VII CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO

2019 Medellín, *Centro de Eventos El Tesoro*
Junio 19, 20 y 21

ICCA®
INSTITUTO COLOMBIANO DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO

REFLEXIONES SOBRE EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PABELLON VERDE –PALACIO DE EXPOSICIONES

Autor

Luis Horacio Restrepo Mejía

CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO

ICCA INSTITUTO COLOMBIANO DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO

Nota del ICCA

El ICCA no ejerce control sobre el contenido de esta conferencia. Lo tratado en ella refleja sólo la opinión de su autor.

Los invitamos a poner sus teléfonos en silencio.

Gracias

Ficha técnica del proyecto

- Diseño estructura metálica
  - Luis Horacio Restrepo M:
    - Equipo Ingeniería: Juan Carlos Orozco, Yhonny Cano
    - Equipo dibujo: Andres Arias, Natalia Montoya, Sandra Cardenas
- Diseño estructura hormigón
  - Pedro Serna , Fredy Duque
- Diseño arquitectónico
  - Javier Vera Arquitectos:
    - Javier Vera
    - Lisandro Vargas
- Revisor estructura metálica
  - Respuestas estructurales:
    - Oswaldo Jaramillo

CONTENIDO

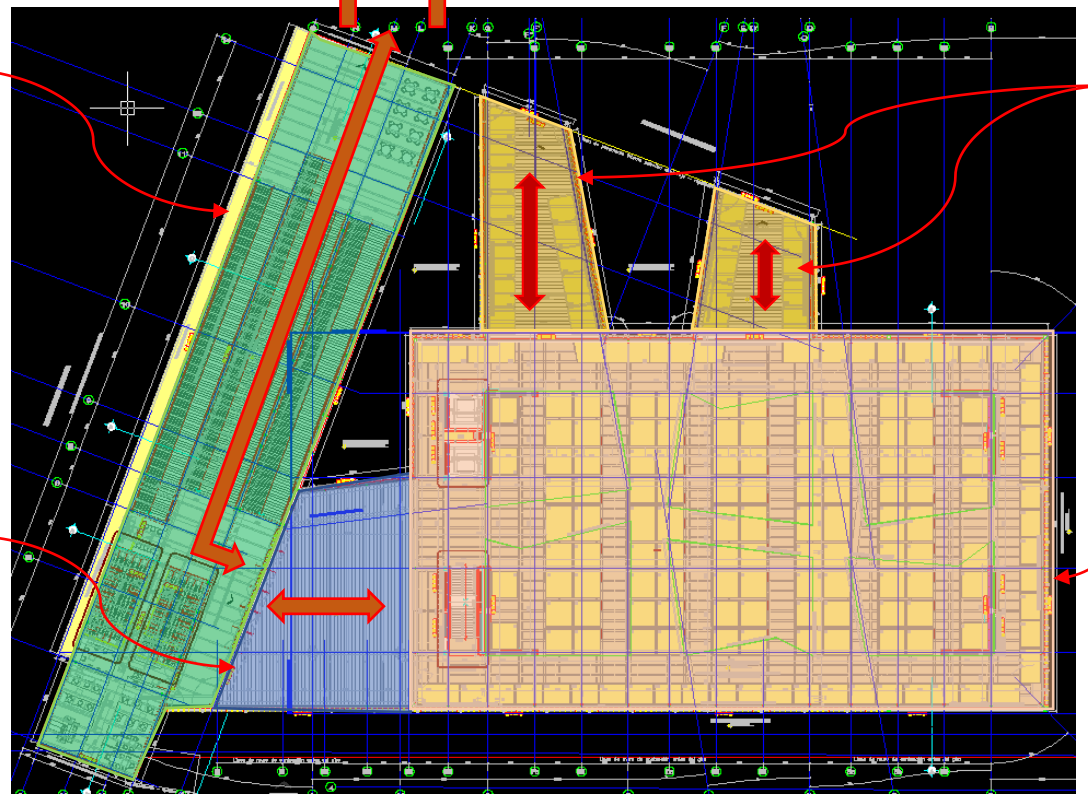
- Presentación del proyecto
- Cargas
- Sistema de resistencia sísmico (SRS)
- Sistema para cargas de gravedad
- Montaje
- Aprendizajes

PROYECTO (1/23)

- Descripción del proyecto

Blanco y amarillo

Rojo y azul



Edificio de rampas
170 Ton

Función:
Comunica todos los pabellones, amarillo, blanco, azul y rojo con el pabellón verde

Puente No3:
112Ton

Función:
Comunica el edificio de rampas con el pabellón verde

Puentes No1 y No2
82 Ton

Función
Comunica el pabellón verde con el pabellón rojo

Pabellón verde
1070 Ton

Función
Recinto ferial

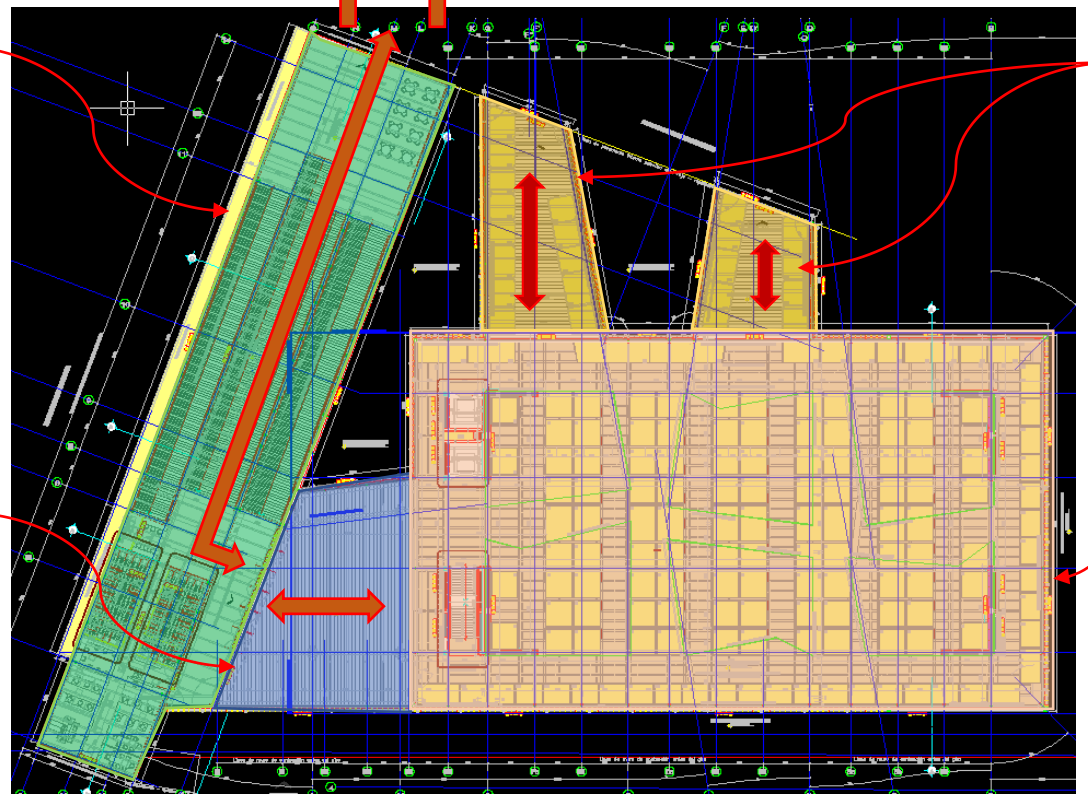
Peso total aproximado:
1650 Ton

PROYECTO (2/23)

- Descripción del proyecto

Blanco y amarillo

Rojo y azul



Edificio de rampas: 170 Ton

Área de cubierta: 1780m²
Losa tercer nivel: 1450m²
Rampas: 470m²

Total: 3700m²

Puente No3: 112Ton

Área de cubierta: 430m²
Losa tercer nivel: 430m²

Total: 860m²

Puentes No1 y No2: 82 Ton

Puente No1: Cubierta : 200m²
Losa: 200m²
Puente No2: Cubierta : 290m²
Losa: 290m²

Total : 980m²

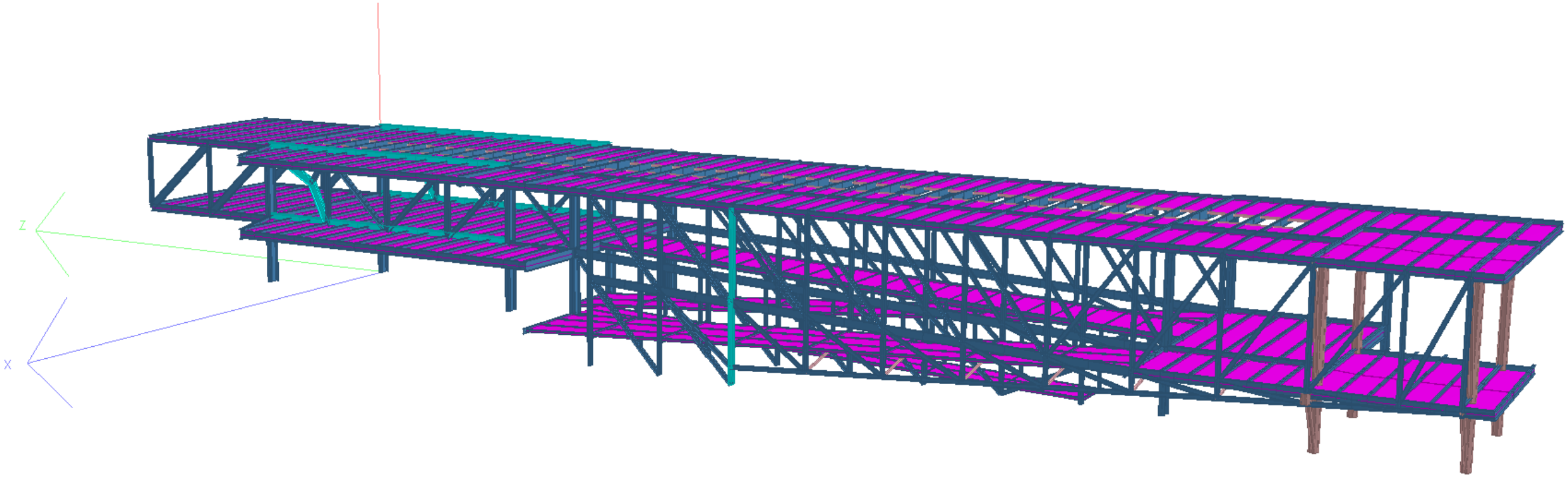
Pabellón verde: 1070 Ton

Área de cubierta: 4200m²
Losa tercer nivel: 1550m²
Losa técnica: 1130m²
Losa 2do nivel: 2720m²

Total: 9600m²

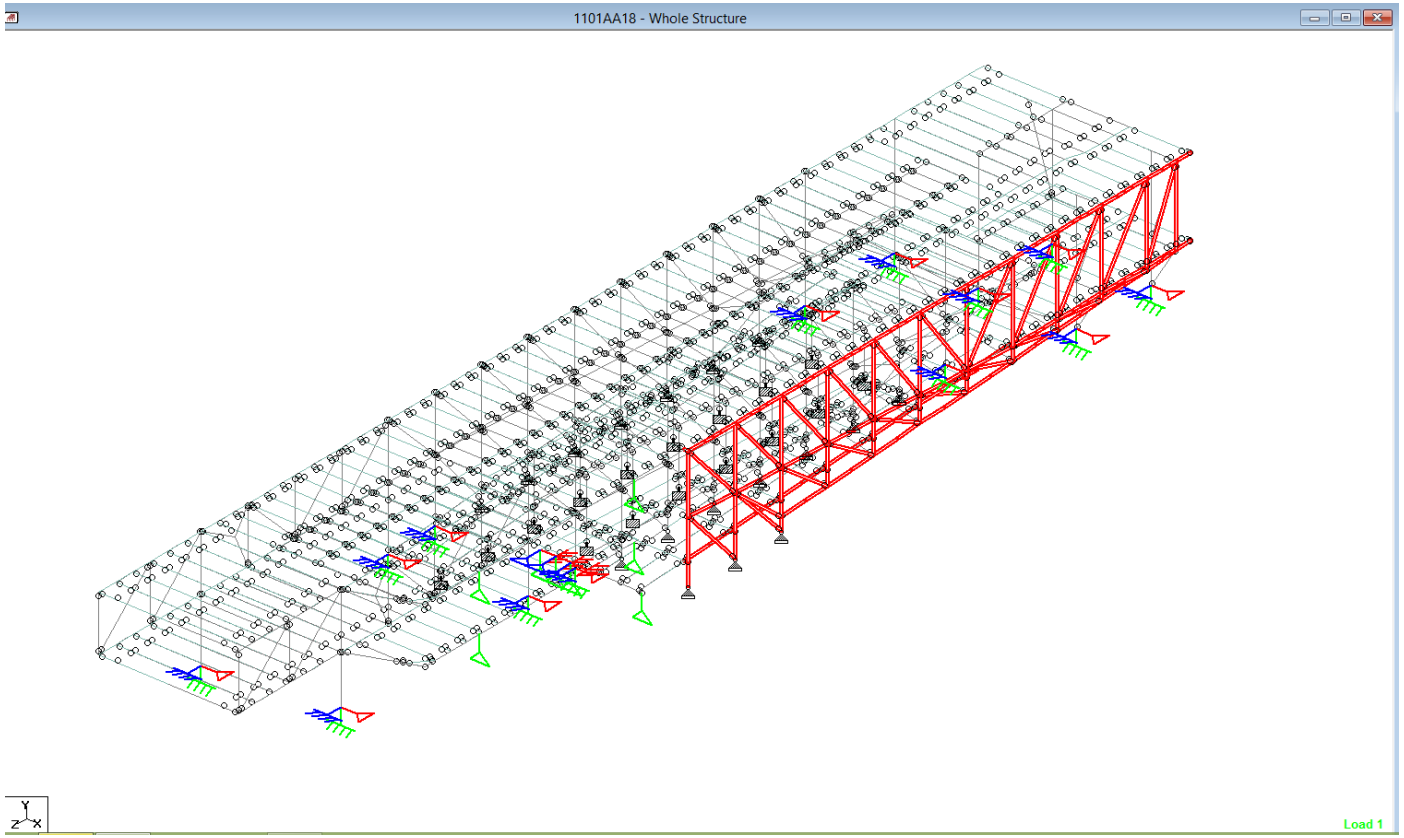
PROYECTO (3/23)

- Esquema tridimensional edificio de rampas

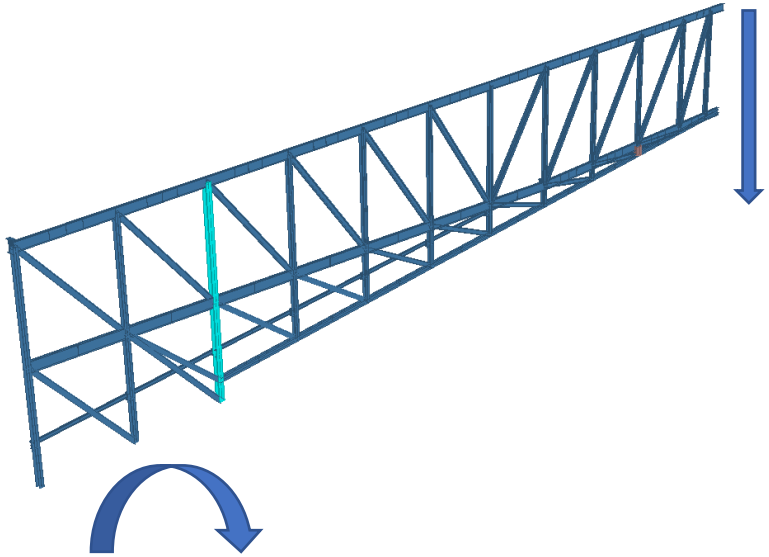


PROYECTO (4/23)

- Edificio de rampas: Principal desafío estructural

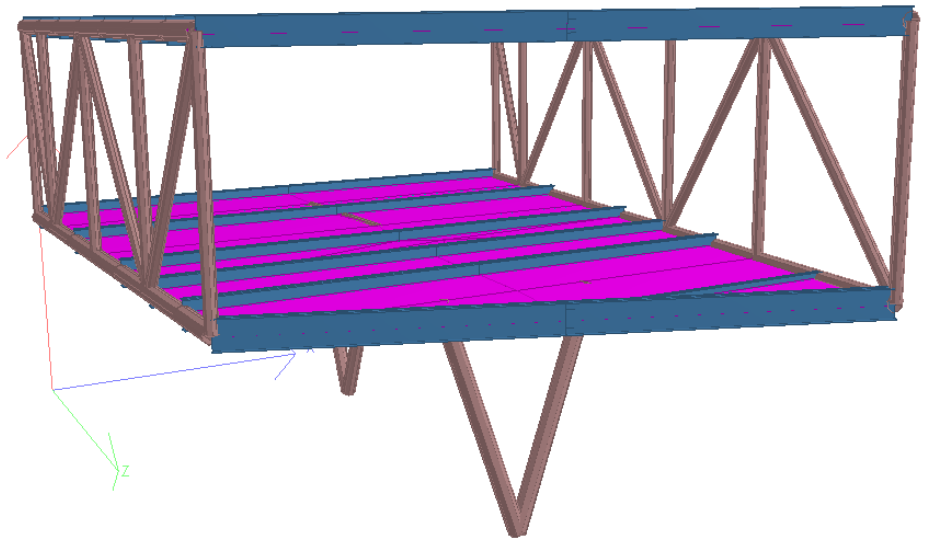


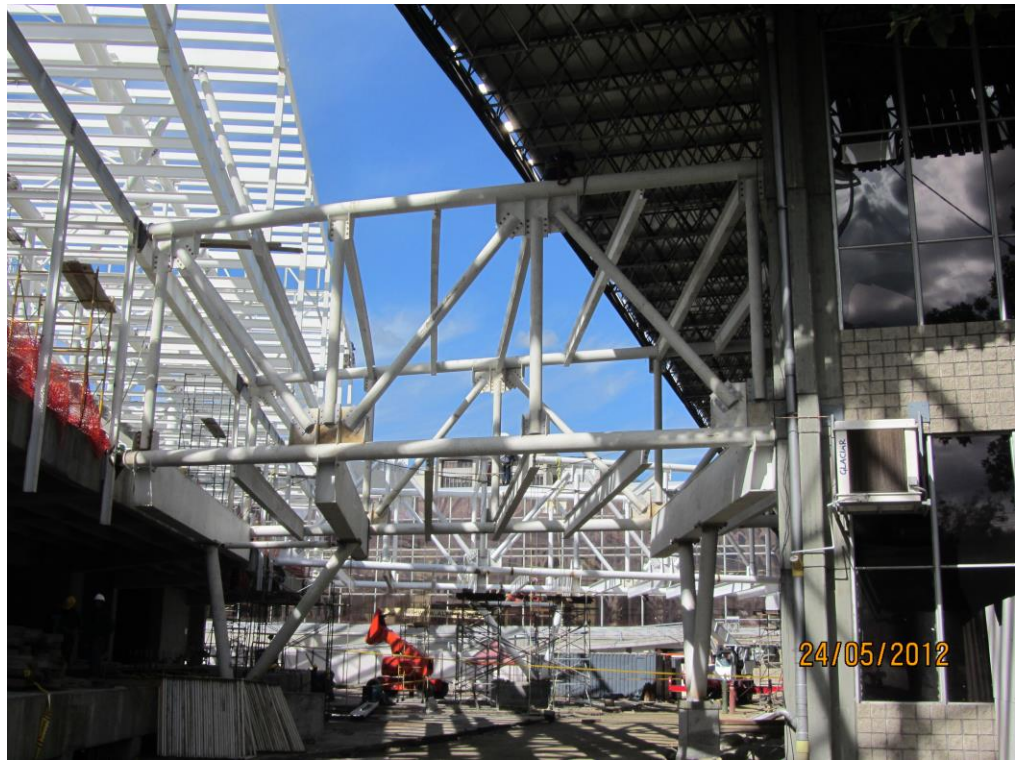
Controlar vibraciones, deformaciones y contrapeso en la fundación para soportar esta gran cercha en voladizo.



