



FRANK NORTON

ESCULTURA MONUMENTAL PARA ROTONDA EN JACA (HUESCA)

CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

Octubre de 2011

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. BASES DE CÁLCULO.....	8
3. NORMATIVAS EMPLEADAS.....	9
4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	9
5. CARGAS APLICADAS	14
6. REQUISITOS TÉCNICOS EXIGIBLES A LOS MATERIALES.....	17
6.1. ACERO ESTRUCTURAL	17
6.1.1. Generalidades	17
6.1.2. Acero para chapas y tubos	17
6.1.3. Límite elástico y tensión de rotura	18
6.1.4. Calidad del acero	18
6.1.5. Acero para pernos y bulones.....	19
6.1.6. Acero para barras pasivas.....	19
6.2. HORMIGÓN.....	20
6.2.1. Resistencia	20
6.2.2. Módulo de elasticidad.....	20
7. NIVELES DE CONTROL.....	20
7.1. ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO	20
7.2. ELEMENTOS DE ACERO ESTRUCTURAL.....	21
8. COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD PARA LA RESISTENCIA	22
9. COEFICIENTES DE MAYORACIÓN	22
10. COMBINACIÓN DE ACCIONES	23
11. PROGRAMAS INFORMÁTICOS UTILIZADOS.....	24
12. MODELO DE CÁLCULO Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	26
12.1. INTRODUCCIÓN DE CARGAS	26
12.1.1. Peso propio.....	26
12.1.2. Viento Transversal	26
12.1.3. Viento Longitudinal.....	29

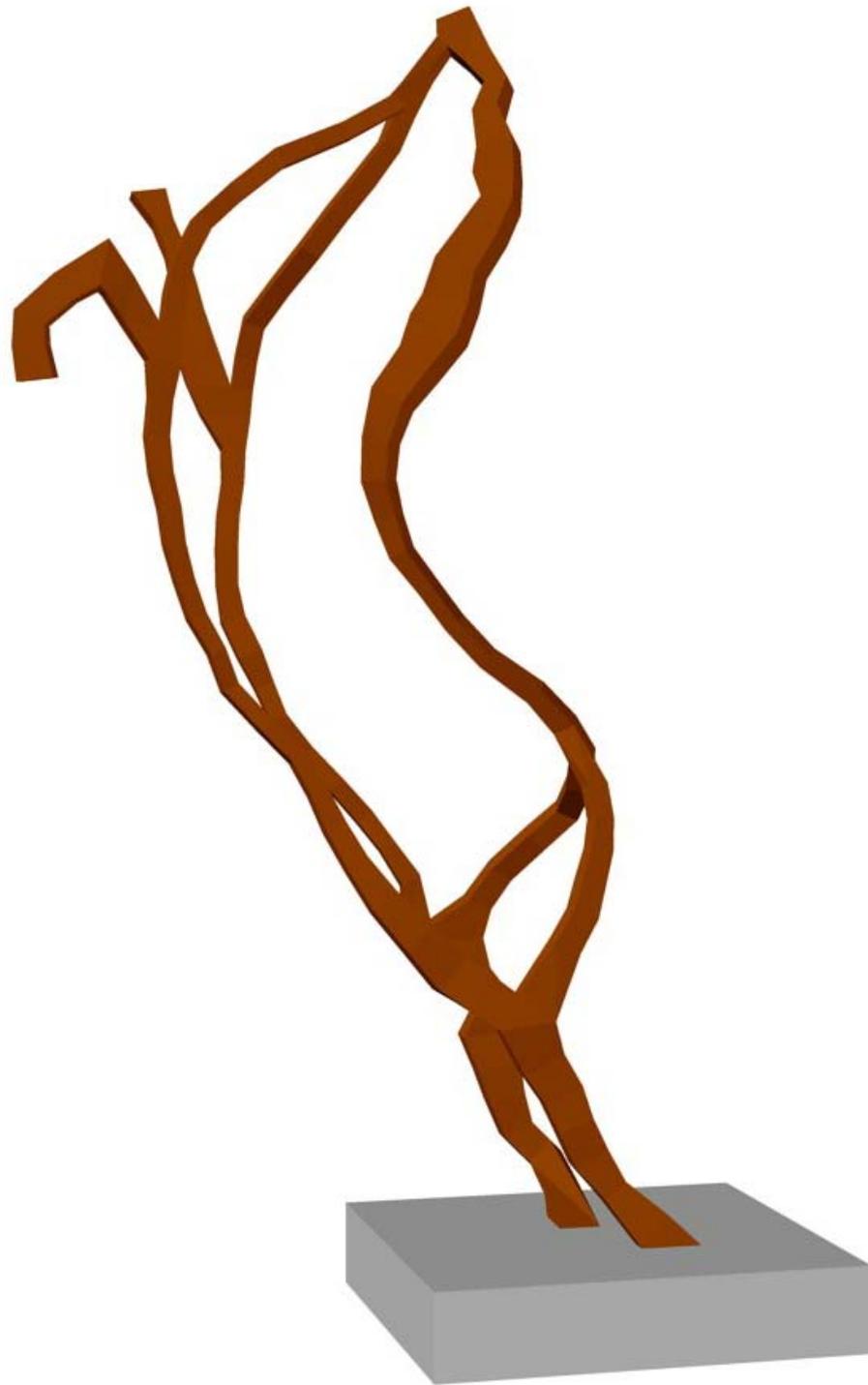
12.1.4. Sobrecarga.....	30
12.2. RESULTADOS OBTENIDOS	31
12.2.1. Tensiones.....	32
12.2.1. Deformadas.....	56
12.2.2. Reacciones.....	68
12.3. ZAPATA	70
12.4. PLACAS DE ANCLAJE	72
12.5. ESTABILIDAD GLOBAL	78
12.5.1. Seguridad al deslizamiento.....	78
12.5.2. Seguridad al vuelco.	78
12.6. CÁLCULO SÍSMICO	79
12.6.1. Bases de cálculo y dimensionamiento.....	79
12.6.2. Desplazamientos.....	81
12.6.1. Tensiones.....	84

1. Introducción

El presente anejo de cálculo tiene como objeto el de justificar de acuerdo a la normativa vigente los cálculos estructurales de la escultura monumental para una rotonda en Jaca, a petición de Frank Norton como autor de la escultura. Esta estructura es una escultura realizada con chapa de espesores variables (según planos adjuntos a esta memoria), que representa la figura de un caballo erguido sobre sus patas traseras. La cimentación es de hormigón armado, y se diseña como contrapeso para evitar el vuelco de la estructura, a parte de para transmitir unas tensiones adecuadas al terreno subyacente. El esquema resistente de la estructura es una sección rectangular en cajón armado mediante chapas laminadas, que se ensambla para dar forma a la estructura. Se adjunta un croquis en 3D de la estructura calculada:



Vista trasera



Vista lateral de la estructura



Vista frontal

En definitiva, el presente anejo de tiene como finalidad los siguientes apartados:

- Plantear las bases de diseño de la estructura.
- Indicar las distintas instrucciones y normativas de obligado cumplimiento en la ejecución de una obra de este tipo.
- Proporcionar una relación de los materiales que se emplearán en la construcción, así como sus principales características que sean determinantes en el comportamiento estructural de la estructura
- Especificar las acciones que se han considerado en el diseño de la estructura.
- Justificación de las soluciones estructurales adoptadas a partir de los resultados obtenidos en los cálculos.

Dichos cálculos se realizarán siempre mediante la aplicación de todo lo anteriormente indicado.

El autor de los cálculos estructurales:



Fdo.: Javier Marigil Sánchez
Ingeniero de Caminos Canales y Puertos
Colegiado N° 23.532

2. Bases de cálculo.

Se exponen a continuación los criterios y normativas empleadas en la realización de este anejo de cálculo.

El dimensionamiento de la estructura se ha realizado según los principios de mecánica racional, con su adaptación al diseño estructural, establecida por la práctica ingenieril. Se han tenido en cuenta las normas de obligado cumplimiento en el territorio español, así como las recomendaciones y la normativa internacional de aplicación, cuando proceda. De acuerdo con ellas, el cálculo se ha realizado siguiendo el principio de los Estados Límites, que establece que la seguridad de la estructura en conjunto, o cualquiera de sus partes, se garantiza comprobando que la sollicitación no supera la respuesta última de las mismas. Este formato de seguridad se expresa sintéticamente mediante la siguiente desigualdad:

$$S_d \leq R_d$$

Donde S_d representa la sollicitación de cálculo aplicable en cada caso, y R_d la respuesta última de la sección o elemento.

Para la aplicación de este criterio de seguridad, se consideran tanto situaciones de servicio, como de agotamiento, esto es, Estados Límites de Servicio (ELS) y de Agotamiento (ELU), de acuerdo con las definiciones dadas para los mismos en las normativas de referencia. En principio, los Estados Límites Últimos están asociados a la Rotura de las secciones o Elementos. Para ellos, se evalúan las sollicitaciones mediante la mayoración de los valores representativos de las acciones (en general característicos) utilizando los oportunos coeficientes parciales que luego se detallan. Las resistencias de las secciones o elementos se estiman mediante las características geométricas, y las resistencias minoradas de los materiales.

Por el contrario, los Estados Límites de Servicio están asociados a la pérdida de funcionalidad de la estructura. Las sollicitaciones se evalúan mediante sus valores representativos, en general sin mayorar, afectados de los oportunos coeficientes de combinación, para tener en cuenta la probabilidad de ocurrencia simultánea de varias acciones. Las resistencias se estiman a partir de los valores nominales de las dimensiones y resistencias de los elementos o secciones de la estructura, sin minorar.

Los cálculos se realizarán mediante programas informáticas de aplicación general al cálculo de estructuras, así como mediante programas propios de diseño de elementos particulares. Los

cálculos por ordenador se justifican mediante los oportunos listados de datos y resultados incluidos en el presente anejo. Adicionalmente, cuando sea preciso para la correcta comprensión de los resultados, así como para su oportuno chequeo, se realizarán comprobaciones manuales aproximadas, que justifiquen los órdenes de magnitud.

Se exponen a continuación los criterios y normativas empleadas en la realización de este anejo de cálculo.

3. Normativas empleadas

El dimensionamiento general de las estructuras se ha realizado conforme a las instrucciones principales siguientes:

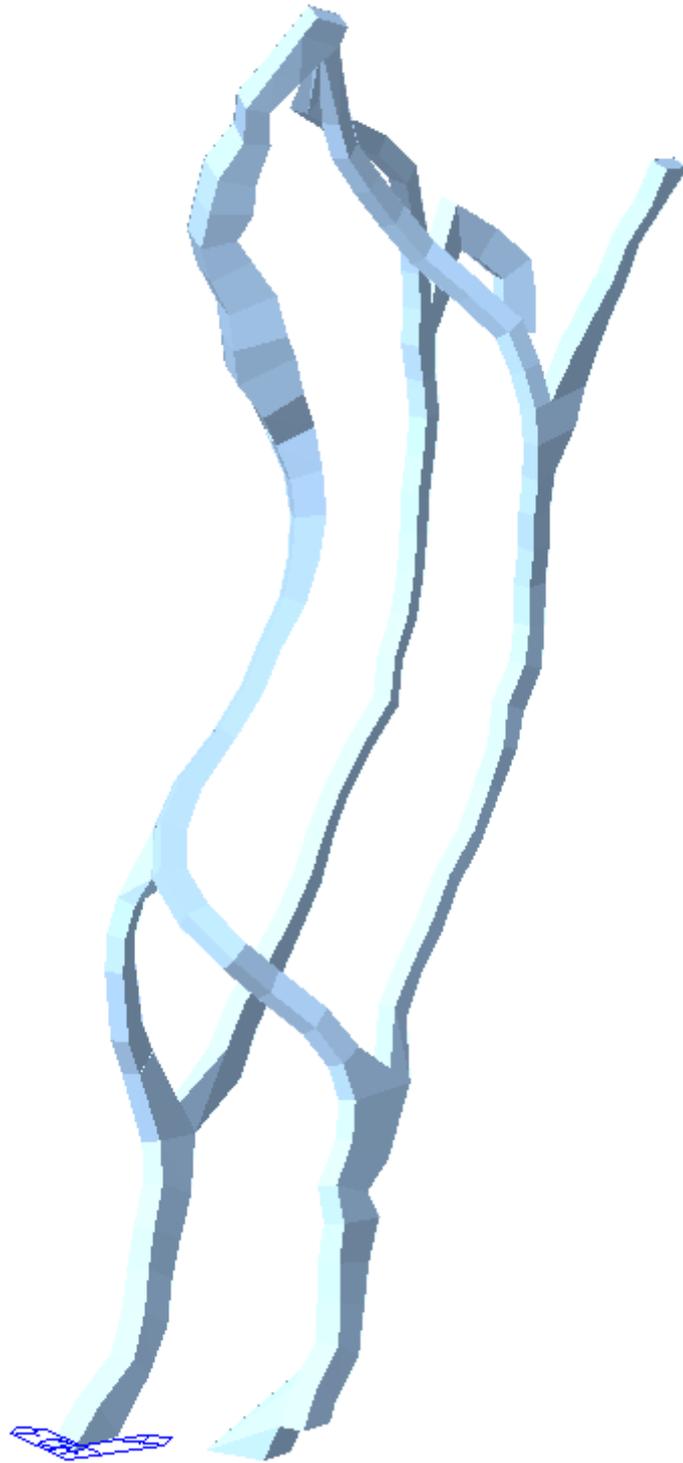
- *Norma de construcción sismorresistente general (NCSE-02) y de puentes (NCSP-07).*
- *Instrucción sobre las Acciones a considerar en el proyecto de Puentes de carretera (IAP-98).*
- *Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).*
- *Guía de cimentaciones en Obras de Carretera: Ministerio de Fomento.*
- *Documento Básico: Seguridad estructural Acciones en la edificación (DB-SE-AE).*
- *Documento Básico: Seguridad estructural (DB-SE).*
- *Documento Básico: Seguridad estructural Cimientos (DB-SE-C).*

4. Análisis estructural

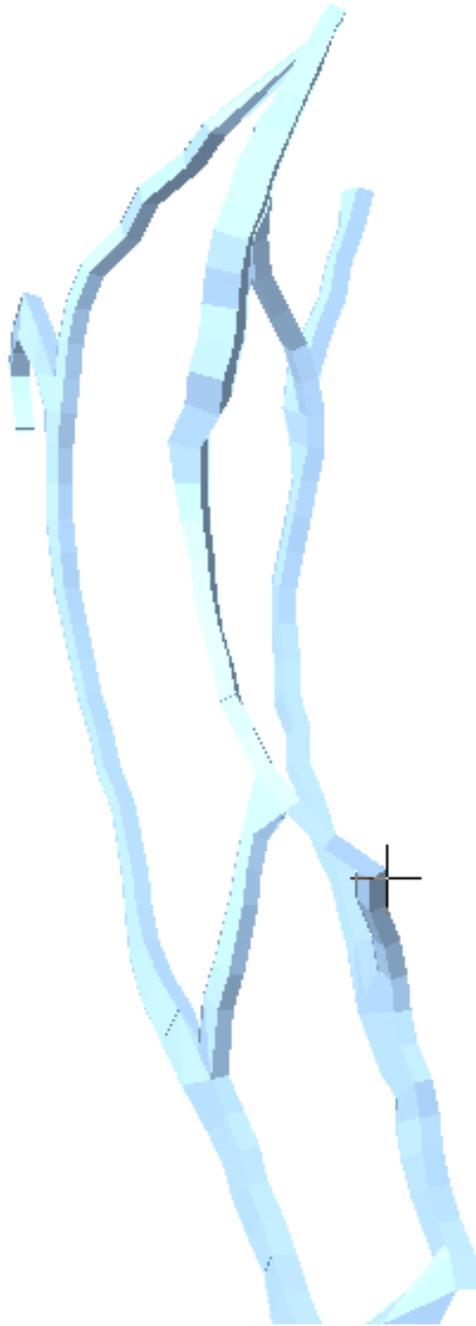
El análisis de la estructura objeto de este anejo de cálculo se ha abordado mediante un modelo tridimensional de elementos shell en el que se ha simulado la estructura completa con su compleja geometría. Se ha considerado que la estructura se encuentra empotrada idealmente en la cimentación.

La obtención de los esfuerzos en las diferentes hipótesis simples del modelo estructural, se hará de acuerdo a un cálculo lineal de primer orden y considerando un comportamiento elástico y lineal de los materiales de la estructura.

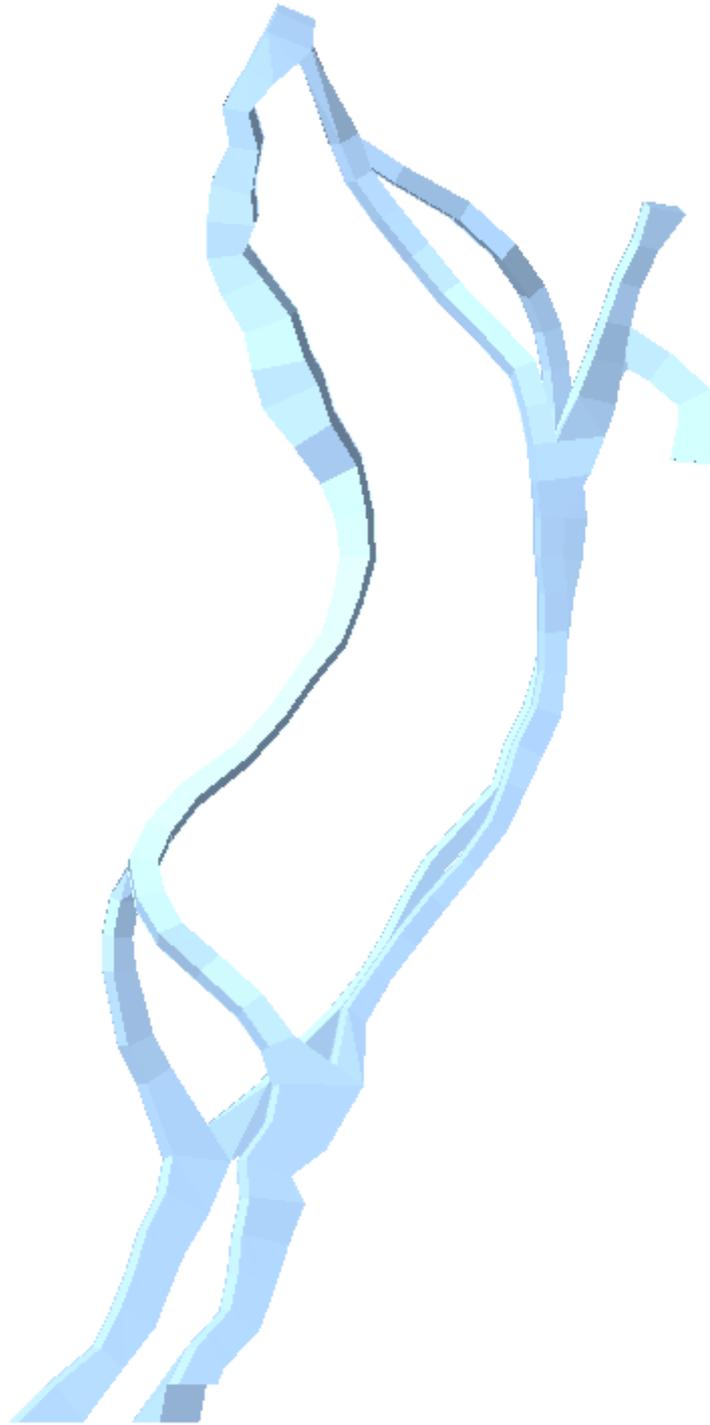
El análisis de las solicitaciones se realiza mediante un cálculo espacial en 3D, por métodos matriciales de rigidez. Se establece la compatibilidad de deformaciones en todos los nudos, considerando 6 grados de libertad.



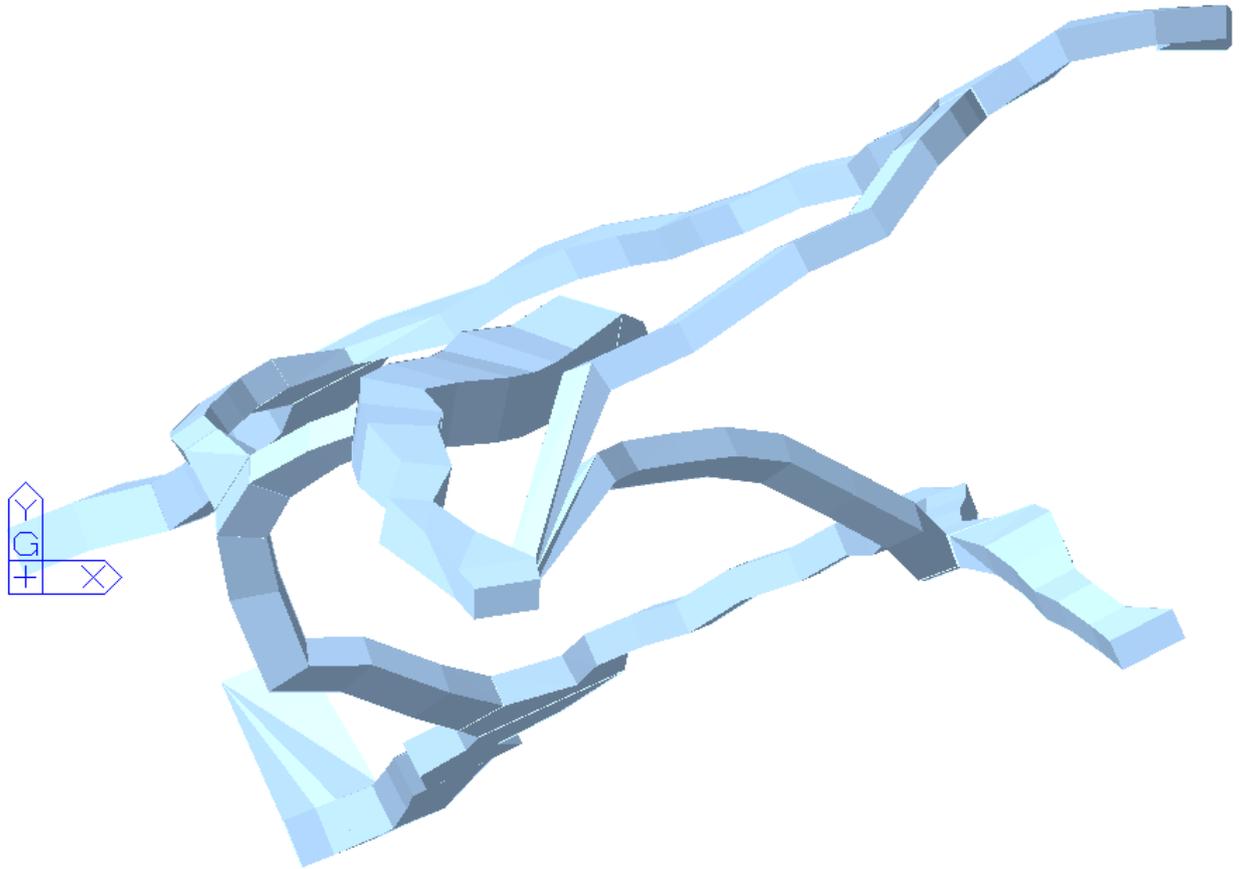
Vista en perspectiva del modelo de cálculo



Vista en perspectiva frontal del modelo de cálculo



Vista en perspectiva lateral del modelo de cálculo



Vista en planta del modelo de cálculo

5. Cargas aplicadas

Las cargas aplicadas para el cálculo del tablero en los diferentes modelos empleados son las siguientes de acuerdo con la normativa de referencia:

Cargas permanentes

- Peso propio estructura
- Peso jinete

Sobrecargas

- Sobrecargas de uso (nieve).
- Empuje del viento.

Acciones accidentales

Se consideran acciones accidentales de sismo por ser necesario según normativa al tratarse de zona con aceleración básica igual o superior a 0.04 g.

ACCIONES PERMANENTES:

– ACCIONES PERMANENTES DE VALOR CONSTANTE (G):

PESO PROPIO

El correspondiente a considerar una densidad de los siguientes materiales:

- Peso específico del hormigón armado: $\gamma_h = 2,50 \text{ T/m}^3$

- Peso específico del acero: $\gamma_a = 7.85 \text{ T/m}^3$

El peso del jinete considerado es de 1 t en total.

ACCIÓN VARIABLE (Q): SOBRECARGAS DE USO

VERTICAL:

Sobrecarga uniforme: 0.1 T/m².

VIENTO

Se considera un viento actuante sobre la estructura:

- *Viento normativo de IAP*: De acuerdo a esta normativa se calcula el viento máximo al que va a quedar expuesta la estructura.

Para la obtención del valor de esta acción se emplea la formulación proporcionada por la IAP.

Velocidades de Referencia y Cálculo



Figura 3.- Mapa de isotacas para la obtención de la velocidad de referencia del viento

$V_{ref} = 28 \text{ m/s}$

Tipo de entorno II.

$C_d = 1.8$

VIENTO TRANSVERSAL SOBRE LA ESTRUCTURA

EMPUJE DE VIENTO			
Datos			
Zona climática	2	Zo	0.05
Altura de las pilas (m)	14	kz	0.19
Velocidad de referencia (m/s)	28	Zmin	4
Ct	1	z	14
Cr	1.04		
Cz	1.07		
Cg	1.50		
Vc (m/s)	46.68		
EMPUJE DEL VIENTO			
$F = C_D \cdot (0.5 \cdot \rho \cdot V_c^2)$			
	Cd	1.80	
	F	0.245	T/m ²

$V_c = 46.68 \text{ m/s}$

Se considera una presión sobre la estructura de 0.245 t/m^2 , actuante en cualquier dirección.

