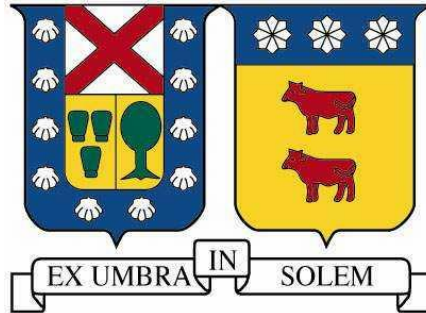


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE**



**“DISEÑAR UN PUENTE GRÚA PARA MONTAJE Y DESMONTAJE
DE BOMBAS EN PLANTA DE ELEVACIÓN DE AGUAS SERVIDAS.”**

JAVIER ALEJANDRO JARA SANDOVAL

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

**PROFESOR GUÍA: ING. RAFAEL MENA YANSSEN
PROFESOR CORREFERENTE: ING. HUMBERTO MIRANDA VIVANCO**

ENERO 2020

I. RESUMEN

El presente trabajo de título expone el diseño de un puente grúa para el montaje y desmontaje de bombas instaladas en el subsuelo de una estación elevadora de aguas servidas que es propiedad de una empresa sanitaria.

Dentro del programa de crecimiento y mejora que la empresa sanitaria compromete a la Superintendencia de Servicios Sanitarios se contempla la modernización de la estación elevadora de aguas servidas a través de, entre otras mejoras, el reemplazo de las bombas de elevación de las aguas por unas que posean una mayor capacidad de elevación. Las nuevas bombas poseen un peso y dimensiones mayores a las existentes, superando la capacidad del puente grúa encargado del montaje de éstas. Entonces, se requiere también el reemplazo de dicha instalación.

Este trabajo se encarga, dentro del área de la ingeniería mecánica, de dar una solución para el reemplazo del puente grúa bajo las restricciones espaciales que presenta el recinto donde está instalado. Generando un diseño funcional que satisface el objetivo considerando todas las condiciones existentes.

El diseño propuesto y el cálculo de los componentes estructurales y mecánicos del puente grúa se realiza mediante una metodología que comienza con un estudio previo de la normativa, legalidad, y códigos de diseño que permitan establecer algunas disposiciones mínimas que deba cumplir la resistencia del puente grúa diseñado de acuerdo a las solicitudes sobre éste.

Además, se presenta un análisis de los costos asociados a su implementación. Se presentan planos para fabricación y montaje. Se expone una propuesta de guía metodológica para el diseño de un puente grúa de características similares al presentado. Y, finalmente, se expone una propuesta de procedimiento de izaje que permita mantener la seguridad de las bombas, de la instalación y los operarios involucrados en el izaje.

II. ABSTRACT

The present work exposes the design of a bridge crane for assembly and disassembly of pumps installed in the subsoil of a sewage impeller station, owned by a sanitary company

In the growth and improvement program that this sanitary company commits to the Superintendence of Sanitary Services, it is contemplated the modernization of the sewage impeller station through replacement of the pumps having a greater capacity of elevation. The new pumps have a greater weight and dimensions than the old ones. It exceeds the lifting capacity of the bridge crane used for the assembly of them.

This work provides a solution for the replacement of the bridge crane subject the spatial restrictions that the enclosure where it is installed presents. This work generates a functional design that satisfies the objective, considering every condition presented there.

The design here proposed and calculation of the structural and mechanical components of the bridge crane are realized through a methodology that begins with a previous study of standards, legality and design codes that allow to establish minimum requirements for the resistance of the bridge cranes designed that it must satisfy according to the stress on it.

In addition, this work exposes an analysis of the costs associated with the implementation of the bridge crane. It presents manufacturing and assembly planimetry. It exposes a proposal of a methodological design guide of a bridge crane with similar characteristics. And, finally, a proposal of lifting procedure that allows to keep the safety of the pumps, the installation and the operators involved in the lifting.

III. ÍNDICE

I. RESUMEN.....	2
II. ABSTRACT.....	3
III. ÍNDICE.....	4
IV. GLOSARIO.....	10
V. INTRODUCCIÓN.....	13
VI. OBJETIVOS.....	14
VII. DESARROLLO.....	15
1. ESTADO DEL ARTE.....	15
1.1. Antecedentes Generales.....	15
1.2. Marco Teórico.....	17
1.2.1. Historia.....	17
1.2.2. La grúa.....	21
1.2.3. Puente grúa.....	21
1.2.4. El puente grúa y sus componentes.....	23
1.3. Legislación, Normativa y Códigos Aplicables.....	26
2. ESTUDIO PRELIMINAR.....	29
2.1. Identificación de Disposiciones para el Diseño de un Puente Grúa.....	29
2.2. Estudio de las Disposiciones para el Diseño del Puente Grúa.....	31
2.2.1. Clasificación de la grúa.....	31
2.2.2. Consideración de la fatiga.....	33
2.2.3. Combinación de cargas.....	35
2.2.4. Diseño de la viga carrilera.....	37
2.2.5. Diseño de la viga puente.....	45
2.2.6. Diseño de columnas.....	45
2.2.7. Diseño de ménsulas.....	46

2.2.8.	Especificaciones para materiales.....	48
3.	SITUACIÓN ACTUAL	49
3.1.	Reemplazo de Bombas de Elevación de Aguas Servidas.....	49
3.2.	Características de la Instalación y de la Carga a Izar	49
4.	DISEÑO DEL PUENTE GRÚA	55
4.1.	Propuesta de Diseño del Puente Grúa	55
4.2.	Fabricación del Puente Grúa	60
4.2.1.	Equipos.....	60
4.2.2.	Materiales	62
4.2.3.	Montaje	63
4.3.	Verificación de la Resistencia de los Elementos del Puente Grúa	68
4.3.1.	Clasificación de la grúa	69
4.3.2.	Verificación de los elementos estructurales y mecánicos	69
4.3.3.	Verificación de las uniones de los elementos estructurales y mecánicos.....	78
5.	VALIDACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN	86
5.1.	Costo de la Implementación del Puente Grúa	86
5.1.1.	Costo de los equipos.....	87
5.1.2.	Costo de los materiales.....	87
5.1.3.	Costo de la mano de obra	88
5.2.	Gasto Asociado a Multas.....	89
6.	DESARROLLO DE PLANOS DE FABRICACIÓN	91
7.	PROPUESTA DE GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE UN PUENTE GRÚA DE CARACTERÍSTICAS SIMILARES.....	101
7.1.	Desarrollo Previo.....	101
7.1.1.	Requerimientos.....	101
7.1.2.	Selección de equipos para izaje.....	101
7.1.3.	Dimensiones principales	102
7.1.4.	Fatiga.....	103

7.1.5. Diseño de elementos estructurales	105
7.2. Guía para el diseño de un puente grúa similar	114
8. PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO DE IZAJE SEGURO	117
VIII.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
IX. REFERENCIAS	127
X. ANEXOS	128
ANEXO 1	128
ANEXO 2	130
ANEXO 3	135
ANEXO 4	138
ANEXO 5	163

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de la red de aguas servidas en la zona donde se encuentra la EEAS.....	17
Figura 1.2 Representación de un puente grúa.	21
Figura 1.3 Representación de una grúa pórtico.....	22
Figura 1.4 Representación de una grúa semi-pórtico.....	22
Figura 1.5 Representación de una grúa ménsula.....	23
Figura 1.6 Representación de una grúa de brazo giratorio.....	23
Figura 1.7 Mecanismo de elevación: (de izquierda a derecha), polipasto con bastidor para viga doble, polipasto para viga simple y tecla para viga simple.....	24
Figura 1.8 Puente: Viga simple, viga doble y viga en celosía (de arriba abajo).	25
Figura 1.9 Par de vigas testeras con sus respectivos mecanismos de traslación.	26
Figura 1.10 Viga carrilera sin y con riel guía.....	26
Figura 2.1 Esquema de soldadura.	34
Figura 2.2 Gráfico comparativo de esfuerzos admisibles obtenidos de los métodos ASD y LRFD.40	
Figura 2.3 Efecto de pandeo local del ala superior de la viga en flexión.....	41
Figura 2.4 Efecto de pandeo del alma de la viga sometida a compresión local.	41

Figura 2.5 Efecto de pandeo lateral-torsional de la viga carrilera debido a la flexión.....	42
Figura 3.1 Esquema del espacio físico donde se debe montar la bomba elevadora.....	50
Figura 3.2 Bomba elevadora de aguas servidas.....	51
Figura 3.3 Dimensiones generales máximas que el recinto permite para el puente grúa.....	53
Figura 3.4 Movimientos para la traslación y descenso, o ascenso, de la bomba.....	54
Figura 4.1 Puente, puente principal más puente de elevación auxiliar.....	56
Figura 4.2 Propuesta de diseño del puente grúa.....	57
Figura 4.3 Detalle del puente principal.....	58
Figura 4.4 Detalle del puente auxiliar.....	59
Figura 4.5 Tecele eléctrico de 5 toneladas con carrillo eléctrico.....	60
Figura 4.6 Carrillo manual sin cadena de 5 toneladas.....	61
Figura 4.7 Tecele eléctrico de 3 toneladas con carrillo eléctrico.....	61
Figura 4.8 Carrillo manual con cadena de 5 toneladas.....	62
Figura 4.9 Fabricación de la estructura – levantamiento de columnas.....	64
Figura 4.10 Fabricación de la estructura – montaje viga de apoyo.....	64
Figura 4.11 Fabricación de la estructura – montaje vigas carrileras.....	65
Figura 4.12 Fabricación de la estructura – montaje riostras.....	65
Figura 4.13 Armado de la viga puente principal.....	66
Figura 4.14 Armado de la viga puente auxiliar.....	66
Figura 4.15 Montaje viga puente principal y auxiliar.....	67
Figura 4.16 Unión puente principal y auxiliar.....	67
Figura 4.17 Equivalencia de las solicitaciones en la viga carrilera.....	70
Figura 4.18 Equivalencia de las solicitaciones sobre las vigas puentes principal y auxiliar.....	73
Figura 4.19 Solicitaciones sobre las columnas delanteras y traseras.....	75
Figura 4.20 Método de determinación de los momentos flectores en las columnas.....	76
Figura 4.21 Método de determinación de los momentos flectores en la viga de apoyo.....	77
Figura 4.22 Esquema de solicitaciones en la soldadura.....	78
Figura 4.23 Esquema de solicitaciones en la soldadura.....	79

Figura 4.24 Esquema de solicitaciones en la soldadura.	80
Figura 4.25 Esquema de solicitaciones en la soldadura.	81
Figura 4.26 Esquema de solicitaciones en la soldadura.	82
Figura 4.27 Esquema de solicitaciones en los elementos de suspensión.	83
Figura 7.1 Longitudes de elevación y traslación requeridas, y longitudes estructurales.....	103
Figura 7.2 Rango de esfuerzos debido a la aplicación de cargas cíclicas sobre los elementos del puente grúa.	104
Figura 7.3 Equivalencia de la aplicación de una carga excéntrica sobre una ménsula emperrada a una columna.	109
Figura 7.4 Momento debido a la aplicación de una carga en un punto determinado de una viga entre dos columnas.....	111
Figura 7.5 Ménsula.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Proyecciones de aumento de caudal a elevar.	16
Tabla 2.1 Clasificación de la grúa según CMAA Specification N°74-2010 Specification for Top Running & Under Running Single Girder Electric Traveling Cranes Utilizing Under Running trolley Hoist	32
Tabla 2.2 Carga de impacto vertical según ASCE/SEI 7-05 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.....	36
Tabla 2.3 Factores de carga para miembros sometidos a distintas solicitaciones, según método ASD y LRFD.....	40
Tabla 3.1 Características físicas de importancia de la bomba.	50
Tabla 4.1 Detalle de los elementos del conjunto puente grúa (respecto a Figura 4.2).	57
Tabla 4.2 Detalle de los elementos del conjunto puente principal (respecto a Figura 4.3).	58
Tabla 4.3 Detalle de los elementos del conjunto puente auxiliar (respecto a Figura 4.4).	59
Tabla 4.4 Listado de materiales de acero para la fabricación del puente grúa.	62
Tabla 4.5 Detalle de las soldaduras para el montaje de puente grúa.	68
Tabla 4.6 Pesos de los elementos sobre la viga carrilera.	70
Tabla 5.1 Tabla 5.1: Costo de los equipos comerciales para el puente grúa.	87

Tabla 5.2 Costo del material utilizado para la fabricación de puente grúa.	87
Tabla 5.3 Carta Gantt del proceso de fabricación y montaje del puente grúa, y personal y HH involucrados.	88
Tabla 7.1 Requerimientos para el puente grúa solicitado.	101
Tabla 7.2 Rango de esfuerzos admisibles para elementos principales del puente grúa.	104
Tabla 7.3 Esfuerzos admisibles para tipos de soldadura y solicitaciones.	114

IV. GLOSARIO

Aguas servidas

Son aguas residuales domésticas y que son resultado de las actividades cotidianas de las personas.

Bomba elevadora

Bomba destinada a elevar un fluido a cierta altura o enviarlo con mayor presión hacia algún ducto. Se emplea en obras sanitarias cuando se desea recuperar el agua residual por debajo del nivel de la red.

Carro de desplazamiento

Es un mecanismo que consta de un armazón, ruedas, rodamientos y ángulos que sostienen las vigas del puente o al cual se monta el mecanismo de elevación para su desplazamiento a través de la viga puente.

EEAS

Estación elevadora de aguas servidas. Consta principalmente de bombas elevadoras de aguas servidas.

Emisario

Ducto utilizado para evacuar las aguas servidas, provenientes desde una población o una planta de tratamiento, hacia un río o el mar.

Esfuerzo admisible

Esfuerzo máximo al que puede ser sometido un material para asegurar su desempeño en condiciones establecidas.

Fatiga

Proceso de daño que se produce en un elemento cuando se ve sometido a a cargas variables, repetitivas, alternantes o fluctuantes.

Factor de seguridad

Relación entre el esfuerzo real y el esfuerzo máximo admisible para un elemento o arreglo de elementos sometido a ciertas sollicitaciones.

Flexión

Solicitud que se presenta cuando un elemento está sometido a una fuerza perpendicular a su eje longitudinal y paralelo a su sección transversal, provoca la deflexión del elemento.

Golpe de ariete

Fenómeno hidráulico de corta duración producido por exceso de velocidad o presión en un ducto que provoca daños en éste si no está capacitado para resistir las condiciones mencionadas.

Grúa

Una máquina para elevar y descender una carga y moverla horizontalmente, con el mecanismo de elevación como parte integral de la máquina.

Izaje

Operación de elevación, descenso y traslación de una carga mediante un mecanismo.

Ménsula

Elemento de una estructura metálica que sobresale de un plano vertical y que de soporte o apoyo para una viga.

Norma

Documento de especificaciones técnicas cuya aplicación no es obligatoria, establecida con la participación de todas las partes interesadas y que aprueba un organismo de normalización.

Pandeo

Solicitud de carácter compresivo en un elemento largo y delgado que provoca la deflexión de éste.

Polipasto

Unidad mecánica que es usada para elevar o descender una carga libremente suspendida (no guiada).

Procedimiento

Forma específica de llevar a cabo una actividad o proceso.

Puente grúa

Grúa que consiste de una o más vigas, carro de traslación, tirantes de extremo, pasillos y mecanismos de manejo que transportan el carro.

Puente auxiliar

Viga puente que es parte de un puente grúa utilizado para la elevación suplementaria generalmente de menor rango de carga y mayor velocidad que el puente principal.

Puente principal

Viga puente que es parte de un puente grúa utilizado para la elevación o descenso de una carga.

Torsión

Solicitud que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento y perpendicular a su sección transversal, que provoca que el elemento se tuerza.

V. INTRODUCCIÓN

El aumento de la densidad demográfica en zonas urbanas ha llevado a las empresas sanitarias a ampliar la capacidad de sus instalaciones que se encargan del suministro de agua potable y a la vez de retirar las aguas servidas.

Este trabajo se enmarca en la necesidad de modificar las instalaciones que se encargan de transportar las aguas servidas a plantas de tratamiento o a instalaciones de descarga a emisarios submarinos. Principalmente estas modificaciones corresponden al reemplazo de las bombas elevadoras de aguas servidas por unas de mayor capacidad en cuando al caudal de elevación. En la mayoría o casi todos los casos, estos nuevos equipos son más pesados y sus dimensiones son mayores que las de los existentes.

Las instalaciones cuentan con un mecanismo de izaje que permita montar y desmontar las bombas de acuerdo con los períodos de mantenimiento.

Debido a que no es muy habitual que las empresas sanitarias construyan sus instalaciones contemplando desde un principio el mecanismo de izaje acorde a los requerimientos actuales y futuros, es que el reemplazo de estas bombas requiere también el reemplazo este mecanismo.

Una estación elevadora de aguas servidas en particular se encuentra en la situación expresada. Se requiere un reemplazo de las bombas elevadoras que tienen mayor peso y dimensiones que las existentes pero que el puente grúa utilizado para el montaje no posee la capacidad para realizar el izaje.

En vista de la situación que se expone, el presente trabajo plantea el diseño de un puente grúa que permita realizar las maniobras de izaje de las bombas teniendo en cuenta las limitaciones que el presenta el recinto donde se encuentran instaladas. Además, se abarca otras áreas implicadas en la instalación del puente y que son de importancia. Como el análisis de los costos asociados a su construcción y montaje, la metodología de diseño y la seguridad en su utilización, entre otras que permiten al ingeniero a cargo de la implementación de un puente grúa realizar la tarea con éxito.

VI. OBJETIVOS

1. Objetivo General

Diseñar un puente grúa y procedimiento de izaje seguro de bombas de elevación de aguas servidas que cumpla con estándares y normativas aplicables.

2. Objetivos Específicos

- Diseñar estructura y carro de un puente grúa.
- Realizar análisis estructural del puente grúa.
- Validación técnico-económica del proyecto.
- Desarrollar guía metodológica para el diseño de un puente grúa de características similares.
- Desarrollar procedimiento y maniobras para izaje seguro bajo normativa y legislación aplicable.
- Desarrollar planos de fabricación de piezas y partes del sistema.

VII. DESARROLLO

1. ESTADO DEL ARTE

1.1. Antecedentes Generales

Las proyecciones demográficas de la zona donde se encuentra emplazada la estación elevadora de aguas servidas han provocado un aumento de los caudales que la estación requiere elevar hacia la instalación encargada de descargar las aguas servidas a través de un emisario submarino.

La estación cuenta con un conjunto de bombas elevadoras de aguas servidas. El caudal elevado es recibido por otra estación que descarga dichas aguas a un emisario submarino.

Las bombas existentes funcionan de tal modo que se acumula una cantidad importante de agua al momento de ser elevada, pasando por períodos en el que el caudal elevado es casi nulo. Por lo tanto, se generan peaks de caudal elevado traducidos en golpes de ariete en la instalación que recibe el agua, pudiendo causarle severos daños. Estos daños culminan en el derramae de las aguas servidas en la instalación y sus alrededores. Dada la gravedad de esta situación, es que se debe impedir que ocurra a toda costa.

Dentro del plan de mejora de la estación se contempla el reemplazo de las bombas existentes. Los nuevos equipos están gobernados por sistemas electrónicos que incluyen un variador de frecuencia para el motor de las bombas. Esto permite que el caudal elevado por la bomba se adecúe a la cantidad de agua disponible en la instalación, eliminando así los peaks mencionados y por ende el golpe de ariete. De esta manera se evitan los daños derivados de estos factores.

Los nuevos equipos a instalar poseen mayores dimensiones y mayor peso que las existentes. Se observa además que el puente grúa utilizado para el montaje y desmontaje de las bombas existentes no tiene la capacidad para realizar esta tarea con las nuevas bombas. Por lo que el plan de mejora debe incluir la implementación de un puente grúa que satisfaga los requerimientos actuales.

A continuación, presenta una tabla con las proyecciones de la empresa sanitaria propietaria de la estación de aguas servidas respecto a los caudales requeridos para su tratamiento al año 2023.

Tabla 1.1 Proyecciones de aumento de caudal a elevar.

Parámetros de Diseño	Datos actuales sept. 2010	Diseño año 2023
Caudal máximo puntual (l/s):	72	212
Caudal medio (l/s)	49	107
Población tratamiento (hab.)	11.126	77.297

Posterior a la adquisición de las bombas elevadoras de aguas servidas, ocurre un evento en el que las instalaciones receptoras de las aguas se ven dañadas producto del golpe de ariete que generan los peaks de caudal recibido. Este evento culmina con el derrame de aguas servidas sobre lugares públicos, pudiendo afectar la salud de los pobladores.

Ante esto, se da carácter de urgente al reemplazo del puente grúa ubicado en la estación elevadora de aguas servidas para así dar paso al montaje de las bombas adquiridas y así evitar futuros daños en las instalaciones de la empresa.

La Figura 1.1 muestra un esquema de la red de recolección de aguas servidas para terminar descargadas en un emisario submarino. El rectángulo de mayor tamaño encierra la estación elevadora de aguas servidas donde se encuentra el puente grúa que es objeto del presente trabajo. El rectángulo pequeño encierra las instalaciones hidráulicas que reciben el caudal de aguas servidas elevadas.

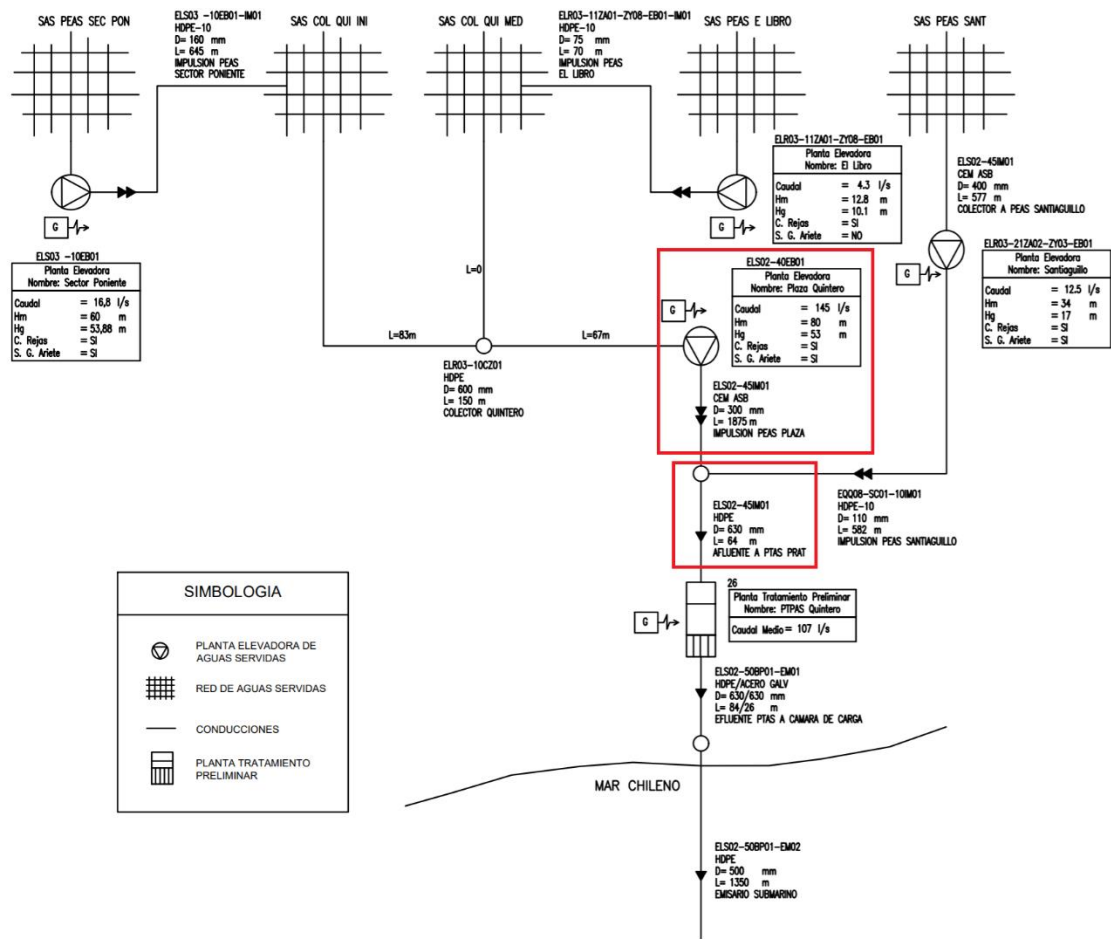


Figura 1.1 Esquema de la red de aguas servidas en la zona donde se encuentra la EEAS.

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Historia

La historia de lo que en la actualidad se conoce como grúas, en su amplio espectro, se remonta a la antigüedad, para ser más precisos al siglo XXII a.C. desde dónde se puede obtener indicios o registros de la utilización de los primeros medios para transportar y elevar cargas. Durante el período señalado los medios en cuestión fueron prácticamente palancas, rodillos y planos inclinados, presentes en la construcción de pirámides en Egipto, para la elevación de agua en China e India, a modo de ejemplos. Estos medios requirieron un alto número de personas para la realización de las tareas de elevación y transporte. Lo cual se mantendría durante un largo período de la historia.

Más adelante, en la antigüedad todavía, un hecho de bastante importancia fue la aparición de la polea, situando su concepción en Grecia en el siglo VII a.C. Sus primeras

aplicaciones abarcan principalmente la elevación de cargas, en la navegación y el descenso de personas dentro del escenarios de los teatros.

Otro elemento de gran importancia, el tambor de enrollamiento, hace su aparición en Grecia en el siglo V a.C. y consigo, las primeras instalaciones de elevación. En éstas se amarraba la carga a una soga, la cual pasaba por una polea dispuesta en un nivel superior y terminaba en un tambor de enrollamiento manual, en aquel entonces, sin ningún método de guiado.

En el siglo III a.C. Arquímedes utiliza las primeras combinaciones de poleas, sistemas de triple polea para ser más preciso, en transporte de barcos en tierra adentro.

El romano Marco Vitruvio, en el siglo I a.C. hace su contribución al izaje con la implementación de los primeros winches manuales gracias a la combinación de engranajes y un tornillo sinfín. Permitiendo así, la elevación de cargas con un reducido esfuerzo manual. Durante esta época, en el siglo I d.C., Hero introduce a las técnicas de elevación concebidas por Vitruvio, unos sistemas de pasadores que permitían mantener la carga suspendida sin necesidad de mantener la tensión sobre la cuerda utilizada en el levante.

Tras las ideas de Hero, existe un largo período en la historia de la grúa en que solo se aplican los principios ya conocidos, pero no se realizan aportes significativos.

Ya en la edad media, en el siglo XII d.C., el desarrollo de la navegación, el comercio, la industria y la minería requirió aparatos que elevaran y transportaran cargas considerables de una manera estable y potente. En consistencia con lo anterior, las primeras grúas se construyeron a orillas de mar y ríos. Los materiales utilizados fueron madera y acero, este último únicamente para la fabricación de ejes y ganchos.

Un aspecto a destacar es el aumento de la seguridad en los nuevos aparatos implementados en comparación con el clásico mecanismo de elevación manual.

En congruencia con lo anterior, destaca la implementación de grúas constituidas por una columna y una viga en voladizo y grúas de columna giratoria, principalmente para la actividad portuaria. Además, la utilización de la hidráulica como elemento tractor sustituyó la fuerza o el peso humano. Sin embargo, comenzó a existir preocupación por el rendimiento de las máquinas de elevación.

Esta preocupación llevó a da Vinci a realizar mejoras, inventando así la primera grúa móvil para la elevación y transporte de bloques de piedra. Este personaje expresó en sus

notas una serie de reflexiones sobre problemas de fricción, transformación de movimiento, reducción y aumento de potencia, problemas de tensión y deformación de materiales, entre otros. Los que, a lo largo de la historia, se volvieron a plantear, se analizaron y solucionaron.

En el siglo XV, un aparato importante a considerar es la grúa de Trier, la cual consiste en una columna de madera que lleva en la parte superior otras dos vigas horizontales también de madera contrabalanceadas mutuamente por dos riostras de hierro. La columna lleva en su base una espiga de hierro y se apoyan en un tejuelo también de hierro. La cadena se enrolla de un tambor soportado por la columna.

Durante los siglos XVIII y XIX el aumento de las capacidades tecnológicas permitieron notables avances en las grúas. Los procesos de fundición permitieron la fabricación de piezas y elemento anteriormente inconcebibles, generando el reemplazo total de la madera para dar paso a equipos construidos totalmente de hierro y acero. También se reemplazó el aceite utilizado para reducir la fricción entre elementos por casquillos de bronce, aumentando así el rendimiento de la transmisión. Se implementan carriles de rodadura en base a ruedas metálicas sobre rieles, elevando la estabilidad de las grúas y alargando la vida útil de los elementos de rodado en cuestión.

En el año 1860 se fabrica la primera grúa a vapor. El ser humano pasaba de ser el agente tractor o productor de energía a un agente auxiliar de la máquina.

A partir del año 1881 se comienza a aplicar la electricidad, descubierta en el siglo XVIII, en los aparatos de elevación.

La introducción de motores de gran potencia para la época, como los son los a vapor y eléctricos, trajo consigo una serie de problemas relacionados con la reciente aplicación de éstos. Es por eso que en el año 1889 se lleva a cabo el Congreso de París, en el cual distintos técnicos alrededor de Europa se reúnen para buscar una cooperación internacional y así dar solución a las problemáticas citadas. Dentro de las contribuciones se destacan, además de la construcción de grúas de gran capacidad y altura de elevación, la construcción de una grúa con sobre-estructura auxiliar que permitía la traslación de la carga permitiendo así disminuir casi al mínimo la potencia requerida en la traslación, ambos movimientos accionados a vapor. Otra obra importante es el diseño de un moderno puente grúa el cual utilizaba la energía eléctrica en la maniobra de elevación de la carga y en la traslación de esta última, pero lo más notable es la inclusión de los primeros dispositivos de seguridad en el frenado

de los carros; pasando así la seguridad a ser uno de los temas más importantes dentro de las futuras investigaciones.

Durante la primera mitad del siglo XX, algunos de los temas de importancia en la fabricación de grúas fue la seguridad y el ruido. Esto se ve reflejado en el reemplazo de viejos elementos debido que ya la tecnología y el conocimiento pudieron hacer posibles. Por ejemplo, la utilización del acero trajo consigo estructuras más resistentes y estables, el equipamiento de grúas con controles de balanceo de las cargas y frenos eléctricos permitió el aumento considerable de la seguridad en los izajes; el reemplazo de las cadenas utilizadas para la transmisión por cables metálicos generó una mayor resistencia de este elemento, mayor seguridad y menor ruido; la aplicación de neumáticos para las grúas pórtico, que consiguieron mayor disminución del ruido; y, más adelante, el desarrollo e implementación de rodamientos en uniones pivotantes y plataformas de giro.

A partir de la segunda mitad del siglo XX, los problemas energéticos derivados de la incertidumbre del petróleo y la idea de poder elevar cargas de mayor magnitud con la misma potencia ya utilizada originaron una tendencia generalizada en la búsqueda del aligeramiento de las estructuras de las grúas. Bajo este lineamiento, las empresas comenzaron a reducir el peso de las estructuras mediante la eliminación de la doble viga en los puentes grúa y en las grúas pórtico para dar paso a equipos de elevación montados sobre una viga simple; la compactación de los polipastos mediante el acoplamiento en serie del tambor, reductor, freno y motor de elevación; la utilización de perfiles laminados IPN en la viga principal; la construcción de la viga principal en celosía; la implementación de la grúa telescópica; entre otros avances.

Los avances en automatización y control no han dejado exentas a las grúas, los avances en el campo de la electrónica han permitido desde facilitar el proceso constructivo de las grúas hasta el manejo a distancia de éstas y hasta la automatización de sus movimientos.

En lo que respecta al diseño estructural de las grúas, existen una serie de guías y códigos de diseño creados por asociaciones de gran prestigio y vasta experiencia en el campo que permiten estandarizar desde el criterio de análisis de las solicitaciones de la grúa, los cálculos como tal, hasta la selección de perfiles estructurales de las aplicaciones más comunes en la industria.

1.2.2. La grúa

La norma ASME B30.2 define a la grúa como una máquina construida para elevar y descender una carga y moverla horizontalmente, con el mecanismo de elevación como parte integral de la máquina. De acuerdo con lo descrito en el numeral anterior, no hay mucho más que agregar para describir en qué consiste una grúa; sin embargo, es necesario describir algunos tipos de grúas correspondientes a una gama cercana puente grúa, que es objeto de este trabajo.

Los tipos de grúas presentes en edificaciones y cuyas aplicaciones se asemejan a la causa del presente trabajo son los que se indican a continuación.

1.2.3. Puente grúa

La principal aplicación de la grúa puente, en adelante el puente grúa, es el transporte dentro de un taller. El hecho de desplazarse por vías elevadas, casi siempre unidas a las paredes de la edificación, deja libre prácticamente la totalidad de la superficie de la planta y evita entorpecer el tránsito sobre ésta.

La Figura 1.2 muestra una representación de un puente grúa.

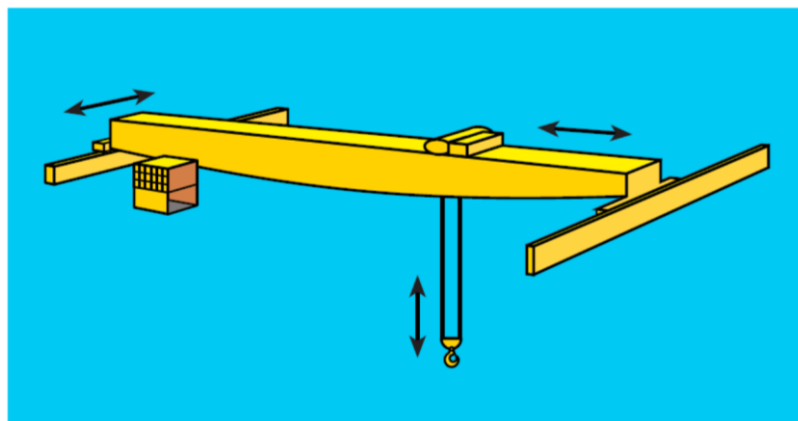


Figura 1.2 Representación de un puente grúa.

Grúa Pórtico

La grúa pórtico es un aparato de izaje que se desliza sobre la loza de una edificación, presenta forma de pórtico de luz moderada. Consiste un aparato parecido al puente grúa, pero provisto de apoyos. Estos apoyos son los que tienen dicha capacidad de desplazarse guiados por rieles sobre el suelo. Producto de esto último es que su costo de instalación es menor a los de un puente grúa, nótese que no necesita de una estructura carrilera. Sus principales aplicaciones son en patios de fábricas o puertos.

La Figura 1.3 muestra una representación de una grúa pórtico.

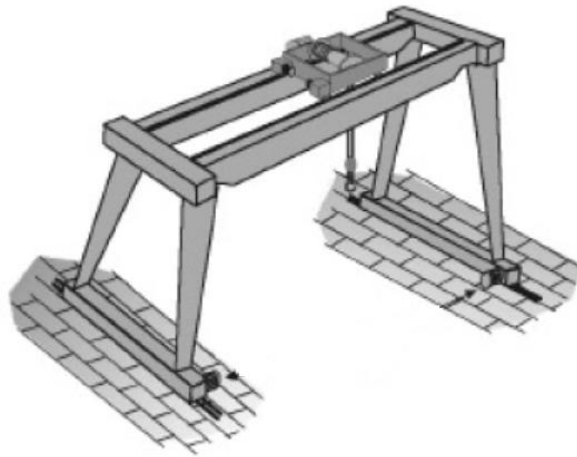


Figura 1.3 Representación de una grúa pórtico.

Grúa Semi-pórtico

La grúa semi-pórtico es una variación de la grúa pórtico, en la que uno de sus apoyos se encuentra adosado a una pared de la edificación.

La Figura 1.4 muestra una representación de una grúa semi-pórtico.

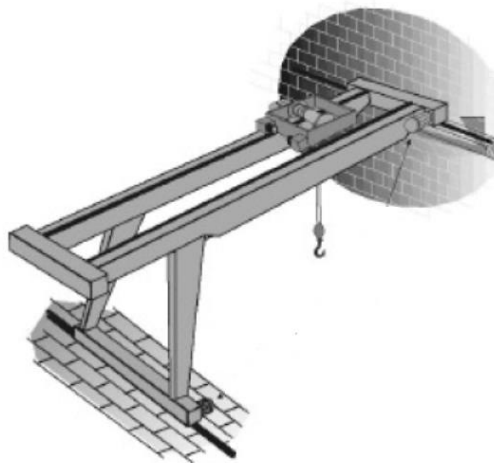


Figura 1.4 Representación de una grúa semi-pórtico.

Grúa Ménsula

La grúa ménsula es un aparato de izaje que se desplaza sobre dos carriles adosados a una pared de la edificación. Consiste en una o dos vigas en forma de voladizo. Se utiliza para evitar el puente grúa y para cargas relativamente livianas.

La Figura 1.5 muestra una representación de una grúa ménsula.

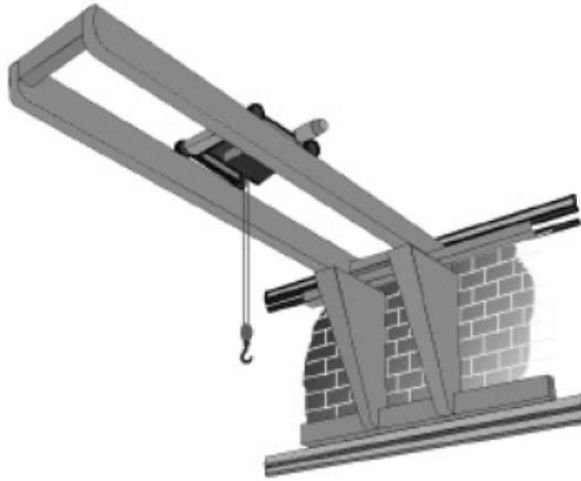


Figura 1.5 Representación de una grúa ménsula.

Grúa de Brazo Giratorio

La grúa de brazo giratorio es un aparato de izaje compuesto por una viga en voladizo que gira desde su punto de apoyo a una columna. Este punto de apoyo es mediante rodamientos axiales. Sus aplicaciones son desde estaciones de trasbordo, en puertos, estaciones, hasta aplicaciones de menor capacidad en talleres.

La Figura 1.6 muestra una representación de una grúa de brazo giratorio.

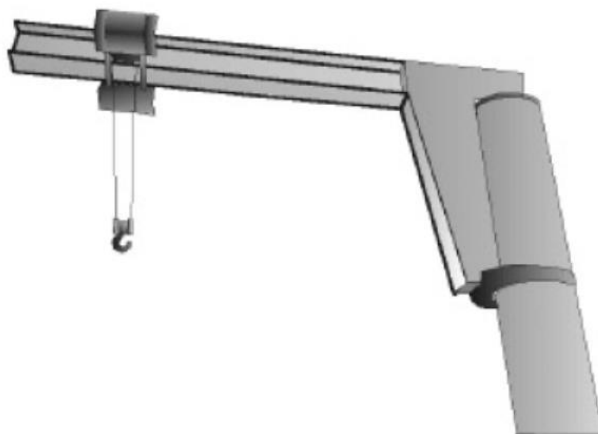


Figura 1.6 Representación de una grúa de brazo giratorio.

1.2.4. El puente grúa y sus componentes

Como se expresó en el numeral anterior, el puente grúa es un tipo de aparato de izaje. Está compuesto por una viga, simple o doble, apoyada en ambos extremos sobre dos carriles

elevados por columnas, dispuesto de acuerdo a la resistencia de la edificación donde está instalado, o bien, de los componentes constructivos del puente.

El movimiento longitudinal de la carga se realiza mediante la traslación de la viga principal o viga puente, a través de dos carriles elevados.

El movimiento transversal de la carga se realiza mediante la traslación de un polipasto (hoist) con carros de desplazamiento (trolley) a través de uno o dos carriles sobre la o las vigas puentes, o bien, a través de la viga puente directamente.

El movimiento vertical de la carga se realiza mediante la acción de un polipasto (hoist), el cual puede ser un winche, un tecele, entre otros.

Los componentes de un puente grúa son los que se indican a continuación.

Mecanismo de elevación

Es el conjunto de motores y aparejos (conjunto de poleas, cables, cadenas destinados a variar fuerzas y velocidades) utilizados para el movimiento vertical de la carga.

Estos pueden variar entre polipastos montados dentro de un bastidor, polipastos montados sobre una viga simple o un tecele contado también sobre una viga simple. Ver Figura 1.7.



Figura 1.7 Mecanismo de elevación: (de izquierda a derecha), polipasto con bastidor para viga doble, polipasto para viga simple y tecele para viga simple.

Mecanismo de traslación del equipo tractor

Es el conjunto de motores, elementos de rodado y carcasa utilizados para realizar el desplazamiento del mecanismo de elevación a través del puente. Dependiendo de la configuración del mecanismo de elevación es que se pueden diferenciar de acuerdo a la Figura 1.7.

Puente

Consiste en una o más vigas, hasta incluso una viga en celosía, transversal al camino de rodadura, a través de las cuales se desplaza, y que sobre o bajo ésta se encuentra montado el mecanismo de elevación con su respectivo mecanismo de traslación. Ver Figura 1.8.

Mecanismo de traslación del puente

Es el conjunto de motores, elementos de rodado y carcaza o viga destinado a realizar el desplazamiento del puente a lo largo del camino de rodadura. Éstos se encuentran ubicados en los extremos del puente. La configuración más usual son las vigas testeras dotadas de ruedas en sus extremos, de las cuales solo un par posee un motor para su desplazamiento. Ver Figura 1.9.

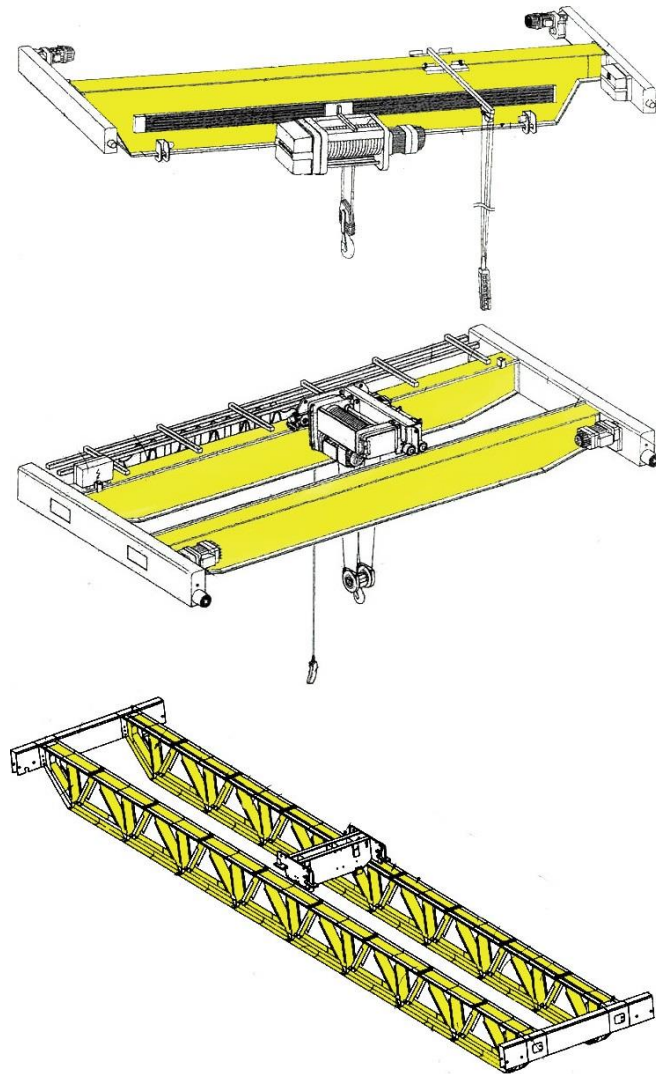


Figura 1.8 Puente: Viga simple, viga doble y viga en celosía (de arriba abajo).



Figura 1.9 Par de vigas testeras con sus respectivos mecanismos de traslación.

Camino de rodadura

Es el conjunto de vigas o rieles montados sobre vigas que sirven de guía y suptación del puente, a través del cual este último se deslaza. Ver Figura 1.10.

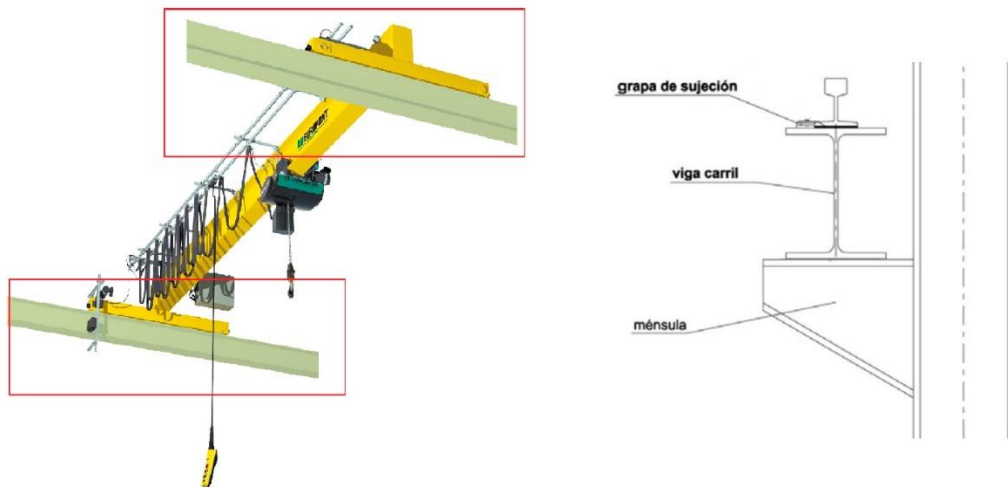


Figura 1.10 Viga carrilera sin y con riel guía.

1.3.Legislación, Normativa y Códigos Aplicables

Legislación Aplicable

D.S. N° 72, de 1985, cuyo texto refundido, sistematizado y actualizado ha sido fijado por el D.S. N° 132, de 2002, publicado en el Diario Oficial de 07.02.2004, ambos del Ministerio de Minería, que aprueba el Reglamento de Seguridad Minera, en su artículo 45, dispone:

"El personal encargado del movimiento de materiales pesados, mediante el uso de equipos mecanizados, deberá recibir un entrenamiento completo sobre el equipo que usará para su labor incluido capacidades, resistencia de materiales, y toda otra información necesaria."

A su vez, el artículo 373 del mismo reglamento, expresa:

"En las operaciones de grúas móviles y fijas, será obligatorio:

- a) Confeccionar procedimientos para el traslado y utilización del equipo, tomando en cuenta las condiciones de operación.
- b) Rigurosidad en los controles de mantenimiento.
- c) Operación del equipo sólo por personal autorizado por la Administración."

Normativa Chilena Aplicable

NCh3171.Of2010 Diseño estructural – Disposiciones generales y combinaciones de cargas

Establece las disposiciones generales y las combinaciones de carga para el diseño de edificios y otras estructuras, referenciando a las normas NCh1537.Of2009 y NCh2369.Of2003.

NCh1537.Of2009 Diseño estructural - Cargas permanentes y cargas de uso

Establece las bases que permitan evaluar las cargas permanentes y cargas de uso que se deben considerar en el diseño de edificios y otras estructuras.

NCh2369.Of2003 Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales (Anteproyecto del año 2017 para derogación de la actual)

Establece normativa a aplicar en construcciones en acero, requerimientos para materiales y requerimientos para uniones, anclajes, entre otros.

Normativa Extranjera Aplicable

ASME B30.2-05 Grúas Pórtico y Elevadas (Grúa móvil tipo puente, mono viga o de múltiples vigas, Polipasto móvil con carro

Establece las disposiciones que aplican a la construcción, instalación, operación, inspección, y mantenimiento de grúas pórtico y elevadas operadas manual y mecánicamente que tienen un puente con una o múltiples vigas, con uno o más polipastos móviles con carro, usados para la elevación vertical y el descenso de cargas no guiadas suspendidas que están compuestas de equipos y materiales.

ASCE 7-05 Cargas de diseño mínimas para edificios y otras estructuras

Establece las cargas mínimas para el diseño de puentes grúas dentro de edificios. Las cargas y las combinaciones de carga adecuadas, se establecen para el diseño de resistencia y el diseño de tensión permisible.

AWS-D14-2005 Especificaciones para soldadura de grúas industriales y otros equipos de manejo de materiales

Establece disposiciones para las soldaduras de acero que se utilizan en grúas industriales, molinos, dispositivos de elevación y otros equipos de manejo de materiales.

Códigos de Diseño

AISC 2004 Design Guide N°7 – Edificaciones industriales

Establece una guía para el cálculo y diseño de la estructura de una edificación que contiene un puente grúa.

CMAA Specification N°74-2010 Especificaciones para grúas con carro de desplazamiento bajo una sola viga.

Establece una guía para el diseño y selección de componentes para una viga puente.

2. ESTUDIO PRELIMINAR

Con el fin de proponer un diseño de un puente grúa que cumpla con los estándares y exigencias de acuerdo con la legislación chilena, se establecen parámetros técnicos que indiquen restricciones para el diseño en base a las características y los requerimientos para la instalación. Para esto, el estudio se realiza en base a un procedimiento que siga el conducto regular usual para el caso.

Se busca identificar un marco regulatorio, recomendaciones de normativa, recomendación de códigos de diseño para puentes grúa, entre otras indicaciones, dentro de la legislación aplicable. En el caso de existir dicha legislación, se recurre a estos documentos; si no es el caso, se recurre normativa nacional aplicable. Si lo anterior no satisface la búsqueda de parámetros restrictivos o recomendaciones para el diseño, se recurre a normativa internacional y a códigos de diseño útiles en esta materia.

2.1. Identificación de Disposiciones para el Diseño de un Puente Grúa

Al no existir una legislación aplicable al diseño o instalación de un puente grúa, se recurre a la normativa chilena legal vigente aplicable para esta materia. En el país existe un marco regulatorio para el diseño estructural, la norma *NCh3171.Of2010 “Diseño estructural - Disposiciones generales y combinaciones de carga”*, la cual hace referencia a la norma *NCh1537.Of2009 “Diseño estructural – Cargas permanentes y cargas de uso”*, esta última indica las consideraciones a incorporar a las cargas de la estructura del puente grúa al momento de diseñarla, expresadas a continuación.

“9.1 Cargas de grúas

La carga máxima de rueda debe ser la carga de rueda producida por el peso del puente y el peso del boggy más la carga de levante, con el boggy posicionado en el riel en la ubicación donde el efecto de la carga resultante sea máximo.

9.2 Carga máxima de rueda

Fuerza de impacto vertical; la carga de rueda máxima de la grúa debe ser incrementada para determinar la fuerza inducida por impacto vertical o vibración de acuerdo a los porcentajes siguientes:

Grúas monorriel (energizadas): 25%

Grúas operadas por cabina o a control remoto (energizadas): 25%

Puentes grúa operados por control colgante (energizadas): 10%

Puentes grúas o grúas monorriel de operación manual: 0%

9.3 Fuerza lateral

La fuerza lateral sobre vigas carrileras, debe ser calculada como un 20% de la suma de los pesos de la grúa y su capacidad de levante. Esta fuerza se debe suponer actuando en la parte superior de los rieles, en dirección normal a ellos y debe ser distribuida entre vigas portar riel, considerando la rigidez lateral de éstas y la estructura que las soportan.

NOTA - No se considera el peso de las partes estacionarias del puente grúa (vigas, puente grúa y boggie).

9.4 Fuerza longitudinal

La fuerza longitudinal sobre vigas portar riel excepto para puentes grúa de operación manual debe ser calculada como el 10% de la carga máxima por rueda de la grúa. Esta fuerza se debe suponer actuando horizontalmente en la parte superior de la viga.”

La normativa anteriormente expresada no satisface la necesidad de restricciones de diseño, recomendaciones de diseño o recomendaciones de factores de seguridad para un puente grúa. Por lo tanto, se recurre a códigos de diseño de carácter internacional los cuales han sido referencia para la normativa expuesta.

