



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE UN PUENTE VEHICULAR DE ACERO  
ESTRUCTURAL EN ARCO CON TABLERO INTERMEDIO  
CONSIDERANDO LA NORMATIVA AASHTO LRFD

SARANGO CHAMBA SENOVIA BEATRIZ  
INGENIERA CIVIL

MACHALA  
2020



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE UN PUENTE VEHICULAR DE  
ACERO ESTRUCTURAL EN ARCO CON TABLERO INTERMEDIO  
CONSIDERANDO LA NORMATIVA AASHTO LRFD

SARANGO CHAMBA SENOVIA BEATRIZ  
INGENIERA CIVIL

MACHALA  
2020



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE UN PUENTE VEHICULAR DE ACERO  
ESTRUCTURAL EN ARCO CON TABLERO INTERMEDIO CONSIDERANDO LA  
NORMATIVA AASHTO LRFD

SARANGO CHAMBA SENOVIA BEATRIZ  
INGENIERA CIVIL

ORDÓÑEZ FERNANDEZ JOSÉ LUIS

MACHALA, 08 DE DICIEMBRE DE 2020

MACHALA  
08 de diciembre de 2020

# SENOVIA SARANGO CHAMBA

*por* Luis Ordoñez

---

**Fecha de entrega:** 20-nov-2020 06:18p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1452772107

**Nombre del archivo:** SENOVIA\_SARANGO\_CHAMBA.docx (665.89K)

**Total de palabras:** 3205

**Total de caracteres:** 16702

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, SARANGO CHAMBA SENOVIA BEATRIZ, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE UN PUENTE VEHICULAR DE ACERO ESTRUCTURAL EN ARCO CON TABLERO INTERMEDIO CONSIDERANDO LA NORMATIVA AASHTO LRFD, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

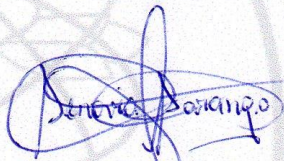
La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 08 de diciembre de 2020



SARANGO CHAMBA SENOVIA BEATRIZ  
0750194755

# SENOVIA SARANGO CHAMBA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>3%</b>	<b>3%</b>	<b>0%</b>	<b>1%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>2</b>	<b>www.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>3</b>	<b>www.proviasnac.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Corporacion Mexicana de Investigacion en Matriales S.A. de C.V. (COMMIMSA)</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.unican.es</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>conocimientoscurrentmirrors.blogspot.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>tailieu.vn</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>www.neolectum.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

## RESUMEN

Las obras e infraestructuras civiles satisfacen las necesidades de la comunidad, debiendo soportar cargas y el paso del tiempo; por ende, requieren mantenimiento al garantizar su estabilidad en especial los puentes que interconectan puntos estratégicos; en la Universidad Técnica de Machala se cuenta con un puente a desnivel para el ingreso vehicular edificado en acero con tablero de hormigón, facilitando el acceso desde la avenida 25 de Junio al interior del campus universitario; sin embargo, por la falta de mantenimiento, se ha deteriorado con el paso de los años poniendo en riesgo tanto a conductores como peatones haciendo necesario el presente estudio al analizar estructuralmente el puente mediante el software SAP 2000 para verificar si requiere una intervención o aún cumple con los criterios de diseño de la normativa AASHTO LRFD.

Para el respectivo estudio y posterior análisis de resultados será necesario tomar en cuenta los lineamientos establecidos en la Norma Ecuatoriana Vial-NEVI 12 MTOP y en la Norma Ecuatoriana de la Construcción-NEC.

En los resultados se encuentra detallado la resistencia de los elementos HSS de sección circular hueca, relacionando su demanda y capacidad para conocer el porcentaje al que se encuentra trabajando cada elemento y en base a ello determinar las medidas correctivas necesarias e intervención con la finalidad de salvaguardar la integridad de quienes lo usan diariamente.

**Palabras clave:** Puente, estructura metálica, intervención estructural, AASHTO LRFD, Estado límite de resistencia.

## ABSTRACT

Civil works and infrastructures satisfy the needs of the community, having to bear loads and the passage of time; therefore, they require maintenance by guaranteeing their stability, especially the bridges that interconnect strategic points; At the Technical University of Machala there is a bridge for vehicular entry built in steel with a concrete deck, facilitating access from Avenida 25 de Junio to the interior of the university campus; However, due to lack of maintenance, it has deteriorated over the years, putting both drivers and pedestrians at risk, making this study necessary when structurally analyzing the bridge using SAP 2000 software to verify if it requires an intervention or is still compliant. with the design criteria of the AASHTO LRFD regulations.

For the respective study and subsequent analysis of the results, it will be necessary to take into account the guidelines established in the Ecuadorian Road Standard-NEVI 12 MTOP and the Ecuadorian Construction Standard-NEC.

In the results, the resistance of the hollow circular section HSS elements is detailed, relating their demand and capacity to know the percentage at which each element is working and based on this determine the necessary corrective measures and intervention in order to safeguard the integrity of those who use it daily.

**Keywords:** Bridge, metal structure, structural intervention, AASHTO LRFD, Limit state of resistance.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS	5
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	7
ÍNDICE DE CUADROS	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. DESARROLLO:	9
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	9
Puentes	9
<i>Puentes de acero</i>	9
<i>Mantenimiento y rehabilitación de puentes</i>	10
<i>Acero ASTM A53</i>	11
<i>Acero ASTM A588</i>	12
Estados Límites	12
<i>Estado límite de Resistencia:</i>	12
<i>Estado límite de Servicio:</i>	12
<i>Estado límite de Fatiga:</i>	13
<i>Estado límite de Evento Extremo:</i>	13
Evaluación estructural	13
Estados de carga	13
Tipos de carga	14
Especificaciones técnicas	15
Resistencia nominal de los miembros a tensión	15
Resistencia nominal de los miembros a compresión	16
Relación ancho-espesor para secciones altamente dúctiles	16
3. CONCLUSIONES:	17
4. RECOMENDACIONES	17
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
6. ANEXOS	20

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Partes de un puente. Fuente: [4]	9
<b>Ilustración 2.</b> Puente de Akashi Kaikyō. Fuente: [5]	10
<b>Ilustración 3.</b> Señales de daño estructural. Fuente: Elaboración propia	11
<b>Ilustración 4.</b> Tubería sin costura ASTM A53. Fuente: [10]	11
<b>Ilustración 5.</b> Composición química y propiedades mecánicas del acero A53. Fuente: [10]	12
<b>Ilustración 6.</b> Tándem de diseño. Fuente: [3]	14
<b>Ilustración 7.</b> Camión de diseño HL-93. Fuente: [3]	14

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Usos del acero A53. Fuente: [10]	11
<b>Cuadro 2.</b> Distribución de carga viva por área de losa	14
<b>Cuadro 3.</b> Diámetro de secciones circulares HSS Cédula 40	15

## 1. INTRODUCCIÓN

Los puentes son superestructuras construidas con la finalidad de cruzar obstáculos que generalmente son accidentes geográficos como cuerpos de agua o depresiones de suelo, en otras ocasiones estas estructuras permiten la comunicación entre dos lugares para efectuar un intercambio comercial.

Se dice que la fase constructiva es la más crítica de un puente debido a que es cuando se le atribuyen mayor cantidad de esfuerzos a la estructura, incluso más de los que se presentarían durante la etapa de servicio y tiempo de vida útil [1].

Se puede emplear distintos materiales para la construcción de puentes: madera, piedra, cemento, hormigón, acero, etc., son los principales.

Es necesario hacer una evaluación estructural de vez en cuando para verificar que el puente mantiene su capacidad de servicio para la que inicialmente fue diseñado. Es importante considerar que para cualquier estructura resulta necesario realizarle una revisión periódica con el fin de detectar anomalías. En la actualidad, se emplean varios métodos que permiten determinar de manera más acertada el efecto que causan en la estructura los factores climáticos, químicos y la exposición a la intemperie con el fin de determinar efectivamente los métodos con los que será posible garantizar la durabilidad de la estructura [2].

Varios países alrededor del mundo, pensando en la economía nacional y el bienestar de su población invierten altas cantidades de dinero en la restitución y mantenimiento de puentes; según investigaciones se ha podido determinar que si se actúa oportunamente y de manera inteligente empleando métodos que protejan a la estructura contra la severidad del clima, se podría evitar millonarias pérdidas por efecto de las fallas estructurales producidas [2].

En el Ecuador la construcción de puentes se regula por la normativa AASHTO LRFD, que constituye un documento regulador internacional. En el país existen variedad de puentes que ofrecen diferente servicio, entre ellos: los puentes vehiculares, que sirven de nexo entre calles e incluso son utilizados como retorno de vía. El objetivo de este trabajo es analizar la resistencia de un puente vehicular de acero estructural considerando la normativa AASHTO LRFD para determinar si se requiere una intervención estructural. Para lograr ello se deberá modelar el puente en un software de análisis estructural ingresándole cargas gravitacionales y posteriormente determinando la resistencia de los elementos estructurales del puente para luego calcular la relación demanda/capacidad.

## DESARROLLO:

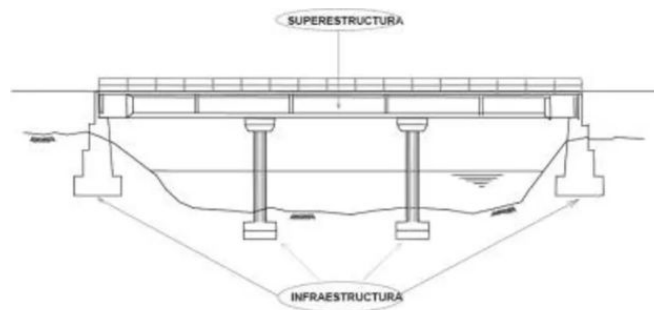
En esta sección se muestra los conceptos que guardan relación y explican a detalle el tema planteado:

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### Puentes

Es una estructura construida con el fin de evitar un obstáculo, permitiendo así que la vía continúe su trayecto, estos pueden ser llamados de varias formas: acueductos, viaductos, pasos elevados [3].