En el caso del jinete se considera un área expuesta al viento transversal de 10.8 m^2 , lo cual para la presión de cálculo indicada se obtiene una fuerza neta por el viento transversal de 2.64 t. Para anclar el jinete son necesarios dos puntos de amarre a la estructura del caballo. Estos puntos se ubican el lomo y en la crin (pueden verse en el gráfico de cargas más adelante). Se ha dividido en dos fuerzas de 1.35 t por amarre. Se ha contemplado que la fijación del jinete será mediante un sistema de abrazadera que transmita una fuerza y un momento torsor al cajón debido al viento. Por la incertidumbre existente en la geometría del jinete se considera una mayoración adicional de 1.60, por lo que la fuerza a considerar en cada amarre es de $1.6 \times 2.64 / 2 = 2.2 \text{ t}$. Así, en el punto de amarre inferior, se estima que el canto de torsión es de 0.25 m mientras que en punto de amarre superior en la crin es de 0.6 m. Por tanto, los esfuerzos a considerar son:

FIJACIÓN	Fuerza transversal (t)	Momento torsor (tm)
Amarre en la crin	2.2	3.7
Amarre en el lomo	2.2	8.8

NIEVE

De acuerdo al DB-SE AE se considera una sobrecarga de nieve de:

$$q_k = 0.8 s_k, \text{ con } s_k = 1.1 \text{ KN/m}^2 \text{ (altitud igual o inferior a 1000 m)}$$

$$q_k = 0.8 \times 1.1 = 0.88 \text{ KN/m}^2 < 1 \text{ KN/m}^2 \text{ de sobrecarga.}$$

TEMPERATURA UNIFORME

Para evaluar el efecto de la variación térmica se considera un valor medio en construcción para el emplazamiento de la estructura de $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Se consideran unas temperaturas máximas de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ y mínimas de $-10 \text{ }^\circ\text{C}$, por lo que la variación uniforme de temperatura considerada es de:

T+	T-
+30 °C	-20 °C

GRADIENTE TÉRMICO

No se considera esta acción por tratarse de un cajón de muy reducidas dimensiones. Se considera como un elemento lineal frente a este efecto.

6. Requisitos técnicos exigibles a los materiales

6.1. Acero estructural

6.1.1. Generalidades

Las características de los aceros estructurales empleados, deberán responder a las siguientes normas:

1. Acero en chapas para la construcción de la escultura según norma UNE EN 10025: "Productos laminados en caliente de acero no aleado para construcciones metálicas de uso general.

6.1.1.1 Características comunes a todos los aceros estructurales

Se consideran los siguientes valores:

- Módulo de elasticidad $E_a = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Módulo de elasticidad transversal $G_a = 81.000 \text{ N/mm}^2$
- Coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$
- Coeficiente de dilatación térmica $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ [}^\circ\text{C]}^{-1}$
- Densidad $\rho = 7,85 \text{ kg/m}^3$

A efectos de cálculo, se idealiza el diagrama tensión-deformación, adoptando el correspondiente a un material elastoplástico.

6.1.2. Acero para chapas y tubos

Para la fabricación de las cuchillas y todos los elementos adicionales como cartelas, nudos, rigidizadores, etc., se emplearán chapas de acero del tipo:

- Estructura metálica auxiliar:

S275 J2 para $t \leq 16 \text{ mm}$	$f_y = 275 \text{ N/mm}^2$	
	$E_a = 210 \text{ KN/mm}^2$	(RPM,3.2.4)
S275 J2 para $16 < t \leq 40 \text{ mm}$	$f_y = 265 \text{ N/mm}^2$	
	$E_a = 210 \text{ KN/mm}^2$	(RPM,3.2.4)

6.1.3. Límite elástico y tensión de rotura

Para acero S275 y espesores inferiores a $t = 16$ mm, se calcula con:

- Límite elástico $f_y = 275$ N/mm²
- Tensión de rotura $f_u = 410$ N/mm²

Para espesores $16 < t < 40$, se calcula con:

- Límite elástico $f_y = 265$ N/mm²
- Tensión de rotura $f_u = 410$ N/mm²

Para acero S355 y espesores inferiores a $t = 16$ mm, se calcula con:

- Límite elástico $f_y = 355$ N/mm²
- Tensión de rotura $f_u = 470$ N/mm²

Para espesores $16 < t < 40$, se calcula con:

- Límite elástico $f_y = 345$ N/mm²
- Tensión de rotura $f_u = 470$ N/mm²

6.1.4. Calidad del acero

Para poder excluir la posibilidad de roturas frágiles en elementos traccionados, la resiliencia del acero a la temperatura mínima de servicio, medida en ensayo normalizado Charpy, deberá superar un determinado valor que depende del espesor de la chapa del elemento y de las condiciones de servicio, además de la temperatura.

Temperatura mínima de servicio: La temperatura mínima de servicio a considerar es la más próxima a la temperatura mínima absoluta registrada en el lugar del emplazamiento del puente considerado durante los últimos 50 años.

La temperatura mínima de servicio a considerar (-20° , -10° ó 0°C) debe ser la más próxima a la temperatura mínima absoluta registrada en el lugar de emplazamiento de la obra. Por lo tanto, y dado el carácter provisional de la estructura para la fase de lanzamiento, se adopta una temperatura mínima de servicio de 0°C .

Condiciones de servicio: Las condiciones en servicio a considerar, C1, C2 ó C3, dependen de las soldaduras existentes en el elemento y del valor de las tensiones locales de tracción, S_{geom} , a que esté sometido. Estas últimas se calculan multiplicando las tensiones nominales correspondientes a la combinación frecuente en el Estado Límite de Servicio por un factor de concentración de tensiones adecuado, que tenga en cuenta el efecto de los cambios de geometría.

Las tres categorías de condiciones se pueden caracterizar de la siguiente manera:

- C1 sin soldaduras
 $\sigma_{\text{geom}} \leq 0,67 f_y$ si se relajan las tensiones residuales,
 $\sigma_{\text{geom}} \leq 0,2 f_y$ siendo f_y el límite elástico
- C2 estructura soldada con:

$$0,2 f_y \leq \sigma_{geom} \leq 0,67 f_y$$

$$0,67 f_y \leq \sigma_{geom} \leq 2 f_y \quad \text{si se relajan las tensiones}$$

- C3 estructuras soldadas con geometría compleja con:

$$0,67 f_y \leq \sigma_{geom} \leq 2 f_y$$

$$2 f_y \leq \sigma_{geom} \leq 3 f_y \quad \text{si se relajan las tensiones.}$$

Las condiciones de servicio en estructuras proyectadas según normas modernas, suelen ser del tipo C3 si no se aplican tratamientos térmicos de relajación de tensiones, y del tipo C2 si se aplican dichos tratamientos. Como no está previsto aplicar tratamientos de relajación de tensiones, se consideran las condiciones de servicio del tipo C3.

Espesor máximo. El espesor máximo de chapa en las zonas con tracción no supera los 30 mm.

Resiliencia mínima: El espesor máximo de las chapas para el acero S275 es de 20 mm, por lo que interpolando en las tablas de condiciones de servicio se obtiene para este espesor una resiliencia mínima de 18 J aproximadamente para el acero S275.

Por tanto, para los distintos elementos estructurales se tienen que emplear los siguientes aceros.

- Estructura escultura: S275 J2 W

6.1.5. Acero para pernos y bulones.

6.1.5.1 Resistencia:

Se considera acero del tipo B500 con $f_y = 500$ MPa y $f_u = 550$ MPa.

6.1.5.2 Módulo de elasticidad:

Se toma un valor $E_s = 1.9 \times 10^5$ N/mm²

6.1.6. Acero para barras pasivas.

6.1.6.1 Resistencia

Se considera acero B 500 S

Todos los elementos serán del tipo: B 500-S, de acuerdo con EHE-08

El límite elástico del acero será

$$f_y = 5100 \text{ kp/cm}^2$$

El coeficiente de minoración del acero adoptado es $\gamma_s = 1.15$

6.1.6.2 Módulo de elasticidad

Se toma un valor $E_s = 2 \times 10^5$ N/mm²

6.2. Hormigón.

6.2.1. Resistencia

Se consideran las siguientes resistencias características:

- Zapata: HA-25/ P / 20 / IIa

6.2.2. Módulo de elasticidad

Se considera el módulo instantáneo de deformación longitudinal secante E_j . Es la pendiente de la secante al diagrama σ_c - ϵ_c real para $\sigma_c \leq 0.45 f_{cj}$ en servicio, con f_{cj} la resistencia característica a compresión a la edad de j días:

$$E_j = 8500 \cdot \sqrt[3]{f_{cm,j}}$$

Siendo $f_{cm,j}$ la resistencia media del hormigón a compresión a la edad de j días. Si las condiciones de fabricación son buenas, la resistencia media a compresión f_{cm} a 28 días puede estimarse con la fórmula:

$$f_{cm} = f_{ck,28} + 8 \text{ N/mm}^2$$

7. Niveles de control

El control de calidad de los elementos abarca el control de materiales y el control de la ejecución.

7.1. Elementos de hormigón armado

Control de materiales

El control de la calidad del hormigón y de sus materiales componentes, así como el control del acero de armar se efectuará según lo establecido en la "Instrucción de Hormigón Estructural EHE".

El fin del control es verificar que la obra terminada tiene las características de calidad especificadas en el proyecto, que son las generales de la Instrucción EHE. Existen diferentes niveles de control.

Control de la ejecución.

El control de la calidad de la ejecución de los elementos de hormigón será un control intenso.

Niveles de control

En el proyecto se adoptan los siguientes niveles de control según la definición de EHE:

- Acero de armar

Todos los casos: Normal

- Hormigón
Todos los casos Estadístico
- Ejecución
Todos los casos Intenso

Corresponde a la Dirección de Obra la responsabilidad de la realización de los controles anteriormente definidos.

7.2. Elementos de acero estructural.

Se debe comprobar que todos los materiales empleados en la construcción metálica disponen de certificados de control, emitido por el fabricante según la Norma UNE-EN 10021.

En ausencia de certificado de control, los materiales deben ser examinados por un laboratorio homologado, que disponga de las instalaciones apropiadas y de personal cualificado para los ensayos a efectuar. Los resultados deberán estar conformes con los valores nominales de las características mecánicas y químicas exigidas en las normas correspondientes.

En particular, los elementos de unión, así como los materiales de aportación, deben disponer de certificados de ensayo expedidos por el fabricante.

El control de los materiales metálicos, así como la de ejecución de los elementos de acero estructural, tienen por objeto el cumplimiento de las prescripciones específicas contenidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

El alcance de los controles es el definido en el Plan de Puntos de Inspección.

8. Coeficientes parciales de seguridad para la resistencia

Los controles anteriormente definidos están en acuerdo recíproco con los coeficientes parciales de seguridad para la resistencia, adoptados en los cálculos justificativos de la seguridad estructura.

Los coeficientes parciales de seguridad para la resistencia adoptados con:

- Hormigón $\gamma_c = 1,50$
- Acero de armar $\gamma_s = 1,15$
- Acero estructural $\gamma_{M0} = 1,10$
 $\gamma_{M2} = 1,25$

9. Coeficientes de mayoración

Los coeficientes parciales de seguridad que se utilizan, de acuerdo con EHE/IAP-98, (control de ejecución Intenso), se muestran en la siguiente tabla:

TIPO DE ACCIÓN		E.L.U.				E.L.S.	
		SITUACIONES PERSISTENTES Y TRANSITORIAS		SITUACIONES ACCIDENTALES		SITUACIONES PERSISTENTES Y TRANSITORIAS	
		Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente		1.0	1.35	1.0	1.0	1.0	1.0
Permanente valor no constante	Pretensado	1.0	1.0	1.0	1.0	0.95	1.05
Variable		0.0	1.50	0.0	1.0	0.0	1.0
Accidental		-	-	1.0	1.0	-	-

10. Combinación de acciones

Estado Límite Último:

Situaciones Persistentes o Transitorias:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{K,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{G^*,i} \cdot G^*_{K,i} + \gamma_P \cdot P_K + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{K,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$$

Donde:

- $G_{K,j}$ = Valor Representativo de cada Acción Permanente.
- $G^*_{K,j}$ = Valor Representativo de cada Acción Permanente de Valor no Constante.
- P_K = Valor Representativo de la Acción del Pretensado.
- $Q_{K,1}$ = Valor Representativo (Valor Característico) de la Acción Variable Dominante.
- $\Psi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$ = Valores Representativos (Valores de Combinación) de las Acciones Variables Concomitantes con la Acción Variable Dominante.

- Si la Acción de Sobrecarga es considerada como Dominante, se tomará ésta con su Valor Representativo y la Acción del Viento con su Valor Reducido (reducción del 50%), aplicándose además los coeficientes ψ_i pertinentes.
- Si la Acción del Viento es considerada como Dominante, se tomará ésta con su Valor Representativo y NO se considerará la actuación simultánea de la Acción de la Sobrecarga de Uso.

Situaciones Accidentales con Sismo:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{K,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{G^*,i} \cdot G^*_{K,i} + \gamma_P \cdot P_K + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{1,1} \cdot Q_{K,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{K,i} + \gamma_A \cdot A_K$$

Donde:

- $G_{K,j}$ = Valor Representativo de cada Acción Permanente.
- $G^*_{K,j}$ = Valor Representativo de cada Acción Permanente de Valor no Constante.
- P_K = Valor Representativo de la Acción del Pretensado.
- $\Psi_{1,i} \cdot Q_{K,1}$ = Valor Frecuente de la Acción Variable Dominante.
- $\Psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$ = Valor Quasipermanente de las Acciones Variables Concomitantes con la Acción Variable Dominante.
- A_K = Valor Representativo (Valor Característico) de la Acción Accidental.

Estado Límite de Servicio:

Según EHE-08:

- Combinación Característica.(poco probable o rara)

$$- \sum_{j \geq 1} G_{K,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{G^*,i} \cdot G^*_{K,i} + \gamma_P \cdot P_K + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{K,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$$

- Combinación Frecuente.

$$- \sum_{j \geq 1} G_{K,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{G^*,i} \cdot G^*_{K,i} + \gamma_P \cdot P_K + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{1,1} \cdot Q_{K,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$

- Combinación Cuasi-Permanente.

$$- \sum_{j \geq 1} G_{K,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{G^*,i} \cdot G^*_{K,i} + \gamma_P \cdot P_K + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$

11. Programas informáticos utilizados

Para la realización de esta memoria de cálculos se han empleado diversos programas de modelización y diseño, tanto de elaboración propia como software comercial de uso extendido en el campo de la ingeniería civil.

- **Hojas de cálculo**, en el que se desarrollan algunos de los cálculos de E.L.U. y E.L.S.
- **El programa de cálculo “Midas Civil 2011”**, ha sido utilizado para la modelización de la estructura en estudio.
- **Cypecad**, se ha utilizado para la verificación de las chapas de anclaje.

En el análisis y dimensionamiento se han utilizado el programa Midas Civil.

Midas Civil es un programa de cálculo de estructuras por métodos matriciales y/o elementos finitos de amplia difusión mundial.

Permite una entrada interactiva de datos y una gran flexibilidad en la asignación de nombres a las variables de entrada y de resultados, los cuales se pueden obtener tanto de forma numérica como gráfica, por lo que se dispone de una gran facilidad en la interpretación de los valores correspondientes.

Este programa informático puede realizar multitud de cálculos estructurales: lineales, no lineales en geometría y material, análisis sísmico, dinámico... pudiendo además realizar, en los casos más

típicos, dimensionados y comprobaciones de elementos metálicos o de hormigón bajo las normativas de algunos países.

El funcionamiento es el típico de los programas de cálculo de estructuras, que podemos dividir en una fase de PREPROCESO, una fase de SOLUCIÓN y por último una fase de POSTPROCESO.

El proceso general de cálculo que sigue el programa consta de diversos módulos que se utilizan para formar la base de datos del modelo los siguientes pasos fundamentales:

PREPROCESO. En esta fase el usuario especifica los datos siguientes:

- Tipos de elementos de que consta el modelo, de acuerdo con la discretización que se adopte.
- Características elastomecánicas de cada elemento: Áreas, inercias, características de torsión, espesores..., según los casos.
- Propiedades de los materiales: Módulos de deformación, coeficiente de Poisson, peso específico y coeficiente de dilatación térmica.
- Geometría del modelo: Nudos, elementos, acoplamientos de grados de libertad y condiciones de contorno.
- Acciones: Fuerzas, presiones, aceleraciones y variaciones de temperatura.

SOLUCIÓN. El programa sigue aquí los pasos usuales de un proceso de cálculo matricial de estructuras, a saber:

Análisis:

- Obtención de la matriz de rigidez de cada elemento.
- Asignación de las cargas a los nudos, equivalentes a las acciones sobre los elementos.
- Ensamblaje de la matriz de rigidez global y de los vectores de carga para cada hipótesis considerada.
- Modificación de las matrices por la introducción de las condiciones de apoyo.
- Resolución, para cada hipótesis de carga, del sistema de ecuaciones, y obtención de los desplazamientos en los nudos.
- Obtención de esfuerzos y tensiones en cada elemento.

POSTPROCESO. En esta fase se procede a la visualización de los resultados, tanto en forma numérica como gráfica, pudiendo además realizar combinaciones de las hipótesis simple de carga.

12. Modelo de cálculo y resultados obtenidos

12.1. Introducción de cargas

Según lo descrito en el apartado de cargas las cargas aplicadas sobre el modelo son:

12.1.1. Peso propio

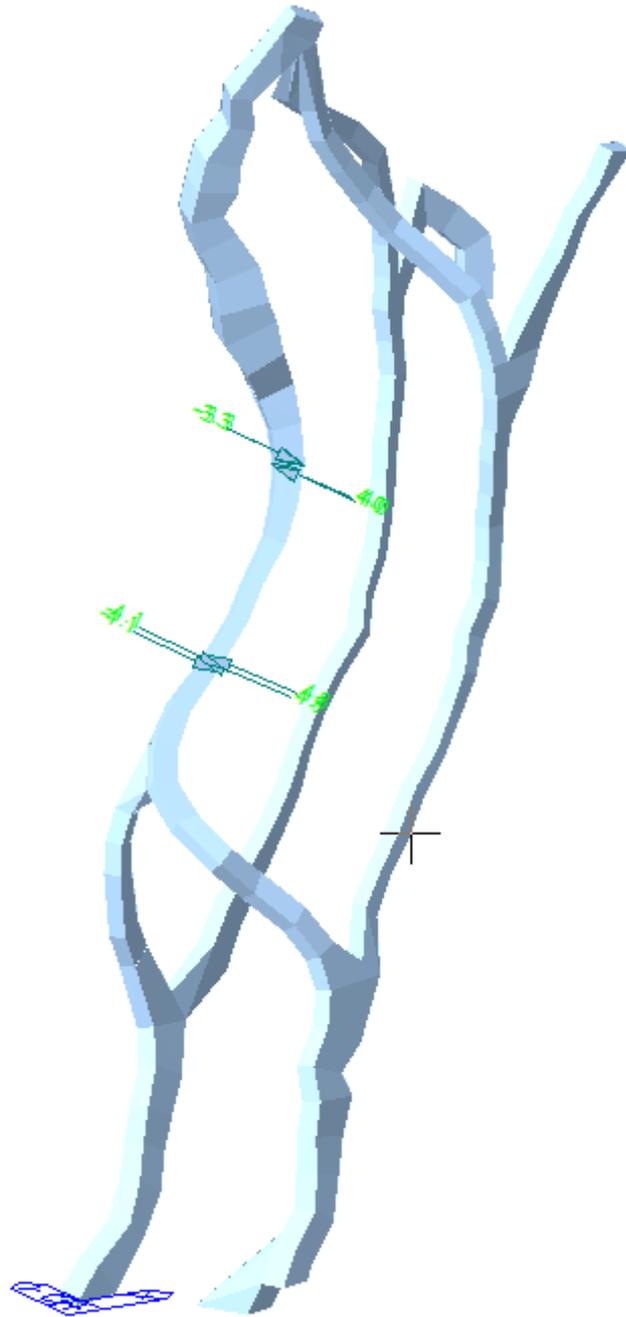
Es generado automáticamente por el programa en base a los materiales y espesores introducidos.

Se han introducido las siguientes cargas puntuales debidas al peso del jinete.



12.1.2. Viento Transversal

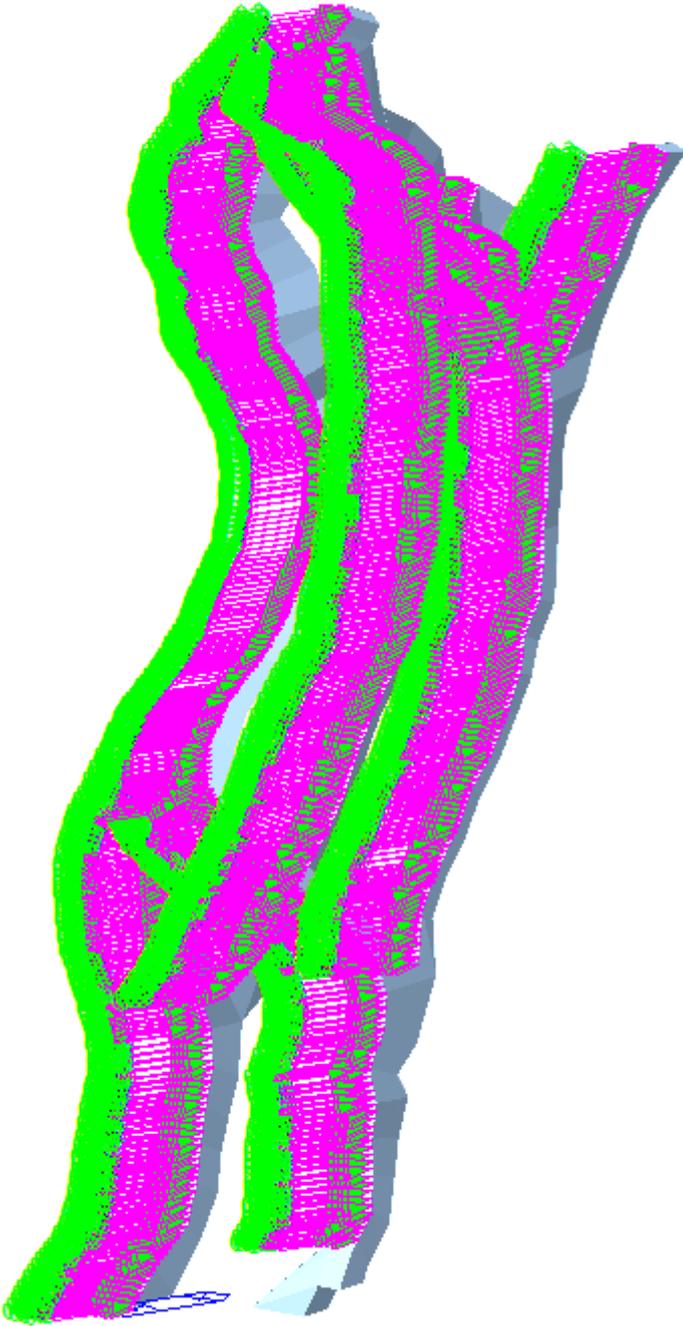
Cargas puntuales (debidas al jinete)



Carga uniforme

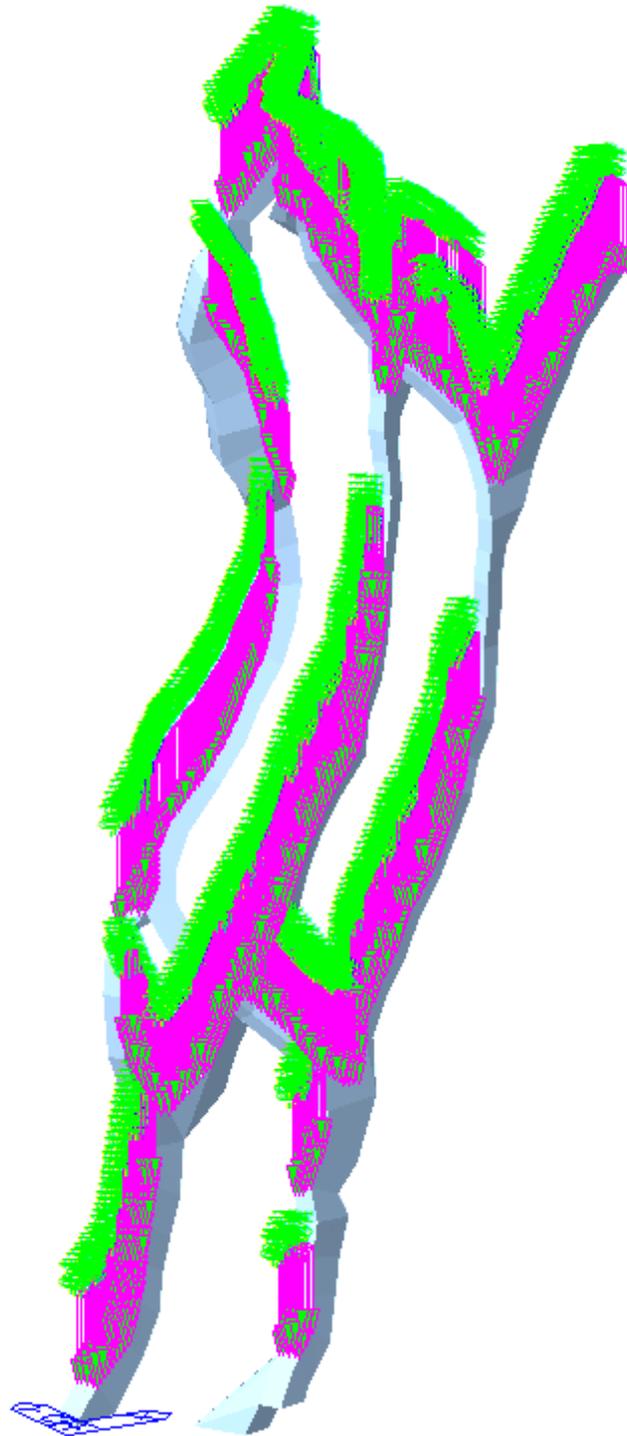


12.1.3. Viento Longitudinal



2

12.1.4. Sobrecarga



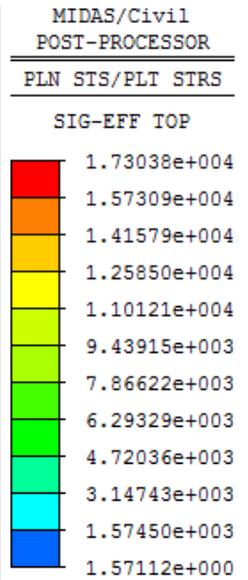
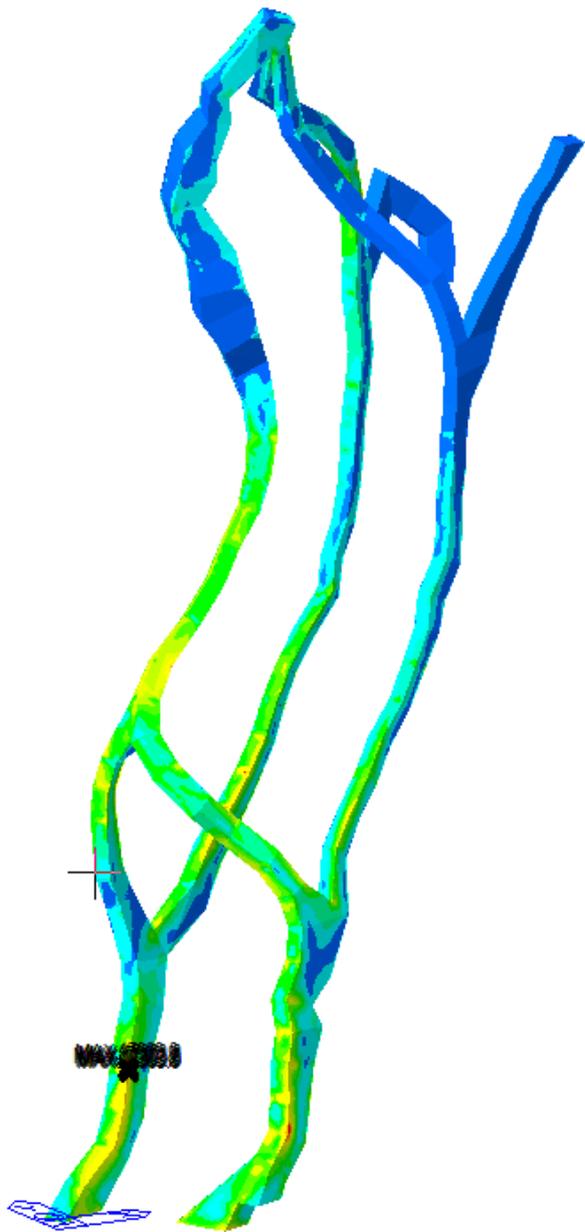
12.2. Resultados obtenidos

Se adjuntan a continuación de forma gráfica los resultados más relevantes obtenidos en el cálculo de la estructura.

