



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Diseño de un Puente Grúa con Vigas Laminadas para un  
Galpón de una Planta Metalmecánica en Operación”

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN  
(PROYECTO DE GRADUACIÓN)**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Juan Sebastián Santacruz Bermeo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Ernesto Martínez y al Ing. Jorge Marcial que con su ayuda, experiencia y conocimiento, brindó de una invaluable colaboración a este trabajo. A todas esas personas que ayudaron con su conocimiento, su experiencia y su paciencia para poder cumplir con este trabajo.

**Juan Sebastián Santacruz Bermeo**

## **DEDICATORIA**

A Dios, quien me dio la fuerza cada vez que estuve cerca de rendirme. A mis hermanos que apoyaron mi formación durante mi vida. A mi esposa, mi razón para seguir adelante. En especial a mi madre, porque sé que aún se pregunta si pudo haberme dado más, cuando ya lo hizo todo por mí.

**Juan Sebastián Santacruz Bermeo**

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

Ing. Jorge Duque R.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Ernesto Martínez L.  
DIRECTOR DEL TFG

---

Ing. Jorge Marcial H.  
VOCAL



## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este Trabajo Final de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Juan Sebastián Santacruz Bermeo

## RESUMEN

Una empresa metalmecánica dedicada a la fabricación y montaje de estructuras varias formadas en acero, empieza a tener dificultades para afrontar nuevos proyectos dado que su infraestructura se encuentra por debajo de su necesidad. Puesto que el lugar donde está ubicada esta planta se encuentra rodeado de otras empresas, se ve incapacitado de expandirse con una estructura nueva y mejor equipada. Esta situación conlleva a la necesidad de incorporar un nuevo sistema de izaje a las estructuras existentes y de esta manera obtener una mejor producción en el mismo espacio físico.

Este Proyecto de Graduación tuvo como objetivo realizar el diseño de un puente grúa junto a sus respectivas carrileras, de forma que se acople a la estructura existente. Se planteó dos alternativas para la capacidad del puente grúa (05 y 10 toneladas). Una vez que se realizó el diseño de los elementos mencionados, se procedió a analizar y verificar, entre las opciones de capacidad, que la estructura existente sea estructuralmente adecuada para receptor el nuevo sistema de izaje. Finalmente, se seleccionó una opción para la implementación del nuevo sistema de izaje, circunstancialmente que este cumpla con la necesidad requerida y bajo un criterio ingenieril formado.

El proceso de diseño del puente grúa y carrileras junto a la verificación de la capacidad de carga de la estructura existente, se realizó bajo la norma del Instituto Americano de la Construcción del Acero (AISC). El proceso de selección de equipos auxiliares del puente grúa se hizo mediante el uso de catálogos comerciales de industrias fabricantes. El uso de un software de diseño asistido fue necesario como medio de verificación y como complemento en el proceso de diseño/verificación.

Este proyecto de graduación se realizó bajo el supuesto que la actual cimentación soporta esta adecuación basado en el fundamento que su diseño preliminar fue homogéneo para ambos galpones y que su cubierta se mantiene sin cambio alguno.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS .....	VII
SIMBOLOGÍA .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES .....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Definición del Problema.....	6
1.3. Alcance del Trabajo.....	6
1.4. Criterios de Diseño .....	8
1.4.1. Criterios de Diseño para Viga Cargadora .....	22
1.4.2. Criterios de Diseño para Vigas Carrileras.....	38
1.4.3. Criterios de Diseño para Comprobación de Capacidad de Carga de Estructura Existente.....	45

## CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DE VIGA CARGADORA PARA PUENTE GRÚA .....	56
2.1 Selección de Componentes Complementarios .....	57
2.1.1 Capacidad de Carga 05 Toneladas .....	70
2.1.2 Capacidad de Carga 10 Toneladas .....	71
2.2. Diseño de Viga Cargadora .....	72
2.2.1 Capacidad de Carga 05 Toneladas .....	73
2.2.2 Capacidad de Carga 10 Toneladas .....	85

## CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE CARRILERAS PARA PUENTE GRÚA .....	97
3.1. Diseño de Vigas Carrileras .....	97
3.1.1. Capacidad de Carga 05 Toneladas .....	98
3.1.2. Capacidad de Carga 10 Toneladas .....	120

## CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE ESTRUCTURA EXISTENTE.....	142
4.1. Definición de Cargas Actuantes .....	143
4.2. Revisión de Capacidad De Carga .....	162
4.3. Análisis de Resultados .....	190
4.4. Análisis de Costos .....	194

## CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	201
5.1. Conclusiones .....	202
5.2. Recomendaciones .....	204
APÉNDICES .....	206
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS .....	213

## ABREVIATURAS

AISC	America Institute of Steel construction.
AISE	Association of Iron and Steel engineers.
CMAA	Crane Manufacturers Association of America.
ANSI	American National Standards Institute.
ASCE	American Society of Civil Engineers.
NEC	Normas Ecuatorianas de la Construcción.
LRFD	Load and Resistance Factor Design.
m	Metros.
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados.
cm	Centímetros.
cm <sup>2</sup>	Centímetro al cuadrado.
cm <sup>3</sup>	Centímetro al cubo.
cm <sup>4</sup>	Centímetro a la cuarta.
mm	Milímetros.
Kg	Kilogramos.
Kg/m	Peso lineal.
Ton	Toneladas.
Und	Unidad.
N	Newton.
KN	Kilo Newton.
N/m <sup>2</sup>	Newton sobre metros cuadrados.
m/min	Metros sobre minutos.

## SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
\$	Dólares
$A$	Área
$D$	Cargas muertas.
$L$	Cargas vivas.
$\Delta_{max}$	Deformación máxima producida por las cargas vivas.
$\Delta_{adm}$	Deformación admisible.
$\phi_b$	Factor de resistencia a flexión nominal.
$\phi_b$	Factor de Resistencia por cortante.
$M_n$	Resistencia nominal a flexión.
$M_u$	Momento ultimo
$M_D$	Momento de cargas muertas
$M_L$	Momento de cargas vivas.
$P$	Fuerza flexionante.
$E$	Módulo de Young
$I_x$	Momento de inercia en x.
$L$	Longitud de viga.
$h_w$	Ancho del alma de la viga.
$t_w$	Espesor del alma de la viga.
$\lambda_{alma}$	Relación ancho espesor del alma de la viga.
$h_f$	Ancho del ala de la viga.
$t_f$	Espesor del ala de la viga.
$\lambda_{ala}$	Relación ancho espesor del ala de la viga.
$L_p$	Límite de la longitud no arriostrada para el estado límite de fluencia.
$L_r$	Límite de la longitud no arriostrada para el estado de pandeo lateral-torsional inelástico.
$L_b$	Longitud no arriostrada siendo esta la longitud entre apoyos de la viga a diseñar.
$S_x$	Módulo de sección elástico respecto al eje x.
$h_0$	Distancia entre los centros de las alas.
$J$	Constante torsional
$C_w$	Constante de alabeo.
$C_w$	Coefficiente cortante del alma.
$C$	Constante para doblemente simétrica para perfiles i.



$r_y$	Radio de giro alrededor del eje y de la sección transversal en (mm ó in).
$r_{ts}$	Radio efectivo de giro en (mm ó in).
$C_b$	Factor de modificación de pandeo lateral para los diagramas de momento no uniforme.
$M_{max}$	Momento máximo.
$M_A$	Momento a $\frac{1}{4}$ de la luz de la viga.
$M_B$	Momento a $\frac{1}{2}$ de la luz de la viga.
$M_C$	Momento a $\frac{3}{4}$ de la luz de la viga.
$F_{cr}$	Esfuerzo crítico.
$\lambda$	Parámetro de esbeltez.
$\lambda_p$	Parámetro de esbeltez limitante para elementos compactos.
$\lambda_{pf}$	Parámetro de esbeltez limitante para un ala compacta.
$\lambda_r$	Esbeltez limitante para elementos no compactos.
$\lambda_{rf}$	Esbeltez limitante para un ala no compacta.
$V_n$	Fuerza nominal cortante (kips ó N).
$\phi_v$	Factor de Resistencia por cortante.
$k_c$	Coeficiente para elementos esbeltos no rigidizados.
$F_y$	Fuerza de fluencia mínima.
$A_w$	Área del alma, profundidad del espesor del alma.
$R_n$	Esfuerzo nominal.
$R_n$	Resistencia nominal del patín.
$F_{yf}$	Esfuerzo mínimo de influencia del ala.
$t_f$	Espesor del ala.
$t_f$	Espesor de patín cargado.
$a$	Distancia libre entre rigidizadores transversales.
$l$	Longitud real de la soldadura final cargada.
$Z_x$	Modulo plástico alrededor del eje x.
$Z_y$	Modulo plástico alrededor del eje y.
$M_{ux}$	Momento último en x.
$M_{uy}$	Momento último en y.
$M_{nx}$	Resistencia nominal a flexión en eje x.
$M_{ny}$	Resistencia nominal a flexión en eje y.
$V_u$	Fuerza nominal cortante último.
$b_f$	Ancho de ala.
$C_r$	Coeficiente de pandeo lateral del alma.

$M_y$	Momento de fluencia.
$T_m$	Tiempo medio de uso diario.
$C_e$	Altura total en metros que eleva el mecanismo.
$C/h,$	Número de ciclos por hora de elevaciones.
$T_i$	Lapso de horas de trabajo.
$V$	Velocidad de izaje en m/min
$\phi_c$	Factor de Resistencia por compresión.
$P_n$	Resistencia nominal a compresión.
$F_{cr}$	Esfuerzo crítico.
$A_g$	Área de la sección.
$P_u$	Fuerza axial necesaria en compresión.
$r$	Radio de giro de la sección.
$F_e$	Esfuerzo de pandeo elástico.
$K$	Factor de longitud efectiva.
$L$	Longitud no arriostrada del elemento.
$Q$	Factor de reducción debido a elementos esbeltos de la sección.
$Q_s$	Factor que aplica para miembros que tengan elementos no rigidizados.
$Q_a$	Factor que aplica cuando se tienen elementos rigidizados.
$A_g$	Área gruesa del miembro.
$A_e$	Área efectiva sección transversal basada en ancho/altura efectivo $b_e$ .
$b_e$	Reducción de anchura efectiva.
$T_n$	Fuerza torsional nominal.
$T_u$	Fuerza de tensión requerida usando las combinaciones de carga LFRD.
$\phi_t$	Factor de Resistencia por tensión.

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Elementos de un Puente Grúa Birriel y Monorriel.....	10
Figura 1.2 Mecanismos de Izaje: Monorriel y Birriel.....	10
Figura 1.3 Carga Distribuida.....	24
Figura 1.4 Carga Puntual en el Centro.....	24
Figura 1.5 Carga Puntual en Cualquier Sitio.....	25
Figura 1.6 Carga Puntual Móvil.....	25
Figura 1.7 Dos Cargas Concentradas Móviles.....	40
Figura 1.8 Dos Cargas Equidistantes.....	41
Figura 1.9 Sobrecargas Mínimas de Cubierta.....	54
Figura 2.1 Selección Orientada de Ruedas Motores.....	59
Figura 2.2 Velocidad Posibles.....	60
Figura 2.3 Características Generales del Motor.....	60
Figura 2.4 Características Generales Testeras 1.....	61
Figura 2.5 Características Generales Testeras 2.....	61
Figura 2.6 Carga Máxima Admisible por Rueda.....	62
Figura 2.7 Escenarios de Izaje.....	63
Figura 2.8 Detalle Rueda-Viga.....	69
Figure 2.9 Selección de Perfil.....	79
Figura 2.10 Introducción de Carga Viva.....	80
Figura 2.11 Selección de Combinación de Carga.....	80
Figure 2.12 Gráficos Resultantes.....	81
Figura 2.13 Deformación por Carga Viva.....	82
Figura 2.14 Selección de Perfil.....	90
Figura 2.15 Introducción de Carga Viva.....	91
Figura 2.16 Selección de Combinación de Carga.....	91
Figura 2.17 Gráficos Resultantes.....	92
Figura 2.18 Deformación por Carga Viva.....	93
Figura 3.1 Reacción Por Peso Propio De Carrilera.....	109
Figura 3.2 Momento por Peso Propio de Carrilera.....	110
Figura 3.3 Momento por Carga Viva Vertical.....	111
Figura 3.4 Momento por Carga Horizontal.....	112
Figura 3.5 Cortante Máximo por Peso Propio.....	114

Figura 3.6	Cortante Máximo por Carga Muerta.....	115
Figura 3.7	Cortante Máximo por Carga Viva.....	115
Figura 3.8	Deformación Máxima por Carga Viva Vertical.....	119
Figura 3.9	Deformación Máxima por Carga Viva Horizontal.....	119
Figura 3.10	Momentos por Carga Muerta de Puente Grúa.....	130
Figura 3.11	Momento por Peso Propio de Carrilera.....	131
Figura 3.12	Momento por Carga Viva Vertical.....	132
Figura 3.13	Momento por Carga Horizontal.....	133
Figura 3.14	Cortante Máximo por Peso Propio.....	135
Figura 3.15	Cortante Máximo por Carga Muerta.....	136
Figura 3.16	Cortante Máximo por Carga Viva.....	136
Figura 3.17	Deformación Máxima por Carga Viva Vertical.....	140
Figura 3.18	Deformación Máxima por Carga Viva Horizontal.....	140
Figura 4.1	Vista Frontal de Galpón Existente.....	145
Figura 4.2	Características Técnicas de Cubiertas Metálicas.....	147
Figura 4.3	Vista Tridimensional de Carrilera.....	149
Figura 4.4	Vista Frontal de Carrilera.....	150
Figura 4.5	Reacción Peso Propio De Carrilera.....	150
Figura 4.6	Reacción por Carga Muerta de Puente Grúa.....	151
Figura 4.7	Reacción por Carga Viva Vertical.....	152
Figura 4.8	Reacción por Carga Viva Horizontal.....	153
Figura 4.9	Vista Tridimensional de Carrilera.....	156
Figura 4.10	Vista Frontal de Carrilera.....	156
Figura 4.11	Reacción Peso Propio De Carrilera.....	157
Figura 4.12	Reacción por Carga Muerta de Puente Grúa.....	158
Figura 4.13	Reacción por Carga Viva Vertical.....	159
Figura 4.14	Reacción por Carga Viva Horizontal.....	159
Figura 4.15	Columna Modelada en SAP2000®/Vistas Principales.....	162
Figura 4.16	Vista Tridimensional de Sección Superior de Columna con Cargas Actuantes Aplicadas.....	163
Figura 4.17	Vista Superior Columna con Cargas Actuantes Aplicadas....	164
Figura 4.18	Ingreso de Cargas Actuantes.....	165
Figura 4.19	Combinación de Cargas.....	165
Figura 4.20	Combinación de Cargas Caso 1.....	166
Figura 4.21	Combinación de Cargas Caso 2.....	167
Figura 4.22	Caso 1.....	168
Figura 4.23	Caso 2.....	168

Figura 4.24	Caso 1.....	173
Figura 4.25	Caso 2.....	173
Figura 4.26	Caso 1.....	178
Figura 4.27	Caso 2.....	178
Figura 4.28	Caso 1.....	183
Figura 4.29	Caso 2.....	183
Figura 4.30	Detalle Columna Reforzada.....	185
Figura 4.31	Caso 1.....	187
Figura 4.32	Caso 2.....	187
Figura 4.33	Caso 1.....	188
Figura 4.34	Caso 2.....	188

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Condiciones de Carga de la Grúa.....	16
Tabla 2	Ciclos de Carga AISC.....	17
Tabla 3	Información Necesaria del Puente Grúa.....	58
Tabla 4	Selección de Hoist.....	65
Tabla 5	Identificación del Hoist.....	66
Tabla 6	Características Técnicas.....	67
Tabla 7	Dimensiones y Pesos.....	68
Tabla 8	Reacciones.....	68
Tabla 9	Dimensiones.....	69
Tabla 10	Información General de Testeros 05 Ton.....	70
Tabla 11	Información General de Polipasto 05 Ton.....	70
Tabla 12	Información General de Testeros 10 Ton.....	71
Tabla 13	Información General de Polipasto 10 Ton.....	71
Tabla 14	Detalles del Puente Grúa de 05 Ton.....	72
Tabla 15	Detalles del Puente Grúa de 10 Ton.....	73
Tabla 16	Perfiles Pre-Seleccionados 05 Ton.....	75
Tabla 17	Perfiles Pre-Seleccionados 10 Ton.....	86
Tabla 18	Detalles del Puente Grúa 05 Ton.....	98
Tabla 19	Cargas Influyentes Pte. Grúa 05 Ton.....	99
Tabla 20	Perfiles Pre-Seleccionados 05 Ton.....	104
Tabla 21	Detalles del Puente Grúa 10 Ton.....	120
Tabla 22	Cargas Influyentes Pte. Grúa 10 Ton.....	121
Tabla 23	Perfiles Pre-Seleccionados 10 Ton.....	126
Tabla 24	Reacciones Resultantes 05 Ton.....	154
Tabla 25	Cargas Actuantes para 05 Ton.....	155
Tabla 26	Reacciones Resultantes 10 Ton.....	160
Tabla 27	Cargas Actuantes para 10 Ton.....	161
Tabla 28	Resultados Obtenidos: 05 Ton.....	190
Tabla 29	Resultados Obtenidos: 10 Ton.....	192
Tabla 30	Costos de Acero.....	195

Tabla 31	Costos de Equipos Complementarios.....	196
Tabla 32	Costos Totales.....	197
Tabla 33	Costos de Acero.....	198
Tabla 34	Costos de Equipos Complementarios.....	198
Tabla 35	Costos Totales.....	200

## INTRODUCCIÓN

Este proyecto de graduación se desarrolla en una empresa metalmeccánica dedicada a la fabricación y montaje de estructuras varias formadas en acero. El objetivo de este proyecto es realizar el diseño de un puente grúa junto a sus respectivas carrileras, de forma que este se acople a la estructura existente. Se plantearon dos alternativas para la capacidad del puente grúa (05 ó 10 toneladas). Luego, en función de estos resultados, se analizó la estructura existente pues se realizó una revisión de la capacidad de carga de las columnas.

El capítulo 1 realiza una presentación del proyecto de graduación, iniciando con una revisión de los antecedentes para así explicar el entorno que rodea al problema. Luego, se define el problema y a su vez se limita su alcance. Finalmente, se exponen todos los criterios de diseño necesarios para el desarrollo del proyecto de graduación. Todos los criterios se encuentran basados en la norma del Instituto Americano de la Construcción del Acero (AISC) bajo el método de diseño de Factores de Carga y Resistencia (LRFD).

El capítulo 2 muestra los resultados numéricos de las ecuaciones establecidas anteriormente, respecto a la viga cargadora. Esta sección inicia con la selección de los mecanismos complementarios a través de catálogos comerciales. Luego, se define el resto de variables que intervienen en el



proceso de diseño y finalmente se expone paso a paso, la resolución de las ecuaciones planteadas en el capítulo 1, respecto al diseño de la viga cargadora y por cada caso de izaje. La resolución de las ecuaciones es homologada y complementada mediante el software de diseño asistido SAP2000®.

El capítulo 3 muestra el resultado numérico de las ecuaciones establecidas anteriormente, respecto a las vigas carrileras. De similar forma, se inicia con una recopilación de cada una de las variables que intervienen pero enfocado en la resolución de ecuaciones planteadas en el capítulo 1, respecto al diseño de vigas carrileras. El uso del software de diseño asistido SAP2000®, toma más participación en esta sección puesto que el escenario de diseño es más complejo.

El capítulo 4 se dedica a realizar la evaluación de la capacidad de carga de la estructura existente. Inicia con una definición de las cargas actuantes para cada caso de izaje. Luego, en función de esa información se realiza la revisión de capacidad para cada elemento que conforma a la columna. Cada revisión está fundamentada en las ecuaciones establecidas en los criterios de diseño en el capítulo 1. Finalmente, se realiza un análisis de resultados y se expone un estudio de costos relativo a los resultados obtenidos.

El capítulo 5 consiste en la presentación de conclusiones y recomendaciones del proyecto de graduación. Se plantea una solución en función de los análisis de resultados y del estudio de costos en base a un criterio ingenieril formado y que cumple con la necesidad requerida.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

En este capítulo se realiza la presentación del proyecto de graduación. Se inicia con una revisión de sus antecedentes, explicando así el entorno que rodea al problema. Luego, se define el problema y se limita su alcance para evitar incurrir en incógnitas adicionales. Finalmente, se exponen los criterios de diseño utilizados en el desarrollo de este proyecto de graduación.

### 1.1. Antecedentes

El tema de este proyecto de graduación se desarrolla en una empresa metalmecánica dedicada a la fabricación y montaje de estructuras varias formadas en acero. En el albor de su trayectoria, sus productos estaban alineados sobre una tendencia en la rama de la carrocería, obteniendo réditos que le proporcionaron crecimiento

para así diversificar su cartera de clientes e incursionar en la fabricación y montaje de estructuras metálicas varias.

Las instalaciones de esta empresa se reparten entre dos galpones fabricados en estructura de acero. Tienen una cubierta metálica soportada por correas y cerchas triangulares. Sus columnas fueron fabricadas tipo cercha. Toda la planta se encuentra sobre una obra civil derivada de hormigón pero no se sabe a ciencia cierta qué tipo de cimentación posee. Ambos galpones, #1 y #2, cuentan con limitaciones dimensionales similares pero solo uno de ellos está equipado con puentes grúas. El galpón #1 está equipado con 2 puentes grúas de 5 y 10 toneladas, proveyéndolo de la capacidad para manejar la fabricación de productos de mayores dimensiones y tonelaje.

Manteniendo aparte los beneficios que puedan obtenerse al modificar el talento humano que participa en la empresa, la más adecuada alternativa para obtener el crecimiento deseado y así sobrellevar nuevos proyectos, es habilitar un sistema de izaje en el galpón #2. Esto provocaría que se obtenga una mayor producción sobre el mismo espacio físico. Sin embargo, se desconoce que potencial posee la estructura existente puesto que las memorias

técnicas de los diseños preliminares se han extraviado con los años.

## **1.2. Definición del Problema**

Teniendo en cuenta los antecedentes del problema, se establece que la empresa requiere generar una mayor producción sobre el mismo espacio físico mediante la implementación de un nuevo sistema de izaje y que a su vez debe estar dentro de la capacidad de carga de la estructura existente.

Este proyecto de graduación propone realizar el diseño de un puente grúa junto a sus respectivas carrileras. Se plantea dos alternativas para la capacidad del puente grúa: 05 y 10 toneladas. Luego, en función de estos resultados, se analizará la estructura existente al realizar una revisión de la capacidad de carga de las columnas y así presentar cual es la posible capacidad de izaje por adoptar.

## **1.3. Alcance del Trabajo**

Como se menciona previamente, este proyecto de graduación abarca el diseño de un puente grúa con capacidad de 05 y 10 toneladas. Dentro de este diseño se realiza lo siguiente:

1. Diseño de Viga Cargadora
2. Diseño de Vigas Carrileras
3. Análisis de Capacidad de Carga de Columnas Existentes

La normativa utilizada en este proyecto de graduación para establecer los criterios de diseño será en base a la *AISC: America Institute of Steel Construction*. Tanto la viga cargadora como las carrileras, serán diseñadas usando vigas laminadas de acero y por lo tanto, los criterios de diseño por utilizar serán afines a esta característica. Para la comprobación de la capacidad de carga de la columna tipo cercha, sus diversos componentes s

Los distintos elementos que complementan al puente grúa como: testeras, motores de testeras, polipasto, motores de polipasto y pateca son establecidos por selección desde un catálogo de alguna marca fabricante. Cabe recalcar que todos estos equipos cubren las necesidades para el diseño e implementación del mencionado puente grúa y que la finalidad de este proyecto de graduación es proveer de una solución a la problemática planteada.

Se asume que la capacidad de la actual cimentación soporta esta adecuación basado en el fundamento que su diseño preliminar fue

homogéneo para ambos galpones. Por lo tanto, no se realizará análisis o diseño alguno respecto a obra civil.

Para el análisis de costos, las cotizaciones por usarse servirán como referencia para ilustrar el valor aproximado de la implementación del nuevo sistema de izaje. Las cotizaciones no necesariamente se relacionan con los equipos seleccionados de catálogos comerciales, puesto que depende de la disponibilidad del mercado local. Cabe recalcar que, estas referencias cumplen con lo necesario para el desarrollo de este proyecto de graduación.

#### **1.4. Criterios de Diseño**

Para poder cumplir con el objetivo del proyecto, se debe primero comprender ciertos criterios necesarios, que formarán la pauta del procedimiento de diseño en este trabajo. A continuación, se revisan conceptos generales allegados a la temática del proyecto y se definen criterios de diseño.

##### **Definiciones Generales**

Los puentes grúa son estructuras metálicas utilizadas generalmente en el interior de naves industriales para el izaje y movimiento de cargas en desplazamientos tanto horizontales como verticales. Sus

bondades consisten en brindar capacidades de manejo de productos de mayor tonelaje haciendo así posible la producción de mayores cantidades de producto terminado.

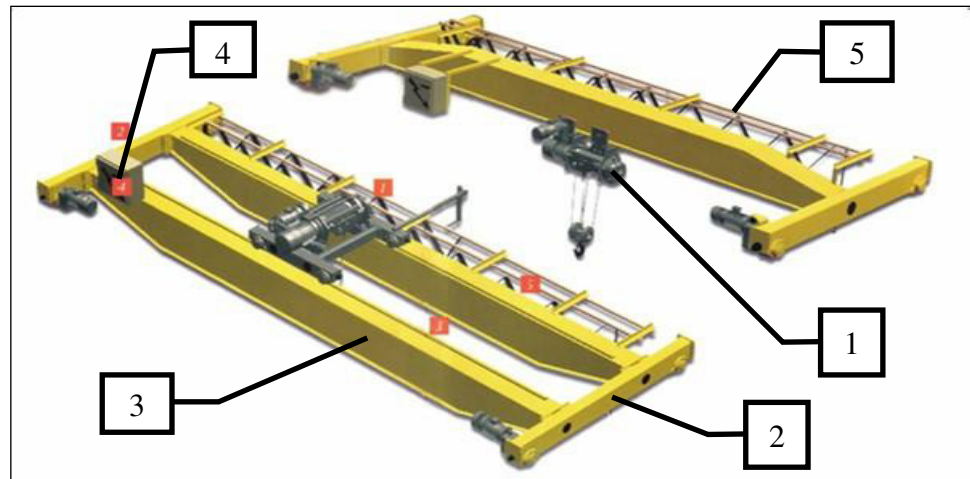
Generalmente está compuesto por una estructura metálica acoplada a testeros automotores sincronizados dotados de ruedas con doble pestaña para su encarrilamiento. Apoyado en dicha estructura y con capacidad para discurrir encarrilado a lo largo de la misma, un carro automotor soporta un polipasto cuyo cableado de izamiento se descuelga de la estructura. La combinación de movimientos de estructura y carro permite actuar sobre cualquier punto de una superficie delimitada por la longitud de los rieles por los que se desplazan los testeros y por la separación entre ellos. Los rieles de desplazamiento están aproximadamente en el mismo plano horizontal que el carro y su altura determina el alcance vertical máximo operativa de la máquina.

Resumiendo, un puente grúa en su más simple forma consiste de las siguientes partes:

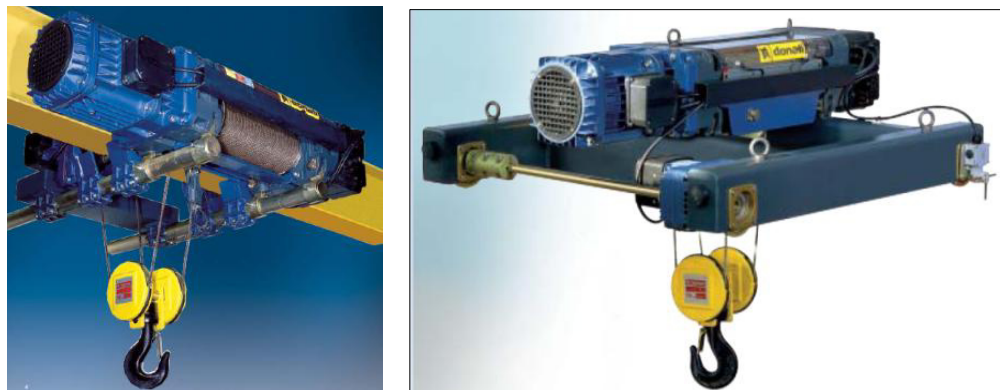
1. Mecanismo de elevación
2. Vigas Testeras



3. Viga Cargadora
4. Tablero de control eléctrico
5. Componentes Eléctricos



**FIGURA 1.1 ELEMENTOS DE UN PUENTE GRÚA BIRRIEL Y MONORRIEL (1)**



**FIGURA 1.2 MECANISMOS DE IZAJE: MONORRIEL Y BIRRIEL(2)**

### **Clasificación de Puentes Grúas y su Estructura de Soporte**

Existen varias formas de clasificar a los puentes grúas, siendo posible encasillarlas: en función de su forma estructural (monorriel/birriel), su capacidad de carga (03 Ton, 05 Ton, 10 Ton, etc.) o por el tipo de viga cargadora (simple, compuesta, laminada). Sin embargo, la más grande diferencia entre estructuras de soporte para puentes grúa y otras estructuras industriales, reside en la frecuencia de cargas/descargas sobre la misma, provocadas por la manipulación de elementos por el puente grúa. Es por esta principal razón que se debe clasificar estas estructuras, para propósitos de diseño, en función de su servicio. Esta clasificación hace irrelevante las características antes mencionadas y dan principal importancia a la frecuencia de uso. El fundamento teórico que se detalla en este capítulo fue extraído de la guía de diseño de la *AISC, Design Guide 07: Industrial Buildings*. Esta guía de diseño recopila información de otras fuentes bibliográficas, consolidándolas para una fácil consulta del diseñador. <sup>(3)</sup>

### **Clasificación de las Estructuras <sup>(3)</sup>**

El reporte técnico del *AISE, Technical Report N° 13*, divide las estructuras en función de la frecuencia de uso, en cuatro categorías. Se describe a continuación cada una de estas:

- CLASE A: Son todas aquellas estructuras cuyos miembros experimenten entre 500.000 a 2'000.000 de repeticiones o por encima de 2'000.000 de repeticiones, dentro de una vida útil estimada de 50 años.
- CLASE B: estructuras cuyos miembros experimenten entre 100.000 y 500.000 ciclos de una carga específica. Otra categorización propone un escenario donde la estructura oscile entre 5 a 25 repeticiones diarias de una carga determinada durante un periodo de vida de 50 años.
- CLASE C: estructuras cuyos miembros experimentan entre 20.000 y 100.000 ciclos de una carga específica en el tiempo de vida útil estimado. Otra categorización sería si la estructura percibe de 1 a 5 repeticiones diarias de una carga definida por una vida útil aproximada de 50 años.
- CLASE D: es toda estructura cuyos miembros estén sujetos a un máximo de 20.000 repeticiones de una carga específica durante la vida útil estimada de la estructura.

### **Clasificación de las Grúas <sup>(3)</sup>**

La *CMAA Specification #70*, establece su clasificación de forma que se obtenga la grúa más económica en acorde con las especificaciones de la misma. Este tipo de clasificación se basa en

un “espectro de carga” la cual refleja las condiciones actuantes de servicio siendo estas tan cercanas como sea posible a la realidad.

El espectro de carga es una carga media efectiva, distribuida uniformemente sobre una escala de probabilidad y aplicada al equipo en una frecuencia establecida. El dimensionamiento apropiado del equipo para cumplir con una función dada, es determinado por las magnitudes de cargas variables y ciclos de carga, siendo posible expresarlos en términos del factor de carga media efectiva, de la siguiente forma:

$$k = \sqrt[3]{w_1^3 P_1 + w_2^3 P_2 + w_3^3 P_3 + \dots + w_n^3 P_n} \quad \text{ec (1)}$$

Donde,

W = Magnitud de la carga; expresada como porcentaje de cada elevación de la carga nominal.

P = Probabilidad de la carga; expresada como porcentaje de los ciclos bajo cada condición de carga del total de ciclos. La sumatoria de probabilidades de carga P debe ser igual a 1.

k = Media efectiva del factor de carga. Usada solo para establecer clase de servicio de la grúa.

Todas las clases de grúas son afectadas por las condiciones de operación, es así que para propósitos de la clasificación, se asume que el puente grúa opera en condiciones climáticas normales, a temperatura ambiente (-17.7° a 40°C) y a condiciones atmosféricas regulares (libre de polvo excesivo, humedad y humos corrosivos).

Por lo tanto, las grúas pueden ser clasificadas en grupos de carga acorde a las condiciones de servicio de la sección más crítica de la grúa. En base a lo que se ha mencionado hay lo siguiente:

- CLASE A - Servicio No Frecuente o “Stand by”: Esto cubre grúas en instalaciones comunes donde es preciso manejar equipos a bajas velocidades con largos periodos detenido. Cargas a la capacidad nominal son muy poco frecuentes.
- CLASE B - Servicio Ligero: Esta clasificación encasilla instalaciones cuyos requerimientos de servicio son ligeros y de baja velocidad. Las cargas varían desde casi nulas hasta llegar ocasionalmente a la carga nominal con un rango entre 2 a 5 elevaciones por hora.
- CLASE C - Servicio Moderado: Los requerimientos de servicio se incrementan a un nivel moderado. Las grúas manejan cargas del 50% de la carga nominal en un rango de 5 a 10

elevaciones por hora pero sin sobrepasar el 50% de izajes a carga nominal.

- CLASE D - Servicio Pesado: En esta clasificación se manejan constantemente cargas cercanas al 50% de la capacidad nominal con un rango de 10 a 20 elevaciones por hora. Las altas velocidades son deseables. Sin embargo, no sobrepasan un 65% de elevaciones a capacidad nominal.
- CLASE E - Servicio Severo: Las cargas manejadas en esta clasificación son cercanas a la capacidad nominal y a lo largo de su vida útil. El rango aumenta a 20 o más elevaciones por hora a capacidad nominal.
- CLASE F - Servicio Severo Continuo: Los requerimientos en este tipo de grúa son cargas siempre cercanas a la capacidad nominal de forma continua a lo largo de la vida útil de la grúa. Usualmente son grúas con diseño especial para aplicaciones de trabajo crítico.

La clasificación de grúas de la *CMAA 70* no se relaciona directamente con las condiciones de carga por fatiga del *AISC*. Basados en el promedio de elevaciones de cada clasificación de grúa *CMAA 70*, la clase de grúa correspondiente a las condiciones de carga del *AISC*, se muestran en la siguiente tabla:

**TABLA 1** <sup>(3)</sup>**CONDICIONES DE CARGA DE LA GRÚA**

Clasificación CMAA 70	Condiciones de Carga AISC
A, B	1
C, D	2
E	3
F	4

Tabla extraída del *AISC Steel Design Guide 07*

El número aproximado de ciclos de carga por cada condición de carga, según el AISC, se representa en la siguiente tabla:

**TABLA 2** <sup>(3)</sup>**CICLOS DE CARGA AISC**

Condiciones de Carga	Desde	Hasta
1	20.000 a	100.000 b
2	100.000	500.000 c
3	500.000	2'000.000 d
4	> 2'000.000	-

a Equivalente aproximado de 2 aplicaciones diarias por 25 años.  
b Equivalente aproximado de 10 aplicaciones diarias por 25 años.  
c Equivalente aproximado de 50 aplicaciones diarias por 25 años.  
d Equivalente aproximado de 200 repeticiones diarias por 25 años.

Tabla extraída del *AISC Steel Design Guide 07*

En base a la experiencia laboral de esta planta metalmecánica, se establece un promedio de 05 elevaciones por hora por lo que su clasificación recaería en una Clase C - Servicio Moderado, de acuerdo a la clasificación CMAA 70

### **Cargas**

Las cargas debido a grúas y afines, son consideradas cargas separadas de otras cargas vivas que usualmente se basan en la ocupación y en efectos ambientales tales como la lluvia, nieve, viento, fuerzas sísmicas, cargas laterales causadas por presión del suelo y el agua, y efectos por temperatura ya que son independientes de todo esto. Se establecerá conceptos básicos de las cargas que intervienen en este proyecto de graduación, para lo cual se hace referencia a la guía de diseño de la *CISC, Crane-Supporting Steel Structures Design Guide* y al código, *ASCE 7-05 Minimum Design Loads for buildings and other Structures*.

Las cargas de grúas poseen características únicas que llevan a las siguientes consideraciones:

- a. Factor de Impacto, aplicado a cargas verticales en las ruedas para satisfacer los efectos dinámicos del movimiento de la grúa



- y otros efectos como el izaje de cargas desde el suelo y por el frenado del mecanismo de traslación.
- b. Para grúas simples, la improbabilidad de ciertas cargas, algunas de corta duración, de actuar simultáneamente.
  - c. Para grúas múltiples de un solo pasillo o de varios pasillos, las combinaciones de carga están restringidas a aquellas con una razonable probabilidad de ocurrencia.
  - d. Las cargas laterales están aplicadas al riel de la grúa para contabilizar por efectos tales como las fuerzas de aceleración y frenado del polipasto con carga izada, la variación de la grúa mientras viaja sobre el riel, desalineamiento del riel y el izaje no vertical de cargas.
  - e. Fuerzas longitudinales por aceleración y frenado del puente grúa y el izaje no lateral son considerados.
  - f. Los topes finales de las carrileras son diseñados para posibles impactos accidentales a velocidad máxima del puente grúa.
  - g. Ciertas clases especializadas de puentes grúas tales como las magnéticas, de cuchara, de mástil rígido requieren consideraciones especiales. <sup>(4)</sup>

**Carga Muerta** <sup>(5)</sup>

Consiste de todas las cargas ejercidas por aquello que esté incorporado a la estructura y siempre están presentes durante cualquier interacción de la misma. Ejemplos de estas cargas son: el peso de la estructura metálica, mecanismos varios y equipos fijos que se sostienen al puente grúa.

**Carga Viva** <sup>(5)</sup>

Una carga que es producto del uso y ocupación de estructuras, distintas de cualquier carga considerada como Carga Muerta, será referida como Carga Viva. Entre estas se encuentran fuerzas resultantes de movimientos sesgados, cargas en pasarelas y pasamanos recaen bajo esta clasificación también.

**Impacto Vertical** <sup>(3)</sup>

El concepto de impacto vertical es considerado como una carga inducida puesto que su aplicación se limita a las cargas verticales, resultantes de la influencia del puente grúa, y ejercido sobre las ruedas de las testeras. Se establece como la resultante de la multiplicación de la carga viva por un factor de mayorización. La guía de diseño *AISC Steel Design Guide 07 Industrial Buildings: Roofs to Anchor Rods*, propone dos aproximaciones: según el código

*ASCE 7-05 Minimum Design Loads for buildings and other Structures* y según el reporte técnico *AISE Technical Report N° 13*.

Para el caso del *ASCE 7-05*, el impacto vertical depende del tipo de control existente sobre el puente grúa. A continuación se detallan los valores del factor de mayorización en cada caso:

- |                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| ➤ Grúas monorraíl (energizada)                     | 25% |
| ➤ Grúas operadas a control remoto (energizada)     | 25% |
| ➤ Grúas operadas por control pendular (energizada) | 10% |
| ➤ Grúas de operación manual (no energizada)        | 0%  |

Es más sencillo para el caso del reporte técnico N° 13 del *AISE*, puesto que establece el factor de mayorización en un 25% para todos los tipos de grúa, excepto para el caso de puentes grúas usadas en cuartos de mantenimiento, donde su factor se propone en 20%.

Para el caso de este proyecto, el factor de incremento usado será del 10%, según lo establecido en el código *ASCE 7-05*, pues se define la operación del puente grúa a través de una botonera a nivel

del suelo. Esta característica del puente es decisión de la empresa metalmeccánica.

### **Empuje Lateral** <sup>(3)</sup>

Es una fuerza lateral de corta duración aplicada transversalmente por las ruedas de la grúa hacia los rieles. Esta fuerza surge de una, o más de una, de las siguientes causas:

- Aceleración o frenado del polipasto.
- El impacto del polipasto con los topes de fin de carrera.
- Izaje no vertical.
- El movimiento sesgado del puente grúa sobre las carrileras.
- Desalineamiento de los rieles del puente grúa.

El código *ASCE 7-05 Minimum Design Loads for buildings and other Structures*, considera al efecto del empuje lateral en el diseño al calcularlo como el veinte por ciento de la resultante de la sumatoria entre la capacidad de carga del puente grúa y el peso total del equipo de izaje.

### **Combinaciones de Carga** <sup>(5, 6)</sup>

El fundamento teórico para el diseño del puente grúa, se basa en el código *ANSI/AISC 360-10: Specification for Structural Steel Buildings*. Respecto a las combinaciones de carga, usualmente los distintos códigos para el diseño de estructuras metálicas no contienen información de cómo combinar las distintas cargas relacionadas al puente grúa. Sin embargo, el *ANSI/AISC 360-10* establece que en la ausencia de cualquier código de diseño específico, se debe utilizar las combinaciones de carga estipuladas en el *ASCE 7-05 Minimum Design Loads for buildings and other Structures*.