PROYECTO (5/23)

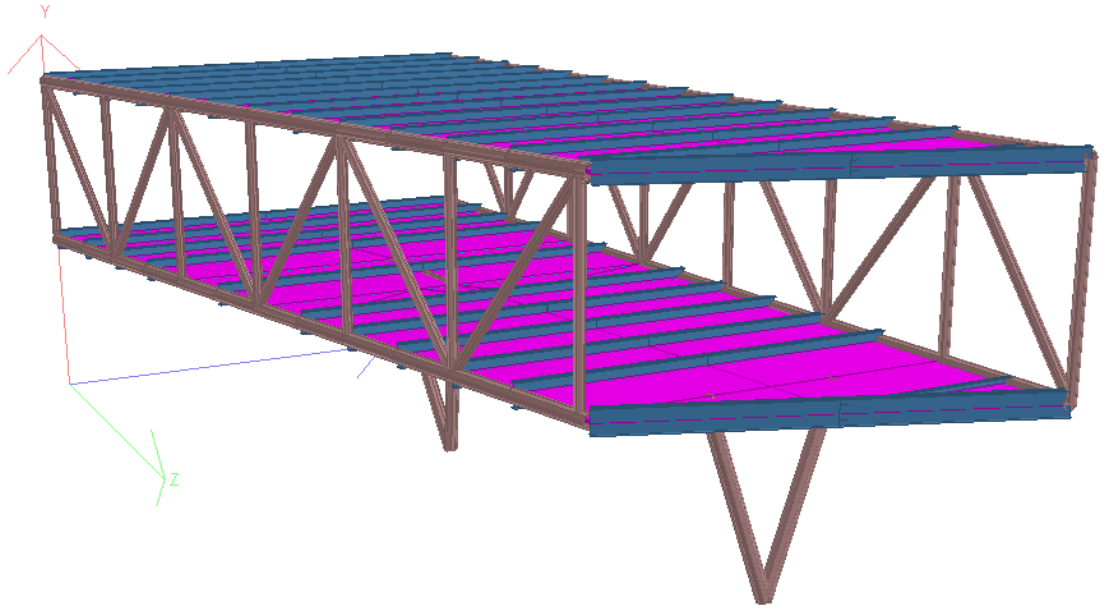
- Esquema tridimensional puente No 1





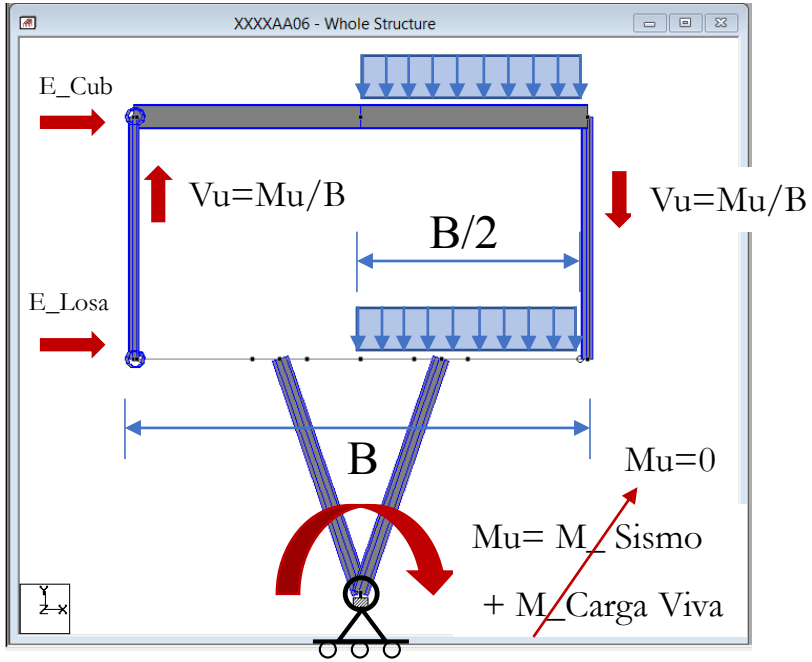
PROYECTO (6/23)

- Esquema tridimensional puente No 2



PROYECTO (7/23)

- Puentes No1 y No2: Principal desafío estructural



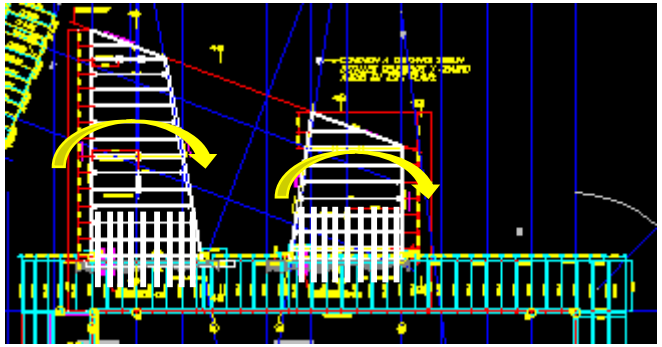
Sección típica

-Cargar el modelo de forma asimétrica en la posición de las cargas vivas

-Usar en el sismo la dirección que aumentaba los momentos en la base

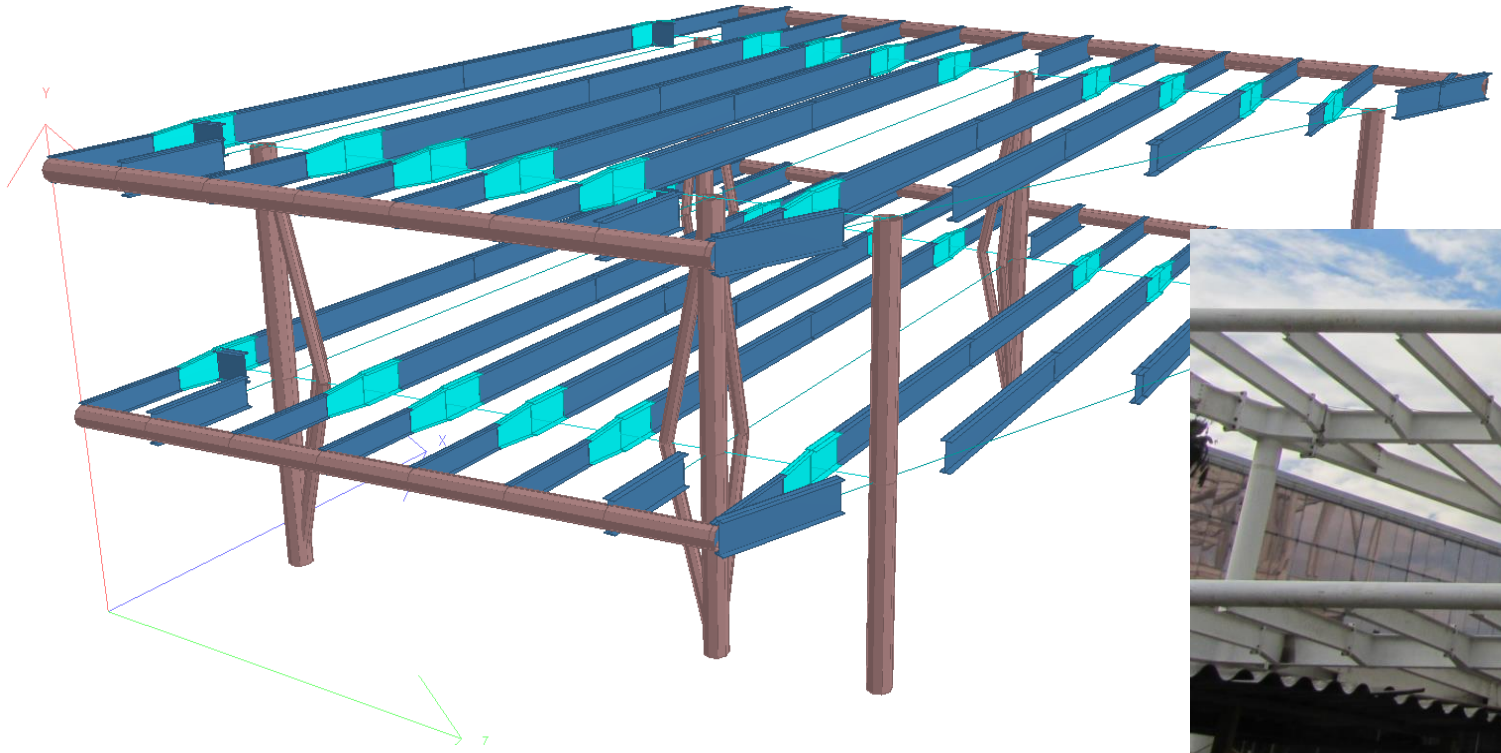
-Como la fundación debía ser muy grande para contrarrestar los efectos del volcamiento, se trasladaron estas cargas a los apoyos del puente en el edificio del pabellón. Se articulo la base de la columna.

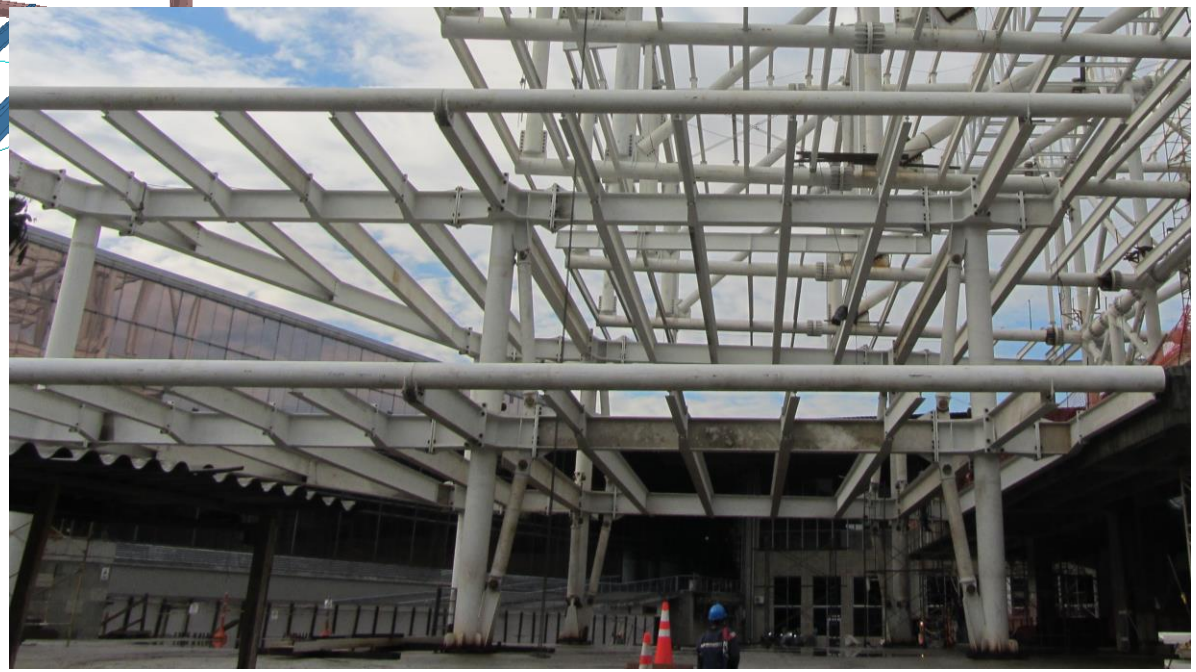
-Los momentos en el plano de las losas se tomaron con refuerzo de barras que cocían las dos estructuras.



PROYECTO (8/23)

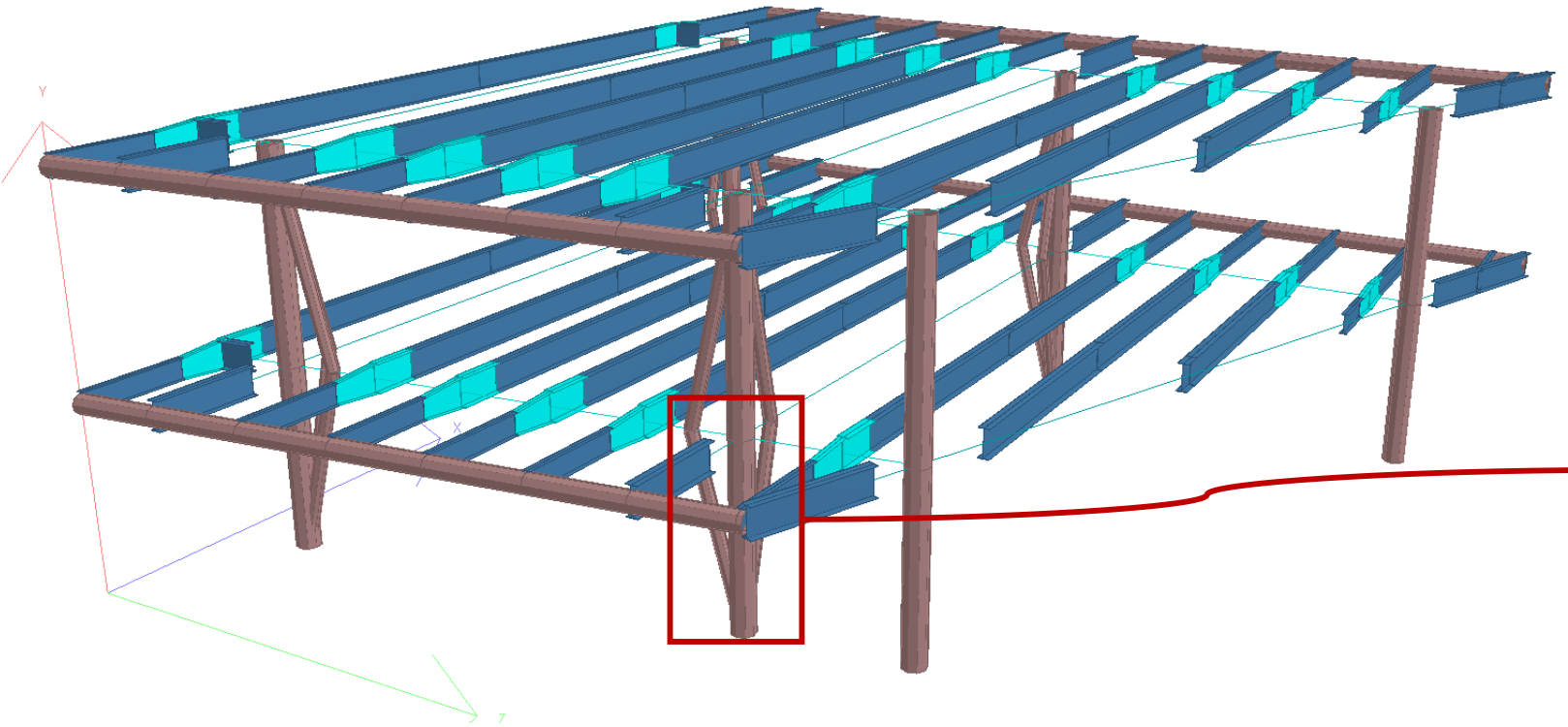
- Esquema tridimensional puente No3





PROYECTO (9/23)

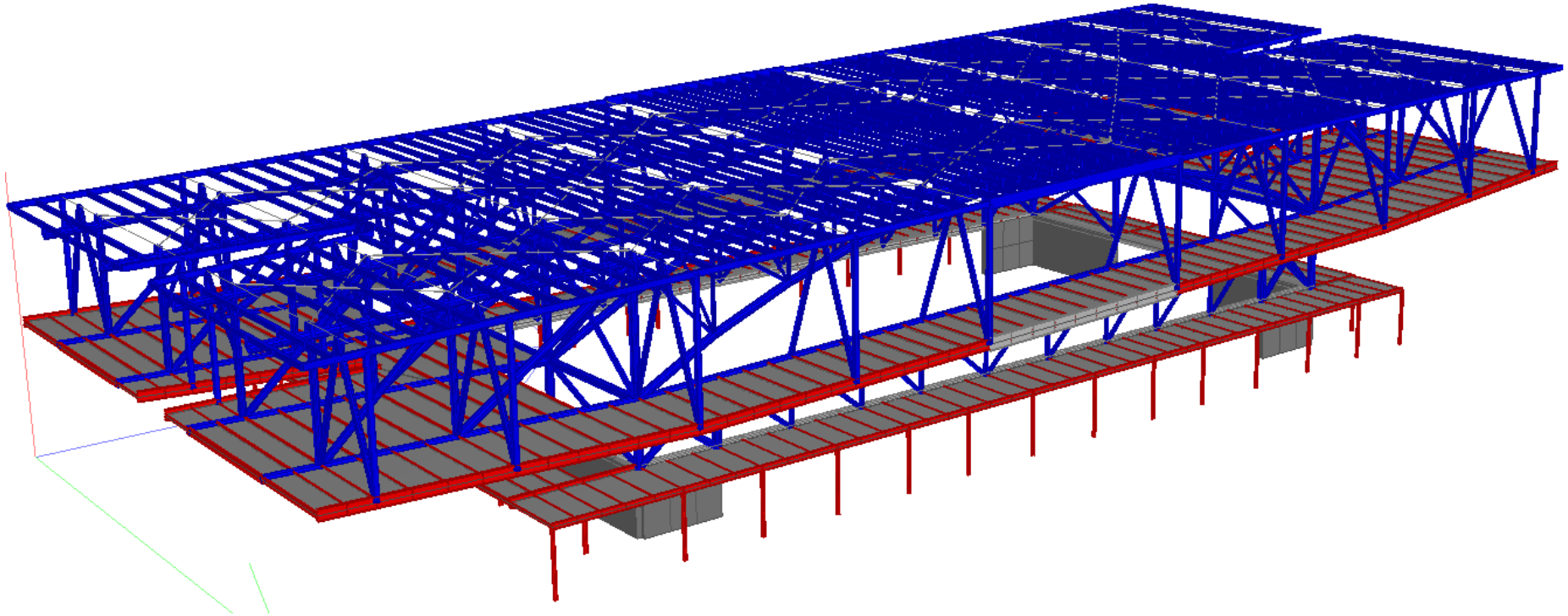
- Puente No3 : Principal desafío estructural



- Darle la rigidez suficiente a las conexiones viga - columna, dado que la estructura se articuló en la base porque algunas de las columnas metálicas no tenían continuidad con las columnas de la estructura de hormigón y se apoyaban sobre vigas.

PROYECTO (10/23)

- Esquema tridimensional estructura metálica pabellón verde

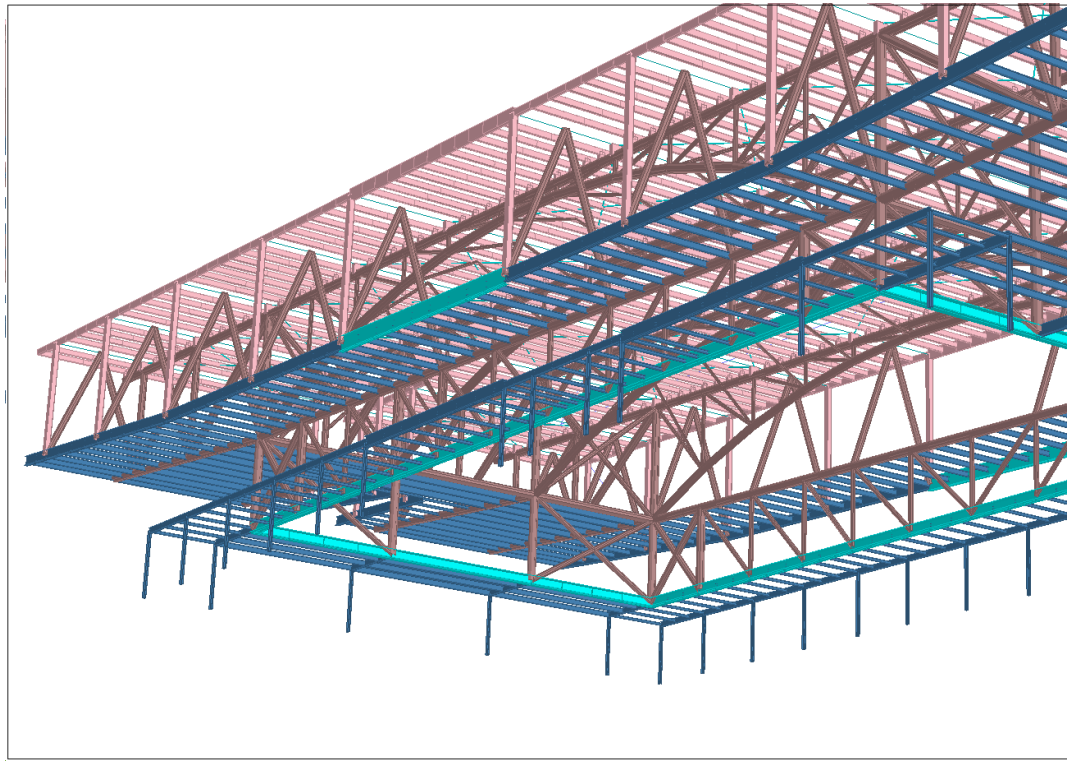


PROYECTO (11/23)