Los resultados presentados se corresponden con las tensiones máximas y mínimas para todas las combinaciones analizadas. Se adjuntan dos vistas por hipótesis, una vista general donde se marcan los máximos, y una de detalle de la zona más solicitada.

12.2.1. Tensiones

Hipotesis N°1



CB: H1

MAX : 220

MIN : 6329

FILE: Modelo-Esc~

UNIT: tonf/m^2

DATE: 10/04/2011

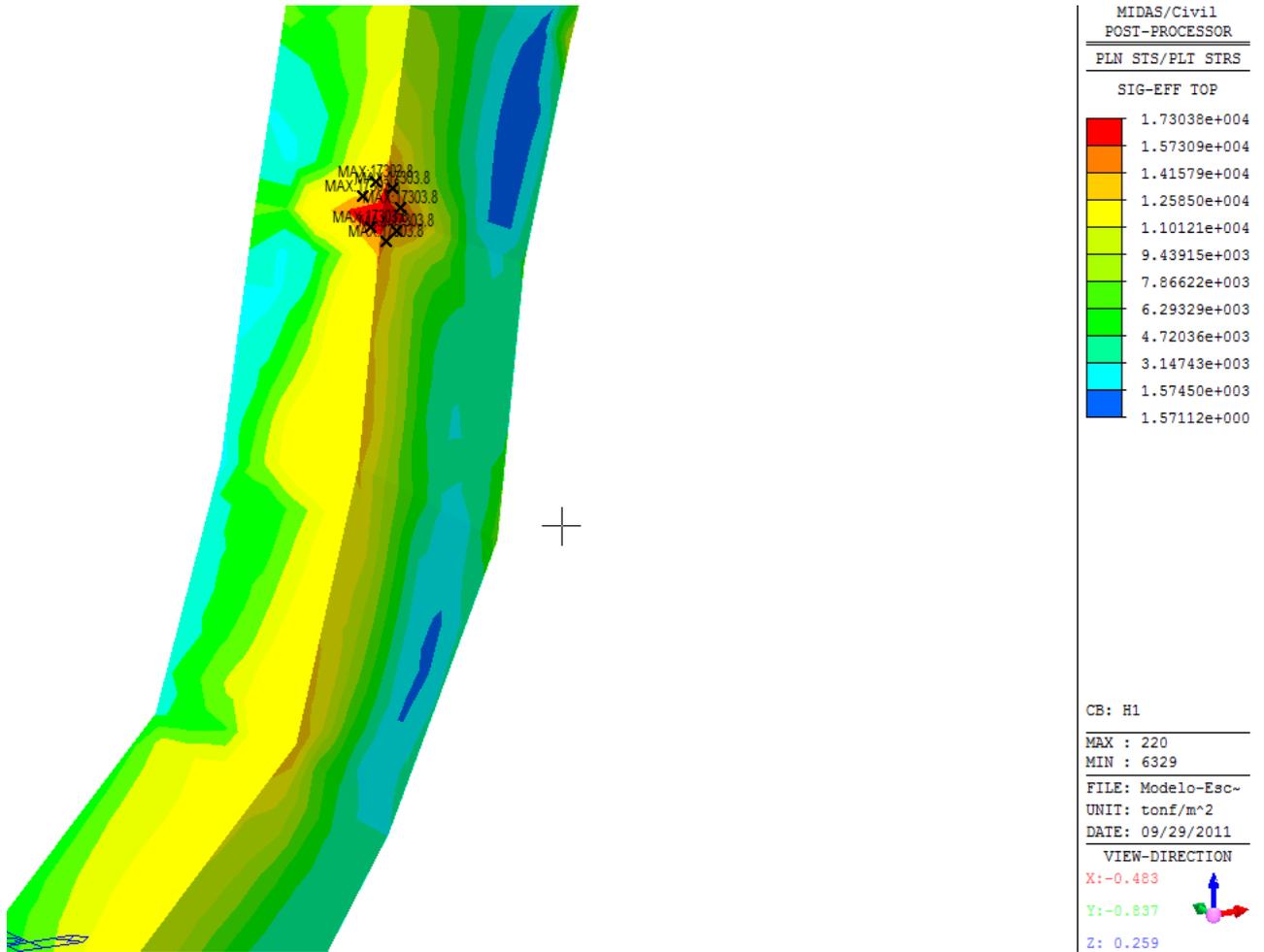
VIEW-DIRECTION

X: -0.483

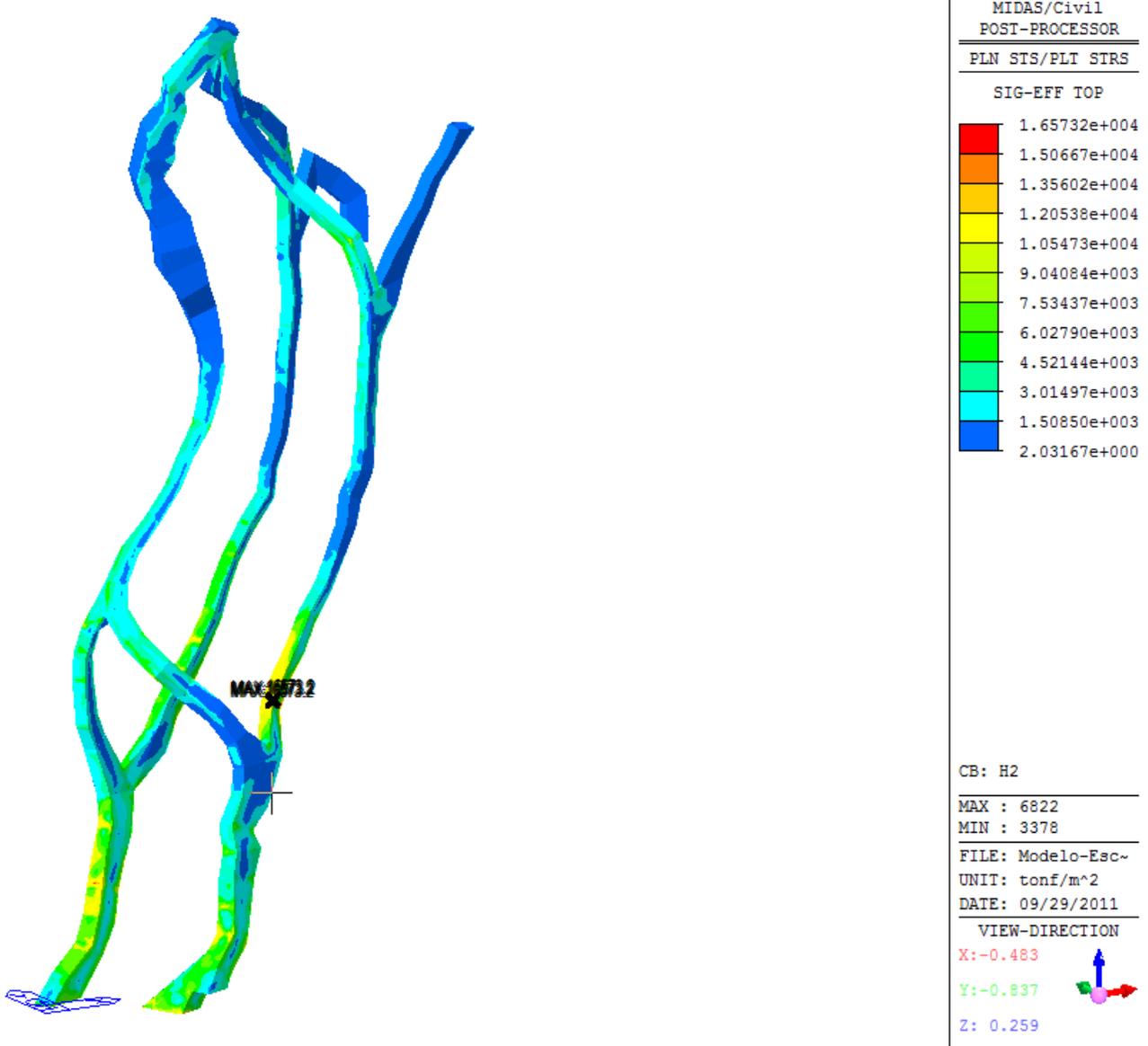
Y: -0.837

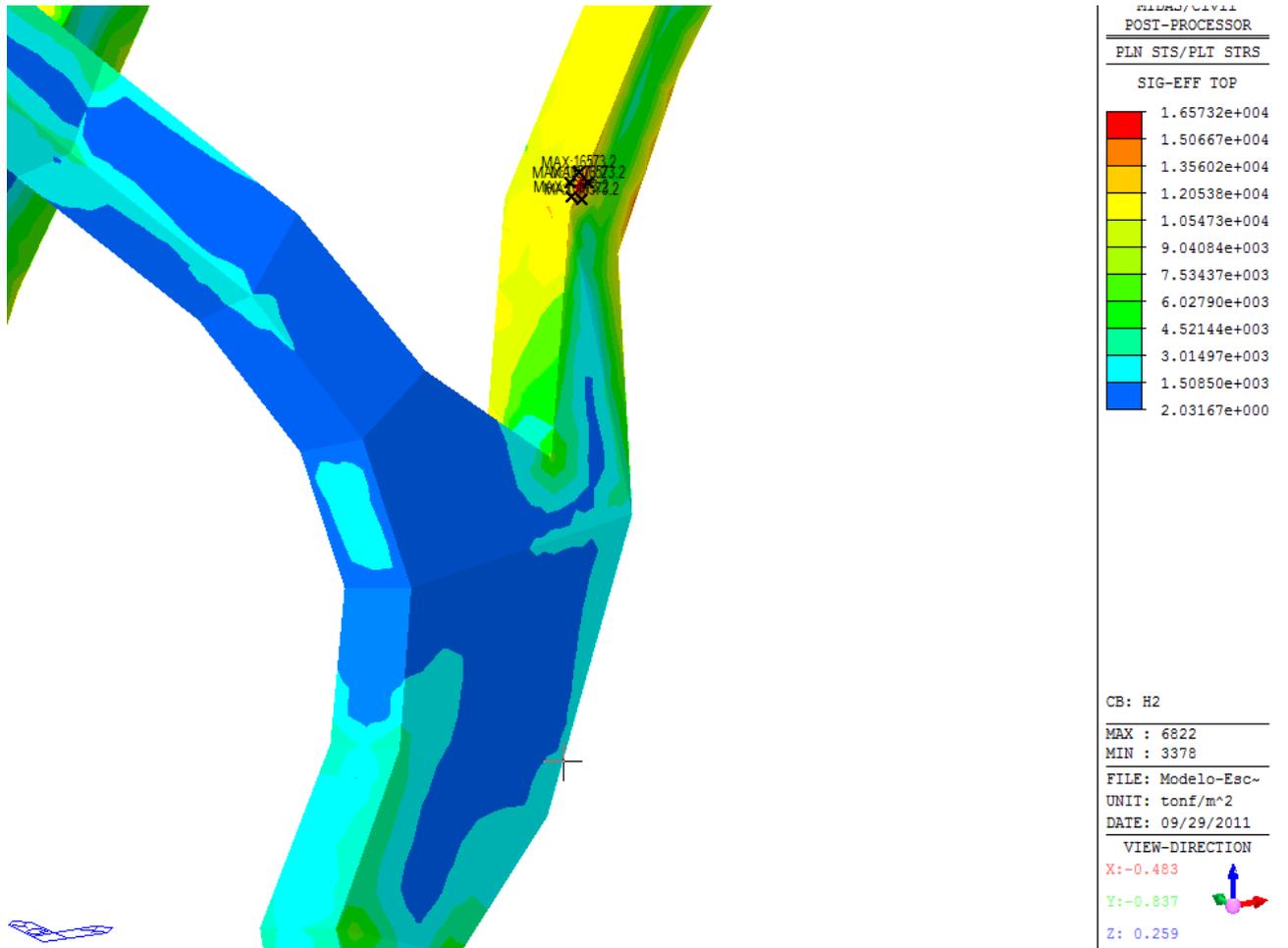
Z: 0.259



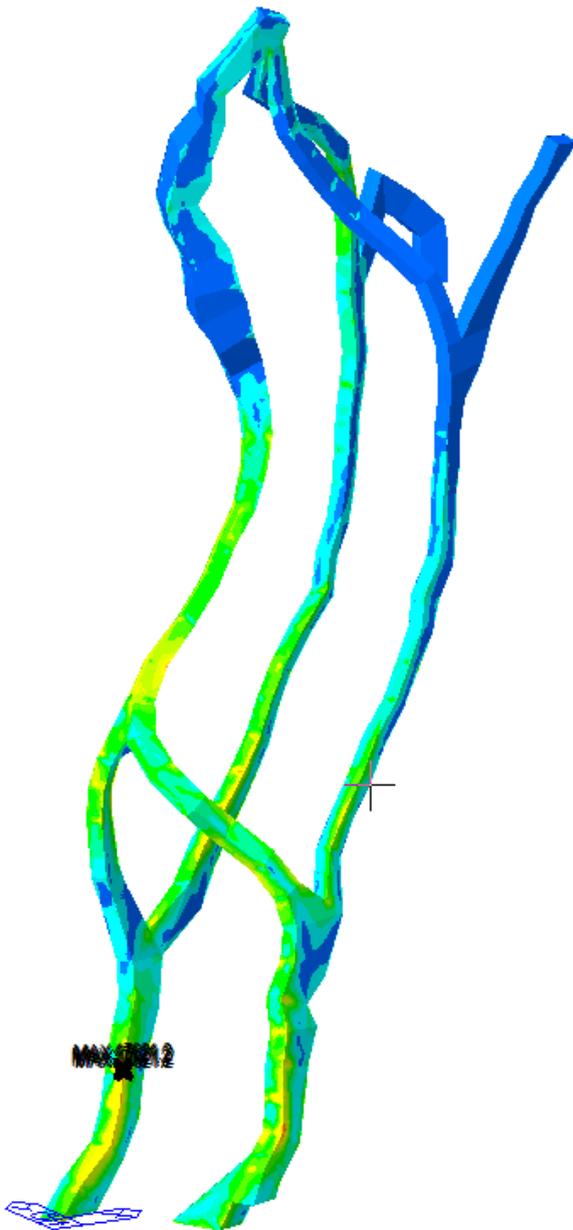


Hipotesis N°2

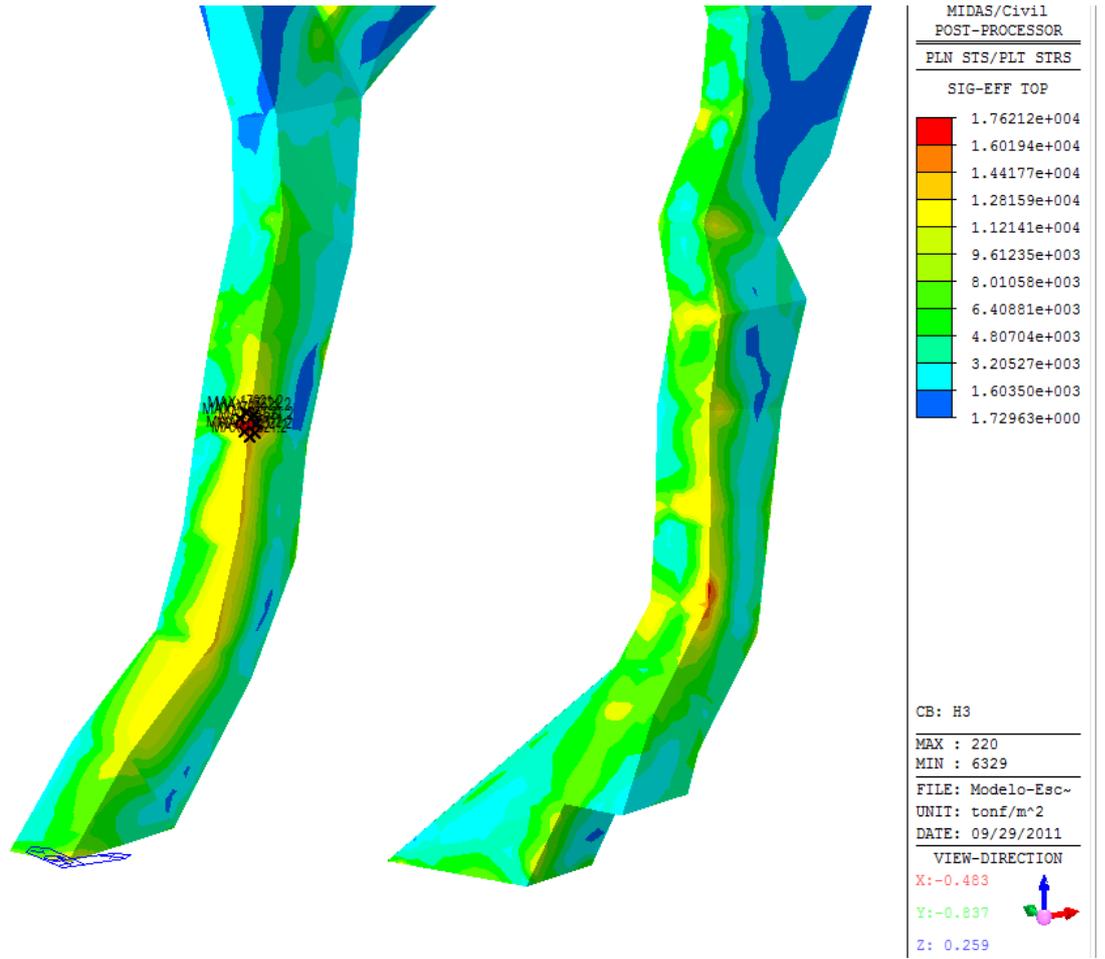




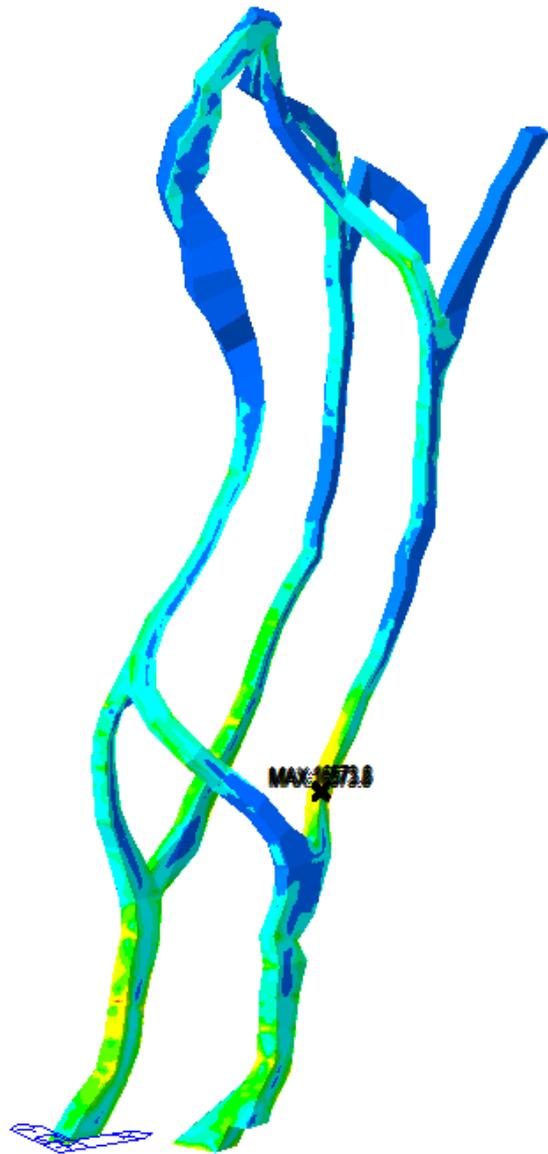
Hipotesis N°3



MIDAS/Civil POST-PROCESSOR	
PLN	STS/PLT STRS
SIG-EFF TOP	
	1.76212e+004
	1.60194e+004
	1.44177e+004
	1.28159e+004
	1.12141e+004
	9.61235e+003
	8.01058e+003
	6.40881e+003
	4.80704e+003
	3.20527e+003
	1.60350e+003
	1.72963e+000
CB: H3	
MAX : 220	
MIN : 6329	
FILE: Modelo-Esc~	
UNIT: tonf/m^2	
DATE: 09/29/2011	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.483	
Y: -0.837	
Z: 0.259	



Hipotesis N°4



MIDAS/Civil
POST-PROCESSOR

PLN STS/PLT STRS

SIG-EFF TOP

	1.65738e+004
	1.50673e+004
	1.35608e+004
	1.20542e+004
	1.05477e+004
	9.04118e+003
	7.53465e+003
	6.02812e+003
	4.52160e+003
	3.01507e+003
	1.50855e+003
	2.02019e+000