Se identifica el código “*AISC 2004 Design Guide N°7 – Industrial Buildings*”, el cual se utilizará como guía para elaborar un procedimiento que permita elaborar un diseño de la viga puente y de la estructura del puente grúa de acuerdo a parámetros normalizados. Esta guía AISC hace referencia a los siguientes códigos de diseño:

- CMAA Specification N°74-2010 Specification for Top Running & Under Running Single Girder Electric Traveling Cranes Utilizing Under Running trolley Hoist
- ANSI/AISC 360-16 Specification for Structural Steel Buildings (ASD & LRFD)
- ASCE/SEI 7-05 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures

2.2. Estudio de las Disposiciones para el Diseño del Puente Grúa

La guía de diseño de construcciones industriales AISC N°7, en adelante: la guía, recomienda seguir los siguientes procedimientos para el diseño de la estructura de una instalación como el puente grúa en cuestión. Estos procedimientos son los que se describen a continuación.

2.2.1. Clasificación de la grúa

La guía indica que primero se debe clasificar la instalación de acuerdo con lo propuesto en CMAA Specification N°74. Se clasifica la instalación respecto al tipo de carga y a su periodicidad. El tipo de carga se clasifica de acuerdo a su magnitud entre mínima a nominal y la frecuencia de ésta; y la periodicidad se clasifica a la frecuencia con la que se utilizará la instalación. Esta información debe ser estipulada de acuerdo a las necesidades de quién corresponda. De acuerdo con esta clasificación, se determina una clase para la instalación y un rango de N° de ciclos de vida útil.

La clasificación en cuestión corresponde a la asignación de una clase, desde la A hasta la D, descritas a continuación.

- **Clase A (Standby o servicio infrecuente):** Esta clase abarca las grúas que se pueden utilizar en instalaciones como centrales eléctricas, salas de turbinas, salas de motores y estaciones de transformación donde se requiere un manejo preciso del equipo a velocidades lentas con largos períodos de inactividad. La grúa será utilizada para la instalación inicial del equipo y para el mantenimiento poco frecuente.
- **Clase B (Servicio liviano):** Esta clase abarca las grúas que se pueden usar en talleres de reparación, montajes livianos, almacenamiento liviano, etc., donde los requerimientos de servicio son de cargas livianas y a baja velocidad. Las cargas pueden variar desde carga muerta hasta cargas nominales ocasionales con dos a cinco izajes por hora, con un promedio de 3 metros por izaje.
- **Clase C (Servicio medio):** Esta clase abarca las grúas utilizadas en talleres mecánicos o en salas de máquinas de moler papel, etc., donde los requerimientos de servicio son moderados. En esta clase, las cargas son en promedio un 50% de la capacidad nominal con 5 a 10 izajes por hora, con un promedio de 5 metros por izaje, y no más del 50% de los izajes con carga nominal.

- **Clase D (Servicio pesado):** Esta clase abarca las grúas que se utilizan en talleres de maquinaria pesada, fundiciones, plantas de fabricación, almacenamiento de acero, almacenamiento de contenedores, aserraderos, etc., En esta clase, las cargas se aproximan al 50% de la capacidad nominal prácticamente durante todo su período de operación, a altas velocidades, con un promedio de 10 a 20 izajes por hora y un promedio de 5 metros, y no más del 65% de los izajes con carga nominal

Esta clasificación es cualitativa; sin embargo, esta clasificación de la grúa se puede definir dados el tipo de carga y periodicidad según la Tabla 2.1, presentada a continuación.

Tabla 2.1 Clasificación de la grúa según CMAA Specification N°74-2010 Specification for Top Running & Under Running Single Girder Electric Traveling Cranes Utilizing Under Running trolley Hoist

Tipo de carga	Ciclos de carga				k = Factor de carga efectiva media
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	
L ₁	A	B	C	D	0,350 – 0,530
L ₂	B	C	D		0,531 – 0,670
L ₃	C	D			0,671 – 0,850
L ₄	D				0,851 – 1,000
	Uso ocasional irregular seguido de largos períodos de inactividad	Uso regular con operación intermitente	Uso regular con operación continua	Uso regular con operación continua severa	

donde:

Tipos de carga

L₁ = Grúas que elevan la carga nominal excepcionalmente y, normalmente, cargas muy ligeras.

L₂ = Grúas que rara vez elevan la carga nominal, y cargas normales de aproximadamente 1/3 de la carga nominal.

L₃. = Grúas que elevan la carga nominal con bastante frecuencia y normalmente; cargas entre $\frac{1}{3}$ y $\frac{2}{3}$ de la carga nominal.

L₄ = Grúas que elevan cargas cercanas a la carga nominal regularmente.

Ciclos de carga

N₁ = 20.000 a 100.000 ciclos

N₂ = 100.000 a 500.000 ciclos

$N_3 = 500.000$ a $2.000.000$ ciclos

$N_4 =$ sobre $2.000.000$ ciclos.

El factor de carga efectiva media es solo para establecer el factor de servicio de la grúa de acuerdo a clase.

2.2.2. Consideración de la fatiga

Se considera el efecto de la fatiga. La guía indica seguir el procedimiento contenido en el código *ANSI/AISC 360*, que, de acuerdo con el n° de ciclos obtenido anteriormente, permite determinar el rango de fluctuaciones máximo de los esfuerzos en la estructura de la instalación. Las fluctuaciones de esfuerzos producidos por las cargas cíclicas deben ser menor al rango admisible obtenido de este código. A su vez, este rango delimita los esfuerzos máximos admisibles en la los elementos y uniones de la estructura.

Luego, se establecen procedimientos para el cálculo de los esfuerzos máximos y los rangos de esfuerzo para material puro, uniones soldadas y uniones roscadas.

Material puro y uniones soldadas

En el material puro y uniones soldadas, el rango de esfuerzo para cargas cíclicas aplicadas no debe exceder el rango de esfuerzo admisible calculado de la siguiente forma.

- a) En el caso de esfuerzos en material puro o uniones soldadas, el rango de esfuerzos F_{SR} debe ser calculado según la ecuación *E2.1* presentada a continuación.

$$F_{SR} = 6.900 \left(\frac{C_f}{n_{SR}} \right)^{0,333} \dots\dots\dots E.2.1$$

donde:

F_{SR} = rango de esfuerzo admisible, [MPa].

C_f = constante de la *Tabla A-3.1* en Anexo 4, según la categoría de la fatiga.

n_{SR} = número de fluctuaciones del rango de esfuerzos en la vida de diseño.

- b) En el caso de planchas cargadas en tracción y unida en sus extremos de forma perpendicular, ya sea con soldadura de ranura de penetración parcial (PJP) o con soldadura de filete, el rango de esfuerzo admisible para la sección transversal de la plancha se determina como se explica a continuación:

- 1) Considerando el inicio de la grieta desde el pie de la soldadura ($R_{PJP} = 1$), el rango de esfuerzo admisible se calcula como se expresa en la ecuación E2.1.
- 2) Considerando el inicio de la grieta desde la raíz de la soldadura ($R_{PJP} < 1$), el rango de esfuerzo admisible se calcula con la misma ecuación anterior pero multiplicada por el factor R_{PJP} y con $C_f = 4,4$ (categoría de tensión C), es decir, como se expresa en le ecuación E2.2.

$$F_{SR} = 6.900 * R_{PJP} * \left(\frac{4,4}{n_{SR}}\right)^{0,333} \dots\dots\dots E2.2$$

$$R_{PJP} = \frac{1,12 - 1,01\left(\frac{2a}{t_p}\right) + 1,24\left(\frac{w}{t_p}\right)}{t_p^{0,167}} \dots\dots\dots E2.3$$

donde:

R_{PJP} = factor de reducción por soldadura PJP

$2a$ = el largo de la cara raíz no soldada en la dirección del espesor de la plancha cargada en tracción, [mm]

t_p = espesor de la plancha cargada en tracción, [mm]

w = el tamaño del filete de refuerzo o contorno, si lo hay, en la dirección del espesor de la plancha cargada en tracción, [mm]

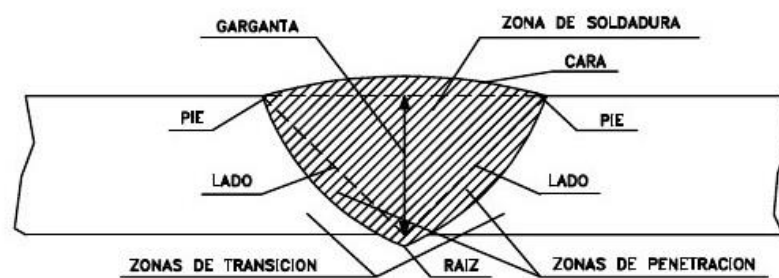


Figura 2.1 Esquema de soldadura.

Pernos y partes roscadas

En pernos y en partes roscadas, el rango esfuerzo para cargas cíclicas aplicadas no debe exceder el rango de esfuerzo calculado de la siguiente forma.

- a) Para conexiones cargadas en corte, el rango de esfuerzo en el material no debe exceder el rango de esfuerzo calculado según la ecuación E2.2, con C_f obtenido de la Sección 2 de la *Tabla A-3.1* en Anexo 4.
- b) Para pernos en tracción, el rango de esfuerzo de tracción no debe exceder el rango de esfuerzo calculado según la ecuación E2.2, con C_f obtenido de la Sección 8 (caso 8.5) de la *Tabla A-3.1* en Anexo 4.

El área neta del perno en tracción A_t es la indicada en la ecuación E2.4.

$$A_t = (d_b - 0,9382p)^2 \dots\dots\dots E2.4$$

donde:

d_b = diámetro nominal, [mm]

n = hilos por pulgada

d_b = paso, mm por hilo, [mm]

Nota 1: Se asume que los pernos fueron seleccionados para evitar que la zona roscada coincida con el o los planos de corte de la unión.

Nota 2: Dado que el esfuerzo máximo permitida para una carga fluctuante es un 66% del esfuerzo de fluencia del material. Si las cargas no son reversibles y el rango de esfuerzos admisible calculado es mayor al a este porcentaje, entonces el rango de esfuerzo admisible es igual a este porcentaje.

2.2.3. Combinación de cargas

La guía indica que sobre las vigas carrileras existen, además de las fuerzas consideradas en el diseño y cálculo de las solicitaciones sobre la estructura, fuerzas derivadas de la operación de la grúa, las cuales se calculan en base al código *ASCE/SEI 7-05*. Este código indica que existen tres tipos de carga inducidas las cuales corresponden a un porcentaje de la carga máxima de rueda. Estas son las que se enumeran a continuación.

Carga máxima de rueda: Corresponden al peso del puente, más la suma de la capacidad nominal y el conjunto carrillo-equipo de izaje. Sin embargo, la guía recomienda lo siguiente:

- incrementar el peso de la viga puente por un factor de carga de 1,2; y
- incrementar el peso del equipo de izaje y el carrillo por un factor de carga de 1,6.

Por consiguiente, la carga máxima de la rueda es la que se presenta en la ecuación E2.5.

$$F_{rueda} = (1,2 * P_{vp} + P_c + 1,6 * P_{carr} + 1,6 * P_{pol}) / n^{\circ} \text{ruedas} \dots\dots\dots E2.5$$

En cuanto al cálculo de los momentos, las cargas deben ser consideradas con el carrillo ubicado donde el efecto de carga resultante es máximo.

Carga de impacto vertical: Corresponden a un porcentaje de la carga máxima de rueda, éste porcentaje se indica en la Tabla 2. Esta carga vertical debe adicionarse a la carga máxima de rueda.

$$F_{iv} = F_{rueda} * \frac{\%carga \text{ max rueda}}{100} \dots\dots\dots E2.6$$

Tabla 2.2 Carga de impacto vertical según ASCE/SEI 7-05 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures

Tipo de grúa	Porcentaje de la carga máxima de rueda [%]
Grúa monorriel (energizada)	25
Grúa puente operadas por cabina o control remoto (energizada)	25
Grúa puente con carga suspendida (energizada)	10
Grúa puente o monorriel con puente, carro y equipo de izaje manual	0

Carga lateral: Fuerza horizontal en la superficie de la viga carrilera y en dirección perpendicular a ésta. Corresponde al porcentaje de un 20% de la carga máxima de rueda.

$$F_{lat} = 0,2 * F_{rueda} \dots\dots\dots E2.7$$

Carga longitudinal: Fuerza horizontal en la superficie de la viga carrilera y en dirección paralela a ésta. Corresponde al porcentaje de un 10% de la carga máxima de rueda.

$$F_{long} = 0,1 * F_{rueda} \dots\dots\dots E2.8$$

Esto es prácticamente todo lo concerniente al diseño estructural del código *ASCE/SEI 7-05 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Además, es la referencia utilizada por la norma chilena NCh 1537.Of2009 Diseño Estructural – Cargas permanentes y cargas de uso.

2.2.4. Diseño de la viga carrilera

Como se explicó en el apartado anterior, los elementos de la estructura, y por lo tanto, las vigas carrileras, están sometidos a fuerzas verticales y horizontales debido al manejo de la carga a izar. En consecuencia, las vigas carrileras deben diseñarse para una flexión combinada en el eje X e Y.

Para el diseño de las vigas carrileras, quienes soportarán la viga puente, la guía presenta una serie de recomendaciones dependiendo del servicio y las dimensiones de la grúa. Éstas se expresan a continuación.

- 1) Para grúas de carga liviana y luz corta, use una viga de ala ancha.
- 2) Para grúas de carga y luz moderada, utilice una viga de ala ancha y, si es necesario, refuerce el ala superior.
- 3) Para grúas pesadas y luz más larga: use una viga alta fabricada con una placa y ángulos, con una armadura horizontal o placa sólida en la brida superior.

En una primera instancia, de acuerdo a la clasificación del código *CMMA n°74*, se establecen límites para la flecha máxima de las vigas carrileras debido a las cargas de las ruedas. Para flecha producida por la flexión en el eje X, los límites son los siguientes:

- Para grúas de clase A, B o C: $\Delta_x = L/600$ E2.9
- Para grúas de clase D: $\Delta_x = L/600$ E2.10
- Para grúas de clase E o F: $\Delta_x = L/1.000$ E2.11

Para la flecha lateral de las vigas carrileras debido a las cargas laterales, el límite es el siguiente

- Para todas las grúas: $\Delta_y = L/400$ E2.12

donde:

Δ_x = Flecha de la viga carrilera debido a los momentos flectores

Δ_y = Flecha de la viga carrilera debido a las cargas laterales

L = Largo de la viga carrilera o largo de tramo de viga entre ménsulas.

Procedimiento para el diseño de la viga carrilera

El procedimiento que indica la guía se basa en la obtención de un parámetro que permita seleccionar un perfil que satisfaga los requerimientos obtenidos en base a cálculos indicados más adelante. Estos parámetros son los momentos de inercia $I[cm^4]$ y los módulos resistentes $W[cm^3]$. Si bien el momento de inercia es suficiente para determinar el perfil a utilizar, existen distintas configuraciones para perfiles con las características que se busca en una viga carrilera. Es por esta razón que es de gran utilidad la obtención de un módulo resistente requerido para tener una noción de una altura tentativa del perfil a seleccionar. Ante esto, las etapas que permitirán conocer los requerimientos para seleccionar un perfil son la obtención de un valor tentativo para el momento de mínimo requerido y un valor tentativo para el módulo resistente mínimo requerido. Además, estos cálculos deben proceder de criterios distintos. Finalmente, se debe verificar mediante ciertos criterios y condiciones el cumplimiento del perfil seleccionado en base a su resistencia ante los esfuerzos a los que pueda estar sometida la viga.

Primero que todo se debe recopilar todos los requerimientos para la grúa, es decir, parámetros dimensionales, de capacidades y de servicio. Se debe seleccionar los equipos para el izaje a utilizar. Y, se debe calcular la carga máxima de rueda según la ecuación E2.6.

Luego, se utilizan las ecuaciones E2.9 a E2.12 que limitan la flecha máxima permisible para la viga carrilera bajo la carga máxima de rueda para determinar los momentos de inercia ($I_{x req}, I_{y req}$) tentativos.

Se determina el momento flector máximo sobre la viga y el esfuerzo admisible restringido por fatiga y por los métodos ASD o LRFD para determinar el módulo resistente ($W_{x req}$) tentativo como se indica en la ecuación E2.13.

$$W_{x req} = \left(\frac{M_x}{\sigma_{adm}} \right) / 1.000 \dots\dots\dots E2.13$$

donde:

$W_{x req}$ = Módulo resistente mínimo requerido del eje fuerte de un perfil [cm^3]

M_x = Momento flector máximo en el eje fuerte [N mm]

σ_{adm} = Esfuerzo admisible según método ASD o LRFD [MPa]

Los esfuerzos admisibles dependen del esfuerzo máximo del material el cual será limitado por los rangos de esfuerzo máximos obtenidos de la consideración de la fatiga, eso

es, el esfuerzo máximo es igual al valor máximo del rango de esfuerzos debido a las cargas cíclicas.

El esfuerzo máximo delimitado por la fatiga, debe ser corregido mediante los métodos de diseño utilizados el código *ANSI/AISC 360* los cuales se basan en el principio que los esfuerzos calculados con todas las combinaciones de cargas no deben exceder los esfuerzos admisibles de los elementos diseñados. Estos métodos son “*Allowable Strength Design (ASD)*” y “*Load and Resistance Factor Design (LRFD)*”.

Los factores para la corrección de los esfuerzos admisibles según cada método se explican a continuación.

Factor de carga y resistencia para Método LRFD

El esfuerzo admisible de cada componente estructural debe ser mayor o igual al esfuerzo producido por las combinaciones de cargas calculada, esto se muestra en la ecuación *E2.14*.

$$\sigma_{adm LRFD} \leq \phi * \sigma_{adm max} \dots\dots\dots E2.14$$

donde:

- σ_{LRFD} = Esfuerzo producido por las cargas indicadas en el método LRFD
- $\sigma_{adm max}$ = Esfuerzo admisible máximo del material afectado por fatiga
- ϕ = Factor de resistencia, [-]
- $\phi * \sigma_{max}$ = Esfuerzo admisible

Factor de esfuerzo admisible según Método ASD

El esfuerzo admisible de cada componente estructural debe ser mayor o igual al esfuerzo producido por las combinaciones de cargas calculada, esto se muestra en la ecuación *E2.15*.

$$\sigma_{adm ASD} \leq \frac{\sigma_{adm max}}{\Omega} \dots\dots\dots E2.15$$

donde:

- σ_{ASD} = Esfuerzo producido por las cargas indicadas en el método ASD
- $\sigma_{adm max}$ = Esfuerzo admisible máximo del material afectado por fatiga
- Ω = Factor de seguridad, [-]

$$\frac{\sigma_{adm\ max}}{\Omega} = \text{Esfuerzo admisible}$$

Los factores de seguridad, factores de resistencia dependen del tipo de sollicitación a la cual está sometida la viga, los cuales se encuentran indicados en la *Tabla 2.3*.

Tabla 2.3 Factores de carga para miembros sometidos a distintas sollicitaciones, según método ASD y LRFD.

Tipo de sollicitación	Ω (ASD)	ϕ (LRFD)
Miembros en tracción	1,67	0,9
Miembros en tracción unidos por pasadores	2,0	0,75
Miembros en compresión	1,67	0,9
Miembros en flexión	1,67	0,9
Miembros en cortadura	1,67	0,9
Miembros en torsión	1,67	0,9

Se recomienda utilizar el método ASD ya que es el que éste permite no superar los límites elásticos de los esfuerzos del material. En la Figura 2.2 se muestra un gráfico comparativo entre los esfuerzos admisibles obtenidos por los métodos ASD y LRFD.

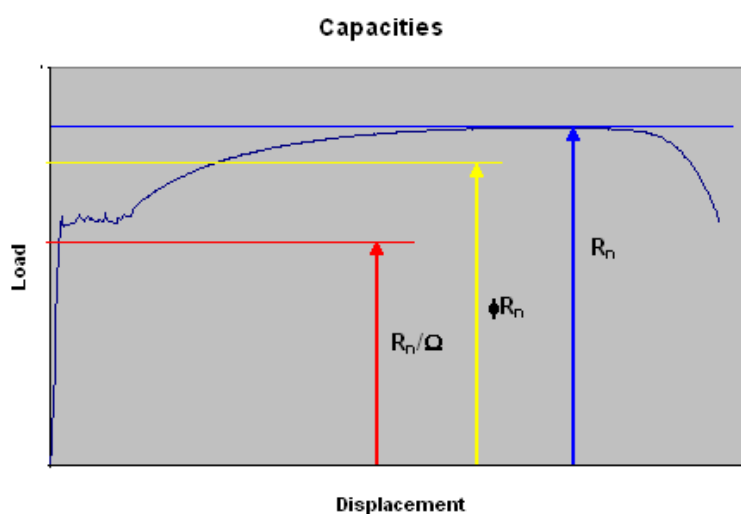


Figura 2.2 Gráfico comparativo de esfuerzos admisibles obtenidos de los métodos ASD y LRFD.

Con el módulo resistente mínimo requerido ($W_{x\ req}$), y los momentos de inercia mínimos requeridos ($I_{x\ req}, I_{y\ req}$) se selecciona un perfil que cumpla con estos parámetros.

Este perfil debe someterse a verificación de otros efectos debidos a la flexión en el eje fuerte.

Los métodos ASD y LRFD que se encuentran descritos anteriormente, además de definir parámetros para determinar esfuerzos admisibles, establece qué efectos deben ser

verificados en la viga seleccionada y bajo qué condiciones o criterios. Estas posibles fallas son, además de la flexión en el eje fuerte de la viga, las que se indican a continuación.

Pandeo local del ala superior

Durante el proceso de flexión, el ala superior de la viga se encuentra sometida a una compresión localizada y el ala inferior a una tracción localizada. Si el ala en compresión es lo suficientemente delgada, entonces puede producirse pandeo en el ala superior del modo que se muestra en la *Figura 2.3*.

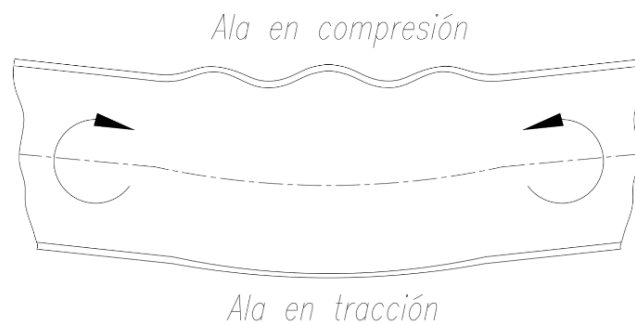


Figura 2.3 Efecto de pandeo local del ala superior de la viga en flexión.

Pandeo local del alma

En los puntos donde coincidan los apoyos de la viga con la carga máxima de la rueda del puente se produce un efecto de compresión y, si el alma de la viga es lo suficientemente esbelta, entonces puede producirse pandeo del alma de ésta como se muestra en la *Figura 2.4*.

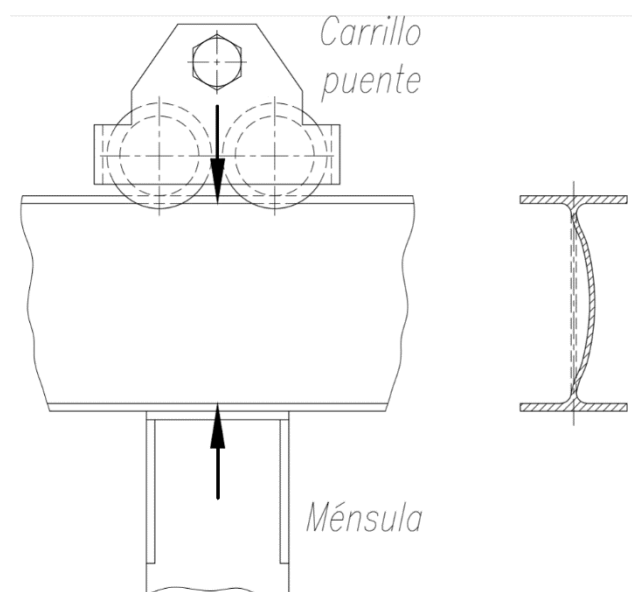


Figura 2.4 Efecto de pandeo del alma de la viga sometida a compresión local.

Pandeo lateral torsional

Cuando una viga está sometida a flexión, es muy probable que falle no en la dirección de la carga flectora, sino que, en dirección transversal, sumado a que el ala superior de la viga se encuentra en compresión, se puede provocar un pandeo lateral. Pero, como el ala inferior se encuentra sometida a tracción, oponiéndose a este pandeo lateral, es que este pandeo viene acompañado de un momento torsional. Si la viga en flexión no se encuentra adecuadamente arriostrada o impidiendo su movimiento lateral, y si el momento de inercia del eje débil de la viga es considerablemente menor al momento de inercia del eje fuerte, entonces puede producirse pandeo lateral torsional. Esto se muestra en la *Figura 2.5*.

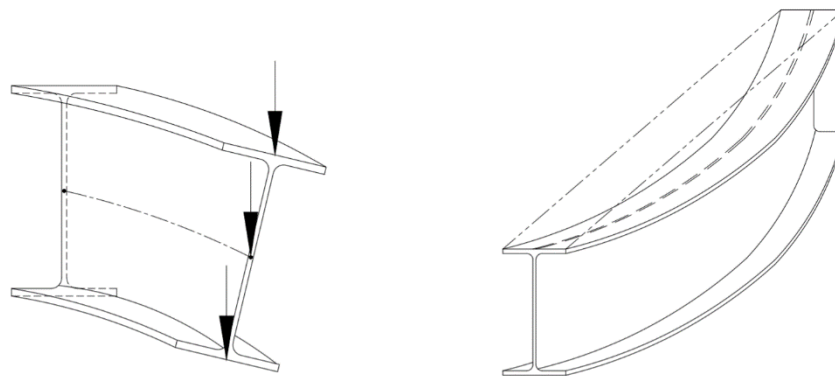


Figura 2.5 Efecto de pandeo lateral-torsional de la viga carrilera debido a la flexión.

Verificación de perfil seleccionado según Método ASD

La guía, indica que los autores de las *AISC Specification for lateral-torsional buckling strength* plantean las ecuaciones para el pandeo lateral-torsional asumiendo que las cargas sobre la viga carrilera se aplican en el eje neutral del perfil, es decir, en el plano horizontal ubicado en el centroide del perfil. Pero el hecho que las cargas se apliquen sobre el ala superior de la viga provoca disminución de la resistencia al pandeo lateral-torsional y, además, las cargas laterales generan un momento de torsión, cuyo efecto se adiciona al efecto de las cargas verticales cuando éstas actúan en simultáneo. Para compensar dichos efectos, se frecuenta asumir que las cargas laterales debido al momento de torsión son resistidas únicamente por el ala superior de la viga. Con este supuesto, se sugiere que la estabilidad de la viga sometida a flexión biaxial no se ve afectada por el momento flector en el eje débil del perfil (M_y).

Por lo tanto, el perfil seleccionado para la viga carrilera debe verificarse mediante el cumplimiento de las condiciones y criterios asociados a los esfuerzos producidos por las cargas verticales y laterales y momentos asociados sobre la viga, indicados a continuación.

- Verificación de flexión biaxial en la viga
- Verificación de pandeo del alma
- Verificación de pandeo lateral-torsional de la viga

Verificación de flexión biaxial

Ya conocidos el módulo resistente del eje fuerte (W_x) y el módulo resistente del eje débil (W_y) del perfil seleccionado, se calcula

Se debe verificar los esfuerzos combinados compuesto por el momento flector sobre el eje fuerte debido a la carga máxima de la rueda y el momento flector sobre el eje débil debido a las cargas laterales.

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_{adm}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{adm}} \leq 1 \dots\dots\dots E2.16$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x * 1000} \dots\dots\dots E2.17$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{\left(\frac{W_y}{2}\right) * 1000} \dots\dots\dots E2.18$$

donde:

σ_{adm} = Esfuerzo admisible (limitador por fatiga y corregido por factor ASD),
[MPa]

σ_x = Esfuerzo en flexión en el eje fuerte de la viga debido a las cargas verticales,
[MPa]. Calculado según la ecuación E2.17.

σ_y = Esfuerzo en flexión en el eje débil de la viga debido a las cargas laterales,
[MPa]. Calculado según la ecuación E2.18.

M_x = Momento flector en el eje fuerte de la viga, [N mm]

M_y = Momento flector en el eje débil de la viga, [N mm]

W_x = Módulo resistente del eje fuerte del perfil seleccionado, [cm³]

W_y = Módulo resistente del eje débil del perfil seleccionado, [cm³]

Verificación del pandeo del alma

Se debe verificar, también, que el esfuerzo producido por la compresión del alma de la viga no exceda los esfuerzos admisibles para tal caso. Esto es, que la carga máxima que la rueda del carrillo ejerce sobre la viga carrilera no sea mayor que la fuerza permitida para evitar el fallo por pandeo del alma, calculada como lo indica la ecuación E2.19.

$$F_{bw} = \frac{C_r * t_w^3 * t_f}{h_w^2} \left(0,4 * \left\{ \frac{h_w / t_w}{L_b / b_f} \right\}^3 \right) \geq F_{rueda} \dots\dots\dots E2.19$$

donde:

- F_{bw} = Fuerza crítica de pandeo del alma, [N]
- C_r = $6,6 * 10^6$ [MPa]; si $1,5 * M_{ASD} < M_y$
 = $3,3 * 10^6$ [MPa]; si $1,5 * M_{ASD} \geq M_y$
- L_b = Longitud sin arriostamiento, [mm]
- t_f = espesor del ala superior, [mm]
- b_f = ancho del ala, [mm]
- h_w = altura alma, [mm]
- t_w = espesor del alma, [mm]

Verificación del pandeo lateral-torsional de la viga

Adicionalmente, se puede verificar la condición de pandeo lateral-torsional de la viga carrilera. Para el cumplimiento de ésta, el esfuerzo debido al momento flector en el eje fuerte de la viga no debe exceder el esfuerzo crítico de pandeo lateral-torsional, el cual se calcula mediante la ecuación E2.20.

$$\sigma_{plt} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \geq \sigma_x \dots\dots\dots E2.20$$

donde:

σ_{plt} = Esfuerzo crítico de pandeo lateral-torsional, [MPa].

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y * h_w}{2W_x}$$

2.2.5. Diseño de la viga puente

El campo aplicable del procedimiento descrito y los métodos involucrados son la estructura de un puente grúa y se considera que la viga puente es un elemento mecánico. Sin embargo, se utiliza el mismo procedimiento para determinar los requerimientos de un perfil para la viga puente, pero verificando solo las condiciones aplicables al elemento.

2.2.6. Diseño de columnas

Las columnas están sometidas a una carga excéntrica en compresión debido al apoyo que brinda a la viga carrilera mediante una ménsula. El efecto de pandeo asociado a esta sollicitación es descrito en la guía como una flexo-compresión. Para el diseño de la columna, la guía considera una compresión en su eje neutro, es decir, sin excentricidad, sumado a un momento flector en cada eje de la viga debido a la carga sobre la ménsula y a la carga entre dos columnas.

Para determinación de un perfil para la columna, la guía define una etapa preliminar en la que, a través de la utilización de criterios establecidos para flecha máxima de la columna, se termina un momento de inercia preliminar para luego ser verificado por flexo-compresión.

La etapa preliminar establece que la flecha máxima de la columna debido a la flexión máxima entre ambos ejes del perfil debe ser lo que indica la ecuación E2.21.

$$\Delta_x = H/240 \dots\dots\dots E2.21$$

Para el alcance que contempla este trabajo, la columna está orientada de tal modo que la eje fuerte del perfil está en la misma dirección de la viga carrilera. De acuerdo a esto, el momento de inercia requerido para la columna ($I_{x\ col\ req}$) es el momento de inercia del eje fuerte.

Una vez determinado el perfil requerido para la columna, se verifica ésta mediante un criterio para la flexo-compresión, el cual debe cumplir con la condición indicada en la ecuación E2.22.

$$\frac{\sigma_{c\ col}}{\sigma_{c\ adm}} + \frac{\sigma_{x\ col}}{\sigma_{f\ adm}} + \frac{\sigma_{y\ col}}{\sigma_{f\ adm}} \leq 1,0 \dots\dots\dots E2.22$$

$$\sigma_{c\ col} = \frac{F_{rueda}}{A_{col}} \dots\dots\dots E2.23$$

$$\sigma_{x\ col} = \frac{M_{x\ col}}{W_{x\ col}} \dots\dots\dots E2.24$$

$$\sigma_{y\ col} = \frac{M_{y\ col}}{W_{y\ col}} \dots\dots\dots E2.25$$

donde:

$\sigma_{c\ col}$ = Esfuerzo debido a la compresión sin excentricidad sobre la columna, [MPa].
Calculado según la ecuación E2.23.

$\sigma_{x\ col}$ = Esfuerzo debido a la flexión en el eje fuerte del perfil debido al momento aplicado con la carga ubicada en el punto medio del tramo de viga carrilera entre dos columnas, [MPa]. Calculado según la ecuación E2.24.

$\sigma_{y\ col}$ = Esfuerzo debido a la flexión en el eje débil del perfil debido al momento aplicado con la carga ubicada en el centro de la ménsula de apoyo de la viga carrilera, [MPa]. Calculado según la ecuación E2.25.

$\sigma_{c\ adm}$ = Esfuerzo admisible sobre la columna debido a la compresión, [MPa].

$\sigma_{f\ adm}$ = Esfuerzo admisible sobre la columna debido a flexión de la columna, [MPa].

$M_{x\ col}$ = Momento flector en el eje fuerte del perfil de la columna, [N mm].

$M_{y\ col}$ = Momento flector en el eje débil del perfil de la columna, [N mm].

A_{col} = Área del perfil seleccionado para la columna, [mm²].

$W_{x\ col}$ = Módulo resistente del eje fuerte del perfil de la columna, [mm³].

$W_{y\ col}$ = Módulo resistente del eje débil del perfil de la columna, [mm³].

Una vez verificadas esta condición, el perfil seleccionado es considerado como apropiado para ser utilizado como columna para la estructura del puente grúa.

2.2.7. Diseño de ménsulas

La ménsula, considerada en este trabajo como una ménsula triangular empernada a las alas de la columna de perfil I, está sometida a esfuerzos en corte y flexión. En cambio, el arreglo de pernos con los que se une la ménsula a la columna está sometida a carga cortante directa y carga cortante debido a la torsión.

Ante la ausencia de recomendaciones para el diseño de ménsulas en la guía, se recurre a bibliografía *Shigley J. E., Mischke C. R., (1989), Diseño en Ingeniería Mecánica, 5ta Edición, McGrawHill* para identificar las consideraciones para su diseño.

Por lo tanto, el diseño de la ménsula, es decir, la definición de un alto, un largo y un espesor para ésta, debe verificarse mediante la condición expuesta en la ecuación E2.26.

$$\sqrt{\sigma_{f\ men}^2 + 3\tau_{xy\ men}^2} \leq \sigma_{adm\ ASD} \dots\dots\dots E2.26$$

$$\sigma_{f\ men} = \frac{M_{f\ men}}{W_{men}} \dots\dots\dots E2.27$$

$$\tau_{xy\ men} = \frac{F_{rueda}}{2 \cdot A_{men}} \dots\dots\dots E2.28$$

donde:

$\sigma_{adm\ ASD}$ = Esfuerzo admisible para la sollicitación correspondiente, [MPa].

$\sigma_{f\ men}$ = Esfuerzo debido a la flexión de la ménsula en la línea de soporte, [MPa]. Calculado según la ecuación E.27.

$3\tau_{xy\ men}$ = Esfuerzo debido a la cortadura de la ménsula en la línea de soporte, [MPa]. Calculado según la ecuación E.28.

$M_{f\ men}$ = Momento flector en la línea de soporte de la ménsula producido por la carga de rueda, [N mm].

W_{men} = Módulo resistente de la sección de la ménsula en la línea de soporte, [mm³].

A_{men} = Área de la sección de la ménsula en la línea de soporte, [mm²].

En cuanto al arreglo de pernos de sujeción de la ménsula a la columna, la determinación del diámetro requerido para cada perno ($\emptyset_{p\ req}$) se realiza mediante el cumplimiento de la condición indicada en la ecuación E2.29.

$$\tau_p \leq \sigma_{adm\ ASD} \dots\dots\dots E2.29$$

$$\tau_p = \frac{F_{p\ total}}{\frac{\pi \cdot \emptyset_{p\ req}^2}{4}} \dots\dots\dots E2.30$$

donde:

τ_p = Esfuerzo debido a la cortadura en el perno de mayor sollicitación del arreglo, [MPa]. Calculado según la ecuación E.30.

$F_{p\ total}$ = Fuerza total aplicada sobre el perno mayormente solicitado, [N].

ϕ_{req} = Diámetro requerido del perno. [mm]

2.2.8. Especificaciones para materiales

Los aceros aceptados para el diseño y fabricación de los elementos del puente grúa son los siguientes:

a. Perfiles de acero

ASTM A36/A36M	ASTM A572/A572M	ASTM A709/A709M	ASTM A992/A992M
ASTM A529/A529	ASTM A588/A588M	ASTM A913/A913M	ASTM A1043/A1043M

b. Planchas

ASTM A36/A36M	ASTM A514/A514M	ASTM A588/A588M	ASTM A1066/A1066M
ASTM A242/A242M	ASTM A529/A529M	ASTM A709/A709M	
ASTM A283/A283M	ASTM A572/A572M	ASTM A1043/A1043M	

c. Barras

ASTM A36/A36M	ASTM A529/A529M	ASTM A572/A572M	ASTM A709/A709M
---------------	-----------------	-----------------	-----------------

d. Pernos

ASTM A307	ASTM A449	ASTM F3111	
ASTM A354	ASTM F3043	ASTM F3125/F3125M	

e. Insumos para soldadura

AWS A5.1/A5.1M	AWS A5.18/A5.18M	AWS A5.25/A5.25M	AWSA5.29/A5.00329M
AWS A5.5/A5.5M	AWS A5.20/A5.20M	AWS A5.26/A5.26M	AWS A5.32/A5.32M
AWS A5.17/A5.17M	AWS A5.23/A5.23M	AWS A5.28/A5.28M	AWS A5.36/A5.36

3. SITUACIÓN ACTUAL

3.1.Reemplazo de Bombas de Elevación de Aguas Servidas

Como se expresa en los antecedentes generales del presente trabajo, la empresa sanitaria propietaria de la estación elevadora de aguas servidas ya ha adquirido las nuevas bombas elevadoras que serán reemplazadas en esta estación. Estas bombas superan en capacidad a las existentes, pero lo que es de importancia para este trabajo, éstas superan a las existentes en peso y dimensiones.

El puente grúa instalado en la estación no cuenta con la capacidad para realizar la maniobra de izaje de estas bombas.

Se requiere el reemplazo del puente grúa por uno que tenga la capacidad en cuanto al peso de las bombas y además permita introducir las bombas a pesar de las limitaciones espaciales que el recinto posee.

3.2.Características de la Instalación y de la Carga a Izar

El espacio físico donde se requiere la instalación de un puente grúa es un recinto cerrado ubicado sobre una estación elevadora de aguas servidas. En dicha estación están instaladas una serie de bombas elevadoras.

El puente grúa debe cumplir la función de montaje y desmontaje de estas bombas desde su posición bajo la EEAS hasta el acceso del recinto para su mantenimiento.

La estructural del puente grúa que realizaba dicha función fue descartada debido a que su capacidad no era la suficiente para el montaje de las nuevas bombas. Conservando así solo los puntos de anclaje a la loza, que es donde se instala el nuevo puente grúa.

En la Figura 3.1 se muestra esquemáticamente la instalación.

Como se expresó en los párrafos anteriores, el puente grúa en cuestión debe izar y trasladar bombas de elevación de aguas servidas, una a la vez. El detalle de las dimensiones de esta bomba se encuentra en el Anexo 1. Las características principales y de utilidad para el diseño del puente grúa se indican a continuación. La Figura 3.2 muestra la geometría de la bomba. La Tabla 3.1 indica las especificaciones físicas de la bomba.

Tabla 3.1 Características físicas de importancia de la bomba.

Magnitud	Valor
Altura	2.600 [mm]
Diámetro	785 [mm]
Peso	3.000 [kg]

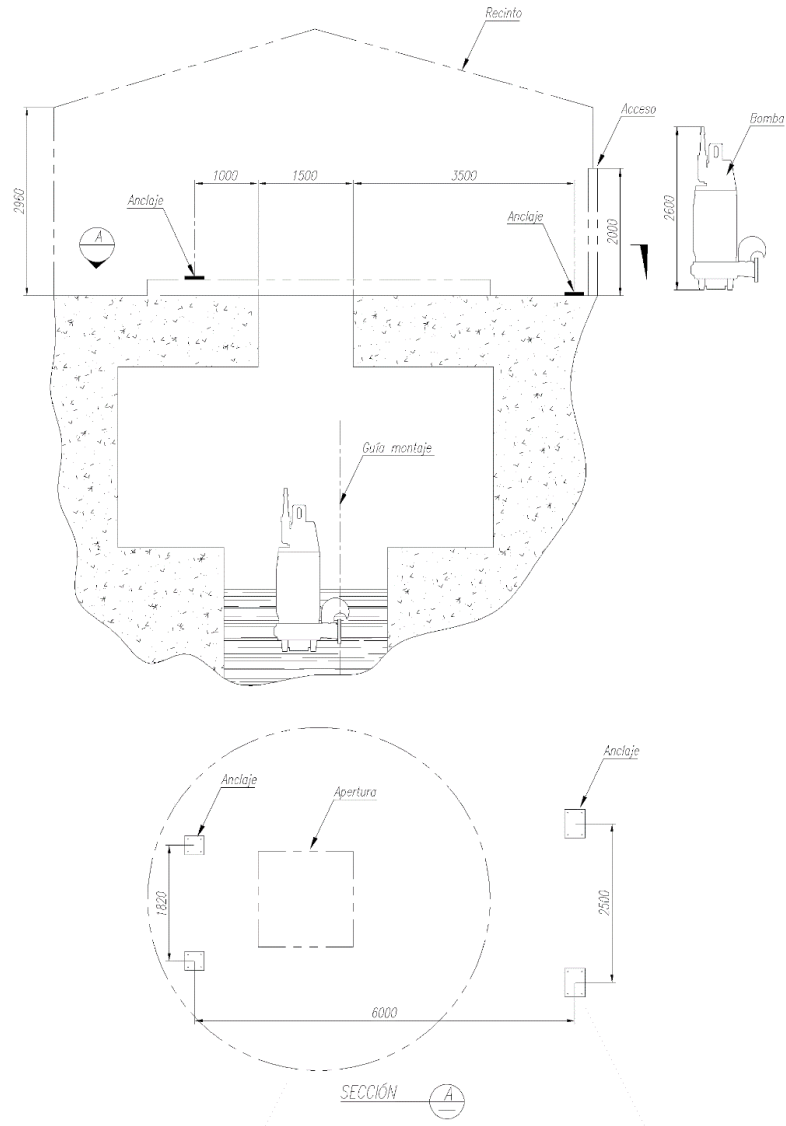


Figura 3.1 Esquema del espacio físico donde se debe montar la bomba elevadora.



Figura 3.2 Bomba elevadora de aguas servidas.

La bomba requiere ser trasladada, para su montaje, desde el acceso del recinto hasta una posición que permita descenderla a través de la apertura cuadrada de la losa. Desde ese punto la bomba debe ser descendida hasta su ubicación para el montaje.

Si se trata de desmontaje la bomba debe ser izada desde su lugar de operación hasta quedar totalmente sobre la superficie de la losa, luego trasladada hasta el acceso del recinto.

De acuerdo con lo expresado, el recinto presenta restricciones dimensionales que complejizan el traslado de la carga.

Las restricciones planteadas corresponden a lo siguiente:

- La altura del recinto, al cual no permite elevar el puente grúa a una altura que permita trasladar la bomba de manera vertical.
- La altura de la puerta del recinto, que como ya se ha mencionado, no permite el ingreso de la bomba en una posición vertical.
- Los puntos de anclaje a la losa del recinto, los cuales no permiten poder configurar las dimensiones del puente grúa de acuerdo a lo que se estime conveniente. Además, en diseño de elemento de anclaje sobre losa ya construida no es el alcance del presente trabajo.

En base a estas restricciones, se contempla el diseño de un puente grúa que se adecúe a la geometría que los puntos de anclaje permiten y, además, permita recibir la bomba en una posición horizontal para luego ser inclinada hasta poder ingresarla por el vano (ver Figura 3.1) en una posición vertical.

A partir de la ubicación de los anclajes y la altura máxima permitida por las limitaciones del recinto, se traza las dimensiones de la estructura del puente grúa. Ver Figura 3.3.

Las restricciones espaciales ya expuestas hacen necesario la definición de un método para el traslado de la carga al punto requerido que considere una variación en la inclinación de la bomba para la cual es objeto el puente grúa. Bajo esta premisa se determinan los principales movimientos con los cuales se debe trasladar y descender la bomba, o levantar en el caso del desmontaje, entre el acceso al recinto y su lugar de operación.

La Figura 3.4 muestra una serie de rotaciones, traslaciones, elevaciones y descensos que debe realizar la bomba para que ésta pueda efectivamente llegar a su lugar de montaje.

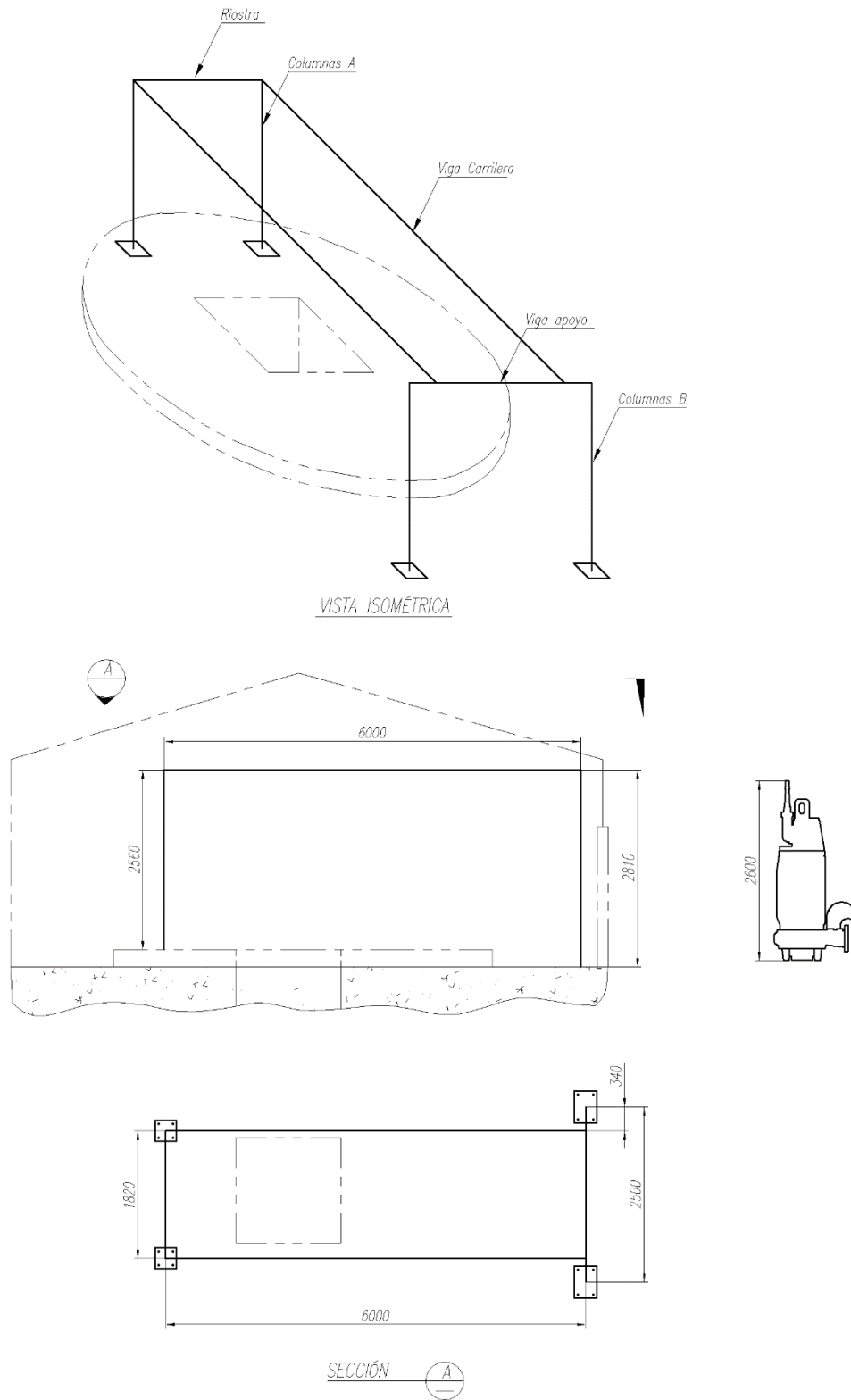


Figura 3.3 Dimensiones generales máximas que el recinto permite para el puente grúa.

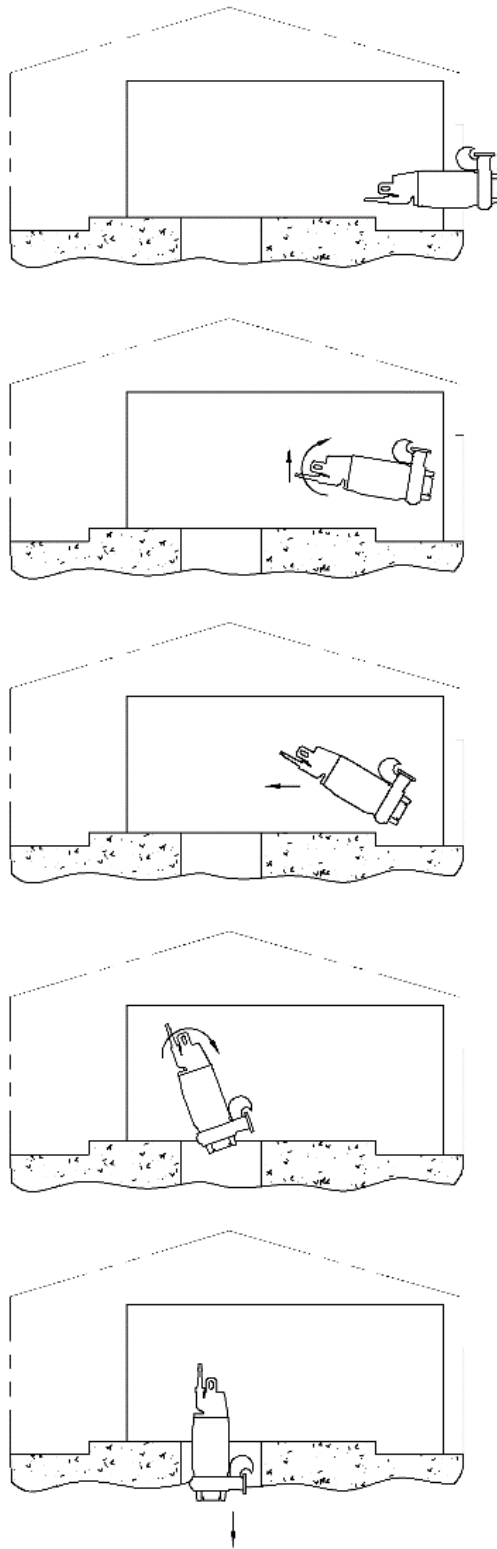


Figura 3.4 Movimientos para la traslación y descenso, o ascenso, de la bomba.

4. DISEÑO DEL PUENTE GRÚA

4.1.Propuesta de Diseño del Puente Grúa

Para dar cumplimiento con los requerimientos expresados en el apartado anterior, vale decir, la capacidad y el método de izaje de la carga, se propone un diseño para el puente grúa que permita montar y desmontar las bombas elevadoras de aguas servidas. Este diseño se presenta a continuación. Ver Figura 4.2.

La imagen muestra un puente grúa que consiste en una viga puente, bajo la cual se encuentra instalado un equipo de levante de carga dotado de desplazamiento transversal (a lo largo de la viga puente). A esta viga puente se le llamará puente principal, ya que existe una viga puente auxiliar, unida a la viga puente principal, y bajo la cual se encuentra instalado un segundo equipo de levante de carga dotado de desplazamiento trasversal (a lo largo de la viga puente auxiliar). El mecanismo conjunto de izaje se desplaza longitudinalmente mediante carrillos de desplazamiento manual, cuya tracción es mediante cadenas en los carrillos pertenecientes a la viga puente auxiliar. Estos carrillos se apoyan sobre dos vigas carrileras que les sirven como guía. Las vigas carrileras se encuentran ubicadas a una altura específica y apoyadas por columnas. En su parte posterior se encuentran apoyadas directamente por estas últimas y a su vez arriostradas horizontalmente, y en la sección más cercana a la entrada del recinto se encuentran apoyadas a una viga de apoyo la cual está apoyada a dos columnas más.