Se conoce que no existe en el medio un factor climático extremo que obligue a considerar sus efectos sobre el diseño, por lo tanto serán despreciados en este proyecto de graduación. Es así que de entre las distintas opciones de combinaciones que refiere el *ASCE 7-05*, la más crítica combinación de carga utilizada será la siguiente:

$$1,2D + 1,6L \qquad \text{ec (2)}$$

#### **1.4.1. Criterios de Diseño para Viga Cargadora**

Para el diseño de la viga cargadora, se harán referencia las siguientes manuales, especificaciones y guías de diseño:

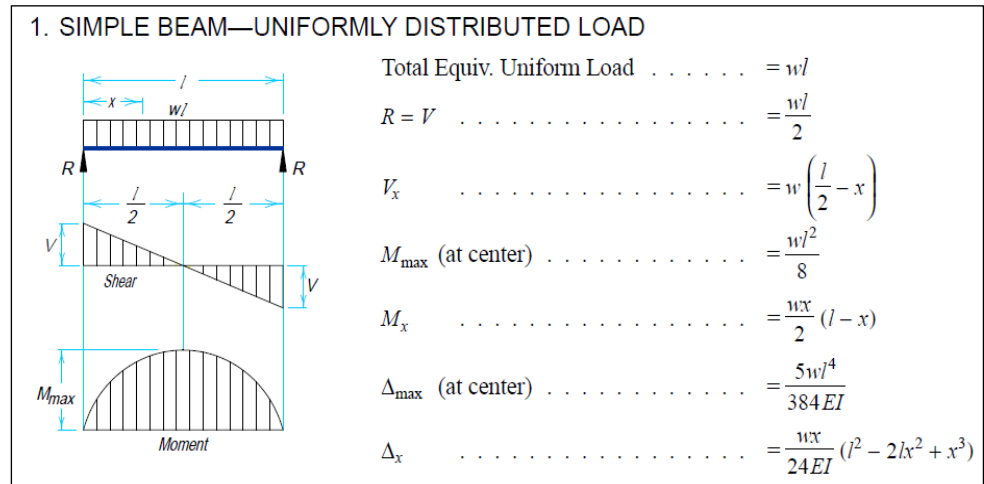
- *ANSI/AISC 360-10: Specification For Structural Steel Buildings*
- *AISC Manual Of Steel Construction: Load & Resistance Factor Design*
- *AISC Design Guide 07 Industrial Buildings - Roofs To Anchor Rods*

La guía de diseño *AISC Design Guide 07* presenta, entre la diversa información de diseño, criterios para establecer deformaciones permisibles bajo cargas del puente grúa, en función de su clase acorde al *CMAA 70*. Por tanto se tiene:

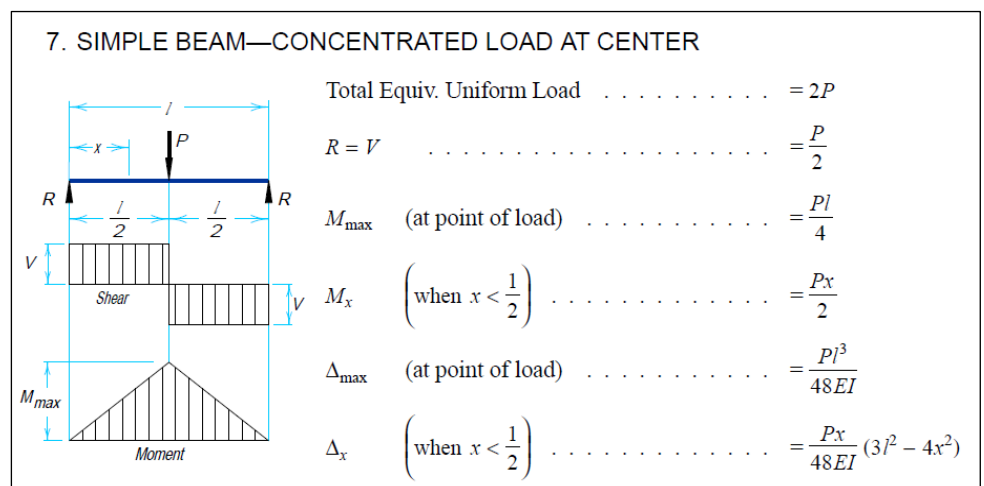
1. *CMAA 70* Clase A, B y C: Deformación máxima  $< L/600$
2. *CMAA 70* Clase D: Deformación máxima  $< L/800$
3. *CMAA 70* Clase E y F: Deformación máxima  $< L/1000$

Para deflexiones laterales se establece que, indiferente de la clase *CMAA 70*, la deflexión permisible siempre estará por debajo de  $L/400$ . <sup>(3)</sup>

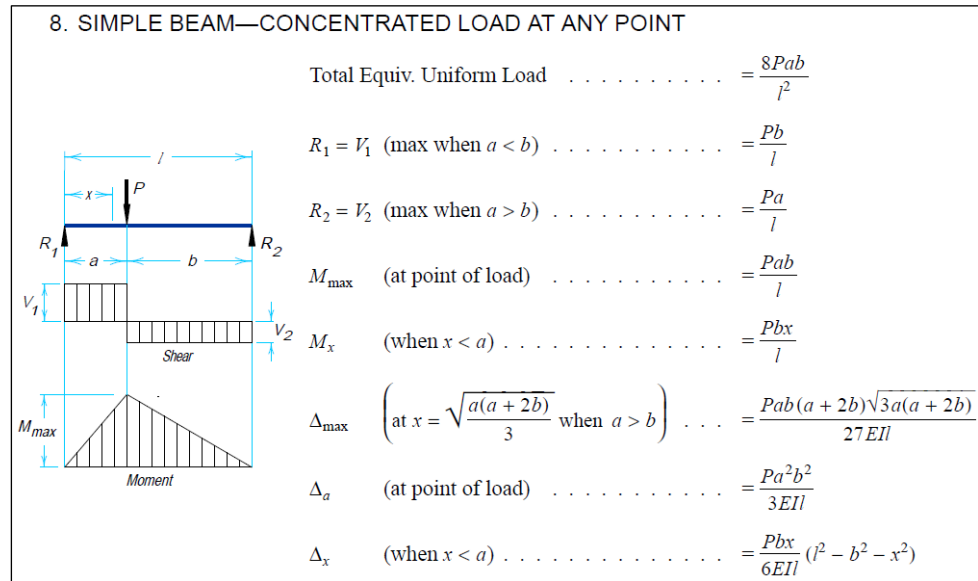
El *AISC Manual Of Steel Construction*, provee casos predeterminados, siendo los más adecuados para el escenario de este proyecto de graduación, los siguientes:



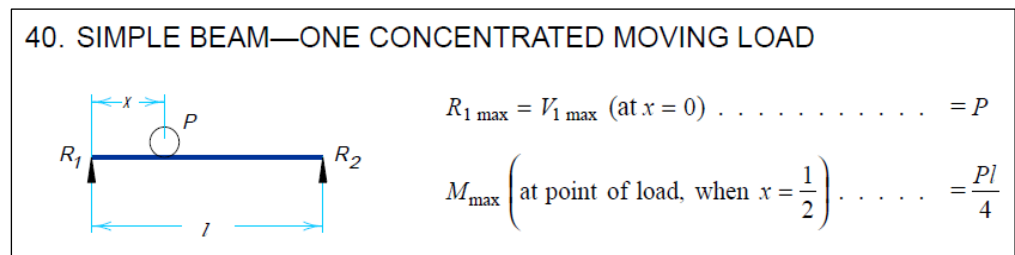
**FIGURA 1.3 CARGA DISTRIBUIDA (7)**



**FIGURA 1.4 CARGA PUNTUAL EN EL CENTRO (7)**



**FIGURA 1.5 CARGA PUNTUAL EN CUALQUIER SITIO (7)**



**FIGURA 1.6 CARGA PUNTUAL MOVIL (7)**

El diseño a realizar, se centra en el capítulo *F: Design for Member for Flexure del ANSI/AISC 360-10: Specification For Structural Steel Buildings*, que describe el diseño de elementos a flexión simple alrededor de uno de sus ejes principales.



Para hallar la resistencia de diseño a flexión,  $\phi_b M_n$ , se establece un valor de  $\phi_b = 0.9$ . La resistencia a flexión nominal  $M_n$ , se determina en función del tipo de perfil, relaciones ancho-espesor, longitud no arriostrada y del estado límite que gobierna el diseño los cuales son descritos en cada subcapítulo.

El proyecto establece el uso de una viga I laminada con doble simetría, centrando su análisis entre los subcapítulos *F2: Doubly symmetric compact I-shaped members and channels bent about their major axis* y *F3: Doubly symmetric I-shaped members with compact webs and noncompact or slender flanges bent about their major axis*. La diferencia entre ellos depende de la esbeltez de los elementos del perfil. Para realizar el diseño deseado, se siguió los siguientes pasos:

1. Determinar Momento  $M_u$

El valor  $M_u$  se determina por medio de la siguiente combinación:

$$M_u = 1.2M_D + 1.6M_L \quad \text{ec (3)}$$

Para obtener el momento por carga muerta  $M_D$ , se considera el peso propio del perfil. Se calcula al utilizar las ecuaciones del caso

1 ilustrado en la figura 1.3. Al no conocer el perfil y con el afán de realizar una aproximación preliminar, se hará caso omiso de la influencia del peso propio del perfil sobre la ecuación de momento último  $M_u$ .

El momento por carga viva  $M_L$  está relacionado a cargas en movimiento sobre el perfil, es decir, la carga izada por el puente grúa más el peso del mecanismo de izaje. Recordar que debe ser mayorada mediante el factor de impacto. Se tiene lo siguiente:

$$M_u = 1.6M_L \cdot \text{Factor de Impacto} \quad \text{ec (4)}$$

Al final, se realizará una comprobación que incluya la influencia del peso propio del perfil seleccionado sobre el momento último  $M_u$ .

## 2. Obtener Modulo Plástico $Z_x$

El momento nominal bajo el estado límite de fluencia, se establece bajo la siguiente ecuación:

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x \quad \text{ec (5)}$$

Donde,

$F_y$  = Resistencia a la fluencia del acero

$Z_x$  = Modulo plástico alrededor del eje x

La resistencia de diseño en flexión,  $\phi_b M_n$ , debe ser mayor que el momento ultimo  $M_u$ . Esta comparación determinará si el perfil seleccionado posee la capacidad para soportar la situación de carga actuante. Por lo tanto se tiene que:

$$M_u \leq \phi_b M_n = \phi_b \cdot F_Y \cdot Z_X \quad \text{ec (6)}$$

Si se iguala el momento ultimo  $M_u$  a la resistencia de diseño en flexión  $\phi_b M_n$ , se obtendrá la siguiente expresión que permitirá despejar el mínimo valor del módulo plástico  $Z_x$ :

$$Z_X = \frac{M_u}{\phi_b \cdot F_Y} \quad \text{ec (7)}$$

### 3. Obtener Inercia $I_x$

La deformación máxima producida por la carga viva, utilizando las ecuaciones del caso 7 (viga simplemente apoyada con carga puntual en el centro), ilustradas en la figura 1.4, tiene la siguiente ecuación:

$$\Delta_{max} = \frac{PL^3}{48EI_x} \quad \text{ec (8)}$$

El criterio de las deformaciones máximas admisibles descrito por la *AISC Design Guide 07* establece lo siguiente:

$$\Delta_{max} \leq \Delta_{adm} \quad \text{ec (9)}$$

Es así como se puede despejar un valor de la inercia  $I_x$  con la siguiente ecuación:

$$I_x = \frac{PL^3}{48E\Delta_{adm}} \quad \text{ec (10)}$$

Donde,

$E$  = Modulo de Elasticidad

$I_x$  = Inercia mínima alrededor del eje x

La deformación admisible  $\Delta_{adm}$ , puede tomar un valor entre  $L/600$ ,  $L/800$  o  $L/1000$ , dependiendo de la clase de puente grúa según la *CMAA 70*. Los valores de  $I_x$  y  $Z_x$ , dan información suficiente para seleccionar un perfil preliminar.

#### 4. Determinar la resistencia de diseño en flexión, $\phi_b M_n$

El valor del momento nominal  $M_n$  depende si el alma o alas de la sección son compactas. Una *sección compacta* es aquella que tiene un perfil lo suficientemente robusto de manera que es capaz de desarrollar una distribución de esfuerzos totalmente plástica antes

de pandearse. Para establecer esto se debe obtener las relaciones ancho-espesor y compararse con los límites  $\lambda_p$  y  $\lambda_r$  de la tabla B4.1b de la especificación ANSI/AISC 360-10. Esta tabla se encuentra en el apéndice A, al final de este proyecto de graduación.

$$\lambda_{alma} = \frac{h_w}{t_w} \quad \text{ec (11)}$$

$$\lambda_{p\ alma} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ec (12)}$$

*Si  $\lambda_{alma} \leq \lambda_{p\ alma} \therefore$  Alma es Compacta*

$$\lambda_{r\ alma} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ec (13)}$$

*Si  $\lambda_{alma} > \lambda_{r\ alma} \therefore$  Alma es Esbelta*

$$\lambda_{ala} = \frac{b_f}{2t_f} \quad \text{ec (14)}$$

$$\lambda_{p\ ala} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ec (15)}$$

*Si  $\lambda_{ala} \leq \lambda_{p\ ala} \therefore$  Ala es Compacta*

$$\lambda_{r\ ala} = 1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ec (16)}$$

*$\lambda_{ala} > \lambda_{r\ ala} \therefore$  Ala es Esbelta*

En caso que la sección sea compacta, se regirá el diseño por lo establecido en el subcapítulo *F2*, de lo contrario se hará uso del *F3*.

El subcapítulo *F2*, está dirigido a secciones con alas y almas compactas donde rigen dos estados límites: *Fluencia* y *Pandeo Lateral-Torsional*. En el subcapítulo *F3*, las secciones analizadas tienen alma compacta y alas no compactas o esbeltas, donde rigen dos estados límites: *Pandeo Lateral-Torsional* y *Pandeo Local del Ala*. A continuación se describirán los estados límites mencionados.

#### **A. Fluencia**

$$M_n = M_p = F_Y \cdot Z_X \quad \text{ec (17)}$$

#### **B. Pandeo Lateral-Torsional**

Este estado de fluencia depende de los valores  $L_p$ ,  $L_b$  y  $L_r$ . Por definición,  $L_p$  es el límite de la longitud no arriostrada para el estado límite de fluencia. Se conoce al valor  $L_r$  como el límite de la longitud no arriostrada para el estado de pandeo lateral-torsional inelástico y al valor  $L_b$  como la longitud no arriostrada, siendo esta la longitud entre apoyos de la viga a diseñar puesto que por su uso no es posible proveer de arriostramientos laterales a la viga. Una más detallada explicación respecto a los valores límites  $L_p$ ,  $L_b$  y  $L_r$ , puede

encontrarse en el apéndice B, al final de este proyecto de graduación.

➤ Longitud  $L_p$

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ec (18)}$$

➤ Longitud  $L_r$

$$L_r = 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot F_y} \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot F_y}{E}\right)^2}} \quad \text{ec (19)}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y \cdot C_w}}{S_x} \quad \text{ec (20)}$$

La especificación *ANSI/AISC 360-10: Specification for Structural Steel Buildings*, establece que para perfiles I doblemente simétricos, el coeficiente  $c$  es igual a 1. (6)

Con los valores de  $L_p$ ,  $L_b$  y  $L_r$ , existen tres posibles casos que conllevan a sus respectivos métodos para obtener el valor del momento nominal  $M_n$ .

**Caso #1**  $L_b \leq L_p$

El estado límite de pandeo lateral-torsional no aplica.

**Caso #2**  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 \cdot F_y \cdot S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad \text{ec (21)}$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \quad \text{ec (22)}$$

Donde,

$M_{max}$ , es el momento máximo.

$M_A$ , es el momento a  $\frac{1}{4}$  de la luz de la viga.

$M_B$ , es el momento a  $\frac{1}{2}$  de la luz de la viga.

$M_C$ , es el momento a  $\frac{3}{4}$  de la luz de la viga.

**Caso #3**  $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad \text{ec (23)}$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left( \frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left( \frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \quad \text{ec (24)}$$

### C. Pandeo Local del Ala

En este estado límite, el momento nominal  $M_n$  depende de que las alas de la sección sean no compactas o esbeltas.

➤ Para secciones con alas no compactas:

$$M_n = M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \quad \text{ec (25)}$$



➤ Para secciones con alas esbeltas:

$$M_n = \frac{0.9Ek_c S_x}{\lambda^2} \quad \text{ec (26)}$$

Donde,

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

$$\lambda_{pf} = \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \quad \text{esbeltez limitante para alas compactas.}$$

$$\lambda_{rf} = \lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \quad \text{esbeltez limitante para alas no compactas.}$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}, \quad \text{no podrá ser menor que 0,35 o mayor a 0,76.}$$

Por lo tanto se tiene que dependiendo del estado límite y sus respectivas condiciones puntuales, se puede obtener un valor para la resistencia de diseño en flexión  $\phi_b M_n$ , donde  $\phi_b$  es 0,9.

##### 5. Comparar $M_u \leq \phi_b M_n$

Es necesario comparar los términos del momento último  $M_u$  y la resistencia de diseño en flexión  $\phi_b M_n$ , para garantizar que el perfil seleccionado este en capacidad de soportar la carga actuante. Antes de realizar esta comparación, se debe agregar la influencia del peso propio del perfil como carga muerta  $M_D$ .

$$M_u = (1.2M_D) + (1.6M_L \cdot \text{Factor de Impacto}) \quad \text{ec (27)}$$

$$M_u \leq \phi_b M_n \quad \text{ec (28)}$$

### **Revisión de Cortante sobre Diseño de Viga Cargadora**

Esta sección se encargará de comprobar la resistencia a cortante que tiene la viga cargadora diseñada acorde a la sección anterior. A pesar de que esta condición no gobierna el diseño, este cumplimiento dará más confianza y seguridad.

Se hará uso del capítulo *G: Design of Member for Shear* de la especificación *ANSI/AISC 360-10: Specification For Structural Steel Buildings*, que describe el diseño de almas sujetas a cortante en el mismo plano, perteneciente a elementos con simple o doble simetría.

La resistencia de diseño a cortante  $\phi_v V_n$ , se halla al establecer un valor de  $\phi_v = 0.9$ . La resistencia a cortante permisible  $V_n$ , de acuerdo al subcapítulo G2 de perfiles doblemente simétricos con almas arriostradas o no arriostradas, se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_n = 0,6 * F_y * A_w * C_v \quad \text{ec (29)}$$

Sin embargo, este subcapítulo establece coeficientes de  $\phi_v = 1$  y  $C_v = 1$ , cuando el perfil de diseño es una viga I laminada que cumpla la siguiente relación:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ec (30)}$$

Para homologar que el perfil seleccionado cumple con los requerimientos por cortante se debe cumplir lo siguiente:

$$V_u \leq \phi_v V_n \quad \text{ec (31)}$$

Adicionalmente, el diseño de la viga no requerirá de rigidizadores transversales si se cumple la siguiente relación:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 2,46 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ec (32)}$$

### **Revisión ante Concentración de Cargas Puntuales sobre Diseño de Viga Cargadora**

La aplicación de cargas puntuales concentradas provenientes del equipo de izaje viajando sobre el ala de la viga cargadora, obliga a revisar su efecto sobre la misma. Se hará uso del subcapítulo *J10: Flanges and Webs with Concentrated Forces*, específicamente el

*J10.1: Flange Local Bending* de la especificación *ANSI/AISC 360-10: Specification For Structural Steel Buildings*, que analiza la concentración de cargas sobre alas de secciones I.

La resistencia de diseño para el estado límite de pandeo local del ala  $\phi R_n$ , se halla al establecer un valor de  $\phi = 0.9$  y definir la resistencia permisible  $R_n$  bajo la siguiente ecuación:

$$R_n = 6,25 * F_{yf} * (t_f^2) \quad \text{ec (33)}$$

Donde,

$F_{yf}$ , es la tensión de fluencia mínima específica del ala.

Este subcapítulo, también menciona que no hay necesidad de revisar este estado límite cuando la longitud de carga a través del ala del perfil es menor al 15% del ancho del ala de la viga ( $L_{carga} < 0,15b_f$ ). Tener en cuenta que para el caso de este proyecto de graduación la longitud de carga a través del ala del perfil equivale al ancho de la rueda del polipasto que se encuentra en contacto con el ala de la viga cargadora.

### 1.4.2. Criterios de Diseño para Vigas Carrileras

El procedimiento de diseño de las carrileras se asemeja bastante al de la viga cargadora, con la diferencia de ciertos detalles distintivos. Las cargas móviles generadas por el movimiento de traslación del puente grúa, producen fuerzas verticales y horizontales sobre las carrileras. Estas son transmitidas por cada rueda de las testeras, determinando así el número de cargas móviles actuantes.

Su configuración simula una viga continua con múltiples apoyos, pero para realizar un dimensionamiento preliminar se analizará solo un tramo considerándola como una viga simplemente apoyada. La guía de diseño *AISC Steel Design Guide 07 Industrial Buildings: Roofs to Anchor Rods*, menciona que para el caso de un solo puente grúa, cada sección de viga que conforma la carrilera debe ser diseñada con la grúa en la peor ubicación posible. Sin embargo, el comportamiento real del perfil se determinará con la ayuda de un software de diseño asistido.

#### 1. Determinar el momento último $M_u$

El valor del momento último  $M_u$  se determina con la siguiente combinación:

$$M_u = 1.2M_D + 1.6M_L(\text{Factor Impacto}) \quad \text{ec (34)}$$

Las carrileras están sujetas a fuerzas horizontales y verticales debido al sistema de izaje que transita sobre la misma. Consecuentemente, el momento último  $M_u$  debe ser analizado para cada caso.

Las cargas verticales actuantes son las siguientes:

- a. El peso del perfil de la viga principal y las testeras.
- b. El peso del mecanismo de izaje.
- c. La capacidad del puente grúa.

Las cargas horizontales actuantes son las siguientes:

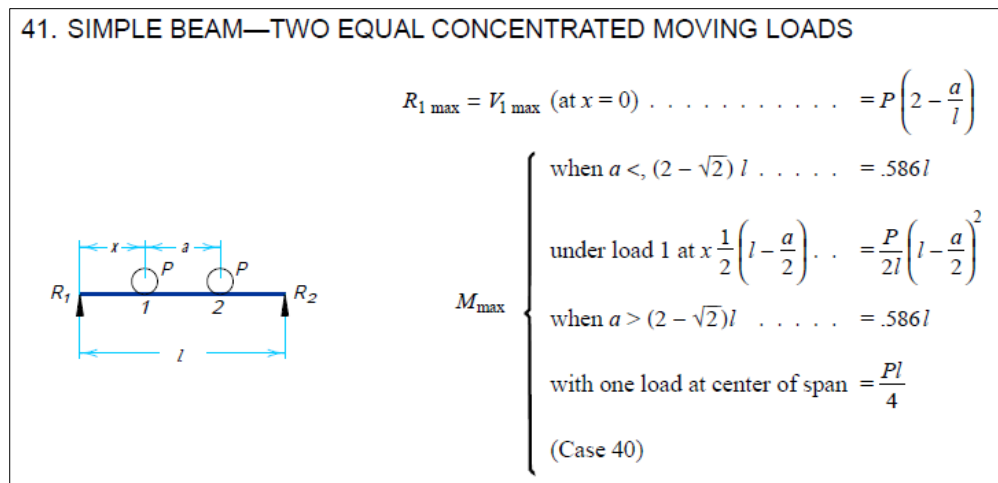
- a. La capacidad del puente grúa.
- b. El peso del mecanismo de izaje.

Se tomará el peso del perfil de la viga cargadora y de las testeras como carga muerta vertical, ya que son variables que se mantienen inherentes al desplazamiento del puente grúa. El resto de fuerzas verticales será tomado como carga viva, sin embargo, la guía de diseño *AISC Design Guide 07* recomienda un valor más conservador al tomar la diferencia de la carga máxima permisible de las ruedas y la carga muerta.

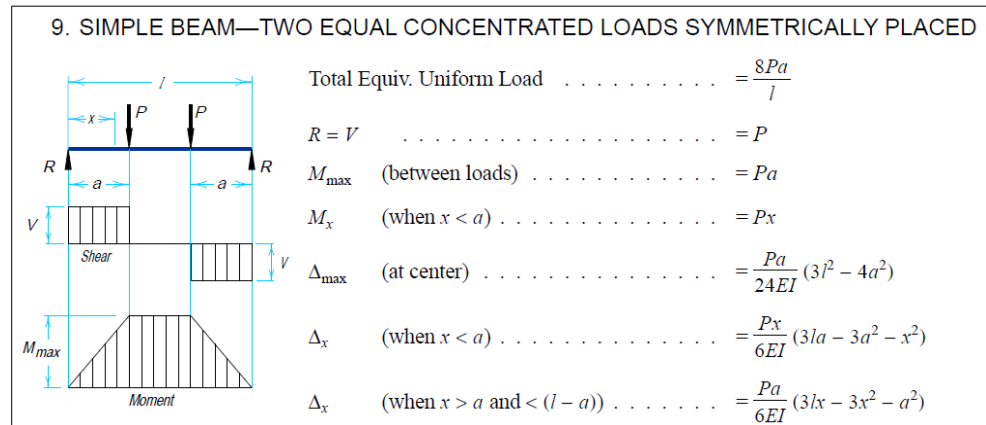
Al final, se realizará una comprobación que incluya la influencia del peso propio del perfil seleccionado sobre el momento último  $M_u$ .

Como se había mencionado antes, para el caso de las cargas horizontales, la guía de diseño *AISC Design Guide 07* la define como el veinte por ciento de la sumatoria de la capacidad del puente grúa y el peso del mecanismo de izaje, sobre cada rueda. (3)

El manual *AISC Manual Of Steel Construction*, provee casos predeterminados, siendo los más adecuados para esta sección del proyecto de graduación, los siguientes:



**FIGURA 1.7 DOS CARGAS CONCENTRADAS MÓVILES (7)**



**FIGURA 1.8 DOS CARGAS EQUIDISTANTES (7)**

2. Obtener el módulo plástico  $Z_{x,y}$

Similar procedimiento para la viga cargadora, pero para cada eje de rotación.

$$Z_X = \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot F_Y} \quad \text{ec (35)}$$

$$Z_y = \frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot F_Y} \quad \text{ec (36)}$$

3. Obtener inercia  $I_{x,y}$

El valor de inercia  $I_{x,y}$  se comportaría, de acuerdo a las ecuaciones del caso 9 ilustradas en la figura 1.8:

$$I_{x,y} = \frac{P_{x,y} * a}{24E\Delta_{adm}} (3l^2 - 4a^2) \quad \text{ec (37)}$$



Donde  $\Delta_{adm}$  en el sentido del eje Y, puede tomar un valor entre  $L/600$ ,  $L/800$  o  $L/1000$ , dependiendo de la clase de puente grúa según la clasificación expuesta por la CMAA 70. En el sentido del eje X, el  $\Delta_{adm}$  tomará un valor de  $L/400$ . Los valores de  $I_{x,y}$  y  $Z_{x,y}$  dan información suficiente para escoger un perfil preliminar.

#### 4. Determinar la resistencia de diseño en flexión, $\phi_b M_n$

La metodología de diseño para hallar la resistencia de diseño en flexión  $\phi_b M_n$ , se mantiene como la analizada en la sección 1.4.1 *Criterios de Diseño para Viga Cargadora*. Para obtener el momento nominal  $M_n$  alrededor del eje débil, la guía *AISC Design Guide 07* recomienda, de manera conservadora, obtener el momento plástico que desarrolla la mitad de la sección debido a que la carga horizontal se ejerce solo sobre esta zona del perfil. Se plantea la siguiente ecuación:

$$M_{nx} = M_P = F_Y \left( \frac{Z_y}{2} \right) \quad \text{ec (38)}$$

#### 5. Flexión Biaxial

Debido a la presencia de cargas en los sentidos X y Y, se debe revisar la resistencia de la sección ante la flexión biaxial mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \leq 1 \quad \text{ec (39)}$$

Donde  $\phi_b$  es igual a 0,9.

## 6. Cortante

De acuerdo a lo establecido en la sección Revisión De Cortante Sobre Diseño De Viga Cargadora, se usara el mismo fundamento para el caso de las vigas carrileras. Por lo tanto se tiene que:

$$V_u \leq \phi_v V_n \quad \text{ec (31)}$$

## 7. Pandeo Lateral del Alma

Cuando existen fuerzas concentradas y aplicadas sobre un perfil no arriostrado, existe la posibilidad de que se induzca un movimiento lateral relativo entre el ala a compresión y a tensión. El subcapítulo *J10: Flanges and Webs with Concentrated Forces*, específicamente el *J10.4: Web Sidesway Buckling* de la especificación *ANSI/AISC 360-10: Specification For Structural Steel Buildings*, establece un valor de  $\phi = 0,85$  para así definir la resistencia a este estado límite como  $\phi R_n$ , donde la resistencia nominal  $R_n$  es función de la relación  $(hw/tw) / (Lb/bf)$  y si el ala a compresión se encuentra restringida contra la rotación. A continuación se detalla cada caso:

### **Ala a compresión está restringida contra la rotación**

a. Cuando  $(hw / tw) / (Lb / bf) \leq 2,3$

$$R_n = \frac{C_r(t_w^3)(t_f)}{h_w^2} \left[ 1 + 0.4 \left( \frac{h_w/t_w}{L_b/b_f} \right)^3 \right] \quad \text{ec (40)}$$

b. Cuando  $(hw / tw) / (Lb / bf) > 2,3 \rightarrow$  El estado límite no aplica.

En caso que la resistencia requerida del alma exceda la resistencia  $\phi R_n$ , el ala de tensión debe ser arriostrada o se debe emplear rigidizadores transversales.

### **Ala a compresión NO está restringida contra la rotación**

a. Cuando  $(hw / tw) / (Lb / bf) \leq 1,7$

$$R_n = \frac{C_r(t_w^3)(t_f)}{h_w^2} \left[ 0.4 \left( \frac{h_w/t_w}{L_b/b_f} \right)^3 \right] \quad \text{ec (41)}$$

b. Cuando  $(hw / tw) / (Lb / bf) > 1,7 \rightarrow$  El estado límite no aplica.

En caso que la resistencia requerida del alma exceda la resistencia  $\phi R_n$ , las dos alas, de tensión y compresión, deben ser arriostradas.

Considerar las siguientes definiciones:

$C_r = 960000 \text{ ksi} = 67,2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ , cuando  $M_u < M_y$

$= 480000 \text{ ksi} = 33,6 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ , cuando  $M_u \geq M_y$

$M_y = \text{Momento de fluencia} = F_y * S_x$

$L_b = \text{La mayor longitud sin arriostrar}$

$b_f = \text{Ancho del ala}$

$h_w = \text{Altura del alma}$

### **1.4.3. Criterios de Diseño para Comprobación de Capacidad de Carga de Estructura Existente**

Nuevamente se hará uso de la especificación *ANSI/AISC 360-10: Specification for Structural Steel Buildings*, específicamente el capítulo *E: Design of Member for Compression*. <sup>(6)</sup>

Para hallar la resistencia de diseño a carga axial  $\phi_c P_n$ , se establece un valor de  $\phi_c = 0,9$ . La resistencia a carga axial  $P_n$ , se determina en función del tipo de perfil, relaciones ancho-espesor, longitud no arriostrada y del estado límite que gobierna el diseño los cuales son descritos en cada subcapítulo. Como se mencionó anteriormente, el proyecto de graduación establece el uso de una columna tipo cercha conformada por canales y ángulos. Para el caso de ángulos se utilizarán los subcapítulos *E3*, *E5* y *E7*. Para los canales se

usarán los subcapítulos *E3* o *E7*. La diferencia entre ellos depende de la esbeltez de los elementos del perfil.

Para realizar el diseño deseado, se seguirá los siguientes pasos:

1. Determinar la carga última  $P_u$

El valor  $P_u$  se determina por medio de la siguiente combinación:

$$P_u = 1.2P_D + 1.6P_L \quad \text{ec (42)}$$

Este valor refiere a cargas axiales de compresión y tensión.

2. Obtener la resistencia de diseño a carga axial a compresión  $\phi_c P_n$

La resistencia nominal a compresión, se establece bajo la siguiente ecuación:

$$P_n = F_{cr} A_g \quad \text{ec (43)}$$

Donde,

$F_{cr}$  = Esfuerzo crítico

$A_g$  = Área de la sección

La resistencia de diseño a carga axial  $\phi_c P_n$ , debe ser mayor que la carga axial última  $P_u$ . Esta comparación determinará si el perfil

seleccionado posee la capacidad para soportar la carga actuante.

Por lo tanto se tiene que:

$$P_u \leq \varphi_c P_n = \varphi_c \cdot F_{cr} \cdot A_g \quad \text{ec (44)}$$

El valor de  $P_n$  depende que el alma o alas de la sección sean esbeltas. Para establecer esto se debe obtener las relaciones ancho-espesor y compararse con el límite  $\lambda_r$  de la tabla *B4.1a* de la especificación *ANSI/AISC 360-10*. Para que una sección no sea esbelta se debe cumplir que  $\lambda \leq \lambda_r$ . A continuación se desglosan las relaciones ancho-espesor para ángulos y canales.

#### ➤ ANGULOS

$$\lambda = \frac{b}{t} \quad \text{ec (45)}$$

$$\lambda_r = 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ec (46)}$$

#### ➤ CANALES

$$\lambda_{alma} = \frac{h_w}{t_w} \quad \text{ec (47)}$$

$$\lambda_{r\ alma} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ec (48)}$$

$$\lambda_{ala} = \frac{b}{t_f} \quad \text{ec (49)}$$

$$\lambda_{r\ ala} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ec (50)}$$

El subcapítulo *E3* de la especificación *ANSI/AISC 360-10*, está dirigido a secciones con elementos NO esbeltos sujetos a compresión. La resistencia a compresión  $P_n$ , bajo el estado límite de pandeo flexionante, actúa bajo la siguiente ecuación:

$$P_n = F_{cr} A_g \quad \text{ec (51)}$$

Consecuentemente, el esfuerzo crítico  $F_{cr}$ , se determina de la siguiente forma:

$$\text{Cuando, } \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad \text{ec (52)}$$

$$\text{Cuando, } \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = 0,877 F_e \quad \text{ec (53)}$$

Donde,

$K$ , Factor de longitud efectiva. (8)

$L$ , Longitud no arriostrada del elemento.

$r$ , Radio de giro de la sección.

El esfuerzo de pandeo flexionante  $F_e$ , se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad \text{ec (54)}$$

El subcapítulo *E5* de la especificación *ANSI/AISC 360-10*, permite determinar el valor de la relación  $KL/r$  en ángulos que forman parte de una cercha plana, los valores son:

$$\text{Cuando, } \frac{L}{r_x} \leq 80 \rightarrow \frac{KL}{r} = 72 + 0,75 \frac{L}{r_x} \quad \text{ec(55)}$$

$$\text{Cuando, } \frac{L}{r_x} > 80 \rightarrow \frac{KL}{r} = 32 + 1,25 \left( \frac{L}{r_x} \right) \leq 200 \quad \text{ec(56)}$$

El subcapítulo *E7* de la especificación *ANSI/AISC 360-10*, aplica a secciones con elementos esbeltos sujetos a compresión. La resistencia a compresión  $P_n$  debe ser el menor valor de los estados límite de pandeo flexionante, pandeo torsional y pandeo torsional flexionante. El esfuerzo crítico  $F_{cr}$  es determinado de la siguiente forma:

$$\text{Cuando, } \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \rightarrow F_{cr} = Q \left[ 0,658 \frac{QF_y}{F_e} \right] F_y \quad \text{ec(57)}$$

$$\text{Cuando, } \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \rightarrow F_{cr} = 0,877 F_e \quad \text{ec(58)}$$

Donde,

$F_e$ , Esfuerzo al pandeo flexionante.

$Q$ , Factor de reducción por elementos esbeltos del perfil.



$$= Q_a * Q_s \quad \text{ec (59)}$$

$Q_s$ , Factor para miembros con elementos no rigidizados.

$Q_a$ , Factor para miembros con elementos rigidizados.

Para ángulos simples, el valor de reducción  $Q_s$  se determina de la siguiente manera:

$$\frac{b}{t} \leq 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \rightarrow \quad Q_s = 1,0 \quad \text{ec (60)}$$

$$0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} \leq 0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \rightarrow \quad Q_s = 1,34 - 0,76 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \text{ec(61)}$$

$$\frac{b}{t} > 0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \rightarrow \quad Q_s = \frac{0,53E}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad \text{ec(62)}$$

El valor de  $Q_a$  es igual a 1 puesto que no hay elementos rigidizados.

Para alas de los canales (elemento no rigidizado) de un miembro sujeto a compresión, el valor de reducción  $Q_s$  se determina de la siguiente manera:

$$\frac{b}{t} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \rightarrow \quad Q_s = 1,0 \quad \text{ec(63)}$$

$$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} < 1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow Q_s = 1,42 - 0,74 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \text{ec(64)}$$

$$\frac{b}{t} \geq 1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow Q_s = \frac{0,69E}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad \text{ec(65)}$$

Para elementos esbeltos rigidizados se usa el factor de reducción  $Q_a$  que se define como:

$$Q_a = \frac{A_e}{A_g} \quad \text{ec (66)}$$

Donde,

$A_g$ , Área gruesa del miembro.

$A_e$ , Área efectiva, sección transversal basada en relación ancho/altura efectivo  $b_e$ .

La relación ancho/altura efectivo  $b_e$  para almas (elemento rigidizado) sigue el comportamiento de la ecuación 67 si se cumple lo siguiente:

$$\frac{b}{t} \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f}}$$

Entonces

$$b_e = 1,92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[ 1 - \frac{0,34}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b \quad \text{ec (67)}$$

Donde,

$f$ , Se toma como  $F_{cr}$  considerando  $Q = 1$

3. Obtener la resistencia de diseño a carga axial a tensión  $\phi_t T_n$

Puesto que los ángulos también están sujetos a fuerzas de tensión, se usará el subcapítulo *D2: Resistencia a Tensión* de la especificación *ANSI/AISC 360-10*.

$$T_u \leq \phi_t T_n \quad \text{ec (68)}$$

Existen dos posibles estados límites: Fluencia y Fractura.

Caso #1: Tensión por fluencia

$$\phi_t = 0,90$$

$$\phi_t T_n = \phi_t F_y A_g \quad \text{ec (69)}$$

Caso #2: Tensión por fractura

$$\phi_t = 0,75$$

$$\phi_t T_n = \phi_t F_u A_e \quad \text{ec (70)}$$

Donde,

$A_g$ , Área gruesa del miembro.

$A_e$ , Área neta efectiva.

$F_y$ , Resistencia a la fluencia del acero.

$F_u$ , Resistencia a la tensión del acero.

El subcapítulo *D3: Área Neta Efectiva* de la especificación ANSI/AISC 360-10, establece que el área neta efectiva  $A_e$ , se halla bajo la siguiente ecuación:

$$A_e = A_n \cdot U \quad \text{ec (71)}$$

Donde,

$U$ , Factor de corte definido en la tabla *D3.1* (Ver Apéndice C para más detalles de esta tabla)

Se debe escoger entre los dos estados límites, el mínimo valor de la resistencia a tensión  $\phi_t T_n$ .

#### 4. Obtener Carga Viva de Cubierta $P_{LC(10)}$

Para esta sección se usa la norma ecuatoriana de la construcción *NEC-SE-CG: Cargas No Sísmicas*. La carga viva, o también denominada *sobrecarga de uso*, depende de la ocupación a la que está destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, mercadería en transición, y otras. El subcapítulo *3.2.3 Reducción de Sobrecargas en Cubiertas*, propone sobrecargas mínimas uniformes

(kN/m<sup>2</sup>) y de carga concentrada (kN) en función del tipo de cubierta a través de la tabla 9. La figura 1.9 muestra el extracto del caso de cubiertas.

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m <sup>2</sup> )	Carga concentrada (kN)
<b>Cubiertas</b>		
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.70	
Cubiertas destinadas para áreas de paseo	3.00	
Cubiertas destinadas en jardinería o patios de reunión.	4.80	
Cubiertas destinadas para propósitos especiales		
Toldos y carpas	i	i
Construcción en lona apoyada sobre una estructura ligera	0.24 (no reduc.)	
Todas las demás	1.00	
Elementos principales expuestos a áreas de trabajo		8.90
Carga puntual en los nudos inferiores de la celosía de cubierta, miembros estructurales que soportan cubiertas sobre fábricas, bodegas y talleres de reparación vehicular		1.40
Todos los otros usos		1.40
Todas las superficies de cubiertas sujetas a mantenimiento de trabajadores		
En la región andina y sus estribaciones, desde una cota de 1000 m sobre el nivel del mar, no se permite la reducción de carga viva en cubiertas para prevenir caídas de granizo o ceniza.		

**FIGURA 1.9 SOBRECARGAS MÍNIMAS DE CUBIERTA** <sup>(10)</sup>

Esta sección plantea una metodología que permite reducir la sobrecarga de cubierta, siempre que esté en conformidad con la siguiente ecuación:

$$L_r = L_o \cdot R_1 \cdot R_2 \quad \text{ec (72)}$$

$$0,60 \leq L_r \leq 1,00$$

Dónde,

$L_r$ , sobrecarga reducida de cubierta en proyección horizontal, en kN/m<sup>2</sup>

$L_o$ , sobrecarga no reducida de cubierta en proyección horizontal, en  $\text{kN/m}^2$

$R_1$  y  $R_2$ , son factores de reducción que siguen el siguiente comportamiento:

Para valores de  $R_1$ :

$$\text{Cuando } A_t \leq 18 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad R_1 = 1$$

$$\text{Cuando } 18 \text{ m}^2 \leq A_t \leq 56 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad R_1 = 1,2 - 0,011A_t$$

$$\text{Cuando } A_t \geq 56 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad R_1 = 0,6$$

Para valores de  $R_2$ :

$$\text{Cuando } F \leq 33,33\% \quad \rightarrow \quad R_2 = 1$$

$$\text{Cuando } 33,33\% \leq F \leq 100\% \quad \rightarrow \quad R_2 = 1,2 - 0,006F$$

$$\text{Cuando } F \geq 100\% \quad \rightarrow \quad R_2 = 0,6$$

Tener en cuenta que:

$A_t$ , Área tributaria en metros cuadrados soportada por el elemento.

$F$ , Pendiente de la cubierta, expresada en porcentaje.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. DISEÑO DE VIGA CARGADORA PARA PUENTE GRÚA**

Este capítulo muestra el resultado numérico de las ecuaciones establecidas anteriormente, respecto a la viga cargadora. Se inicia al establecer cada una de las variables que ingresan en las ecuaciones, partiendo desde la selección de los mecanismos complementarios hasta los detalles del puente grúa. Se expone una metodología que didácticamente, ilustre la selección de los componentes a través de los catálogos utilizados. Luego se recopila esta información en tablas para cada caso de izaje: 05 y 10 toneladas. Esta sección termina con la resolución de las ecuaciones planteadas en el capítulo 1, respecto al diseño de la viga cargadora, para cada caso de izaje. La resolución de las ecuaciones es homologada y complementada mediante el software de diseño asistido SAP2000®.

## 2.1 Selección de Componentes Complementarios

Este proyecto de graduación establece diseñar un puente grúa, con una posible capacidad de entre 05 y 10 toneladas. En el capítulo *1.3 Alcance del Trabajo*, se definió que se seleccionará los distintos elementos que complementan la estructura mencionada. Entre estos se tiene los siguientes:

- a. Testeras junto con sus moto-reductores y ruedas incorporadas.
- b. Polipasto completo con su respectiva pasteca.

Se hará uso de los siguientes catálogos para la selección de los accesorios:

- a. Catálogo comercial Componentes Para Grúa, Industrias GH <sup>(9)</sup>
- b. Catálogo comercial Electric Wire Rope Hoist, Donati <sup>(2)</sup>

Para seleccionar las testeras del puente grúa, se usa el catálogo comercial *Componentes Para Grúa* y por consiguiente el *Electric Wire Rope Hoist* será usado para seleccionar el polipasto. Estos catálogos plantean la selección de los componentes a través de tablas en función de datos esenciales tales como: capacidad del puente grúa, tipo de viga cargadora (monorriel/birriel), luz de viga



cargadora, velocidad promedio de traslación del puente grúa y tipo de testero (apoyado/suspendido). A continuación se desglosa la información necesaria para la selección de los componentes:

**TABLA 3**  
**INFORMACIÓN NECESARIA DEL PUENTE GRÚA**

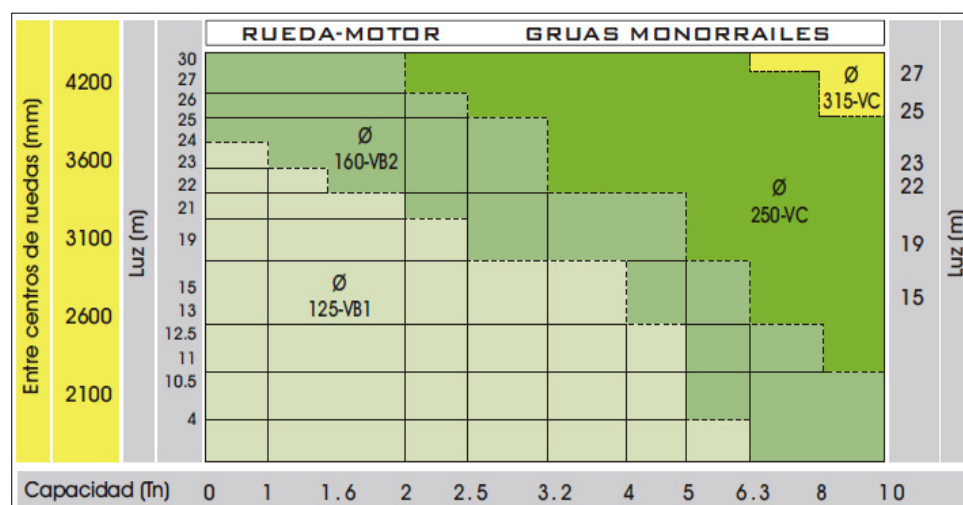
Capacidad de Puente Grúa	05 / 10 Toneladas
Tipo de Viga Cargadora	Monorriel
Luz de Viga Cargadora	1500 cm
Tipo de Testero	Apoyado

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

En base a esta información, se realiza la selección de cada componente. Se debe recordar que inicialmente se plantea un procedimiento de selección y luego se detallan los datos finales, en función de la capacidad de carga.