CB: H4

MAX : 6822
MIN : 3378

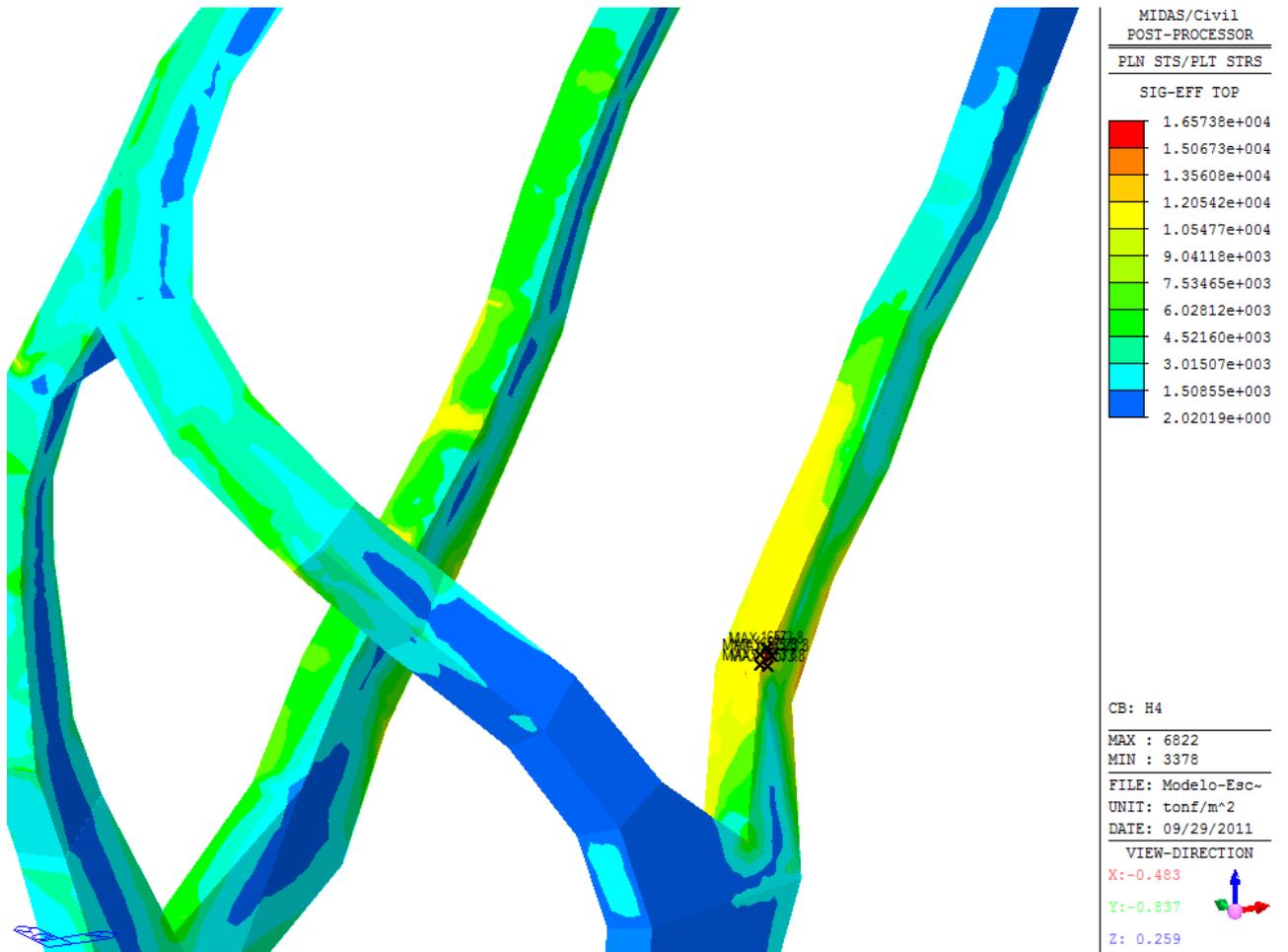
FILE: Modelo-Esc~
UNIT: tonf/m^2
DATE: 09/29/2011

VIEW-DIRECTION

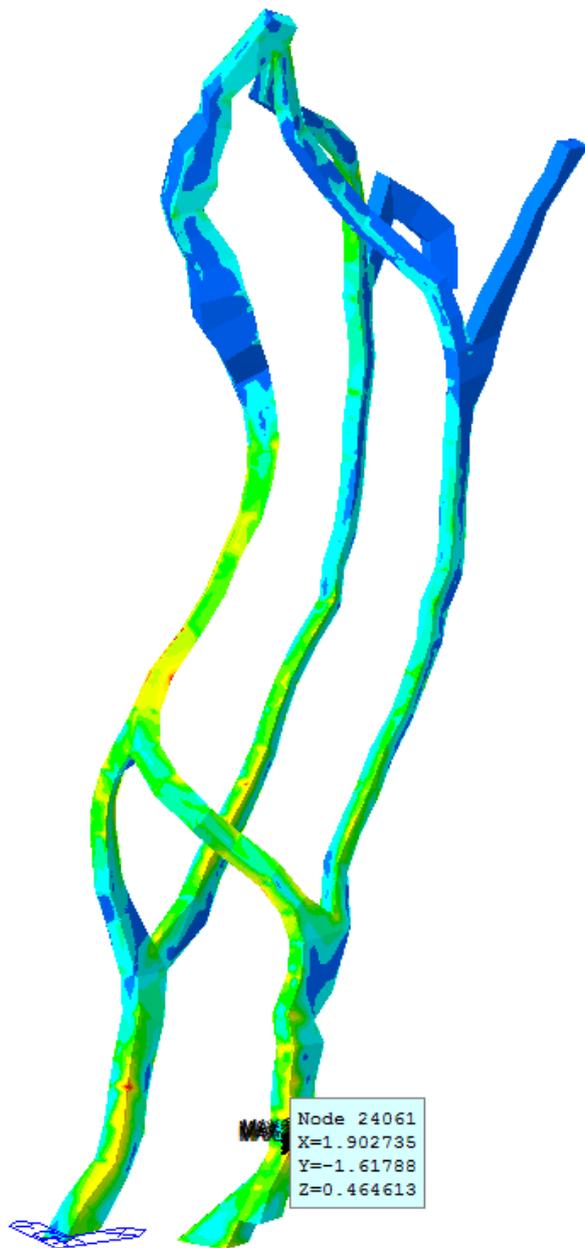
X: -0.483

Y: -0.837

Z: 0.259



Hipotesis N°5



MIDAS/Civil
 POST-PROCESSOR

PLN STS/PLT STRS

SIG-EFF TOP

	2.47030e+004
	2.24575e+004
	2.02120e+004
	1.79665e+004
	1.57210e+004
	1.34755e+004
	1.12301e+004
	8.98456e+003
	6.73907e+003
	4.49358e+003
	2.24809e+003
	2.59655e+000

CB: H5

MAX : 708
 MIN : 18174

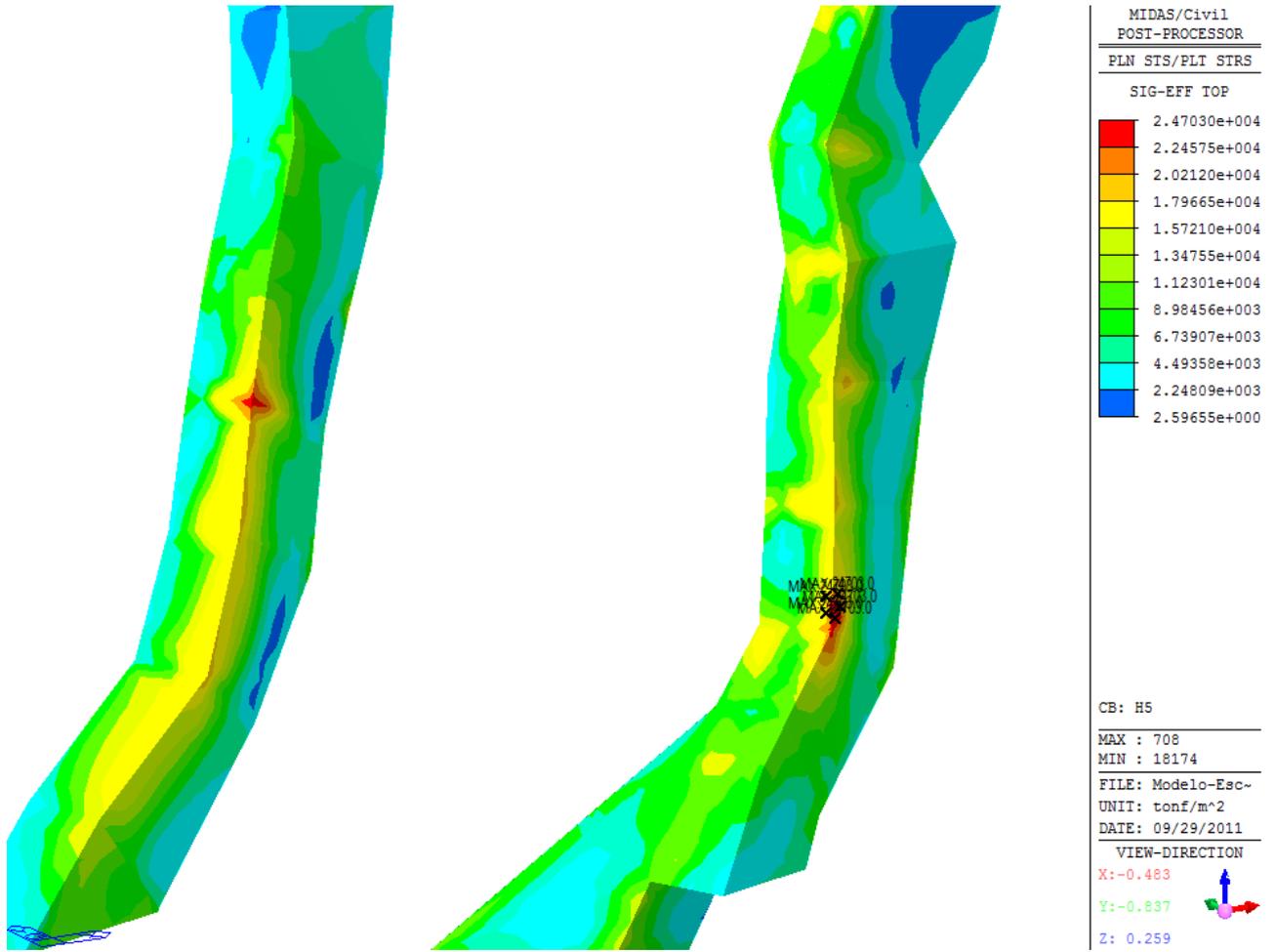
FILE: Modelo-Esc~
 UNIT: tonf/m^2
 DATE: 09/29/2011

VIEW-DIRECTION

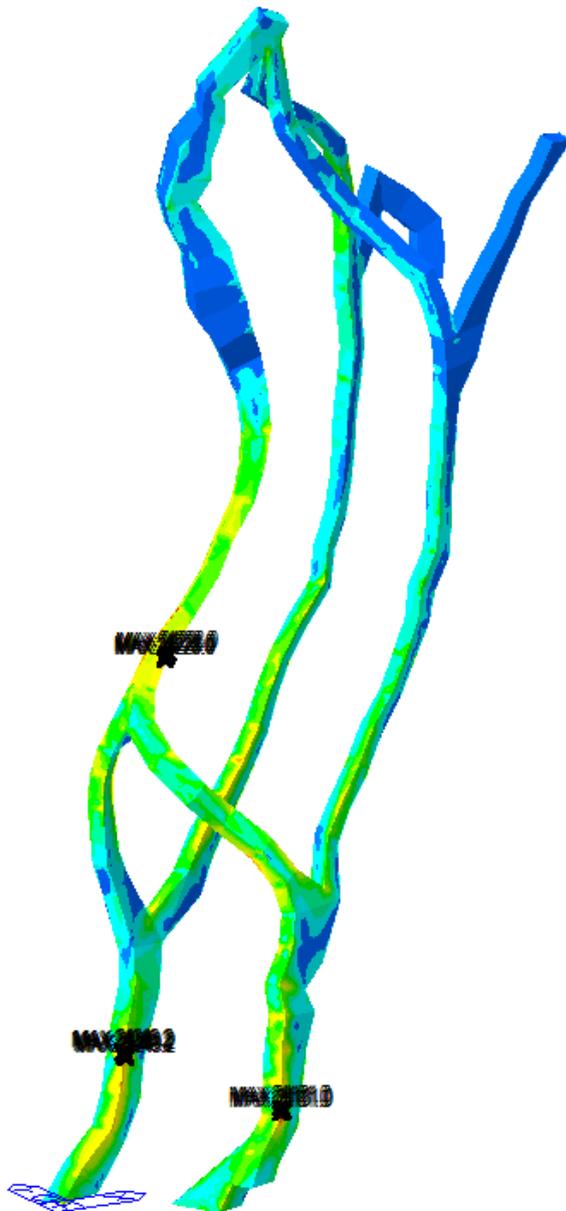
X: -0.483

Y: -0.837

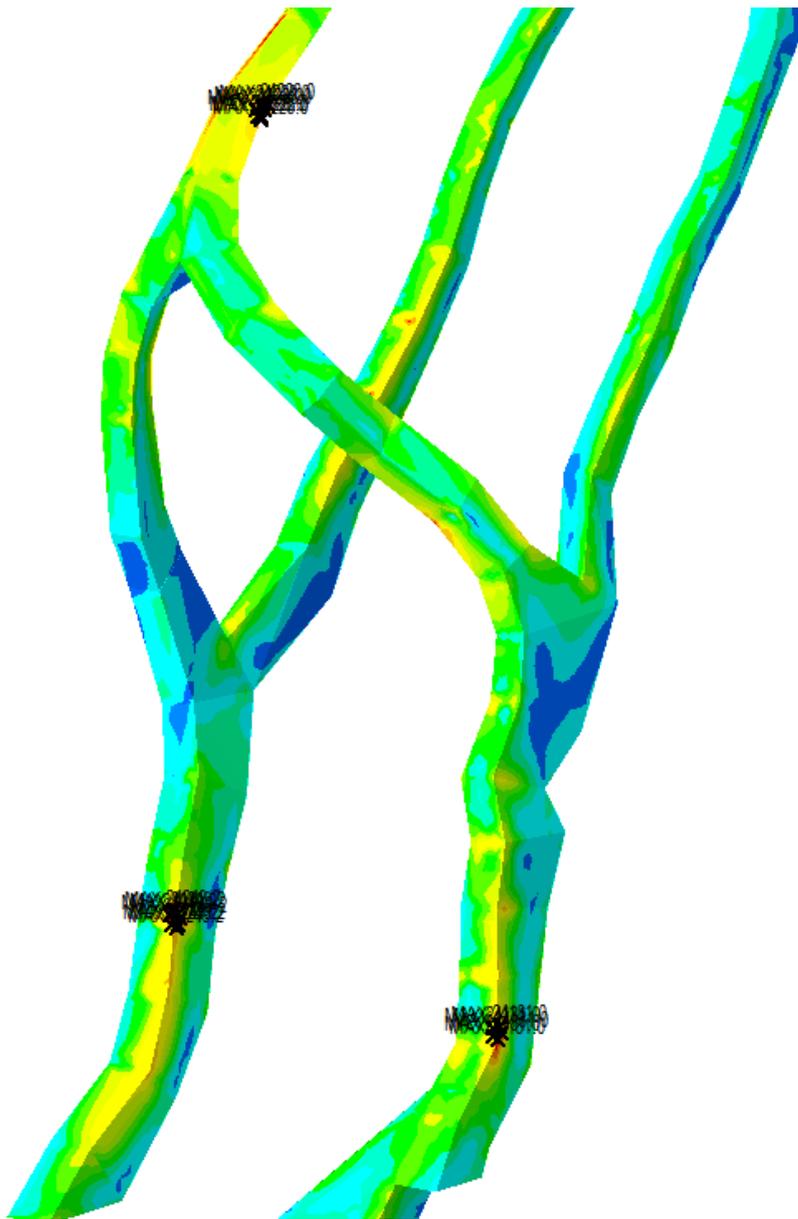
Z: 0.259



Hipotesis N°6

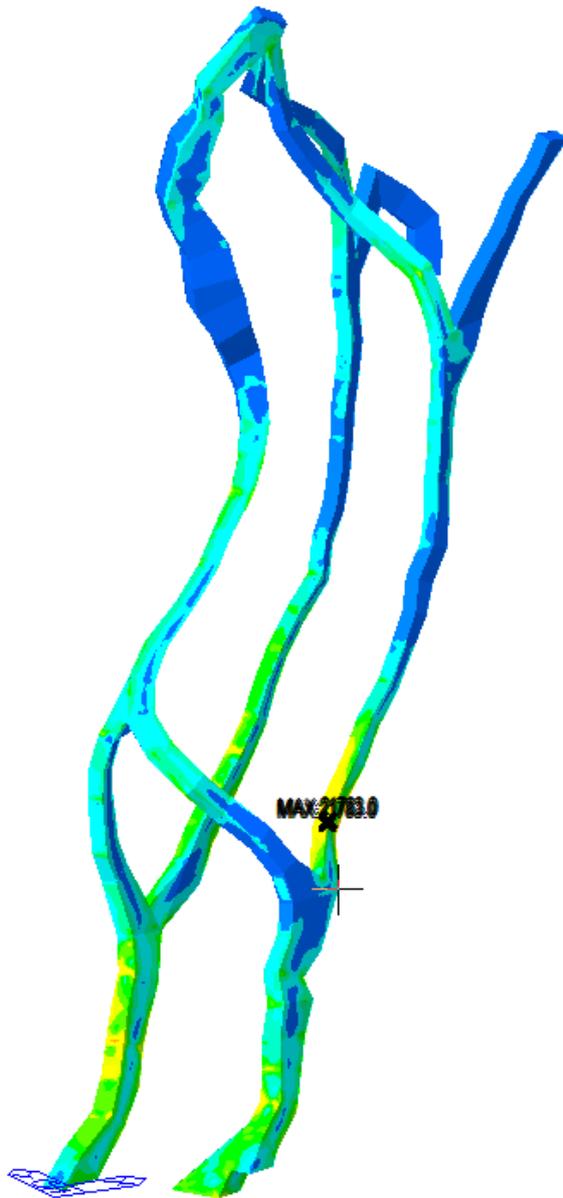


MIDAS/Civil POST-PROCESSOR	
PLN	STS/PLT STRS
SIG-EFF TOP	
	2.42492e+004
	2.20450e+004
	1.98407e+004
	1.76365e+004
	1.54322e+004
	1.32280e+004
	1.10238e+004
	8.81953e+003
	6.61529e+003
	4.41105e+003
	2.20682e+003
	2.57989e+000
CB: H6	
MAX : 220	
MIN : 18174	
FILE: Modelo-Esc~	
UNIT: tonF/m^2	
DATE: 09/29/2011	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.483	
Y: -0.837	
Z: 0.259	

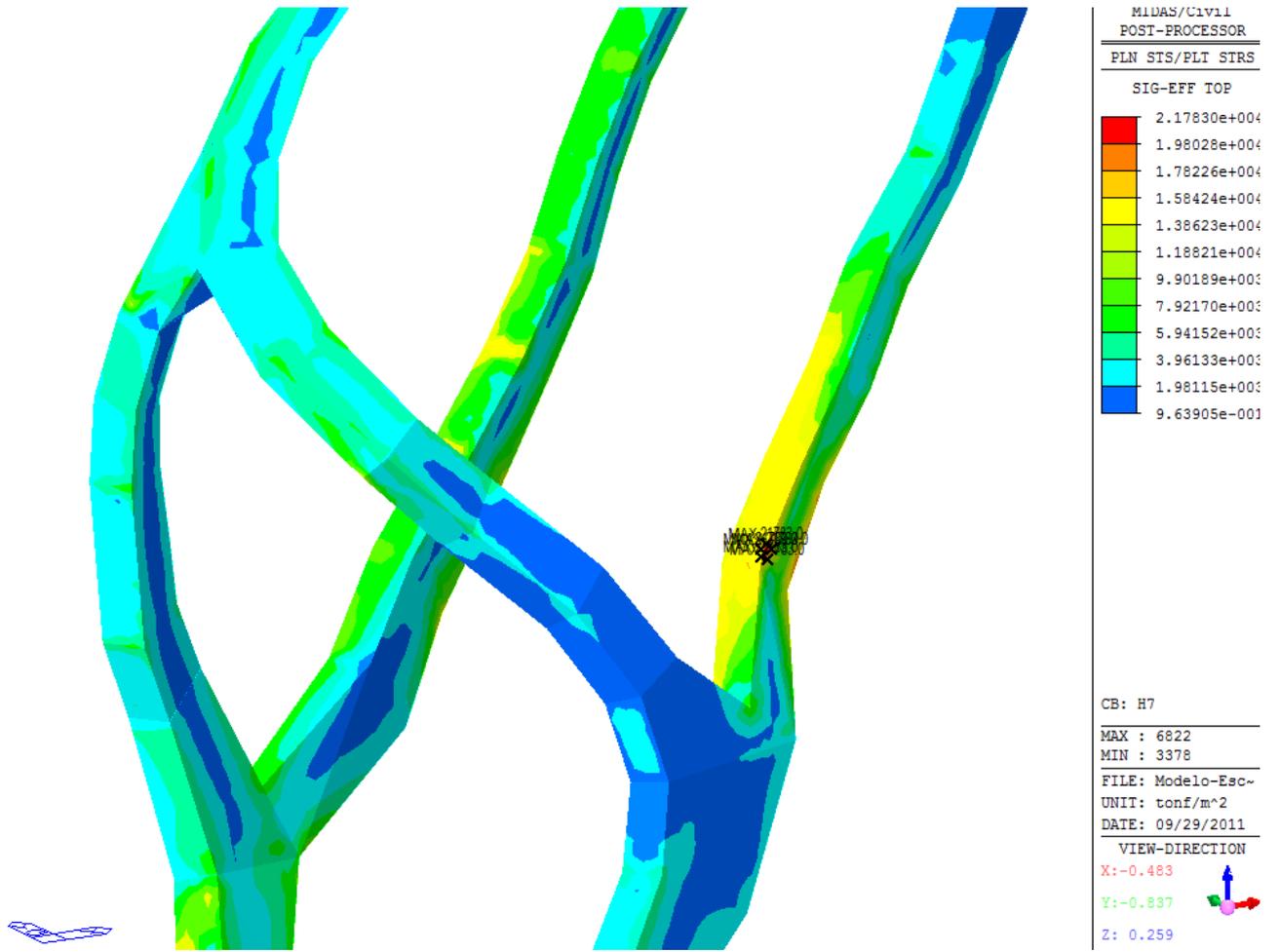


MIDAS/Civil	
POST-PROCESSOR	
PLN	SIS/PLT STRS
SIG-EFF TOP	
	2.42492e+004
	2.20450e+004
	1.98407e+004
	1.76365e+004
	1.54322e+004
	1.32280e+004
	1.10238e+004
	8.81953e+003
	6.61529e+003
	4.41105e+003
	2.20682e+003
	2.57989e+000
CB: H6	
MAX : 220	
MIN : 18174	
FILE: Modelo-Esc~	
UNIT: tonf/m^2	
DATE: 09/29/2011	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.483	
Y: -0.837	
Z: 0.259	

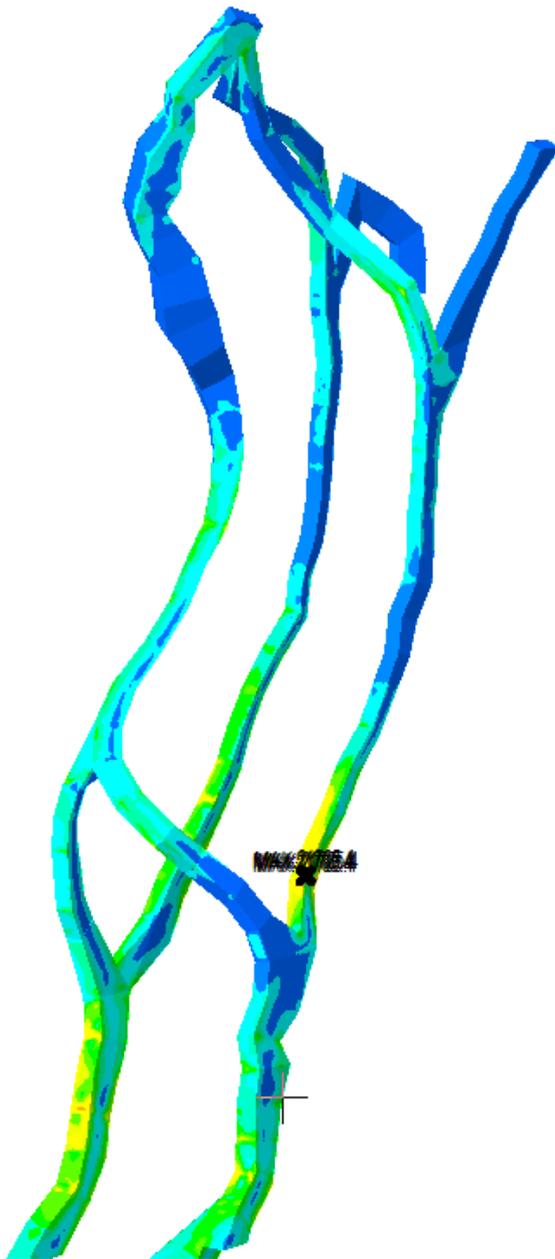
Hipotesis N°7



MIDAS/Civil POST-PROCESSOR	
PLN	STS/PLT STRS
SIG-EFF TOP	
	2.17830e+004
	1.98028e+004
	1.78226e+004
	1.58424e+004
	1.38623e+004
	1.18821e+004
	9.90189e+003
	7.92170e+003
	5.94152e+003
	3.96133e+003
	1.98115e+003
	9.63905e-001
CB: H7	
MAX : 6822	
MIN : 3378	
FILE: Modelo-Esc~	
UNIT: tonf/m^2	
DATE: 09/29/2011	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.483	
Y: -0.837	
Z: 0.259	



Hipotesis N°8



MIDAS/Civil
POST-PROCESSOR

PLN STS/PLT STRS

SIG-EFF TOP

Red	2.17854e+004
Orange	1.98050e+004
Yellow-Orange	1.78246e+004
Yellow	1.58442e+004
Light Green	1.38638e+004
Green	1.18834e+004
Light Blue	9.90299e+003
Blue	7.92259e+003
Dark Blue	5.94219e+003
Very Dark Blue	3.96178e+003
Black	1.98138e+003
Dark Blue	9.77934e-001

