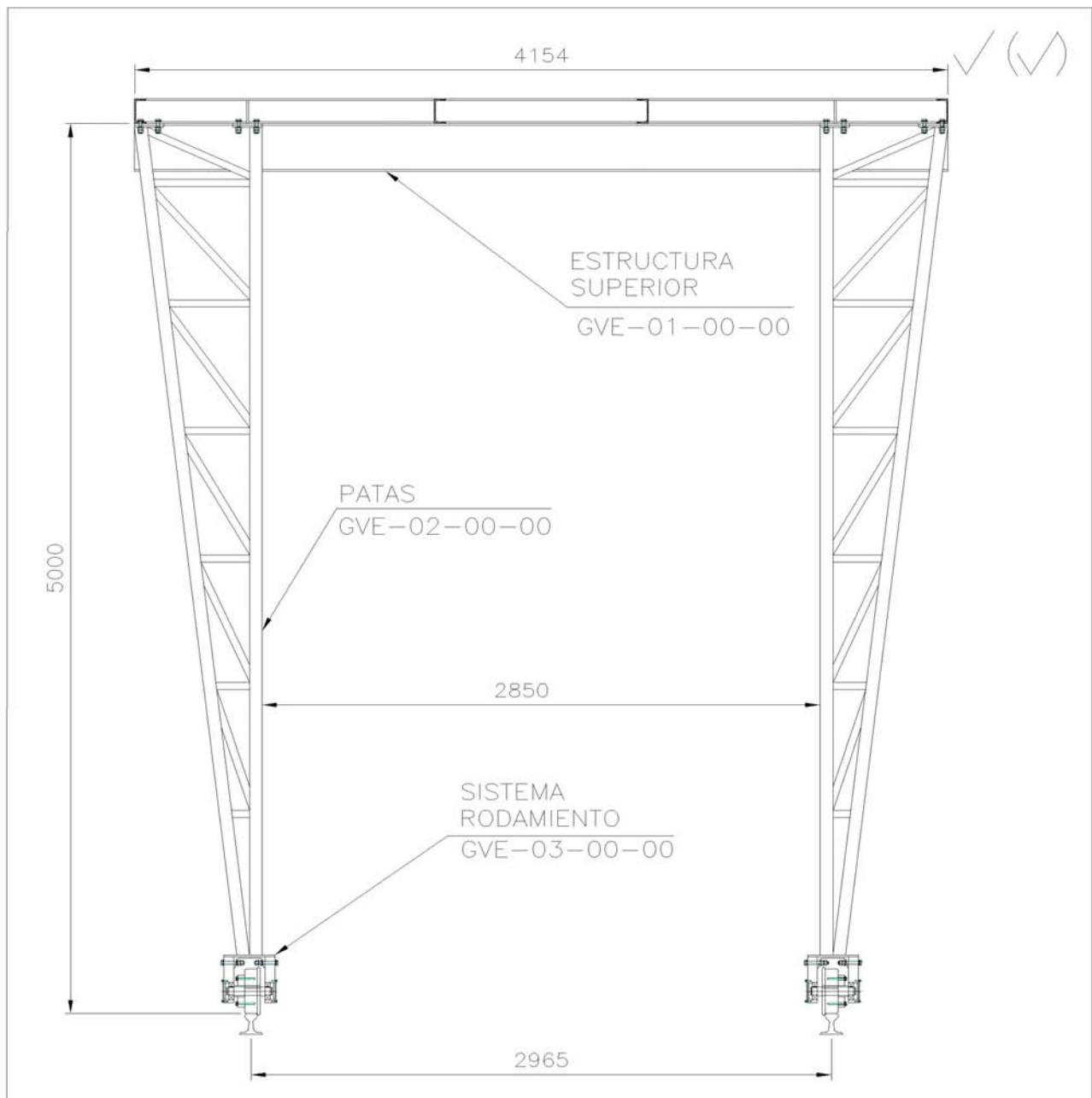
Rodríguez, D. (2010). Grúas tipo puente. España Instituto nacional de seguridad e higiene del trabajo. <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp>.

Shannley, F. (1971). *Mecánica de materiales*. United State: McGraw-Hill.

Stiopin, P. (1979). *Resistencia de materiales*. Moscú: MIR.

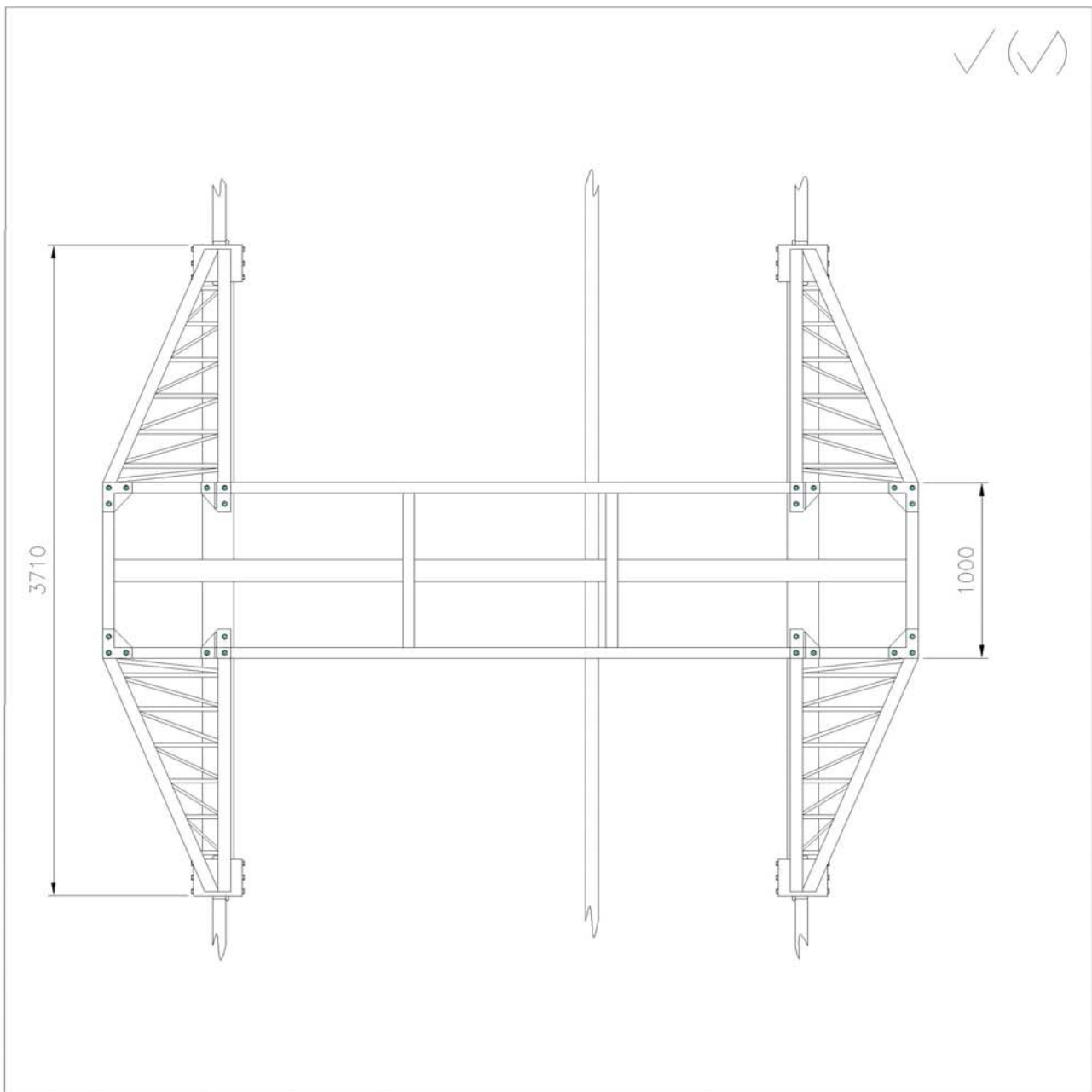
Zúev, V. (1988). *Tratamiento térmico de metales*. Moscú: MIR.