- Visualizaciones comparativas

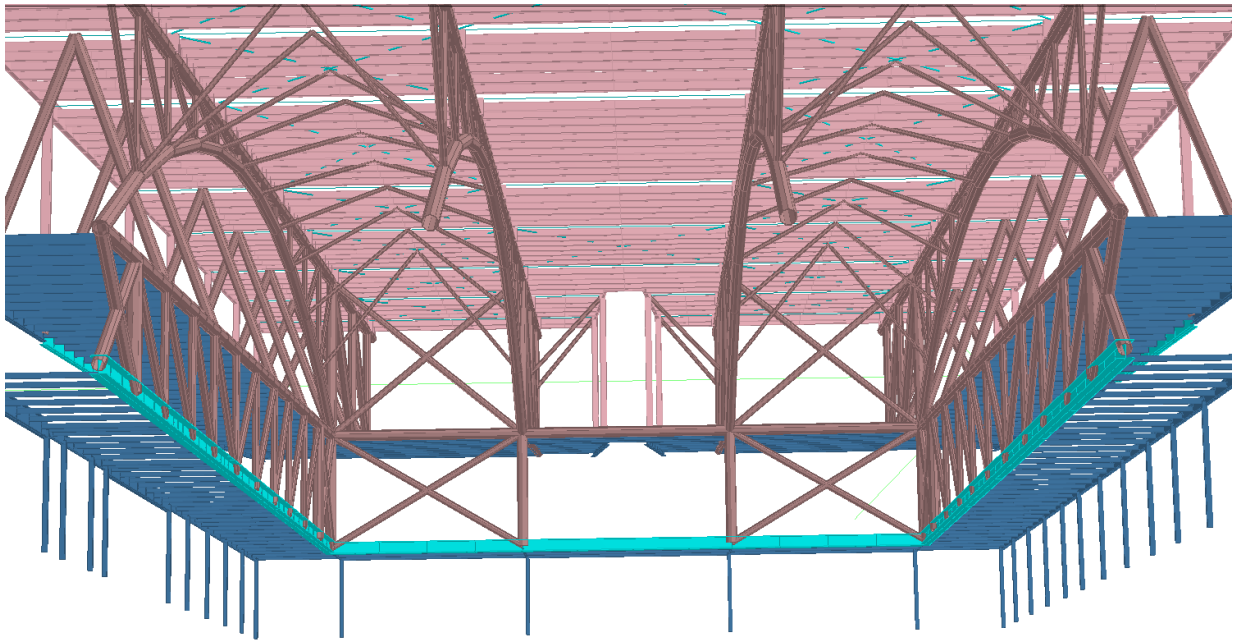
PROYECTO (12/23)

- Visualizaciones comparativas



PROYECTO (13/23)

- Visualizaciones comparativas



PROYECTO (14/23)

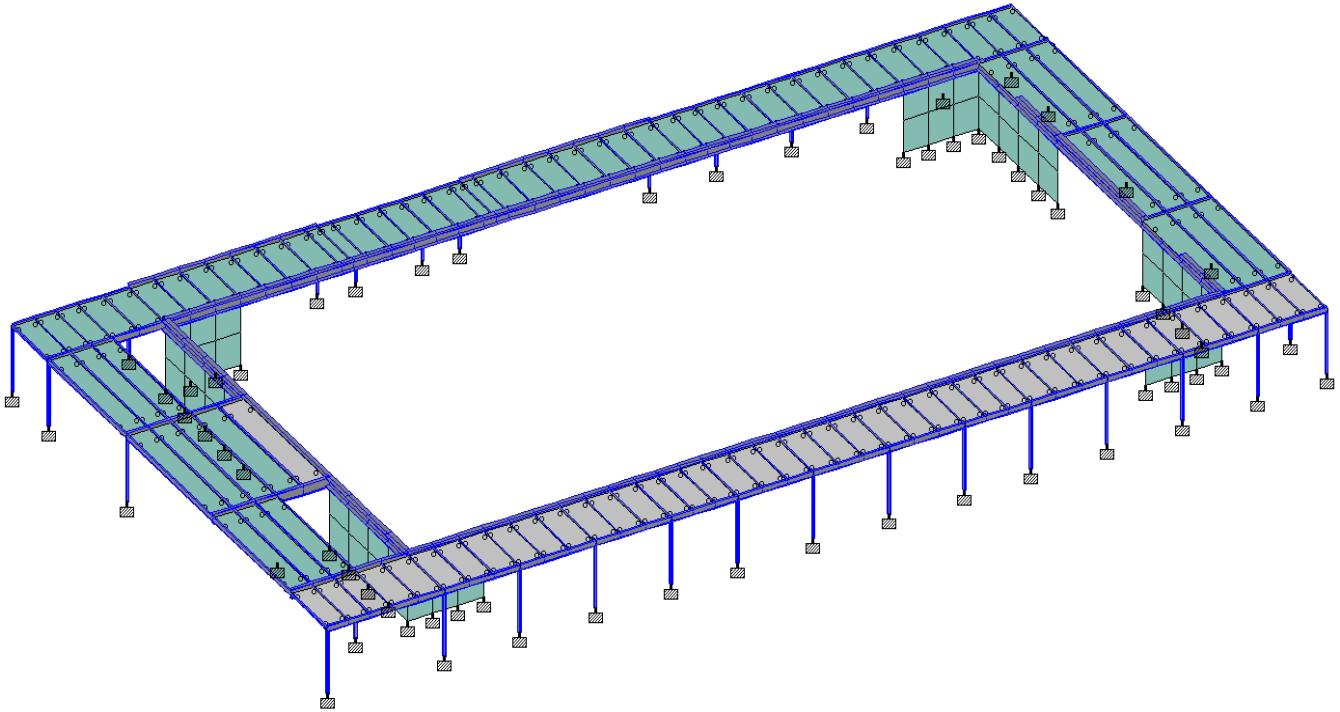
- Visualizaciones comparativas

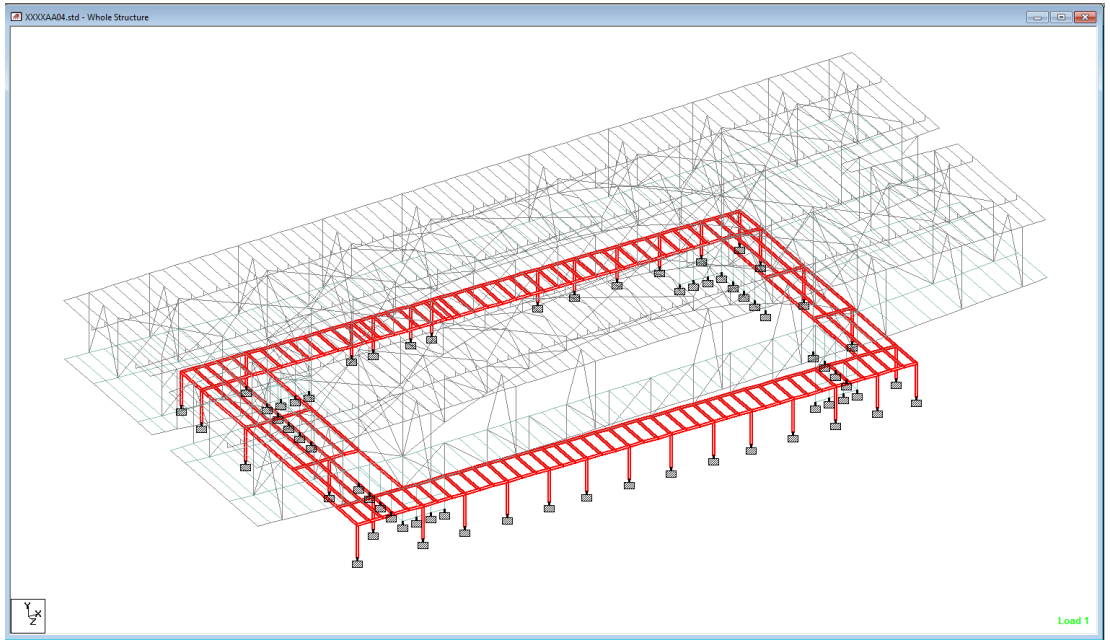
PROYECTO (15/23)

- Visualizaciones comparativas

PROYECTO (16/23)

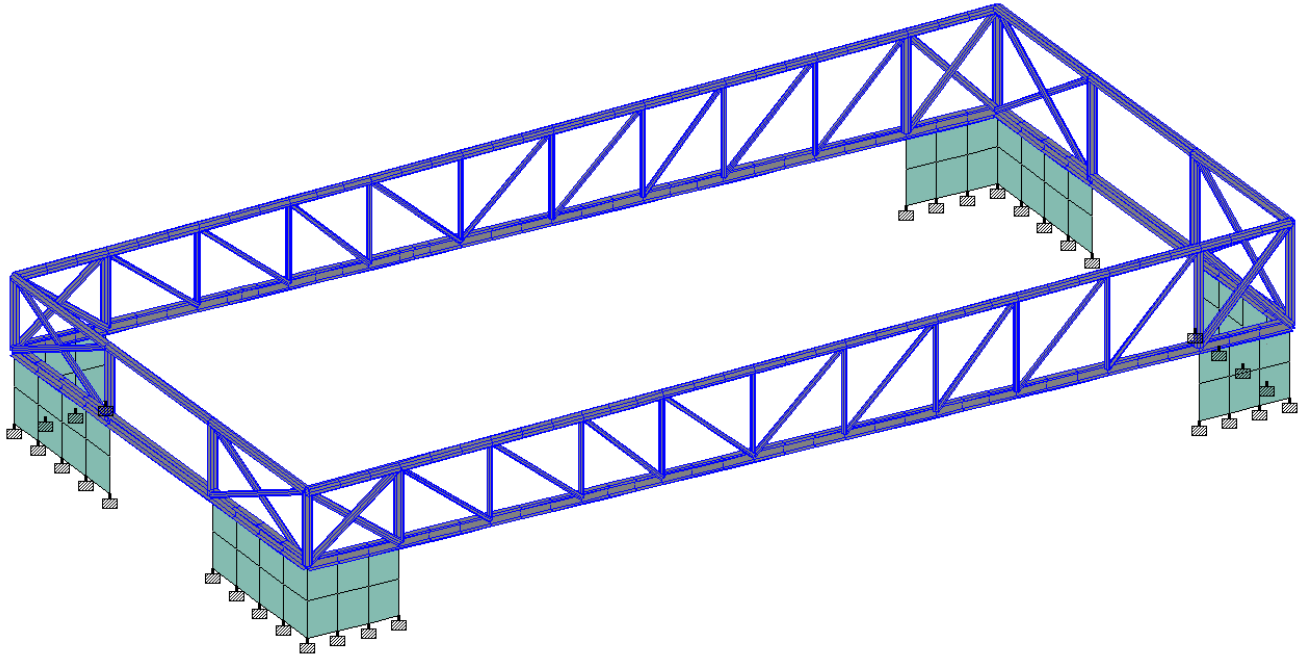
- Losa técnica
  - Apoyada sobre la cuerda inferior de la viga de rigidez y el voladizo de la losa de hormigón del segundo nivel.

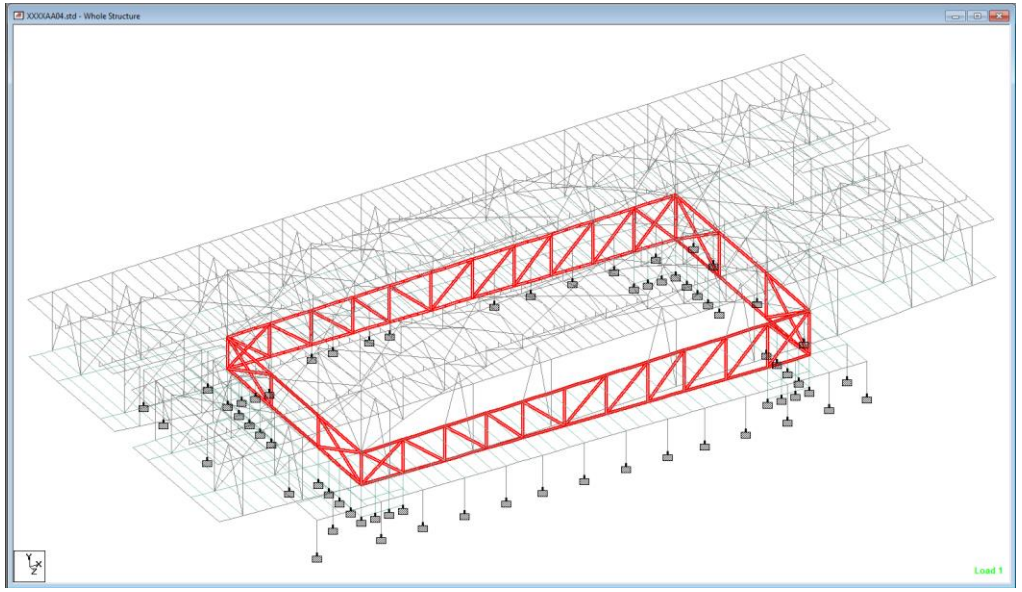




PROYECTO (17/23)

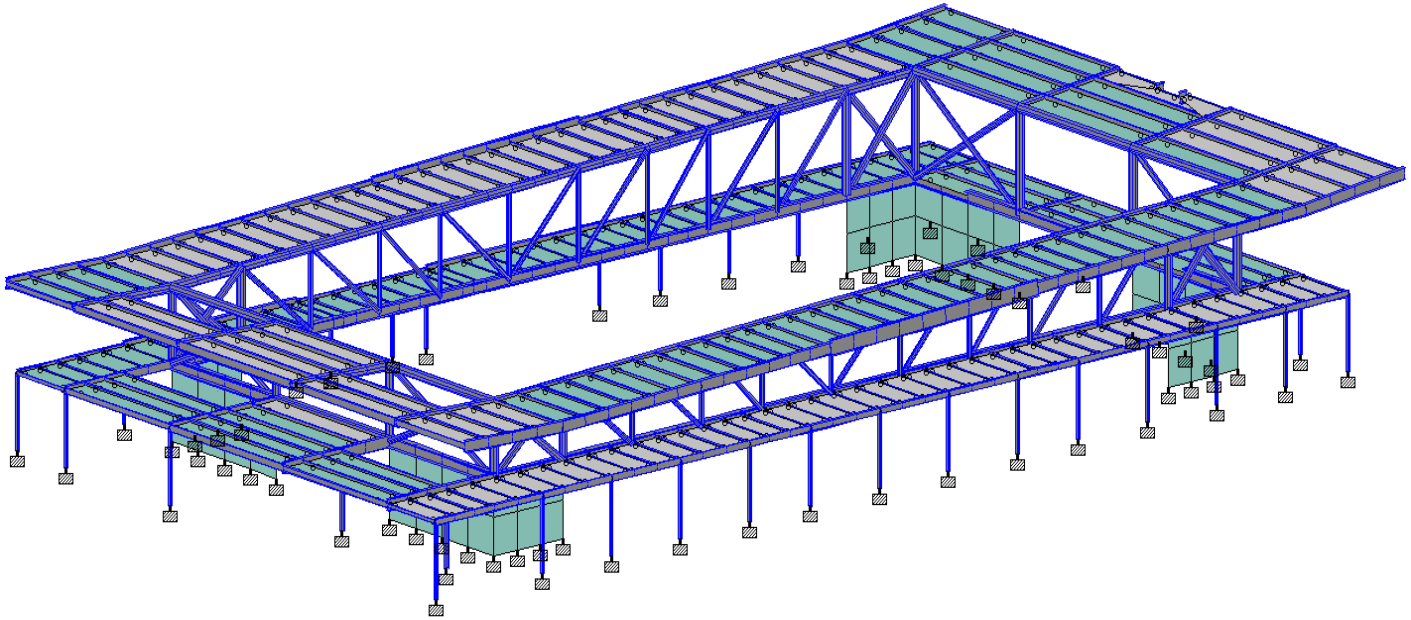
- Anillo de rigidez
  - Estructura metálica sobrepuesta sobre las pantallas en “L” del edificio de hormigón.

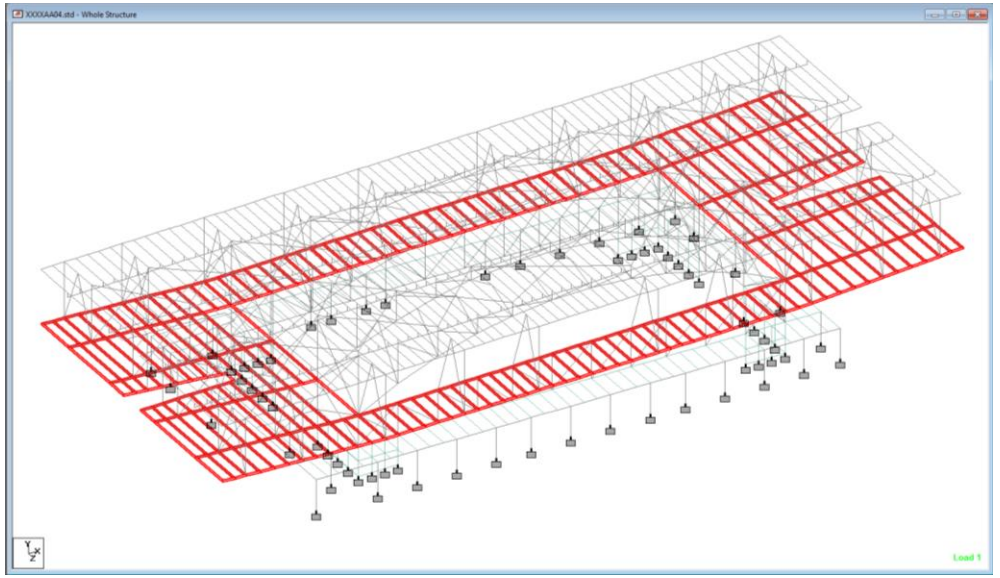




PROYECTO (18/23)

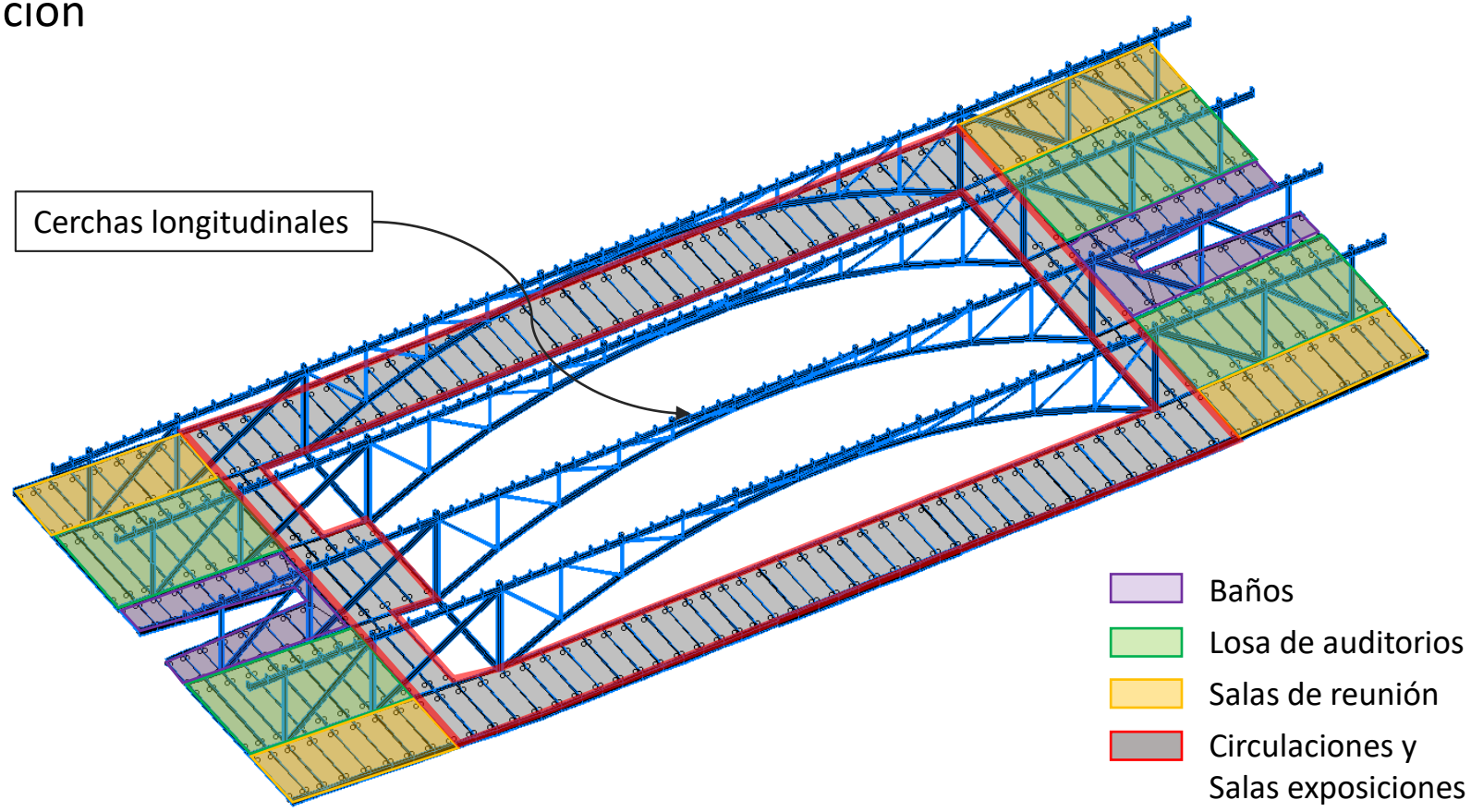
- Losa de auditorios, salones de reunión y salas de exposición
  - Losa apoyada en su perímetro interno sobre la cuerda superior del anillo de rigidez y en su perímetro externo colgada de la cubierta.