Un puente se compone principalmente de dos partes: la superestructura (trasfiere las cargas del tablero hacia los apoyos) y la infraestructura (apoyos, que transfieren los esfuerzos al terreno).



*Ilustración 1. Partes de un puente. Fuente: [4]*

#### *Puentes de acero*

En el proceso constructivo, el acero es un material de mucha utilidad debido a las ventajas que presenta, este es un material versátil que proporciona soluciones rápidas y eficaces, agiliza la construcción optimizando el tiempo y generando con ello mayor rentabilidad, este material es reciclable, lo que indica que puede reutilizarse luego de terminada la vida útil de la estructura, es fácil de transportarlo y puede ser más duradero que las estructuras de hormigón; entonces es posible decir que el uso del acero como material predominante en la construcción de un puente puede resultar ser la mejor decisión.

Aun así, es posible ver que en la actualidad hay muchas estructuras de acero que debido a las condiciones del clima han sufrido de corrosión extrema, por ello es importante saber que existen aceros que por sus características son capaces de mitigar la corrosión, estos han sido diseñados específicamente para la construcción de puentes. Estos aceros son ASTM A588, ASTM A242 Y ASTM A709, que además de ser resistentes a la corrosión, no requieren mayor cuidado en su mantenimiento.



*Ilustración 2. Puente de Akashi Kaikyō. Fuente: [5]*

Para asegurar uniones se debe considerar lo siguiente en las soldaduras:

- La calidad del acero debe ser acorde al tipo de soldadura que se le efectuará
- Se debe ser cuidadoso con la soldadura antes y después de termianda.
- Se debe contar con direccion tecnica a lo largo del proceso [6].

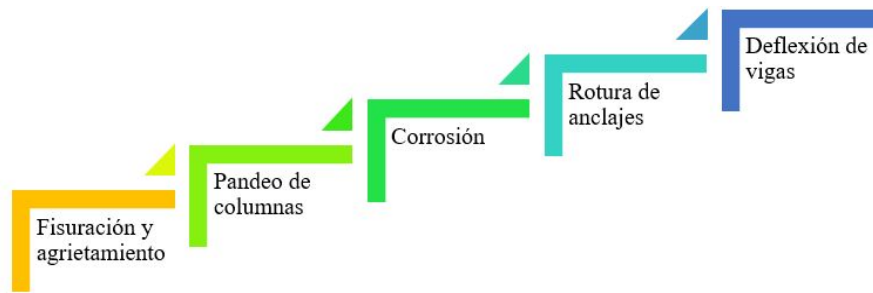
### ***Mantenimiento y rehabilitación de puentes***

La resistencia y adecuada vida útil de una estructura no sólo depende del diseño inicial sino también del cuidado que a ésta se le dé, es por ello por lo que muchos países actualmente exigen que las construcciones se realicen implementando un modelo de rehabilitación y mantenimiento de la estructura, es decir, desde el inicio se determina la manera en que se cuidará de la edificación durante su vida útil, para impedir el deterioro prematuro. Hay que tener en cuenta que al menos el material de las herramientas que se utilicen para realizar el mantenimiento del puente debe guardar relación con este, es decir, en el caso de un puente metálico, se debe emplear elementos del mismo material, lo cual permite que el impacto de las medidas correctivas se minimice [7].

Otra forma de concebir un buen mantenimiento futuro es proteger el acero contra la corrosión, a través de un sistema de pintado con un mínimo de 200 micras obtenido a partir de un sistema homologado de alta resistencia ambiental [8].

Buscando evaluar el bienestar estructural de una obra civil en funcionamiento, se ha desarrollado metodologías con las que es posible detectar la existencia de daño estructural a través de ciertas características que varían de acuerdo al tiempo.

Para el area de la ingeniería civil, la ejecucion de pruebas que identifican modales a travez de señas y que permiten medir con alta precisión los bajos niveles de respuesta producidos por exaltaciones ambientales (Output-only) [9].



**Ilustración 3.** Señales de daño estructural. Fuente: Elaboración propia

### Acero ASTM A53

El acero asignado a los elementos del puente para el análisis estructural pertenece al acero de cédula 40 correspondiente a la especificación ASTM A53. Los diámetros comerciales han sido tomados del catálogo de tubería sin costura del proveedor DIPAC.



**Ilustración 4.** Tubería sin costura ASTM A53. Fuente: [10]

El acero A53 es el que más se emplea dentro de la norma, existen aceros de grado A y grado B, pero los que más se emplean son los de grado B, generalmente es utilizado en 3 sistemas de tuberías: i) Tubo sin costura, ii) Tubos soldados y iii) Tubos galvanizados en caliente.

Este es un tipo de tubería de carbono cuyos diámetros van desde los 10.3 mm ( $\phi_{ext}= 1/8''$ ) hasta los 660 mm ( $\phi= 26''$ ); los principales usos que se le atribuye a este tipo de tubería son:

**Cuadro 1.** Usos del acero A53. Fuente: [10]

<b>Transmisión</b>	Conducto para gas	Tratamiento de agua	Depósito para minerales
<b>Construcción</b>	Edificaciones	Pozos de agua	Traslado de agua a calderas
<b>Piezas de máquina</b>	Elaboración de piezas para repuesto		
<b>Central eléctrica</b>	Generadores aéreos	Tubos antiestáticos	

La elaboración de este tipo de acero corresponde a las especificaciones de la norma ASTM A530, que regula los requisitos comunes para tubería de acero de carbono o acero aleado.

Chemical Composition									
Grade	Max, %								
	Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Copper	Nickel	Chromium	Molybdenum	Vanadium
Type S (seamless pipe)									
Grade A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Grade B	0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Type E (electric-resistance-welded)									
Grade A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Grade B	0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Type F (furnace-welded pipe)									
Grade A	0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08

Mechanical Properties		
Strength	Grade A	Grade B
Tensile strength, min, psi [MPa]	48 000 [330]	60 000 [415]
Yield strength, min, psi [MPa]	30 000 [205]	35 000 [240]
Elongation in 2 in. or 50 mm	$e = 625\ 000 [1940] A^{0.2}/U^{0.9}$	

*Ilustración 5. Composición química y propiedades mecánicas del acero A53. Fuente: [10]*

### **Acero ASTM A588**

Este tipo de acero es de alta Resistencia y baja fusión, es utilizado principalmente en la construcción de puentes y edificios que necesitan resistir a la corrosión ambiental. Este material pese a tener características similares al acero A572 Gr 50, lo supera en cuanto a resistencia ante la corrosión, puesto que se puede utilizar una placa de acero A588 sin pintar y su resistencia no disminuiría. En el mercado se encuentra en Gr A y B.

Teniendo como objetivo evaluar la resistencia que este acero tiene a la corrosión, se desarrollaron innumerables ensayos que permitieron comparar su reacción junto a la reacción de aceros de similar resistencia [11].

### **Estados Límites**

Se refieren a las condiciones o requerimientos presentados para ser cumplidos por la estructura, para un análisis completo, un elemento no tendrá que satisfacer solamente un estado límite sino varios [12]; a continuación, se detallan los que se ven en la normativa.

**Estado límite de Resistencia:** Corresponde a la capacidad que presenta la estructura ante los requerimientos o sollicitaciones atribuidas, definen los criterios que se deben tomar para capacitar la estructura ante posibles escenarios que se cree que podrían ocurrir en la vida real, con ello se asegura la estabilidad de la estructura.

Además, señala que este Estado límite representa un diseño para esfuerzos permisibles, mismo que resulta ser bastante apropiado para el material “acero” debido a que este cumple con las hipótesis elementales del diseño y análisis estructural [13].

**Estado límite de Servicio:** es en donde se considera como restricción a los esfuerzos y deformaciones bajo circunstancias normales de servicio. Este Estado límite también guarda

relación con el índice de daño de la estructura, debido a que interviene en una relación entre distorsiones de entrepisos de la estructura, en donde el estado límite de servicio representa la estructura sin daños [14].

**Estado límite de Fatiga:** Básicamente hace referencia a la resistencia de los materiales que se especifican en las normativas.

**Estado límite de Evento Extremo:** A este estado límite corresponden los eventos que de ocurrir podrían causar grandes estragos en los puentes, aquí se consideran las lluvias torrenciales, inundaciones y los sismos. En el desarrollo de este proyecto no se consideró la influencia de los sismos sobre la estructura debido a que, si se evalúa el puente para el día a día, se asume que un sismo es un evento que sucede cada cierto tiempo dependiendo su periodo de retorno. El factor tiempo también influyó debido a que en un lapso tan corto es difícil realizar el análisis completo de la estructura, sometiéndola a más de las cargas gravitacionales, a las cargas laterales.

### **Evaluación estructural**

Evaluar estructuras es un medio para determinar los posibles riesgos a los que esta se enfrenta, en este proceso se podría determinar la capacidad de los elementos y se determinaría si aun cumplen con los requerimientos para los que fueron diseñados, pues podría apreciarse un crecimiento de estas cargas por efecto del tiempo [15].

Dentro de este análisis es necesario tomar en cuenta la fuerza producida por el viento, pues no es raro encontrar un modo de vibración que involucre esta fuerza, además si esta carga es fuerte, podría influir significativamente en el puente. Generalmente se va a tratar de minimizar la influencia de esta carga lateral siempre y cuando sea posible conservar la rigidez necesaria en la estructura para que esta se conserve erguida y fuera del peligro de colapso [16]. Durante el proceso de evaluación estructural del puente, es posible identificar las zonas de la estructura que resultan ser las más vulnerables ante los sismos, con ello se puede determinar el sistema de aislamiento idóneo para resistir ante una acción sísmica [17]. Cabe mencionar que es posible adecuar la estructura para responder ante la acción de cargas sísmicas una vez construida, pero muchas veces resulta más costoso que incluir esto en el diseño inicial.