Anexo



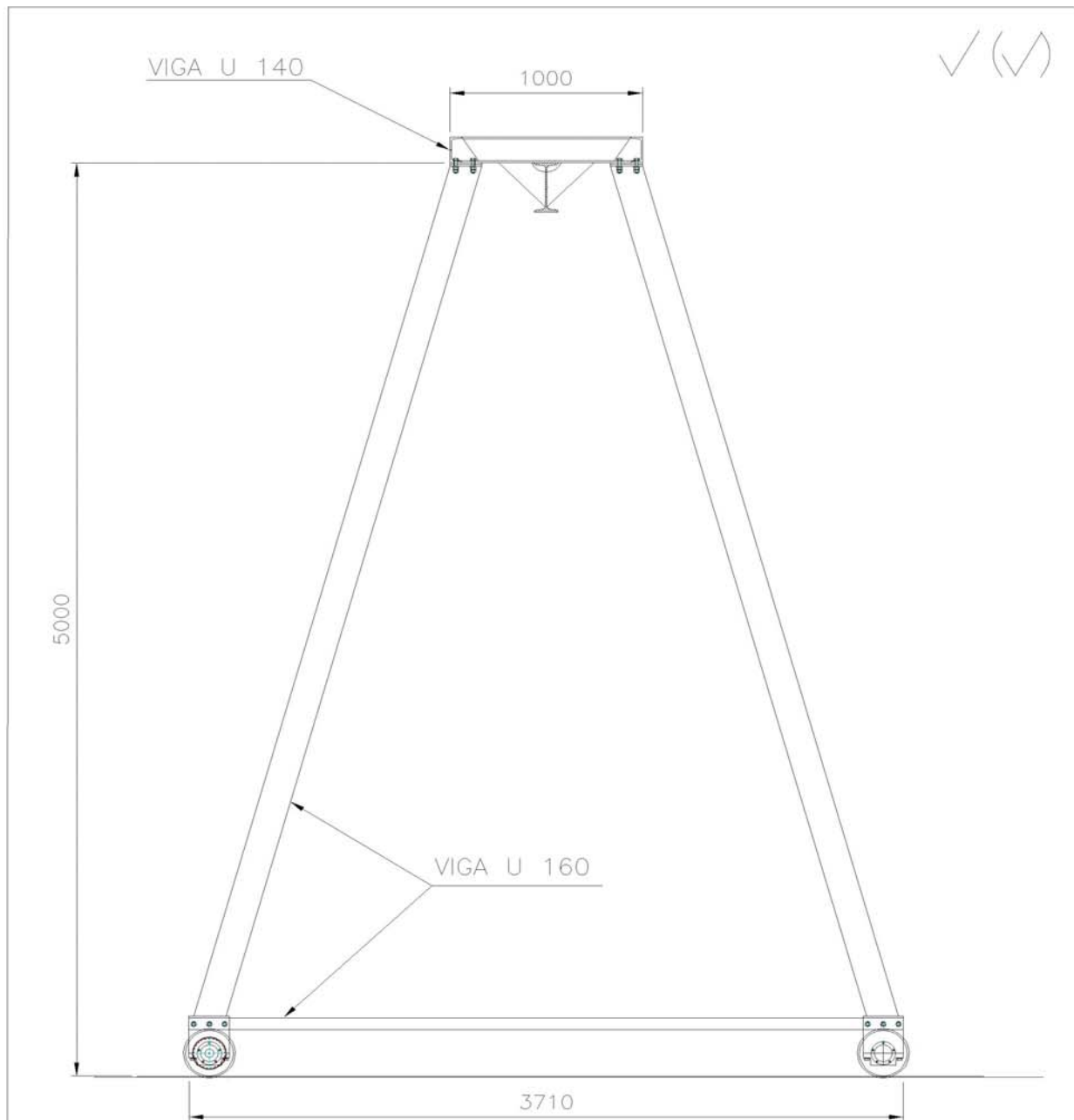
					GRÚA VIAJERA P/ NUEVO TALLER ELECTRO-MECANICO.	 Central Termoeléctrica Cienfuegos Carretera Oburke #914, Zona Indust.#1 Teléfono: 521014 , Cienfuegos.	Etapas de elaboración			
										DT
Mod.	Cant.	Num.Notific.	Firma	Fecha			Masa	Escala	Hoja No.	Cant. de hojas
Dibujante		YD						1:30	1	19
Proyectó										
Revisó					-CONFIGURACION GENERAL VISTA FRONTAL-	GVE-00-00-00				
Cont.tec.										
Cont.Nor.										
Aprobó										

Anexo



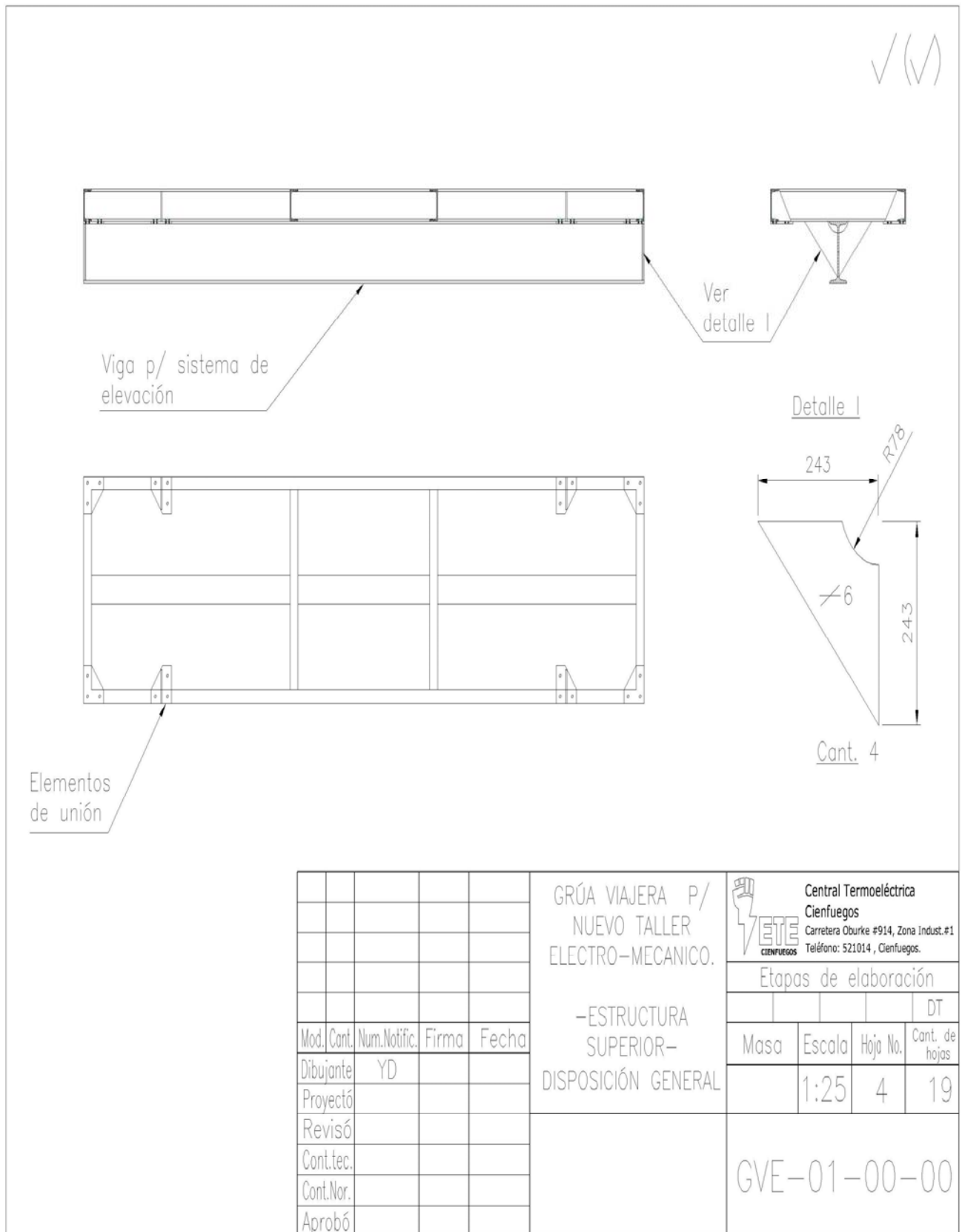
					GRÚA VIAJERA P/ NUEVO TALLER ELECTRO-MECANICO.	 Central Termoeléctrica Cienfuegos Carretera Oburke #914, Zona Indust.#1 Teléfono: 521014 , Cienfuegos.	Etapas de elaboración			
							DT			
							Masa	Escala	Hoja No.	Cont. de hojas
								1:30	2	19
							GVE-00-00-01			
Mod. Cant.	Num. Notific.	Firma	Fecha		-CONFIGURACION GENERAL VISTA SUPERIOR-					
Dibujante	YD									
Proyectó										
Revisó										
Cont. tec.										
Cont. Nor.										
Aprobó										

