

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA

SOLUCIONES ESTRUCTURALES NO HABITUALES

*ESTRUCTURAS MIXTAS DE ACERO Y HORMIGÓN*  
**LOSAS MIXTAS CONFORMADAS POR PLACAS DE  
ACERO COLABORANTE CON VIGAS COMPUESTAS**

PATRICIA GARINO

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....</b>	<b>4</b>
DEFINICIÓN .....	4
<i>Losa Mixta</i> .....	4
<i>Viga Mixta</i> .....	5
<i>Pilares Mixtos</i> .....	5
ELEMENTOS DE UNA SECCIÓN MIXTA .....	6
ACCIÓN COLABORANTE ENTRE EL ACERO Y EL HORMIGÓN.....	7
VENTAJAS E INCONVENIENTES .....	8
SISTEMA CONSTRUCTIVO .....	8
<b>ESTUDIO DE NORMAS REFERIDAS AL SISTEMA .....</b>	<b>10</b>
INTRODUCCIÓN.....	10
<i>Método de las Tensiones Admisibles</i> .....	10
<i>Procedimiento de diseño de los Estados Límites</i> .....	10
ESPECIFICACIONES AISC “AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION”.....	11
<i>Disposiciones generales</i> .....	11
<i>Miembros cargados axialmente</i> .....	11
<i>Miembros sometidos a flexión</i> .....	11
<i>Resistencia a Flexión de Miembros Embebidos y Miembros Rellenos de Concreto</i> .....	12
<i>Combinación de carga axial y Flexión</i> .....	12
<i>Casos Especiales:</i> .....	12
EUROCÓDIGO N°4: PROYECTO DE ESTRUCTURAS MIXTAS DE ACERO Y HORMIGÓN .....	12
<i>Capítulo 1 - Introducción</i> .....	12
<i>Capítulo 2 - Bases de cálculo</i> .....	12
<i>Capítulo 3 - Materiales</i> .....	13
<i>Capítulo 4 - Estados límites últimos</i> .....	13
<i>Capítulo 5 - Estados límites de servicio</i> .....	14
<i>Capítulo 6 - Conexión en vigas de edificación</i> .....	15
<i>Capítulo 7 - Losas mixtas con chapas de acero nervadas para edificación</i> .....	15
<i>Capítulo 8 - Forjados de edificación con losas prefabricadas de hormigón</i> .....	17
<i>Capítulo 9 - Ejecución</i> .....	17
<i>Capítulo 10 - Proyecto asistido por ensayos</i> .....	17
<b>USOS .....</b>	<b>18</b>
RAZONES DE UTILIZACIÓN .....	18
<i>Etapas de obra</i> .....	18
<i>Edificación nueva</i> .....	18
<i>Reformas</i> .....	18
EJEMPLOS .....	19
<i>Obras civiles</i> .....	19
<i>Edificación</i> .....	19
<b>PRESENTACIÓN DE CASOS .....</b>	<b>20</b>
ARAPEY THERMAL RESORT.....	20
<i>Razón de uso – condicionantes que determinaron la elección de este sistema estructural</i> .....	21
<i>Característica de los materiales empleados</i> .....	22
<i>Puesta en obra</i> .....	23
<i>Plazos de ejecución</i> .....	24
<i>Protecciones acústicas</i> .....	24
<i>Previsiones para la seguridad de la estructura frente al fuego</i> .....	24
<i>Ventajas e inconvenientes de su aplicación específica</i> .....	24
<i>Resultado final</i> .....	25
COMPLEJO TORRE DE LAS TELECOMUNICACIONES.....	26
<i>Razón de uso – condicionantes que determinaron la elección de este sistema estructural</i> .....	26
<i>Característica de los materiales empleados</i> .....	27
<i>Puesta en obra</i> .....	28
<i>Plazos de ejecución</i> .....	30

<i>Protecciones acústicas</i> .....	30
<i>Previsiones para la seguridad de la estructura frente al fuego</i> .....	30
<i>Ventajas e inconvenientes de su aplicación específica</i> .....	31
<i>Resultado final</i> .....	31
<b>REMODELACIÓN DEL TEATRO SOLÍS</b> .....	33
<i>Razón de uso – condicionantes que determinaron la elección de este sistema estructural</i> .....	35
<i>Característica de los materiales empleados</i> .....	36
<i>Puesta en obra</i> .....	38
<i>Plazos de ejecución</i> .....	40
<i>Protecciones acústicas</i> .....	42
<i>Previsiones para la seguridad de la estructura frente al fuego</i> .....	42
<i>Ventajas e inconvenientes de su aplicación específica</i> .....	42
<i>Resultado final</i> .....	42
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>44</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>46</b>
<b>FICHAS TÉCNICAS</b> .....	<b>46</b>
<i>Complejo Torre de la Telecomunicaciones</i> .....	46
<i>Remodelación Teatro Solis</i> .....	47
<i>Arapey Thermal Resort</i> .....	48
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>49</b>

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo conocer el comportamiento resistente de las estructuras mixtas de acero y hormigón, comprender el sistema y su aplicación en casos concretos del medio local.

El mismo se estructurará en cuatro bloques: el primero destinado a la descripción del sistema, el segundo referido al estudio de la normativa, el tercero comprenderá los usos tomando en cuenta cualidades y desventajas, por último se evaluará la aplicación en casos particulares.

En relación a éste último apartado, se realizará un análisis de determinados ejemplos representativos de nuestro país, a los efectos de visualizar el uso de este sistema estructural en nuestra realidad, evaluando la adecuación del mismo a los requerimientos estructurales, funcionales, constructivos y formales establecidos, así como las ventajas e inconvenientes de su aplicación específica.

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

### Definición

Conexión de elementos de acero sometidos a tracción con elementos de hormigón trabajando a compresión. Por ejemplo, losa mixta conformada por una chapa de acero resistente cumpliendo la función de armadura inferior, sometida a la tracción y hormigón trabajando a compresión, vigas de acero trabajando en forma conjunta con una losa de hormigón, pilares mixtos cuya sección está conformada por perfiles de acero y el relleno de hormigón.

### Losa Mixta

Se compone de una chapa de acero resistente (steel-deck) sobre la cual se vierte el hormigón fresco en cuya masa se coloca una malla de acero.

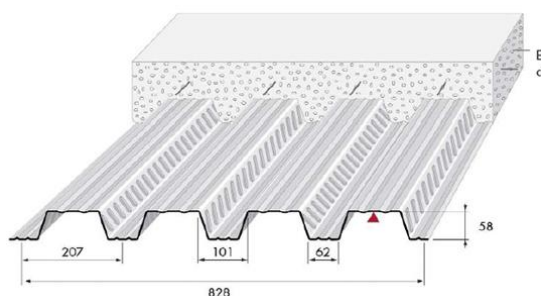


Figura 1 - Ejemplo de forjado colaborante

La chapa cumple diferentes funciones: oficia de plataforma de trabajo para el montaje, se utiliza como encofrado, se comporta como una estructura propia durante el llenado, en la fase de construcción sirve para rigidizar y estabilizar la estructura. La función principal en el estado final es ejercer de armadura inferior – sometida a la tracción de la losa de hormigón.

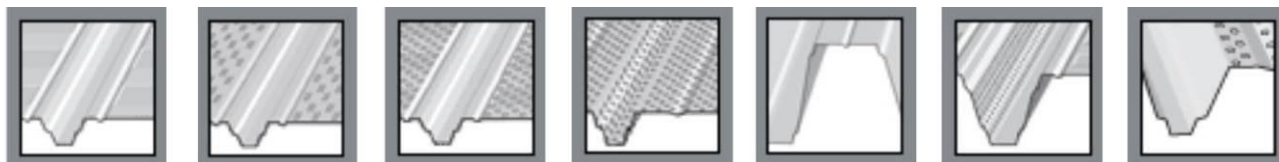


Figura 2 - Tipos de chapa

La losa se puede componer de un hormigón normal o aligerado.

La malla de armadura evita la fisuración por la retracción del hormigón durante el secado.

Si bien la chapa oficia de armadura de flexión, en algunos casos se requieren refuerzos:

- En las losas continuas, además de contar con la malla de acero se puede necesitar también armadura superior para resistir momentos negativos en los apoyos.
- Armaduras adicionales en los bordes de los huecos (barras situadas en los valles de la chapa, de sección equivalente a la chapa interrumpida y barras transversales en la capa de compresión).[5]
- Capa adicional de barras para mejorar el comportamiento frente al fuego.

Para la contención del hormigón durante el vertido se utilizan cantoneras en los remates perimetrales. Las mismas suelen ser perfiles angulares metálicos. Dichos elementos deben tener la adecuada resistencia en la fase del vertido del hormigón de manera que no se deformen así como para recibir las placas de anclaje de la fachada, que en algunos casos suele ser el muro cortina.[5]



Figura 3 - Remate en vanos

### Viga Mixta

Aquí el hormigón y el acero colaboran para resistir la flexión dentro de la misma sección, el hormigón colabora trabajando a compresión y el acero sometido a tracciones.

La viga puede estar conectada a una losa maciza de hormigón, a una losa nervada o una losa mixta propiamente dicha.

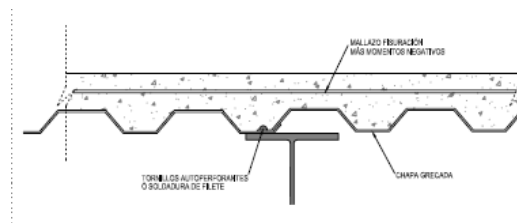


Figura 4 - Viga mixta

### Pilares Mixtos

En este caso se conjuga la capacidad resistente del acero con la del hormigón, logrando así mayor resistencia y esbeltez.

Podemos tener distintos tipos de secciones:

- Secciones embebidas (acero totalmente cubierto por el hormigón).
- Secciones rellenas de hormigón (hormigón totalmente cubierto por el acero, es el caso de los perfiles tubulares de acero que ofician de encofrado del hormigón).
- Secciones parcialmente embebidas (sección de acero cubierta parcialmente por hormigón).[7]

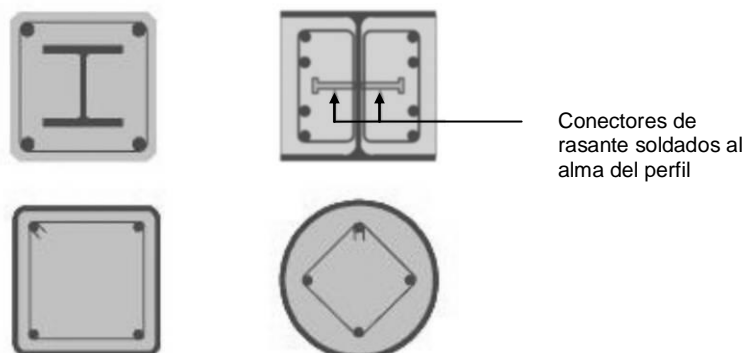


Figura 5 - Pilares mixtos

En el presente trabajo se estudiarán las losas mixtas conformadas por placas de acero colaborante con vigas compuestas.

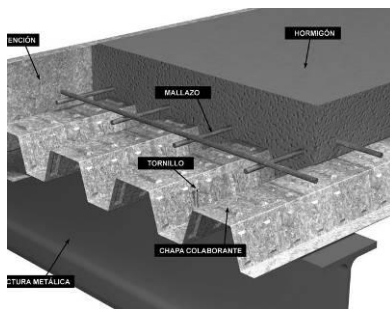


Figura 6 - Viga mixta con chapa colaborante

### **Elementos de una sección mixta**

Elementos metálicos

Elementos de hormigón

Elementos conectores

Para que una sección trabaje como mixta es muy importante que la unión de estos elementos asegure el no deslizamiento entre los materiales.

En el caso de la losa mixta, si bien existe un efecto superficial de adherencia natural entre la losa de hormigón y la chapa de acero durante el proceso de fraguado, para poder transmitir los esfuerzos rasantes se debe lograr una adecuada conexión mecánica entre la chapa nervada y el hormigón a través de indentaciones o embuticiones. Estas deben diseñarse de manera que logren una adherencia superior al esfuerzo rasante y al cortante vertical.

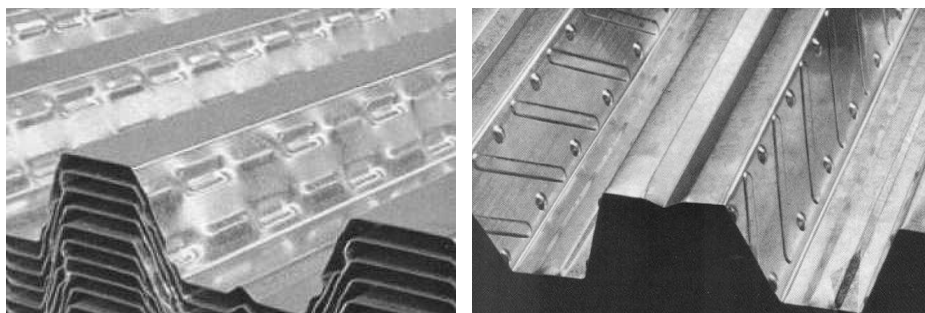


Figura 7 - Diferentes tipos de resaltes

La capacidad de estas indentaciones depende de su forma, profundidad, pendiente y ubicación en la chapa. Pueden tener diferentes configuraciones:

- Los resaltes pueden ser verticales o inclinados, resistiendo mejor los esfuerzos rasantes.
- Los resaltes horizontales tienen un mejor comportamiento al cortante vertical. [5]

Para la unión entre vigas de acero y la losa de hormigón, se utilizan conectores mecánicos. Su función es lograr transmitir los esfuerzos de la losa a la estructura y resistir también las tensiones rasantes. Los mismos pueden ser pernos soldados, conectores en forma de L clavados o espirales. Los pernos pueden ser soldados tanto en obra como en taller, en éste último caso el montaje de las chapas y de las vigas se dificulta.

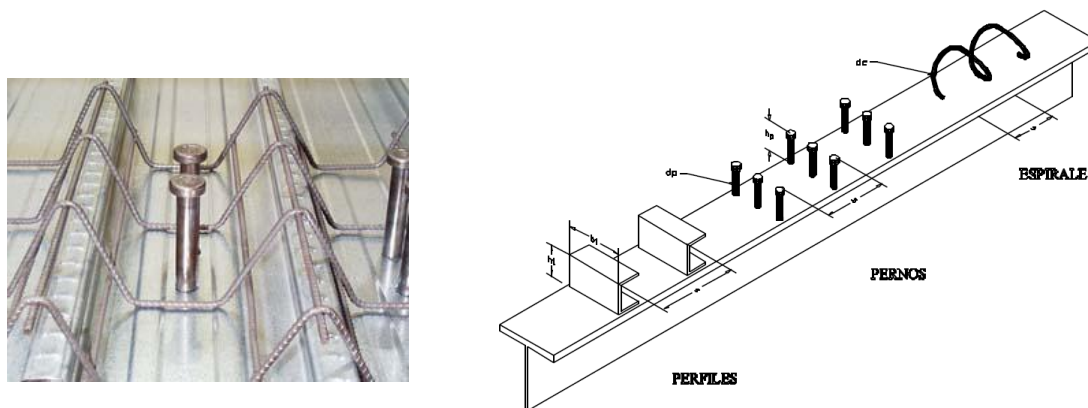


Figura 8 - Tipo de conectores

### Acción colaborante entre el acero y el hormigón

En este sistema se combinan las mejores propiedades de ambos materiales. El hormigón aporta masa, resistencia a la compresión y rigidez. El acero por su lado proporciona ligereza, resistencia a la tracción y elasticidad.

