

PROPUESTA DE ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS PLEGADAS PRISMÁTICAS

María D. Crespo^a, María C. Pagani^a, Marcelo Rubinstein^b, Hugo D. Butigliero^c

^a*Departamento de Estructuras, Escuela de Ingeniería Civil, mcrespo@fceia.unr.edu.ar*

^b*Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras*

^c*Departamento de Construcciones Civiles, Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario,
Riobamba y Berutti, 2000 Rosario, Argentina*

Keywords: Estructuras plegadas, Análisis de Estructuras, Método de los Elementos Finitos

Resumen. Las estructuras plegadas prismáticas (EPP) están formadas por láminas rectangulares rígidamente unidas a lo largo de sus bordes comunes formando aristas paralelas entre sí, y apoyadas en sus extremos sobre diafragmas o pórticos. Dada la gran rigidez espacial que tienen cumplen simultáneamente la función de elemento de cobertura y elemento portante, constituyendo una solución práctica para techos en los que hay que cubrir grandes luces.

Existen diferentes métodos de cálculo que se pueden clasificar en cinco grupos: (a) análisis como viga, (b) teoría de las estructuras plegadas despreciando los desplazamientos de las aristas, (c) teoría de las estructuras plegadas teniendo en cuenta los desplazamientos relativos de las aristas, (d) aplicación de la teoría de la elasticidad y (e) aplicación de métodos numéricos.

Los dos primeros métodos son muy simplificados y pueden conducir a errores importantes. La aplicación de la teoría de la elasticidad es complicada y sólo pueden estudiarse estructuras muy simples. Por otro lado, los métodos iterativos para tener en cuenta los descensos de aristas no siempre convergen, por lo que resulta de sumo interés utilizar un método más general.

Dado que la aplicación del método de elementos finitos al análisis de estructuras es de total generalidad, algunos métodos de cálculo particulares, como los métodos de análisis de estructuras plegadas se han vuelto obsoletos.

En este trabajo se presenta el diseño de una estrategia didáctica tendiente a promover el aprendizaje significativo del comportamiento de EPP en carreras de grado de Ingeniería Civil, en la que se combinan el análisis intuitivo a partir de la aplicación de conocimientos previos, con el análisis más formal mediante la utilización de un programa de elementos finitos.

Se muestra el plan de actividades consistente en: (1) definición de las características de las EPP; (2) análisis de una EPP particular: (2a) cualitativo a partir del trazado de elásticas, diagramas de cuerpo libre, planteo de condiciones de borde y de equilibrio, (2b) cuantitativo mediante la utilización del software de elementos finitos STAAD Pro; (3) análisis por elementos finitos de una EPP: (3a) elección de la sección transversal, (3b) modelización, discretización y preparación de datos, (3c) resolución mediante Staad-Pro, (3d) análisis y presentación de resultados, (3e) conclusiones del análisis.

1 INTRODUCCIÓN

Las estructuras plegadas prismáticas (EPP) están formadas por láminas rectangulares rígidamente unidas a lo largo de sus bordes comunes conformando aristas paralelas, y apoyadas en sus extremos sobre diafragmas o pórticos (Rubinstein, 2009). Dada la gran rigidez que tienen cumplen simultáneamente la función de elemento de cobertura y elemento portante, constituyendo una solución práctica para techos en los que hay que cubrir grandes luces.

Las EPP trabajan espacialmente, combinando un comportamiento como losas, en que las cargas se transmiten a las aristas por la flexión de las láminas en dirección normal a sus planos, y un comportamiento como vigas, en que las cargas de las aristas son transmitidas a las vigas de borde a través de la flexión de las láminas trabajando en su plano. En la Figura 1 se muestra la axonometría y sección recta de una EPP apoyada sobre vigas extremas.

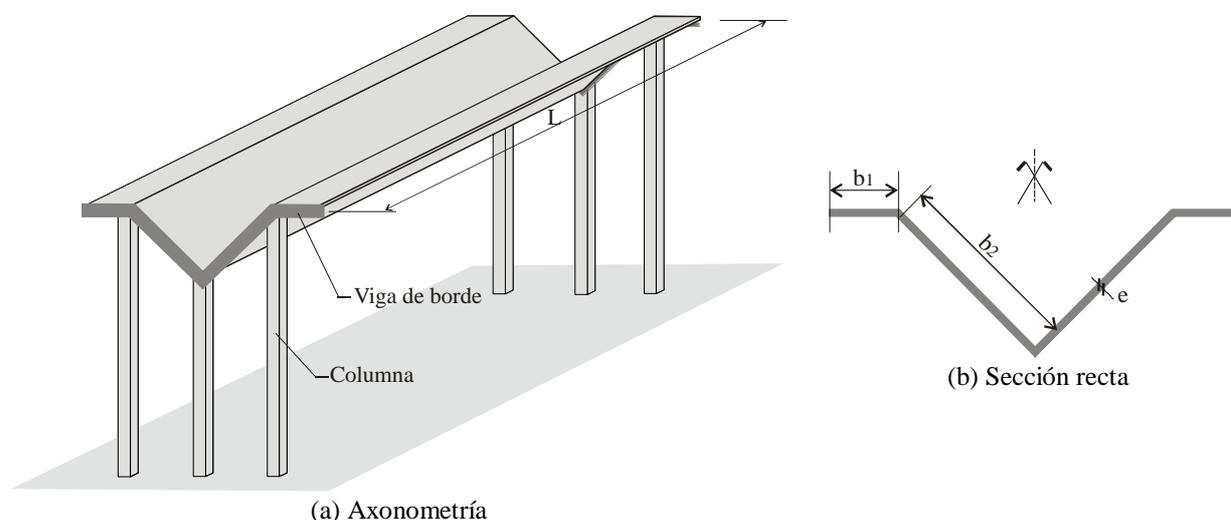


Figura 1: Estructura plegada apoyada en vigas extremas

Los métodos para calcular las EPP se pueden clasificar en cinco grupos (Orengo, 2010): (a) aplicación del método de la viga, (b) teoría de las estructuras plegadas despreciando los desplazamientos de las aristas, (c) teoría de las estructuras plegadas teniendo en cuenta los desplazamientos relativos de las aristas, (d) aplicación de la teoría de la elasticidad y (e) aplicación de métodos numéricos.

Los dos primeros métodos son muy simplificados y pueden conducir a errores importantes. Por otro lado, la aplicación de la teoría de la elasticidad es complicada y con la misma sólo pueden estudiarse estructuras muy simples.

Tradicionalmente las EPP se han analizado teniendo en cuenta los descensos de las aristas a través de métodos iterativos (Born, 1962; Brielmaier, 1962; Franz, 1971) que no siempre convergen (Franz, 1971).

Un método numérico muy utilizado en las últimas décadas es el método semi-analítico de la franja finita, con el cual la discretización de la estructura se realiza por medio de franjas apoyadas en los extremos (Cheung, 1976; Möller, 1980). Este método tiene la ventaja de conducir a sistemas de ecuaciones de orden muy inferior que utilizando elementos finitos, y por ende es más económico computacionalmente, pero la desventaja de que las condiciones de borde y de apoyos intermedios se deben satisfacer a priori.

Dado que la aplicación del método de elementos finitos al análisis de estructuras es de

total generalidad, los métodos de análisis mediante cálculos manuales se han vuelto obsoletos.

El advenimiento de computadoras de gran capacidad ha traído aparejada la posibilidad de resolver problemas de gran complejidad en tiempos de cálculo muy reducidos, por lo que la aplicación de los métodos numéricos al análisis de estructuras adquiere cada vez mayor actualidad.

Por otro lado, en los últimos años los estudiantes de las carreras de Ingeniería Civil tienen acceso diario a los ordenadores, lo que hace pensar que su práctica profesional en general, y el de análisis de estructuras en particular, se realizará principalmente con herramientas computacionales.

A partir de estas consideraciones, se interpreta que llegó el momento de planificar la enseñanza del análisis de estructuras a través de un método numérico lo más general posible, como puede ser el método de los elementos finitos (MEF).