Anexo

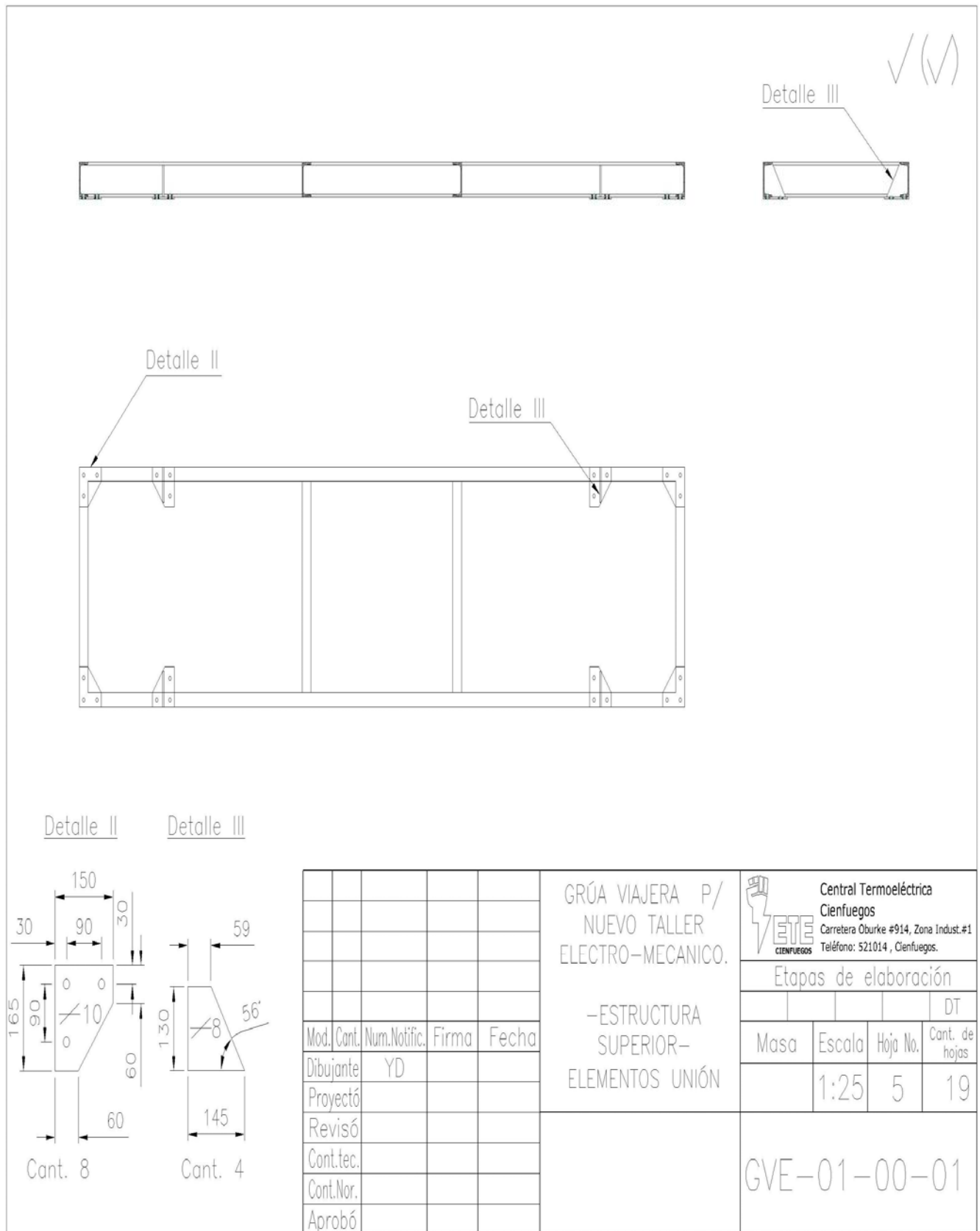


					GRÚA VIAJERA P/ NUEVO TALLER ELECTRO-MECANICO.	 Central Termoeléctrica Cienfuegos Carretera Oburke #914, Zona Indust. #1 Teléfono: 521014, Cienfuegos.	Etapas de elaboración			DT
							Masa	Escala	Hoja No.	
Mod.	Cont.	Num. Notific.	Firma	Fecha	-CONFIGURACION GENERAL VISTA LATERAL-					
Dibujante		YD						1:30	3	19
Proyectó							GVE-00-00-02			
Revisó										
Cont. tec.										
Cont. Nor.										
Aprobó										