Por otra parte ambos materiales pueden colaborar conjuntamente ya que su coeficiente de dilatación térmica es similar.

Para lograr la adecuada acción colaborante entre el acero y el hormigón, formando un sólo elemento estructural, es decisiva la correcta adhesión chapa nervada –hormigón fraguado o vigas de acero y losa de hormigón.

Las indentaciones y conectores, ya mencionados anteriormente, son los que permiten el trabajo en conjunto de ambos materiales ya que son los que generan el anclaje y la adherencia necesaria entre la chapa y el hormigón, y entre la losa y la viga metálica, respectivamente.

En este tipo de estructuras se toma la hipótesis de que ambos elementos actúan como uno sólo, teniendo entonces continuidad de deformaciones longitudinales. Es decir que la deformación en la interface es la misma para los dos materiales. Cuando tenemos una viga sin elementos de conexión con la losa hay deslizamiento en la superficie de contacto, ambos elementos tienen un estado tensional independiente con tracciones y compresiones. En las estructuras mixtas se produce otro estado tensional, sin tracciones en el hormigón (en la mayoría de los casos) y con compresiones pequeñas en el acero. [15]

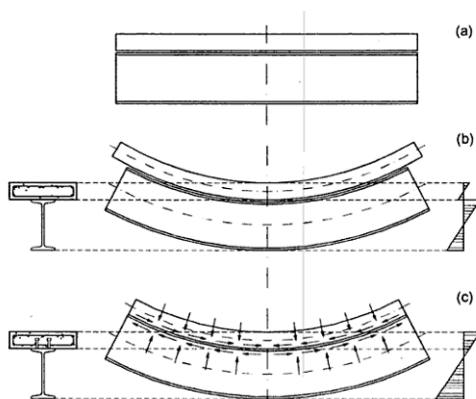


Figura 9 – Comparación de tensiones en una viga independiente y una viga mixta



## ***Ventajas e inconvenientes<sup>1</sup>***

- El sistema mixto tiene una mayor resistencia global en comparación con una estructura donde los elementos son independientes (losa de hormigón y viga de acero sin elementos de conexión).
- Ambos materiales (hormigón y acero) están trabajando para su mejor ventaja.
- Para piezas sometidas a flexión se obtiene mayor rigidez de la pieza, ya que por la colaboración del hormigón se ve reducida la flecha en el acero.
- La reducción del espesor de losas y vigas, sumada al menor peso del hormigón utilizado, se traduce en una reducción global de la estructura (tamaño de pilares y fundaciones).
- Se dispone de mayor superficie útil en planta, logrando mayor flexibilidad y considerables posibilidades de diseño.
- Si comparamos una estructura de acero con una estructura mixta, se observa que en aquellos sitios donde la construcción en acero es habitual los costos se ven disminuidos debido a la reducción de acero necesario para la estructura.
- Sin embargo, en los lugares donde la utilización de grandes estructuras de acero no es habitual, como ocurre en nuestro medio, la implementación del sistema puede ser inviable desde el punto de vista económico (gastos de importación, subcontratos, etc.). Por este motivo la aplicación del sistema mixto generalmente se reduce a proyectos edilicios de gran escala y/o alto presupuesto.
- En el caso de los pilares mixtos cuya sección de acero queda totalmente embebida en el hormigón, el sobre costo debido a la protección contra el fuego se ve minimizado ya que el propio hormigón genera el recubrimiento apropiado. Del mismo modo, la resistencia del acero a la corrosión mejora considerablemente.
- Se necesita menor construcción in situ, los perfiles y la chapa de acero ya vienen fabricados, cumpliendo con las normas de calidad requeridas.
- Mayor resistencia al fuego que las estructuras de acero. Las losas mixtas constituyen elementos de compartimentación horizontal de sectores de incendio.
- La chapa resistente se utiliza de plataforma de trabajo para el montaje y acopio de materiales, no necesitando apuntalamientos en luces de hasta cuatro metros.
- Se facilita la canalización de instalaciones.
- Las luces que se pueden utilizar para las chapas son de hasta cinco metros.
- Las limitaciones principales refieren a la resistencia a las tensiones rasantes y punzonado.
- Debido a la masa reducida pueden surgir problemas de vibraciones perceptibles.
- La aislación acústica debe mejorarse debido a los espesores pequeños y la utilización de hormigones aligerados.
- En lugares húmedos la chapa necesita un mantenimiento constante y una adecuada protección.

## ***Sistema constructivo<sup>2</sup>***

Una de las prestaciones principales de este sistema estructural es su eficacia en el proceso constructivo.

---

<sup>1</sup> Las ventajas e inconvenientes aquí señaladas son una recopilación de las presentadas en [5], [8], [9] y [22]

<sup>2</sup> El sistema constructivo presentado es un compendio de lo incluido en [5] y [19]

Durante la construcción la chapa será el elemento estructural, se debe distinguir del estado final en el cuál la sección mixta es la resistente.

En esta fase de ejecución la chapa deberá soportar la carga de los obreros, el hormigón fresco y otras sobrecargas propias de la puesta en obra. Se debe tener en cuenta que en esta etapa la chapa trabajará a flexión, por lo cual la parte superior estará comprimida, pudiendo sufrir abolladuras.

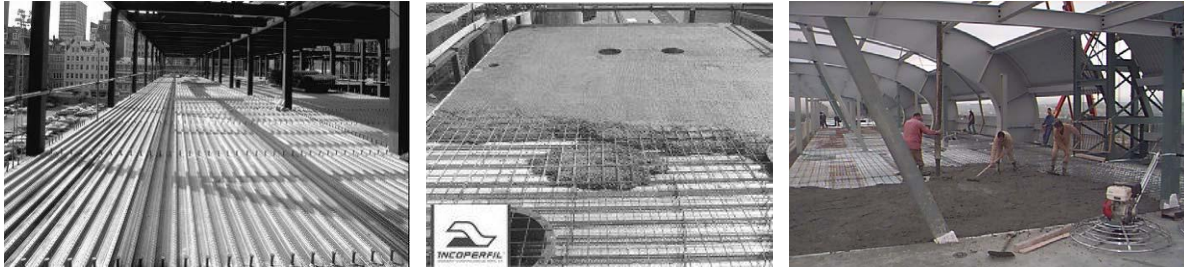


Figura 10 - Proceso de hormigonado

Si bien se logra racionalizar la construcción logrando economía y rapidez en los plazos de ejecución y montaje, las condiciones de puesta en obra son exigentes:

- El personal a cargo debe ser especializado.
- La organización y limpieza de obra son importantes para evitar accidentes y sobrecostos.
- Se requiere contar previamente con planos de ejecución de la estructura donde se indique: límites del forjado, sección tipo, estructura de apoyo, distribución de las chapas metálicas - nº de unidades, largo, espesor y ubicación -, zonas en las que se requiere apuntalamiento, posibles estructuras de soporte o armaduras de refuerzo, detalles especiales.
- La organización es fundamental, durante la recepción y en almacenamiento se deben identificar claramente las chapas, características y zona de destino en la obra.
- Se debe realizar un control de recepción de los materiales, hormigón, chapa de acero, malla de armadura y conectores.
- En las superficies donde se realizan soldaduras, la chapa debe estar limpia y las vigas metálicas deben estar sin pintar y libres de virutas.
- Se deberán prever los huecos replanteando los mismos antes del vertido del hormigón.
- El hormigonado se realizará preferentemente a través del bombeo.
- Luego de la fase de llenado se debe tener especial cuidado en el curado del hormigón, se debe proteger y humedecer la cara superior ya que si no se secará más rápidamente que la cara inferior en contacto con la chapa, provocando fisuras de retracción.

## ESTUDIO DE NORMAS REFERIDAS AL SISTEMA

### Introducción

La normativa de estructuras metálicas puede estar basada en un procedimiento de diseño de tensiones admisibles (ASD) o un método de los estados límites (LRFD).

### Método de las Tensiones Admisibles

Asume la misma variabilidad para todas las cargas. Es un método determinístico:

“Acciones y resistencias como unos valores capaces de ser fijados unívocamente y que por lo tanto son perfectamente conocidos”.

Se calcula lo que pasa en la sección cuando actúan determinadas cargas, se verifica la resistencia de la pieza según diferentes estados de carga.

$$\Sigma Q \leq R/F.S.$$

$\Sigma Q$ : sumatoria de los esfuerzos requeridos

$R$ : resistencia de diseño

$F.S.$ : coeficiente de seguridad

Observamos que las cargas no se multiplican por distintos factores según su origen, sino que se toma un factor único de seguridad aplicado a la resistencia de diseño. No se obtiene una confiabilidad uniforme para toda la estructura. [20]

### Procedimiento de diseño de los Estados Límites

Se fraccionan los coeficientes de seguridad según el origen de las cargas y para cada tipo de resistencia. En base a estimaciones estadísticas se considera que la probabilidad de fallo sea baja. Es un modelo probabilístico:

“Acciones y resistencias como variables aleatorias. Probabilidad de las acciones no superen ciertos valores de cálculo o que las resistencias no sean inferiores a otros ciertos valores de cálculo”. [20]

Se consideran dos tipos de estados límites: de rotura y de servicio.

Los estados límites últimos o de rotura se definen como: “aquellos asociados al colapso de la estructura, o a otras formas de fallo estructural que puedan hacer peligrar la seguridad de las personas.

- Pérdida de equilibrio de la estructura o de alguna de sus partes, considerada como un sólido rígido.
- Deformación excesiva, o pérdida de estabilidad de la estructura o de alguna de sus partes, incluyendo conectores, pilares y cimientos.” [7]

“Estados límites de servicio corresponden a estados tales que, una vez superados, dejan de cumplirse los criterios específicos de utilización

- Deformaciones y flechas que afectan a la apariencia y efectividad de la estructura (incluyendo el mal funcionamiento de máquinas y servicios) o pueden causar daños a los elementos no estructurales y acabados.
- Vibración que afecta al confort de la gente, daña los edificios o su contenido, o limita su efectividad funcional.
- Fisuración del hormigón que afecta negativamente a la apariencia, durabilidad o impermeabilidad al agua.
- Daños en el hormigón por compresión excesiva, que puede dar lugar a menor durabilidad.

- Deslizamiento relativo en las interfaces hormigón- acero.”[7]

No existe en el Uruguay una normativa para este sistema ya que en nuestro medio la utilización de este tipo de estructuras es exigua.

Las primeras normativas sobre este sistema se basaban en el procedimiento de las tensiones admisibles.

Últimamente la tendencia de la normativa refiere al criterio de verificación basado en estados límites, tomando en cuenta la variabilidad de cargas y resistencias. Se considera que es un método avanzado de dimensionamiento de estructuras de acero y ha sido adoptado por la mayoría de los países del mundo. La idea es proveer a todas las estructuras de acero la misma probabilidad de fallo bajo distintas condiciones de carga.[16]

Se van a estudiar dos normativas, las Especificaciones AISC “American Institute of Steel Construction” y el Eurocódigo N°4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón.

La primera está basada en un método unificado de diseño, realizando una calibración de ambos métodos (ASD y LRFD) para tener resultados de diseño equivalentes.

El Eurocódigo N°4 se basa en el método de los estados límites.

### **Especificaciones AISC “American Institute of Steel Construction”**

Estas especificaciones técnicas refieren al diseño estructural en acero. En el Capítulo I - Diseño de miembros de sección compuesta se profundiza en los requisitos que deben cumplir las estructuras mixtas de hormigón y acero.

Allí se plantean las especificaciones para las columnas mixtas y las vigas de acero que actúan conjuntamente con el hormigón de la losa para soportar la flexión.

Este capítulo se estructura en cinco ítems.

#### **Disposiciones generales**

- Se especifican dos métodos para determinar la resistencia nominal de la sección compuesta, método de distribución de las tensiones plásticas y método de compatibilidad de las deformaciones.
- Se establecen las limitaciones del material estableciendo la resistencia requerida del hormigón utilizado y las barras de acero de refuerzo.
  - En hormigón de peso normal la resistencia a la compresión estará entre los siguientes valores: 21 N/mm<sup>2</sup> y 70 N/mm<sup>2</sup>. Para el caso de hormigones livianos la resistencia estará dentro de 21 N/mm<sup>2</sup> y 42 N/mm<sup>2</sup>.
  - Para el acero estructural la tensión de fluencia mínima no debe exceder los 525 N/mm<sup>2</sup>.
- Las características de los conectores.

#### **Miembros cargados axialmente**

Para los miembros cargados axialmente (columnas compuestas embebidas y columnas compuestas rellenas) se determinan las limitaciones a las que deben ser sujetos, así como la resistencia a la compresión, tracción y corte, transferencia de carga y características de los conectores.

#### **Miembros sometidos a flexión**

Se determina:

- Ancho efectivo de la losa de concreto.

- Resistencia al corte (se basará solamente en las propiedades de la sección de acero).
- Resistencia necesaria durante la construcción: cuando no se tenga apuntalamiento temporal la sección de acero debe tener la resistencia suficiente para soportar todas las cargas aplicadas antes que el hormigón obtenga el 75% de su resistencia especificada.
- Resistencia para flexión positiva y para flexión negativa.
- Resistencia de vigas compuestas con placas colaborantes de acero.
- Características de los conectores de corte: número requerido, diámetro, ubicación, espaciamiento, recubrimiento.

### **Resistencia a Flexión de Miembros Embebidos y Miembros Rellenos de Concreto**

- Se determina la resistencia nominal de flexión de estos elementos.

### **Combinación de carga axial y Flexión**

- En este ítem se toma en cuenta la interacción entre la fuerza axial y flexión en miembros compuestos.

### **Casos Especiales**

- Para casos especiales no contemplados en la normativa se realizan ensayos para determinar las características necesarias para los conectores.

## ***Eurocódigo N°4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón<sup>3</sup>***

Es otra de las normativas aplicables a este tipo de estructuras. Surgió en el ámbito de la Comunidad Europea con el objetivo de unificar la normativa de cada país sobre este tema.

Este documento está compuesto de tres partes:

- Parte 1-1: Reglas Generales y Reglas para Edificación.
- Parte 1-2: Reglas Generales. Proyecto de Estructuras Sometidas al Fuego.
- Parte 2: Puentes Mixtos.

El presente trabajo se enfocará en la primera de las partes. La misma se estructura en diez capítulos comentados a continuación.

### **Capítulo 1 - Introducción**

Se establece el ámbito de aplicación y se introducen las definiciones, terminología y simbología utilizada en el documento.

### **Capítulo 2 - Bases de cálculo**

Se concentra en las bases del cálculo: requisitos fundamentales, situaciones de proyecto, acciones, propiedades de los materiales, exigencias de cálculo y durabilidad. Si bien este capítulo es común para los diferentes Eurocódigos, se detecta la importancia que se da a considerar en el cálculo las diferentes fases a las que están sometidas las piezas del sistema mixto (fases de hormigonado, hormigón fresco y estructura en funcionamiento).