La viga puente principal se encuentra compuesta por los elementos que muestra la Figura 4.3. y se detallan en la Tabla 4.2.

La viga puente principal es una viga de perfil H con un tecele de tracción eléctrica montado en un carrillo de desplazamiento eléctrico de 5 toneladas de capacidad de levante cuyas ruedas se apoyan sobre las alas inferiores de la viga puente. En los extremos de la viga se encuentran unidos por soldadura a los carrillos, la unión es mediante placas perpendiculares a la viga incluyendo atiesadores. Estas placas se encuentran soldadas a los carrillos y, para una mayor fijación, se encuentran sujetadas con el perno perteneciente al carrillo y que normalmente se utilizaría para colgar el equipo de izaje mediante un gancho. La viga puente principal se encuentra unida a la viga puente auxiliar por medio de un perfil estructural tipo C. Este elemento se encuentra soldado a la cara lateral

La viga puente auxiliar se encuentra compuesta por los elementos que muestra la Figura 4.4. y se detallan en la Tabla 4.3.

La viga puente auxiliar es una viga de perfil I con un teclé de tracción eléctrica montado en un carrillo de desplazamiento eléctrico de 3 toneladas de capacidad de levante cuyas ruedas se apoyan sobre las alas inferiores de la viga puente. En los extremos de la viga se encuentran soldados un par de placas que, mediante un perno, permiten colgar la dicha viga de un ojal el cual, a su vez, cuelga del carrillo montado sobre las alas inferiores de la viga carrilera, específicamente al perno que normalmente se utilizaría para colgar el equipo de izaje mediante un gancho. Esto le permite a la viga puente auxiliar realizar leves giros para el manejo de la carga según los requerimientos ya expresados.

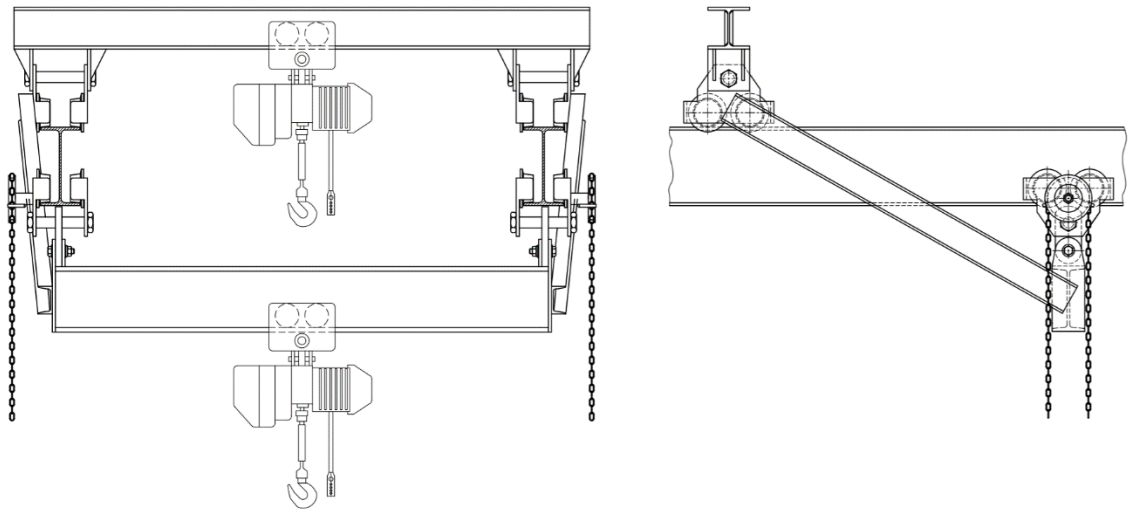


Figura 4.1 Puente, puente principal más puente de elevación auxiliar.

Tabla 4.1 Detalle de los elementos del conjunto puente grúa (respecto a Figura 4.2).

Descripción elemento	Letra
Puente principal	A
Puente auxiliar	B
Vigas carrileras	C
Columnas traseras	D
Columnas delanteras	E
Riostra horizontal	F
Viga de apoyo	G

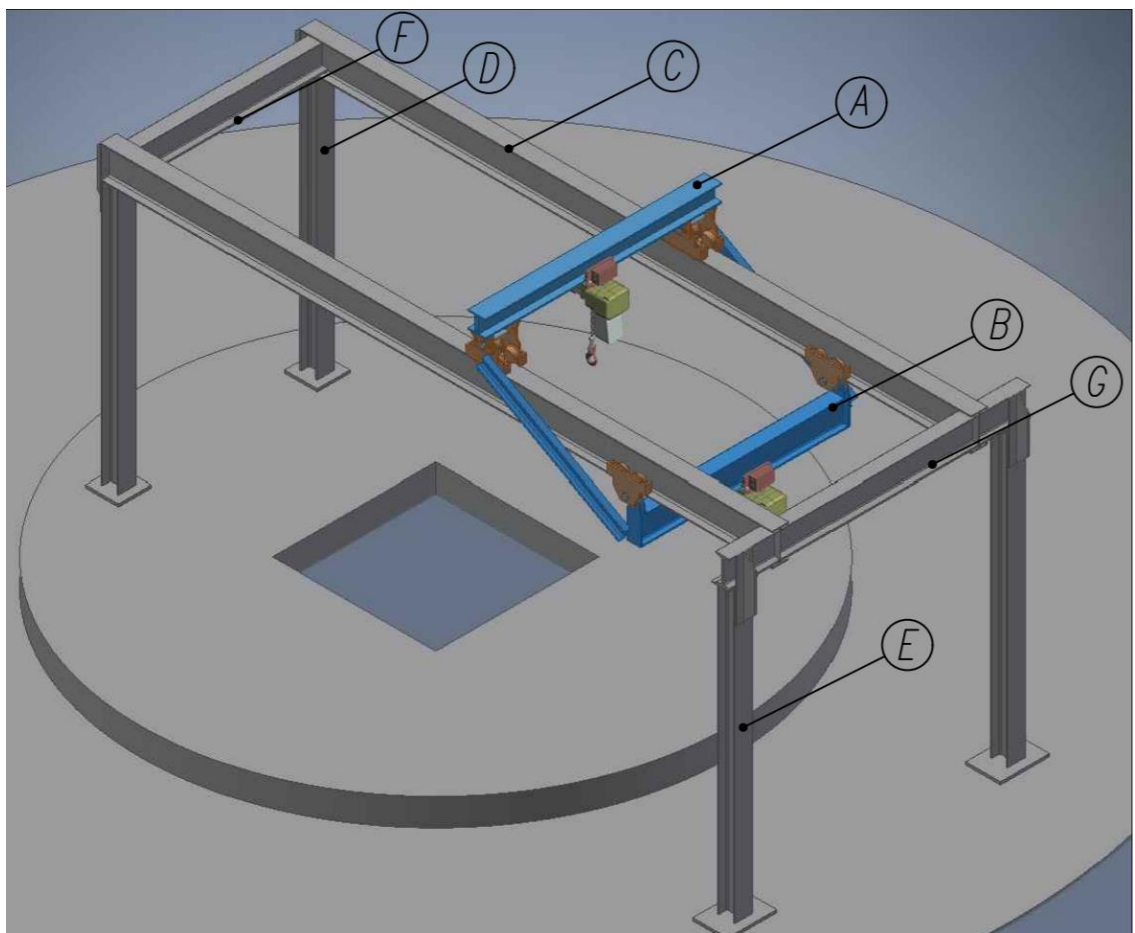


Figura 4.2 Propuesta de diseño del puente grúa.

Tabla 4.2 Detalle de los elementos del conjunto puente principal (respecto a Figura 4.3).

Descripción elemento	Letra
Viga puente principal	A
Carrillo de traslación	B
Elementos de unión viga-carrillo	C
Tecele eléctrico	D
Viga carrilera	E

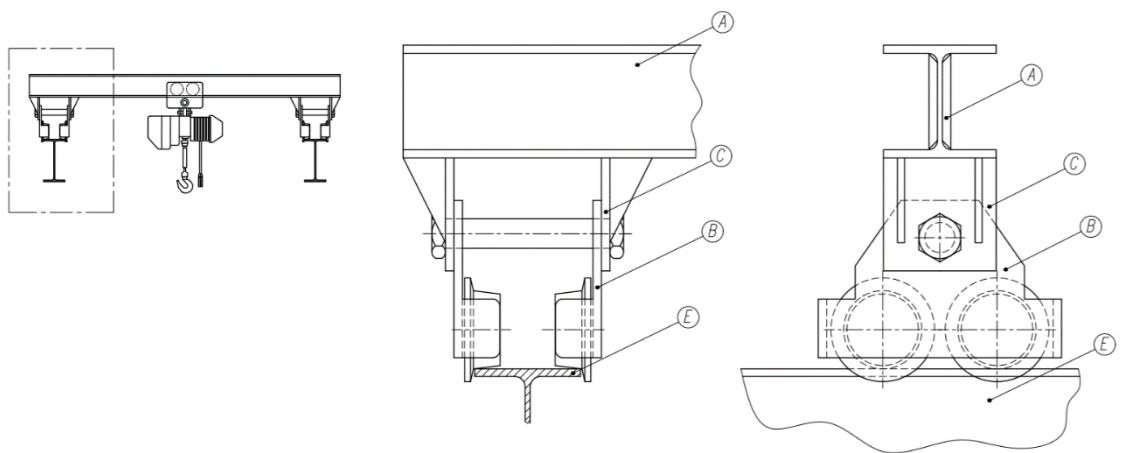
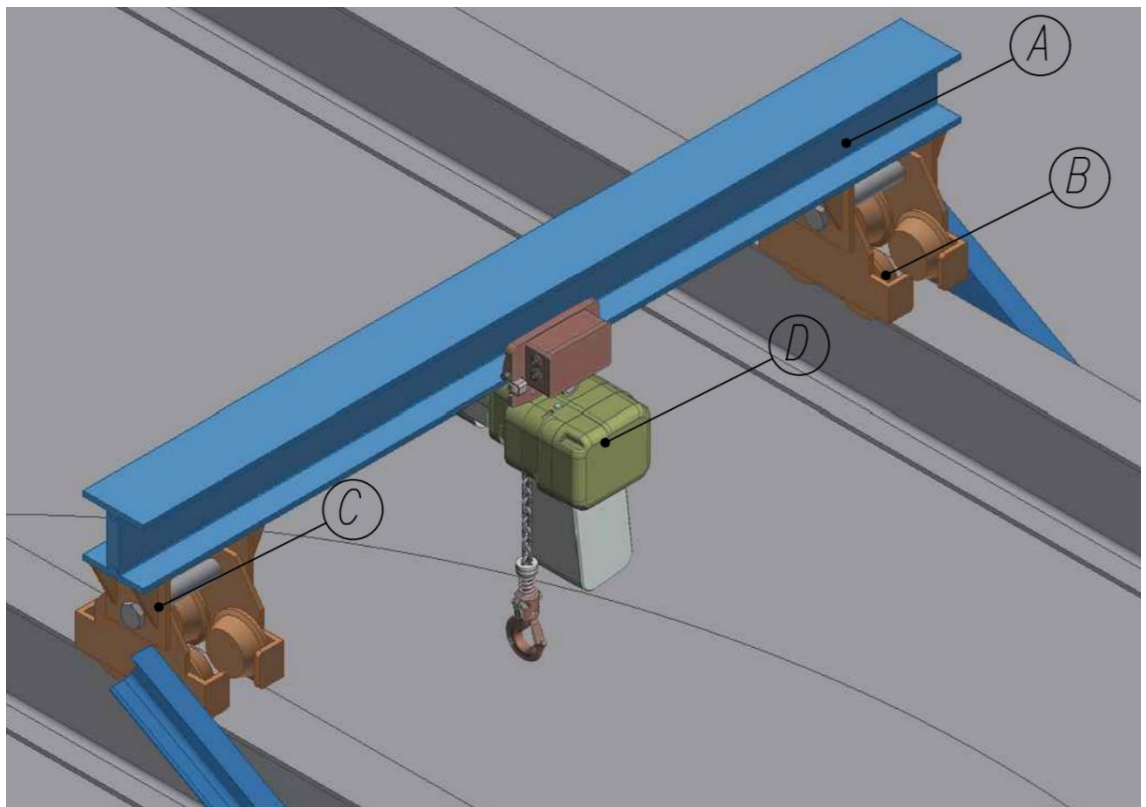


Figura 4.3 Detalle del puente principal.

Tabla 4.3 Detalle de los elementos del conjunto puente auxiliar (respecto a Figura 4.4).

Descripción elemento	Letra
Viga puente auxiliar	A
Carrillo de traslación	B
Elemento de suspensión de la viga	C
Elementos de unión suspensión-viga	D
Tecele eléctrico	E
Viga carrilera	

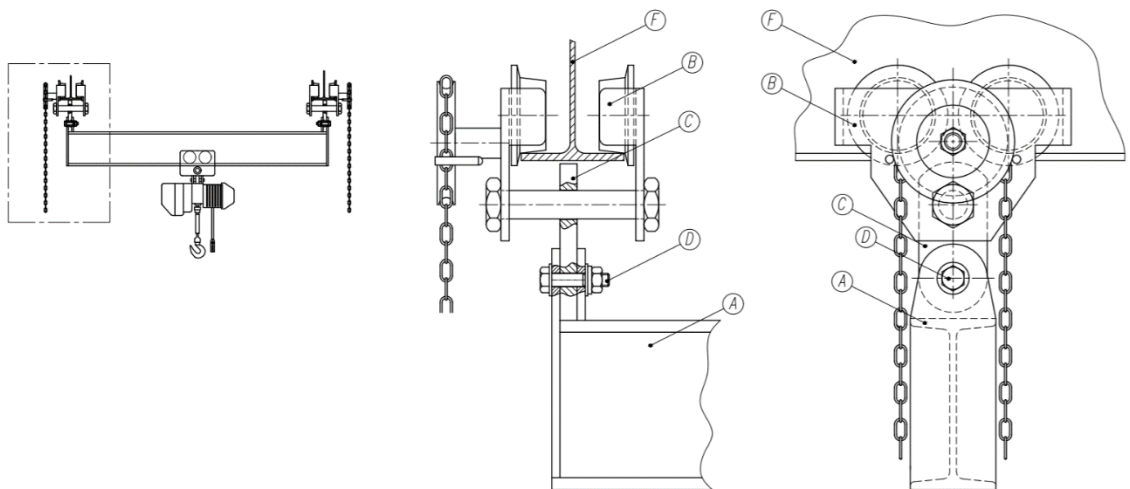
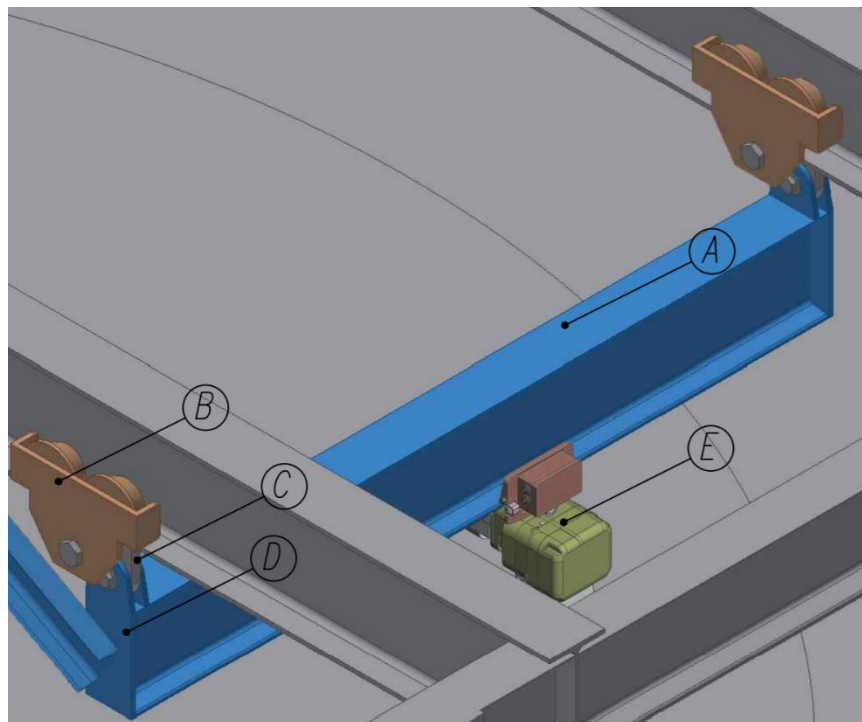


Figura 4.4 Detalle del puente auxiliar.

4.2.Fabricación del Puente Grúa

4.2.1. Equipos

Los equipos seleccionados corresponden a elementos de izaje y traslación sobre vigas.

Polipasto puente

- Tecla de cadena eléctrica con carrillo eléctrico
- Marca Prowinch, Modelo PWRC5
- Capacidad 5 toneladas



Figura 4.5 Tecla eléctrica de 5 toneladas con carrillo eléctrico.

Apoyo de viga puente sobre viga carrilera

- Carro manual sin cadena
- Marca Prowinch, Modelo PWQM5T
- Capacidad 5 toneladas



Figura 4.6 Carrillo manual sin cadena de 5 toneladas.

Polipasto de sistema auxiliar

- Tecla de cadena eléctrica con carrillo eléctrico
- Marca Prowinch, Modelo PWRC3
- Capacidad 3 toneladas



Figura 4.7 Tecla eléctrica de 3 toneladas con carrillo eléctrico.

Apoyo de sistema auxiliar sobre viga carrilera

- Carro manual sin cadena
- Marca Prowinch, Modelo PWQMC3T
- Capacidad 3 toneladas



Figura 4.8 Carrillo manual con cadena de 5 toneladas.

4.2.2. Materiales

La estructura soportante de las vigas carrileras, éstas y las vigas puente principal y puente auxiliar se fabrican en base a perfiles de acero estructurales con elementos de unión y refuerzo que comprenden placas de acero, pernos y soldadura. El detalle de los elementos que se utilizan se indican a continuación.

Las vigas y columnas corresponden a perfiles de acero laminados con calidad ASTM A-36, cuyo esfuerzo de fluencia es 250 [MPa].

Las placas de unión y refuerzos corresponden a planchas de acero negro con calidad ASTM A-36, cuyo esfuerzo de fluencia es 250 [MPa].

Los pernos son de acero calidad ASTM A-325, con un esfuerzo de fluencia mínimo de 560 [MPa].

Las soldaduras corresponden son E7018, cuyo esfuerzo de fluencia es 450 [MPa].

El detalle de los materiales contemplados se indica en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Listado de materiales de acero para la fabricación del puente grúa.

Ítem	Elemento	Especificación	Cantidad	Largo [mm]
1	Perfil I	IPE 300	2	6.000
2	Perfil I	S 250x52	1	1.820

3	Perfil I	S 250x52	1	2.850
4	Perfil I	S 250x52	1	1.900
5	Perfil I	HEB 160	1	2.000
6	Perfil I	HEB 160	2	2.410
7	Perfil I	HEB 160	2	2.670

Ítem	Elemento	Especificación	Calidad	Cantidad
8	Perno	Ø1/2" x 1,5"	ASTM A-325	6
9	Perno	Ø3/4" x 3,5"	ASTM A-325	2

Ítem	Elemento	Especificación	Material	Área [mm ²]
10	Plancha acero	Espesor 12 mm	ASTM A-36	1.550.000
11	Plancha acero	Espesor 25 mm	ASTM A-36	33.600

Ítem	Elemento	Designación	Cantidad [kg]
12	Electrodo	E7018	20

4.2.3. Montaje

La fabricación del puente grúa consta de 2 partes, la fabricación de las piezas que principalmente cumplen la función de refuerzo o unión de elementos, además del corte de las vigas de perfil I y H, y segundo, el montaje y unión de todas las partes de éste.

La etapa de fabricación de piezas y corte de perfiles se detalla en la planimetría inserta en el apartado 6. A continuación, se expresan una serie de indicaciones para el montaje de los elementos que conforman el puente grúa, partiendo por la estructura soportante de las vigas carrileras para luego detallar el armado de las vigas puente principal y auxiliar.

Primero se debe unir mediante soldadura filete las 4 columnas las placas de anclaje ya sujeta con el perno de anclaje existente en la loza del recinto. Luego se debe unir mediante soldadura filete los atiesadores a la placa de anclaje y a las columnas, una en cada lado del alma del perfil de la columna. Ver Figura 4.9.

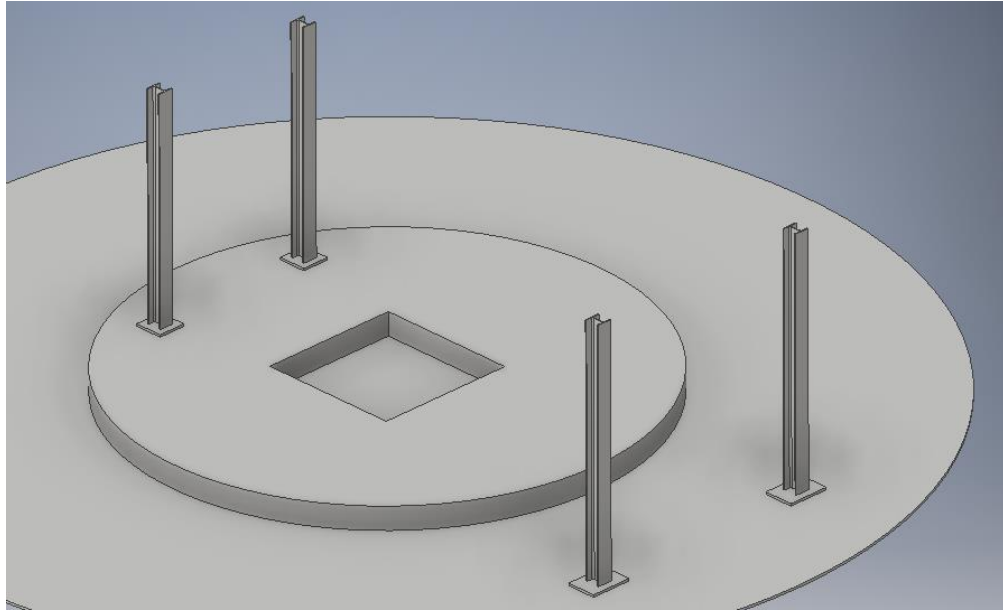


Figura 4.9 Fabricación de la estructura – levantamiento de columnas.

En segundo lugar, se deben unir la viga de apoyo sobre las columnas delanteras, esto mediante una placa soldada inferiormente a la columna con soldadura filete y superiormente a la viga de apoyo con soldadura de canto y filete. Además, soldar placas de refuerzo a la viga apoyo (para montaje de vigas carrileras). Ver Figura 4.10.

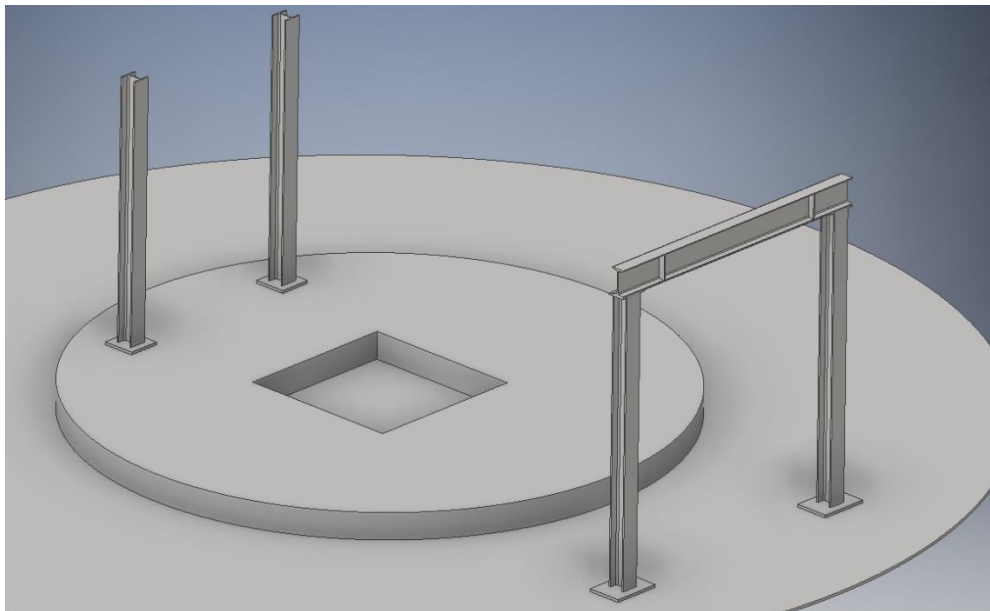


Figura 4.10 Fabricación de la estructura – montaje viga de apoyo.

El tercer paso es unir las vigas carrileras en un extremo sobre las columnas traseras mediante soldadura filete y en el otro extremo a la viga de apoyo mediante soldadura filete y a las placas de refuerzo mediante soldadura a tope. Además, se debe soldar los refuerzos

de las uniones de las columnas delanteras y traseras a la viga de apoyo y a las vigas carrileras respectivamente. Ver Figura 4.11.

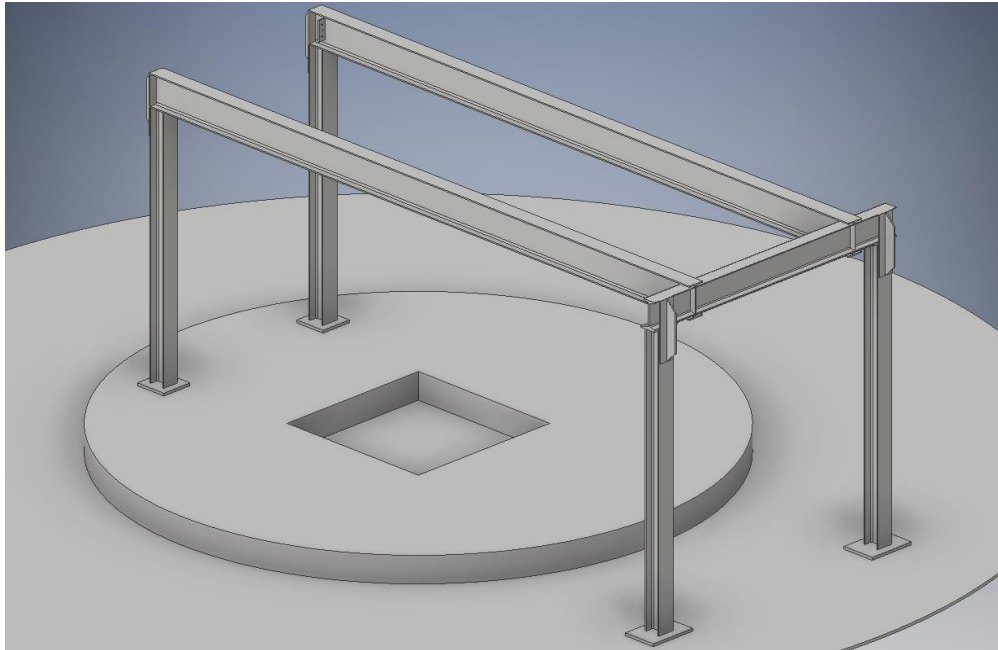


Figura 4.11 Fabricación de la estructura – montaje vigas carrileras.

El cuarto paso es unir las placas perforadas a las vigas carrileras, que permiten la unión de estas últimas con la riostra horizontal, mediante soldadura filete. Para luego montar y empernar la riostra horizontal. Ver Figura 4.12.

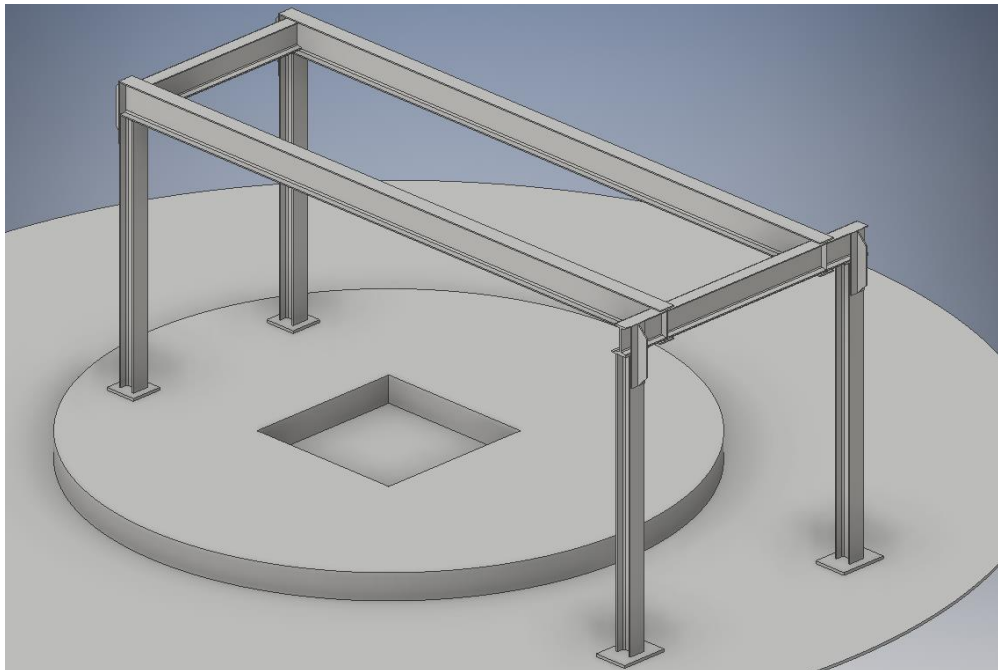


Figura 4.12 Fabricación de la estructura – montaje riostras.

Ya culminado el montaje de la estructura soportante de los puentes, se debe realizar el armado de la viga puente principal y auxiliar. Comenzando con la viga puente principal, el primer paso es unir las placas a cada cara del carrillo con soldadura traslapada. Para luego continuar uniendo dichas placas a los extremos de la viga e incorporar los atiesadores con soldadura filete. Finalmente, reforzar la unión con el perno perteneciente al carrillo. Ver Figura 4.13.

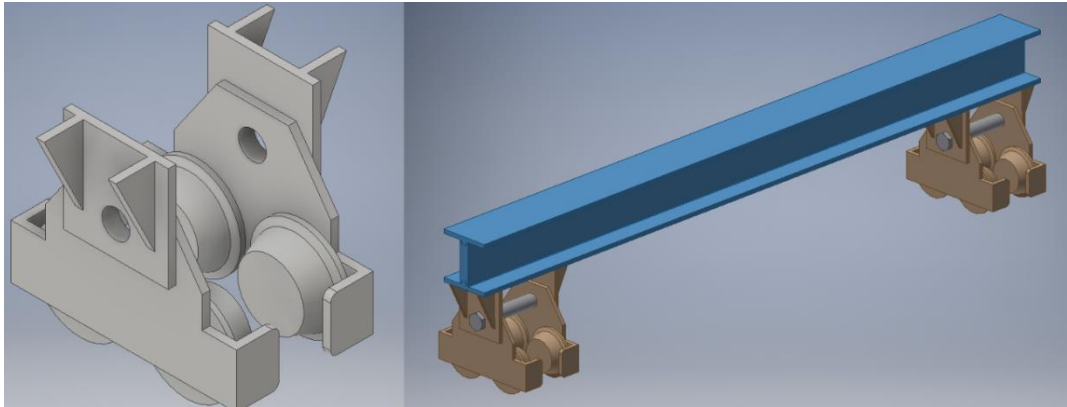


Figura 4.13 Armado de la viga puente principal.

Para el armado de la viga puente auxiliar, se debe comenzar uniendo los extremos de la viga con las placas estarán unidas al ojal por un perno. Ésta será la única unión permanente de este conjunto, el resto del armado se realizará una vez que se haya montado los carrillos sobre las vigas carrileras. Ver Figura 4.14.

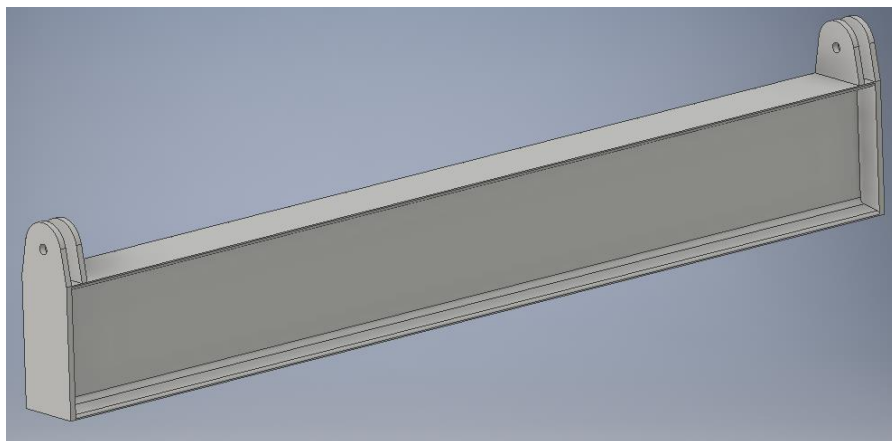


Figura 4.14 Armado de la viga puente auxiliar.

Como penúltimo paso, se debe montar sobre las vigas carrileras la viga puente principal, haciendo calzar las ruedas de los carrillos al ala superior de la viga carrilera.

Además, se debe montar los carrillos pertenecientes a la viga auxiliar sobre las alas inferiores de la viga carrilera, estos ya deben tener montado los ojales, y hacer calzar las

ruedas de los carrillos con las alas de la viga carrilera. Luego de esto se puede unir el ojal con las placas soldadas a los extremos de la viga auxiliar mediante el perno Ø3/4”.

Con esto quedan montadas ambas vigas puente en su totalidad. Ver Figura 4.15.

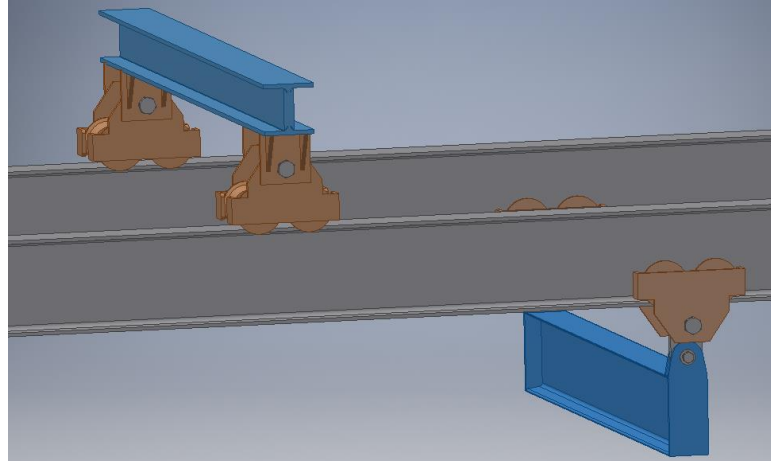


Figura 4.15 Montaje viga puente principal y auxiliar.

Finalmente, se debe soldar el elemento de unión de los puentes principal y auxiliar a las caras laterales exteriores de los carrillos de ambas. Para luego montar los equipos de levante de carga. Ver Figura 4.16.

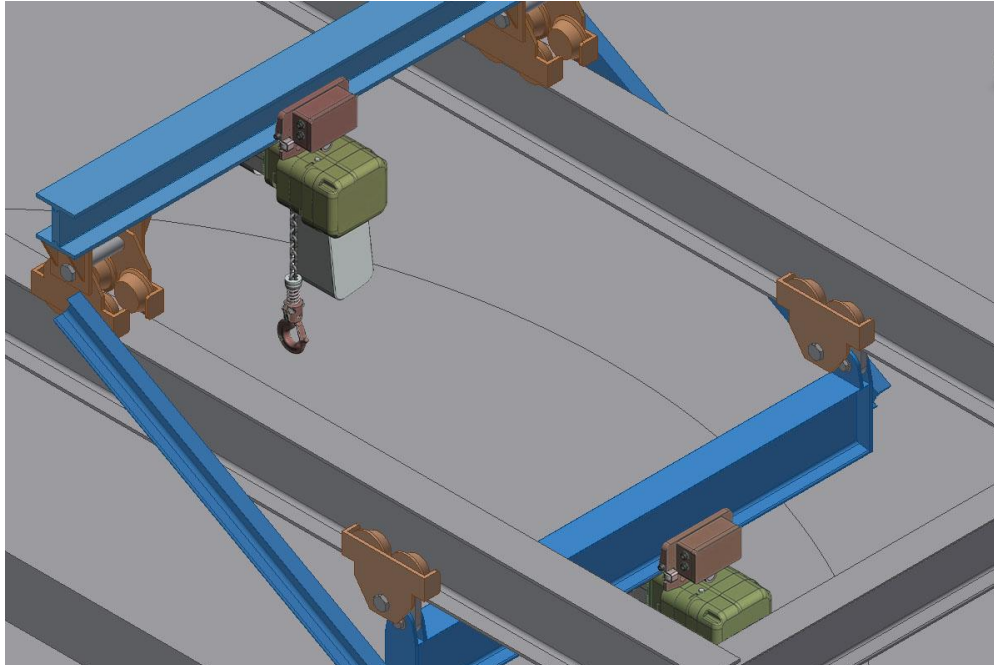


Figura 4.16 Unión puente principal y auxiliar.

A continuación, en la Tabla 4.5, se indica el detalle de las soldaduras requeridas para el montaje de la totalidad de los elementos del puente grúa.

Tabla 4.5 Detalle de las soldaduras para el montaje de puente grúa.

Descripción soldadura	Cordón		
	Unión	Tipo	t [mm] Largo total [mm]
Columna – placa anclaje	Filete	8	$(160*6)*4 = 3.840$
Atiesador – columna y placa anclaje	Filete	8	$(76+100)*2*8 = 2.816$
Columna delantera – placa unión	Filete	8	$(160*4)*2 = 1.280$
Columna delantera – placa unión	De canto	8	$(160*2)*2 = 640$
Placa de unión – viga de apoyo	Filete	8	$(125*2)*2 = 500$
Placa de unión – viga de apoyo	De canto	8	$(260*2)*2 = 1.040$
Viga de apoyo – refuerzo unión viga carril.	Filete	8	$(210+225+55)*2*2 = 1.960$
Viga carrilera – viga de apoyo	Filete	8	$(2*125+250)*2*2 = 2.000$
Columna trasera – viga carrilera	Filete	8	$(160*6)*2 = 1.920$
Viga carrilera – placa para riostra	Filete	8	$(190*2)*2 = 760$
Placa unión viga puente princ. – carrillo	Traslape	8	$(200+290)*2*2 = 1.960$
Viga puente princ. - placa unión carrillo	Filete	8	$(160*2)*2 = 640$
Atiesador – placa unión y viga puente princ.	Filete	8	$(120+60)*4*2 = 1.440$
Viga puente aux. – placa unión ojal	Filete	8	$(125*2)*2 = 500$
Viga puente aux. – placa extremo unión ojal	Filete	8	$(125*3+250)*2 = 1.250$
Viga puente aux. – placa extremo unión ojal	Esquina	8	$(125)*2 = 250$

4.3. Verificación de la Resistencia de los Elementos del Puente Grúa

El puente grúa no es diseñado totalmente de acuerdo con lo indicado en la guía, de modo que muchos elementos carecen similitud con lo que indica ésta. Sin embargo, se verifica la resistencia de todos los elementos diseñados de acuerdo con los parámetros de la guía. La metodología es la siguiente:

Se calcula los esfuerzos sobre cada elemento diseñado del puente grúa y de sus uniones.

Se verifica el cumplimiento con las condiciones que estipula en las ecuaciones correspondientes, indicadas en el apartado 2.2.

Para los elementos no abarcados por la guía, se compara los esfuerzos admisibles del material con los esfuerzos máximos calculados, mediante un factor de seguridad.

Se verifica el cumplimiento con las condiciones estipuladas para el factor de en cada uno de los elementos de la estructura, cuando aplique.

Se establecen criterios para el cálculo de las solicitaciones en los elementos, procurando que éstos sean más conservadores.

- Cargas puntuales de flexión separadas por pequeñas distancias se considera una carga puntual correspondiente a la suma de las cargas en cuestión; por ejemplo, las cargas de cada rueda de la viga puente sobre la viga carrilera.
- El peso propio de una viga en flexión se considera una carga puntual en el punto medio de ésta.
- Las cargas se posicionan en el punto donde los esfuerzos producidos por éstas son máximos.

4.3.1. Clasificación de la grúa

Se clasifica la grúa de acuerdo a lo indicado por la guía. Esta clasificación permite determinar los rangos de esfuerzos admisibles para cada solicitación a calcular subsecuentemente. Las condiciones de la grúa que permiten clasificarla se indican a continuación:

- Uso: Uso ocasional con largos períodos de inactividad (Considerando que su uso corresponde de 0 a 4 izajes por mes).
- Tipo de carga: La carga a izar corresponde al 100% de la carga nominal.

Con esta información se consigue una clasificación para el puente grúa según la Tabla 1, la cual corresponde a la Clase A.

Luego se obtiene que la vida útil correspondiente a la clase de la grúa, para el caso de la Clase A corresponde a 20.000 ciclos. (Cantidad de ciclos mínima para el cálculo). Este dato se utiliza para calcular los rangos de esfuerzos admisibles de falla por fatiga según las ecuaciones E2.1 a E2.4.

4.3.2. Verificación de los elementos estructurales y mecánicos

Viga Carrilera

A continuación, en la Tabla 4.6, se indican los pesos de cada elemento involucrados en la determinación de la carga sobre cada viga carrilera.

Tabla 4.6 Pesos de los elementos sobre la viga carrilera.

Elemento	Peso
Viga carrilera	260 kg
Viga puente	94 kg
Tecla 5 ton	220 kg
Carrillo 5 ton s/cadena	33 kg
Viga sist. auxiliar	99 kg
Tecla 3 ton	167 kg
Carrillo 5 ton c/cadena	37 kg
Elementos extra	80 kg
Carga nominal	5.000 kg

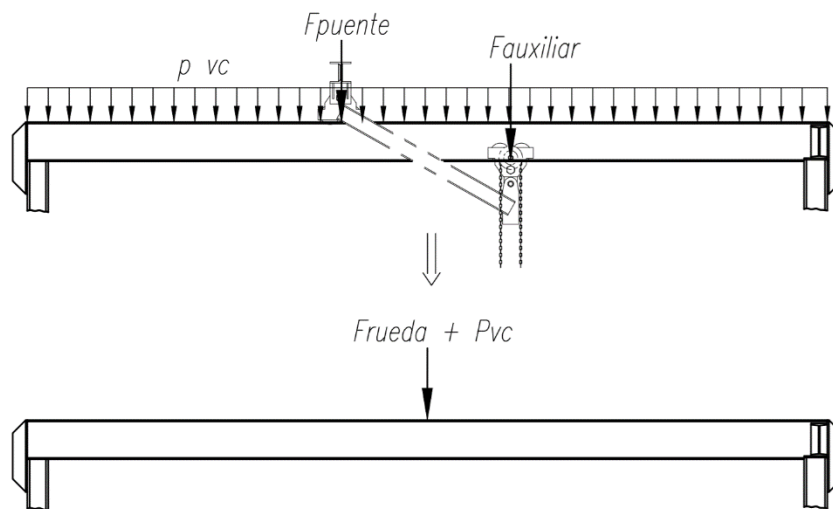


Figura 4.17 Equivalencia de las solicitaciones en la viga carrilera.

La carga que la rueda del puente ejerce sobre las alas superiores de la viga carrilera, calculada según la Ecuación E2.5.

$$F_{rueda} = \frac{1,2(94 + 99) + 1,6(220 + 167) + 33 + 37 + 80 + 5000 [kg]}{2} * g = 30.450 [N]$$

Luego, la carga vertical sobre la viga carrilera con su peso propio es:

$$F_{rueda} + 260 [kg] * g = 33.050 [N]$$

Se verifica el cumplimiento con la condición para la flecha máxima de la viga carrilera debido a la carga de flexión, expresada en la Ecuación E2.9.

La flecha máxima en la viga carrilera es:

$$\Delta x = \frac{F * L_{vc}^3}{48 * E * I_x} = \frac{33.050 [N] * 6.110^3 [mm^3]}{48 * 210.000 [MPa] * 83.600.000 [mm^4]} = 8,9 [mm]$$

La condición es:

$$\frac{L}{600} > \Delta x \Rightarrow \frac{6.110[mm]}{600} = 10,18 > 8,9$$

Se comprueba la condición. Luego, se verifica el cumplimiento con la condición para el esfuerzo producido por la flexión biaxial, expresada en la *Ecuación E2.16*.

El momento flector máximo en el eje fuerte del perfil de la viga, debido a la carga vertical, está dado por la siguiente expresión:

$$M_{f_x} = \frac{F * L_{vc}}{8} = \frac{33.050[N] * 6.110[mm]}{8} = 25.241.938[N mm]$$

El momento flector máximo en el eje débil del perfil de la viga, debido a la carga lateral, está dado por la siguiente expresión:

$$M_{f_y} = \frac{0,2 * F_{rueda} * L_{vc}}{8} = \frac{0,2 * 28.096[N] * 6.110[mm]}{8} = 4.651.238[N mm]$$

Según la guía, y para la clasificación de la grúa, el rango de esfuerzos máximos permitidos para la condición de fatiga debido a las cargas cíclicas sobre la viga carrilera es 435 [MPa]. Por lo que se recurre a la *Ecuación E2.38*. Además, según el método ASD propuesto en la guía, el esfuerzo admisible para las sollicitaciones de la viga se ve disminuido por un factor de seguridad ASD, según la *Ecuación E2.15*.

$$0,66 * S_y = 0,66 * 250[MPa] = 165 [MPa],$$

$$\frac{S_y}{1,67} = \frac{250}{1,67} = 150 [MPa] \Rightarrow \sigma_{adm} = 150 [MPa]$$

La condición a cumplir es:

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_{adm}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{adm}} \leq 1 \Rightarrow \frac{\frac{1,25 * M_x}{W_x}}{\sigma_{adm}} + \frac{\frac{M_y}{0,5W_y}}{\sigma_{adm}}$$

$$\Rightarrow \frac{\frac{25.241.938 * 1,25 [N mm]}{557.000 [mm^3]}}{150 [MPa]} + \frac{\frac{4.651.238 [N mm]}{0,5 * 80.500 [mm^3]}}{150 [MPa]} = 0,3 + 0,39 = 0,69 < 1$$

Se comprueba la condición. Por último, se comprueban las condiciones para el pandeo del alma y el pandeo lateral-torsional de la viga carrilera, según lo expresan las *Ecuaciones E2.19 y E2.20*.

$$F_{bw} = \frac{C_r * t_w^3 * t_f}{h_w^2} \left(0,4 * \left\{ \frac{h_w/t_w}{L_b/b_f} \right\}^3 \right) \geq F_{rueda}$$

$$\Rightarrow \frac{6,6 * 10^6 [MPa] * 7,1^3 [mm^3] * 10,7 [mm]}{278,6^2 [mm^2]} \left(0,4 * \left\{ \frac{287,6/7,1}{6.110/150} \right\}^3 \right)$$

$$\Rightarrow 128.098 [N] > 30.450 [N]$$

$$F_{plt} = \frac{\pi^2 * E * I_y * h_w * 4}{L_b^3} \geq F_{rueda} \Rightarrow \frac{\pi^2 * 210.000 [MPa] * 6.040.000 * 75 * 4}{6.110^3}$$

$$\Rightarrow 61.462 [N] > 30.450 [N]$$

Se cumplen las condiciones establecidas para el perfil utilizado en las vigas carrileras.

Viga Puente Principal

La elección del perfil para la viga puente se verificará de manera similar a la viga carrilera, salvo las condiciones de flexión debido a cargas laterales, pandeo del alma y pandeo lateral-torsional.

La carga que la rueda del carrillo del polipasto ejerce sobre las alas inferiores de la viga puente corresponde a la carga del polipasto más la carga a izar. Considerando los efectos de las cargas de impacto, la carga en cuestión es:

$$P_c + P_{pol} = (5.000 + 220 [kg]) * g = 52.200 [N]$$

Se verifica el cumplimiento con la condición para la flecha máxima de la viga puente debido a la carga de flexión, expresada en la *Ecuación E2.9*.

La flecha máxima en la viga puente es:

$$\Delta x = \frac{F * L_{vc}^3}{48 * E * I_x} = \frac{52.200 [N] * 2.200^3 [mm^3]}{48 * 210.000 [MPa] * 24.900.000 [mm^4]} = 2,21 [mm]$$

La condición es:

$$\frac{L}{600} > \Delta x \Rightarrow \frac{2.200 [mm]}{600} = 3,67 > 2,21$$

Se comprueba la condición. Luego, se verifica el cumplimiento con la condición para el esfuerzo producido por la flexión biaxial, expresada en la *Ecuación E2.16*, en la que no se considera la flexión debido a las cargas laterales.

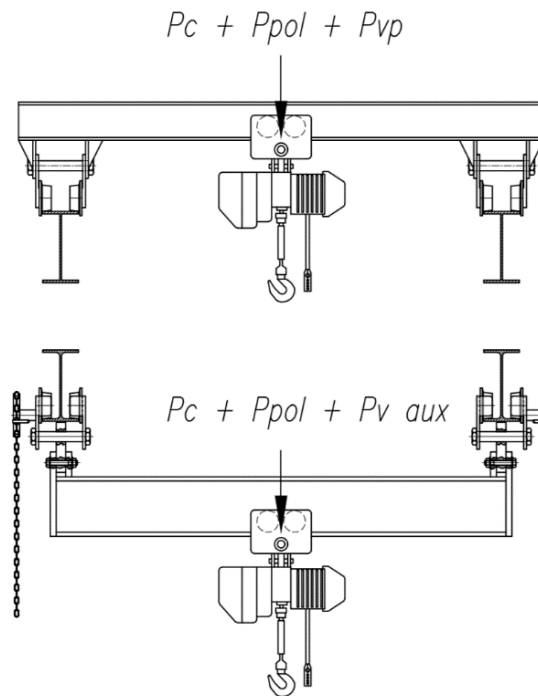


Figura 4.18 Equivalencia de las solicitaciones sobre las vigas puentes principal y auxiliar.

El momento flector máximo en el eje fuerte del perfil de la viga, debido a la carga vertical, está dado por la siguiente expresión:

$$M_{f_x} = \frac{F * L_{vp}}{4} = \frac{52.200[N] * 2.200[mm]}{4} = 28.710.000 [N mm]$$

Según la guía, y para la clasificación de la grúa, el rango de esfuerzos máximos permitidos para la condición de fatiga debido a las cargas cíclicas sobre la viga puente es 435 [MPa]. Por lo que se recurre a la Ecuación E2.38. Además, según el método ASD propuesto en la guía, el esfuerzo admisible para las solicitaciones de la viga se ve disminuido por un factor de seguridad ASD, según la Ecuación E2.15.

$$0,66 * S_y = 0,66 * 250[MPa] = 165 [MPa],$$

$$\frac{S_y}{1,67} = \frac{250}{1,67} = 150 [MPa] \Rightarrow \sigma_{adm} = 150 [MPa]$$

La condición a cumplir es:

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_{adm}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{adm}} \leq 1 \Rightarrow \frac{1,25 * M_x}{W_x \sigma_{adm}} + 0 \Rightarrow \frac{28.710.000 * 1,25 [N mm]}{311.000 [mm^3] * 150 [MPa]} = 0,77 < 1$$

Se cumplen las condiciones para el perfil utilizado en la viga puente principal.

Viga Puente Auxiliar

Se evalúa la misma condición para la viga de elevación auxiliar.

La carga provocante de la flexión sobre la viga de elevación auxiliar es:

$$P_c + P_{pol} = (5.000 + 167 [kg]) * g = 51.670 [N]$$

La flecha máxima en la viga de elevación auxiliar es:

$$\Delta x = \frac{F * L_{v\ aux}^3}{48 * E * I_x} = \frac{51.679 [N] * 1.900^3 [mm^3]}{48 * 210.000 [MPa] * 61.390.000 [mm^4]} = 0,56 [mm]$$

La condición es:

$$\frac{L}{600} > \Delta x \Rightarrow \frac{1.900 [mm]}{600} = 3,17 > 0,56$$

Se comprueba la condición. El momento flector máximo en el eje fuerte del perfil de la viga, debido a la carga vertical, está dado por la siguiente expresión:

$$M_{f\ x} = \frac{F * L_{vp}}{4} = \frac{51.670 [N] * 1.900 [mm]}{4} = 24.543.250 [N\ mm]$$

La condición a cumplir es:

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_{adm}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{adm}} \leq 1 \Rightarrow \frac{1.25 * M_x}{W_x \sigma_{adm}} + 0 \Rightarrow \frac{24.543.250 * 1,25 [N\ mm]}{483.000 [mm^3] * 150 [MPa]} = 0,42 < 1$$

Se cumplen las condiciones para el perfil utilizado en la viga de elevación auxiliar.