### **Estados de carga**

Para el análisis estructural del puente de acero, se considera el primer estado límite de RESISTENCIA I, del cual se realizará una combinación básica de cargas, que involucra



carga viva por carril, camión de diseño HL-93 y Tándem, además de involucrar el peso propio de los componentes estructurales (DC), y la carga producida por la superficie de rodadura (DW). A continuación, se muestran los vehículos de diseño utilizados:

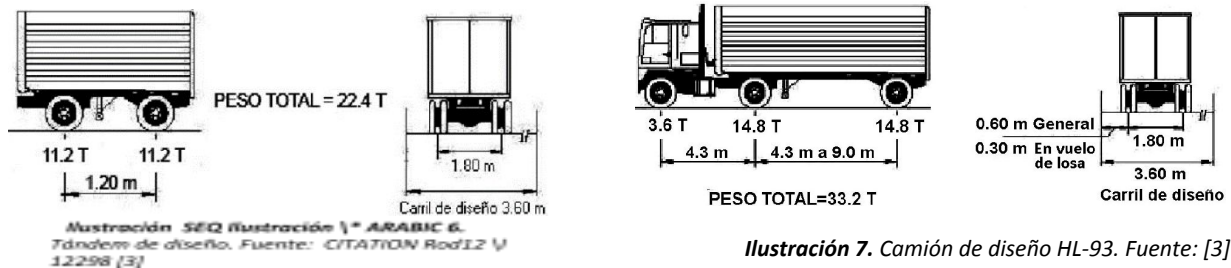


Ilustración 7. Camión de diseño HL-93. Fuente: [3]

Los valores de sobrecarga son tomados del texto de la AASHTO – LRFD para diseños de puentes, de donde, para la aplicación de las cargas vivas, se considera cuatro análisis de carga viva, dos de ellas aplicando un tándem o camión de diseño a la vez, y los últimos colocando 2 tándem a la distancia mínima de 8 metros y 15 metros entre camión de diseño.

Para el análisis último de resistencia I se procederá a calcular el valor de la demanda mediante la siguiente fórmula tomada de la tabla 3.4.1-1 sobre combinaciones de cargas y factores de cargas de la AASHTO LRFD para diseño de puentes:

$$1,25 DC + 1,5 DW + 1,75 (LL + IM)$$

### Tipos de carga

Para incorporar las cargas puntuales de los vehículos de diseño sobre la losa del puente, se procedió a dividir la carga puntual del vehículo para el área de la losa que se apoya tal carga. En el siguiente cuadro se resumen los valores de cargas por metro cuadrado de losa, y la ubicación de las cargas sobre la losa correspondiente en el modelado.

Cuadro 2. Distribución de carga viva por área de losa

2 CAMIONES HL-93				2 TANDEM DISEÑO			
Shell	área (m2)	P (T)	T/m2	Shell	área (m2)	P (T)	T/m2
91	4,1519	3,6	0,8671	69	3,4514	11,2	3,2451
86	4,1512	14,8	3,5652	67	3,446	11,2	3,2501
81	3,464	14,8	4,2725	Separación 8 metros			
Separación 15 metros				56	4,1195	11,2	2,7200
60	3,8657	3,6	0,9313	54	4,203	11,2	2,6600
55	4,1616	14,8	3,5600				
49	4,2533	14,8	3,4800				

1 CAMIÓN HL-93				1 TANDEM DISEÑO			
Shell	área (m2)	P (T)	T/m2	Shell	área (m2)	P (T)	T/m2
60	3,8657	3,6	0,9313	56	4,1195	11,2	2,7200
55	4,1616	14,8	3,5600	54	4,203	11,2	2,6600
49	4,2533	14,8	3,4800				

Desde la carga de carril de 0.96 T/m para 3 m de ancho aproximadamente, se tiene un valor de 0.32 T/m<sup>2</sup>, que se le asignó a la losa del tablero como carga distribuida y se vincula como carga viva a los vehículos de diseño. También se involucra la carga asfáltica de 0.088 T/m<sup>2</sup>.

### Especificaciones técnicas

Para el modelado estructural se denotó como dato las especificaciones del tipo de sección implementado en el actual puente vehicular, las secciones son de tipo HSS circular hueca considerando acero según la norma ASTM A53 Grado A de  $F_y=30$  KSI y  $F_u=48$  KSI, Modulo de elasticidad del acero de  $E=29000$  KSI.

Para dimensionar secciones, se midió el perímetro de los elementos con una cinta y se procedió a calcular el diámetro externo de la sección. Se utilizó un catálogo comercial de la localidad referenciado en el **anexo I**.

*Cuadro 3. Diámetro de secciones circulares HSS Cédula 40*

<b>CEDULA 40</b>					
<b>Descripción</b>	<b>D. Ext</b>	<b>Espesor</b>	<b>Módulo plástico (z)</b>		<b>Área</b>
	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Arco principal</b>	323,8	10,33	1015,4288	0,00101543	0,0102
<b>Pendolas T-C</b>	168,3	7,11	184,8534	0,00018485	0,0036
<b>Diafragma</b>	60,3	3,91	12,4531	1,2453E-05	0,0006927
<b>Arco nuevo 1</b>	219,1	8,18	364,0881	0,00036409	0,00542
<b>Pasamanos tipo 1</b>	88,9	5,49	38,2503	3,825E-05	0,001439

### Resistencia nominal de los miembros a tensión

De acuerdo a la contable cantidad de barras de sección circular que conectan el carril de circulación con los arcos de carga, estos elementos por acción dinámica de las cargas vivas sufren esfuerzos de tensión y de compresión, de acuerdo a la especificación del AISC (D2) para calcular la resistencia nominal o capacidad de un miembro a tensión ( $P_n$ ) Se tiene la siguiente ecuación:

$$\phi_t * P_n = \phi_t * F_y * A_g$$

- Resistencia de diseño a la tensión por el método LRFD  $\phi_t = 0.9$
- $A_g$ =área de sección bruta de acero
- $F_y$ = Esfuerzo de fluencia

### Resistencia nominal de los miembros a compresión

$F_e$  = esfuerzo de deflexión crítico elástico calculado a partir de la longitud efectiva KL.

$F_{cr}$  = esfuerzo de pandeo por flexión de un elemento columna, (sin elementos esbeltos)

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left( o \frac{F_y}{F_e} \leq 2,25 \right) \quad F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left( o \frac{F_y}{F_e} \leq 2,25 \right) \quad F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

### Relación ancho-espesor para secciones altamente dúctiles

Para este trabajo se planteó que las secciones de los elementos tubulares de acero dispongan de espesores más exigentes, como los citados para elementos principales en edificaciones. “De acuerdo a la normativa AISC 314-16 las relaciones ancho-espesor deben ser menores que aquellas relaciones que son resistentes al pandeo local cuando los elementos a compresión son esforzados en el rango inelástico” [18].

Para llevar a cabo esta verificación de sección compacta, se recurrió a la norma NEC de estructura de acero para involucrar el factor de fluencia probable ( $R_y$ ), sin embargo, los factores están disponibles para Acero ASTM A36, ASTM A572 Gr. 50 y ASTM A588 Gr. 50. El factor de fluencia probable ( $R_y$ ) aplicado es de 1.15 perteneciente al grado ASTM A588 Gr.50. Se puede comprobar que la verificación de ductilidad se cumple incluso si se reemplaza el valor de  $R_y$ , por el del acero ASTM A53 que es de 1.6 según se verifica en la tabla A3.1 perteneciente al AISC 314-16, tal como se muestra en el **Anexo II**.

Verificación de secciones Altamente Dúctil en secciones HSS circular y Moderadamente dúctil

$$\lambda_{HD} = 0,053 * \frac{E}{R_y F_y} \quad \lambda_{MD} = 0,062 * \frac{E}{R_y F_y}$$

$$\lambda_{HD} = 0,053 * \frac{29000}{1.6 * 30} \quad \lambda_{MD} = 0,062 * \frac{29000}{1.6 * 30}$$

$$\lambda_{HD} = 32.02 \quad \lambda_{MD} = 37.46$$

## 2. CONCLUSIONES:

- Según observaciones durante el proceso de análisis del puente, se ha podido determinar que los esfuerzos de cada elemento varían drásticamente en dependencia de la posición en que los vehículos de diseño sean colocados.
- Los elementos con mayor carga axial que trabajan a tensión en la estructura tienen una relación D/C entre 22 y 62%, lo que indica que todos estos elementos tienen la capacidad de soportar las cargas desde el Estado Límite de Resistencia I.
- Así mismo, al considerar los elementos mayormente cargados a compresión por efecto de las combinaciones de cargas, se ha podido evidenciar que, de los 5 elementos evaluados, 3 de ellos cumplen con la relación D/C, es decir que la sección transversal es suficiente para soportar la sollicitación. Mientras que los 2 elementos que no cumplen con la relación D/C (Péndolas T-C) cuyo porcentaje supera el 100%. Los resultados a detalle se muestran en el anexo.

## 3. RECOMENDACIONES

- Analizar la estructura para el Estado límite de Resistencia II el cual requiere el uso de vehículos especiales, en caso de que se requiera conocer el comportamiento del puente a una sollicitación similar.
- Analizar la estructura metálica con el Estado límite de Evento Extremo, considerando un espectro que simule el comportamiento de un sismo, con el fin de conocer la respuesta del puente ante tal evento.
- En el análisis de esta estructura no se tomó en cuenta la influencia de la carga de viento debido a que según la normativa AASHTO se deben considerar fuerzas de viento alrededor de 90 km/h, y según los mapas de viento de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP los vientos en la ciudad de Machala no superan las 2/3 partes de dicho valor.