### **Proceso De Selección De Testeras**

Las testeras son seleccionadas en función de la capacidad del puente grúa, la luz de la viga viajera y su tipo. En función de esta información, se comienza obteniendo de la figura 2.1, el diámetro de las ruedas, la distancia entre centros y la identificación del motor.



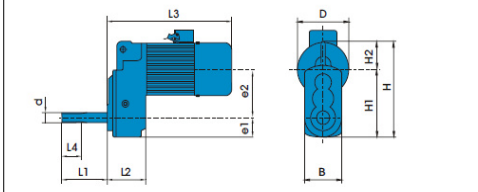
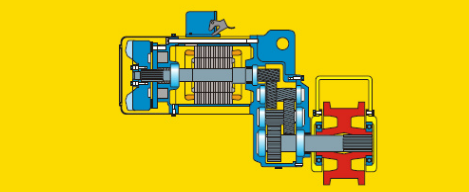
**FIGURA 2.1 SELECCIÓN ORIENTADA DE RUEDAS MOTORES<sup>(9)</sup>**

El fabricante permite seleccionar un reductor de entre 3 hasta 4 trenes, para velocidades estándar y especiales respectivamente. La figura 2.2 muestra posibles velocidades, en función del diámetro de la rueda y número de trenes. Sin embargo, puesto que las cargas por manipular son de dimensiones significativas, la velocidad elegida será siempre la mínima posible. Esta selección puede ser arbitraria, no obstante debería estar basada sobre buenos conceptos de seguridad industrial.

Ø Rueda	Tipo Reduct.	Velocidades posibles en m/min						
		10	15	20	25	30	40	60
125	RFS/125	✗	✗	✗				
160	RFS/160							
250	RFS/250						3T	
315	RFS/315							
400	RFS/400							
500	RFS/500	✗		4T				
630	RFS/630	✗						

**FIGURA 2.2 VELOCIDADES POSIBLES (9)**

La figura 2.3 permite determinar el peso del moto-reductor utilizado en las testeras. También se ilustran dimensiones generales del componente. Su selección es en función de: diámetro de ruedas, motor y reductor.

Peso Kg	Motor tipo	Reductora tipo	Pot. Motor (Kw) F=50 Hz		Ød mm	L1 mm	L2 mm	L3 mm	L4 mm	e1 mm	e2 mm	B mm	Ø D mm	H1 mm	H2 mm	H mm
			3000 Var	3000/750												
24	VB1-60	RFS / 125-3T	0.85	0.40/0.10	34.9	152	112	389	60	60	134.2	120	157.5	194.2	78	273.2
32	VB2-60	RFS / 160-3T	0.85		34.9	166	134	448.5	70	67	168.25	134	157.5	235.25	90	325.25
34	VB2-100			0.75/0.18												
50	VC-85	RFS / 250-3T	1.5		49.9	240	146	492	60	90	218.05	180	218	308.05	109	417.05
54	VC-110		2.5	1.5/0.37												
50	VC-110	RFS / 315-3T	1.5		49.9	250	146	492	60	90	218.05	180	218	308.05	109	417.05
54			2.5	1.5/0.37												
150	VD-110	RFS / 400-3T	5	3/0.75	64.9	316	235	592	65	130	323.7	250	265	453.7	135	588.7
150	VD-110	RFS / 500-3T	5	3/0.75	79.9	332	235	592	65	130	323.7	250	265	453.7	135	588.7
205	VE-110	RFS / 500-3T	7.5	5.1/1.3	79.9	332	235	672	65	130	323.7	250	327	453.7	135	617
320	VE-110	RFS / 630-3T	7.5	5.1/1.3	89.9	399	262	700	55	200	440.9	400	327	640.9	166	806.9

**FIGURA 2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MOTOR (9)**

Las figuras 2.4 y 2.5 recopilan dimensiones y el peso del testero.

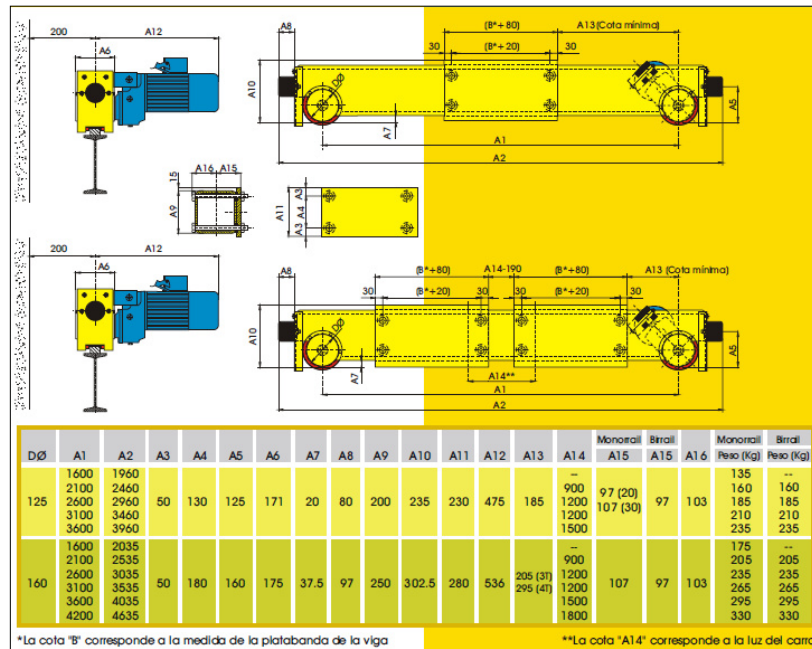


FIGURA 2.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES TESTEROS 1 (9)

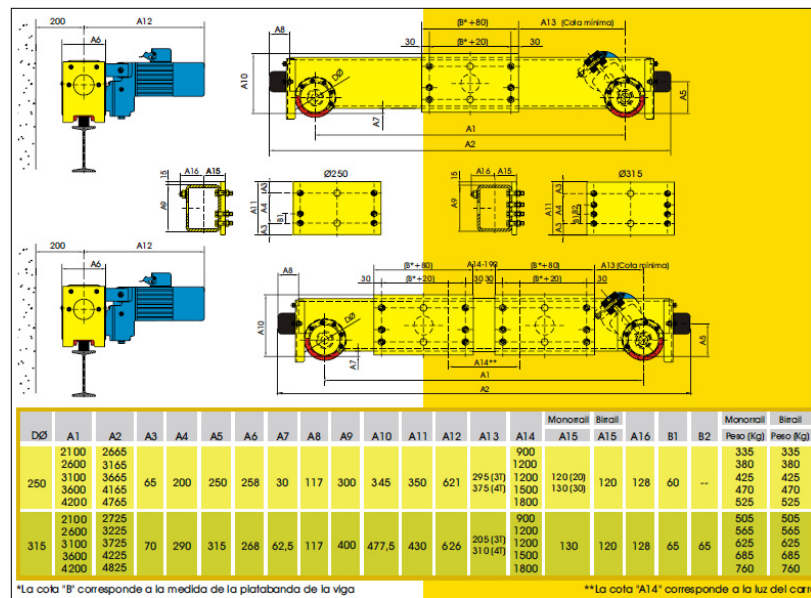


FIGURA 2.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES TESTEROS 2 (9)

Finalmente, la figura 2.6 determina la carga máxima admisible por rueda. Para esto es necesario conocer el diámetro de la rueda, la velocidad de traslación y el ancho del carril de rodadura (K). Este último se lo selecciona arbitrariamente con un valor K igual a 50 mm, en base a que es una medida frecuentemente utilizada.

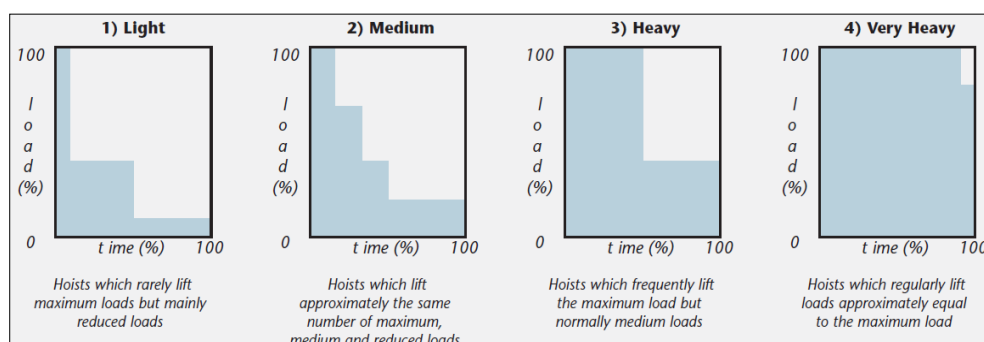
Carga máxima admisible por rueda en GGG70 (daN) S/Normas FEM/UNE Grupo M4						
Ø Rueda	Velocidad de traslación en mm	Ancho carril de rodadura K (mm)				
		40	50	60	70	80
125	20	4500	5000			
	40	3600	4000			
	63	3200	3400			
160	20	5900	7000	8400		
	40	5000	6200	7400		
	63	4400	5400	6400		
250	20	9800	12200	14600		
	40	8900	11100	13400		
	63	8000	10000	12000		
315	20	12700	15800	19000	22000	
	40	11600	14500	17400	20200	
	63	10900	13500	16200	17600	
400	20	16500	20700	24800	28900	30000
	40	15200	18900	22700	26500	30000
	63	14200	17800	21400	24900	27800
500	20		26200	31500	36800	40000
	40		24400	29300	34200	39000
	63		23000	27600	32200	36800
630	20			40500	47200	52800
	40			38000	44300	50600
	63			35800	41800	47700
Cargas para relación $R_{max}/R_{min}=0,35$						
Calidad mínima del rail de rodadura S355 (St52)						

**FIGURA 2.6 CARGA MÁXIMA ADMISIBLE POR RUEDA <sup>(9)</sup>**

La información recopilada servirá para proceder con el dimensionamiento y diseño de los puentes grúa.

### Proceso de Selección de Polipasto.

El catalogo establece 3 parámetros necesarios para la selección de un polipasto eléctrico de cable metálico: la capacidad de izaje, escenario de izaje y la duración de uso diario promedio. El primer parámetro refiere al máximo peso que el equipo elevará, por lo tanto se asocia a la capacidad del puente grúa, oscilando entre un valor de 05 y 10 toneladas. El siguiente parámetro se determina en función del escenario actual de izaje del puente grúa. El catalogo expone la figura 2.7 representando 4 escenarios básicos: Ligero, Medio, Pesado y Muy Pesado. Estos se incrementan a medida que el porcentaje de izajes a carga máxima aumenta en el mismo intervalo de tiempo. Este proyecto de graduación establece un escenario MEDIO, puesto que el porcentaje de izajes a carga máxima coincide con el de la clasificación de grúas acorde a la CMAA 70 (Clase C – Servicio Moderado), establecido en el capítulo anterior.



**FIGURA 2.7, ESCENARIOS DE IZAJE (2)**

Por último, la duración de uso diario promedio sigue la siguiente ecuación:

$$T_m = \frac{C_e \times C/h \times T_i}{30 \times V} \quad \text{ec (73)}$$

Donde,

$C_e$ , es la altura total en metros que eleva el mecanismo.

$C/h$ , es el número de ciclos por hora de elevaciones.

$T_i$ , es el lapso de horas de trabajo.

$V$ , es la velocidad de izaje en m/min

El galpón que aloja el puente grúa tiene columnas con una altura de 6 metros ( $C_e$ ), la planta trabaja una jornada laboral normal de 8 horas ( $T_i$ ) y se promedia un total de 5 elevaciones por hora ( $C/h$ ). A pesar de que el puente grúa puede no llegar a ser de gran tonelaje, las dimensiones de los objetos tienden a ser significativas por lo que es mejor manipularlas a bajas velocidades.

Se hará uso de la mínima velocidad establecida por el catalogo: 4 m/min para un mecanismo de izaje con reducción de 4 cables. En función de estos valores, se obtiene un  $T_m$  de 2 horas. Con los parámetros de selección establecidos, se usa la tabla 4 para determinar el tipo de mecanismo de izaje necesario.



**TABLA 4**  
**SELECCIÓN DE HOIST (2)**

Level of stress		Average daily running time - Tm = Hours						
1) Light Load		≤ 2	≤ 4	≤ 8	≤ 16	> 16	-	
2) Medium Load		≤ 1	≤ 2	≤ 4	≤ 8	≤ 16	> 16	
3) Heavy Load		≤ 0,5	≤ 1	≤ 2	≤ 4	≤ 8	≤ 16	
4) Very Heavy Load		≤ 0,25	≤ 0,5	≤ 1	≤ 2	≤ 4	≤ 8	
Service group of the mechanisms of lifting and translation		ISO 4301/88 FEM 9.511/86	M3 1Bm	M4 1Am	M5 2m	M6 3m	M7 4m	M8 5m
Intermittent use according to FEM standard 9.683/95	Hoist	Ratio of intermittence (RI%)	25	30	40	50	60	60
		N° Start-ups per hour (A/h)	150	180	240	300	360	360
	Trolley	N° Cycles per hour (C/h)	25	30	40	50	60	60
		N° Start-ups per hour (A/h)	120	150	180	240	300	> 360
		N° Cycles per hour (C/h)	20	25	30	40	50	> 60
Two-speed double-polarity motors	N° Start-ups per hour (A/h)	Main speed	1/3 (33. 3 % of total N° of start-ups per hour)					
		Low speed	2/3 (66. 7 % of total N° of start-ups per hour)					
	Daily running time (Tm)	Main speed	2/3 (66. 7 % of the average daily running time)					
		Low speed	1/3 (33. 3 % of the average daily running time)					
Temporary use	Running time at main speed (min)		15	15	30	30	60	> 60
	Running time at low speed (min.)		2,5	3	3,5	4	5	6
	Maximum N° of start-ups per hour (A/h)		10	10	10	10	10	10

Con la información acerca del mecanismo de izaje, se continúa con la tabla 5 para encontrar su identificación.



**TABLA 5**  
**IDENTIFICACIÓN DEL HOIST (2)**

Configuration of ropes (single-grooved drum)			 Configuration 4/1			 Configuration 2/1		
Capacity kg	Letter		DRH Type in relation to FEM group (ISO)			DRH Type in relation to FEM group (ISO)		
	reducer	capacity	1Am (M4)	2m (M5)	3m (M6)	1Am (M4)	2m (M5)	3m (M6)
800	L	D				=>	=>	<b>12L3•D</b>
800	V	D				=>	=>	<b>12V3•D</b>
1000	L	E			14L3•E	=>	12L2•E	12L3•E
1000	V	E			14V3•E	=>	<b>12V2•E</b>	22V3•E
1250	L	F			14L3•F	12L1•F	=>	<b>12L3•F</b>
1250	V	F			14V3•F	<b>12V1•F</b>	22V2•F	<b>22V3•F</b>
1600	L	G			14L3•G	12L1•G	12L2•G	22L3•G
1600	V	G			<b>14V3•G</b>	=>	<b>22V2•G</b>	32V3•G
2000	L	H		14L2•H	14L3•H		22L1•H	22L2•H
2000	V	H		<b>14V2•H</b>	24V3•H		<b>22V1•H</b>	32V2•H
2500	L	I	14L1•I	=>	<b>14L3•I</b>		22L1•I	22L2•I
2500	V	I	<b>14V1•I</b>	24V2•I	24V3•I		=>	32V2•I
3200	L	J	14L1•J	14L2•J	24L3•J	22L1•J	32L2•J	32L3•J
3200	V	J	=>	<b>24V2•J</b>	34V3•J	=>	32V2•J	42V3•J
4000	L	K	<b>14L1•K</b>	24L2•K	24L3•K	32L1•K	32L2•K	32L3•K
4000	V	K	<b>24V1•K</b>	34V2•K	34V3•K	<b>32V1•K</b>	42V2•K	42V3•K
5000	L	L	24L1•L	24L2•L	34L3•L	32L1•L	32L2•L	42L3•L
5000	V	L	=>	34V2•L	34V3•L	=>	42V2•L	
6300	L	M	<b>24L1•M</b>	34L2•M	34L3•M	<b>32L1•M</b>	42L2•M	42L3•M
6300	V	M	=>	<b>34V2•M</b>	44V3•M	<b>42V1•M</b>		
8000	L	N	34L1•N	34L2•N	34L3•N	42L1•N	42L2•N	
8000	V	N	<b>34V1•N</b>	44V2•N	44V3•N			
10000	L	O	34L1•O	34L2•O	44L3•O	<b>42L1•O</b>		
10000	V	O	=>	<b>44V2•O•</b>				
12500	L	P	<b>34L1•P</b>	44L2•P	<b>44L3•P</b>			
12500	V	P	<b>44V1•P</b>					
16000	L	Q	44L1•Q	<b>44L2•Q</b>				
20000	L	R	<b>44L1•R</b>					

Size1 DRH
Size2 DRH
Size3 DRH
Size4 DRH

*NOTE: The "Base" machines are bolded ( es.: **24L2•L** ); variant machines are in normal type ( es.: 24L1•L )  
=> Hoist available in the superior FEM (ISO) service group*

La tonalidad de la celda donde converge la información recopilada determina su identificación. Sin embargo, existe una nota al final de la tabla donde refiere que equipos tabulados en negrita pertenecen a equipos estándar. En base a esto, la identificación del mecanismo de izaje puede cambiarse a la mayor más próxima y de esta manera garantizar el uso de equipos estándar.

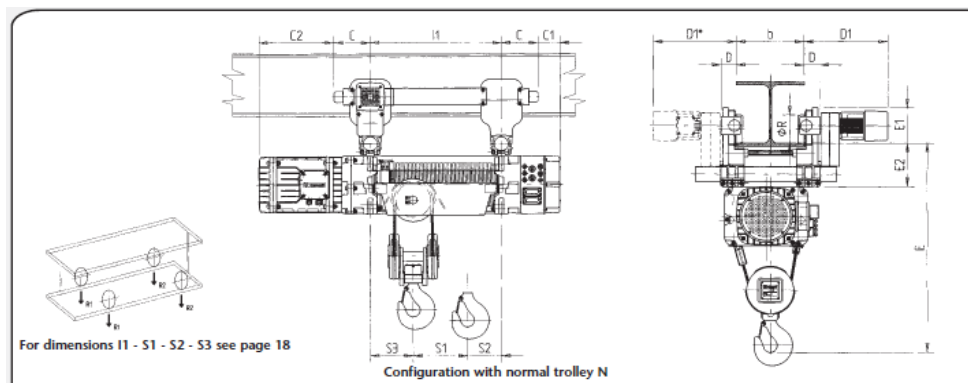
La tabla 6 describe más apropiadamente detalles del equipo pues acumula características técnicas al respecto. Esta información es complementaria al proyecto puesto que no representa significativa influencia sobre el diseño de los puentes grúa.

**TABLA 6**  
**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (2)**

Capacity (kg)	FEM Group of the hoist	Life and service reducers/ motors <sup>(1)</sup>	Type DRH	Typical data of the DRH electric wire rope hoists										Rope <sup>(2)</sup>		Type of trolley on the hoist	
				Speed at 50 Hz (m/min.) <sup>(3)</sup>		Motor power (kW) <sup>(4)</sup>		Lifting height (m) with rope drum <sup>(5)(6)</sup>					N° falls	Ø/Type (mm)	monorail DST - N/R	double girder DRT	
				1 Speed	2 Speed	1 Speed	2 Speed	C	N	L	X1	X2					
5000	1Am	2m	24L1•L	4	4/1,3	4	4/1,3	5	7	10	14	18	4/1	9M (9A)	2	1	
	2m	2m	24L2•L	4	4/1,3	4	4/1,3	5	7	10	14	18	4/1	9M (9A)	2	1	
	3m	5m	34L3•L	4	4/1,3	4	4/1,3	5	7	10	14	19	4/1	12M (12A)	3	2	
	2m	3m	34V2•L	6	6/2	6	6/2	5	7	10	14	19	4/1	13B (13B)	3	2	
	3m	3m	34V3•L	6	6/2	6	6/2	5	7	10	14	19	4/1	12M (12A)	3	2	
	1Am	2m	32L1•L	8	8/2,6	8	8/2,6	10	14	28	37	47	2/1	13M (13A)	2 (8)	2	
	2m	2m	32L2•L	8	8/2,6	8	8/2,7	10	14	28	37	47	2/1	13M (13A)	2 (8)	2	
	3m	4m	42L3•L	8	8/2,6	8	8/2,7	12	16	32	45	58	2/1	15M (15A)	3 (8)	3	
	2m	2m	42V2•L	12	12/4	12	12/4	12	16	32	45	58	2/1	16B (16B)	3 (8)	3	
10000	1Am	2m	34L1•O	4	4/1,3	8	8/2,7	5	7	10	14	19	4/1	13M (13A)	3	2	
	2m	2m	34L2•O	4	4/1,3	8	8/2,7	5	7	10	14	19	4/1	13M (13A)	3	2	
	3m	4m	44L3•O	4	4/1,3	8	8/2,7	6	8	11	17	24	4/1	15M (15A)	4	3	
	2m	2m	44V2•O	6	6/2	12	12/4	6	8	11	17	24	4/1	16B (16B)	4	3	
	1Am	1Am	42L1•O	8	8/2,6	16	16/5,3	12	16	32	45	58	2/1	16A (16A)	3 (8)	3	

La tabla 7 proporciona las dimensiones que posee el equipo junto a su respectivo peso. Luego, la tabla 8 provee las reacciones que ejercerá sobre la viga del puente grúa. Estas tablas están en función del número DRH del equipo seleccionado, el tipo de tambor y la carga de izaje.

**TABLA 7**  
**DIMENSIONES Y PESOS (2)**

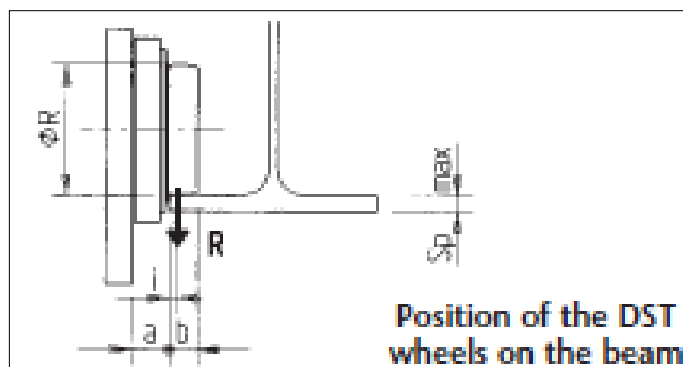


Falls of rope N°	DRH	Type of drum C-N-L	Trolley DST N/S	Weight DRH+DST (kg)	Overall dimensions (mm)									
					C	C1	C2	D	D1	E	E1	E2	E3	r. min.
4/1	1	C	1	230	175	80	305	62	370	830	150	180	920	1500
		N	1	240	175	80	305	62	370	830	150	180	920	1500
		L	1	260	175	80	305	62	370	830	150	180	920	1500
	2	C	2	320	195	75	330	68	375	950	158	195	1060	1600
		N	2	330	195	75	330	68	375	950	158	195	1060	1600
		L	2	360	195	75	330	68	375	950	158	195	1060	1600
	3	C	3	835	295	-90	410	90	395	1290	250	265	1460	1600
		N	3	870	295	-90	410	90	395	1290	250	265	1460	1600
		L	3	945	295	-90	410	90	395	1290	250	265	1460	1600
	4	C	4	1480	355	-135	500	100	405	1620	310	305	1810	1800
		N	4	1520	355	-135	500	100	405	1620	310	305	1810	1800
		L	4	1660	355	-135	500	100	405	1620	310	305	1810	1800

**TABLA 8**  
**REACCIONES (2)**

Hoist		4-rope-fall version (4/1)					
DRH	Capacity kg	Static reactions: R1; R2 = daN					
		Drum C		Drum N		Drum L	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	1600	576	338	647	273	738	192
	2000	701	413	789	331	901	229
	2500	856	508	965	404	1104	276
	3200	1076	638	1214	506	1390	340
	4000	1326	788	1498	622	1716	414
2	2500	888	521	985	430	1120	310
	3200	1106	653	1230	535	1400	380
	4000	1356	803	1510	655	1720	460
	5000	1668	991	1860	805	2120	560
	6300	2075	1234	2315	1000	2640	690
3	5000	1778	1140	1980	955	2279	694
	6300	2168	1400	2418	1167	2790	833
	8000	2678	1740	2992	1443	3458	1015
	10000	3278	2140	3668	1767	4244	1229
	12500	4028	2640	4513	2172	5225	1498
4	8000	2827	1912	3111	1649	3708	1122
	10000	3410	2329	3762	1998	4497	1333
	12500	4139	2850	4576	2434	5483	1597
	16000	5160	3579	5716	3044	6863	1966
	20000	6327	4412	7018	3742	8441	2388

Finalmente se tiene la figura 2.8 y la tabla 9, mostrando un mejor detalle del contacto entre la rueda del equipo de izaje y la viga del puente grúa.



**FIGURA 2.8 DETALLE RUEDA-VIGA (2)**

**TABLA 9,**

**DIMENSIONES (2)**

Position of the DST wheels on the beam					
DST N/S R	Ø R Ruota mm.	Dimensions mm			Thick max. mm.
		i	a	b	
DST 1	100	8	35	18	20
DST 2	125	12	35	29	23
DST 3	200	19	45	38	38
DST 4	250	22	50	43	43

La información recopilada servirá para proceder con el dimensionamiento y diseño de los puentes grúa.

### 2.1.1 Capacidad de Carga 05 Toneladas

A continuación se exponen los resultados para una capacidad de carga de 05 toneladas.

**TABLA 10**

#### INFORMACIÓN GENERAL DE TESTEROS 05 TON

Diámetro de Ruedas de Testeros	160 mm
Distancia Entre Centro de Ruedas	3100 mm
Velocidad de Traslación	20 m/min
Peso Total de 02 Testeros	598 kg
Carga Máxima Admisible por Rueda	7138 kgf

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

**TABLA 11**

#### INFORMACIÓN GENERAL DE POLIPASTO 05 TON

Identificación Equipo de Izaje	24L2 · L
Numero DRH	Size 2
Numero DST-N/R	2
Peso Equipo de Izaje	330 kg
Reacciones R1 y R2	R1 = 1897 Kgf R2 = 821 Kgf
Longitud de Carga sobre Ala	29 mm
Espesor Máximo de Ala	23 mm

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

### 2.1.2 Capacidad de Carga 10 Toneladas

De similar manera, se exponen los resultados obtenidos al permutar con una capacidad de carga de 10 toneladas.

**TABLA 12**

#### INFORMACIÓN GENERAL DE TESTEROS 10 TON

Diámetro de Ruedas de Testeros	250 mm
Distancia Entre Centro de Ruedas	3100 mm
Velocidad de Traslación	25 m/min
Peso Total de 02 Testeros	958 kg
Carga Máxima Admisible por Rueda	12160 kgf

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

**TABLA 13**

#### INFORMACIÓN GENERAL DE POLIPASTO 10 TON

Identificación Equipo de Izaje	34L2 · L
Numero DRH	Size 3
Numero DST-N/R	3
Peso Equipo de Izaje	870 kg
Reacciones R1 y R2	R1 = 3740 Kgf R2 = 1802 Kgf
Longitud de Carga sobre Ala	38 mm
Espesor Máximo de Ala	38 mm

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

## 2.2. Diseño de Viga Cargadora

Para este capítulo, se hace uso de la metodología de diseño de la sección 1.4.1 *Criterios de Diseño para Viga Cargadora*, en función de la información que se recopila en las tablas 14 y 15.

**TABLA 14**

### **DETALLES DEL PUENTE GRÚA DE 05 TONELADAS**

Capacidad Puente Grúa	5000 kg
Peso Mecanismos Complementarios	(Testeras) 598 kg (Polipasto) <u>+ 330 kg</u> 928 kg
Luz Viga Cargadora	1500 cm
Tipo Operación Puente Grúa	Botonera
Factor de Impacto	10%
Clase Servicio según CMAA70	Clase C
Deformación Máxima	$\Delta_{\max} = L/600$
Tipo de Acero	ASTM A36
Resistencia a la Fluencia $F_y$	2530 kg/cm <sup>2</sup>

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

**TABLA 15**  
**DETALLES DEL PUENTE GRÚA DE 10 TONELADAS**

Capacidad Puente Grúa	10000 kg
Peso Mecanismos Complementarios	(Testeras) 958 kg (Polipasto) <u>+ 870 kg</u> 1828 kg
Luz Viga Cargadora	1500 cm
Tipo Operación Puente Grúa	Botonera
Factor de Impacto	10%
Clase Servicio según CMAA70	Clase C
Deformación Máxima	$\Delta_{\max} = L/600$
Tipo de Acero	ASTM A36
Resistencia a la Fluencia $F_y$	2530 kg/cm <sup>2</sup>

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

### 2.2.1 Capacidad de Carga 05 Toneladas

Gracias a la información de la tabla 14, se procede con el diseño al calcular un valor inicial de momento último  $M_u$ , haciendo uso de la ecuación (4).

$$M_u = 1,6(\text{Momento Vivo})(\text{Factor de Impacto})$$



Para hallar el valor del momento vivo  $M_L$ , se hace uso del caso 7, ilustrado en la figura 1.4 donde se establece que el momento máximo se obtiene de la siguiente forma:

$$M_L = \frac{Pl}{4} = \frac{(5000 + 928 \text{ kg})(1500 \text{ cm})}{4} = 2,223 \times 10^6 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_L = 22,23 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Por lo tanto, el momento último  $M_u$  toma el siguiente valor:

$$M_u = 1,6(22,23 \text{ Ton} \cdot \text{m})(1,10)$$

$$M_u = 39,12 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Luego se encuentra los valores de  $I_x$  y  $Z_x$  mediante las ecuaciones (7) y (10), junto a sus respectivas respuestas.

$Z_x = \frac{M_u}{\phi_b * F_y}$	$I_x = \frac{PL^3}{48 * E * \Delta_{adm}}$
$Z_x = 1718,26 \text{ cm}^3$	$I_x = 82130,54 \text{ cm}^4$

Se utiliza estos valores para aproximar el perfil necesario a diseñar.

A continuación se muestra un listado de posibles perfiles:

**TABLA 16**  
**PERFILES PRE-SELECCIONADOS 05 TON**

<b>Perfil</b>	<b>I<sub>x</sub> (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>Z<sub>x</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Lineal (Kg/m)</b>	<b>Peso 15 mts (Kg)</b>
W36x135	324661	8341	200,9	3013,50
W33x118	245577	6801	175,6	2634,00
W30x124	223100	6686	184,5	2767,50
W27x129	198126	6473	192	2880,00
W24x104	129032	4736	154,8	2322,00

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

Si bien es cierto que los perfiles que muestra la tabla 16, cumplen los prerequisites de  $I_x$  y  $Z_x$ , se debe recordar que el factor económico siempre está presente en todo proyecto y el costo de un perfil se relaciona al peso lineal del mismo. Bajo este razonamiento, el más indicado para el diseño de la viga cargadora será una **W24x104**.

Se procede con el diseño determinando valores consecuentes para hallar el valor de  $\phi_b M_n$ . Se usan las ecuaciones (11), (12) y (13) para inspeccionar el alma y las ecuaciones (14), (15) y (16) para inspeccionar las alas.

$$\lambda_{alma} = \frac{h_w}{t_w} \quad \left| \quad \lambda_{p\ alma} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \right| \quad \lambda_{r\ alma} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$


---


$$\lambda_{alma} = 42,00$$


---


$$\lambda_{p\ alma} = 106,51$$


---


$$\lambda_{r\ alma} = 161,46$$


---

**Alma es compacta**

$$\lambda_{ala} = \frac{b_f}{2t_f} \quad \left| \quad \lambda_{p\ ala} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \right| \quad \lambda_{r\ ala} = 1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$


---


$$\lambda_{ala} = 8,50$$


---


$$\lambda_{p\ ala} = 10,76$$


---


$$\lambda_{r\ ala} = 28,33$$


---

**Ala es Compacta**

Ya que tanto las alas como el alma son compactas, se procede con el contenido del subcapítulo F2, comenzando con el momento nominal  $M_n$  para el caso de fluencia bajo la ecuación (17):

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x = 119,82 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Se continua con la obtención de los valores límites  $L_p$  y  $L_r$  bajo las ecuaciones (18) y (19). Recordar que  $L_b$  es igual a la luz de la viga cargadora.

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 368,42 \text{ cm}$$

$$L_r = 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot F_y} \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot F_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 1093,80 \text{ cm}$$

$$L_b = 1500 \text{ cm}$$

Puesto que  $L_b > L_r$ , se aplica el caso 3 conforme al análisis de pandeo lateral torsional mediante la aplicación de la ecuación (21), (23) y (24).

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} = 1,14$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} = 1278,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$$

$$M_n = 54,06 \text{ Ton} \cdot \text{m} \leq 119,82 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Se recalcula el momento ultimo  $M_u$ , bajo la ecuación (27), de forma que incluya la influencia del peso propio del perfil seleccionado.

$$\text{Momento Muerto} = 4,35 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$\text{Momento Vivo} = 22,23 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$M_u = 1,2M_D + 1,6M_L(\text{Factor de Impacto})$$

$$M_u = 44,35 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Finalmente se evalúa los resultados obtenidos, mediante la ecuación (28), para así corroborar el diseño.

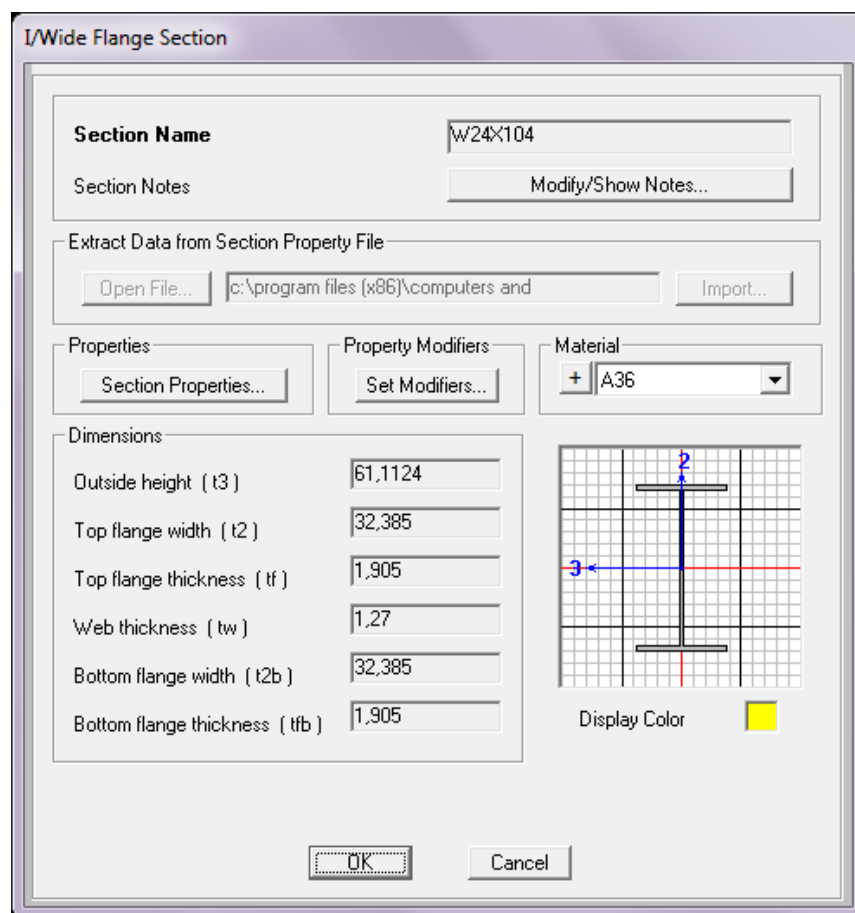
$$M_u \leq \phi_b M_n$$

$$44,35 \text{ Ton} \cdot \text{m} \leq (0,9)(54,06 \text{ Ton} \cdot \text{m})$$

$$44,35 \text{ Ton} \cdot \text{m} \leq 48,65 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Como había sido mencionado, este proyecto de graduación hará uso de un software de diseño asistido: SAP2000®. Se lo realiza con la finalidad de comprobar los cálculos manuales obtenidos y también complementar el proceso de diseño. A continuación, se detallan imágenes donde que explican el uso del programa para esta primera sección del proyecto. Se inicia con la selección del tipo

de perfil y acero. El ingreso de estos datos se refleja en la figura 2.9.



**FIGURA 2.9 SELECCIÓN DE PERFIL**

Luego, en la figura 2.10, se expone la introducción de la carga viva en el modelo.

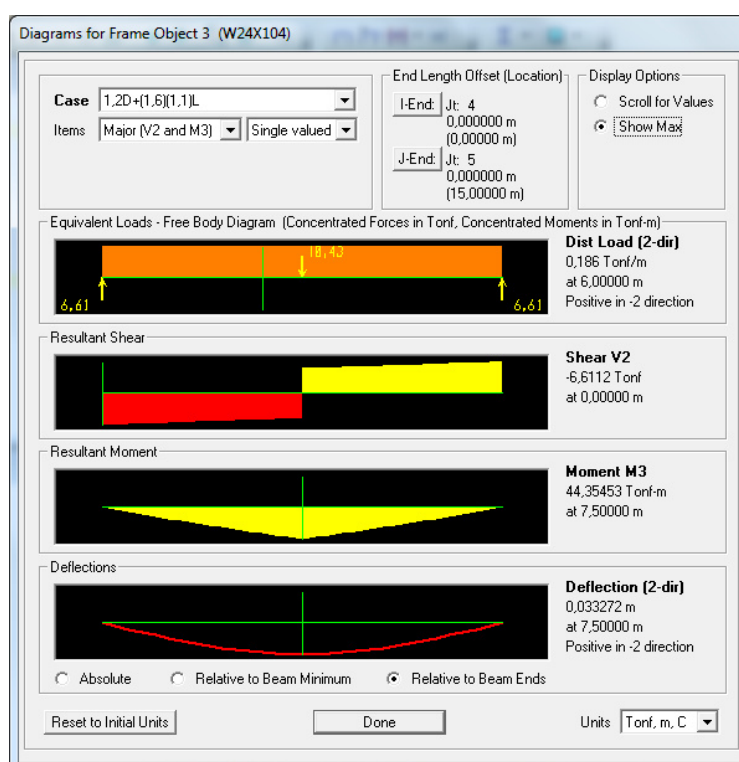
**FIGURA 2.10 INTRODUCCIÓN DE CARGA VIVA**

El procedimiento continúa en la figura 2.11 con la definición de la combinación de carga.

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,2
DEAD	Linear Static	1,2
VIVA	Linear Static	1,76

**FIGURA 2.11 SELECCIÓN DE COMBINACIÓN DE CARGA**

La figura 2.12 muestra gráficos resultantes respecto a la combinación de cargas establecido para el perfil seleccionado. En la imagen se detallan valores de cortante último  $V_u$  y momento último  $M_u$ . Se debe recalcar que los valores coinciden con los establecidos a través de los cálculos desarrollados en esta sección.



**FIGURA 2.12 GRÁFICOS RESULTANTES**

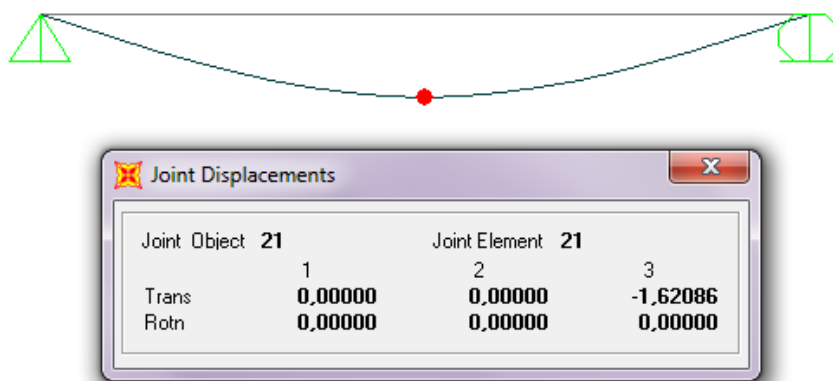
Finalmente se debe revisar que la deformación resultante sobre el perfil este por debajo del permisible. Recordar que la viga cargadora tiene una luz de 1500 cm y que los límites permisibles de



deformación, de acuerdo a la guía de diseño *AISC Design Guide 07* y a la clase de servicio de grúa, son los siguientes:

$$\Delta_{adm} = \frac{L}{600} = 2,5 \text{ cm}$$

Se obtienen los valores de deformación por medio del software de diseño asistido SAP2000®. A continuación se detalla la figura 2.13 con los resultados de la simulación.



**FIGURA 2.13 DEFORMACIÓN POR CARGA VIVA**

Por lo tanto, se puede concluir lo siguiente:

$$\Delta_{real} \leq \Delta_{adm}$$

$$1,62086 \text{ cm} \leq 2,5 \text{ cm}$$

*∴ El perfil no sobrepasa la deformación admisible*

Se revisará el diseño a cortante de acuerdo a la sección *Revisión de Cortante sobre Diseño de Viga Cargadora*. Se empleará inicialmente la ecuación (30).

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$42,00 \leq 63,45$$

Ya que se cumple esta relación,  $\phi_v = C_v = 1$  y por lo tanto se aplica la ecuación (29).

$$V_n = 0,6 * F_y * A_w * C_v$$

$$V_n = 0,6 * F_y * (h_w \cdot t_w) * C_v$$

$$V_n = 0,6(2530 \text{ kg/cm}^2)(53,30 * 1,27 \text{ cm}^2)(1) = 102754,93 \text{ kg}$$

$$V_n = 102,75 \text{ Ton}$$

Por lo tanto, la resistencia de diseño a cortante  $\phi_v V_n$ ,

$$\phi_v V_n = 102,75 \text{ Ton}$$

Se debe comprobar que el perfil seleccionado posee una resistencia de diseño a cortante  $\phi_v V_n$  superior al cortante último  $V_u$

mediante la ecuación (31). Primero se halla el valor del cortante último  $V_u$ , usando el software de diseño asistido SAP2000®. De la figura 2.12, se puede extraer la siguiente información:

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

$$6,6112 \text{ Ton} \leq 102,75 \text{ Ton}$$

Bajo esta información se puede corroborar que el perfil seleccionado, **W24x104**, cumple la resistencia de diseño a cortante.

Finalmente, el perfil debe pasar una revisión ante una concentración de cargas puntuales sobre el ala, ocasionadas por el tránsito del equipo de izaje a lo largo del perfil, a carga máxima. Para esto se cita la ecuación (33):

$$R_n = 6,25 * F_{yf} * (t_f^2)$$

Sin embargo, la revisión de este estado límite se vuelve innecesaria cuando la longitud de carga a través del ala del perfil es menor a  $0,15b_f$ . El perfil W24x104, posee un valor de  $b_f$  igual a 324 mm y el valor de la longitud de carga se extrae de la tabla 11, siendo igual a 29 mm. Por lo tanto, se tiene lo siguiente:

$$L_{carga} < 0,15 b_f$$

$$29 \text{ mm} < 48,60 \text{ mm}$$

Bajo este concepto, la revisión es innecesaria y se puede establecer que el perfil seleccionado, **W24x104**, cumple bajo este estado límite.