---

<sup>3</sup> La presente sección es un análisis de la norma, donde se citan pasajes textuales (presentados entre comillas dobles) o resúmenes con pequeñas modificaciones. Para el mayor detalle se exhorta a la lectura de la norma ENV 1994-1-1. [7]

### Capítulo 3 - Materiales

Refiere a las propiedades de los materiales incorporados en este sistema: hormigón, acero estructural, chapa nervada y conectadores.

- Para el hormigón se considera como resistencia característica, medida en probeta a los 28 días,  $20 \text{ N/mm}^2$ .
- Para el acero estructural se consideran 3 tipos: Fe 360, Fe 430, Fe 510.
- Con respecto a las chapas nervadas para losas mixtas, las mismas pueden ser fabricadas con acero de bajo contenido de carbono, acero de alta resistencia, acero laminado en frío o acero galvanizado. El espesor mínimo de la chapa debe ser de 0,75 mm y sus superficies exteriores deben ser protegidas frente a las condiciones atmosféricas. En general es un revestimiento de zinc.
- La calidad de los conectadores de esfuerzo rasante va a depender de su función y del sistema de unión a la estructura de acero (soldadura, anclajes o cercos).

### Capítulo 4 - Estados límites últimos

#### Vigas Mixtas

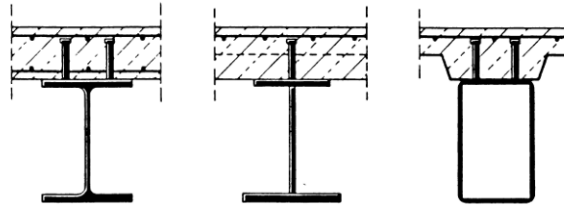


Figura 11 – Secciones transversales típicas de vigas mixtas

- “Las vigas mixtas deben comprobarse frente a:
  - La resistencia de las secciones críticas (de máximo momento flector, de soportes o apoyos, secciones en las que actúan fuertes cargas concentradas o reacciones, secciones donde exista un cambio brusco en la sección transversal).
  - La resistencia al pandeo lateral.
  - La resistencia al pandeo por cortante e inestabilidad local del alma.
  - La resistencia al esfuerzo rasante.”
- Se introduce el concepto de ancho eficaz ( $b_{eff}$ ) de la cabeza de hormigón:
  - $Be = l_0/8$  (siendo  $l_0$  la distancia entre secciones de momento flector nulo) y  $b_e < b$

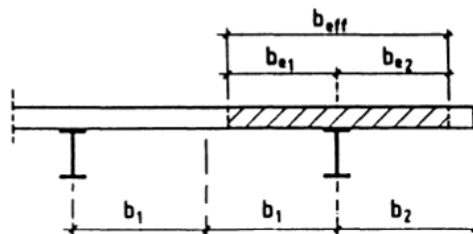


Figura 12– Cálculo del ancho eficaz del ala de hormigón

- Se establecen los valores de las rigideces a flexión, tomando momentos de inercia de la sección homogeneizada (“sección equivalente de acero, dividiendo la contribución del hormigón por el coeficiente de equivalencia,  $n$ ”).
- Para determinar la resistencia de las secciones transversales de una viga se considera:
  - Momento flector despreciando la resistencia a la tracción del hormigón y considerando que las secciones planas de acero estructural y hormigón armado de un elemento mixto permanecen planas.  
Aplicable a las secciones mixtas cuya sección de acero estructural tenga un eje de simetría en el plano del alma, flectando la viga en dicho plano.

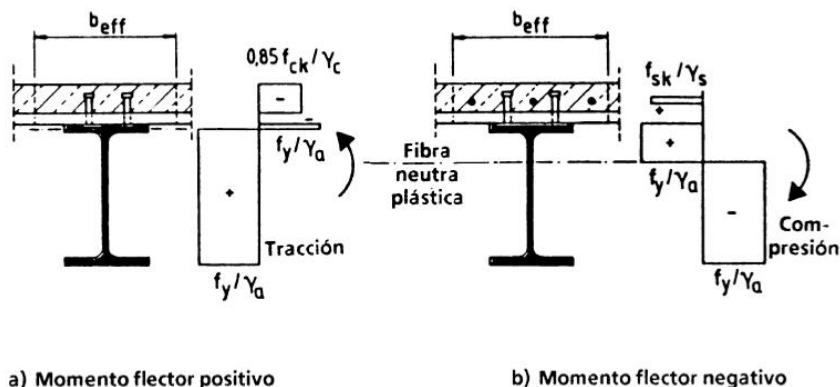


Figura 13 – Distribución plástica de tensiones en una viga mixta de chapas de acero nervadas y conexión completa, con la fibra neutra situada en la sección de acero

- Cortante: “La resistencia a cortante vertical se tomará como la resistencia de la sección de acero estructural.”
- Interacción entre flexión y cortante.
- Resistencia a pandeo por cortante.
- Interacción entre flexión y pandeo por cortante.
- Se determinan los requisitos para establecer los esfuerzos en vigas continuas.
- En este capítulo también se considera el pandeo lateral en vigas mixtas de edificación. Éste fenómeno puede ocurrir cuando el ancho total de la losa es menor que el canto del elemento de acero.
- Inestabilidad local del alma (cuando el alma no tiene rigidización transversal).

#### Pilares Mixtos

- “Un pilar mixto debe comprobarse frente a:
  - Resistencia del elemento.
  - Resistencia frente al pandeo local.
  - Introducción de cargas.
  - Resistencia a cortante.”

#### Esfuerzos en pórticos de edificación y uniones mixtas en pórticos arriostrados de edificación

### Capítulo 5 - Estados límites de servicio

- “Para el cálculo de tensiones y deformaciones en los estados límites de servicio se tendrán en cuenta los efectos de:

- Deformabilidad por rasante.
  - Incremento de flexibilidad resultante de una interacción imperfecta significativa, debido a deslizamiento y/o despegue.
  - Fisuración y rigidez entre fisuras del hormigón en zonas de momentos negativos.
  - Fluencia y retracción del hormigón.
  - Plastificación del acero.
  - Plastificación de la armadura en zonas de momento negativo.”
- Para establecer las deformaciones se introduce el cálculo de las flechas máximas en vigas y la fisuración del hormigón en vigas.
    - La fisuración se limita de manera que no perjudique el funcionamiento y la durabilidad de la estructura, o haga inaceptable su aspecto.
    - Estas fisuraciones ocurren cuando la sección de hormigón sufre tracciones por cargas directas o por coacción de deformaciones. Para evitar este problema se coloca la armadura mínima necesaria.
    - Asimismo se disponen las medidas requeridas para el control de la fisuración y la anchura admisible de la fisura.

## Capítulo 6 - Conexión en vigas de edificación

Se introduce el tema de la conexión en vigas de edificación: bases del cálculo, deformabilidad, resistencia, número y distribución de conectadores, conexión parcial o total, determinación del esfuerzo rasante longitudinal y detalles constructivos de la conexión.

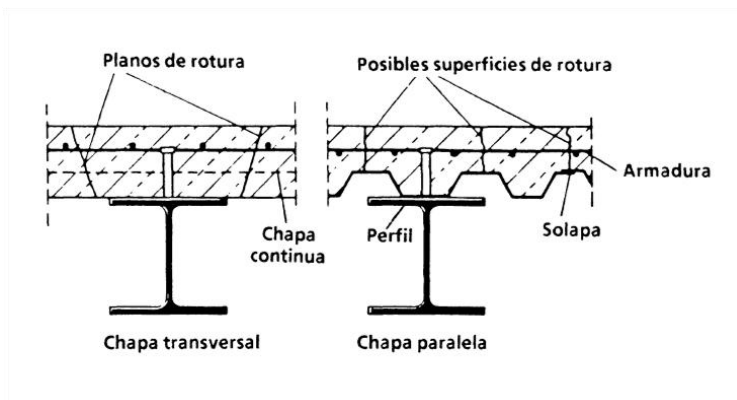


Figura 14 – Posibles superficies de rotura por rasante en una losa con chapas de acero nervadas

## Capítulo 7 - Losas mixtas con chapas de acero nervadas para edificación

Definición: “Una losa mixta es aquella en la que se usan chapas de acero nervadas como encofrado fijo capaz de soportar el hormigón vertido, la armadura y las cargas de ejecución. Posteriormente, las chapas de acero nervadas se combinan estructuralmente con el hormigón endurecido y actúan como una parte o la totalidad de la armadura a tracción en el forjado acabado.”

- Tipos de engarces:
  - a) Engarce mecánico a través de muescas o resaltes en el perfil.
  - b) Adherencia por fricción con nervios que forman ángulos agudos con la chapa base.



- c) Anclaje extremo con pernos soldados u otro tipo de conexión local entre hormigón y chapa de acero - en combinación con a) o b) -.
- d) Anclaje extremo por deformación de los nervios al final de la chapa - en combinación con b) -.

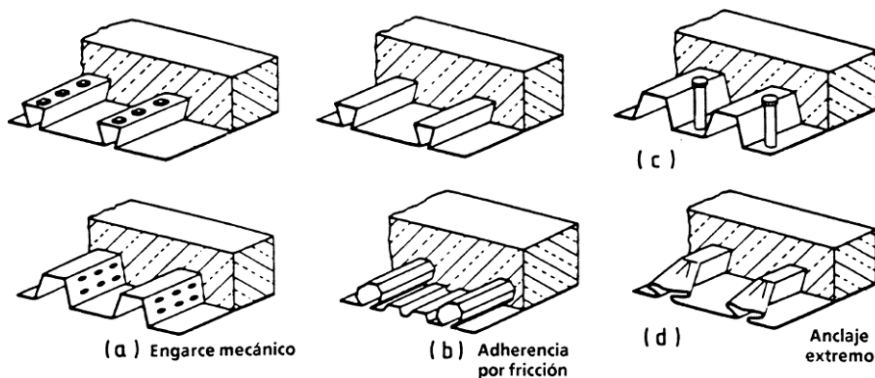


Figura 15 – Formas típicas de engarce en losas compuestas

- Se definen los detalles constructivos: espesor de la losa y armadura, áridos, requisitos de los apoyos.
  - Espesor de la losa mixta formando parte de una estructura mixta  $\geq$  a 90 mm.
  - Espesor de la parte superior de los nervios  $\geq$  a 50 mm.
- Para las acciones y efectos de las acciones se toman en cuenta dos situaciones, cuando las chapas de acero actúan como encofrado y el forjado mixto ya en funcionamiento. En la primera situación (chapa de acero actuando como encofrado) se toma en cuenta:
  - Peso del hormigón y de la chapa de acero.
  - Cargas de ejecución (operarios, equipos de hormigonado).
  - Cargas de acopios,
  - Efecto de embalsamiento (aumento del espesor de hormigón debido a la flecha de la chapa).
- Se fijan los requisitos para la comprobación de chapas de acero nervadas como encofrado así como para las de losas mixtas. Para el último caso se establecen los estados límites de rotura:
  - Sección crítica I: flexión.
  - Sección crítica II: esfuerzo rasante.
  - Sección crítica III: cortante vertical y punzonamiento.

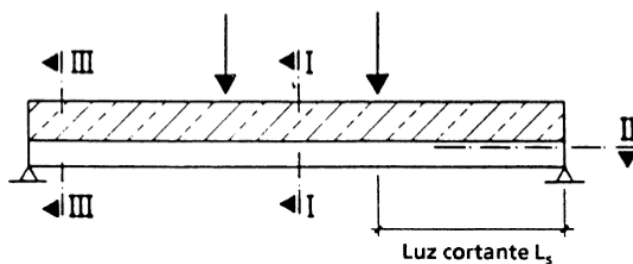


Figura 16 – Posibles secciones críticas

## Capítulo 8 - Forjados de edificación con losas prefabricadas de hormigón

No se describe en este trabajo ya que no trata el objeto de estudio.

## Capítulo 9 - Ejecución

Es significativo ya que alude a la ejecución, que en este tipo de sistema es de especial cuidado. Se definen las exigencias mínimas para asegurar que las hipótesis de cálculo se cumplan, así como los niveles deseados de seguridad.

- Se establecen los requisitos de la secuencia de construcción, estabilidad (asegurando la estabilidad del acero), grado de precisión durante la construcción y control de calidad (flecha estática durante y después del hormigonado, compactación del hormigón, conexión en vigas y pilares).
- Con respecto a las losas mixtas con chapas de acero nervadas, se destaca la importancia de la sujeción de las chapas (cuando actúan como encofrado), la limpieza de la chapa previa al hormigonado, la importancia de no sobrepasar en la obra los valores de cargas considerados en el cálculo.
- También se incluyen recomendaciones para el momento del soldado de los pernos conectores.

## Capítulo 10 - Proyecto asistido por ensayos

Puntualiza al proyecto asistido por ensayos. Cuando el proyecto se basa en un modelo experimental se debe comprobar su comportamiento a través de ensayos.

Se indica: disposición del ensayo, procedimiento de aplicación de la carga, preparación de probetas, procedimientos y evaluación del ensayo.

Los ensayos abarcan a los conectadores y a los forjados mixtos.

## USOS

### *Razones de utilización*

#### Etapa de obra

- Racionalización y planificación de los trabajos de construcción.
- Ahorro en encofrados ya que se pueden utilizar las chapas para el acopio y montaje de materiales.
- Montaje rápido.
- Mínimo apuntalamiento.
- Área de almacenaje reducida.
- Fácil organización de obra.
- Plazos reducidos para la ejecución de las estructuras.
- Reducción de costos (plazo, encofrado, apuntalamiento).

#### Edificación nueva

- Sobrecargas importantes
- Eficiencia estructural y competitividad económica.
- Limitaciones en los espesores de las losas.
- Necesidad de flexibilidad en la edificación y en la distribución de las instalaciones y servicios (oficinas, por ejemplo).
- Construcción de edificios en altura, ya que se puede acelerar el proceso constructivo de la estructura sin necesidad de hormigonar todos los pisos, ya que se cuenta con la capacidad de arriostramiento de la propia chapa.

#### Reformas

- Refuerzo de estructura existente.
- Generación de nueva estructura afectando mínimamente la actual.
- Mayor ligereza (peso menor de los elementos).
- Necesidad de un montaje rápido y prefabricación en taller (si la edificación a reformar se mantiene en uso).

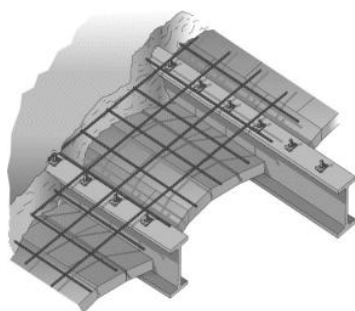


Figura 17 - Rehabilitación de forjados

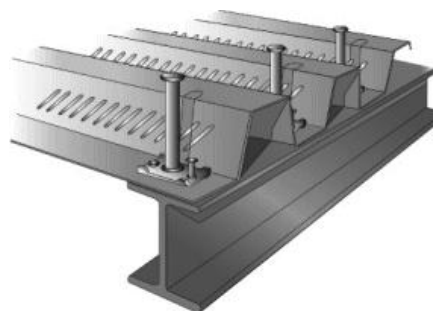


Figura 18 - Nuevas estructuras

## Ejemplos<sup>4</sup>

### Obras civiles

- Puentes
- Viaductos
- Pasarelas



Figura 19 - Ejemplo pasarela

### Edificación

- Estacionamientos
- Edificios industriales
- Comercios, oficinas, almacenes
- Hospitales
- Viviendas
- Hoteles



Figura 20 - Parking Dez, Innsbruck

<sup>4</sup> Ejemplos extraídos de [9], [19] y [22]

## PRESENTACIÓN DE CASOS

A continuación se estudiarán los ejemplos del medio en relación a la aplicación específica de este sistema estructural. Se realizará un compendio de lo señalado por los técnicos actuantes para efectuar conclusiones sobre los resultados obtenidos y proceder a comparar los tres ejemplos analizados.