#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Navarro Manso, M. Alonso Martínez, J. Del Coz Díaz, D. Castro Fresno y F. Álvarez Rabanal, «Nuevo método de lanzamiento y sistema de empuje de puentes metálicos. Bases conceptuales,» *Hormigón y Acero*, pp. 151-163, 2015.
- [2] D. De León y J. Honorato, «TIEMPO ESTIMADO PARA MANTENIMIENTO DE UN PUENTE DE CONCRETO REFORZADO EXPUESTO A CORROSIÓN EN EL VALLE DE TOLUCA APLICANDO CRITERIOS PROBABILISTAS,» *Concreto y cemento. Investigación y Desarrollo*, vol. 6, nº 2, pp. 80-96, 2015.
- [3] A. Rodríguez Serquén, Puentes y obras de arte, Perú, 2012.
- [4] S. Romero, «Aplicaciones de la ingeniería civil estructural,» 12 noviembre 2017. [En línea]. Available: [https://www.bibliocad.com/es/biblioteca/tipos-de-puentes\\_87949/](https://www.bibliocad.com/es/biblioteca/tipos-de-puentes_87949/). [Último acceso: 13 noviembre 2020].
- [5] T. A. Sánchez, «ZIGURAT,» 8 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.e-zigurat.com/blog/es/aspectos-diseno-construccion-puentes-acero/>. [Último acceso: 13 noviembre 2020].
- [6] A. Gastesi Iriarte, «Control de la estructura metálica en el Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz,» *Hormigón y Acero*, vol. 67, pp. 235-243, 2016.
- [7] J. M. Rodríguez Romero, E. Pavón Cuaresma, E. Díaz Heredia, J. Arroyo Arroyo y M. Á. Liébana Ramos, «Algunas reflexiones sobre la instalación de pretiles en la rehabilitación de puentes,» *Hormigón y Acero*, vol. 69, pp. 129-145, 2018.
- [8] D. Cobo del Arco, I. Raventós Dudous y S. Mohr, «Puentes mixtos continuos de ferrocarril en zona sísmica en el norte,» *Hormigón y Acero*, vol. 69, nº 286, pp. 251-258, 2017.
- [9] A. Viviescas Jaimes, L. Herrera Rey y J. Arenas Paez, «Determinación de la capacidad resistente de puentes viga-losa en concreto postensado mediante pruebas de vibración ambiental: Caso de estudio Puente El Ramo,» *Inge Cuc*, vol. 13, nº 1, pp. 32-41, 2017.
- [10] Octal, «Octal,» 2 noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.octalacero.com/astm-a53#:~:text=%20ASTM%20A53%20Especificaci%C3%B3n%20de%20Tuber%C3%ADa%20%201,ASTM%20A53%20%28para%20el%20tubo%20con...%20More%20>. [Último acceso: 13 noviembre 2020].

- [11] A. Artigas, O. Bustos, K. Sipos, N. Garza, A. Monsalve, J. Mena y R. Seco, «Comportamiento a la corrosión atmosférica marina de aceros autopatinables con estructura ferrítico perlítica y ferrítico martensítica,» *Revista Matéria*, vol. 20, n° 3, pp. 659-667, 2015.
- [12] C. Delgado Castro , R. Rodríguez Rivas y W. Vera Ávila, «Propuesta de puente aplicando el método de diseño AASHTO LRFD para la ciudad de Manta.,» *Dominio de las Ciencias*, vol. 4, n° 3, pp. 189-210, 2018.
- [13] E. Villagrán Arroyo, M. Cruz Gómez, A. Posada Sánchez, J. Hidalgo Toxqui, S. Galindo Ramírez y J. Muñoz Flores, «Transición del Factor de Carga para Combinaciones por Gravedad de NTC-2004 a NTC-2017,» *Conciencia Tecnológica*, n° 56, pp. 1-14, 2018.
- [14] J. Bojórquez Mora y S. Ruiz Gómez, «Factores de carga óptimos para el diseño sísmico de edificios,» *Revista de Ingeniería Sísmica*, n° 98, pp. 25-44, 2018.
- [15] I. Carpintero García, «Problemática en la inspección de puentes metálicos antiguos,» *Hormigón y Acero*, vol. 69, n° 285, pp. 121-127, 2018.
- [16] O. Ramos Gutiérrez, M. Astiz Suárez, S. Ole Hansen, J. Terrés Nícoli y J. Meseguer Ruiz, «Ensayos de viento para el Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz,» *Hormigón y Acero*, vol. 67, n° (278-279), pp. 245-253, 2016.
- [17] L. Fernández Troyano y G. Ayuso Calle, «Distintos sistemas de aislamiento empleados en puentes,» *Hormigón y Acero*, vol. 68, n° 281, pp. 45-55, 2017.
- [18] MIDUVI, «Secciones sísmicamente compactas,» de *Estructura de acero*, Quito, Dirección de Comunicación Social, 2015, p. 28.

## 5. ANEXOS

### Anexo I. Tuberías de cédula 40 del catálogo Dipac.

## TUBERÍA SIN COSTURA CÉDULA 40



### Especificaciones Generales:

**ASTM A 53 GRB:** Conducción fluidos y gases en minería, petroquímica, pesca y en general.

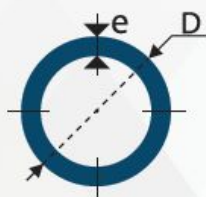
**API 5L:** Tubos para industria petrolera

**ASTM A 106:** Tubos para servicio a altas temperaturas

**Recubrimiento:** Negro o galvanizado

**Largo normal:** 6,00 mts.

**Acabado:** Acero negro



COMPOSICIÓN QUÍMICA %				
C Max	Mn	P Max	S Max	
0.3	1.2	0.05	0.06	

PROPIEDADES MECÁNICAS				
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min
Kg/mm <sup>2</sup>	Psi	Kg/mm <sup>2</sup>	Psi	
42.2	60000	24,6	35000	30 - 35

DIÁMETRO			PROPIEDADES				
INTERIOR	EXTERIOR (D)		ESPESOR (e)		PRESIÓN/PRUEBA		PESO
pulg	mm	pulg	mm	pulg	kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	kg/mts
1/2"	21.30	0.84	2.77	0.10	49	700	1.27
3/4"	26.70	1.05	2.87	0.11	49	700	1.68
1"	33.40	1.31	3.38	0.13	49	700	2.50
1 1/4"	42.20	1.66	3.56	0.14	91	1300	3.38
1 1/2"	48.30	1.90	3.68	0.14	91	1300	4.05
2"	60.30	2.37	3.91	0.15	176	2500	5.44
2 1/2"	73.00	2.87	5.16	0.20	176	2500	8.62
3"	88.90	3.50	5.49	0.21	176	2500	11.29
4"	114.30	4.50	6.02	0.23	155	2210	16.07
5"	141.30	5.56	6.55	0.25	137	1950	21.78
6"	168.30	6.62	7.11	0.28	125	1780	28.26
8"	219.10	8.62	8.18	0.32	110	1570	42.53
10"	273.00	10.75	9.27	0.36	101	1430	60.29
12"	323.80	12.75	10.31	0.40	94	1340	79.65
14"	355.60	14.00	11.13	0.43	92	1310	94.55

**Anexo II.** Tablas de la normativa AISC


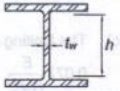



**a.** Factores de fluencia y tensión probable

<b>TABLE A3.1</b>		
<b><math>R_y</math> and <math>R_t</math> Values for Steel and Steel Reinforcement Materials</b>		
<b>Application</b>	<b><math>R_y</math></b>	<b><math>R_t</math></b>
Hot-rolled structural shapes and bars:		
• ASTM A36/A36M	1.5	1.2
• ASTM A1043/A1043M Gr. 36 (250)	1.3	1.1
• ASTM A992/A992M	1.1	1.1
• ASTM A572/A572M Gr. 50 (345) or 55 (380)	1.1	1.1
• ASTM A913/A913M Gr. 50 (345), 60 (415), 65 (450), or 70 (485)	1.1	1.1
• ASTM A588/A588M	1.1	1.1
• ASTM A1043/A1043M Gr. 50 (345)	1.2	1.1
• ASTM A529 Gr. 50 (345)	1.2	1.2
• ASTM A529 Gr. 55 (380)	1.1	1.2
Hollow structural sections (HSS):		
• ASTM A500/A500M Gr. B	1.4	1.3
• ASTM A500/A500M Gr. C	1.3	1.2
• ASTM A501/A501M	1.4	1.3
• ASTM A53/A53M	1.6	1.2
• ASTM A1085/A1085M	1.25	1.15
Plates, Strips and Sheets:		
• ASTM A36/A36M	1.3	1.2
• ASTM A1043/A1043M Gr. 36 (250)	1.3	1.1
• ASTM A1011/A1011M HSLAS Gr. 55 (380)	1.1	1.1
• ASTM A572/A572M Gr. 42 (290)	1.3	1.0
• ASTM A572/A572M Gr. 50 (345), Gr. 55 (380)	1.1	1.2
• ASTM A588/A588M	1.1	1.2
• ASTM A1043/A1043M Gr. 50 (345)	1.2	1.1
Steel Reinforcement:		
• ASTM A615/A615M Gr. 60 (420)	1.2	1.2
• ASTM A615/A615M Gr. 75 (520) and Gr. 80 (550)	1.1	1.2
• ASTM A706/A706M Gr. 60 (420) and Gr. 80 (550)	1.2	1.2