CB: H8

MAX : 6822
MIN : 3378

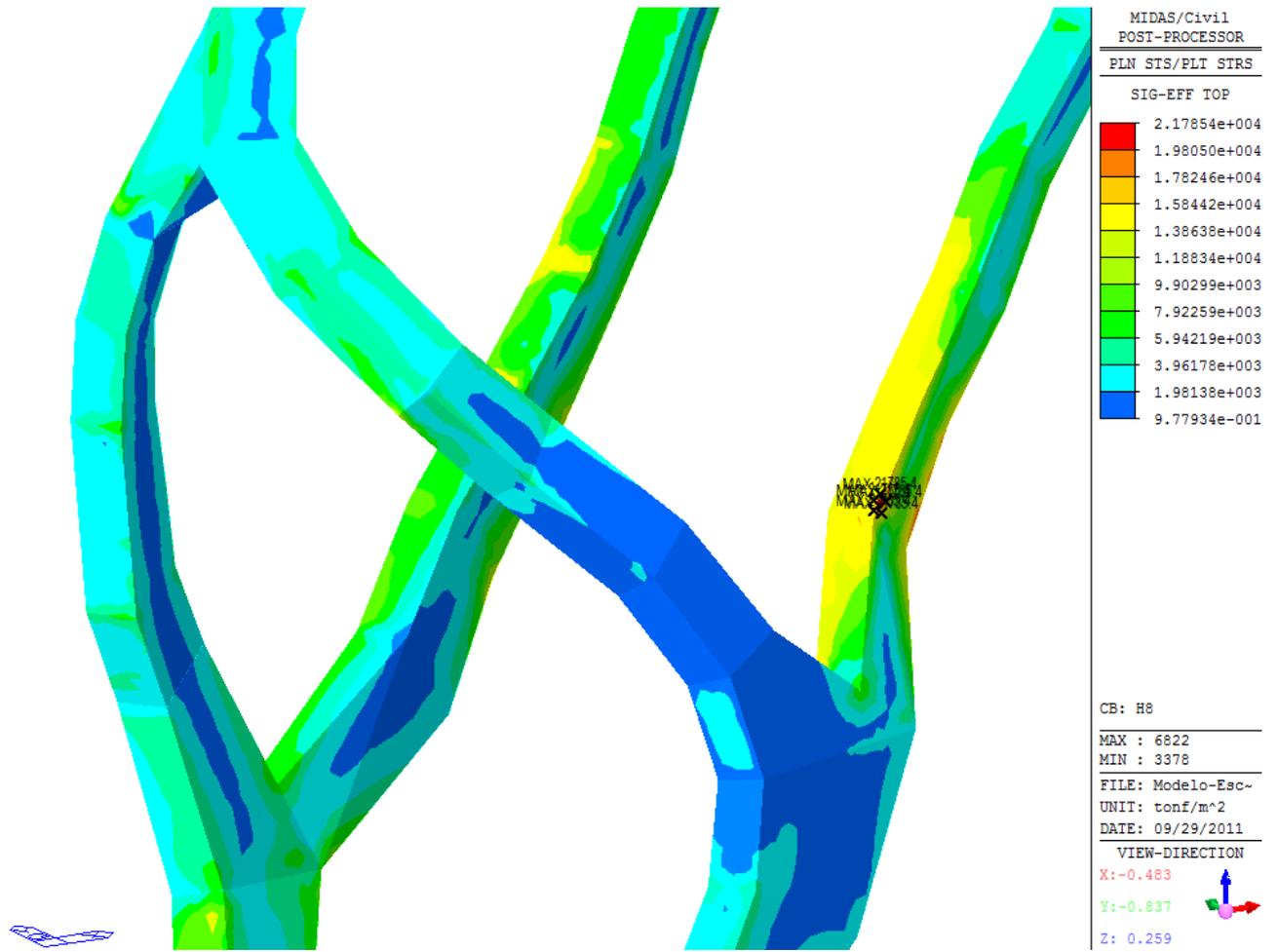
FILE: Modelo-Esc-
UNIT: tonf/m^2
DATE: 09/29/2011

VIEW-DIRECTION

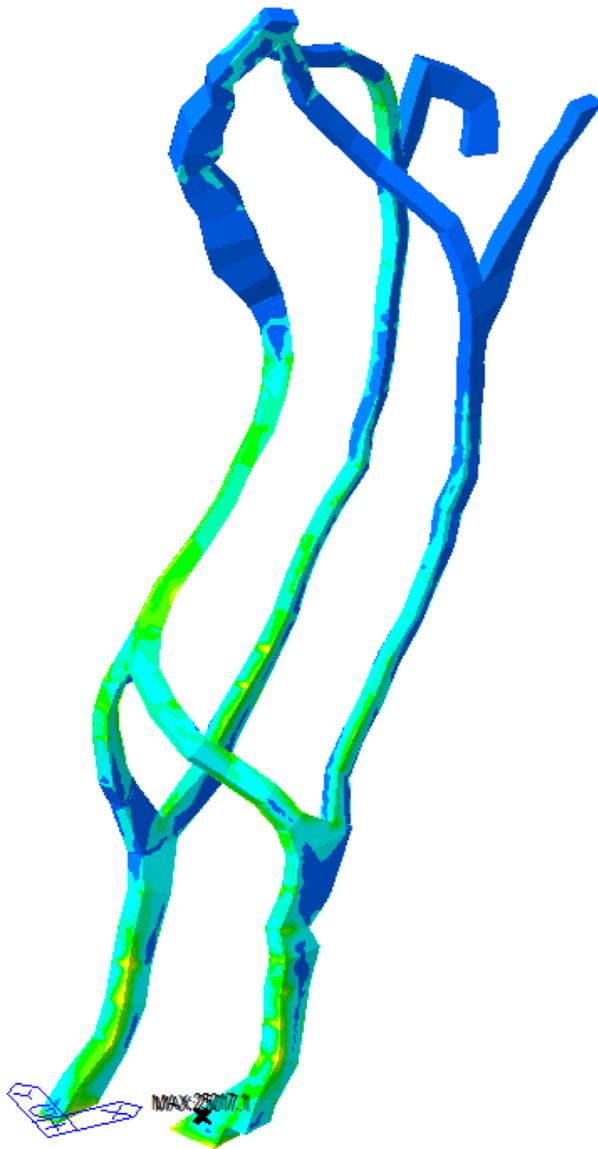
X: -0.483

Y: -0.837

Z: 0.259

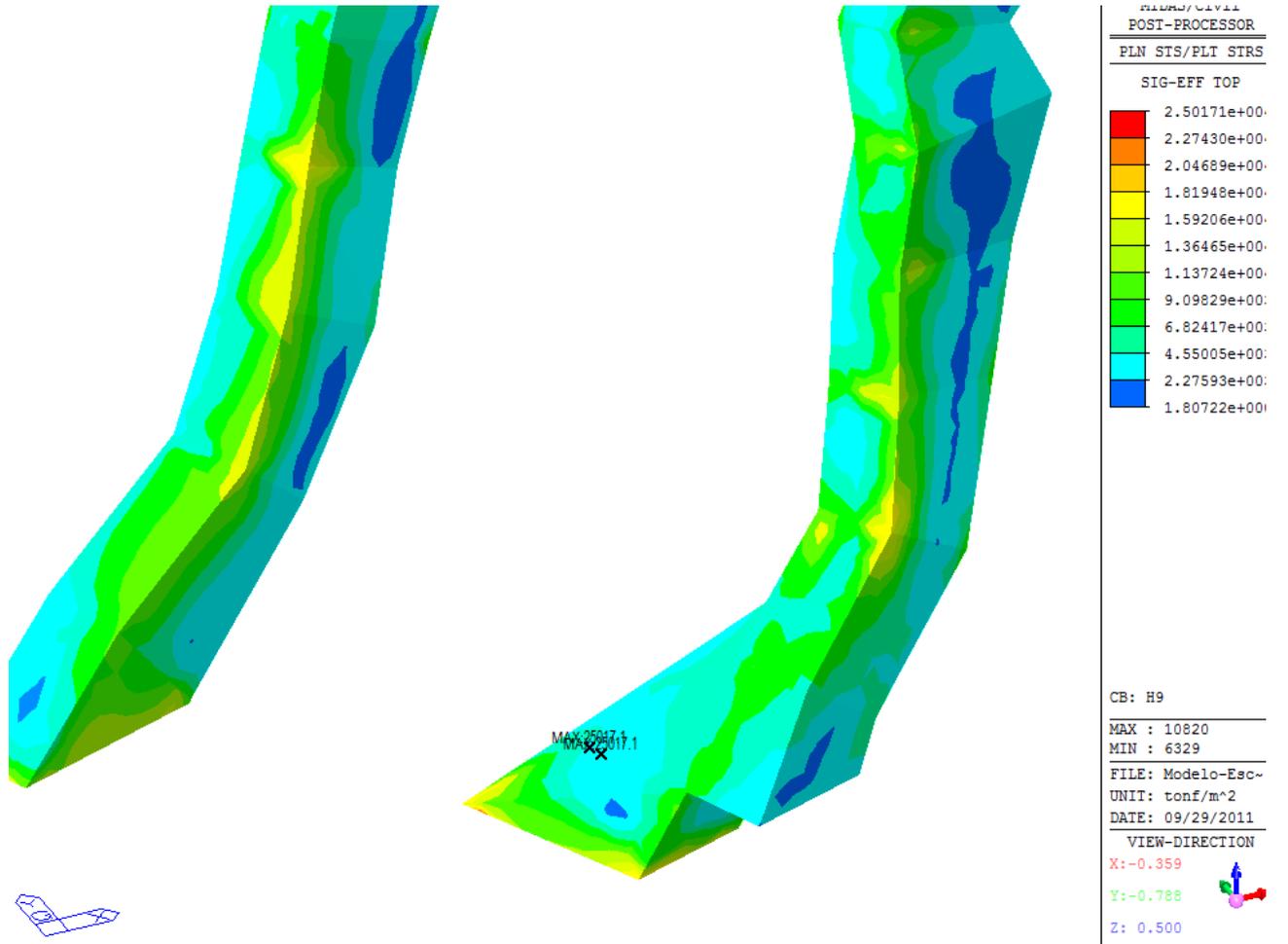


Hipotesis N°9

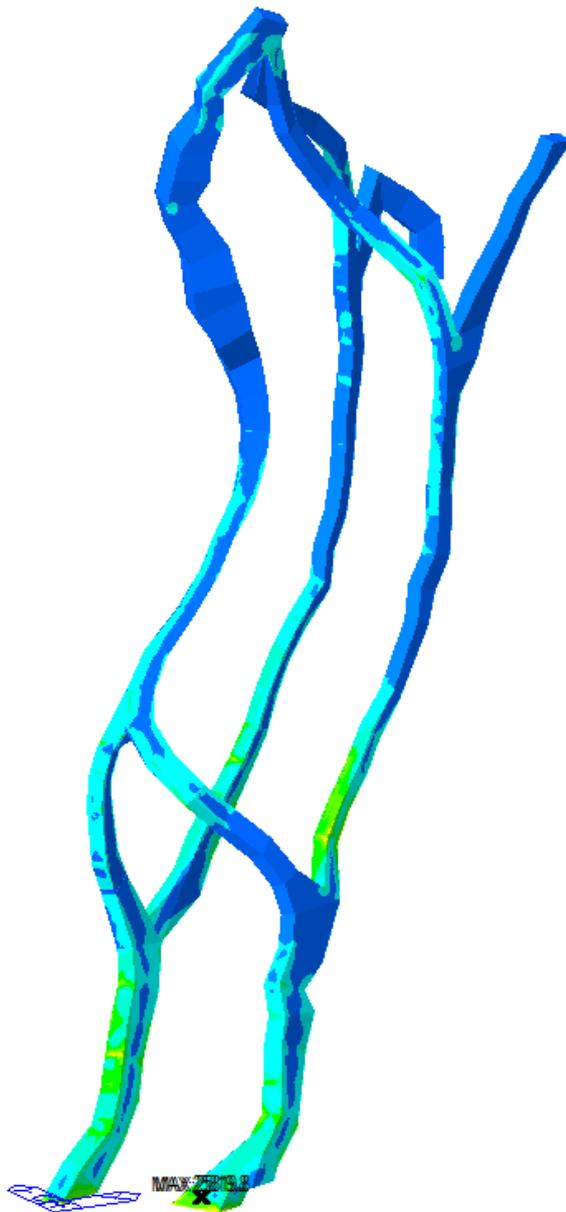


MIDAS/CIVIL	
POST-PROCESSOR	
PLN	STIS/PLT STRS
SIG-EFF TOP	
	2.50171e+004
	2.27430e+004
	2.04689e+004
	1.81948e+004
	1.59206e+004
	1.36465e+004
	1.13724e+004
	9.09829e+003
	6.82417e+003
	4.55005e+003
	2.27593e+003
	1.80722e+000

CB: H9
MAX : 10820
MIN : 6329
FILE: Modelo-Esc~
UNIT: tonf/m^2
DATE: 09/29/2011
VIEW-DIRECTION
X: -0.359
Y: -0.788
Z: 0.500



Hipotesis Nº10



MIDAS/Civil POST-PROCESSOR	
PLN	STS/PLT STRS
SIG-EFF TOP	
	2.58198e+004
	2.34727e+004
	2.11256e+004
	1.87785e+004
	1.64314e+004
	1.40843e+004
	1.17372e+004
	9.39015e+003
	7.04305e+003
	4.69596e+003
	2.34886e+003
	1.76578e+000

CB: H10

MAX : 10820
MIN : 3378

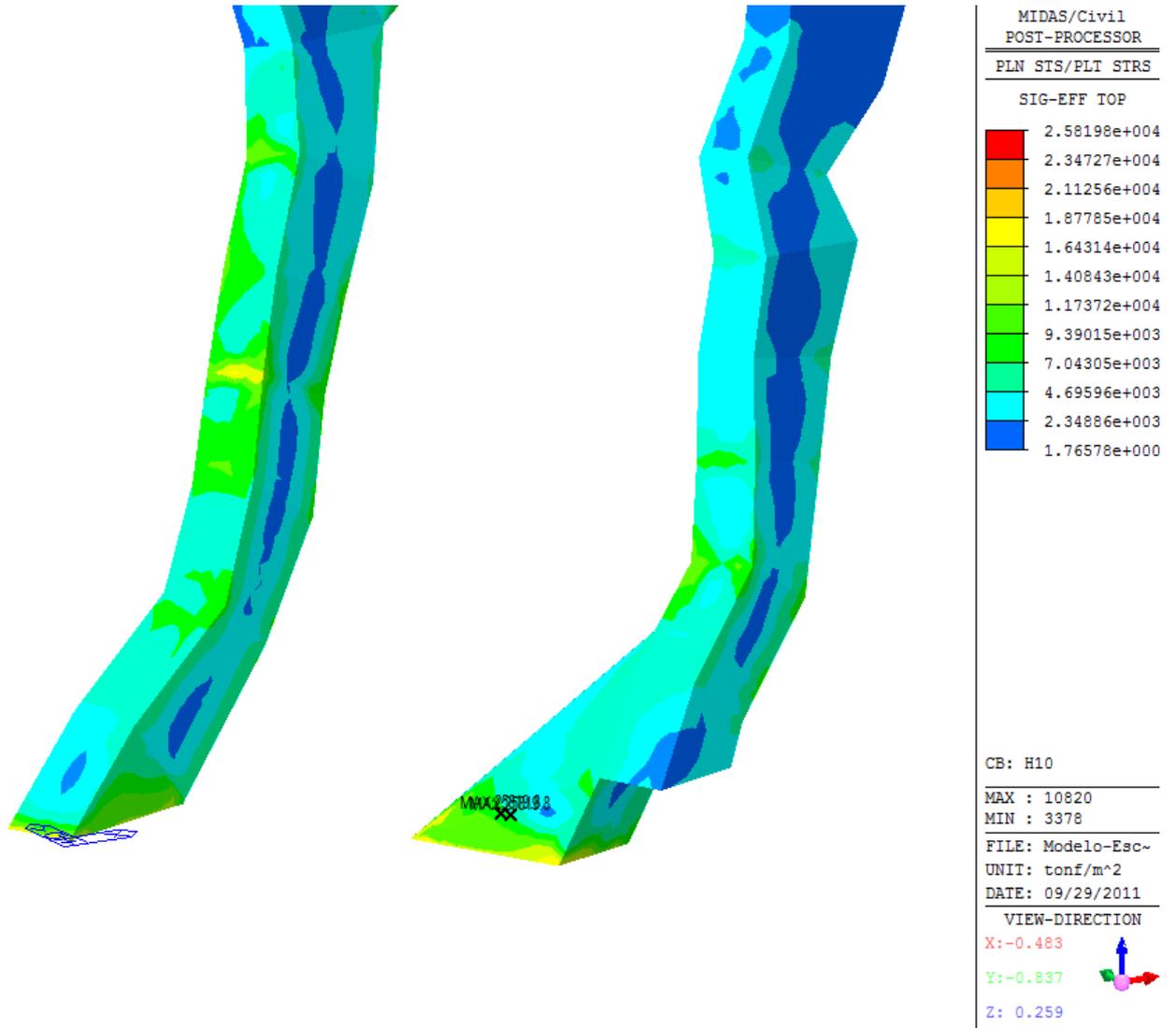
FILE: Modelo-Esc~
UNIT: tonf/m^2
DATE: 09/29/2011

VIEW-DIRECTION

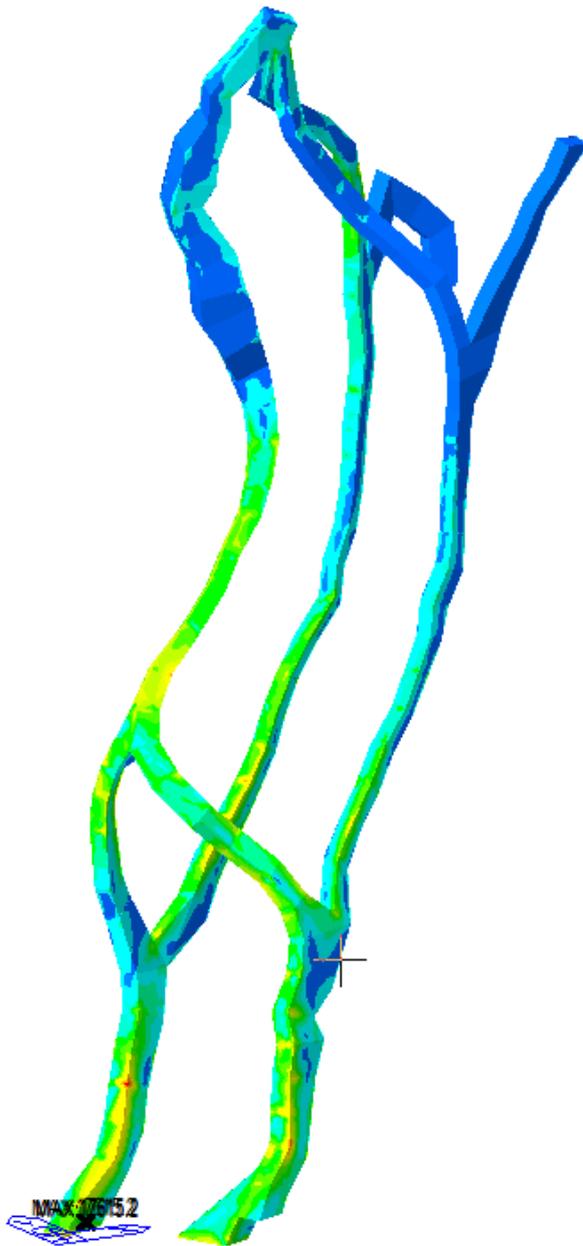
X: -0.483

Y: -0.837

Z: 0.259



Hipotesis N°11



MIDAS/CIVIL
POST-PROCESSOR

PLN STS/PLT STRS

SIG-EFF TOP

1.76152e+004
1.60140e+004
1.44128e+004
1.28115e+004
1.12103e+004
9.60907e+003
8.00784e+003
6.40660e+003
4.80537e+003
3.20413e+003
1.60290e+003
1.66420e+003

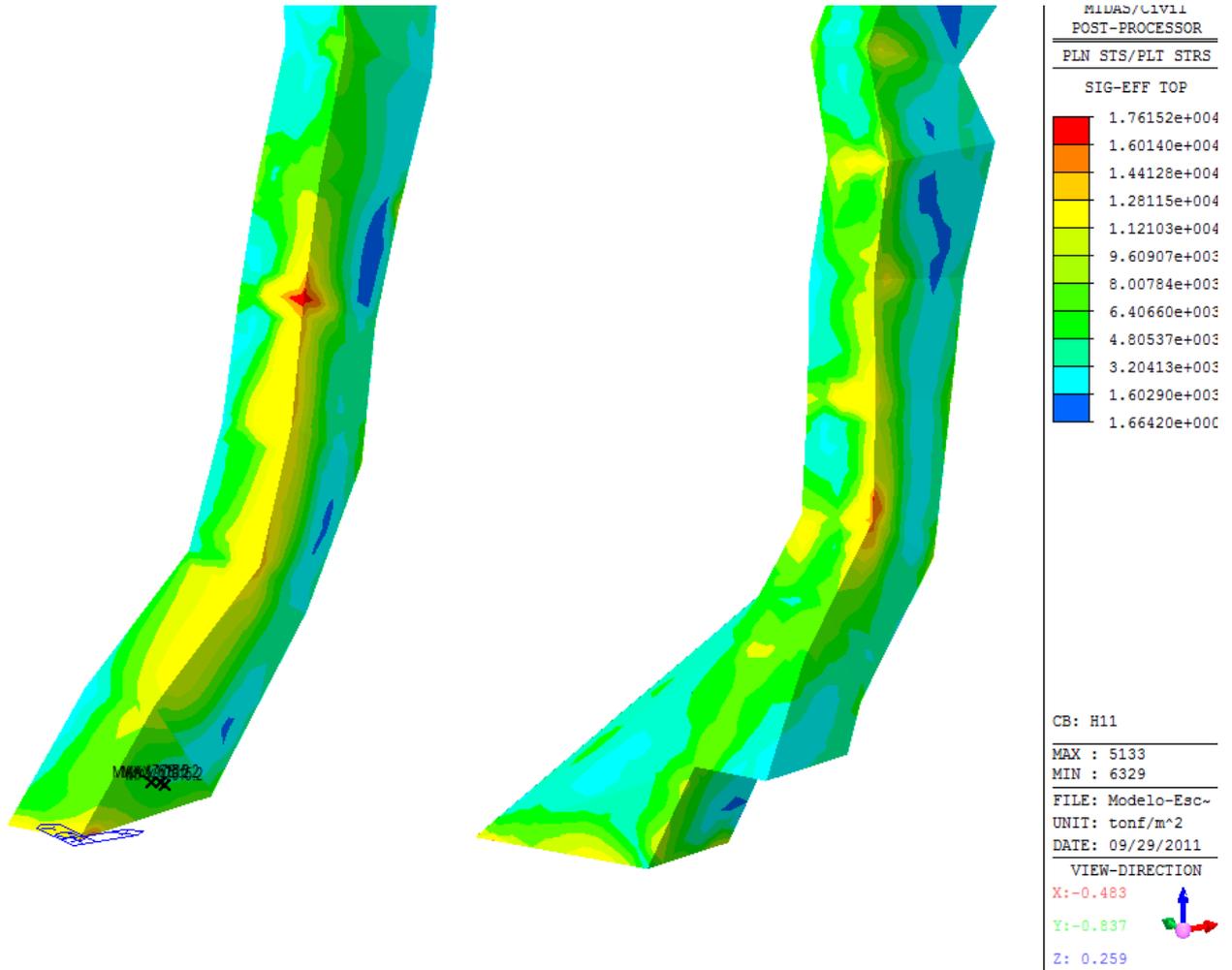
CB: H11

MAX : 5133
MIN : 6329

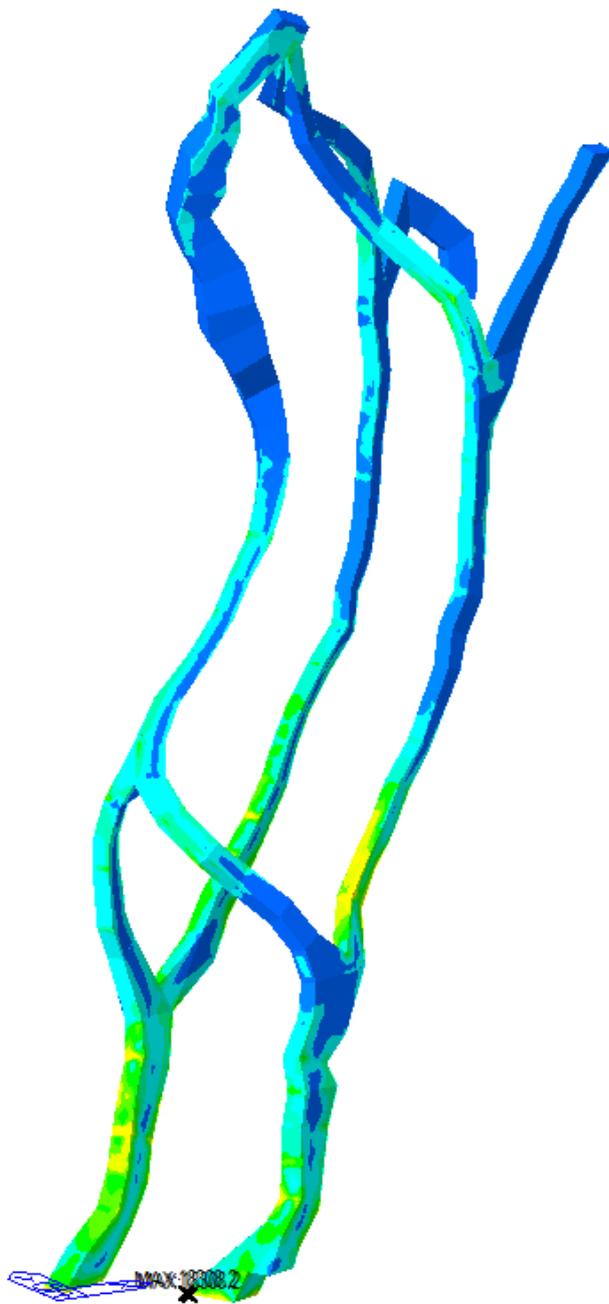
FILE: Modelo-Esc~
UNIT: tonf/m^2
DATE: 09/29/2011