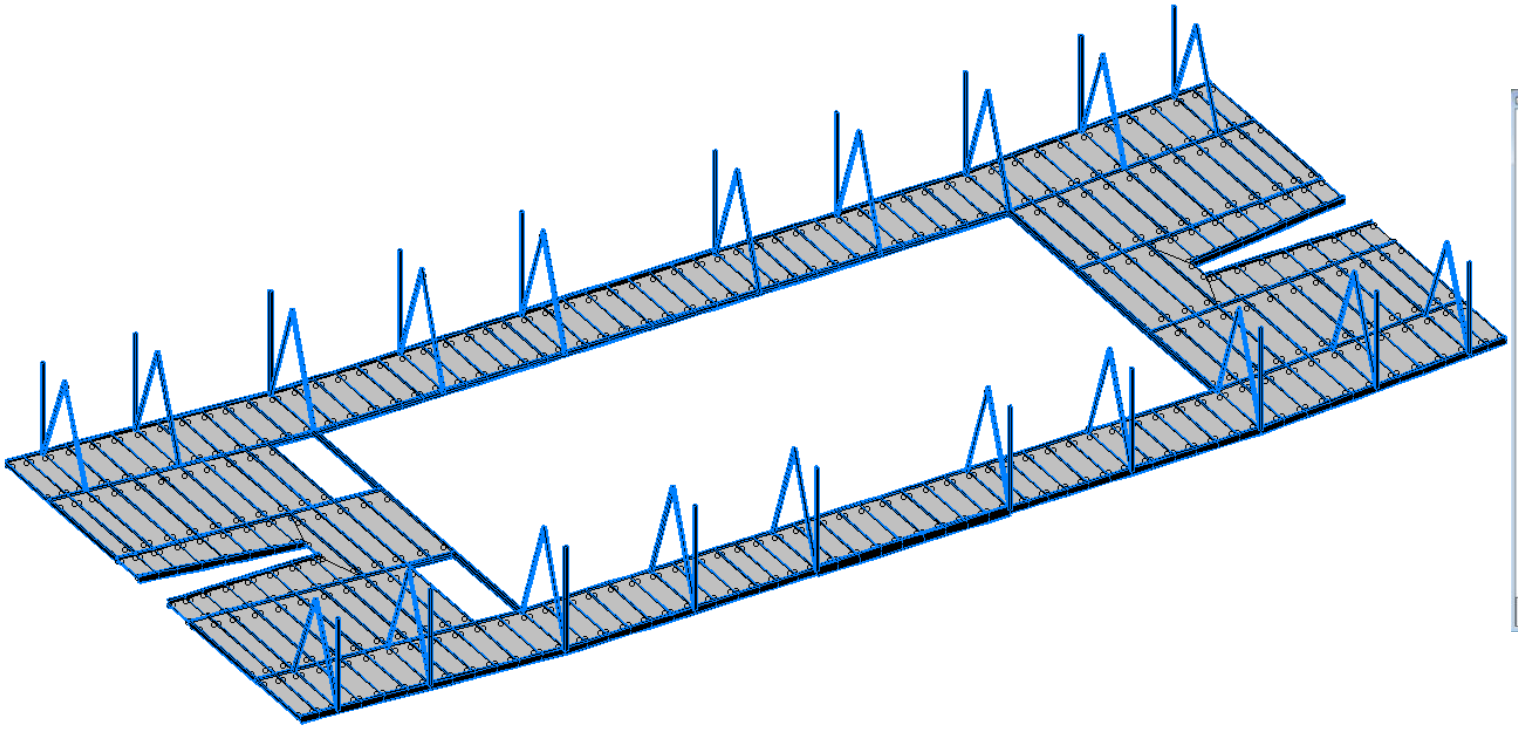
PROYECTO (19/23)

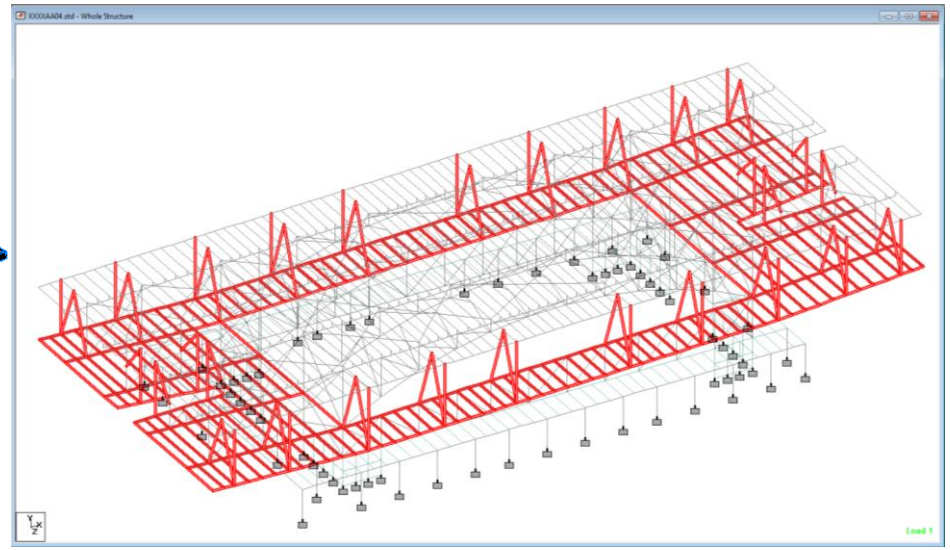
- Cerchas longitudinales soporte para losa de auditorios, salones de reunión y salas de exposición



PROYECTO (20/23)

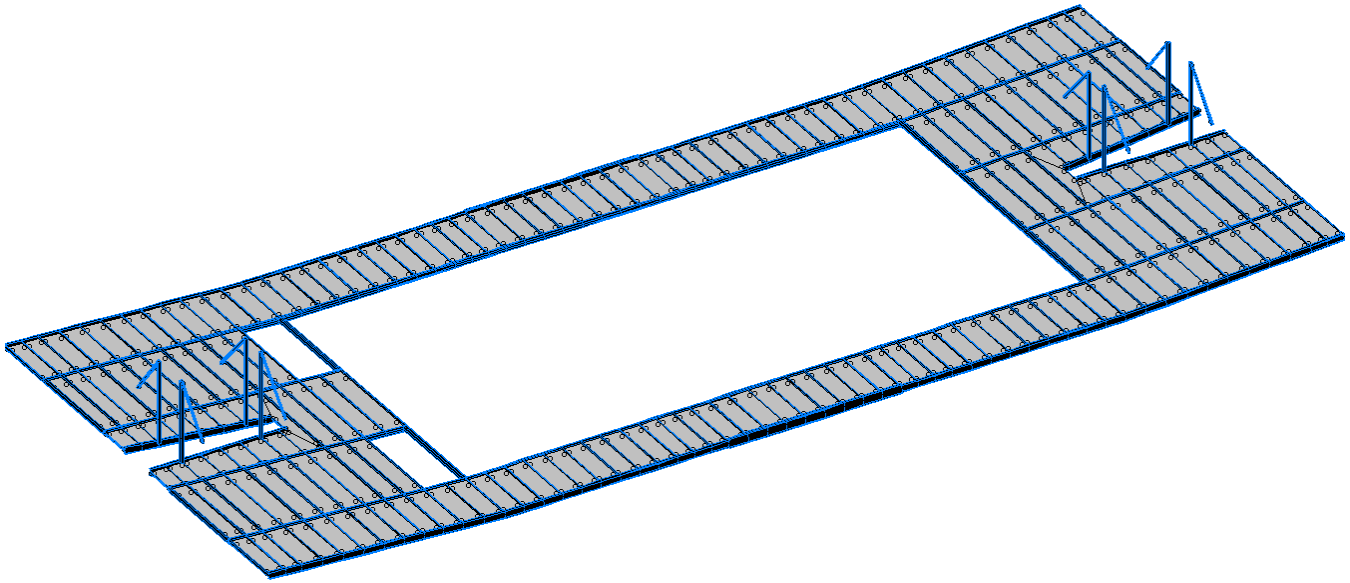
- Sistema de soporte de las losas laterales
  - Cuelgas laterales soportadas de la cubierta y complementadas con diagonales en V invertida para soporte de losas laterales





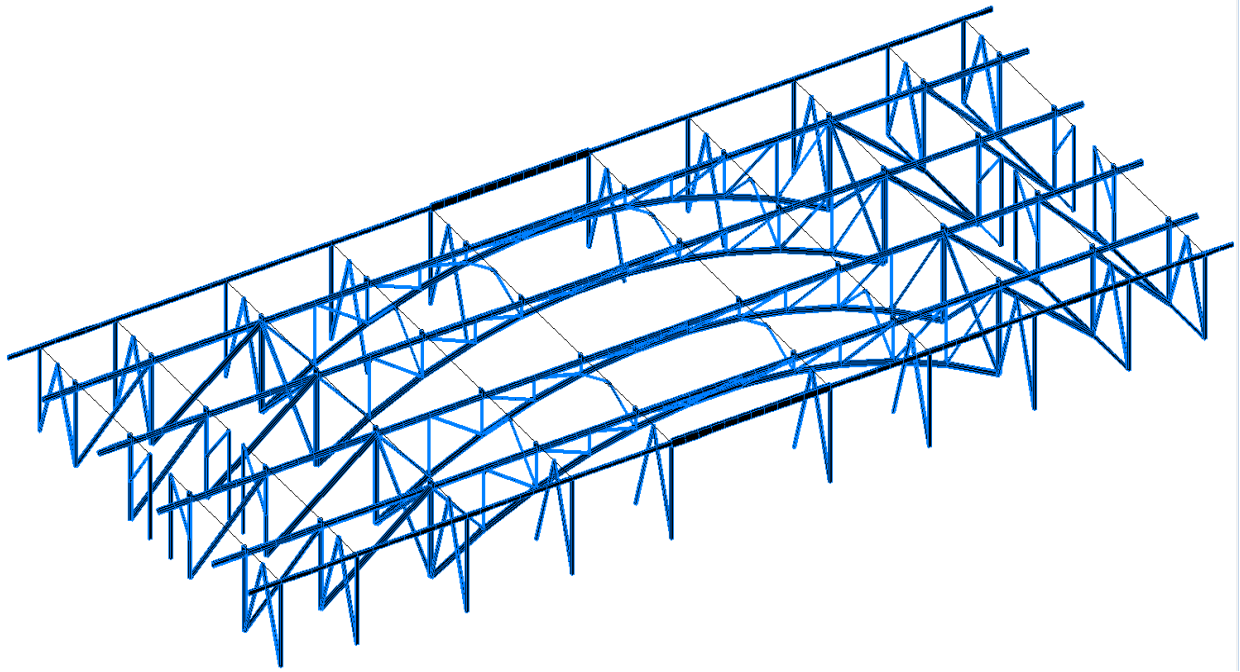
PROYECTO (21/23)

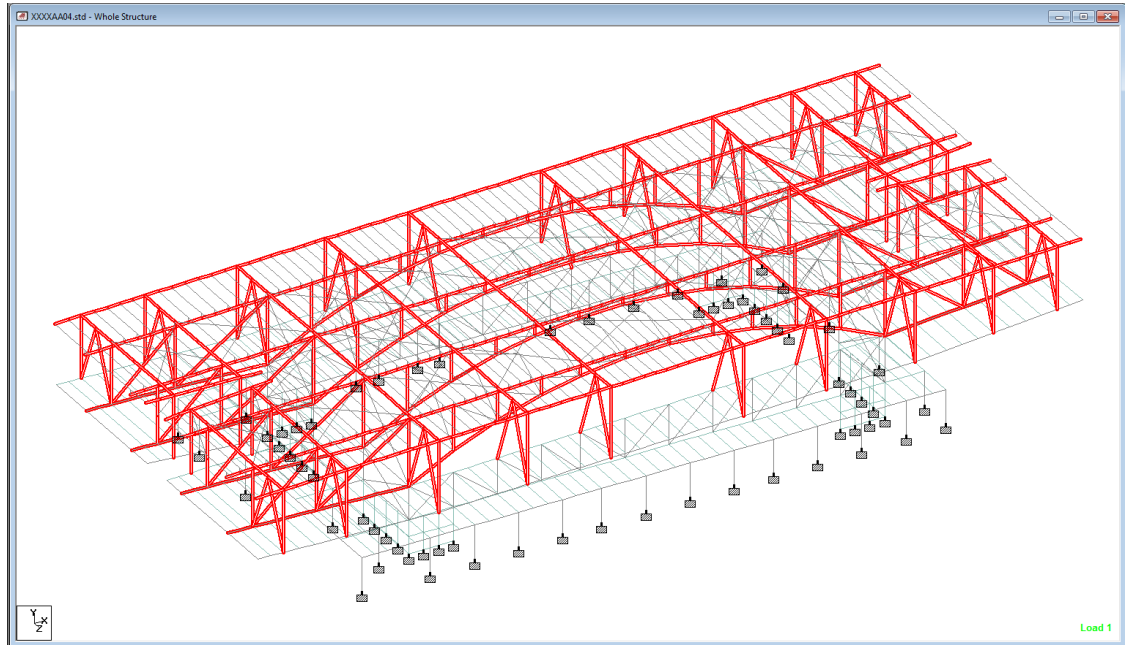
- Sistema de soporte para las losas de baños
  - Cuelgas laterales soportadas de la cubierta y complementadas con pie amigos apoyados en las cerchas longitudinales



PROYECTO (22/23)

- Esquema completo de la estructura de cubierta que soporta los voladizos laterales de la estructura

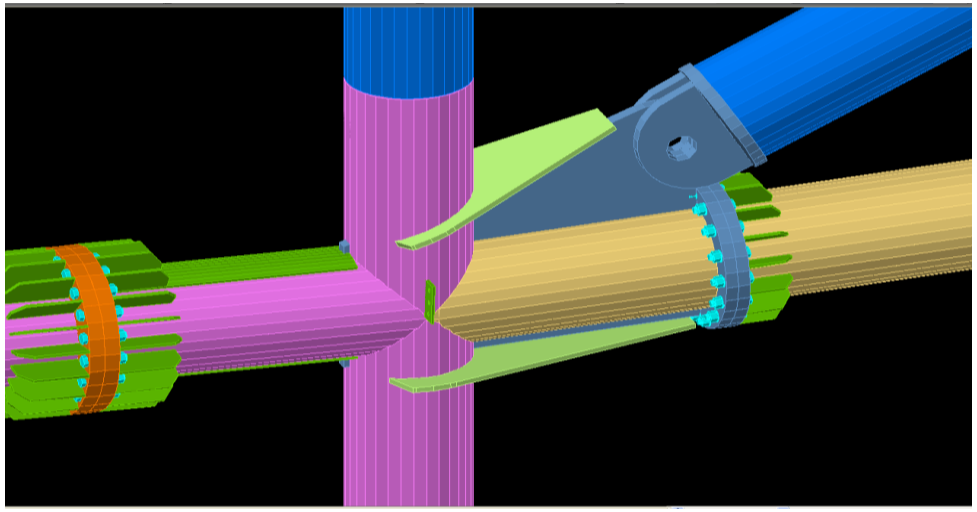




PROYECTO (23/23)

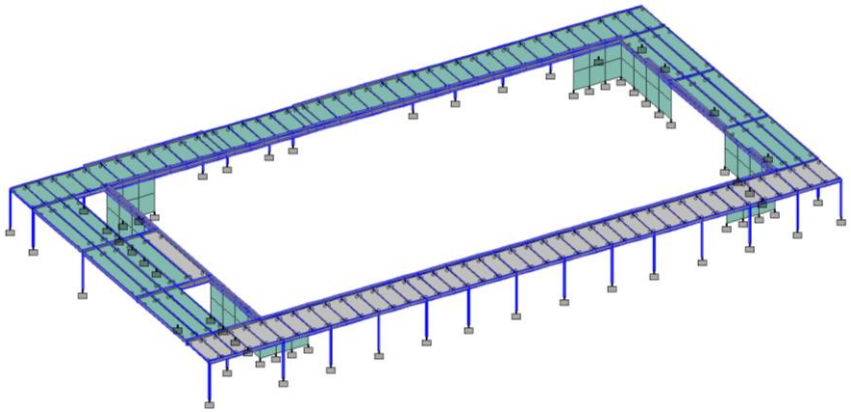
- Según necesidades arquitectónicas la estructura debía llevar conexiones atornilladas para todos los nudos. Esta situación fue determinante para el diseño estructural y el comportamiento global de la edificación.

- Este tipo de uniones facilitaba las maniobras de montaje y permitía un mejor control de calidad sobre las soldaduras al realizarse en el taller casi en su totalidad



CARGAS (1/8)

- Cargas en la losa técnica
  - La losa técnica se diseñó para cargas menores al resto del proyecto, produciendo al final dificultades ya que se contemplo la posibilidad de usarla para otros fines al final del proyecto.

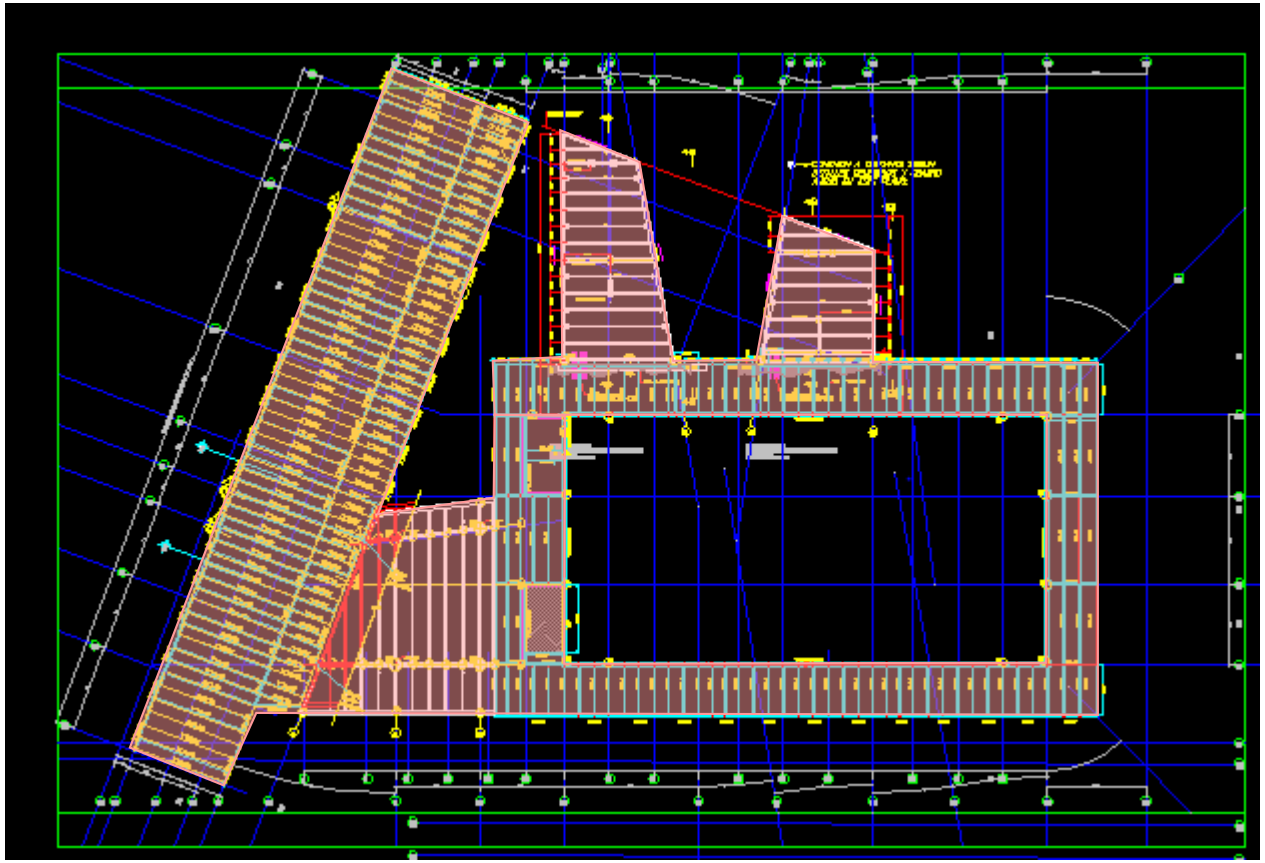


Límite estaba dado por la capacidad de los voladizos de hormigón

Cargas para losa técnica			
Carga Muerta			
Descripción	Sugerida (kN/m²)	Usada (kN/m²)	Necesidad actual (kN/m²)
Steel 2” + Hormigón con e=10cm	1.90	1.90	1.90
Impermeabilización	0.25	1.0	1.0
Cielo raso e instalaciones	0.20	0.20	0.2
Peso propio estructura	0.40	0.40	0.40
Total carga muerta	2.75	3.50	3.50
Carga Viva	1.0	2.0	5.0

CARGAS (2/8)

- Cargas en la losa técnica
  - Posible área a usarse en el futuro.