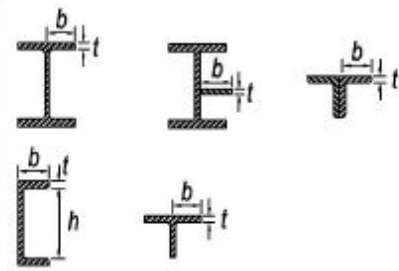
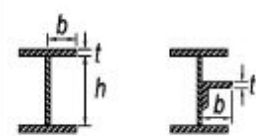
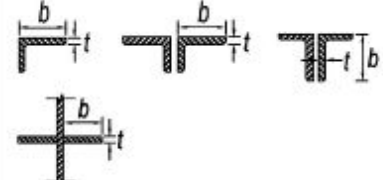
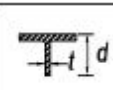
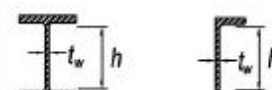
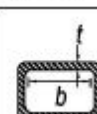
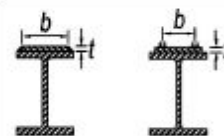
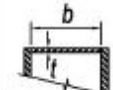
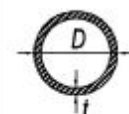


- b. Continuación de Tabla D1.1 de la normativa AISC 341-16, para verificación de ductilidad de elementos de acero

**(TABLE D1.1 (continued))**  
**Limiting Width-to-Thickness Ratios for**  
**Compression Elements for Moderately Ductile**  
**and Highly Ductile Members**

Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Example
		$\lambda_{hd}$ Highly Ductile Members	$\lambda_{md}$ Moderately Ductile Members	
Stiffened Elements	Webs of built-up box sections used as EBF links $h/t$	$0.67 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$1.75 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	Webs of H-Pile sections $h/t_w$	not applicable	$1.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	Walls of round HSS $D/t$	$0.053 \frac{E}{R_y F_y}$	$0.062 \frac{E}{R_y F_y}$ [c]	
Composite	Walls of rectangular filled composite members $b/t$	$1.48 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$2.37 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	Walls of round filled composite members $D/t$	$0.085 \frac{E}{R_y F_y}$	$0.17 \frac{E}{R_y F_y}$	

c. Tabla B4.1a de la normativa AISC 341-10, para verificación de Esbeltez

<b>TABLA B4.1a</b> <b>Razones Ancho-Espesor: Elementos en Compresión.</b> <b>Miembros Sujetos a Compresión Axial</b>					
Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Razón Límite Ancho-Espesor $\lambda_y$ (Esbelto-No Esbelto)	Ejemplos	
Elementos No-Atiesados	1	Alas de perfiles laminados, planchas conectadas a perfiles laminados, alas de pares de ángulos conectados continuamente, alas de canales y alas de secciones T	b/t	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Alas de perfiles soldados y planchas o ángulos conectados a secciones soldadas.	b/t	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ <sup>[a]</sup>	
	3	Alas de perfiles ángulo laminados; alas de pares de ángulos con separadores y todo tipo de elementos no atiesados	b/t	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	Almas de secciones T	d/t	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elementos Atiesados	5	Almas de secciones I con doble simetría y secciones canal.	$h/t_w$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Paredes de secciones HSS rectangulares y cajones de espesor uniforme	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Alas de sobre planchas y planchas diafragma entre líneas de conectores o soldadura	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Todo elemento atiesador	b/t	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	Tubos circulares.	D/t	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

d. Tabla B4.1b de la normativa AISC 341-10, para verificación de compacidad del elemento (Compacto-No compacto)

<p style="text-align: center;"><b>TABLA B4.1b</b> <b>Razones Ancho-Espesor: Elementos en Compresión de miembros en flexión</b></p>						
Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Razones Ancho-Espesor Límite		Ejemplos	
			$\lambda_p$ (compacto-no compacta)	$\lambda_r$ (esbelto-no esbelto)		
Elementos No-Atiesados	10	Flexión en alas de perfiles I laminados, canales y tes.	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Alas de secciones I soldadas con doble y simple simetría.	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ <sup>[a] [b]</sup>	
	12	Alas de ángulos simples	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Alas de toda doble t y canal en torno a su eje más débil.	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Almas de tes	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elementos Atiesados	15	Almas de doble T simétricas y canales.	$h/t_w$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Almas de secciones doble T con un solo eje de simetría.	$h_c/t_w$	$\frac{h_c \sqrt{E}}{h_p \sqrt{F_y}} \leq \lambda_p$ <sup>[c]</sup>	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Alas de secciones tubulares y secciones cajón de espesor uniforme.	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Alas de sobre planchas y planchas diafragma entre líneas de conectores y soldadura.	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Almas de tubos rectangulares y secciones cajón.	h/t	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
20	Tubos redondos.	D/t	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$		

### Anexo III. Verificación de sección Compacta y Altamente dúctil

Módulo de elasticidad (E):	29000 ksi		
Esfuerzo de fluencia (Fy):	30000 Psi	→	30 ksi
	$\frac{1 \text{ Psi}}{0.001 \text{ ksi}}$		
Resistencia a la Tensión (Fu):	48000 Psi	→	48 ksi
Factor de fluencia probable (Ry):	1,15		
Factor de tensión probable (Rt):	1,15		

#### CONSIDERANDO SISMOS

#### Calculo con formulas de la Tabla D1.1 AISC

		Limitación de la relación Ancho-Espesor	
ELEMENTOS RIGIDOS	Paredes redondas HSS	Miembros altamente dúctiles	M. moderadamente dúctiles
		$= 0,053 \cdot \frac{E}{R_y F_y}$	$= 0,062 \cdot \frac{E}{R_y F_y}$
		44,55072464	52,11594203

nivel de ductilidad

#### Calculo con formulas de la Tabla 4: Máximas relaciones Ancho-

#### Espesor para elementos a compresion (NEC)

ELEMENTOS RIGIDIZADOS	Paredes HSS de sección circular	Limites Ancho-Espesor
		$= 0,038 \cdot \frac{E}{F_y}$
		36,73333333

arco principal (altamente dúctil)

Descripción	CEDULA 40			CEDULA 80		
	D. Ext mm	Espesor mm	D/t	D. Ext mm	Espesor mm	D/t
Arco principal	323,8	10,33	31,3456			
	355,6	11,13	31,9497			
Barra 1	168,3	7,11	23,6709	168,3	10,97	15,3418
Barra 2	60,3	3,91	15,422	60,3	5,54	10,8845
Barra 3	219,1	8,18	26,7848			
	273	9,27	29,4498			
Barra 4	88,9	5,49	16,1931	88,9	7,62	11,6667
	114,3	6,02	18,9867	114,3	8,56	13,3528

#### ELEMENTOS EN COMPRESION SUJETOS A COMPRESION AXIAL

#### Calculo con formulas de la Tabla D1.1 AISC

ELEMENTOS ATIEZADOS	Tubos circulares	Razón límite Ancho-Espesor (Esbelto/No esbelto)
		$= 0,11 \cdot \frac{E}{F_y}$
		106,3333333

#### ELEMENTOS EN COMPRESION DE MIEMBROS EN FLEXIÓN

		Razones Ancho-Espesor Limite	
ELEMENTOS ATIEZADOS	Tubos redondos	Compacta-No compacta	Esbelto-No Esbelto
		$= 0,07 \cdot \frac{E}{F_y}$	$= 0,31 \cdot \frac{E}{F_y}$
		67,66666667	299,6666667

Anexo IV. Revisión de Demanda-Capacidad de elementos sometidos a tensión

**CAPACIDAD (A TENSION) DE TODOS LOS ELEMENTOS**

Esfuerzo de fluencia (Fy): 30000 Psi 30 ksi 21092,1 ton/m<sup>2</sup>

Descripción	CEDULA 40			Capacidad a tensión de la sección (Ton)	
	D. Ext m	Espesor m	Área m <sup>2</sup>	$\phi_t * P_t = \phi_t * F_y * A_g$	$P_n = F_y * A_g$ $\Omega_t = \Omega_t$
Pendola T-C	0,1683	0,00711	0,00360046	68,347	45,474
Arco nuevo 1	0,2191	0,00818	0,00542027	102,892	68,458
Tipo pasamano 1	0,0889	0,00549	0,0014386	27,309	18,170