En este trabajo se presenta el diseño de una estrategia didáctica tendiente a promover el aprendizaje significativo del comportamiento de estructuras plegadas prismáticas en carreras de grado de Ingeniería Civil.

La enseñanza del análisis de estructuras por el MEF se realiza muchas veces enseñando los principios básicos del método paralelamente a la teoría de estructuras. En el presente trabajo se propone un enfoque diferente, aplicable a cursos de análisis de estructuras laminares posteriores a cursos de elementos finitos, en que la enseñanza se centra en la aplicación de la herramienta computacional más que en su aprendizaje y desarrollo.

De esta manera, en lugar de la clásica clase teórica en la que se explicaban los métodos de cálculo específicos para cada tipo estructural, se diseña un trabajo interactivo, donde el equipo docente actuará como guía en el aprendizaje, definiendo e introduciendo las características generales del tipo estructural, proponiendo las actividades conducentes al descubrimiento, por parte del alumno, del comportamiento estructural y asistiéndolo en el manejo de un software en particular.

En el presente artículo se presenta una propuesta didáctica diseñada para la enseñanza del análisis estructural de EPP largas (EPPL) en la asignatura Análisis Estructural II de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario. Luego de definir el marco teórico y describir las características de la asignatura, se realiza una breve reseña de los métodos de cálculo específicos para resolverlas.

Posteriormente se presenta el plan de actividades tendientes a que los estudiantes, a partir de un análisis cualitativo basado en la aplicación de conocimientos previos, como ser el trazado de elásticas, diagramas de cuerpo libre, planteo de condiciones de borde y de equilibrio, infieran el comportamiento de una estructura plegada en particular.

A continuación se muestra el material de apoyo con el que, una vez que el alumno conoce el comportamiento de una estructura con una sección transversal particular, pueda predecir el comportamiento para otros tipos de secciones transversales y seleccione la solución que le parece la más apropiada para cubrir determinada luz, la que deberá resolver individualmente.

Finalmente se plantean las consignas de presentación de resultados, buscando que la comunicación sea lo más clara y concisa posible y comparable con los resultados obtenidos por otros alumnos, a fin de poder sacar conclusiones de carácter general.

2 MARCO TEÓRICO

Se considera básico en este enfoque el fortalecimiento del aspecto de desarrollo de

criterios, concebido en la formación de profesionales como fase superior y necesaria del conocimiento, ligada indisolublemente a los problemas básicos de la profesión e integradora por lo tanto de cuestiones informativas y conceptuales, de las cuales no constituye aplicación posterior sino base, eje integrador y significación de su desarrollo (Buttigliero, 2005).

A partir de este principio, se plantea fortalecer la integración de los problemas como centro de desarrollo de conocimiento, logrando un proceso de aprendizaje donde la observación, la comparación y la interpretación se desarrollan en el tratamiento de problemas. Estos no son necesariamente particulares, sino conllevan un grado de generalidad o una posibilidad de generalización que permite la elaboración conceptual y la síntesis necesarias en la teorización.

En lo particular de esta asignatura de la segunda mitad de la carrera de Ingeniería Civil, se trabaja sobre un área muy específica de Ingeniería (Civil → área estructural → estructuras plegadas → cálculo de esfuerzos y deformaciones). Esta área es además compleja ya que la estructura de conocimientos contiene relaciones verticales y horizontales construidas en materias correlativas y paralelas a lo largo de 4 años y su nivel de desarrollo es el final de grado universitario, ligado directamente al trabajo profesional de diseño y cálculo estructural.

En ese nivel de especialización, el trabajo profesional gira alrededor del análisis de casos. Para su interpretación hay modelos diferentes a los que se puede recurrir, cuyas bases se dominan y entre los cuales habrá que elegir.

Dentro del área a la que pertenece, esta materia brinda aportes importantes al análisis de estructuras más que al diseño, que se aborda en otras asignaturas. La didáctica planteada en este trabajo pretende entonces enfatizar el proceso de modelización e interpretación del comportamiento de estructuras plegadas, centrándose en su comprensión, introduciendo críticamente los métodos de cálculo, estudiando su aplicabilidad y permitiendo visualizar su conexión con el proyecto y diseño estructural.

Desde lo pedagógico, se pretende romper con el modelo enciclopedista e ir a un aumento de procesos formativos del estudiante de ingeniería civil, lo que adquiere mayor relevancia en una disciplina profesional específica, que requiere el uso permanente de criterios.

En lo conceptual, se tiende a organizar las acciones de aprendizaje alrededor de la práctica profesional del área utilizando para ello los elementos de un modelo pedagógico de base cognitiva (Resnick; 1987, 1999). Mencionamos específicamente: énfasis en la construcción del saber; reconocimiento de procesos mentales inherentes a esa construcción y propios de la disciplina estudiada; aprendizaje significativo, lo que implica la comprensión de un marco problemático que trasciende a la disciplina y el desarrollo de capacidad de operar responsablemente sobre aquél.

En este marco, se ha elegido acentuar tres aspectos:

Significación, tanto del tipo estructural como del método de análisis. Refiere al dominio conceptual de tipos estructurales y métodos de análisis y al dominio de su relación con los problemas estructurales donde intervienen, lo que implica un proceso de aprendizaje que incluye la valoración inicial de los problemas y la comparación entre métodos.

Posibilidad de manejo, refiere al dominio de la utilización de métodos numéricos para el cálculo de esfuerzos y deformaciones, tanto en lo que hace al empleo de éstos como a su adecuada selección en casos particulares.

Confianza en la propia decisión y manipulación de los procesos anteriores, proceso ligado al desarrollo de criterio personal en el área y a la posibilidad de estudiar problemas de manera abierta, seleccionar y fundamentar métodos elegidos, proponer soluciones a los problemas, defender el propio criterio, criticar y discutir casos.

En cuanto al aprendizaje significativo aludido, se reconoce el esquema de organizadores previos (Ausubel, 2002; Ausubel *et al.*, 1980) y se reconoce también la necesidad de una significación adicional ligada al gusto, al placer o a la necesidad de resolver, lo que se concreta integrando la formación alrededor de centros de interés como los problemas y necesidades sociales que la profesión enfrenta y resuelve.

3 CARACTERÍSTICAS DE LA ASIGNATURA ANÁLISIS ESTRUCTURAL II

La asignatura Análisis Estructural II es una materia del séptimo cuatrimestre de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario. Es la quinta materia de la línea formativa en Mecánica Aplicada y Estructuras, posterior a los cursos de Estática, Mecánica de Materiales, Mecánica del Continuo y Métodos Numéricos y Análisis de Estructuras Lineales, paralela a los cursos de Hormigón Armado y Estructuras Metálicas I y anterior a los cursos de Hormigón Pretensado, Construcciones de Hormigón y Estructuras Metálicas II.

El objetivo general de la asignatura es “lograr que el alumno adquiera habilidad para analizar estructuras laminares (placas, plegadas y cáscaras) y problemas dinámicos sencillos, a partir de datos reales, pasando por las etapas de analizar las cargas, plantear un modelo matemático adecuado, aplicar los algoritmos de resolución adecuados e interpretar los resultados”.

La carga horaria asignada es de 80 horas repartidas en 18 semanas, con un tiempo de dedicación de los alumnos fuera de clase de 80 horas. De las 18 semanas de clases, 6 semanas se dedican al análisis de losas, 7 semanas a estructuras plegadas y cáscaras y 5 semanas a análisis dinámico.

La materia se dicta ambos cuatrimestres para alrededor de 35 alumnos por cuatrimestre. La planta docente está compuesta por un profesor titular, una profesora adjunta y dos ayudantes de cátedra.

Al cursar la asignatura, el alumno cuenta con un bagaje de conocimientos previos afines que debe afianzar y ampliar a fin de poder aplicarlos correctamente en las asignaturas siguientes. Entre los mismos se pueden mencionar los listados en la [Tabla 1](#).