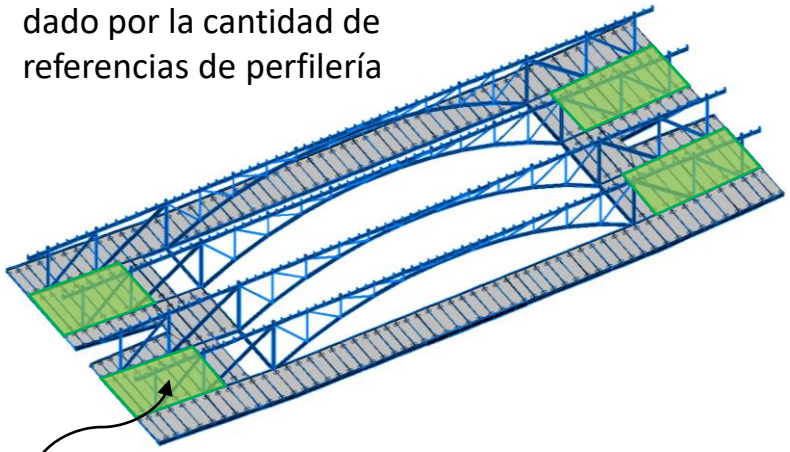
Área en Puente No1:	200m²
Área en Puente No2:	290m²
Área en Puente No3:	430m²
Área en Ed. Rampas:	1780m²
Área losa técnica p. Verde:	1130m²
Área Total :	**3830m²**
Área bajo techo:	**1590m²**

- Nota: Nunca se autorizó el uso de estas terrazas para ser habitadas puesto que la carga viva de diseño no era suficiente

CARGAS (3/8)

- Cargas en la losa de auditorios
  - Para las losas del segundo nivel se usó cargas de particiones y fachadas aplicadas directamente sobre los elementos principales.

Límite de cargas estuvo dado por la cantidad de referencias de perfilería



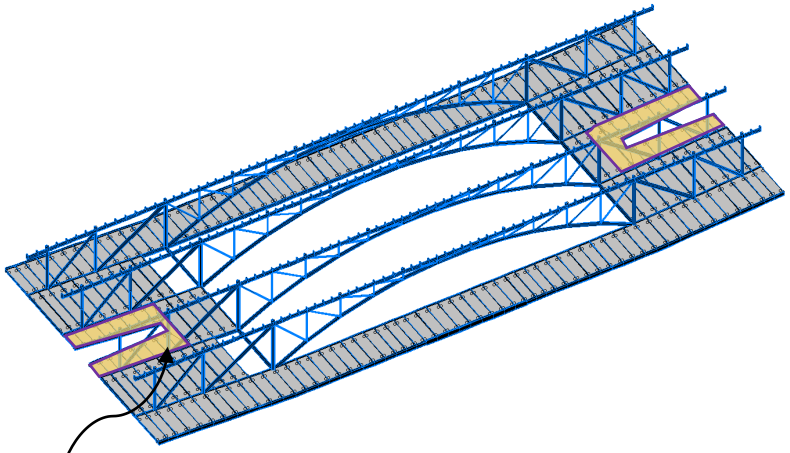
Al final de la obra se quiso cambiar el uso por silletería móvil. Lo que aumentaría la carga viva a 5.0 kN/m²

Cargas para losa de auditorios			
Carga Muerta			
	Sugerida (kN/m²)	Usada (kN/m²)	Necesidad actual (kN/m²)
Steel 2" + Hormigón con e=10cm	1.90	1.90	1.90
Lleno en Icopor de alta densidad + loseta de e=5cm	1.00	1.20	1.20
Piso acabado	1.50	1.50	1.50
Cielo raso e instalaciones	0.20	0.20	0.20
Peso propio estructura	1.00	1.00	1.0
Total carga muerta	5.60	5.80	5.80
Carga Viva, auditorios de silletería fija al piso	3.0	3.0	5.0

CARGAS (4/8)

- Cargas en la losa de zonas húmedas

  - En esta losa es en la única que se usaron cargas de particiones adicionales a las fachadas.



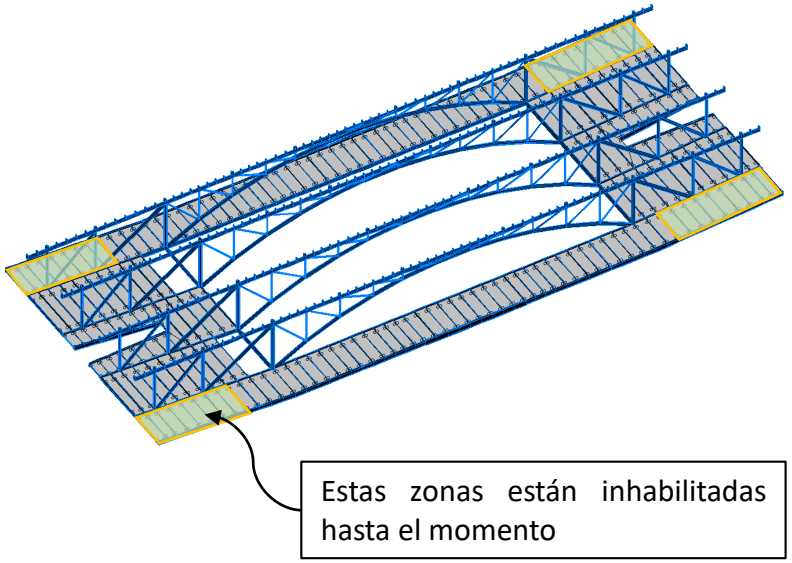
Los baños ya fueron construidos en estás zonas pero las cargas muertas fueron superiores al diseño original, pero están cubiertas por las cargas vivas adicionales que se usaron.

Cargas para losa de zonas húmedas			
Carga Muerta			
	Sugerida (kN/m²)	Usada (kN/m²)	Necesidad actual (kN/m²)
Steel 2" + Hormigón con e=10cm	1.90	1.90	1.90
Lleno en Icopor de alta densidad + loseta de e=5cm	1.00	1.20	1.20
Piso acabado	1.50	1.50	1.50
Particiones livianas enchapadas con h=4.0m	3.50	3.50	4.50
Cielo raso e instalaciones	0.20	0.20	0.20
Peso propio estructura	1.00	1.00	1.0
Total carga muerta	9.10	9.30	10.3
Carga Viva, auditorios de silletería fija al piso	2.0	3.0	2.0

CARGAS (5/8)

- Cargas en la losa para salas de reuniones

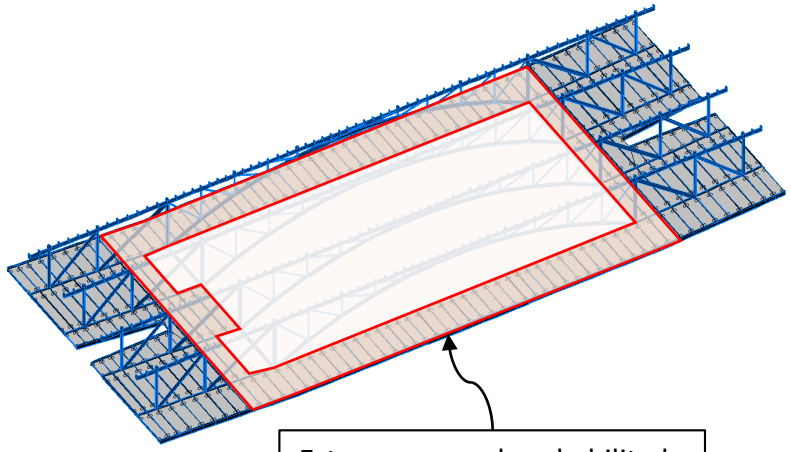
  - Para las losas del segundo nivel se usó cargas de particiones y fachadas aplicadas directamente sobre los elementos principales.



Cargas para losa de las salas de reuniones			
Carga Muerta			
	Sugerida (kN/m²)	Usada (kN/m²)	Necesidad actual (kN/m²)
Steel 2” + Hormigón con e=10cm	1.90	1.90	1.90
Lleno en Icopor de alta densidad + loseta de e=5cm	1.00	1.20	1.20
Piso acabado	1.50	1.50	1.50
Cielo raso e instalaciones	0.20	0.20	0.20
Peso propio estructura	1.00	1.00	1.0
Total carga muerta	5.60	5.80	5.80
Carga Viva, auditorios de silletería móvil	5.0	5.0	5.0

CARGAS (6/8)

- Cargas en circulaciones y exposiciones.
  - No tuvo variaciones entre lo concebido y el uso final.



Estas zonas se han habilitado como palcos durante los conciertos y como zonas para instalación de equipos.

Cargas para losa de las salas de reuniones

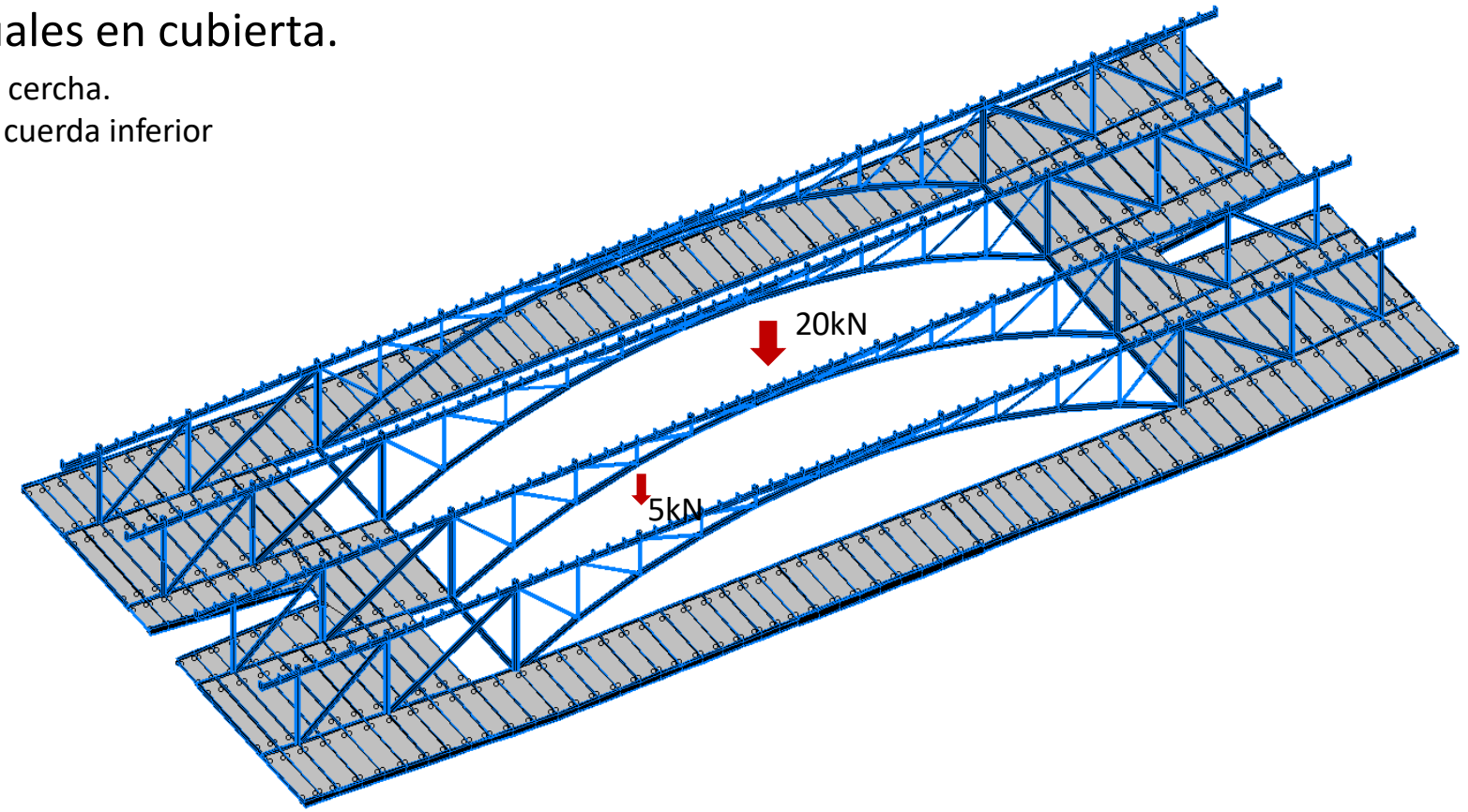
Carga Muerta			
	Sugerida (kN/m²)	Usada (kN/m²)	Necesidad actual (kN/m²)
Steel 2” + Hormigón con e=10cm	1.90	1.90	1.90
Lleno en Icopor de alta densidad + loseta de e=5cm	1.00	1.20	1.20
Piso acabado	1.50	1.50	1.50
Cielo raso e instalaciones	0.20	0.20	0.20
Peso propio estructura	1.00	1.00	1.0
Total carga muerta	5.60	5.80	5.80
Carga Viva, circulaciones y exposiciones	5.0	5.0	5.0

CARGAS (7/8)

- Cargas puntuales en cubierta

  - Cargas puntuales en cubierta.

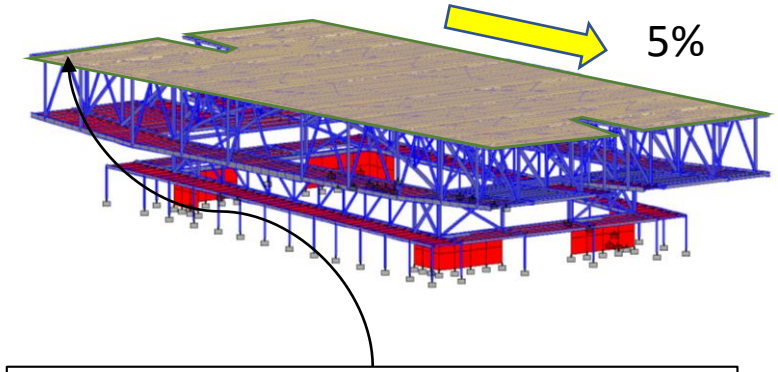
20 kN : Al centro de cada cercha.
5 kN: En cada nudo de la cuerda inferior



CARGAS (8/8)

- Cargas de cubierta

  - En la zona de los voladizos se revisaron las deformaciones que causaban una disminución de la pendiente de cubierta que podría ser crítica dado que era muy pequeña.

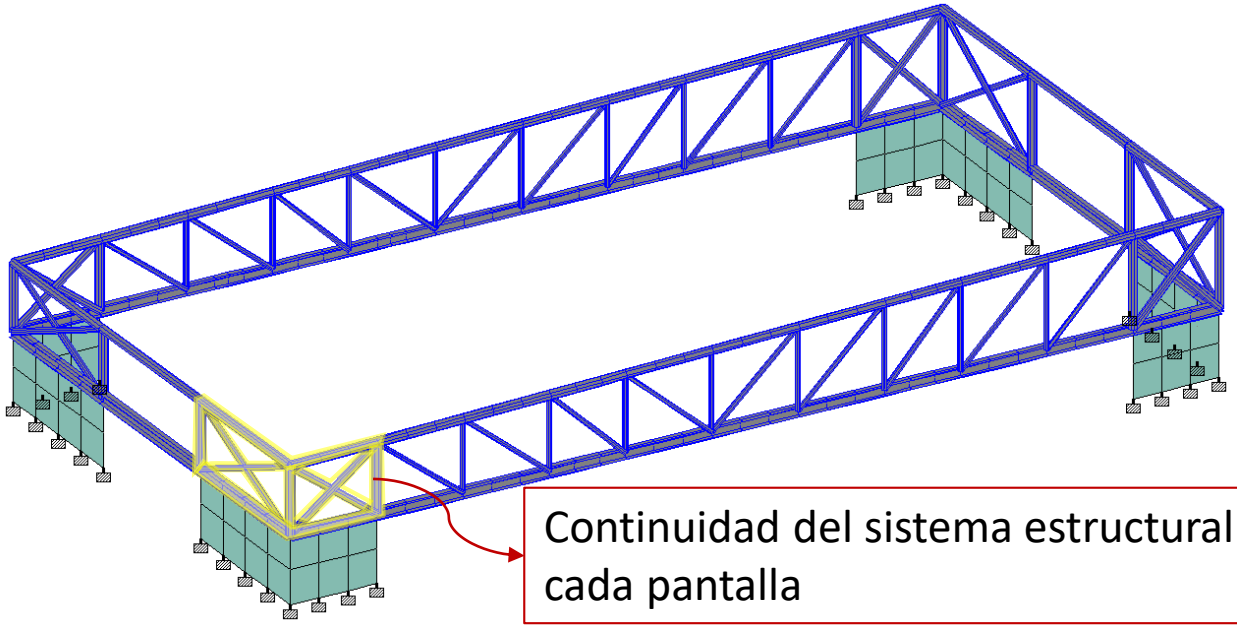


Zona de cubierta donde las deflexiones reducen la pendiente de cubierta.
No se pudieron colocar paneles solares sobre esta cubierta de 4200m²

Cargas para losa de las salas de reuniones			
Carga Muerta			
	Sugerida (kN/m²)	Usada (kN/m²)	Necesidad actual (kN/m²
Teja de doble capa + aislante + estructura interna	0.30	0.30	0.30
Cielo raso e instalaciones	0.20	0.20	0.20
Peso propio estructura	0.40	0.40	0.40
Páneles solares	0.00	0.00	0.15
Total carga muerta	0.90	0.90	1.05
Carga Viva, pendiente <= 15°	0.50	0.50	0.50

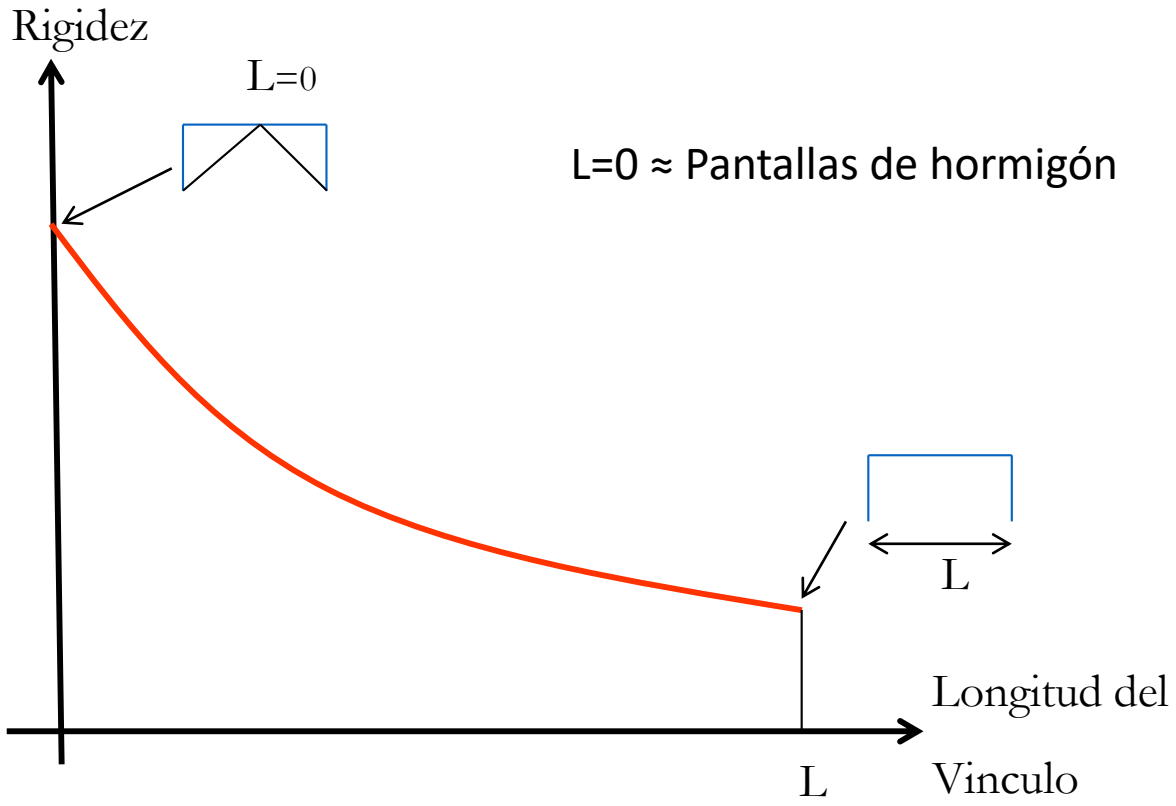
SRS (1/6)

- Anillo de rigidez
  - Vinculación sísmica de la estructura de hormigón y la estructura metálica con un esquema de rigideces similares.
  - Las columnas no tienen continuidad con la estructura de hormigón. La estructura metálica reposa superpuesta sobre las pantallas de hormigón.



