

Anejo nº 9
Vía y Superestructura

1.	Objeto	1	5.4.	Ejecución del mortero nivelador y hormigonado	8
2.	Características del tramo	1	5.5.	Anclaje de vía	8
2.1.	Sistema de vía	1	5.6.	Acabado estructural de pavimento	8
2.2.	Secciones tipo	1	5.7.	Ejecución de junta bituminosa.....	8
3.	Subestructura	2	6.	Ruido y vibraciones	8
3.1.	Explanada	2	6.1.	Ejecución y explotación	10
3.2.	Losa de soporte de vía	2			
3.3.	Vigas de soporte de vía para sección en Césped	3			
4.	Superestructura	3			
4.1.	Solución general	3			
4.2.	Revestimiento elástico del carril	4			
4.2.1.	Elementos de recubrimiento del patín	4			
4.2.2.	Anclajes de vía	5			
4.3.	Riostras	5			
4.3.1.	Recubrimiento de la riostra.....	6			
4.4.	Aparatos de vía.....	6			
4.5.	Acabados de la superestructura	6			
5.	Procedimiento constructivo	6			
5.1.	Montaje de carril y de riostras, ajuste del ancho de vía	6			
5.2.	Montaje del drenaje de la garganta del carril	7			
5.3.	Montaje de los elementos elásticos.....	8			

1. Objeto

El presente Anejo define y valora todas las operaciones necesarias para implantar la vía en el tramo San Bernardo – Centro Nervión del metro ligero en superficie de Sevilla, así como cuantos elementos la constituyen.

2. Características del tramo

2.1. Sistema de vía

Dentro de la experiencia actual con la superestructura de vía tranviaria se pueden configurar varias decenas de lo que denominaremos “sistemas de vía”, cada uno de ellos con sus ventajas e inconvenientes en función de las condiciones de contorno fijados por el entorno de empleo posible.

Con objeto de asegurar la convergencia de este estudio hacia la elección del modelo óptimo para nuestro caso, se han estudiado una serie de posibles sistemas de vía para cada escenario del metro ligero en superficie de Sevilla.

El sistema de vía que se considera más apropiado para nuestro caso es un sistema RAILFLEX o similar con el que se consiguen garantizar los siguientes principios básicos:

- Garantizar la geometría de la vía y la continuidad de la elasticidad mediante elementos prefabricados, que no dependen de la precisión de la construcción auxiliar que se necesitaría para hacer el vertido de elastómeros líquidos.
- Sujetar mecánicamente los elementos elásticos al carril, no pegando ningún elemento al mismo y posibilitando reparaciones del carril o sustituciones del mismo, con el reemplazo de los elementos elásticos que lo envuelven aislando y amortiguando la vía.
- Aumentar la vía útil del sistema de vía, ya que, el elemento de desgaste del sistema es el carril y no los elementos elásticos que lo envuelven.

2.2. Secciones tipo

En nuestro tramo nos encontramos fundamentalmente con seis secciones tipo:

- Sección tipo con terminación en hormigón. (ST2)
- Sección tipo con terminación en M.B.C. (ST5)
- Sección tipo con terminación en césped. (ST1)

- Sección tipo sobre estructura (rampas y paso inferior). (ST3 Y ST4)
- Sección tipo entre andenes. (ST6)
- Sección tipo en paso de peatones. (ST7)

Las tramificación de cada una de estas secciones tipo se indica en la siguiente tabla.

ST	Sección Tipo	PK Inicio	PK Final	Long	Intereje	Ancho de Plataforma
ST2	Sección tipo terminación con Hormigón	0+000.00	0+031.88	31.88	3.90	8.00
ST7	Sección tipo terminación con Losa de Granito y Podotáctil	0+031.88	0+038.60	6.72	3.90	8.00
ST3	Sección tipo en Rampa	0+038.60	0+150.00	111.40	3.90	7.80
ST3	Sección tipo en Rampa	0+150.00	0+179.50	29.50	Var. 3,90 - 3,75	7.80
ST4	Sección tipo en Paso Inferior	0+179.50	0+275.70	96.20	Var. 3,90 - 3,75	7.80
ST3	Sección tipo en Rampa	0+275.70	0+295.70	20.00	Var. 3,90 - 3,75	Var. 7,8 - 7,20
ST3	Sección tipo en Rampa	0+295.70	0+431.12	135.42	3.75	7.20
ST2	Sección tipo terminación con Hormigón	0+431.12	0+438.65	7.53	3.75	7.20
ST2	Sección tipo terminación con Hormigón	0+438.65	0+443.65	5.00	3.75	Var. 7,20 - 6,80
ST2	Sección tipo terminación con Hormigón	0+443.65	0+458.00	14.35	3.75	6.80
ST6	Sección tipo terminación con Losa de Granito	0+458.00	0+506.00	48.00	3.75	6.80
ST7	Sección tipo terminación con Losa de Granito y Podotáctil	0+506.00	0+511.16	5.16	3.75	6.80
ST5	Sección tipo terminación con MBC	0+511.16	0+548.64	37.48	3.75	6.80
ST2	Sección tipo terminación con Hormigón	0+548.64	0+556.10	7.46	3.75	6.80
ST7	Sección tipo terminación con Losa de Granito y Podotáctil	0+556.10	0+560.96	4.86	3.75	6.80
ST1	Sección tipo terminación en Césped.	0+560.96	0+719.00	158.04	3.75	6.80
ST2	Sección tipo terminación con Hormigón	0+719.00	0+778.88	59.88	3.75	6.80
ST6	Sección tipo terminación con Losa de Granito	0+778.88	0+826.88	48.00	3.75	6.80
ST7	Sección tipo terminación con Losa de Granito y Podotáctil	0+826.88	0+832.88	6.00	3.75	6.80
ST2	Sección tipo terminación con Hormigón	0+832.88	0+841.32	8.44	3.75	6.80

ST	Sección Tipo	PK Inicio	PK Final	Long	Intereje	Ancho de Plataforma
ST5	Sección tipo terminación con MBC	0+841.32	0+856.32	15.00	3.75	6.80
ST2	Sección tipo terminación con Hormigón	0+856.32	0+875.32	19.00	3.75	6.80
ST5	Sección tipo terminación con MBC	0+875.32	0+891.39	16.07	3.75	6.80
ST2	Sección tipo terminación con Hormigón	0+891.39	0+894.75	3.36	3.75	6.80
ST7	Sección tipo terminación con Losa de Granito y Podotáctil	0+894.75	0+899.62	4.87	3.75	6.80
ST1	Sección tipo terminación en Césped.	0+899.62	1+140.43	240.81	3.75	6.80
ST7	Sección tipo terminación con Losa de Granito y Podotáctil	1+140.43	1+145.43	5.00	3.75	6.80
ST6	Sección tipo terminación con Losa de Granito	1+145.43	1+180.43	35.00	3.75	6.80
ST1	Sección tipo terminación en Césped.	1+180.43	1+323.79	143.36	3.75	6.80
ST7	Sección tipo terminación con Losa de Granito y Podotáctil	1+323.79	1+328.79	5.00	3.75	6.80
ST2	Sección tipo terminación con Hormigón	1+328.79	1+339.00	10.21	3.75	6.80
ST5	Sección tipo terminación con MBC	1+339.00	1+355.60	16.60	3.75	6.80
ST2	Sección tipo terminación con Hormigón	1+355.60	1+378.30	22.70	3.75	6.80
ST5	Sección tipo terminación con MBC	1+378.30	1+407.00	28.70	3.75	6.80

Tabla 1. Tramificación de las secciones tipo

3. Subestructura

3.1. Explanada

De forma general a lo largo de toda la traza, para las cargas de tráfico consideradas a efectos del cálculo de las secciones tipo de la plataforma de apoyo de la vía, se considera que una explanada tipo E1 según la clasificación del PG-3 proporciona una capacidad portante suficiente.

La norma de secciones de firme 6.1 I.C propone tres opciones para obtener una explanada E1:

- 60 cm de suelo adecuado

- 45 cm de suelo seleccionado
- 25 cm de suelo estabilizado

La opción elegida es la de disponer **50 cm de suelo seleccionado** sobre un suelo tolerable compactado al 95% del ensayo Proctor Modificado, ya que, aunque esta opción supone una mayor excavación es más fácil de obtener que el suelo seleccionado y con una puesta en obra más sencilla que el suelo estabilizado.

3.2. Losa de soporte de vía

En las secciones tipo con terminación en hormigón y M.B.C. la vía apoya sobre una losa que será la encargada de dar soporte estructural a la vía.

Sobre la explanada se dispondrá una capa de 0,25 m de zahorra artificial y sobre esta 0,10 m de hormigón de limpieza y sobre ésta, la losa soporte de vías. Dicha losa estará constituida, en general, por una losa de hormigón armado HA-25 de 5,65 metros de ancho y canto total quedando parte del carril embebido de forma que el espesor bajo patín sea siempre de 0,20 m. En esta losa se dispondrá armadura longitudinalmente y transversalmente tanto en la cara superior como inferior de la losa según se define en Planos.

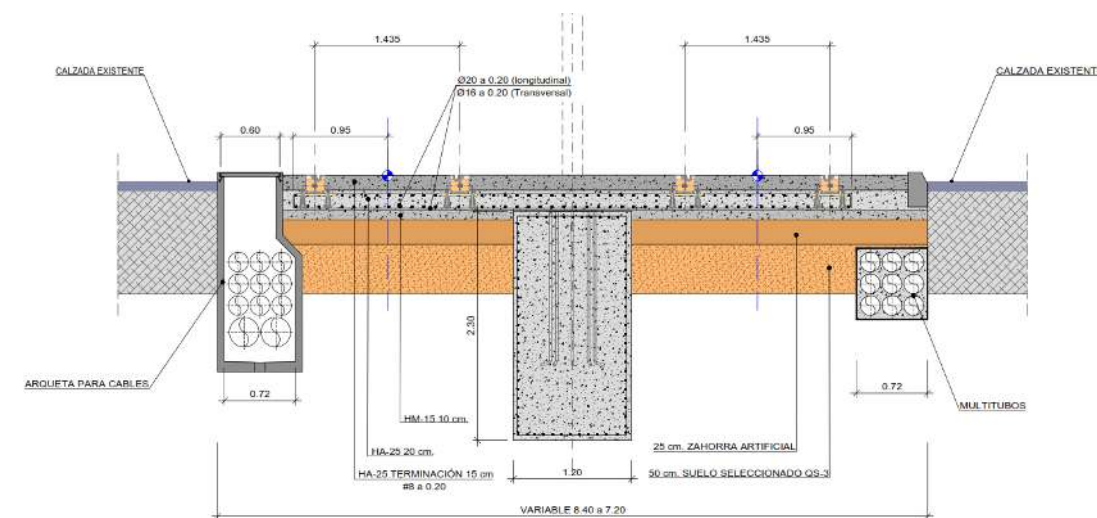


Figura 1. Sección tipo de vía para sección con terminación en hormigón.

En estos tramos, la losa será considerada a todos los efectos como una sección armada de 0,20 m de espesor puesto que el hormigonado se realiza en una única fase. En consecuencia, y según el articulado correspondiente de Instrucción EHE, el hormigonado se realizará con HA-25 y se realizarán las oportunas juntas de construcción y de dilatación, cada 5 y 20 metros como máximo respectivamente, que serán rellenadas de material inerte y selladas convenientemente con un material bituminoso.

3.3. Vigas de soporte de vía para sección en Césped

En las secciones con terminación es césped cada carril apoya en unas vigas que serán las encargadas de dar soporte estructural a la vía.

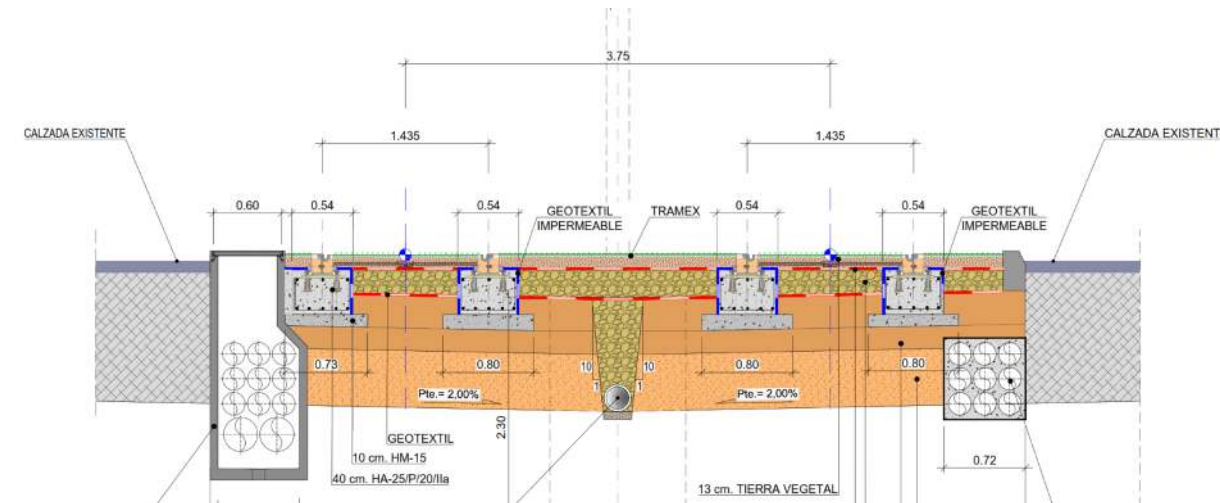


Figura 2. Sección tipo de vía para sección con terminación en césped.

Sobre la explanada se dispondrá una capa de 0,25 m de zahorra artificial y sobre esta 0,10 m de hormigón de limpieza y sobre ésta, las vigas de soporte de la vía. Dicha viga estará constituida, por hormigón armado HA-25 de 0,54 metros de ancho y canto de 40 cm. En esta losa se dispondrá armadura longitudinalmente y transversalmente tanto en la cara superior como inferior de la losa según se define en Planos.

Para evitar que las vigas actúen como barrera para el agua generando así problemas con el drenaje, dejará una separación de 20 centímetros a cada diez metros lineales de viga, de esta forma se permite el paso del agua hasta la zanja drenante.

4. Superestructura

4.1. Solución general

Como solución general se ha adoptado un sistema que consiste en una solución de vía en placa basada en **carril Ri60N** con soporte continuo sin fijaciones, denominado "enchquetado". El concepto se basa en un diseño de una "chaqueta" de carril de material elástico a base de caucho granular y resina PUR, de baja toxicidad, que lo envuelve y fija en una posición estable en todas las direcciones, quedando completamente aislado de vibraciones y corrientes.

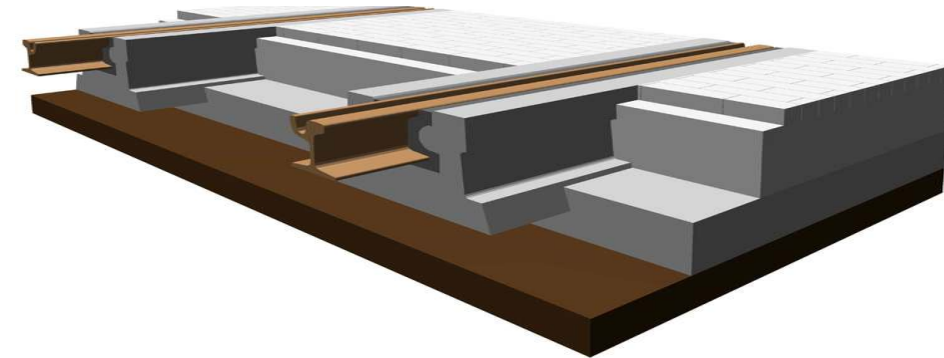


Figura 3. Sistema de vía mediante "chaqueta del carril"

La forma de la "chaqueta" es versátil, de forma que se puede adaptar para modificar localmente las rigideces e introducir otros materiales elásticos que afinen el comportamiento acústico/antivibratorio.

El resultado es una vía sin resalto respecto al pavimento, con buen comportamiento mecánico; que admite tráfico compartido con otros modos de transporte, y con buena respuesta a vibraciones y ruidos. Es excelente el grado de aislamiento eléctrico frente a corrientes vagabundas.

El apoyo continuo del carril presenta un nivel de seguridad adicional contra descarrilamiento frente al tradicional apoyo discreto de los carriles. Cuando se rompe un carril, el apoyo continuo hace que el carril roto se mantenga cerrado mientras que un carril apoyado discretamente puede abrirse, provocando entonces el descarrilamiento.

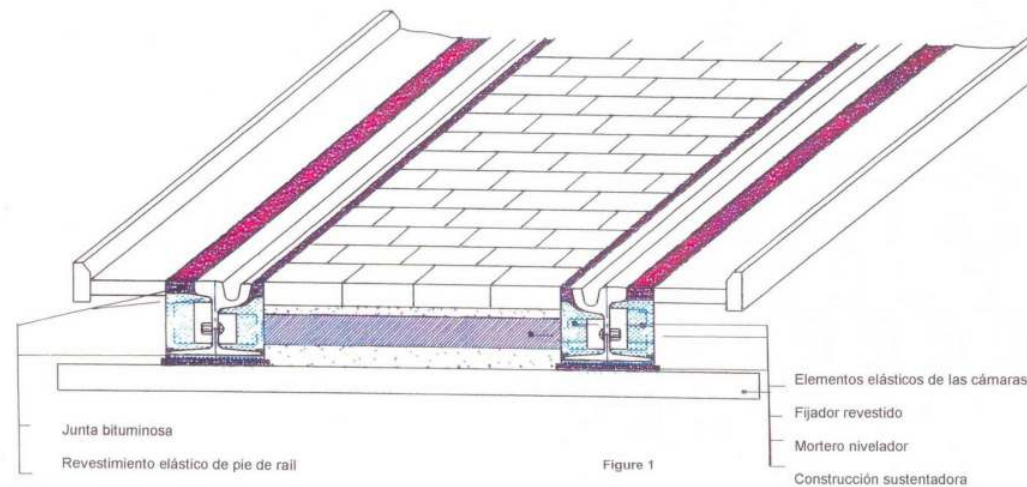
Debido a la inexistencia de fijaciones mecánicas del carril, la instalación del mismo será fácil y rápida, adaptándose fácilmente a cualquier ancho de vía. El carril "chaqueteado" previamente en la zona de acopio se transporta a la obra y se coloca mediante un sistema de soportes que permiten el fácil alineado de la vía en las tres direcciones. Se suelda el carril y se fijan las "chaquetas". Se realiza el hormigonado en una única fase y finalmente se dispone el acabado de la plataforma.

El revestimiento y recubrimiento del patín del carril, de la junta del carril y alrededor del fijador proporciona a toda la estructura una envoltura elástica, así como el aislamiento eléctrico, cumple con la norma europea contra corrientes vagabundas DIN EN 50122-2 (VDE 0115-4), de obligado cumplimiento, así como el desacoplamiento de las vibraciones de alrededor.

La inclusión del raíl en la calzada es posible en todo tipo de construcción conocida, estas son:

- Asfalto sobre una capa soporte de asfalto.
- Asfalto sobre una capa soporte de hormigón.
- Plancha prefabricada de hormigón sobre gravilla.

- Empedramiento de hormigón (piedras compuestas) sobre gravilla o en su caso sobre una capa de hormigón.
- Tierra vegetal para vía en césped sobre capa soporte de hormigón.



4.2. Revestimiento elástico del carril

El revestimiento elástico del patín del carril, uno de los elementos de plástico amoldables (50 ó 100 cm de largo), el cual, sin pegamento, quedará ajustado al carril. Este elemento prefabricado en tres capas (dos externas duras e impermeables y una interna esponjosa), permite ajustar la elasticidad de forma continua, para posibilitar un hundimiento del patín entre 1,2 y 1,5 mm. Con ello se consiguen las condiciones de elasticidad, como las que se conocen de los carriles de traviesas de vías libres y que se consideran óptimas para el trazado de los carriles de los tranvías.

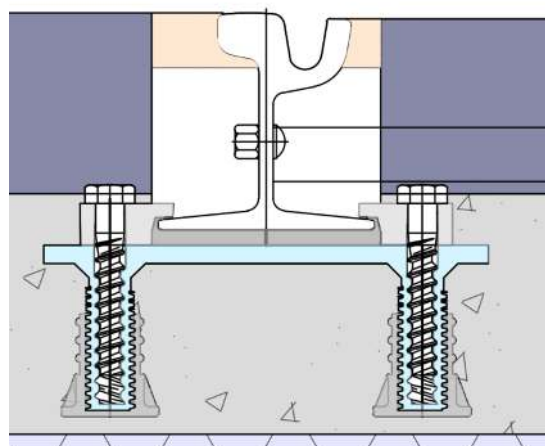


Figura 4. Detalle de la fijación del carril. Extraído del plano 2.9.3.

El elemento elástico suturado debajo del patín confiere la mayor parte de la amortiguación al sistema eliminando ruidos y vibraciones, además es el elemento elástico sometido a mayor desgaste, por ello su larga longevidad evitará costosos trabajos de mantenimiento.

Además, conseguimos una elasticidad en continuo y uniforme, evitando que se produzca un movimiento irregular el carril por cambio de elasticidad en distintos puntos, lo que repercutirá en un mayor deterioro de la rueda y el carril.

Todos los elementos elásticos, tanto del recubrimiento del patín como los elementos que se aplican en la cámara del carril, se instalan sin necesidad de utilizar ningún medio adhesivo y se ajustan perfectamente. Poseen propiedades para silenciar y amortiguar el movimiento de los raíles. Los elementos de la cámara se aplican en la distancia entre la traviesa y el carril.