En nuestro contexto la aplicación de este sistema no es común debido a una cuestión de costos. Los casos encontrados refieren a edificios singulares:

- **Arapey Thermal Resort**, ubicado en el Departamento de Salto, destinado a un emprendimiento hotelero termal.
- **Complejo Torre de las Telecomunicaciones**, situado en el barrio Aguada del Departamento de Montevideo, sede de la compañía estatal de Telecomunicaciones ANTEL.
- **Remodelación del Teatro Solís**, emplazado en la Ciudad Vieja de Montevideo, Monumento Histórico Nacional, constituye el principal escenario artístico de la ciudad.

### *Arapey Thermal Resort*

Este proyecto se desarrolla longitudinalmente y se compone de cinco bloques separados entre sí por cuatro núcleos de circulación vertical. Cada bloque está conformado por la repetición de un módulo. El conjunto es simétrico y cuenta con cuatro pisos más subsuelo. El complejo cuenta con doscientas dos habitaciones, tres restaurantes, dos bares y seis salones para convenciones y eventos.



Figura 21 – Fachada principal



Figura 22 – Fachada posterior

En este proyecto el sistema estructural está resuelto con pantallas de hormigón fundadas sobre roca a través de pequeñas bases de hormigón. El sistema mixto utilizado comprende a las losas de 15 cm de espesor conformadas por placas de acero colaborante. Las mismas se apoyan directamente sobre las pantallas por lo que el concepto de viga mixta no fue aplicado.

Las pantallas constituyen los muros divisorios de las habitaciones. Los muros interiores que conforman los baños así como la división entre el pasillo y las habitaciones son de yeso.

Los pretilos, dinteles y antepechos también se prefabricaron.

Los techos del hotel están resueltos con steel framing, sistema constructivo formado por un entramado de perfiles obtenidos por el conformado de chapas laminadas en frío galvanizadas. Sobre dicha estructura metálica se colocaron las tejas asfálticas.

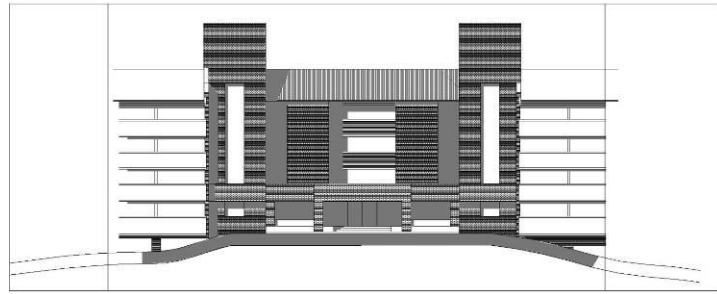


Figura 23 – Fachada

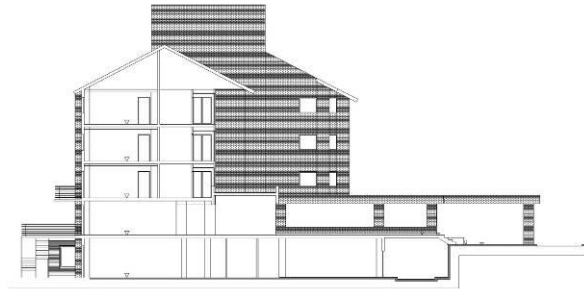


Figura 24 - Corte

### Razón de uso – condicionantes que determinaron la elección de este sistema estructural

En este proyecto en particular la decisión de elegir este sistema estructural fue un desarrollo en conjunto entre el estudio proyectista y la empresa constructora.

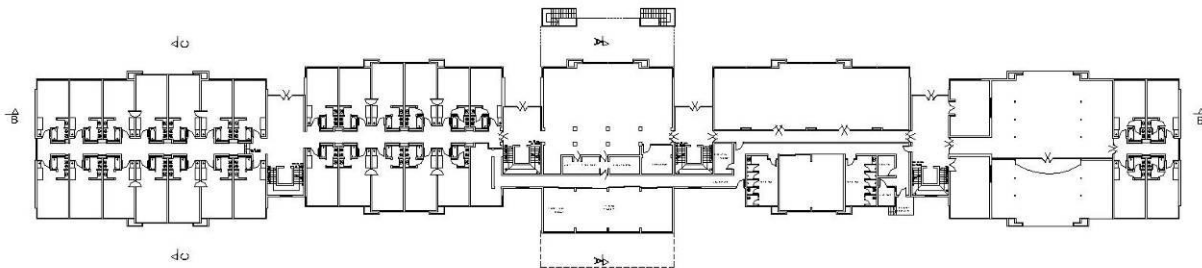


Figura 25 - Plano albañilería Planta Baja

Dos razones fundamentales fueron las que determinaron la utilización de este sistema. Por un lado la modulación del proyecto generada por la propia distribución de las habitaciones, propició la elección de un sistema estructural estandarizado, modulado. La otra determinante fue estrictamente económica. En el momento en que se realizó la obra, la relación entre el dólar y el precio del acero hacía que la solución fuese conveniente.

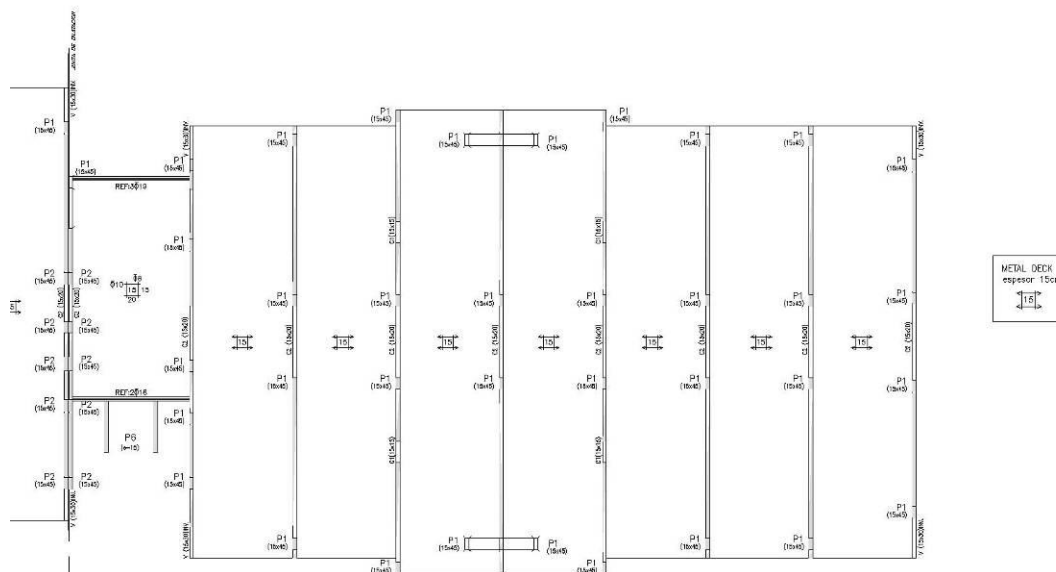


Figura 26 – Plano de estructura de un sector (I100)

Es importante señalar que el proyecto se ajustó al rendimiento del flete marítimo, ya que las chapas se importaron a través de contenedores. Las dimensiones de las habitaciones se adecuaron, definiendo un módulo de 3.95 m.

### Característica de los materiales empleados

Las chapas que conformaron el steel deck así como la perfilería de apoyo, fueron suministradas por la Empresa uruguaya Berkes, quien importó las mismas de Estados Unidos y se encargó del montaje. Se incorporaron 11.000 m<sup>2</sup> de steel deck para esta obra.

La elección de la chapa estuvo a cargo de esta empresa, quien incorporó parte de la ingeniería de la obra. El estudio de los ingenieros Ham y Piña solicitó el suministro para que cumplieran determinados requerimientos de peso propio + sobrecarga (para la sobrecarga se consideraron 300 Kg/m<sup>2</sup>).

Con respecto a la normativa utilizada, se basaron en las especificaciones norteamericanas, ya que la chapa provenía de Estados Unidos. El método de cálculo se basó en el diseño de tensiones admisibles debido a que la carga era mayoritariamente estática y no dinámica (como podría ser en el caso de un puente, por ejemplo).

Los conectores utilizados, que resuelven la unión entre la chapa y las pantallas de hormigón, fueron de producción nacional y consistían en perfiles angulares de acero. En el croquis que sigue a continuación, realizado por el Ing. Santiago Ham, se detalla el encuentro de las pantallas con la chapa. En el corte aparece la pantalla de hormigón, con los hierros que seguían hacia el nivel superior (esperas), también se indican los dos perfiles angulares (que se colocaban uno de cada lado), soldados con un estribo. Sobre los mismos apoyaba la chapa. Se realizaba el llenado de las pantallas de hormigón y luego toda la pieza se consolidaba con el llenado del steel deck.

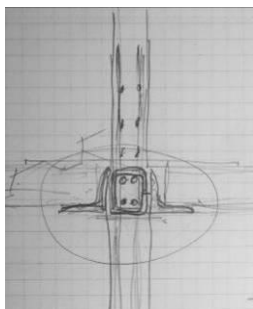


Figura 27 – Croquis detalle del encuentro pantalla y steel deck



Figura 28 – Fotografías del encuentro pantalla y steel deck

La solución de este detalle se desarrolló en conjunto con la empresa Berkes, ya que no se podían interrumpir las pantallas para realizar el apoyo del steel deck.

Con respecto al tipo de hormigón utilizado, el mismo fue C20 ( $f_{ck} = 200\text{Kg/cm}^2$ ).

### Puesta en obra

La puesta en obra de las chapas estaba a cargo del importador y representante del producto (empresa Berkes) que contaba con técnicos residentes en la obra. Los controles de recepción de los materiales fueron realizados por la empresa constructora Cayetano Carcavallo S.A.



Figura 29 – Fotografía de la obra

No hubo mayores dificultades en la puesta en obra. La colocación de las chapas fue muy sencilla ya que las hojas eran muy livianas. Sin embargo uno de los inconvenientes que se suscitó durante la puesta en obra fue durante el llenado y curado del hormigón. La obra se realizó en un período caluroso, con mucho viento en la zona. Luego del llenado y durante la aplicación de la regla niveladora (se necesitaba que la superficie de hormigón quedara lisa) el hormigón ya había fraguado y se generaban microfisuraciones instantáneas en la cara superior. Las mismas no eran de entidad ni perjudiciales para el comportamiento estructural de las losas. Hubiera sido conveniente que el llenado se realizara de noche.

Se contaba sólo con dos líneas de apuntalamiento, lo que significaba un gran ahorro en ese sentido.





Figura 30 - Detalle del apuntalamiento

Otro tema que afectó la puesta en obra fue la instalación sanitaria. Como el programa era un hotel se decidió realizar la sanitaria suspendida. Para esto estaba previsto dejar pequeños huecos en las losas para alojar los caños. Durante el proceso de obra se decidió que era mejor realizar las losas sin huecos y luego efectuar pequeñas perforaciones con una máquina sacabocados. Las perforaciones eran de 120 o 160 mm de diámetro, lo indispensable para permitir el pasaje de la sanitaria. Dichos huecos no generaron ningún inconveniente durante la ejecución ni desde el punto de vista estructural.

### **Plazos de ejecución**

Si bien la financiación de la obra fue lenta y se trabajó a diferentes ritmos, la utilización de este sistema estructural determinó que los plazos de ejecución se cumplieran holgadamente. El montaje de la estructura metálica y la fase de hormigonado se ejecutaron rápidamente, la estructura de hormigón estaba levantada en cuatro meses.

En comparación llevó mucho más tiempo el sector de servicios, conformado por techos de madera vistos y luces importantes.

### **Protecciones acústicas**

Debido a que el espesor de las losas es de 15 cm, la propia masa de hormigón oficia de barrera acústica. Asimismo, como los muros divisorios entre habitaciones son de hormigón no hubo mayores inconvenientes sobre este asunto.

### **Previsiones para la seguridad de la estructura frente al fuego**

No se aplicó ninguna protección especial a la estructura frente al fuego. Las previsiones que se tomaron fueron en relación a los paneles de yeso utilizados, que son ignífugos y al sistema de extinción adoptado consistente en hidrantes y extintores.

### **Ventajas e inconvenientes de su aplicación específica**

La mayor ventaja fue la rapidez del sistema ya que en pocos días se hacían una cantidad importante de módulos de hormigón y se iba avanzando por tramos.

Los técnicos actuantes consideran que la durabilidad del sistema es buena, similar a la construcción tradicional.

No se encontraron inconvenientes sobre la utilización de este sistema estructural, sólo elementos a favor.

El único impedimento para utilizar el sistema hoy en día sería el económico debido al alto costo de los materiales.

## Resultado final

La aplicación de este sistema estructural en el ejemplo estudiado fue exitosa e innovadora en el contexto uruguayo.

Hoy no es conveniente ya que el acero está muy caro. En este momento, el mismo proyecto se resolvería mejor con elementos prefabricados de hormigón. El hormigón en el Uruguay es más barato que el acero, ya que somos productores de portland y el pedregullo y la arena son materiales que se encuentran en nuestro medio, en cambio el acero se importado. Tanto en el sistema mixto de losas conformadas con chapas colaborantes como en el sistema prefabricado los costos de encofrados se ven disminuidos en relación al sistema tradicional.

Hay una ecuación económica que en definitiva determina una solución estructural y constructiva. En esa ecuación influye tanto la calificación del personal y la industrialización de la obra.

Desde el punto de vista constructivo el sistema no presenta dificultades. Se necesita un equipo de trabajo coordinado entre los técnicos responsables del proyecto, ya que, como es un sistema nuevo en nuestro país y no se cuenta con demasiada experiencia, se deben resolver detalles y situaciones no previstas en el proyecto original y que deben ajustarse. También se destaca que se debe contar con mano de obra especializada para llevar a cabo el montaje de la estructura metálica.

Con respecto al resultado formal se puede observar que la utilización del steel deck condicionó las dimensiones de las habitaciones, ya que como se mencionó anteriormente, la importación en contenedores determinó la medida óptima que favorecía la ecuación económica. De todas formas el resultado formal no se vio afectado ya que exteriormente no se distingue la solución estructural adoptada, más bien parece ser una construcción tradicional ya que se optó por revestir todo el complejo hotelero con ladrillo.

## Complejo Torre de las Telecomunicaciones

El Proyecto se compone de una torre de 160 metros y cinco edificios de menor altura. Entre ellos se conforman espacios y plazas de uso público.