SRS (2/6)

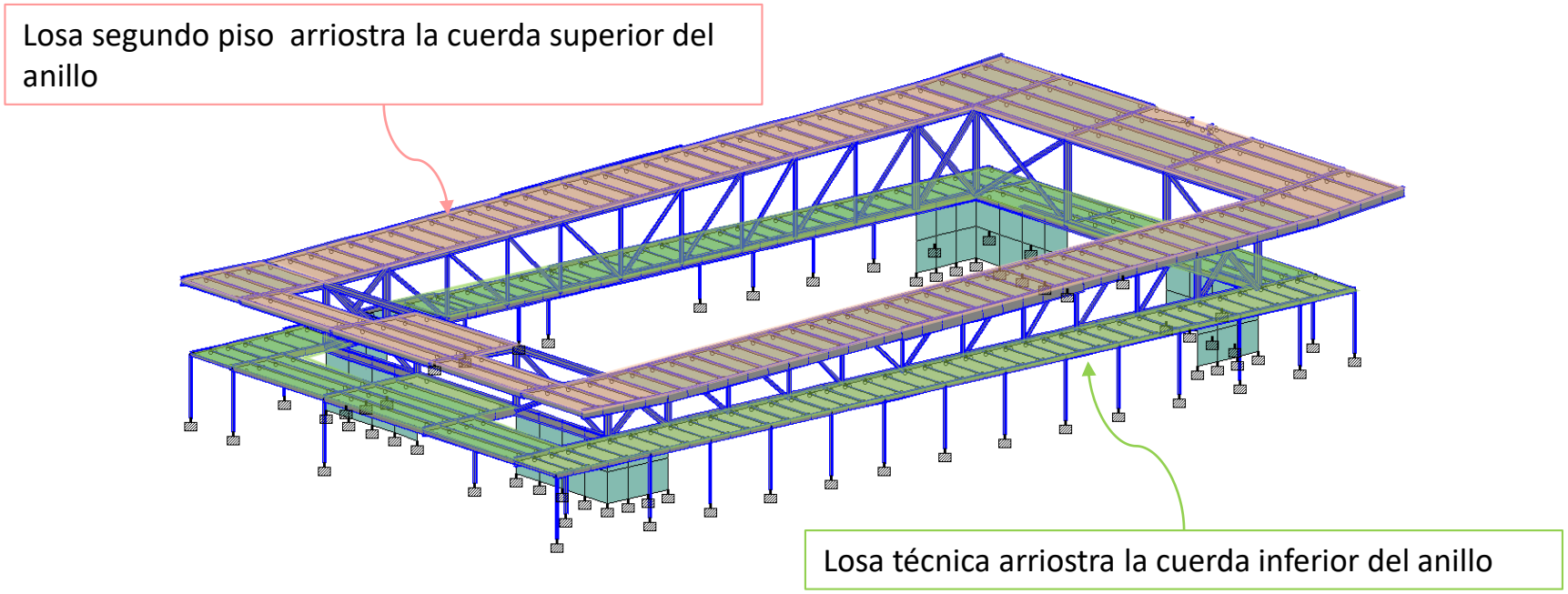
- Compatibilidad de rigidez



L=0 ≈ Pantallas de hormigón

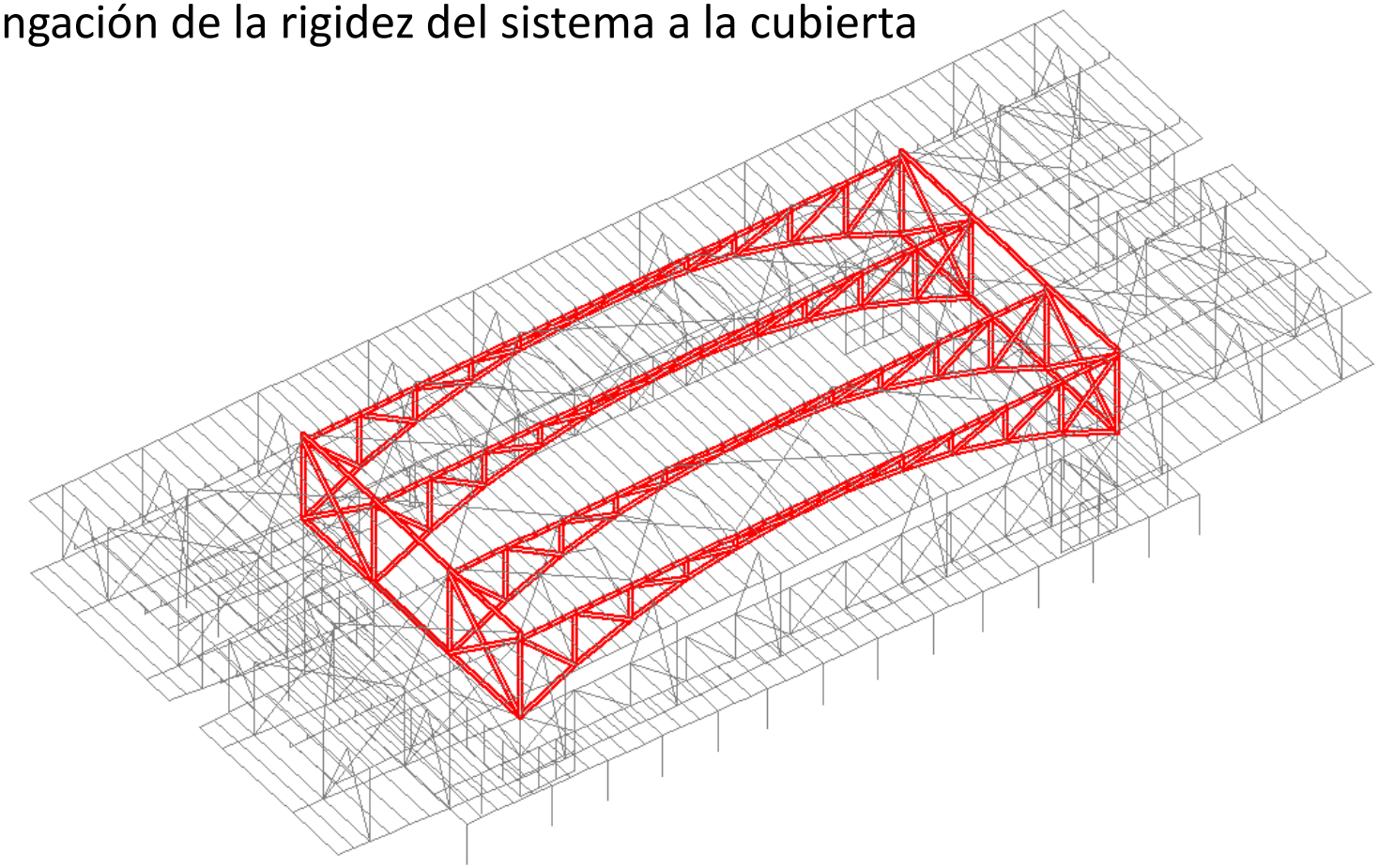
SRS (3/6)

- Anillo de rigidez
  - El anillo de rigidez estaba arriostrada lateralmente por los diafragmas de la losa, tanto para la cuerda superior como para la cuerda inferior.



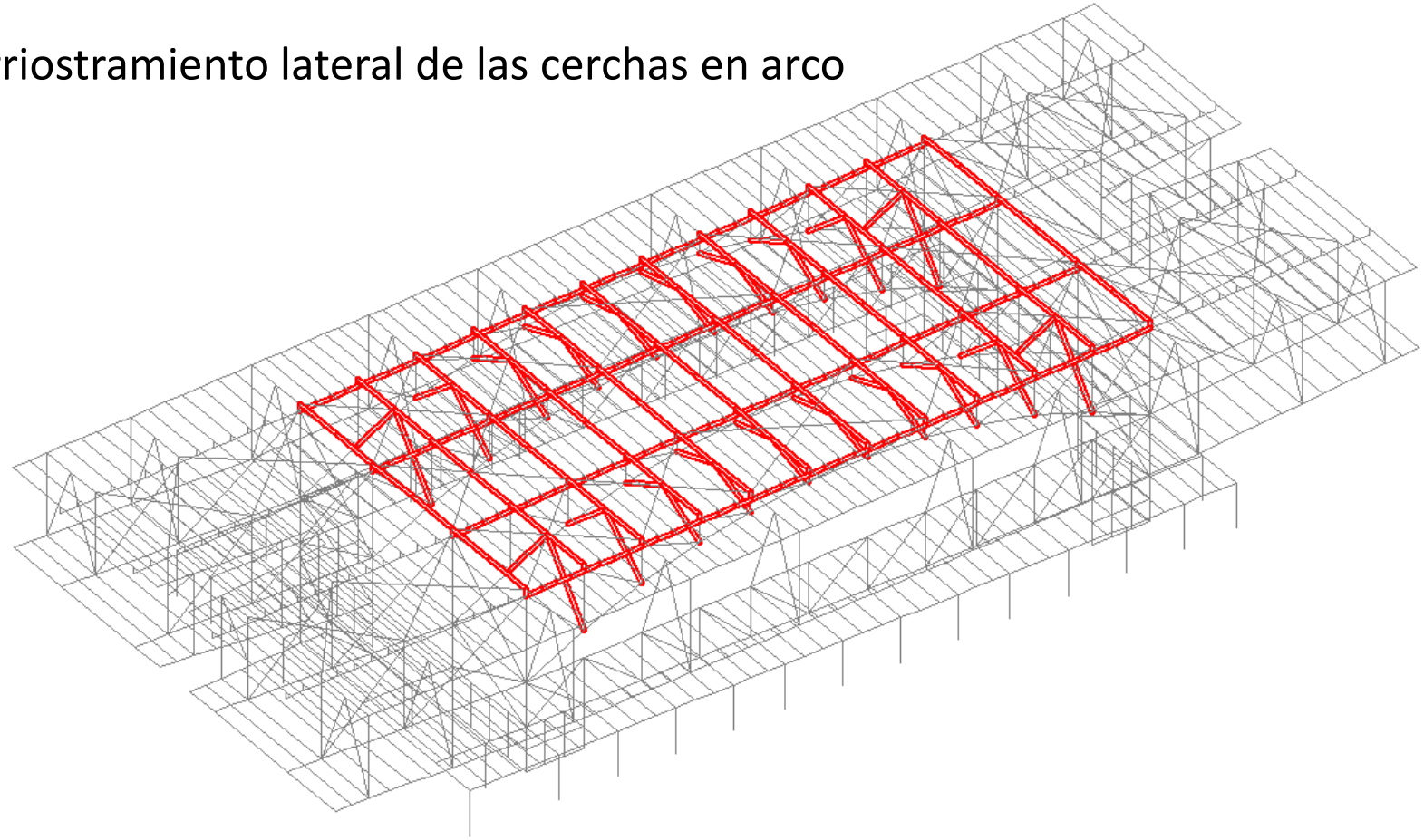
SRS (4/6)

- Prolongación de la rigidez del sistema a la cubierta



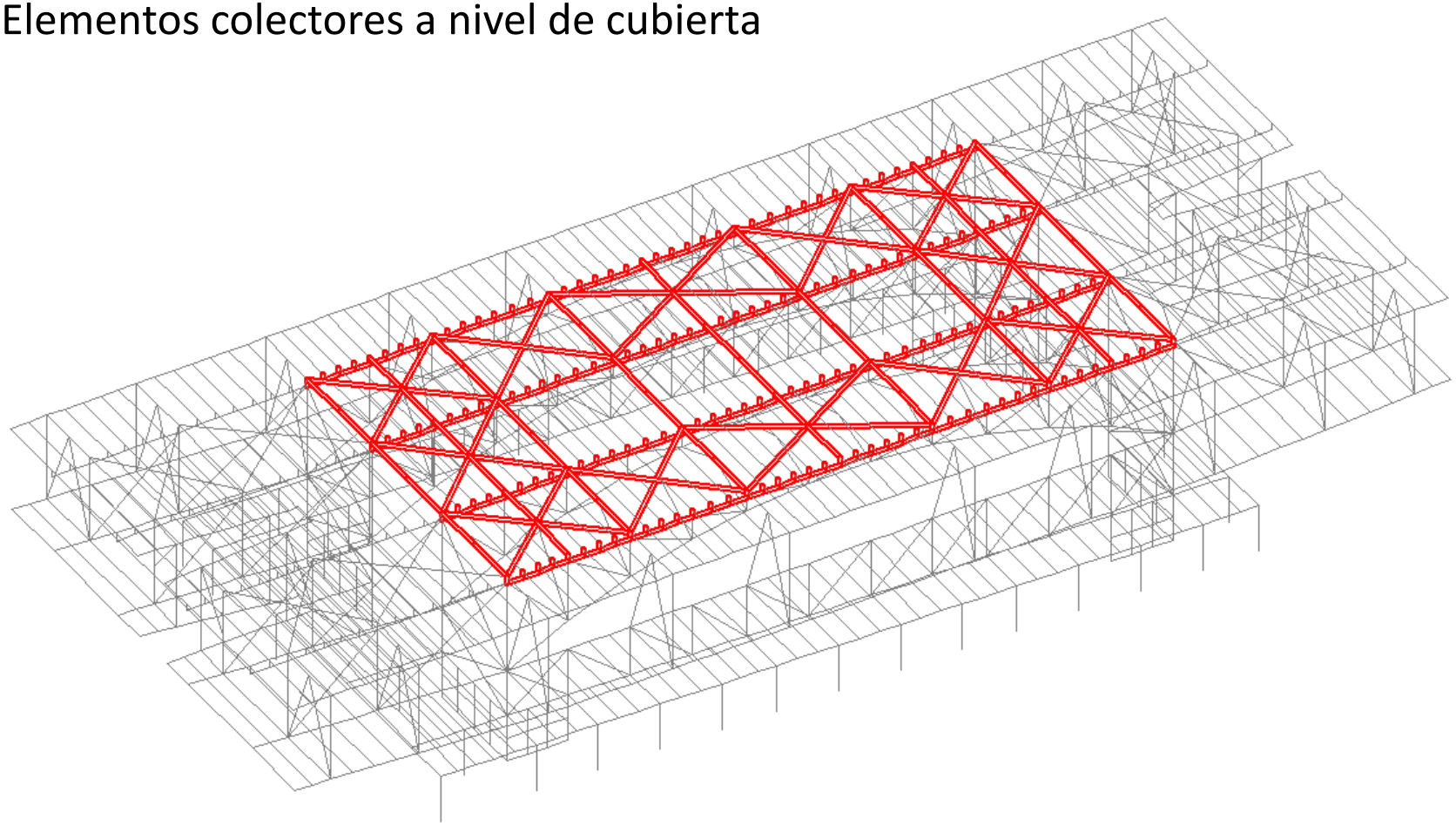
SRS (5/6)

- Arriostramiento lateral de las cerchas en arco



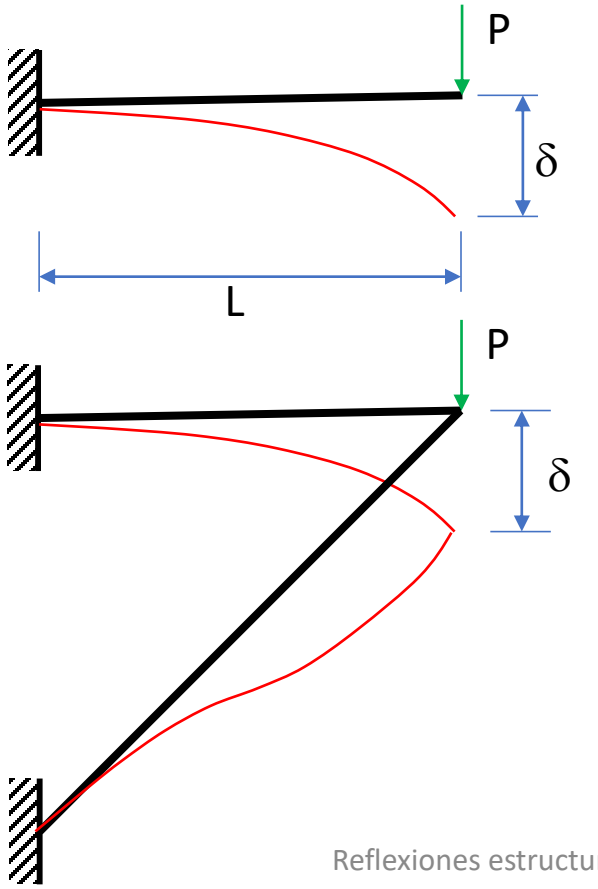
SRS (6/6)

- Elementos colectores a nivel de cubierta



SRCG (1/7)

- Rigidez a flexión VS Rigidez axial



$\delta = {PL^3}/{3EI}$ → $\delta \leq {2L}/{360}$

$W = 230\ kg/m$

$\delta = {PL}/{AE}$ → $\delta \leq {2L}/{360}$

Revisión de esbeltez por compresión

$W = 23\ kg/m$

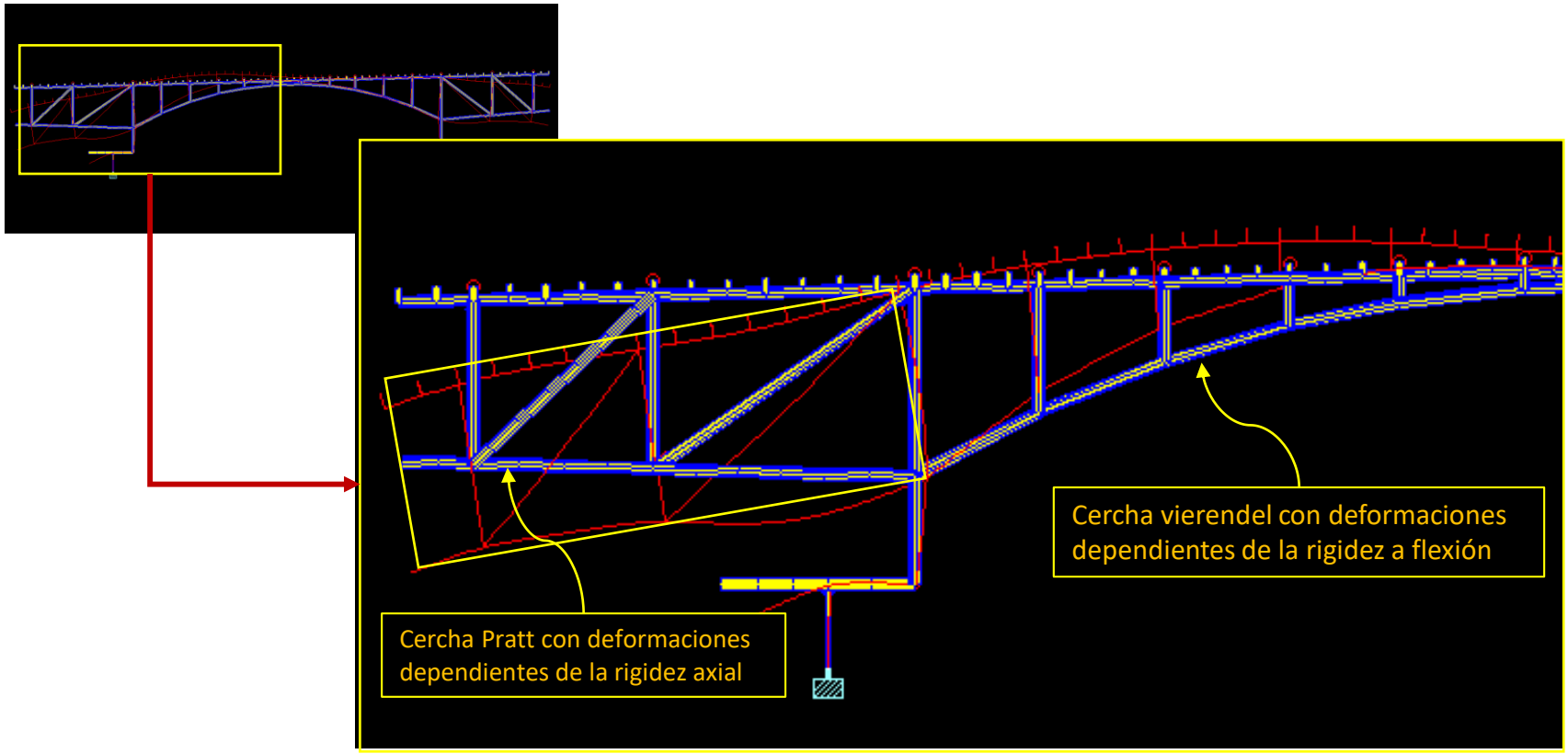
SRCG (2/7)

- Rigidez a flexión VS Rigidez axial
  - Por rigidez axial se requiere una viga 10 veces mas liviana
  - Las vibraciones de piso son mas favorables ya que para la misma carga se disminuyen las deformaciones que son inversamente proporcionales a la frecuencia.

$$f = 0.18\sqrt{g/\delta} \rightarrow f \geq 3Hertz$$

SRCG (3/7)