Nociones	Conceptos	Principios y leyes	Condiciones	Relaciones
Fuerzas y momentos	Esfuerzos internos	Rigidez relativa	Equilibrio global	Geométricas
Modelización: geometría, material, vinculación y cargas	Tensión normal y tangencial	Saint Venant	Equilibrio en superficie	Mecánicas
No linealidad física y geométrica	Rigidez	Acción y reacción	Simetría y antimetría	Constitutivas
Prisma mecánico (continuo, homogéneo, isótropo)	Resistencia	Ley de Cauchy	Condiciones de borde	
	Estabilidad	Ley del plano		
	Esbeltez	Regla del paralelogramo		
	Curvatura			

Tabla 1: Conocimientos previos que tiene el alumno

Por otro lado, tiene idea de la diferencia entre la Mecánica de Materiales y la Mecánica del sólido; sabe de la existencia de soluciones analíticas, numéricas y mixtas; distingue falencias

en la solución; conoce los fundamentos del MEF; ha aprendido a resolver estructuras lineales manualmente mediante la aplicación del método de las fuerzas y de los desplazamientos y con el empleo de software mediante la aplicación del MEF.

Además, tiene idea de cómo trazar diagramas de cuerpo libre (DCL) y elásticas aproximadas.

4 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EPPL

Consideraremos EPPL ($L \geq 3b$) apoyadas en sus extremos en vigas de borde o en tímpanos, los que a su vez descargan sobre columnas.

A esta estructura en principio se la puede considerar como una estructura a flexión simplemente apoyada, ya que los vínculos dispuestos en los extremos son estructuras planas, prácticamente carentes de rigidez en dirección normal a su plano.

Pese al reducido espesor de las láminas componentes, esta EPPL simplemente apoyada posee una elevada rigidez, debido al considerable momento de inercia de su sección recta.

Su comportamiento estructural (Rubinstein, 2009) se puede descomponer en la dirección normal a las aristas y en la dirección longitudinal. En la dirección normal a las aristas cada lámina se comporta como una losa derecha apoyada en las aristas correspondientes y empotradas elásticamente en las láminas adyacentes.

En sentido longitudinal, las acciones que las losas transmiten a las aristas se descomponen según las dos láminas que definen la arista. De este modo cada lámina queda cargada en su plano y trabajando como viga transmite esta carga a las estructuras de apoyo ubicadas en los extremos.

El carácter alargado de cada lámina justifica considerar al comportamiento como placa en una sola dirección, la transversal, pues resulta despreciable la curvatura como placa en la dirección longitudinal.

Por la misma razón, en el comportamiento de cada lámina como viga, al ser la longitud mayor o igual a tres veces la altura, vale la ley del plano, es decir se trata de una viga esbelta y no de una viga de gran altura.

Es decir, cada lámina participa de un doble comportamiento: como placa en sentido transversal y como viga en sentido longitudinal.

En general, las tensiones normales longitudinales debidas a la flexión como viga resultan diferentes para las dos láminas adyacentes. Como las láminas están monolíticamente conectadas, las deformaciones longitudinales y las respectivas tensiones deben ser iguales. Aparecen, entonces, tensiones tangenciales longitudinales que actúan en la arista común entre las láminas. Estas tensiones tangenciales deben ser de tal magnitud y sentido que igualen las tensiones longitudinales.

Por otra parte debido al comportamiento como viga de cada lámina, las deformadas correspondientes originan desplazamientos en las aristas. Dichos desplazamientos modifican el régimen de los momentos flectores de la losa continua definida en dirección transversal y en consecuencia se modifican las reacciones de apoyo de las losas y el posterior estado de carga de las vigas longitudinales.

Planteado de este modo, los desplazamientos de aristas darían lugar a un proceso cíclico en la modificación de las solicitaciones y entonces, se puede contemplar en los cálculos mediante un proceso iterativo.

Es de hacer notar que el comportamiento como viga de cada lámina hace que aparezca un plano neutro por lámina en lugar de un plano neutro común para toda la sección recta de la estructura plegada como exigiría el comportamiento global tipo viga.

5 ACTIVIDADES PROPUESTAS

5.1 Introducción

Se propone una serie de actividades a desarrollar en 3 clases, con un total de 13 horas de dedicación (6.5 en clase y 6.5 tareas en el hogar), organizadas a través de tres trabajos prácticos (TP).

Mediante los TP se busca, por un lado, que el aprendizaje sea realmente significativo, es decir, que los nuevos conceptos se construyan a partir de lo que el alumno ya conoce; por otro lado, que el alumno logre confianza y manejo en la utilización de las herramientas numéricas, en este caso programas de cálculo de estructuras por el método de los elementos finitos y fundamentalmente adquiera cierto criterio sobre el comportamiento de EPP.

El **TP N° 1**, introductorio al tema, en el que, luego de definidas las características particulares de este tipo estructural y a partir de la aplicación de conocimientos previos el alumno pronostique el comportamiento de tres estructuras plegadas de secciones transversales en U, V invertidas y V invertida con voladizos (**Figura 2**).

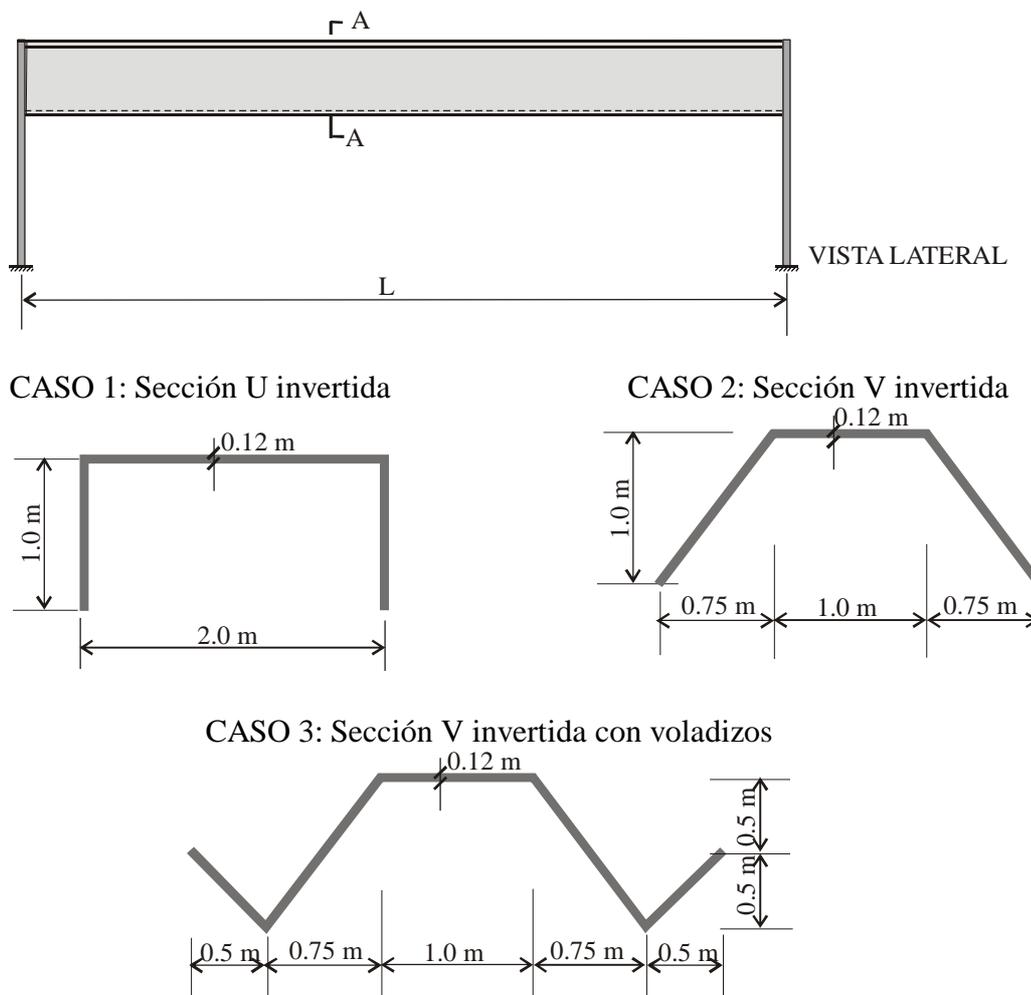


Figura 2: Diferentes secciones transversales para una estructura plegada apoyada en vigas extremas

El análisis de la viga V invertida lo hará darse cuenta que las láminas inclinadas están flexionadas transversalmente, traccionadas en su plano superior y que la restricción a su

corrimiento horizontal provocado por la lámina horizontal genera un aumento de las tensiones normales transversales de la misma.