Para evitar el desplazamiento de las vías a consecuencia de la influencia de la temperatura en el carril, es obligado fijar la vía a la infraestructura de asiento. Para ello se instalarán anclajes con bornes atornillados a la placa sustentadora, lo que sujetará el patín del raíl vertical y horizontalmente. Los bornes constan de una materia sintética especial que evita la transmisión de electricidad del raíl a la construcción sustentadora.

Las juntas de enlace de los carriles con la calzada deberán cerrarse con un relleno para juntas que pueda seguir el movimiento del raíl, y que se adhiera bien, tanto al raíl de acero como al hormigón o al asfalto.

El sistema de juntas se realiza como sigue:

- Fresado simultáneo (no serrado) de la U-interior. Juntas exteriores.
- Limpieza de las juntas por un aparato de succión.
- Pintura de fondo en los flancos de las juntas con resina sintética transparente.
- Relleno de la junta con un producto especial, correspondiente a las condiciones técnicas alemanas (TL bit Fug 82) Art. C/7.

4.2.1. Elementos de recubrimiento del patín

Su función es garantizar una elasticidad continua a lo largo de toda la vía, además de proporcionar aislamiento eléctrico del patín con la estructura y junto con el resto de los elementos, aislamiento eléctrico a todo el sistema.

Este es el punto de mayor importancia para conseguir el mínimo efecto de vibración entre carril y rueda, minimizando así las ondulaciones y asperezas producidas por las vibraciones, posibilitando un menor desgaste de rueda y carril, por lo que con una buena instalación ahorraremos en mantenimiento y ganaremos en confort.

Es fundamental que estos elementos queden bien juntos longitudinalmente para evitar que penetre el hormigón en las juntas de distintos elementos.

Es fundamental que quede bien ajustado y solapado al patín para que no queden huecos entre el elemento y la base del pie del patín, para que no existan fallos en la continuidad de elasticidad proporcionada por este elemento. Por ello las soldaduras deberán quedar lo más lisas posibles tanto en la superficie de base del pie del patín como en los bordes del mismo.

Este elemento está especialmente producido con una capa exterior plana, impermeable y dura. Es plana porque si tuviera perfiles, en dichos perfiles penetraría suciedad y otros elementos que mermarían su elasticidad. Es impermeable porque de no ser así, cuando el vehículo pasara y comprimiera la suela elastómera, al descomprimirse succionaría la humedad e impurezas existentes a su alrededor, con lo cual perdería igualmente la elasticidad. Es dura para no deformarse exteriormente tras el paso continuo de vehículos y por las cargas producidas por los mismos. La elasticidad se consigue con un compuesto espumoso situado en la cámara del interior de este elemento.

4.2.2. Anclajes de vía

El anclaje de vía estará compuesto de 5 piezas:

- Perno
- Placa acodada de plástico
- Arandela efecto muelle
- Tuerca
- Capuchón de plástico

Todos estos elementos quedan definidos en el plano 2.9.3. del presente proyecto.

4.3. Riostras

Los carriles están unidos por traviesas de acero atornilladas en el medio del alma de las vías, transversalmente al eje de estas. Las traviesas, de perfil de acero, están a una distancia de 1,5 m y aseguran el mantenimiento del ancho de la vía exacto, pudiendo corregir las tolerancias del carril para conseguir una tolerancia en el ancho de vía de ± 0 , mediante galgas de distinto grosor que se suministran para el montaje de las riostras.

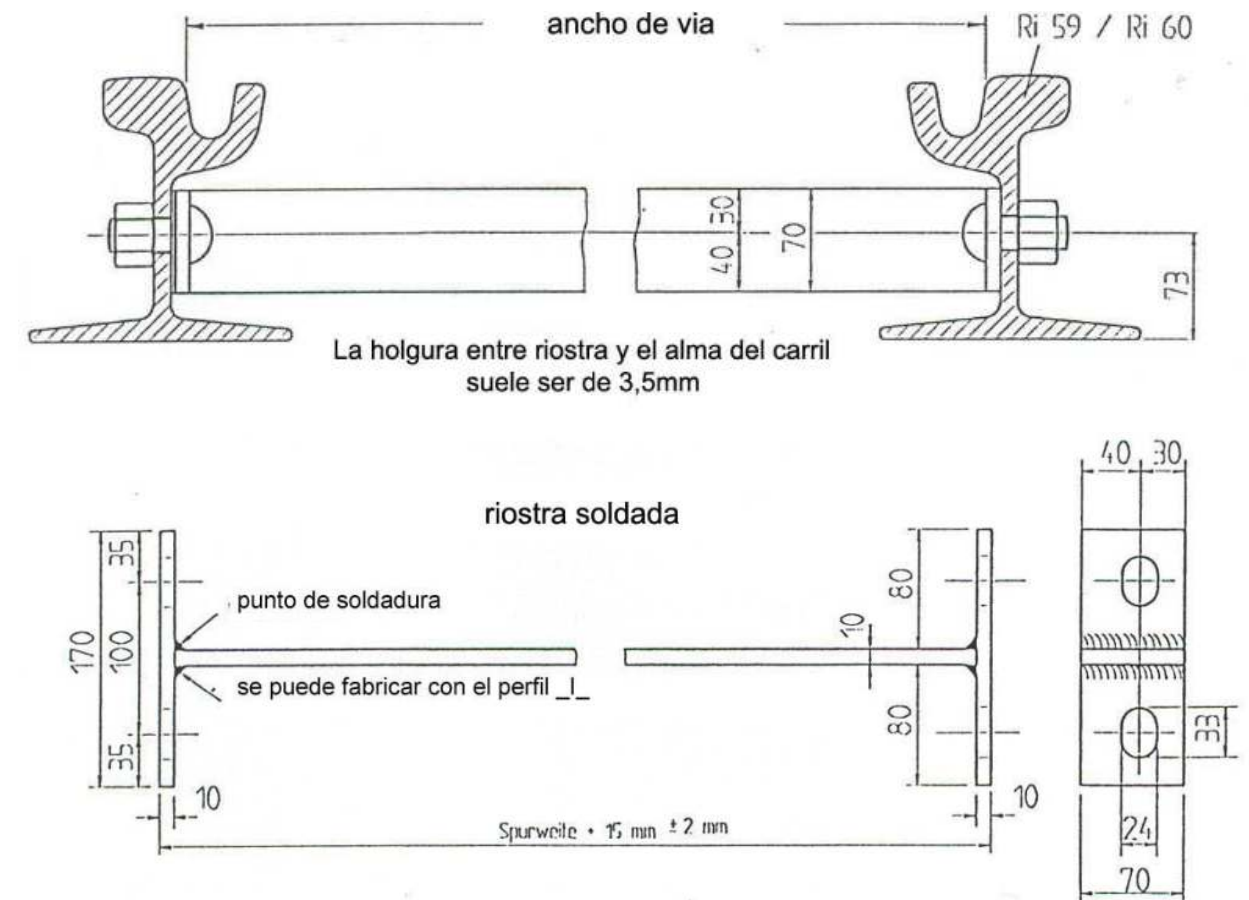


Figura 5. Formas y dimensiones de las riostras.

Al mismo tiempo son el medio óptimo para construir la geometría de las vías requerida y dan una mayor estabilidad a todo el sistema repartiendo mejor las cargas.

En este proyecto se usan los siguientes tipos de riostras:

- Se dispondrán riostras altas para las secciones con terminación en césped.

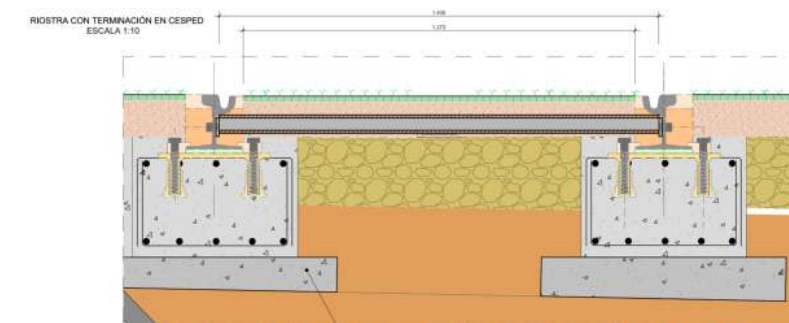


Figura 6. Riostra alta para secciones con terminación en césped.

- Se dispondrán riostras con altura rebajada para secciones con terminación en hormigón o M.B.C.

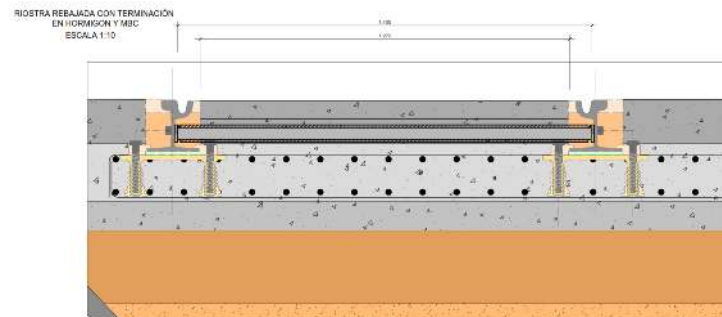


Figura 7. Riostra con altura rebajada.

- Por otro lado, para los puntos en los que se hace necesario el aislamiento entre los carriles en los puntos donde la estructura lo requiere se instalarán riostras aislantes.

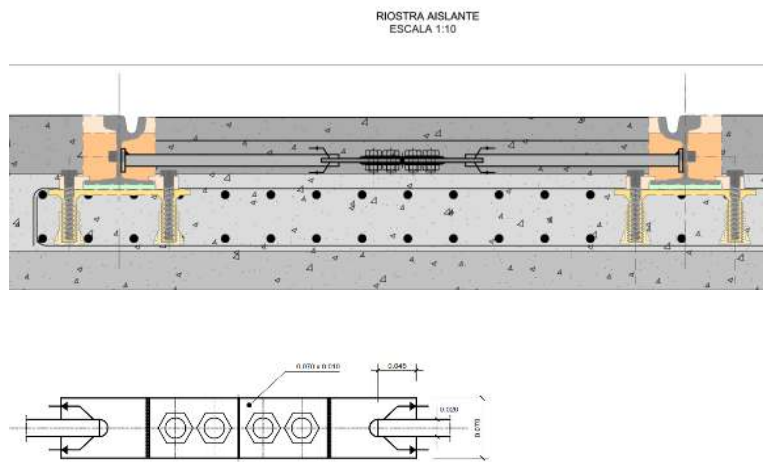


Figura 8. Detalle de riostra aislante.

4.3.1. Recubrimiento de la riostra

El recubrimiento de la riostra es fundamental para mantener el grado de aislamiento eléctrico y amortiguación del resto del sistema, ya que la riostra debe tener la misma capacidad de movimiento del carril para no dañar la estructura.

El recubrimiento de riostra deberá quedar bien ajustado en sus extremos a los elementos de cámara y bien cerrado a lo largo de la riostra. Si el recubrimiento de la riostra fuera demasiado corto, quedaría mermado el aislamiento eléctrico del mismo y si fuese demasiado largo se doblaría corriendo el riesgo de que el perfil del cierre se abriera.

4.4. Aparatos de vía

En el tramo de la línea existen dos tipos diferentes de escapes:

- EGv-60R2-25-1:4-r-Fz(Sp)-1435-3750
- ETI-RI60-50-1/6-CR-D-3750

Se expone una tabla donde se muestra la relación de desvíos que tenemos en el tramo, indicando el P.K. de su junta de contraaguja (J.C.A).

TIPO DE DESVÍO	P.K. J.C.A (sobre el eje de plataforma)	VÍA
EGv-60R2-25-1:4-r-Fz(Sp)-1435-3750	0+431.520	VI
	0+453.676	VD
ETI-RI60-50-1/6-CR-D-3750	0+717.360	VI
	0+748.136	VD

Los planos de detalle de cada uno de estos escapes se encuentran en el plano 2.9.3. Material de vía.

4.5. Acabados de la superestructura

La definición de los distintos revestimientos de la plataforma a lo largo de la Línea se ha realizado teniendo en cuenta la imagen final de la plataforma en el entorno en que se emplazará, a la vez que se ofrezcan características técnicas óptimas de cara a las distintas particularidades de uso que se dan en la plataforma a lo largo de todo su recorrido. Es en el anejo de Urbanización donde se detalla para cada uno de los tramos de ambas fases cual es el acabado adoptado de la plataforma de la Línea, en función de la zona de la ciudad que atraviesa.

5. Procedimiento constructivo

5.1. Montaje de carril y de riostras, ajuste del ancho de vía

El carril se suministrará en barras de 15 metros de longitud.

El montaje del carril se realizará mediante soldaduras aluminotérmicas, para las cuales y que asegurarse de limpiar bien la soldadura, sobre todo por la base y en los bordes del patín del carril. Será fundamental para un buen acople del elemento elástico de recubrimiento del patín.

Posteriormente, se instalarán las riostras que disponen de tornillos para su sujeción al carril y de pletinas de distinto grosor, que se ponen entre el carril y la riostra para ajustar a la perfección el ancho de vía, compensando las tolerancias permitidas en la fabricación de carril.



Figura 9. Ajuste del ancho de vía mediante riostras

Las riostras rebajadas que posibilitan una mayor altura de construcción por encima de la misma, para posibilitar el acabado estructural de superficie con aglomerado o adoquines. Las riostras rebajadas posibilitan distintas alturas de construcción.



Figura 10. Fotografía de riostras rebajadas.

5.2. Montaje del drenaje de la garganta del carril

Es necesario hacer las ranuras antes de poner los elementos de cámara para no dañar los mismos en esta acción. Las ranuras para drenar el agua de la garganta deberán ser de al menos 17 cm de longitud.

Además, deben instalarse las cajas de drenaje para la garganta del carril, antes de acoplar los elementos de cámara que podremos cortar a la medida justa y necesaria para tapar los huecos a cada lado de la caja.

La caja de drenaje irá atornillada al carril y deberá estar aislada eléctricamente y elásticamente, recoger de forma directa el agua de la ranura de la garganta y tener la misma amortiguación y movimiento que tenga el carril.

En el proyecto se usarán dos tipos de drenaje para la garganta de los carriles, uno para las secciones con terminación en hormigón y M.B.C. y otro para la sección con terminación en césped. Los detalles de ambos drenajes se detallan en el plano 2.8.2 del presente proyecto constructivo.



Figura 11. Detalle del drenaje de la plataforma en secciones con terminación en Hormigón y M.B.C.

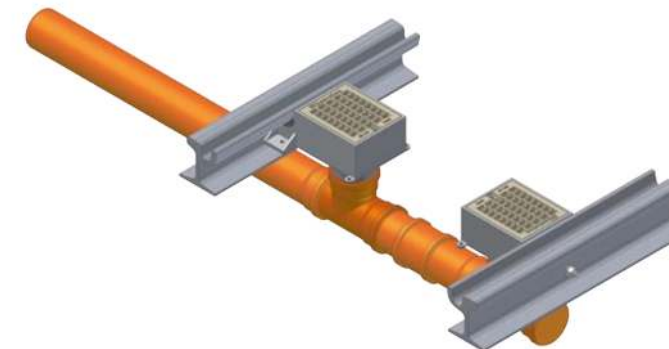


Figura 12. Detalle de los elementos que permiten desaguar los carriles en las secciones con terminación en césped.

5.3. Montaje de los elementos elásticos

Fundamental para el aislamiento eléctrico del sistema y recoger las vibraciones del alma de carril.

Los elementos tienen que quedar bien ajustados unos con otro longitudinalmente para evitar juntas por las que penetre el hormigón, la tierra o el agua.

También es fundamental un buen encaje y ajuste contra el carril, para evitar fugas de material bituminoso o huecos por los que penetre el agua. Para conseguir este ajuste, la instalación se hará con un martillo, golpeando el elemento para ajustarlo con el anterior y encajarlo en el carril.

Los elementos se suministran en distintos perfiles diseñados para cada hueco y codificados para su distinción, que se ajustan a las necesidades del montaje del sistema.

A pesar de esto, si por cualquier motivo existiera alguna junta que no quede lo suficiente cerrada, se sellará dicha junta con material de poliuretano si ésta no supera 1 a 2 cm. consiguiendo minimizar cualquier hueco o junta.

5.4. Ejecución del mortero nivelador y hormigonado

Es fundamental para garantizar el buen funcionamiento del elemento de recubrimiento de patín, que el mismo esté apoyado en una estructura dura y uniforme, que no permita huecos o burbujas de aire entre la estructura y el elemento elástico. Por ello se empleará un mortero nivelador que se vierta por un lado del patín hasta que salga por el otro.

La placa sustentadora debe tener una capacidad de carga de 120 MNW/m².

5.5. Anclaje de vía

Una vez ejecutado el mortero de nivelación se procede a anclar la vía, para ello se debe asegurar lo siguiente:

- Que el hormigón empleado en la nivelación sea lo suficiente fluido para que no queden burbujas bajo el elemento de recubrimiento de patín.
- Un método para colocar el anclaje para que éste quede bien sujeto y ajustado al patín en su posición correcta (perpendicular al mismo) para cumplir con su función de compensar las fuerzas horizontales que ejerce el vehículo sobre la cabeza del carril.

Posteriormente se deberá apretar la tuerca que lo sujeta tras haber colocado la arandela que ejerce la función de muelle para que la tuerca no se afloje con las vibraciones.

Finalmente se cubre la tuerca del anclaje con el capuchón de plástico diseñado para este fin, que evita que penetre hormigón, tierra o cualquier otro cuerpo en la rosca del perno y en la tuerca y arandela del anclaje. El buen ajuste de este mejorará el mantenimiento de la tuerca y la rosca del perno, facilitando el desmontaje del anclaje en caso de una reparación.

5.6. Acabado estructural de pavimento

Se procederá al acabado de superficie en caso de hormigón y de aglomerado. En césped se deberá hacer el vertido de la junta bituminosa antes de echar la tierra y plantar el césped, para evitar que entren impurezas o agua en el hueco destinado a la junta.

5.7. Ejecución de junta bituminosa

La función de la junta bituminosa es sellar el sistema en su superficie de forma continua, adhiriéndose al carril y al acabado estructural (aglomerado, hormigón o adoquines), para evitar que penetre humedad y completar el aislamiento eléctrico del sistema.

No debe desprenderse el material con el paso de tráfico rodado (coches, camiones, autobuses, etc.) en las travessías a través de la vía, ni con el movimiento o vibración originado por el propio vehículo del tranvía a su paso, por lo que es fundamental hacer una imprimación para una buena adherencia del bitumen en todos los cantos y realizar el vertido del bitumen especial SEDRA, a la temperatura y fluidez adecuada.

El material bituminoso es un compuesto especial, distinto para cada acabado estructural que tienen una elasticidad y plasticidad adecuada para garantizar la elasticidad, maleabilidad y el grado de penetración deseado.

6. Ruido y vibraciones

El estudio de vibraciones asociado al Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión realizado se ha centrado en un total de tres secciones distribuidas a lo largo del tramo en cuestión para un total de 4 edificaciones de referencia debido a su uso, tipología de trazado (en superficie y soterrado) y distancia de éstas respecto a eje ferroviario.

En los cálculos correspondientes desarrollados para la determinación del nivel de inmisión vibratoria alcanzable para las estructuras analizadas, a su vez representativas de las conclusiones extraíbles para el mismo y extrapolables al resto de estructuras de iguales o similares características arquitectónicas, se ha considerado: velocidad máxima de circulación definida para el elemento móvil por punto kilométrico, carga del elemento móvil, características mecánicas del mismo, propiedades

estructurales de la plataforma propuesta para su ejecución, respuesta atenuadora/amplificadora del terreno por donde discurrirá la infraestructura tratada, comportamiento vibratorio de las edificaciones y distancia de éstas al eje de la plataforma.

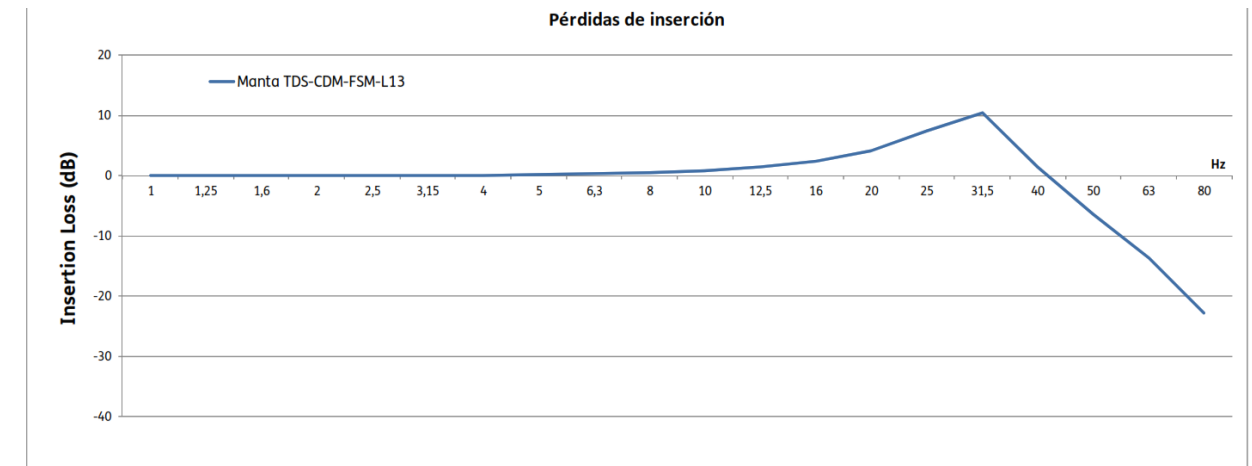
Del estudio se extrae la necesidad de aplicar medidas correctoras antivibratorias, en base a los niveles de inmisión de vibraciones determinados acogiendo como referencia para el cálculo el límite de propiedad de la estructura sensible detectada, entre los puntos kilométricos 0 + 210 - 0 + 250. En la zona en cuestión se sitúa el edificio Sevilla 1, el cual es considerada de interés cultural por sus cualidades arquitectónicas, por lo que le será de aplicación el índice Law más restrictivo: 72dB. Para el resto de edificaciones analizadas e indicadas en las correspondientes fichas descriptivas de las diferentes secciones de análisis, los niveles de inmisión calculados no superan los objetivos de calidad en materia de vibraciones exigidos tanto para uso docente (72dB) como residencial (75dB) tratados.