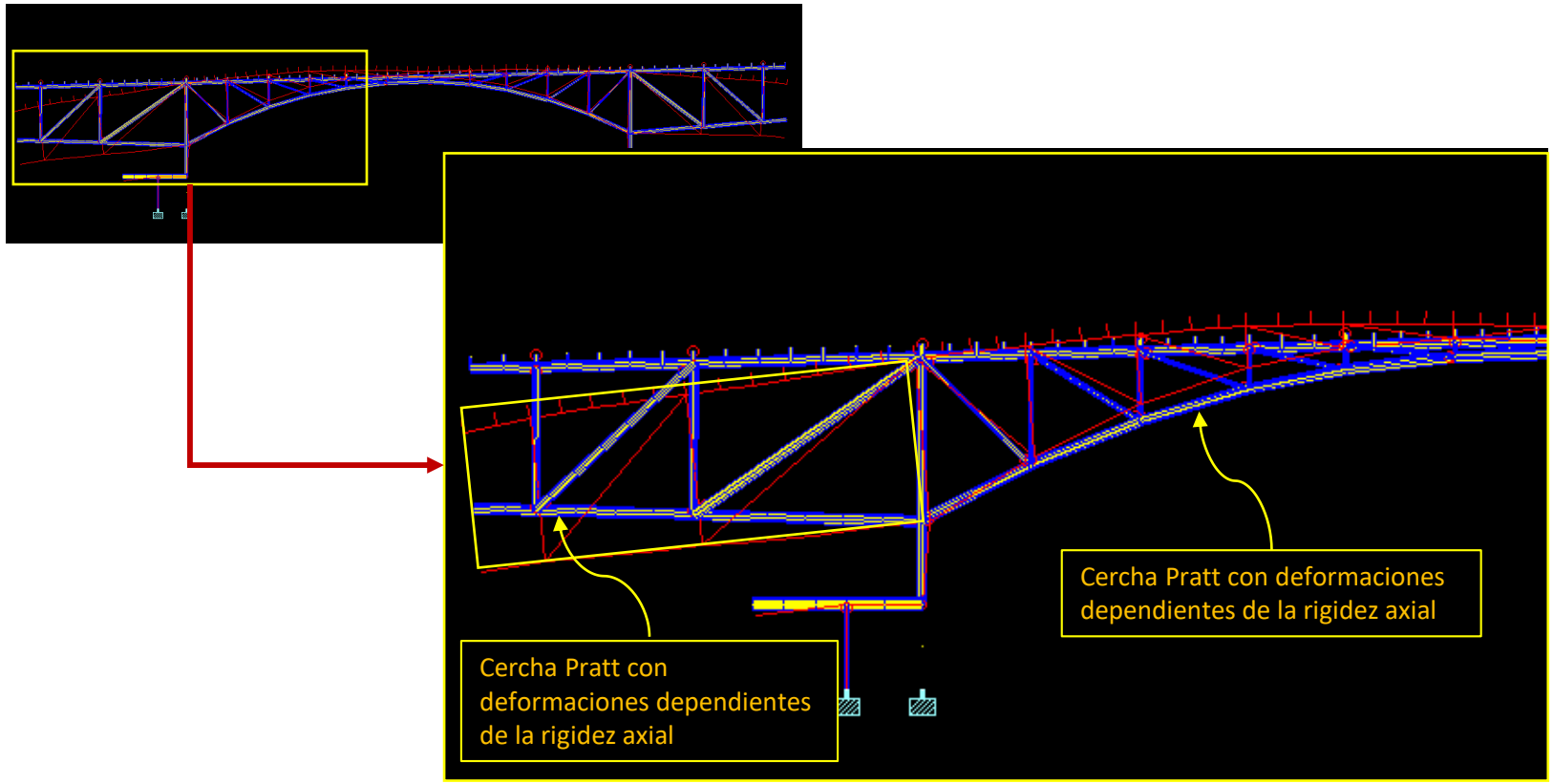
- Rigidez a flexión VS Rigidez axial, ejemplos de aplicación en el proyecto



Propuesta arquitectónica inicial para la sección transversal del edificio

SRCG (4/7)

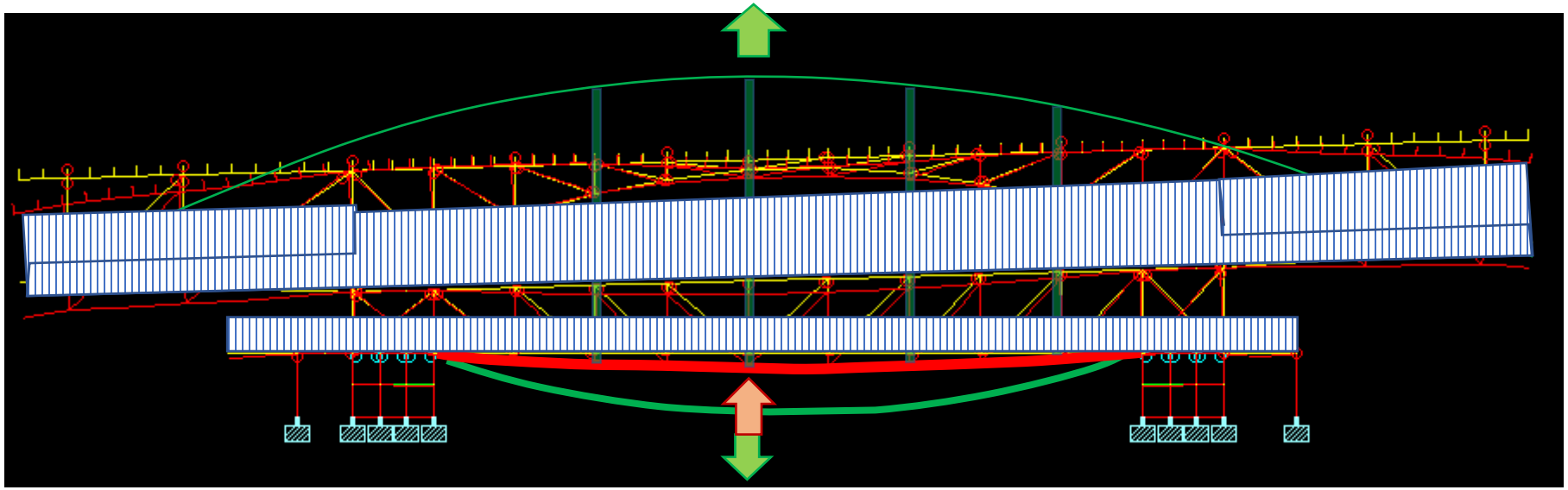
- Rigidez a flexión VS Rigidez axial, ejemplos de aplicación en el proyecto



Propuesta estructural final concertada con la arquitectura

SRCG (5/7)

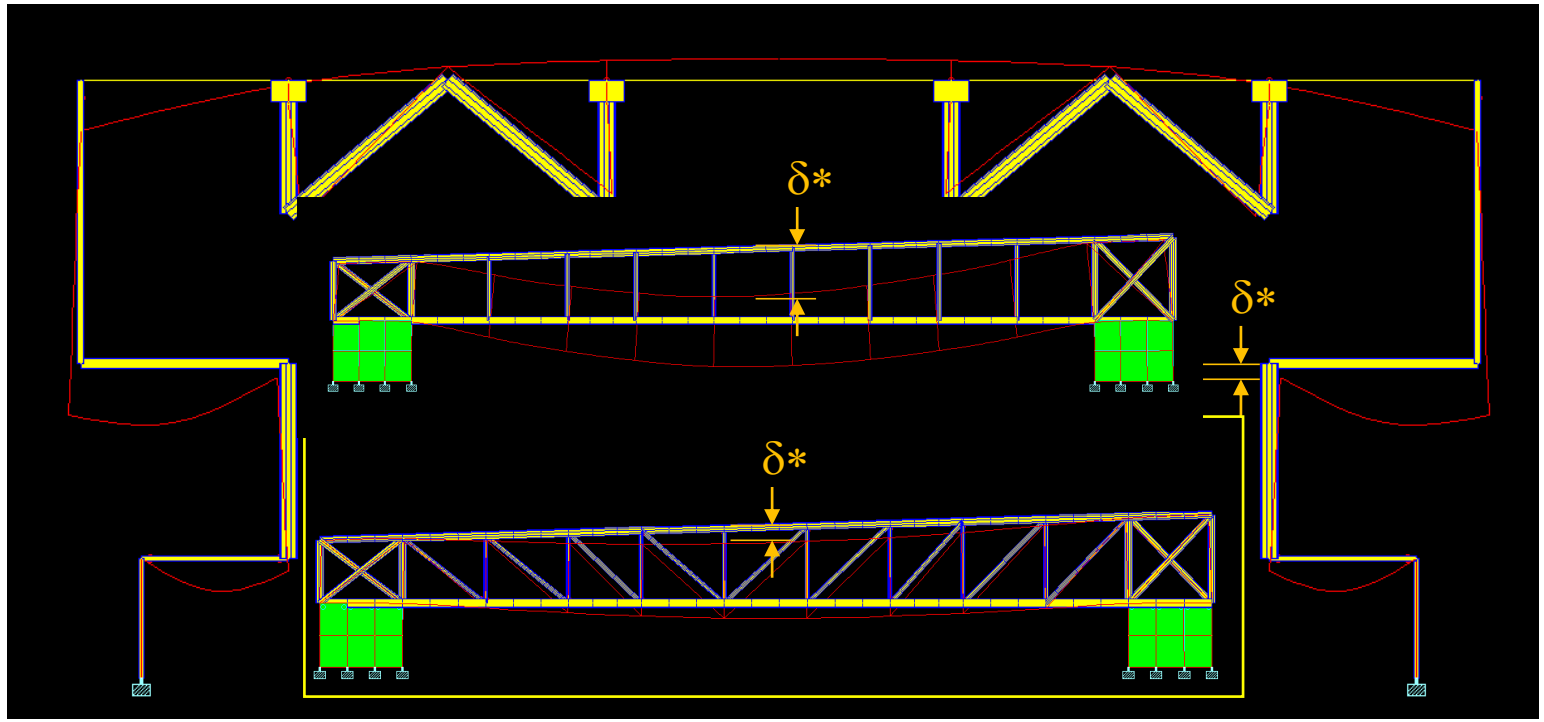
- Rigidez a flexión VS Rigidez axial, efecto de las deformaciones.



- Revisar las deformaciones de la zona interna sin carga viva en los voladizos.

SRCG (6/7)

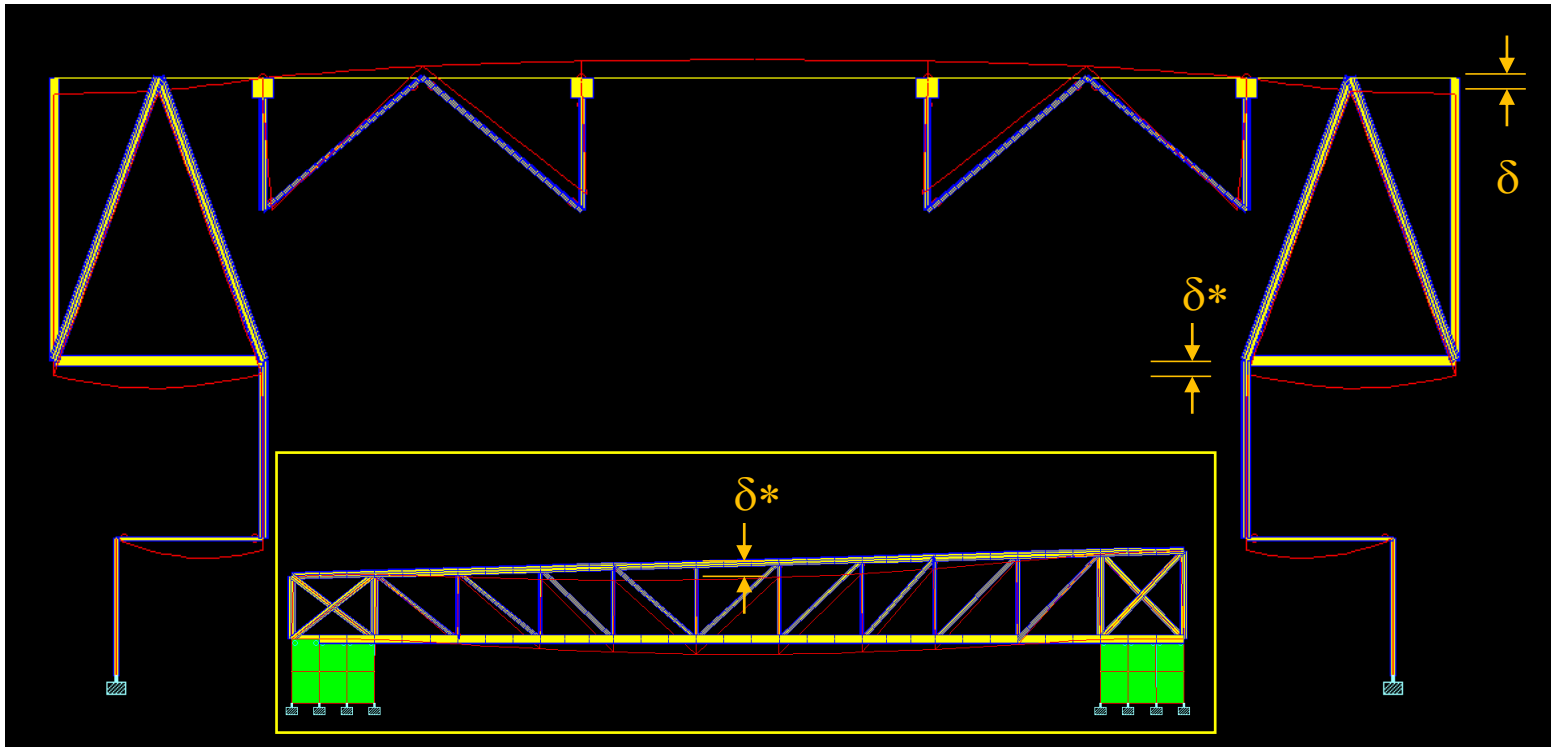
- Rigidez a flexión VS Rigidez axial, ejemplos de aplicación en el proyecto



Propuesta arquitectónica inicial para la sección transversal del edificio

SRCG (7/7)

- Rigidez a flexión VS Rigidez axial, ejemplos de aplicación en el proyecto



Propuesta estructural final concertada con la arquitectura

MONTAJE (1/23)

- Instalar pernos de anclajes con plantillas y garantizar un control de calidad exhaustivo en todas las variables geométricas involucradas.
- Cada pantalla del proyecto tenía 120 pernos de anclaje.

MONTAJE (2/23)

- Usar las perforaciones agrandadas permitidas por la norma.
- No olvidar las arandelas y su soldadura si se requiere.

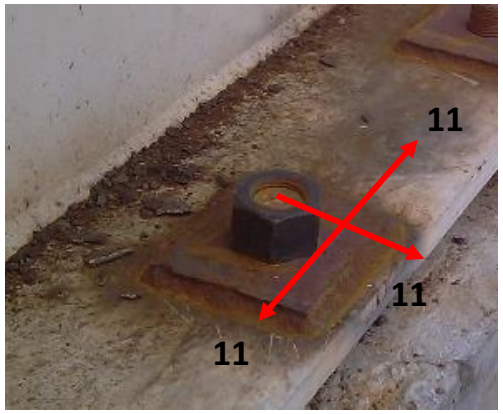


Tabla 2.3 Tamaños recomendados para perforaciones agrandadas

Diámetro del perno (in)	Diámetro del agujero (in)	Holgura (mm)	Tamaño arandela (in)	Espesor arandela (in)
3/4 (19)	1-5/16 (33)	7	2	1/4
7/8 (22)	1-9/16 (40)	9	2-1/2	5/16
1 (25)	1-13/16 (46)	11	3	3/8
1-1/4 (32)	2-1/16 (53)	11	3	1/2
1-1/2 (38)	2-5/16 (59)	11	3-1/2	1/2
2 (51)	3-1/4 (82)	16	5	3/4

Tabla de la guía de diseño 1 del AISC

MONTAJE (3/23)

- ¿Qué hacer si los pernos no tienen el nivel definido y no son en acero soldable?

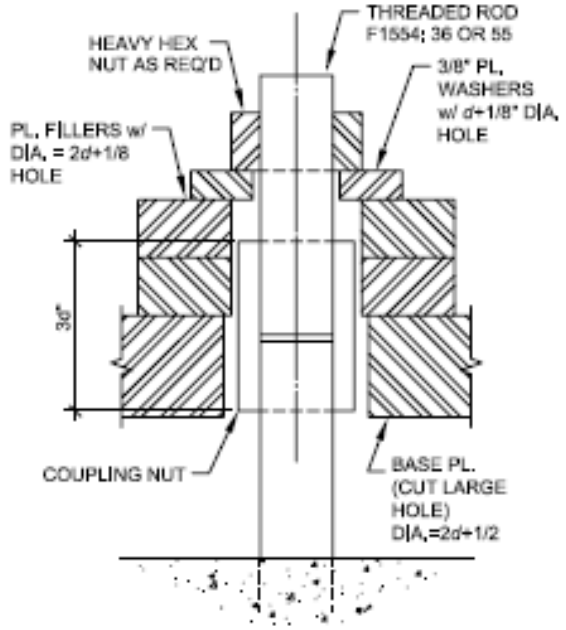
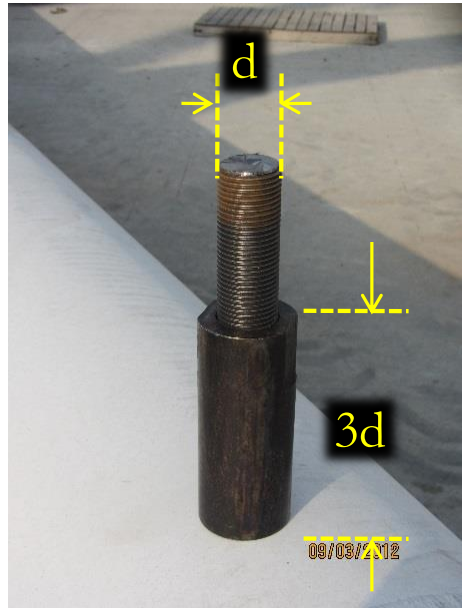
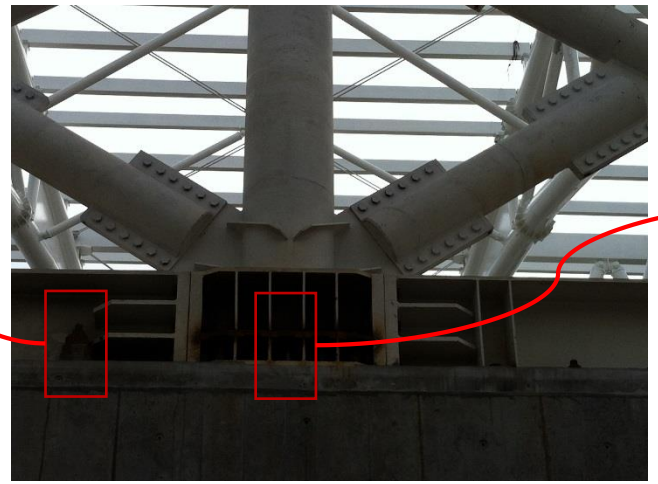


Figure 2.4. Coupling nut detail for extending anchor rod.



MONTAJE (4/23)

- En la obra se ejecutaron dos tipos de reparaciones.



a) Fuera del nudo de columna

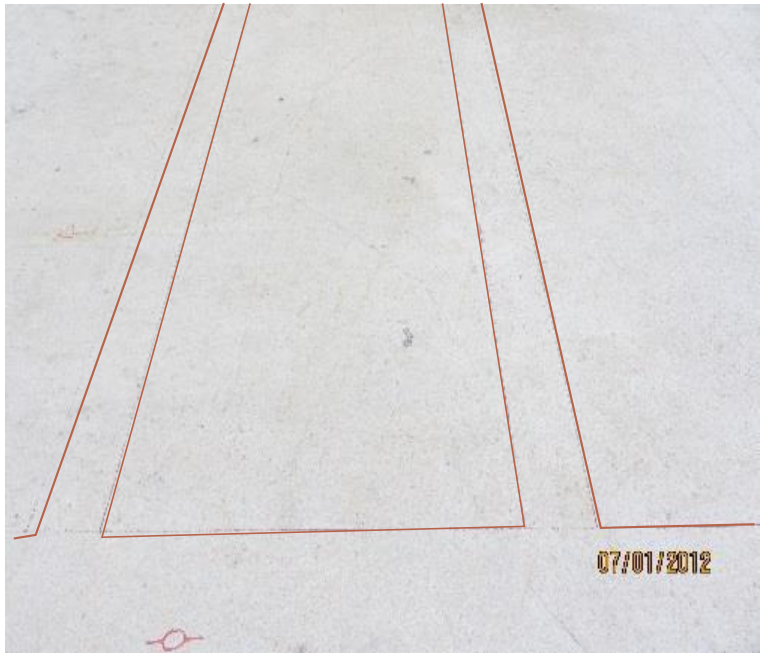
b) En el nudo de columna

MONTAJE (5/23)

- Revisar las posibles sobrecargas producidas por los equipos de montaje durante el transcurso de la obra. Para la obra se taco la losa hasta el sótano.