Una vez que el alumno haya analizado el comportamiento de estos dos casos, se le propone analizar “que pasa si” a la sección V invertida se le agregan voladizos. Surgirá de este modo la idea que los voladizos, trabajando como vigas en sentido longitudinal, tendrán su borde inferior traccionado, el superior comprimido y alguna fibra intermedia no tensionada, es decir, cada lámina inclinada tiene su propio plano neutro.

El **TP N°2** está pensado con el objetivo que el alumno aprenda a interpretar resultados numéricos y a comparar soluciones. Además, se busca incentivar el uso de diagramas de cuerpo libre con el fin de comprender el comportamiento estructural.

Para lograr el objetivo y agilizar el aprendizaje se entregarán hojas de apoyo con los resultados numéricos de las primeras dos EPPL analizadas cualitativamente en el trabajo práctico N°1. En los apartados 8.1 y 8.2 se muestran parte de las hojas de apoyo, las que se completarán con algunas tablas de resultados. Además, para ambas EPPL se entregarán los archivos de datos, a fin de que el alumno los pueda utilizar y modificar.

En clase se mostrarán los resultados numéricos obtenidos con el programa STAAD, haciendo hincapié en realizar un primer control de la elástica y verificación de las condiciones de simetría y de contorno.

Para la sección U invertida los alumnos deberán comparar los resultados obtenidos con la aplicación de la teoría de flexión de vigas con los numéricos. Al comprobar que los resultados son similares, se busca que el alumno por un lado adquiera confianza en la utilización de la herramienta computacional, pero por otro lado vea la potencialidad del MEF para entender el comportamiento de las EPPL.

Las hojas de apoyos con los resultados de la vigas U y V invertidas se utilizarán además para mostrar algunas cuestiones particulares en la interpretación de diagramas isoáreas, como por ejemplo, a identificar diagramas incorrectos, tanto por promediar tensiones normales en las aristas que actúan en diferentes direcciones, como debidas a diferente orientación de los ejes locales en las láminas que concurren a la arista.

El **TP N° 3** consta de dos ejercicios: en el primero el alumno deberá realizar las modificaciones pertinentes al archivo de datos de la estructura plegada de sección V invertida, a fin de, en primer término, tener en cuenta las condiciones de simetría para así disminuir el tamaño de la malla de elementos finitos, y en segundo lugar agregar una lámina inclinada para lograr la sección transversal de la otra estructura plegada analizada cualitativamente en el práctico N° 1.

Al ser la sección transversal hiperestática en sentido transversal, se utilizará este ejemplo para mostrar la distribución no uniforme de las tensiones normales transversales debido a los descensos no uniformes de las aristas. Se hará hincapié también para esta EPPL en la interpretación de la elástica y diagramas de tensiones normales longitudinales, para así detectar la flexión de cada lámina como viga e identificar la ubicación del plano neutro.

El segundo ejercicio deberá ser resuelto en forma grupal. Cada grupo de tres alumnos resolverá una EPPL de las planteadas (Figura 3) y aplicará todo lo aprendido con la ejercitación propuesta. Además, deberá comunicar los resultados de una manera clara, concreta y precisa a fin que se puedan sacar conclusiones de carácter general con los demás grupos, y así adquirir cierto criterio sobre el comportamiento estructural de las EPP.

Una posible manera de comunicar los resultados es a través de una infografía en la que deberá constar: datos de la estructura analizada (geometría, material, cargas, vinculación y discretización utilizada), resultados (elásticas, diagramas de tensiones membranales y

esfuerzos internos de flexión) e interpretación de resultados (diagramas escalares de esfuerzos internos y DCL de un sector de la estructura).

Cada grupo deberá enviar por e-mail a los docentes de la asignatura el DCL de la estructura analizada, a fin de en la clase posterior, poder realizar una síntesis del trabajo realizado y sacar conclusiones de carácter general, como por ejemplo, diferencia entre la variación de las tensiones normales y momentos flectores transversales según la sección transversal sea isostática o hiperestática, identificación de las secciones transversales más apropiadas.

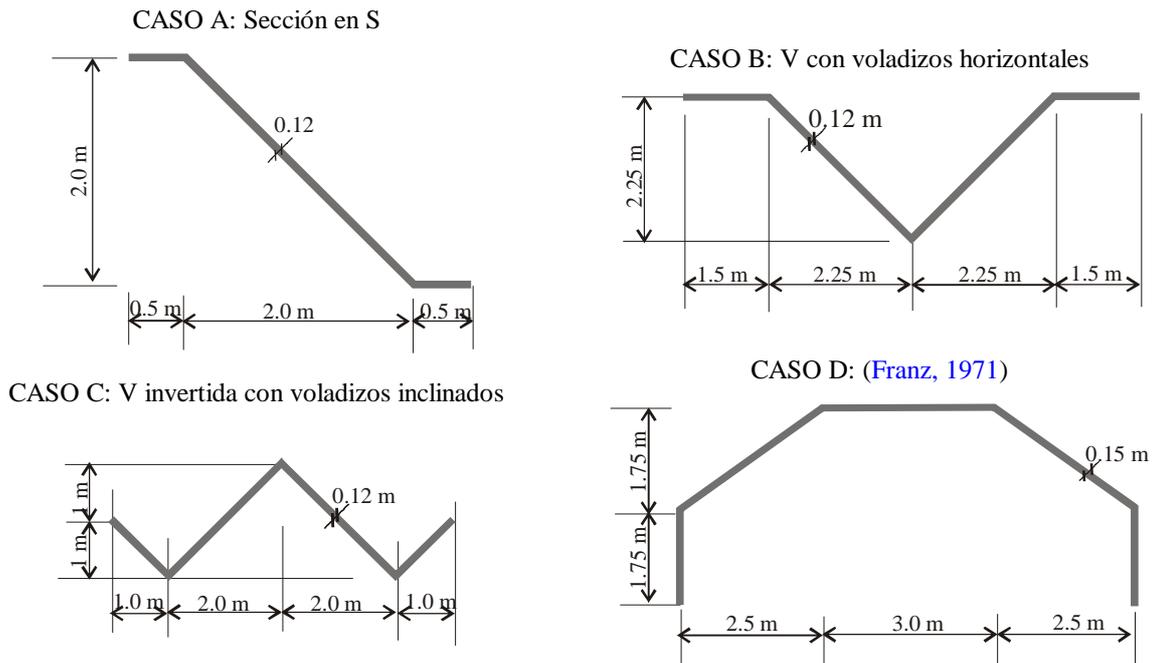


Figura 3: Secciones transversales para el ejercicio N° 2 del TP N°3

5.2 Enunciados de los trabajos prácticos

T. P. N° 1: Introducción al análisis de estructuras plegadas

Objetivos:

- Aprender a predecir el comportamiento de estructuras prismáticas largas (EPPL).
- Repasar y fijar conceptos de Mecánica de Materiales.

Enunciado:

Se necesita cubrir una superficie en planta con estructuras plegadas que apoyan sobre pórticos extremos separados 15 m ($L=15\text{m}$) (Figura 2).

a) Antes de realizar un análisis más formal, estudiar cualitativamente las dos primeras soluciones de secciones transversales mostradas en la figura.

Se sugiere trazar la elástica, los diagramas de esfuerzos internos y DCL de un cuarto de la estructura y tener en cuenta las condiciones de equilibrio, compatibilidad de deformaciones, simetría, el principio de acción y reacción y la ley de Cauchy.

b) Analizar cualitativamente “que pasa si” al segundo caso se le agregan láminas inclinadas en voladizo como se muestra en la figura.

c) Aplicando la teoría de vigas, calcular los esfuerzos internos, tensiones y flecha para el caso de la sección recta con forma de U invertida.