La estructura del edificio principal se basa en un núcleo central asimétrico de hormigón armado, al que rodea un entramado de pilares y vigas metálicas. Dicho núcleo es quien aporta la principal rigidez de la torre.

Sobre éste se apoyan las losas de hormigón de los pisos que trasladan los esfuerzos del viento al núcleo central.

Este núcleo y los pilares metálicos descansan sobre un gran cabezal de hormigón armado de 4,5 metros de profundidad, que a su vez se apoya sobre 40 grandes pilotes que llegan hasta la roca, a 23 metros más de profundidad.

El entramado perimetral de pilares y vigas metálicas es cerrado en todo su perímetro por un muro cortina formado por paneles de cristal de seguridad alternados con placas aislantes recubiertas de aluminio sobre una perfiles de aluminio.[24]

Hay además un edificio para la atención de los usuarios, un área de servicios donde funciona una guardería, un anfiteatro y un parking para más de 350 vehículos.

El sistema mixto de vigas metálicas y steel deck se utilizó en todo el complejo.

El edificio de estacionamientos es el único que es totalmente metálico con losas colaborantes.



Figura 31- Corte de la Torre

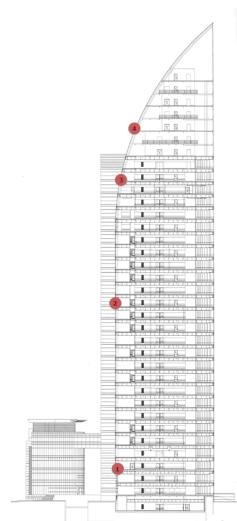


Figura 32 – Complejo Torre de las Telecomunicaciones

### Razón de uso – condicionantes que determinaron la elección de este sistema estructural

En un edificio de estas características, en altura y en los plazos que se quería realizar, la solución de estructura mixta era ideal tanto desde el punto de vista económico como a nivel de plazos de ejecución.

El desafío de los plazos críticos condicionó los partidos de diseño. En un principio estaba previsto que la obra se ejecutará en dieciocho meses, a partir de ese dato de partida se tomaron las decisiones.

No hay una solución en hormigón armado para un edificio de 160 metros de altura, se debía implementar una solución de estructura metálica. El sistema mixto a su vez era ideal ya que la relación de las cuantías y resistencia – peso es muy favorable.

### Característica de los materiales empleados

El proyecto de la estructura metálica estuvo a cargo de la Empresa española URSSA, S. COOP. dedicada a las construcciones metálicas. Allí en Vitoria se prefabricó toda la estructura metálica. A través de una ingeniería avanzada que utiliza una metodología de cálculo, diseño y fabricación, asistido por ordenador, se realiza la ingeniería básica y de detalle del proyecto (diseño, cálculos estáticos y cálculos de uniones) y la ingeniería de producción (planos de taller y de montaje, listas de materiales). [26]

Los controles de calidad estaban a cargo de la dirección de obra, estudio del Arq. Carlos Ott, representado por el Arq. Edgar Baruzze. Se realizaron visitas a la fábrica española para controlar la producción.

Cada nivel de losa de todos los edificios del complejo está construido con steel deck, sobre éste hay una malla de acero. Los conectores que resuelven la unión entre el deck metálico y las vigas son de 1" de diámetro y 40 mm la cabeza.

Las vigas, realizadas a través de láminas, ya venían dimensionadas y sólo había que atornillarlas en obra. El sistema es abulonado. Las vigas soldadas, fabricadas en doble T, tenían en los extremos platinas con los agujeros para pasar los bulones y atornillarla a las columnas. A su vez, las columnas venían con los agujeros prontos para recibir a las vigas.



Figura 33 – Detalle de abulonado

En esta obra se utilizaron 20.000 m<sup>2</sup> de steel deck. La elección de la chapa también estuvo a cargo de la empresa española. El espesor de la chapa utilizada es de 3.2 mm



Figura 34 - Acopio de materiales en la obra

La estructura del edificio inicialmente se calculó toda con normativa norteamericana porque dentro del consorcio encargado de la construcción estaba la Empresa estadounidense American Bridge.

Este primer cálculo estuvo a cargo del estudio del Ing. Marcelo Sassón. Se realizó un prediseño de la estructura metálica para iniciar el llamado a licitación.

Por motivos comerciales, cuando el Consorcio Roggio-Stiler-American Bridge emprende la compra de la estructura metálica, los mejores precios que recibe son de Europa. Debido a una diferencia entre los perfiles europeos y los americanos se realizaron determinados cambios de sección. En definitiva se colocaron más toneladas de acero no por un motivo técnico sino por una

razón comercial. A pesar de que se utilizó más acero la compra resultó más favorable desde el punto de vista económico.

Fue responsabilidad de la empresa constructora convertir ese prediseño de la estructura metálica en un diseño constructivo. Participaron ingenieros argentinos en dicho proceso.

Se utilizó hormigón de calidad H38 (380kg/cm<sup>2</sup>).

### Puesta en obra

El montaje de la estructura metálica también estuvo a cargo de la Empresa URSSA.

Si bien la responsabilidad del cálculo de la estructura metálica estaba a cargo del propio Consorcio ya que era una obra llave en mano, el estudio calculista del Ing. Marcelo Sassón, como representante del comitente lo debía aprobar, por lo que se realizaban visitas permanentes a la obra para realizar los controles de calidad. Se realizaron ensayos para una sobrecarga de 400 Kg/m<sup>2</sup>.



Figura 35 – Prueba de carga

El proceso constructivo de la torre estaba organizado como un encadenamiento de tareas. El núcleo de hormigón iba varios pisos más arriba que la estructura metálica, la estructura metálica a su vez iba tres pisos delante de la colocación de las chapas, el deck iba dos niveles por encima del colado del hormigón de las losas.



Figura 36 – Construcción del núcleo de hormigón



Figura 37 – Construcción de la estructura metálica

Cada piso se resolvía en forma muy rápida. Se presentaban las columnas, se aseguraba la nivelación y verticalidad de las mismas, se colocaban las vigas transversales sin apretarlas. Luego se ajustan con un equipo atornillador neumático que ya le da la tensión que tiene que tener exactamente el bulón y corta cuando llega al torque requerido. La velocidad de fabricación era muy importante, en un día estaba armada la estructura metálica de un piso. En caso de haber un desencuentro, se utilizaba la autógena, se cortaba y se resolvía de forma muy expeditiva.

El equipo para soldar los conectores que vinculan las vigas metálicas con el steel deck era de origen español, estaba alimentado por un generador local. Los conectores eran soldados por inducción a través de una pistola de electroimán. Antes del colado del hormigón se hacía una inspección visual de la soldadura.

La colocación del steel deck fue un trabajo muy sencillo. Luego de armado el mismo con las vigas y conectores se procedía al colado del concreto.



Figura 38 – Montaje del Steel deck en la Torre



Figura 39 – Montaje del steel deck en el Edificio de Usuarios

Durante el llenado del hormigón hubo necesidad de apuntalamiento. Para ello se utilizaron vigas prefabricadas apuntaladas con andamio metálico regulado con tornillo, cada 2-3 metros.

Para el llenado del hormigón se utilizó un camión bomba. Se tenía especial cuidado al extender los brazos del mismo debido a la altura de la construcción. Para el curado del hormigón se utilizaron mantas húmedas.



Figura 40 – Proceso de hormigonado

### Plazos de ejecución

Hubo problemas con el cumplimiento de los plazos de ejecución pero que se atribuyen a la ejecución del núcleo de hormigón y no al montaje de la estructura metálica. La construcción del núcleo de hormigón siempre estuvo en el camino crítico. La ejecución de la estructura metálica nunca fue una tarea crítica.

La salida en las fundaciones estuvo demorada ya que los cateos indicaban que la roca estaba a 20 metros, cuando en realidad estaba a 30 metros. La estructura de hormigón fue realizada con un encofrado trepante marca Peri, procedente de Alemania. Este sistema incluye el molde del hormigón y la plataforma de trabajo, y se cuelga del propio hormigón del núcleo. En la construcción del núcleo se avanzó a un ritmo de cuatro días de trabajo por piso. [21]



Figura 41 – Fundación de la Torre

En relación a la estructura metálica los atrasos se generaron en las negociaciones, pedido de precios y compra.

Cabe destacar que la empresa URSSA asignó ocho personas especializadas para el montaje de la estructura metálica. La empresa uruguaya encargada del gerenciamiento de la obra CSI Ingenieros, por desconocimiento de este tipo de estructuras reclamaba más personal en la obra. Sin embargo con sólo ocho personas se avanzó rápidamente ya que tenían un rendimiento importante.

### Protecciones acústicas

Como protección acústica se utilizó lana mineral termoacústica de 130 Kg/m<sup>3</sup> de densidad.

### Previsiones para la seguridad de la estructura frente al fuego

Se realizó un tratamiento ignifugado a toda la estructura metálica (chapa, vigas y pilares) a través del gunitado, proyección a pistola de un material cementicio (no asbesto, no cancerígeno) que proporciona dos horas de protección (lo necesario para la evacuación de toda la torre). Dicho material fue fabricado por una empresa estadounidense y venía en bolsas de 50 Kg.

Hubo dificultades en relación a la aplicación de dicho material. En un principio lo realizó una empresa local, pero no se lograba la consistencia requerida para la proyección del material (si es muy líquida el material se cae, si es muy sólida no se adhiere correctamente). En consecuencia se contrató a una empresa brasilera que se encargó de la proyección del material. Se trajo la maquinaria adecuada de Brasil.

A su vez hay un sistema de detección de incendio y rociadores automáticos para la extinción.

### **Ventajas e inconvenientes de su aplicación específica**

Las mayores ventajas refieren a la rapidez de ejecución y a la liviandad del sistema. En comparación con la construcción tradicional, se reduce peso y tiempos de ejecución.

No hubo inconvenientes de ejecución de la estructura metálica en sí. Las dificultades encontradas se atribuyen a otros factores.

Por ejemplo, uno de los inconvenientes que surgió fue el pasaje de normas americanas a normas europeas, se tuvo que realizar un recálculo de la estructura lo que generó un retraso en la obra.

Otro elemento complejo fue la propia logística de la obra. La fábrica estaba en Europa y se debían organizar correctamente los embarques. Con procedimientos tradicionales se cuenta con todos los insumos en plaza. En este caso todos los componentes eran importados, lo que significaba tener la logística de la obra muy bien organizada de forma de llevar a la práctica las economías y las ganancias en tiempo. Recibir los embarques, sacarlos del puerto, no tener problemas en la aduana, prever un lugar para estibar los materiales que llegan. Los componentes deben llegar en el momento que se precisan, si no se generan problemas y la obra se atrasa.

En la obra y fuera de la misma había depósitos del contratista para acopiar los materiales. Se contaba con personal para clasificar los elementos ya que la identificación de los materiales en obras de esta escala es fundamental.

Se necesita mano de obra de buena calidad y experimentada en este tipo de estructuras.

Debido a la magnitud de la obra era necesario realizar un seguimiento de la obra. Para ello se optó por realizar un gerenciamiento de la misma a través de un Consorcio entre CSi Ingenieros y una empresa brasilera. Esto permitió organizar y documentar la obra, llevar un seguimiento de todas las etapas y evaluar el cumplimiento de los objetivos planteados.

Se considera que la durabilidad del sistema es similar a la de la construcción tradicional. La estructura metálica está recubierta lo que asegura una mayor durabilidad de la misma. Los pilares tienen un revestimiento de granito. Se destaca la necesidad de mantenimiento de otros elementos del edificio, como el muro cortina.

### **Resultado final**

Si bien la obra no se llevó a cabo en los plazos previstos inicialmente, la obra fue culminada. Los atrasos en la misma no fueron generados por la ejecución de la estructura metálica sino por otros motivos como la construcción del núcleo de hormigón, factores asociados a la adjudicación del proyecto durante el proceso licitatorio, dificultades con algunos subcontratos, problemas económicos.

Desde el punto de vista constructivo no se presentaron mayores dificultades en el montaje de la estructura metálica. La organización de la logística que debía llevarse a cabo por la importación de los componentes fue fundamental. La mano de obra era especializada y muy experimentada en este tipo de estructuras por lo que se ejecutó rápidamente.

Desde el punto de vista formal, el deck metálico no quedó a la vista. Debajo del deck hay un cielorraso técnico metálico perforado, con estructura oculta. Entre el cielorraso y el deck metálico se canalizan las instalaciones de aire acondicionado, eléctricas, y sistema de extinción de incendio.





Figura 42 – Montaje del cielorraso

Todas las oficinas cuentan con un piso sobreelevado de 15 cm de espesor con cerámica de 60 x 60 cm de sulfato de calcio y terminación porcelanato o granito de procedencia italiana. Por allí circulan los cables de control y algunas bandejas de eléctrica.



Figura 43 – Piso sobreelevado

Este proyecto fue un hito en la ingeniería estructural nacional. El diseño de una estructura metálica de esa envergadura así como la implementación del sistema mixto constituyeron algo nuevo para nuestro ámbito. La solución estructural propuesta fue acertada, hubo una concepción tecnológica avanzada.



Figura 44 – Resultado formal

## Remodelación del Teatro Solís

En junio de 2002 comenzó la recuperación del Cañón Central del Teatro. Esto implicó la realización de importantes obras de estructura metálica y de hormigón armado, además de los trabajos de albañilería, acondicionamiento térmico, sanitario y eléctrico, de instalaciones especiales y protecciones y alarmas contra incendio, junto con las operaciones accesorias que son usuales en obras de esta naturaleza en esta época. [17]

Se realizaron obras de adaptación y consolidación de la estructura existente, obras nuevas en los sectores de la Torre Escénica y en las alas laterales.

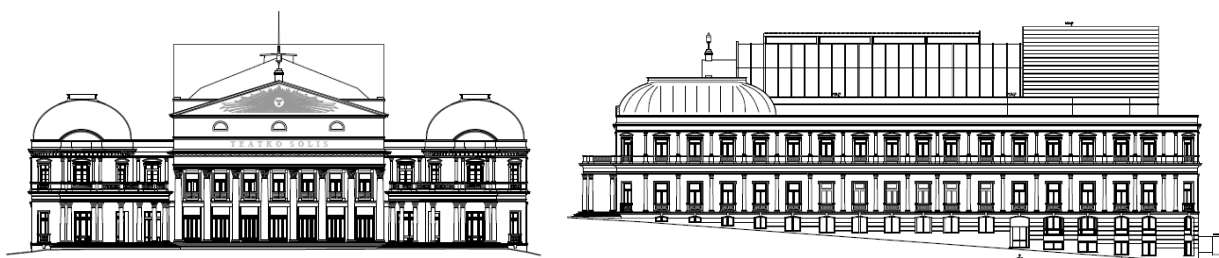


Figura 45 – Fachadas

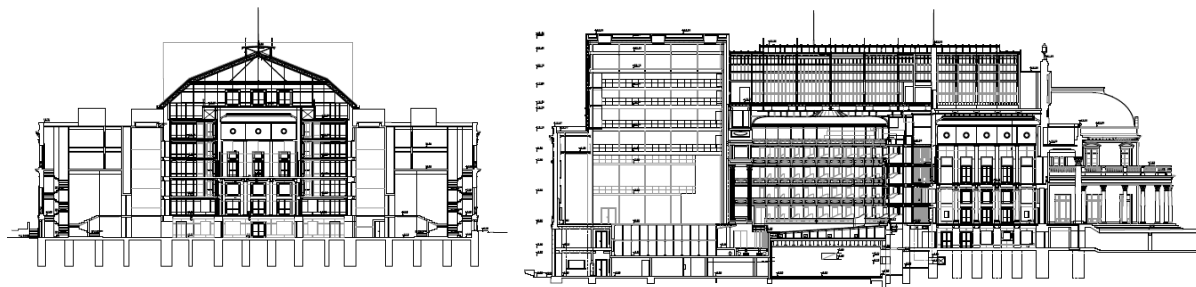


Figura 46 – Corte transversal

Figura 47 – Corte longitudinal

### Sala de máquinas enterrada

Por debajo del patio de butacas existente en la platea se excavó y submuró para conformar la sala de máquinas de climatización de la sala. Como techo de este local técnico se construyó una losa con 14 perfiles de acero doble T armado con una longitud promedio de 13,5 metros y una separación de 1,06 metros. La superficie total de esa losa es de 220 m<sup>2</sup>.