**Combo LRFD (Resistencia I)**  
1,25 DC+1,5DW+1,75 LL+IM

**Demanda:** 15,64 Ton Pendola T-C  
**Máx Demanda para 1 vehículo HL-93**

Relación  $\frac{D}{C}$ :  $\frac{15,64 \text{ Ton}}{68,3470 \text{ Ton}}$

Relación  $\frac{D}{C}$ : **0,23**

Relación  $\frac{D}{C}$ : **22,88 %**

**LRFD**  $\phi_t = 0,9$   
**ASD**  $\Omega_t = 1,67$

**Combo LRFD (Resistencia I)**  
1,25 DC+1,5DW+1,75 LL+IM

**Demanda:** 63,26 Ton Arco nuevo 1  
**Máx Demanda para 2 vehículo HL-93**

Relación  $\frac{D}{C}$ :  $\frac{63,26 \text{ Ton}}{102,8923 \text{ Ton}}$

Relación  $\frac{D}{C}$ : **0,61482**

Relación  $\frac{D}{C}$ : **61,48 %**

**Combo LRFD (Resistencia I)**  
1,25 DC+1,5DW+1,75 LL+IM

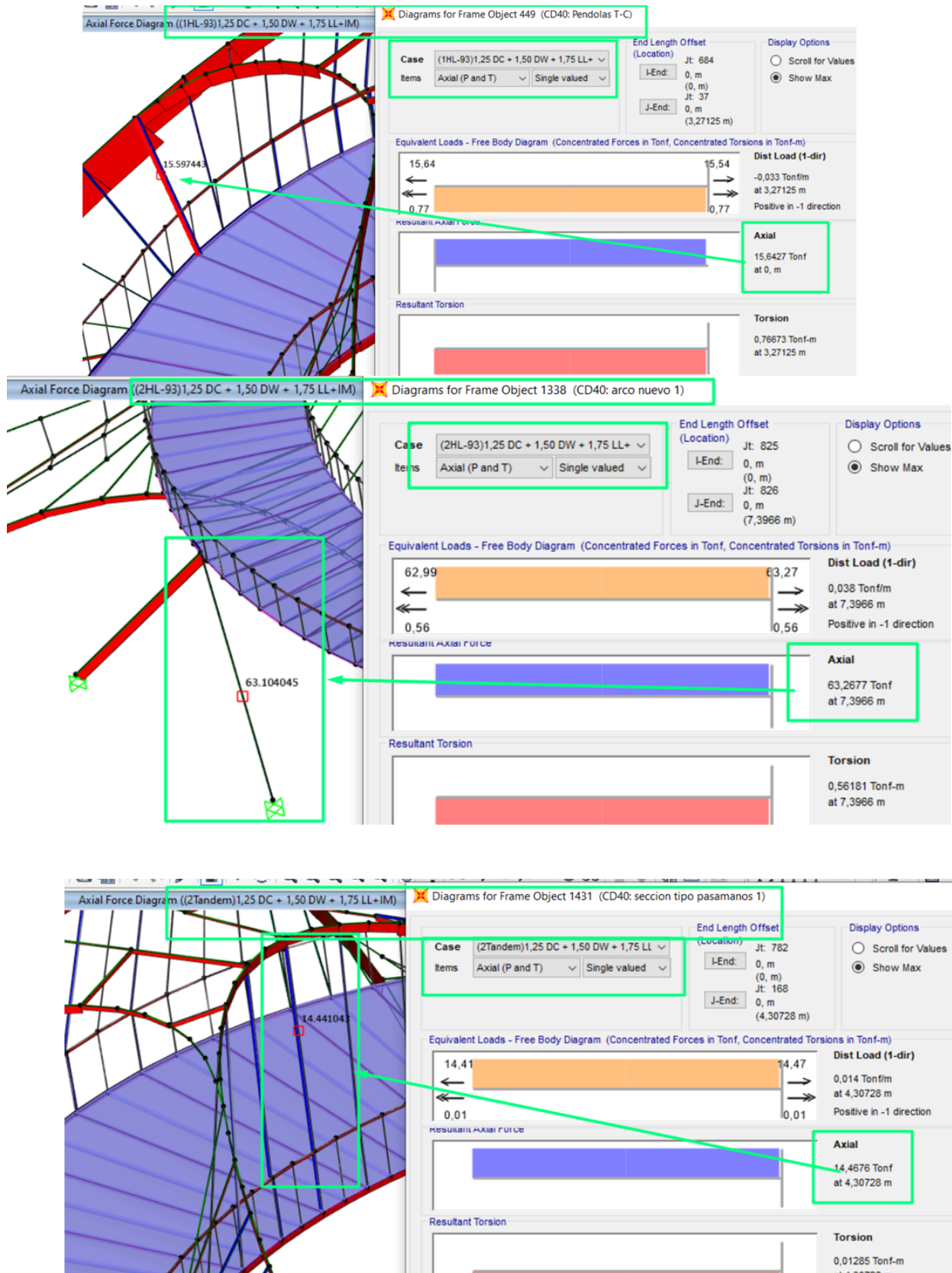
**Demanda:** 14,46 Ton Tipo pasamano 1  
**Máx Demanda para 2 vehículo Tandem**

Relación  $\frac{D}{C}$ :  $\frac{14,46 \text{ Ton}}{27,3088 \text{ Ton}}$

Relación  $\frac{D}{C}$ : **0,5295**

Relación  $\frac{D}{C}$ : **52,95 %**

## Anexo V. Verificación de elementos con mayor carga axial



Anexo VI. Revisión de Demanda-Capacidad de elementos sometidos a Flexión

CAPACIDAD (A MOMENTO) DE LOS ELEMENTOS						
Esfuerzo de fluencia (Fy):		30000 Psi	30 ksi	21092,1 ton/m <sup>2</sup>		
Descripción	CEDULA 40			Capacidad a momento de la sección (Ton*m)		
	D. Ext	Espesor	Módulo plástico (z)		$\phi_b * M_n = \phi_b * F_y * Z$	$M_n = F_y * Z$ $\Omega_b = \Omega_b$
m	m	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>			
Arco principal 1	0,3238	0,0103	1012,6714	0,00101267	19,223	12,790
Arco nuevo 1	0,2191	0,00818	364,881	0,00036488	6,926	4,608
Pendolas T-C	0,1683	0,00711	184,8534	0,00018485	3,509	2,335
Vigas soporte de losa	0,1683	0,011	272,6199	0,00027262	5,175	3,443
ASD		$\Omega_b = 1,67$	LRFD		$\phi_b = 0,9$	

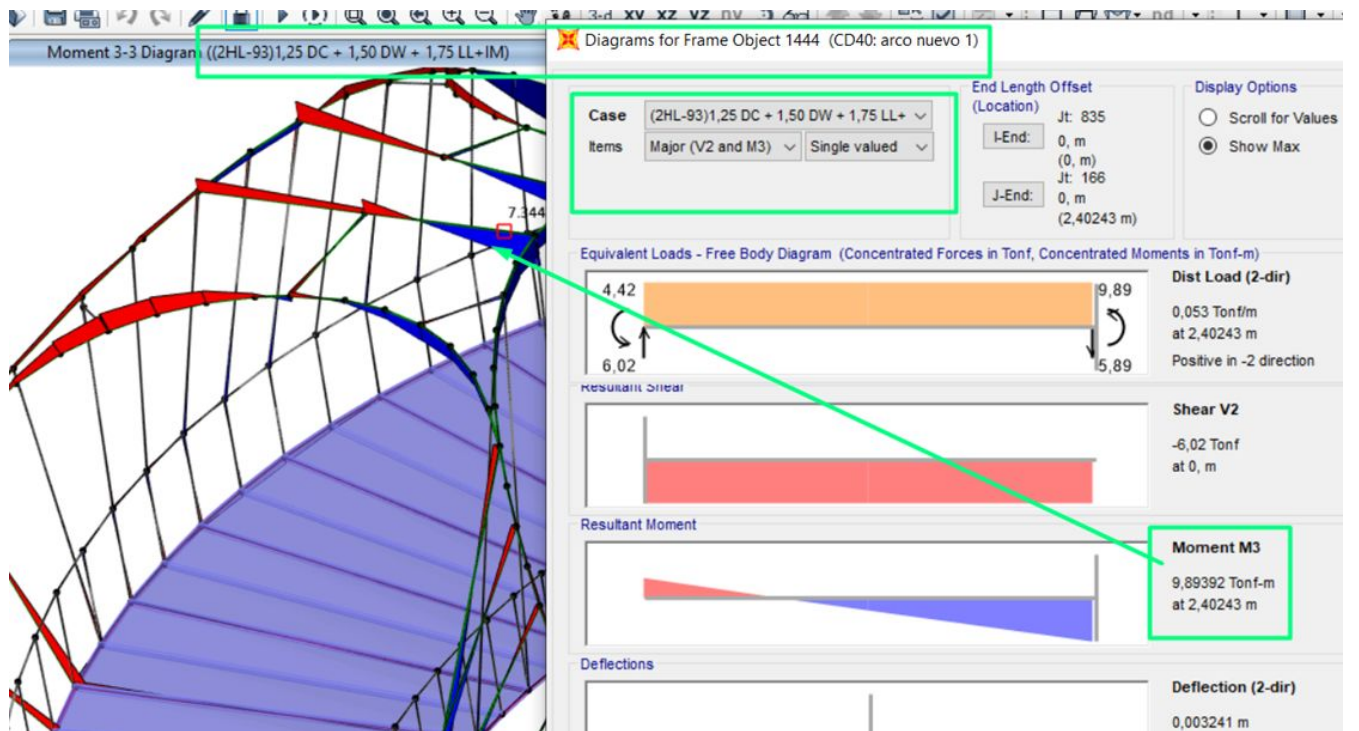
Combo LRFD (Resistencia I)	
1,25 DC+1,5DW+1,75 LL+IM	
Demanda:	32,6 Ton*m Arco principal 1
Máx Demanda para 2 vehículo HL-93	
Relación $\frac{D}{C}$ :	$\frac{32,6 \text{ Ton}}{19,2234 \text{ Ton}}$
Relación $\frac{D}{C}$ :	<b>1,69585</b>
Relación $\frac{D}{C}$ :	169,585 %

Combo LRFD (Resistencia I)	
1,25 DC+1,5DW+1,75 LL+IM	
Demanda:	9,9 Ton*m Arco nuevo 1
Máx Demanda para 2 vehículo HL-93	
Relación $\frac{D}{C}$ :	$\frac{9,9 \text{ Ton}}{6,9265 \text{ Ton}}$
Relación $\frac{D}{C}$ :	<b>1,42929</b>
Relación $\frac{D}{C}$ :	142,929 %

Combo LRFD (Resistencia I)	
1,25 DC+1,5DW+1,75 LL+IM	
Demanda:	15,52 Ton*m Vigas soporte
Máx Demanda para 2 vehículo HL-93	
Relación $\frac{D}{C}$ :	$\frac{15,52 \text{ Ton}}{5,1751 \text{ Ton}}$
Relación $\frac{D}{C}$ :	<b>2,99897</b>
Relación $\frac{D}{C}$ :	299,897 %

Combo LRFD (Resistencia I)	
1,25 DC+1,5DW+1,75 LL+IM	
Demanda:	4,68 Ton*m Pendolas T-C
Máx Demanda para 2 vehículo tandem	
Relación $\frac{D}{C}$ :	$\frac{4,68 \text{ Ton}}{3,5090 \text{ Ton}}$
Relación $\frac{D}{C}$ :	<b>1,33369</b>
Relación $\frac{D}{C}$ :	133,369 %

## Anexo VII. Verificación de elementos con mayor carga a momento





Anexo VIII. Revisión de Demanda-Capacidad de elementos sometidos a Compresión.  
Elemento 1