VIEW-DIRECTION

X: -0.483
Y: -0.837
Z: 0.259



Hipotesis N°12



MIDAS/Civil POST-PROCESSOR	
PLN	STS/PLI STRS
SIG-EFF TOP	
	1.83082e+004
	1.66440e+004
	1.49798e+004
	1.33155e+004
	1.16513e+004
	9.98708e+003
	8.32286e+003
	6.65864e+003
	4.99442e+003
	3.33019e+003
	1.66597e+003
	1.74892e+000

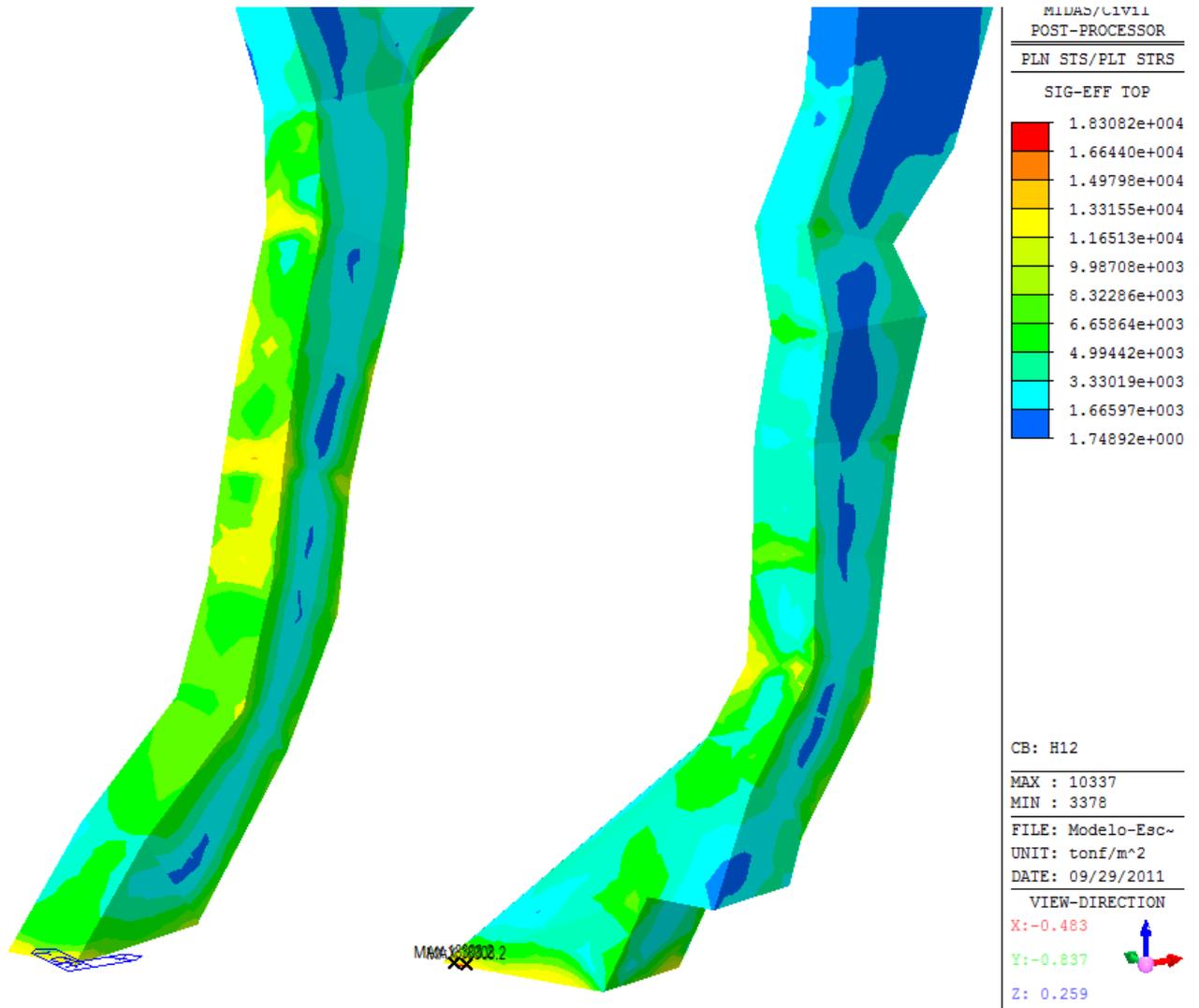
CB: H12

MAX : 10337
MIN : 3378

FILE: Modelo-Esc~
UNIT: tonf/m^2
DATE: 09/29/2011

VIEW-DIRECTION
X: -0.483
Y: -0.837
Z: 0.259

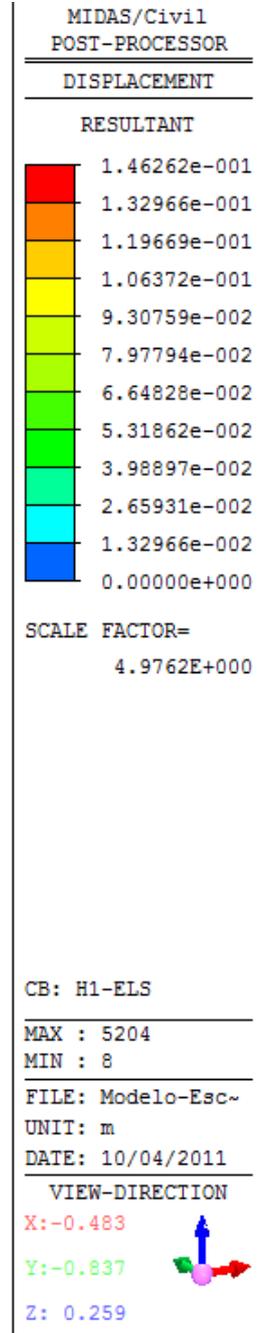




12.2.1. Deformadas

Se adjuntan las deformadas por hipótesis.

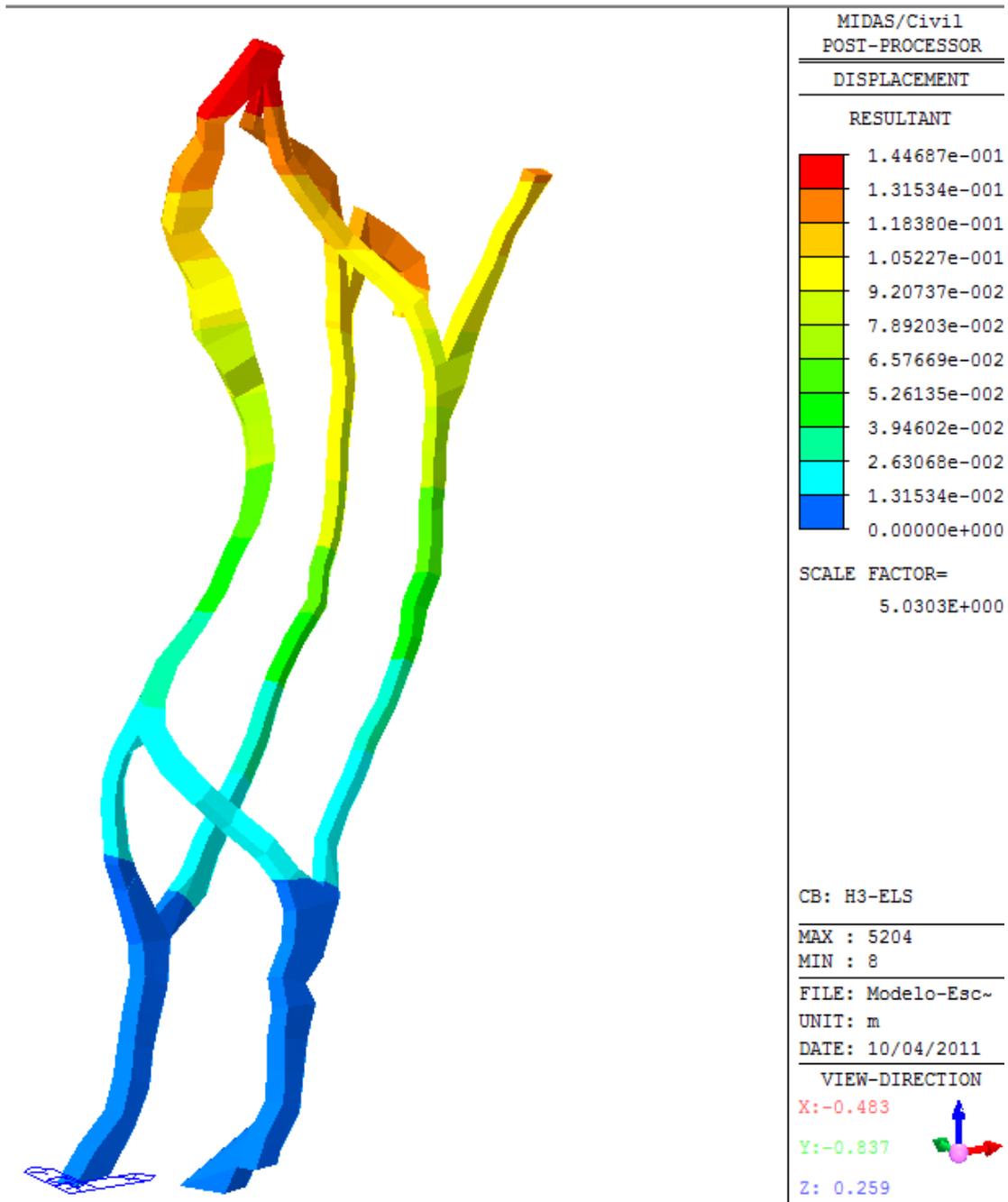
Hipotesis N°1



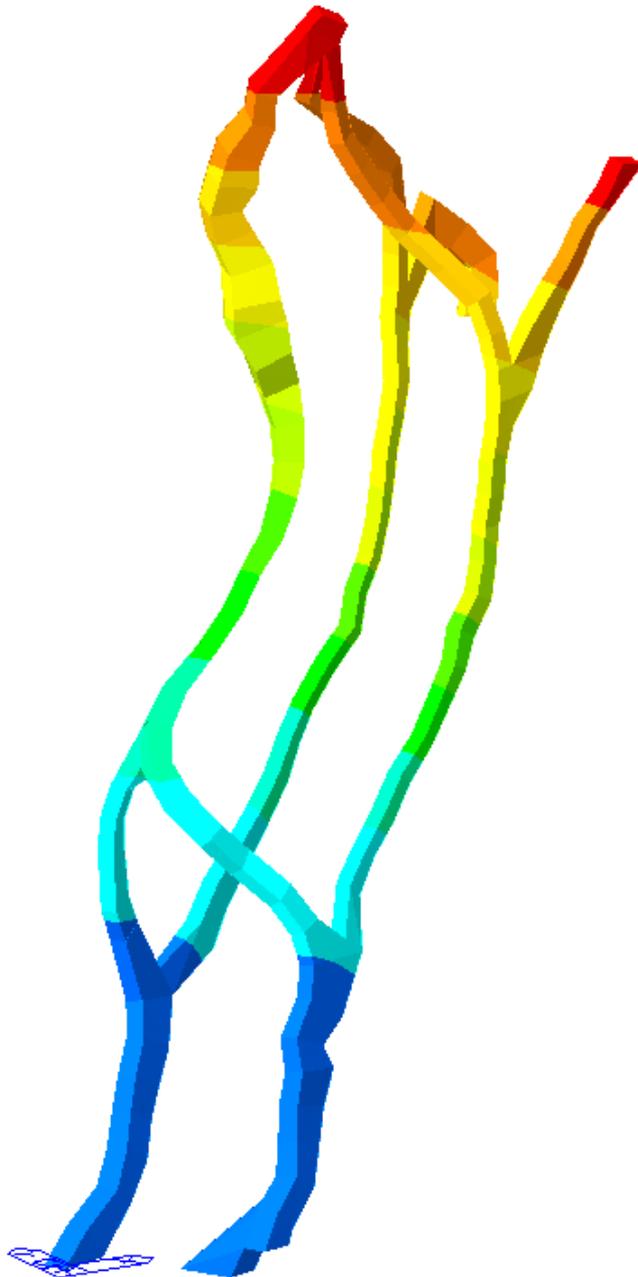
Hipotesis N°2



Hipotesis N°3



Hipotesis N°4



MIDAS/Civil
POST-PROCESSOR

DISPLACEMENT

RESULTANT

1.03723e-001
9.42937e-002
8.48643e-002
7.54350e-002
6.60056e-002
5.65762e-002
4.71468e-002
3.77175e-002
2.82881e-002
1.88587e-002
9.42937e-003
0.00000e+000

SCALE FACTOR=
7.0170E+000

CB: H4-ELS

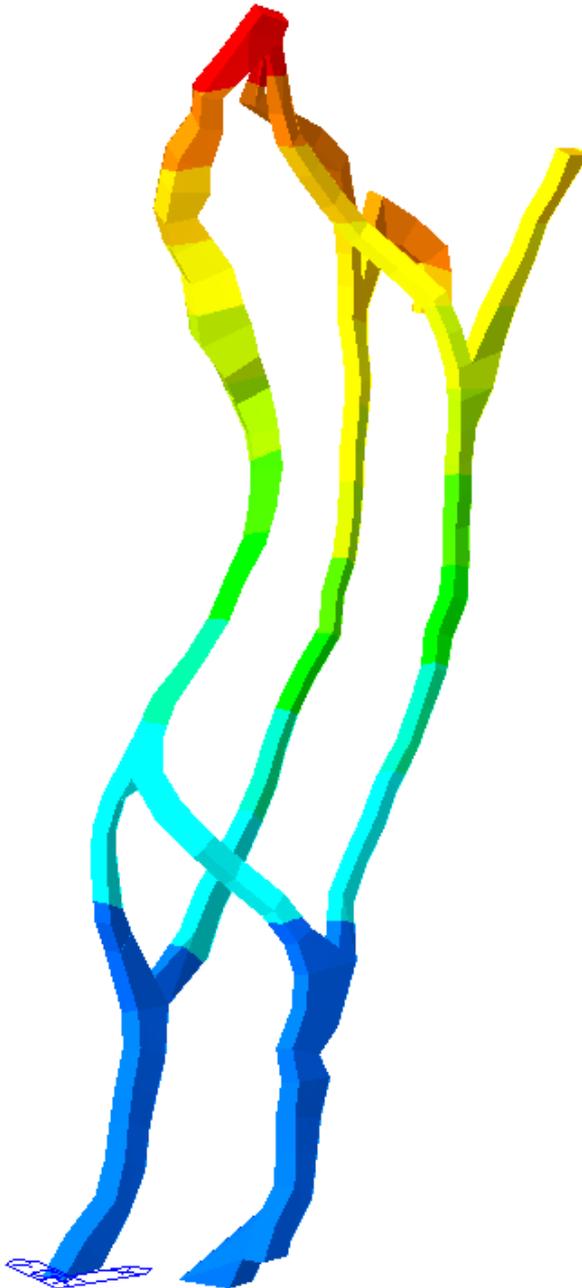
MAX : 5204
MIN : 8

FILE: Modelo-Esc~
UNIT: m
DATE: 10/04/2011

VIEW-DIRECTION

X: -0.483
Y: -0.837
Z: 0.259

Hipotesis N°5



MIDAS/Civil
POST-PROCESSOR

DISPLACEMENT

RESULTANT

	2.19361e-001
	1.99419e-001
	1.79477e-001
	1.59535e-001
	1.39593e-001
	1.19651e-001
	9.97095e-002
	7.97676e-002
	5.98257e-002
	3.98838e-002
	1.99419e-002
	0.00000e+000

SCALE FACTOR=
3.3179E+000

CB: H5-ELS

MAX : 5204
MIN : 8

FILE: Modelo-Esc-
UNIT: m
DATE: 10/04/2011

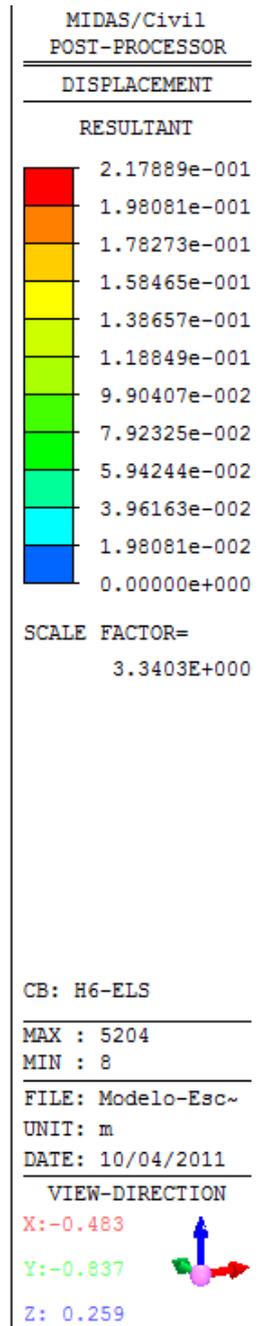
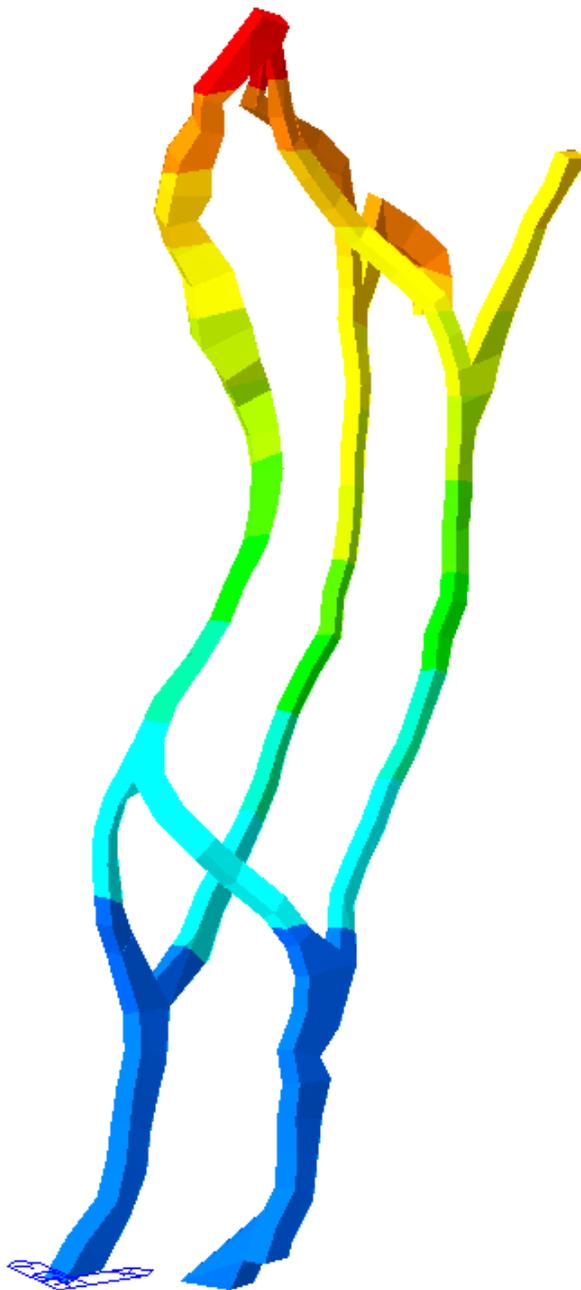
VIEW-DIRECTION

X: -0.483

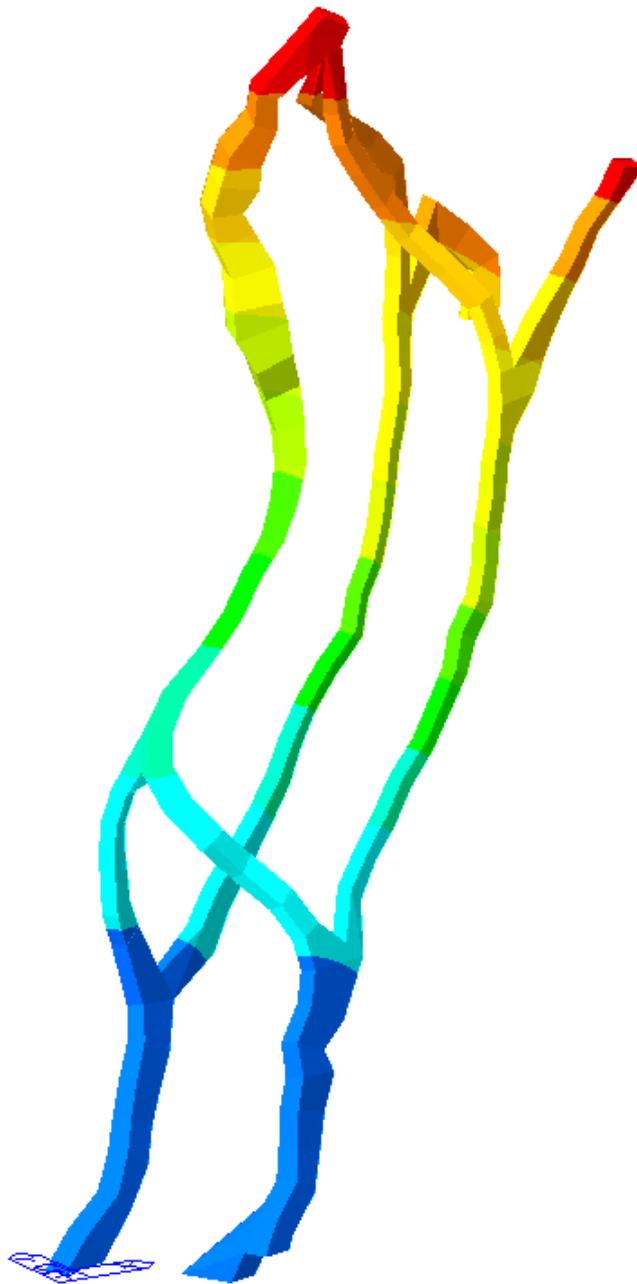
Y: -0.837

Z: 0.259

Hipotesis N°6



Hipotesis N°7



MIDAS/Civil
POST-PROCESSOR

DISPLACEMENT

RESULTANT

1.41299e-001
1.28453e-001
1.15608e-001
1.02763e-001
8.99173e-002
7.70720e-002
6.42266e-002
5.13813e-002
3.85360e-002
2.56907e-002
1.28453e-002
0.00000e+000

SCALE FACTOR=
5.1510E+000

CB: H7-ELS

MAX : 5204
MIN : 8

FILE: Modelo-Esc-
UNIT: m
DATE: 10/04/2011

VIEW-DIRECTION

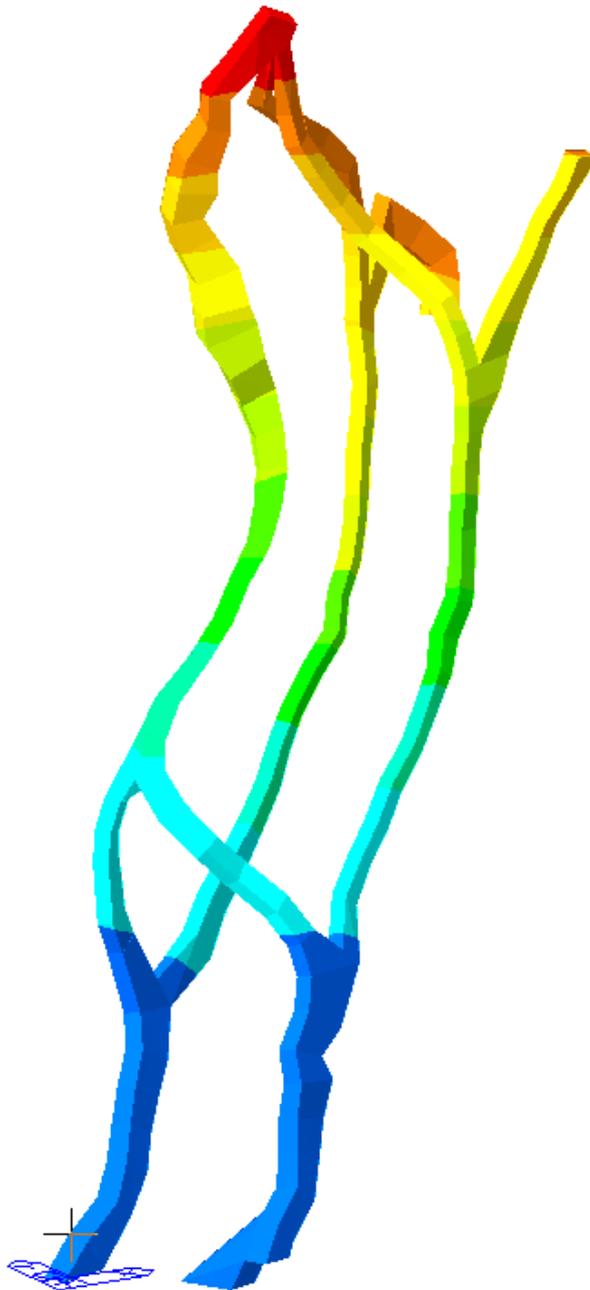
X: -0.483
Y: -0.837
Z: 0.259

Hipotesis N°8



MIDAS/Civil	
POST-PROCESSOR	
DISPLACEMENT	
RESULTANT	
	1.39152e-00:
	1.26502e-00:
	1.13852e-00:
	1.01202e-00:
	8.85515e-00:
	7.59013e-00:
	6.32511e-00:
	5.06009e-00:
	3.79506e-00:
	2.53004e-00:
	1.26502e-00:
	0.00000e+00:
SCALE FACTOR=	
5.2304E+00:	
CB: H8-ELS	
MAX : 5204	
MIN : 8	
FILE: Modelo-Esc~	
UNIT: m	
DATE: 10/04/2011	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.483	
Y: -0.837	
Z: 0.259	