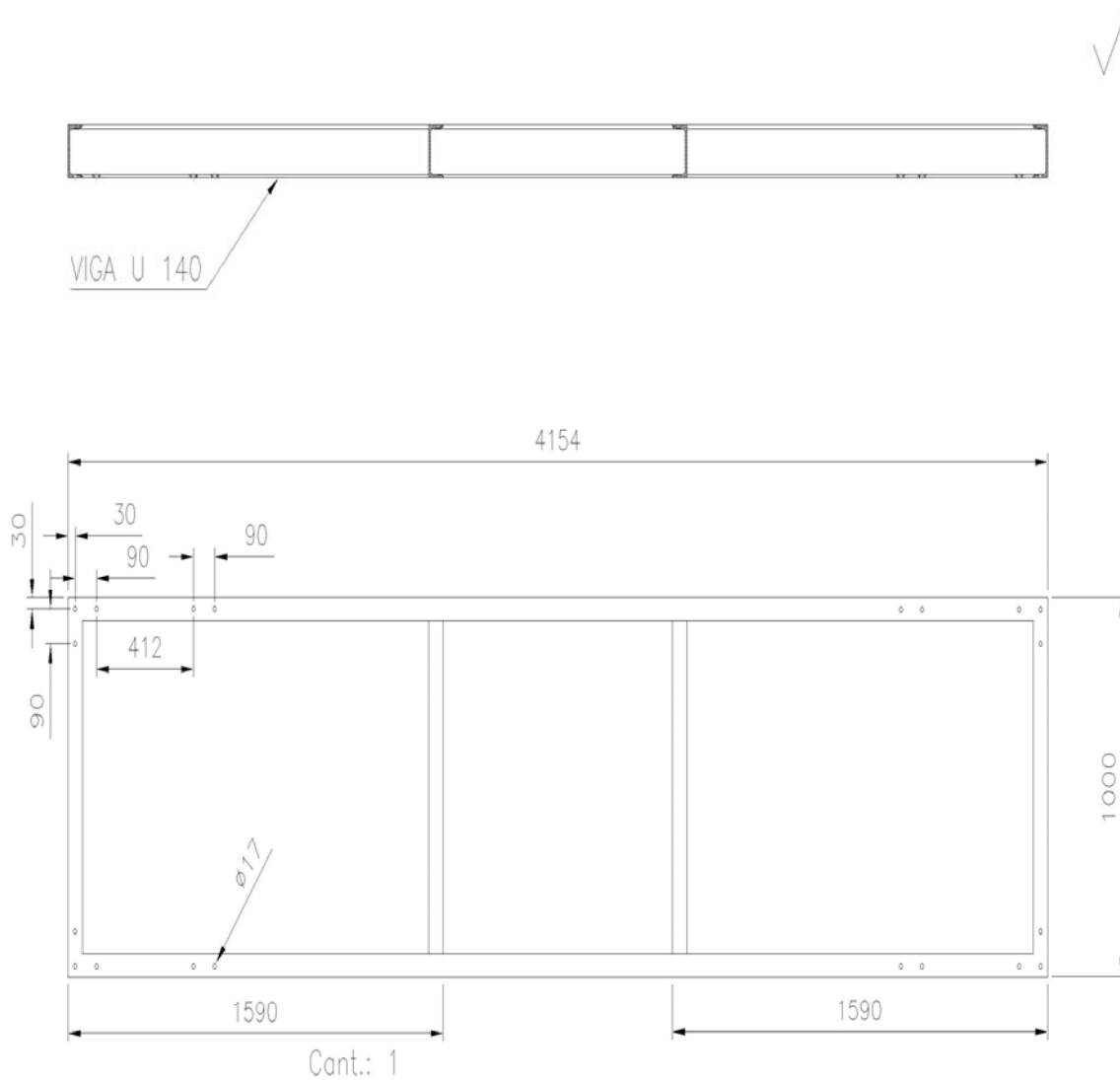
Anexo



Anexo



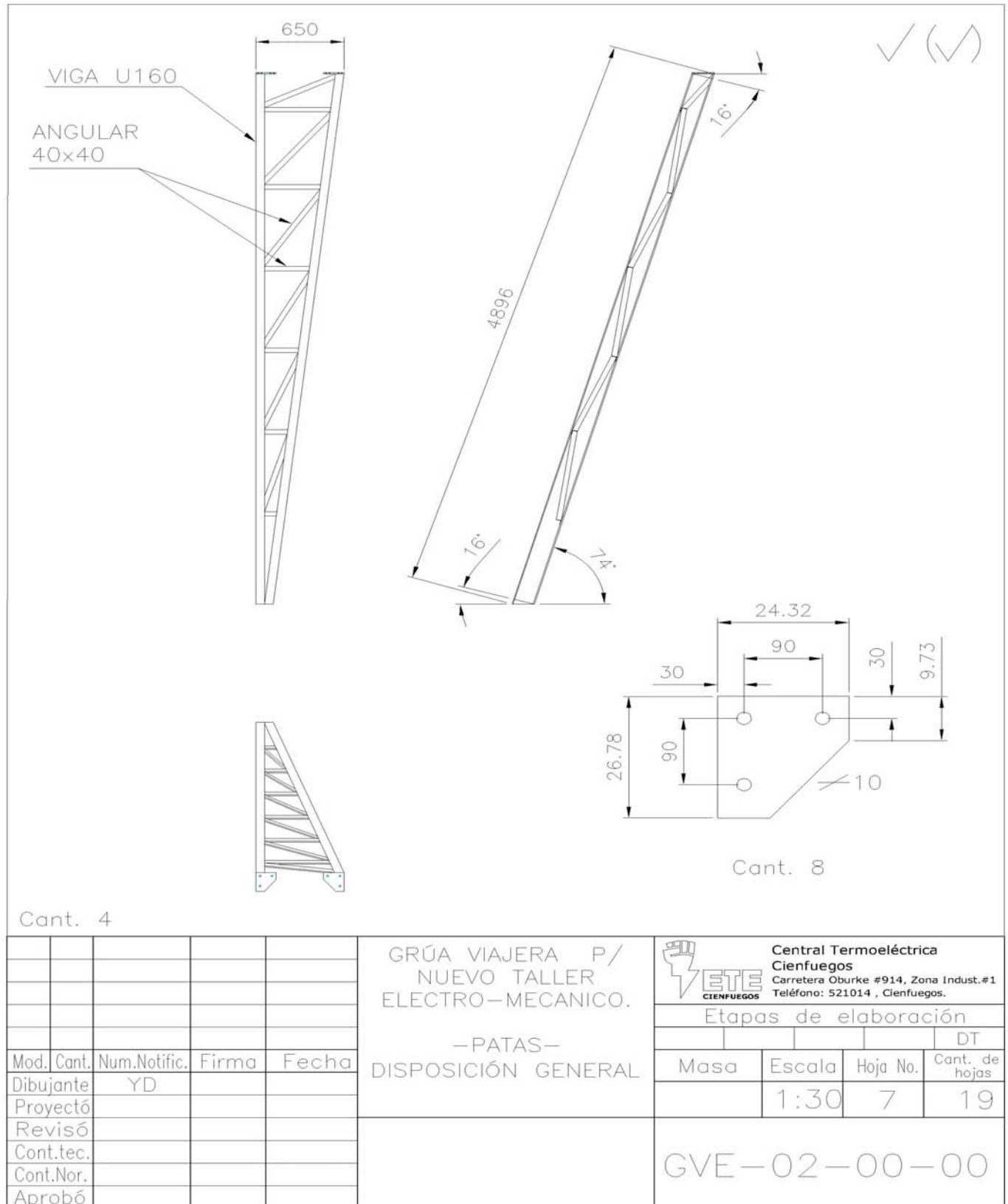
Anexo



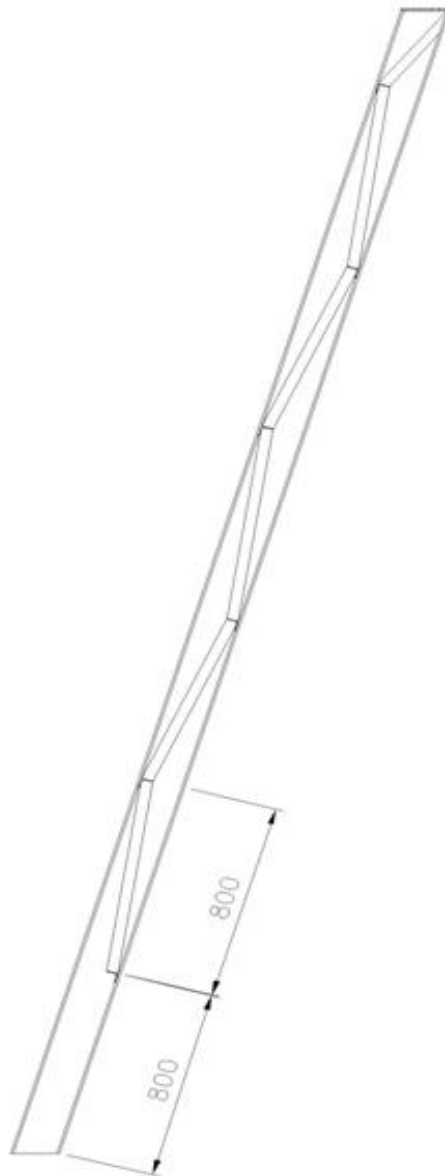
Nota: Todos los agujeros Ø17.

					GRÚA VIAJERA P/ NUEVO TALLER ELECTRO-MECANICO.	 Central Termoeléctrica Cienfuegos Carretera Oburke #914, Zona Indust.#1 Teléfono: 521014, Cienfuegos.					
					-ESTRUCTURA SUPERIOR-MARCO	Etapas de elaboración					
										DT	
						Masa	Escala	Hoja No.	Cont. de hojas		
							1:20	6	19		
Mod.	Cant.	Num.	Notific.	Firma	Fecha	GVE-01-00-02					
Dibujante	YD										
Proyectó											
Revisó											
Cont.tec.											
Cont.Nor.											
Aprobó											