### 2.2.2 Capacidad de Carga 10 Toneladas

Con la información de la tabla 15, se procede con el cálculo del momento último  $M_u$ , haciendo uso de la ecuación (4).

$$M_u = 1,6(\text{Momento Vivo})(\text{Factor de Impacto})$$

Para hallar el valor del momento vivo  $M_L$ , se hará uso del caso 7, ilustrado en la figura 1.4 donde se establece que el momento máximo se obtiene de la siguiente forma:

$$M_L = \frac{Pl}{4} = \frac{(10000 + 1828 \text{ kg})(1500 \text{ cm})}{4}$$

$$M_L = 4,4355 \times 10^6 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_L = 44,36 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Por lo tanto, el momento último  $M_u$  toma el siguiente valor:

$$M_u = 1,6(44,36 \text{ Ton} \cdot \text{m})(1,10)$$

$$M_u = 78,06 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Luego se encuentra los valores de  $I_x$  y  $Z_x$  mediante las ecuaciones (7) y (10), junto a sus respectivas respuestas.

$Z_x = \frac{M_u}{\phi_b * F_y}$	$I_x = \frac{PL^3}{48 * E * \Delta_{adm}}$
$Z_x = 3428,41 \text{ cm}^3$	$I_x = 163873,15 \text{ cm}^4$

Se utilizan estos valores para aproximar el perfil necesario a diseñar. A continuación un listado de posibles perfiles:

**TABLA 17**  
**PERFILES PRE-SELECCIONADOS 10 TON**

Perfil	$I_x$ (cm <sup>4</sup> )	$Z_x$ (cm <sup>3</sup> )	Peso Lineal (Kg/m)	Peso 15 mts (Kg)
W40x167	482828	11340	248,5	3727,50
W36x170	437043	10947	253	3795,00
W33x169	386679	10307	251,5	3772,50
W30x173	341310	9914	257,5	3862,50
W27x146	234338	7554	217,3	3259,50

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

Si bien es cierto que los perfiles que muestra la tabla 17, cumplen los prerrequisitos de  $I_x$  y  $Z_x$ , recordar que el factor económico siempre está presente en todo proyecto y el costo de un perfil se relaciona al peso lineal del mismo. Bajo este razonamiento, el más indicado para el diseño de la viga cargadora será una **W27x146**, puesto que ofrece propiedades mecánicas superiores a un mínimo peso.

Se procede con el diseño determinando valores consecuentes para hallar el valor de  $\phi_b M_n$ . Se usan las ecuaciones (11), (12) y (13) para inspeccionar el alma y las ecuaciones (14), (15) y (16) para inspeccionar las alas.

$$\lambda_{alma} = \frac{h_w}{t_w} \quad \left| \quad \lambda_{p\ alma} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left| \quad \lambda_{r\ alma} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right. \right.$$


---


$$\lambda_{alma} = 39,70$$


---


$$\lambda_{p\ alma} = 106,51$$


---


$$\lambda_{r\ alma} = 161,46$$


---

**Alma es compacta**

$$\lambda_{ala} = \frac{b_f}{2t_f} \quad \left| \quad \lambda_{p\ ala} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left| \quad \lambda_{r\ ala} = 1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right. \right.$$


---


$$\lambda_{ala} = 7,16$$


---


$$\lambda_{p\ ala} = 10,76$$


---


$$\lambda_{r\ ala} = 28,33$$


---

**Ala es Compacta**

Ya que tanto las alas como el alma son compactas, se procede con el contenido del subcapítulo *F2*, comenzando con el momento nominal  $M_n$  bajo la ecuación (17):

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x = 191,12 \text{ Ton} \cdot m$$

Se continua con la obtención de los valores limites  $L_p$  y  $L_r$  bajo las ecuaciones (18) y (19). Recordar que  $L_b$  es igual a la luz de la viga viajera.

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 406,31 \text{ cm}$$

$$L_r = 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot F_y} \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot F_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 1261,09 \text{ cm}$$

$$L_b = 1500 \text{ cm}$$

Puesto que  $L_b > L_r$ , se aplica el caso 3 conforme al análisis de pandeo lateral torsional mediante la aplicación de la ecuación (21), (23) y (24).

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} = 1,1364$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} = 1580,85 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$$

$$M_n = 106,47 \text{ Ton} \cdot m \leq 191,12 \text{ Ton} \cdot m$$

Se recalcula el momento ultimo  $M_u$  bajo la ecuación (27), de forma que incluya la influencia del peso propio del perfil.

$$\text{Momento Muerto} = 6,11 \text{ Ton} \cdot m$$

$$\text{Momento Vivo} = 44,36 \text{ Ton} \cdot m$$

$$M_u = 1,2M_D + 1,6M_L(\text{Factor de Impacto})$$

$$M_u = 85,40 \text{ Ton} \cdot m$$

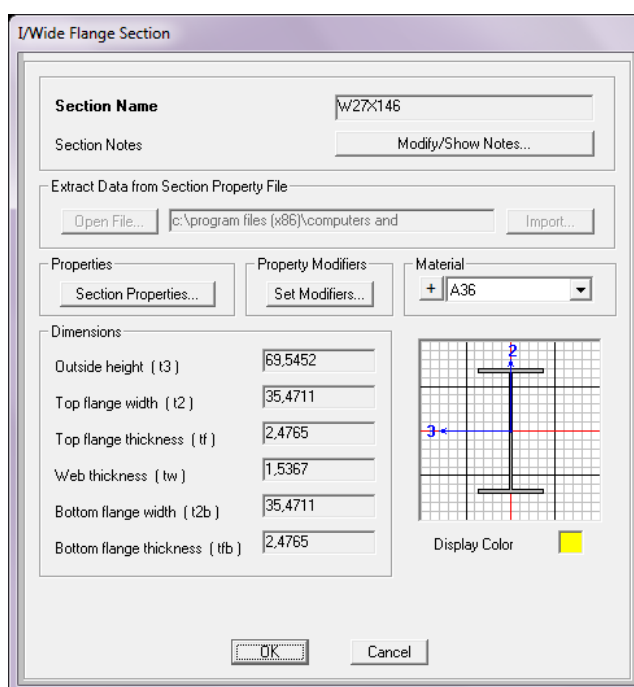


Finalmente se evalúan los resultados obtenidos, mediante la ecuación (28),

$$M_u \leq \varphi_b M_n$$

$$85,40 \text{ Ton} \cdot \text{m} \leq 95,82 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

De similar forma se realiza la comprobación de resultados y la complementación del proceso de diseño mediante el uso del software de diseño asistido SAP2000®, para una viga cargadora con capacidad de 10 toneladas. Se inicia con la selección del tipo de perfil y acero. El ingreso de estos datos se refleja en la figura 2.14.



**FIGURA 2.14, SELECCIÓN DE PERFIL**

Luego, en la figura 2.15, se expone la introducción de la carga viva en el modelo.

Joint Forces

Load Pattern Name: + VIVA

Units: Tonf. m. C

Coordinate System: GLOBAL

Options:

- Add to Existing Loads
- Replace Existing Loads
- Delete Existing Loads

OK Cancel

**FIGURA 2.15, INTRODUCCIÓN DE CARGA VIVA**

El procedimiento continúa en la figura 2.16 con la definición de la combinación de carga.

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated): 1.2D+(1.6)(1.1)L

Notes: Modify/Show Notes...

Load Combination Type: Linear Add

Options:

- Convert to User Load Combo
- Create Nonlinear Load Case from Load Combo

Define Combination of Load Case Results

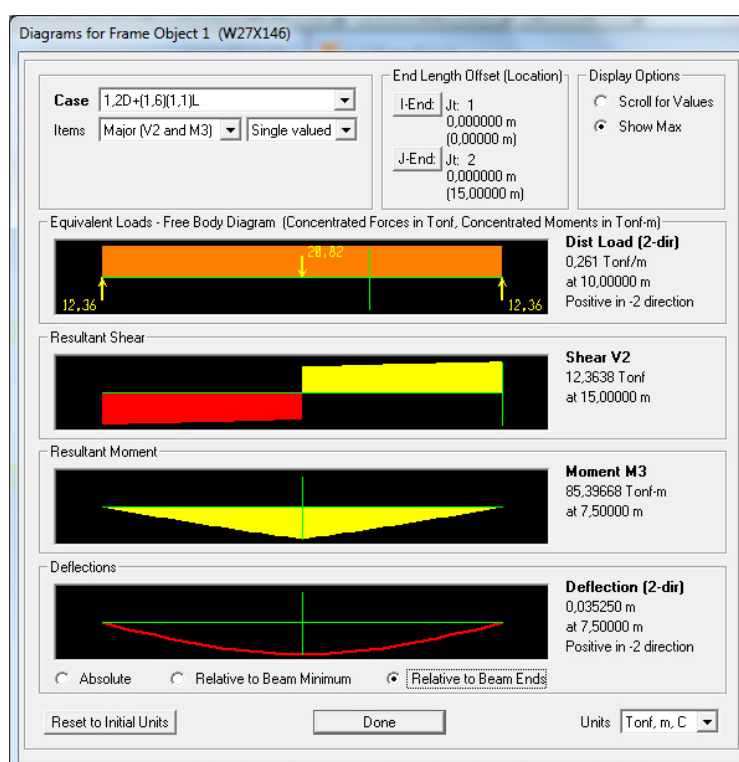
Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1.2
DEAD	Linear Static	1.2
VIVA	Linear Static	1.76

Add  
Modify  
Delete

OK Cancel

**FIGURA 2.16, SELECCIÓN DE COMBINACIÓN DE CARGA**

La figura 2.17 muestra gráficos resultantes respecto a la combinación de cargas establecido para el perfil seleccionado. En la imagen se detallan valores de cortante último  $V_u$  y momento último  $M_u$ . Se debe recalcar que los valores coinciden con los establecidos a través de los cálculos desarrollados en esta sección.



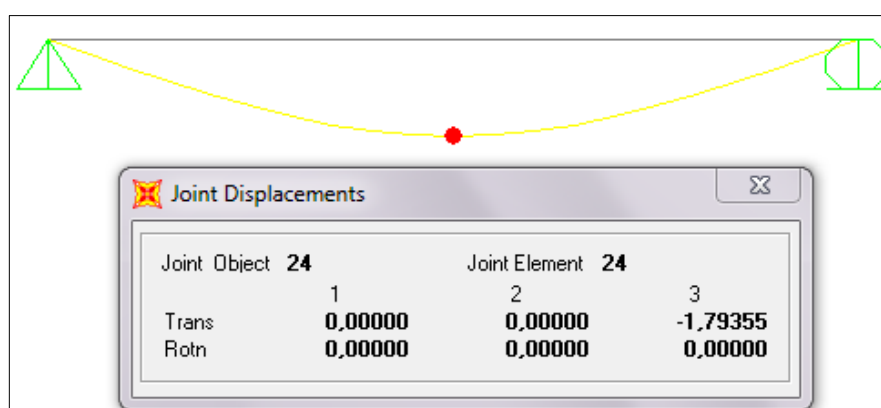
**FIGURA 2.17, GRÁFICOS RESULTANTES**

Finalmente se debe revisar que la deformación resultante sobre el perfil este por debajo del permisible. Recordar que la viga cargadora tiene una luz de 1500 cm y que los límites permisibles de

deformación, de acuerdo a la guía de diseño *AISC Design Guide 07* y a la clase de servicio de grúa, son los siguientes:

$$\Delta_{adm} = \frac{L}{600} = 2,5 \text{ cm}$$

Se obtienen los valores de deformación por medio del software de diseño asistido SAP2000®. A continuación se detalla la figura 2.18 con los resultados de la simulación.



**FIGURA 2.18, DEFORMACIÓN POR CARGA VIVA**

Por lo tanto, se puede concluir lo siguiente:

$$\Delta_{real} \leq \Delta_{adm}$$

$$1,79355 \text{ cm} \leq 2,5 \text{ cm}$$

*∴ El perfil no sobrepasa la deformación admisible*

Se revisará el diseño a cortante de acuerdo a la sección *Revisión de Cortante sobre Diseño de Viga Cargadora*. Se empleará inicialmente la ecuación (30).

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$39,70 \leq 63,45$$

Ya que se cumple esta relación,  $\phi_v = C_v = 1$  y por lo tanto se aplica la ecuación (29).

$$V_n = 0,6 * F_y * A_w * C_v$$

$$V_n = 0,6 * F_y * (h_w \cdot t_w) * C_v$$

$$V_n = 0,6(2530 \text{ kg/cm}^2)(61,00 * 1,54 \text{ cm}^2)(1)$$

$$V_n = 142,60 \text{ Ton}$$

Por lo tanto, la resistencia de diseño a cortante  $\phi_v V_n$ ,

$$\phi_v V_n = 142,60 \text{ Ton}$$

Se debe comprobar que el perfil seleccionado posee una resistencia de diseño a cortante  $\phi_v V_n$  superior al cortante último  $V_u$ , se aplica la ecuación (31). Para hallar el valor del cortante último  $V_u$ ,

se utiliza el software de diseño asistido SAP2000®. De la figura 2.17, se puede extraer la siguiente información:

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

$$12,36 \text{ Ton} \leq 142,60 \text{ Ton}$$

Bajo esta información se puede corroborar que el perfil seleccionado, **W27x146**, cumple la resistencia de diseño a cortante.

Finalmente, el perfil debe pasar una revisión ante una concentración de cargas puntuales sobre el ala, ocasionadas por el tránsito del equipo de izaje a lo largo del perfil, a carga máxima. Para esto se cita la ecuación (33):

$$R_n = 6,25 * F_{yf} * (t_f^2)$$

Sin embargo, la revisión de este estado límite se vuelve innecesaria cuando la longitud de carga a través del ala del perfil es menor a  $0,15b_f$ . El perfil W27x146, posee un valor de  $b_f$  igual a 355 mm y el valor de la longitud de carga se extrae de la tabla 13, siendo igual a 38 mm. Por lo tanto, se tiene lo siguiente:

$$L_{carga} < 0,15 b_f$$

$$38 \text{ mm} < 53,25 \text{ mm}$$

Bajo este concepto, la revisión es innecesaria y se puede establecer que el perfil seleccionado, **W27x146**, cumple bajo este estado límite.

# CAPÍTULO 3

## 3. DISEÑO DE CARRILERAS PARA PUENTE GRÚA

Este capítulo muestra el resultado numérico de las ecuaciones establecidas anteriormente, respecto a las vigas carrileras. Comienza con una recopilación de la información que se generó en el capítulo anterior. De similar forma, se resuelven las ecuaciones planteadas en el capítulo 1. El uso del software de diseño asistido SAP2000®, toma más participación en esta sección puesto que el escenario de diseño es más complejo.

### 3.1. Diseño de Vigas Carrileras

La resolución de las vigas carrileras es muy similar a la de la viga cargadora, con la excepción de la presencia de cargas sobre dos



planos. Se debe recordar que en la sección 1.4.2. Criterios de Diseño para Vigas Carrilera, se menciona que su diseño debe ser ubicando el puente grúa en la posición más desfavorable posible. Las secciones tienen una longitud de 600 cm. El comportamiento real del perfil se determinará con la ayuda del software de diseño asistido, SAP2000®.

### 3.1.1. Capacidad de Carga 05 Toneladas

Este capítulo usará la metodología de diseño de la sección 1.4.2. Criterios de Diseño para Vigas Carrileras, en función de la siguiente información general recopilada de capítulos anteriores, en la tabla 18:

**TABLA 18**

#### **DETALLES DEL PUENTE GRÚA 05 TON**

Distancia Entre Centro de Ruedas	310 cm
Luz Viga Carrilera	600 cm
Carga Máxima Admisible por Rueda	7138 kgf

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

Adicionalmente, se tiene la tabla 19 con el desglose de las cargas influyentes en el diseño:

**TABLA 19**  
**CARGAS INFLUYENTES PTE. GRÚA 05 TON**

Peso Puente Grúa	(Viga Cargadora)	2322 kg
	(Testerías)	<u>+ 598 kg</u>
		2920 kg
Peso Mecanismo Izaje		330 kg
Capacidad Puente Grúa		5000 kg

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

Para hallar el momento último  $M_{uv}$  por cargas verticales, se usarán las siguientes cargas:

$$P_D = P_{\text{puente grúa}} = \frac{2920 \text{ kg}}{4} = 730 \text{ kgf}$$

La carga muerta también se afecta por la influencia del peso propio de las carrileras, no obstante su valor se despreciará inicialmente hasta comprobar que el perfil seleccionado cumpla los requisitos de diseño. Eventualmente, se tomará en cuenta su influencia sobre el momento último  $M_{uv}$  para así realizar una confirmación definitiva del perfil.

Como se mencionó en la sección 1.4.5. *Diseño de Vigas Carrileras*, la guía de diseño *AISC Design Guide 07* recomienda un valor más

conservador para la carga viva, al tomar la diferencia de la carga máxima permisible de las ruedas y la carga muerta, como se muestra a continuación:

$$P_L = P_{rueda} - P_D$$

$$P_L = 7138 - 730 \text{ kgf} = 6408 \text{ kgf}$$

Con esta recopilación de información, a partir de la ecuación (34), se halla el valor de momento último  $M_{uv}$  para las cargas verticales.

$$M_{uv} = 1.2M_D + 1.6M_L(\text{Factor Impacto})$$

El momento por carga muerta  $M_D$  y por carga viva  $M_L$ , se hallan al utilizar el caso 41 ilustrado en la figura 1.7, puesto que su situación refleja la de dos cargas idénticas concentradas en movimiento.

$$M_D = \frac{P_{\text{Puente Grúa}}}{2l} \left( l - \frac{a}{2} \right)^2$$

$$M_D = \frac{730 \text{ kgf}}{2 * 600 \text{ cm}} \left( 600 \text{ cm} - \frac{310 \text{ cm}}{2} \right)^2$$

$$M_D = 120465,21 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$M_D = 1,205 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$M_L = \frac{P_L}{2l} \left( l - \frac{a}{2} \right)^2$$

$$M_L = \frac{6408 \text{ kgf}}{2 * 600 \text{ cm}} \left( 600 \text{ cm} - \frac{310 \text{ cm}}{2} \right)^2$$

$$M_L = 1057453,50 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$M_L = 10,575 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Por lo tanto,

$$M_{uv} = 1.2(1,205 \text{ Ton} \cdot \text{m}) + 1.6(10,575 \text{ Ton} \cdot \text{m})(1,10)$$

$$M_{uy} = M_{uv} = 20,06 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

De similar manera, se determina el momento último  $M_{uh}$  por cargas horizontales, recordando la recomendación de la guía de diseño *AISC Design Guide 07*, la cual define la carga horizontal como el veinte por ciento de la sumatoria de la capacidad del puente grúa y el peso del mecanismo de izaje sobre cada rueda. Es así que se tiene lo siguiente:

$$P_L = 0,20 * \left( \frac{P_{\text{Capacidad Puente}} + P_{\text{Mecanismo Izaje}}}{4} \right)$$

$$P_L = 0,20 * \left( \frac{5000 + 330}{4} \right) = 266,50 \text{ kgf}$$

Luego se halla  $M_{uh}$ ,

$$M_{uh} = 1,6M_L = 1,6 * \left[ \frac{P_L}{2l} \left( l - \frac{a}{2} \right)^2 \right]$$

$$M_{uh} = 1,6 * \left[ \frac{266,50 \text{ kgf}}{2 * 600 \text{ cm}} \left( 600 \text{ cm} - \frac{310 \text{ cm}}{2} \right)^2 \right]$$

$$M_{uh} = 70364,88 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{ux} = M_{uh} = 0,704 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Ya que se obtuvo los valores de  $M_{ux}$  y  $M_{uy}$ , se sigue el proceso determinando valores de  $Z_{x,y}$  en base a las ecuaciones (35) y (36).

$$Z_x = \frac{M_{uy}}{\varphi_b \cdot F_Y} = 880,84 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = \frac{M_{ux}}{\varphi_b \cdot F_Y} = 30,90 \text{ cm}^3$$

De similar forma, a partir de la ecuación (37), se obtiene los valores de  $I_{x,y}$ . Recordar que esta ecuación viene derivada de la aplicación del caso 9, ilustrado en la figura 1.8, lo que significa una modificación sobre el valor de "a". Además, tener en cuenta que la deformación permisible sobre el eje Y disminuye al límite  $L/400$ .

$$I_x = \frac{\sum P_y * a}{24E\Delta_{adm}} (3l^2 - 4a^2)$$

$$I_x = \frac{(730 + 6408)(145)}{24(2030000) \left(\frac{600}{600}\right)} [3(600)^2 - 4(145)^2]$$

$$I_x = 21156,95 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{\sum P_x * a}{24E\Delta_{adm}} (3l^2 - 4a^2)$$

$$I_y = \frac{(266,5)(145)}{24(2030000) \left(\frac{600}{400}\right)} [3(600)^2 - 4(145)^2]$$

$$I_y = 526,60 \text{ cm}^4$$

Hasta este punto, se ha generado la siguiente información:

<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
$Z_x = 880,84 \text{ cm}^3$	$Z_y = 30,90 \text{ cm}^3$
$I_x = 21156,95 \text{ cm}^4$	$I_y = 526,60 \text{ cm}^4$

Con esta información, se hace un pre-dimensionamiento del perfil que se utilizará para las carrileras. A continuación se detalla un listado de posibles perfiles:

**TABLA 20**  
**PERFILES PRE-SELECCIONADOS 05 TON**

<b>Perfil</b>	<b>I<sub>x</sub> (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>Z<sub>x</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>I<sub>y</sub> (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>Z<sub>y</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Lineal (Kg/m)</b>	<b>Peso 06 mts (Kg)</b>
W16x67	39708	2130	4953	582	99,7	598,2
W14x61	26639	1671	4454	537	90,8	544,8
W12x65	22185	1586	7242	723	96,7	580,2
W10x88	22227	1852	7451	870	131	786
IPE500	48200	2200	2140	332	90,7	544,2

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

Todos estos perfiles cumplen los requisitos, sin embargo el factor económico siempre está presente en todo proyecto y el costo de un perfil se relaciona al peso lineal del mismo. Bajo este razonamiento, el perfil más indicado para el diseño de la viga carrilera sería una **IPE500**.

Se procede con el diseño determinando valores consecuentes para determinar el valor de  $\phi_b M_n$ . Se usará las ecuaciones (11), (12) y (13) para inspeccionar el alma y las ecuaciones (14), (15) y (16) para inspeccionar las alas.

$$\begin{array}{c} \lambda_{alma} = \frac{h_w}{t_w} \quad \left| \quad \lambda_{p\,alma} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left| \quad \lambda_{r\,alma} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right. \\ \hline \lambda_{alma} = 41,80 \\ \hline \lambda_{p\,alma} = 106,51 \\ \hline \lambda_{r\,alma} = 161,46 \\ \hline \textbf{Alma es compacta} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \lambda_{ala} = \frac{b_f}{2t_f} \quad \left| \quad \lambda_{p\,ala} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left| \quad \lambda_{r\,ala} = 1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right. \\ \hline \lambda_{ala} = 6,25 \\ \hline \lambda_{p\,ala} = 10,76 \\ \hline \lambda_{r\,ala} = 28,33 \\ \hline \textbf{Ala es Compacta} \end{array}$$

Ya que tanto las alas como el alma son compactas, se procederá con el contenido del subcapítulo *F2*, comenzando con el momento nominal  $M_n$  para el caso de fluencia bajo la ecuación (17):

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x = 55,66 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Se continúa con la obtención de los valores límites  $L_p$  y  $L_r$ , bajo las ecuaciones (18) y (19). Recordar que  $L_b$  es igual a la luz del tramo



de viga carrilera, puesto que su configuración no permite arriostamiento lateral alguno.

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 214,37 \text{ cm}$$

$$L_r = 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x \cdot h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot F_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 560,19 \text{ cm}$$

$$L_b = 600 \text{ cm}$$

Ya que  $L_b > L_r$ , entonces se aplica el caso 3 conforme al análisis de pandeo lateral torsional, mediante la aplicación de la ecuación (21), (23) y (24), para así determinar el valor  $M_{ny}$ .

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} = 1,05$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} = 1619,30 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$$

$$M_n = 31,25 \text{ Ton} \cdot \text{m} \leq 55,66 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Por lo tanto, teniendo que  $\phi_b$  es igual a 0,9 se obtiene el valor de la resistencia de diseño,  $\phi_b M_{ny}$ :

$$\phi_b M_{ny} = 0,9 * 31,25 = 28,13 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Se prosigue con el proceso, hallando el valor de la resistencia de diseño,  $\phi_b M_{nx}$  con la ecuación (38).

$$\phi_b M_{nx} = \phi_b M_P = \phi_b F_Y \left( \frac{Z_y}{2} \right)$$

$$\phi_b M_{nx} = 3,78 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Como se mencionó en la sección 1.4.2. *Criterio de Diseño para Vigas Carrileras*, la presencia de cargas en ambos sentidos, obliga a que se revise el diseño bajo el estado de flexión biaxial bajo la ecuación (39).

$$\frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \leq 1$$

$$\frac{20,06}{28,13} + \frac{0,70}{3,78} \leq 1$$

$$0,90 \leq 1$$

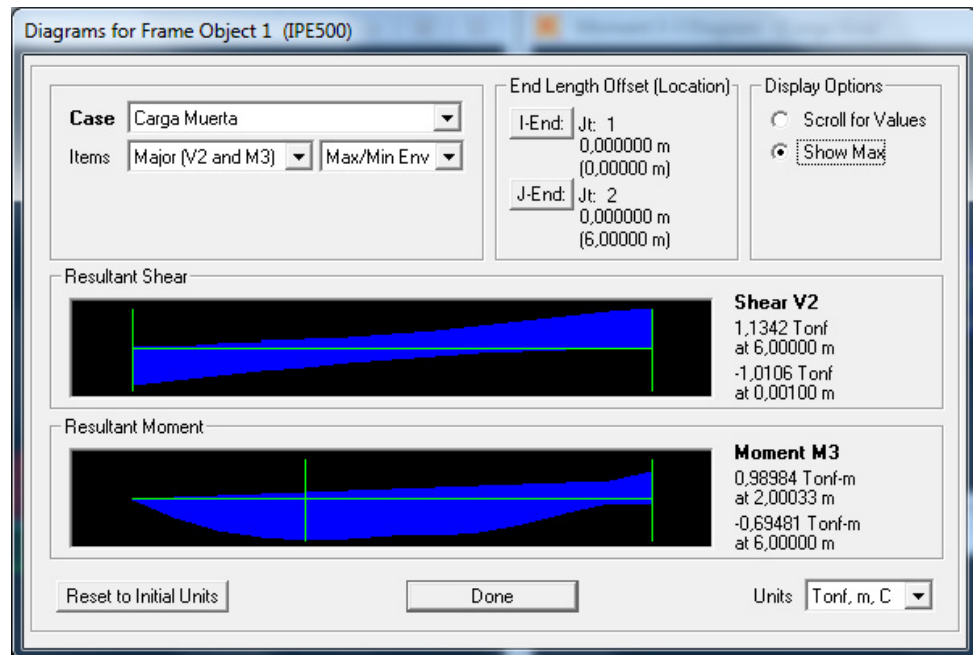
Hasta este punto, el perfil seleccionado **IPE500**, cumple bajo el estado de flexión biaxial.

Puesto que se debe considerar la influencia del peso propio de la viga carrilera, se realiza un reajuste que incluya este comportamiento. Sin embargo, la naturaleza del caso analizado es más compleja al ser una viga continua, lo que obliga a extraer las fuerzas internas del perfil a través del software de diseño asistido SAP2000®. Se modeló una viga continua con el número real de tramos y las cargas fueron ingresadas como móviles para obtener el escenario más crítico.

$$M_{uv} = 1,2M_D + 1,6M_L(F_{Impacto})$$

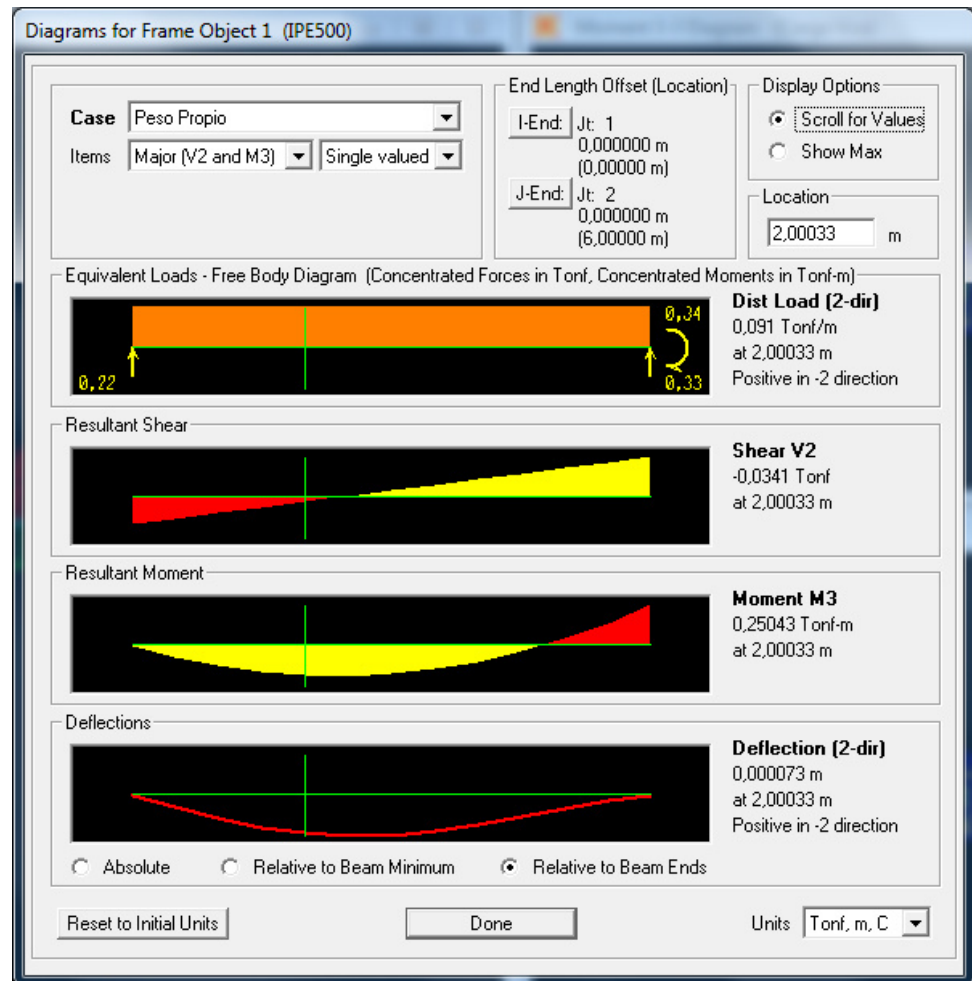
$$M_{uv} = 1,2(M_{Puen\tilde{t}e\ Grua} + M_{Carrilera}) + 1,6(M_L)(F_{Impacto})$$

A continuación se ilustrará los resultados obtenidos del software de diseño asistido SAP2000®. Se detallan los momentos flectores en el tramo más crítico: por carga muerta de puente grúa, por peso propio de viga carrilera y por carga viva vertical.



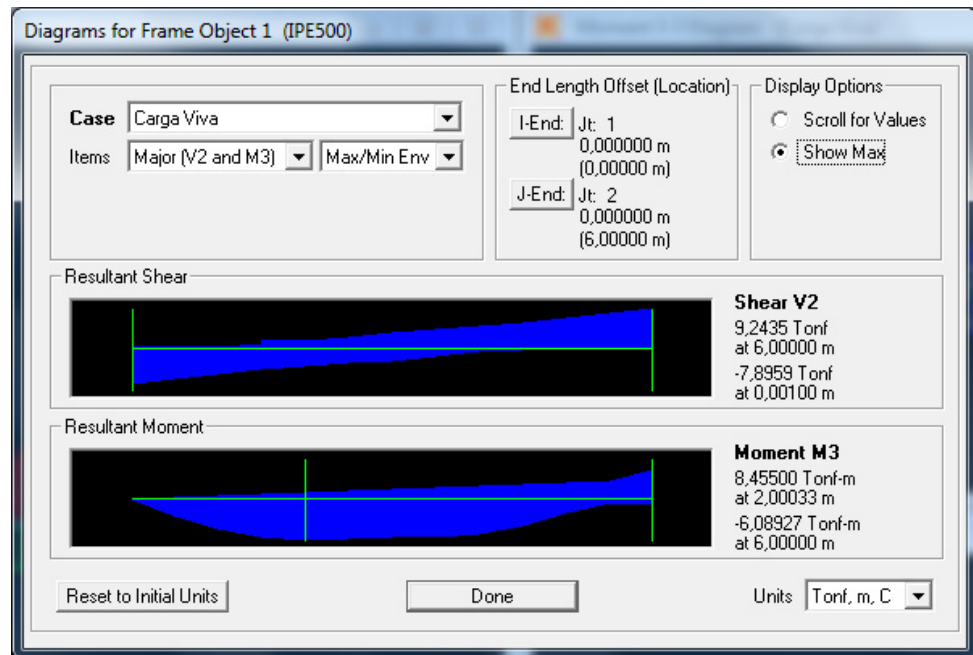
**FIGURA 3.1 MOMENTO POR CARGA MUERTA DE PUENTE GRÚA**

El valor del momento por carga muerta de puente grúa en la figura 3.1, es función del valor hallado  $P_D = 730 \text{ kgf}$ .



**FIGURA 3.2 MOMENTO POR PESO PROPIO DE CARRILERA**

El valor del momento por peso propio de carrilera en la figura 3.2, es función del peso propio del perfil seleccionado IPE500.



**FIGURA 3.3 MOMENTO POR CARGA VIVA VERTICAL**

El valor del momento por carga viva vertical en la figura 3.3, es función del valor hallado  $P_L = 6408 \text{ kgf}$ .

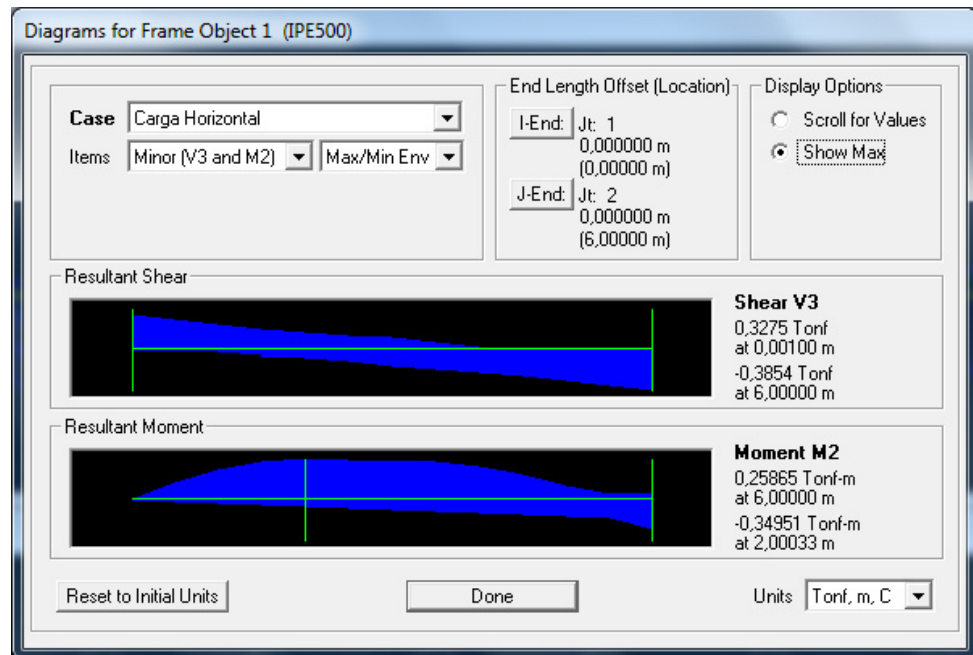
Se ingresan los resultados obtenidos para determinar el momento último por cargas verticales,  $M_{uy}$ .

$$M_{uv} = 1,2(0,98984 + 0,25043) + 1,6(8,455)(1,10)$$

$$M_{uy} = M_{uv} = 16,37 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

De manera similar, se recalculan los momentos por cargas horizontales.

$$M_{uh} = 1,6M_L$$



**FIGURA 3.4 MOMENTO POR CARGA HORIZONTAL**

El valor del momento por carga horizontal en la figura 3.4, es función del valor hallado  $P_L = 266,50 \text{ kgf}$ .

Entonces,

$$M_{uh} = 1,6(0,34951 \text{ Ton} \cdot \text{m})$$

$$M_{ux} = M_{uh} = 0,56 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Es necesario repetir la evaluación bajo el estado de flexión biaxial y así considerar la influencia del peso propio de la carrilera bajo una configuración de viga continua de once tramos.

$$\frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \leq 1$$

$$\frac{16,37}{28,13} + \frac{0,56}{3,78} \leq 1$$

$$0,73 \leq 1$$

Por lo tanto, el perfil seleccionado **IPE500** cumple bajo el estado de flexión biaxial.

A pesar de que el diseño a cortante es una condición que no gobierna sobre el diseño, su revisión da mayor seguridad al perfil seleccionado. A continuación su evaluación.

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$41,76 \leq 63,45$$

Ya que se cumple esta relación,  $\phi_v = C_v = 1$

$$V_n = 0,6 * F_y * A_w * C_v$$

$$V_n = 0,6(2530 \text{ kg/cm}^2)(43,45 \text{ cm}^2)(1)$$

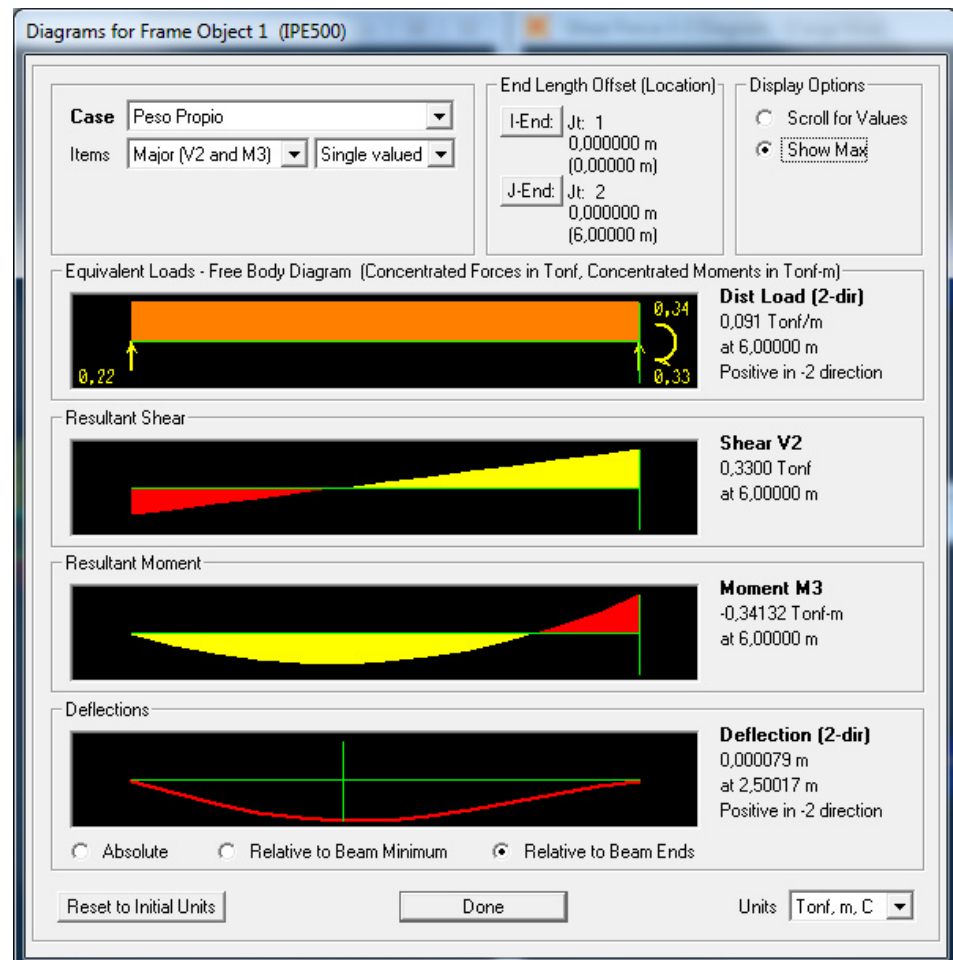
$$V_n = 65,96 \text{ Ton}$$



Por lo tanto, la resistencia de diseño a cortante  $\phi_v V_n$ ,

$$\phi_v V_n = 65,96 \text{ Ton}$$

Nuevamente se hará uso de los resultados obtenidos del software de diseño asistido SAP2000® para determinar el cortante de diseño  $V_u$ .



**FIGURA 3.5 CORTANTE MÁXIMO POR PESO PROPIO**

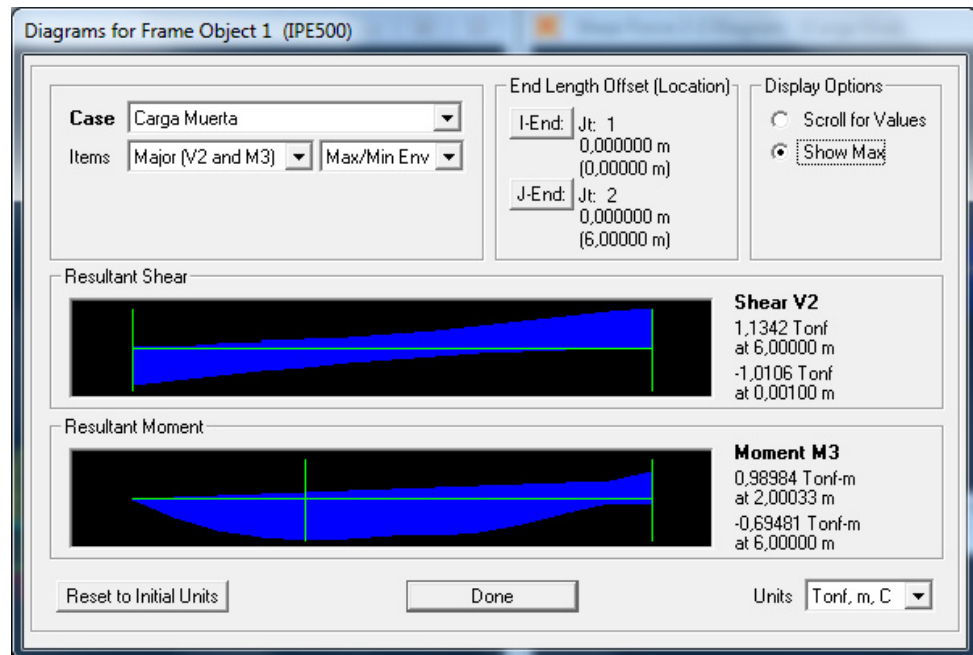


FIGURA 3.6 CORTANTE MÁXIMO POR CARGA MUERTA

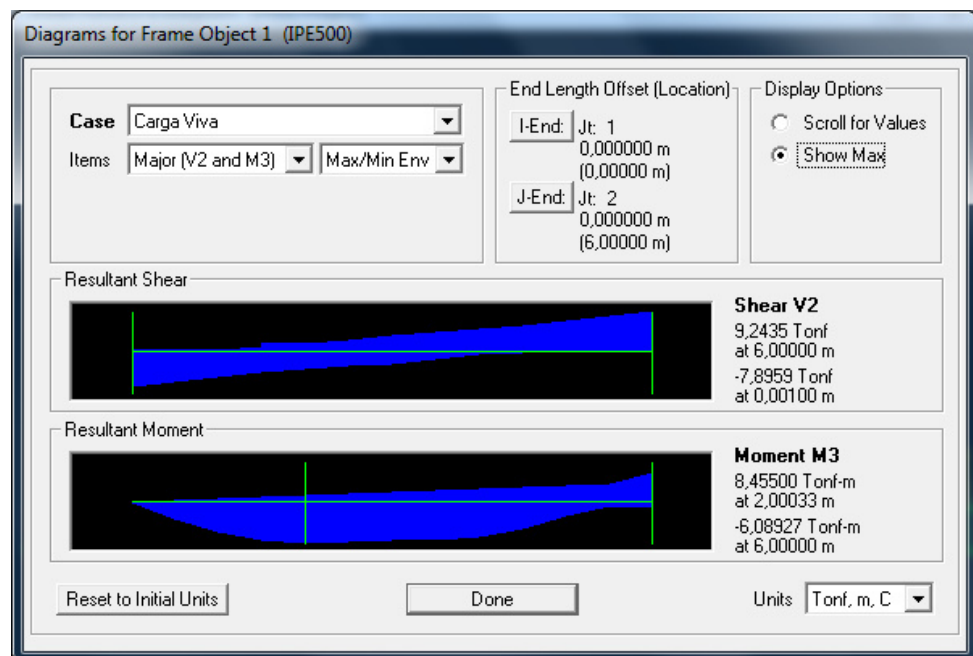


FIGURA 3.7 CORTANTE MÁXIMO POR CARGA VIVA

Los valores de cortante por Peso Propio, Carga Muerta y Carga Viva hallados en las figuras 3.5, 3.6 y 3.7 son función del peso propio del perfil IPE500 seleccionado, el valor hallado  $P_D = 730 \text{ kgf}$  y  $P_L = 6408 \text{ kgf}$  respectivamente.