Por otro lado, según la información al respecto facilitada por el cliente, los espacios de oficinas se situarían a una distancia aproximada de 25 metros en el plano horizontal respecto al eje viario. Para dicha distancia y considerando la velocidad máxima de circulación de 30km/h del elemento móvil por la zona, los niveles de inmisión calculados resultan inferiores al máximo permitido de 72dB para dicho espacio según la premisa de especial sensibilidad de la que dispone.

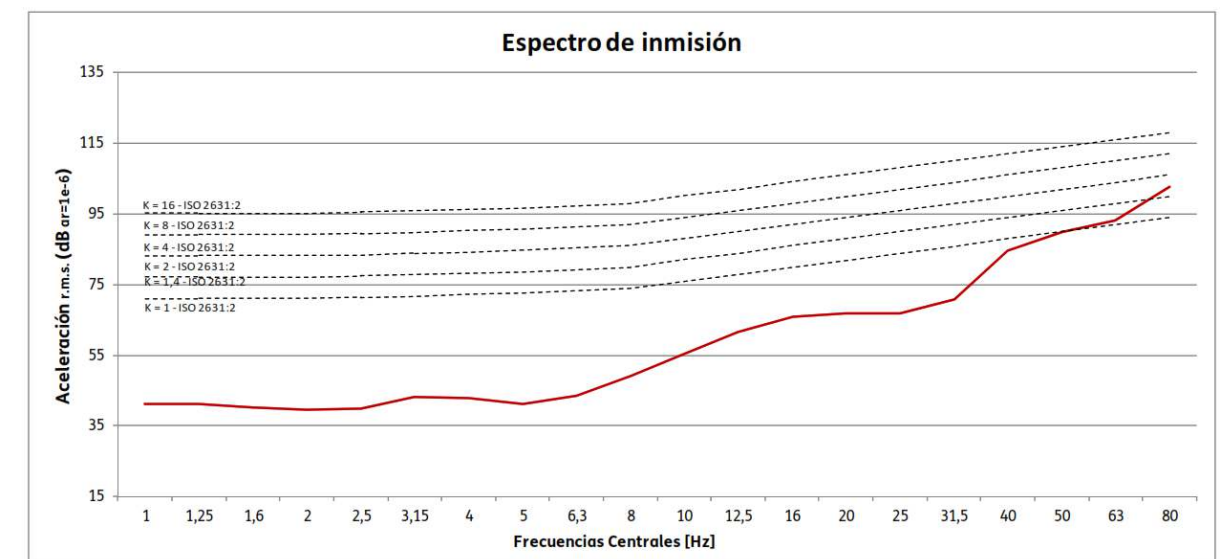
Ante esta situación, se propone la incorporación de mantas elastoméricas con objeto de aislar las vías del conjunto estructural del edificio Sevilla 1, mitigando la propagación vibratoria por uniones entre vía y el edificio a modo de puentes de transmisión. Estos puentes actúan conduciendo la vibración desde la plataforma hasta el edificio con mínimos grados de atenuación, con el consiguiente perjuicio que supone. Por extensión, la incorporación de la discontinuidad que supone la instalación del sistema antivibratorio indicado, puede repercutir en la reducción de posibles amplificaciones de origen estructural del edificio.

Para el caso particular de la zona en la que se erige el edificio Sevilla 1, como ha quedado expuesto, se aconseja la implantación de manta elastomérica bajo losa con objeto de reducir los niveles de inmisión calculados respecto al límite de propiedad para su correspondiente ajuste a los tolerables permitidos según establece la normativa al respecto. Se propone la incorporación de la manta CDM-FSM-L13 (o aquella/s de similares propiedades a ésta) en el diseño final de la plataforma para la infraestructura proyectada para su ejecución.

Pérdidas de inserción del sistema formado por manta elastomérica CDM-FSM-L13 y sección tipo propuesta para la zona de evaluación.

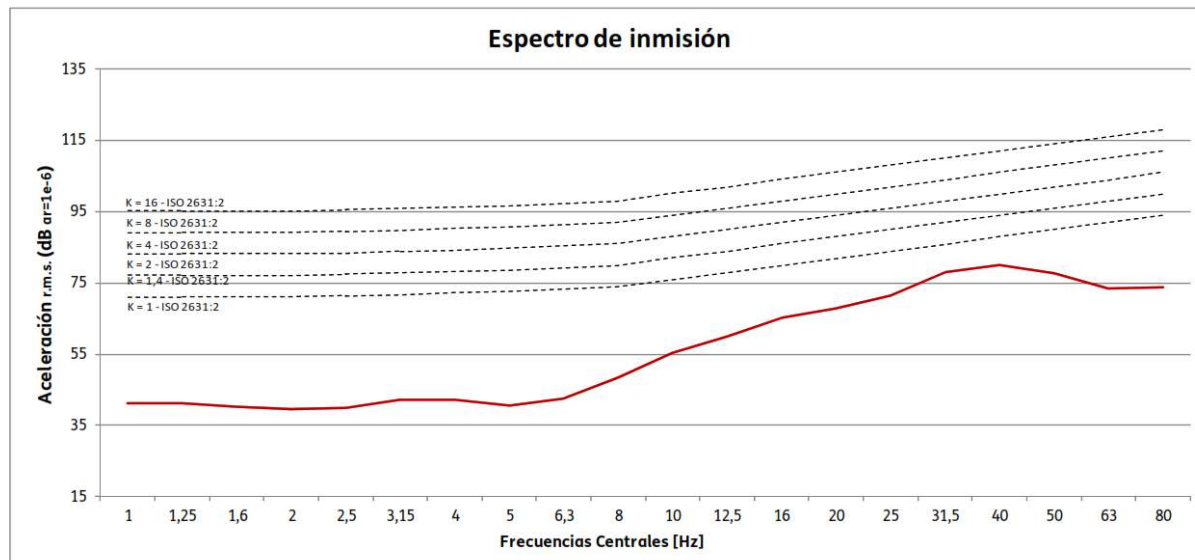


Espectro de vibración previsto sin la incorporación de la citada medida correctora y con ésta de forma respectiva tomando como referencia de cálculo el límite de propiedad de la edificación evaluada.



Índice de inmisión Law máximo global previsto: 80,0dB

Límite normativo: 72dB (al tratarse de un edificio de interés cultural)



Índice de inmisión Law máximo global previsto: 68,3dB

Límite normativo: 72dB

6.1. Ejecución y explotación

A la hora de llevar cabo la ejecución de obra y explotación de la misma se debe tener en cuenta:

- Se debe prestar especial atención a los raíles y ruedas. Se ha calculado que para elementos móviles de estas características y contemplando sus velocidades, las rugosidades pueden producir un incremento de 6-7dBV en vibraciones en interior de las edificaciones. Por ello, se hace necesario un correcto estado de mantenimiento de los mismos con el fin de contrarrestar el ascenso de los niveles de vibraciones que pueda generar un mal estado de mantenimiento de éstos.
- En el caso de existencia de uniones de hormigón entre la plataforma y las edificaciones, materializadas en arquetas, distintas canalizaciones, tuberías o prismas proponemos la implantación de planchas elastoméricas paralelas al trazado del metro ligero haciendo especial hincapié en su colocación en aquellos puntos susceptibles de actuar como puentes de transmisión.
- Un incremento en la deflexión de la vía se traducirá en un aumento de la atenuación en el conjunto del sistema total. Ha de tomarse precaución con los niveles máximos establecidos en el proyecto.
- Una vez realizadas los ensayos postoperacionales y si los resultados superan el índice de inmisión Law recomendamos implantar discontinuidades elásticas o bituminosas entre base de edificaciones y plataforma del metro ligero. La efectividad de este sistema se hará más evidente cuando sean colocados a mayor profundidad y creen una discontinuidad en la superficie.

Finalmente indicar que las conclusiones de este estudio teórico estarán condicionadas a los resultados extraíbles de la posterior certificación de vibraciones una vez puesto en marcha el servicio, realizándose las correspondientes adecuaciones durante el proceso de explotación del mismo e imponiendo medidas correctoras cuando sea oportuno. Para ello será necesario comprobar que las vibraciones transmitidas a las edificaciones no superen los valores establecidos por el índice Law de aplicación exigido a través de la normativa de referencia: Decreto 6/2012 y Ordenanza Municipal contra la Contaminación Acústica, Ruidos y Vibraciones del Excmo. Ayuntamiento de Sevilla.

El estudio completo se incluye como Apéndice II del presente anejo.

EL INGENIERO AUTOR DEL ANEJO

Fdo.: Pedro Antonio López Guasp
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Nº de colegiado: 30169

Apéndice 1. Cálculo de la losa

PROYECTO:	Proyecto de construcción del Metro Ligero en Superficie del Centro de Sevilla
TRAMO:	San Bernardo - Centro Nervión
ESTRUCTURA:	Losa vía doble (Sección Tipo 2)



LOSA VÍA DOBLE

PROYECTO:	Proyecto de construcción del Metro Ligero en Superficie del Centro de Sevilla
TRAMO:	San Bernardo - Centro Nervión
ESTRUCTURA:	Losa vía doble (Sección Tipo 2)



1. DATOS DE PARTIDA

1.1. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

Ancho losa (B)	6,50 m
Espesor losa (e)	0,20 m

1.2. DATOS GEOTÉCNICOS

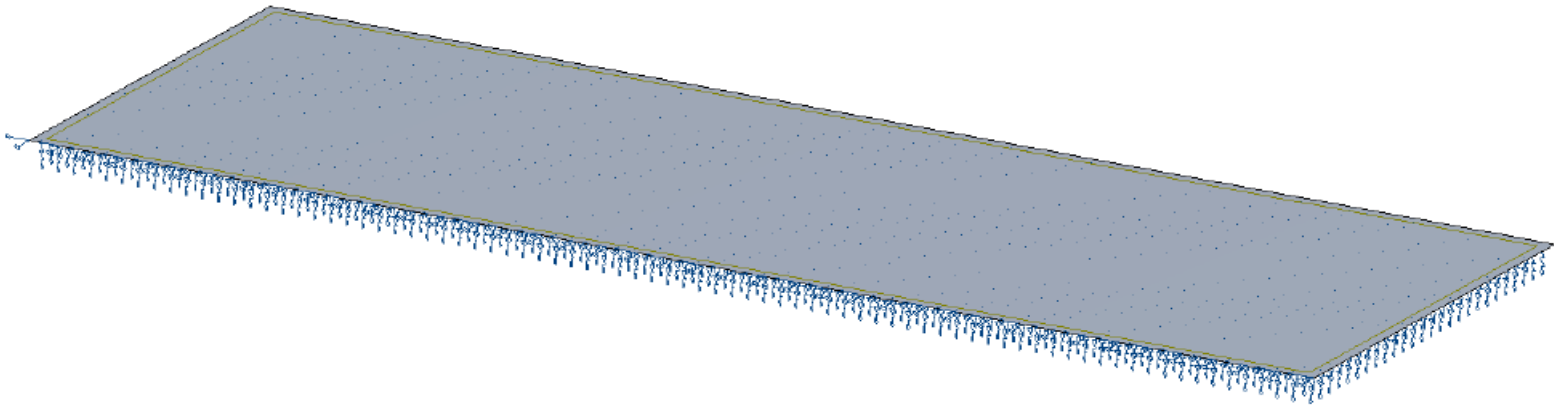
Tensión adm.	150 kPa
Coef. Balasto vertical	15000 kN/m3

1.3. MATERIALES

	HA-25
fck	25 Mpa
fcd	16,67 Mpa
Tipo ambiente	IIb
r	30 mm

	Acero B500S
fyk	500 Mpa
fyd	434,8 Mpa

Software cálculo: Autodesk Robot Structural Analysis 2018



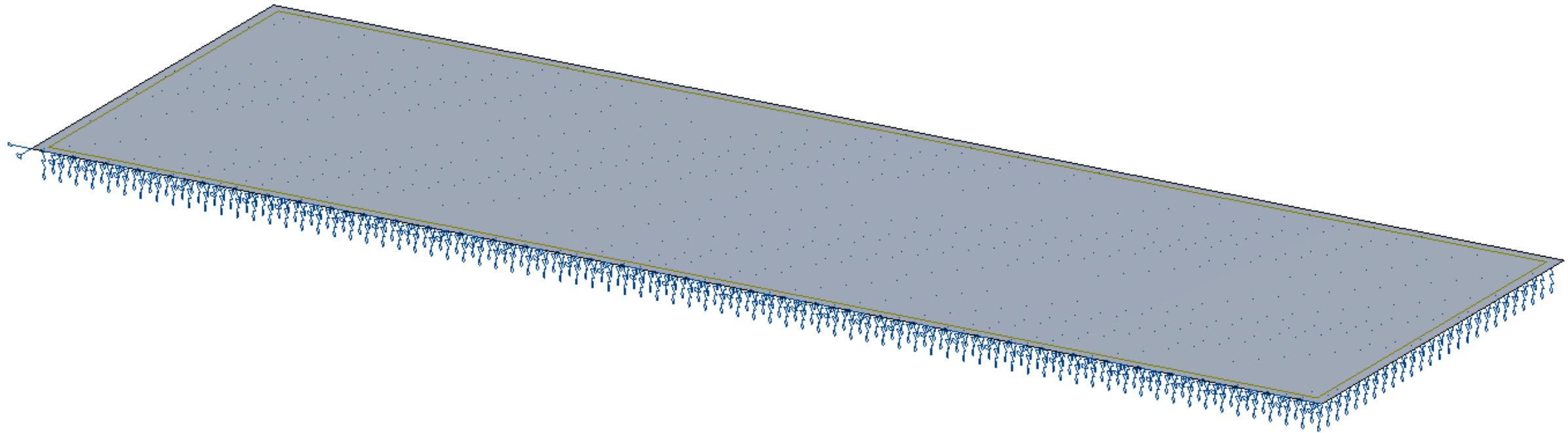
VISTA GENERAL

TITULO DEL PROYECTO

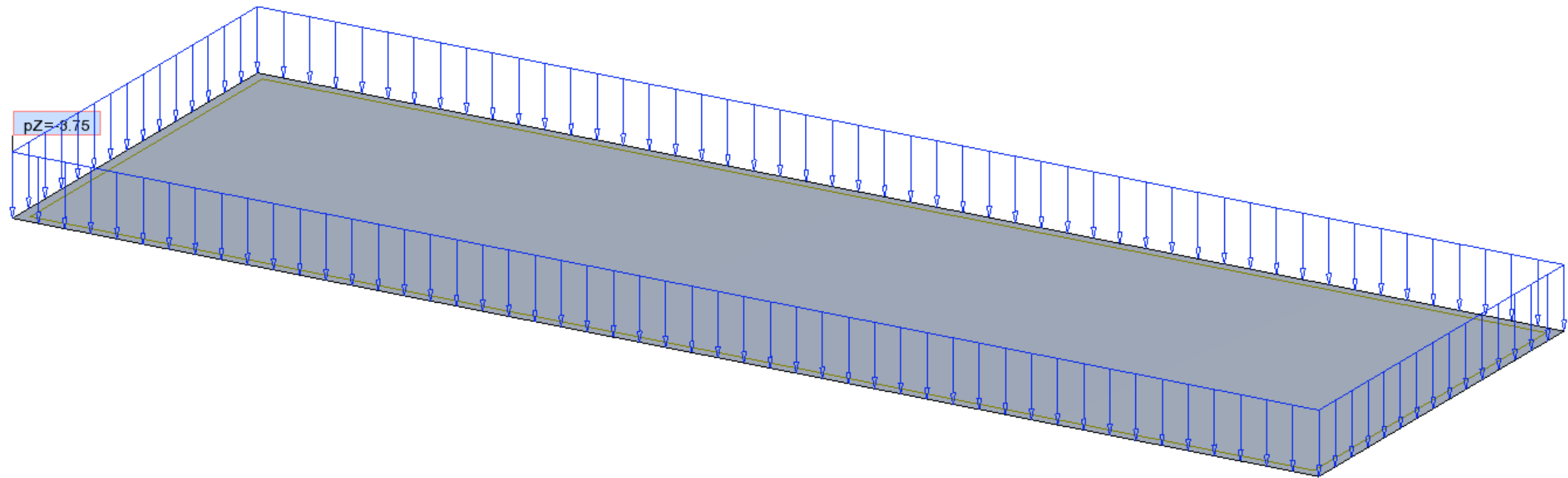
Proyecto: Losa ST2

Autor:

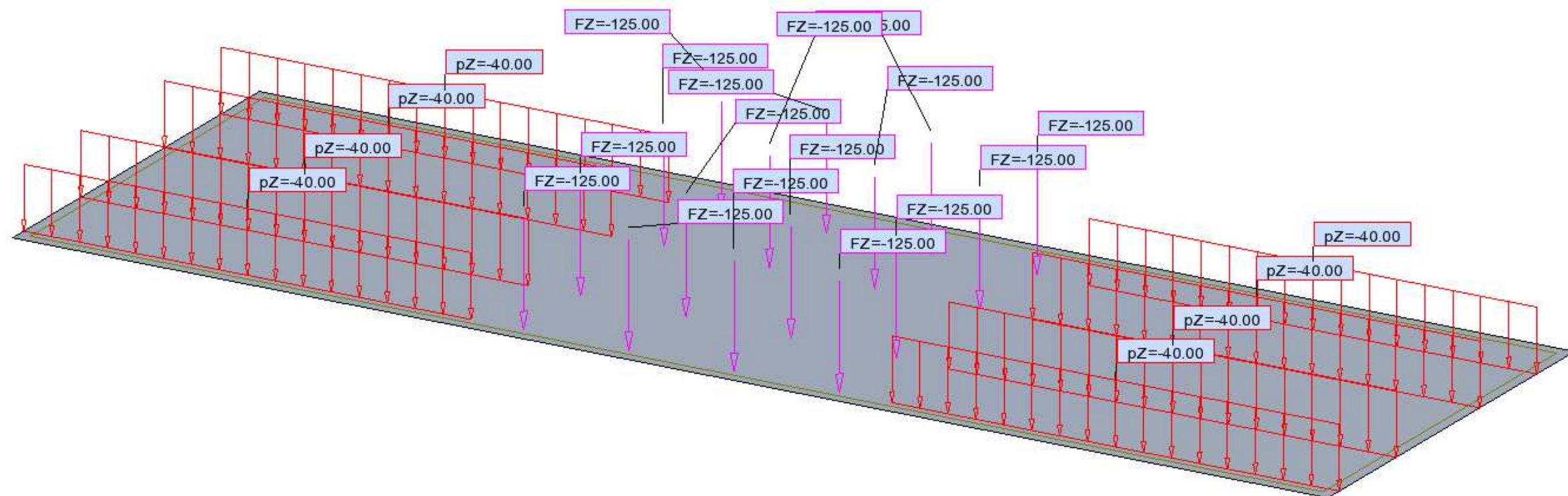
Vista - casos: 1 (PESO PROPIO)



casos: 1 (PESO PROPIO)

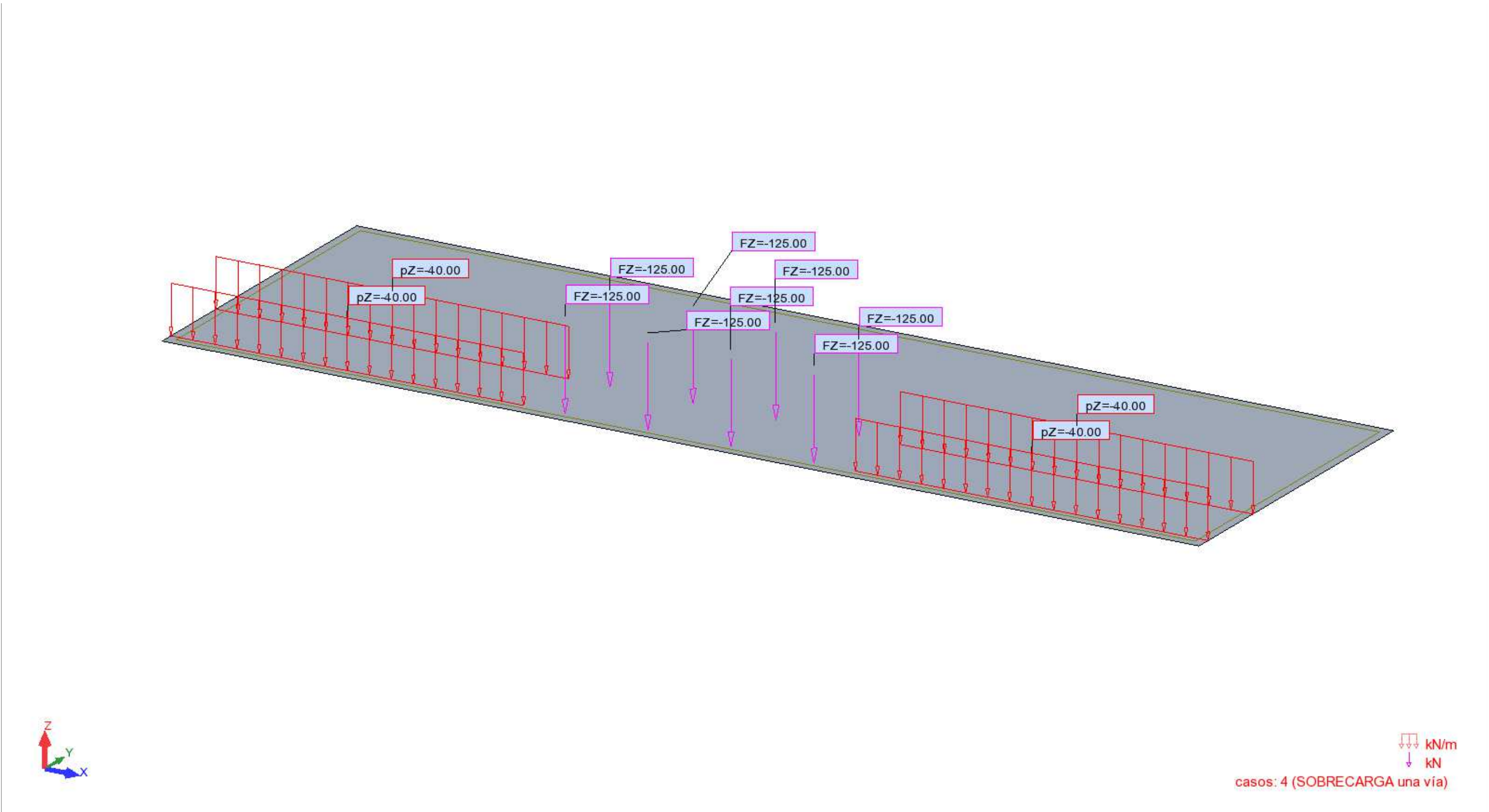
Vista - casos: 2 (CARGA MUERTA)

 kPa
casos: 2 (CARGA MUERTA)