Hipotesis N°9

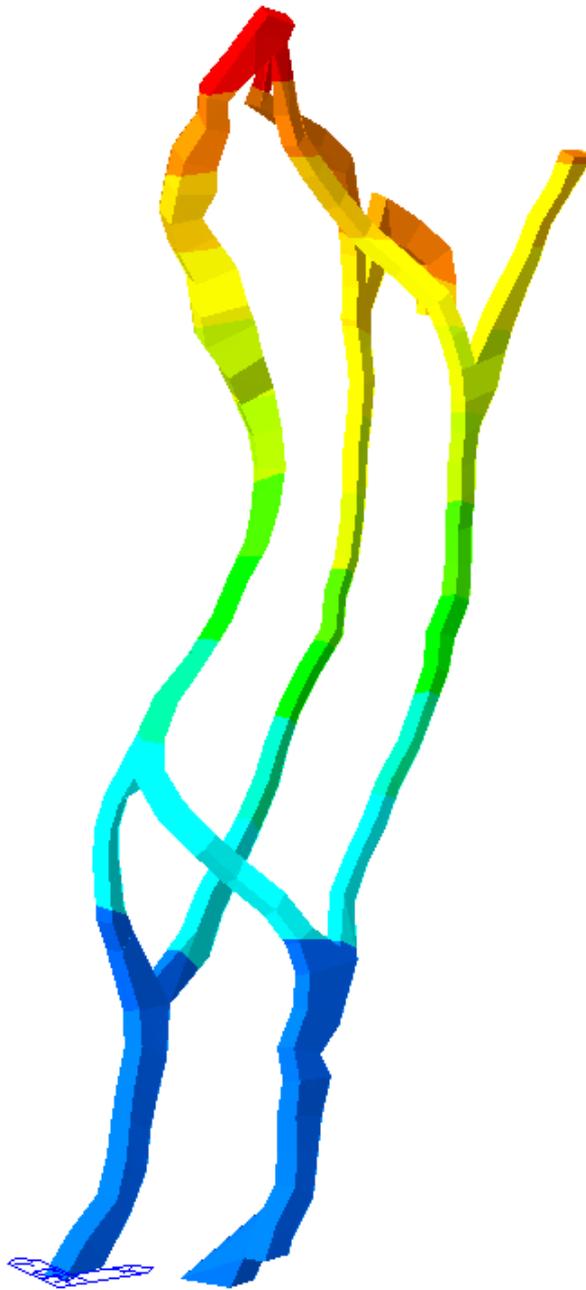


MIDAS/Civil	
POST-PROCESSOR	
DISPLACEMENT	
RESULTANT	
	1.44946e-001
	1.31769e-001
	1.18592e-001
	1.05415e-001
	9.22382e-002
	7.90613e-002
	6.58844e-002
	5.27075e-002
	3.95306e-002
	2.63538e-002
	1.31769e-002
	0.00000e+00
SCALE FACTOR=	
5.0214E+00	
CB: H9-ELS	
MAX : 5204	
MIN : 8	
FILE: Modelo-Esc~	
UNIT: m	
DATE: 10/04/2011	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.483	
Y: -0.837	
Z: 0.259	

Hipotesis N°10

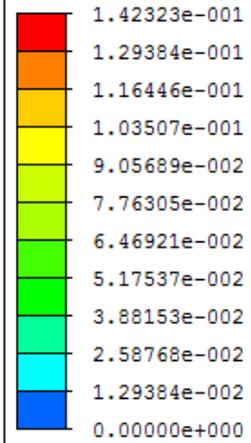


Hipotesis N°11



MIDAS/CIVIL
POST-PROCESSOR
DISPLACEMENT

RESULTANT



SCALE FACTOR=
5.1139E+000

CB: H11-ELS

MAX : 5204

MIN : 8

FILE: Modelo-Esc~

UNIT: m

DATE: 10/04/2011

VIEW-DIRECTION

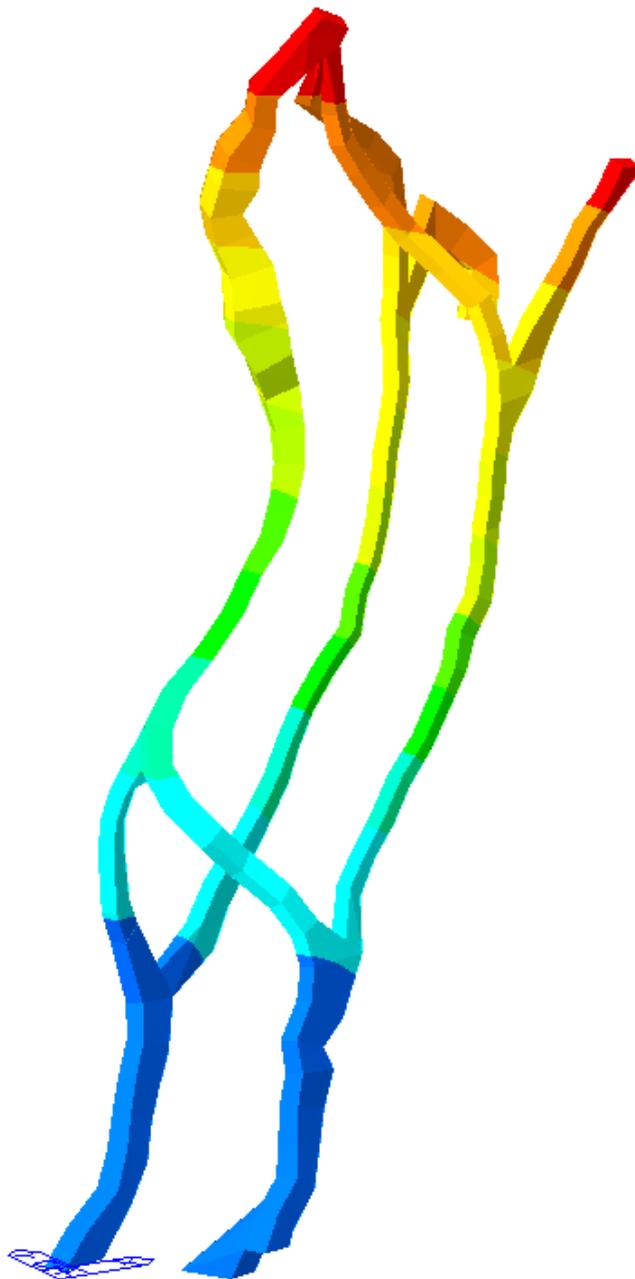
X: -0.483

Y: -0.837

Z: 0.259



Hipotesis N°12



MIDAS/Civil POST-PROCESSOR	
DISPLACEMENT	
RESULTANT	
	1.00193e-001
	9.10844e-002
	8.19759e-002
	7.28675e-002
	6.37590e-002
	5.46506e-002
	4.55422e-002
	3.64337e-002
	2.73253e-002
	1.82169e-002
	9.10844e-003
	0.00000e+000
SCALE FACTOR=	
7.2643E+000	
CB: H12-ELS	
MAX : 5204	
MIN : 8	
FILE: Modelo-Esc~	
UNIT: m	
DATE: 10/04/2011	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.483	
Y: -0.837	
Z: 0.259	

12.2.2. Reacciones

Se desglosan las reacciones obtenidas por apoyo (empotramiento). Los nudos 512 y 513 corresponden con ambas patas traseras.

Reaction(Global)							
Node	Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
50412	H1	0.27	-1.93	16.79	34.68	-48.32	-6.42
50413	H1	-0.27	-4.51	-6.01	23.42	-23.48	-4.40
50412	H2	-1.65	-0.50	3.91	18.47	-42.12	0.51
50413	H2	-1.04	0.50	6.88	5.04	-34.87	0.78
50412	H3	0.17	-2.00	16.93	21.34	-17.75	-5.31
50413	H3	-0.17	-4.44	-6.15	18.59	3.72	-4.27
50412	H4	-1.75	-0.57	4.05	5.13	-11.55	1.63
50413	H4	-0.94	0.57	6.73	0.21	-7.68	0.91
50412	H5	0.40	-3.15	23.56	46.59	-57.79	-10.07
50413	H5	-0.40	-7.59	-13.32	35.69	-21.31	-7.34
50412	H6	0.30	-3.22	23.70	33.25	-27.21	-8.95
50413	H6	-0.30	-7.52	-13.46	30.86	5.88	-7.21
50412	H7	-2.79	-0.76	2.09	19.58	-47.45	1.48
50413	H7	-1.69	0.76	8.16	5.04	-40.31	1.29
50412	H8	-2.89	-0.83	2.23	6.23	-16.88	2.60
50413	H8	-1.59	0.83	8.02	0.21	-13.11	1.42
50412	H9	0.31	-1.90	16.43	39.53	-59.66	-6.85
50413	H9	-0.31	-4.55	-6.19	25.20	-33.73	-4.45
50412	H10	-1.61	-0.46	3.55	23.32	-53.46	0.08
50413	H10	-1.08	0.46	6.70	6.82	-45.13	0.72
50412	H11	0.14	-2.01	16.66	17.29	-8.70	-4.99
50413	H11	-0.14	-4.43	-6.42	17.16	11.59	-4.24
50412	H12	-1.78	-0.58	3.78	1.08	-2.50	1.94
50413	H12	-0.91	0.58	6.46	-1.23	0.19	0.94
50412	ACC-1	0.98	0.31	7.74	10.65	-1.43	2.23
50413	ACC-1	0.57	1.31	6.59	6.39	0.73	1.61
50412	ACC-2	0.94	0.34	7.60	10.87	-1.11	2.18
50413	ACC-2	0.60	1.30	6.42	6.46	0.65	1.60
50412	ACC-3	0.63	0.25	6.39	9.04	-3.53	1.25
50413	ACC-3	0.41	0.85	5.04	4.57	-1.62	1.00

A su vez, las reacciones obtenidas en el centro de gravedad de la zapata son:

Node	Load	FX (tonf)	FY (tonf)	FZ (tonf)	MX (tonf*m)	MY (tonf*m)	MZ (tonf*m)
cdg	H1	0.0	-6.4	10.8	35.3	-82.6	-4.9
cdg	H2	-2.7	0.0	10.8	26.5	-87.8	2.8
cdg	H3	0.0	-6.4	10.8	16.8	-24.8	-4.0
cdg	H4	-2.7	0.0	10.8	8.0	-30.0	4.6
cdg	H5	0.0	-10.7	10.2	45.4	-89.3	-8.7
cdg	H6	0.0	-10.7	10.2	27.0	-31.6	-6.9
cdg	H7	-4.5	0.0	10.2	30.7	-98.0	5.5
cdg	H8	-4.5	0.0	10.2	12.2	-40.2	7.3
cdg	H9	0.0	-6.4	10.2	42.1	-103.6	-6.4
cdg	H10	-2.7	0.0	10.2	33.3	-108.8	2.1
cdg	H11	0.0	-6.4	10.2	11.4	-7.4	-3.5
cdg	H12	-2.7	0.0	10.2	2.5	-12.6	5.0
cdg	H13	1.5	1.6	14.3	15.9	-15.0	1.2
cdg	H14	1.5	1.6	14.0	16.1	-14.5	1.3
cdg	H15	1.0	1.1	11.4	12.3	-16.6	0.6

12.3. Zapata

La cimentación calculada para la escultura es de tipo superficial. Para el cálculo de la zapata se considera la existencia de un estrato rocoso con una tensión admisible de 4 kg/cm^2 , según anejo geotécnico de “*Proyecto de Construcción. Autovía Mudejar (A-23). Tramo: Sabiñánigo (Oeste) – Jaca (Este). Clave: 12-HU-5690*”, donde se establece que para un emplazamiento muy próximo al de la estructura objeto de estudio en esta memoria, la tensión admisible de 4 kg/cm^2 para las margas existentes. No obstante, como quedará justificado más adelante, se encuentra que este parámetro no es el determinante en la dimensión del cimiento, ya que es mayor la influencia de la estabilidad para encajar las dimensiones de la zapata.

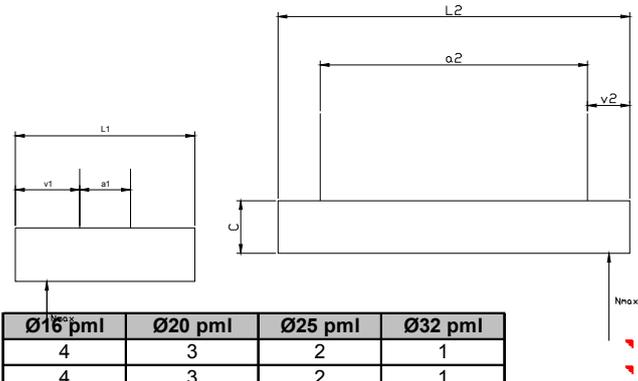
CALCULO ARMADURA INFERIOR DE LA ZAPATA

a1 (m)	0.2
a2 (m)	0.2
v1(m)	1.8
v2(m)	1.8
σ_{adm} Terr. (T/m ²)	40.0
σ_{max} (T/m ²)	8.0

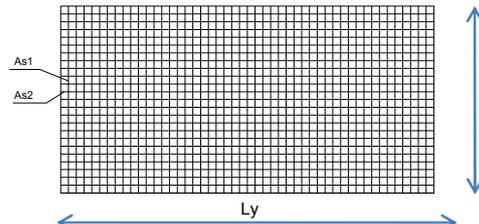
Zapata L1 (Lx)	5.0
Zapata L2 (Ly)	5.0
Canto Zapata	1.0

Nd1	21.6
Nd2	21.6

As1 (inferior) cm ²	6.7
As2 (inferior) cm ²	6.7



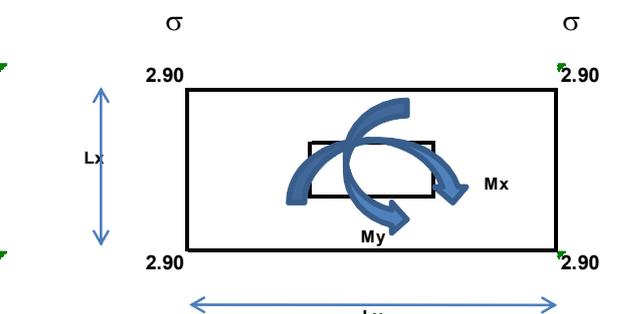
Ø16 pml	Ø20 pml	Ø25 pml	Ø32 pml
4	3	2	1
4	3	2	1



CALCULO TENSIONES EN ZAPATA

Altura de Tierras	0.20
-------------------	------

Ix (m ⁴)	52.08
Iy (m ⁴)	52.08



	N (T)	Mx (T·m)	My (T·m)
H1	7.90	24.00	-57.20
H2	7.50	28.60	-71.30
H3	7.50	22.70	-74.80

	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
	1.62	7.11	-0.68	4.81
	1.15	8.00	-1.60	5.25
	0.70	7.88	-1.48	5.70

Tensión máxima/1.25	6.40	T/m ²	OK
Tensión media	3.22	T/m ²	OK

	N	ey	ex
H1	7.90	3.04	-7.24
H2	7.50	3.81	-9.51
H3	7.50	3.03	-9.97

	Área cimentación equivalente	Presión media
	-20.961	2.52
	-63.075	2.78
	-26.277	2.61

Presión media max.	2.78	T/m ²	OK
--------------------	------	------------------	----

© Structural Research S.L.

Página 71 de 89

01-11090-Anejo-Calculos.doc

12.4. Placas de anclaje

Se dimensionan las placas de anclaje a la cimentación mediante el programa CYPECAD. Se introducen las cargas obtenidas del modelo global de la estructura.

Datos del programa.



Listado de datos de la obra

Placas de anclaje escultura

Fecha: 04/10/11

1.- VERSIÓN DEL PROGRAMA Y NÚMERO DE LICENCIA

Versión: 2012

Número de licencia: 73254

2.- DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA

Proyecto: Placas de anclaje escultura

Clave: Placas

3.- NORMAS CONSIDERADAS

Hormigón: EHE-08

Aceros conformados: CTE DB SE-A

Aceros laminados y armados: CTE DB SE-A

Categoría de uso: A. Zonas residenciales

4.- ACCIONES CONSIDERADAS

4.1.- Cargas horizontales y en cabeza de pilares

4.1.1.- Cargas en cabeza de pilar

Referencia pilar	Hipótesis	N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)
P1	Sobrecarga de uso	2.65	28.10	12.32	0.50	1.10	0.51
	Q 3	15.80	38.60	31.10	0.40	2.10	6.74
	Q 2	10.96	40.00	26.40	1.27	0.31	4.57
P2	Sobrecarga de uso	-4.10	15.62	15.62	0.30	3.00	2.94
	Q 3	-9.00	20.60	3.95	0.30	5.10	4.81
	Q 2	-4.15	16.80	22.50	0.30	3.10	2.97

5.- SITUACIONES DE PROYECTO

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Donde:

G_k Acción permanente

Q_k Acción variable

γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

γ_{Q1} Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal

γ_{Qi} Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

Ψ_{p1} Coeficiente de combinación de la acción variable principal

Ψ_{ai} Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento



Listado de datos de la obra

Placas de anclaje escultura

Fecha: 04/10/11

5.1.- Coeficientes parciales de seguridad (γ) y coeficientes de combinación (ψ)

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

E.L.U. de rotura. Hormigón: EHE-08

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_s)
Carga permanente (G)	1.000	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.700

E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones: EHE-08 / CTE DB-SE C

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_s)
Carga permanente (G)	1.000	1.600	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600	1.000	0.700

Desplazamientos

Característica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_s)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000

5.2.- Combinaciones

• Nombres de las hipótesis

- G Carga permanente
- Qa Sobrecarga de uso
- Q 3 Carga-3
- Q 2 Carga 2

• E.L.U. de rotura. Hormigón

Comb.	G	Qa	Q 3	Q 2
1	1.000			
2	1.350			
3	1.000	1.500		
4	1.350	1.500		
5	1.000		1.500	
6	1.350		1.500	
7	1.000			1.500
8	1.350			1.500



Listado de datos de la obra

Placas de anclaje escultura

Fecha: 04/10/11

• E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones

Comb.	G	Qa	Q 3	Q 2
1	1.000			
2	1.600			
3	1.000	1.600		
4	1.600	1.600		
5	1.000		1.600	
6	1.600		1.600	
7	1.000			1.600
8	1.600			1.600

• Desplazamientos

Comb.	G	Qa	Q 3	Q 2
1	1.000			
2	1.000	1.000		
3	1.000		1.000	
4	1.000			1.000

Resultados.**Listado de cimentación**

Placas de anclaje escultura

Fecha: 04/10/11

1.- DESCRIPCIÓN

Referencias	Placa base	Disposición	Rigidizadores	Pernos
P1	Ancho X: 700 mm Ancho Y: 1100 mm Espesor: 40 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(200x60x18.0) Paralelos Y: 2(200x60x18.0)	14Ø32 mm L=85 cm Patilla a 90 grados
P2	Ancho X: 780 mm Ancho Y: 1000 mm Espesor: 35 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: 2(100x60x18.0) Paralelos Y: 2(100x60x18.0)	14Ø32 mm L=50 cm Patilla a 90 grados



Listado de cimentación

Placas de anclaje escultura

Fecha: 04/10/11

2.- COMPROBACIÓN

Referencia: P1		
-Placa base: Ancho X: 700 mm Ancho Y: 1100 mm Espesor: 40 mm -Pernos: 14Ø32 mm L=85 cm Patilla a 90 grados -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada -Rigidizadores: Paralelos X: 2(200x60x18.0) Paralelos Y: 2(200x60x18.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 96 mm Calculado: 181 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 60 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 80 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a X: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 27.2 Calculado: 26.6	Cumple Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 37 cm Calculado: 85 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 30.81 t Calculado: 23.754 t Máximo: 21.567 t Calculado: 2.149 t Máximo: 30.81 t Calculado: 26.824 t	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 26.064 t Calculado: 23.754 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 5096.84 kp/cm ² Calculado: 2986.22 kp/cm ²	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 71.764 t Calculado: 2.149 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 2803.26 kp/cm ² Calculado: 2539.82 kp/cm ² Calculado: 1920.17 kp/cm ² Calculado: 918.352 kp/cm ² Calculado: 1004.94 kp/cm ²	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 3809.73 Calculado: 4845.03 Calculado: 21887.6 Calculado: 10333.1	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 2803.26 kp/cm ² Calculado: 1864.61 kp/cm ²	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		



Listado de cimentación

Placas de anclaje escultura

Fecha: 04/10/11

Referencia: P2		
-Placa base: Ancho X: 780 mm Ancho Y: 1000 mm Espesor: 35 mm -Pernos: 14Ø32 mm L=50 cm Patilla a 90 grados -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada -Rigidizadores: Paralelos X: 2(100x60x18.0) Paralelos Y: 2(100x60x18.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 96 mm Calculado: 207 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 62 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 80 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a X: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 19.2 Calculado: 16.7	Cumple Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 37 cm Calculado: 50 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 18.124 t Calculado: 13.575 t Máximo: 12.686 t Calculado: 1.852 t Máximo: 18.124 t Calculado: 16.221 t	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 26.064 t Calculado: 13.575 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 5096.84 kp/cm ² Calculado: 1698.78 kp/cm ²	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 62.793 t Calculado: 1.852 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 2803.26 kp/cm ² Calculado: 2266.14 kp/cm ² Calculado: 2225.98 kp/cm ² Calculado: 986.413 kp/cm ² Calculado: 1216.02 kp/cm ²	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 2432.62 Calculado: 2712.12 Calculado: 6726.71 Calculado: 7667.12	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 2803.26 kp/cm ² Calculado: 1130.18 kp/cm ²	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

12.5. Estabilidad global**12.5.1. Seguridad al deslizamiento.**

Peso zapata : $1 \times 5 \times 5 \times 2.50 = 62.50 \text{ T.}$

Peso Estructura : 7.00 T.

Acción estabilizadora : $69.50 \times 0.90 \times 0.30 = 18.76 \text{ T.}$

Acción desestabilizadora : $1.50 \times 4.30 = 6.45 \text{ T}$

$$\varphi = \frac{18.76}{6.45} = 2.9$$

Situación accidental: $\varphi = \frac{18.76}{10.79 \times 1.10} = 1.58$

12.5.2. Seguridad al vuelco.

- Transversal:

$$M_{\text{estabilizador}} = (7 \times 1.80 + 62.50 \times 2.50) \times 0.90 = 151.90 \text{ Tn}$$

$$M_{\text{desestabilizador}} = 1.50 \times (41.35 + 1.06) = 63.62 \text{ Tn}$$

$$\varphi = \frac{151.90}{63.62} = 2.38$$

- Longitudinal:

$$M_{\text{estabilizador}} = 62.50 \times 2.50 \times 0.90 = 140.60 \text{ Tn}$$

$$M_{\text{desestabilizador}} = 1.50 \times (61.48 + 14.93) = 114.62 \text{ Tn}$$

$$\varphi = \frac{140.60}{114.62} = 1.22$$

- Accidental pésima:

$$M_{\text{estabilizador}} = 151.90 \text{ Tn}$$

$$M_{\text{desestabilizador}} = 1.10 \times 17.33 = 19.06 \text{ Tn}$$

$$\varphi = \frac{151.90}{19.06} = 7.97$$

12.6. Cálculo sísmico

12.6.1. Bases de cálculo y dimensionamiento

En la elaboración de este estudio se han seguido las directrices marcadas por la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02) y la normativa relativa a puentes (NCSP-07), así la Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (I.A.P-98).