Por lo tanto se tiene lo siguiente,

$$V_u = 1,2(V_{\text{Peso Propio}} + V_D) + 1,6(V_L)(\text{Factor Impacto})$$

$$V_u = 1,2(0,33 \text{ Ton} + 1,1342 \text{ Ton}) + 1,6(9,2435 \text{ Ton})(1,10)$$

$$V_u = 18,03 \text{ Ton}$$

Entonces,

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

$$18,03 \text{ Ton} \leq 65,96 \text{ Ton}$$

Por lo tanto, el perfil seleccionado **IPE500** cumple ante la resistencia al corte.

La última comprobación se la realizará bajo el estado límite de *pandeo lateral del alma*. Debido a que las vigas carrileras no poseen ningún tipo de arriostramiento o rigidizador lateral, se aplica la ecuación (41):

$$\frac{h_w/t_w}{L_b/b_f} = \frac{426/10,20}{6000/200} = 1,39 \leq 1,7$$

Ya que se tiene que,

$$M_y = F_y * S_x = 2530 * 1930$$

$$M_y = 4,88 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 48,83 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$M_{ux} < M_y$$

$$16,37 \text{ Ton} \cdot \text{m} < 48,83 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

El valor de  $C_r$  es igual a  $67,2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Por lo tanto,

$$R_n = \frac{C_r(t_w^3)(t_f)}{h_w^2} \left[ 0,4 \left( \frac{h_w/t_w}{L_b/b_f} \right)^3 \right]$$

$$R_n = \frac{(67,2 \times 10^6)(1,02)^3(1,6)}{(42,6)^2} \left[ 0,4 \left( \frac{42,6/1,02}{600/20} \right)^3 \right]$$

$$R_n = 67857,07 \text{ kg} = 67,86 \text{ Ton}$$

Entonces,

$$\varphi R_n = 0,85(67,86 \text{ Ton}) = 57,68 \text{ Ton}$$

Para establecer la carga ultima  $P_u$  y así corroborar el diseño, tiene lo siguiente:

$$P_u = 1,2(P_D) + 1,6(P_L)(\text{Factor de Impacto})$$

$$P_u = 1,2(0,730 \text{ Ton}) + 1,6(6,408 \text{ Ton})(1,10)$$

$$P_u = 12,15 \text{ Ton}$$

Finalmente,

$$P_u \leq \phi R_n$$

$$12,15 \text{ Ton} \leq 57,68 \text{ Ton}$$

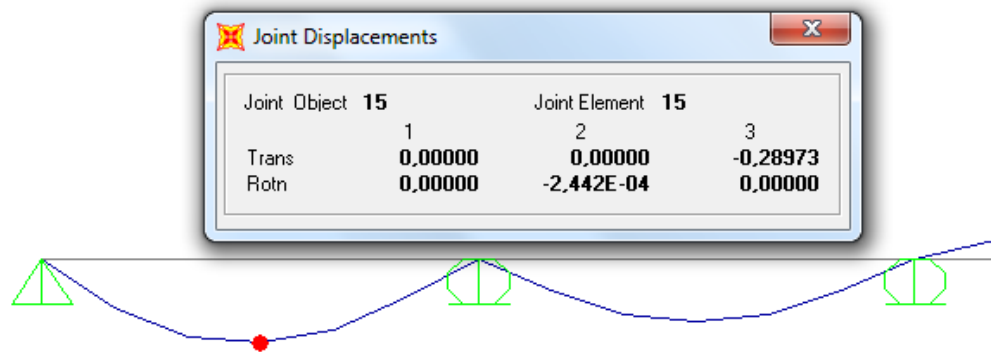
Por lo tanto, el perfil seleccionado **IPE500** cumple ante el estado límite de *pandeo lateral del alma*.

Finalmente se debe revisar que la deformación resultante por carga viva sobre el perfil este por debajo del permisible. Puesto que la viga carrilera se ve influenciada por sus cargas actuantes sobre los ejes X y Y, la revisión será para cada caso. Recordar que la viga carrilera tiene una luz de 600 cm y que los límites permisibles de deformación, de acuerdo a la guía de diseño *AISC Design Guide 07* y a la clasificación de las grúas según la especificación *CMAA Specification #70*, son los siguientes:

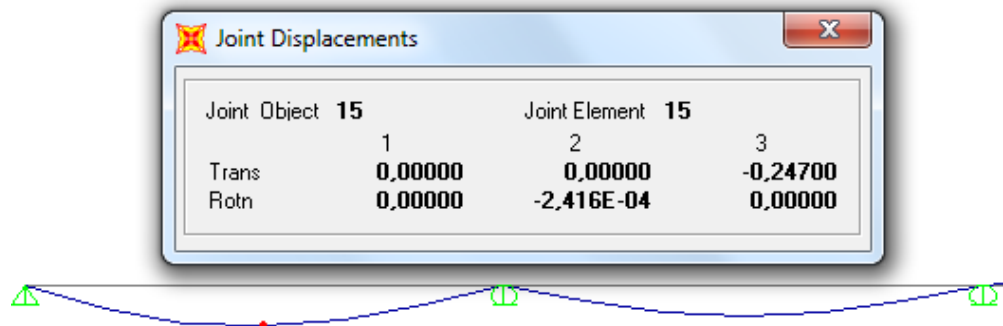
$$\text{Cargas Verticales} \rightarrow \Delta_{adm} = \frac{L}{600} = 1,0 \text{ cm}$$

$$\text{Cargas Horizontales} \rightarrow \Delta_{adm} = \frac{L}{400} = 1,5 \text{ cm}$$

Se obtienen los valores de deformación por medio del software de diseño asistido SAP2000®. A continuación se detallan imágenes con los resultados de las simulaciones.



**FIGURA 3.8 DEFORMACIÓN MÁXIMA POR CARGA VIVA  
VERTICAL**



**FIGURA 3.9 DEFORMACIÓN MÁXIMA POR CARGA VIVA  
HORIZONTAL**

Por lo tanto, se puede concluir lo siguiente:

Para cargas verticales,

$$\Delta_{real} \leq \Delta_{adm}$$

$$0,28973 \text{ cm} \leq 1,0 \text{ cm}$$

*∴ El perfil no sobrepasa la deformación admisible*

Para cargas horizontales,

$$\Delta_{real} \leq \Delta_{adm}$$

$$0,2470 \text{ cm} \leq 1,5 \text{ cm}$$

*∴ El perfil no sobrepasa la deformación admisible*

### 3.1.2. Capacidad de Carga 10 Toneladas

De similar forma se usa la metodología de diseño de la sección 1.4.2. *Criterios de Diseño para Vigas Carrileras*, en función de la siguiente información general recopilada de capítulos anteriores, en la tabla 21:

**TABLA 21**

#### **DETALLES DEL PUENTE GRÚA 10 TON**

Distancia Entre Centro de Ruedas	310 cm
Luz Viga Carrilera	600 cm
Carga Máxima Admisible por Rueda	12160 kgf

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

Adicionalmente, se tiene la tabla 22 con el desglose de las cargas influyentes en el diseño:

**TABLA 22**  
**CARGAS INFLUYENTES PTE GRÚA 10 TON**

Peso Puente Grúa	(Viga Cargadora)	3259,50 kg
	(Testerías)	<u>+ 958 kg</u>
		4217,50 kg
Peso Mecanismo Izaje		870 kg
Capacidad Puente Grúa		10000 kg

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

Para hallar el momento último  $M_{uv}$  por cargas verticales, se usaran las siguientes cargas:

$$P_D = P_{\text{Puente Grúa}} = \frac{4217,50 \text{ kg}}{4} = 1054,38 \text{ kgf}$$

La carga muerta también se afecta por la influencia del peso propio de las carrileras, no obstante su valor se despreciará inicialmente hasta comprobar que el perfil seleccionado cumpla los requisitos de diseño. Eventualmente, se tomará en cuenta su influencia sobre el momento último  $M_{uv}$  para así realizar una confirmación definitiva del perfil.



Como se mencionó en la sección 1.4.5. *Diseño de Vigas Carrileras*, la guía de diseño *AISC Design Guide 07* recomienda un valor más conservador para la carga viva, al tomar la diferencia de la carga máxima permisible de las ruedas y la carga muerta, como se muestra a continuación:

$$P_L = P_{rueda} - P_D$$

$$P_L = 12160 - 1054,38 \text{ kgf} = 11105,63 \text{ kgf}$$

Con esta recopilación de información, a partir de la ecuación (34), se halla el valor de momento último  $M_{uv}$  para las cargas verticales.

$$M_{uv} = 1.2M_D + 1.6M_L(\text{Factor Impacto})$$

El momento por carga muerta  $M_D$  y por carga viva  $M_L$ , se hallan al utilizar el caso 41 ilustrado en la figura 1.7, puesto que su situación refleja la de dos cargas idénticas concentradas y en movimiento.

$$M_D = \frac{P_{\text{Puente Grúa}}}{2l} \left( l - \frac{a}{2} \right)^2$$

$$M_D = \frac{1054,38 \text{ kgf}}{2 * 600 \text{ cm}} \left( 600 \text{ cm} - \frac{310 \text{ cm}}{2} \right)^2$$

$$M_D = 173994,67 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$M_D = 1,74 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$M_L = \frac{P_L}{2l} \left( l - \frac{a}{2} \right)^2$$

$$M_L = \frac{11105,63 \text{ kgf}}{2 * 600 \text{ cm}} \left( 600 \text{ cm} - \frac{310 \text{ cm}}{2} \right)^2$$

$$M_L = 1832660,03 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$M_L = 18,33 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Por lo tanto,

$$M_{uv} = 1.2(1,74 \text{ Ton} \cdot \text{m}) + 1.6(18,33 \text{ Ton} \cdot \text{m})(1,10)$$

$$M_{uy} = M_{uv} = 34,34 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

De similar manera, se determina el momento último  $M_{uh}$  por cargas horizontales, recordando la recomendación de la guía de diseño *AISC Design Guide 07*, la cual define la carga horizontal como el veinte por ciento de la sumatoria de la capacidad del puente grúa y el peso del mecanismo de izaje sobre cada rueda. Es así que se tiene lo siguiente:

$$P_L = 0,20 * \left( \frac{P_{\text{Capacidad Puente}} + P_{\text{Mecanismo Izaje}}}{4} \right)$$

$$P_L = 0,20 * \left( \frac{10000 + 870}{4} \right) = 543,50 \text{ kgf}$$

Luego se halla el momento último  $M_{uh}$ ,

$$M_{uh} = 1,6M_L = 1,6 * \left[ \frac{P_L}{2l} \left( l - \frac{a}{2} \right)^2 \right]$$

$$M_{uh} = 1,6 * \left[ \frac{543,50 \text{ kgf}}{2 * 600 \text{ cm}} \left( 600 \text{ cm} - \frac{310 \text{ cm}}{2} \right)^2 \right]$$

$$M_{uh} = 143502,12 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{ux} = M_{uh} = 1,44 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Ya que se obtuvo los valores de los momentos últimos  $M_{ux}$  y  $M_{uy}$ , se sigue el proceso determinando valores de  $Z_{x,y}$ , en base a las ecuaciones (35) y (36).

$$Z_x = \frac{M_{uy}}{\varphi_b \cdot F_Y} = 1508,24 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = \frac{M_{ux}}{\varphi_b \cdot F_Y} = 63,02 \text{ cm}^3$$

De similar forma, a partir de la ecuación (37), se obtiene los valores de  $I_{x,y}$ . Recordar que esta ecuación viene derivada de la aplicación del caso 9, ilustrado en la figura 1.8, lo que significa una modificación sobre el valor de "a". Además, tener en cuenta que la deformación permisible sobre el eje Y disminuye al límite L/400.

$$I_x = \frac{\sum P_y * a}{24E\Delta_{adm}} (3l^2 - 4a^2)$$

$$I_x = \frac{(11105,63 + 1054,38)(145)}{24(2030000) \left(\frac{600}{600}\right)} [3(600)^2 - 4(145)^2]$$

$$I_x = 36042,10 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{\sum P_x * a}{24E\Delta_{adm}} (3l^2 - 4a^2)$$

$$I_y = \frac{(543,50)(145)}{24(2030000) \left(\frac{600}{400}\right)} [3(600)^2 - 4(145)^2]$$

$$I_y = 1073,95 \text{ cm}^4$$

Hasta este punto, se ha generado la siguiente información:

<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
$Z_x = 1508,24 \text{ cm}^3$	$Z_y = 63,02 \text{ cm}^3$
$I_x = 36042,10 \text{ cm}^4$	$I_y = 1073,95 \text{ cm}^4$

Con esta información, se hace un pre-dimensionamiento del perfil que se utilizará para las carrileras. A continuación se detalla un listado de posibles perfiles:

**TABLA 23**  
**PERFILES PRE-SELECCIONADOS 10 TON**

Perfil	Ix (cm <sup>4</sup> )	Zx (cm <sup>3</sup> )	Iy (cm <sup>4</sup> )	Zy (cm <sup>3</sup> )	Peso Lineal (Kg/m)	Peso 06 mts (Kg)
W18x76	55359	2671	6327	692	113,1	678,6
W16x89	54110	2868	6785	788	132,4	794,4
W14x90	41582	2573	15068	1239	133,9	803,4
W12x106	38834	2687	12529	1231	157,7	946,2
IPE600	92080	3520	3390	480	122	732

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

Todos estos perfiles cumplen los requisitos, sin embargo el factor económico siempre está presente en todo proyecto y el costo de un perfil se relaciona al peso lineal del mismo. Bajo este razonamiento, el perfil más indicado para el diseño de la viga carrilera será una **W18X76**.

Se procede con el diseño determinando valores consecuentes para determinar el valor de  $\phi_b M_n$ . Se usará las ecuaciones (11), (12) y (13) para inspeccionar el alma y las ecuaciones (14), (15) y (16) para inspeccionar las alas.

$$\lambda_{alma} = \frac{h_w}{t_w} \quad \left| \quad \lambda_{p\ alma} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \right| \quad \lambda_{r\ alma} = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$


---


$$\lambda_{alma} = 36,50$$


---


$$\lambda_{p\ alma} = 106,51$$


---


$$\lambda_{r\ alma} = 161,46$$


---

**Alma es compacta**

$$\lambda_{ala} = \frac{b_f}{2t_f} \quad \left| \quad \lambda_{p\ ala} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \right| \quad \lambda_{r\ ala} = 1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$


---


$$\lambda_{ala} = 8,11$$


---


$$\lambda_{p\ ala} = 10,76$$


---


$$\lambda_{r\ ala} = 28,33$$


---

**Ala es Compacta**

Ya que tanto las alas como el alma son compactas, se procederá con el contenido del subcapítulo *F2*, comenzando con el momento nominal  $M_n$  para el caso de fluencia bajo la ecuación (17):

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x = 67,58 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Se continúa con la obtención de los valores límites  $L_p$  y  $L_r$ , bajo las ecuaciones (18) y (19). Recordar que  $L_b$  es igual a la luz del tramo

de viga carrilera, puesto que su configuración no permite arriostramiento lateral alguno.

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 330,53 \text{ cm}$$

$$L_r = 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x \cdot h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot F_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 836,99 \text{ cm}$$

$$L_b = 600 \text{ cm}$$

Ya que  $L_r \leq L_b \leq L_r$ , entonces se aplica el caso 2 conforme al análisis de pandeo lateral torsional, mediante la aplicación de la ecuación (21) y (22), para así determinar el valor de  $M_{nx}$ .

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} = 1,05$$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 \cdot F_y \cdot S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 56,65 \text{ Ton} \cdot \text{m} \leq 67,58 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Por lo tanto, teniendo que  $\phi_b$  es igual a 0,9 se obtiene el valor de la resistencia de diseño,  $\phi_b M_{ny}$ :

$$\phi_b M_{ny} = 0,9 * 56,65 = 50,98 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Se prosigue con el proceso, hallando el valor de la resistencia de diseño,  $\phi_b M_{nx}$  con la ecuación (38).

$$\phi_b M_{nx} = \phi_b M_P = \phi_b F_Y \left( \frac{Z_y}{2} \right)$$

$$\phi_b M_{nx} = 7,88 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Como se mencionó en la sección 1.4.2. *Criterio de Diseño para Vigas Carrileras*, la presencia de cargas en ambos sentidos, obliga a que se revise el diseño bajo el estado de flexión biaxial bajo la ecuación (39).

$$\frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \leq 1$$

$$\frac{34,34}{50,98} + \frac{1,44}{7,88} \leq 1$$

$$0,94 \leq 1$$

Hasta este punto, el perfil seleccionado **W18x76** cumple bajo el estado de flexión biaxial.

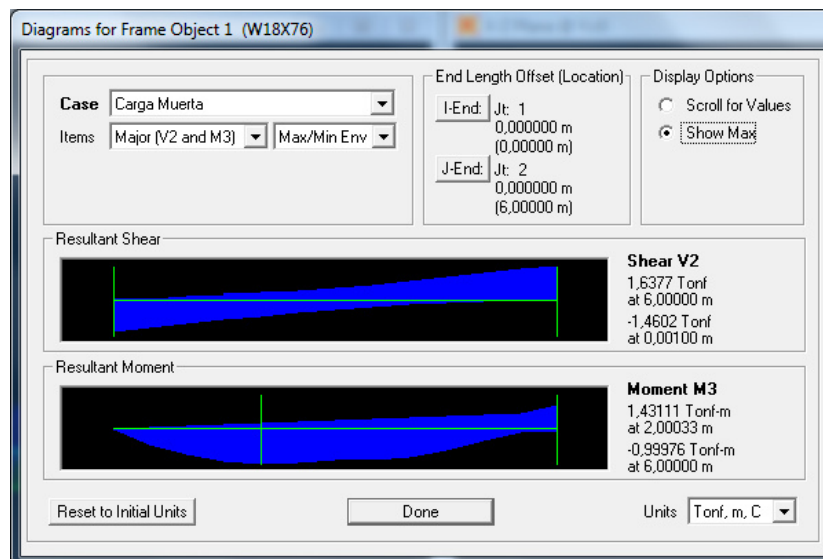


Puesto que se debe considerar la influencia del peso propio de la viga carrilera, se realiza un reajuste que incluya este comportamiento. Bajo similar método, las fuerzas internas del perfil se extraen a través del software de diseño asistido SAP2000®.

$$M_{uv} = 1,2M_D + 1,6M_L(F_{Impacto})$$

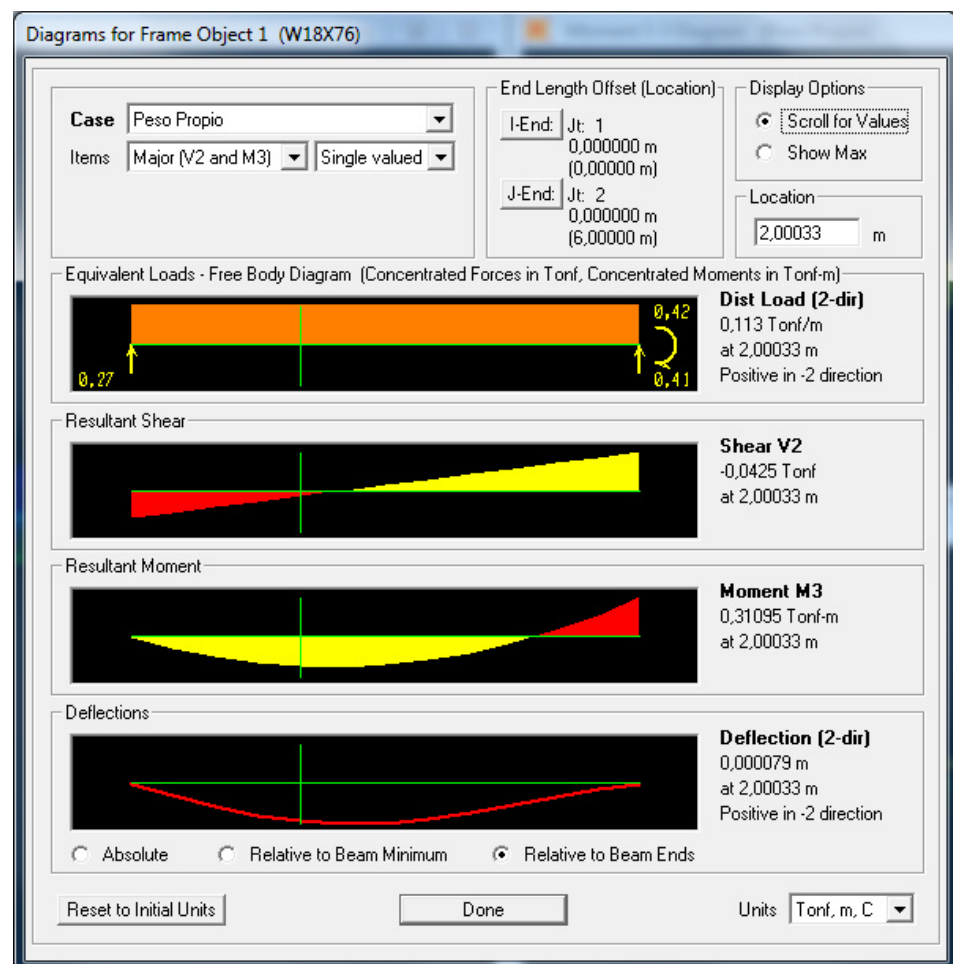
$$M_{uv} = 1,2(M_{Puenete\ Grua} + M_{Carrilera}) + 1,6(M_L)(F_{Impacto})$$

A continuación se ilustrará los resultados obtenidos del software de diseño asistido SAP2000®. Se detalla los siguientes momentos flectores en el tramo más crítico: por carga muerta de puente grúa, por peso propio de viga carrilera, por carga viva vertical.



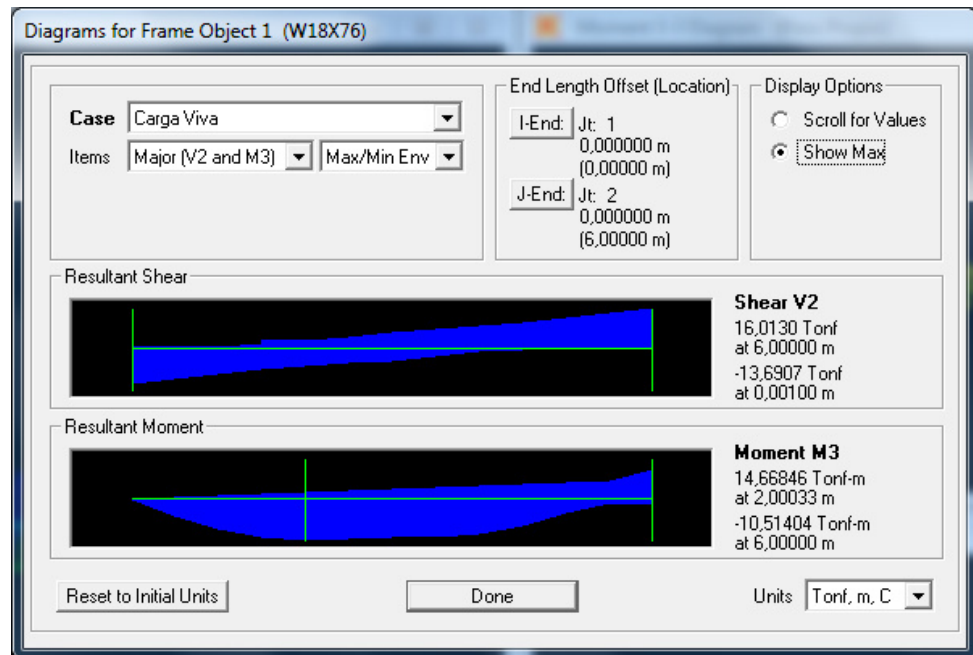
**FIGURA 3.10 MOMENTO POR CARGA MUERTA DE PUENTE GRÚA**

El valor del momento por carga muerta de puente grúa en la figura 3.10, es función del valor hallado  $P_D = 1054,38 \text{ kgf}$ .



**FIGURA 3.11 MOMENTO POR PESO PROPIO DE CARRILERA**

El valor del momento por peso propio de carrilera en la figura 3.11, es función del peso propio del perfil seleccionado W18x76.



**FIGURA 3.12 MOMENTO POR CARGA VIVA VERTICAL**

El valor del momento por carga viva vertical de puente grúa en la figura 3.12, es función del valor hallado  $P_L = 11105,63 \text{ kgf}$ .

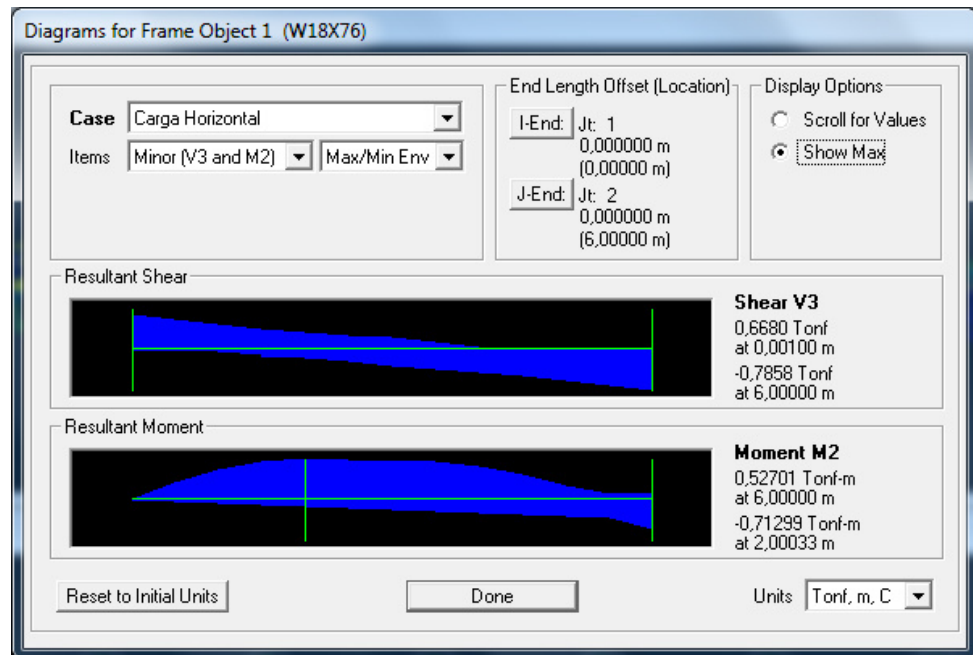
Se ingresa los resultados obtenidos para determinar el momento último por cargas verticales,  $M_{uy}$ .

$$M_{uv} = 1,2(1,43111 + 0,31095) + 1,6(14,66846)(1,10)$$

$$M_{uy} = M_{uv} = 27,91 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

De manera similar, se recalcula y se obtiene los valores de los momentos por cargas horizontales.

$$M_{uh} = 1,6M_L$$



**FIGURA 3.13 MOMENTO POR CARGA HORIZONTAL**

El valor del momento por carga horizontal en la figura 3.13, es función del valor hallado  $P_L = 543,50 \text{ kgf}$ .

Entonces,

$$M_{uh} = 1,6(0,71299 \text{ Ton} \cdot \text{m})$$

$$M_{ux} = M_{uh} = 1,14 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Es necesario repetir la evaluación bajo el estado de flexión biaxial y así considerar la influencia del peso propio de la carrilera bajo una configuración de viga continua de once tramos.

$$\frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \leq 1$$

$$\frac{27,91}{50,98} + \frac{1,14}{7,88} \leq 1$$

$$0,69 \leq 1$$

Por lo tanto, el perfil seleccionado **W18x76** cumple bajo el estado de flexión biaxial.

A pesar de que el diseño a cortante es una condición que no gobierna sobre el diseño, su revisión da mayor seguridad al perfil seleccionado.

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$36,48 \leq 63,45$$

Ya que se cumple esta relación,  $\phi_v = C_v = 1$

$$V_n = 0,6 * F_y * A_w * C_v$$

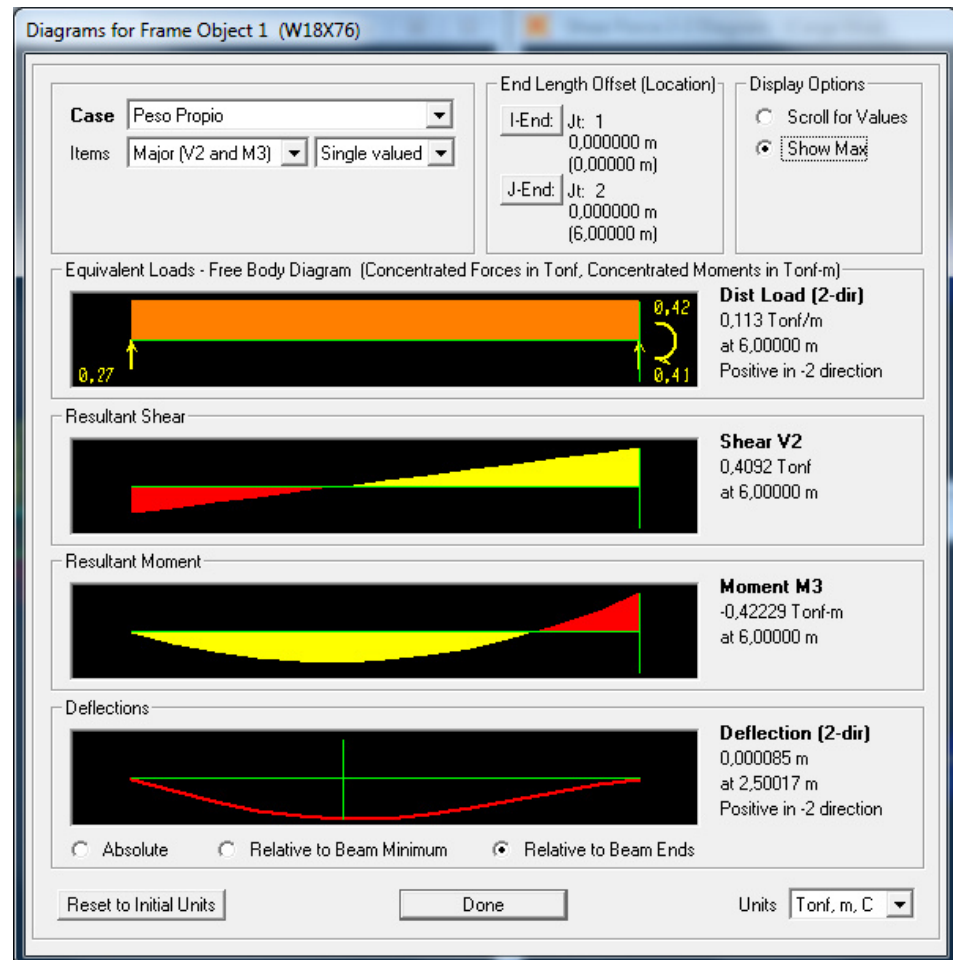
$$V_n = 0,6(2530 \text{ kg/cm}^2)(42,55 \text{ cm}^2)(1)$$

$$V_n = 64,59 \text{ Ton}$$

Por lo tanto, la resistencia de diseño a cortante  $\phi_v V_n$ ,

$$\phi_v V_n = 64,59 \text{ Ton}$$

Nuevamente se hará uso de los resultados obtenidos del software de diseño asistido SAP2000® para determinar el cortante de diseño  $V_u$ .



**FIGURA 3.14 CORTANTE MÁXIMO POR PESO PROPIO**

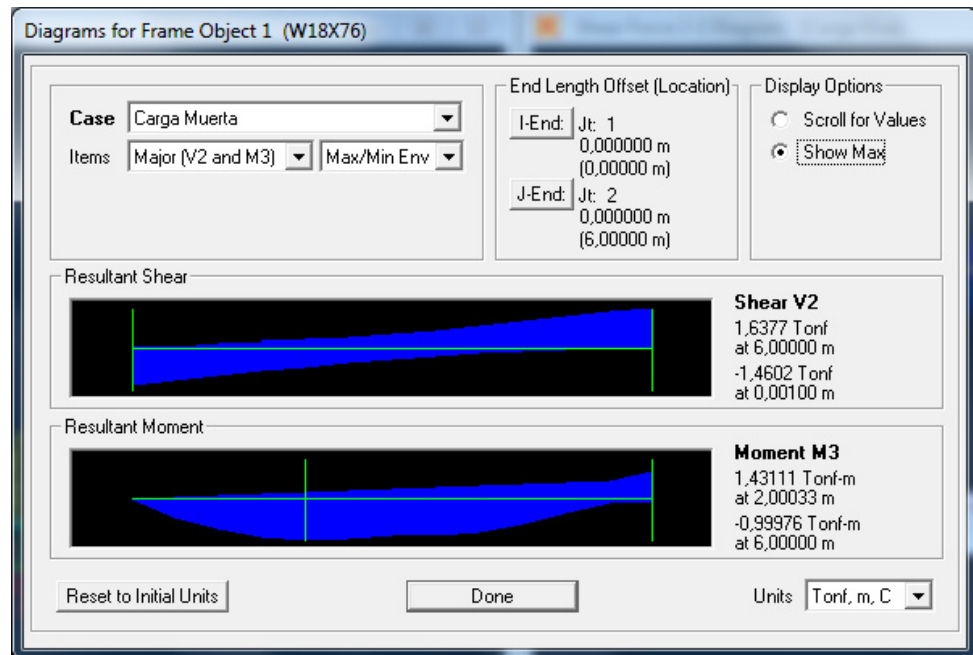


FIGURA 3.15 CORTANTE MÁXIMO POR CARGA MUERTA

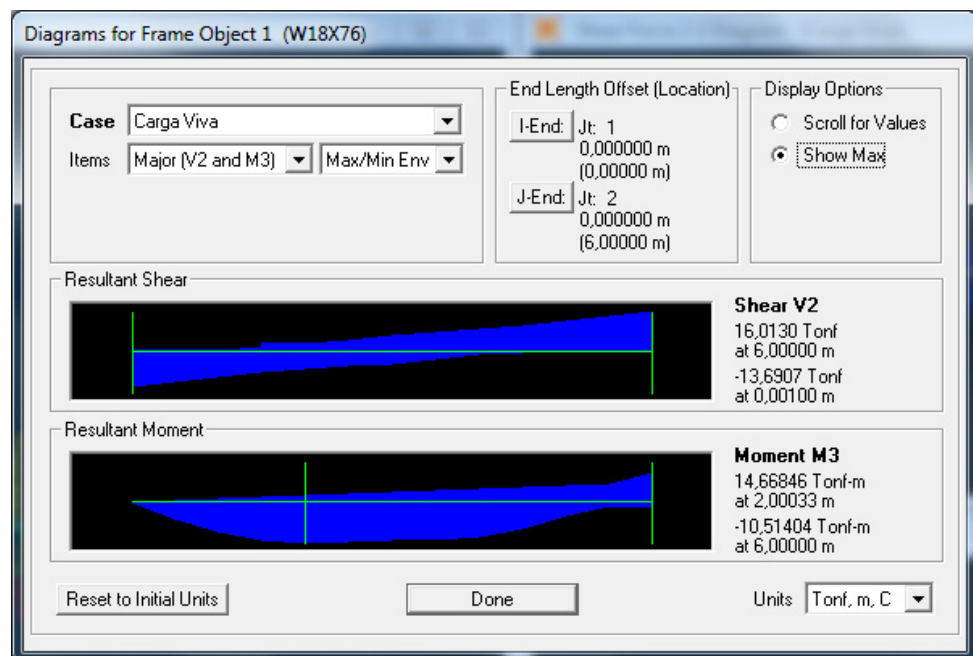


FIGURA 3.16 CORTANTE MÁXIMO POR CARGA VIVA

Los valores de cortante por Peso Propio, Carga Muerta y Carga Viva hallados en las figuras 3.14, 3.15 y 3.16 son función del peso propio del perfil W18x76 seleccionado, el valor hallado  $P_D = 1054,38 \text{ kgf}$  y  $P_L = 11105,63 \text{ kgf}$  respectivamente.

Por lo tanto se tiene lo siguiente,

$$V_u = 1,2(V_{\text{Peso Propio}} + V_D) + 1,6(V_L)(\text{Factor Impacto})$$

$$V_u = 1,2(0,4092 \text{ Ton} + 1,6377 \text{ Ton}) + 1,6(16,013 \text{ Ton})(1,10)$$

$$V_u = 18,03 \text{ Ton}$$

Entonces,

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

$$30,64 \text{ Ton} \leq 64,59 \text{ Ton}$$

Por lo tanto, el perfil seleccionado **W18x76** cumple ante la resistencia al corte.

La última comprobación se la realizará bajo el estado límite de pandeo lateral del alma. Debido a que las vigas carrileras no poseen ningún tipo de arriostramiento o rigidizador lateral, se aplica la ecuación (41):



$$\frac{h_w/t_w}{L_b/b_f} = \frac{394/10,80}{6000/280} = 1,7 \leq 1,7$$

Ya que se tiene que,

$$M_y = F_y * S_x = 2530 * 2393 = 6,054 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_y = 60,54 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$M_{ux} < M_y$$

$$27,91 \text{ Ton} \cdot \text{m} < 60,54 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

El valor de  $C_r$  es igual a  $67,2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Por lo tanto,

$$R_n = \frac{C_r(t_w^3)(t_f)}{h_w^2} \left[ 0,4 \left( \frac{h_w/t_w}{L_b/b_f} \right)^3 \right]$$

$$R_n = \frac{(67,2 \times 10^6)(1,08)^3(1,73)}{(39,4)^2} \left[ 0,4 \left( \frac{39,4/1,08}{600/28} \right)^3 \right]$$

$$R_n = 186205,25 \text{ kg} = 186,21 \text{ Ton}$$

Entonces,

$$\varphi R_n = 0,85(186,21 \text{ Ton}) = 158,27 \text{ Ton}$$

Para establecer la carga ultima  $P_u$  y así corroborar el diseño, se tiene lo siguiente:

$$P_u = 1,2(P_D) + 1,6(P_L)(Factor\ de\ Impacto)$$

$$P_u = 1,2(1,05\ Ton) + 1,6(11,12\ Ton)(1,10)$$

$$P_u = 20,81\ Ton$$

Finalmente,

$$P_u \leq \phi R_n$$

$$20,81\ Ton \leq 158,27\ Ton$$

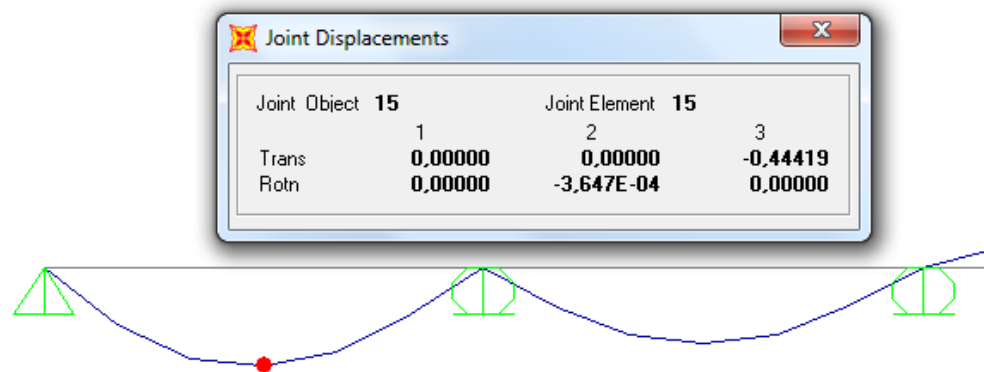
Por lo tanto, el perfil seleccionado **W18x76** cumple ante el estado límite de pandeo lateral del alma.

Finalmente se debe revisar que la deformación resultante por carga viva sobre el perfil este por debajo del permisible. Puesto que la viga carrilera se ve influenciada por sus cargas actuantes sobre los ejes X y Y, la revisión será para cada caso. Recordar que la viga carrilera tiene una luz de 600 cm y que los límites permisibles de deformación, de acuerdo a la guía de diseño *AISC Design Guide 07* y a la clasificación de las grúas según la especificación *CMAA Specification #70*, son los siguientes:

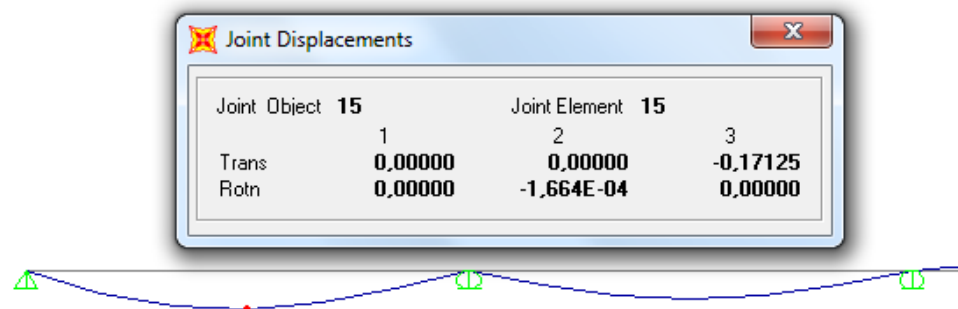
$$Cargas\ Verticales \rightarrow \Delta_{adm} = \frac{L}{600} = 1,0\ cm$$

$$Cargas\ Horizontales \rightarrow \Delta_{adm} = \frac{L}{400} = 1,5\ cm$$

Se obtienen los valores de deformación por medio del software de diseño asistido SAP2000®. A continuación se detalla imágenes con los resultados de las simulaciones.



**FIGURA 3.17 DEFORMACIÓN MÁXIMA POR CARGA VIVA  
VERTICAL**



**FIGURA 3.18 DEFORMACIÓN MÁXIMA POR CARGA VIVA  
HORIZONTAL**

Por lo tanto, se puede concluir lo siguiente:

Para cargas verticales,

$$\Delta_{real} \leq \Delta_{adm}$$

$$0,44419 \text{ cm} \leq 1,0 \text{ cm}$$

*∴ El perfil no sobrepasa la deformación admisible*

Para cargas horizontales,

$$\Delta_{real} \leq \Delta_{adm}$$

$$0,17125 \text{ cm} \leq 1,5 \text{ cm}$$

*∴ El perfil no sobrepasa la deformación admisible*

# CAPÍTULO 4

## 4. ANÁLISIS DE ESTRUCTURA EXISTENTE

En los capítulos anteriores se han diseñado las estructuras necesarias para formar un puente grúa con una capacidad de 05 y 10 toneladas. Ahora es necesario revisar la capacidad de carga que tiene la estructura existente del galpón, puesto que debe soportar el peso de la estructura del puente grúa más la carga de trabajo. Se comienza definiendo las cargas actuantes para cada caso de izaje. Luego, en función de la información recopilada, se realiza la revisión de capacidad de carga de los diversos elementos de las columnas. Todos los cálculos serán fundamentados en los criterios de diseño establecidos en la sección 1.4.3 *Criterios de Diseño para Comprobación de Capacidad de Carga de Estructura Existente*. Luego, continúa con un análisis de resultados y concluye con un estudio de costos relativo a los resultados obtenidos a lo largo del proyecto de graduación.