MONTAJE (6/23)

- La grúa podía circular libremente por la losa central excepto por los voladizos. Para el apoyo de los gatos se marco la estructura nervada de la losa en la cara superior y se distribuyo la carga con vigas metálicas de apoyo.

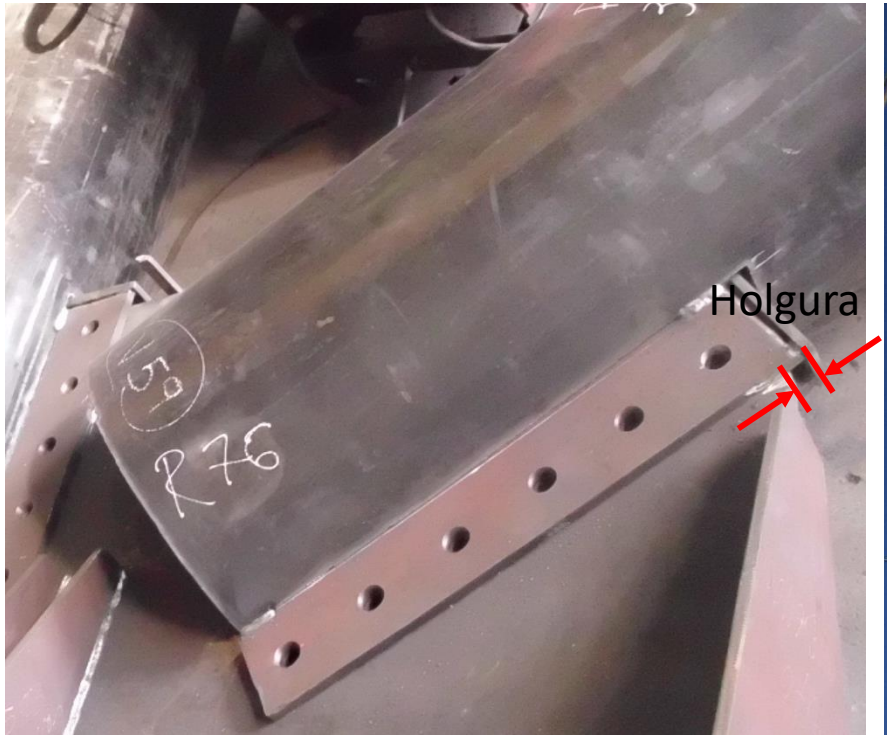


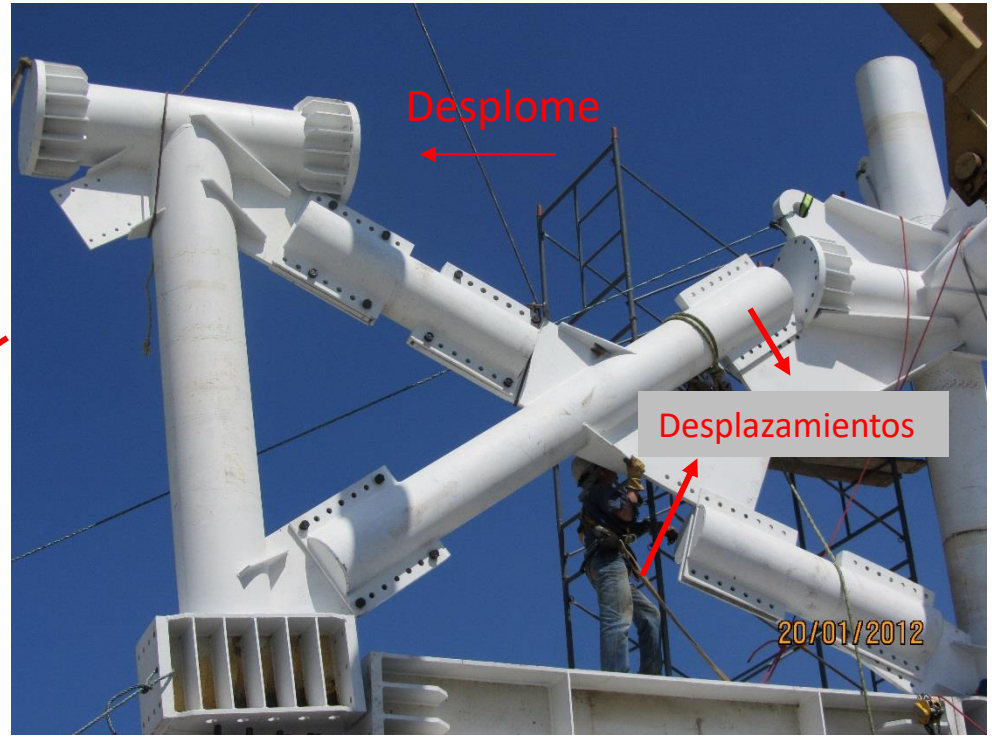
MONTAJE (7/23)

- Etapa 1: Anillo de rigidez. Arriostramientos sobre pantallas

MONTAJE (8/23)

- Etapa 1: Anillo de rigidez. No se tenían suficientes holguras.





MONTAJE (9/23)

- Etapa 1: Anillo de rigidez. Se cortaron y soldaron en obra estos elementos

MONTAJE (10/23)

- Etapa 1: Anillo de rigidez. Viga de amarre entre pantallas, se ensamblo en tres partes y se apuntaló en los nudos de empalme.

MONTAJE (11/23)

- Etapa 1: Anillo de rigidez. El anillo se conservo apuntalado, ya que no tenía arriostramiento hasta montarla estructura de las losas laterales a las cuerdas y vaciar el hormigón.

MONTAJE (12/23)

- Etapa 2: Continuidad de columnas y sus arriostramientos.

a) Montaje de columnas

b) Arriostramientos

MONTAJE (13/23)

- Etapa 3: Arcos principales y sus arriostramientos.

a) Tamaño del pasador para el arco principal Ø5”

MONTAJE (14/23)

- Etapa 3: Arcos principales y sus arriostramientos. Se diseño un equipo de montaje y se monto el arco en cuatro tramos

a) Equipo de montaje

b) Tramo 1 del arco

MONTAJE (15/23)

- Etapa 3: Arcos principales y sus arriostramientos.

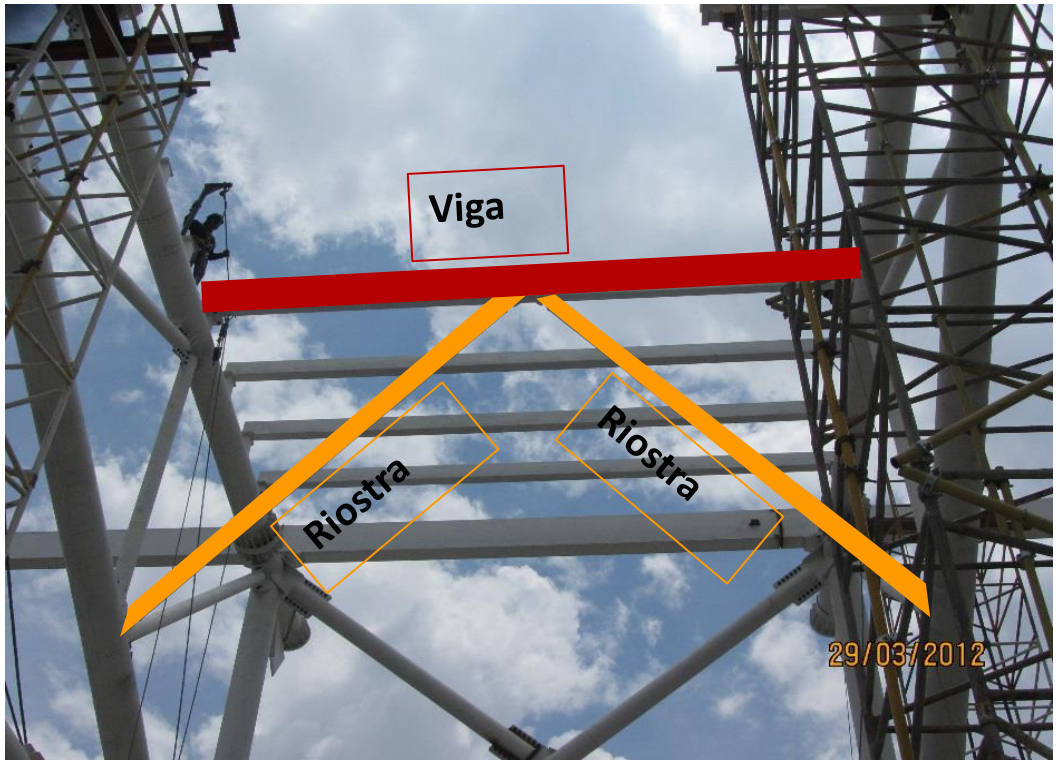
a) Tramo 2 del arco

b) Tramo 3 del arco

MONTAJE (16/23)

- Etapa 3: Arcos principales y sus arriostramientos.

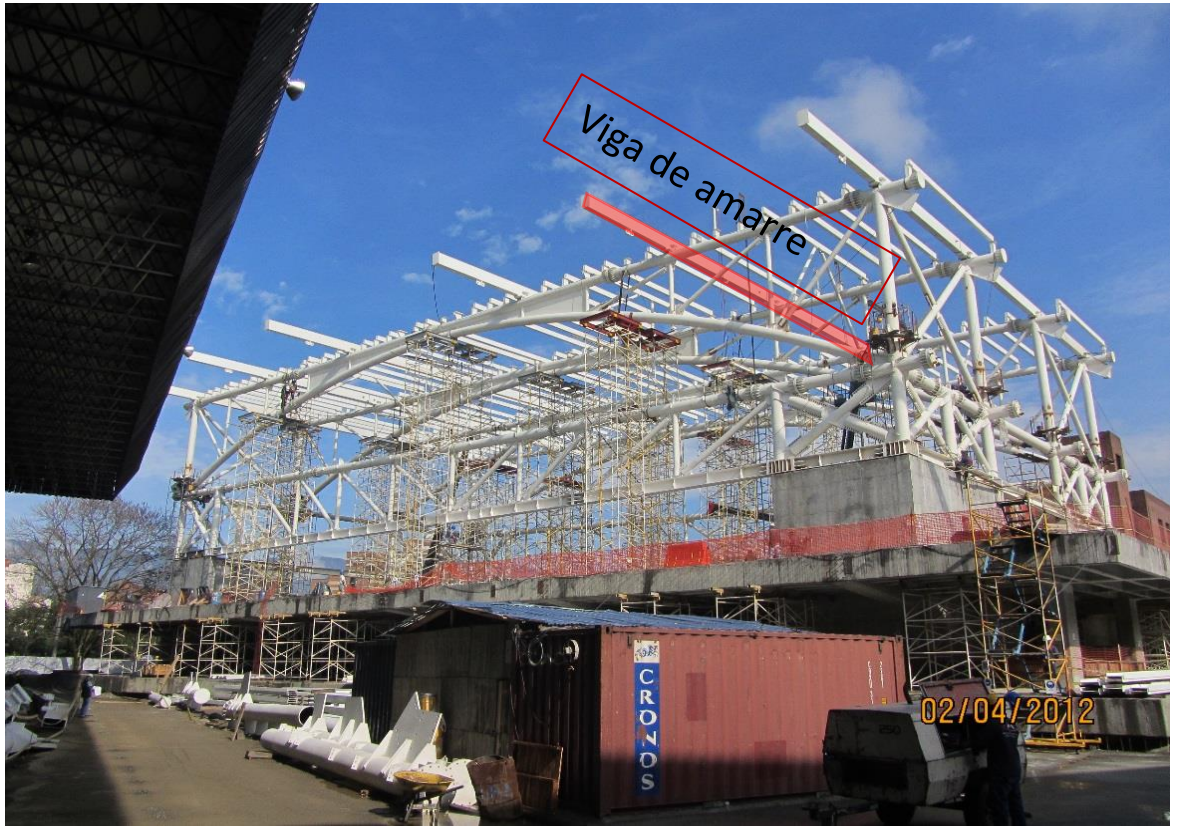
a) Tramo 4 del arco



b) Vigas y arriostramiento del arco

MONTAJE (17/23)

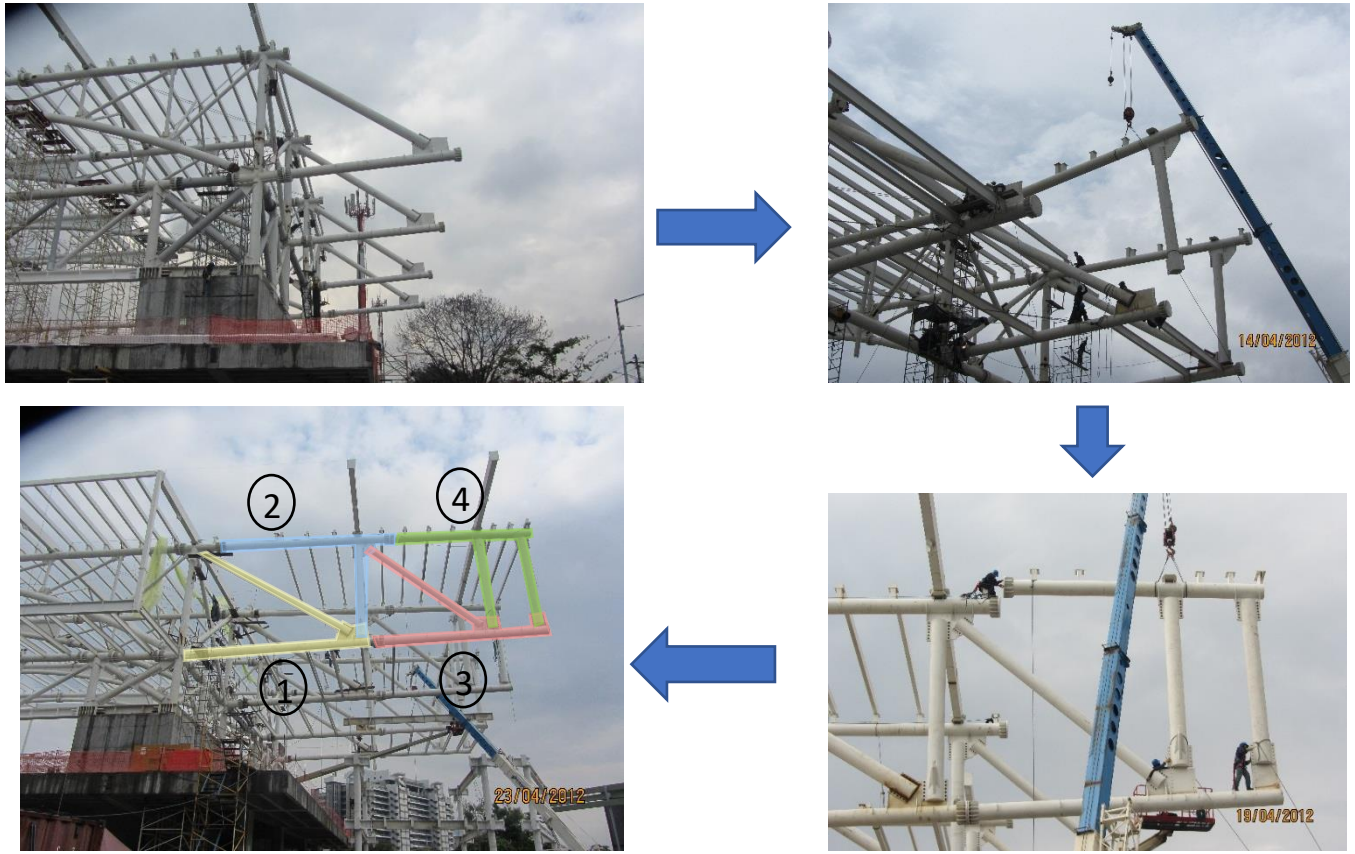
- Etapa 3: Arcos principales y sus arriostramientos.



a) Etapa 3 terminada

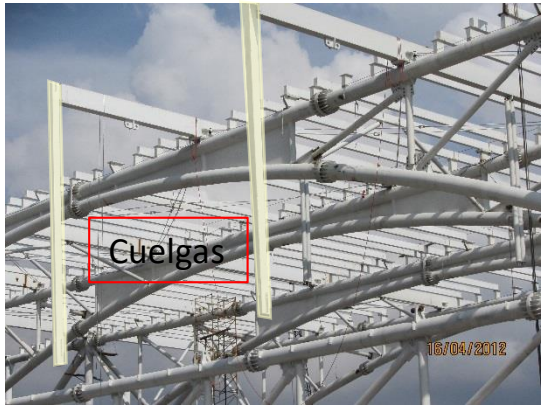
MONTAJE (18/23)

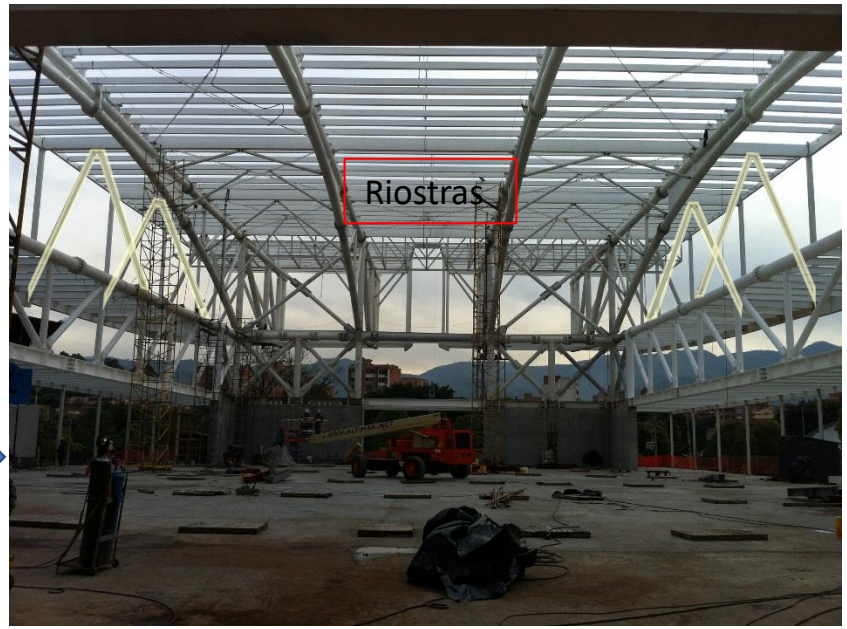
- Etapa 4: Voladizos principales en secuencia.



MONTAJE (19/23)

- Etapa 5: Voladizos laterales.





MONTAJE (20/23)

- Etapa 6: Elementos secundarios.

MONTAJE (21/23)

- Platinas de relleno. Nunca se debe ajustar la estructura forzándola a absorber problemas de fabricación.

El tamaño de la abertura “t” no debe ser superior a 1.6mm, tanto para empalmes soldados como atornillados.

Para separaciones superiores a los 1.6mm se debe seguir el procedimiento estudiado para platinas de relleno.

Las platinas de relleno pueden ser de acero común.

MONTAJE (22/23)

- Platinas de relleno.

✓ Reducir la resistencia a cortante por el factor siguiente:

$$\beta = \left[1 - 0.0154\left(t - 6\right)\right]$$

✓ Agrandar la platina de relleno y colocar pernos adicionales.

✓ Rediseñar la conexión por deslizamiento crítico: Superficie Clase A o B.

MONTAJE (23/23)

- Estructura final

APRENDIZAJE (1/2)

- Aprendizaje
  - Aciertos arquitectónicos:
    - ✓ Dar continuidad a las pantallas de hormigón.
    - ✓ Definir un anillo de rigidez para amarre de pantallas.
    - ✓ Losas de arriostramiento lateral para el anillo de rigidez.
    - ✓ Cerchas longitudinales generosas para soportar los voladizos frontales.
    - ✓ Flexibilidad para aceptar los cambios necesarios propuestos por el diseñador estructural.

APRENDIZAJE (2/2)

- Aprendizaje
  - Aportes estructurales:
    - ✓ Conexiones 100% atornilladas que facilitan el montaje y el control de calidad.
    - ✓ Participación del diseñador en la definición del procedimiento de montaje de la estructura.
    - ✓ En cerchas de grandes luces usar configuraciones con diagonales siempre que sea posible.
    - ✓ Trabajar de la mano con la arquitectura y el revisor estructural en cada paso del diseño para lograr resultados óptimos.
    - ✓ Aunque existieron razones de peso para las cargas usadas es importante en proyectos de recintos feriales ser muy amplio en la determinación de las cargas de diseño.

GRACIAS