Vista - casos: 3 (SOBRECARGA dos vías)

casos: 3 (SOBRECARGA dos vías)

Vista - casos: 4 (SOBRECARGA una vía)



Cargas - Casos

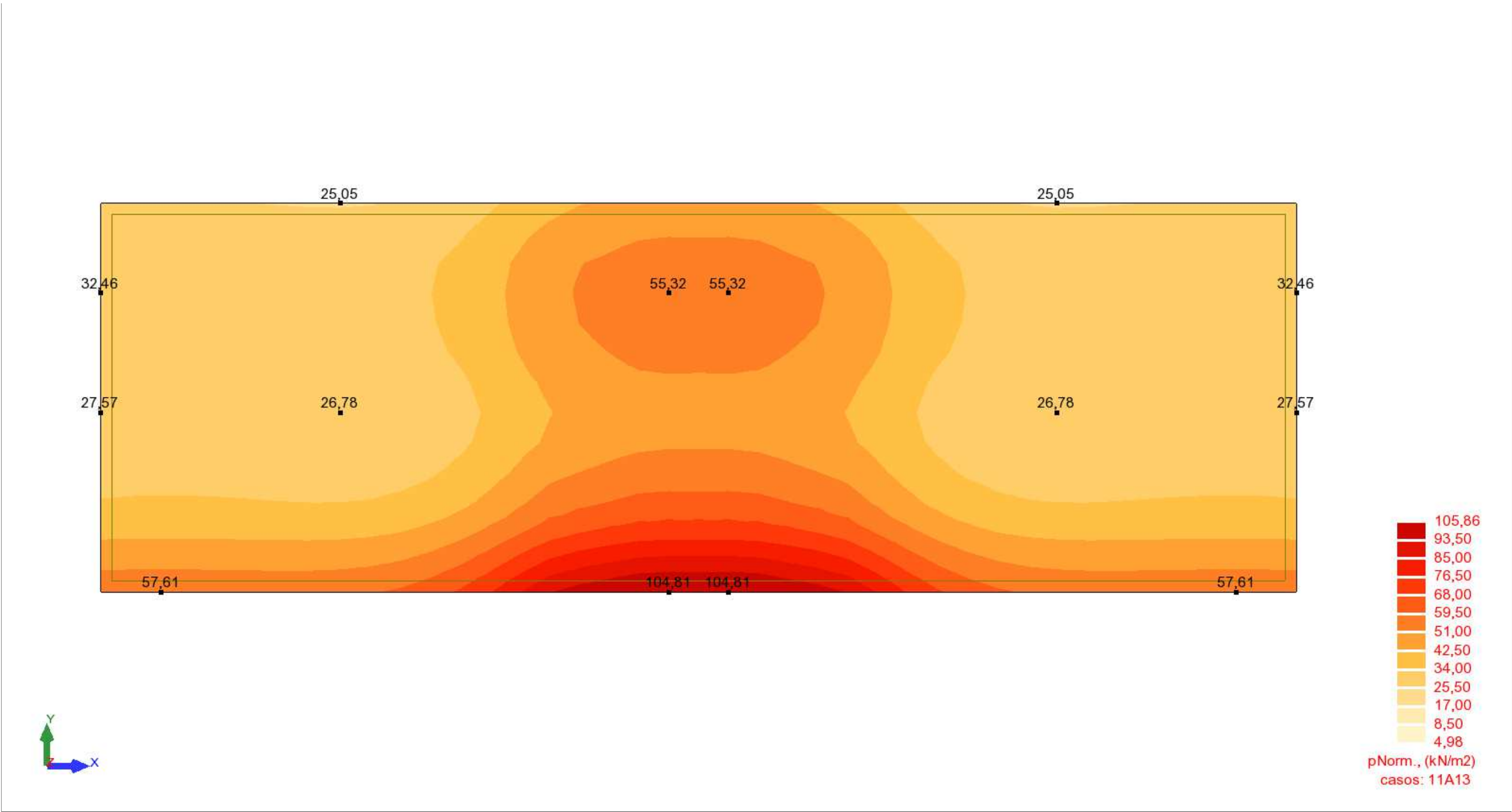
Caso	Etiqueta	Nombre del caso	Naturaleza	tipo de análisis
1	G1	PESO PROPIO	Peso propio	Estático lineal
2	G2	CARGA MUERTA	Peso propio	Estático lineal
3	Q1	SOBRECARGA dos vías	Categoría A	Estático lineal
4	Q2	SOBRECARGA una vía	Categoría A	Estático lineal
5		ELU_01		Combinación lineal
6		ELU_02		Combinación lineal
7		ELU_03		Combinación lineal
8		ELU_04		Combinación lineal
9		ELU_05		Combinación lineal
10		ELU_06		Combinación lineal
11		ELS_c_01		Combinación lineal
12		ELS_c_02		Combinación lineal
13		ELS_c_03		Combinación lineal
14		ELS_f_01		Combinación lineal
15		ELS_f_02		Combinación lineal
16		ELS_f_03		Combinación lineal
17		ELS_f_04		Combinación lineal
18		ELS_f_05		Combinación lineal
19		ELS_cp_01		Combinación lineal

Combinaciones

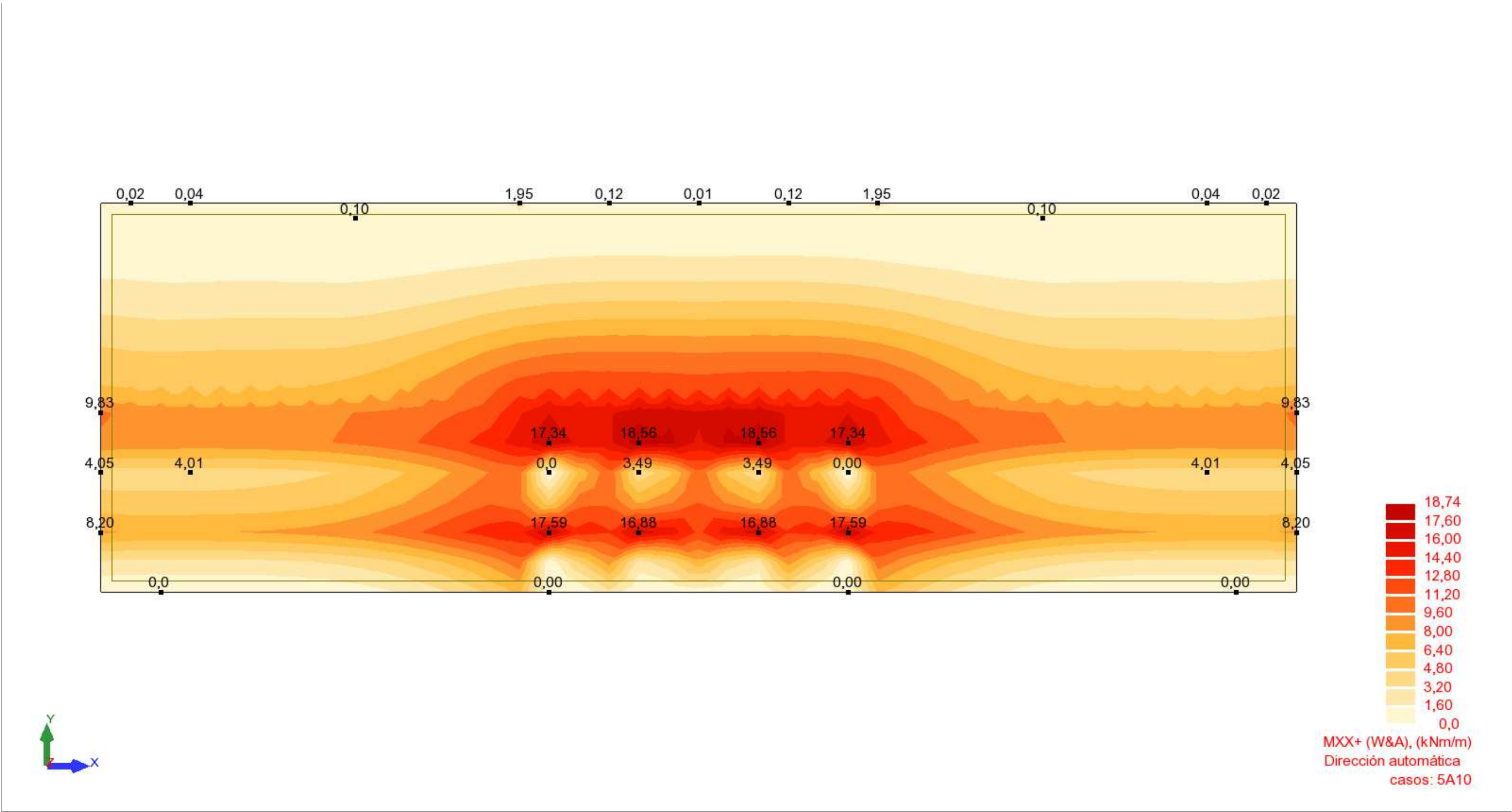
- Casos: 5A19

Combinación	Nombre	Tipo de análisis	Tipo de combin	Naturaleza de caso	Definición
5 (C)	ELU_01	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00
6 (C)	ELU_02	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00
7 (C)	ELU_03	Combinación lin	ELU		(1+2+3)*1.00
8 (C)	ELU_04	Combinación lin	ELU		(1+2+3)*1.00
9 (C)	ELU_05	Combinación lin	ELU		(1+2+4)*1.00
10 (C)	ELU_06	Combinación lin	ELU		(1+2+4)*1.00
11 (C)	ELS_c_01	Combinación lin	ELU		(1+2+3)*1.00
12 (C)	ELS_c_02	Combinación lin	ELU		(1+2+4)*1.00
13 (C)	ELS_c_03	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00
14 (C)	ELS_f_01	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00
15 (C)	ELS_f_02	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00
16 (C)	ELS_f_03	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00
17 (C)	ELS_f_04	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00
18 (C)	ELS_f_05	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00
19 (C)	ELS_cp_01	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00

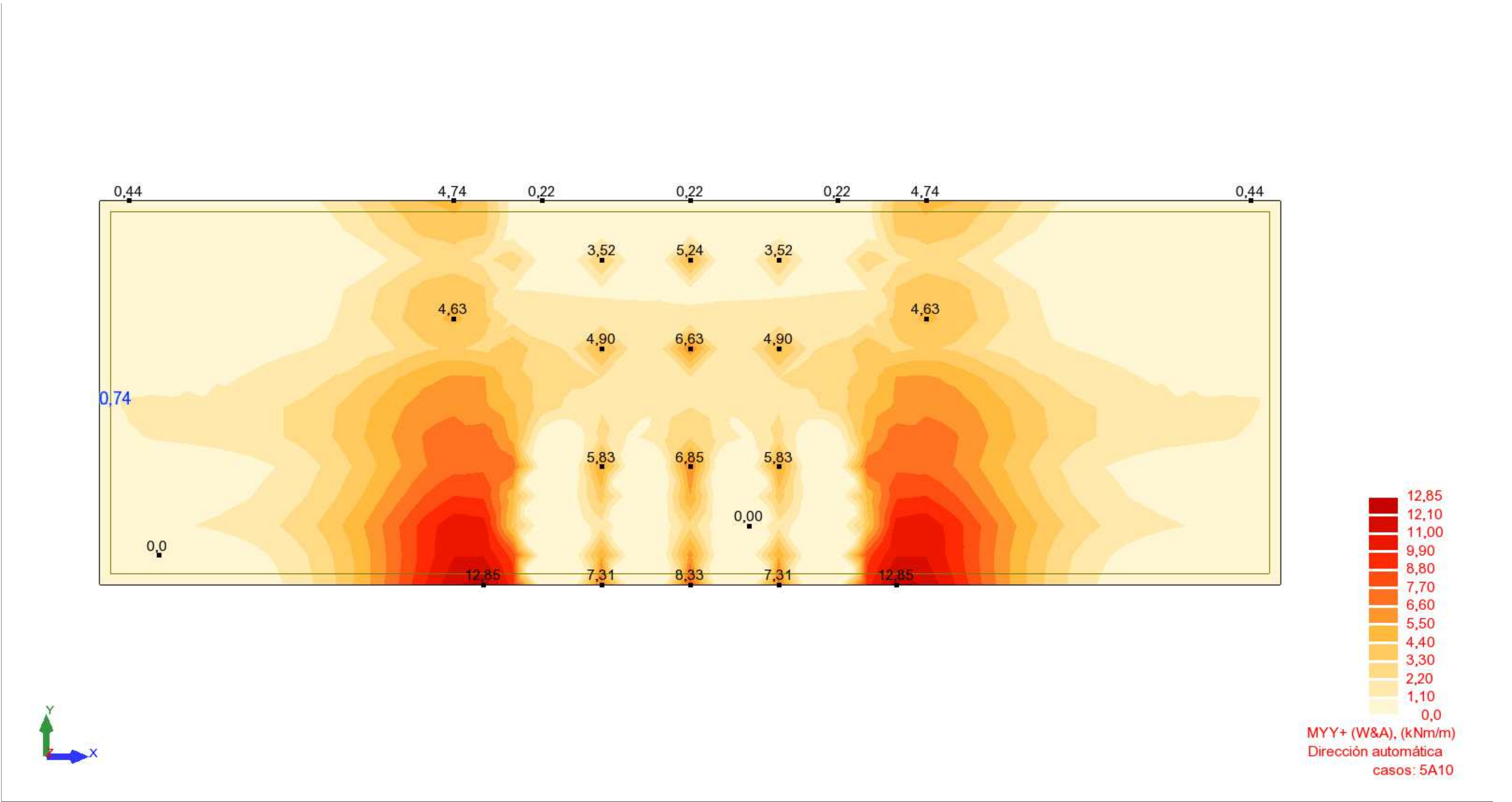
Vista - pNorm. (kN/m2) casos: 11A13 (+) Combinación característica