Sobre las chapas de steel-deck ubicadas sobre esas vigas se construyó una losa de 25 cm de espesor de hormigón. [17]

### Plafond

Por encima de la cúpula decorativa de madera de la sala del teatro (que contiene pinturas declaradas patrimonio cultural uruguayo); y para cumplir a la vez la función de sala de pinturas y como aislante acústico de los ruidos exteriores, se construye una losa de 20 cm de espesor y unos 720 m<sup>2</sup> de superficie total a un nivel de +15,30 metros.

Antes de la restauración había un techo metálico, se optó por quitar el mismo y realizar esta losa.

Uno de los problemas más complejos en el operativo de la obra era el montaje de la estructura metálica destinada a soportar esta losa.

A través de agujeros realizados en la pared lateral del teatro, por encima del nivel de la cúpula de madera, se introducen las vigas metálicas con la ayuda de una grúa de 200 toneladas. [17]

Como las vigas de soporte de dicha losa eran muy grandes se realizaron nichos sobre los muros para apoyar las vigas a través de losas pequeñas de distribución de la carga.

La empresa constructora fue TEYMA Uruguay S.A. quien subcontrató a la industria metalúrgica argentina CMP Estructuras S.A. para la fabricación y montaje de la estructura metálica.

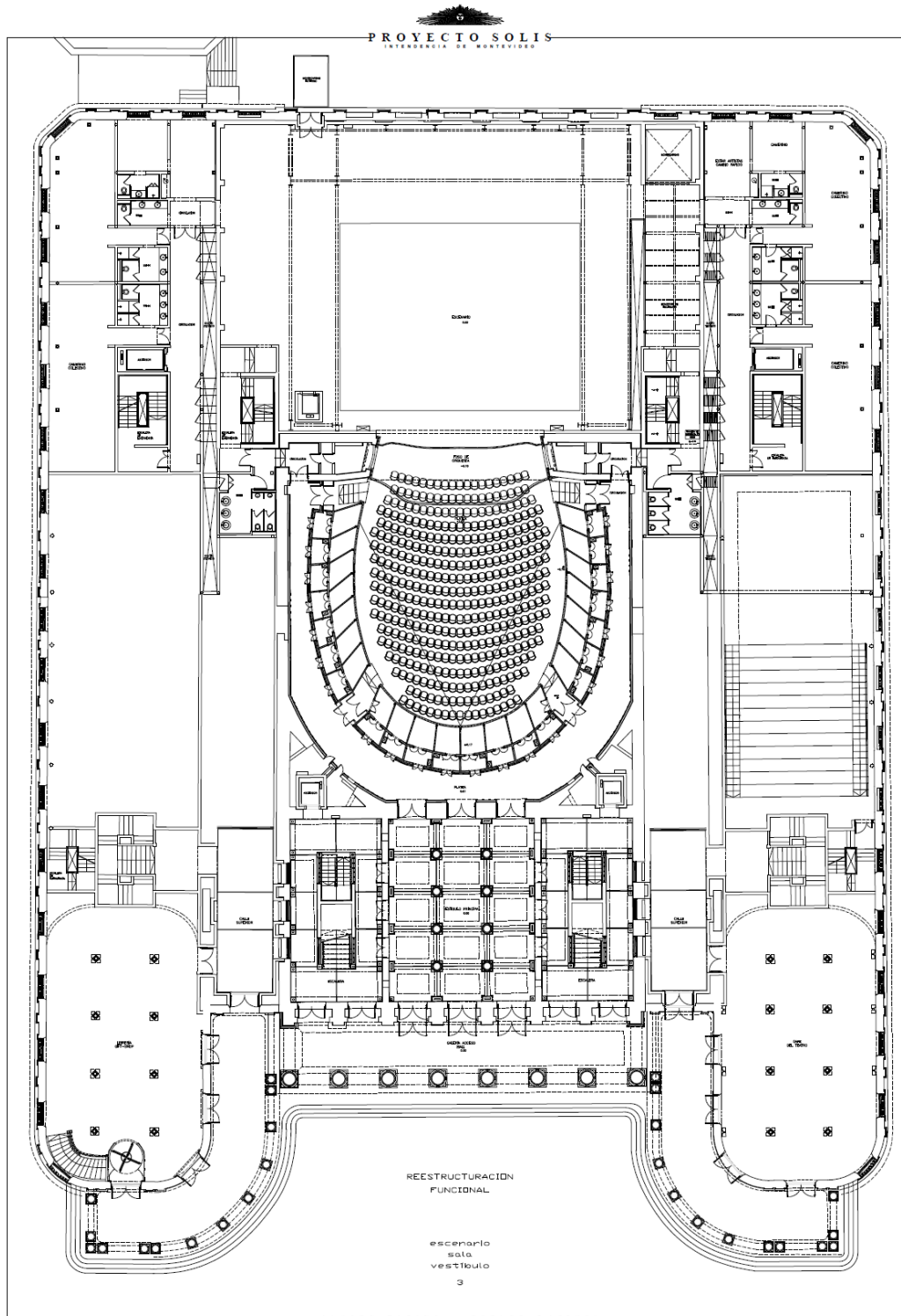


Figura 48 - Platea

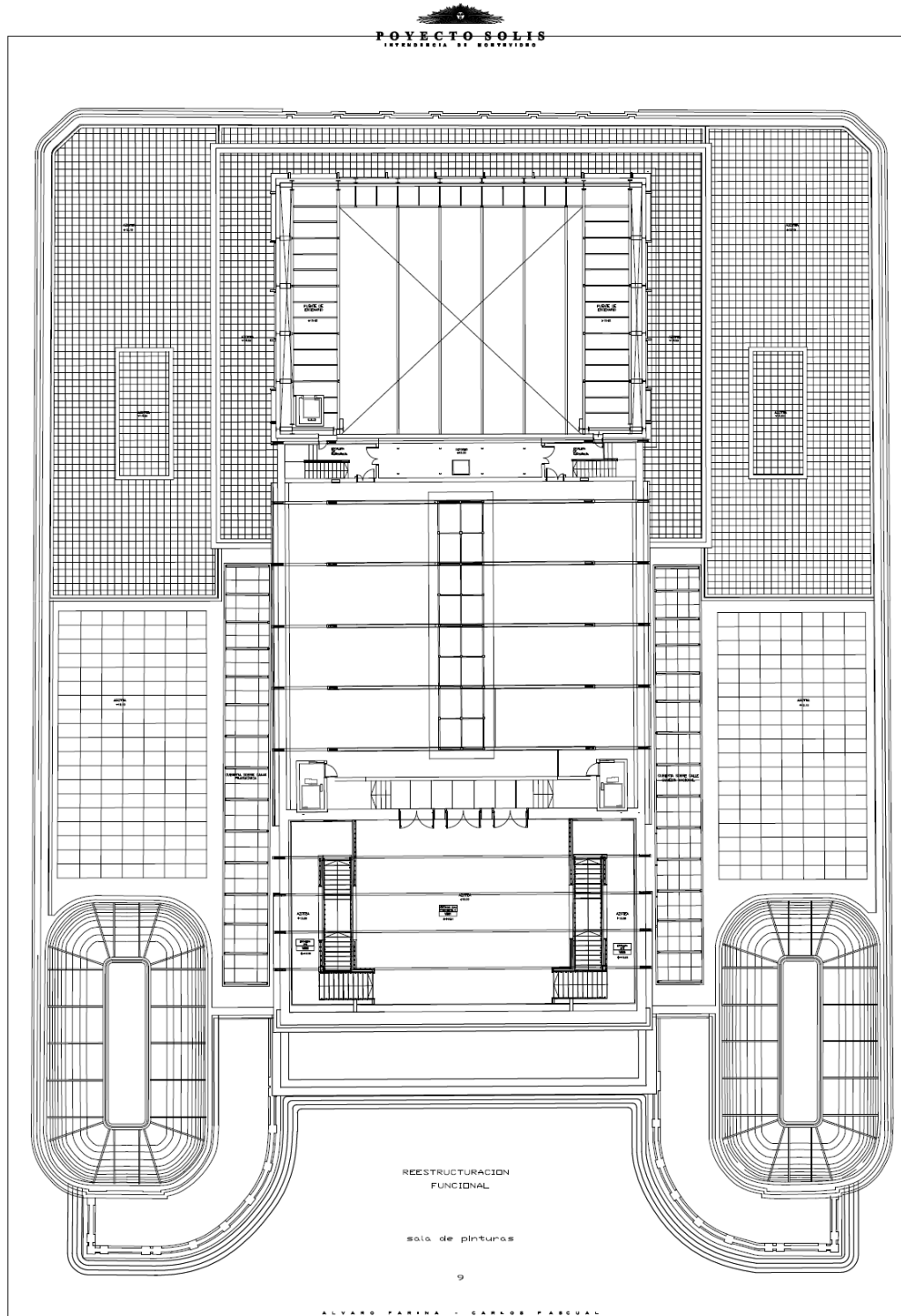


Figura 49 - Sala de pinturas (sobre plafond)

### Razón de uso – condicionantes que determinaron la elección de este sistema estructural

Este proyecto desde un principio estaba proyectado en steel deck. La razón de su uso se asoció a las ventajas propias del sistema:

- El funcionamiento como encofrado y a su vez la acción colaborante para el comportamiento resistente.

- Aquí se aplicó el concepto de viga mixta ya que la parte metálica del steel deck y las vigas están vinculadas al hormigón, no es una losa simplemente apoyada, es más económica porque se aprovechan al máximo las propiedades resistentes del acero y del hormigón.
- La rapidez de ejecución: se colocaban las vigas, se montaba el steel deck, se hormigonaba y al otro día ya se podía estar trabajando debajo (con encofrado tradicional esto no se podía realizar).
- Había una fecha límite de culminación de las obras de remodelación (25-08-2004) por lo que se necesitaba utilizar un sistema mucho más rápido que el tradicional.
- Otra razón muy importante fue el tema de trabajar en algo existente. La necesidad de que las tareas de restauración no se vieran interrumpidas ni afectadas por la construcción de las losas. Por ejemplo, la construcción de la losa ubicada sobre el plafond no debía afectar ni al plafond mismo ni a las tareas que se estaban realizando sobre él. Si se hubiera usado el sistema tradicional habría que haber sacado al plafond y hubiera sido muy complejo.

### Característica de los materiales empleados

Para el cálculo de la estructura metálica se utilizaron las Especificaciones AISC y la Norma DIN para la parte de hormigón. El método de cálculo se basó en el diseño de tensiones admisibles.

Para elegir la chapa se basaron en un catálogo de la Empresa metalúrgica I.M.S.A. de México. Con los requerimientos de cargas y luces el catálogo indicaba el tipo y espesor de chapa que se debía utilizar. Si bien la chapa que se utilizó no era de esta empresa los datos obtenidos valían para verificar el calibre del perfil que finalmente se iba a utilizar. El steel deck fue fabricado por una empresa argentina.

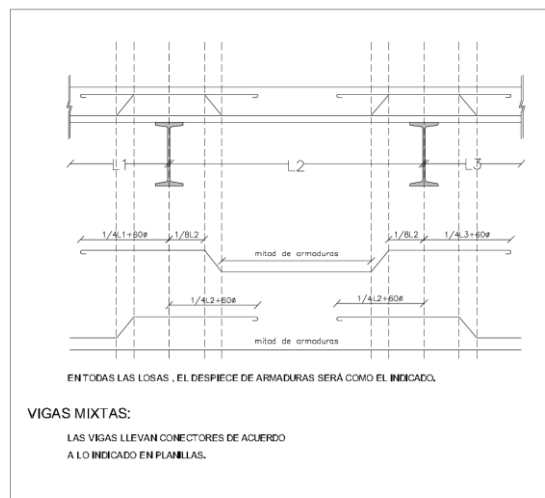


Figura 50 – Despiece de armaduras de las losas de la sala de pinturas

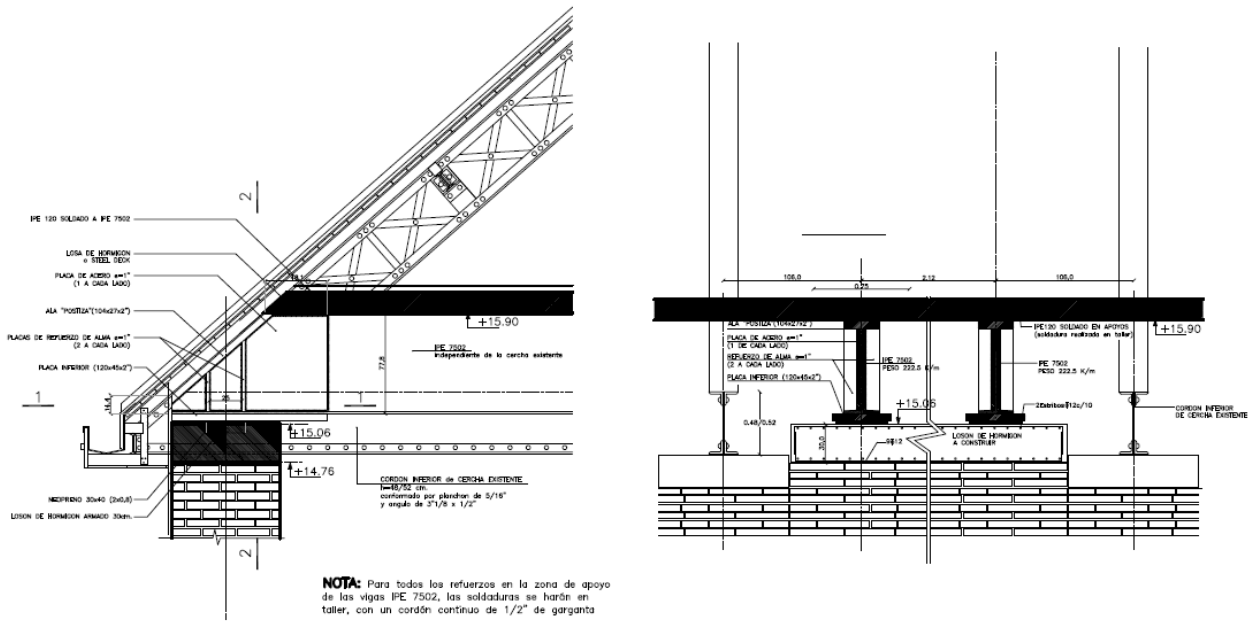


Figura 51 – Detalle steel deck sala de pinturas

Con respecto a los conectores utilizados se eligieron los pernos de cortante Nelson que se importaron de Estados Unidos. En las Especificaciones AISC, se indican la cantidad de conectores necesarios por metro de acuerdo al cálculo del cortante que hay en la viga. La empresa CMP estaba habituada a utilizar dichos conectores. Los mismos ya vienen normalizados, en este caso tenían 19 mm de diámetro.