#### 4.1. Definición de Cargas Actuantes

Se debe iniciar el procedimiento de revisión con la definición de las cargas actuantes siendo estas las siguientes:

- I. Estructura Metálica de Puente Grúa
- II. Equipo de Izaje de Puente Grúa
- III. Carga de Izaje
- IV. Vigas Carrileras
- V. Cercha de Cubierta
- VI. Cubierta

Para poder analizar lo que sucede sobre las columnas, se debe primero encontrar la aplicación de estas cargas actuantes con respecto a las columnas. La interacción de las cargas I, II, III y IV es a través de la viga carrilera pues al estar en contacto directo con las columnas, transfiere las cargas relacionadas a la viga principal y su mecanismo de izaje. Esta interacción se representa con diagramas de reacciones obtenidos del software de diseño asistido SAP2000®, por cada carga aplicada sobre la carrilera.

Por otro lado, para definir las cargas por cubierta (V, VI), se hará uso de la *Normas Ecuatorianas de la Construcción NEC*. La

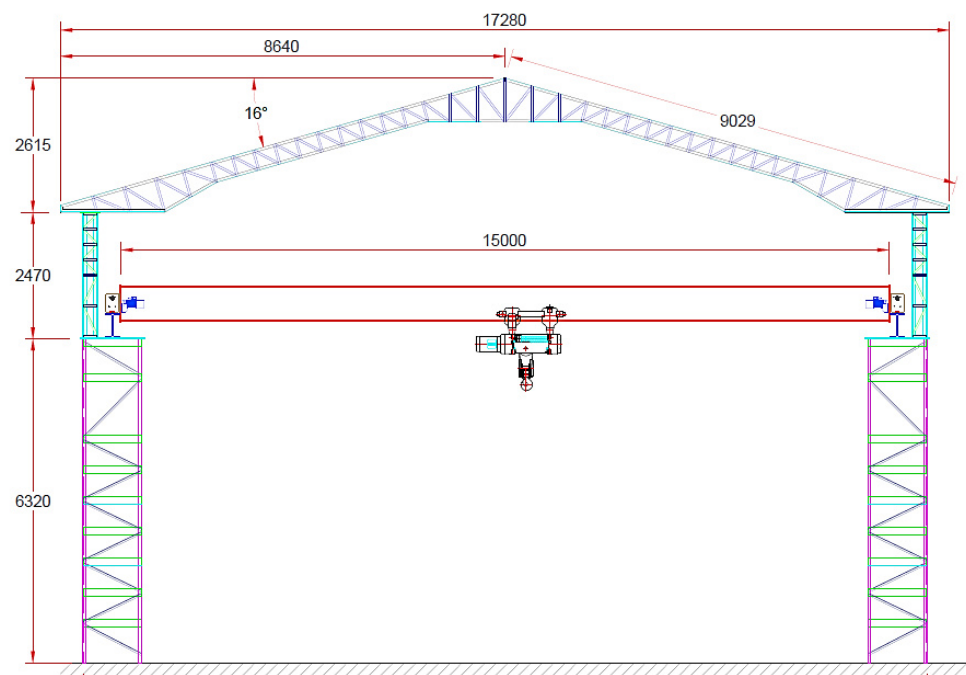
cubierta puede llegar a percibir eventos como labores de mantenimiento/construcción, efectos climáticos comunes como la lluvia, acumulación de sedimento y agua estancada, entre otros. Puesto que cada uno de estos eventos no se mantiene constante, debe ser considerado como una carga viva ejercida en la cubierta. Cabe recalcar que este proyecto de graduación consideró por la ubicación geográfica de la planta metalmeccánica, en donde los efectos climáticos no son severos tal es el caso de carga de viento, nieve, etc.

En el capítulo 1 se encuentra la figura 1.9 la cual define valores para la mínima sobrecarga viva de cubierta, que encasillan los eventos antes mencionados. Esta figura indica que para ocupaciones con cubiertas planas, inclinadas y curvas, se establece una carga uniforme de  $0,7 \text{ kN/m}^2$  <sup>(10)</sup>. Las *Normas Ecuatorianas de la Construcción NEC* presentan valores conservadores como estos para ser utilizados en prácticas ingenieriles cotidianas para hallar un valor de carga viva de cubierta  $P_{LC}$ . También plantea que es posible realizar una reducción de esta sobrecarga cuando el área tributaria es bastante grande respecto al elemento por analizar.

Mediante la ecuación (72), se plantea una reducción de la sobrecarga de 0,7 kN/m<sup>2</sup> determinada.

$$L_r = L_o \cdot R_1 \cdot R_2$$

$$0,60 \leq L_r \leq 1,00$$



**FIGURA 4.1 VISTA FRONTAL DE GALPÓN EXISTENTE**

El galpón existente posee una separación de 6 metros entre pórticos, la cercha de la cubierta tiene una longitud de 17,28 metros. Tener en cuenta que el detalle de estas dimensiones se encuentra especificado en los planos expuestos al final de este proyecto de graduación.



El área tributaria  $A_t$  será la multiplicación de la distancia entre pórticos por la mitad de la longitud de la cercha, es decir 6m por 8,64m, resultando en **51,84 m<sup>2</sup>**. Puesto que  $18 \text{ m}^2 \leq A_t \leq 56 \text{ m}^2$ , se tiene lo siguiente:

$$R_1 = 1,2 - 0,011(51,84 \text{ m}^2)$$

$$R_1 = 0,43 \text{ m}^2$$

El porcentaje de la pendiente de la cubierta  $F$ , es igual a:

$$F = \frac{2615\text{mm}}{8640\text{mm}} \times 100\% = 30\%$$

Entonces se tiene que  $R_2 = 1$ .

Por lo tanto al remplazar en la ecuación (72) se tiene que:

$$L_r = L_o \cdot R_1 \cdot R_2 = (0,7 \text{ KN/m}^2)(0,43 \text{ m}^2)(1)$$

$$L_r = 0,30 \text{ KN/m}^2$$

Sin embargo, recordar que  $0,60 \leq L_r \leq 1,00$ , por tanto el mínimo valor de  $L_r$  será de:

$$L_r = 0,6 \text{ KN/m}^2$$

Finalmente, la carga viva de cubierta  $P_{LC}$  se obtiene al multiplicar  $L_r$  por el área tributaria.

$$P_{LC} = \frac{(0,6 \text{ KN/m}^2)(51,84 \text{ m}^2)}{9,81}$$

$$P_{LC} = 3170,64 \text{ kg}$$

La carga muerta de cubierta es función del tipo de panel metálico existente y del área efectiva. A continuación se detalla las características técnicas del panel metálico utilizado en el galpón.



**FIGURA 4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CUBIERTAS METÁLICAS (11)**

Ya que la distancia entre correas es aproximadamente 1,20 metros, se utilizará un peso de  $3,14 \text{ kg/m}^2$ , siendo este el valor más cercano en función de la figura 4.2. Si se tiene que el área efectiva es 6

metros de separación entre pórticos y la longitud en pendiente de la cercha igual a 8,98 metros, se obtiene un área de 53,88 m<sup>2</sup>. En función de estos valores se obtiene un valor de carga muerta por cubierta de **169,18 kg**.

De similar manera, se obtuvo un peso aproximado de la estructura metálica de la cercha de la cubierta y de las correas igual a 20 kg/m<sup>2</sup>. Esto en función del área tributaria  $A_t = 51,84 \text{ m}^2$ , resulta en una carga muerta por estructura metálica de cercha y correas igual a **1036,8 kg**.

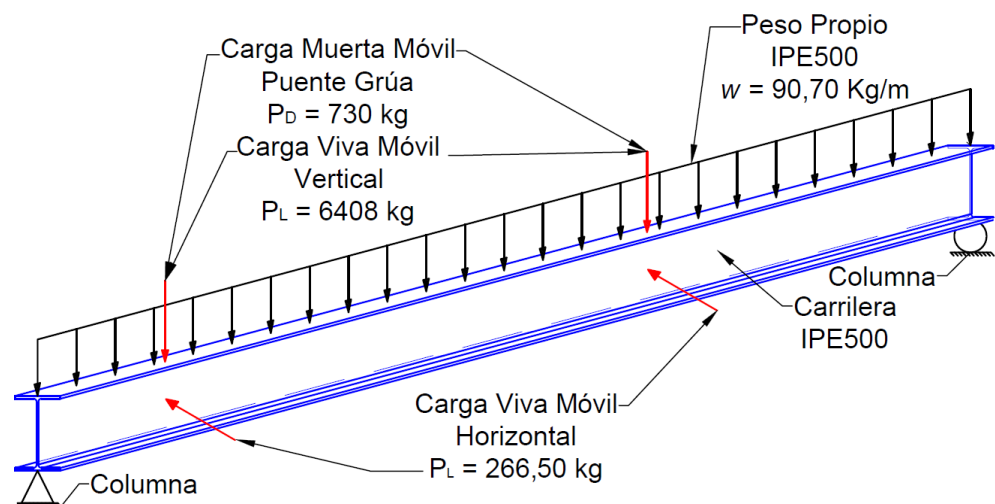
Por lo tanto la carga muerta total es igual a la sumatoria de cargas de cubierta y estructura metálica, dando igual a

$$P_{DC} = 169,18 + 1036,8 = 1205,98 \text{ kg}$$

En función de los valores de las tablas 24 y 25, más los valores referentes a carga viva y muerta de cubierta, se construye las siguientes tablas, donde se reúnen las cargas actuantes para cada caso de izaje.

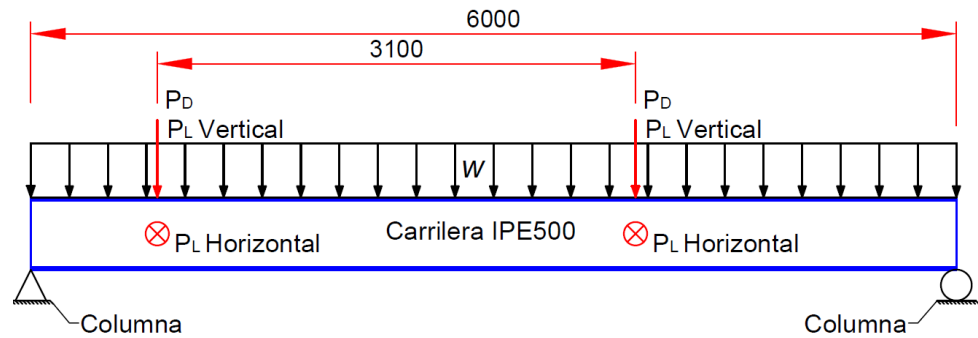
### Potencial de Izaje: 05 Toneladas

Mediante el uso del software de diseño asistido SAP2000®, se extraen las reacciones por cada carga actuante que interactúa sobre la carrilera en función de una capacidad de 05 toneladas.



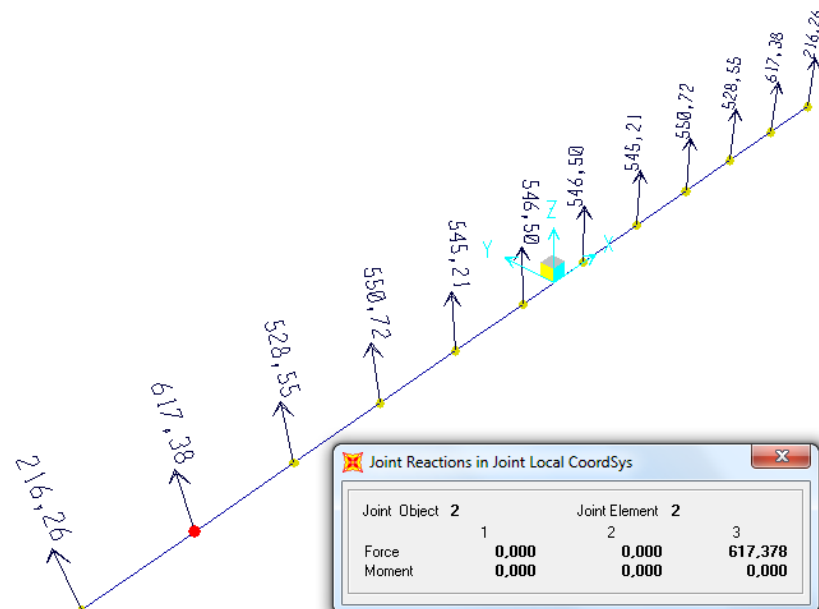
**FIGURA 4.3 VISTA TRIDIMENSIONAL DE CARRILERA**

La figura 4.3 muestra una perspectiva tridimensional de un tramo de la carrilera IPE500. Como se puede observar, se detallan las cargas que se ejercen sobre la misma. Las cargas muerta puente grúa, viva vertical y viva horizontal son representadas como cargas móviles con excepción del peso propio la cual es una carga distribuida.



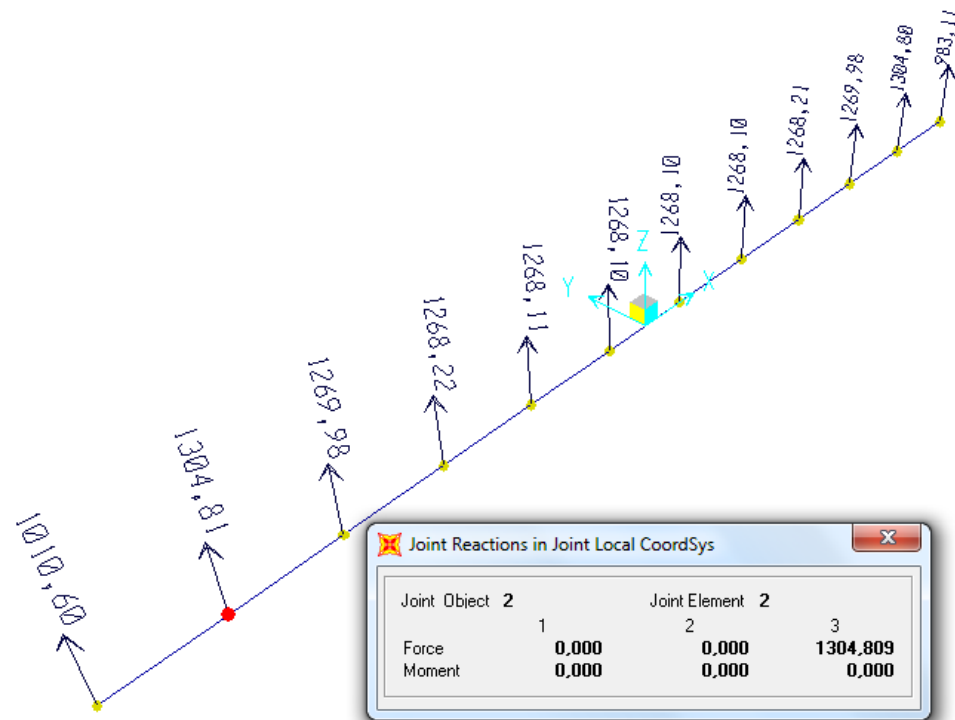
**FIGURA 4.4 VISTA FRONTAL DE CARRILERA**

La figura 4.4 muestra una vista frontal de un tramo de la carrilera IPE500 donde se pueden apreciar las cargas junto a sus respectivas dimensiones. A continuación se muestran imágenes extraídas del programa SAP2000®, donde se aprecian las resultantes de estas cargas por cada columna.



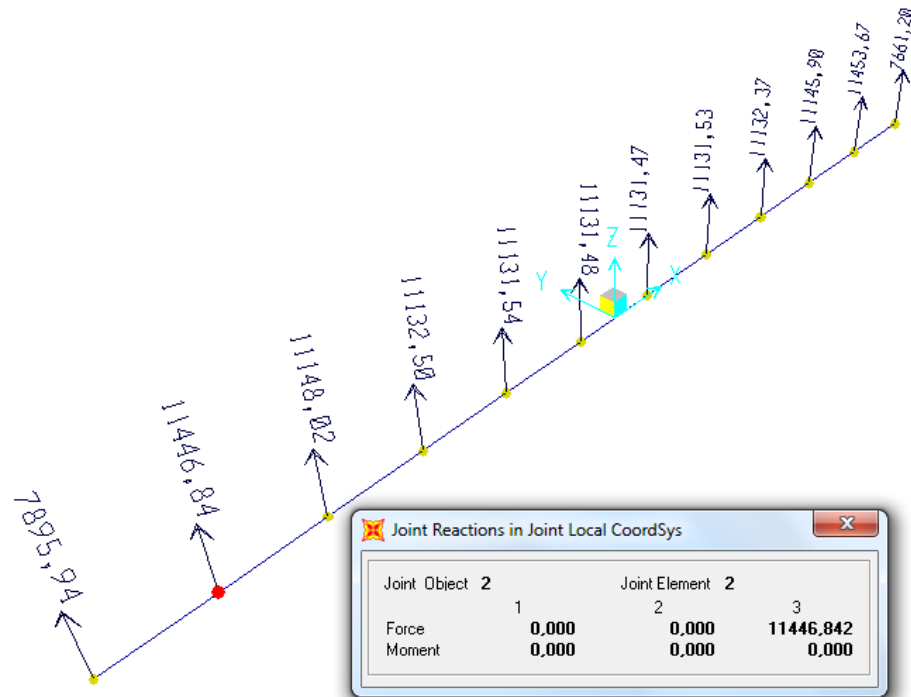
**FIGURA 4.5 REACCIÓN PESO PROPIO DE CARRILERA**

El valor de la reacción por peso propio de carrilera en la figura 4.5, es función del peso propio del perfil seleccionado IPE500 ( $w = 90,70 \text{ kg/m}$ ), en la sección 3.1.1. *Capacidad de carga 05 toneladas.*



**FIGURA 4.6 REACCIÓN POR CARGA MUERTA DE PUENTE GRÚA**

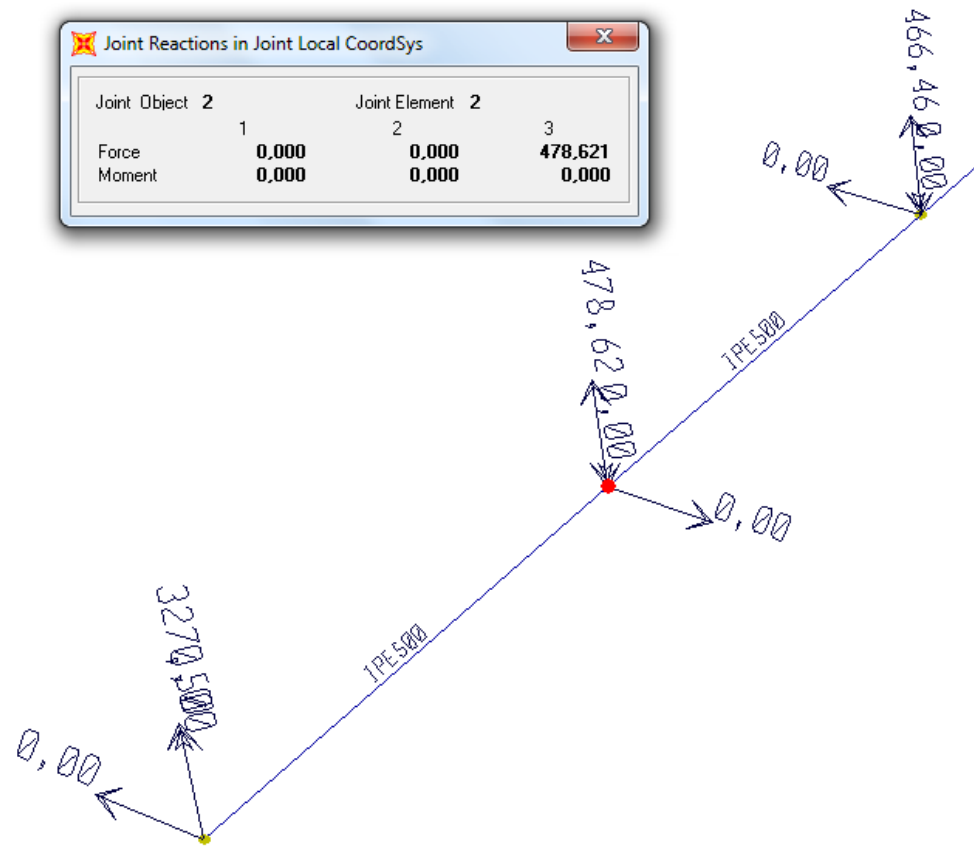
El valor de la reacción por carga muerta de puente grúa en la figura 4.6, es función del valor hallado  $P_D = 730 \text{ kgf}$ , en la sección 3.1.1. *Capacidad de carga 05 toneladas.*



**FIGURA 4.7 REACCIÓN POR CARGA VIVA VERTICAL**

El valor de la reacción por carga viva vertical en la figura 4.7, es función del valor hallado  $P_L = 6408 \text{ kgf}$ , en la sección 3.1.1. *Capacidad de carga 05 toneladas.*

El valor de la reacción por carga viva horizontal en la figura 4.8, es función del valor hallado  $P_L = 266,50 \text{ kgf}$ , en la sección 3.1.1. *Capacidad de carga 05 toneladas.* Cabe recalcar que esta figura solo muestra la sección más importante (el nodo con la reacción más crítica) para así poderla apreciar claramente.



**FIGURA 4.8 REACCIÓN POR CARGA VIVA HORIZONTAL**

Como se pudo observar, los resultados reflejaron que las reacciones más críticas están localizadas en el segundo nudo. A continuación se presenta la tabla 24 con las reacciones resultantes en el nudo más crítico para cada carga que actúa sobre la carrilera y la carga de la cual es función.



TABLA 24

## REACCIONES RESULTANTES 05 TONELADAS

DESCRIPCIÓN	CARGA *	REACCIÓN
Peso Propio de Carrilera	IPE500	617,38 kg
Carga Muerta de Pte. Grúa	$P_D = 730 \text{ kg}$	1304,81 kg
Carga Viva Vertical	$P_{LV} = 6408 \text{ kg}$	11446,84 kg
Carga Viva Horizontal	$P_{LH} = 266,50 \text{ kg}$	478,62 kg

\* Revisar la sección 3.1.1. Capacidad de carga 05 toneladas  
Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

Para este nuevo sistema por evaluar, puesto que su presencia es constante dentro del sistema son consideradas como cargas muertas las siguientes:

- Peso propio de carrilera,
- Carga muerta de puente grúa, y
- Carga muerta de cubierta.

Se consideran cargas vivas las siguientes:

- Carga viva vertical,
- Carga viva horizontal, y
- Carga viva de cubierta.

La tabla 25 contiene el resumen de las cargas actuantes sobre la columna.

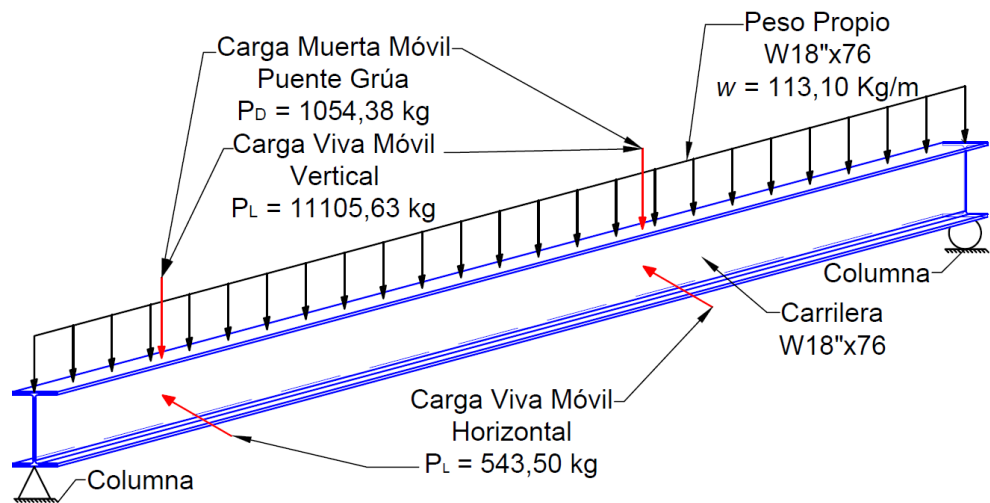
**TABLA 25**  
**CARGAS ACTUANTES PARA 05 TONELADAS**

<b>CARGAS</b>	<b>CARGA</b>	<b>RESULTADOS</b>
Carga Muerta Pte. Grúa	$P_D$	(Peso Propio) 617,38 kg (Carga Muerta) <u>+1304,81 kg</u> 1922,19 kg
Carga Muerta Cubierta	$P_{DC}$	1205,98 kg
Carga Viva Vertical Grúa	$P_{LV}$	11446,84 kg
Carga Viva Cubierta	$P_{DL}$	3170,64 kg
Carga Viva Horizontal	$P_{LH}$	478,62 kg

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

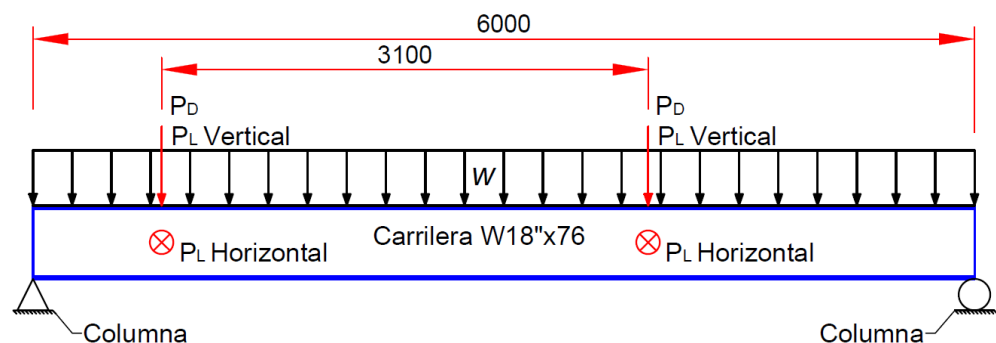
**Potencial de Izaje: 10 Toneladas**

Se procede de forma similar que la sección anterior, iterando con una capacidad de 10 toneladas.



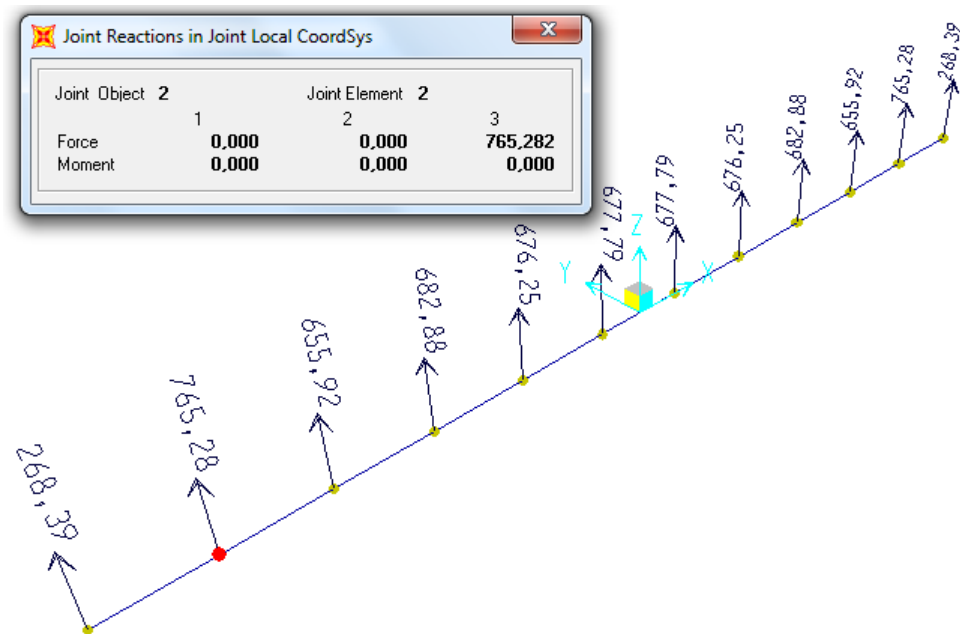
**FIGURA 4.9 VISTA TRIDIMENSIONAL DE CARRILERA**

La figura 4.9 muestra una perspectiva tridimensional de un tramo de la carrilera W18"x76. Como se puede observar, se detallan las cargas que se ejercen sobre la misma. Las cargas muerta puente grúa, viva vertical y viva horizontal son representadas como cargas móviles con excepción del peso propio la cual es una carga distribuida.



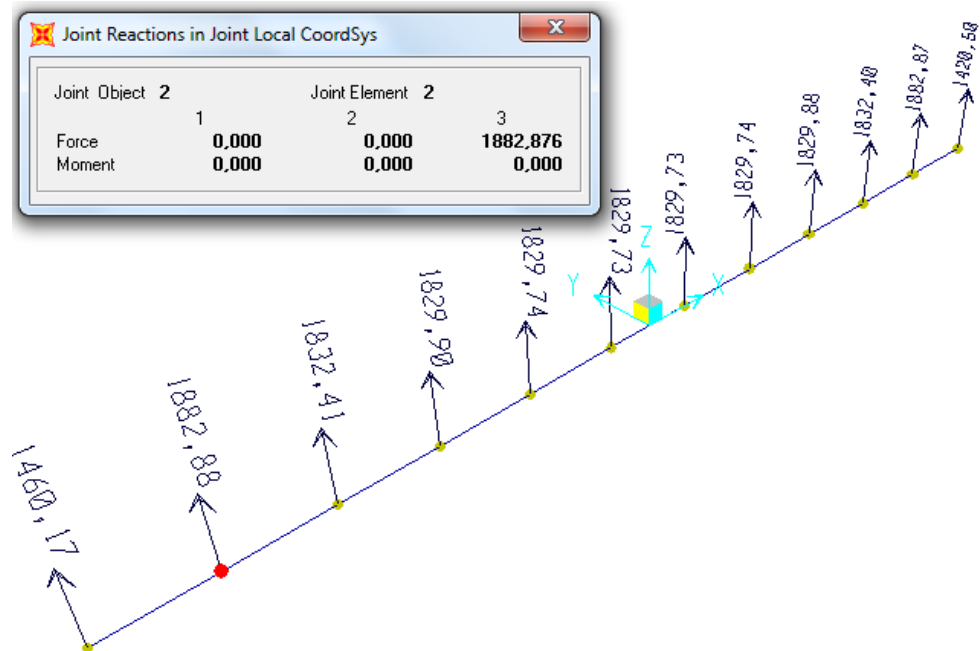
**FIGURA 4.10 VISTA FRONTAL DE CARRILERA**

La figura 4.10 muestra una vista frontal de un tramo de la carrilera W18"x76 donde se pueden apreciar las cargas junto a sus respectivas dimensiones. A continuación se muestran imágenes que fueron extraídas del programa SAP2000®, donde se aprecian los valores de las resultantes de estas cargas en cada una de las columnas (nodos).



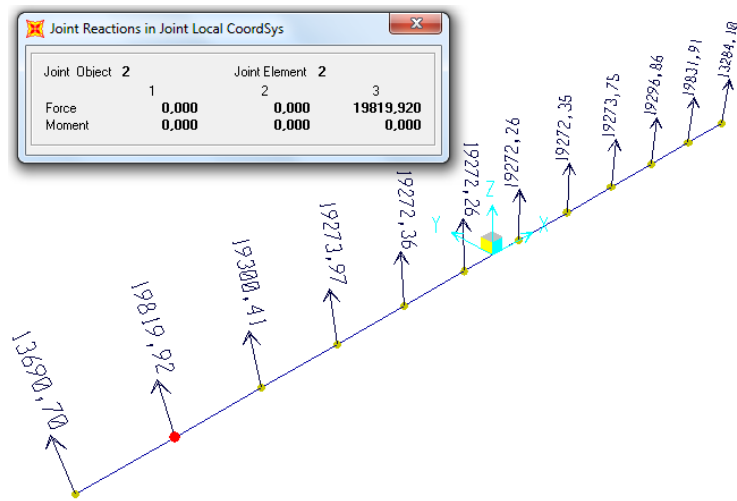
**FIGURA 4.11 REACCIÓN POR PESO PROPIO DE CARRILERA**

El valor de la reacción por peso propio de carrilera en la figura 4.11, es función del peso propio del perfil seleccionado W18x76 ( $w = 113,10 \text{ kg/m}$ ), en la sección 3.1.2. *Capacidad de carga 10 toneladas*.



**FIGURA 4.12 REACCIÓN POR CARGA MUERTA DE PUENTE GRÚA**

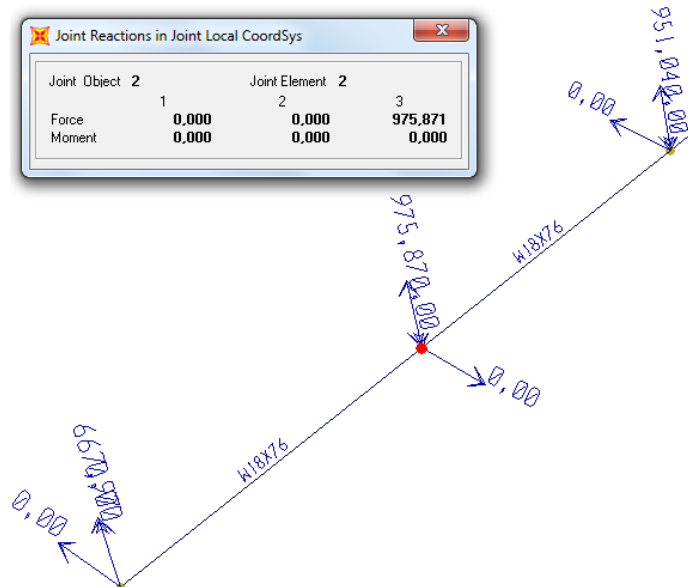
El valor de la reacción por carga muerta de puente grúa en la figura 4.12, es función del valor hallado  $P_D = 1054,38 \text{ kgf}$ , en la sección 3.1.2. *Capacidad de carga 10 toneladas.*



**FIGURA 4.13 REACCIÓN POR CARGA VIVA VERTICAL**

El valor de la reacción por carga viva vertical en la figura 4.13, es función del valor hallado  $P_L = 11105,63 \text{ kgf}$ , en la sección 3.1.2.

*Capacidad de carga 10 toneladas.*



**FIGURA 4.14 REACCIÓN POR CARGA VIVA HORIZONTAL**

El valor de la reacción por carga viva horizontal en la figura 4.14, es función del valor hallado  $P_L = 543,50 \text{ kgf}$ , en la sección 3.1.2. *Capacidad de carga 10 toneladas*. Cabe recalcar que esta figura solo muestra la sección más importante (el nodo con la reacción más crítica) para así poderla apreciar claramente.

Como se pudo observar, los resultados reflejaron que las reacciones más críticas están localizadas en el segundo nudo. A continuación se presenta la tabla 26 con las reacciones resultantes en el nudo más crítico para cada carga que actúa sobre la carrilera y la carga de la cual es función.

**TABLA 26**

**REACCIONES RESULTANTES 10 TONELADAS**

DESCRIPCIÓN	CARGA *	REACCIÓN
Peso Propio de Carrilera	W18x76	765,28 kg
Carga Muerta de Pte. Grúa	$P_D = 1054,38 \text{ kg}$	1882,88 kg
Carga Viva Vertical	$P_{LV} = 11105,63 \text{ kg}$	19819,92 kg
Carga Viva Horizontal	$P_{LH} = 543,50 \text{ kg}$	975,87 kg

\* Revisar la sección 3.1.2. Capacidad de carga 10 toneladas  
Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

Para este nuevo sistema por evaluar, puesto que su presencia es constante dentro del sistema son consideradas como cargas muertas las siguientes:

- Peso propio de carrilera,
- Carga muerta de puente grúa, y
- Carga muerta de cubierta.

Se consideran cargas vivas las siguientes:

- Carga viva vertical,
- Carga viva horizontal, y
- Carga viva de cubierta.

La tabla 27 contiene el resumen de las cargas actuantes sobre la columna.

**TABLA 27**  
**CARGAS ACTUANTES PARA 10 TONELADAS**

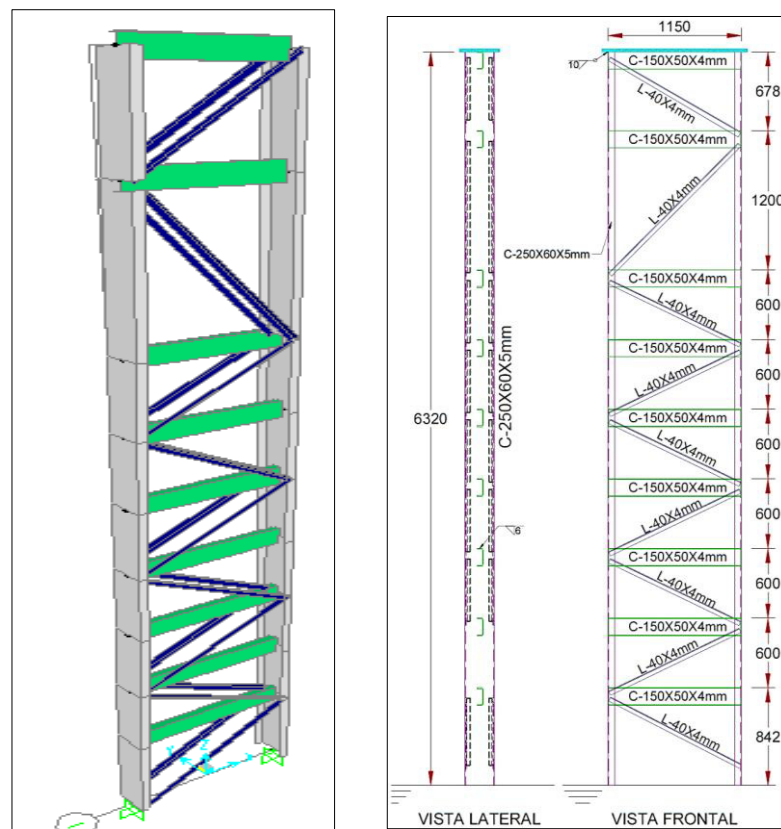
DESCRIPCION	CARGA	RESULTADOS
Carga Muerta Pte. Grúa	$P_D$	(Peso Propio) 765,28 kg (Carga Muerta) <u>+1882,88</u> kg 2648,16 kg
Carga Muerta Cubierta	$P_{DC}$	1205,98 kg
Carga Viva Vertical Grúa	$P_{LV}$	19819,92 kg
Carga Viva Cubierta	$P_{DL}$	3170,64 kg
Carga Viva Horizontal	$P_{LH}$	975,87 kg

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo



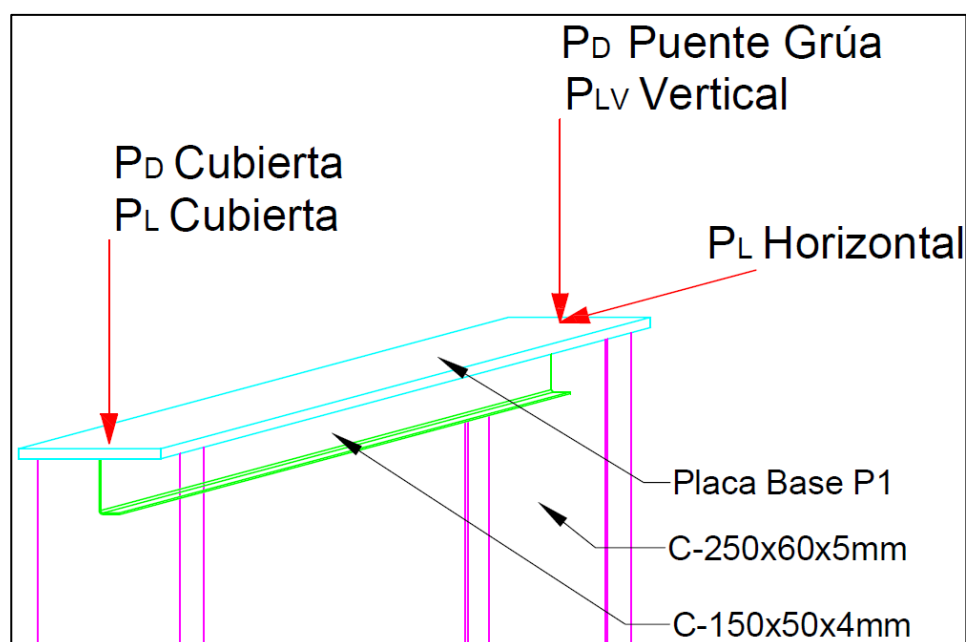
## 4.2. Revisión de Capacidad De Carga

Las columnas del galpón son cerchas conformadas por canales y ángulos. Las tablas 25 y 27, indican los valores de las cargas actuantes, Muerta y Viva, que se ejercen sobre la columna, para cada caso de capacidad de izaje. Se hará uso del software de diseño asistido SAP2000® para modelar la columna y obtener el valor de carga axial última  $P_u$ .



**FIGURA 4.15 COLUMNA MODELADA EN SAP2000® / VISTAS PRINCIPALES**

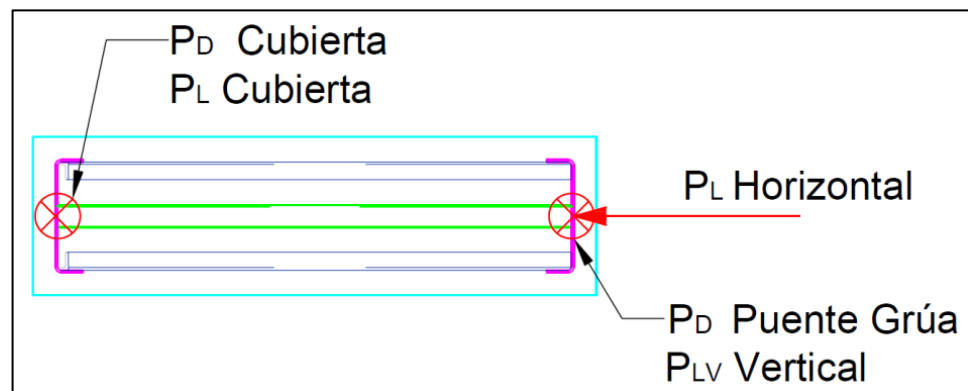
En la figura 4.15, en el modelo de SAP2000® se puede apreciar la columna con sus elementos diferenciados por colores. En gris aparece el canal principal C250x60x5mm, en verde el canal secundario C150x50x3mm y en azul los ángulos L40x6mm. Paralela a esta imagen se encuentran las vistas principales y sus dimensiones.



**FIGURA 4.16 VISTA TRIDIMENSIONAL DE SECCIÓN SUPERIOR DE COLUMNA CON CARGAS ACTUANTES APLICADAS**

La figura 4.16 muestra una perspectiva tridimensional de la sección superior de la columna. Se aprecia las cargas actuante localizada sobre la misma. Los valores de estas cargas dependen del

potencial de izaje y se encuentran tabuladas en las tablas 25 y 27 respectivamente.