Columna

La elección del perfil para las columnas se verificará de modo que cumplan con las condiciones establecidas. Se verificará por separado las columnas traseras (A) y las columnas delanteras (B) ya que éstas presentan largos distintos.

Según la guía, para la clasificación de la grúa el rango de esfuerzos máximos permitidos para la condición de fatiga debido a las cargas cíclicas sobre la columna es 435 [MPa]. Por lo que se recurre a la *Ecuación E2.38*. Además, según el método ASD propuesto en la guía, el esfuerzo admisible para las sollicitaciones de la viga se ve disminuido por un factor de seguridad ASD, según la *Ecuación E2.15*.

$$0,66 * S_y = 0,66 * 250 [MPa] = 165 [MPa],$$

$$\frac{S_y}{1,67} = \frac{250}{1,67} = 150 [MPa] \Rightarrow \sigma_{adm} = 150 [MPa]$$

Para la columna A se tiene que la fuerza de compresión corresponde a la carga de rueda (F_{rueda}). El momento flexión en el eje fuerte del perfil corresponde al momento debido a la carga de rueda sobre la viga carrilera, calculado según la *Ecuación E2.9* y el momento flector en el eje débil del perfil corresponde al provocado por la carga a izar sobre la viga puente. De este modo, se verifica el cumplimiento de la condición de pandeo separada como compresión simple más flexión biaxial, indicada en la *Ecuación E2.22*.

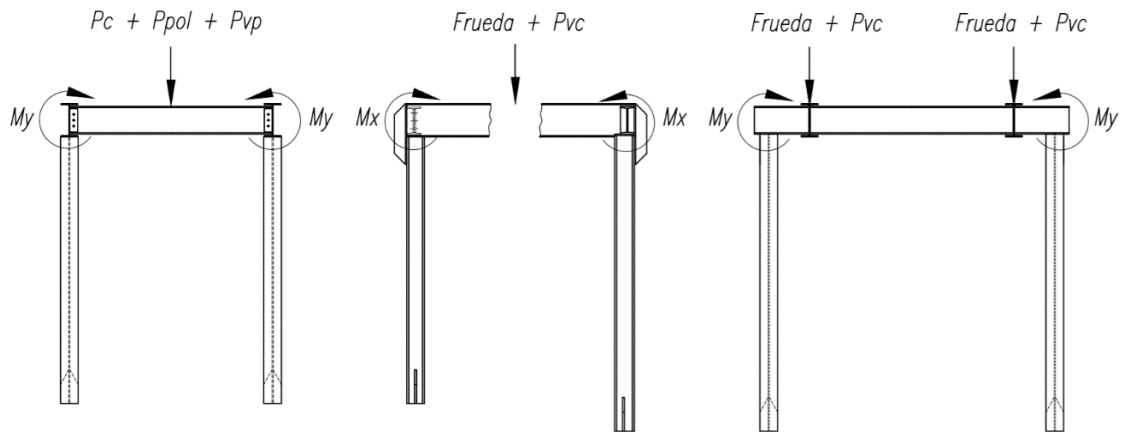


Figura 4.19 Solicitaciones sobre las columnas delanteras y traseras.

Los momentos en el eje fuerte y en el eje débil del perfil de la columna son:

$$M_x = \frac{(F_{rueda} + P_{pol} + P_{vc}) * L_{vc}}{4 * (k + 2)} = \frac{33.050 [N] * 6.110 [mm]}{4 * (1,32 + 2)} = 15.205.987 [N mm];$$

$$k = \frac{8.360}{2.490} * \frac{2.410}{6.110} = 1,32$$

$$M_y = \frac{(P_c + P_{pol} + P_{vp}) * L_{vc}}{4 * (k + 2)} = \frac{53.570 [N] * 2.200 [mm]}{4 * (3,05 + 2)} = 5.834.356 [N mm];$$

$$k = \frac{2490}{890} * \frac{2.410}{2.200} = 3,05$$

La condición a cumplir es:

$$\frac{\sigma_{c col}}{\sigma_{c adm}} + \frac{\sigma_{x col}}{\sigma_{f adm}} + \frac{\sigma_{y col}}{\sigma_{f adm}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{30.450 [N]}{5.430 [mm^2]} + \frac{15.205.987 [N mm]}{311.000 [mm^3]} + \frac{5.834.356 [N mm]}{111.000 [mm^3]} \leq 1,0$$

$$0,04 + 0,33 + 0,35 = 0,72 \leq 1,0$$

Se cumplen las condiciones para el perfil utilizado en la columna.

Para la columna B se tiene que la fuerza, las solicitaciones son similares. Sin embargo, el momento sobre el eje débil del perfil de la columna se obtiene de la siguiente forma:

Esfuerzos aplicados

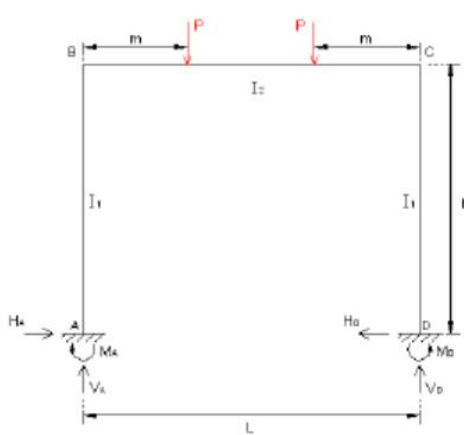


Diagrama de momento flector

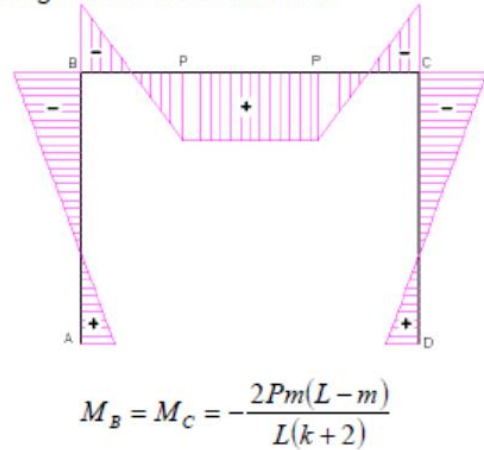


Figura 4.20 Método de determinación de los momentos flectores en las columnas.

En este caso, la viga entre ambas columnas corresponde a la viga de apoyo. El momento en el eje débil del perfil es:

$$M_y = \frac{2 * (F_{rueda} + P_{vc}) * m * (L - m)}{L_{vc} * (k + 2)} = \frac{2 * 33.050 [N] * 500 [mm] * (2.850 - 500)[mm]}{2.850 [mm] * (6,49 + 2)}$$

$$= 3.209.865 [N mm]; k = \frac{6.139}{890} * \frac{2.680}{2.850} = 6,49$$

El momento en el eje fuerte del perfil es:

$$M_x = \frac{(F_{rueda} + P_{pol} + P_{vc}) * L_{vc}}{4 * (k + 2)} = \frac{33.050 [N] * 6.110 [mm]}{4 * (1,47 + 2)} = 14.548.667 [N mm];$$

$$k = \frac{8.360}{2.490} * \frac{2.680}{6.110} = 1,47$$

La condición a cumplir es:

$$\frac{\sigma_{c col}}{\sigma_{c adm}} + \frac{\sigma_{x col}}{\sigma_{f adm}} + \frac{\sigma_{y col}}{\sigma_{f adm}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{30.450 [N]}{5.430 [mm^2]} + \frac{14.548.667 [N mm]}{311.000 [mm^3]} + \frac{3.209.865 [N mm]}{111.000 [mm^3]}$$

$$\frac{5.607}{150 [MPa]} + \frac{46.780}{150 [MPa]} + \frac{28.917}{150 [MPa]}$$

$$0,04 + 0,31 + 0,19 = 0,54 \leq 1,0$$

Se cumplen las condiciones para el perfil utilizado en la columna.

Viga de Apoyo

Para la viga de apoyo, la condición que debe cumplir la selección del perfil es la de flexión biaxial debido a las cargas verticales y laterales, además de la condición para el pandeo lateral-torsional.

El momento flector máximo producido en el eje fuerte de la viga está se obtiene de la siguiente manera:

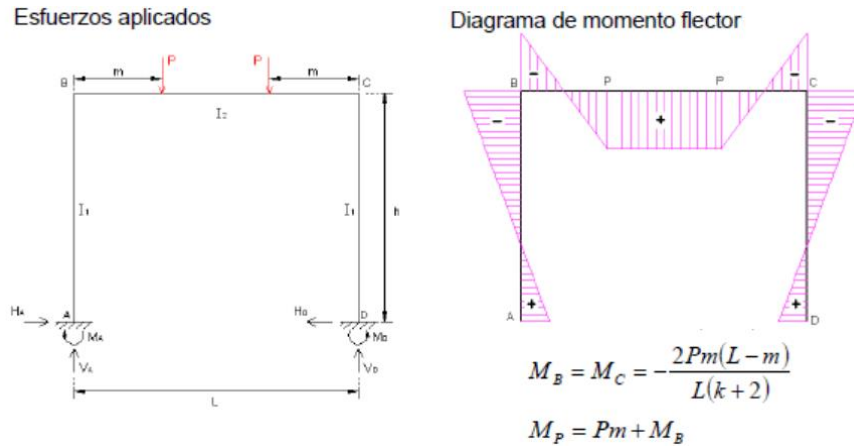


Figura 4.21 Método de determinación de los momentos flectores en la viga de apoyo.

$$M_{f_x} = M_p = \frac{2 * (F_{rueda} + P_{vc}) * m * (L - m)}{L_{vc} * (k + 2)} + (F_{rueda} + P_{vc}) * m$$

$$= \frac{2 * 33.050 [N] * 500 [mm] * (2.850 - 500)[mm]}{2.850 [mm] * (6,49 + 2)} + 33.050 [N] * 500 [mm]$$

$$= 19.734.865 [N mm]; k = \frac{6.139}{890} * \frac{2.680}{2.850} = 6,49$$

El momento flector producido en el eje débil de la viga está se obtiene de la siguiente manera:

$$M_{f_y} = \frac{0,2 * F * L_{vc}}{8} = \frac{0.2 * 33.050 [N] * 6.110 [mm]}{8} = 5.048.386 [N mm]$$

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_{adm}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{adm}} \leq 1 \Rightarrow \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{0,5W_y}$$

$$\Rightarrow \frac{19.734.865 [N mm]}{483.000 [mm^3]} + \frac{5.048.386 [N mm]}{0,5 * 55.500 [mm^3]} = 0,27 + 0,61 = 0,88 < 1$$

Se cumple de la condición para la flexión biaxial. Por último, se evalúa el cumplimiento con la condición de pandeo lateral-torsional de la viga de apoyo.

$$F_{plt} = \frac{\pi^2 * E * I_y * h_w * 4}{L_b^3} \geq F_{rueda} \Rightarrow \frac{\pi^2 * 210.000 [MPa] * 3.490.000 * 207 * 4}{2590^3}$$

$$\Rightarrow 344.727 [N] > 33.050 [N]$$

Se verifica el cumplimiento con las condiciones para la viga de apoyo.

Todos los elementos estructurales cumplen con las condiciones establecidas en la guía de diseño. Luego, se verifica la resistencia de las uniones de estos elementos.

4.3.3. Verificación de las uniones de los elementos estructurales y mecánicos

Se verifica la resistencia de las uniones soldadas y las uniones empernadas utilizadas en el puente grúa de acuerdo a los rangos de esfuerzos permitidos establecidos en la guía.

Todas las uniones soldadas son diseñadas con un electrodo N° AWS E7018, cuyo esfuerzo de fluencia es $S_y = 482 \text{ [MPa]}$.

Las uniones empernadas son diseñadas con pernos hexagonales de grado ASTM A-325, cuyo esfuerzo de fluencia es $S_y = 724 \text{ [MPa]}$. Los elementos unidos por pernos, de material ASTM A-36 tiene esfuerzo de fluencia de $S_y = 250 \text{ [MPa]}$.

Unión soldada de la columna A a la viga carrilera

Se calcula un factor de seguridad de seguridad para las uniones soldadas de los elementos estructurales sometidos a solicitaciones considerables.

La configuración de la soldadura, sus dimensiones y solicitaciones se indican en la *Figura 4.22*.

El esfuerzo en la soldadura debido al momento flector es el siguiente:

$$\sigma_f = \frac{M}{Z_w * t} = \frac{25.241.938 \text{ [N mm]}}{32.533 \text{ [mm}^2\text{]} * 10 \text{ [mm]}} = 77,6 \text{ [MPa]}$$

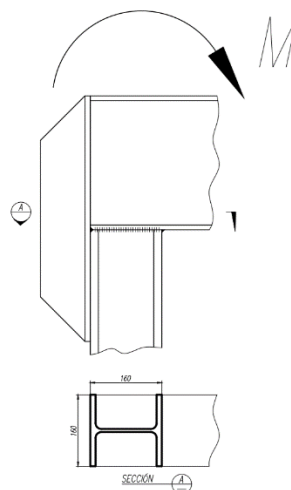


Figura 4.22 Esquema de solicitaciones en la soldadura.

El esfuerzo admisible considerado desde el punto de vista de la fatiga, obtenido de la Tabla 3 AWS-14 es $\sigma_{adm} = 100 \text{ [MPa]}$.

$$F.S. = \frac{100 [MPa]}{77,6 [MPa]} = 1,28[-]$$

Unión soldada de la columna B a la viga de apoyo

La unión entre la columna B y la viga de apoyo es realizada mediante una placa entre los dos elementos, presentando dos configuraciones de soldadura; éstas, sus dimensiones y solicitaciones se indican en la *Figura 4.23*.

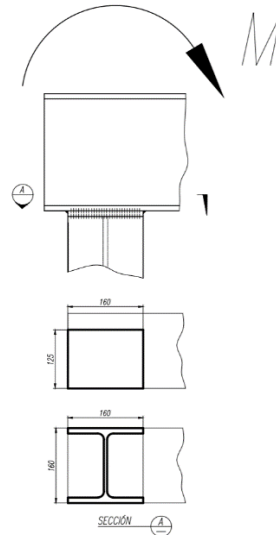


Figura 4.23 Esquema de solicitaciones en la soldadura.

Los parámetros de resistencia de las configuraciones de las soldaduras son:

$$Z_{W1} = 2 * \frac{150^2}{3} + 10 * 160 = 16.600 [mm^2]$$

$$Z_{W2} = \frac{160^2}{3} + 160 * 160 = 34.133 [mm]$$

Los esfuerzos en las soldaduras debido al momento flector son los siguientes:

$$\sigma_{f1} = \frac{M}{Z_{W1} * t} = \frac{14.548.667 [N mm]}{16.600 [mm^2] * 10 [mm]} = 77,6 [MPa]$$

$$\sigma_{f2} = \frac{M}{Z_{W2} * t} = \frac{14.548.667 [N mm]}{34.133 [mm^2] * 10 [mm]} = 42,6 [MPa]$$

Los esfuerzos admisibles considerados desde el punto de vista de la fatiga es $\sigma_{adm} = 100 [MPa]$.

$$F.S._1 = \frac{100 [MPa]}{77,6 [MPa]} = 1,28 [-]$$

$$F.S._2 = \frac{100 [MPa]}{42,6 [MPa]} = 2,34 [-]$$

Unión soldada de la viga de apoyo a viga carrilera

La configuración de la soldadura, sus dimensiones y solicitaciones se indican en la *Figura 4.24*.

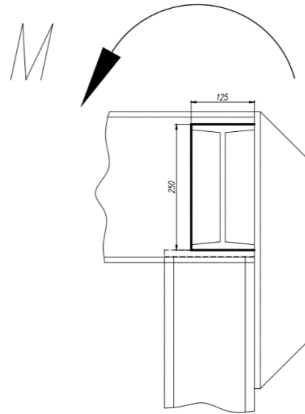


Figura 4.24 Esquema de solicitaciones en la soldadura.

Los parámetros de resistencia de la configuración de la soldadura son:

$$\bar{x} = \frac{126^2}{2 * 126 + 250} = 31,6 [mm]$$

$$J_w = \frac{(2 * 126 + 250)^2}{12} - \frac{126^2 * (126 + 250)^2}{(2 * 126 + 250)} = 6.071.081 [mm^3]$$

El esfuerzo en la soldadura debido al momento de torsión es el siguiente:

$$\sigma_t = \frac{M * r}{2 * J_w * t} = \frac{25.241.938 [N mm] * 31,6 [mm]}{6.071.081 [mm^3] * 10 [mm]} = 13,1 [MPa]$$

El esfuerzo admisible considerado desde el punto de vista de la fatiga es $\sigma_{adm} = 100 [MPa]$.

$$F.S. = \frac{100 [MPa]}{13,1 [MPa]} = 7,63 [-]$$

Uniones soldadas de la viga puente principal

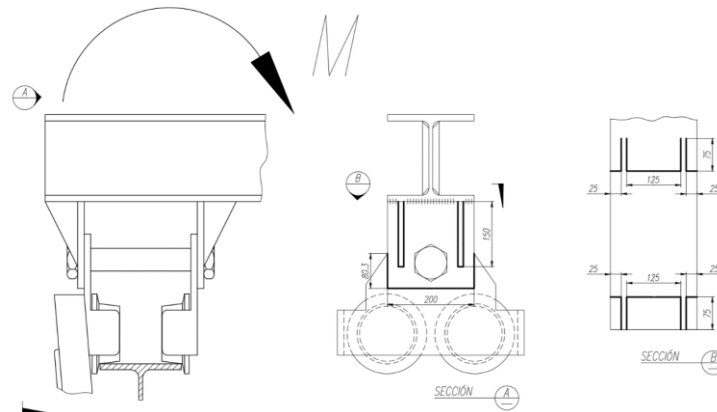


Figura 4.25 Esquema de solicitaciones en la soldadura.

Los parámetros de resistencia de las configuraciones de las soldaduras son:

$$Z_{W1} = 2 * \frac{60^2(4 * 20 + 60)}{6 * (2 * 20 + 60)} + 2 * \frac{60^2 + (4 * 20 * 60)}{6} = 4.480 [mm^2]$$

$$Z_{W2} = 2 * \frac{120^2}{3} = 9.600 [mm^2]$$

$$Z_{W3} = \frac{60^2(2 * 160 + 60)}{3 * (160 + 60)} + \frac{60^2 + (2 * 160 * 60)}{3} = 9.673 [mm^2]$$

$$Z_{WT} = 4.480 + 9.600 + 9.673 = 24.073 [mm^2]$$

Los esfuerzos en las soldaduras debido momentos flectores o de torsión, dependiendo del caso, son los siguientes:

$$\sigma_{f1} = \frac{M}{Z_{WT} * t} = \frac{14.355.000 [N mm]}{24.073 [mm^2] * 10 [mm]} = 59,6 [MPa]$$

El esfuerzo admisible considerado desde el punto de vista de la fatiga es $\sigma_{adm} = 100 [MPa]$.

$$F.S. = \frac{100 [MPa]}{59,6 [MPa]} = 1,68[-]$$

Uniones soldadas y empernadas de la viga auxiliar

La unión entre la viga auxiliar y el carrillo de desplazamiento es realizada mediante elementos soldadas y empernadas.

Se presentan dos configuraciones de soldadura; éstas, sus dimensiones y solicitaciones se indican en la *Figura 4.26*.

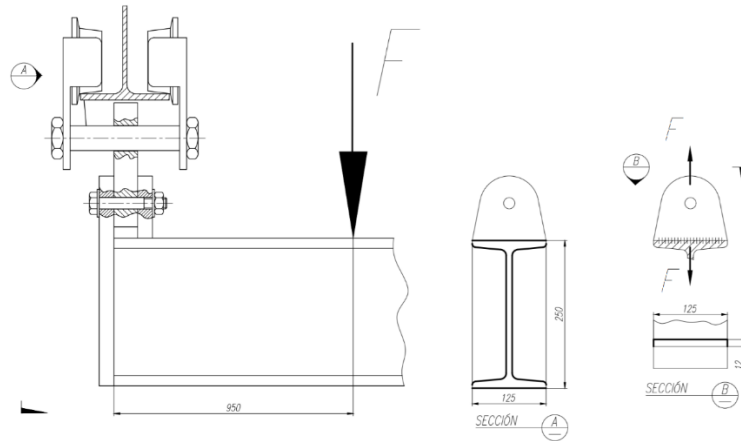


Figura 4.26 Esquema de solicitaciones en la soldadura.

Los parámetros de resistencia de las configuraciones de las soldaduras son:

$$A_{W1} = 2 * 125 + 2 * 250 = 750 \text{ [mm]}$$

$$Z_{W1} = \frac{250^2}{3} + 2 * 125 * 250 = 52.083 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_{W2} = 125 + 2 * 12 = 149 \text{ [mm]}$$

Las solicitaciones para cada una de las dos uniones soldadas, fuerza cortante y momento flector para la primera y tracción para la segunda, son las siguientes:

$$f_{c1} = \frac{\frac{51.670 \text{ [N]}}{2}}{750 \text{ [mm]}} = 34,5 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

$$f_{f1} = \frac{\frac{51.670 \text{ [N]}}{2} * \frac{1900 \text{ [mm]}}{2}}{52.083 \text{ [mm}^2\text{]}} = 471,2 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

$$f_{T1} = \sqrt{34,5^2 + 471,2^2} = 472,5 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

$$f_{te2} = \frac{\frac{51.670 \text{ [N]}}{2}}{149 \text{ [mm]}} = 173,4 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

Los esfuerzos en las soldaduras debido a cortadura y momento flector, dependiendo del caso, son los siguientes:

$$\tau_1 = \frac{f_{T1}}{t} = \frac{472,5 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]}{8 \text{ [mm]}} = 59,1 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_2 = \frac{f_{te2}}{t} = \frac{173,4 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]}{8 \text{ [mm]}} = 21,7 \text{ [MPa]}$$

Los esfuerzos admisibles considerados desde el punto de vista de la fatiga es $\sigma_{adm} = 100 [MPa]$.

$$F.S._1 = \frac{100 [MPa]}{59,1 [MPa]} = 1,69[-]$$

$$F.S._2 = \frac{100 [MPa]}{21,7 [MPa]} = 4,61[-]$$

Se presenta la unión empernada que los elementos soldados a la viga auxiliar con carrillo de desplazamiento en la *Figura 4.27*.

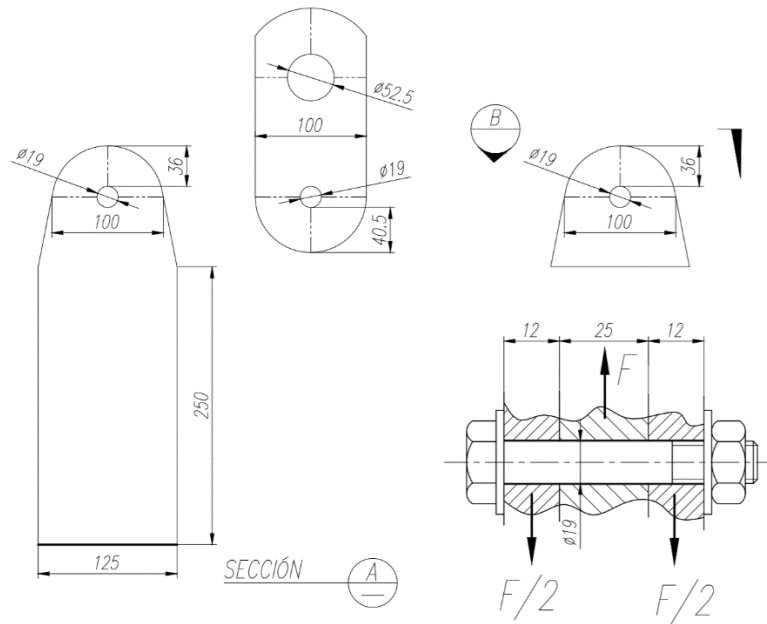


Figura 4.27 Esquema de solicitaciones en los elementos de suspensión.

- a) Falla por cortadura en el perno

El esfuerzo cortante en el área del perno sin rosca es:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{\frac{51.670 [N]}{2}}{\frac{\pi * 19^2}{4} [mm^2]} = 91,1 [MPa]$$

El esfuerzo admisible por fatiga calculado según la guía es $417,8 [MPa]$. El esfuerzo admisible recomendado por la bibliografía es $0,5 * S_y = 362 [MPa]$

El factor de seguridad para esta falla es:

$$F.S. = \frac{\sigma_{adm}}{\tau} = \frac{362 [MPa]}{91,1 [MPa]} = 3,97 [-]$$

- b) Falla por aplastamiento de los elementos unidos por el perno

Los esfuerzos por aplastamiento en cada elemento son:

$$\sigma_1 = \frac{F}{A_1} = \frac{\frac{51.670 [N]}{2}}{12[mm] * 19 [mm]} = 133,3 [MPa]$$

$$\sigma_2 = \frac{F}{A_2} = \frac{\frac{51.670 [N]}{2}}{25[mm] * 19 [mm]} = 54,4 [MPa]$$

El esfuerzo admisible por fatiga calculado según la guía es 417,8 [MPa]. El esfuerzo admisible recomendado por la bibliografía es $0,9 * S_y = 225 [MPa]$

El factor de seguridad para esta falla es:

$$F. S._1 = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_1} = \frac{225 [MPa]}{91,1 [MPa]} = 2,47 [-]$$

$$F. S._2 = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_2} = \frac{225 [MPa]}{54,4 [MPa]} = 4,14 [-]$$

c) Falla por tracción de los elementos unidos por el perno

Los esfuerzos por aplastamiento en cada elemento son:

$$\sigma_1 = \frac{F}{A_1} = \frac{\frac{51.670 [N]}{2}}{12[mm] * (102 - 19) [mm]} = 25,9 [MPa]$$

$$\sigma_2 = \frac{F}{A_2} = \frac{\frac{51.670 [N]}{2}}{25[mm] * (100 - 19) [mm]} = 12,8 [MPa]$$

$$\sigma_3 = \frac{F}{A_3} = \frac{\frac{51.670 [N]}{2}}{25[mm] * (100 - 42) [mm]} = 17,8 [MPa]$$

El esfuerzo admisible por fatiga calculado según la guía es 417,8 [MPa]. El esfuerzo admisible recomendado por la bibliografía es $S_y = 250 [MPa]$

El factor de seguridad para esta falla es:

$$F. S._1 = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_1} = \frac{250 [MPa]}{25,9 [MPa]} = 9,65 [-]$$

$$F. S._2 = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_2} = \frac{250 [MPa]}{12,8 [MPa]} = 19,53 [-]$$

$$F. S._3 = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_3} = \frac{250 [MPa]}{17,8 [MPa]} = 14,04 [-]$$

d) Falla por cortadura del margen de los elementos unidos por el perno

Los esfuerzos por aplastamiento en cada elemento son:

$$\tau_1 = \frac{F}{A_1} = \frac{\frac{51.670 [N]}{2}}{12[mm] * 2 * 36 [mm]} = 29,9 [MPa]$$

$$\tau_2 = \frac{F}{A_2} = \frac{\frac{51.670 [N]}{2}}{25[mm] * 2 * 36 [mm]} = 14,6 [MPa]$$

El esfuerzo admisible por fatiga calculado según la guía es 417,8 [MPa]. El esfuerzo admisible recomendado por la bibliografía es $0.5 * S_y = 125 [MPa]$

El factor de seguridad para esta falla es:

$$F.S._1 = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_1} = \frac{250 [MPa]}{29,9 [MPa]} = 8,36 [-]$$

$$F.S._2 = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_2} = \frac{250 [MPa]}{14,6 [MPa]} = 17,12 [-]$$

De acuerdo con los cálculos realizados, todos los factores de seguridad obtenidos para cada una de las solicitaciones de los elementos son mayores a 1,0. El mínimo valor obtenido es de 1,28 en la soldadura de las placas que unen las columnas con las vigas carrileras. Este valor, si bien cumple con ser mayor que la unidad, no satisface los estándares establecidos por la guía utilizada como lo es el factor de seguridad propuesto por el método ASD igual a 1,67. Los factores de seguridad obtenidos de todas las demás solicitaciones sobre los elementos de unión sí cumplen este valor mínimo.

5. VALIDACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN

Como se explica en el estado del arte del presente trabajo, la implementación del puente grúa tiene el propósito, en primera instancia, de realizar el montaje de ciertas bombas elevadoras de aguas servidas que cumplan con requerimientos determinados, para luego ser utilizado en el montaje y desmontaje para etapas de mantenimiento. El hecho de no contar con estas bombas instaladas significa el no poder cumplir con los requerimientos suscitados para que las aguas servidas lleguen a destino mediante emisarios submarinos.

Como se menciona en los antecedentes generales del presente trabajo. Esta propuesta se encuentra ubicada cronológicamente posterior a la adquisición de las nuevas bobas elevadoras de aguas servidas pero anterior a su montaje, todo dentro del plan de crecimiento de las plantas de la zona. Luego del evento ocurrido en el que se vieron afectadas las instalaciones receptoras de las aguas servidas y el derramamiento de éstas sobre áreas públicas, que se traduce al pago de multas por parte de la empresa sanitaria, se requiere instalar el puente grúa para el montaje de las nuevas bombas y así evitar que ocurra nuevamente el evento.

De lo expresado anteriormente, la validación técnico-económica de la implementación del puente grúa que es motivo del presente trabajo corresponde al contraste existente entre el coste de la implementación del puente grúa que permitirá el montaje inicial de éstas y su desmontaje para mantenimiento y el coste proveniente del pago de la multa asociada al no cumplimiento con las obligaciones por parte de la empresa sanitaria, específicamente, el derramamiento de aguas servidas en espacios públicos debido a la ruptura de las instalaciones receptoras de dichas aguas.

5.1. Costo de la Implementación del Puente Grúa

En base al diseño presentado en el apartado anterior, se analiza el costo de su implementación en la planta de aguas servidas de referencia dividiendo dicho costo en tres partes, el costo de los equipos comerciales para la realización del izaje, el costo de los materiales a utilizar y el costo de la mano de obra necesaria para su fabricación e instalación. No se considera el costo asociado al diseño del puente grúa y los estudios técnicos previos.

5.1.1. Costo de los equipos

Los equipos a utilizar para los izajes corresponden a los polipastos, encargados de los levantes, y los carrillos, encargados de los desplazamientos longitudinales y transversales. A continuación, la Tabla 5.1 indica el detalle de los equipos contemplados, y sus precios.

Tabla 5.1 Tabla 5.1: Costo de los equipos comerciales para el puente grúa.

Equipo	Marca	Unidad	Valor
Tecele Eléctrico c/carrillo eléctrico 5 toneladas	Prowinch	1	\$ 2.980.353
Tecele eléctrico c/carriño eléctrico 3 toneladas	Prowinch	1	\$ 2.036.941
Carrillo manual s/cadena 5 toneladas	Prowinch	2	\$ 190.706
Carrillo manual c/cadena 3 toneladas	Prowinch	2	\$ 176.353
Cadena G.80 p/metro	Prowinch	15	\$ 22.000
	Total		\$ 5.597.059

5.1.2. Costo de los materiales

Según la Tabla 4.5, que indica el tipo y la cantidad de material a utilizar para la fabricación del puente grúa, éstos son principalmente perfiles I, H, además de planchas de acero, soldadura y pernos. A continuación, la Tabla 5.2 indica el detalle del material contemplado, su denominación y precio.

Tabla 5.2 Costo del material utilizado para la fabricación de puente grúa.

Elemento	Unidad	Valor
Viga IPE 300, 6 mts.	2	\$ 362.076
Viga HEB 160, 6 mts.	2	\$ 182.754
Viga IPN 260, 6 mts.	2	\$ 359.502
Plancha 12 mm, 1x6 mts.	1	\$ 285.927
Perno Ø 3/4" x 3,5", grado A-325	2	\$ 3.000
Perno Ø 1/2" x 1,5", grado A-325	6	\$ 2.000
Electrodo Soldadura E7018 1/8", caja 25 kg	1	\$ 82.650
	Total	\$ 2.195.241

5.1.3. Costo de la mano de obra

Para valorizar el costo de la mano de obra necesaria para la fabricación e instalación del puente grúa se presenta la siguiente carta Gantt. A continuación, se presenta la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Carta Gantt del proceso de fabricación y montaje del puente grúa, y personal y HH involucrados.

Tarea principal	Tarea específica	Semana 1					Semana 2					Semana 3					Personal		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	mecánico	soldador	
Inicio Obra	Desmontaje techo																4	-	
	Almacenamiento de material																4	-	
	Montaje techo																4	-	
	Armado de andamios, tecles, etc.																4	-	
Fabricación y Montaje de Estructura	Dimensionamiento perfiles																1	-	
	Fabricación de elementos																1	-	
	Montaje y soldadura pilares																4	2	
	Montaje y soldadura viga de apoyo																4	2	
	Montaje y soldadura vigas carrileras																4	2	
	Soldado elementos																2	2	
	Montaje Riostra																4	-	
	Pintura Estructura																2	-	
Fabricación y Montaje del Puente	Viga Principal - Refuerzo alma (soldado)																-	1	
	Viga Principal - Fabricación elementos																1	-	
	Viga Principal - Unión refuerzos - viga - carrillos																-	1	
	Viga Principal - Pintura																1	-	
	Viga Principal - Montaje																4	-	
	Viga Auxiliar - Fabricación elementos																1	-	
	Viga Auxiliar - Unión refuerzos - carrillo - viga																-	1	
	Viga Auxiliar - Pintura																1	-	
	Viga Auxiliar - Montaje																4	-	
	Unión viga principal - auxiliar																-	1	
Fin Obra	Montaje equipos de izaje																2	-	
	Desmontaje andamios, tecles, etc.																4	-	
Personal		Personal por día (jornada 8 H/día)															Total HH	Valor HH	Total
Mecánicos		4	0	0	1	4	4	4	2	4	2	4	2	4	4	312	\$ 5.000	\$1.560.000	
Soldadores		0	2	2	0	0	0	2	2	2	2	2	0	1	0	120	\$ 10.000	\$1.200.000	
																	Total M.O.		\$2.760.000

Para efectos de indicar las etapas para la fabricación y montaje del puente grúa, el proceso se divide en inicio de la obra, fabricación y montaje de la estructura, y fabricación y montaje del puente, cada una de estas presenta una serie de tareas. Estas tareas se distribuyen en una planificación diaria de cada una, indicando su duración y el personal necesario para su realización.

En una tabla contigua se indica el total de días de trabajo del personal, expresado en horas, considerando turnos de 8 horas diarias. Se indica además un valor promedio para la HH del personal implicado y el costo total correspondiente a la mano de obra necesaria para la fabricación y montaje del puente grúa, el cual es de \$2.760.000 pesos chilenos.

En resumen, el costo total de la instalación del puente grúa en cuestión, considerando costo de equipos, materiales y mano de obra corresponde a \$10.552.300 pesos chilenos.

5.2.Gasto Asociado a Multas

La situación a estudiar es el derrame de aguas servidas sobre áreas públicas debido a los daños provocados sobre las instalaciones receptoras del caudal de aguas servidas elevado por la estación que es cuestión del presente trabajo. Dicha situación significa un incumplimiento con la Ley 18.902, que, en su artículo 11, establece lo siguiente:

Los prestadores de servicios sanitarios que incurrieren en alguna infracción a las leyes, reglamentos y demás normas relacionadas con los servicios sanitarios, o en incumplimiento de las instrucciones, órdenes y resoluciones que dicte la Superintendencia, podrán ser objeto de la aplicación por ésta, sin perjuicio de las establecidas específicamente en esta ley o en otros cuerpos legales o reglamentarios, de algunas de las siguientes multas a beneficio fiscal en los siguientes casos:

a) De una a cincuenta unidades tributarias anuales, tratándose de infracciones que importen deficiencias en la calidad, continuidad u obligatoriedad de los servicios, cobros indebidos, trato económico discriminatorio a los usuarios, deficiencias en la atención de los reclamos de los usuarios, daño a las redes u obras generales de los servicios, o incumplimiento de la obligación de entregar información requerida por la Superintendencia en conformidad a la ley.

b) De cincuenta y una a mil unidades tributarias anuales, cuando se trate de infracciones que pongan en peligro o afecten gravemente la salud de la población, o que afecten a la generalidad de los usuarios de los servicios.

c) De una a cien unidades tributarias anuales, cuando se trate de infracciones cometidas por los prestadores de servicios sanitarios, que importen el no acatamiento de las obligaciones y plazos establecidos por la ley respecto de las concesiones a que se refiere el decreto con fuerza de ley N° 382, de 1988, del Ministerio de Obras Públicas, así como de las órdenes escritas y requerimientos, debidamente notificados, y plazos fijados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, en ejercicio de las atribuciones que la ley le encomiende, en relación con materias de su competencia.

d) De cincuenta y una a quinientas unidades tributarias anuales cuando se trate de infracciones relativas a la entrega de información falsa o manifiestamente errónea; y al no cumplimiento de lo dispuesto en los artículos 63°, 64°, 65°, 66°, 67° y 70° del decreto con fuerza de ley N° 382, de 1988, del Ministerio de Obras Públicas.

e) De cincuenta y una a diez mil unidades tributarias anuales cuando se trate del incumplimiento del programa de desarrollo a que se refiere el artículo 14° del decreto con fuerza de ley N° 382, de 1988, del Ministerio de Obras Públicas.

f) De cincuenta y una a mil unidades tributarias anuales cuando se trate de la entrega o uso indebido de información privilegiada.

De acuerdo con lo que informa la Superintendencia de Servicios Sanitarios, en casos similares al propuesto (uno ocurrido en la región de Antofagasta en el año 2018 y el otro en la región de Valparaíso en el mismo año), las infracciones de las empresas corresponden, en su mínimo grado, a lo indicado en la letra c), y, en su máximo grado, a lo indicado en la letra b) del artículo indicado. Sin embargo, quién ratifica el monto final de la multa, dentro del rango establecido, es el poder judicial.

Para efectos del presente trabajo, y según informa la SISS en su boletín de sanciones del tercer trimestre del año 2018, se considera que el monto de la sanción corresponde, luego de la instancia judicial, al menor valor que permite el rango establecido en la expresada. Este monto corresponde a 50 Unidades Tributarias Anuales (UTA). 1 UTA, al mes de agosto del año 2019, equivale a \$572.748 pesos chilenos, según el Servicio de Impuestos Internos.

$$\$572.748 * 50 = \$28.637.400$$

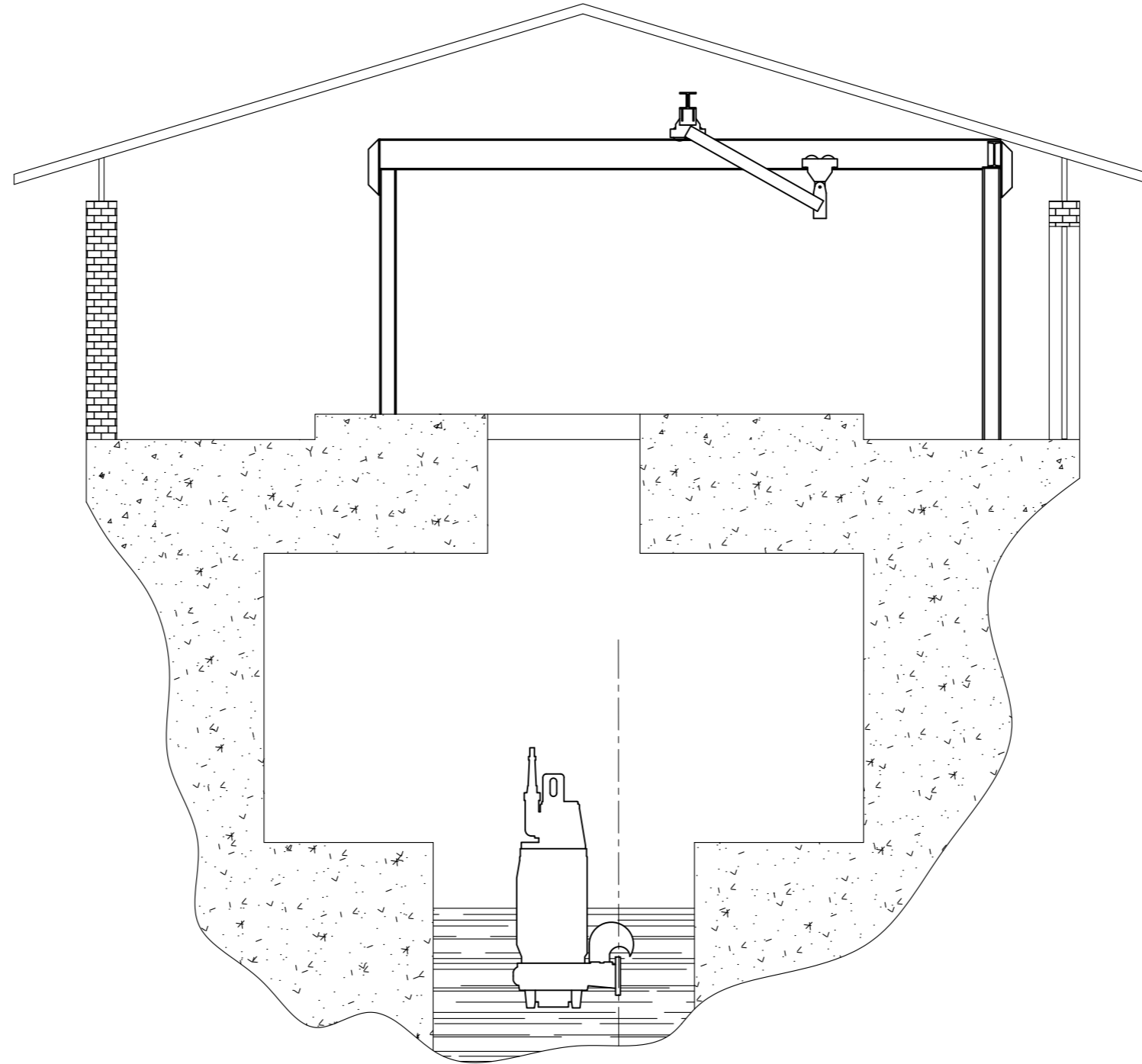
La multa tiene un valor monetario mínimo de \$28.637.400 pesos chilenos

A modo de conclusión en este ámbito, claramente es conveniente la implementación del puente grúa en vez de volver a realizar el pago de la multa expresada. La multa corresponde a casi tres veces el valor de la instalación del puente grúa dentro de la estación elevadora de aguas servidas.

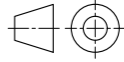
Además, cabe destacar que el hecho de no adquirir las bombas elevadoras implicaría incumplir con los programas de desarrollo ya comprometidos ante el SISS y esto implica multas mayores que pueden llegar a los 6.000 millones de pesos aprox.

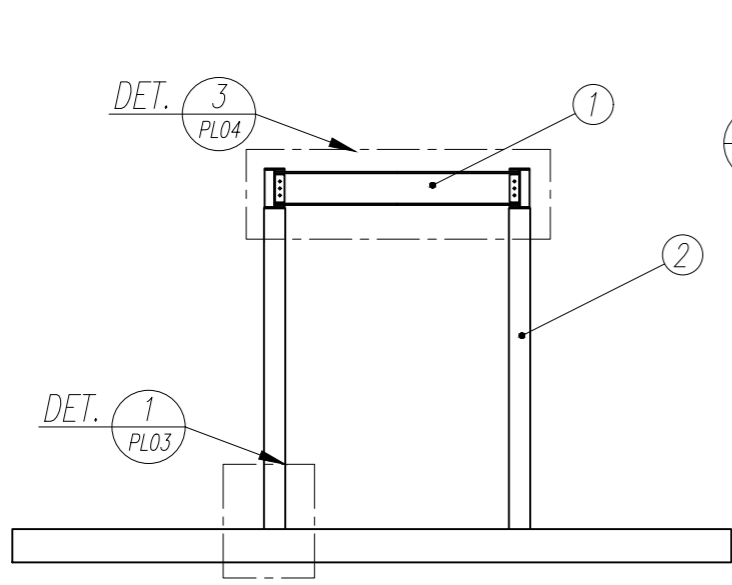
6. DESARROLLO DE PLANOS DE FABRICACIÓN

En las siguientes páginas se presentan los planos para fabricación de piezas y montaje del puente grúa.