Anexo



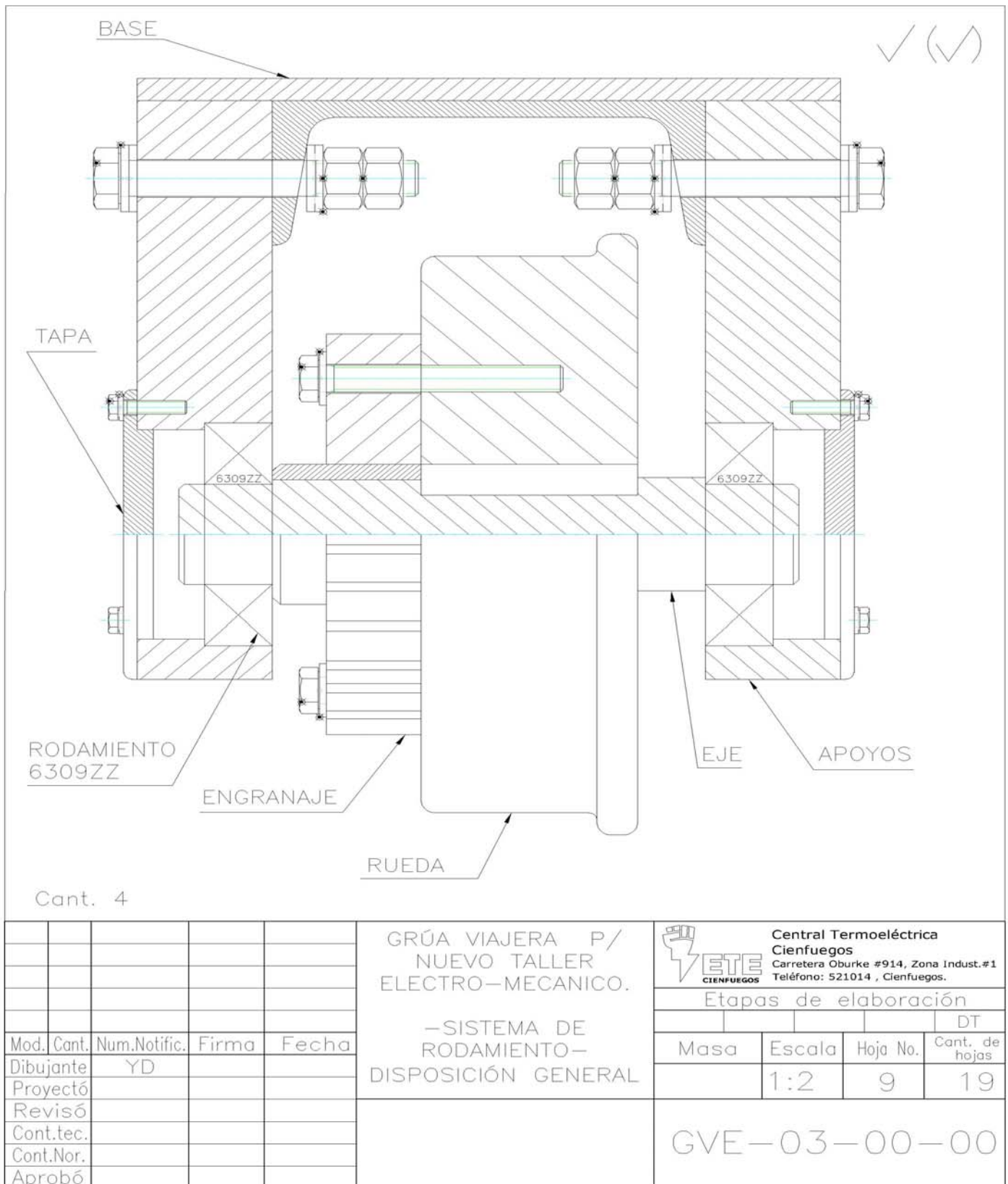
Anexo



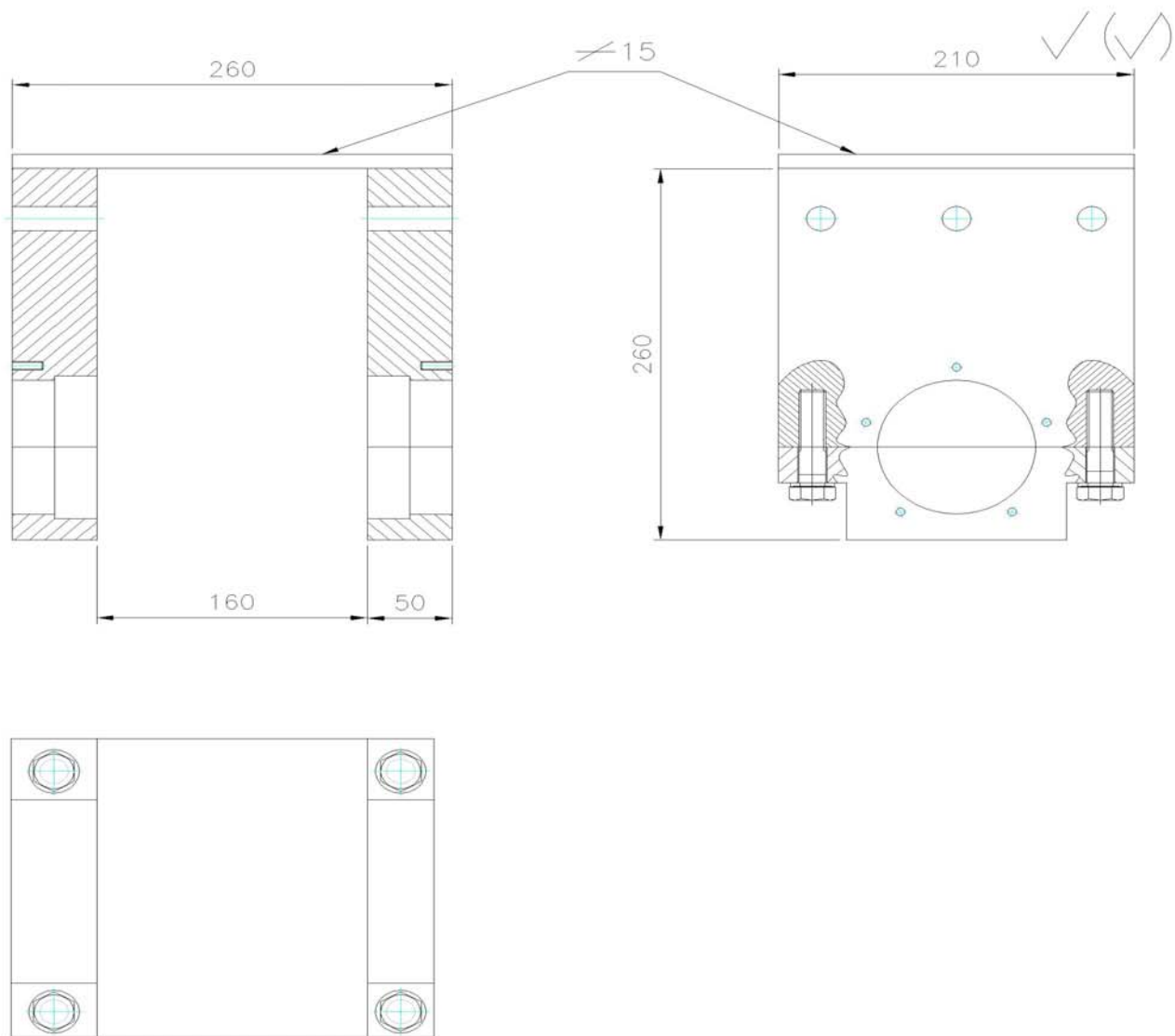
✓ (✓)

					GRÚA VIAJERA P/ NUEVO TALLER ELECTRO-MECANICO.	 Central Termoelectrica Cienfuegos Carretera Oburke #914, Zona Indust.#1 Teléfono: 521014 , Cienfuegos.			
					-PATAS- DISPOSICIÓN ELEMENTOS REFUERZO	Etapas de elaboración			
Mod.	Cant.	Num.Notific.	Firma	Fecha		DT			
Dibujante		YD				Masa	Escala	Hoja No.	Cant. de hojas
Proyectó							1:25	8	19
Revisó									
Cont.tec.						GVE-02-00-01			
Cont.Nor.									
Aprobó									

Anexo



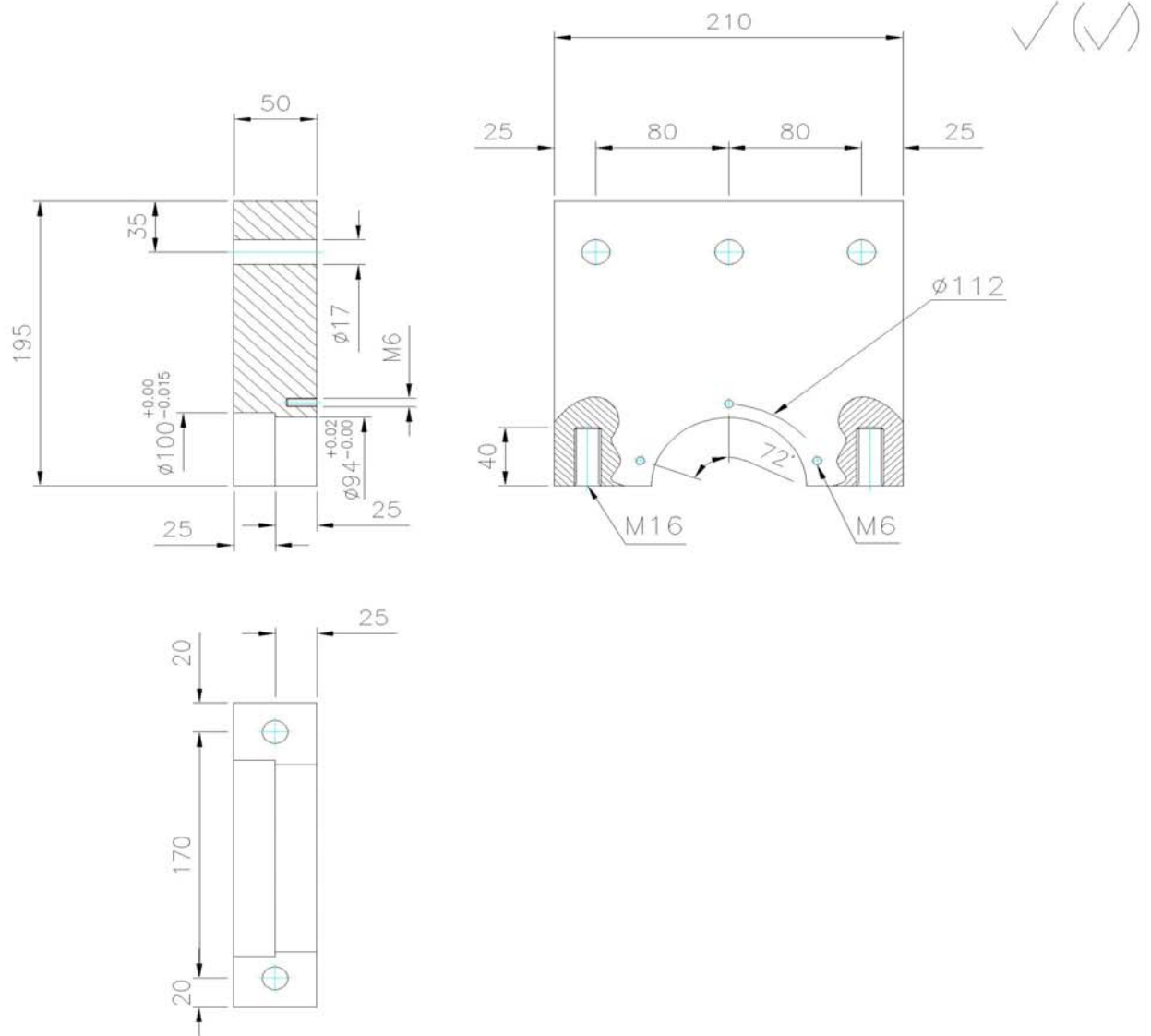
Anexo



Cant.4

					GRÚA VIAJERA P/ NUEVO TALLER ELECTRO-MECANICO.	 Central Termoeléctrica Cienfuegos Carretera Oburke #914, Zona Indust.#1 Teléfono: 521014 , Cienfuegos.	Etapas de elaboración			
										DT
							Masa	Escala	Hoja No.	Cant. de hojas
								1:4	10	19
							GVE-03-01-00			
Mod.	Cant.	Num.Notific.	Firma	Fecha	-SISTEMA DE RODAMIENTO- APOYOS					
Dibujante	YD									
Proyectó										
Revisó										
Cont.tec.										
Cont.Nor.										
Aprobó										

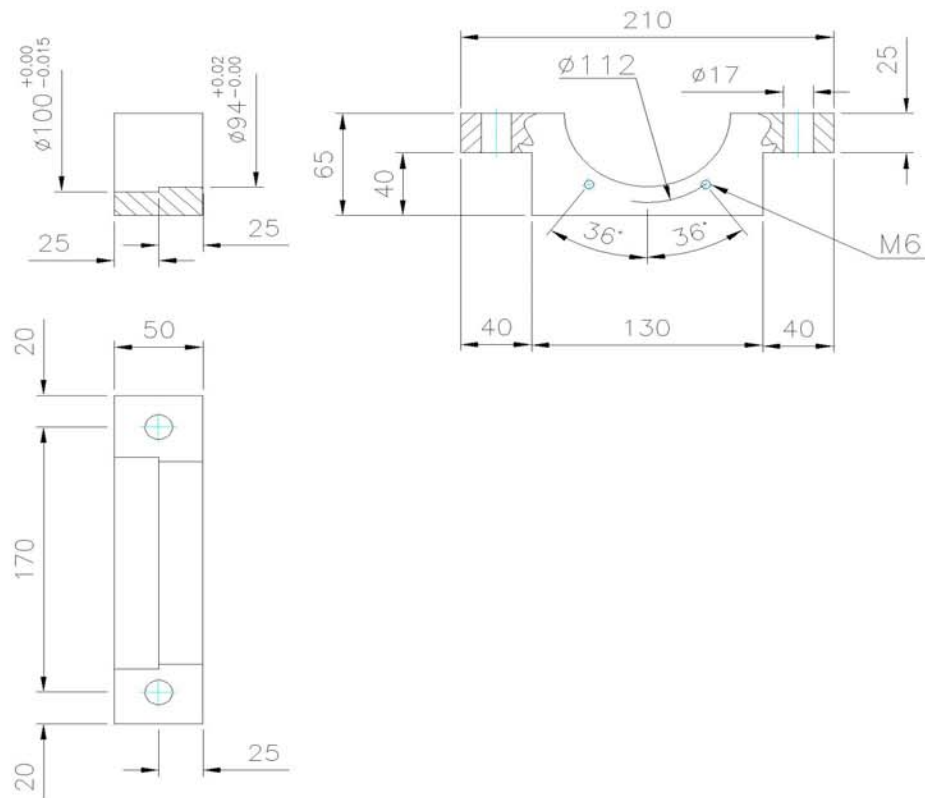
Anexo



Cant. 8

					GRÚA VIAJERA P/ NUEVO TALLER ELECTRO-MECANICO. -SISTEMA DE RODAMIENTO- APOYO SUPERIOR	Central Termoeléctrica Cienfuegos Carretera Oburke #914, Zona Indust.#1 Teléfono: 521014 , Cienfuegos.	Etapas de elaboración			DT
Mod.	Cant.	Num.Notific.	Firma	Fecha			Masa	Escala	Hoja No.	
Dibujante	YD							1:4	11	Cant. de hojas 19
Proyectó										
Revisó										
Cont.tec.										
Cont.Nor.										
Aprobó										
						GVE-03-01-01				