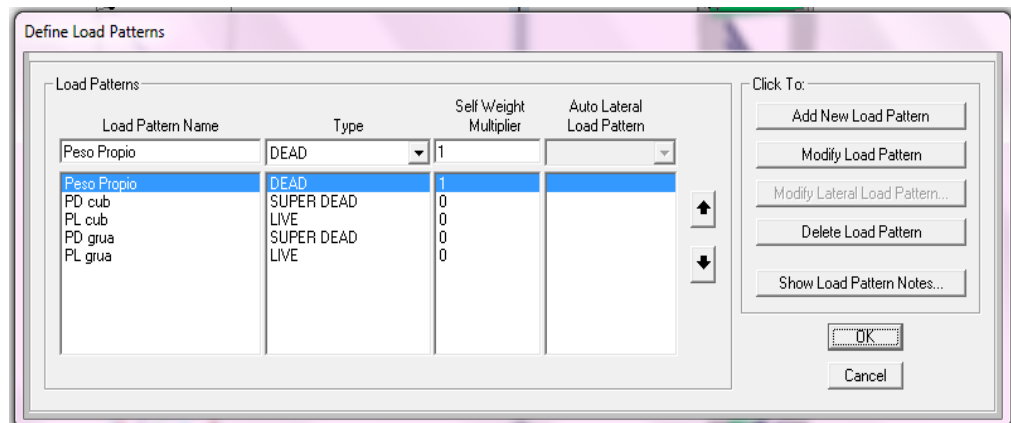


**FIGURA 4.17 VISTA SUPERIOR DE COLUMNA CON CARGAS ACTUANTES APLICADAS**

La figura 4.17 muestra una vista superior de la columna con otra perspectiva de las cargas actuantes aplicadas.

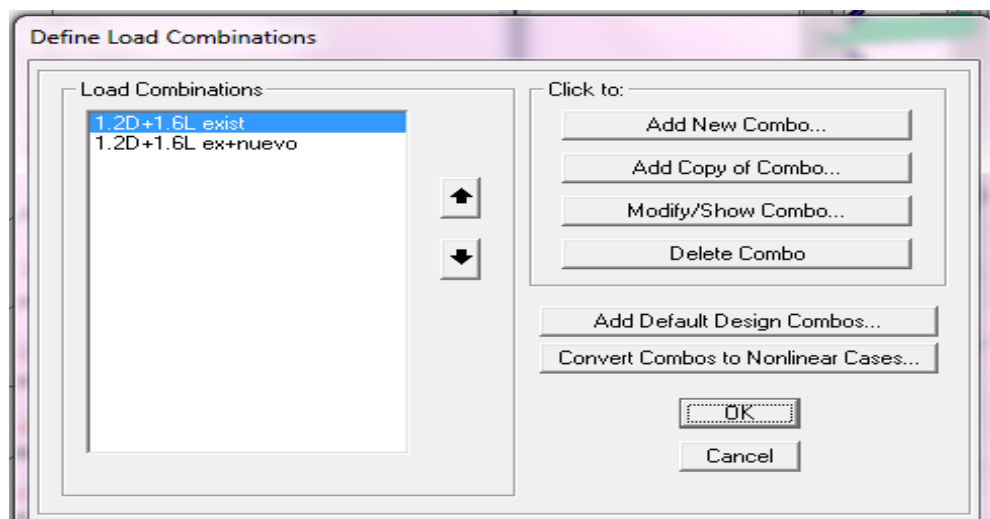
### **Potencial de Izaje: 05 Toneladas**

Esta sección se basa en los resultados tabulados en la tabla 25. La figura 4.18 muestra el ingreso de las cargas muertas y vivas al software, ejercidas por el puente grúa y la cubierta.



**FIGURA 4.18 INGRESO DE CARGAS ACTUANTES**

Es necesario comparar la situación de la estructura existente para poder verificar su capacidad de carga. Por lo tanto, se dispuso dos casos para el análisis: el **caso 1** refiere a las cargas existentes y el **caso 2** considera la influencia de las nuevas cargas. Todo esto se muestra en la figura 4.19.



**FIGURA 4.19 COMBINACIÓN DE CARGAS**

Las figuras 4.20 y 4.21, muestran las cargas actuantes involucradas para cada combinación de carga. La primera considera la cubierta junto a su estructura de soporte (Caso 1) mientras la segunda agrega la presencia de las cargas relacionadas al puente grúa (Caso 2).

**Load Combination Data**

**Load Combination Name** (User-Generated)   
 Notes

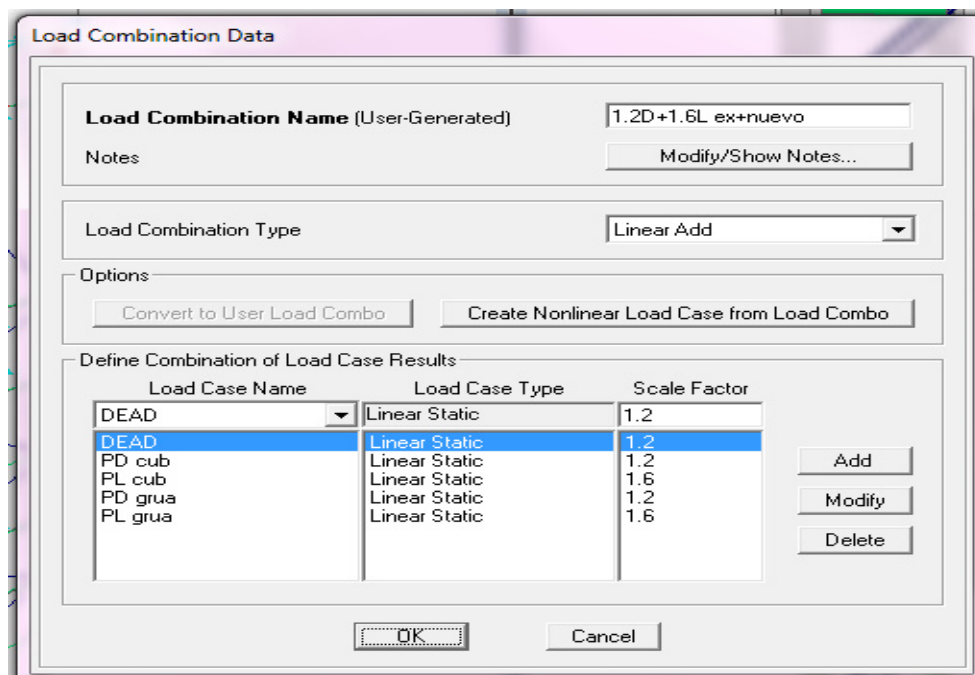
**Load Combination Type**  ▾

**Options**

**Define Combination of Load Case Results**

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD ▾	Linear Static	1.2
DEAD	Linear Static	1.2
PD cub	Linear Static	1.2
PL cub	Linear Static	1.6

**FIGURA 4.20 COMBINACIÓN DE CARGAS CASO 1**



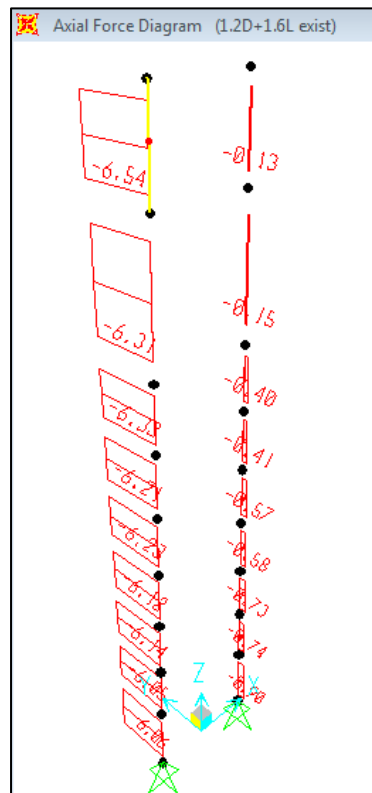
**FIGURA 4.21 COMBINACIÓN DE CARGAS CASO 2**

Al ejecutar el software de diseño asistido SAP2000®, se obtiene valores de  $P_u$  de cada elemento que conforma la cercha de columna. El proceso de diseño se aplica para cada elemento que conforma la columna. A continuación se detalla el proceso de diseño por cada sección.

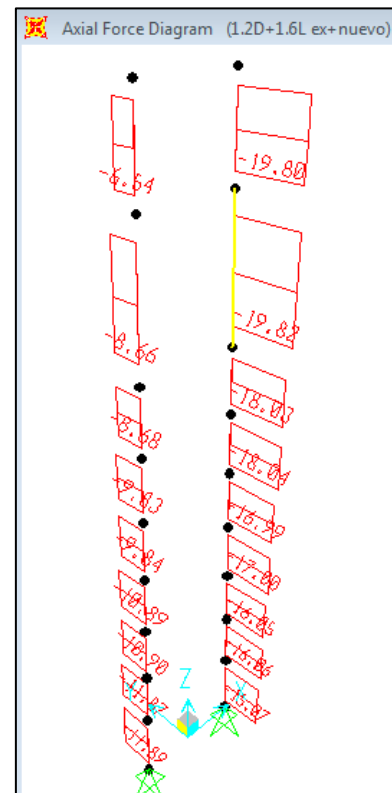
#### Carga Axial en Canal Principal

Las figuras 4.22 y 4.23, muestran la incidencia de la combinación de carga sobre el canal principal C250x60x5mm, antes y después de implementar las cargas debido al puente grúa respectivamente. También se aprecia en la figura 4.20 que la mayor carga axial  $P_u$ ,

bajo la nueva combinación, está ubicada en la segunda sección de la columna con un valor de 19,82 toneladas.



**FIGURA 4.22**  
**CASO 1**



**FIGURA 4.23**  
**CASO 2**

Las propiedades de los canales verticales C250x60x5mm, son las siguientes:

- ✓ Área = 17,75 cm<sup>2</sup>
- ✓  $r_x$  = 8,966 cm
- ✓  $r_y$  = 1,642 cm

En función de estas propiedades del perfil, se usará las ecuaciones (47) y (48) para inspeccionar el alma y las ecuaciones (49) y (50) para inspeccionar las alas.

$$\begin{array}{c} \lambda_{alma} = \frac{h_w}{t_w} \quad \left| \quad \lambda_{r\ alma} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \hline \lambda_{alma} = 50 \\ \hline \lambda_{r\ alma} = 42,29 \\ \hline \text{Alma es esbelta} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \lambda_{ala} = \frac{b}{t_f} \quad \left| \quad \lambda_{r\ ala} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \hline \lambda_{ala} = 12 \\ \hline \lambda_{r\ ala} = 15,89 \\ \hline \text{Ala NO es esbelta} \end{array}$$

A pesar que el ala no es esbelta, el contenido del subcapítulo E7 del *ANSI/AISC 360-10*, aplica pues es para secciones con por lo menos un elemento esbelto sujeto a compresión. Ya que el alma es esbelta, se procederá a obtener la resistencia a carga axial  $P_n$ , iniciando con la ecuación (63) para hallar el valor de  $Q_s$ .



$$\frac{b}{t} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$12 \leq 15,89$$

$$\therefore Q_s = 1$$

Se continúa con el valor de  $Q_a$ . Para esto se debe primero obtener el valor de  $f = F_{cr}$ , considerando un  $Q = 1$ . Se inicia por obtener los valores de  $KL/r$ .

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{(1)(632 \text{ cm})}{(8,97 \text{ cm})} = 70,49$$

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{(1)(120 \text{ cm})}{(1,64 \text{ cm})} = 73,09$$

Gobierna el mayor valor de  $KL/r = 73,09$ , por lo tanto aplica la ecuación (57) junto con la ecuación (54).

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$73,09 \leq 133,68$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 3767,19 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = F_{cr} = Q \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = 1909,82 \text{ kg/cm}^2$$

Se procede obteniendo el valor del ancho/altura efectivo  $h_e$  para almas, usando la ecuación (67) puesto que se cumple la siguiente relación:

$$\frac{H}{t} \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$50 \geq 13,03$$

$$h_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[ 1 - \frac{0.34}{(H/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq H$$

$$h_e = 24,36 \text{ cm} \leq 25 \text{ cm}$$

Consecuentemente, se obtiene un área efectiva  $A_e = 17,43 \text{ cm}^2$ . Se aplica la ecuación (66) y obtengo el siguiente factor de reducción.

$$Q_a = \frac{A_e}{A_g} = 0,982$$

$$\therefore Q = Q_s * Q_a = 0,982$$

Se recalcula bajo la ecuación (57) con el nuevo valor de  $Q$ .

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$$

$$73,09 \leq 134,90$$

$$F_{cr} = Q \left[ 0.658 \frac{QF_y}{F_e} \right] F_y = 1884,91 \text{ kg/cm}^2$$

Se obtiene el valor de  $\varphi_c P_n$ .

$$\varphi_c P_n = (0,9) \left( 1884,91 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) (17,75 \text{ cm}^2)$$

$$\varphi_c P_n = 30111,41 \text{ kg} = 30,11 \text{ Ton}$$

Por lo tanto,

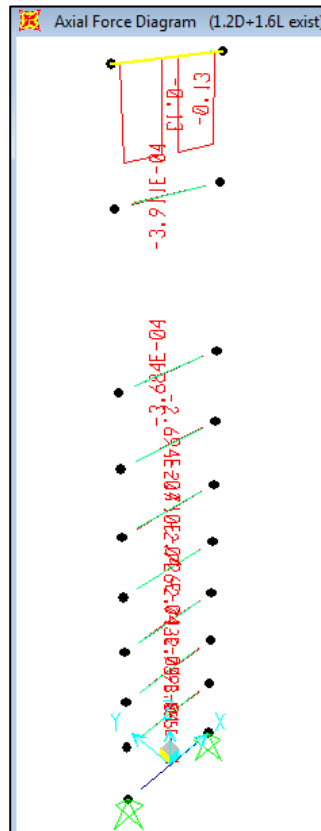
$$P_u \leq \varphi_c P_n$$

$$19,82 \text{ Ton} \leq 30,11 \text{ Ton}$$

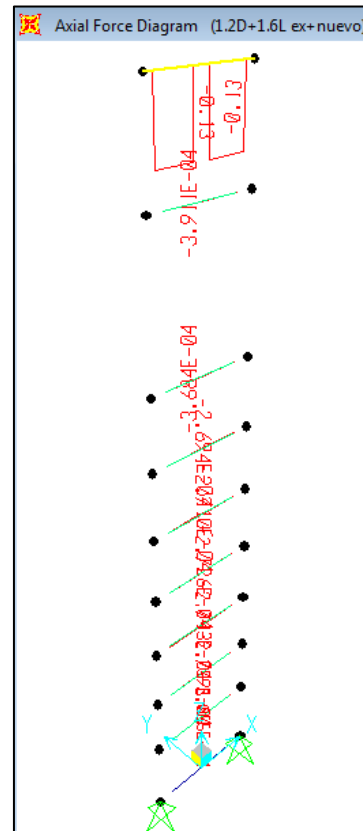
∴ El perfil C250x60x5mm cumple

### Carga Axial en Canales Horizontales

Se aprecia en la figura 4.25 que la mayor carga axial  $P_u$ , ante las nuevas cargas, es igual a 0,13 toneladas.



**FIGURA 4.24**  
**CASO 1**



**FIGURA 4.25**  
**CASO 2**

Las propiedades de los canales horizontales C150x50x3mm, son las siguientes:

- ✓ Área = 7,23 cm<sup>2</sup>
- ✓  $r_x$  = 5,640 cm
- ✓  $r_y$  = 1,483 cm

En función de estas propiedades del perfil, se usará las ecuaciones (47) y (48) para inspeccionar el alma y las ecuaciones (49) y (50) para inspeccionar las alas.

$$\begin{array}{c} \lambda_{alma} = \frac{h_w}{t_w} \quad \left| \quad \lambda_{r\ alma} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \hline \lambda_{alma} = 50 \\ \hline \lambda_{r\ alma} = 42,29 \\ \hline \textbf{Alma es esbelta} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \lambda_{ala} = \frac{b}{t_f} \quad \left| \quad \lambda_{r\ ala} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \hline \lambda_{ala} = 16,67 \\ \hline \lambda_{r\ ala} = 15,89 \\ \hline \textbf{Ala es esbelta} \end{array}$$

Puesto que tanto el ala como el alma son esbeltas, se procede con el contenido del subcapítulo E7 del *ANSI/AISC 360-10*. Se procederá a obtener la resistencia a carga axial  $P_n$ , iniciando con la ecuación (64) para hallar el valor de  $Q_s$ .

$$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} < 1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$15,89 \leq 16,67 \leq 29,23$$

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$Q_s = 0,98$$

Se continúa con el valor de  $Q_a$ . Para esto se debe primero obtener el valor de  $f = F_{cr}$ , considerando un  $Q = 1$ . Por lo tanto se inicia por obtener los valores de  $KL/r$ .

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{(1)(90 \text{ cm})}{(5,64 \text{ cm})} = 15,96$$

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{(1)(90 \text{ cm})}{(1,48 \text{ cm})} = 60,69$$

Gobierna el mayor valor de  $KL/r = 60,69$ , por lo tanto aplica la ecuación (57) junto con la ecuación (54).

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$60,69 \leq 133,68$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 5463,49 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = F_{cr} = Q \left[ 0,658 \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y = 2084,06 \text{ kg/cm}^2$$

Se procede obteniendo el valor del ancho/altura efectivo  $h_e$  para almas, usando la ecuación (67), puesto que se cumple la siguiente relación:

$$\frac{H}{t} \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$50 \geq 10,82$$

$$h_e = 1,92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[ 1 - \frac{0,34}{(H/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq H$$

$$h_e = 14,25 \text{ cm} \leq 15 \text{ cm}$$

Consecuentemente, se obtiene un área efectiva  $A_e = 7,004 \text{ cm}^2$ . Por lo tanto se aplica la ecuación (66) y obtengo el siguiente factor de reducción.

$$Q_a = \frac{A_e}{A_g} = 0,969$$

Por lo tanto,

$$Q = Q_s * Q_a = 0,949$$

Se recalcula bajo la ecuación (57) con el nuevo valor de  $Q$ .  
 Recordar que el valor de  $F_e$  permanece inalterado.

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$$

$$60,69 \leq 137,20$$

$$F_{cr} = Q \left[ 0,658 \frac{QF_y}{F_e} \right] F_y = 1990,54 \text{ kg/cm}^2$$

Consecuentemente, se obtiene el valor de  $\varphi_c P_n$ .

$$\varphi_c P_n = (0,9) \left( 1990,54 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) (7,23 \text{ cm}^2)$$

$$\varphi_c P_n = 12952,44 \text{ kg} = 12,95 \text{ Ton}$$

Por lo tanto,

$$P_u \leq \varphi_c P_n$$

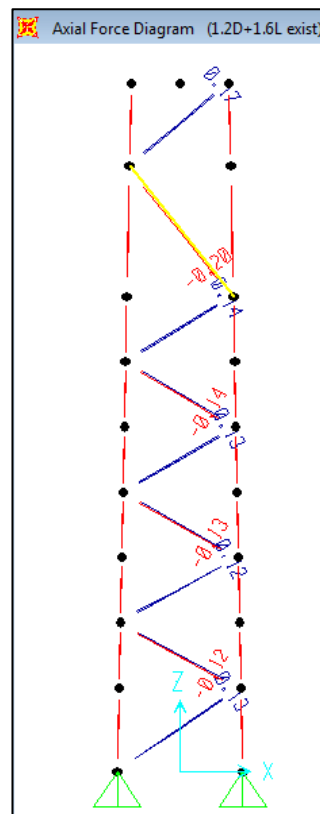
$$0,13 \text{ Ton} \leq 12,95 \text{ Ton}$$

∴ El perfil C150x50x3mm cumple

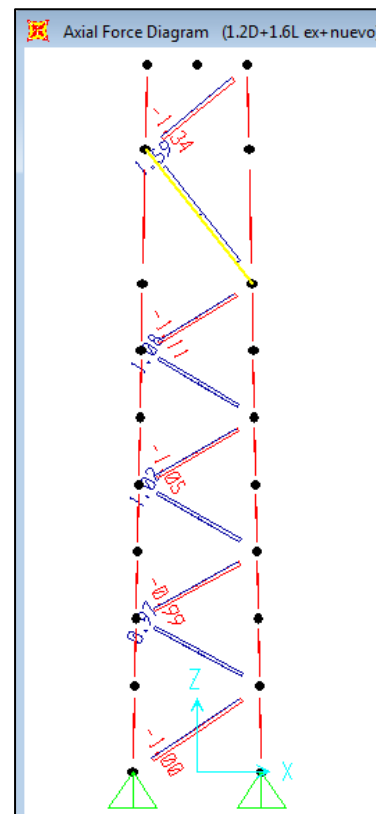


### Carga Axial en Ángulos de Amarre

En la figura 4.27, la mayor carga axial actuante ante la nueva combinación sobre los ángulos que conforman la columna es de  $P_u = 1,34$  toneladas. Dicho ángulo tiene una longitud aproximada de 120 cm, pero como tiene una presilla intermedia, la longitud no arriostrada disminuye a 60 cm.



**FIGURA 4.26**  
**CASO 1**



**FIGURA 4.27**  
**CASO 2**

Los ángulos L40x6mm tienen las siguientes propiedades:

- ✓ Área = 3,59 cm<sup>2</sup>
- ✓  $r_x$  = 0,73 cm

En función de estas propiedades del perfil, se usará las ecuaciones (45) y (46) para obtener las relaciones ancho-espesor.

$$\lambda = \frac{b}{t} \quad \left| \quad \lambda_r = 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}\right.$$


---


$$\lambda = 8$$


---


$$\lambda_r = 12,77$$


---

**Sección NO es esbelta**

De acuerdo al subcapítulo E5 del *ANSI/AISC 360-10*, se determina el valor de  $KL/r$ , mediante la ecuación (56), puesto se cumple la siguiente condición:

$$\frac{L}{r_x} = 82,19 > 80$$

$$\frac{KL}{r} = 32 + 1,25 \left( \frac{L}{r_x} \right) = 134,74 \leq 200$$

Como el ángulo 40x6mm NO es un elemento esbelto, se procede citando la ecuación (53) y (54), referente al subcapítulo E3 del *ANSI/AISC 360-10*, para obtener el valor de  $\phi_c P_n$ .

$$\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$134,74 > 133,68$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 1108,42 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = 0,877F_e = 972,09 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varphi_c P_n = (0,9) \left( 972,09 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) (3,59 \text{ cm}^2)$$

$$\varphi_c P_n = 3140,81 \text{ kg} = 3,14 \text{ Ton (cada ángulo)}$$

$$\varphi_c P_n = 6,28 \text{ Ton (par de ángulos)}$$

Por lo tanto,

$$P_u \leq \varphi_c P_n$$

$$1,34 \text{ Ton} \leq 6,28 \text{ Ton}$$

∴ El perfil L40x6mm cumple a compresión

Por otro lado, en la figura 4.24, se muestra que la mayor carga de tensión actuante ante la nueva combinación sobre los ángulos que conforman la columna es  $T_u = 1,59$  toneladas. La resistencia a la tensión de acuerdo al capítulo D2 de la especificación ANSI/AISC 360-10, se comporta de según la ecuación (68).

$$T_u \leq \varphi_t T_n$$

Es necesario revisar para cada estado límite y así seleccionar el mínimo valor de resistencia a la tensión  $\phi T_n$ . A continuación se detalla cada caso haciendo uso de las ecuaciones (69) y (70).

*Caso #1: Tensión por fluencia*

$$\varphi_t = 0,90$$

$$\varphi_t T_n = (0,9)(2530)(3,59)$$

$$\varphi_t T_n = 8,17 \text{ Ton}$$

*Caso #2: Tensión por fractura*

Puesto que los ángulos están soldados, el valor del factor de corte  $U$  asignado por la tabla D3.1 es igual a 1. Por lo tanto, el valor del área neta efectiva  $A_e$  es igual al área gruesa  $A_g$ .

$$\varphi_t = 0,75$$

$$\varphi_t T_n = (0,75)(4080)(3,59)$$

$$\varphi_t T_n = 10,98 \text{ Ton}$$

Se escoge el menor valor de  $\varphi_t T_n$

$$\varphi_t T_n = 8,17 \text{ Ton} \times 2 \text{ ángulos} = 16,35 \text{ Ton}$$

Por lo tanto,

$$T_u \leq \varphi_t T_n$$

$$1,59 \text{ Ton} \leq 16,35 \text{ Ton}$$

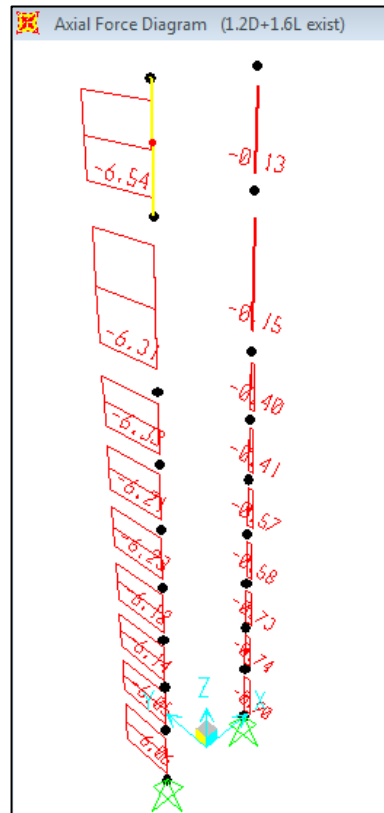
∴ El perfil L40x6mm cumple a tensión

### **Potencial de Izaje: 10 Toneladas**

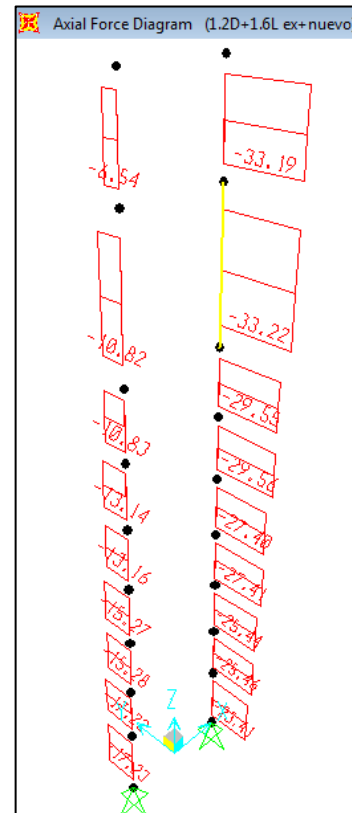
El procedimiento de ingreso de cargas al software de diseño asistido es igual al de la sección anterior, con la excepción que sus cargas provienen de la tabla 27. Por consiguiente, cualquier imagen demostrativa se vuelve innecesaria y el desarrollo del proyecto de graduación, pasa directamente al análisis de cada componente de la columna bajo este nuevo escenario de carga.

### Carga Axial en Canal Principal

Las figuras 4.28 y 4.29, muestran la incidencia de la combinación de carga sobre el canal principal C250x60x5mm, antes y después de implementar las cargas debido al puente grúa respectivamente. Se aprecia también en la figura 4.29 que la mayor carga axial  $P_u$ , ante la nueva combinación, se ubica en la segunda sección de la columna con un valor de 33,22 toneladas.



**FIGURA 4.28**  
**CASO 1**



**FIGURA 4.29**  
**CASO 2**

Puesto que la estructura de las columnas no varía si se aplica otro potencial de izaje sobre estas, el procedimiento para hallar el valor de  $\varphi_c P_n$  es exactamente igual al de la sección anterior. Esto significa que:

$$\varphi_c P_n = (0,9) \left( 1884,91 \frac{kg}{cm^2} \right) (17,75 \text{ cm}^2)$$

$$\varphi_c P_n = 30,11 \text{ Ton}$$

Por lo tanto,

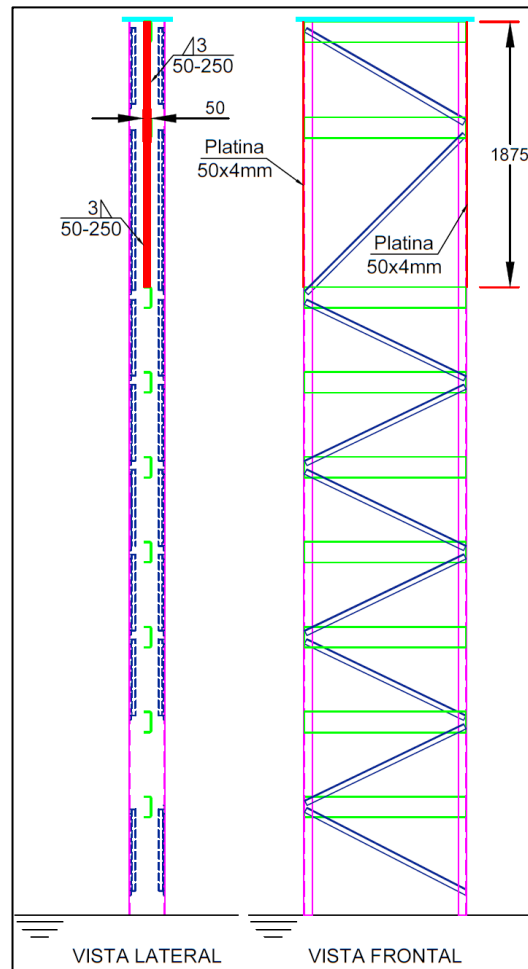
$$P_u \leq \varphi_c P_n$$

$$33,22 \text{ Ton} > 30,11 \text{ Ton}$$

∴ El perfil C250x60x5mm NO cumple

La figura 4.29 muestra que las primeras dos secciones del canal C250x60x5mm poseen fuerzas resultantes de 33,19 y 33,22 toneladas respectivamente. Los cálculos han demostrado que la actual capacidad es de 30,11 toneladas, resultando en un déficit de -3,11 toneladas.

Es necesario realizar un reforzamiento sobre el canal principal para obtener la resistencia adecuada. Existen dos alternativas para lograr este propósito: aumentar el valor del esfuerzo crítico  $F_{cr}$ , o por defecto aumentar el área transversal  $A_g$  del perfil. Sin embargo, la primera alternativa es función de la relación  $KL/r$  y su manipulación incide en las dimensiones de la columna, las cuales no pueden ser modificadas. Por lo tanto, se plantea utilizar una platina de 50x4mm con un área transversal de 2 cm<sup>2</sup>. Esto provoca que el área transversal del canal C250x60x5mm aumente de 17,75 cm<sup>2</sup> a 19,75 cm<sup>2</sup> y así alcanzar la resistencia necesaria.



**FIGURA 4.30 DETALLE COLUMNA REFORZADA**

La figura 4.30 muestra el reforzamiento sobre el canal C250x60x5mm. Como se había mencionado, el área crítica consiste de las dos primeras secciones y tiene una longitud total de 1875mm. Se detalla un cordón de soldadura típico y se asume que las propiedades del material de aporte son superiores al del material base.



Se recalcula el valor de  $\varphi_c P_n$ .

$$\varphi_c P_n = (0,9) \left( 1884,91 \frac{kg}{cm^2} \right) (19,75 cm^2)$$

$$\varphi_c P_n = 33504,27 kg = 33,50 Ton$$

Este incremento resulta en una capacidad de 33,50 toneladas, por lo que se tendría lo siguiente:

$$P_u \leq \varphi_c P_n$$

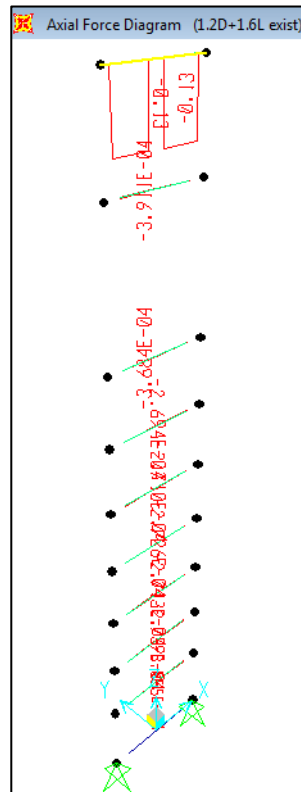
$$33,22 Ton \leq 33,50 Ton$$

∴ El perfil C250x60x5mm REFORZADO cumple

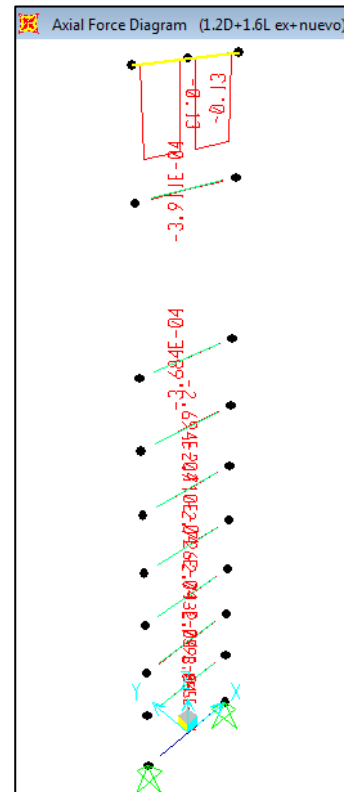
Tener en cuenta que la platina seleccionada, posee la mínima área transversal para reforzar la canal principal. Por lo tanto, toda platina con un área superior a  $2 cm^2$  estaría capacitada para reforzar a columna. El galpón tienen un total de 24 columnas, el tramo tiene una longitud de 1875 mm y el reforzamiento debe hacerse en ambas caras. Esto resulta en 90 metros lineales de esta platina para el reforzamiento.

#### Carga Axial en Canales Horizontales

Se aprecia en la figura 4.32 que la mayor carga axial  $P_u$ , ante las nuevas cargas, es igual a 0,13 toneladas.



**FIGURA 4.31**  
**CASO 1**



**FIGURA 4.32**  
**CASO 2**

Puesto que la estructura de las columnas no varía si se aplica otro potencial de izaje sobre estas, el procedimiento para hallar el valor de  $\varphi_c P_n$  es exactamente igual al de la sección anterior. Esto significa que:

$$\varphi_c P_n = (0,9) \left( 1990,54 \frac{kg}{cm^2} \right) (7,23 cm^2)$$

$$\varphi_c P_n = 12952,44 kg = 12,95 Ton$$

Por lo tanto,

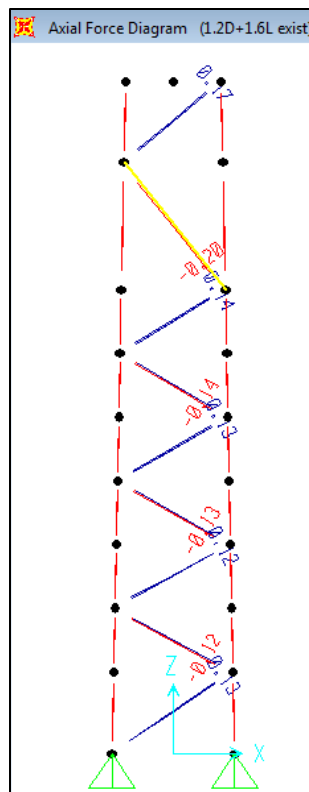
$$P_u \leq \varphi_c P_n$$

$$0,13 \text{ Ton} \leq 12,95 \text{ Ton}$$

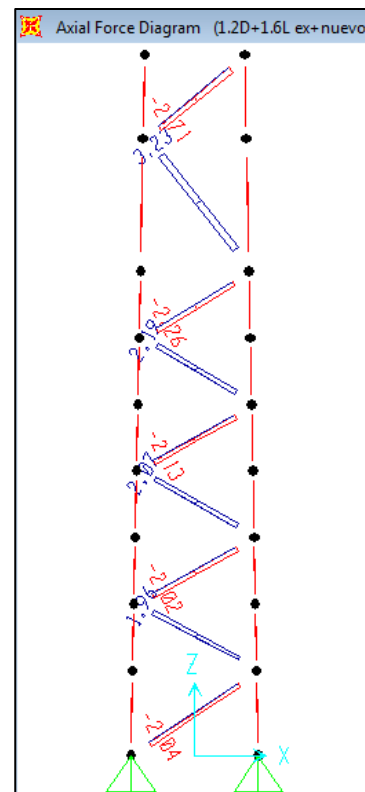
∴ El perfil C150x50x3mm cumple

### Carga Axial en Ángulos de Amarre

En la figura 4.34, la mayor carga axial actuante ante la nueva combinación sobre los ángulos que conforman la columna es de  $P_U=2,71$  toneladas. Dicho ángulo tiene una longitud aproximada de 120 cm, pero como tiene una presilla intermedia, la longitud no arriostrada disminuye a 60 cm.



**FIGURA 4.33**  
**CASO 1**



**FIGURA 4.34**  
**CASO 2**

Puesto que la estructura de las columnas no varía si se aplica otro potencial de izaje sobre estas, el procedimiento para hallar el valor de  $\varphi_c P_n$  es exactamente igual al de la sección anterior. Esto significa que:

$$\varphi_c P_n = (0,9) \left( 972,09 \frac{kg}{cm^2} \right) (3,59 cm^2)$$

$$\varphi_c P_n = 3140,81 kg = 3,14 Ton \text{ (por cada ángulo)}$$

$$\varphi_c P_n = 6,28 Ton \text{ (por el par de ángulos)}$$

Por lo tanto,

$$P_u \leq \varphi_c P_n$$

$$2,71 Ton \leq 6,28 Ton$$

∴ El perfil L40x6mm cumple a compresión

Por otro lado, en la figura 4.34, se muestra que la mayor carga de tensión actuante ante la nueva combinación sobre los ángulos que conforman la columna es  $T_u = 3,23$  toneladas. No existe variación sobre las columnas ante el nuevo potencial de izaje, entonces:

$$\varphi_t T_n = 8,17 Ton \times 2 \text{ ángulos} = 16,35 Ton$$

Por lo tanto,

$$T_u \leq \varphi_t T_n$$

$$3,23 Ton \leq 16,35 Ton$$

∴ El perfil L40x6mm cumple a tensión

### 4.3. Análisis de Resultados

En base a lo obtenido de los capítulos 2 y 3, *Diseño de Viga Cargadora para Puente Grúa y Diseño de Carrileras para Puente Grúa* respectivamente, se expondrá un análisis de resultados en función de los potenciales de izaje establecidos para este proyecto de graduación.

#### Potencial de Izaje: 05 Toneladas

Las columnas de la estructura existente son cerchas compuestas en esencia por tres componentes: un canal principal, un canal secundario y ángulos de amarre. Estos elementos fueron revisados bajo su respectivo caso de aplicación, para comprobar su capacidad de carga. A continuación se detalla un cuadro resumiendo los resultados.

**TABLA 28**

#### RESULTADOS OBTENIDOS: 05 TONELADAS

PERFIL	REVISIÓN BAJO	ECUACIÓN	ESTADO
C250x60x5	COMPRESIÓN	$P_u \leq \phi_c P_n$ $19,82 \leq 30,11 \text{ Ton}$	Cumple
C150x50x5	COMPRESIÓN	$P_u \leq \phi_c P_n$ $0,13 \leq 12,95 \text{ Ton}$	Cumple

L40x6	COMPRESIÓN	$P_u \leq \varphi_c P_n$ $1,34 \leq 6,28 \text{ Ton}$	Cumple
	TENSIÓN	$T_u \leq \varphi_t T_n$ $1,59 \leq 16,35 \text{ Ton}$	Cumple

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

Como se había mencionado, en base a los resultados recopilados de los diseños realizados en este proyecto de graduación, se presentan los siguientes resultados para el potencial de izaje establecido:

- Una vez realizados los cálculos necesarios, se puede concluir que el perfil laminado **W24"x104**, bajo las condiciones de carga establecidas para este proyecto de graduación, **CUMPLE** todos los requerimientos de diseño estipulados en la sección 1.4.1. *Criterios de Diseño para Viga Cargadora.*
- Una vez realizados los cálculos necesarios, se puede concluir que el perfil laminado **IPE500**, bajo las condiciones de carga establecidas para este proyecto de graduación, **CUMPLE** todos los requerimientos de diseño estipulados en la sección 1.4.2. *Criterios de Diseño para Vigas Carrileras.*
- Una vez realizados los cálculos necesarios, se puede concluir que las columnas tipo cercha, bajo las condiciones de carga establecidas para este proyecto de graduación, **CUMPLEN**

todos los requerimientos de diseño estipulados en la sección 1.4.3 *Criterios de Diseño para Comprobación de Capacidad de Carga de Estructura Existente*, sin necesidad de implementar reforzamiento alguno.

### Potencial de Izaje: 10 Toneladas

Los distintos elementos de la columna fueron revisados bajo cada caso de aplicación y así comprobar su capacidad de carga. A continuación se detalla un cuadro resumiendo los resultados.

**TABLA 29**

#### RESULTADOS OBTENIDOS: 10 TONELADAS

PERFIL	REVISIÓN BAJO	ECUACIÓN	ESTADO
C250x60x5	COMPRESIÓN	$P_u \leq \varphi_c P_n$ $33,22 > 30,11 \text{ Ton}$	No Cumple
C250x60x5 Reforzado	COMPRESIÓN	$P_u \leq \varphi_c P_n$ $33,22 \leq 33,50 \text{ Ton}$	Cumple
C150x50x5	COMPRESIÓN	$P_u \leq \varphi_c P_n$ $0,13 \leq 12,95 \text{ Ton}$	Cumple
L40x6	COMPRESIÓN	$P_u \leq \varphi_c P_n$ $2,71 \leq 6,28 \text{ Ton}$	Cumple
	TENSIÓN	$T_u \leq \varphi_t T_n$ $3,23 \leq 16,35 \text{ Ton}$	Cumple

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

En base a los resultados recopilados de los diseños realizados en este proyecto de graduación, se presentan los siguientes resultados para el potencial de izaje establecido:

1. Una vez realizados los cálculos necesarios, se puede concluir que el perfil laminado **W27"x146**, bajo las condiciones de carga establecidas para este proyecto de graduación, **CUMPLE** todos los requerimientos de diseño estipulados en la sección 1.4.1. *Criterios de Diseño para Viga Cargadora.*
2. Una vez realizados los cálculos necesarios, se puede concluir que el perfil laminado **W18"x76**, bajo las condiciones de carga establecidas para este proyecto de graduación, **CUMPLE** todos los requerimientos de diseño estipulados en la sección 1.4.2. *Criterios de Diseño para Vigas Carrileras.*
3. Una vez realizados los cálculos necesarios, se puede concluir que las columnas tipo cercha reforzadas con platina de 50x4mm, bajo las condiciones de carga establecidas para este proyecto de graduación, **CUMPLEN** todos los requerimientos de diseño estipulados en la sección 1.4.3 *Criterios de Diseño para Comprobación de Capacidad de Carga de Estructura Existente.*



#### **4.4. Análisis de Costos**

La viabilidad de un proyecto puede ser ensombrecida a través de un escenario económicamente desfavorable. Este es un tema que a pesar que no repercute directamente en los procesos de diseño, puede llegar a detener su incorporación si se confirma que dicha implementación genera un balance negativo. La empresa metalmecánica desea implementar un nuevo sistema de izaje que le permita manipular mayores tonelajes de productos pero de ser posible, con un costo de implementación muy bajo. A continuación se plantean costos generales, acorde al mercado nacional actual, respecto de los diseños finales de los puentes grúas y los equipos de izaje que la complementan. Puesto que la empresa metalmecánica cuenta con su propio personal para la fabricación de las estructuras metálicas necesarias, se omite el rubro por mano de obra de la misma.

##### **Potencial de Izaje: 05 Toneladas**

Se iniciará detallando los costos referentes a los perfiles de acero utilizados para la fabricación del puente grúa y las carrileras. El costo de este tipo de elementos se maneja bajo la relación precio-peso y es proporcional a las dimensiones del mismo y a su peso lineal. Por lo tanto, un perfil con mayores dimensiones y por

consiguiente un mayor peso lineal, reflejará un costo mayor. Este principio tuvo mucha influencia sobre la selección de los perfiles laminados necesarios durante el diseño realizado. A continuación se exponen tablas de costos con los resultados obtenidos de las cotizaciones.

**TABLA 30**  
**COSTOS DE ACERO**

DESCRIPCIÓN	CANT (mts)	PESO LINEAL (Kg/m)	PESO TOTAL (kg)	\$/kg	COSTO TOTAL
W24" x 104	15	154,80	2.322,0	2,50	\$ 5.805,00
IPE 500	132	90,7	11.972,4	1,85	\$22.148,94
<b>TOTAL</b>					<b>\$27.953,94</b>

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

La tabla 30, refleja un total de **\$27.953,94** dólares + IVA, como costo referencial para cubrir la necesidad de vigas I laminadas para la fabricación del puente grúa y las vigas carrileras. El apéndice D contiene la cotización de la cual se obtuvo la información para la elaboración de esta tabla.