T. P. N° 2: Interpretación de resultados numéricos y comparación de soluciones**Ejercicio N° 1: Viga U invertida**

Objetivos:

- Aprender a analizar resultados de diagramas isoáreas y mediante tablas de STAAD.
- Comparar soluciones teoría de vigas con solución numérica.
- Aprender la metodología de análisis y verificación de resultados recomendada.

Enunciado:

- a) Calcular las tensiones normales longitudinales en el centro de la luz y las tensiones tangenciales en el apoyo aplicando la teoría de vigas (ecuaciones clásicas de la Mecánica de Materiales).
- b) Completar el DCL de un cuarto de la estructura indicando las interacciones entre las láminas con los valores obtenidos mediante las tablas de STAAD.
- c) Comparar los resultados con los obtenidos numéricamente mostrados en la hoja de apoyo.
- d) Identificar los resultados que no “pezca” la teoría de vigas. Justificar.

Ejercicio N° 2: Viga V invertida

Objetivos:

- Identificar comportamiento membranal y flexional de la lámina inclinada.
- Identificar aumento de tensiones normales transversales en la lámina horizontal.
- Identificar diagramas incorrectos.

Enunciado:

- a) Transformar los diagramas isoáreas en diagramas escalares.
- b) Identificar los diagramas incorrectos. Distinguir si promedia valores de tensiones en diferentes direcciones o si es problema de orientación de ejes locales.
- c) En base a los resultados mostrados, completar los DCLs de los sectores indicados (aproximados por ser valores en los baricentros).
- d) Comparar tensiones normales transversales en la lámina horizontal con los obtenidos para el caso de U invertida.

T. P. N° 3: Modelización y análisis de resultados con STAAD**Ejercicio N° 1: Viga V invertida con voladizos inclinados**

Objetivos:

- Aprender a modelizar con STAAD.
- Aprender a aplicar condiciones de simetría.
- Adquirir confianza en el manejo de programas de cálculo.
- Identificar influencia de descensos de aristas en la distribución de tensiones normales transversales.

Enunciado:

- a) Modelizar el ejemplo del ejercicio anterior con STAAD, procesar y controlar que los resultados sean correctos.
- b) Aplicando condiciones de simetría, resolver con STAAD y comparar elásticas y diagramas.
- c) Agregar láminas inclinadas como las del CASO 3 de la [Figura 2](#).
- d) Comparar los diagramas de tensiones normales en el centro de la luz graficados intuitivamente y en base a los resultados de STAAD.
- e) Trazar diagramas de cuerpo libre de cada lámina, indicando las interacciones.

Ejercicio N° 2: Estructuras plegadas de diferentes secciones transversales**Objetivos:**

- Aplicar todo lo aprendido en los ejercicios anteriores al análisis de una estructura plegada de la cual no se conocen los resultados.
- Aprender a comunicar resultados en forma clara, concreta y precisa.
- Adquirir criterio sobre el comportamiento de EPPL.

Enunciado:

- Resolver con STAAD alguna de las estructuras plegadas de la [Figura 3](#).
- Aplicar la metodología aprendida para el análisis de resultados.
- Realizar una infografía para comunicar los resultados.
- Sacar conclusiones de carácter general sobre el comportamiento de EPPL.

Datos:

- L = 20 m
 Peso propio $g = 24 \text{ kN/m}^3$
 Sobrecarga en planta $p = 1 \text{ kN/m}^2$
 Módulo de elasticidad = 30 GPa
 Coeficiente de Poisson = 0.2

6 RESULTADOS SIGNIFICATIVOS DEL ANÁLISIS

Como resultado más significativo del análisis, el alumno deberá estar capacitado para interpretar los resultados de los diagramas isoáreas brindados por el programa y transformarlos en diagramas escalares (momentos flectores transversales y tensiones normales longitudinales) y de cuerpo libre.

En la [Figura 4](#) se muestran los DCLs de dos cuartos de cada lámina que se entregarán también como hojas de apoyo para que el alumno complete tanto con resultados numéricos como con resultados de la teoría de vigas.

Una vez planteado el DCL de cada sector de lámina, el alumno deberá realizar la verificación de equilibrio de fuerzas en las tres direcciones (vertical, longitudinal y transversal).

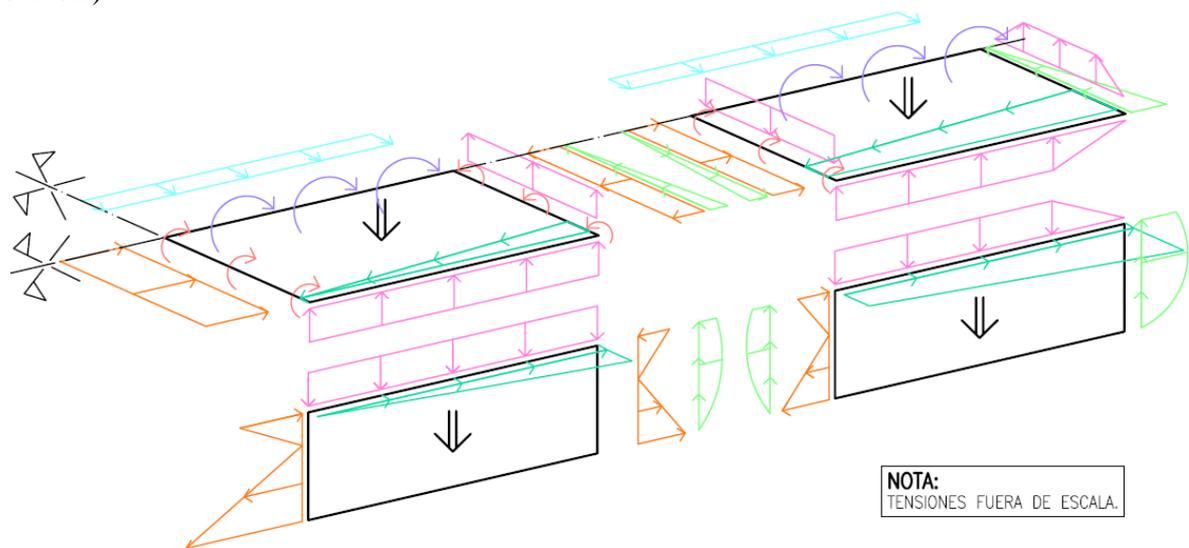


Figura 4: DCL de un cuarto de la estructura con sección transversal U invertida (a completar por los alumnos)

7 RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se ha presentado el diseño de una estrategia didáctica tendiente a lograr el aprendizaje significativo del análisis estructural de EPPL.

Partiendo de lo que el alumno ya conoce, utilizando software de elementos finitos, con la ayuda de hojas de apoyo para agilizar el trabajo en clase y la realización de un TP integrador de conocimientos, se busca que el alumno adquiera cierto criterio sobre el comportamiento de EPPL.

Una vez aprendida la metodología de análisis, el alumno podrá aplicarla para analizar otros tipos de estructuras plegadas que no cumplan con las hipótesis en las que se basan los métodos de análisis manuales, es decir, que no sean largas ni prismáticas, como así también involucrar a la viga de borde o al pórtico extremo en el análisis.