Anexo

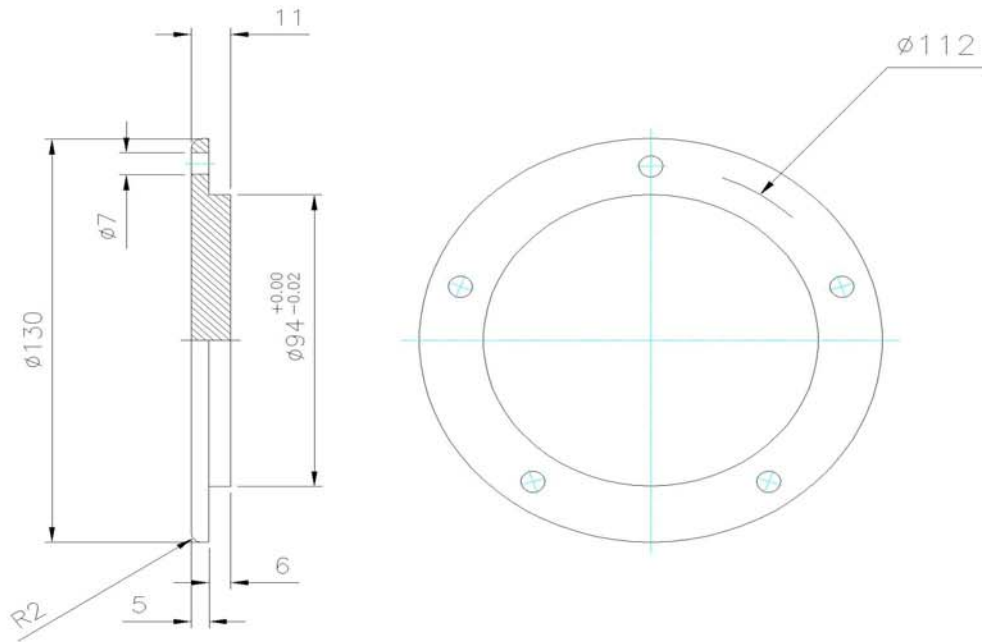


Cant. 8

					GRÚA VIAJERA P/ NUEVO TALLER ELECTRO-MECANICO.	 Central Termoeléctrica Cienfuegos Carretera Oburke #914, Zona Indust.#1 Teléfono: 521014, Cienfuegos.	Etapas de elaboración			
										DT
Mod.	Cant.	Num.Notific.	Firma	Fecha			Masa	Escala	Hoja No.	Cant. de hojas
Dibujante		YD						1:4	12	19
Proyectó					-SISTEMA DE RODAMIENTO- APOYO INFERIOR	GVE-03-01-02				
Revisó										
Cont.tec.										
Cont.Nor.										
Aprobó										

Anexo

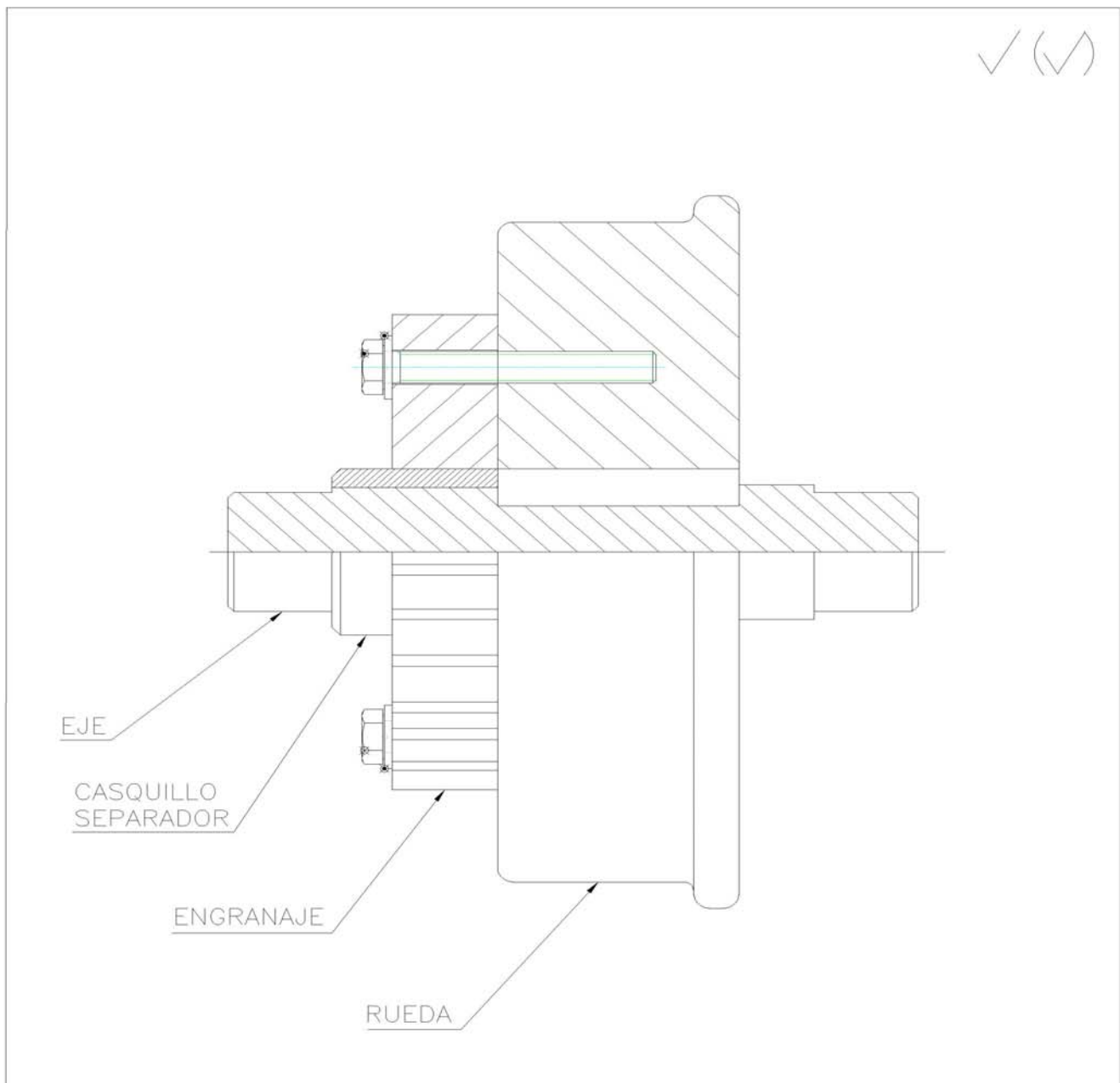
✓ (✓)



Cant. 4

					GRÚA VIAJERA P/ NUEVO TALLER ELECTRO-MECANICO.	 Central Termoeléctrica Cienfuegos Carretera Oburke #914, Zona Indust.#1 Teléfono: 521014 , Cienfuegos.	Etapas de elaboración			DT
Mod.	Cant.	Num.Notific.	Firma	Fecha	-SISTEMA DE RODAMIENTO- TAPA DE LOS APOYOS		Masa	Escala	Hoja No.	Cant. de hojas
Dibujante	YD							1:2	13	19
Proyectó										
Revisó										
Cont.tec.										
Cont.Nor.							GVE-03-01-03			
Aprobó										