Se continuará con la tabla de costos para equipos complementarios del puente grúa.

TABLA 31

## COSTOS DE EQUIPOS COMPLEMENTARIOS

DESCRIPCIÓN	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Polipasto Eléctrico a Cable	01 und	\$11.500,0	\$11.500,0
Kit de Carros Testeros	01 und	\$ 5.800,0	\$ 5.800,0
Sist. Eléctrico para Alimentación y Control de Puente Grúa	01 und	\$ 9.200,0	\$ 9.200,0
<b>TOTAL</b>			<b>\$26.500,0</b>

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

La tabla 31, refleja un valor total de **\$ 26.500,00** de los equipos complementarios para realizar la adecuación de un puente grúa de 5 toneladas en la estructura existente. Se puede observar que se encuentran los rubros por los equipos de izaje, por el juego de testeras y por el sistema eléctrico necesario para complementar el diseño del puente grúa. El apéndice E contiene la cotización de la cual se obtuvo la información para la elaboración de esta tabla.

Finalmente, se muestra en la tabla 32, el costo total necesario para realizar la fabricación y adecuación de un puente grúa de 05 toneladas, a la estructura existente. Se debe tener en cuenta que

todos estos valores son referenciales y están sujetos a cambios dependiendo de variaciones en el mercado local.

**TABLA 32**  
**COSTOS TOTALES**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Perfiles de Acero	\$ 27.953,94
Equipos Complementarios	\$ 26.500,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 54.453,94</b>

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

#### **Potencial de Izaje: 10 Toneladas**

Similar a la sección anterior, se inicia con el detalle de costos referentes a los perfiles de acero utilizados para la fabricación del puente grúa y las carrileras. A continuación se exponen tablas de costos con los resultados obtenidos de las cotizaciones.

**TABLA 33**  
**COSTOS DE ACERO**

DESCRIPCIÓN	CANT. (mts)	PESO LINEAL (Kg/m)	PESO TOTAL (kg)	\$/kg	COSTO TOTAL
W27" x 146	15	217,3	3.259,5	2,50	\$ 8.148,75
W18" x 76	132	113,1	14.929,2	2,50	\$37.323,00
Platina 50x4mm	90	1,58	142,20	1,80	\$ 255,96
<b>TOTAL</b>					<b>\$45.727,71</b>

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

La tabla 33, refleja un total de **\$45.727,71** dólares + IVA, como costo referencial para cubrir la necesidad de vigas I laminadas para la fabricación del puente grúa y las vigas carrileras. El apéndice D contiene la cotización de la cual se obtuvo la información para la elaboración de esta tabla.

Se continuará con la tabla de costos para equipos complementarios del puente grúa.

**TABLA 34**  
**COSTOS DE EQUIPOS COMPLEMENTARIOS**

DESCRIPCIÓN	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Polipasto Eléctrico a Cable	01 und	\$17.000,0	\$17.000,0

Kit de Carros Testeros	01 und	\$ 6.800,0	\$ 6.800,0
Sist. Eléctrico para Alimentación y Control de Puente Grúa	01 und	\$ 9.600,0	\$ 9.600,0
<b>TOTAL</b>			<b>\$33.400,0</b>

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

La tabla 34, refleja un valor total de **\$ 33.400,00** de los equipos complementarios para realizar la adecuación de un puente grúa de 10 toneladas en la estructura existente. Se puede observar que se encuentran los rubros por los equipos de izaje, por el juego de testeras y por el sistema eléctrico necesario para complementar el diseño del puente grúa. El apéndice F contiene la cotización de la cual se obtuvo la información para la elaboración de esta tabla.

Finalmente, se muestra en la tabla 35, el costo total necesario para realizar la fabricación y adecuación de un puente grúa de 10 toneladas, a la estructura existente. Se debe tener en cuenta que todos estos valores son referenciales y están sujetos a cambios dependiendo de variaciones en el mercado local.

**TABLA 35**  
**COSTOS TOTALES**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Perfiles de Acero	\$ 45.727,71
Equipos Complementarios	\$ 33.400,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 79.127,71</b>

Elaborado por: Juan Santacruz Bermeo

Se debe recalcar que el reforzamiento con platina de 50x4mm, representa el **0,32%** del costo total para la implementación del puente grúa con potencial de izaje de 10 toneladas.

# **CAPITULO 5**

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Este proyecto de graduación tiene como objetivo la implementación de un nuevo sistema de izaje a la estructura existente. La empresa metalmecánica desea aprovechar más eficientemente el espacio físico que posee con la finalidad de incrementar su productividad. Sin embargo, se desconoce su capacidad de carga, por lo que fue necesario realizar un estudio que confirme el escenario más adecuado de entre los dos potenciales de izaje. Este capítulo plantea conclusiones y recomendaciones del proyecto de graduación, en función de los resultados obtenidos.



## 5.1. Conclusiones

1. Para el escenario con potencial de izaje de 05 toneladas, se puede concluir que la estructura existente **SI** posee una capacidad de carga adecuada para implementar el puente grúa sin la necesidad de realizar alguna clase de reforzamiento.
2. Para el escenario con potencial de izaje de 10 toneladas, se puede concluir que la estructura existente **NO** posee una capacidad de carga adecuada como para implementar el puente grúa, puesto que su estructura, específicamente los canales principales, poseen un déficit de -3.11 toneladas. Es importante denotar que este inconveniente fue corregido en el desarrollo de este proyecto de graduación, mediante un reforzamiento estructural sencillo..
3. Puesto que el reforzamiento con platina de 50x4mm representa apenas el 0,32% del costo total para la implementación del puente grúa con potencial de izaje de 10 toneladas, se puede concluir que esta es la mejor opción para la empresa pues representa un aumento significativo de la capacidad de izaje sobre el mismo espacio físico.

4. El análisis de costos estimó un rubro de \$54.453,94 para la implementación del puente grúa con capacidad de 05 toneladas versus \$79.127,71 (incluido el reforzamiento) para el de 10 toneladas. Esto significa un incremento del 45,31% con respecto al costo por implementación del puente grúa de 05 toneladas.
5. Las metodologías y criterios de diseño usados en este proyecto de graduación, reflejan la integración de varias fuentes teóricas puesto que no existe una sola fuente que reúna todos los criterios para realizar el diseño.
6. El uso complementario de software de diseño asistido, como SAP2000®, provee al diseñador herramientas que permiten, dependiendo del caso, verificar información de diseño o adquirir más ágilmente información necesaria para ingresar en algún procedimiento de diseño.
7. Las metodologías de diseño para vigas I laminadas, complementadas con el uso de software de diseño asistido detallados en este trabajo, requieren de un criterio técnico para

poder discernir e interpretar los resultados obtenidos que conlleven a un diseño seguro y económico.

8. Los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de ingeniería mecánica, la colaboración del tutor y la investigación realizada, brindaron las herramientas necesarias para culminar este Proyecto de Graduación.

## **5.2. Recomendaciones**

1. Los procedimientos desarrollados en este proyecto de graduación para el diseño de vigas cargadoras y sus carrileras, pueden ser usados para otras capacidades de carga de puente grúa, siempre y cuando los perfiles seleccionados sean vigas laminadas en caliente.
2. Dada la variabilidad del mercado local, se recomienda una actualización de costos previa a la ejecución del proyecto.
3. Es recomendable realizar una auscultación de la cimentación existente y realizar un estudio de suelos para verificar si la obra civil tiene las dimensiones y resistencia adecuada ante las

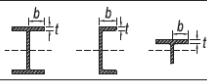
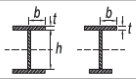
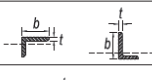
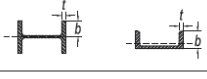

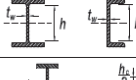
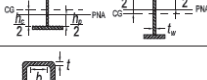

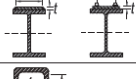


nuevas cargas, lo cual no es objeto de estudio del presente proyecto de graduación.

4. Como complemento al diseño de este trabajo, se sugiere realizar una protección superficial adecuada al ambiente de trabajo del puente grúa diseñado.
  
5. El estudio realizado sobre la estructura existente junto al análisis de costos, provee de información suficiente a la empresa metalmecánica para realizar la selección de la capacidad del puente grúa que vayan a implementar. Sin embargo, queda en ellos también analizar la viabilidad del proyecto dada la disponibilidad de perfiles laminados en el mercado local y su posible capacidad de agregar esta fabricación a su línea de producción.

# APÉNDICES

# APÉNDICE A:

## TABLAS B4.1b, RELACIONES ANCHO-ESPESOR

Sect. B4.]		MEMBER PROPERTIES			16.1-17	
<b>TABLE B4.1b</b>						
<b>Width-to-Thickness Ratios: Compression Elements</b>						
<b>Members Subject to Flexure</b>						
Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Examples	
			$\lambda_p$ (compact/ noncompact)	$\lambda_r$ (noncompact/ slender)		
Unstiffened Elements	10 Flanges of rolled I-shaped sections, channels, and tees	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		
	11 Flanges of doubly and singly symmetric I-shaped built-up sections	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a] [b]		
	12 Legs of single angles	$b/t$	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		
	13 Flanges of all I-shaped sections and channels in flexure about the weak axis	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		
	14 Stems of tees	$d/t$	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		
Stiffened Elements	15 Webs of doubly-symmetric I-shaped sections and channels	$h/t_w$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		
	16 Webs of singly-symmetric I-shaped sections	$h_c/t_w$	$\frac{h_c}{h_y} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ [c]	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		
	17 Flanges of rectangular HSS and boxes of uniform thickness	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		
	18 Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		
	19 Webs of rectangular HSS and boxes	$h/t$	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		
	20 Round HSS	$D/t$	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$		

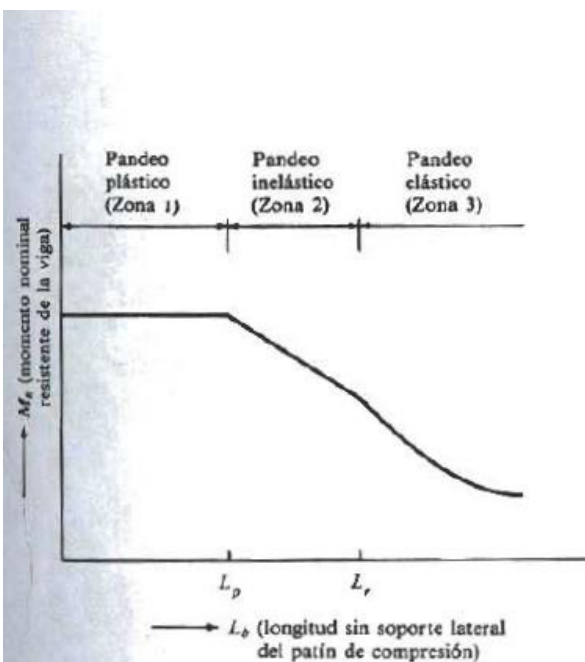
[a]  $k_c = 4/\sqrt{h/t_w}$ , but shall not be taken less than 0.35 nor greater than 0.76 for calculation purposes.  
 [b]  $F_L = 0.7F_y$  for major axis bending of compact and noncompact web built-up I-shaped members with  $S_x/S_{xc} \geq 0.7$ ;  
 $F_L = F_y S_x/S_{xc} \geq 0.5F_y$  for major-axis bending of compact and noncompact web built-up I-shaped members with  $S_x/S_{xc} < 0.7$ .  
 [c]  $M_y$  is the moment at yielding of the extreme fiber.  $M_p$  = plastic bending moment, kip-in. (N-mm)  
 $E$  = modulus of elasticity of steel = 29,000 ksi (200,000 MPa)  
 $F_y$  = specified minimum yield stress, ksi (MPa)

Specification for Structural Steel Buildings, June 22, 2010  
 AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION

## APÉNDICE B:

### VALORES LÍMITES $L_p$ , $L_b$ y $L_r$

9.1 Introducción 243



**Figura 9.1** Momento nominal en función de la longitud, no soportada lateralmente, del patín de compresión

En la figura 9.1 se aprecia que las vigas tienen tres distintos intervalos o zonas de pandeo, dependientes de sus condiciones de soporte lateral. Si se tiene un soporte lateral continuo o estrechamente espaciado, las vigas se pandearán plásticamente y quedarán en lo que se ha clasificado como zona 1 de pandeo. Conforme se incrementa la separación entre los soportes laterales, las vigas empezarán a fallar inelásticamente bajo momentos menores y quedarán en la zona 2. Finalmente, con longitudes aún mayores sin soporte lateral, las vigas fallarán elásticamente y quedarán en la zona 3. En esta sección se presenta una breve exposición de esos tres tipos de pandeo y el resto del capítulo se dedica a un estudio detallado de cada tipo, junto con una serie de ejemplos numéricos.

Extracto obtenido del libro *Diseño de Estructuras de Acero: Método LRFD*

# APÉNDICE C:

## TABLAS D3.1, FACTOR DE CORTE U

16.1-28		BUILT-UP MEMBERS		[Sect. D4.]	
<b>TABLE D3.1</b>					
<b>Shear Lag Factors for Connections to Tension Members</b>					
Case	Description of Element	Shear Lag Factor, $U$	Example		
1	All tension members where the tension load is transmitted directly to each of the cross-sectional elements by fasteners or welds (except as in Cases 4, 5 and 6).	$U = 1.0$			
2	All tension members, except plates and HSS, where the tension load is transmitted to some but not all of the cross-sectional elements by fasteners or longitudinal welds in combination with transverse welds. (Alternatively, for W, M, S and HP, Case 7 may be used. For angles, Case 8 may be used.)	$U = 1 - \bar{x}/l$			
3	All tension members where the tension load is transmitted only by transverse welds to some but not all of the cross-sectional elements.	$U = 1.0$ and $A_n = \text{area of the directly connected elements}$			
4	Plates where the tension load is transmitted by longitudinal welds only.	$l \geq 2w \dots U = 1.0$ $2w > l \geq 1.5w \dots U = 0.87$ $1.5w > l \geq w \dots U = 0.75$			
5	Round HSS with a single concentric gusset plate	$l \geq 1.3D \dots U = 1.0$ $D \leq l < 1.3D \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = D/\pi$			
6	Rectangular HSS				
	with a single concentric gusset plate	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)}$			
	with two side gusset plates	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)}$			
7	W, M, S or HP Shapes or Tees cut from these shapes. (If $U$ is calculated per Case 2, the larger value is permitted to be used.)	with flange connected with 3 or more fasteners per line in the direction of loading	$b_f \geq 2/3d \dots U = 0.90$ $b_f < 2/3d \dots U = 0.85$		
		with web connected with 4 or more fasteners per line in the direction of loading	$U = 0.70$		
8	Single and double angles (If $U$ is calculated per Case 2, the larger value is permitted to be used.)	with 4 or more fasteners per line in the direction of loading	$U = 0.80$		
		with 3 fasteners per line in the direction of loading (With fewer than 3 fasteners per line in the direction of loading, use Case 2.)	$U = 0.60$		
$l$ = length of connection, in. (mm); $w$ = plate width, in. (mm); $\bar{x}$ = eccentricity of connection, in. (mm); $B$ = overall width of rectangular HSS member, measured 90° to the plane of the connection, in. (mm); $H$ = overall height of rectangular HSS member, measured in the plane of the connection, in. (mm)					
<i>Specification for Structural Steel Buildings, June 22, 2010</i> AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION					



## APÉNDICE D:

### COTIZACIÓN DE ACERO PARA PUENTES GRÚA CON CAPACIDAD DE IZAJE DE 05 Y 10 TONELADAS

Estimado Juan

Según lo solicitado anteriormente te adjunto los precios de los perfiles que estas soli

DESCRIPCION	CANTIDAD	PESO UNIT.(KG)	MATERIAL	PESO TOTAL(KG)
W27X146 L=6MTS	5	1144,2	ASTM A-36	5721,00
W24X104 L=6MTS	5	815,04	ASTM A-36	4077,00
W18X76 L=6MTS	22	595,61	ASTM A-36	13103,42
IPE 500 L=6MTS	22	557,82	ASTM A-36	12272,04
				<b>SUBTOTAL</b>
				<b>IVA</b>
				<b>TOTAL</b>

FORMA DE PAGO: **CONTADO**

VALIDEZ DE LA OFERTA: **15 DIAS**

TIEMPO DE ENTREGA: **60 DIAS**

Saludos

Gonzalo Sotomayor

Dep. Comercial



**Plameri S.A.**

☎ 593 (0) 4 5019339

☎ 593 (0) 4 5021253

☎ 593 (0) 4 5021451

✉ gsotomayor@plameri.com.ec

🏢 Edif. Trade Building

Torre B 4to piso Of. 442


Av. Joaquin Orrantia y Av. Leopoldo Benitez

(Atrás del Mall del Sol)

Guayaquil . Ecuador

## APÉNDICE E:

### COTIZACIÓN DE ELEMENTOS DE PUENTE GRÚA CON CAPACIDAD DE IZAJE DE 05 TONELADAS

	Calle San Juan de Dios y Las Alondras Telef.: 02 388 0420 / Cel: 0994176458 e-mail: <a href="mailto:proyectos@steelcranes.com.ec">proyectos@steelcranes.com.ec</a> <a href="mailto:ventas@steelcranes.com.ec">ventas@steelcranes.com.ec</a>
-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- Un (1) Supervisor de fases: para el control de que el ingreso de voltajes sea el adecuado y no exista cambio de fases. ( falla de alimentación eléctrica)

Montaje: Incluido

#### OFERTA ECONOMICA:

ITEM	DESCRIPCION	PRECIO UNIT (USD)	CANTIDAD	TOTAL (USD)
1	POLIPASTO ELECTRICO A CABLE	11 500,00	1	11 500,00
2	KIT DE CARROS TESTEROS	5 800,00	1	5 800,00
3	SISTEMA ELECTRICO PARA ALIMENTACION Y CONTROL DEL PUENTE GRUA	9 200,00	1	9 200,00

SUBTOTAL	26 500,00
IVA 12%	3 180,00
<b>TOTAL</b>	<b>29 680,00</b>

#### NOTAS EXPLICATIVAS Y CONDICIONES



- Precios en dólares americanos
- Por cuenta del cliente: Sistema estructural, montaje de equipos Acometida eléctrica trifásica (230V).
- Nuestra oferta incluye: Montaje de sistema de electrificación, Pruebas de funcionamiento, Pruebas de carga (carga suministrada por el cliente), Entrega de manuales de los equipos instalados, Capacitación al personal sobre operación, seguridad y mantenimiento del puente grúa por personal de STEEL CRANES, Garantía técnica por un año de los equipos por defectos de fabricación, Dos visitas durante el primer año para verificación de funcionamiento de los equipos mientras dure la garantía técnica, Servicio post venta: capacitación, repuestos básicos (botoneras, cables de botonera, finales de carrera, rieles), Soporte técnico permanente



[www.steelcranes.com.ec](http://www.steelcranes.com.ec)

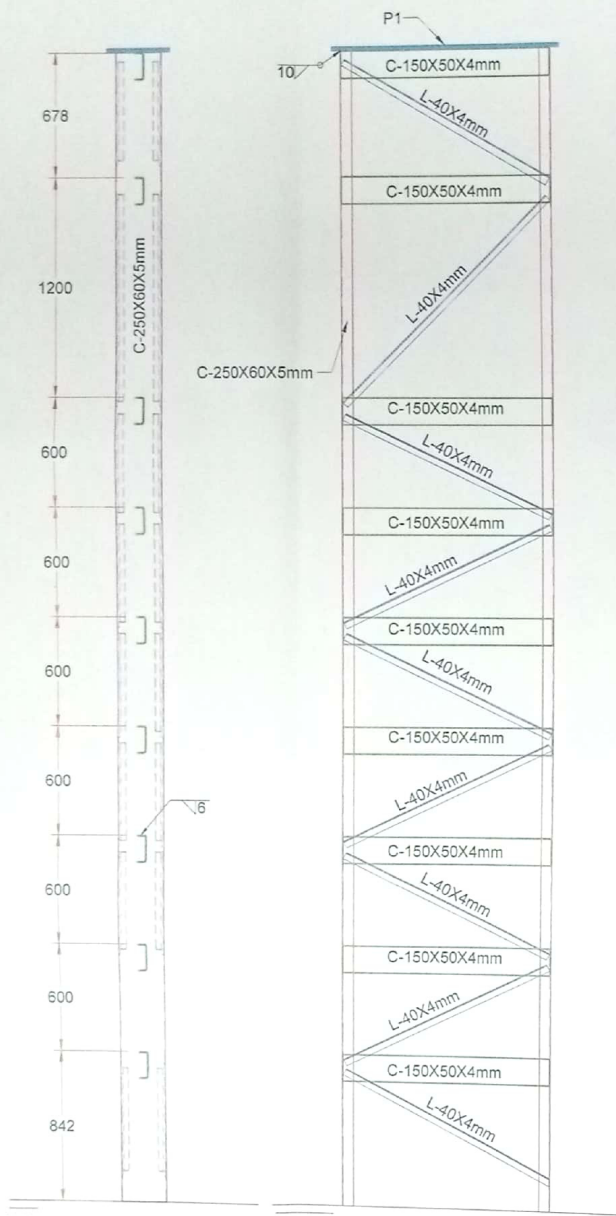
## APÉNDICE F:

### COTIZACIÓN DE ELEMENTOS DE PUENTE GRÚA CON CAPACIDAD DE IZAJE DE 10 TONELADAS

	Calle San Juan de Dios y Las Alondras Telef.: 02 388 0420 / Cel: 0904176458 e-mail: <a href="mailto:proyectos@steelcranes.com.ec">proyectos@steelcranes.com.ec</a> <a href="mailto:ventas@steelcranes.com.ec">ventas@steelcranes.com.ec</a>																																								
<p>- Un (1) Supervisor de fases: para el control de que el ingreso de voltajes sea el adecuado y no exista cambio de fases. ( falla de alimentación eléctrica)</p> <p>Montaje: Incluido</p>																																									
<p><b>OFERTA ECONOMICA:</b></p>																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>PRECIO UNIT (USD)</th> <th>CANTIDAD</th> <th>TOTAL (USD)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>POLIPASTO ELECTRICO A CABLE</td> <td>17 000,00</td> <td>1</td> <td>17 000,00</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>KIT DE CARROS TESTEROS</td> <td>6 800,00</td> <td>1</td> <td>6 800,00</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>SISTEMA ELECTRICO PARA ALIMENTACION Y CONTROL DEL PUENTE GRUA</td> <td>9 600,00</td> <td>1</td> <td>9 600,00</td> </tr> </tbody> </table>	ITEM	DESCRIPCION	PRECIO UNIT (USD)	CANTIDAD	TOTAL (USD)	1	POLIPASTO ELECTRICO A CABLE	17 000,00	1	17 000,00	2	KIT DE CARROS TESTEROS	6 800,00	1	6 800,00	3	SISTEMA ELECTRICO PARA ALIMENTACION Y CONTROL DEL PUENTE GRUA	9 600,00	1	9 600,00	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>PRECIO UNIT (USD)</th> <th>CANTIDAD</th> <th>TOTAL (USD)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>POLIPASTO ELECTRICO A CABLE</td> <td>17 000,00</td> <td>1</td> <td>17 000,00</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>KIT DE CARROS TESTEROS</td> <td>6 800,00</td> <td>1</td> <td>6 800,00</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>SISTEMA ELECTRICO PARA ALIMENTACION Y CONTROL DEL PUENTE GRUA</td> <td>9 600,00</td> <td>1</td> <td>9 600,00</td> </tr> </tbody> </table>	ITEM	DESCRIPCION	PRECIO UNIT (USD)	CANTIDAD	TOTAL (USD)	1	POLIPASTO ELECTRICO A CABLE	17 000,00	1	17 000,00	2	KIT DE CARROS TESTEROS	6 800,00	1	6 800,00	3	SISTEMA ELECTRICO PARA ALIMENTACION Y CONTROL DEL PUENTE GRUA	9 600,00	1	9 600,00
ITEM	DESCRIPCION	PRECIO UNIT (USD)	CANTIDAD	TOTAL (USD)																																					
1	POLIPASTO ELECTRICO A CABLE	17 000,00	1	17 000,00																																					
2	KIT DE CARROS TESTEROS	6 800,00	1	6 800,00																																					
3	SISTEMA ELECTRICO PARA ALIMENTACION Y CONTROL DEL PUENTE GRUA	9 600,00	1	9 600,00																																					
ITEM	DESCRIPCION	PRECIO UNIT (USD)	CANTIDAD	TOTAL (USD)																																					
1	POLIPASTO ELECTRICO A CABLE	17 000,00	1	17 000,00																																					
2	KIT DE CARROS TESTEROS	6 800,00	1	6 800,00																																					
3	SISTEMA ELECTRICO PARA ALIMENTACION Y CONTROL DEL PUENTE GRUA	9 600,00	1	9 600,00																																					
<table border="1"> <tr> <td>SUBTOTAL</td> <td>33 400,00</td> </tr> <tr> <td>IVA 12%</td> <td>4 008,00</td> </tr> <tr> <td><b>TOTAL</b></td> <td><b>37 408,00</b></td> </tr> </table>		SUBTOTAL	33 400,00	IVA 12%	4 008,00	<b>TOTAL</b>	<b>37 408,00</b>																																		
SUBTOTAL	33 400,00																																								
IVA 12%	4 008,00																																								
<b>TOTAL</b>	<b>37 408,00</b>																																								
<p><b>NOTAS EXPLICATIVAS Y CONDICIONES</b></p>																																									
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precios en dólares americanos</li> <li>• Por cuenta del cliente: Sistema estructural, montaje de equipos. Acometida eléctrica trifásica (230V).</li> <li>• Nuestra oferta incluye: Montaje de sistema de electrificación, Pruebas de funcionamiento, Pruebas de carga (carga suministrada por el cliente), Entrega de manuales de los equipos instalados, Capacitación al personal sobre operación, seguridad y mantenimiento del puente grúa por personal de STEEL CRANES, Garantía técnica por un año de los equipos por defectos de fabricación, Dos visitas durante el primer año para verificación de funcionamiento de los equipos mientras dure la garantía técnica, Servicio post venta: capacitación, repuestos básicos (botoneras, cables de botonera, finales de carrera, rieles ), Soporte técnico permanente</li> </ul>																																									
	<a href="http://www.steelcranes.com.ec">www.steelcranes.com.ec</a>																																								

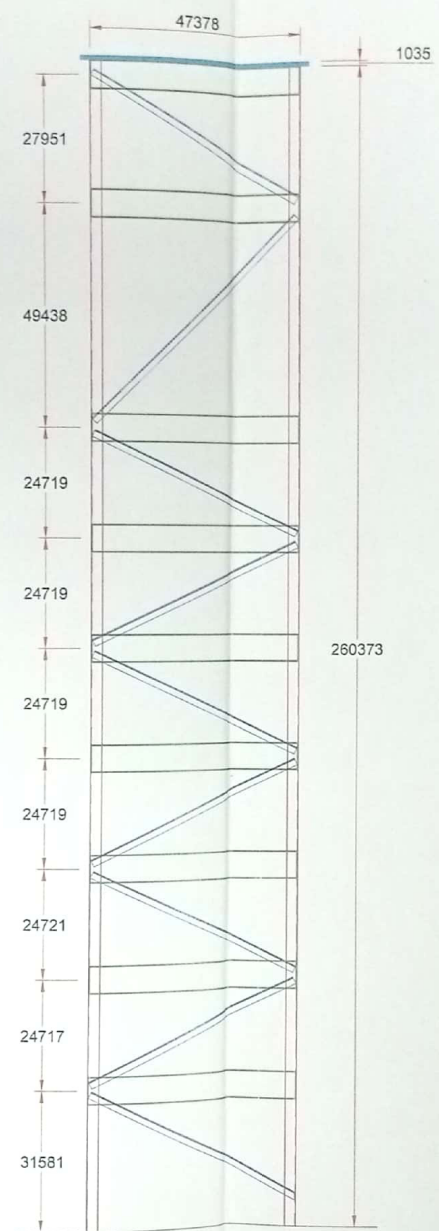
## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- (1) <http://www.gruasindustriales.com.mx/Puentes%20Grua.jpg>
- (2) <http://www.donati-europe.com/modules/download/download/CataloghiNew/drh/Commerciale%20DRH%20MAN16CG08.pdf>
- (3) AISC Steel Design Guide 07 Industrial Buildings: Roofs to Anchor Rods, Second Edition
- (4) CISC Design Guide: Crane-Supporting Steel Structures, Second Edition
- (5) ASCE 7-05 Minimum Design Loads for buildings and other Structures
- (6) ANSI/AISC 360-10: Specification for Structural Steel Buildings
- (7) AISC Manual of Steel Construction: Load & Resistance Factor Design
- (8) ANSI/AISC 360-10: Specification for Structural Steel Buildings, Appendix 7: Alternative Methods of Design for Stability, Section 7.2: Effective Length Method, *Braced Frames*.
- (9) [http://issuu.com/ghcranesandcomponents/docs/testeros\\_cas/1?e=6055304/2982042](http://issuu.com/ghcranesandcomponents/docs/testeros_cas/1?e=6055304/2982042)
- (10) Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)
- (11) [http://kubiec.com/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=item&id=27&Itemid=262#características-técnicas](http://kubiec.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=27&Itemid=262#características-técnicas)

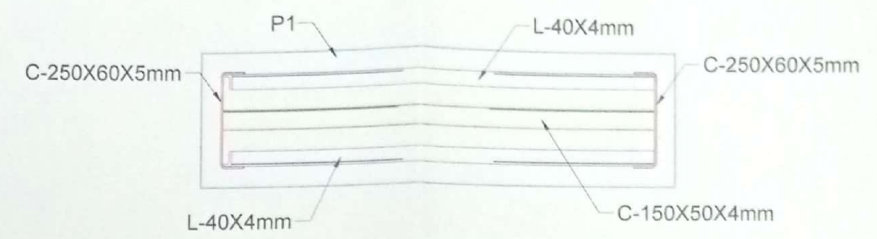


VISTA LATERAL

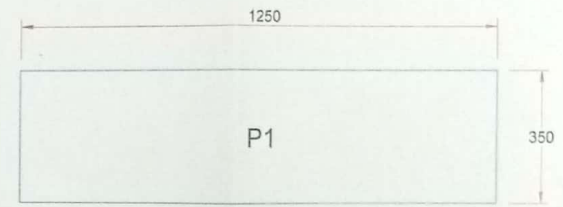
VISTA FRONTAL



VISTA FRONTAL AUXILIAR



VISTA SUPERIOR

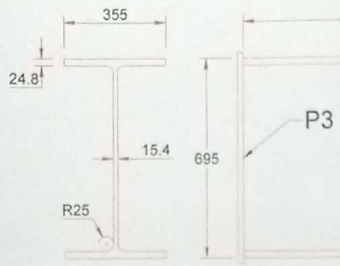


PL-1250X350X25mm



**ESPOL**

PROYECTO:	PROYECTO DE GRADUACIÓN			
CONTENIDO:	DETALLE COLUMNAS DE GALPÓN EXISTENTE			
APROBADO:	ING: ERNESTO MARTINEZ LOZANO			
ISO E	DISEÑO DE PUENTE GRÚA CON VIGAS LAMINADAS PARA UN GALPÓN DE UNA PLANTA METALMECÁNICA EN OPERACIÓN			
FECHA:	HOJA N°: 314	ESCALA: 1:1	REV: 1	



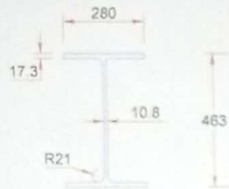
VIGA PRINCIPAL  
VIGA LAMINADA W27"x146  
01 UND

P3

15000

VISTA FRONTAL

VISTA LATERAL



VIGA CARRILERA  
VIGA LAMINADA W18"x76  
22 UND

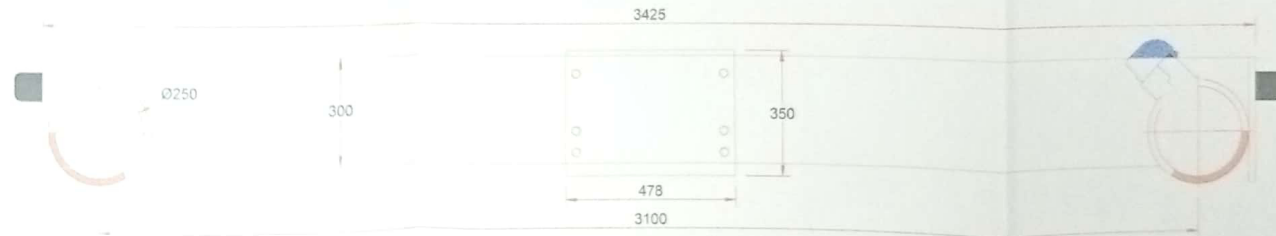
6000

VISTA FRONTAL

VISTA LATERAL



RIEL 50X50mm  
L=66000mm



TESTEROS  
2 UND



PL-735X395X20mm



**ESPOL**

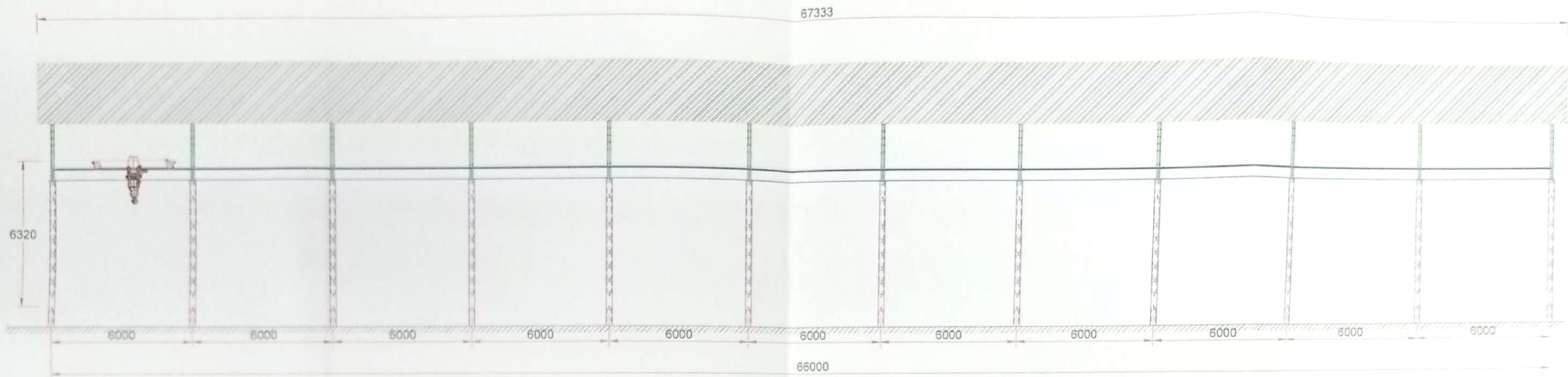
PROYECTO:  
CONTENIDO:  
APROBADO

PROYECTO DE GRADUACIÓN  
DETALLE VIGA PRINCIPAL, CARRILERA Y TESTERA  
ING. ERNESTO MARTINEZ LOZANO  
DISEÑO DE PUENTE GRUA CON VIGAS LAMINADAS PARA UN GALPÓN DE UNA PLANTA METALMECÁNICA EN OPERACIÓN

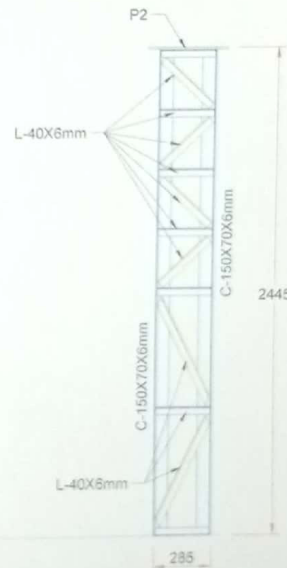
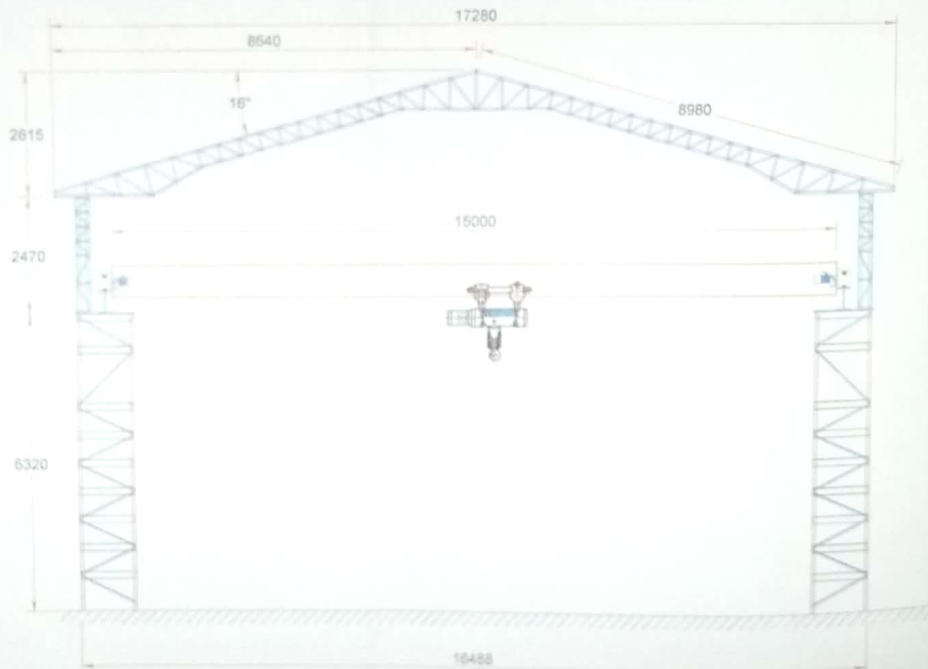
FECHA	HOJA/Nº	ESCALA	REV
	44	1:1	1



# VISTA LATERAL GALPÓN EXISTENTE



# VISTA FRONTAL GALPÓN EXISTENTE



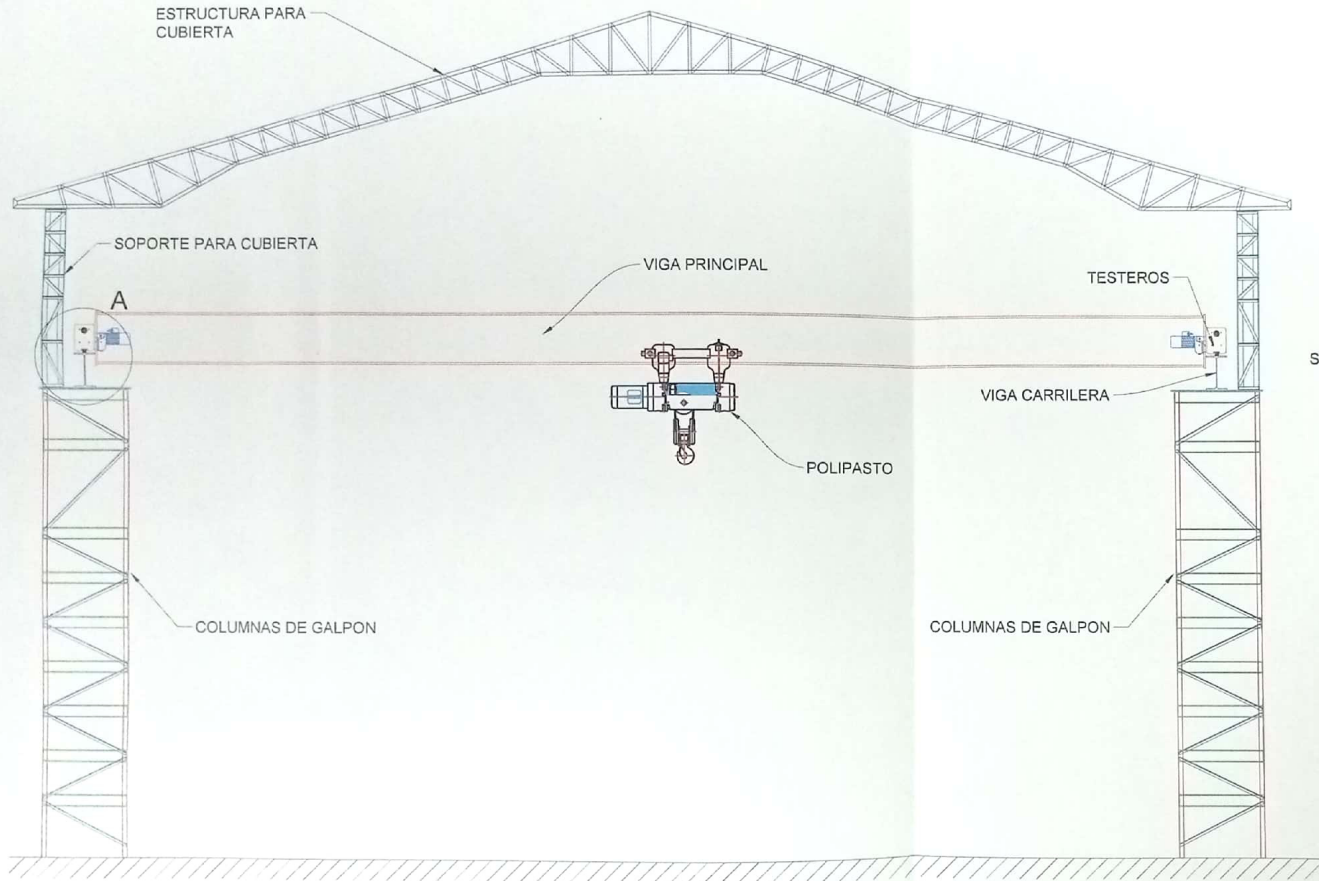
SOPORTE PARA  
CUBIERTA



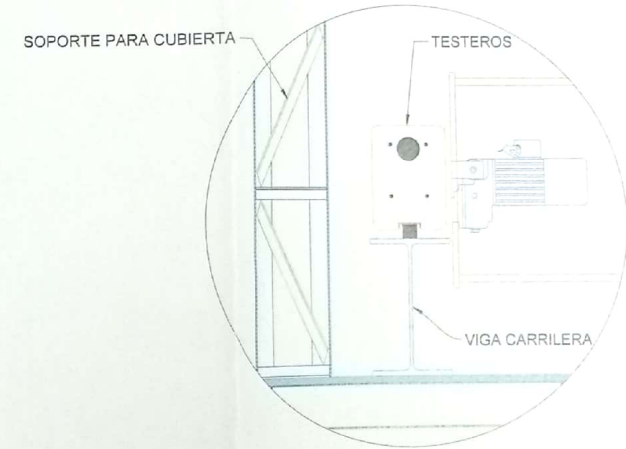
**ESPOL**

PROYECTO:	PROYECTO DE GRADUACIÓN
CONTENIDO:	PLANO GENERAL GALPÓN EXISTENTE
APROBADO:	ING. ERNESTO MARTINEZ LOZANO
	90.5 DISEÑO DE PUENTE GRÚA CON VIGAS LAMINADAS PARA UN GALPÓN DE UNA PLANTA METALMECÁNICA EN OPERACIÓN
FEDNA:	HUJA N° 24
ESCALA:	1:1
REV.	1

# VISTA FRONTAL GALPÓN EXISTENTE



## DETALLE A



# ESPOL

PROYECTO:  
CONTENIDO:  
APROBADO:

PROYECTO DE GRADUACIÓN  
VISTA GENERAL DE GALPÓN EXISTENTE  
ING: ERNESTO MARTINEZ LOZANO



TEMA: DISEÑO DE PUENTE GRÚA CON VIGAS LAMINADAS PARA UN GALPÓN DE UNA PLANTA METALMECÁNICA EN OPERACIÓN

FECHA	HOJA N°	ESCALA	REV
	1/4	1:1	1