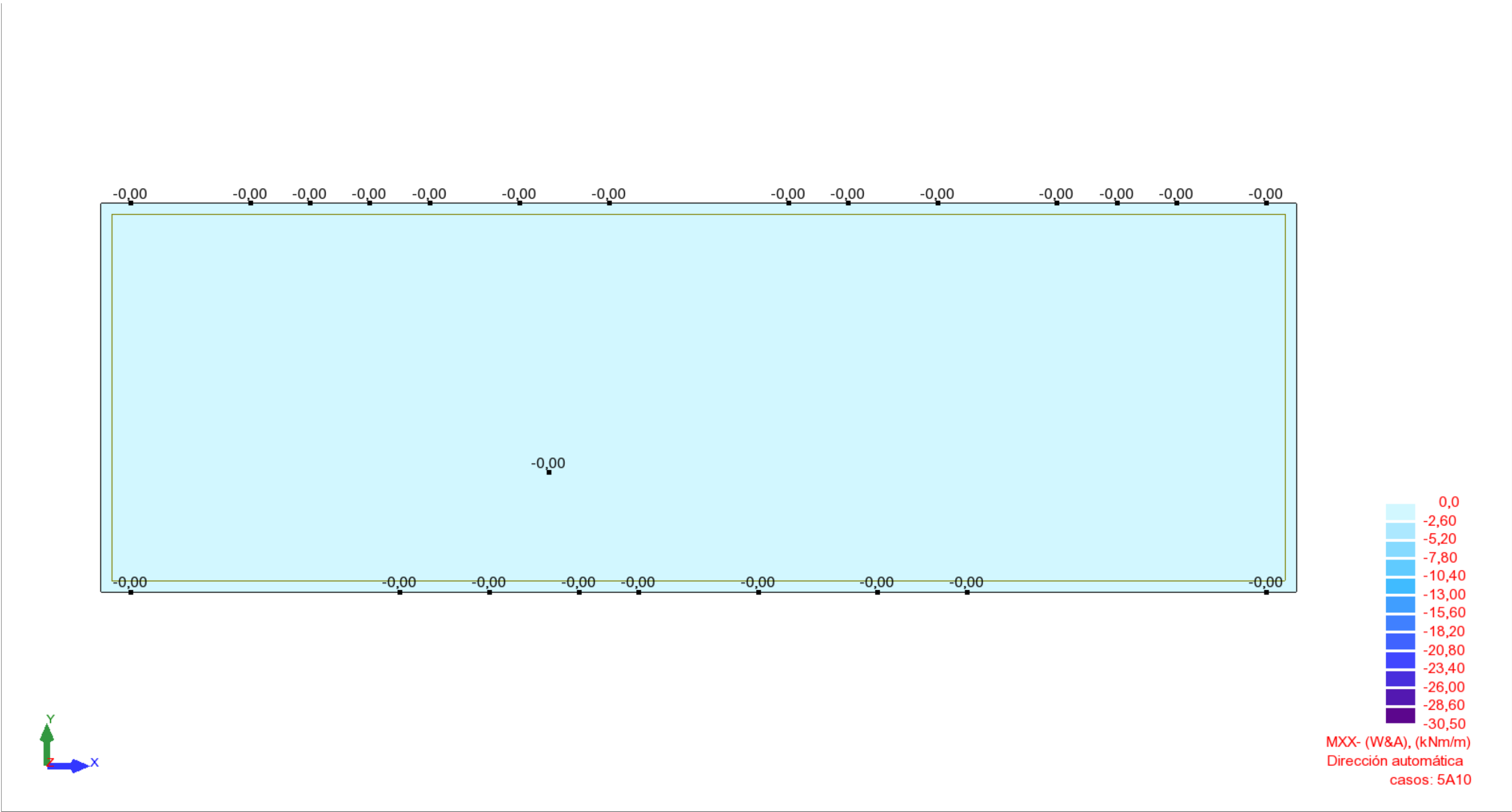
Vista - MXX+ (W&A) casos: 5A10



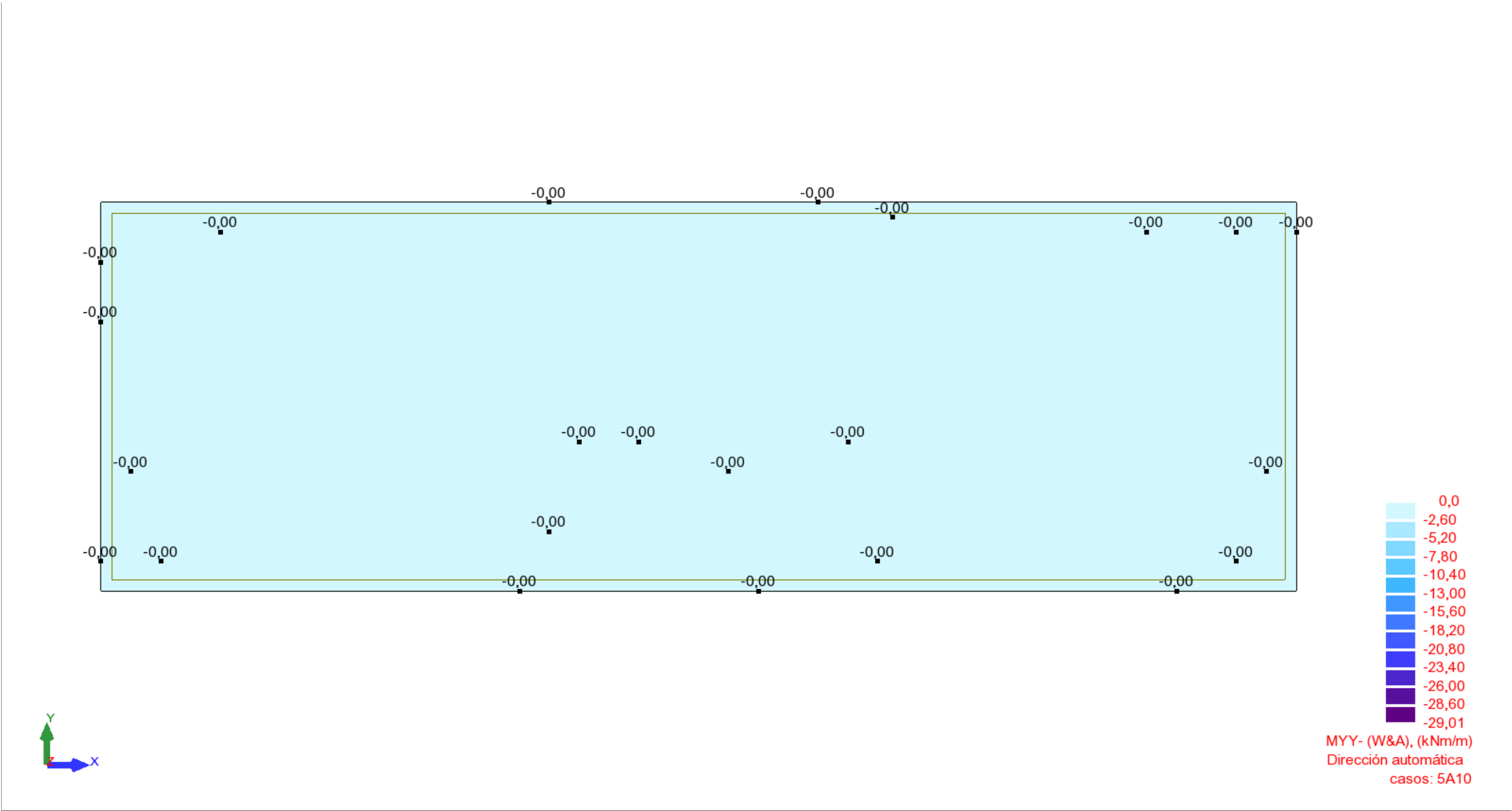
Vista - MYY+ (W&A) casos: 5A10



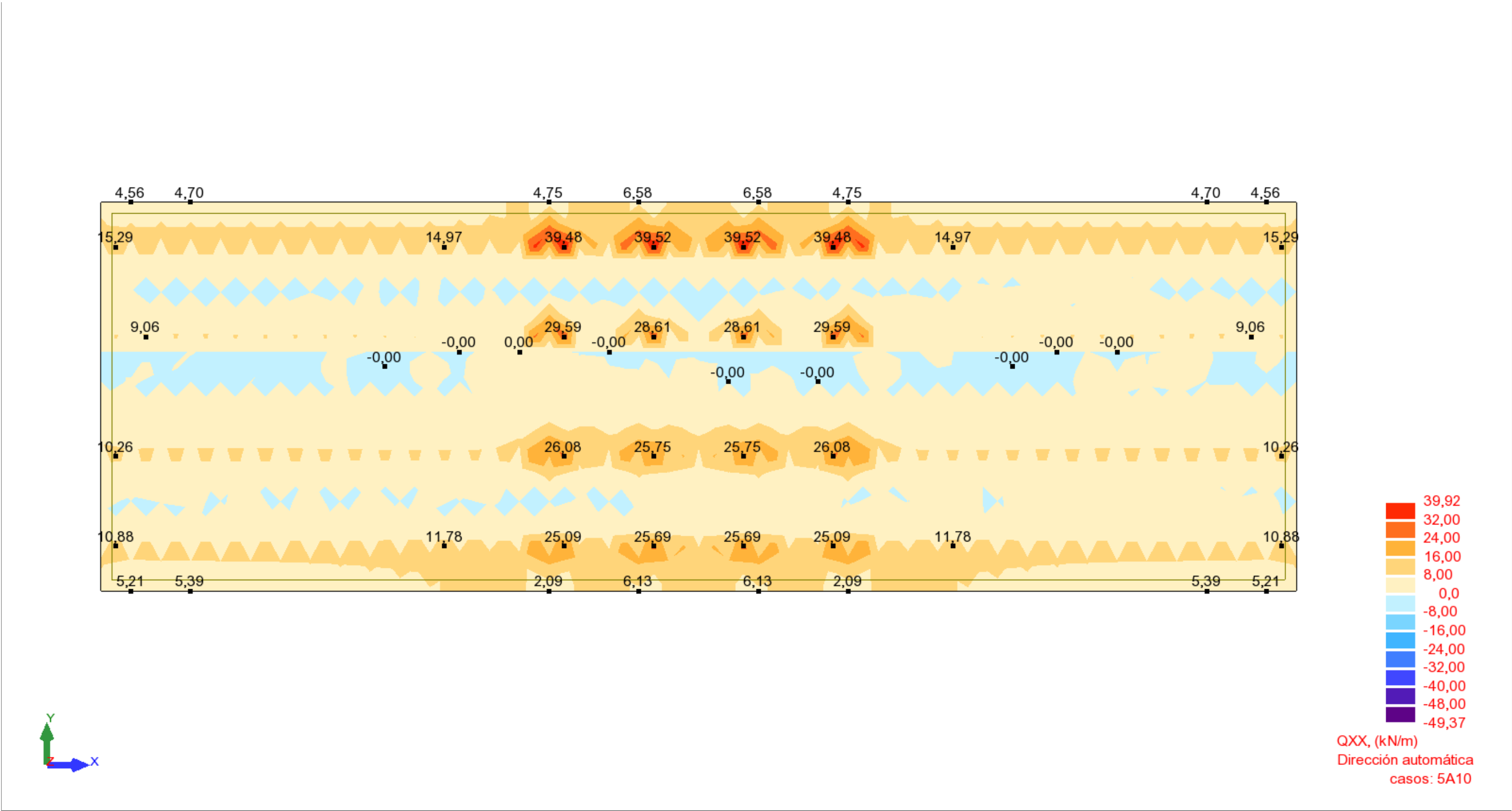
Vista - MXX- (W&A) casos: 5A10



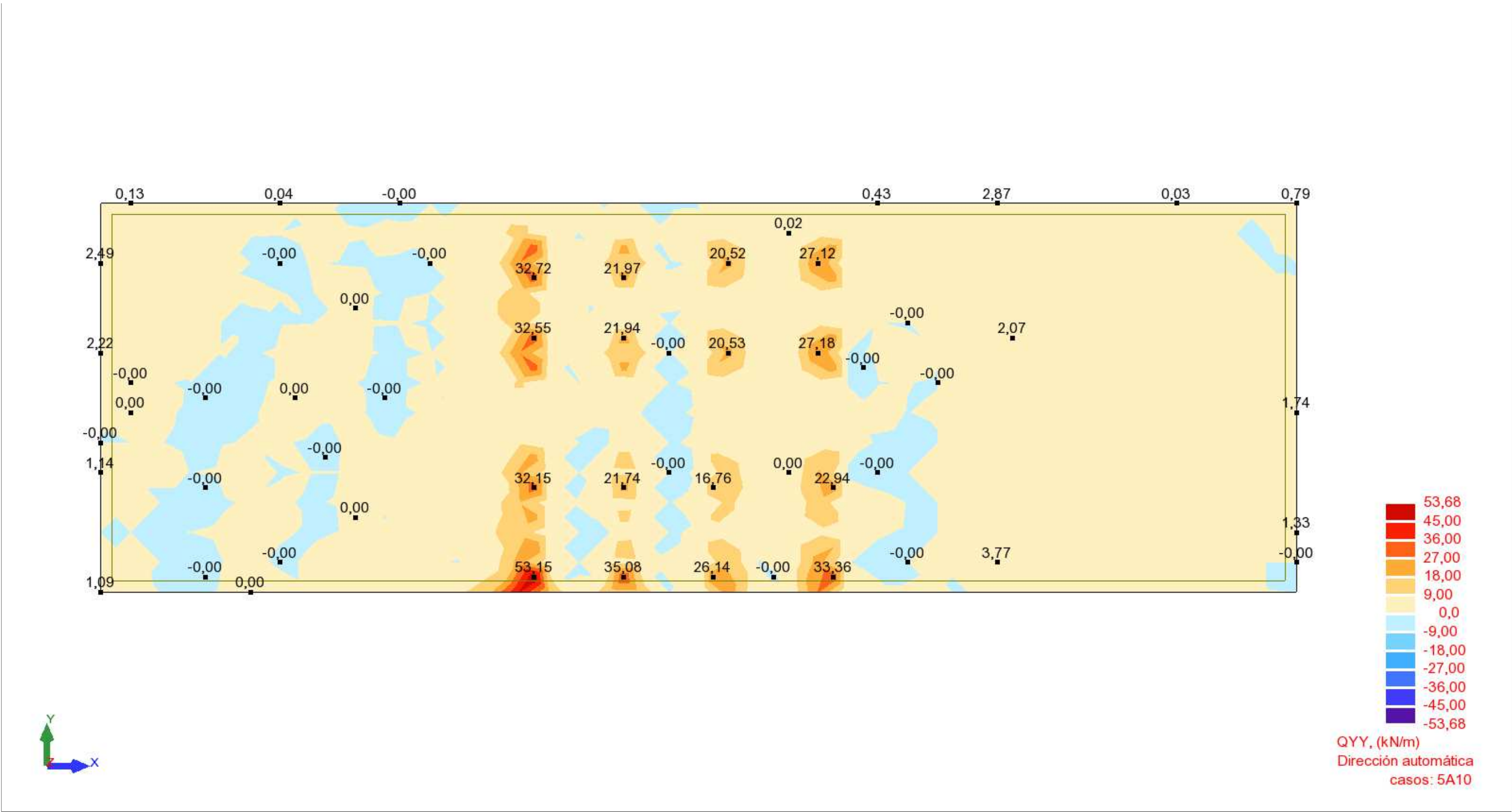
Vista - MYY- (W&A) casos: 5A10



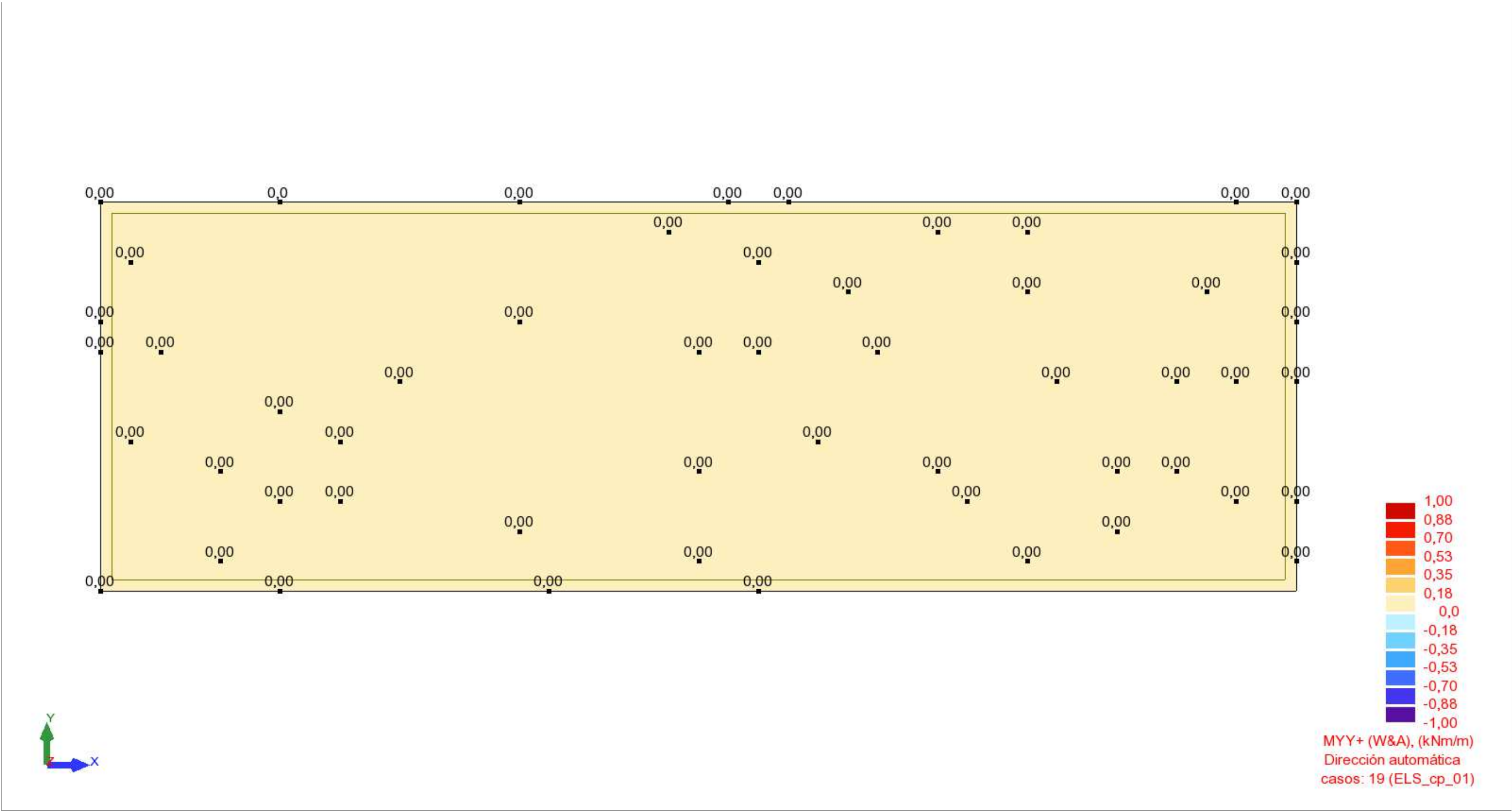
Vista - QXX (kN/m) Dirección automática casos: 5A10 (+)



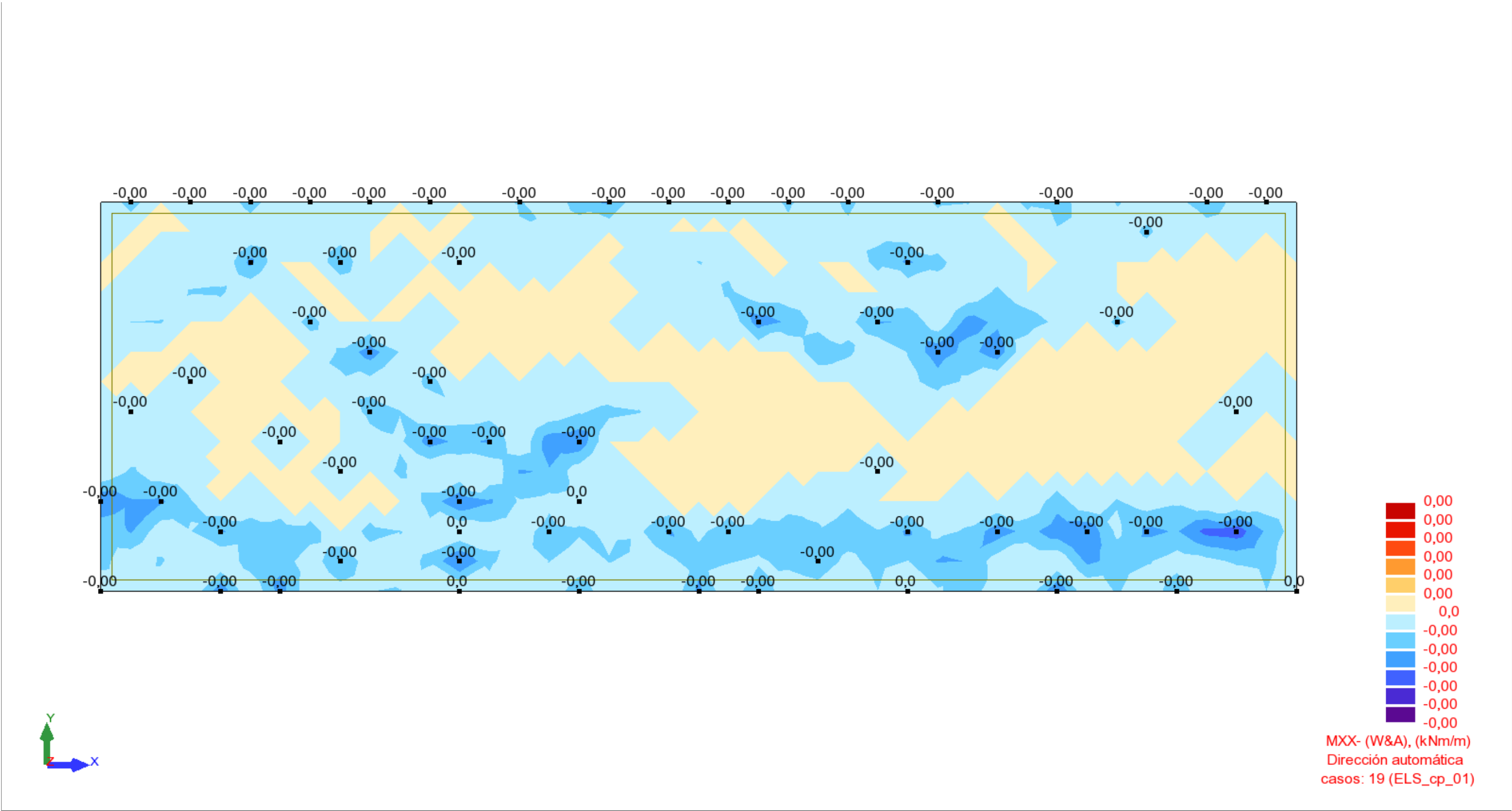
Vista - QYY (kN/m) Dirección automática casos: 5A10 (+)



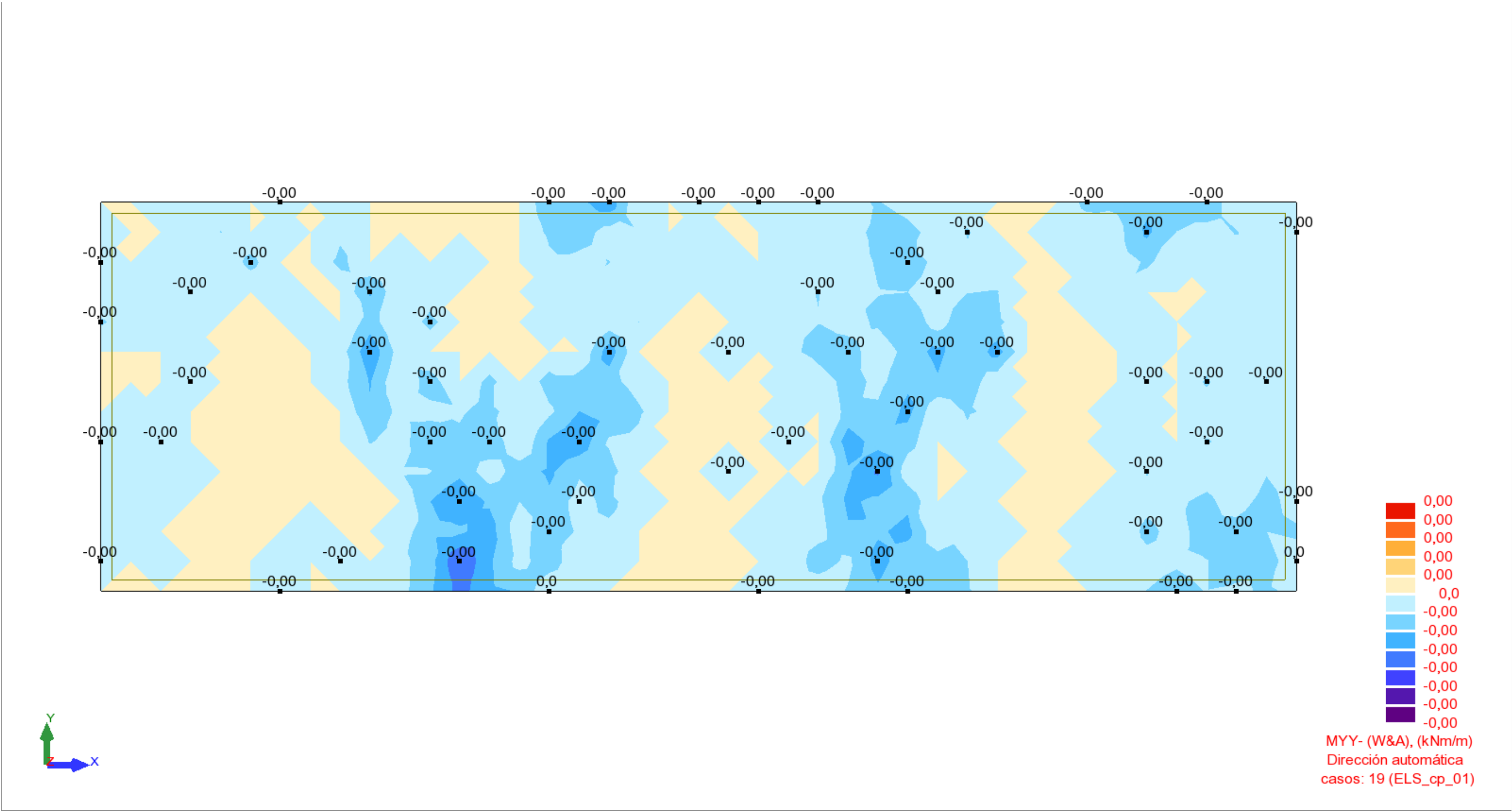
Vista - MYY+ (W&A) casos: 19 (ELS_cp_01)



Vista - MXX- (W&A) casos: 19 (ELS_cp_01)



Vista - MYY- (W&A) casos: 19 (ELS_cp_01)



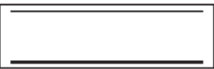
1 Datos

- Materiales

Tipo de hormigón : HA-25
Tipo de acero : B-500-S
fck [MPa] = 25.00
fyk [MPa] = 500.00
 γ_c = 1.50
 γ_s = 1.15