Descripción	CEDULA 40				Factor long. Efectiva (K)
	D. Ext	Espesor	Radio de giro	Long. Columna	
	m	m	m	m	
Pendola T-C (Barra 1)	0,1683	0,00711	0,057	3,6	1

Operaciones:

$$a) \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left( \text{o } \frac{F_y}{F_c} \leq 2,25 \right)$$

$$63,157895 \leq 146,440$$

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{r} \right] F_y$$

Cumple

Se calcula el Fcr de acuerdo a la condición que se cumpla, ya sea (a) o (b), en este caso se cumple (a):

$$1 \text{ ksi} = 703,07 \text{ ton/m}^2$$

$$b) \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left( \text{o } \frac{F_y}{F_c} \leq 2,25 \right)$$

$$63,157895 > 146,439851$$

$$F_{cr} = 0,877 F_e$$

No cumple

Esfuerzo de pandeo crítico elástico

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{(KL/r)^2}$$

$$F_e = 71,75339 \text{ ksi}$$

$$F_e = 50447,63 \text{ ton/m}^2$$

Esfuerzo de pandeo por flexión de una columna

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{r} \right] F_y$$

$$F_{cr} = 25,184 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} = 17705,98 \text{ ton/m}^2$$

Una vez obtenido Fcr para un miembro particular, se obtiene la Resistencia nominal Pn

(Resistencia de diseño LRFD y permisible ASD):

$$\phi_c = 0,9$$

$$\Omega_c = 1,67$$

LRFD

$$\phi_c * P_n = \phi_c * F_{cr} * A_g$$

$$\phi_c * P_n = 161,6543 \text{ Ton}$$

Combo LRFD (Resistencia I)

1,25 DC+1,5DW+1,75 LL+IM

Demanda: 15,64 Ton Pendola T-C (Barra 1)

Máx Demanda para 2 vehículo HL-93

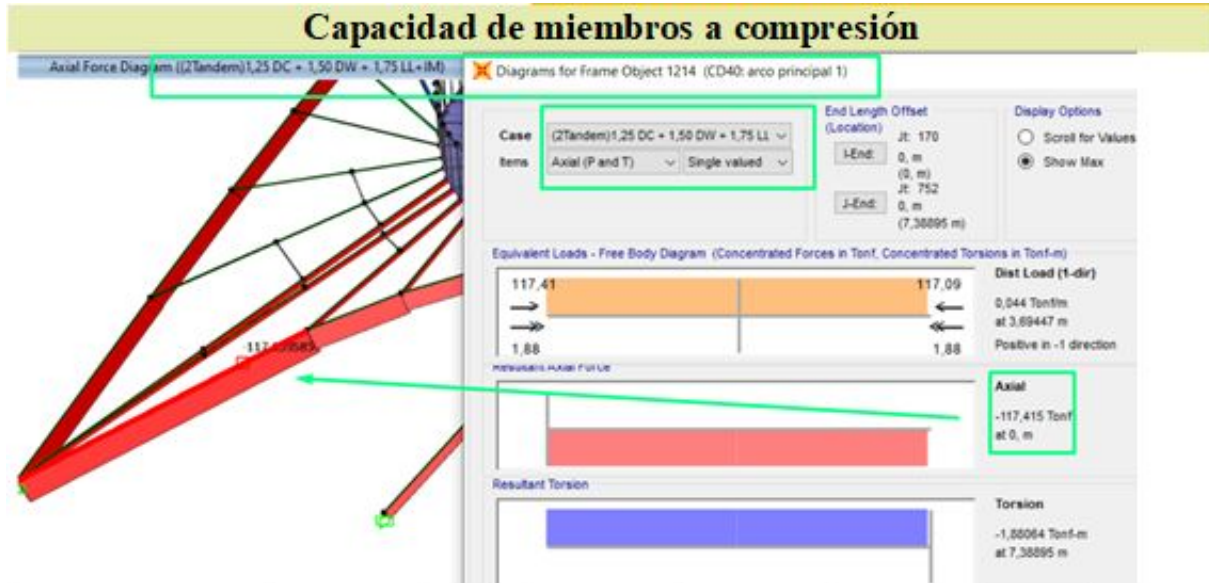
$$\text{Relación } \frac{D}{C} = \frac{15,64 \text{ Ton}}{161,6543 \text{ Ton}}$$

$$\text{Relación } \frac{D}{C} = 0,10$$

$$\text{Relación } \frac{D}{C} = 9,67 \%$$

# Anexo IX. Revisión de Demanda-Capacidad de elementos sometidos a Compresión.

## Elemento 2



Descripción	D. Ext	Espesor	Radio de giro	Long. Columna	Factor long. Efectiva (K)	Área
	m	m	m	m		m <sup>2</sup>
arco principal 1	0,3238	0,0103	0,1109	7,4	1	0,01014

Operaciones:

$$a) \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left( o \frac{F_y}{F_c} \leq 2,25 \right)$$

$$66,726781 \leq 146,440$$

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_c} \right] F_y$$

**Cumple**

Se calcula el Fcr de acuerdo a la condición que se cumpla, ya sea (a) o (b), en este caso se cumple (a):

$$1 \text{ ksi} = 703,07 \text{ ton/m}^2$$

$$b) \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left( o \frac{F_y}{F_c} \leq 2,25 \right)$$

$$66,726781 > 146,439851$$

$$F_{cr} = 0,877 F_c$$

**No cumple**

**Esfuerzo de pandeo crítico elástico**

$$F_c = \frac{\pi^2 * E}{\left( \frac{KL}{r} \right)^2}$$

$$F_c = 64,28319 \text{ ksi}$$

$$F_c = 45195,55 \text{ ton/m}^2$$

**Esfuerzo de pandeo por flexión de una columna**

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_c} \right] F_y$$

$$F_{cr} = 24,677 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} = 17349,55 \text{ ton/m}^2$$

Una vez obtenido Fcr para un miembro particular, se obtiene la Resistencia nominal Pn (Resistencia de diseño LRFD y permisible ASD):

$$\phi_c = 0,9$$

$$\Omega_c = 1,67$$

**LRFD**

$$\phi_c * P_n = \phi_c * F_{cr} * A_g$$

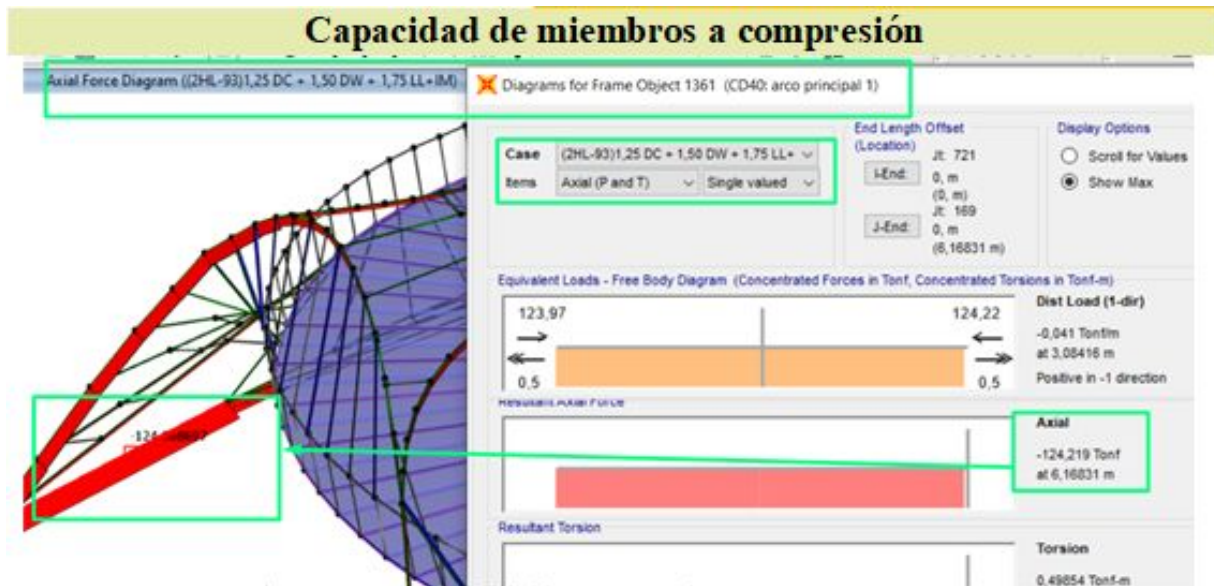
$$\phi_c * P_n = 158,40 \text{ Ton}$$

**Combo LRFD (Resistencia I)**  
1,25 DC+1,5DW+1,75 LL+IM

**Demanda:** 117,42 Ton arco principal 1

**Máx Demanda para 2 vehículo Tandem**

Relación $\frac{D}{C}$ :	$\frac{117,42 \text{ Ton}}{158,40 \text{ Ton}}$
Relación $\frac{D}{C}$ :	<b>0,74</b>
Relación $\frac{D}{C}$ :	<b>74,13 %</b>



Descripción	D. Ext	Espesor	Radio de giro	Long. Columna	Factor long. Efectiva (K)	Área
	m	m	m	m		m <sup>2</sup>
arco principal 1	0,3238	0,0103	0,1109	6,17	1	0,01014

Operaciones:

a)  $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left( \text{o } \frac{F_y}{E_c} \leq 2,25 \right)$   
 $55,635708 \leq 146,440$

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{E_c} \right] F_y$$

Cumple

Se calcula el Fcr de acuerdo a la condición que se cumpla, ya sea (a) o (b), en este caso se cumple (a):

$$1 \text{ ksi} = 703,07 \text{ ton/m}^2$$

b)  $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left( \text{o } \frac{F_y}{E_c} \leq 2,25 \right)$   
 $55,635708 > 146,439851$

$$F_{cr} = 0,877 F_e$$

No cumple

Esfuerzo de pandeo crítico elástico

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left( \frac{KL}{r} \right)^2}$$

$$F_e = 92,4678 \text{ ksi}$$

$$F_e = 65011,3 \text{ ton/m}^2$$

Esfuerzo de pandeo por flexión de una columna

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{E_c} \right] F_y$$

$$F_{cr} = 26,191 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} = 18413,88 \text{ ton/m}^2$$