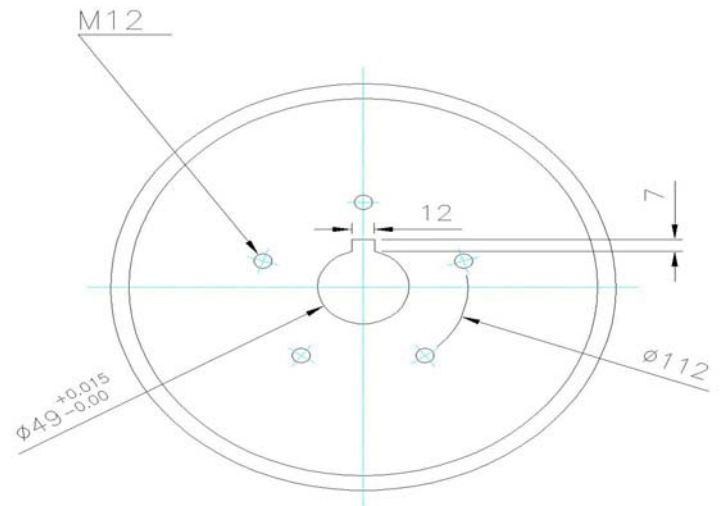
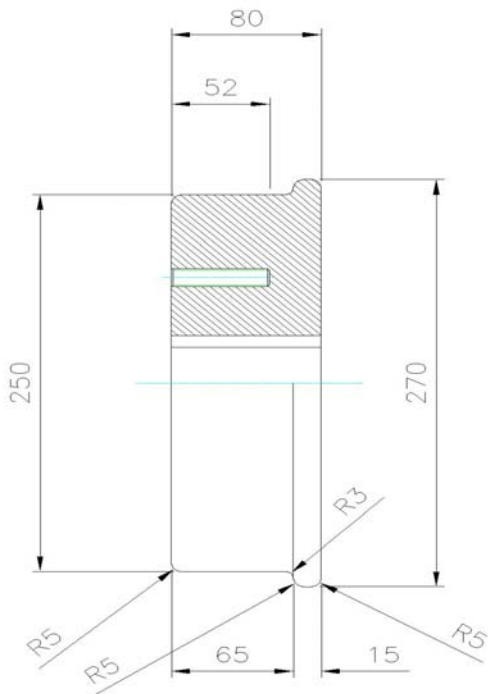
Anexo



					GRÚA VIAJERA P/ NUEVO TALLER ELECTRO-MECANICO. -SISTEMA DE RODAMIENTO- DISPOSICIÓN RUEDA	 Central Termoeléctrica Cienfuegos Carretera Oburke #914, Zona Indust.#1 Teléfono: 521014 , Cienfuegos.	Etapas de elaboración			DT
Mod.	Cant.	Num.Notific.	Firma	Fecha			Masa	Escala	Hoja No.	Cant. de hojas
Dibujante		YD						1:2	14	19
Proyectó										
Revisó						GVE-03-02-00				
Cont.tec.										
Cont.Nor.										
Aprobó										

Anexo

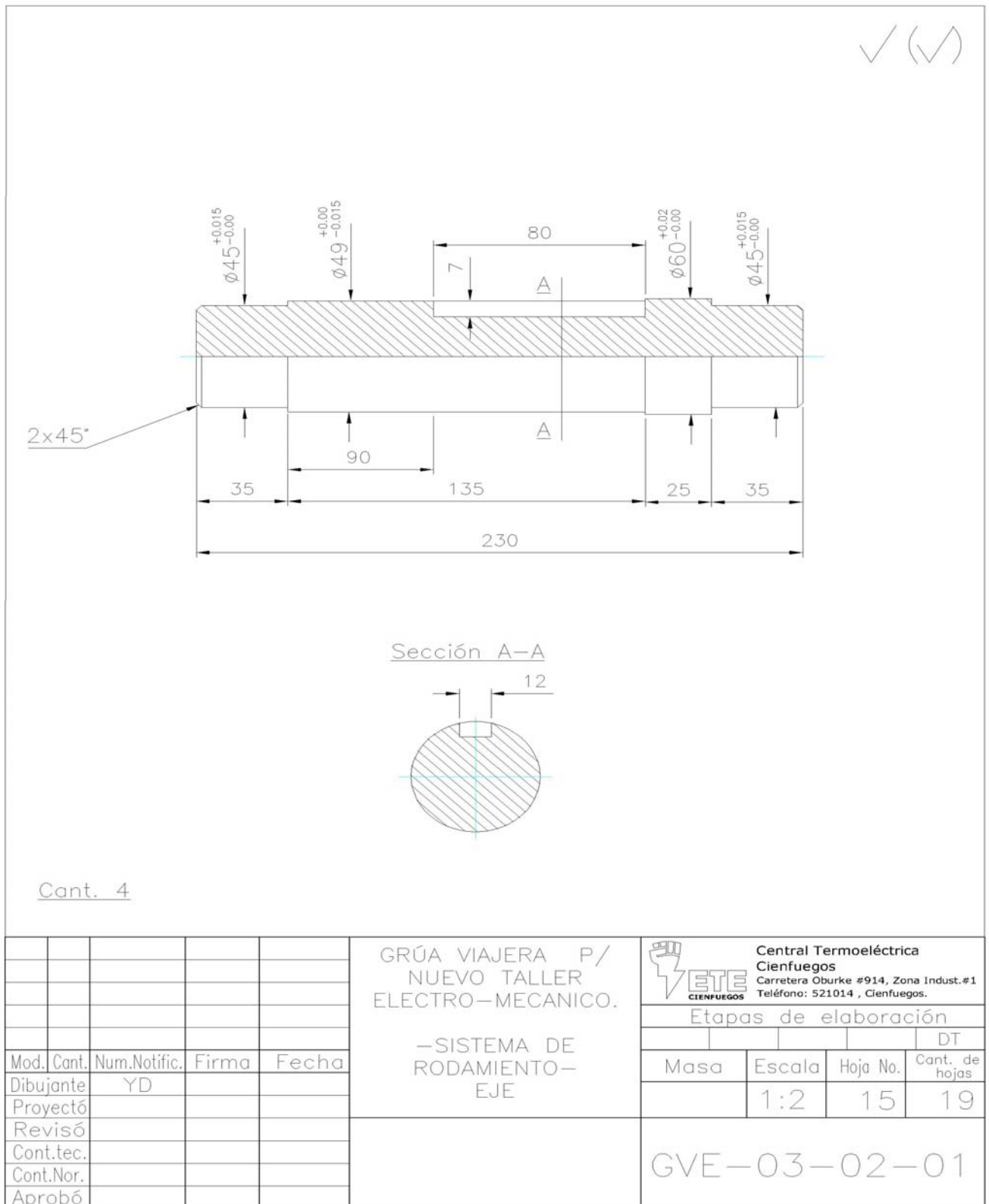
✓ (✓)



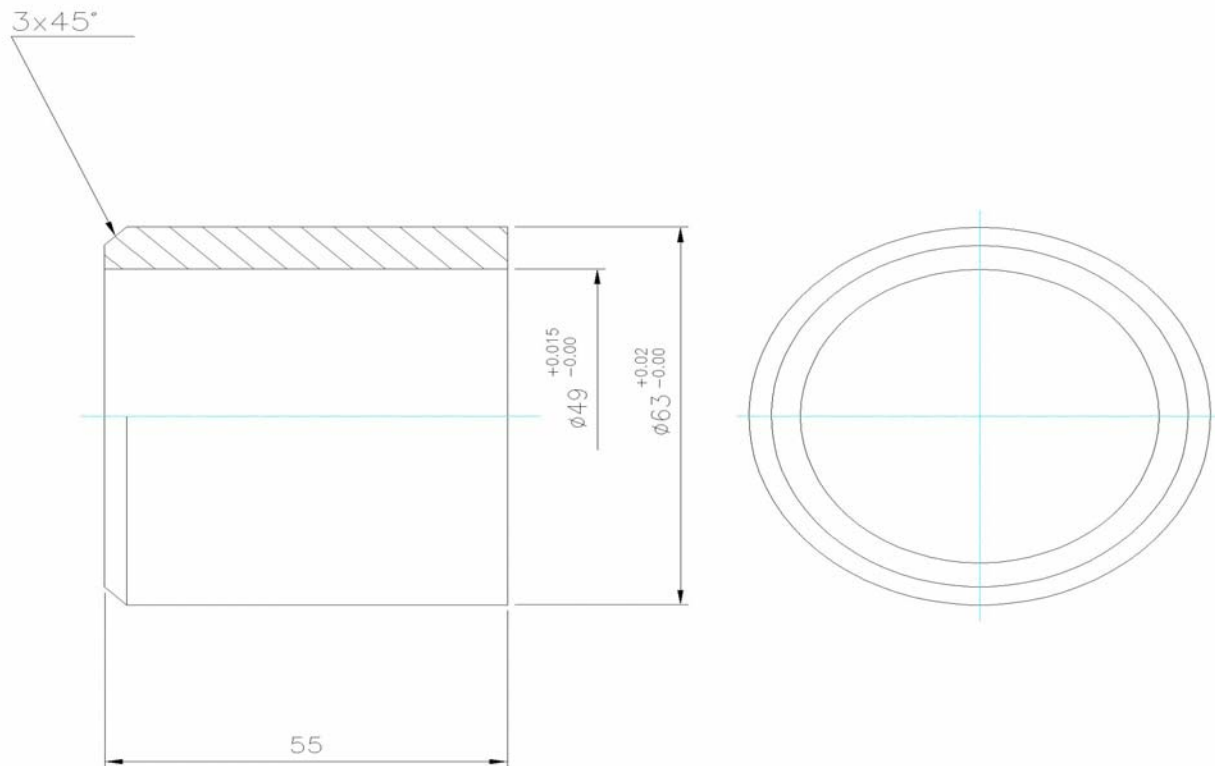
Cant. 4

					GRÚA VIAJERA P/ NUEVO TALLER ELECTRO-MECANICO.	 Central Termoeléctrica Cienfuegos Carretera Oburke #914, Zona Indust.#1 Teléfono: 521014 , Cienfuegos.	Etapas de elaboración			
										DT
							Masa	Escala	Hoja No.	Cant. de hojas
								1:4	16	19
							GVE-03-02-02			
Mod.	Cant.	Num.Notific.	Firma	Fecha	-SISTEMA DE RODAMIENTO- RUEDA					
Dibujante		YD								
Proyectó										
Revisó										
Cont.tec.										
Cont.Nor.										
Aprobó										