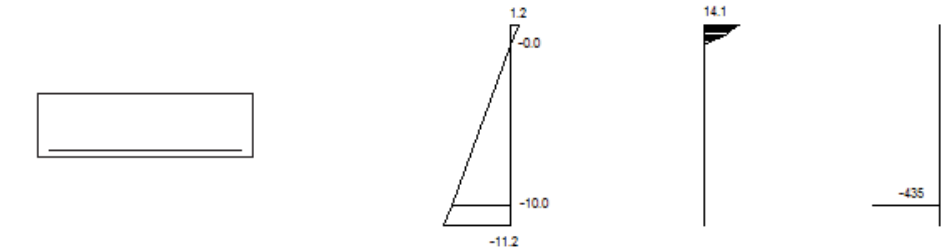
- Sección

Sección : LOSA-200
b [m] = 1.00
h [m] = 0.30
ri [m] = 0.030
rs [m] = 0.030



2 Dimensionamiento

Md [kN·m] = 50



Plano de deformación de agotamiento

x [m] = 0.029
1/r [1/m] · 1.E-3 = 41.4
 ϵ_s · 1.E-3 = 1.2
 ϵ_i · 1.E-3 = -11.2

Deformación y tensión de armaduras

Profundidad [m]	Armadura [cm²]	Deformación · 1.E-3	Tensión [MPa]
0.030	0.0	-0.0	0.0
0.270	5.4	-10.0	434.8

At_est [cm²] = 5.4

ϕ [mm]	12	14	16	20	25
n° ϕ	5	4	3	3	3
n° capas	1	1	1	1	1
At [cm²]	5.7	6.2	6.0	9.4	14.7
wk [mm]	0.14	0.14	0.17	0.11	0.07



PRONTUARIO INFORMÁTICO DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL 3.1 SEGÚN EHE-08

Cátedra de Hormigón Estructural ETSICCPM - IECA

Obra: Metro ligero Sevilla
Fecha: 20/12/2018
Hora: 12:52:43

Cálculo de secciones a cortante

1 Datos

- Materiales

Tipo de hormigón : HA-25
Tipo de acero : B-500-S
fck [MPa] = 25.00
fyk [MPa] = 500.00
 γ_c = 1.50
 γ_s = 1.15

- Control del hormigón

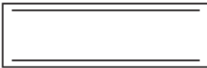
Control normal

- Tipo de elemento estructural

Tipo : elemento sin armadura a cortante

- Sección

Sección : LOSA-200
b0 [m] = 1.00
h [m] = 0.30



2 Comprobación

ρ_l [·1.E-3] = 9
Nd [kN] = 0.0
Vu [kN] = 171.3

PROYECTO:	Proyecto de construcción del Metro Ligero en Superficie del Centro de Sevilla
TRAMO:	San Bernardo - Centro Nervión
ESTRUCTURA:	Vigas de apoyo (Sección Tipo 1)



VIGAS DE APOYO DE VÍA

PROYECTO:	Proyecto de construcción del Metro Ligero en Superficie del Centro de Sevilla
TRAMO:	San Bernardo - Centro Nervión
ESTRUCTURA:	Vigas de apoyo (Sección Tipo 1)



1. DATOS DE PARTIDA

1.1. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

Ancho viga (b)	0,50 m
Canto viga (h)	0,40 m
Longitud	10,00 m

1.2. DATOS GEOTÉCNICOS

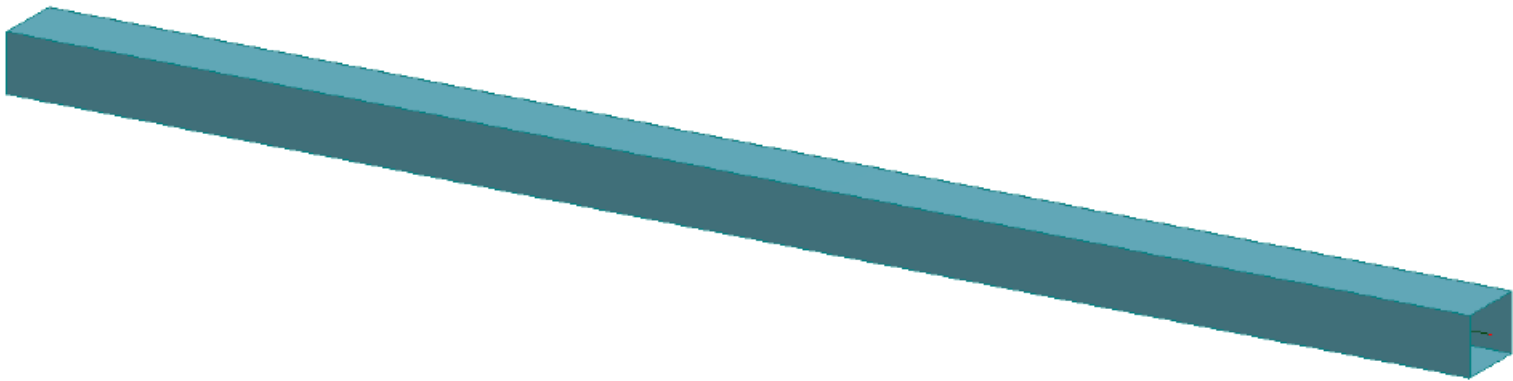
Tensión adm.	150 kPa
Coef. Balasto vertical	15000 kN/m3

1.3. MATERIALES

	HA-25
fck	25 Mpa
fcd	16,67 Mpa
Tipo ambiente	IIb
r	30 mm

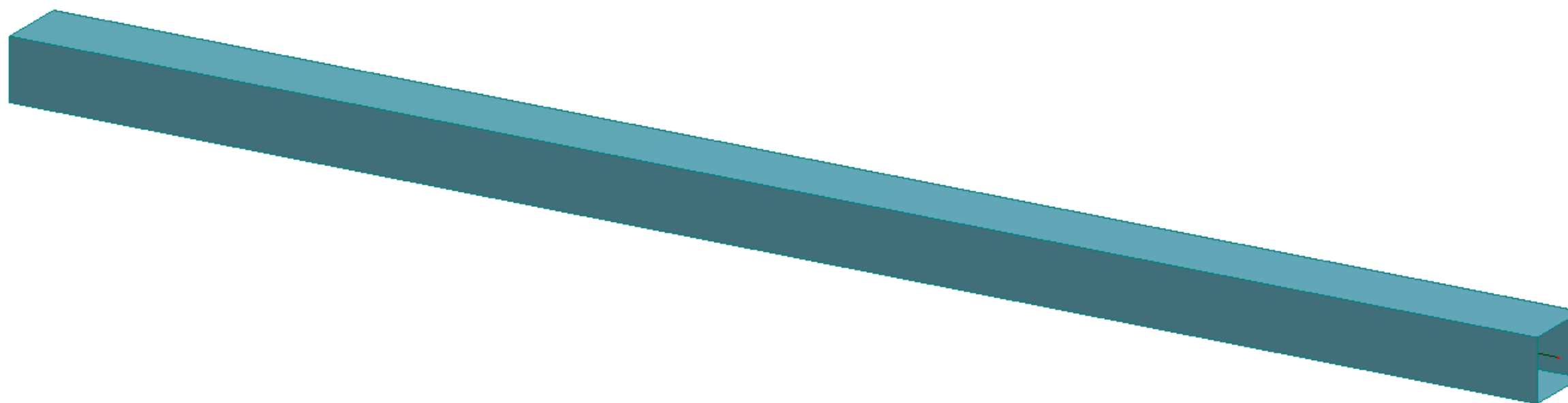
	Acero B500S
fyk	500 Mpa
fyd	434,8 Mpa

Software cálculo: Autodesk Robot Structural Analysis 2018

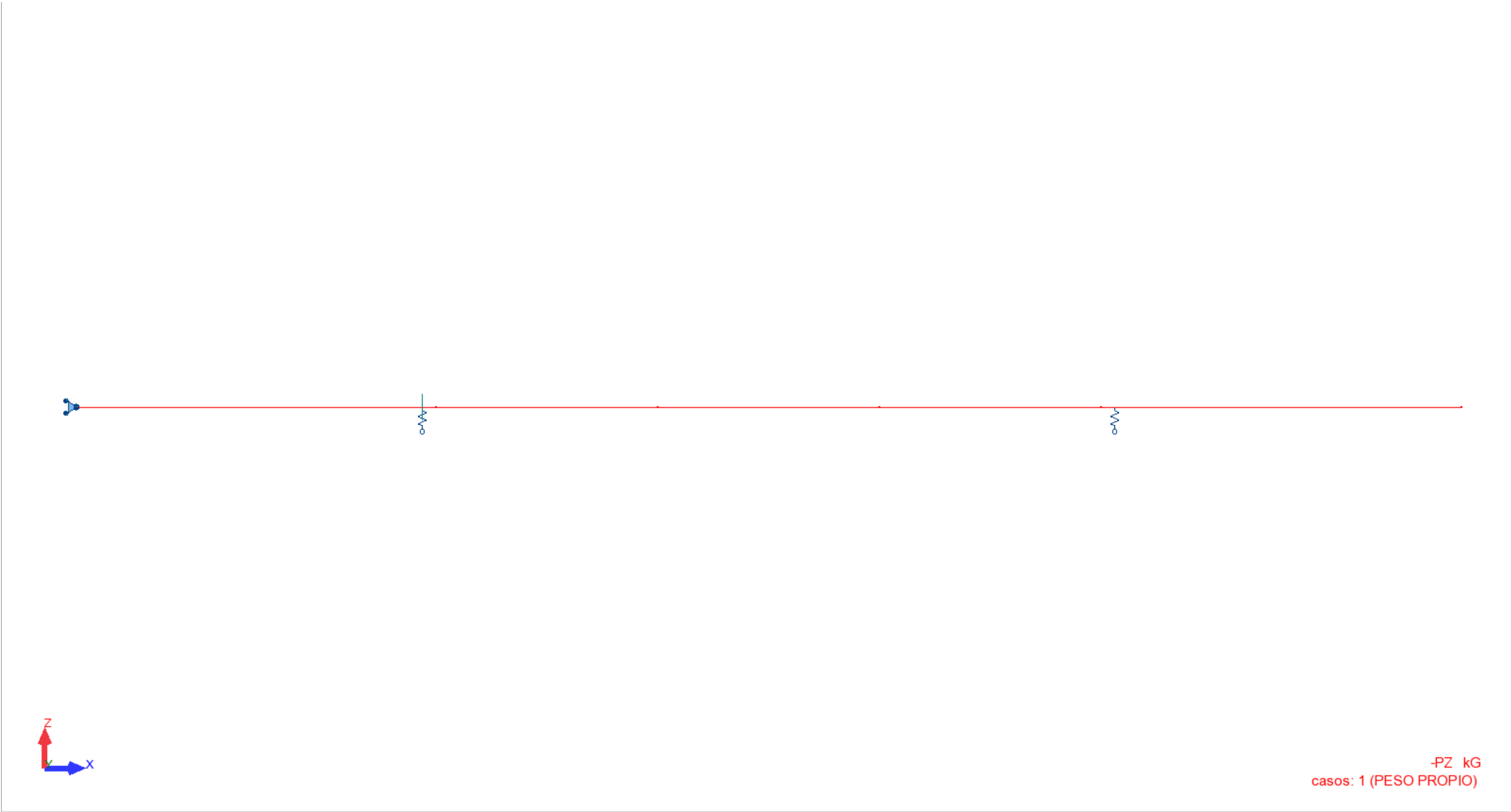


VISTA GENERAL

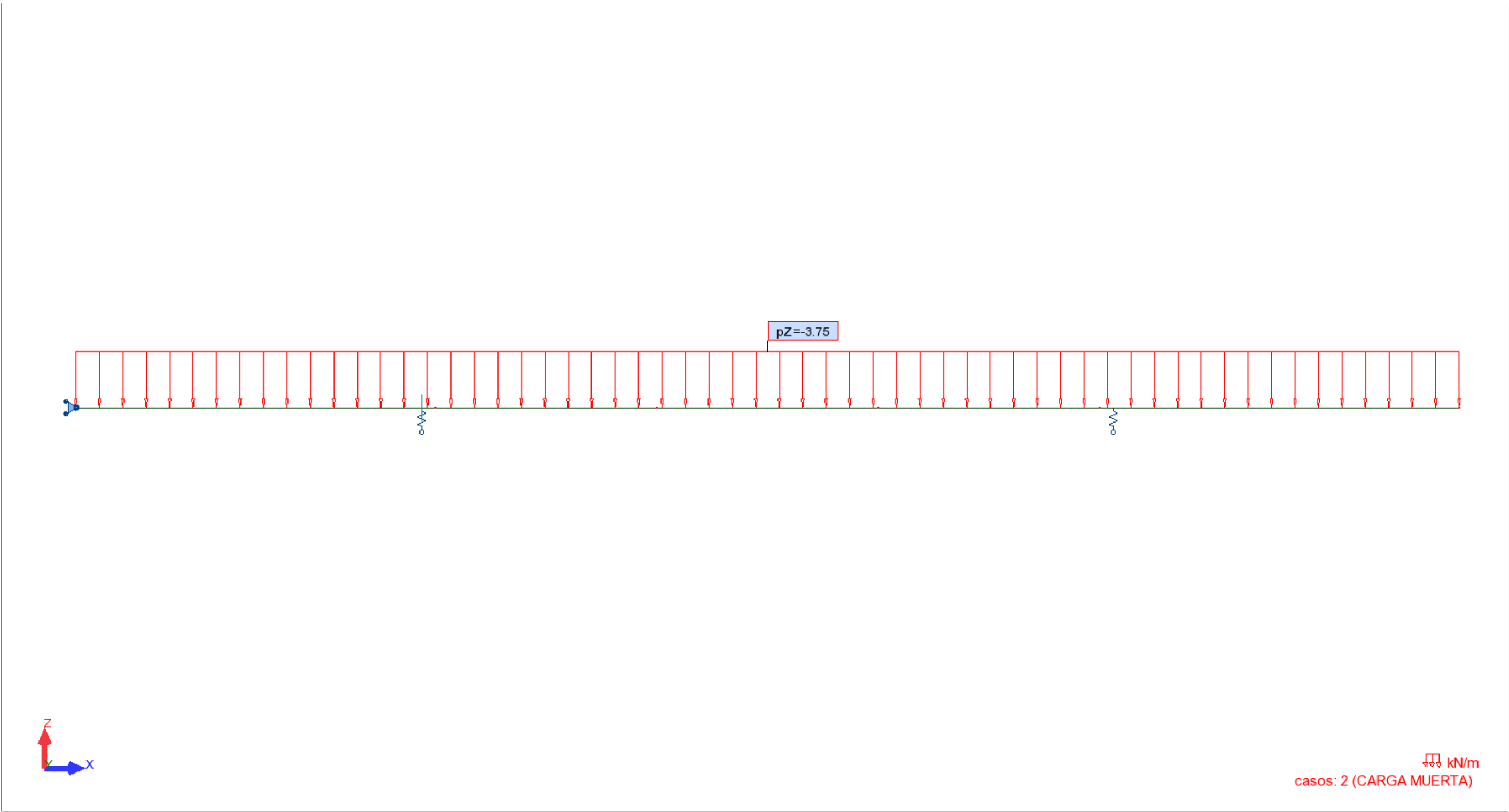
Vista general

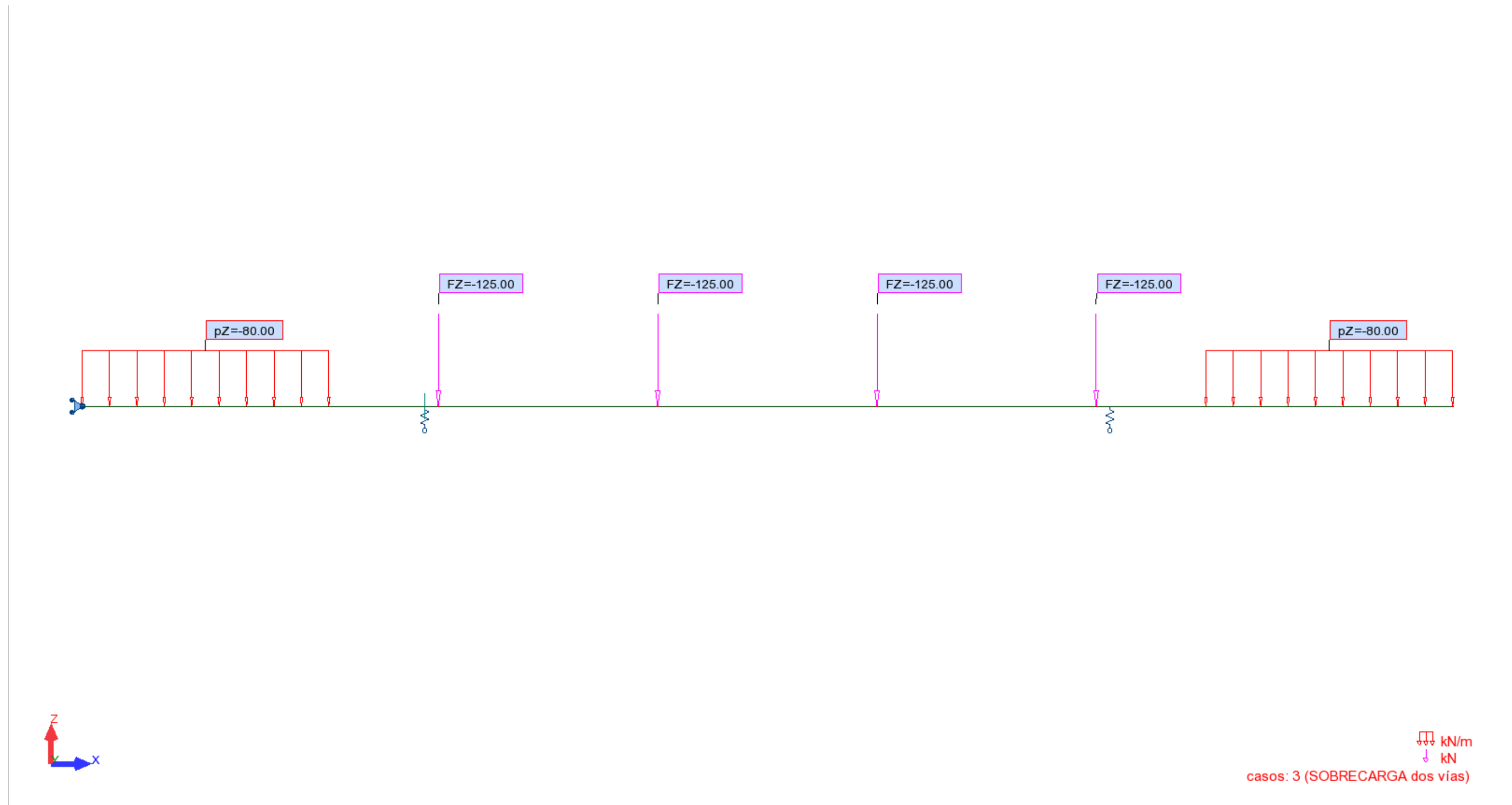


Vista - casos: 1 (PESO PROPIO)

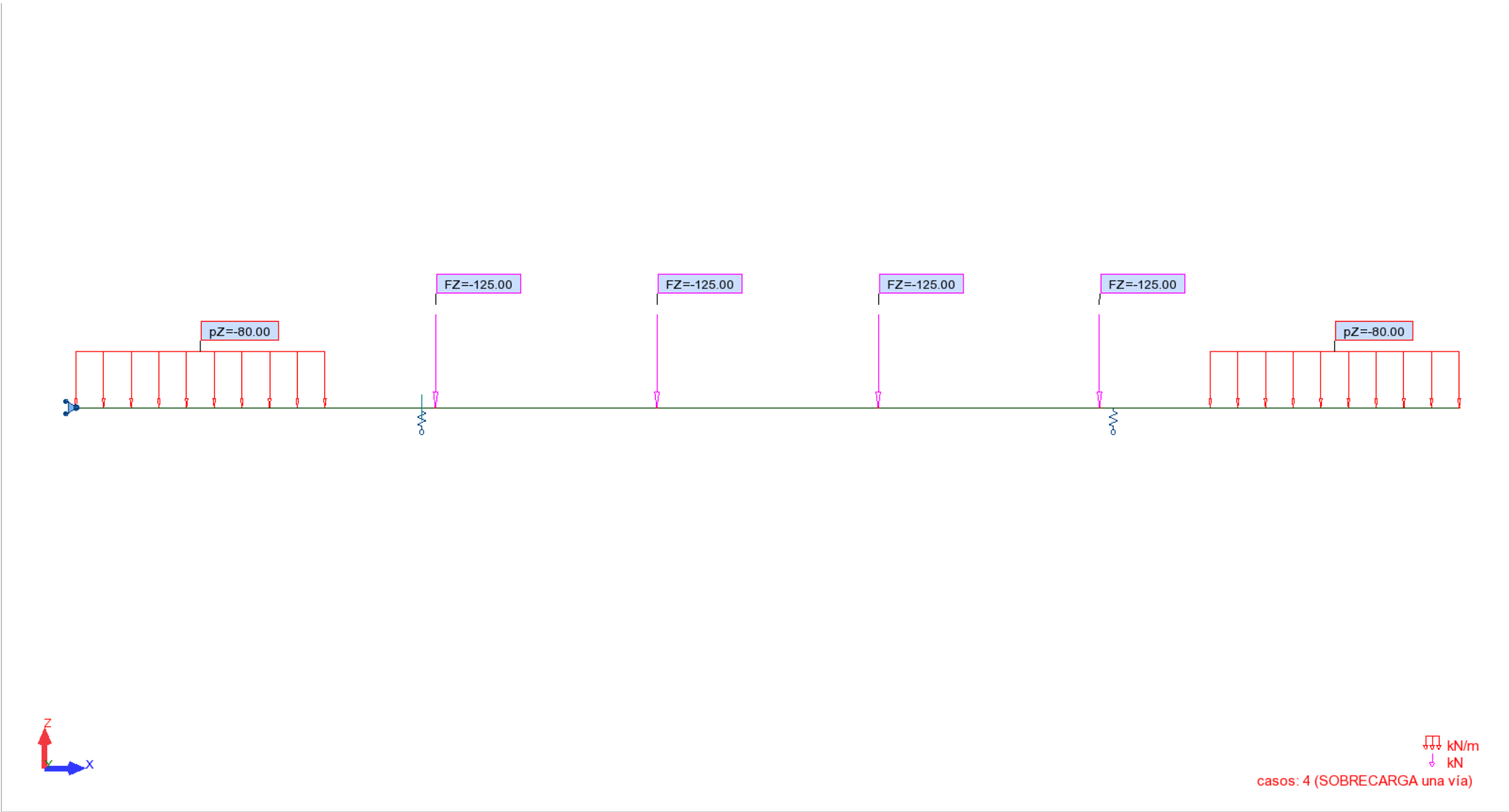


Vista - casos: 2 (CARGA MUERTA)