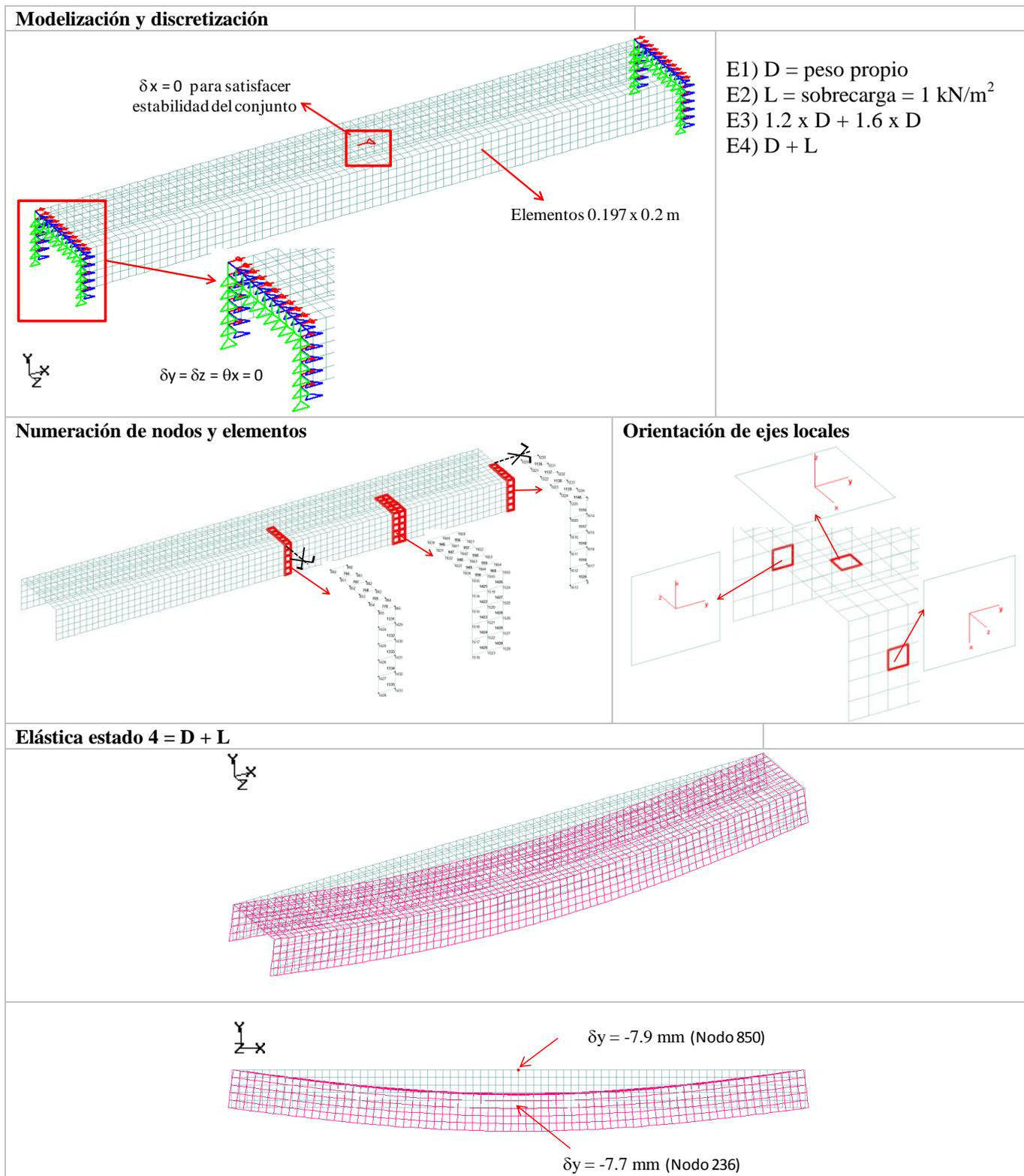
La estrategia didáctica diseñada será aplicada por primera vez en el segundo cuatrimestre del presente año, por lo que se espera contar con trabajos prácticos presentados por alumnos así como la evaluación de los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

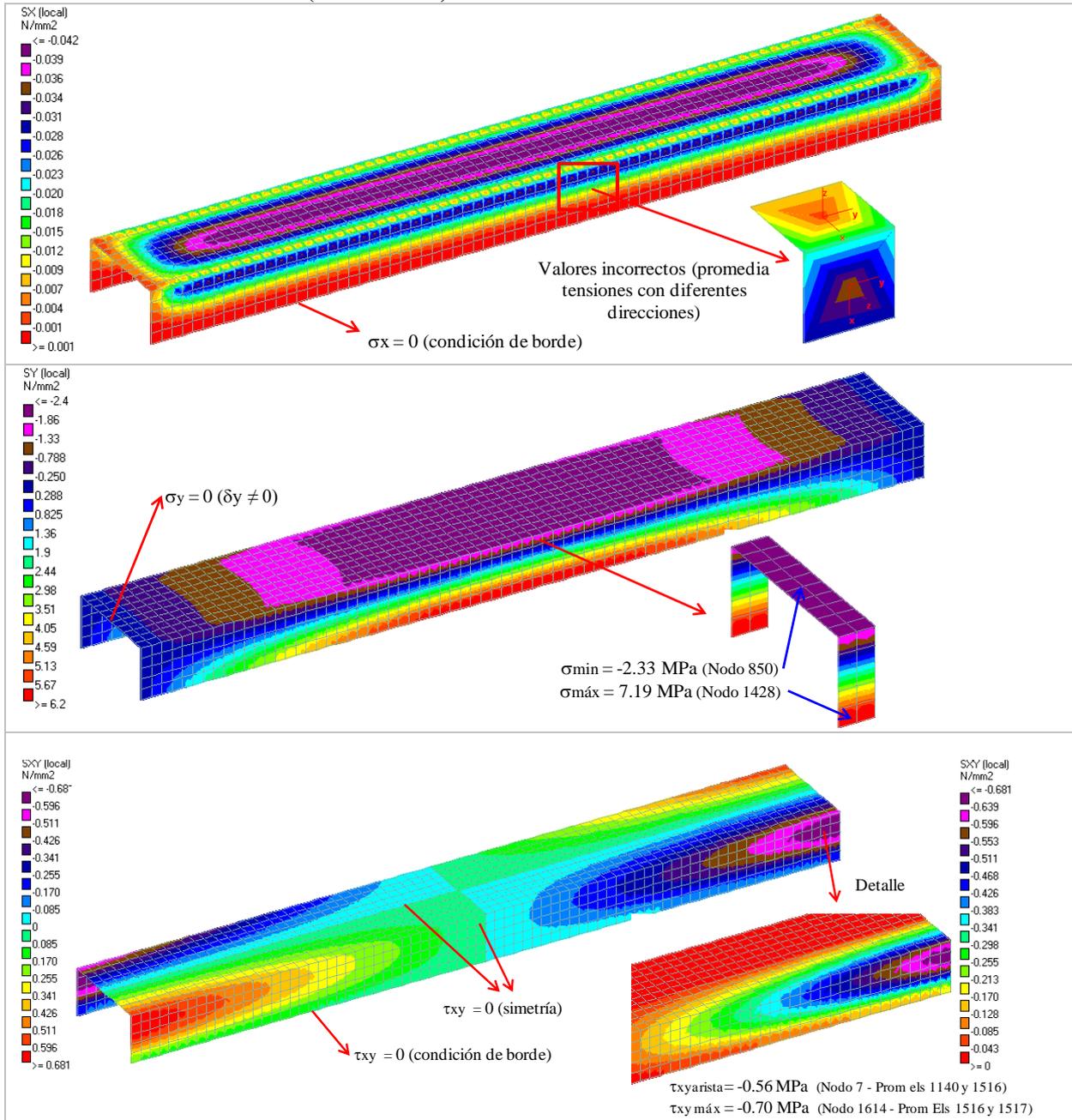
- Ausubel, D., *Adquisición y Retención del Conocimiento. Una perspectiva cognitiva*, Ed. Paidós, Barcelona, 2002.
- Ausubel, D.P., Novak, J.D., Hanesian, H., *Psicología Educativa*, Trilla, México, 1983.
- Born, J., Hipped plate structures. Their theory and analysis. Crosby Lockwood and Son Ltd. 1962.
- Brielmaier, A.A., Prismatic folded plates. *Journal of the ACI*, 59(3):407-426, 1962.
- Buttiglierio, H.D., Métodos y técnicas didácticas, en Aparicio Izquierdo, F., González Tirados, R.M., y Sobrevila, M.A (editores), *Formación de ingenieros: objetivos, métodos y estrategias*, 99-129, Madrid, ICE UPM, 2005.
- Cheung, Y. K., *Finite strip method in structural analysis*, Pergamon Press, 1976.
- Franz, G., *Tratado del hormigón armado*, Tomo II, Editorial Gustavo Gilli SA, 1971.
- Möller, O., *Aplicación del método de la franja finita*, Proyecto final de la carrera de Ingeniería Civil, 1981.
- Orengo, J.R., *Análisis Estructural II*, Apunte de la asignatura, Escuela de Ingeniería Civil F.C.E.I.yA., U.N.R., 2010.
- Resnick, L., *Education and Learning to Think*, Washington DC, National Academy Press, 1987.
- Resnick, L., *La Educación y el Aprendizaje del Pensamiento*, Buenos Aires, Aique, 1999.
- Rubinstein, M., *Análisis Estructural II*, Apunte de la asignatura, Escuela de Ingeniería Civil F.C.E.I.yA., U.N.R., 2009.