Es necesaria la aplicación de la Norma Sismorresistente cuando la aceleración sísmica de cálculo es mayor o igual que 0.04g, siendo g la aceleración de la gravedad. Para la zona en cuestión la aceleración de cálculo es igual:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b = 0.051 \text{ g}$$

Siendo:

S: Coeficiente de amplificación del terreno, en nuestro caso resulta S= 1.6

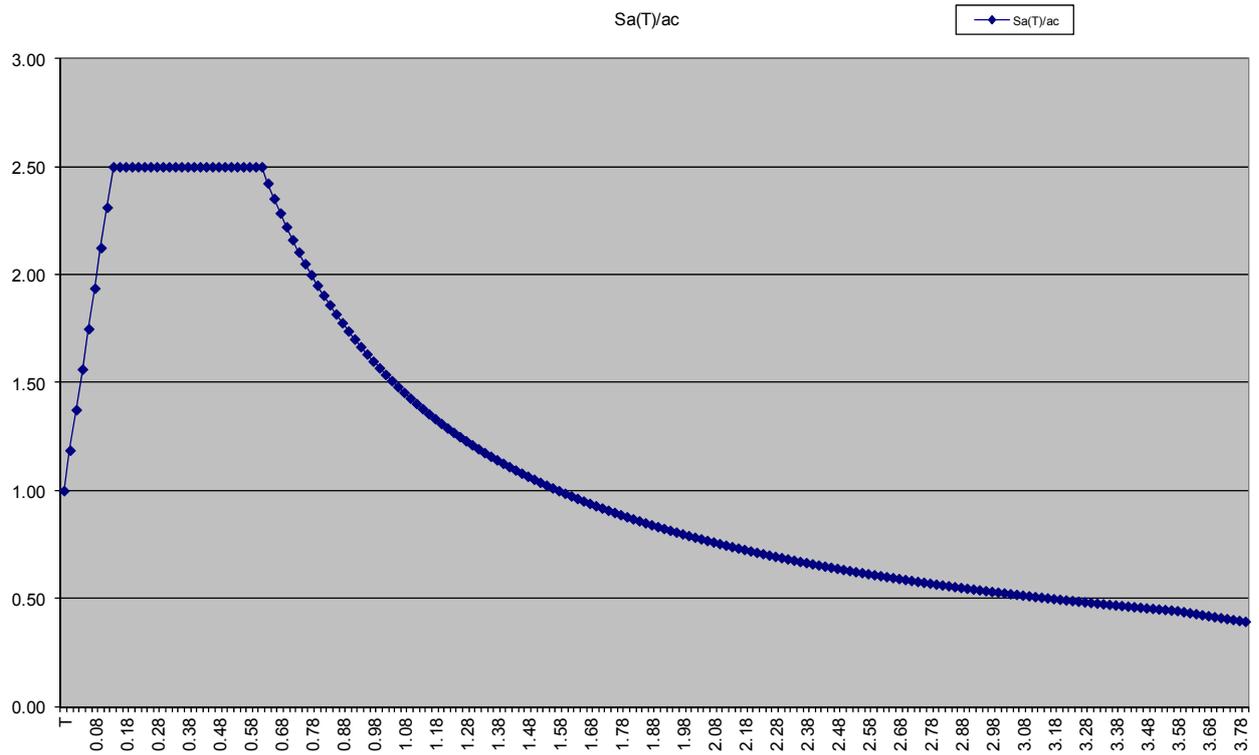
ρ : Coeficiente adimensional de riesgo en nuestro caso $\rho=1.00$

a_b : Aceleración sísmica básica; $a_b=0.04\text{g}$

Los datos empleados han sido los siguientes:

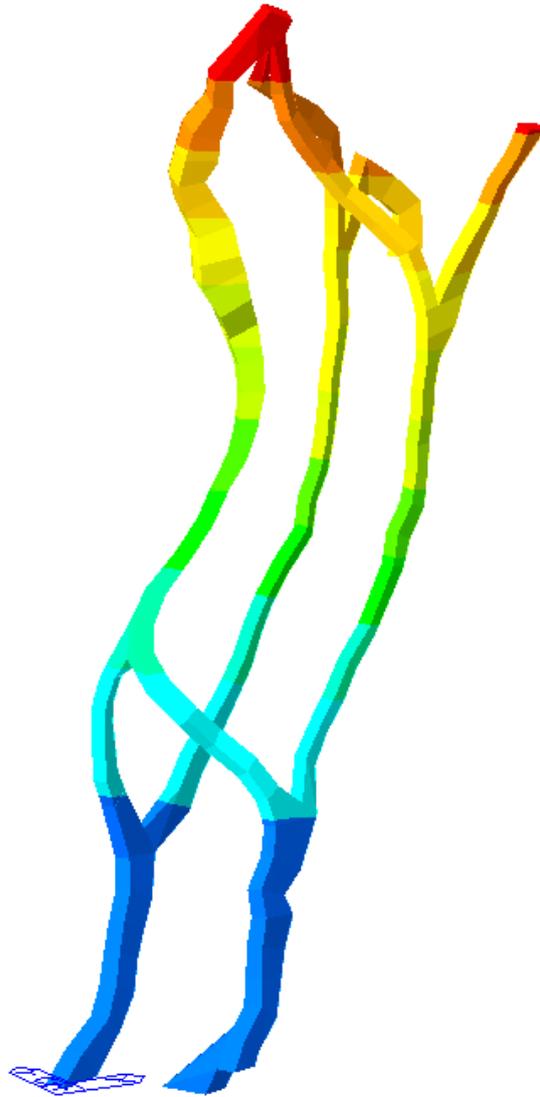
Cliente: FRANK NORTON		Obra: Escultura en Jaca	
Cálculo Acción Sísmica en Estructuras			
Cálculo de la aceleración de cálculo:			
a_b	0.04 g	$a_c / g =$	0.051
k	1.00		
ρ	1.00	\rightarrow	$a_c =$
C	1.60		0.502
$a_b \cdot \rho$	0.04 g	% Amortig.	5.0
S	1.2800	v	1.00000
Cálculo del espectro de respuesta elástica			
		$Sa(T) / a_c$	- Si $0 < T < T_a$
T_a	0.16	$Sa(T) / a_c$	- Si $T_a \leq T \leq T_b$
T_b	0.64	$Sa(T) / a_c$	1.80832 Si $T_b \leq T \leq T_c$
T_c	3.60	$Sa(T) / a_c$	- Si $T_c \leq T$

El espectro de cálculo obtenido es el siguiente:



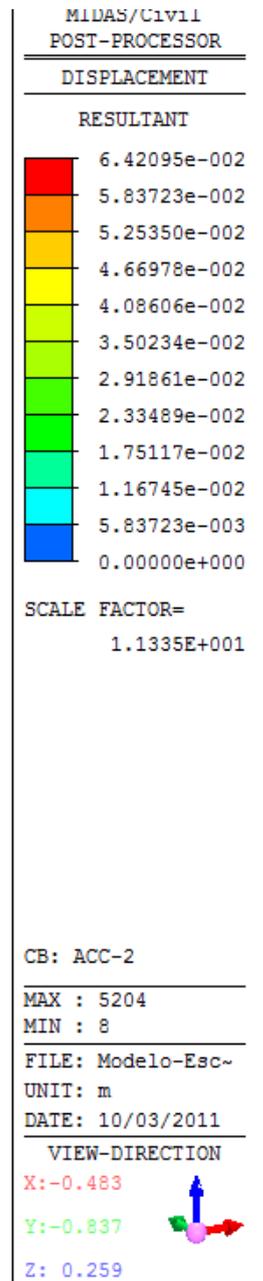
12.6.2. Desplazamientos

Hipotesis Accidental N°1

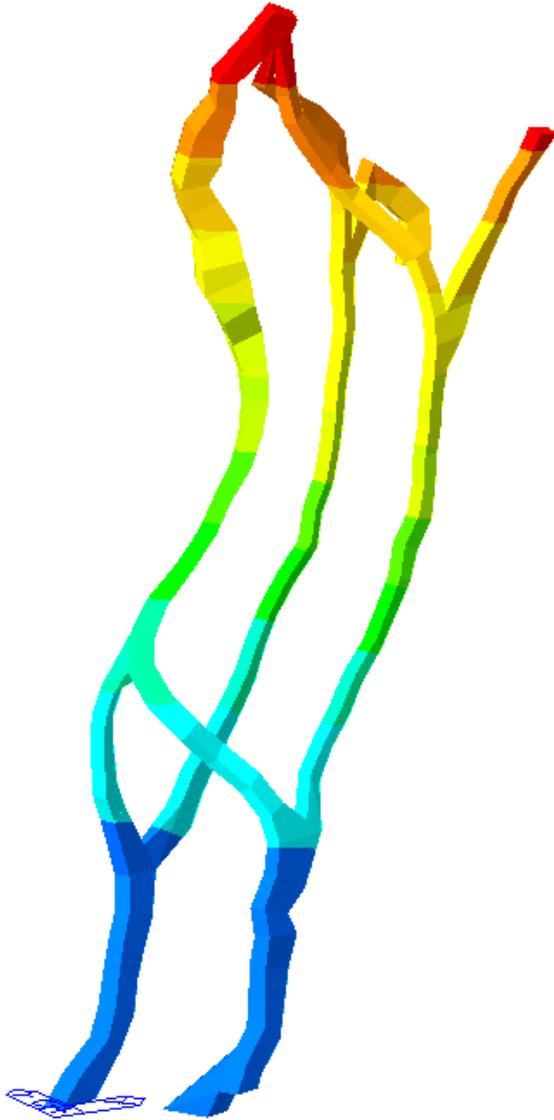


MIDAS/Civil	
POST-PROCESSOR	
DISPLACEMENT	
RESULTANT	
	6.39077e-002
	5.80979e-002
	5.22881e-002
	4.64783e-002
	4.06685e-002
	3.48588e-002
	2.90490e-002
	2.32392e-002
	1.74294e-002
	1.16196e-002
	5.80979e-003
	0.00000e+000
SCALE FACTOR=	1.1389E+001
CB: ACC-1	
MAX :	5204
MIN :	8
FILE:	Modelo-Esc~
UNIT:	m
DATE:	10/03/2011
VIEW-DIRECTION	
X:	-0.483
Y:	-0.837
Z:	0.259

Hipotesis Accidental N°2



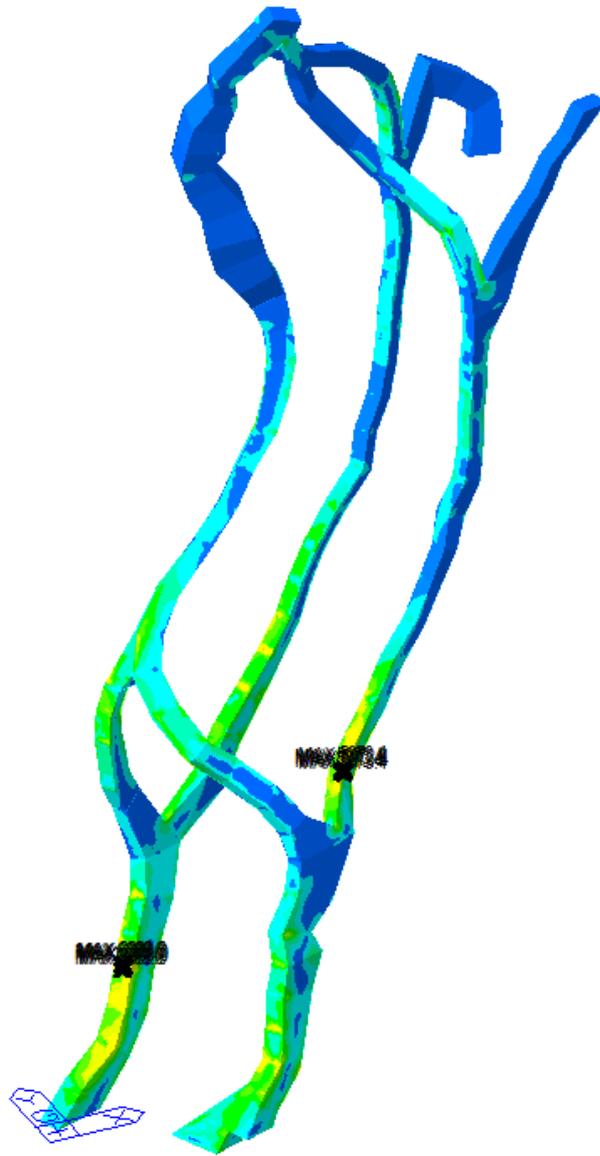
Hipotesis Accidental N°3



MIDAS/Civil	
POST-PROCESSOR	
DISPLACEMENT	
RESULTANT	
	5.51351e-002
	5.01228e-002
	4.51105e-002
	4.00982e-002
	3.50859e-002
	3.00737e-002
	2.50614e-002
	2.00491e-002
	1.50368e-002
	1.00246e-002
	5.01228e-003
	0.00000e+000
SCALE FACTOR=	
1.3201E+001	
CB: ACC-3	
MAX : 5204	
MIN : 8	
FILE: Modelo-Esc~	
UNIT: m	
DATE: 10/03/2011	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.483	
Y: -0.837	
Z: 0.259	

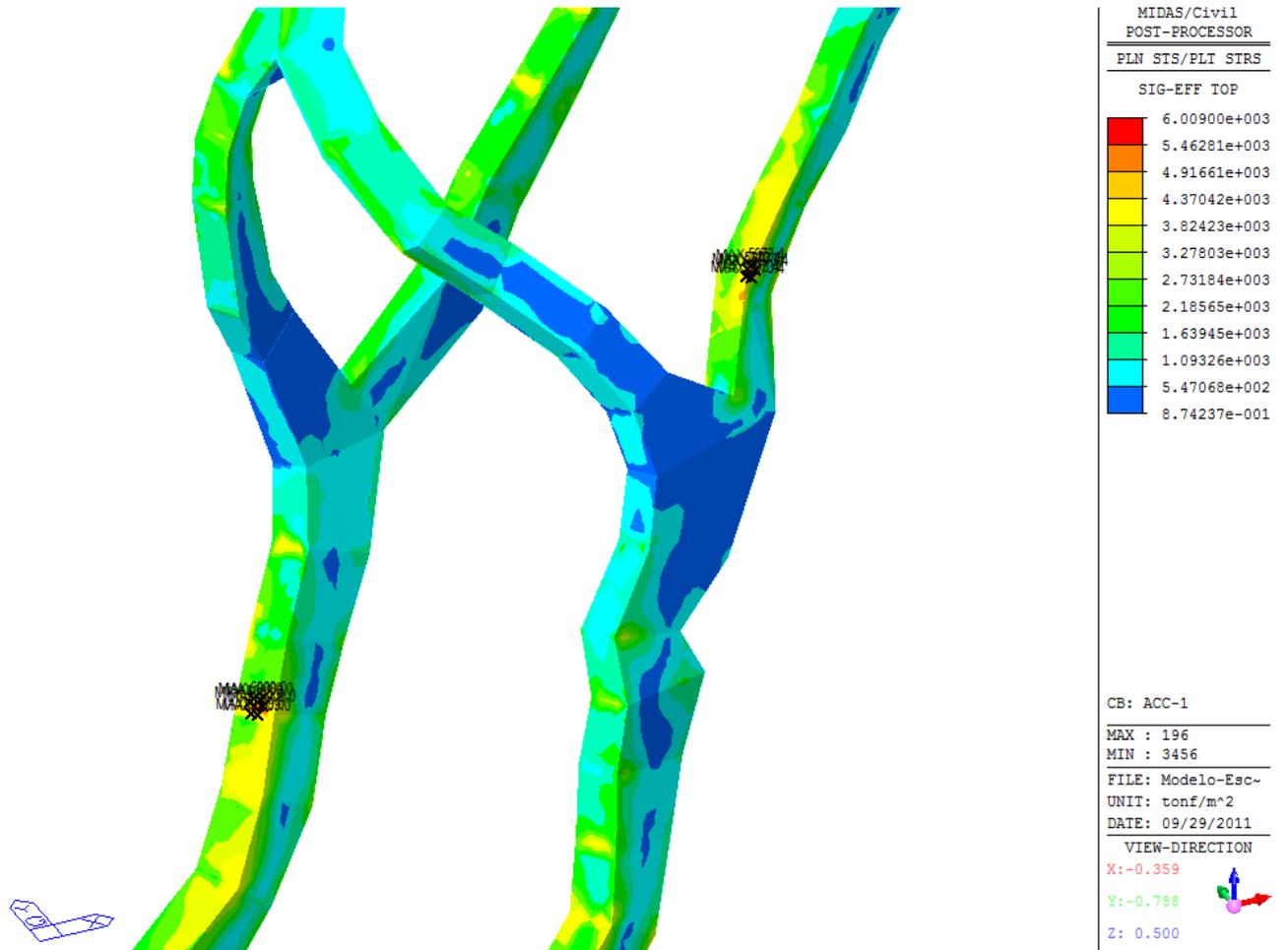
12.6.1. Tensiones

Hipotesis Accidental N°1

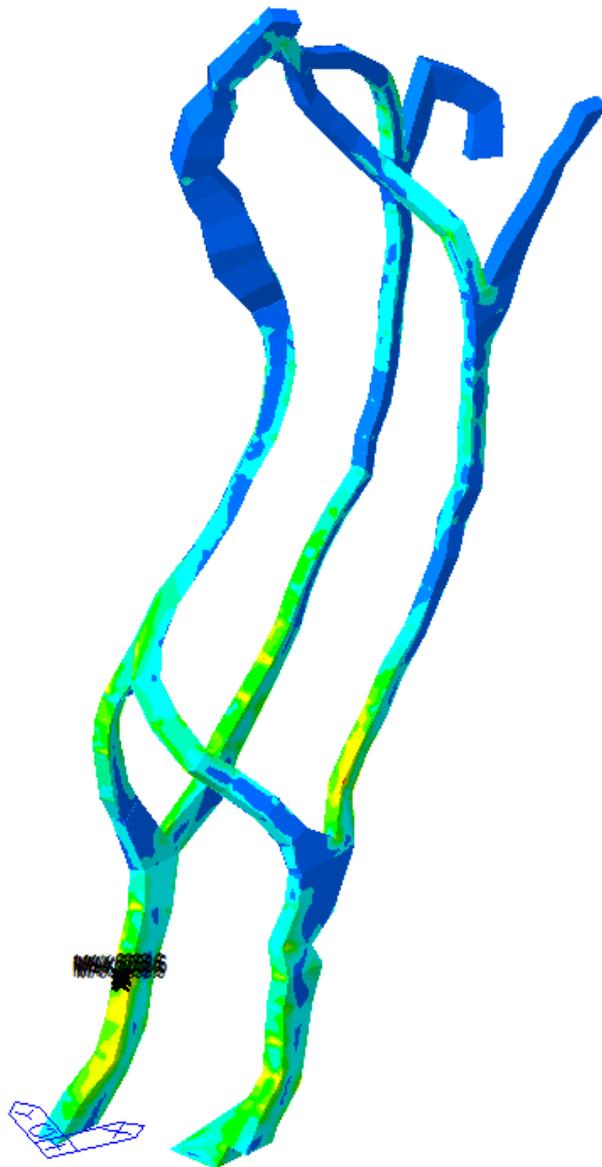


MIDAS/Civil POST-PROCESSOR	
PLN	SIS/PLT STRS
SIG-EFF TOP	
	6.00900e+003
	5.46281e+003
	4.91661e+003
	4.37042e+003
	3.82423e+003
	3.27803e+003
	2.73184e+003
	2.18565e+003
	1.63945e+003
	1.09326e+003
	5.47068e+002
	8.74237e-001

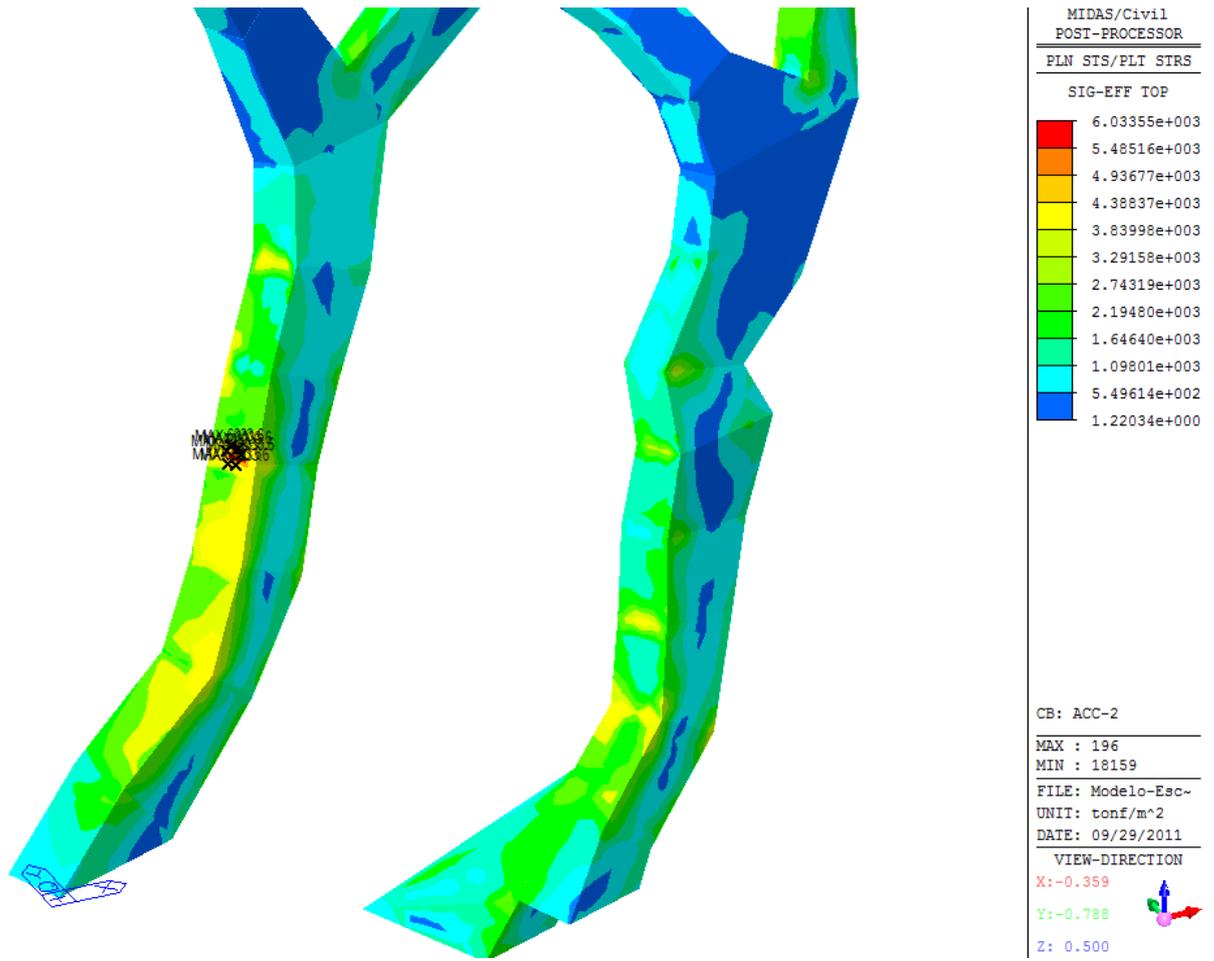
CB: ACC-1
MAX : 196
MIN : 3456
FILE: Modelo-Esc~
UNIT: tonF/m^2
DATE: 09/29/2011
VIEW-DIRECTION
X: -0.359
Y: -0.788
Z: 0.500



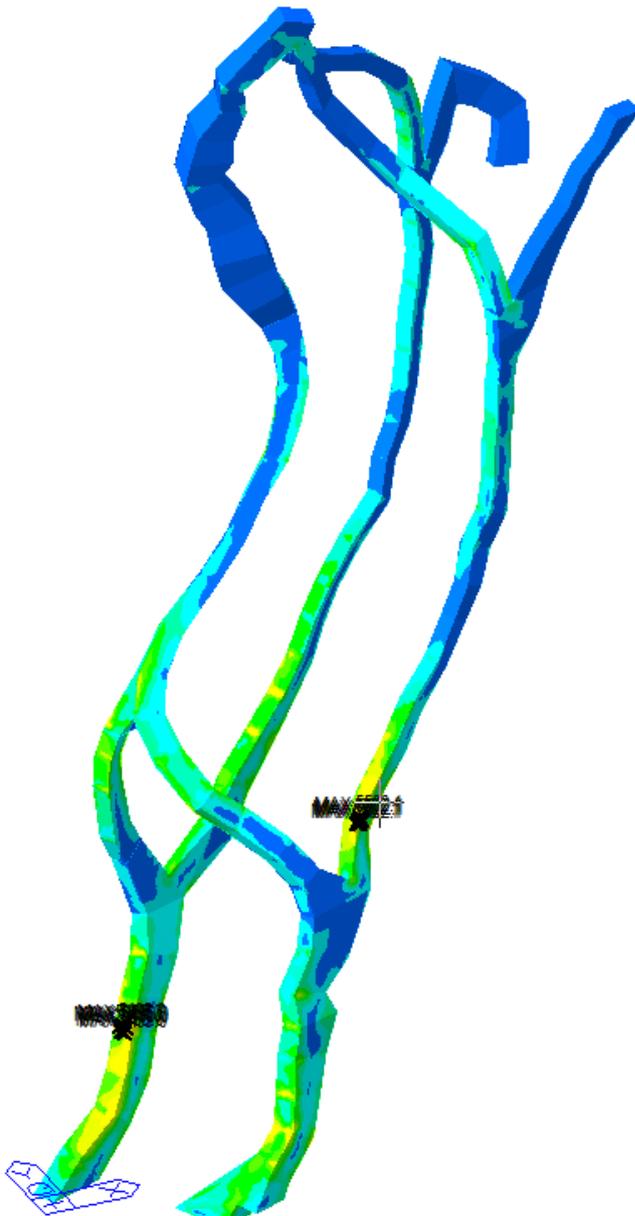
Hipotesis Accidental N°2



MIDAS/Civil POST-PROCESSOR	
PLN	STS/PLT STRS
SIG-EFF TOP	
	6.03355e+003
	5.48516e+003
	4.93677e+003
	4.38837e+003
	3.83998e+003
	3.29158e+003
	2.74319e+003
	2.19480e+003
	1.64640e+003
	1.09801e+003
	5.49614e+002
	1.22034e+000
CB: ACC-2	
MAX : 196	
MIN : 18159	
FILE: Modelo-Esc-	
UNIT: tonf/m^2	
DATE: 09/29/2011	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.359	
Y: -0.788	
Z: 0.500	



Hipotesis Accidental N°3



MIDAS/Civil POST-PROCESSOR	
PLN	STS/PLT STRS
SIG-EFF TOP	
	5.50212e+00:
	5.00201e+00:
	4.50191e+00:
	4.00181e+00:
	3.50170e+00:
	3.00160e+00:
	2.50149e+00:
	2.00139e+00:
	1.50129e+00:
	1.00118e+00:
	5.01077e-00:
	9.73292e-00:

CB: ACC-3
MAX : 6822
MIN : 3456
FILE: Modelo-Esc~
UNIT: tonf/m^2
DATE: 09/29/2011
VIEW-DIRECTION
X: -0.359
Y: -0.788
Z: 0.500