Las vigas metálicas fueron fabricadas por la Empresa CMP. Se usó acero de producción argentina. A través de un programa se determinaban los cortes que se debían realizar a las chapas que conformaban estas vigas. Los cortes se realizaban con una laminadora para corte de chapa (herramienta por plasma con un soplete de alta temperatura). Luego se soldaban las chapas (ala inferior, alma y ala superior) con un mecanismo de soldadura automática continua que corría a través de la viga. Por último se galvanizaban en caliente y pintaban con pintura epoxi. Se traían en partes y se ensamblaban en la obra a través de chapas y bulones.

Con respecto al tipo de hormigón utilizado, el mismo fue C30 ( $f_{ck} = 300\text{Kg/cm}^2$ ).

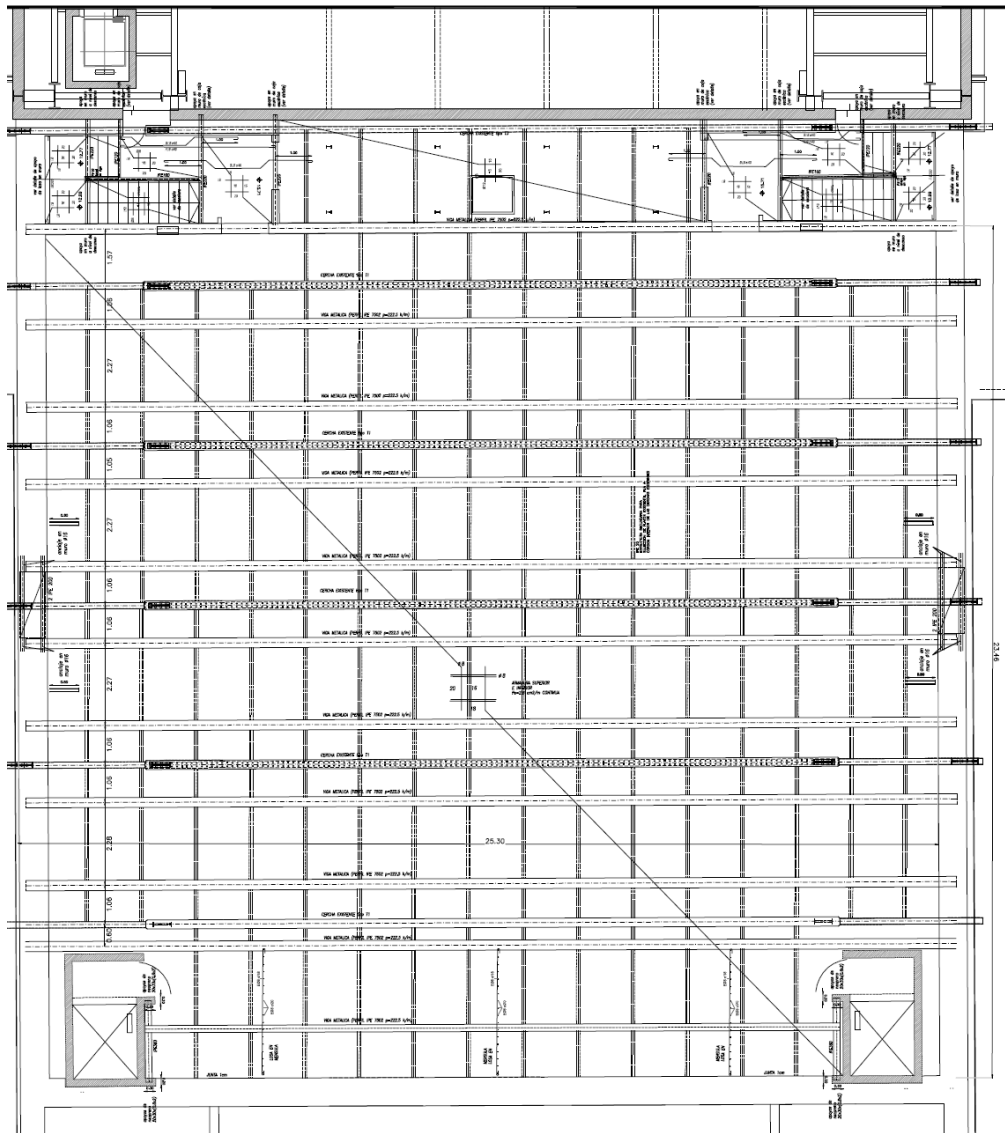


Figura 52 – Planta de estructura de la sala

### Puesta en obra

Si bien la puesta en obra no tuvo mayores dificultades, se contó con personal capacitado, maquinaria especial, el hormigonado se realizó cuidadosamente y los controles de calidad fueron exigentes

Por ejemplo, para realizar la soldadura de los conectores a la viga metálica se utilizó una máquina especial marca Nelson que permitía soldar los conectores con una soldadura normal eléctrica. Dicha máquina cuenta con receptáculo de cerámica en cual se pone el conector, se apoya en la viga y con una corriente muy alta funde el conector a una parte de la viga y queda todo contenido en la parte cerámica. Luego ésta se rompe y todo queda perfectamente soldado. Es un proceso estandarizado.



Figura 53 – Soldadura de conectores Nelson

Las chapas se deben atornillar o unir a las vigas. Se unen con unos clavos, que a través de herramientas que utilizan pólvora perforan la chapa y se incrustan en el acero.

Todos estos procedimientos requerían de personal especializado que vino de la empresa CMP para el montaje de toda la estructura metálica.

El trabajo de hormigonado fue realizado por la empresa Concesur. Se tenía especial cuidado durante el llenado de hormigón, ya que se debía realizar de manera prolija y controlada, logrando un espesor uniforme. No se puede formar una masa grande de hormigón, se debe repartir correctamente, para evitar abolladuras.



Figura 54 - Proceso de hormigonado losa de sala de máquinas

Con respecto al curado y para evitar fisuras de retracción, se tapaba la losa con nylon de manera de mantener húmedo el hormigón y que fraguará lo más lentamente posible. En este tipo de encofrado esto es muy importante ya que en la cara superior el agua se evapora rápidamente y contra la chapa la losa casi no pierde humedad en comparación con un encofrado de madera. Una ventaja en relación a este tema era que todas las losas se encontraban bajo techo, por lo que el viento no afectó el curado.

Los manuales indican la necesidad de apuntalamiento dependiendo de las luces, el tipo de chapa y el espesor del hormigón. En este caso se colocaron sólo puntales metálicos intermedios.

Los controles de calidad fueron efectuados por personal de la Unidad Ejecutora y cuatro sobrestantes de la I.M.M. En cuatro oportunidades se viajó a Argentina para controlar los procesos de fabricación de CMP.

Se realizaron controles de recepción de las chapas. Se verificaba que fuera el tipo y espesor de perfil elegido.

También se controlaron algunas soldaduras especiales a través de radiografías con rayos gamma. Se verificaban las dimensiones y que no hubiera poros ni huecos en el cordón de soldadura. Las mismas fueron llevadas a cabo por un equipo de la Armada Nacional, mientras el personal de la obra estaba almorzando.

En cuanto al hormigón los sobrestantes realizaban probetas de todos los camiones de concreto de CONCESUR y luego se rompían para verificar la resistencia del hormigón.



## Plazos de ejecución

Los plazos de ejecución se cumplieron y el teatro se inauguró en la fecha prevista.

La puesta en obra de la losa de la sala de máquinas se concluyó en plazos muy rápidos. Se realizó un muro de contención, se colocaron las vigas, el steel deck y se hormigonó. Enseguida se estaba trabajando en la parte de maquinarias de ese sector. Insumió 26 toneladas de estructura metálica, la que se fabricó en 8 días, y su montaje (duró 2 días), siendo todas las uniones en el montaje abulonadas.



Figura 55 – Abulonado de las vigas



Figura 56 – Montaje del steel deck de la losa de la sala de máquinas

En la losa ubicada sobre el plafond, la rapidez de ejecución fue mucho más notoria. Las vigas (de aproximadamente 1 m de altura y 20 m de largo) se trajeron de Argentina y se montaron en 15 días. Inmediatamente se colocó el steel deck y se hormigonó. El plafond que se estaba restaurando debajo no fue afectado y se podía seguir trabajando sobre el mismo y sobre la sala.

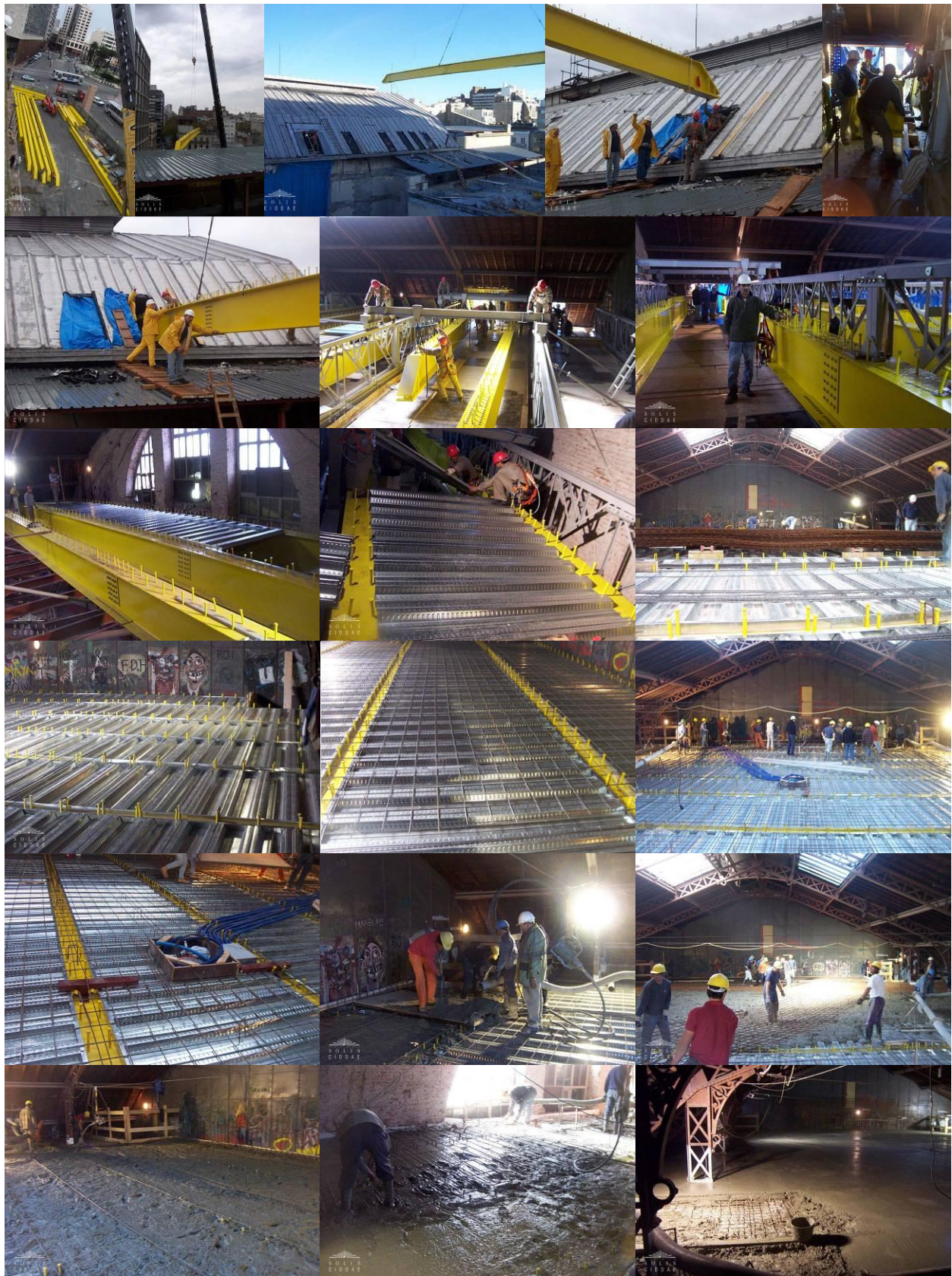


Figura 57 – Puesta en obra de la losa de la sala de pinturas



Figura 58 - Restauración del plafond

### Protecciones acústicas

El espesor de las losas principales es mayor que el necesario estructuralmente debido a razones acústicas. La propia masa de hormigón oficia de aislación acústica.

### Previsiones para la seguridad de la estructura frente al fuego

Estaba previsto proteger las chapas con una pintura intumescente. Cuando ocurre un incendio, por la acción del calor sus componentes hacen una reacción química de intumescencia progresiva dando lugar a una masa carbonosa con un coeficiente de transmisión térmica muy bajo, mil veces menor que el del acero. Se expande y su grosor aumenta unas 50 veces su volumen inicial; la pintura se transforma en un grueso almohadón aislante que protege la estructura metálica de la acción del fuego. [10]

Asimismo se cuenta con un sistema de extinción de rociadores automáticos, alimentado por los tanques y bombas ubicados en el edificio anexo.

### Ventajas e inconvenientes de su aplicación específica

Una de las mayores ventajas del sistema fue la rapidez de ejecución.

Otro elemento a favor fue el hecho de no tener que realizar encofrados especiales que interrumpieran los trabajos que se realizaban debajo de la estructura.

Se considera que la durabilidad del sistema es similar al sistema tradicional porque es una construcción edilicia y la estructura metálica no está expuesta al exterior. Si el steel deck estuviera expuesto y sin protecciones podría ser atacado por la corrosión y su durabilidad sería menor que una estructura de hormigón.

Los inconvenientes encontrados refieren a la especialización de la mano de obra (debe ser más calificada que la normal) y a la incorporación de equipos especiales (por ejemplo la máquina soldadora especial para los conectores tipo Nelson).

### Resultado final

Se concluye que desde el punto de vista resistente el sistema elegido fue el más apropiado, ya que cumple con los requisitos de cálculo establecidos y se aprovechan al máximo las propiedades resistentes de los materiales (acero y hormigón).

A pesar de que el sistema estructural era más costoso, el hecho de no tener que tocar elementos existentes en el teatro (el plafond, por ejemplo) así como la rapidez de ejecución fueron fundamentales en la elección del mismo.

Si bien la gran losa que se encuentra sobre la sala se podría haber hecho prefabricada de hormigón para no tener que encofrar, era una solución muy pesada. En cambio con la solución adoptada de losa mixta hecha con steel deck, sólo las vigas eran pesadas debido a su gran tamaño. Los demás elementos se podían mover con sencillez, las chapas eran relativamente livianas.

La elección del sistema estructural fue en definitiva determinada por las ventajas constructivas inherentes al mismo. Dichas cualidades se reflejaron en la obra, la facilidad de montaje, el mínimo apuntalamiento, la rapidez de ejecución y permitieron cumplir con las exigencias constructivas impuestas.