8 ANEXO

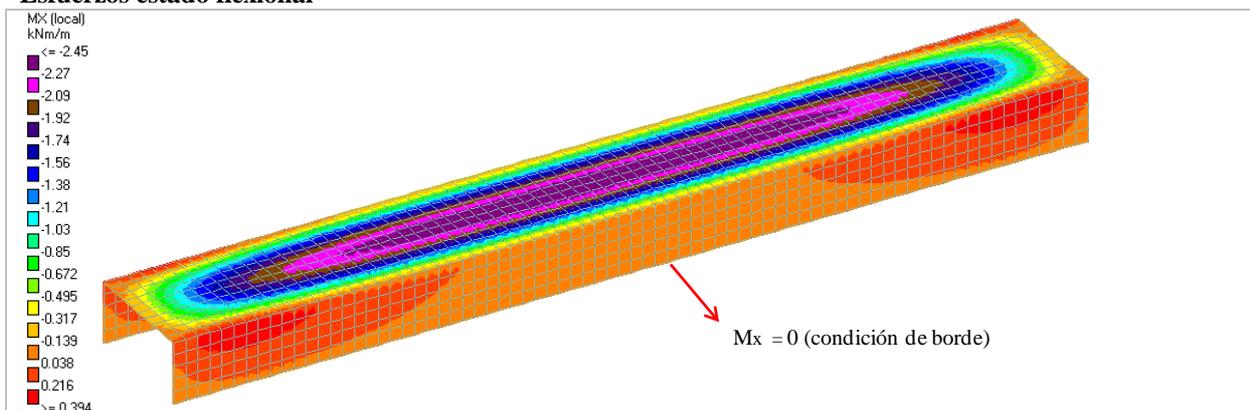
8.1 Hoja de apoyo resultados numéricos viga U invertida

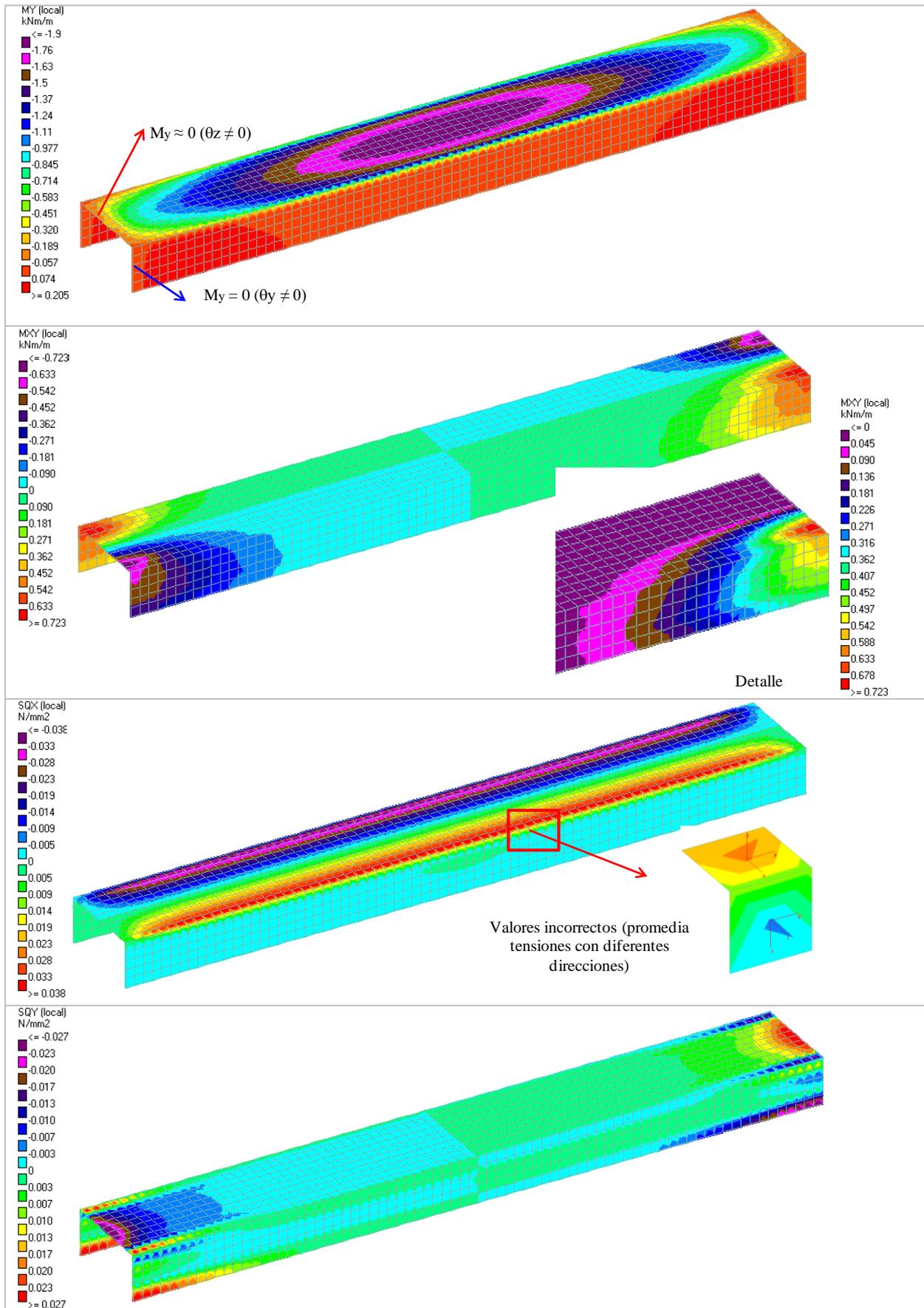


Tensiones estado membranal (1.2 D + 1.6 L)