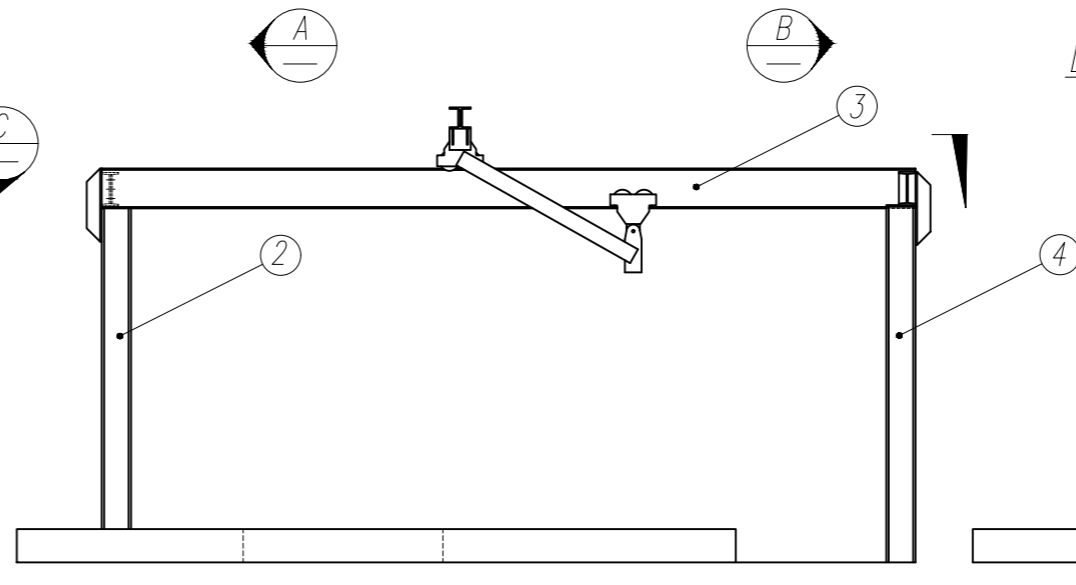


Estación de Elevación de Aguas Servidas
Escala 1:50

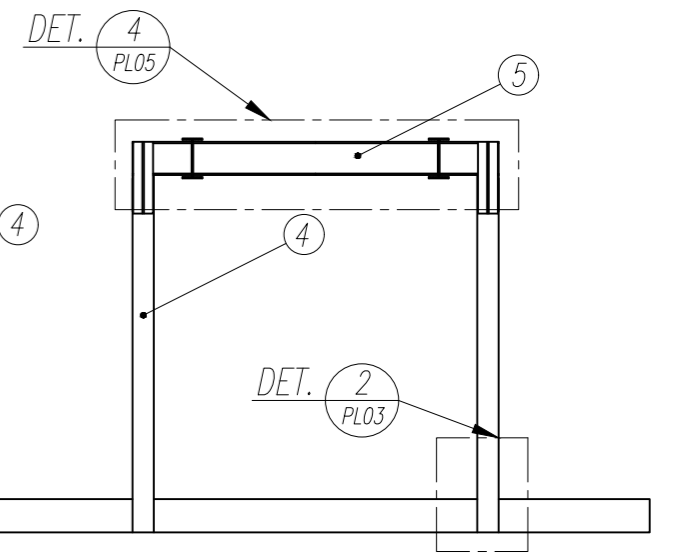
<i>Trabajo de Título</i> <i>Ingeniería Mecánica Industrial</i>		
<i>Dibujó: Javier Jara Sandoval</i>		<i>UTFSM</i>
<i>Plano General Planta</i>		
	<i>Formato: A3</i>	<i>N° Plano: PL 01</i>
	<i>Escala: 1:20</i>	



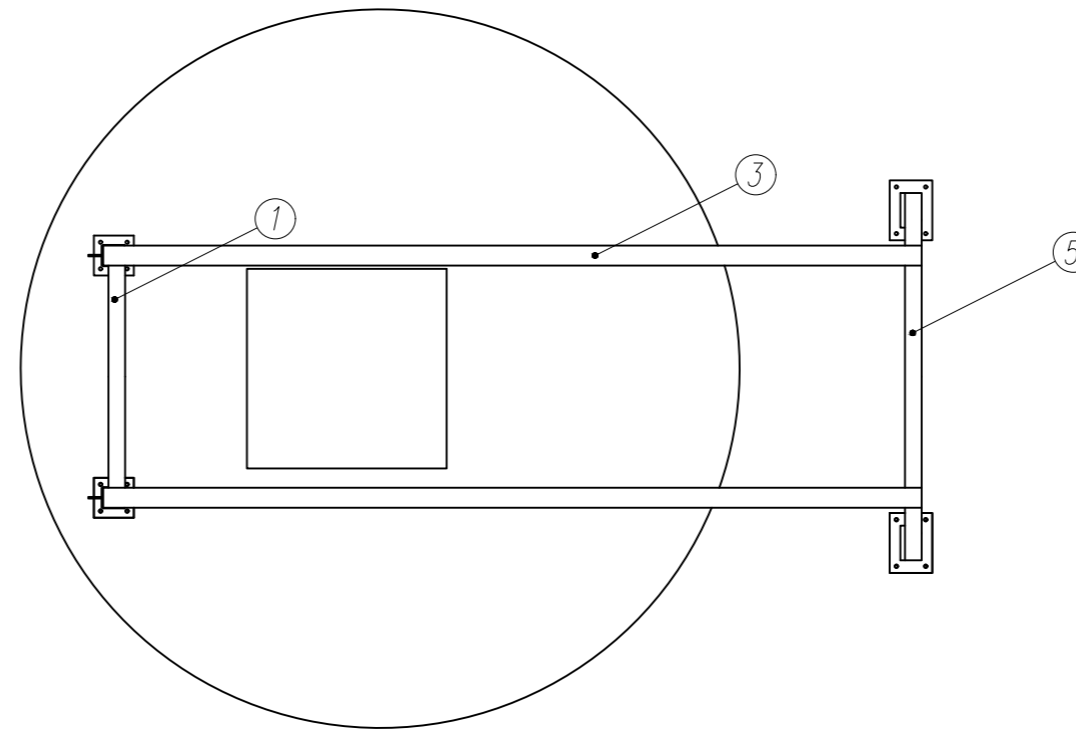
SECCIÓN A
Escala 1:50



Puente Grúa
Escala 1:50

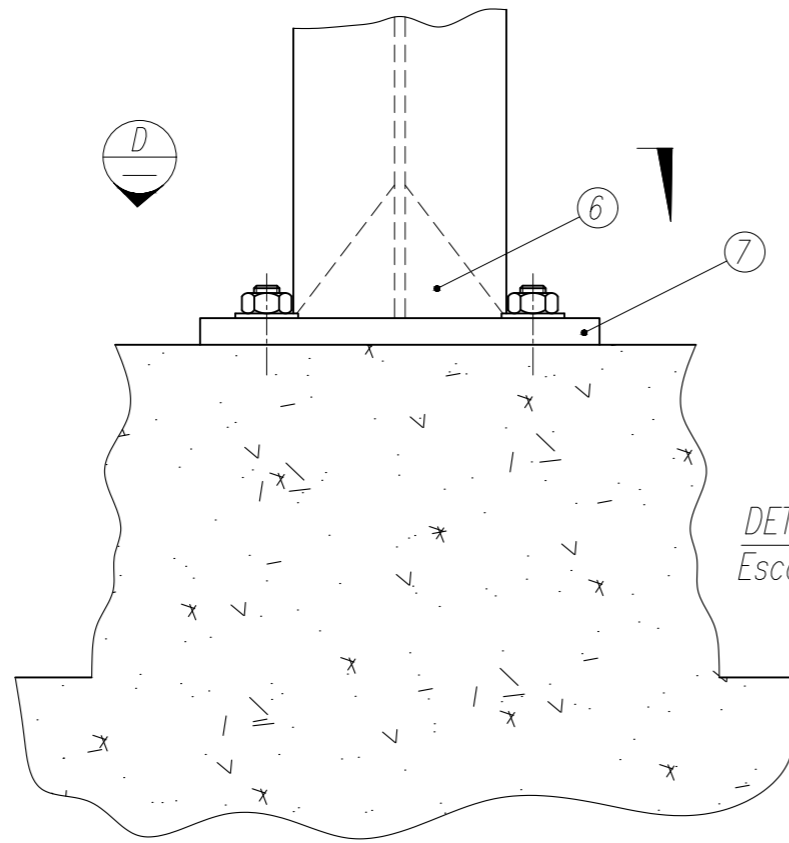


VISTA B
Escala 1:50



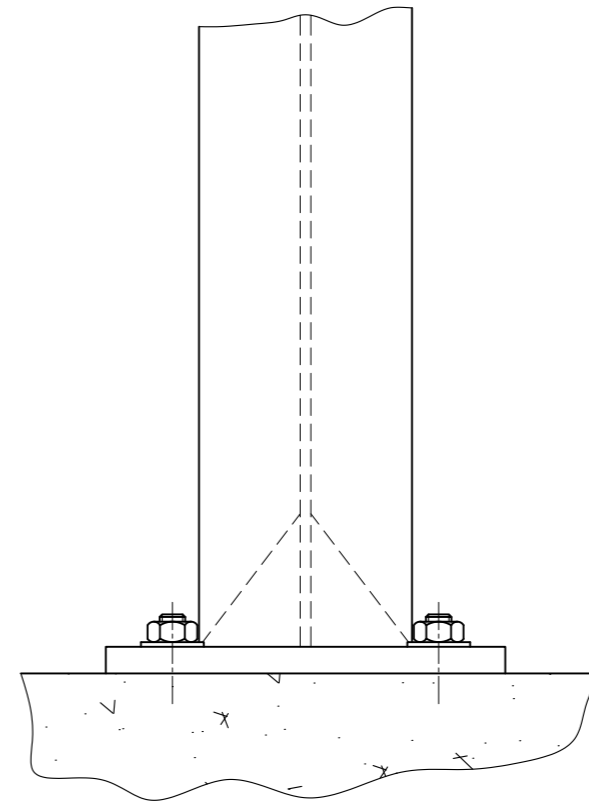
VISTA C
Escala 1:50

Trabajo de Título Ingeniería Mecánica Industrial		
Dibujó: Javier Jara Sandoval		UTFSM
Plano: Conjunto Puente Grúa Plano General		
	Formato: A3	N° Plano: PL 02
	Escala: 1:20	



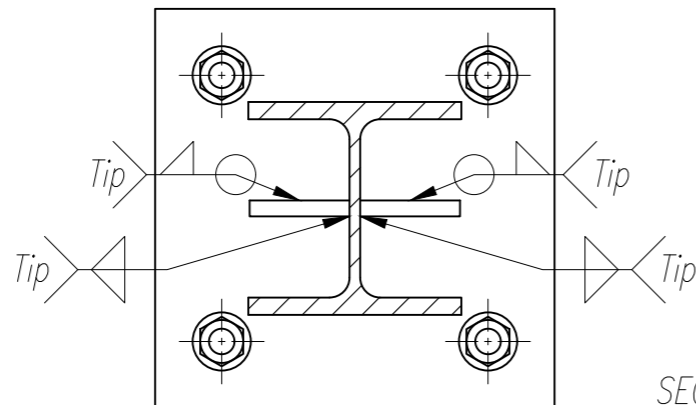
DETALLE
Escala 1:5

1
PL02



DETALLE
Escala 1:5

2
PL02

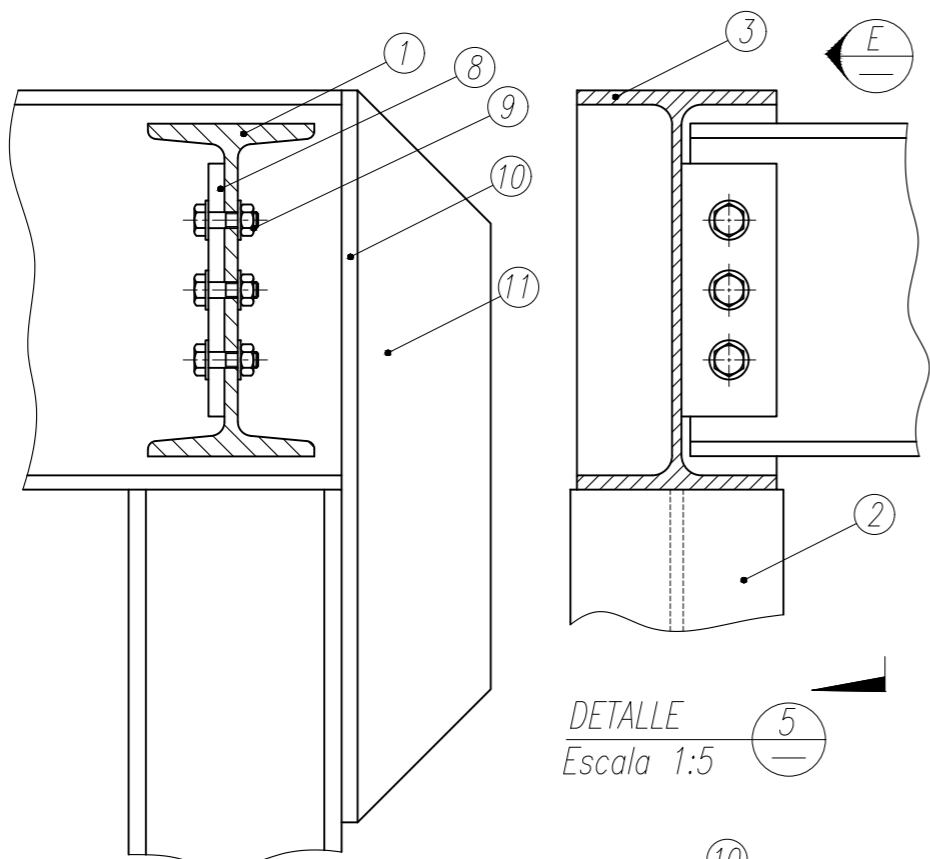


SECCIÓN
Escala 1:5

D
—

Nota 1:
Soldadura Tip: E7018, cordón 8 mm

Trabajo de Título Ingeniería Mecánica Industrial	
Dibujó: Javier Jara Sandoval	UTFSM
Plano: Conjunto Punte Grúa Plano Unión Pilares a Anclaje a Loza	
Formato: A3 Escala: 1:20	N° Plano: PL 03

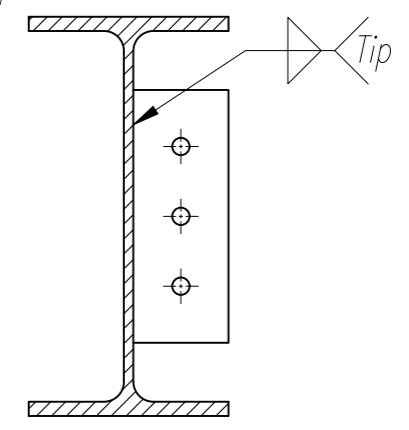
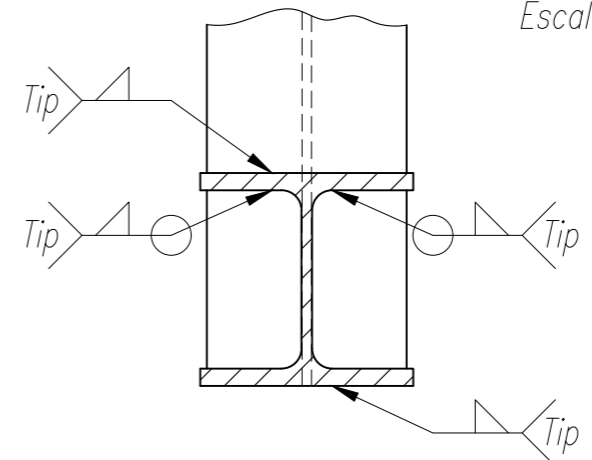
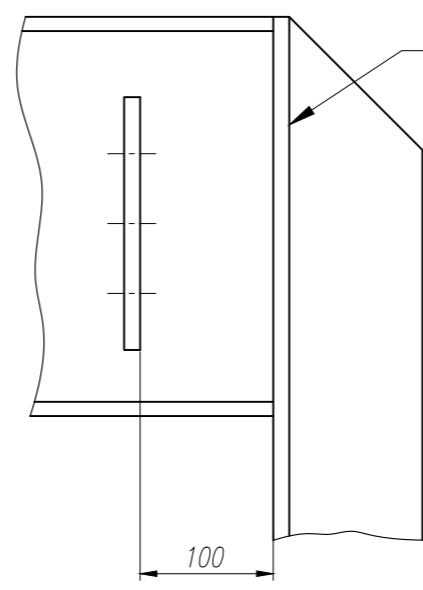
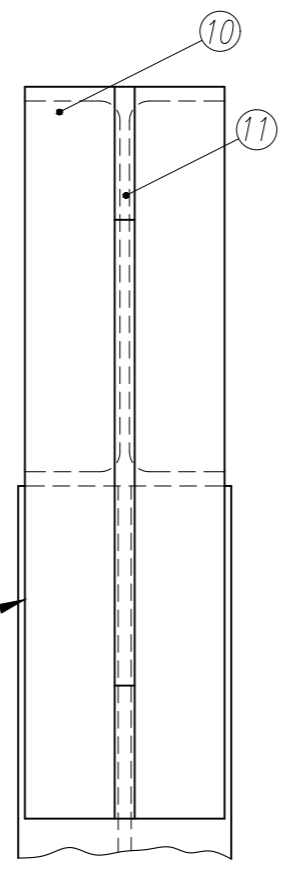


DETALLE
Escala 1:5

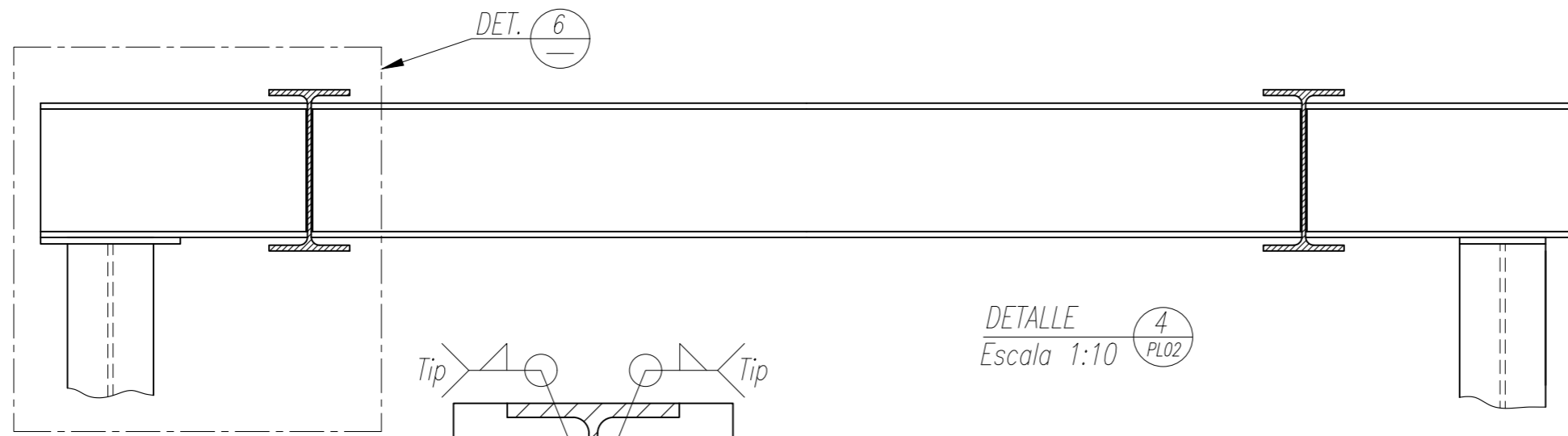


DETALLE
Escala 1:10

VISTA
Escala 1:5

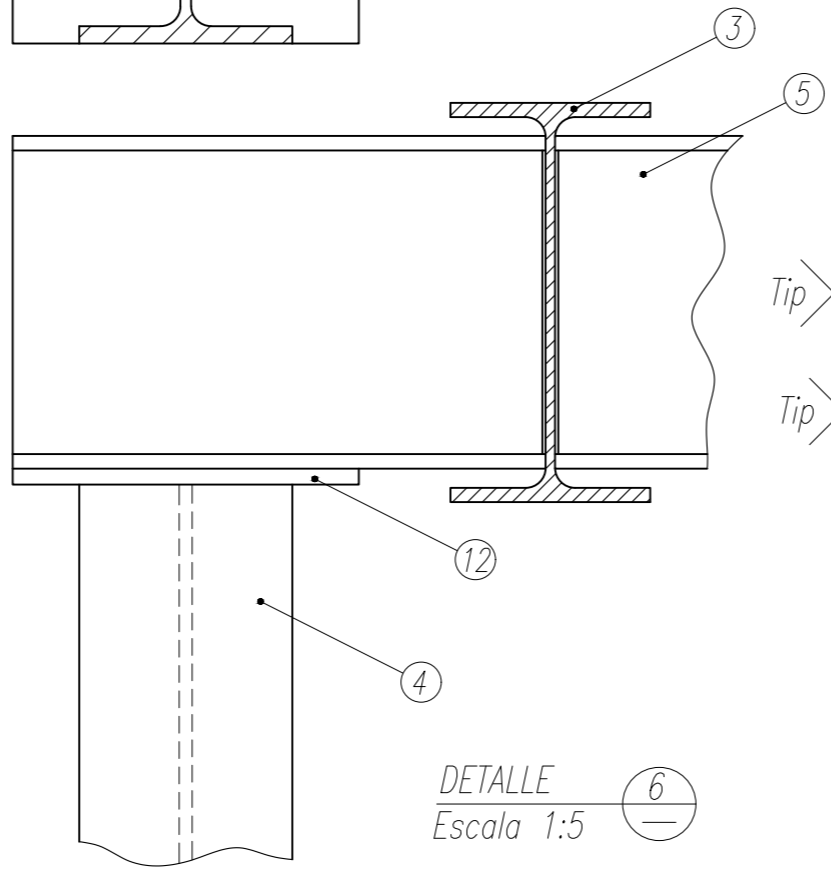
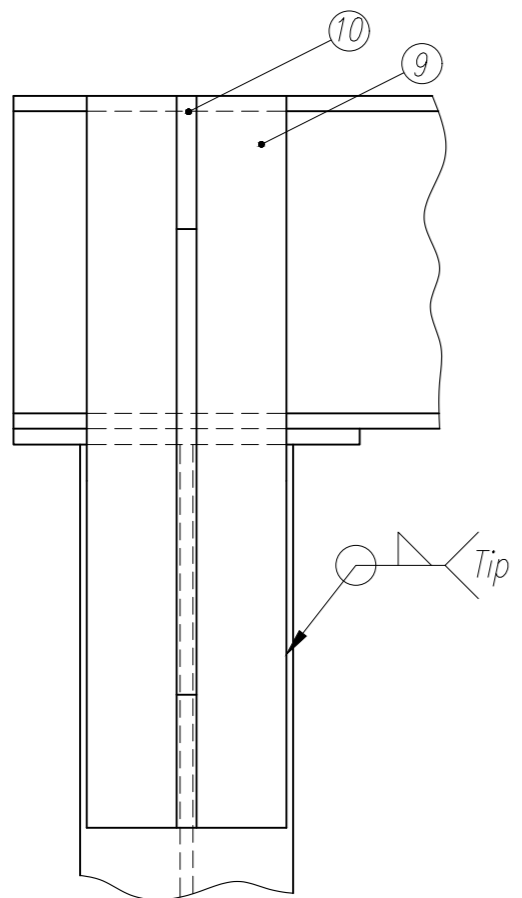
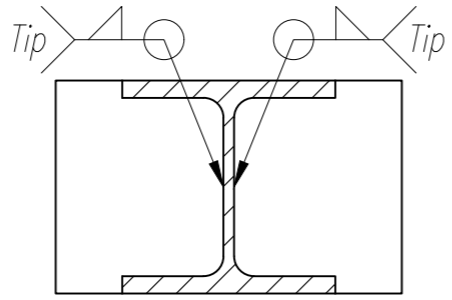


Trabajo de Título		
Ingeniería Mecánica Industrial		
Dibujó: Javier Jara Sandoval	UTFSM	
Plano:		
Conjunto Puesto Grúa		
Unión Viga - Riostra - Columna		
	Formato: A3	N° Plano: PL 04
	Escala: 1:20	

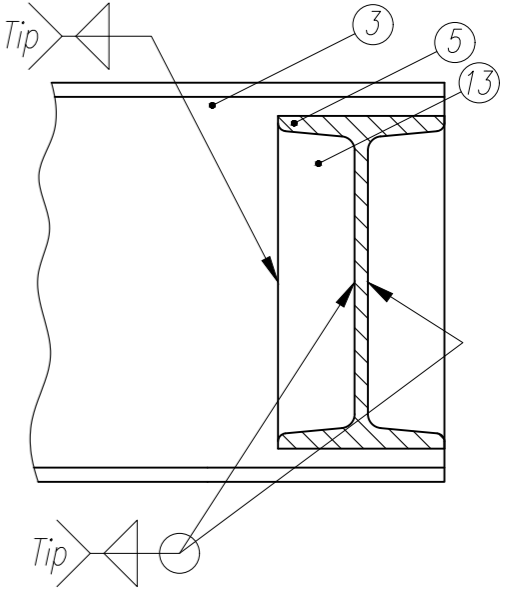
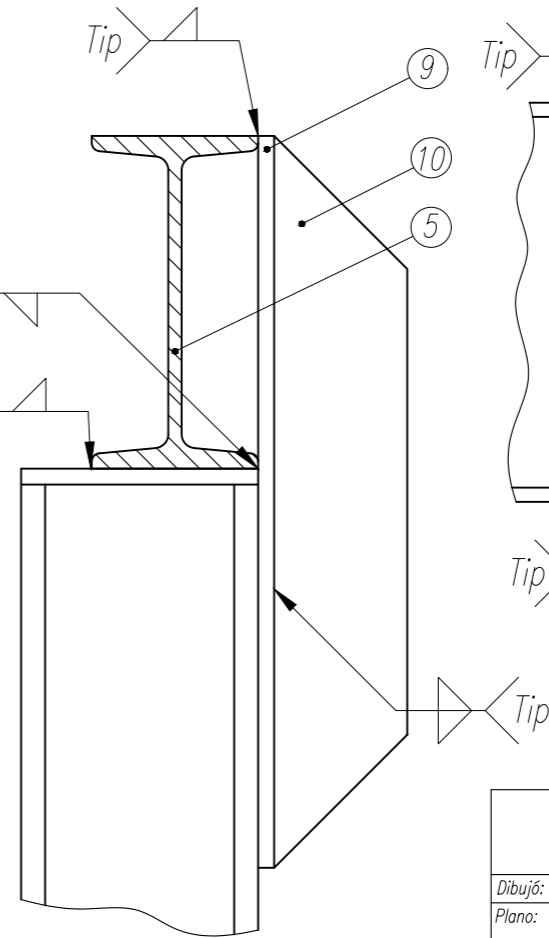


DET. 6

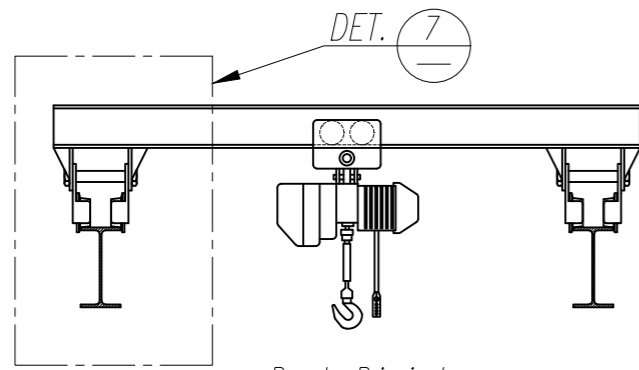
DETALLE 4
Escala 1:10 PL02



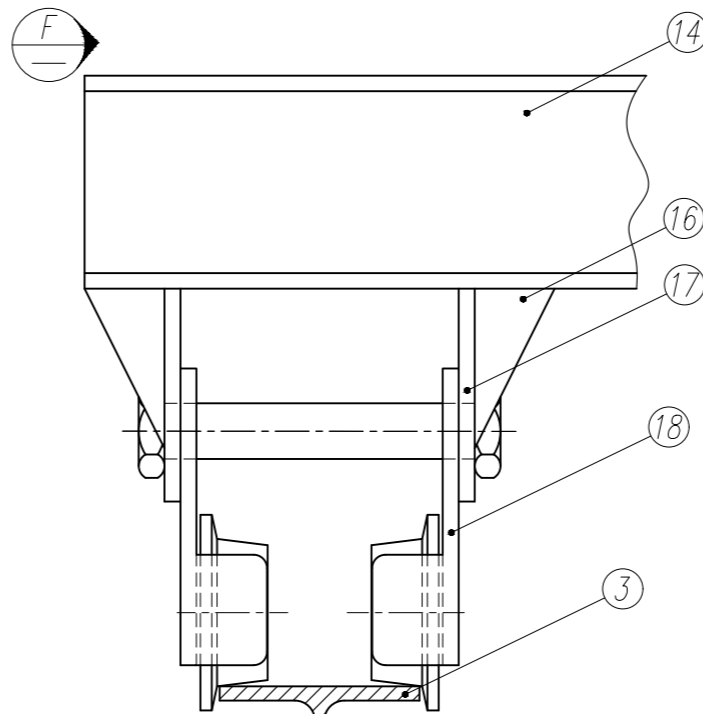
DETALLE 6
Escala 1:5



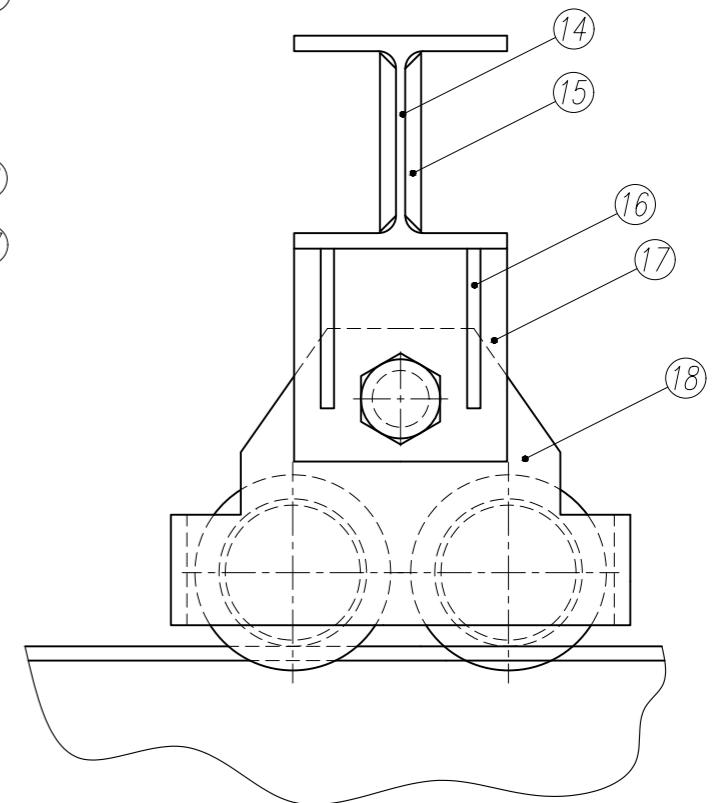
Trabajo de Título		
Ingeniería Mecánica Industrial		
Dibujó: Javier Jara Sandoval	UTFSM	
Plano: Conjunto Puente Grúa		
Unión Viga Carrilera - Viga de Apoyo		
- Columna		
	Formato: A3	N° Plano: PL 05
	Escala: 1:20	



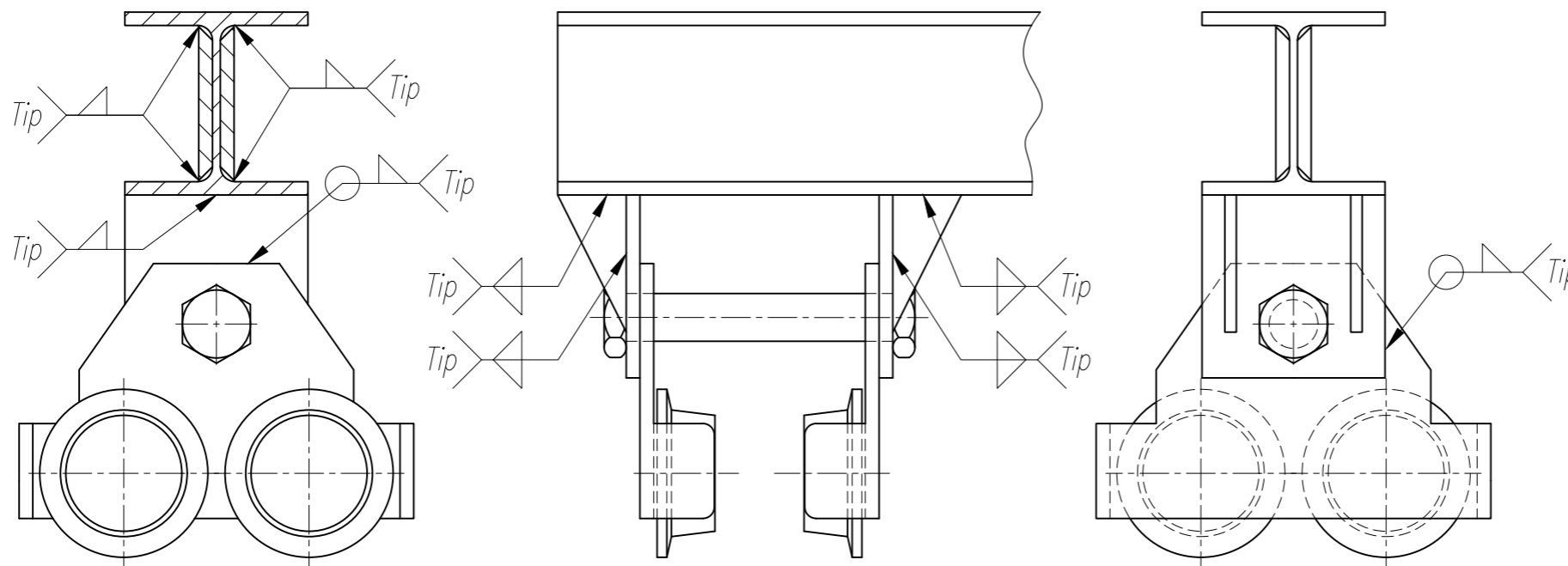
Puente Principal
Escala 1:25



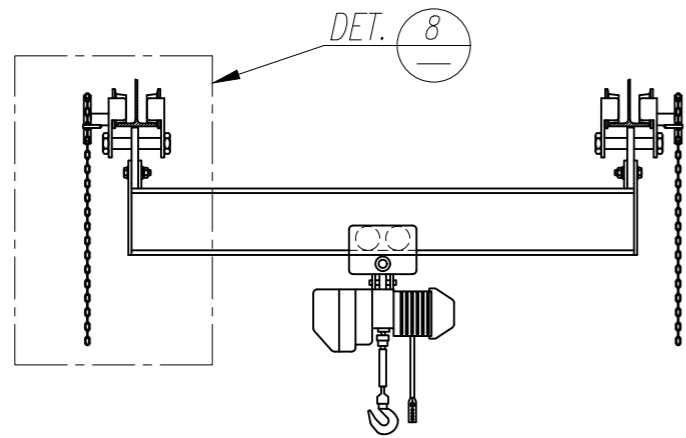
DETALLE
Escala 1:5



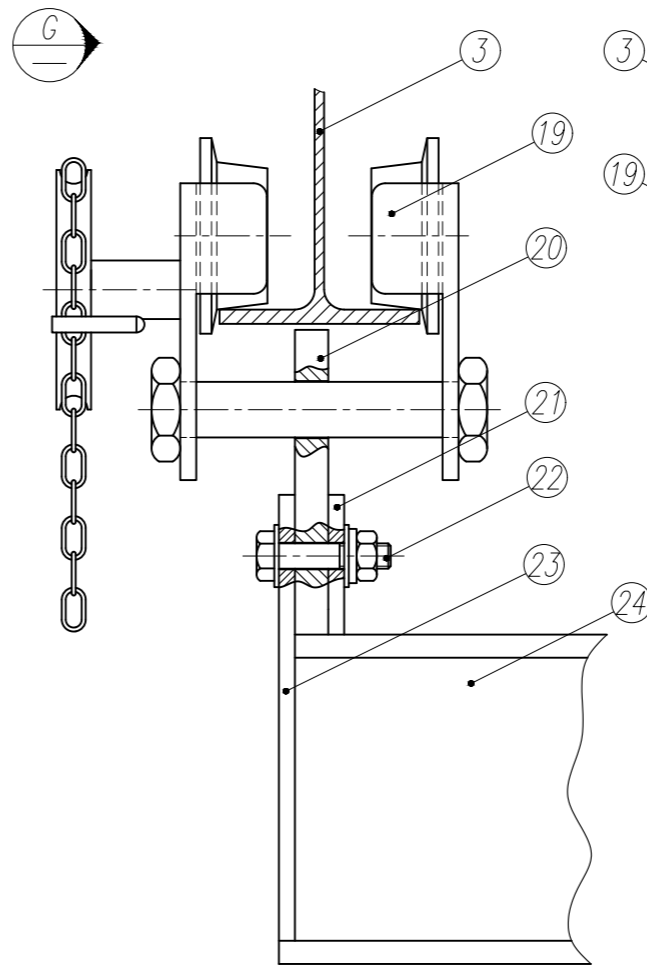
VISTA
Escala 1:5



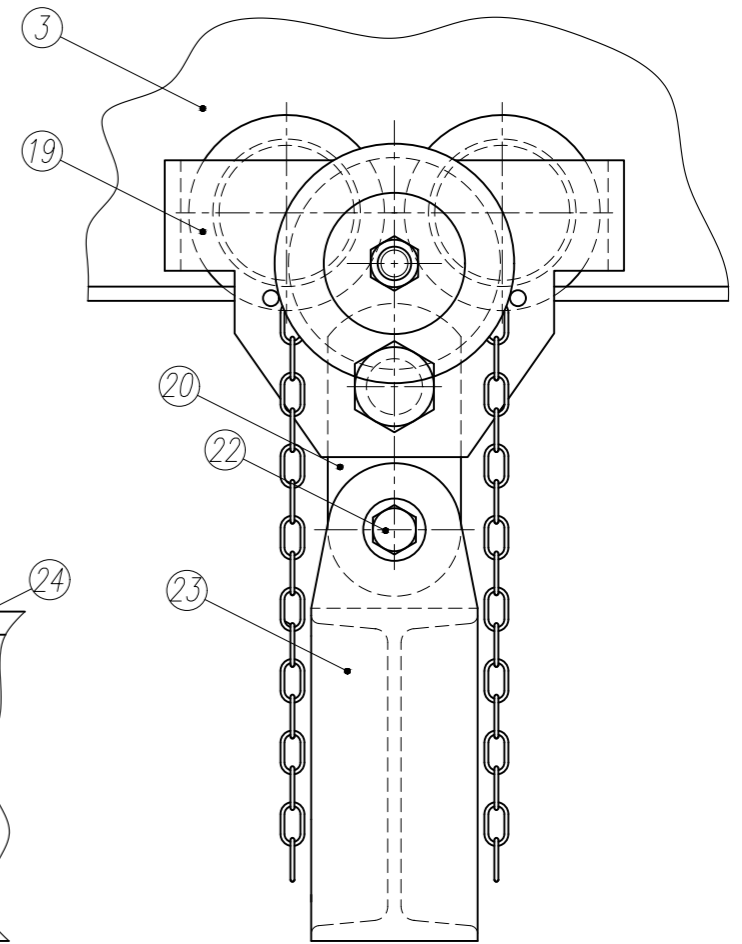
Trabajo de Título Ingeniería Mecánica Industrial		
Dibujó: Javier Jara Sandoval		UTFSM
Plano: Conjunto Puente Grúa Viga Puente Principal		
	Formato: A3	N° Plano: PL 06
	Escala: 1:20	



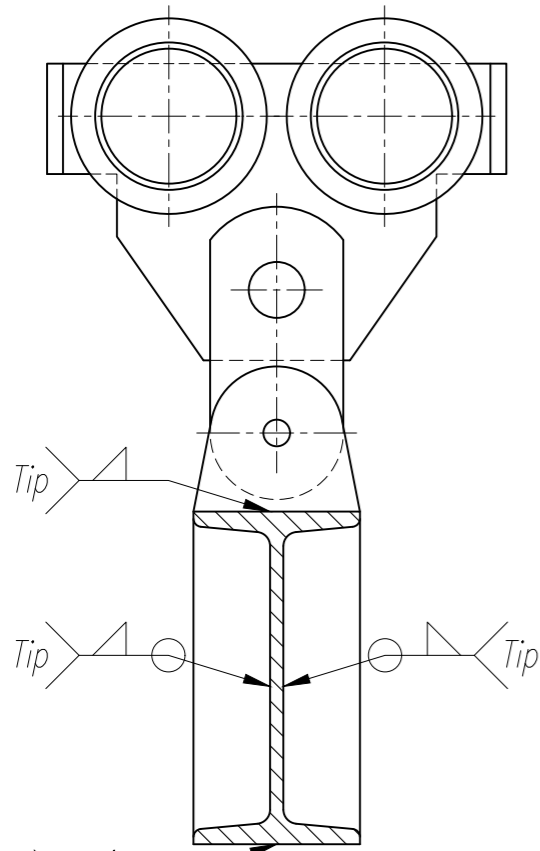
Puente Auxiliar
Escala 1:25



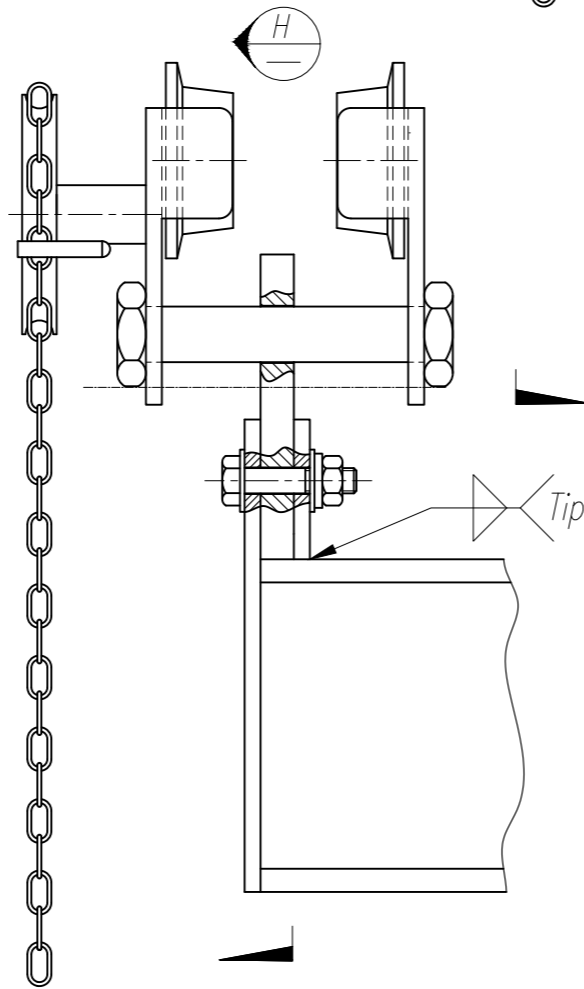
DETALLE
Escala 1:5



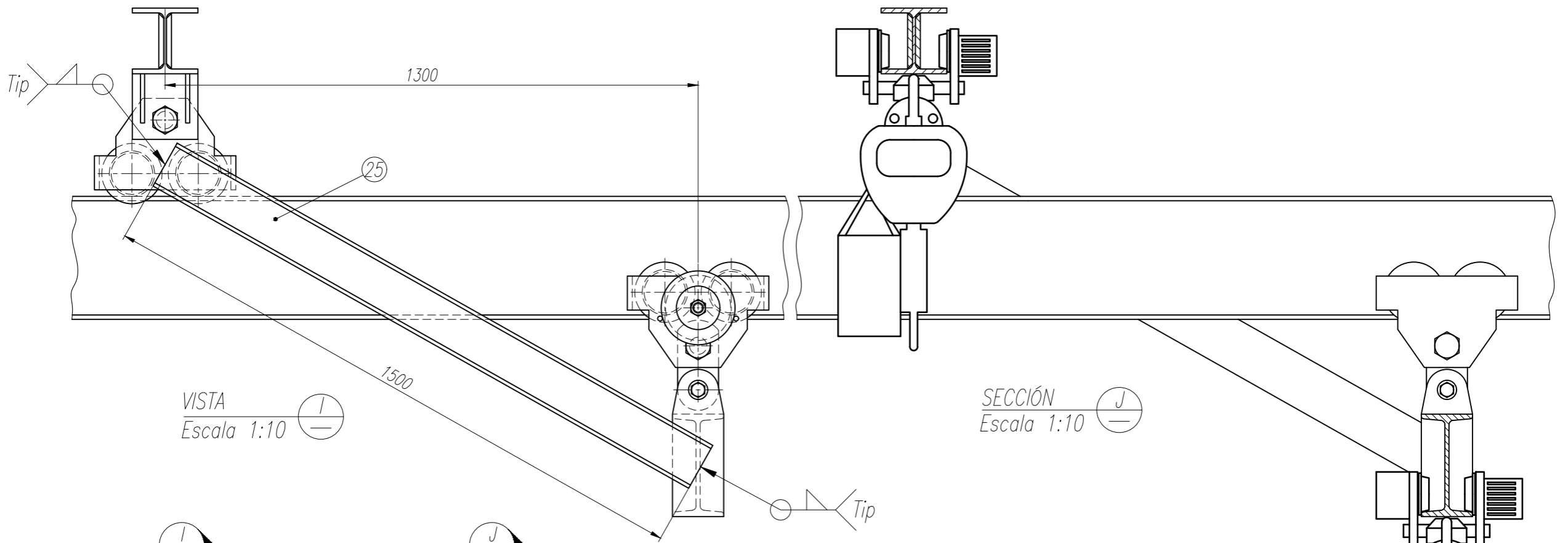
VISTA
Escala 1:5



SECCIÓN
Escala 1:5

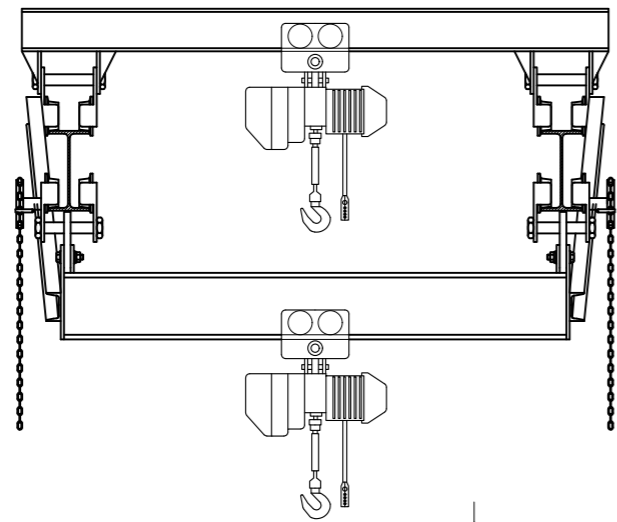
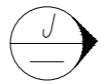
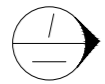


Trabajo de Título Ingeniería Mecánica Industrial	
Dibujó: Javier Jara Sandoval	UTFSM
Plano: Conjunto Puente Grúa Viga Puente Auxiliar	
Formato: A3 Escala: 1:20	N° Plano: PL 07



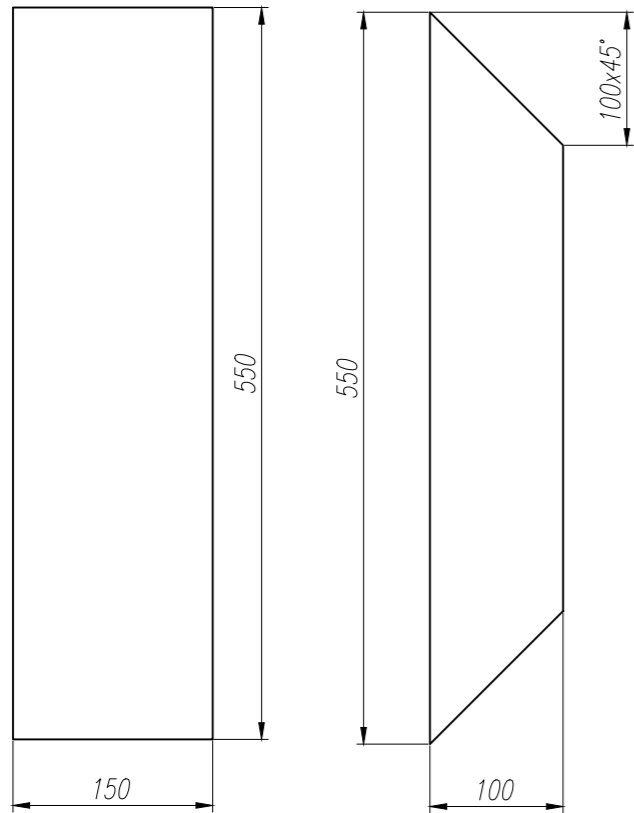
VISTA
Escala 1:10

SECCIÓN
Escala 1:10



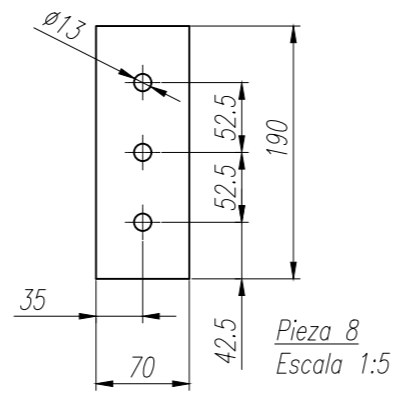
Puente Principal y Auxiliar
Escala 1:25

Trabajo de Título Ingeniería Mecánica Industrial		
Dibujó: Javier Jara Sandoval		UTFSM
Plano: Conjunto Puente Grúa Unión Puente Principal - Auxiliar		
	Formato: A3	N° Plano: PL 08
	Escala: 1:20	

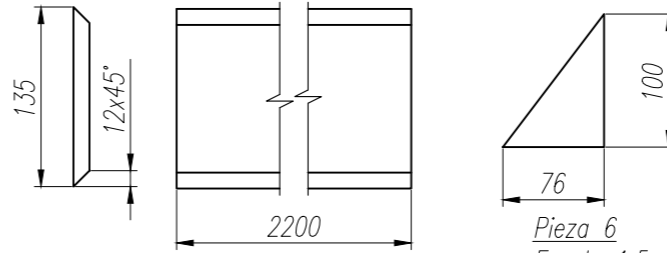


Pieza 10
Escala 1:5

Pieza 11
Escala 1:5

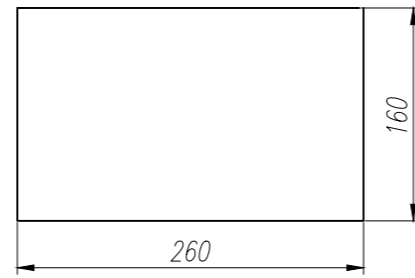


Pieza 8
Escala 1:5

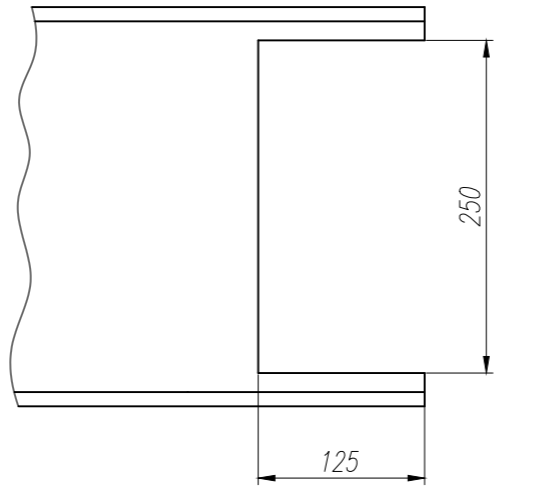


Pieza 9
Sección transversal
Escala 1:5

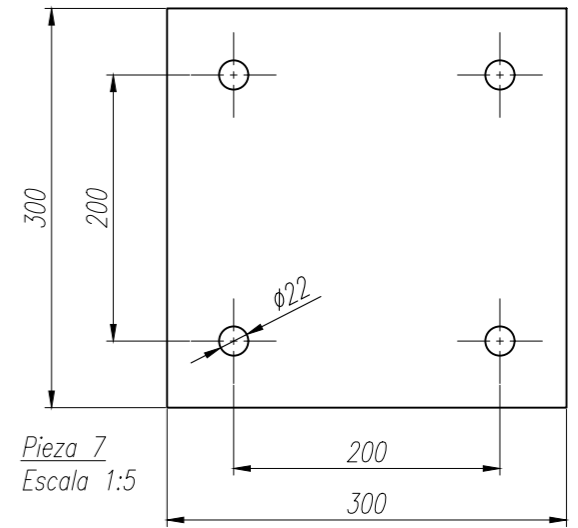
Pieza 6
Escala 1:5



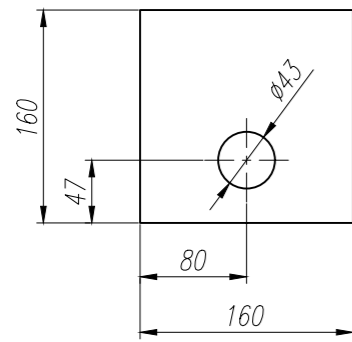
Pieza 12
Escala 1:5



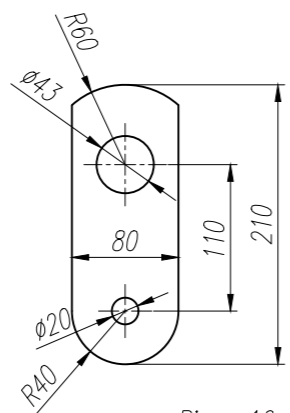
Corte viga carrilera
Escala 1:5



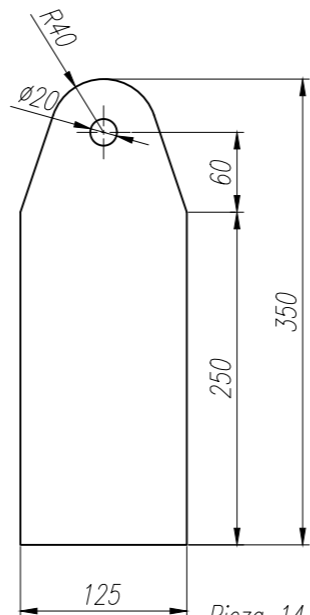
Pieza 7
Escala 1:5



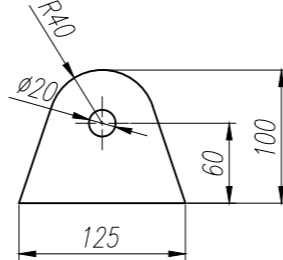
Pieza 11
Escala 1:5



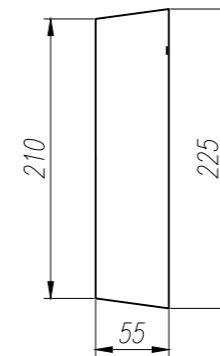
Pieza 16
Escala 1:5



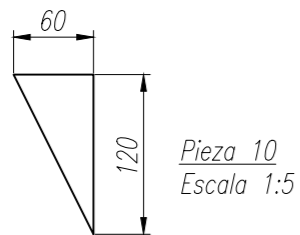
Pieza 14
Escala 1:5



Pieza 12
Escala 1:5



Pieza 12
Escala 1:5



Pieza 10
Escala 1:5

Listado de piezas y partes

Pieza	Cant.	Especificación	Detalle
1	1	Perfil S250x52, largo 1820	Riostra horizontal
2	2	Perfil HEB160, largo 2410	Columna A
3	2	Perfil IPE300, largo 6000	Viga carrilera
4	2	Perfil HEB160, largo 2670	Columna B
5	1	Perfil S250x52, largo 2850	Viga de apoyo
6	8	Plancha A-36, esp. 12 mm	Atiesador columnas
7	4	Plancha A-36, esp. 20 mm	Placa anclaje loza
8	2	Plancha A-36, esp. 12 mm	Placa unión riostra horizontal
9	6	Perno $\phi \frac{1}{2} \times 1 \frac{1}{2}$, A-325	Unión riostra - empalme
10	4	Plancha A-36, esp. 12 mm	Rfzo. unión columna - carrilera
11	4	Plancha A-36, esp. 12 mm	Rfzo. unión columna - carrilera
12	2	Plancha A-36, esp. 12 mm	Sujeción columna - carrilera
13	4	Plancha A-36, esp. 12 mm	Rfzo. unión apoyo - carrilera
14	1	Perfil HEB160, largo 2200	Viga puente principal
15	2	Plancha A-36, esp. 12 mm	Atiesador unión puente principal
16	8	Plancha A-36, esp. 12 mm	Atiesador unión puente - carrillo
17	4	Plancha A-36, esp. 12 mm	Placa unión puente - carrillo
18	2	Carrillo manual, 5 ton	Desplazamiento viga puente princ.
19	2	Carrillo manual, 5 ton	Desplazamiento viga puente aux.
20	2	Plancha A-36, esp. 25 mm	Ojal unión carrillo - viga auxiliar
21	2	Plancha A-36, esp. 12 mm	Placa unión ojal - viga auxiliar
22	2	Perno $\phi \frac{3}{4} \times 3 \frac{1}{2}$, A-325	Unión placas - ojal
23	2	Plancha A-36, esp. 12 mm	Placa unión ojal - viga auxiliar
24	1	Perfil S250x52, largo 2850	Viga puente auxiliar
25	1	Perfil UPN120, largo 1500	Unión puente principal - auxiliar

Notas: 1. Soldadura Tip: E7018, cordón 10mm
2. Todas las dimensiones en [mm], salvo excepciones indicadas

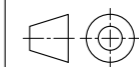
Trabajo de Título
Ingeniería Mecánica Industrial

Dibujó: Javier Jara Sandoval

UTFSM

Plano:

Conjunto Puesto Grúa
Piezas y Partes



Formato: A3
Escala: 1:20

N° Plano: PL 09

7. PROPUESTA DE GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE UN PUENTE GRÚA DE CARACTERÍSTICAS SIMILARES

7.1.Desarrollo Previo

Se expresan los lineamientos, suposiciones, simplificaciones, establecimiento de fórmulas, para generar una guía rápida y sencilla para la elección de equipos de izaje y el dimensionamiento estructural de la instalación.

7.1.1. Requerimientos

Para elaborar un procedimiento basado en la guía *AISC 2004 Design Guide N°7 – Industrial Buildings*, debe identificarse cuáles son los parámetros y requerimientos que debe indicar quien solicite el diseño de un puente grúa. Los parámetros que debe conocerse antes de realizar cualquier labor de diseño o cálculo se indican en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1 Requerimientos para el puente grúa solicitado.

Parámetro de requerimiento del puente grúa	Unidad de medida
Carga máxima a izar	[kg]
Carga promedio a izar	[kg]
Nivel de uso	[izajes/hora], [izajes/jornada], etc.
Frecuencia del izaje máximo	[% de izajes totales], [izajes/jornada], etc.
Altura máxima del izaje	[m]
Distancia longitudinal de desplazamiento de la carga	[m]
Distancia transversal de desplazamiento de la carga	[m]
Velocidad de desplazamiento de la carga	[m/s]

7.1.2. Selección de equipos para izaje

A su vez, seleccione los elementos mecánicos comerciales, tales como:

- Polipasto
- Carrillo (para tecele) o bastidor para polipasto, si no están incluidos
- Vigas testeras

Se identifica los pesos de cada uno de estos elementos.