Vista - casos: 3 (SOBRECARGA dos vías)

Vista - casos: 4 (SOBRECARGA una vía)



Cargas - Casos

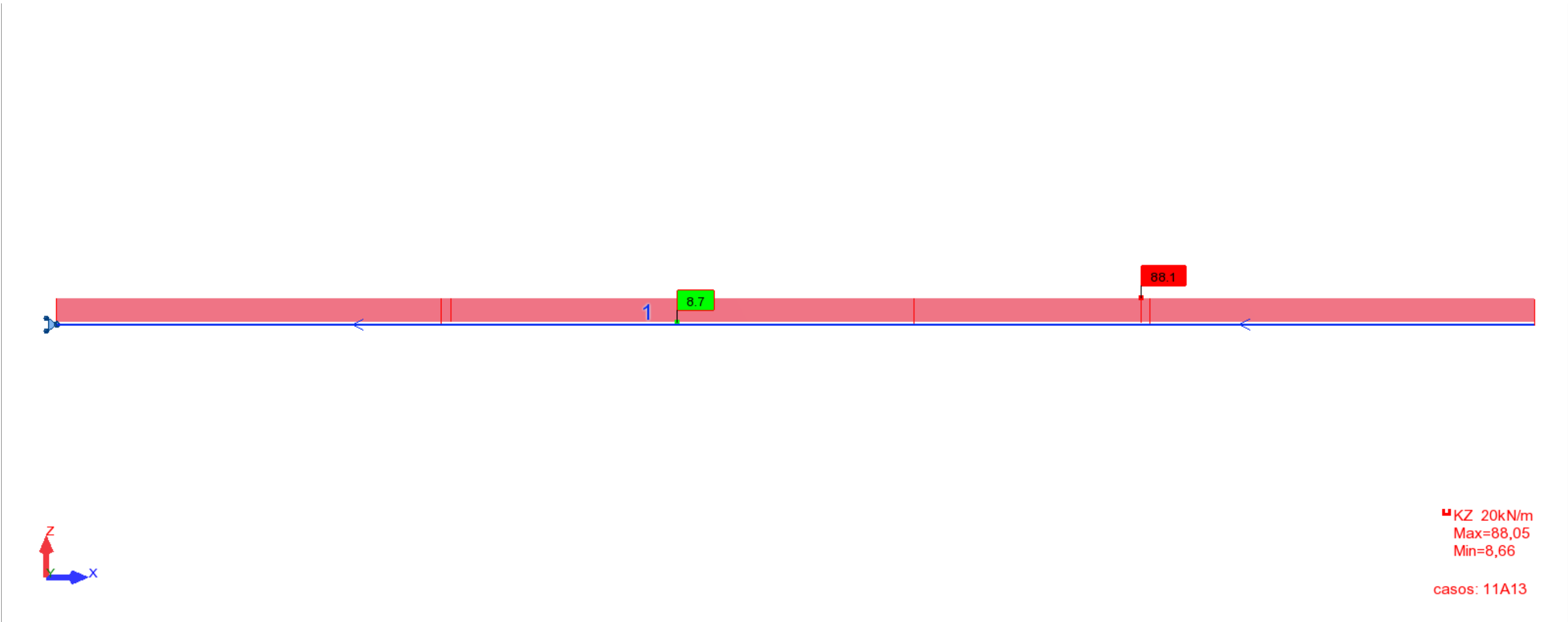
Caso	Etiqueta	Nombre del caso	Naturaleza	tipo de análisis
1	G1	PESO PROPIO	Peso propio	Estático lineal
2	G2	CARGA MUERTA	Peso propio	Estático lineal
3	Q1	SOBRECARGA dos vías	Peso propio	Estático lineal
4	Q2	SOBRECARGA una vía	Peso propio	Estático lineal
5		ELU_01		Combinación lineal
6		ELU_02		Combinación lineal
7		ELU_03		Combinación lineal
8		ELU_04		Combinación lineal
9		ELU_05		Combinación lineal
10		ELU_06		Combinación lineal
11		ELS_c_01		Combinación lineal
12		ELS_c_02		Combinación lineal
13		ELS_c_03		Combinación lineal
14		ELS_f_01		Combinación lineal
15		ELS_f_02		Combinación lineal
16		ELS_f_03		Combinación lineal
17		ELS_f_04		Combinación lineal
18		ELS_f_05		Combinación lineal
19		ELS_cp_01		Combinación lineal
20		COMB16		Combinación lineal

Combinaciones

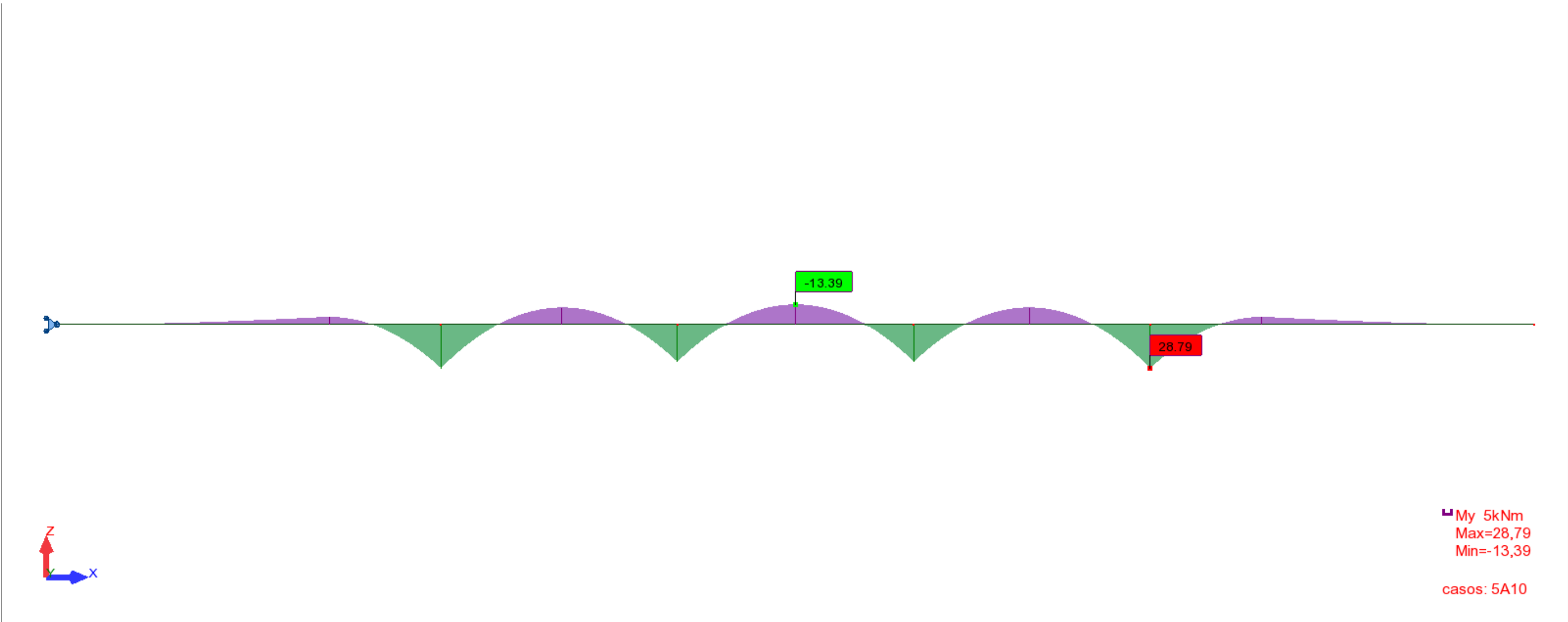
- Casos: 5A20

Combinación	Nombre	Tipo de análisis	Tipo de combin	Naturaleza de caso	Definición
5 (C)	ELU_01	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00
6 (C)	ELU_02	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.35
7 (C)	ELU_03	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00+3*1.50
8 (C)	ELU_04	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.35+3*1.50
9 (C)	ELU_05	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00+4*1.50
10 (C)	ELU_06	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.35+4*1.50
11 (C)	ELS_c_01	Combinación lin	ELU		(1+2+3)*1.00
12 (C)	ELS_c_02	Combinación lin	ELU		(1+2+4)*1.00
13 (C)	ELS_c_03	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00
14 (C)	ELS_f_01	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00+3*0.80
15 (C)	ELS_f_02	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00+4*0.80
16 (C)	ELS_f_03	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00+3*0.60
17 (C)	ELS_f_04	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00+4*0.60
18 (C)	ELS_f_05	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00
19 (C)	ELS_cp_01	Combinación lin	ELU		(1+2)*1.00
20 (C)	COMB16	Combinación lin	ELU		

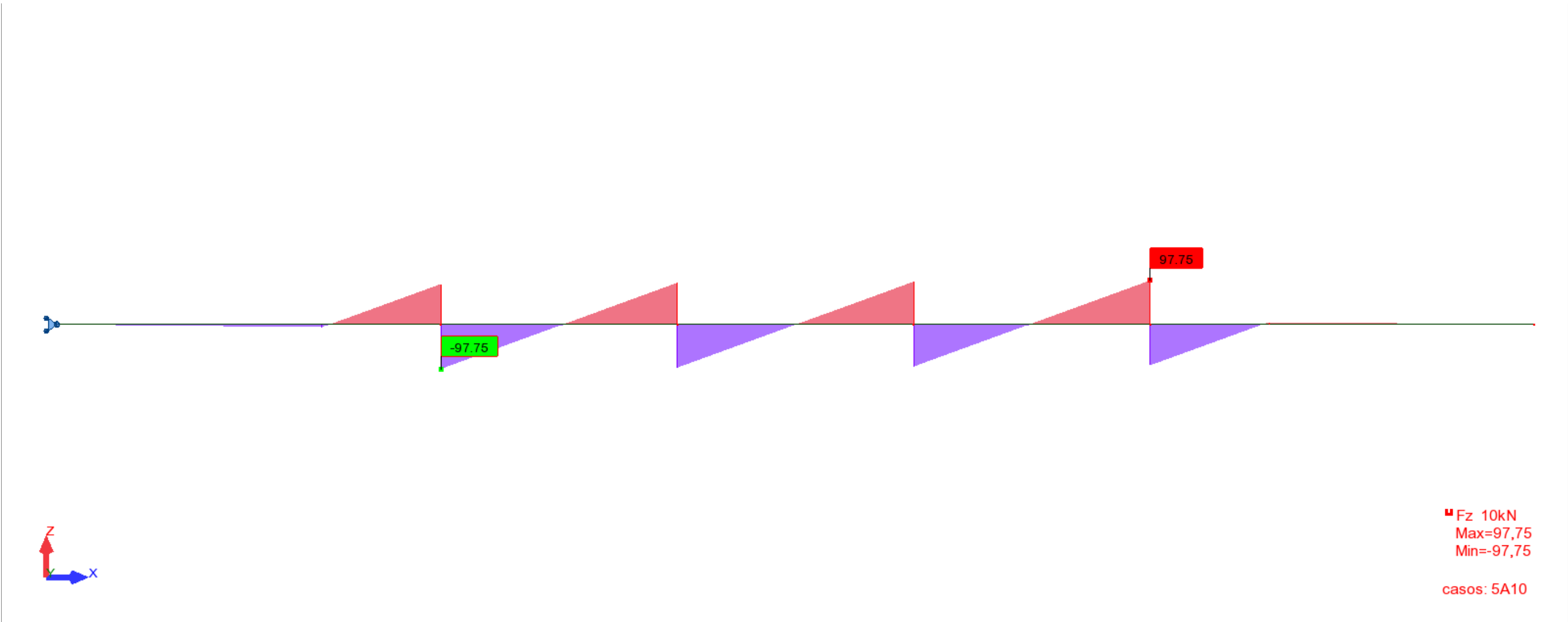
Vista - Kz; casos: 11A13



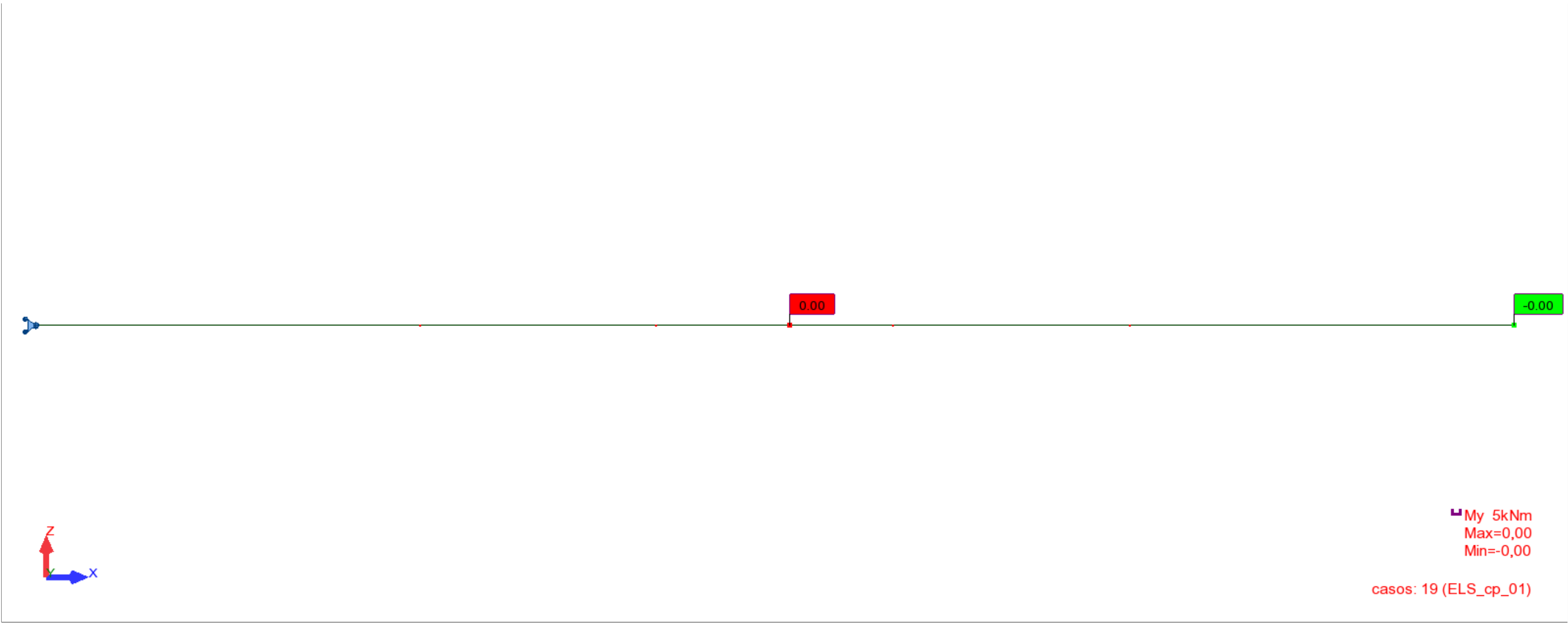
Vista - MY; casos: 5A10



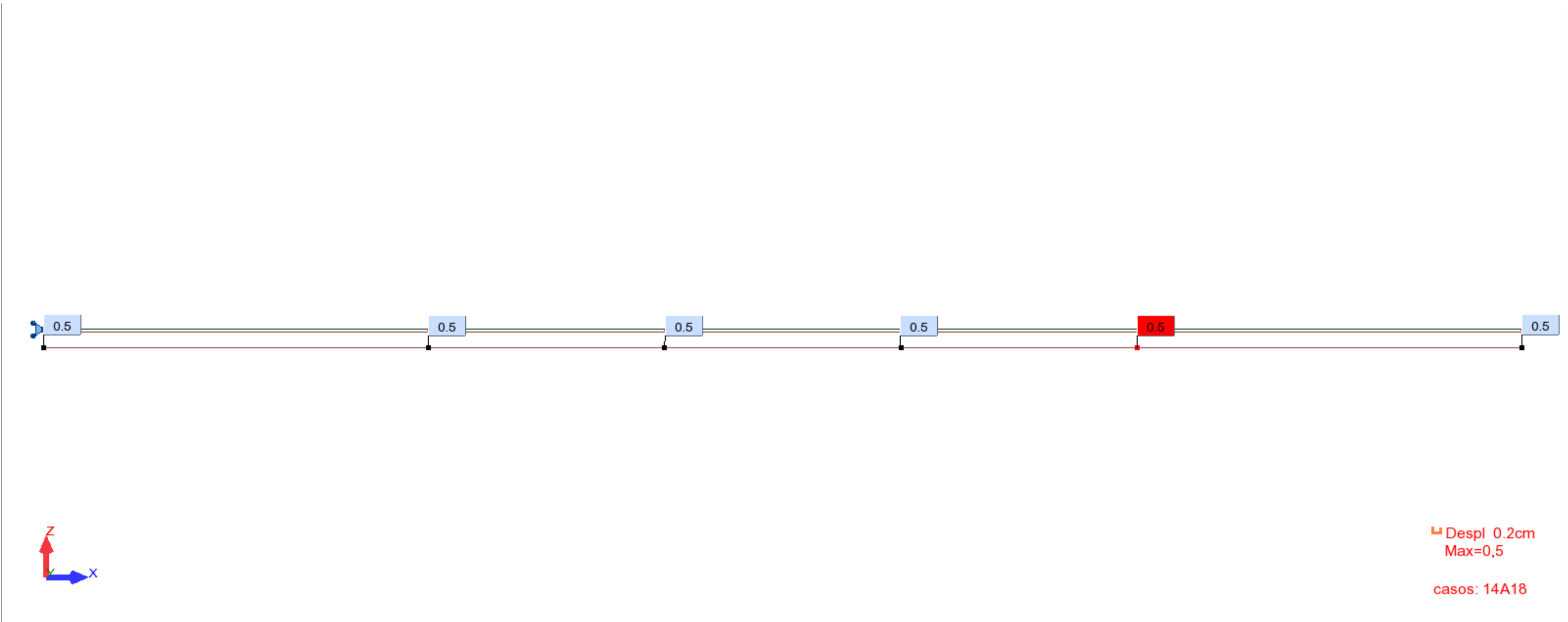
Vista - Fz; casos: 5A10



Vista - MY; casos: 19 (ELS_cp_01)



Vista - Deformación; casos: 14A18



1 Datos

- Materiales

Tipo de hormigón : HA-25
Tipo de acero : B-500-S
fck [MPa] = 25.00
fyk [MPa] = 500.00
 γ_c = 1.50
 γ_s = 1.15

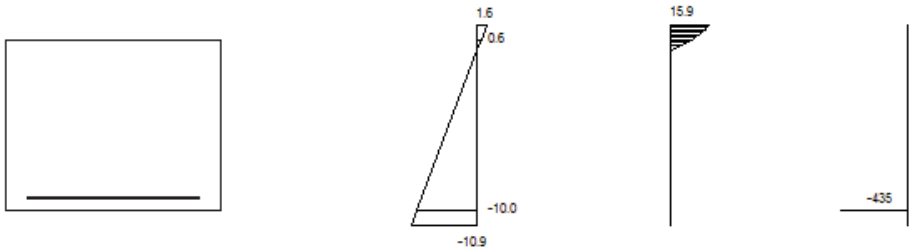
- Sección

Sección : VIGA-50X40
b [m] = 0.50
h [m] = 0.40
ri [m] = 0.030
rs [m] = 0.030



2 Dimensionamiento

Md [kN·m] = 30



Plano de deformación de agotamiento

x [m] = 0.051
 $1/r$ [1/m] · 1.E-3 = 31.2
 ϵ_s · 1.E-3 = 1.6
 ϵ_i · 1.E-3 = -10.9

Deformación y tensión de armaduras

Profundidad [m]	Armadura [cm²]	Deformación · 1.E-3	Tensión [MPa]
0.030	0.0	0.6	0.0
0.370	5.6	-10.0	434.8

At_est [cm²] = 5.6

ϕ [mm]	12	14	16	20	25
nº ϕ	5	4	3	2	2
nº capas	1	1	1	1	1
At [cm²]	5.7	6.2	6.0	6.3	9.8
wk [mm]	0.05	0.05	0.06	0.08	0.05



PRONTUARIO INFORMÁTICO DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL 3.1 SEGÚN EHE-08

Cátedra de Hormigón Estructural ETSICCPM - IECA

Obra: Metro ligero Sevilla
Fecha: 20/12/2018
Hora: 13:16:40

Cálculo de secciones a cortante

1 Datos

- Materiales

Tipo de hormigón : HA-25
Tipo de acero : B-500-S
fck [MPa] = 25.00
fyk [MPa] = 500.00
 γ_c = 1.50
 γ_s = 1.15

- Control del hormigón

Control normal

- Tipo de elemento estructural

Tipo : elemento sin armadura a cortante

- Sección

Sección : VIGA-50X40
b0 [m] = 0.50
h [m] = 0.40



2 Comprobación

ρ_l [·1.E-3] = 0
Nd [kN] = 0.0
Vu [kN] = 105.7

Apéndice 2. Estudio de Ruido y Vibraciones

Acústica y Vibraciones

Id: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 1 de 49

dnota medio ambiente

ESTUDIO DE RUIDO Y VIBRACIONES

PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL METRO
LIGERO EN SUPERFICIE DEL CENTRO DE SEVILLA:
TRAMO SAN BERNARDO - CENTRO NERVIÓN

dnota medio ambiente

Mod. G-006-01

dnota

Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 2 de 49

ESTUDIO DE VIBRACIONES

1. ANTECEDENTES Y OBJETO

Se realiza el presente informe por encargo de AYESA con motivo de elaborar el estudio predictivo del comportamiento vibratorio de los diferentes espacios próximos al trazado establecido para el Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión.