Anexo



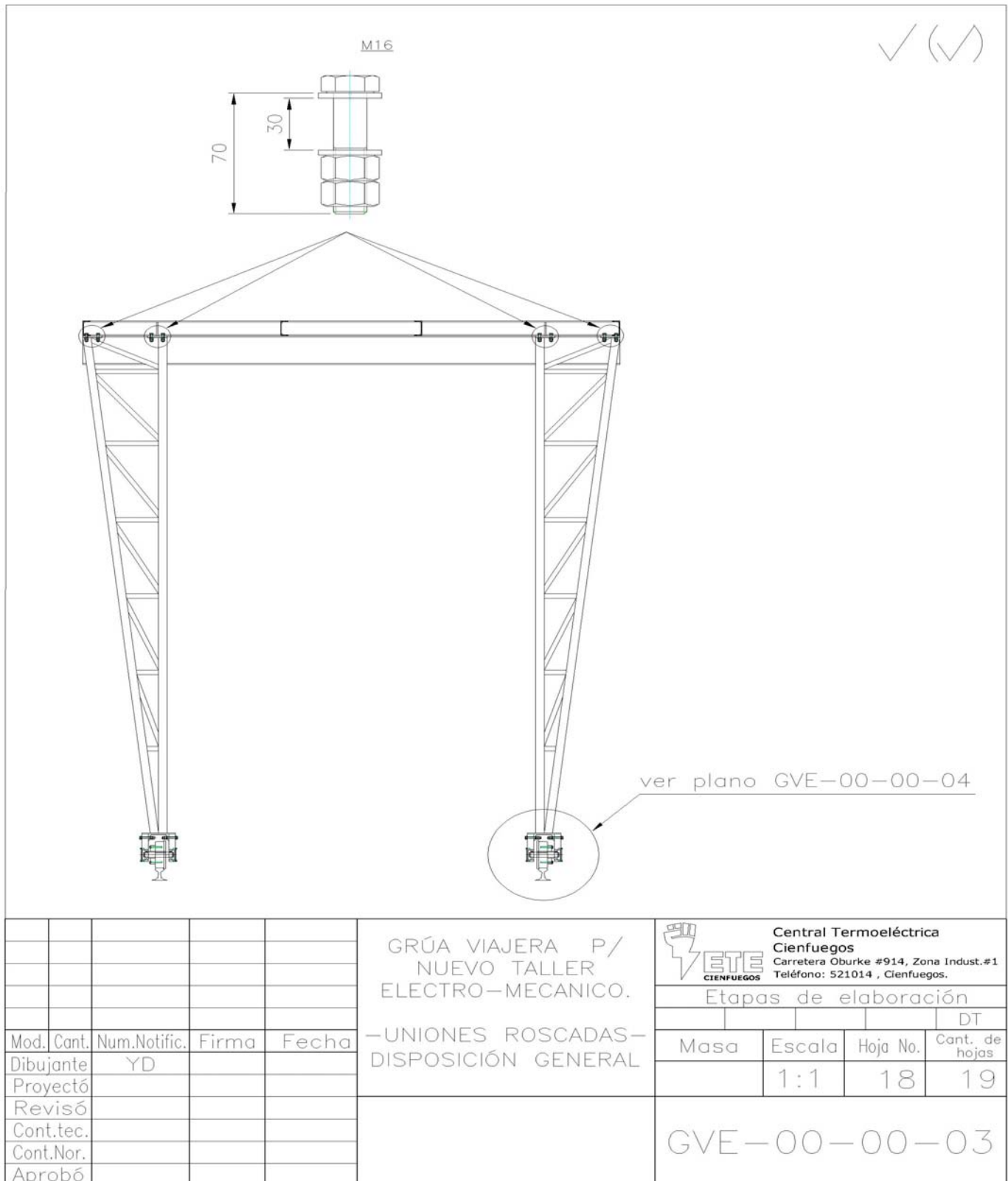
Anexo



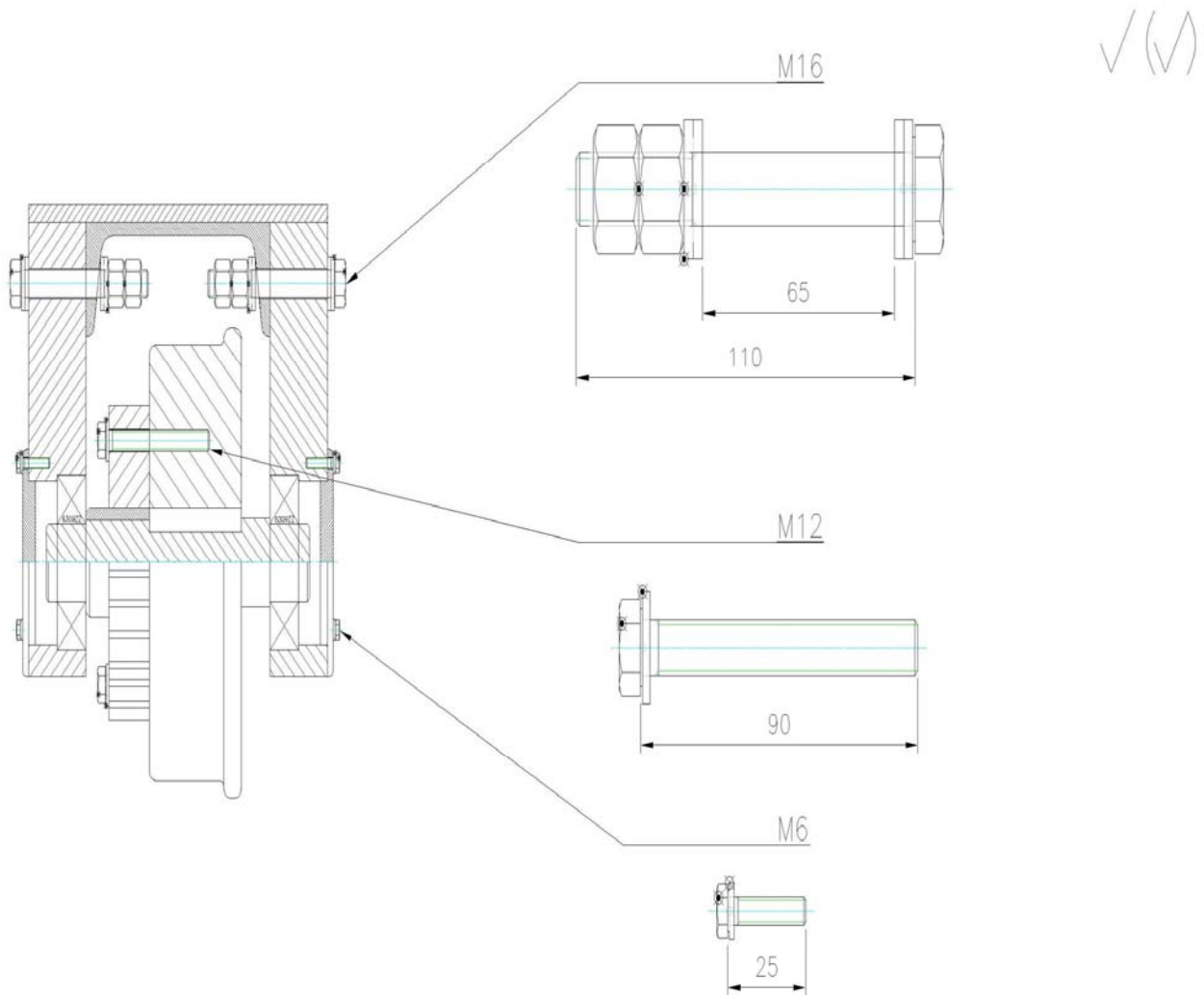
Cant. 4

					GRÚA VIAJERA P/ NUEVO TALLER ELECTRO-MECANICO.	 Central Termoeléctrica Cienfuegos Carretera Oburke #914, Zona Indust.#1 Teléfono: 521014 , Cienfuegos.			
						Etapas de elaboración			
									DT
						Masa	Escala	Hoja No.	Cant. de hojas
Mod.	Cant.	Num.Notific.	Firma	Fecha	-SISTEMA DE RODAMIENTO- CASQUILLO SEPARADOR		1:1	17	19
Dibujante	YD								
Proyectó									
Revisó									
Cont.tec.									
Cont.Nor.						GVE-03-02-03			
Aprobó									

Anexo



Anexo



					GRÚA VIAJERA P/ NUEVO TALLER ELECTRO-MECANICO.	 Central Termoeléctrica Cienfuegos Carretera Oburke #914, Zona Indust.#1 Teléfono: 521014 , Cienfuegos.			
						Etapas de elaboración			
									DT
						Masa	Escala	Hoja No.	Cant. de hojas
Mod.	Cant.	Num.Notific.	Firma	Fecha	-UIONES ROSCADAS- DISPOSICIÓN GENERAL		1:25	19	19
Dibujante		YD							
Proyectó									
Revisó									
Cont.tec.									
Cont.Nor.									
Aprobó						GVE-00-00-04			