7.1.3. Dimensiones principales

Con la altura máxima de izaje, la distancia longitudinal de desplazamiento de la carga y la distancia transversal de desplazamiento de la carga, en adelante la luz del puente, determine dimensiones preliminares que tendrán los siguientes elementos:

Alto de las columnas

Para determinar la altura de las columnas, además de la altura máxima de izaje, se considera la distancia mínima comprendida desde la base de apoyo del carrillo sobre la viga hasta el gancho. Esto es lo que se indica en la ecuación *E7.1*.

$$H_{col} \geq H_{izj} + H_{pol} \dots \dots \dots E7.1$$

donde:

H_{col} = Altura requerida para los pilares de la estructura del puente grúa, [mm]

H_{izj} = Altura máxima de izaje, [mm]

H_{pol} = Altura desde la base de apoyo del carrillo sobre la viga hasta el gancho, [mm] (indicado por el fabricante)

Largo de las vigas carrileras

El largo de la viga carrilera debe ser como mínimo la distancia de traslación más el largo del carrillo sobre la viga carrilera.

$$L_{vc} \geq L_{long} + L_{carr} \dots \dots \dots E7.2$$

donde:

L_{vc} = Largo requerido para la viga carrilera, [mm]

L_{long} = Distancia de traslación longitudinal, [mm]

L_{carr} = Largo del carrillo carrilero, [mm]

Largo de la viga puente

Para determinar el largo de la viga puente, además de la altura máxima de izaje, se considera el largo total del polipasto y el ancho de los dos carrillos ubicados sobre las vigas carrileras. Esto es lo que se indica en la ecuación *E7.3*.

$$L_{vp} \geq L_{trans} + 2W_{carr} + L_{pol} \dots\dots\dots E7.3$$

donde:

L_{vp} = Largo requerido para la viga puente, [mm]

L_{trans} = Distancia de traslación transversal, [mm]

W_{carr} = Ancho del carrillo carrilero, [mm]

L_{pol} = Largo total del polipasto, [mm]

Lo anterior puede ser resumido cualitativamente en la *Figura 7.1*, presentada a continuación.

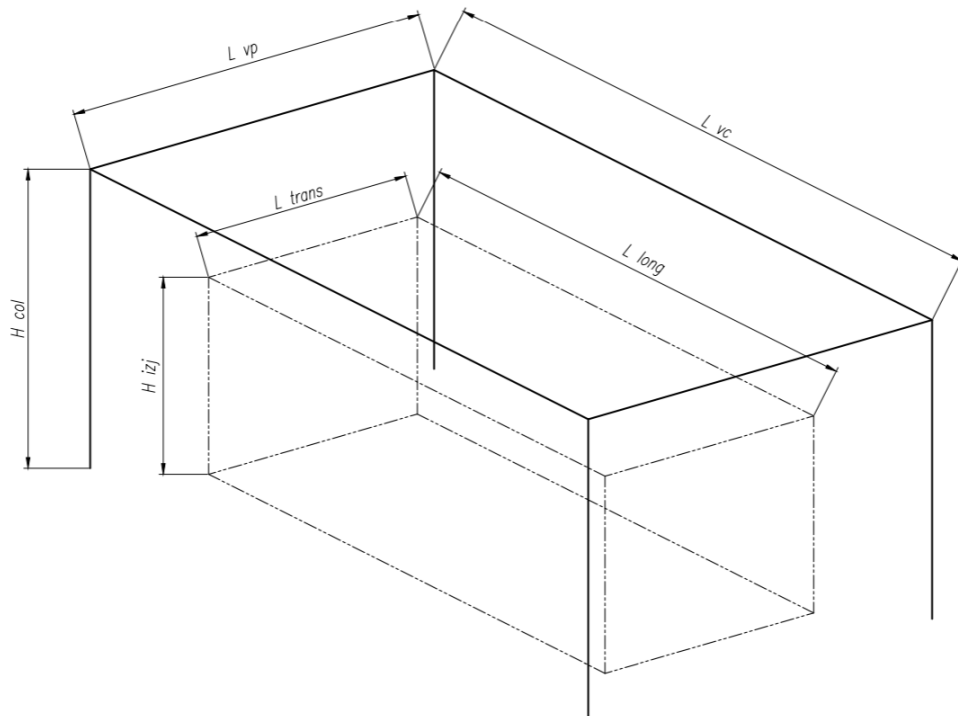


Figura 7.1 Longitudes de elevación y traslación requeridas, y longitudes estructurales.

7.1.4. Fatiga

Se clasifica la instalación según la Tabla 2.1 considerando los siguientes parámetros:

- Carga máxima a izar
- Carga promedio a izar
- Nivel de uso
- Frecuencia del izaje máximo

Dando como resultado clase A, B, C o D. Se utiliza esta clasificación para obtener el N° de ciclos (N_i), también contenidos en la Tabla 2.1. Con este dato, más adelante, se determinan el rango de esfuerzos máximo para cada tipo de sollicitación o falla debido a la fatiga.

Como se menciona anteriormente, los elementos del puente están sometidos a cargas cíclicas lo que provoca que éstos estén sometidos a un rango de esfuerzos en el cual el valor mínimo corresponde a las cargas muertas, principalmente el peso de los elementos, y el valor máximo corresponde a la aplicación de la carga nominal con la carga ubicada en el punto de mayor criticidad en el proceso de traslación de la carga.

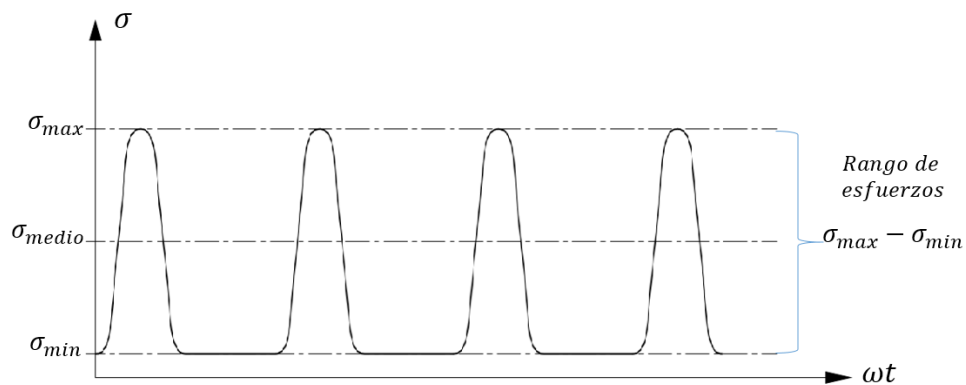


Figura 7.2 Rango de esfuerzos debido a la aplicación de cargas cíclicas sobre los elementos del puente grúa.

Una vez clasificada la grúa, se determinan los rangos de esfuerzos admisibles por fatiga de los elementos principales a diseñar del puente grúa. Éstos rangos dependen netamente de dos factores, de la clasificación de la grúa y del tipo de junta de los materiales.

En la Tabla 5 se indica el rango de esfuerzos admisibles para los principales elementos del puente grúa en función de las categorías de la grúa y el tipo de unión de materiales según *CMAA N°74-2010* y *ANSI/AISC 360-2016*. Para otras configuraciones, ver Anexo 4.

Tabla 7.2 Rango de esfuerzos admisibles para elementos principales del puente grúa.

Elemento del puente grúa	Categoría tensión	σ_{adm} [MPa] según <i>CMAA N°74-10</i> / <i>ANSI/AISC 360-16</i> .			
		A	B	C	D
Viga puente	A	434 / 435	344 / 255	255 / 160	214 / 165
Viga carrilera	A	434 / 435	344 / 255	255 / 160	214 / 165
Riostras laterales en extremos	C	241 / 244	193 / 143	145 / 90	117 / 69
Columna	A	434 / 435	344 / 255	255 / 160	214 / 165

7.1.5. Diseño de elementos estructurales

Viga Puente

Se toman las siguientes consideraciones

- Las cargas que actúan sobre la viga puente son el peso de la carga, el peso propio y el peso del polipasto y su carrillo.
- El peso propio de la viga se considera como una carga puntual en el centro de ésta, considerada como la condición más crítica.
- Todas las cargas se ubican en el punto de mayor criticidad, es decir, donde los esfuerzos producidos por las solicitaciones son máximos. Por lo tanto, todas las cargas se ubicarán en el centro de la viga puente.
- Los extremos de la viga son empotrados, esto debido a que la viga debiera estar unida de alguna forma a los carrillos de apoyo sobre la viga carrilera.
- No existen cargas laterales y ninguno de sus efectos.

Se utiliza las ecuaciones *E2.9* a *E2.11* para determinar un momento de inercia del eje fuerte tentativo ($I_{x req}$). Considerando lo mencionado precedentemente, la flecha de la viga (Δ_x) sometida a una carga puntual en su punto medio se determina mediante la ecuación *E7.4*.

$$\Delta_x = \frac{(P_c + P_{vp} + P_{pol}) * L_{vp}^3}{192 * E * I_{x req}} \dots\dots\dots E.7.4$$

Por lo que, reemplazando la ecuación *E7.4* para la flecha de la viga puente en la ecuación *E2.9* y despejando el momento de inercia, la ecuación para determinar este último queda:

$$I_{x req} = \frac{(P_c + P_{vp} + P_{pol}) * L_{vp}^2 * 25}{8 * E} / 10.000 \dots\dots\dots E.7.5$$

Luego, se determina el módulo resistente del eje fuerte de la viga ($W_{x req}$) según la ecuación *E2.13*. Considerando lo mencionado en la serie de criterios, el momento flector (M_x) sobre la viga sometida a carga puntual en su punto medio se determina mediante la ecuación *E7.6*.

$$M_x = \frac{(P_c + P_{vp} + P_{pol}) * L_{vp}}{8} \dots\dots\dots E7.6$$

Reemplazando la ecuación E7.6 para el momento flector y la ecuación E2.15 para el esfuerzo admisible en la ecuación E2.13, se determina el módulo resistente según la ecuación E7.7.

$$W_{x req} = \left[\frac{(P_c + P_{vp} + P_{pol}) * L_{vp}}{8 * \left(\frac{\sigma_{adm}}{1,67} \right)} \right] / 1.000 \dots\dots\dots E7.7$$

donde σ_{adm} se calcula según la ecuación E2.1 y E7.8. El valor para el esfuerzo admisible es el menor entre ambas ecuaciones.

$$\sigma_{adm} = 0,66 * S_y \dots\dots\dots E7.8$$

Una vez obtenido el momento de inercia ($I_{x req}$) y el módulo resistente ($W_{x req}$) requeridos. Se selecciona un perfil de los contenidos en el Anexo 5.

Viga carrilera

Se toman las siguientes consideraciones

- El tramo de la viga carrilera a analizar es entre columnas de apoyo o entre dos ménsulas. Es decir, si la estructura consta solo de cuatro columnas en los extremos, es tramo a analizar es la viga completa. Si no es así, y existes columnas de apoyo ubicadas a una distancia de los extremos, entonces el tramo se considera como la distancia entre los puntos de apoyos.
- Las cargas que actúan sobre la viga puente son el peso de la carga, el peso propio y la carga máxima de rueda.
- El peso propio de la viga se considera como una carga puntual en el centro de ésta, considerada como la condición más crítica.
- Todas las cargas se ubican en el punto de mayor criticidad, es decir, donde los esfuerzos producidos por las sollicitaciones son máximos. Por lo tanto, todas las cargas se ubicarán en el punto medio de la viga carrilera.
- Los extremos de la viga son empotrados, esto debido a que la viga debiera estar unida de alguna forma a las columnas de apoyo y con arriostramiento latera en sus extremos.

- Además de la carga máxima de rueda, existen otras cargas y sus respectivos efectos que se encuentran descritos en el procedimiento de diseño de una viga carrilera.

Ya determinado el perfil a utilizar para la viga puente, se procede a calcular la carga máxima de rueda (F_{rueda}) que es la fuerza que el carrillo aplica sobre la viga carrilera según la ecuación E2.5.

Se utiliza las ecuaciones E2.9 a E2.11 para determinar un momento de inercia del eje fuerte ($I_{x req}$). Considerando lo mencionado precedentemente, la flecha de la viga (Δ_x) sometida a una carga puntual en su punto medio se determina mediante la ecuación E7.9.

$$\Delta_x = \frac{(F_{rueda}) * L_{vc}^3}{192 * E * I_{x req}} \dots\dots\dots E7.9$$

Por lo que, reemplazando la ecuación E7.9 para la flecha en la viga carrilera en la ecuación E2.9 y despejando el momento de inercia requerido, la ecuación para determinar este último queda:

$$I_{x req} = \frac{F_{rueda} * L_{vc}^2 * 25}{8 * E * 10.000} \dots\dots\dots E7.10$$

Se utiliza la ecuación E2.12 para determinar el momento de inercia en el eje débil ($I_{y req}$) siguiendo el mismo procedimiento para determinar el momento de inercia en el eje fuerte pero esta vez con la carga lateral aplicada sobre la viga carrilera determinada según la ecuación E2.7.

$$I_{y req} = \frac{F_{lat} * L_{vc}^3 * 25}{12 * E * L_{vc} * 10.000} \dots\dots\dots E7.11$$

Luego, se determina el módulo resistente del eje fuerte de la viga ($W_{x req}$) según la ecuación E2.13. Considerando lo mencionado en la serie de criterios, el momento flector (M_x) sobre la viga sometida a una carga puntual en su punto medio se determina mediante la ecuación E7.12.

$$M_x = \frac{F_{rueda} * L_{vc}}{8 * 1.000} \dots\dots\dots E7.12$$

Reemplazando la ecuación E7.12 para el momento flector y la ecuación E2.15 para el esfuerzo admisible en la ecuación E2.13, se determina el módulo resistente según la ecuación E7.13.

$$W_{x req} = \left[\frac{F_{rueda} * L_{vc}}{8 * \left(\frac{\sigma_{adm}}{1,67} \right)} \right] / 1.000 \dots\dots\dots E7.13$$

donde σ_{adm} se calcula según la ecuación E2.1 y E7.8. El valor para el esfuerzo admisible es el menor entre ambas ecuaciones.

Una vez obtenido el momento de inercia ($I_{x req}$) y el módulo resistente ($W_{x req}$) requeridos. Se selecciona un perfil de los contenidos en el Anexo 5.

Con el módulo resistente en el eje fuerte ($W_{x vc}$) y en el eje débil ($W_{y vc}$) del perfil seleccionado se verifica la viga para los efectos mencionados en el en el procedimiento de diseño de una viga carrilera.

Se verifica por flexión biaxial, se debe cumplir la condición que indica la ecuación E2.22. Reemplazando las ecuaciones E2.23, E.24 y E7.12 y simplificando, la condición para la verificación por flexión biaxial es la indicada en la ecuación E7.10.

$$\frac{F_{rueda} * L_{vc}}{8.000 * 1,67} * \left(\frac{1}{W_{x vc}} + \frac{0,4}{W_{y vc}} \right) \leq \sigma_{adm} \dots\dots\dots E7.14$$

Se verifica, además por pandeo local del alma de la viga, se debe cumplir la condición indicada en la ecuación E2.19.

Adicionalmente, se puede verificar el perfil seleccionado para la viga por el efecto de pandeo lateral-torsional cumpliendo la condición de que indica la Ecuación E2.20. Reemplazando la ecuación E2.21 y E7.7 en la ecuación E2.20, la condición a cumplir queda expresada en la ecuación E7.15.

$$F_{plt} = \frac{\pi^2 * E * I_y * h_w * 4}{L_b^3} \geq F_{rueda} \dots\dots\dots E7.15$$

donde:

F_{plt} = Fuerza crítica de pandeo lateral-torsional, [N]

Una vez verificadas estas condiciones, el perfil seleccionado es considerado como apropiado para ser utilizado como viga carrilera.

Si alguna de estas condiciones no se cumple, se debe seleccionar un perfil de viga mayor hasta cumplir con todas éstas.

Columnas

Se determina el momento de inercia requerido de un perfil para la columna mediante la utilización del criterio que indica la ecuación E2.21. La flecha máxima para la columna corresponde a lo que indica la ecuación E7.16. Por lo que, reemplazando esta última

ecuación en la E2.21, el momento de inercia requerido del perfil para la columna queda definido según la ecuación E7.17.

$$\Delta_x = \frac{F_{rueda} * H_{col}^3}{24 * E * I_{x req}} \dots \dots \dots E7.16$$

$$I_{x req} = \frac{F_{rueda} * H_{col}^2 * 10}{E} \dots \dots \dots E7.17$$

Se selecciona un perfil en base al momento de inercia requerido en el eje fuerte.

Se verifica el perfil seleccionado mediante la condición indicada en la ecuación E2.22.

Debido a que, en la guía, el método de obtención de los momentos flectores en ambos ejes del perfil de la columna es determinado mediante modelos computacionales, es necesario contemplar otro método de cálculo que se ajuste al objetivo del presente trabajo. Así, se identifica un método para determinar los momentos en cuestión, incorporados a las ecuaciones para los esfuerzos producidos por dicha sollicitación.

El momento flector debido a una carga vertical excéntrica puede ser determinado mediante la equivalencia indicada en la Figura 7.3, extraída de R.C. Hibbeler, *Mechanics of Solids, 7th Ed. Prentice-Hall*.

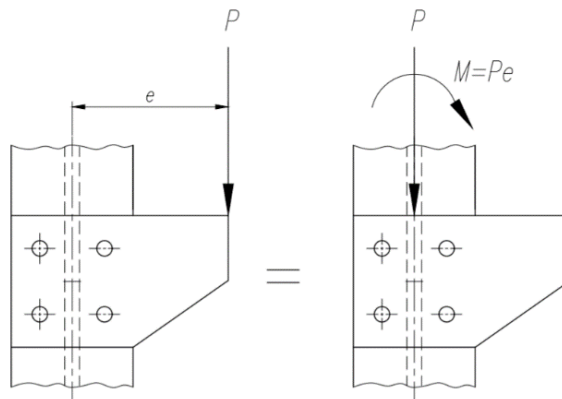


Figura 7.3 Equivalencia de la aplicación de una carga excéntrica sobre una ménsula empotrada a una columna.

En consecuencia:

$$\sigma_{y col} = \frac{F_{rueda} * (\frac{b_{col}}{2} + b_{vc})}{W_{y col} * 1000} \dots \dots \dots E7.18$$

donde:

b_{vc} = ancho del perfil de la viga carrilera, [mm]

b_{col} = ancho del perfil de la columna, [mm]

$W_{y\ col}$ = módulo resistente del eje débil de la columna, [cm³].

El momento flector debido a la carga ubicada en el punto medio del tramo de viga carrilera entre dos columnas puede ser determinado mediante el método indicado en la *Figura 7.4*. Extraída de *Maribel Tejerizo Fernández (2015), Elaboración de fórmulas analíticas y tablas de cálculo para las estructuras metálicas de acero según la normativa Eurocódigo 3, Proyecto final de carrera de Ingeniería Industrial, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Barcelona*.

En consecuencia y simplificando la ecuación para el caso de la carga ubicada en el punto medio de la viga:

$$\sigma_{x\ col} = \frac{\frac{Frueda * Lvc}{4 * (k+2)}}{W_{x\ col} * 1.000} \dots\dots\dots E7.19$$

donde:

$$k = \frac{I_{x\ vc}}{I_{x\ col}} * \frac{H}{L_{vc}}$$

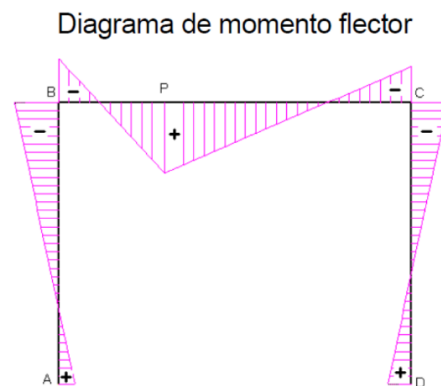
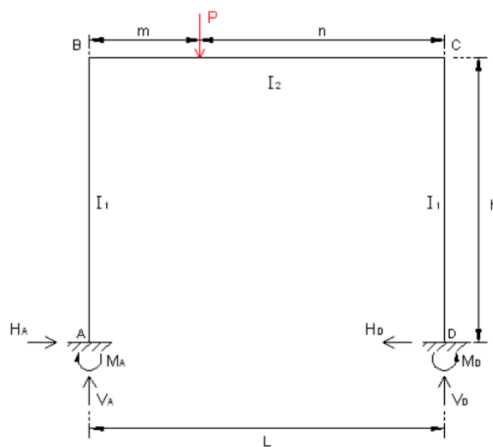
H = Altura de la columna, [mm].

L_{vc} = Largo del tramo de viga carrilera entre dos columnas, [mm].

$I_{x\ vc}$ = Momento de inercia del eje fuerte de la viga carrilera, [cm⁴].

$I_{x\ col}$ = Momento de inercia del eje fuerte de la columna, [cm⁴].

$W_{x\ col}$ = Módulo resistente del eje fuerte de la columna, [cm³].



$$M_B = -\frac{Pmn}{L} \left(\frac{1}{k+2} + \frac{n-m}{2L(6k+1)} \right)$$

Figura 7.4 Momento debido a la aplicación de una carga en un punto determinado de una viga entre dos columnas.

Al reemplazar las ecuaciones E2.23, E2.24, E2.25, E7.18 y E7.19 en E2.22, la expresión E7.20 indica la condición que debe cumplir el perfil seleccionado para la columna.

$$\frac{Frueda*1,67}{A_{col}*\sigma_{adm}} + \frac{Frueda*L_{vc}*1,67}{4.000*(k+2)*W_{x\ col}*\sigma_{adm}} + \frac{Frueda*\left(\frac{b_{col}}{2}+b_{vc}\right)*1,67}{1.000*W_{y\ col}*\sigma_{adm}} \leq 1,0 \dots\dots\dots E7.20$$

Una vez verificadas estas condiciones, el perfil seleccionado es considerado como apropiado para ser utilizado como columna del puente grúa.

Ménsulas

Se contempla el diseño de la ménsula en sí como también del arreglo pernos con los cuales se fijará a la columna.

Para la determinación de las dimensiones de la ménsula, se considera lo siguiente:

- El largo de la ménsula corresponde a al ancho del perfil de la viga carrilera más el ancho del perfil de la columna. Ver ecuación E7.21.
- La sección donde se calcula la cortadura y flexión corresponde a la ubicada en la línea de soporte, ver Figura 7.5.
- Siguiendo las recomendaciones para distanciamiento entre pernos y bordes, la distancia entre pernos corresponde a 4 veces el diámetro de éstos y la distancia al borde de la ménsula corresponde a 2 veces el diámetro. De este modo, altura de la ménsula corresponde a lo que se indica en la ecuación E7.22.
- Acorde a lo anterior, la sección de la ménsula donde se analizan los esfuerzos tiene una la altura efectiva de 0,8 veces la altura. Ver ecuación E7.23.

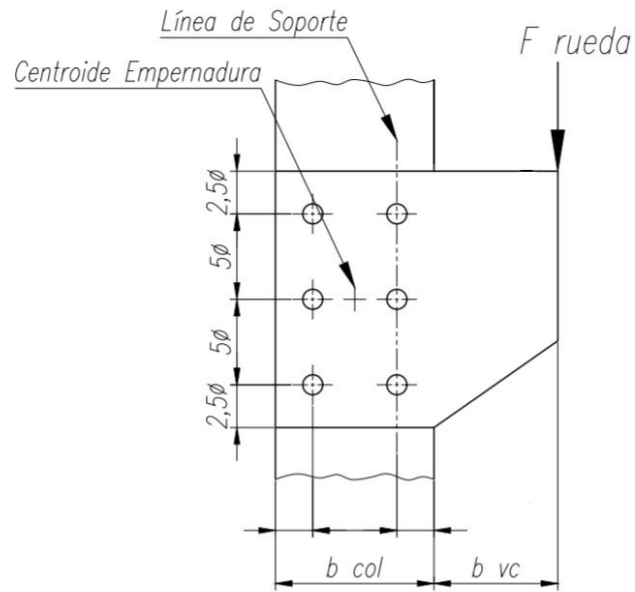


Figura 7.5 Ménsula

$$L_m = b_{vc} + b_{col} \dots\dots\dots E7.21$$

$$H_m = 5 * n_p * \phi_p \dots\dots\dots E7.22$$

$$H_{ef\ m} = 0,8 * H_m \dots\dots\dots E7.23$$

donde:

L_m = Largo de la ménsula, [mm].

H_m = Altura de la ménsula, [mm].

$H_{m\ ef}$ = Altura efectiva de la sección de la ménsula donde se analiza los esfuerzos, [mm].

ϕ_p = Diámetro de los pernos de unión de la ménsula a la columna, [mm].

n_p = Número de pernos de una ménsula, [-]

El diseño de la ménsula debe cumplir con la condición expresada en la ecuación E2.26.

El momento flector en la sección de soporte se calcula mediante la ecuación E7.24.

El módulo resistente de dicha sección se obtiene mediante la ecuación E7.25.

$$M_x = F_{rueda} (b_{vc} + 0,25b_{col}) \dots\dots\dots E7.24$$

$$W_x = \frac{e_m * H_{m\ ef}^3}{12} \dots\dots\dots E7.25$$

donde:

e_m = espesor de la ménsula, [mm]

Reemplazando las ecuaciones E2.27, E2.28, E7.24 y E7.25 en la ecuación E2.26, se tiene que el espesor de la ménsula mínimo se calcula según la ecuación E7.26.

$$e_m \geq \sqrt{\left(\frac{20,04 * F_{rueda} * [b_{vc} + 0,25 b_{col}]}{H_m e f^3 * \sigma_{adm}}\right)^2 + \left(\frac{1,67 * F_{rueda}}{H_m e f * \sigma_{adm}}\right)^2} \dots\dots\dots E7.26$$

Se determina un diámetro para los pernos en cuestión a través de las ecuaciones E2.29 y E2.30.

La fuerza total sobre el perno se calcula mediante la ecuación E.57

$$F_{p \text{ total}} = \sqrt{(F'_p + F''_p * \cos \alpha)^2 + (F''_p * \sin \alpha)^2} = \sqrt{2 * F'_p * F''_p * \cos \alpha} \dots\dots E7.27$$

$$F'_p = \frac{F_{rueda}}{n_p} \dots\dots\dots E7.28$$

$$F''_p = k * d_{p-\bar{c}} \dots\dots\dots E7.29$$

$$k = \frac{F_{rueda} * (b_{vc} + 0,5 b_{col})}{\sum_1^{n_p} (d_{p-\bar{c}i})^2} \dots\dots\dots E7.30$$

donde:

$d_{p-\bar{c}}$ = Distancia desde un perno i hasta el centroide del arreglo de pernos, [mm].

F'_p = Fuerza cortante primaria sobre los pernos, [N].

F''_p = Fuerza cortante secundaria, debido al momento flector, [N].

α = Ángulo entre F'_p y F''_p , [°]. Ver *Ilustración. 12*

Reemplazando las ecuaciones E2.30, E7.27, E7.28, E7.29 y E7.30 en E2.29, el diámetro mínimo para los pernos en cuestión se determina según la ecuación E7.31.

$$\phi_p \geq \left(\frac{3,6 * F_{rueda}}{\sigma_{adm}}\right)^{1/2} * \left(\frac{[b_{vc} + 0,5 b_{col}] \cos \alpha}{n_p * \sum_1^{n_p} (d_{p-\bar{c}i})^2}\right)^{1/4} \dots\dots\dots E7.31$$

Si el arreglo de pernos cuenta con 4 unidades, el diámetro mínimo de estos se determina según la ecuación E7.32.

$$\phi_{4p} \geq 1,5 * \left(\frac{F_{rueda}}{\sigma_{adm}}\right)^{1/2} * \left(\frac{b_{vc} + 0,5 b_{col}}{b_{col}^2}\right)^{1/4} \dots\dots\dots E7.32$$

Si el arreglo de pernos cuenta con 6 unidades, el diámetro mínimo de estos se determina según la ecuación E.63.

$$\phi_{6p} \geq 0,5 * \left(\frac{F_{rueda}}{\sigma_{adm}} \right)^{1/2} * \left(\frac{b_{vc} + 0,5b_{col}}{b_{col}^2} \right)^{1/4} \dots\dots\dots E7.33$$

Soldadura

La norma AWS D14.1 *Specification for Welding of Industrial and Mill Cranes and Other Material Handling Equipment* indica esfuerzos admisibles para el metal base y para el metal de la soldadura.

Para el metal base indica que:

- El esfuerzo admisible para tensión o compresión es el 50% del esfuerzo de fluencia
- El esfuerzo admisible para cizallamiento es del 40% del esfuerzo de fluencia.
- Para el metal de la soldadura, los esfuerzos admisibles se indican en la *Tabla 7.3*.

Tabla 7.3 Esfuerzos admisibles para tipos de soldadura y solicitaciones.

Tipo de Soldadura	Esfuerzo en la Soldadura	Esfuerzo Admisible
De Ranura con Penetración Completa	Tracción en el área efectiva	Igual al metal base
	Compresión en el área efectiva	Igual al metal base
	Tracción o compresión paralela el eje de la soldadura	Igual al metal base
	Cizallamiento en el área efectiva	0,27 * σ_{nom}
De Ranura con Penetración Parcial	Tracción en el área efectiva	0,27 * σ_{nom}
	Compresión en el área efectiva	0,45 * σ_{nom}
	Tracción o compresión paralela el eje de la soldadura	Igual al metal base
	Cizallamiento paralelo al eje del metal	0,27 * σ_{nom}
De Filete	Cizallamiento en el área efectiva	0,27 * σ_{nom}
	Tracción o compresión paralela el eje de la soldadura	Igual al metal base

7.2. Guía para el diseño de un puente grúa similar

Se expresa una guía metodológica que permite diseñar un puente grúa de características similares al que es objeto del presente trabajo, exceptuando el mecanismo de elevación auxiliar que se contempla.

Esta guía pretende entregar parámetros para la selección de elementos estructurales del puente grúa de las características descritas, de modo que los elementos adicionales, uniones, entre otros deben ser diseñados y calculados.

A continuación, se presenta una serie de pasos para determinar la configuración y elementos a usar para la fabricación del puente grúa.

a. Solicitar los siguientes requerimientos

Parámetro de requerimiento del puente grúa	Unidad de medida
Carga máxima a izar	[kg]
Carga promedio a izar	[kg]
Nivel de uso	[izajes/hora], [izajes/jornada], etc.
Frecuencia del izaje máximo	[% de izajes totales], [izajes/jornada], etc.
Altura máxima del izaje	[m]
Distancia longitudinal de desplazamiento de la carga	[m]
Distancia transversal de desplazamiento de la carga	[m]

b. Seleccionar equipos de izaje

Equipo	Peso [kg]	Alto [mm]	Largo [mm]	Ancho [mm]
Polipasto	P_{pol}	H_{pol}	L_{pol}	-
Carrillo de apoyo viga carrilera	P_{carr}	-	L_{carr}	W_{carr}

c. Determinar dimensiones preliminares del puente grúa

Elemento estructural	Largo del perfil estructural [mm]
Columna	$H_{col} \geq H_{izj} + H_{pol}$
Viga Carrilera	$L_{vc} \geq L_{long} + 3L_{carr}$
Viga Puente	$L_{vp} \geq L_{trans} + 2W_{carr} + L_{pol}$
Riostra lateral en extremos	$L_{rio} = L_{trans} + L_{pol}$

d. Determinar rangos de esfuerzo para fatiga de cada elemento

Elemento del puente grúa	σ_{adm} [MPa] para cada clase de grúa			
	A	B	C	D
Viga puente	435	255	160	165
Viga carrilera	435	255	160	165
Riostras laterales en extremos	244	143	90	69

Columna	435	255	160	165
Ménsula	341	200	126	110

e. Determinar un perfil para la viga puente, viga carrilera y columnas

Viga Puente	$I_{x req} = \frac{(P_c + P_{vp} + P_{pol}) * L_{vp}^2 * 25}{8 * E * 10.000}$	$W_{x req} = \frac{(P_c + P_{vp} + P_{pol}) * L_{vp}}{8 * \left(\frac{\sigma_{adm}}{1,67}\right) * 1.000}$	
	$I_{x req} = \frac{F_{rueda} * L_{vc}^2 * 25}{8 * E * 10.000}$	$I_{y req} = \frac{F_{rueda} * L_{vc}^2 * 5}{12 * E * 10.000}$	$W_{x req} = \frac{F_{rueda} * L_{vc}}{8 * \left(\frac{\sigma_{adm}}{1,67}\right) * 1.000}$
	$\frac{F_{rueda} * L_{vc}}{8.000 * 1,67} * \left(\frac{1}{W_{xvc}} + \frac{0,4}{W_{yvc}} \right) \leq \sigma_{adm}$		
Viga Carrilera	Verificar	$F_{bw} = \frac{C_r * t_w^3 * t_f}{h_w^2} \left(0,4 * \left\{ \frac{h_w / t_w}{L_{vc} / b_f} \right\}^3 \right) \geq F_{rueda}$	
		$F_{plt} = \frac{\pi^2 * E * I_y * h_w^4}{L_{vc}^3} \geq F_{rueda}$	
Columna	Verificar	$I_{x req} = \frac{F_{rueda} * H_{col}^2 * 10}{E}$	
		$\frac{F_{rueda} * 1,67}{A_{col} * \sigma_{adm}} + \frac{F_{rueda} * L_{vc} * 1,67}{4.000 * (k+2) * W_{x col} * \sigma_{adm}} + \frac{F_{rueda} * \left(\frac{b_{col}}{2} + b_{vc}\right) * 1,67}{1.000 * W_{y col} * \sigma_{adm}} \leq 1,0$	

f. Determine el diámetro de pernos y dimensiones para ménsula

	$\Phi_p \geq \left(\frac{3,6 * F_{rueda}}{\sigma_{adm}} \right)^{1/2} * \left(\frac{[b_{vc} + 0,5 b_{col}] \cos \alpha}{n_p * \sum_1^{n_p} (d_p - \bar{c}_i)^2} \right)^{1/4}$
Diámetro perno	Para 4 pernos $\Phi_{4p} \geq 1,5 * \left(\frac{F_{rueda}}{\sigma_{adm}} \right)^{1/2} * \left(\frac{b_{vc} + 0,5 b_{col}}{b_{col}^2} \right)^{1/4}$
	Para 6 pernos $\Phi_{6p} \geq 0,5 * \left(\frac{F_{rueda}}{\sigma_{adm}} \right)^{1/2} * \left(\frac{b_{vc} + 0,5 b_{col}}{b_{col}^2} \right)^{1/4}$
	Largo $L_m = b_{vc} + b_{col}$ Altura $H_m = 5 * n_p * \Phi_p$
Ménsula	$\text{Espesor } e_m \geq \sqrt{\left(\frac{20,04 * F_{rueda} * [b_{vc} + 0,25 b_{col}]}{H_m e_f^3 * \sigma_{adm}} \right)^2 + \left(\frac{1,67 * F_{rueda}}{H_m e_f * \sigma_{adm}} \right)^2}$

8. PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO DE IZAJE SEGURO

Con el objetivo entregar los medios necesarios para que se realice con éxito el montaje y desmontaje de las bombas elevadoras de aguas servidas, manteniendo la integridad física de los operarios, la instalación y las dichas bombas, se redacta un procedimiento para el izaje de bombas en la estación de elevación de aguas servidas.

Este procedimiento, al no ser un procedimiento de trabajo seguro ni un instructivo, reúne los ejes que permiten lograr el objetivo planteado. Establece las responsabilidades de los entes implicados en las tareas de izaje y traslado de la carga, los requisitos para éstos y para las condiciones de la instalación, establece los riesgos y las medidas de seguridad que se deben tomar tanto para los operarios como para la carga y establece una serie de pasos a seguir para realizar el manejo de la carga del modo para el cual fue concebido el diseño del puente grúa que es objeto del presente trabajo.

Procedimiento para el izaje de bombas elevadoras de aguas servidas en la instalación

1. Objetivo

Establecer requerimientos e instrucciones para la ejecución del izaje de cargas que permitan garantizar la integridad de los operarios, la instalación y el equipo a izar.

2. Alcance

El presente procedimiento aplica para la ejecución de izajes y traslados necesarios para el montaje y desmontaje de bombas elevadoras de aguas servidas dentro de la estación de elevación de aguas servidas de referencia, así como también para las etapas previas y posteriores a la ejecución del izaje.

3. Definiciones

Carga: Elemento soportado por el puente grúa.

Izaje: Levantamiento de una carga con apoyo de maquinaria para su traslado, tanto vertical como horizontal.

Puente Grúa: Equipo de levante que permite el traslado de una carga vertical u horizontalmente. Conformado por una viga o estructura contenedora del o los mecanismos de levante y que contiene que se desliza a través de vigas carrileras. Estas últimas generalmente montadas sobre la estructura del recinto o bien sobre columnas.

Eslinga: Elemento utilizado para el levantamiento de cargas. Consiste en una cinta con un ancho o largo específico cuyos extremos terminan en un lazo.

Operador: Persona que opera la grúa con el objeto de posicionar cargas o personas

Enganchador: Persona responsable de la tarea de arristrar la carga para su correcto izaje.

Señalero: Persona específicamente designada para asistir al operador del equipo en las maniobras de izaje, de manera que éstas se realicen en forma segura y eficaz.

4. Responsabilidades

Es responsabilidad de la gerencia de operaciones dotar al personal implicado en la ejecución del izaje de los medios necesarios para el cumplimiento con el objetivo establecido en el presente procedimiento. Obtener la información necesaria para la modificación o actualización, y la modificación o actualización en sí, del presente procedimiento que permita el cumplimiento con el objetivo establecido el éste.

Es responsabilidad del supervisor asignado la distribución y/o divulgación del presente procedimiento al resto del personal implicado en la ejecución del izaje dentro de la instalación. Asegurar el cumplimiento con los requerimientos e instrucciones establecidos para la ejecución del izaje.

Es responsabilidad del operario encargado de la ejecución del izaje cumplir con los requerimientos e instrucciones para la ejecución del izaje establecidos en el presente procedimiento.

5. Requisitos

De los operarios

Al no existir una disposición legal vigente que exija que los operarios de puentes grúas cumpla con acreditación de competencias laborales, el requisito es que el operador cuente con el conocimiento que le permita realizar con efectividad las actividades clave de las unidades de competencia laboral siguientes:

- Cumplir con normas de seguridad, calidad y medio ambiente de acuerdo a normativa vigente.
- Preparar maniobras de carga y descarga de acuerdo a características técnicas de funcionamiento del equipo.

- Realizar maniobras de izaje, descenso y movimiento de cargas de acuerdo a características técnicas de funcionamiento del equipo.

6. Procedimiento

6.1. Condiciones Previas

Antes de realizar cualquier actividad involucrada con el izaje en cuestión, el supervisor debe encargarse de difundir este procedimiento y verificar que fue leído y comprendido por el personal involucrado, además de dejar registro escrito de aquello.

Los operadores y personal involucrado deben leer este procedimiento y realizar las acciones necesarias para comprenderlo a cabalidad.

El supervisor a cargo de las tareas de montaje y desmontaje de las bombas debe haber inspeccionado la totalidad de los de los accesorios, mecanismos y equipos para el izaje a utilizar durante las maniobras. A todos los elementos indicados se debe verificar su estado operativo mediante un Checklist.

La totalidad del personal implicado en la ejecución de los izajes y traslados debe contar con el equipo de protección personal establecido, el cual consiste en:

- Calzado de seguridad
- Casco con barbiquejo
- Guantes
- Lentes de seguridad
- Protección auditiva

6.2. Componentes del Puente Grúa

- Puente principal: Estructura conformada por una viga de perfil I portadora del carro con un equipo de izaje. En sus extremos posee carrillos para el desplazamiento longitudinal sobre vigas carrileras. Sobre éste se monta el tecle de mayor capacidad, el cual será utilizado para introducir o sacar la bomba de la perforación de la loza de la planta.
- Puente auxiliar: Estructura conformada por una viga de perfil I portadora del carro con un equipo de izaje. En sus extremos posee carrillos para el desplazamiento longitudinal sobre vigas carrileras. Sobre éste se monta el tecle de menor capacidad,

el cual será utilizado como elemento de izaje auxiliar, es decir, como un segundo punto de izaje para poder trasladar la bomba de manera horizontal o inclinada.

- Carrillo manual con cadena: Elementos unidos a los extremos de la viga puente auxiliar, constan de dos ruedas de apoyo, elementos de transmisión mecánica y una cadena el desplazamiento del carrillo cuyo accionamiento se realiza manualmente.
- Carrillo manual sin cadena: Elementos unidos a los extremos de la viga puente principal, constan de dos ruedas de apoyo.
- Carrillo eléctrico: equipo de accionamiento eléctrico que se desplaza transversalmente sobre la viga puente, sobre éste se engancha el tecele eléctrico, ya sea en la viga puente principal como en la auxiliar. El mando de este equipo es mediante una botonera.
- Tecele eléctrico: mecanismo de accionamiento eléctrico utilizado para levantar o descender la carga en cuestión a través de una cadena que sostiene un gancho. El mando de este equipo es mediante una botonera.

6.3. Actividades Previas

Para el caso de montaje de la bomba elevadora de aguas servidas. Mediante un camión grúa o el medio que se estime conveniente, se debe colocar la bomba en el carro para su traslado al interior del recinto, hasta punto que la bomba se encuentre dentro del alcance de los equipos de izaje del puente grúa.

Para el caso de desmontaje de la bomba elevadora de aguas servidas. Debe disponerse del carro para traslado de ésta en el lugar correspondiente, para que, luego de la maniobra de izaje, la bomba pueda ser depositada sobre el carro y ser trasladada fuera del recinto para su mantenimiento.

Los operadores deben realizar una inspección general a los sistemas y equipos al inicio y término de la tarea de montaje o desmontaje de las bombas e informar a su supervisor acerca de defectos encontrados, si los hay.

Se debe verificar que no exista material, herramientas o equipos entorpeciendo u obstaculizando el libre tránsito del personal involucrado en cualquiera de las maniobras.

6.4. Condiciones durante la operación

El puente grúa es de uso exclusivo para montaje y desmontaje de bombas elevadoras de aguas servidas. Cualquier otro tipo de izaje que no sobrepase la capacidad de dicho puente debe ser consultado al supervisor, quién, a su vez, debe solicitar una aprobación de sus superiores.

Verificar que los puntos de izaje de la bomba a montar o desmontar se encuentren en condiciones óptimas. No realizar el izaje en caso contrario e informar al supervisor encargado.

La carga debe engancharse únicamente en los puntos de izaje indicados en este procedimiento.

No utilizar ganchos que se encuentren abiertos o torcidos.

Verificar que las cadenas de los tecles no se encuentren torcidas.

No utilizar eslingas que presenten cortes o daños.

Utilizar eslingas apropiadas para la carga.

Al cargarse o descargarse la bomba, alejar manos y brazos de los puntos de izaje.

Al retirar la cadena y/o eslinga, verificar que éstos se encuentren sin tensión.

El o los operadores del puente grúa no deben realizar ninguna maniobra sin antes haber recibido la señal que indique que la carga está lista para ser transportada.

El operador debe centrar el teclé sobre la carga para evitar cualquier balanceo de esta última.

El levantamiento de la carga debe realizarse lentamente.

Nadie debe transitar por debajo de la carga izada. Si esto ocurre, el o los operadores del puente grúa deben detener inmediatamente sus labores.

El enganchador y señalero debe emplear solo señales establecidas, para dar cualquier otro tipo de indicación o instrucción debe ordenar la detención de la operación.

El enganchador y señalero debe cerciorarse que, en ningún momento del traslado o inclinación de la carga este caso, se acerque demasiado a la losa.

El personal debe dar cuenta al supervisor de cualquier anomalía o defecto que perciba durante la operación del puente; por ejemplo, sacudidas, ruidos anormales, flexión o deformación de algún componente, entre otros, y detener la maniobra inmediatamente.

El personal debe informar inmediatamente al supervisor cualquier incidente o accidente en el que se vean involucrado parte del personal, las cargas o la instalación, existan o no daños.

6.5. Operación del puente grúa

La bomba debe estar ubicada en el carro para traslado a nivel de piso, en la posición correspondiente.

Para las tareas izaje y traslado de carga enmarcadas en el montaje y desmontaje de bombas, se requerirá de un equipo que al menos cuente con:

- 1 enganchador/señalero
- 2 operadores de puente grúa u operadores de teclas eléctricas.
- 2 mecánicos para operación de carrillo con cadena

El enganchador y señalero se encargará, en primera instancia, de verificar el estado de los puntos de izaje y realizar el estrobo en los mismos. Además, se encargará de dar las señales a los operadores cuando la carga esté siendo levantada, bajada, inclinada o trasladada horizontalmente

Un operador se encargará del control del tecla principal, manejando el levante o bajada y el desplazamiento transversal del carrillo eléctrico donde cuelga el tecla.

El segundo operador se encargará del control del tecla auxiliar, manejando la inclinación de la bomba y el desplazamiento transversal del carrillo eléctrico donde cuelga el tecla.

Ambos mecánicos se encargarán del desplazamiento longitudinal del conjunto puente, entendiéndose como el puente principal unido al puente auxiliar, mediante la cadena perteneciente a los carrillos manuales con cadena. Cada uno deberá manejar un carrillo de cada lado, debiendo realizar los movimientos de manera simultánea.

El tecla de la viga principal se engancha al cáncamo ubicado en la parte superior de la bomba. Cuando se requiere la inclinación de la bomba, el tecla de la viga auxiliar se engancha a una eslinga que envuelve el cuerpo de la bomba por su parte baja.

Montaje de la bomba

Como se ha mencionado en puntos anteriores, la bomba ingresa al recinto en posición horizontal sobre un carro de traslado. Una vez que la bomba se encuentra en posición para ser izada, se engancha a los teclés del modo que se indica en el párrafo anterior.

Se debe comenzar a levantar ambos teclés en conjunto, tomando las precauciones ya expresadas, hasta llegar a la máxima altura permitida por los equipos.

Una vez en esta posición, se debe comenzar la traslación por medio de las cadenas de los carrillos de apoyo de la viga puente auxiliar.

Ya en una posición sobre la abertura en la loza donde se descenderá la bomba, se debe comenzar a descender el cuerpo de la bomba por medio del teclé auxiliar.

Se debe lograr la posición vertical de la bomba. Para esto, se realizan maniobras de traslado longitudinal (mediante las cadenas de los carrillos del puente auxiliar) y disminuyendo la inclinación mediante el descenso del cuerpo de la bomba por medio del teclé auxiliar. Como la altura de la bomba es mayor que la del puente grúa, esto se debe realizar exactamente sobre la abertura de la loza, ya que será necesario introducir una parte de la bomba para completar la maniobra.

Una vez lograda la verticalidad de la bomba, se debe soltar la eslinga enganchada al teclé auxiliar. Luego se debe descender la bomba a través de la abertura en la loza por medio del teclé principal. Finalmente, soltar la carga tomando las precauciones ya expresadas en numerales anteriores.

Desmontaje de la bomba

Para realizar el desmontaje de las bombas, se debe descender el gancho del teclé de la viga principal por la abertura de la loza hasta donde se encuentra instalada la bomba. Se debe enganchar al cáncamo de la parte superior de la bomba como ya se ha expresado anteriormente y comenzar el levante de ésta.

Una vez que la bomba se encuentre casi totalmente sobre el nivel de la loza, se debe enganchar el cuerpo de la bomba por medio de las eslingas mencionadas. Se debe lograr la horizontalidad de la carga mediante maniobras de traslado longitudinal (mediante las cadenas de los carrillos del puente auxiliar) y disminuyendo la inclinación mediante la elevación del cuerpo de la bomba por medio del teclé auxiliar. Como la altura de la bomba

es mayor que la del puente grúa, esto se debe realizar exactamente sobre la abertura de la loza, ya que será necesario introducir una parte de la bomba para completar la maniobra.

Una vez lograda la horizontalidad de la bomba, se debe trasladar longitudinalmente, mediante las cadenas de los carrillos del puente auxiliar hasta donde pueda ser recibida por el carro de traslado ubicado en el piso del recinto. Logrado esto, se debe descender horizontalmente la bomba con ambos tecles (principal y auxiliar) de tal modo de poder situar la carga de manera acostada sobre el carro. Finalmente, soltar la carga tomando las precauciones ya expresadas en numerales anteriores.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Un puente grúa cumple un rol importante en la industria. Para este caso en particular su rol es indispensable en el proceso de mantenimiento de equipos que brindan servicios sanitarios a la comunidad. Mediante maniobras de izaje permiten el montaje y desmontaje de los equipos para mantenimiento, por ejemplo. Esto ha llevado que prácticamente cada planta sanitaria cuente con un puente grúa instalado en ella.

Ante el aumento de la densidad de población en zonas urbanizadas, las empresas sanitarias realizan programas de crecimiento y mejora de sus instalaciones para dar abasto a la creciente demanda del servicio. Lo que se traduce en un reemplazo de los equipos que realizan estos servicios por unos de mayor capacidad, y por consiguiente un reemplazo de las grúas encargadas de su montaje.

Esto es lo que ocurre en el caso estudiado, donde las bombas a instalar en la estación elevadora de aguas servidas superan las dimensiones de las existentes, a tal punto de superar la altura máxima que el recinto permite para la construcción de un puente grúa. Debido a que no se han instalado las nuevas bombas adquiridas, han ocurrido daños en las instalaciones contiguas producto de los peaks de caudales elevados por las bombas existentes. Por lo que se requiere la instalación de un puente grúa que permita realizar la maniobra de izaje de las bombas adquiridas y así ser montadas.

Considerando los requerimientos de dicha situación se definió el objetivo general del presente trabajo, que es el diseño de un puente grúa para el montaje y desmontaje de bombas elevadoras de aguas servidas para la estación en particular.

El diseño del puente grúa consta de mecanismo de izaje principal y uno de izaje auxiliar que logra cumplir con el objetivo de poder montar las bombas mediante la inserción de la bomba al recinto de forma horizontal y a lo largo de su traslación ésta podrá ser inclinada hasta ser montada de forma totalmente vertical. El puente grúa es diseñado considerando disposiciones establecidas en códigos de diseño de este tipo de instalaciones. Con esto se da cumplimiento a los objetivos específicos relacionados con el diseño del puente grúa de acuerdo con la normativa y legislación aplicables.

Se realiza un análisis estructural del diseño propuesto en base a la resistencia de las partes diseñadas. Resultando satisfactorio, dado que se cumplen las condiciones que la guía

utilizada propone para los elementos estructurales. Además, tanto en los elementos de unión como las uniones en sí, se obtienen factores de seguridad superiores a los mínimos establecidos en la guía mencionada, por lo que estos también se consideran satisfactorios. Sin embargo, existe una unión soldada la cual cumple pero no satisface lo establecido, por lo que podría aplicarse un refuerzo u otro método de unión.

Complementario al diseño del puente grúa, los demás objetivos específicos abarcan los tópicos necesarios para la implementación del diseño. En esta línea, para dar cumplimiento a los objetivos asociados a la construcción del puente grúa se presenta una serie de planos que detallan las piezas a fabricar, cortes, soldadura y montaje de las partes del puente grúa. Asociado a esto se genera un estudio de los costos, que considerando la adquisición de equipos de izaje, materiales y mano de obra logran identificar el costo de la fabricación del diseño planteado.

Se realiza un procedimiento de izaje que cumple con establecer las condiciones, antes y durante del montaje de las bombas para salvaguardar la integridad de los operarios, de la instalación y de las bombas. Abarcando desde las responsabilidades de los involucrados, sus calificaciones, hasta las instrucciones para el izaje. Además, se realiza una guía metodológica que permite diseñar un puente grúa de características similares a las de este trabajo.

Por último, respecto al análisis económico de la implementación del puente grúa, sus costos son menores a los asociados a las multas que la empresa sanitaria debe pagar por el derrame de aguas servidas debido a los daños mencionados anteriormente. Por lo que se valida la implementación. Además de ser parte del plan de mejora al que debe ser sometido la estación elevadora de aguas servidas.