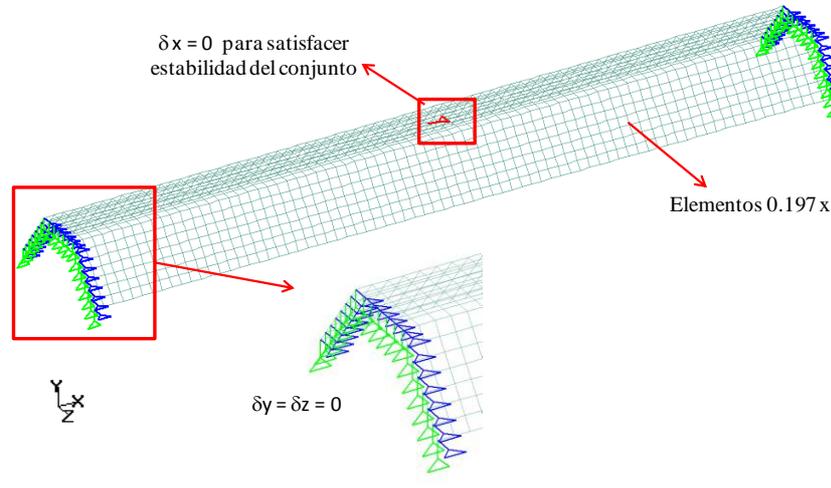
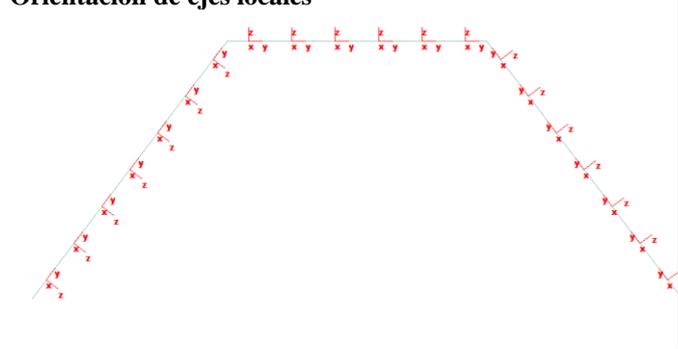
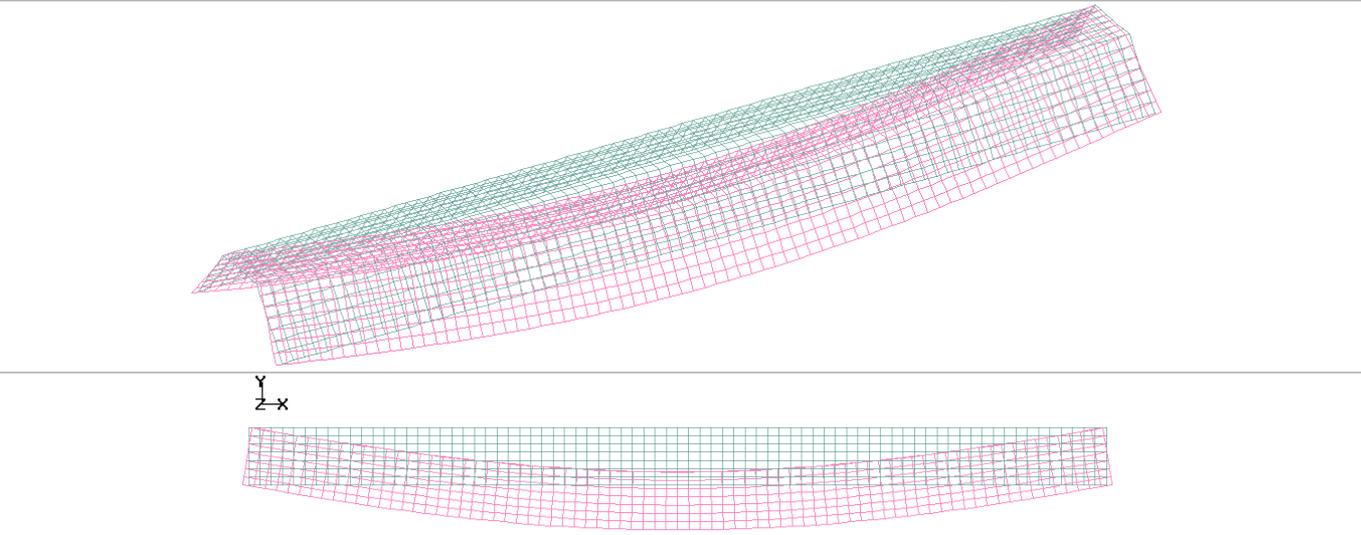


Esfuerzos estado flexional

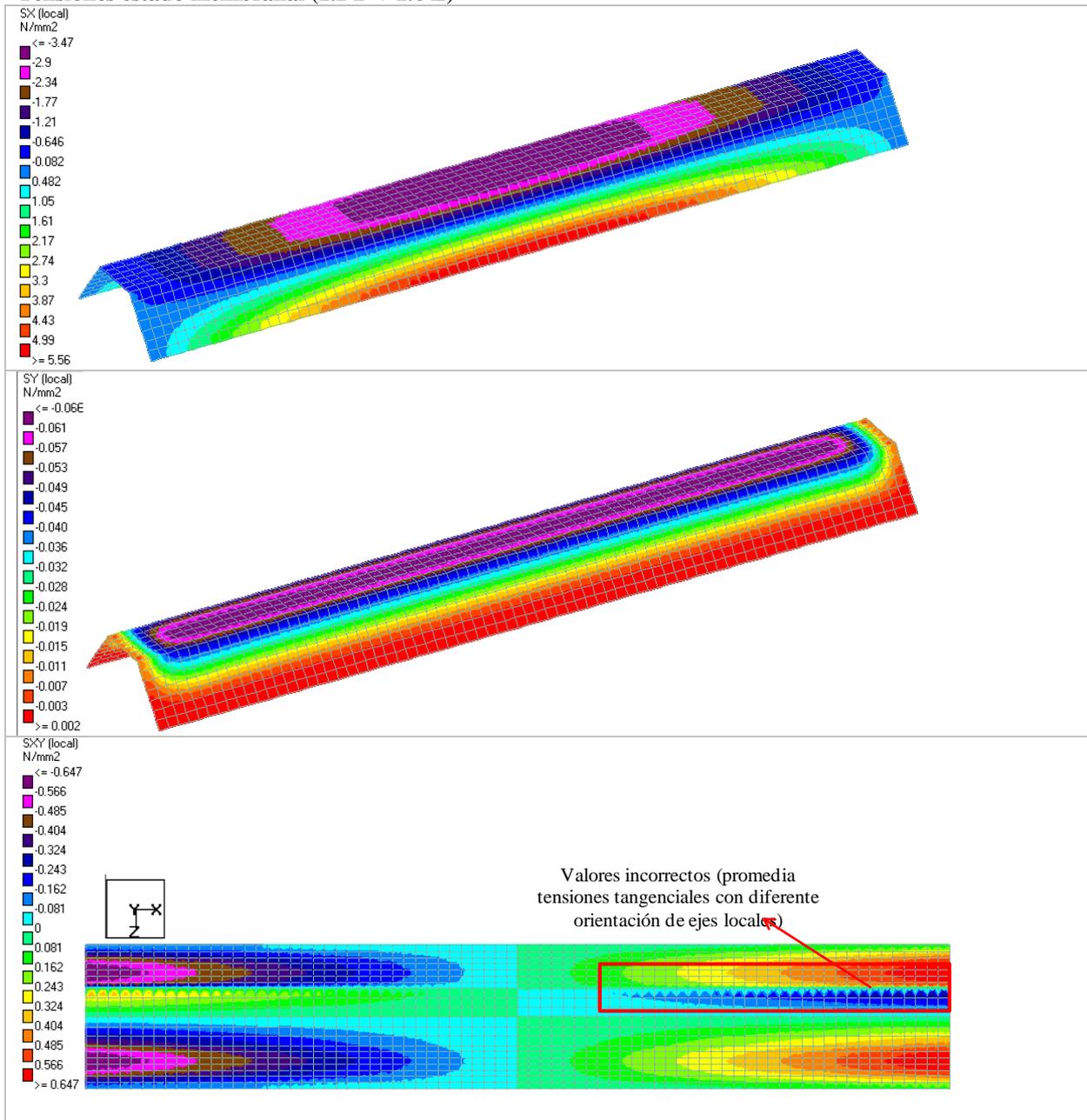




8.2 Hoja de apoyo resultados numéricos viga V invertida

<p>Modelización y discretización</p>	
 <p>$\delta x = 0$ para satisfacer estabilidad del conjunto</p> <p>Elementos 0.197 x 0.178 m</p> <p>$\delta y = \delta z = 0$</p>	<p>E1) D = peso propio E2) L = sobrecarga = 1 kN/m² E3) 1.2 x D + 1.6 x D E4) D + L</p>
<p>Orientación de ejes locales</p> 	<p>ATENCIÓN: La orientación de los ejes locales cambia, por lo que no es buena.</p> <p>Eje x: longitudinal Eje y: láminas izquierda y superior hacia la derecha, lámina derecha hacia la izquierda Eje z: lámina izquierda hacia adentro, láminas superior y derecha hacia afuera</p>
<p>Elástica estado 4 = D + L</p>	
	

Tensiones estado membral (1.2 D + 1.6 L)



Momentos flectores