Una vez obtenido Fcr para un miembro particular, se obtiene la Resistencia nominal Pn (Resistencia de diseño LRFD y permisible ASD):

$$\phi_c = 0,9$$

$$\Omega_c = 1,67$$

**LRFD**

$$\phi_c * P_n = \phi_c * F_{cr} * A_g$$

$$\phi_c * P_n = 168,12 \text{ Ton}$$

**Combo LRFD (Resistencia I)**  
 1,25 DC+1,5DW+1,75 LL+IM

**Demanda:** 124,22 Ton arco principal 1

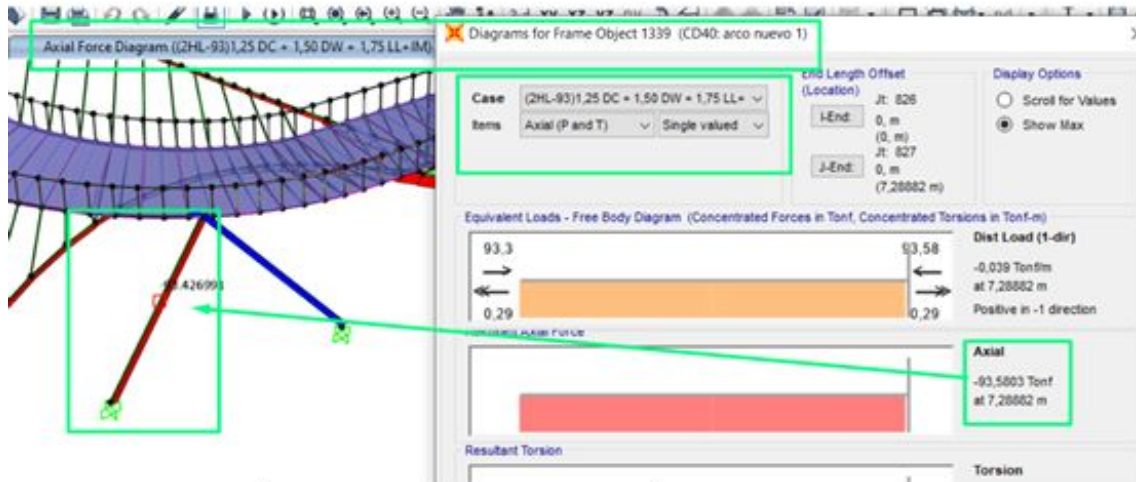
**Máx Demanda para 2 vehículo HL-93**

Relación $\frac{D}{C}$ :	$\frac{124,22 \text{ Ton}}{168,12 \text{ Ton}}$
	<b>0,74</b>
Relación $\frac{D}{C}$ :	<b>73,89 %</b>

Anexo XI. Revisión de Demanda-Capacidad de elementos sometidos a Compresión.

Elemento 4

**Capacidad de miembros a compresión**



CEDULA 40

Descripción	D. Ext	Espesor	Radio de giro	Long. Columna	Factor long. Efectiva (K)	Área
	m					
arco nuevo 1	0,2191	0,00818	0,0746	7,3	1	0,00542

Operaciones:

$$a) \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left( o \frac{F_y}{F_c} \leq 2,25 \right)$$

$$97,855228 \leq 146,440$$

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_c} \right] F_y$$

Cumple

Se calcula el Fcr de acuerdo a la condición que se cumpla, ya sea (a) o (b), en este caso se cumple (a):

$$1 \text{ ksi} = 703,07 \text{ ton/m}^2$$

$$b) \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left( o \frac{F_y}{F_c} \leq 2,25 \right)$$

$$97,855228 > 146,439851$$

$$F_{cr} = 0,877 F_c$$

No cumple

Esfuerzo de pandeo crítico elástico

$$F_c = \frac{\pi^2 * E}{(KL/r)^2}$$

$$F_c = 29,89026 \text{ ksi}$$

$$F_c = 21014,93 \text{ ton/m}^2$$

Esfuerzo de pandeo por flexión de una columna

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_c} \right] F_y$$

$$F_{cr} = 19,710 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} = 13857,28 \text{ ton/m}^2$$

Una vez obtenido Fcr para un miembro particular, se obtiene la Resistencia nominal Pn

(Resistencia de diseño LRFD y permisible ASD):

$$\phi_c = 0,9$$

$$\Omega_c = 1,67$$

**LRFD**

$$\phi_c * P_n = \phi_c * F_{cr} * A_g$$

$$\phi_c * P_n = 67,60 \text{ Ton}$$

**Combo LRFD (Resistencia I)**

1,25 DC+1,5DW+1,75 LL+IM

Demanda: 93,58 Ton arco nuevo 1

Máx Demanda para 2 vehículo HL-93

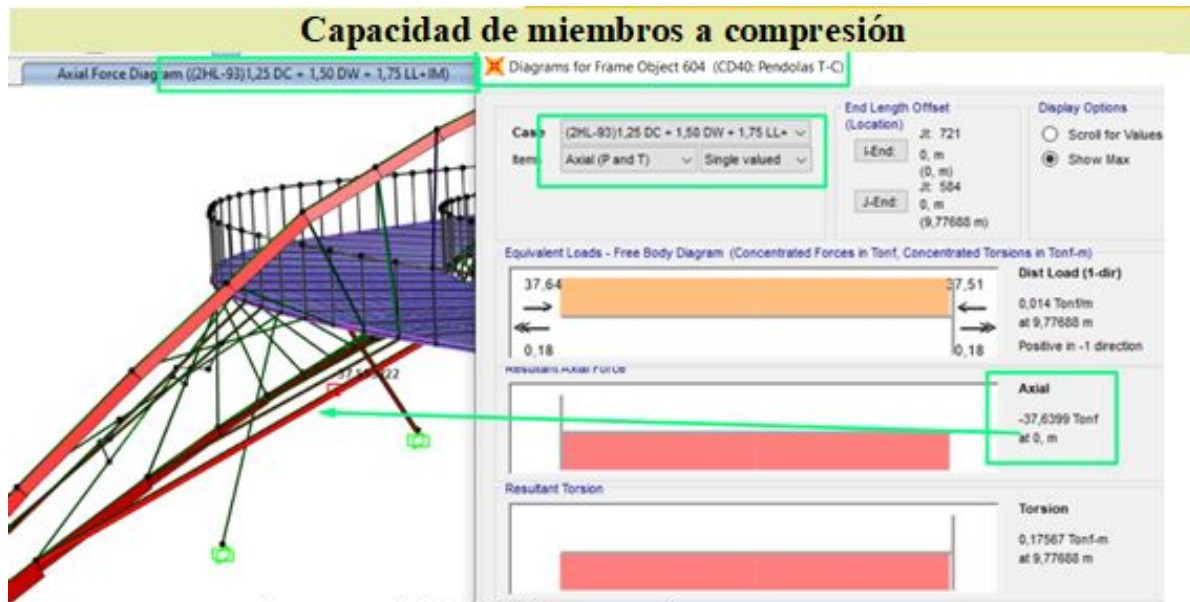
$$\text{Relación } \frac{D}{C} = \frac{93,58 \text{ Ton}}{67,60 \text{ Ton}}$$

$$\text{Relación } \frac{D}{C} = 1,38$$

$$\text{Relación } \frac{D}{C} = 138,43 \%$$

## Anexo XII. Revisión de Demanda-Capacidad de elementos sometidos a Compresión.

### Elemento 5



Descripción	D. Ext	Espesor	Radio de giro	Long. Columna	Factor long. Efectiva (K)	Área
	m					
Pendola T-C (Barra 1)	0,1683	0,00711	0,057	9,8	1	0,0036

Operaciones:

$$a) \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left( o \frac{F_y}{E_c} \leq 2,25 \right)$$

$$171,92982 \leq 146,440$$

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{f_y}{E_c} \right] F_y$$

Cumple

Se calcula el Fcr de acuerdo a la condición que se cumpla, ya sea (a) o (b), en este caso se cumple (a):

$$b) \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left( o \frac{F_y}{E_c} \leq 2,25 \right)$$

$$171,92982 > 146,439851$$

$$F_{cr} = 0,877 F_e$$

No cumple

$$1 \text{ ksi} = 703,07 \text{ ton/m}^2$$

Esfuerzo de pandeo crítico elástico

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left( \frac{KL}{r} \right)^2}$$

$$F_e = 9,682674 \text{ ksi}$$

$$F_e = 6807,594 \text{ ton/m}^2$$

Esfuerzo de pandeo por flexión de una columna

$$F_{cr} = 0,877 * F_e$$

$$F_{cr} = 8,492 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} = 5970,26 \text{ ton/m}^2$$

Una vez obtenido Fcr para un miembro particular, se obtiene la Resistencia nominal Pn (Resistencia de diseño LRFD y permisible ASD):

$$\phi_c = 0,9$$

$$\Omega_c = 1,67$$

LRFD

$$\phi_c * P_n = \phi_c * F_{cr} * A_g$$

$$\phi_c * P_n = 19,35 \text{ Ton}$$

Combo LRFD (Resistencia I)

1,25 DC+1,5DW+1,75 LL+IM

Demanda: 37,64 Ton Pendola T-C (Barra 1)

Máx Demanda para 2 vehículo HL-93

$$\text{Relación } \frac{D}{C} = \frac{37,64 \text{ Ton}}{19,35 \text{ Ton}}$$

1,95

$$\text{Relación } \frac{D}{C} = 194,56 \%$$