Desde el punto de vista formal, en las dos losas de estudio el steel deck quedó a la vista (una correspondía a la sala de máquinas y la otra ubicada sobre la sala quedaba oculta por el plafond). En la zona de las escaleras, también realizadas con steel deck, vigas y pilares metálicos se colocó un revestimiento de yeso y en algunos casos de mármol. Los pilares metálicos quedaron a la vista y se aprovecharon las cualidades del acero tipo Corten para dejarlo a la vista (acero que a través de una lenta oxidación forma una capa de color rojizo que protege al acero de la corrosión). La elección de este tipo de acero fue por motivos estéticos y no estructurales.



Figura 59 – Zona de escaleras

## CONCLUSIONES

Las estructuras mixtas de hormigón y acero ofrecen muchas ventajas no sólo desde el punto de vista estructural, sino también desde el punto de vista constructivo.

La mayor cualidad estructural del sistema reside en la utilización de los materiales, acero y hormigón, aprovechando al máximo sus propiedades mecánicas. La viga mixta permite reducir espesores de la estructura logrando una mayor resistencia global.

Desde el punto de vista del cálculo estructural, es un sistema muy normalizado. Con respecto a la normativa hay dos grandes referentes sobre los cuáles es posible guiar los cálculos, por un lado la normativa americana "Especificaciones AISC" y por otro lado el Eurocódigo N°4 de origen europeo. En nuestro país no existe normativa vinculada a este tema por lo que se deben consultar dichas fuentes.

Con respecto a la construcción, vemos que se logra gran racionalización y planificación de los procesos. El sistema de ensamblaje de la estructura metálica tipo mecano facilita el montaje. La utilización de la chapa que conforma el forjado colaborante como encofrado y estructura propia durante el llenado permite reducir los plazos de ejecución y ahorrar costos de encofrado.

Si bien este sistema se viene implementando en otros países desde hace mucho tiempo, en el Uruguay su aplicación se reduce a pocos casos.

El primer ejemplo de aplicación fue la Torre de Antel en 1997. En dicho proyecto el sistema estructural mixto era la solución ideal ya que era una estructura en altura y había que cumplir con plazos de ejecución críticos.

Otro de los casos estudiados fue la Remodelación del Teatro Solís. En este caso la solución elegida estaba relacionada a la facilidad de ejecución del sistema y al hecho de que durante la construcción no se podían interrumpir otras tareas de recuperación que se estaban llevando a cabo en el teatro. A su vez, el tema de los plazos fue otro factor determinante.

En el Arapey Thermal Resort las condiciones estaban dadas por la propia concepción arquitectónica muy modulada y por razones de costos. Este proyecto se adecuó para incorporar la solución estructural. Si bien algunos factores y detalles no se tuvieron en cuenta antes de la construcción generando ciertas dificultades, finalmente se resolvieron sin mayores inconvenientes.

Todos los casos estudiados tenían en común la necesidad de cumplir con plazos de ejecución exigentes, imposibles de cumplir con un sistema de construcción tradicional. En todos ellos los objetivos fueron cumplidos, los técnicos actuantes consideran que fue una opción óptima sin dificultades a excepción del factor económico.

Cabe destacar que en todos los ejemplos se tomaron previsiones que se pueden extender a otros proyectos: importancia en la coordinación del suministro de la estructura metálica, eficacia en la organización de la logística de la obra, necesidad de mano de obra especializada, resolución de detalles especiales, incorporación de una adecuada protección contra el fuego, previsión de barreras acústicas, elaboración de controles de calidad de la estructura tanto a nivel de fabricación en taller como en obra mismo, por ejemplo durante el llenado y curado del hormigón.

Por ahora la aplicación de este sistema en nuestro país está asociada a proyectos importantes. La utilización en obras pequeñas parece ser inviable desde el punto de vista económico. Si en el futuro los costos del acero se ven reducidos, el uso de este sistema se extenderá rápidamente ya que es muy eficiente.

Es muy importante ser conscientes de que la elección del sistema estructural de un proyecto arquitectónico nos condiciona el diseño mismo de la arquitectura. Por este motivo, se debe tener en cuenta desde el momento del diseño del edificio, para poder sacarle el mejor provecho posible.

Como cualquier otro sistema estructural, se deben realizar ciertas previsiones desde el inicio para no tener luego dificultades en la puesta en obra. Como en este caso no hay mucha

experiencia pueden surgir ciertas dificultades por desconocimiento. Es recomendable que al diseñar una solución estructural para un proyecto, el sistema sea aprehendido cabalmente, estudiando las propiedades y límites así como las previsiones que deben tenerse en cuenta de manera de evitar dificultades en la ejecución y lograr obtener resultados satisfactorios.

Esta tecnología relativamente nueva para nuestro medio ofrece muchos beneficios, usarla creativa e inteligentemente es fundamental para diseñar una solución estructural adecuada a los requerimientos establecidos en cada proyecto.

## ANEXOS

### Fichas Técnicas

#### Complejo Torre de la Telecomunicaciones

---

##### Datos Generales

<i>Ubicación:</i>	Guatemala 1075 esq. Paraguay. Aguada - Montevideo, Uruguay
<i>Comitente:</i>	ANTEL
<i>Estudio Proyectista:</i>	Arq. Carlos Ott
<i>Director de Obra:</i>	Arq. Edgar Baruzze
<i>Empresa Constructora:</i>	Consorcio Roggio, Stiler & American Bridde
<i>Estructura metálica:</i>	URSSA
<i>Gerenciamiento de obra:</i>	CSI Ingenieros
<i>Presupuesto:</i>	US\$ 102 millones
<i>Destino:</i>	Oficinas públicas
<i>Fecha:</i>	1996 - 2003
<i>Área:</i>	19.459 m <sup>2</sup>
<i>Steel deck:</i>	20.000 m <sup>2</sup>
<i>Altura:</i>	157.6 m (35 pisos)



## Remodelación Teatro Solís

### Datos Generales

<i>Ubicación:</i>	Reconquista s/n esq. Bartolomé Mitre Ciudad Vieja - Montevideo, Uruguay
<i>Comitente:</i>	I.M.M.
<i>Estudio Proyectista:</i>	Ing. Cecconi (Italia)
<i>Director de Obra:</i>	Arq. Eneida de León Arq. Luis Rocca
<i>Empresa Constructora:</i>	Teyma Uruguay SA
<i>Estructura metálica:</i>	Subcontrato CMP Estructuras S.A. (Argentina)
<i>Presupuesto:</i>	US\$ 8.5 millones
<i>Destino:</i>	Teatro
<i>Fecha:</i>	2002 – 2004
<i>Área:</i>	Centro Cultural 1.950 m <sup>2</sup> Sala Zavala Muniz 350 m <sup>2</sup>
<i>Estructura metálica:</i>	435 toneladas de acero
<i>Altura:</i>	24 m





## Arapey Thermal Resort

### Datos Generales

<i>Ubicación:</i>	Termas del Arapey Salto, Uruguay
<i>Comitente:</i>	Bildesol S.A.
<i>Estudio Proyectista:</i>	Ing. Ham e Ing. Piña Arq. Miguel Bono
<i>Director de Obra:</i>	Arq. Enrique Montaldo
<i>Empresa Constructora:</i>	Cayetano Carcavallo SA
<i>Estructura metálica:</i>	Subcontrato Berkes
<i>Presupuesto:</i>	US\$ 15 millones
<i>Destino:</i>	Hotel
<i>Fecha:</i>	1999 – 2001
<i>Área:</i>	14.000 m <sup>2</sup>
<i>Steel deck:</i>	11.000 m <sup>2</sup>
<i>Altura:</i>	20 m



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **American Institute of Steel Construction.** «Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-05).»  
AISC. 9 de Marzo de 2005.  
<http://www.aisc.org/WorkArea/showcontent.aspx?id=17640>  
(último acceso: 6 de Junio de 2010).
- [2] **Arq. Alvarez, Alejandro.** Colaborador en el Proyecto del Teatro Solís por la I.M.M.  
(Planos de la Remodelación del Teatro Solís).
- [3] **Arq. Montaldo, Enrique.** Empresa Cayetano Carvallo S.A.(hoy cerrada)  
Director de obra del Arapey Thermal Resort.  
(Entrevista telefónica: 2 de Agosto de 2010).
- [4] **Ballester, Miquel Ferrer.** «Estudio numérico y experimental de la interacción entre la chapa de acero y el hormigón.»  
*Universidad Politècnica de Catalunya - Escola Tècnica Superior de Ingeniería Industrial - Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras.* 2005.  
[http://www.tdr.cesca.es/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-0608106-120647//09Mfb09de14.pdf](http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0608106-120647//09Mfb09de14.pdf)  
(último acceso: 6 de Junio de 2010).
- [5] **Bellod, Juan Luis; Escolano, Ramón; Jordán de Urriés, Jorge; Macaya, Miguel; Ortiz, Jesús y Tanner, Peter.** «Forjados de Chapa Colaborante.»  
*CatedrAcero.* Asociación de Consultores Independientes de Estructuras de Edificación. 2005.  
<http://catedracero.ee.upm.es/Members/johernan/documentaciontecnica/ChapaColaborante.pdf>  
(último acceso: 27 de Junio de 2010).
- [6] **Capote Abreu, Jorge A.** «Protección Contra Incendios: Protección Pasiva 02.»  
*Universidad de Cantabria - Escuela Técnica Superior Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos - Ingeniería de la Seguridad contra Incendios y Explosiones.* 2008/2009.  
<http://grupos.unican.es/gidai/asignaturas/ISCIE/Pasiva%2002.pdf>  
(último acceso: 6 de Junio de 2010).
- [7] **Eurocodes.** «Eurocódigo N°4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón.»  
*EN 1994-1-1.*
- [8] **Geschwinder, Louis F.** «Unified Design of Steel Structures»  
Capítulo 9: Composite construction  
*Wiley.* ISBN 978-0-471-47558-3. Agosto 2007. ©2008.
- [9] **Iglesias Estellés, Jose M<sup>a</sup>.** «Proyecto y cálculo de forjados mixtos con chapa nervada.»  
*Universidad Politècnica de Catalunya - Escola Tècnica Superior Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.* 2009.  
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8513/1/00.pdf>  
(último acceso: 6 de Junio de 2010).
- [10] **Ignifugacions Generals.** «Pintura Intumescente, Protección de Estructuras Metálicas.»  
[http://www.ignifugacionsgenerals.com/ES/pintura\\_intumescente.php](http://www.ignifugacionsgenerals.com/ES/pintura_intumescente.php)  
(último acceso: 8 de Agosto de 2010).
- [11] **Illa Laguna, Carolina.** «Forjados mixtos de chapa colaborante. Análisis, proyecto y construcción.»  
*UPCommons - Portal de Acceso Universidad Politècnica de Catalunya.* Mayo de 2008.  
<http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/5644?locale=es>  
(último acceso: 6 de Junio de 2010).
- [12] **Ing. Cea, Milton e Ing. Rivero, José.** CSI Ingenieros.  
Gerenciamiento de la obra de la Torre de Antel.  
(Entrevista personal: 4 de Agosto de 2010).
- [13] **Ing. García, Emilio.** Unidad Ejecutora de I.M.M.  
Equipo técnico, asesor de y director de obra de estructura del Teatro Solís.  
(Entrevista personal: 28 de Julio de 2010).

- [14] **Ing. Ham, Santiago.** Estudio de ingenieros Ham y Piña. Estudio proyectista del Arapey Thermal Resort. (Entrevista personal: 29 de Julio de 2010).
- [15] José Monfort Lleontart. Estructuras mixtas para Edificación – Según criterios del Eurocódigo 4 <http://books.google.com.uy/books?id=40rO5y46xpEC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false?id=40rO5y46xpEC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- [16] **Juarez Allen, Eduardo y Darin, Gustavo.** «Introducción al Método según el "Load and Resistance Factor Design" del American Institute of Steel Construction - 1986.» Julio de 1993. <http://www.hogaryconstruccion.com.ar/stt/cirsoc/factor01.php> (último acceso: 27 de Junio de 2010).
- [17] **La Nación, Argentina.** *Teatro Solis: Remodelación con Tecnología Argentina.* 13 de Agosto de 2003. [http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota\\_id=518810](http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=518810) (último acceso: 7 de Agosto de 2010).
- [18] **Lam, D., y J. Qureshi.** «Prediction of longitudinal shear resistance of composite slabs with profile sheeting to Eurocode 4.» *White Rose Research online.* 2 de Abril de 2009. <http://eprints.whiterose.ac.uk/8480> (último acceso: 6 de Junio de 2010).
- [19] **Ostrilion.** «Sistema de paneles colaborantes para ejecución de losas mixtas.» *Steel Deck.* 6 de Agosto de 2002. <http://www.ostrilion.com/Steeldeck/steeldeck.pdf> (último acceso: 6 de Junio de 2010).
- [20] **Pérez Valcárcel, Juan.** «El Control de Estructuras» *Departamento de Tecnología de la Construcción. E.T.S. Arquitectura – E.U.A. Técnica. La Coruña* <http://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/pub-val/Patologia/trasperecias%20control.pdf> (último acceso: 27 de Junio de 2010).
- [21] **Revista Su Casa.** «Torre de Antel, La silueta de Montevideo.» 17 de Setiembre de 2007 <http://www.revistasucasa.com/contenido/articulos/26/1/Torre-de-AntelLa-silueta-de-Montevideo/Paacuteginas1.html> (último acceso: 22 de Agosto de 2010).
- [22] **Rodríguez, Beatriz Gil.** «Metodología práctica para el diseño de pórticos de estructura mixta con uniones semi-rígidas.» *Universidad de Navarra - Escuela Técnica Superior de Arquitectura - Departamento de Estructuras.* 2006. <http://www.unav.es/estructuras/publicaciones/GilPhD/BGPhD-01-Contexto.pdf> (último acceso: 6 de Junio de 2010).
- [23] **Romero Cortázar, Marco y Winkar, Padilla Tello.** «Estructuras de Acero para los Edificios.» <http://orbita.starmedia.com/~galeriacadarquinerds/documentos/ESTRUCTURAS-DE-ACERO.ppt> (último acceso: 6 de Junio de 2010).
- [24] **Stiler - Empresa Constructora.** «Complejo Torre de las Telecomunicaciones» [http://www.stiler.com.uy/noticia\\_40\\_1.html?40](http://www.stiler.com.uy/noticia_40_1.html?40) (último acceso: 19 de Agosto de 2010).
- [25] **Teatro Solis.** *Recursos de Página Web.* <http://www.teatrosolis.org.uy> (último acceso: 7 de Agosto de 2010).
- [26] **URSSA.** «Procesos Constructivos.» [http://www.urssa.es/es/article\\_services\\_procesos.html#](http://www.urssa.es/es/article_services_procesos.html#) (último acceso: 22 de Agosto de 2010).
- [27] **Wikipedia.** *Torre de las Telecomunicaciones.* [http://es.wikipedia.org/wiki/Torre\\_de\\_las\\_Telecomunicaciones](http://es.wikipedia.org/wiki/Torre_de_las_Telecomunicaciones) (último acceso: 6 de Junio de 2010).