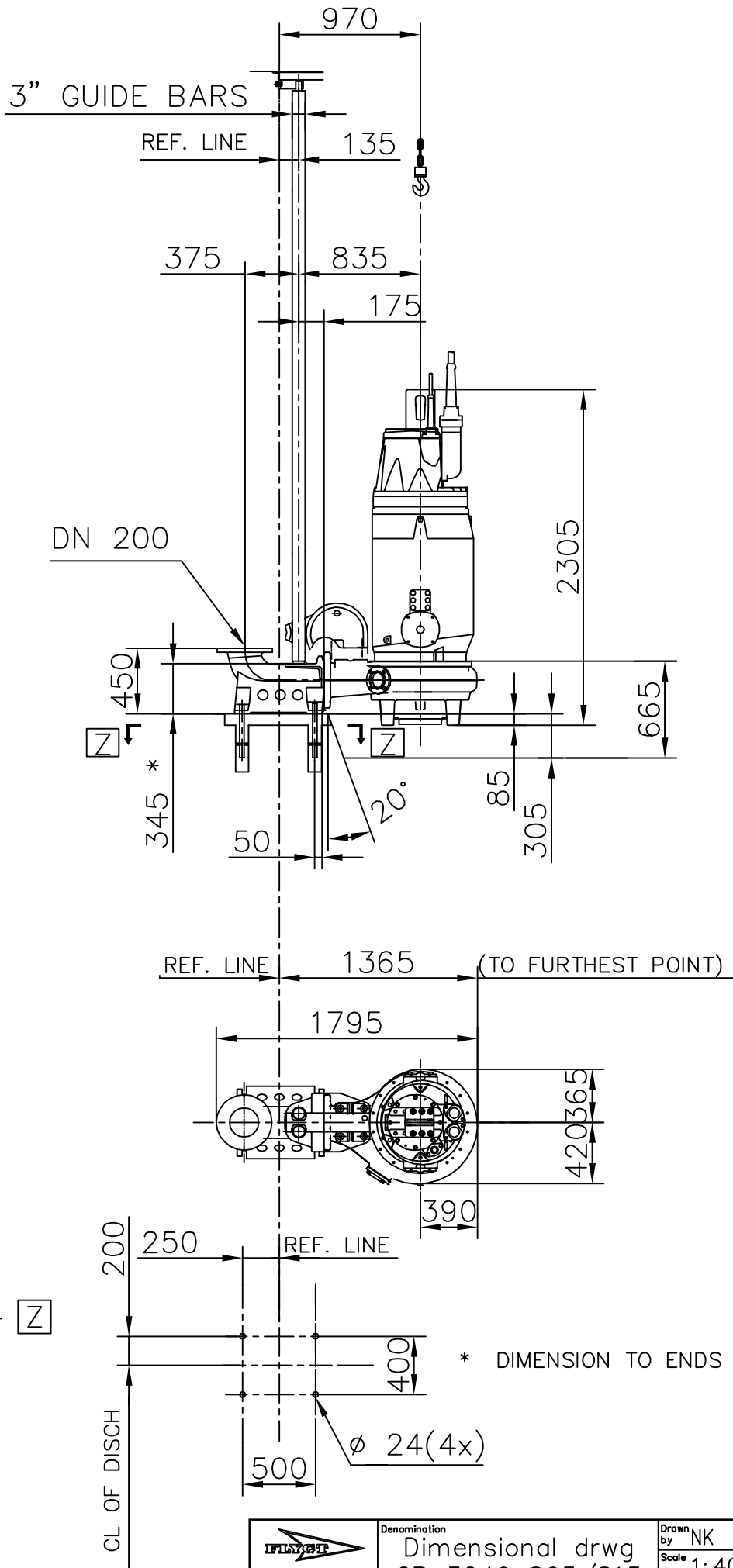
IX. REFERENCIAS

- LARRODÉ, Emilio y MIRAVETE, Antonio. 1996. Grúas. 1ra Edición, Servicio de Publicaciones del Centro Politécnico Superior Universidad de Zaragoza. España.
- Shigley J. E., Mischke C. R. 1989. Diseño en Ingeniería Mecánica, 5ta Edición, McGrawHill
- SISS Superintendencia de Servicios Sanitarios
<<https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-17174.html>>
<https://www.siss.gob.cl/586/articles-17209_recurso_3.pdf>
- Ley N° 18.902. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 27 de enero de 1990.
- MARIBEL Tejerizo. Elaboración de fórmulas analíticas y tablas de cálculo para las estructuras metálicas de acero según la normativa Eurocódigo 3. Memoria (Ing. Industrial). Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona. Barcelona, 2015. 201 p.
- INSHT Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España). Grúas Tipo Puente (I): Generalidades. NTP 736.
- ACHS Asociación Chilena de Seguridad (Chile), Manual de Equipos de Levante
- AISC American Institute of Steel Construction (EEUU). Specification for Structural Steel Buildings. ANSI/AISC 360-10, Chicago, 2010. 676 P.
- AISC American Institute of Steel Construction (EEUU). Industrial Buildings Roofs to Anchor Rods. AISC Design Guide 7-2004, Wisconsin, 2004. 103 p.
- ASME American Society of Mechanical Engineers (EEUU). Grúas Pórtico y Elevadas (Grúa móvil tipo puente, mono viga o de múltiples vigas, Polipasto móvil con carro. B30.2 -05, New York, 2005. 75 p.
- INN Instituto Nacional de Normalización (Chile). Diseño Estructural - Cargas muertas y cargas vivas. NCh1537: Of2009, Santiago, 2009. 38 p.
- AWS American Welding Society (EEUU). Specification for Welding of Industrial and Mill Cranes and Other Material Handling Equipment. AWS-D14.1/D14.1M:2005, Florida, 2005. 152 p.

X. ANEXOS

ANEXO 1

BOMBA ELEVADORA DE AGUAS SERVIDAS – PLANO DIMENSIONES



VIEW Z - Z

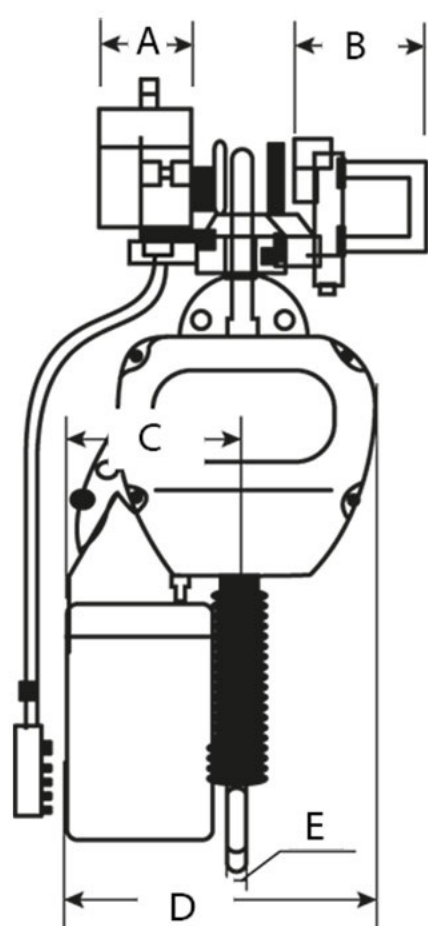
* DIMENSION TO ENDS OF GUIDE BARS

Weight (kg)	
Pump	Disch
2800	140

	Denomination	Drawn by	Checked by	Date
	Dimensional drwg	NK		090402
	CP 3240 805/815	Scale	1:40	Reg no
DN 200	6928000		5399	5

ANEXO 2

EQUIPOS PARA EL IZAJE – ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



Disipadores de temperatura de alta eficiencia para servicio continuo de hasta 40%. Su grado de Protección IP55 asegura su operación y durabilidad en ambientes hostiles.

The cooling fin is specially designed to ensure quick heat dissipation with the rate up to 40% of continuous service. The integral enclosed structure with IP55 protection grade makes it applicable for hostile environments.

Freno de seguridad electromagnético que bloquea de forma instantánea la carga ante un corte de energía.

Electromagnetic brake system design allows instant brake as soon as the electric power is cut off.

Limitadores de recorrido superior e inferior, aportan seguridad y alargan la vida del equipo y sus componentes

Upper and Lower Limit switches ensure the equipment life expectancy and avoid accidents.

Cadena de Acero G100 para uso bajo lluvia, agua salada, químicos, etc.

G100 chain can be safely used in hostile environments such as rain, sea water and chemicals.

Ganchos de Seguridad Forjados, giro en 360°

Forged Safety Hook with 360° rotation.

Su estructura combina componentes de hierro forjado y aluminio obteniendo un equipo liviano y de alta resistencia.

The loading support frame consists of two steel plates and its shell is made of light aluminum, achieving a lightweight and resistant structure.

Protección eléctrica de inversión de fases que inhabilita el equipo en caso de ser conectado a la alimentación eléctrica en forma equivocada.

Inverse phase sequence protecting device which controls the circuit and disables operation in case the power supply is wrongly connected.

Contactor electromagnético para operación segura en equipos sometidos a un uso intensivo. Controlador de bajo voltaje para evitar riesgos de shock eléctrico.

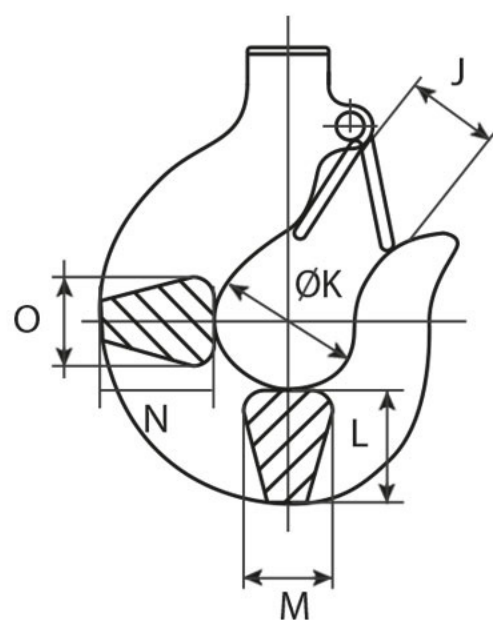
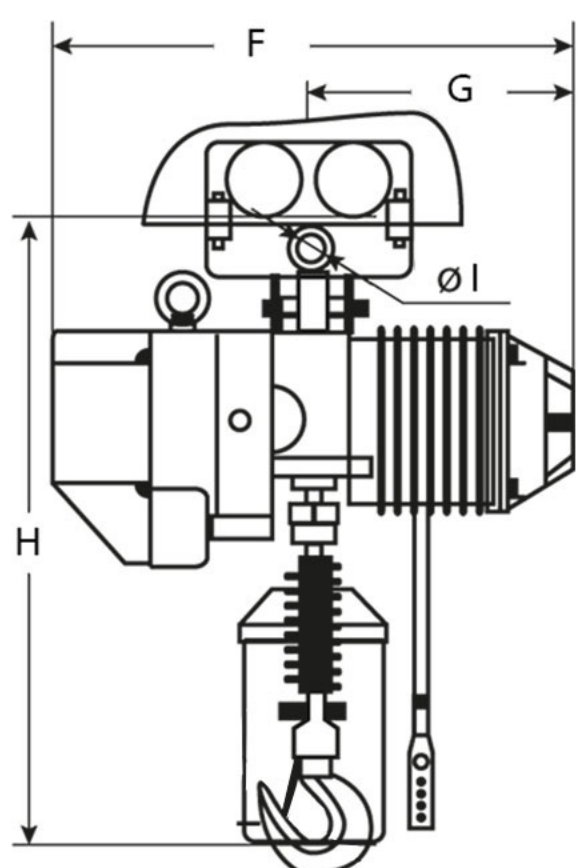
Electromagnetic contactor can be used safely under high frequency. Low voltage controller to avoid unexpected accidents caused by electric leakage.

Engranajes de alta precisión Grado 8

High Precision Gears Level 8

Botonera de bajo voltaje (24V / 36V / 48V) con parada de emergencia y botones de seguridad tipo "Hombre Muerto". Grado de Protección IP66.

Low voltage Pendant Control (24V / 36V / 48V) with IP66 protection grade. Includes emergency stop and safety buttons.



Model / Modelo		PWRC1	PWRC2	PWRC3	PWRC5	PWRC7
Dimensiones / Dimensiones	A (Hoist / Tecele)	142	142	142	142	142
	B (Hoist / Tecele)	231	231	231	231	231
	C (Hoist / Tecele)	176	265	265	325	325
	D (Hoist / Tecele)	300	430	430	430	430
	E (Hoist / Tecele)	22	24	24	43	43
	F (Hoist / Tecele)	520	615	615	615	615
	G (Hoist / Tecele)	260	295	295	295	295
	H (Hoist / Tecele)	650	770	830	1015	1015
	I (Hoist / Tecele)	Ø 40	Ø 47	Ø 58	Ø 54	Ø 54
	J (Hoist / Tecele)	32	40	48	48	48
	K (Hoist / Tecele)	Ø 42	Ø 49	Ø 59	Ø 60	Ø 60
	L (Hook / Gancho)	30	39	49	57	57
	M (Hook / Gancho)	24	30	34	44	44
	N (Hook / Gancho)	34	46	56	67	67
	O (Hook / Gancho)	24	29	35	43	43

Referential images / Imágenes Referenciales

PWRCi Tecles Cadena con Carro - Eléctricos



1 - 3 Tons

ELECTRIC TROLLEY /
CARRO ELÉCTRICO




5 Tons



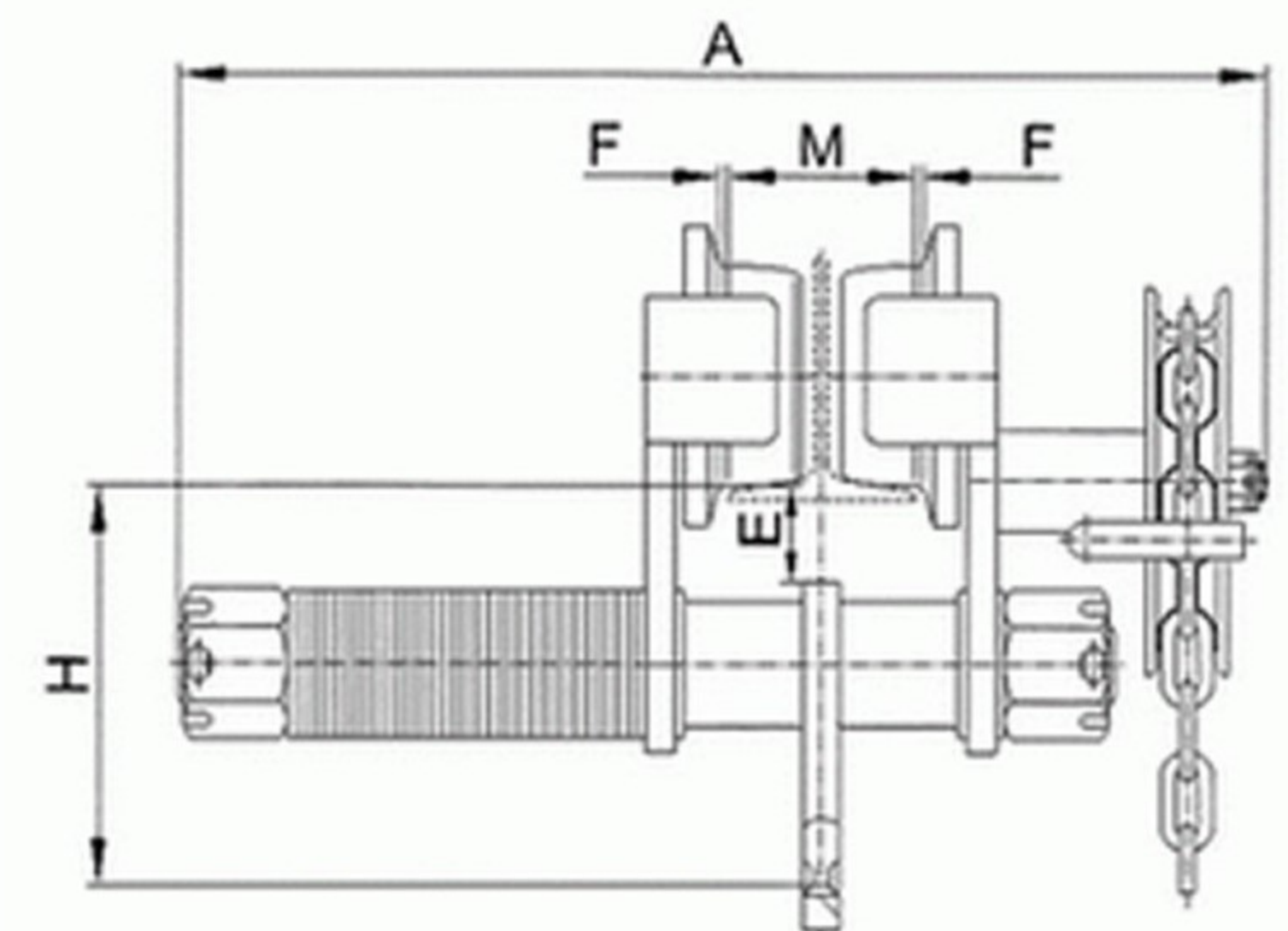
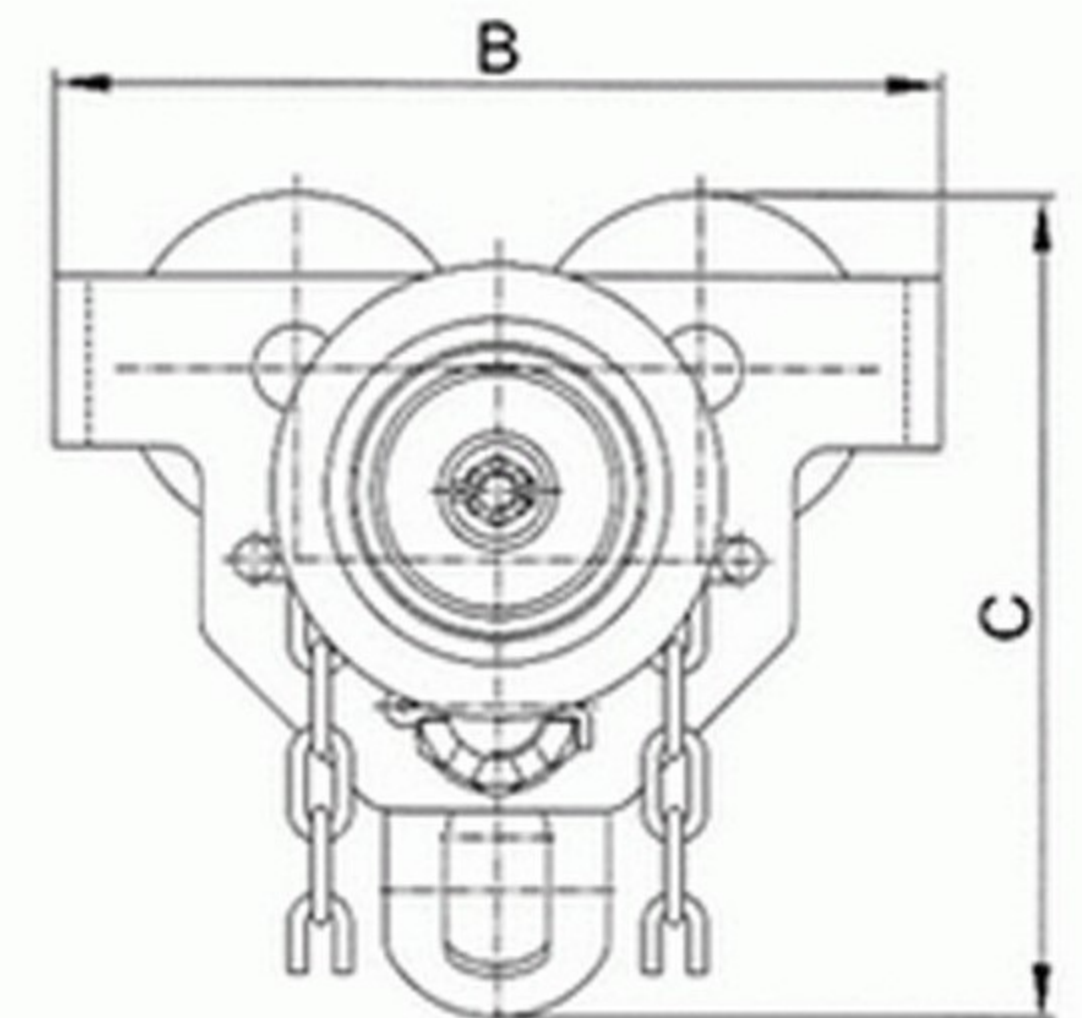
7,5 Tons

Model / Modelo		PWRC1	PWRC2	PWRC3	PWRC5	PWRC7	
Hoist / Polipasto	Capacity	lb	2.204	4.408	6.612	11.020	16.530
	Capacidad	kg	1.000	2.000	3.000	5.000	7.500
	Lifting Speed	ft/min	21,6		17,7	8,8	5,9
	Velocidad de Izaje	m/min	6,6		5,4	2,7	1,8
	Lifting Height (Customizable)	ft	20		29,5		
	Altura de Izaje (Modificable)	m	6		9		
	Motor Power	Hp	2,0	4,0			
	Potencia Motor	kW	1,5	3,0			
	Voltage	V	3Φ / 220~690 V / 50~60 Hz (Standard 380 V)				
	Voltaje						
	Rated Current	A	3,2 - 2,4 A	6,0 - 4,5 A	6,25 - 4,7 A	6,5 - 4,8 A	13 - 9,8 A
	Corriente Nominal						
	Motor Speed	rpm	1.440				
	Velocidad Motor						
Insulation Grade	Grade	F					
Grado de Aislación							
Trolley / Carro	Trolley Speed	ft/min	68,8		36,0		
	Velocidad Carro	m/min	21		11,0		
	Trolley Motor Power	Hp	0,5	1,00		1,07	
	Potencia Motor Carro	kW	0,4	0,75		0,8	
	Rated Current	A	0,6 - 1,8 A		0,75 - 2,25 A		
	Corriente Nominal						
	Beam Range With	in	2,25 ~ 5,94	3,22 ~ 6,91	3,9 ~ 6,91		
	Rango Ancho de Viga	mm	58 ~ 153	82 ~ 178	100 ~ 178		
Min. Trurn Radius	ft	2,62	2,95	3,28	4,92	5,90	
Radio Mínimo de Giro	m	0,8	0,9	1,0	1,5	1,8	
Chain / Cadena	Chain Type	Grade	G100				
	Tipo de Cadena						
	Chain Dimensions	mm	∅ 7,1 x 21	∅ 10 x 30	∅ 11,2 x 34		
	Dimensiones de Cadena						
	Chain Falls	u	1		2	3	
	Caidas de Cadena						
Chain lenght (Customizable)	ft	20		59	88		
Largo Cadena (Modificable)	m	6		18	27		
General	Operation Temperature	F°	-4° ~ 104° F				
	Temp. Operación	C°	-20° ~ 40° C				
	Operating humidity	%	≤ 85%				
	Humedad de Operación						
	Noise Level	dB	81,0				
	Nivel Sonoro						
	Control Voltage	V	24 V / 36 V / 48 V				
	Voltaje de Control						
	Weight (*)	lb	227	355	368	485	639
	Peso (*)	kg	103	161	167	220	290
Duty Class	FEM/ISO	1Am / M4					
Clase de Servicio							
Standards		ASME B30.16 / ASMEB30.17 / ANSI Z535.4 2007					
Normas							
(*) Weights based on a range of 3m chain / Pesos en base a un alcance de cadena de 3m							
Warranty / Garantía	Warranty:						
	3 Year / Certification Valid for 1 year 10 Year Parts and Service Availability						
Garantía:							
3 Años / Vigencia de Certificación 1 año 10 Años de disponibilidad de Repuestos y Servicio							

> SERVICE / SERVICIO	> LOAD / CARGA	> TIME / TIEMPO	> MAINTENANCE (Months) / MANTENIMIENTO (Meses)
NORMAL	< 65 %	< 25 %	6 ~ 12
HEAVY / PESADO	> 65 %	> 25 %	3 ~ 6
SEVERE / SEVERO	 Abnormal Conditions Condiciones Anormales Environmental, Geographical and/or Risky Ambientales, Geográficas y/o Riesgosas	< Duty Cycle limit < Límite Ciclo de trabajo	1 ~ 3

Referential images / Imágenes Referenciales

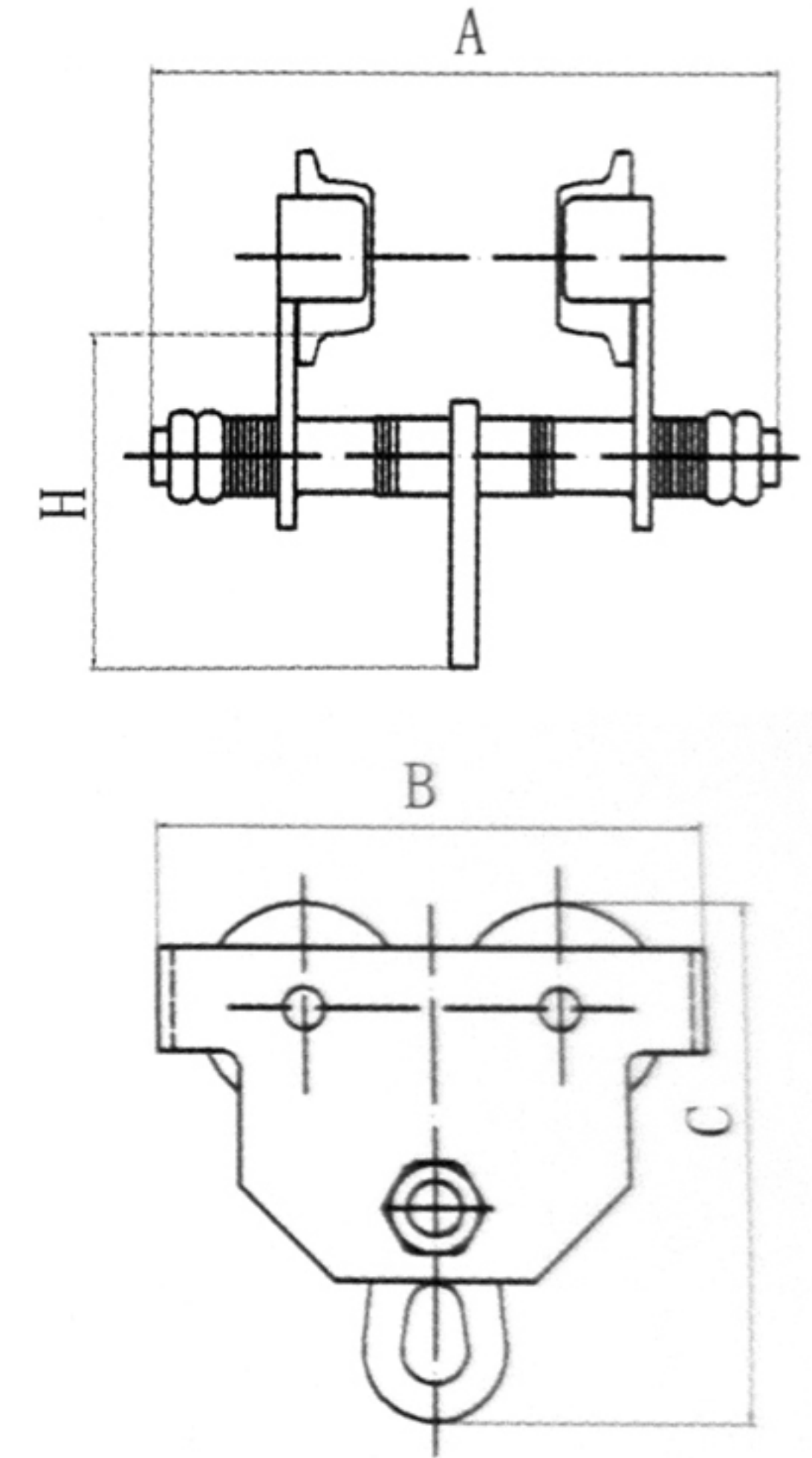
Geared Trolley / Carro Cadena



Code / Código		PWQMC05T	PWQMC1T	PWQMC3T	PWQMC5T	PWQMC10T	PWQM20T	
Capacity	lb	1102	2205	6614	11023	22046	44092	
Capacidad	Kg	500	1000	3000	5000	10000	20000	
Test Load	lb	1378	2756	8818	13889	27558	55116	
Prueba de Carga	Kg	625	1250	4000	6300	12500	25000	
Minimum Radius of Turn	ft	2,6	3	3,6	4,3	5,6	16,4	
Radio mínimo de Giro	m	0,8	0,9	1,1	1,3	1,7	5	
Chain Range	ft	29,5						
Alcance de Cadena	m	9						
Force required to Lift full load	N	60	85	150	170	320	2*320	
Fuerza requerida para Izaje a máxima carga								
Net Weight	lb	18,1	23,1	52,9	81,6	205	425,5	
Peso Neto	Kg	8,2	10,5	24	37	93	193	
I-Beam Range	in	2,5~5,1		2,9~5,7	3,9~7,1	4,8~7,8		
Rango de Viga-I	mm	64~130		74~146	100~180	122~203		
Dimensions Dimensiones	A	in	9,8	10,2	13	14,6	15,7	16,9
		mm	250	260	330	370	400	430
	B	in	7,7	8,3	11,8	13,7	18,1	22,8
		mm	195	210	300	334,5	460	580
	C	in	7,1	7,9	9	13,7	19,3	19,7
		mm	180	200	228,5	334,5	490	500
	H	in	3,5	3,7	5,5	6,7	10,8	11
		mm	90	95	140	170	275	280

Referential Images / Imágenes Referenciales

Manual Trolley / Carro Manual



Code / Código		PWQM0,5T	PWQM1T	PWQM2T	PWQM3T	PWQM5T	PWQM10T	
Capacity	lb	1.102	2.204	4.409	6.614	11.023	22.046	
Capacidad	Kg	500	1.000	2.000	3.000	5.000	10.000	
Test Load	lb	1.653	3.307	5.511	7.716	12.125	23.148	
Prueba de Carga	Kg	750	1.500	2.500	3.500	5.500	10.500	
Minimum Radius of Turn	ft	2,6	3,3	3,3	3,9	5,2	5,5	
Radio mínimo de Giro	m	0,8	1	1	1,2	1,6	1,7	
Net Weight	lb	12,1	18,3	29	48,5	72,8	183	
Peso Neto	Kg	5,5	8,3	13	22	33	83	
I-Beam Range	in	2,5~5,5	2,5~5,9	2,7~5,1	2,9~7,9	3,4~7,9	4,8~7,9	
Rango de Viga-I	mm	64~140	64~152	68~130	76~203	88~203	122~203	
Dimensions Dimensiones	A	in	8,2	9,5	9,8	11,8	12,4	13,5
		mm	208	242	250	300	316	343
	B	in	7,7	9,3	11	12,6	14,4	15,3
		mm	196	236	280	320	366	389
	C	in	7,4	8,3	9,4	11,6	13	18
		mm	190	211	240	295	334	460
	H	in	4,2	4,5	4,9	6,4	6,9	9,3
		mm	108	115	125	164	177	237

Referential Images / Imágenes Referenciales
Specifications may change without notice / las especificaciones pueden cambiar sin previo aviso

ANEXO 3

EQUIPOS PARA EL IZAJE Y MATERIALES – COTIZACIONES



Equipos de Izaje Prowinch Chile SpA
Parque Riesco 3407, Recoleta, Santiago-Chile
+56 2 2621 8989
78.624.290-8
www.prowinch.cl



COTIZACION N° **123.458**

Fecha:

Página 1 de 2

Señores:

Contacto: Javier Jara Sandoval
RUT:
Dirección:
Ciudad: Valparaíso
País: Chile

E-mail:
Código Postal:
Comuna:
Región:
Teléfono:

Código	Cant.	Descripción	Precio Unitario	Total	
PWRC5	1	Tecle Cadena con Carro 5 Tons Eléctrico 3 Fases 9 Metros 1 Speed Heavy Duty. Tecle eléctrico con carro. Capacidad 5 Toneladas. Voltaje standard 380V, consulte por voltajes especiales disponibles. Una velocidad de izaje y traslación. Cadena G100, alcance 9 Metros (Modificable según requerimiento). Incluye limitadores de recorrido. Control 24V.	\$ 2.980.353	\$ 2.980.353	
PWCAD112X34G80	30	Cadena de acero G80 11.2 x 34 mm. Valor por metro. 30mts de cadena G80 de 11,2mm para 15mts de izaje con PWRC5.	\$ 22.000	\$ 660.000	
SERVICE	2	Servicio Mano de Obra.	\$ 27.525	\$ 55.050	
Tiempo de Entrega: 5 días					
PWRC3	1	Tecle Cadena con Carro Eléctrico 3 Tons 3 Fases 9 Metros 1 Speed Heavy Duty. Tecle eléctrico con carro. Capacidad 3 Toneladas. Voltaje standard 380V, consulte por voltajes especiales disponibles. Una velocidad de izaje y traslación. Cadena G100, alcance 9 Metros (Modificable según requerimiento). Incluye limitadores de recorrido. Control 24V. Normas ASME B30.16 / B30.17	\$ 2.036.941	\$ 2.036.941	
PWQMC3T	1	Carro cadena 3 Toneladas. Carro a cadena para tecle 3 Toneladas altura maxima 9 Mts. Peso unidad 30 Kilos. Para Viga IPN o GB700 8mm Tolerancia 116mm a	\$ 176.353	\$ 176.353	
Tiempo de Entrega: Inmediata					
PWQM5T	1	Carro Manual 5 Toneladas. Carro empuje manual para tecle 5 Toneladas, Peso unidad 33 kilos. Para Viga IPN o GB700 10mm Tolerancia 88mm a 203mm	\$ 190.706	\$ 190.706	
Tiempo de Entrega: 24 Horas					
Detalle de los Equipos en Fichas Técnicas Adjuntas					
<table border="1"> <tr> <td> <p>Infórmese sobre nuestras Capacitaciones en Operación y Mantenimiento de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Winches en base a Normas ASME B30.7 - Tecles y Polipastos en base a Normas ASME B30.16 y B30.17 - Sistemas de Izaje de Personal en base a Normas ASME B30.23 </td> </tr> </table>					<p>Infórmese sobre nuestras Capacitaciones en Operación y Mantenimiento de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Winches en base a Normas ASME B30.7 - Tecles y Polipastos en base a Normas ASME B30.16 y B30.17 - Sistemas de Izaje de Personal en base a Normas ASME B30.23
<p>Infórmese sobre nuestras Capacitaciones en Operación y Mantenimiento de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Winches en base a Normas ASME B30.7 - Tecles y Polipastos en base a Normas ASME B30.16 y B30.17 - Sistemas de Izaje de Personal en base a Normas ASME B30.23 					

Forma de Pago:
Disponibilidad actual:
Validez Cotización:

Sin Definir
Según stock actual
15 días

Cotizado por:
Fono:
e-mail:

Adriana Vanegas
+ 562 2621 8989
admin@prowinch.cl



Total Neto	\$ 5.505.353
IVA	\$ 1.046.017
Total	\$ 6.551.370

Valores en Pesos Chilenos

FAVOR REVISAR LAS CONDICIONES COMERCIALES Y GARANTÍAS QUE FORMAN PARTE INTEGRAL DE ESTA OFERTA ADJUNTAS A LOS EQUIPOS MISMOS Y CUYO EXTRACTO PARCIAL SE ADJUNTA A CONTINUACIÓN

FECHA : 31 de Julio de 2019

Casa Matriz y Of. Generales
Av. Alonso de Cordova 5900, Of. 1501
Las Condes

SUC.CERRILLOS : Pedro Aguirre Cerda 5555
Fonos: +56 2 255 00 105 - +56 2 255 00 129

SUC. PUERTO MONTT : Bima 23
Fono: +56 2 255 00 163

PLANTA INDUSTRIAL : El Retiro 1236 - Enea - Pudahuel
Fonos: +56 2 255 00 179 - +56 2 255 00 180

BODEGA : Carnot 766 - San Miguel
Fonos: +56 2 255 00 122 - +56 2 255 00 135

SUC.SAN MIGUEL : Santa Rosa 2867
Fono: +56 2 255 00 100

SUC.LA REINA : Jorge Alessandri 704
Fonos: +56 2 255 00 113 - +56 2 255 00 106

SUC.CONCHALI : Av. Pdte. Eduardo Frei Montalva 3435
Fonos: +56 2 255 00 107 - +56 2 255 00 134

SUC.QTA.NORMAL : Augusto Matte 1841
Fonos: +56 2 255 00 120 - +56 2 255 00 159

CLIENTE :	RUT :
Forma de Pago : Contado	TELEFONO :

Cantidad	U.M.	Código	Descripción	Unid.	Dcto.	Precio	Total Neto
255,6	KG	VIGL02230	VIGA HEB 160			715	182.754
502,8	KG	VIGL03890	VIGA IPN 260			715	359.502
506,4	KG	VIGL04200	VIGA IPE 300			715	362.076
573	KG	PLGN45310	PL.LC. 12mm 1x6,0 mts	1		499	285.927

Total Kilos : 1.837,8

PRODUCTOS SUJETOS A STOCK

NETO 1.190.259

IVA 226.149

TOTAL 1.416.408

Nota: NO SE ACEPTAN CHEQUES DE TERCEROS

ESTA COTIZACION TIENE UNA VALIDEZ DE 3 DIA(S)
EN CASO DE MODIFICACIONES, SE DEBE CONFECCIONAR UNA NUEVA COTIZACION

Observación : 1 HEB 160 X 6 mts, // 2 IPE 300, X 6 mts.// 2 IPN 260 X 6 mt

NO INCLUYE DESCARGA DE MATERIAL
En espera que la presente oferta sea de su interés y conveniencia, les saluda atentamente.

GLADYS SILVA
Departamento Ventas

ANEXO 4

TABLA DE PARÁMETROS DE DISEÑO POR FATIGA

TABLA A-3.1
Parámetros de Diseño por Fatiga

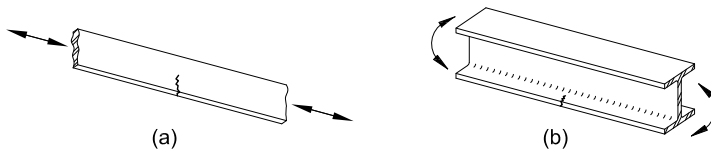
Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_1	Umbral FTH, kgf/cm ² (MPa)	Punto Probable de Inicio de Fractura
SECCIÓN 1- MATERIAL PURO ALEJADO DE CUALQUIER SOLDADURA				
1.1 Metal Base, excepto acero de alta resistencia no cubierto, con superficie laminada o limpia. Bordes cortados térmicamente con dureza superficial de 1000 μ in. (25 μ m) o menor, pero sin esquinas entrantes.	A	25	1686 (165)	Alejado de toda soldadura o conexión estructural.
1.2 Metal base de acero de alta resistencia no recubierto con superficie laminada o limpia. Bordes cortados térmicamente con dureza superficial de 1000 μ in. (25 μ m) o menor, pero sin esquinas entrantes.	B	12	1125 (110)	Alejado de toda soldadura o conexión estructural.
1.3. Miembros con esquinas entrantes en rebajes, cortes, obstrucciones o discontinuidades geométricas hechas, excepto perforaciones de acceso para soldaduras. $R \geq 2,5$ cm (25 mm), con radio R , formado por pre taladrado o pre perforado y escariado de un agujero, o por corte a llama y esmerilado para obtener una superficie metálica brillante. $R \geq 1,0$ cm (10 mm) y el radio R , no necesita ser esmerilado para obtener una superficie metálica brillante.	C E'	4,4 0,39	700 (69) 180 (18)	En cualquier borde externo o en el perímetro de la perforación
1.4. Secciones transversales laminadas con agujeros de acceso para soldadura hechos de acuerdo con los requerimientos de la Sección J1.6 Perforación de acceso $R \geq 2,5$ cm (25 mm), con radio R , formado por pre taladrado o pre perforado y escariado de un agujero, o por corte a llama y esmerilado para obtener una superficie metálica brillante. Perforación de acceso $R \geq 1,0$ cm (10 mm) y el radio R , no necesita ser esmerilado para obtener una superficie metálica brillante.	C E'	4,4 0,39	700 (69) 180 (18)	En la esquina entrante de la perforación de acceso para soldadura
1.5. Miembros con agujeros taladrados o escariados Perforaciones conteniendo pernos pretensados Perforaciones abiertas sin pernos	C D	4,4 2,2	700 (69) 490 (48)	En área neta originándose en el lado de la perforación

TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

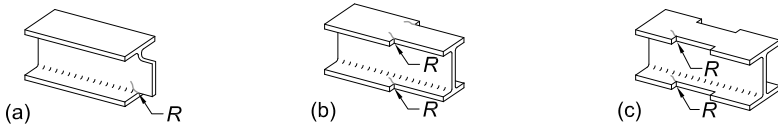
Ejemplos Típicos Ilustrativos

SECCIÓN 1- MATERIAL PURO ALEJADO DE CUALQUIER SOLDADURA

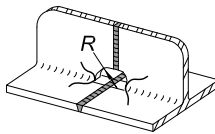
1.1 y 1.2



1.3



1.4



1.5

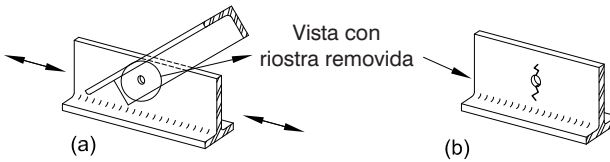


TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

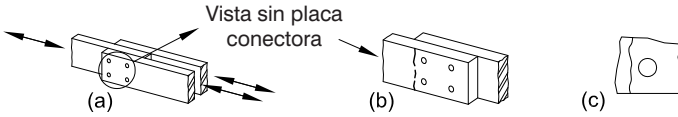
Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_f	Umbral FTH, kgf/cm ² (MPa)	Punto Probable de Inicio de Fractura
SECCIÓN 2. MATERIAL CONECTADO EN UNIONES SOLICITADAS MECÁNICAMENTE				
2.1. Área bruta del metal base en juntas de traslape conectadas con pernos de alta resistencia en uniones que satisfacen todos los requerimientos para conexiones de deslizamiento crítico.	B	12	1125 (110)	A través de la sección neta cerca de la perforación
2.2. Metal base en el área neta de uniones apernadas alta resistencia diseñadas en base a resistencia al aplastamiento, pero fabricadas e instaladas conforme a los requerimientos para conexiones de desplazamiento crítico.	B	12	1125 (110)	En área neta originándose en el lado de la perforación
2.3. Metal base en la sección neta de juntas remachadas	C	4,4	700 (69)	En área neta originándose en el lado de la perforación
2.4 Metal base en el área neta de cabezas de barras o placas de pasador	E	1,1	315 (31)	En área neta originándose en el lado de la perforación

TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

Ejemplos Típicos Ilustrativos

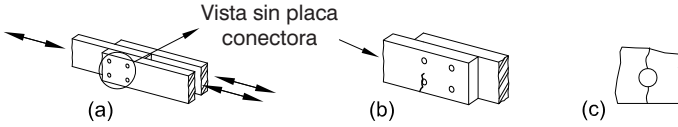
SECCIÓN 2 - MATERIAL PURO ALEJADO DE CUALQUIER SOLDADURA

2.1



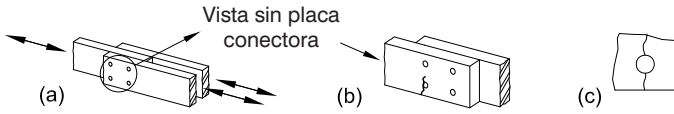
Nota: las figuras son para conexiones apernadas de deslizamiento crítico.

2.2



Nota: las figuras son para conexiones apernadas diseñadas para aplastamiento, reuniendo los requisitos para conexiones de deslizamiento crítico.

2.3



Nota: las figuras son para pernos de apriete ajustado, remaches u otros conectores mecánicos.

2.4

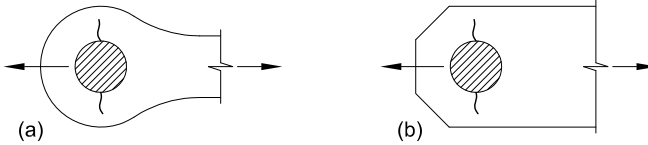


TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

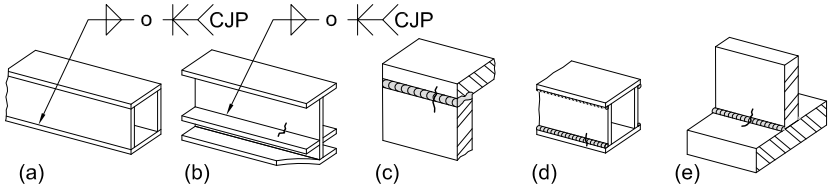
Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_r	Umbral F_{Th} , kgf/cm ² (MPa)	Punto Probable de Inicio de Fractura
SECCIÓN 3 - MATERIAL PURO ALEJADO DE CUALQUIER SOLDADURA				
3.1 Metal base y metal de soldadura en miembros sin piezas unidas de placas o perfiles conectados por soldaduras longitudinales de penetración completa, rebajadas y soldadas nuevamente desde el segundo lado, o por soldaduras de filete continuas	B	12	1125 (110)	Desde la superficie o discontinuidades internas en la soldadura
3.2 Metal base y metal de soldadura en miembros sin piezas unidas de placas o perfiles conectados por soldaduras longitudinales de penetración completa sin remoción de las barras de soporte, o por soldadura de filete de penetración parcial	B'	6,1	845 (82)	Desde la superficie o discontinuidades internas en la soldadura
3.3 Metal base en los extremos de soldaduras longitudinales que terminan en perforaciones de acceso en miembros armados conectados, así como en el pie de soldaduras de filete que envuelven los extremos de las perforaciones de acceso a las soldaduras. Perforación de acceso con radio $R \geq 2,5$ cm (25 mm), formado por pre taladrado o pre perforado y escariado de un agujero, o por corte a llama y esmerilado para obtener una superficie metálica brillante Perforación de acceso con radio $R \geq 1,0$ cm (10mm), no necesita ser esmerilado para obtener una superficie metálica brillante	D	2,2	490 (48)	Desde la terminación de la soldadura hacia dentro del alma o ala
	E'	0,39	180 (18)	
3.4. Metal base en extremos de segmentos longitudinales intermitentes de soldadura de filete	E	1,1	315 (31)	En el material conectado en las ubicaciones al inicio y fin de cualquier depósito de soldadura
3.5 Metal base en extremos de placas de cubierta, con soldadura de longitud parcial, más estrechas que el ala, esta última con extremos cuadrados o recortados, con o sin soldaduras cruzando los extremos $t_f \leq 2,0$ cm (20 mm) $t_f > 2,0$ cm (20 mm) donde t_f = espesor del ala del miembro, cm (mm)	E	1,1	315 (31)	En el ala al pie de la soldadura de extremo o en el ala al término de soldadura longitudinal
	E'	0,39	180 (18)	

TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

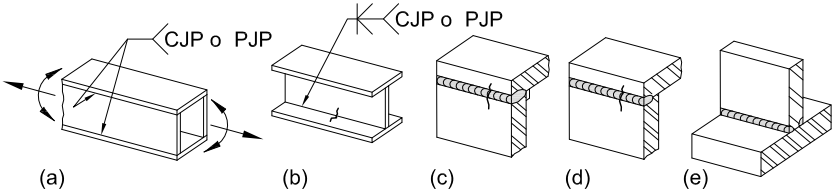
Ejemplos Típicos Ilustrativos

SECCIÓN 3 - UNIONES SOLDADAS QUE UNEN COMPONENTES DE PERFILES FABRICADOS (cont.)

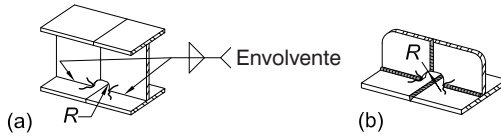
3.1



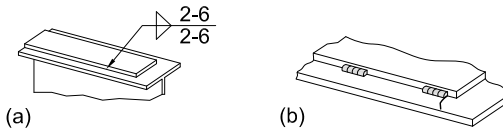
3.2



3.3



3.4



3.5

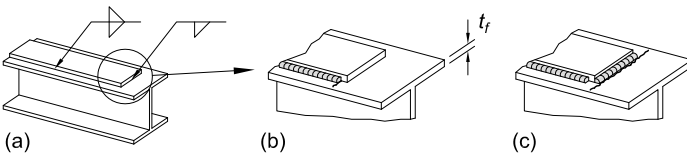


TABLA A-3.1
Parámetros de Diseño por Fatiga

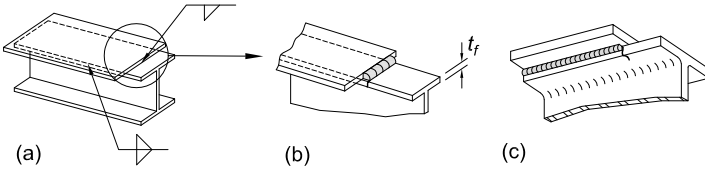
Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_1	Umbral F_{TH} , kgf/cm ² (MPa)	Punto Probable de Inicio de Fractura
SECCIÓN 3- UNIONES SOLDADAS QUE UNEN COMPONENTES DE PERFILES FABRICADOS				
3.6 Metal base en extremos de placas de cubierta parcial soldada de longitud parcial o en acoplados más anchos que el ala con soldaduras cruzando los extremos.				En alas al pie del extremo de la soldadura o en alas en el extremo de soldaduras longitudinales o en el borde del ala
$t_f \leq 2,0$ cm (20 mm)	E	1,1	315 (31)	
$t_f > 2,0$ cm (20 mm)	E'	0,39	180 (18)	
3.7 Metal base en extremos de placas de cubierta con soldadura de longitud parcial, más anchas que el ala sin soldaduras cruzando los extremos.				En el borde del ala en el extremo de la soldadura de placa de cubierta
$t_f \leq 2,0$ cm (20 mm)	E'	0,39	180 (18)	
$t_f > 2,0$ cm (20 mm)	Ninguna	--	--	
SECCIÓN 4. CONEXIONES DE EXTREMO CON SOLDADURA LONGITUDINAL DE FILETE				
4.1 Metal base en empalme de miembros cargados axialmente con conexiones de extremo soldadas longitudinalmente; con soldaduras en cada lado del eje del miembro para balancear las tensiones en la soldadura.				Iniciándose desde el extremo de cualquier terminación de soldadura extendiéndose hacia el metal base
$t_f \leq 1,3$ cm (13 mm)	E	1,1	315 (31)	
$t_f > 1,3$ cm (13 mm)	E'	0,39	180 (18)	
donde t_f = espesor de los miembros conectados, según figura Caso 4.1, cm (mm)				

TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

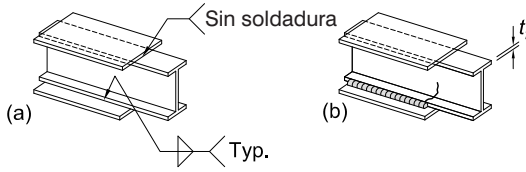
Ejemplos Típicos Ilustrativos

SECCIÓN 3 - UNIONES SOLDADAS QUE UNEN COMPONENTES DE PERFILES FABRICADOS (cont.)

3.6



3.7



SECCIÓN 4 - CONEXIONES DE EXTREMO CON SOLDADURA LONGITUDINAL DE FILETE

4.1

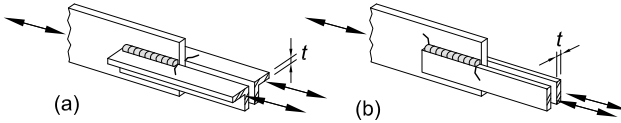


TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

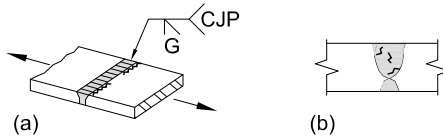
Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_1	Umbral F_{Th} , kgf/cm ² (MPa)	Punto Probable de Inicio de Fractura
SECCIÓN 5 - UNIONES SOLDADAS TRANSVERSALES A LA DIRECCIÓN DE TENSIONES				
5.1 Metal de soldadura y metal base en o adyacente a empalmes con soldadura de penetración completa en placas, perfiles laminados o secciones transversales armadas sin cambios en su sección transversal con soldaduras esmeriladas esencialmente paralelas a la dirección de las tensiones, e inspeccionadas de acuerdo con la Sección 3.6	B	12	1125 (110)	Desde discontinuidades internas en metal de relleno o a lo largo del límite de fusión.
5.2 Metal de soldadura y metal base en o adyacente a empalmes con soldadura de penetración completa con soldaduras esmeriladas esencialmente paralelo a la dirección de la tensión en transiciones en espesor o ancho hechas en una razón no mayor a 1:2½, e inspeccionadas de acuerdo con la Sección 3.6. $F_y < 6330 \text{ kgf/cm}^2$ (620 MPa)	B	12	1125 (110)	Desde discontinuidades internas en el metal o a lo largo del límite de fusión o al inicio de la transición cuando $F_y \geq 6330 \text{ kgf/cm}^2$ (620 MPa)
$F_y \geq 6330 \text{ kgf/cm}^2$ (620 MPa)	B'	6,1	845 (82)	
5.3 Metal base y metal de soldadura en o adyacente a empalmes con soldadura de penetración completa con soldaduras esmeriladas esencialmente paralelo a la dirección de la tensión en transiciones en ancho hechas en un radio, R , no menor a 60 cm (600 mm) con el punto de tangencia en el extremo de la soldadura, e inspeccionada de acuerdo con la Sección 3.6.	B	12	1125 (110)	Desde discontinuidades internas en el metal de relleno o discontinuidades a lo largo del límite de fusión.
5.4 Metal de soldadura y metal base en o adyacente a uniones T o de esquina de penetración completa o empalmes, sin transiciones en espesor o con transiciones con una pendientes no mayores a 1:2½, cuando el refuerzo de soldadura no es removido, y es inspeccionado de acuerdo con la Sección 3.6.	C	4,4	700 (69)	Desde la soldadura extendiéndose hacia el metal base o a lo largo del límite de fusión.

TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

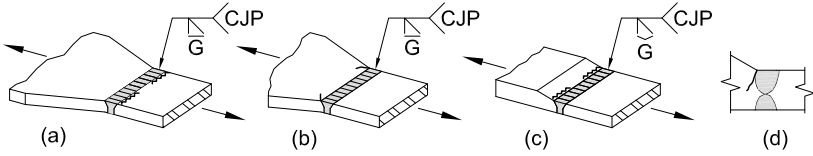
Ejemplos Típicos Ilustrativos

SECCIÓN 5 - UNIONES SOLDADAS TRANSVERSALES A LA DIRECCIÓN DE TENSIONES

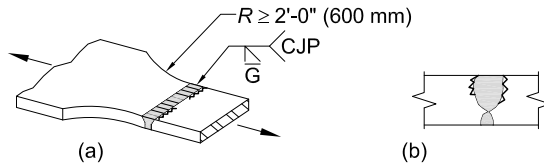
5.1



5.2



5.3



5.4

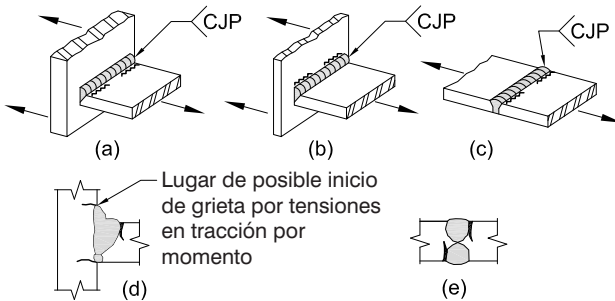


TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

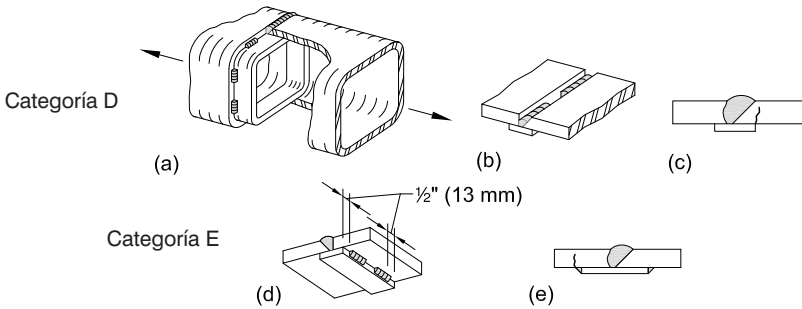
Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_i	Umbral F_{Tf} , kgf/cm ² (MPa)	Punto Probable de Inicio de Fractura
SECCIÓN 5 - UNIONES SOLDADAS TRANSVERSALES A LA DIRECCIÓN DE TENSIONES				
5.5. Metal base y metal de soldadura en o adyacente a empalmes con soldaduras de tope transversales de penetración completa con el respaldo mantenido sin remover.				Desde el pie de la soldadura de ranura o del pie de la soldadura al respaldo cuando corresponda
Soldaduras de punto dentro de ranuras	D	2,2	490 (48)	
Soldaduras de punto fuera de ranuras, con al menos 1,3 cm (13 mm) de distancia al borde del metal base	E	1,1	315 (31)	
5.6. Metal base y metal de soldadura en conexiones transversales de extremos de elementos tipo placa cargados en tracción usando uniones de tope de penetración parcial T o de esquina, con filetes de refuerzo o contorno, F_{sr} debe ser el menor entre el rango de tensión del agrietamiento de pie tope o el agrietamiento de raíz.				Iniciándose del pie de soldadura extendiéndose hacia el metal base
- Grieta iniciándose desde pie de soldadura.	C	4,4	700 (69)	Iniciándose en la raíz de soldadura extendiéndose a través de la soldadura.
- Grieta iniciándose desde raíz de soldadura.	C'	Ver Ec. A-3-3 o A-3-3M	Ninguno	
5.7. Metal base y metal de relleno en conexiones transversales de extremo de elementos tipo placa cargados en tracción usando un par de soldaduras de filete en lados opuestos de la placa. F_{sr} debe ser el menor entre el rango de tensión del agrietamiento de pie tope o del agrietamiento de raíz				Iniciándose desde al pie de soldadura extendiéndose hacia el metal base
- Grieta iniciándose desde pie de soldadura.	C	4,4	700 (69)	Iniciándose en la raíz de soldadura extendiéndose en y a través de la soldadura.
- Grieta iniciándose desde raíz de soldadura.	C'	Ver Ec. A-3-3 o A-3-3M	Ninguno	
5.8. Metal base de elementos tipo plancha cargados en tracción y en almas o alas de perfiles armados o vigas laminadas al pie de soldaduras transversales de filete adyacentes a atiesadores transversales soldados.	C	4,4	700 (69)	A partir de una discontinuidad geométrica al pie del filete, extendiéndose hacia el metal base.

TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

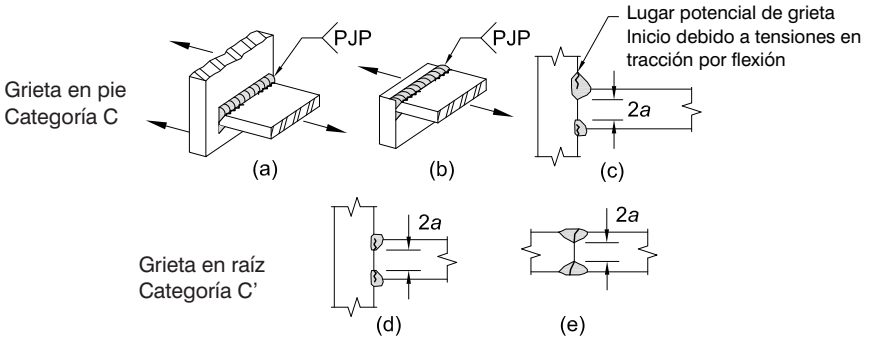
Ejemplos Típicos Ilustrativos

SECCIÓN 5 - UNIONES SOLDADAS TRANSVERSALES A LA DIRECCIÓN DE TENSIONES

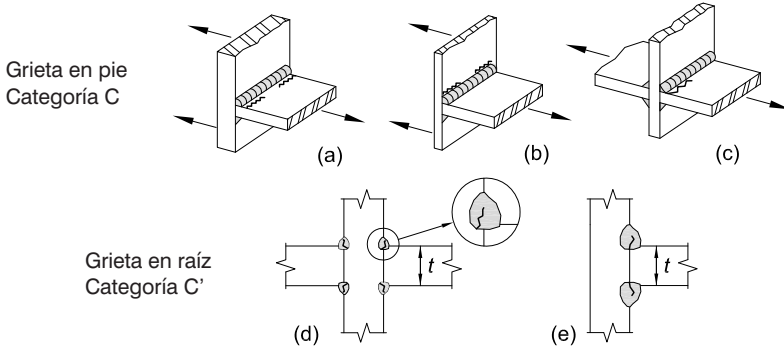
5.5



5.6



5.7



5.8

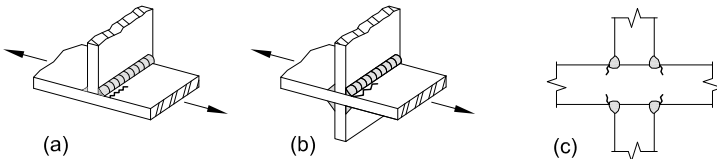


TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

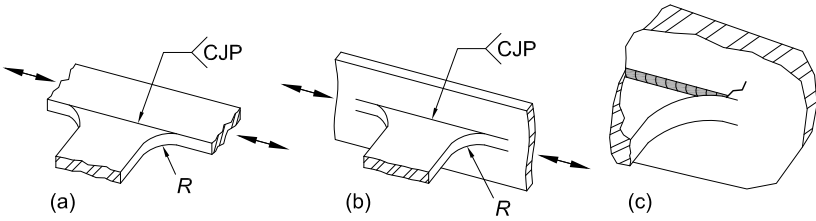
Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_i	Umbral F_{Th} , kgf/cm ² (MPa)	Punto Probable de Inicio de Fractura
SECCIÓN 6 – METAL BASE EN CONEXIONES SOLDADAS DE MIEMBROS TRANSVERSALES				
<p>6.1 Metal base de espesor igual o variable en detalles conectados por soldaduras de penetración completa sujetos solo a carga longitudinal cuando el detalle abarca un radio de transición, R, con la terminación de soldadura esmerilada suave e inspeccionada de acuerdo con la Sección 3.6.</p> <p>$R \geq 60$ cm (600mm)</p> <p>$15 \text{ cm} \leq R < 60$ cm (150 mm. $\leq R < 600$ mm)</p> <p>$5 \text{ cm} \leq R < 15$ cm (50mm. $\leq R < 150$ mm)</p> <p>$R \leq 5$ cm (50 mm)</p>	<p>B</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>E</p>	<p>12</p> <p>4,4</p> <p>2,2</p> <p>1,1</p>	<p>1125 (110) 7 00 (69)</p> <p>490 (48)</p> <p>315 (31)</p>	<p>Próximo al punto de tangencia del radio en el borde del miembro</p>
<p>6.2 Metal base en detalles de igual espesor conectados por soldaduras de penetración completa sujetos a carga transversal con o sin carga longitudinal cuando el detalle abarca un radio de transición, R, con la terminación de soldadura esmerilada suave e inspeccionada de acuerdo a la Sección 3.6:</p> <p>(a) Cuando el refuerzo para soldadura es removido:</p> <p>$R \geq 60$ cm (600 mm)</p> <p>$15 \text{ cm} \leq R < 60$ cm (150 mm. $\leq R < 600$ mm)</p> <p>$5 \text{ cm} \leq R < 15$ cm (50 mm. $\leq R < 150$ mm)</p> <p>$R \leq 5$ cm (50 mm)</p> <p>(b) Cuando el refuerzo para soldadura no es removido:</p> <p>$R \geq 15$ cm (150 mm)</p> <p>$5 \text{ cm} \leq R < 15$ cm (50 mm. $\leq R < 150$ mm)</p> <p>$R \leq 5$ cm (50 mm)</p>	<p>B</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>E</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>E</p>	<p>12</p> <p>4,4</p> <p>2,2</p> <p>1,1</p> <p>4,4</p> <p>2,2</p> <p>1,1</p>	<p>1125 (110) 700 (69)</p> <p>490 (48)</p> <p>315 (31)</p> <p>700 (69) 490 (48)</p> <p>315 (31)</p>	<p>Cerca de los puntos de tangencia del radio o en la soldadura o en el límite de fusión o miembro o pieza unida</p> <p>Al pie de soldadura ya sea a lo largo del borde o miembro o pieza unida</p>

TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

Ejemplos Típicos Ilustrativos

SECCIÓN 6 - METAL BASE EN CONEXIONES SOLDADAS DE MIEMBROS TRANSVERSALES

6.1



6.2

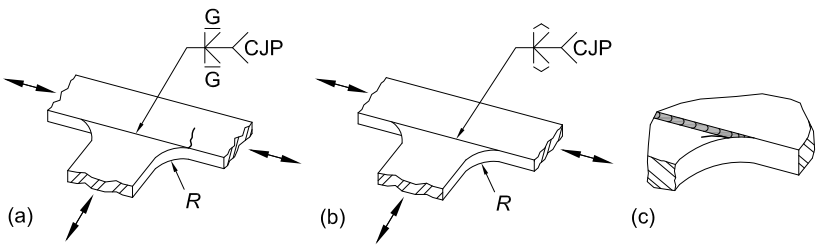


TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

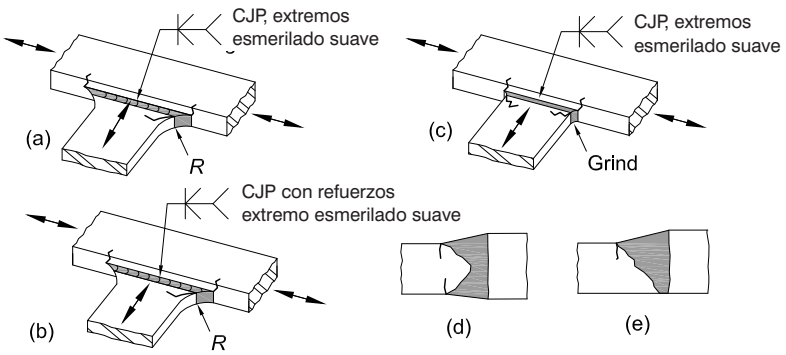
Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_1	Umbral F_{TH} , kgf/cm ² (MPa)	Punto Probable de Inicio de Fractura
SECCIÓN 6 – METAL BASE EN CONEXIONES SOLDADAS DE MIEMBROS TRANSVERSALES (cont.)				
<p>6.3 Metal base en detalles de distinto espesor conectados por soldaduras de penetración completa sujetos a carga transversal con o sin carga longitudinal cuando el detalle abarca un radio de transición, R, con la terminación de soldadura esmerilada suave e inspeccionada de acuerdo con la Sección 3.6.</p> <p>(a) Cuando el refuerzo para soldadura es removido:</p> <p>R ≥ 5 cm (50 mm)</p> <p>R ≤ 5 cm (50mm)</p> <p>(a) Cuando el refuerzo para soldadura no es removido:</p> <p>R ≥ 5 cm (50 mm)</p>	<p>B</p> <p>E</p> <p>E</p>	<p>2,2</p> <p>1,1</p> <p>1,1</p>	<p>490 (48)</p> <p>315 (31)</p> <p>315 (31)</p>	<p>Al pie de soldadura a lo largo del borde del material más delgado</p> <p>En la terminación de soldadura en el radio pequeño</p> <p>Al pie de soldadura a lo largo del borde del material más delgado</p>
<p>6.4 Metal base sujeto a tensión longitudinal en miembros transversales, con o sin tensión transversal, conectados por soldaduras de filete o penetración parcial paralela a la dirección de la tensión cuando el detalle abarca un radio de transición R, con la terminación de soldadura esmerilada suave:</p> <p>R > 5 cm (50 mm)</p> <p>R ≤ 5 cm (50 mm)</p>	<p>D</p> <p>E</p>	<p>2,2</p> <p>1,1</p>	<p>490 (48)</p> <p>315 (31)</p>	<p>Inicio en el metal base de la terminación de la soldadura o en pie de la soldadura extendiéndose en dirección al miembro.</p>

TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

Ejemplos Típicos Ilustrativos

SECCIÓN 6 - METAL BASE EN CONEXIONES SOLDADAS DE MIEMBROS TRANSVERSALES

6.3



6.4

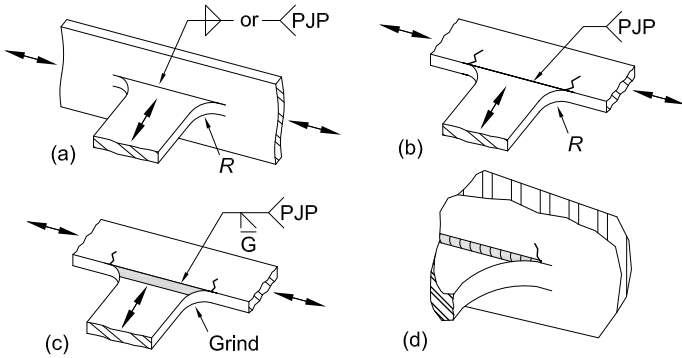


TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

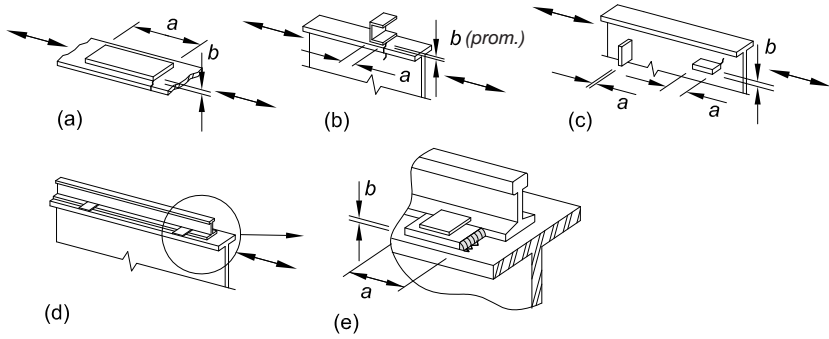
Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_i	Umbral F_{TH} , kgf/cm ² (MPa)	Punto Probable de Inicio de Fractura
SECCIÓN 7 - METAL BASE EN PIEZAS AÑADIDAS CORTAS ^(a)				
<p>7.1 Metal base sujeto a carga longitudinal en detalles conectados por soldaduras de filete paralelas o transversales a la dirección de la tensión donde el detalle no abarca un radio de transición, R, y con la longitud del detalle en dirección de la tensión, a, y altura normal a la superficie del miembro, b:</p> <p>$a < 5$ cm (50 mm) para cualquier espesor, b</p> <p>5 cm (50 mm) $\leq R \leq$ menor de 12b o dev 10 cm (100 mm)</p> <p>$a >$ menor de 12b o 10 cm (100 mm) cuando $b \leq 2$ cm (20 mm) < 24 plg)</p> <p>$a > 10$ cm (100 mm) cuando $b > 2$ cm (20 mm)</p>	<p>C</p> <p>D</p> <p>E</p> <p>E</p>	<p>4.4</p> <p>2,2</p> <p>1,1</p> <p>0,39</p>	<p>700 (69)</p> <p>490 (48)</p> <p>315 (31)</p> <p>180 (18)</p>	<p>Inicio en el metal base de la terminación de la soldadura o en pie de la soldadura extendiéndose en dirección al miembro.</p>
<p>7.2 Metal base sujeto a carga longitudinal en detalles conectados por soldaduras de filete o de penetración parcial, con o sin carga transversal en el detalle, cuando el detalle abarca un radio de transición, R, con la terminación de soldadura esmerilada suave:</p> <p>$R > 5$ cm (50 mm)</p> <p>$R \leq 5$ cm (50 mm)</p>	<p>D</p> <p>E</p>	<p>2,2</p> <p>1,1</p>	<p>490 (48)</p> <p>315 (31)</p>	<p>Inicio en el metal base de la terminación de la soldadura o en pie de la soldadura extendiéndose en dirección al miembro.</p>
<p>^(a) "Pieza unida" como es usado aquí, se define como cualquier detalla de acero soldado a un miembro el cual, produce una discontinuidad en el flujo de tensiones en el miembro y por lo tanto reduce la resistencia a fatiga. La reducción es debida a la presencia de la pieza añadida, y no debido a la carga en la pieza adjunta.</p>				

TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

Ejemplos Típicos Ilustrativos

SECCIÓN 7 - METAL BASE EN PIEZAS AÑADIDAS CORTAS

7.1



7.2

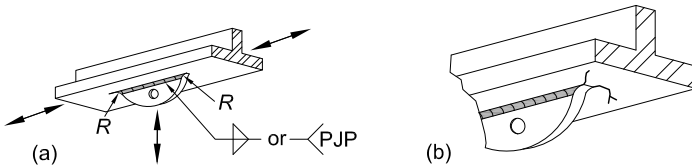


TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga

Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_f	Umbral F_{TH} , kgf/cm ² (MPa)	Punto Probable de Inicio de Fractura
SECCIÓN 8 – MISCELANEOS				
8.1 Metal base en conectores de corte conectados por soldadura de filete o automática.	C	4,4	700 (69)	Al pie de la soldadura en el metal base.
8.2 Corte en garganta de soldaduras de filete continuas o intermitentes longitudinales o transversales.	F	Ver Ec. A-3-2 o A-3-2M	Ver Ec. A-3-2 o A-3-2M	Inicio en la raíz de la soldadura de filete, y se extiende en la soldadura
8.3 Metal base en soldaduras de tapón o de ranura.	E	1,1	315 (31)	En el extremo de la soldadura en el metal base.
8.4 Corte en soldaduras de tapón o ranura.	F	Ver Ec. A-3-2 o A-3-2M	Ver Ec. A-3-2 o A-3-2M	Inicio en la soldadura en la superficie de contacto, extendiéndose en la soldadura
8.5 Pernos de alta resistencia, pernos corrientes, barras de anclaje con hilo y ganchos los que o son pretensionados de acuerdo con la Tabla J3.1 o J3.1M, o son de apriete ajustado hilado con corte, esmerilado o plegado; el rango de tensión en el área de tensión de tracción debido a carga viva más acción de palanca cuando corresponda.	G	0,39	490 (48)	Se inicia en la raíz de los hilos extendiéndose al conector.

TABLE 3.4.7-2A

FATIGUE STRESS PROVISIONS - TENSION (T), REVERSAL (REV) OR SHEAR (S) STRESSES

GENERAL CONDITION	SITUATION	JOINT CATEGORY	EXAMPLE OF A SITUATION	KIND OF STRESS
Plain Material	Base metal with rolled or cleaned surfaces. Oxygen-cut edges with ANSI smoothness of 1000 or less.	A	1,2	T or Rev.
Built-up members	Base metal and weld metal in members without attachments built up; of plates or shapes connected by continuous complete or partial joint penetration groove welds or by continuous fillet welds parallel to the direction of applied stress.	B	3,4,5,7	T or Rev.
	Calculated flexural stress at toe of transverse stiffener welds on girder webs or flanges.	C	6	T or Rev.
	Base metal at end of partial length welded cover plates having square or tapered ends, with or without welds across the ends.	E	7	T or Rev.
Groove Welds	Base metal and weld metal at complete joint penetration groove welded splices of rolled and welded sections having similar profiles when welds are ground and weld soundness established by nondestructive testing.	B	8,9	T or Rev.
	Base metal and weld metal in or adjacent to complete joint penetration groove welded splices at transitions in width or thickness, with welds ground to provide slopes no steeper than 1 to 2.5 (40%) and weld soundness established by nondestructive testing.	B	10,11	T or Rev.
	Weld metal of partial penetration transverse groove welds based on effective throat area of the weld or welds.	F	17	T or Rev.
Groove Welds	Base metal and weld metal in or adjacent to complete joint penetration groove welded splices either not requiring transition or when required with transitions having slopes no greater than 1 to 2.5 (40%) and when in either case reinforcement is not removed and weld soundness is established by nondestructive testing.	C	8,9,10,11	T or Rev.
	Base metal and weld metal at complete joint penetration groove welded splices of sections having similar profiles or at transitions in thickness to provide slopes no steeper than 1 to 2.5 (40%) with a permanent backing bar when the weld is ground roughly parallel to the direction of the stress and weld soundness is established by nondestructive testing. The backing bar is to be continuous and if spliced, is to be joined by a full penetration butt weld. The backing bar is to be connected to the parent metal by continuous welds along both edges. Intermittent welds may be used in regions of compression stress.			
	Welds parallel to direction of the stress:	B	19 & 20	T or Rev.
	Welds perpendicular to direction of the stress:			
	(a) $L \leq 2$ in.	C	19	T or Rev.
	(b) 2 in. $< L \leq 4$ in.	D	19	T or Rev.
(c) $L > 4$ in.	E	19	T or Rev.	
Groove Welded Connections	Base metal at details of any length attached by groove welds subjected to transverse or longitudinal loading, or both, when weld soundness transverse to the direction of stress is established by nondestructive testing and the detail embodies a transition radius, R, with the weld termination ground when:			
	Longitudinal Loading:			
	(a) $R \geq 24$ in.	B	13	T or Rev.
	(b) 24 in. $> R \geq 6$ in.	C	13	T or Rev.
	(c) 6 in. $> R \geq 2$ in.	D	13	T or Rev.
(d) 2 in. $> R \geq 0$	E	12,13	T or Rev.	

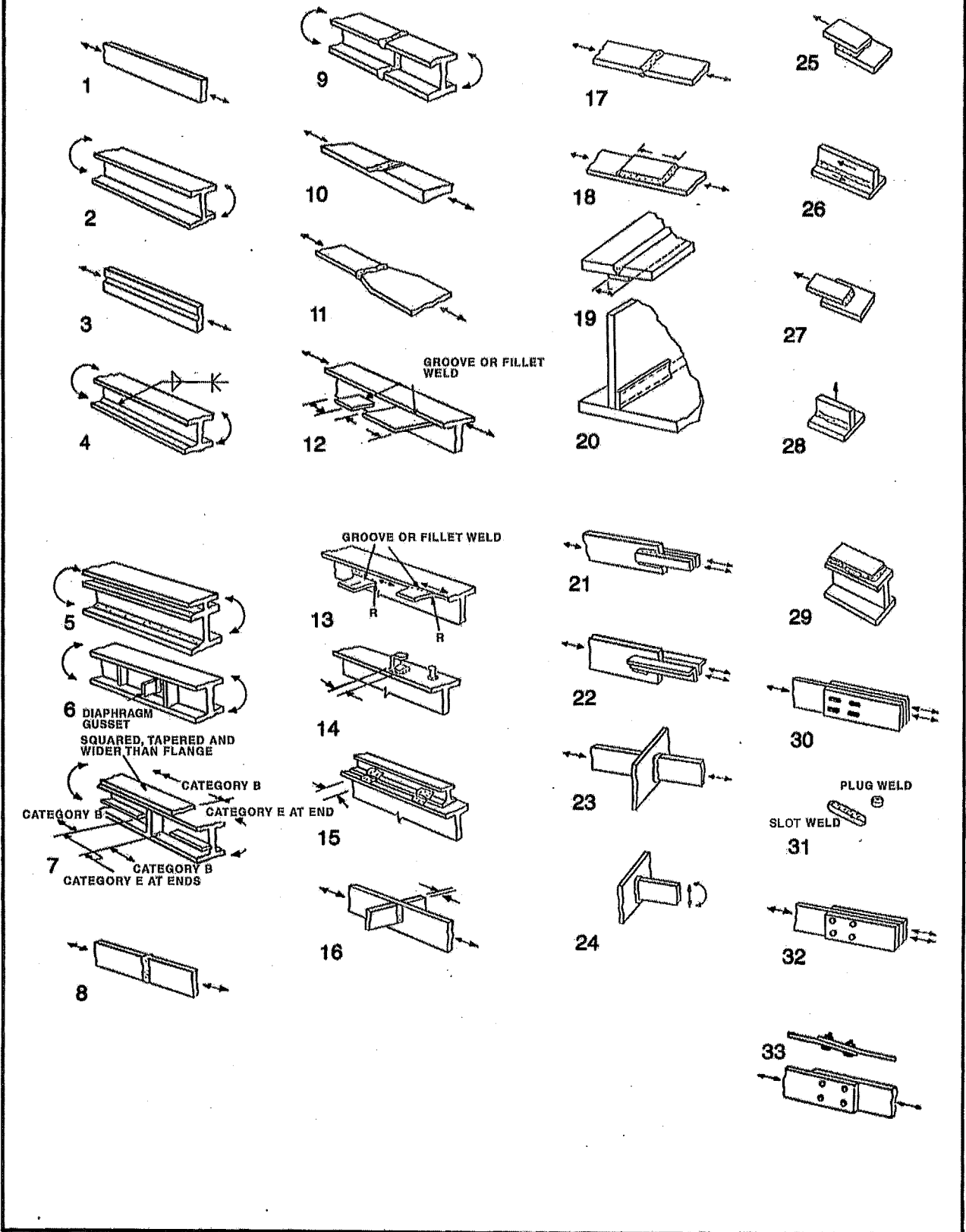
TABLE 3.4.7-2A (Continued)

GENERAL CONDITION	SITUATION	JOINT CATEGORY	EXAMPLE OF A SITUATION	KIND OF STRESS	
Groove Welded Connections (continued)	Transverse Loading: Materials having equal or unequal thickness sloped, welds ground web connections excluded.				
	(a) $R \geq 24$ in.	B	13	T or Rev.	
	(b) 24 in. $> R \geq 6$ in.	C	13	T or Rev.	
	(c) 6 in. $> R \geq 2$ in.	D	13	T or Rev.	
	(d) 2 in. $> R \geq 0$	E	12, 13	T or Rev.	
	Transverse Loading:				
	Materials having equal thickness, not ground, web connections excluded.				
	(a) $R \geq 24$ in.	C	13	T or Rev.	
	(b) 24 in. $> R \geq 6$ in.	C	13	T or Rev.	
	(c) 6 in. $> R \geq 2$ in.	D	13	T or Rev.	
	(d) 2 in. $> R \geq 0$	E	12, 13	T or Rev.	
	Transverse Loading:				
	Materials having unequal thickness, not sloped or ground, including web connections				
	(a) $R \geq 24$ in.	E	13	T or Rev.	
	(b) 24 in. $> R \geq 6$ in.	E	13	T or Rev.	
	(c) 6 in. $> R \geq 2$ in.	E	13	T or Rev.	
	(d) 2 in. $> R \geq 0$	E	12, 13	T or Rev.	
	Groove or fillet welded connections	Base metal at details attached by groove or fillet welds subject to longitudinal loading when the detail embodies a transition radius, R, less than 2 in., and when the detail length, L, parallel to the line of stress is			
		(a) $L \leq 2$ in.	C	12, 14, 15, 16, 18	T or Rev.
		(b) 2 in. $< L \leq 4$ in.	D	12, 18	T or Rev.
(c) $L > 4$ in.		E	12, 18	T or Rev.	
Fillet Welded Connections	Base metal at details attached by fillet welds or partial penetration groove welds parallel to the direction of stress regardless of length when the detail embodies a transition radius, R, 2 in. or greater and with the weld termination ground.				
	(a) When $R \geq 24$ in.	B	13	T or Rev.	
	(b) When 24 in. $> R > 6$ in.	C	13	T or Rev.	
(c) When 6 in. $\geq R > 2$	D	13	T or Rev.		
Fillet welded connections	Base metal at junction of axially loaded members with fillet welded end connections. Welds shall be disposed about the axis of the member so as to balance weld stresses.	E	21, 22, 23	T or Rev	
Fillet welds	Shear stress on throat of fillet welds.	F	21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28	S	
	Base metal at intermittent welds attaching transverse stiffeners and stud-type shear connectors.	C	7, 14	T or Rev	
	Base metal at intermittent welds attaching longitudinal stiffeners or cover plates.	E	7, 29	T or Rev	

TABLE 3.4.7-2A (Continued)

GENERAL CONDITION	SITUATION	JOINT CATEGORY	EXAMPLE OF A SITUATION	KIND OF STRESS
Stud welds	Shear stress on nominal shear area of stud-type shear connectors.	F	14	S
Plug and slot welds	Base metal adjacent to or connected by plug or slot welds.	E	30	T or Rev
	Shear stress on nominal shear area of plug or slot welds.	F	30, 31	S
Mechanically fastened connections	Base metal at gross section of high strength bolted friction-type connections, except connections subject to stress reversal and axially loaded joints which induce out-of-plane bending in connected material.	B	32	T or Rev
	Base metal at net section of other mechanically fastened joints.	D	33	T or Rev
	Base metal at net section of high strength bolted bearing connections.	B	32, 33	T or Rev

FIGURE 3.4.7-2B



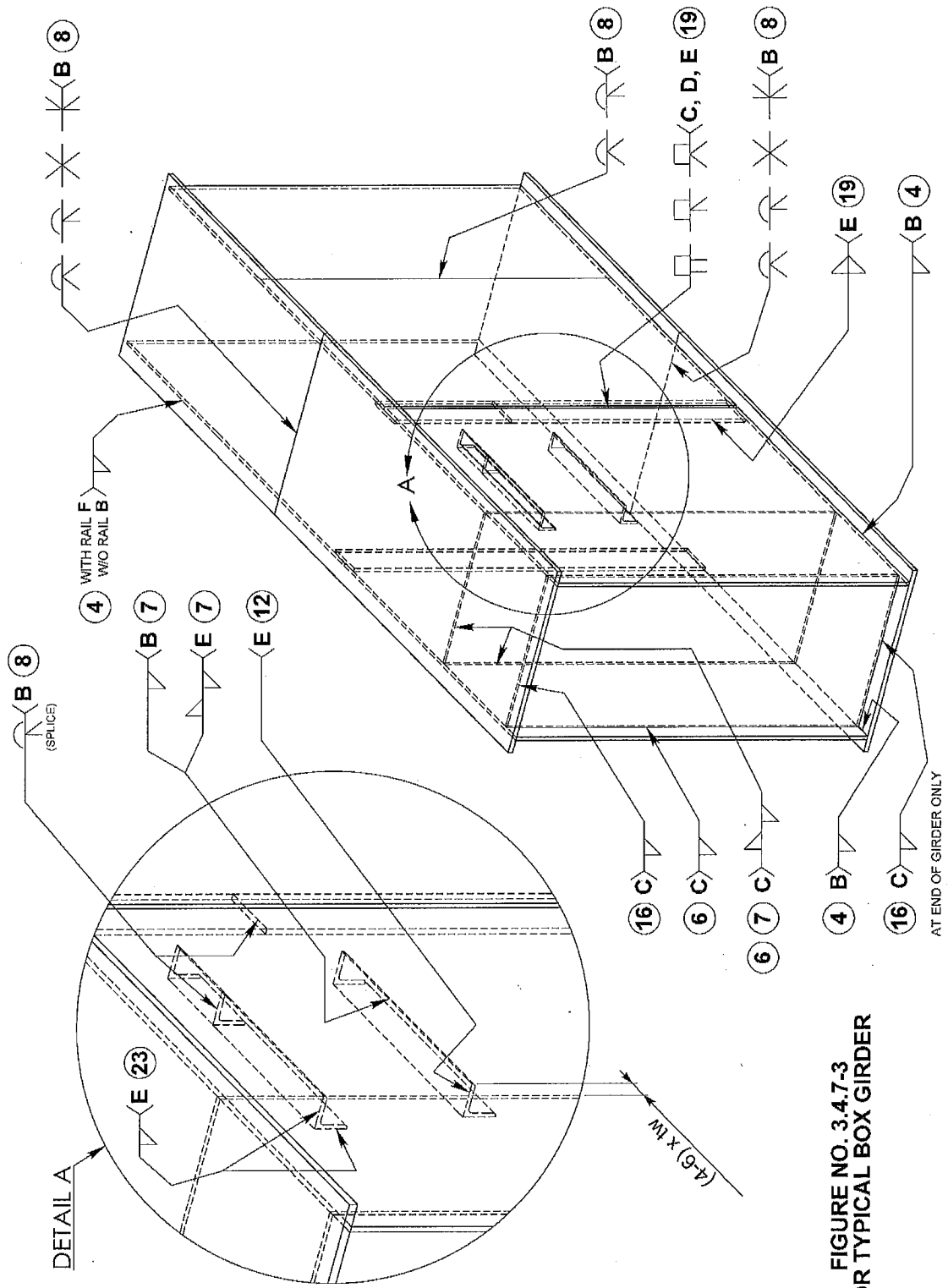


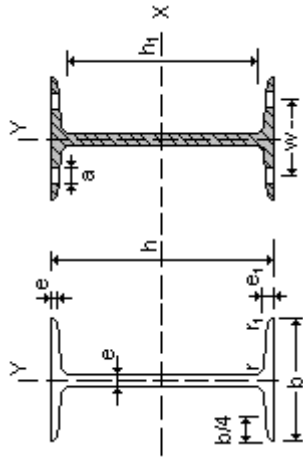
FIGURE NO. 3.4.7-3
FOR TYPICAL BOX GIRDER

ANEXO 5

TABLA DE PERFILES COMERCIALES

Perfiles IPN

Perfil	Dimensiones										Términos de sección										Agujeros			Peso p kp/m
	h mm	b mm	e mm	e ₁ mm	r ₁ mm	h ₁ mm	u mm	A cm ²	S _x cm ³	I _x cm ⁴	W _x cm ³	k _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm	I _t cm ⁴	I _a cm ⁶	w mm	a mm	e ₂ mm				
IPN 80	80	42	3,9	5,9	2,3	59	304	7,58	11,4	77,8	19,5	3,20	6,29	3,00	0,91	0,93	87,5	22	-	4,43	5,95			
IPN 100	100	50	4,5	6,8	2,7	75	370	10,6	19,9	171	34,2	4,01	12,2	4,88	1,07	1,72	268	28	-	5,05	8,32			
IPN 120	120	58	5,1	7,7	3,1	92	439	14,2	31,8	328	54,7	4,81	21,5	7,41	1,23	2,92	685	32	-	5,67	11,2			
IPN 140	140	66	5,7	8,6	3,4	109	502	18,3	47,7	573	81,9	5,61	35,2	10,7	1,40	4,66	1540	34	11	6,29	14,4			
IPN 160	160	74	6,3	9,5	3,8	125	575	22,8	68,0	935	117	6,40	54,7	14,8	1,55	7,08	3138	40	11	6,91	17,9			
IPN 180	180	82	6,9	10,4	4,1	142	640	27,9	93,4	1450	161	7,20	81,3	19,8	1,71	10,3	5924	44	13	7,53	21,9			
IPN 200	200	90	7,5	11,3	4,5	159	709	33,5	125	2140	214	8,00	117	26,0	1,87	14,6	10520	48	13	8,15	26,3			
IPN 220	220	98	8,1	12,2	4,9	175	775	39,6	162	3060	278	8,80	162	33,1	2,02	20,1	17760	52	13	8,77	31,1			
IPN 240	240	106	8,7	13,1	5,2	192	844	46,1	206	4250	354	9,59	221	41,7	2,20	27,0	28730	56	17	9,39	36,2			
IPN 260	260	113	9,4	14,1	5,6	208	906	53,4	257	5740	442	10,4	288	51,0	2,32	36,1	44070	60	17	10,15	41,9			
IPN 280	280	119	10,1	15,2	6,1	225	966	61,1	316	7590	542	11,1	364	61,2	2,45	47,8	64580	62	17	11,04	48,0			
IPN 300	300	125	10,8	16,2	6,5	241	1030	69,1	381	9800	653	11,9	451	72,2	2,56	61,2	91850	64	21	11,83	54,2			
IPN 320	320	131	11,5	17,3	6,9	257	1090	77,8	457	12510	782	12,7	555	84,7	2,67	78,2	128800	70	21	12,72	61,1			
IPN 340	340	137	12,2	18,3	7,3	274	1150	86,8	540	15700	923	13,5	674	98,4	2,80	97,5	176300	74	21	13,51	68,1			
IPN 360	360	143	13,0	19,5	7,8	290	1210	97,1	638	19610	1090	14,2	818	114	2,90	123	240100	76	23	14,50	76,2			
IPN 380	380	149	13,7	20,5	8,2	306	1270	107	741	24010	1260	15,0	975	131	3,02	150	318700	82	23	15,29	84,0			
IPN 400	400	155	14,4	21,6	8,6	323	1330	118	857	29210	1460	15,7	1160	149	3,13	183	419600	86	23	16,18	92,6			
IPN 450	450	170	16,2	24,3	9,7	363	1478	147	1200	45850	2040	17,7	1730	203	3,43	288	791100	94	25	18,35	115			
IPN 500	500	185	18,0	27	10,8	404	1626	180	1620	68740	2750	19,6	2480	268	3,72	449	1403000	100	28	20,53	141			
IPN 550	550	200	19,0	30	11,9	445	1787	213	2120	99180	3610	21,6	3490	349	4,02	618	2389000	110	28	23,0	167			
IPN 600	600	215	21,6	32,4	13	485	1924	254	2730	139000	4630	23,4	4670	443	4,30	875	3821000	120	28	24,88	199			

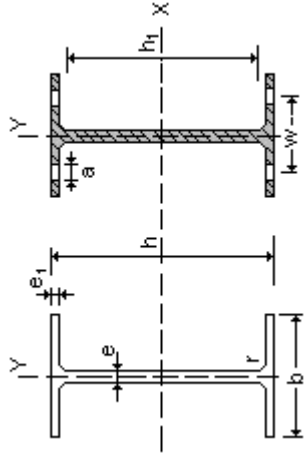


A = Área de la sección

- S_x = Momento estático de media sección, respecto a X.
- I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X.
- W_x = 2I_x : h. Módulo resistente de la sección, respecto a X.
- i_x = (I_x : A)^{1/2}. Radio de giro de la sección, respecto a X.
- I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.
- W_y = 2I_y : b. Módulo resistente de la sección, respecto a Y.
- i_y = (I_y : A)^{1/2}. Radio de giro de la sección, respecto a Y.
- I_t = Módulo de torsión de la sección.
- I_a = Módulo de alabeo de la sección.
- u = Perímetro de la sección.
- a = Diámetro del agujero del roblón normal.
- w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.
- h₁ = Altura de la parte plana del alma.
- e₂ = Espesor del ala en el eje del agujero.
- p = Peso por metro.

Perfiles IPE

Perfil	Dimensiones										Términos de la sección										Agujeros			Peso p kp/m
	h mm	b mm	e mm	e ₁ mm	r mm	h ₁ mm	u mm	A cm ²	S _{x,3} cm ³	I _x cm ⁴	W _{x,3} cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	W _{y,3} cm ³	i _y cm	I _t cm ⁴	I _a cm ⁶	w mm	a mm	e ₂ mm				
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	60	328	7,64	11,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,721	118	-	-	3,8	6,00			
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	75	400	10,3	19,7	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	1,140	351	-	-	4,1	8,10			
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	93	475	13,2	30,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	1,770	890	35	-	4,4	10,4			
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	112	551	16,4	44,2	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	2,630	1981	40	11	4,7	12,9			
IPE 160	160	82	5,0	7,4	9	127	623	20,1	61,9	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	3,640	3959	44	13	5	15,8			
IPE 180	180	91	5,3	8,0	9	146	698	23,9	83,2	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	5,060	7431	48	13	5,3	18,8			
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	159	788	28,5	110	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	6,670	12990	52	13	5,6	22,4			
IPE 220	220	110	5,9	9,2	12	178	848	33,4	143	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	9,150	22670	58	17	5,9	26,2			
IPE 240	240	120	6,2	9,8	15	190	922	39,1	183	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	12,00	37390	65	17	6,2	30,7			
IPE 270	270	135	6,6	10,2	15	220	1040	45,9	242	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	15,40	70580	72	21	6,6	36,1			
IPE 300	300	150	7,1	10,7	15	249	1160	53,8	314	8360	557	12,5	604	80,5	3,35	20,10	125900	80	23	7,1	42,2			
IPE 330	330	160	7,5	11,5	18	271	1250	62,6	402	11770	713	13,7	788	98,5	3,55	26,50	199100	85	25	7,5	49,1			
IPE 360	360	170	8,0	12,7	18	299	1350	72,7	510	16270	904	15,0	1040	123	3,79	37,30	313600	90	25	8	57,1			
IPE 400	400	180	8,6	13,5	21	331	1470	84,5	654	23130	1160	16,5	1320	146	3,95	48,30	490000	95	28	8,6	66,3			
IPE 450	450	190	9,4	14,6	21	379	1610	98,8	851	33740	1500	18,5	1680	176	4,12	65,90	791000	100	28	9,4	77,6			
IPE 500	500	200	10,2	16,0	21	426	1740	116	1100	48200	1930	20,4	2140	214	4,31	91,80	1249000	110	28	10,2	90,7			
IPE 550	550	210	11,1	17,2	24	468	1880	134	1390	67120	2440	22,3	2670	254	4,45	122,0	1884000	115	28	11,1	106			
IPE 600	600	220	12,0	19,0	24	514	2010	155	1760	92080	3070	24,3	3390	308	4,66	172,0	2846000	120	28	12,0	122			



A = Área de la de la sección

S_x = Momento estático de media sección, respecto a X.

I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X.

W_x = 2I_x : h. Módulo resistente de la sección, respecto a X.

i_x = (I_x : A)^{1/2}. Radio de giro de la sección, respecto a X.

I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.

W_y = 2I_y : b. Módulo resistente de la sección, respecto a Y.

i_y = (I_y : A)^{1/2}. Radio de giro de la sección, respecto a Y.

I_t = Módulo de torsión de la sección.

I_a = Módulo de alabeo de la sección.

u = Perímetro de la sección.

a = Diámetro del agujero del roblón normal.

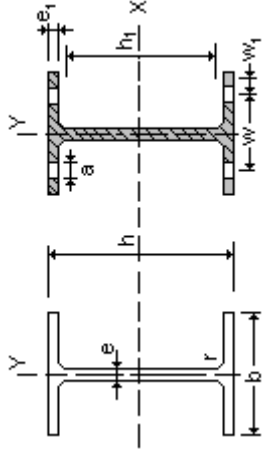
w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.

h₁ = Altura de la parte plana del alma.

p = Peso por metro.

Perfiles HEB

Perfil	Dimensiones										Términos de la sección										Agujeros			Peso p kp/m
	h mm	b mm	e mm	e ₁ mm	r mm	h ₁ mm	u mm	A cm ²	S _x ³ cm ³	I _x cm ⁴	W _x m ³	I _k cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	I _y cm	I _t cm ⁴	I _a cm ⁶	w mm	w ₁ mm	a mm				
HEB 100	100	100	6,0	10	12	56	567	26,0	52,1	450	4,16	167	33	2,53	9,34	3375	55	-	13	20,4				
HEB 120	120	120	6,5	11	12	74	686	34,0	82,6	864	5,04	318	53	3,06	14,9	9410	65	-	17	26,7				
HEB 140	140	140	7,0	12	12	92	805	43,0	123	1509	5,93	550	79	3,58	22,5	22480	75	-	21	33,7				
HEB 160	160	160	8,0	13	15	104	918	54,3	177	2492	6,78	889	111	4,05	33,2	47940	85	-	23	42,6				
HEB 180	180	180	8,5	14	15	122	1040	65,3	241	3831	7,66	1363	151	4,57	46,5	93750	100	-	25	51,2				
HEB 200	200	200	9,0	15	18	134	1150	78,1	321	5696	8,54	2003	200	5,07	63,4	171100	110	-	25	61,3				
HEB 220	220	220	9,5	16	18	152	1270	91,0	414	8091	9,43	2843	258	5,59	84,4	295400	120	-	25	71,5				
HEB 240	240	240	10,0	17	21	164	1380	106,0	527	11259	10,3	3923	327	6,08	110	486900	90	35	25	83,2				
HEB 260	260	260	10,0	17,5	24	177	1500	118,4	641	14919	11,2	5135	395	6,58	130	753700	100	40	25	93				
HEB 280	280	280	10,5	18	24	196	1620	131,4	767	19270	12,1	6595	471	7,09	153	1130000	110	45	25	103				
HEB 300	300	300	11,0	19	27	208	1730	149,1	934	25166	13,0	8563	571	7,58	192	1688000	120	50	25	117				
HEB 320	320	300	11,5	20,5	27	225	1770	161,3	1070	30823	13,8	9239	616	7,57	241	2069000	120	50	25	127				
HEB 340	340	300	12,0	21,5	27	243	1810	170,9	1200	36656	14,6	9690	646	7,53	278	2454000	120	50	25	134				
HEB 360	360	300	12,5	22,5	27	261	1850	180,6	1340	43193	15,5	10140	676	7,49	320	2883000	120	50	25	142				
HEB 400	400	300	13,5	24	27	298	1930	197,8	1620	57680	17,1	10819	721	7,4	394	3817000	120	50	25	155				
HEB 450	450	300	14,0	26	27	344	2030	218	1990	79887	19,1	11721	781	7,33	500	5258000	120	50	25	171				
HEB 500	500	300	14,5	28	27	390	2120	238,6	2410	107176	21,2	12624	842	7,27	625	7018000	120	45	28	187				
HEB 550	550	300	15,0	29	27	438	2220	254,1	2800	136691	23,2	13077	872	7,17	701	8856000	120	45	28	199				
HEB 600	600	300	15,5	30	27	486	2320	270,0	3210	171041	25,2	13530	902	7,08	783	10965000	120	45	28	212				



A = Área de la de la sección.

S_x = Momento estático de media sección, respecto a X.

I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X.

W_x = 2I_x : h. Módulo resistente de la sección, respecto a X.

i_x = (I_x : A)^{1/2}. Radio de giro de la sección, respecto a X.

I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.

W_y = 2I_y : b. Módulo resistente de la sección, respecto a Y.

i_y = (I_y : A)^{1/2}. Radio de giro de la sección, respecto a Y.

I_t = Módulo de torsión de la sección.

I_a = Módulo de alabeo de la sección.

u = Perímetro de la sección.

a = Diámetro del agujero del roblón normal.

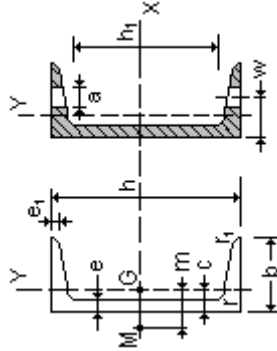
w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.

h₁ = Altura de la parte plana del alma.

p = Peso por metro.

Perfiles UPN

Perfil	Dimensiones										Términos de la sección										Agujeros		Peso p kp/m
	h mm	b mm	e mm	e ₁ =r mm	r ₁ mm	h ₁ mm	u mm	A cm	S _x cm ³	I _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm	I _t cm ⁴	c cm	m cm	w mm	a mm			
UPN 80	80	45	6,0	8,0	4,0	46	312	11,0	15,9	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	2,24	1,45	2,67	25	13	8,64		
UPN 100	100	50	6,0	8,5	4,5	64	372	13,5	24,5	206	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	2,96	1,55	2,93	30	13	10,60		
UPN 120	120	55	7,0	9,0	4,5	82	434	17,0	36,3	364	60,7	4,62	43,2	11,1	1,59	4,3	1,60	3,03	30	17	13,40		
UPN 140	140	60	7,0	10,0	5,0	98	489	20,4	51,4	605	86,4	5,45	62,7	14,8	1,75	6,02	1,75	3,37	35	17	16,00		
UPN 160	160	65	7,5	10,5	5,5	115	546	24,0	68,8	925	116	6,21	85,3	18,3	1,89	7,81	1,84	3,56	35	21	18,80		
UPN 180	180	70	8,0	11,0	5,5	133	611	28,0	89,6	1350	150	6,95	114	22,4	2,02	9,98	1,92	3,75	40	21	22,00		
UPN 200	200	75	8,5	11,5	6,0	151	661	32,2	114	1910	191	7,70	148	27,0	2,14	12,6	2,01	3,94	40	23	25,30		
UPN 220	220	80	9,0	12,5	6,5	167	718	37,4	146	2690	245	8,48	197	33,6	2,30	17,0	2,14	4,20	45	23	29,40		
UPN 240	240	85	9,5	13,0	6,5	184	775	42,3	179	3600	300	9,22	248	39,6	2,42	20,8	2,23	4,39	45	25	33,20		
UPN 260	260	90	10	14,0	7,0	200	834	48,3	221	4820	371	9,99	317	47,7	2,56	23,7	2,36	4,66	50	25	37,90		
UPN 280	280	95	10	15,0	7,5	216	890	53,3	266	6280	448	10,9	399	57,2	2,74	33,2	2,53	5,02	50	25	41,80		
UPN 300	300	100	10	16,0	8,0	232	950	58,8	316	8030	535	11,7	495	67,8	2,90	40,6	2,70	5,41	55	25	46,20		



A = Área de la de la sección
 S_x = Momento estático de media sección, respecto a X.
 I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X.
 $W_x = 2I_x : h$. Módulo resistente de la sección, respecto a X.
 $i_x = (I_x : A)^{1/2}$. Radio de giro de la sección, respecto a X.
 I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.
 $W_y = 2I_y : (b-c)$. Mínimo módulo resistente de la sección, respecto a Y.
 $i_y = (I_y : A)^{1/2}$. Radio de giro de la sección, respecto a Y.
 I_t = Módulo de torsión de la sección.
 c = Posición del eje Y.
 u = Perímetro de la sección.
 a = Diámetro del agujero del roblón normal.
 w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.
 h_1 = Altura de la parte plana del alma.
 p = Peso por metro.