El objeto del presente estudio tiene una doble vertiente; por un lado, obtener los niveles de vibraciones existentes actualmente en las diferentes subzonas de análisis en las que se vertebrará el concerniente estudio, y por otro, conocer partiendo de datos experimentales los niveles de atenuación, en términos vibratorios, en superficie junto a las edificaciones próximas al trazado de la infraestructura ferroviaria citada. Con este modo de actuar se podrá determinar las necesidades de aislamiento de las distintas subzonas o sectores bajo examen.

Los resultados extraíbles del estudio teórico - predictivo que se va a acometer tendrán que ajustarse a los límites establecidos por la legislación de referencia a emplear en materia de vibraciones recogidos en el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, y se modifica el Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética, así como los definidos en la Ordenanza Municipal contra la contaminación acústica, ruidos y vibraciones del Excmo. Ayuntamiento de Sevilla. Miércoles 29 de octubre de 2014. Boletín Oficial de la provincia de Sevilla. Numero 251.

2. ALCANCE DEL ESTUDIO

PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL METRO LIGERO EN SUPERFICIE DEL CENTRO DE SEVILLA: TRAMO SAN BERNARDO - CENTRO NERVIÓN.

Es de destacar, que las conclusiones que se puedan obtener de este estudio teórico quedarán condicionadas al resultado de la posterior certificación de vibraciones una vez implantada la actividad.

Ésta debe pasar por la comprobación de que las vibraciones transmitidas a las estructuras sólidas de las edificaciones próximas al trazado no sobrepasen los valores definidos para el índice de inmisión de vibraciones L_{aw} establecido por la diferente normativa aplicable al estudio que presente un carácter más restrictivo.

La diferente normativa evaluada a nivel Estatal, Autonómico y Local coinciden en el cálculo del parámetro L_{aw} para la evaluación de posibles afecciones de origen vibratorio en edificación, siendo la normativa local de Sevilla (Ordenanza Municipal contra la Contaminación Acústica, Ruidos y Vibraciones del Excmo. Ayuntamiento de Sevilla) la que presenta un mayor rango de aplicabilidad al reconocer una amplia variedad de estructuras evaluables, como se podrá comprobar en el apartado de desarrollo de la normativa correspondiente expuesto más adelante (4. EXAMEN DE LA LEGISLACIÓN APLICABLE EN EL ESTUDIO).

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 3 de 49

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Manual de dnota medio ambiente, S.L. UNE-EN ISO/IEC 17025:2000. "Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayos y calibración".
- AV-1203.e06. Procedimiento Específico para la Medición de las Vibraciones.
- ISO 2631-2:1989 - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2: Continuous and shock-induced in buildings (1 to 80 Hz).
- ISO 2631-2:2003 - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2: Continuous and shock-induced in buildings (1 to 80 Hz).
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, y se modifica el Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética.
- Ordenanza Municipal contra la Contaminación Acústica, Ruidos y Vibraciones del Excmo. Ayuntamiento de Sevilla. Miércoles 29 de Octubre de 2014. Boletín Oficial de la Provincia de Sevilla. Número 251.

4. EXAMEN DE LA LEGISLACIÓN APLICABLE EN EL ESTUDIO

A continuación se analiza la normativa legal vigente en la materia.

ANÁLISIS DE LA NORMATIVA

4.1. INTERNACIONAL

ISO 2631-2:1989 y ISO 2631-2:2003 evaluation of human exposure to whole-body vibration - part 2: continuous and shock-induced in buildings (1 to 80 Hz)

4.2. LEGISLACIÓN ESTATAL

Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.

La Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido tampoco establece límites reglamentarios autorizados de emisión de vibraciones y por tanto no podrá ser aplicado en este caso hasta la existencia de reglamentos que desarrollen y cuantifiquen los niveles de emisión e inmisión máximos permitidos.

Real Decreto 1513/2005 de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 4 de 49

El Real Decreto 1513/2005 tampoco establece límites reglamentarios autorizados de emisión de vibraciones y por tanto no podrá ser aplicado en este caso hasta la existencia de reglamentos que desarrollen y cuantifiquen los niveles de emisión e inmisión máximos permitidos al no fijar objetivos de calidad acústica, criterios técnicos, períodos horarios, valores límites de inmisión y emisión.

Real Decreto 1367/2007 de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

El Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental supuso un desarrollo parcial de la Ley del Ruido, que comprende la contaminación acústica derivada del ruido ambiental y la prevención y corrección en su caso, de sus efectos en la población. El desarrollo completo de esta ley se da con el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, donde se definen índices de ruido y vibraciones, sus aplicaciones, efectos y molestias sobre la población y su repercusión en el medio ambiente. Se delimitan, además, los distintos tipos de servidumbres y áreas acústicas definidas en la Ley del Ruido y se establecen los objetivos de calidad acústica para cada área, incluyéndose el espacio interior de determinadas edificaciones. Por último, se regulan los emisores acústicos, fijándose valores límite de emisión o de inmisión así como los procedimientos y los métodos de evaluación de ruido y vibraciones.

En el Anexo II, tabla C de dicho Real Decreto, quedan definidos los límites denominados como "Objetivos de calidad acústica para vibraciones aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales".

Uso de Edificios	Índices de Vibración L_{aw}
Vivienda o uso residencial	75
Hospitalario	72
Educativo o cultural	72

4.3. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA

Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, y se modifica el Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética.

El citado Decreto de aplicación al presente estudio predictivo vibratorio expone en sus diferentes artículos las siguientes objeciones respecto al alcance y valoración de los estudios de vibraciones aplicables a infraestructuras, a saber:

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones
Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 5 de 49

REGLAMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN ANDALUCÍA

TÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1. Objeto.

Es objeto del presente Reglamento, en desarrollo del Título IV, Capítulo II, Sección 4.º, de la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, la regulación de la calidad del medio ambiente atmosférico para prevenir, vigilar y corregir las situaciones de contaminación acústica por ruidos y vibraciones, para proteger la salud de los ciudadanos y ciudadanas, el derecho a su intimidad y mejorar la calidad del medio.

Artículo 2. Ámbito de aplicación.

El presente Reglamento será de aplicación a cualquier infraestructura, instalación, maquinaria o proyecto de construcción, así como a las actividades de carácter público o privado, incluidas o no en el Anexo I de la Ley 7/2007, de 9 de julio, que se pretendan llevar a cabo o se realicen en el territorio de la Comunidad Autónoma de Andalucía y produzcan o sean susceptibles de producir contaminación acústica por ruidos o vibraciones, con las siguientes excepciones, conforme a lo dispuesto en el artículo 67.2 de la Ley 7/2007, de 9 de julio:

- Las actividades militares, que se regirán por su legislación específica.
- Las actividades domésticas o comportamientos de la vecindad cuando la contaminación producida por aquellos se mantenga dentro de los límites permitidos en las ordenanzas municipales o, en su defecto, en los usos locales.
- La actividad laboral, respecto de la contaminación acústica producida por ésta en el correspondiente lugar de trabajo, que se regirá por lo dispuesto en la legislación laboral.

TÍTULO III

NORMAS DE CALIDAD ACÚSTICA

CAPÍTULO I

Objetivos de calidad acústica en el espacio interior de las edificaciones.

Artículo 27. Objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior.

1. Sin perjuicio de lo establecido en el apartado 2, se establece como objetivo de calidad acústica para el ruido y para las vibraciones la no superación en el espacio interior de las edificaciones destinadas a vivienda, usos



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones
Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 6 de 49

residenciales, administrativo y de oficinas, hospitalarios, educativos o culturales, de los correspondientes valores de los índices de inmisión de ruido y de vibraciones establecidos, respectivamente, en la Tablas siguientes:

Objetivos de calidad acústica para vibraciones aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a viviendas, usos residenciales, administrativos y de oficinas, hospitalarios, educativos o culturales.

Tabla V

Uso de Edificios	Índices de Vibración L_{aw}
Vivienda o uso residencial	75
Administrativo y de oficinas	75
Hospitalario	72
Educativo o cultural	72

Estos valores tendrán la consideración de niveles límite de inmisión vibratoria para recintos habitables.

2. Cuando en el espacio interior de las edificaciones a que se refiere el apartado anterior, localizadas en áreas urbanizadas existentes, se superen los valores límite, se les aplicará como objetivo de calidad acústica alcanzar los valores de los índices de inmisión de vibraciones establecidos en la tabla V.

Artículo 28. Cumplimiento de los objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior.

1. Se considerará que se respetan los objetivos de calidad acústica establecidos en el artículo 27, cuando concurran las siguientes condiciones:

b) Los valores del índice de vibraciones L_{aw} , evaluados conforme a los procedimientos establecidos en la Instrucción Técnica 2 apartado C, cumplen lo siguiente:

- º Vibraciones estacionarias: Ningún valor del índice supera los valores fijados en la Tabla V.
- º Vibraciones transitorias: Los valores fijados en la Tabla V podrán superarse para un número de eventos determinado de conformidad con el procedimiento siguiente:
 - Se consideran los dos periodos temporales de evaluación siguientes: periodo día, comprendido entre las 7,00-23,00 horas y período noche, comprendido entre las 23,00-7,00 horas.
 - En el período nocturno no se permite ningún exceso.
 - En ningún caso se permiten excesos superiores a 5 dB.
 - El conjunto de superaciones no debe ser mayor de 9.



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 7 de 49

A estos efectos cada evento cuyo exceso no supere los 3 dB será contabilizado como 1 y si los supera como 3.

2. Se considerará que una edificación es conforme con las exigencias acústicas derivadas de la aplicación de objetivos de calidad acústica al espacio interior de las edificaciones, a que se refiere el artículo 27, y el artículo 8.3 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, cuando al aplicar el sistema de verificación acústica de las edificaciones, establecido conforme a la disposición adicional cuarta de dicha Ley, se cumplan las exigencias acústicas básicas impuestas por el Código Técnico de la Edificación, aprobado mediante Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo y por el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

CAPÍTULO II

Límites admisibles de ruidos y vibraciones

Sección 2ª. Valores límites de vibración aplicables a las actividades y a las nuevas infraestructuras de transporte.

Artículo 31. Límites admisibles de transmisión de vibraciones.

Las actividades y las nuevas infraestructuras de transporte deberán adoptar las medidas necesarias para no transmitir al espacio interior de las edificaciones destinadas a viviendas, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales, vibraciones para que, no sólo no sobrepasen por sí solas los objetivos de calidad acústica establecidos en la tabla V, sino que tampoco resulten superados estos límites por la concurrencia de estas vibraciones por otras que procedan de distintas fuentes.

4.4. NORMATIVA LOCAL

Ordenanza Municipal contra la contaminación acústica, ruidos y vibraciones del Excmo. Ayuntamiento de Sevilla. Miércoles 29 de octubre de 2014. Boletín Oficial de la provincia de Sevilla. Número 251.

Preámbulo

La lucha contra la contaminación acústica se sitúa dentro del ámbito del ejercicio de las competencias que los municipios han de ejercer en materia de protección del medio ambiente y de la salud pública, de acuerdo con lo establecido en la Ley 5/2010, de 11 de junio, de Autonomía Local de Andalucía, garantizando con ello el derecho constitucional a la intimidad personal y familiar.

En lo que se refiere al Ayuntamiento de Sevilla, la primera Ordenanza aprobada sobre esta materia («Ordenanza municipal sobre protección ambiental en materia de ruidos») data de 1987 (modificada parcialmente en 1990 y 1992), la cual fue posteriormente derogada por la «Ordenanza municipal de protección del medio ambiente contra ruidos y vibraciones» en 2001, redactada a la luz del nuevo marco legislativo establecido tras la promulgación de la Ley autonómica de Protección Ambiental.

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: 8-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 8 de 49

La valoración de esta Ordenanza, tras casi tres lustros de vigencia, es en general positiva, teniendo en cuenta los logros obtenidos en su aplicación durante ese periodo temporal. No obstante, en el dilatado lapso de tiempo transcurrido desde su aprobación, tanto el marco normativo como la evolución de la sociedad en general y los requerimientos de los ciudadanos en esta materia, han sufrido notables cambios. Así, el VI Programa Comunitario de Acción en materia de Medio Ambiente estableció las directrices de la política medioambiental de la Unión Europea, marcando como objetivo en materia de contaminación acústica la reducción del número de personas expuestas de manera regular y prolongada a niveles sonoros elevados; ello conlleva la necesidad de avanzar en una serie de medidas, fundamentalmente fijando valores límite de emisión acústica y adoptando estrategias de reducción del ruido en el ámbito local. En ese marco se aprobó la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2003, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, con el fin de proporcionar una base para el desarrollo de las medidas comunitarias sobre ruido ambiental emitido por infraestructuras viarias, ferroviarias, aeroportuarias y el ruido industrial. La citada Directiva se traspuso, con el carácter de norma básica, al nuestro ordenamiento jurídico mediante la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. El mismo carácter básico poseen los Reales Decretos 1513/2005, de 16 de diciembre y 1367/2007, de 19 de octubre, que desarrollaron la citada Ley en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, así como a la zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, respectivamente.

Por otra parte, el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, aprobó el documento básico «DB-HR» del Código Técnico de la Edificación, norma fundamental reguladora de las condiciones que deben de reunir, sobre aislamiento acústico a ruido aéreo, aislamiento acústico a ruido de impacto, tiempo de reverberación y ruido y vibraciones de instalaciones, los nuevos edificios destinados a uso residencial, sanitario, administrativo y docente.

Por su parte, en el ámbito de nuestra Comunidad Autónoma, la contaminación acústica se regulo mediante el Decreto 326/2003, de 25 de noviembre (Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica) que además de incorporar al ordenamiento jurídico autonómico la citada Directiva 2002/49/CE, supuso la unificación de las normas vigentes en la materia. Posteriormente fueron aprobadas la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental y el Decreto 6/2012, de 17 de enero, que aprobó el vigente Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica, conformando dichas normas el actual marco normativo autonómico de referencia.

Teniendo en cuenta lo anterior y en virtud de las competencias de los municipios recogidas en la Ley de Autonomía Local de Andalucía y demás normativa aplicable, era de todo punto necesario disponer de una Ordenanza que, ajustándose al nuevo marco normativo surgido tras la aprobación de la norma vigente, regulase el ejercicio de las competencias municipales en materia de contaminación acústica. El texto de la presente Ordenanza ha permitido, pues, incorporar mecanismos eficaces para abordar la lucha contra la contaminación acústica en el doble frente de la preservación de los niveles sonoros ambientales y de la intervención frente a los concretos emisores acústicos que regula. Esta respuesta normativa ha venido impuesta por la amplitud de la definición legal del concepto «contaminación acústica», ahora referida a «la presencia en el ambiente de ruido o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente». En lo referente a

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: 8-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones
Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 9 de 49

evaluación y gestión del ruido ambiental, zonificación acústica y objetivos de calidad y emisiones acústicas, las normas antes citadas han posibilitado la incorporación de estas nuevas figuras al ordenamiento municipal, introduciéndose conceptos, métodos y procedimientos precisos en lo referente a la valoración y evaluación de dichos elementos.

No puede obviarse que el daño que produce el ruido puede oscilar desde la generación de simples molestias hasta la producción de riesgos graves para la salud de las personas y el medio ambiente. Por ello, la lucha contra la contaminación acústica ha de regularse desde una perspectiva amplia e integradora, abarcando todas las vertientes en las que se pone de manifiesto este problema, resultando necesario actuar en el ámbito de la prevención, vigilancia, control y disciplina de los emisores acústicos de competencia municipal, a través de instrumentos de gestión de la contaminación acústica. De ahí que asimismo en el texto de la Ordenanza se introduzcan nuevos procedimientos dirigidos a controlar el funcionamiento de las actividades susceptibles de producir contaminación acústica, buscando con ello dar prioridad a la intervención municipal mediante actuaciones dirigidas a la adopción de medidas correctoras, dando la oportunidad a las actividades de adecuarse y hacer viable su funcionamiento, al tiempo que se salvaguardan los derechos de los vecinos afectados por las molestias que estas puedan ocasionar. Merece destacarse en este sentido el especial hincapié que pone la Ordenanza en garantizar la buena convivencia ciudadana respecto de las molestias derivadas del comportamiento vecinal, tanto en el interior de los domicilios como en la vía pública. Es propio de las competencias municipales garantizar esta convivencia, lo que implica asegurar en las relaciones y el comportamiento vecinal el respeto al descanso, posibilitando el normal ejercicio de las actividades dentro de los límites permitidos; por ello se incorporan preceptos de nuevo cuño no previstos en la Ley del Ruido, por corresponder su regulación específica precisamente a los Ayuntamientos.

Para la redacción del texto definitivo se ha realizado un concienzudo estudio de las numerosas alegaciones presentadas por diferentes colectivos, muchas veces portavoces de intereses claramente contrapuestos. En este sentido, muchas de las presentadas han sido tenidas en cuenta e incorporadas a la norma, al entender que contengan argumentos sólidos, tanto desde el punto de vista técnico como jurídico, y que con ello se lograba el objetivo final perseguido, que en definitiva no es otro que dar el mejor servicio al interés general, intentando conciliar esos intereses a veces contradictorios, en cualquier caso ajustándose los preceptos contenidos en la redacción final a unas normas que constituyen en este sentido un cauce inabordable y de inexcusable respeto.

La Ordenanza consta de cuatro títulos desarrollados en 49 artículos (lo cual supone una considerable reducción del articulado contenido en la norma precedente), una serie de disposiciones adicionales, transitorias, derogatoria y finales, mas doce anexos, donde, por su mayor facilidad de modificación, se han introducido las disposiciones de carácter más instrumental, logrando con ello un instrumento jurídico mas flexible a la hora de adaptarse a futuros cambios y nuevas exigencias que se contengan en las normas básicas que vayan aprobándose sobre la materia.

Título I

Disposiciones Generales

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones
Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 10 de 49

Artículo 1. Objeto de la Ordenanza.

Esta Ordenanza tiene por objeto prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica, con el fin de evitar y reducir los daños que de esta pueda derivarse para la salud humana, los bienes o el medio ambiente urbano, completando y desarrollando la regulación del marco jurídico que el Ayuntamiento tiene asignado en esta materia.

Artículo 2. Ámbito de aplicación.

1. Quedan sujetos a las prescripciones de la Ordenanza todos los emisores acústicos públicos o privados, así como las edificaciones en su calidad de receptores acústicos, dentro de las competencias y termino municipales, entendiéndose por emisor acústico cualquier actuación, actividad, construcción, instalación, elemento, medio, maquina, infraestructura, vehículo, aparato, unidad técnica, equipo, acto, celebración, comportamiento, desarrollo o actuación susceptible de generar contaminación acústica por ruido o vibraciones, incluidas las actividades domesticas o relaciones de vecindad, siempre y cuando excedan los límites tolerables de conformidad con los usos locales tal y como se fija en la presente Ordenanza.

A continuación se exponen de forma resumida los correspondientes anexos de la presente Ordenanza en la que quedan definidas las oportunas indicaciones para el modo de medida y evaluación vibratorio junto con la definición de los límites de inmisión permisibles para el espacio interior habitable de las diferentes tipologías de edificación propuestas.

Anexo XI

Normas de calidad acústica

Sección 1ª. Límites de ruido, vibraciones, tiempo de reverberación y aislamiento acústico

Cumplimiento de los límites de inmisión de vibraciones aplicables a los emisores acústicos.

Se considera que un emisor es conforme a los límites de inmisión de vibraciones, cuando los valores del Índice L_{ow} , evaluados conforme a los procedimientos establecidos en el anexo V cumplen lo siguiente:

- a) Vibraciones estacionarias: Ningún valor del Índice supera los valores fijados en la tabla 1.5 del anexo I.
- b) Vibraciones transitorias: Los valores fijados en la tabla 1.5 del anexo I podrán superarse, para un número de eventos determinado, de conformidad con el procedimiento siguiente:
 - i. Se consideran los dos periodos temporales de evaluación siguientes: periodo día (de 07:00 a 23:00 h), y periodo noche (de 23:00 a 07:00 h).
 - ii. En el periodo noche no se permite ningún exceso.
 - iii. En ningún caso se permite excesos superiores a 5 dB.
 - iv. El conjunto de superaciones no debe ser mayor de 9. A estos efectos cada evento cuyo exceso no supere los 3 dB será contabilizado como 1 y si los supera, como 3.

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 11 de 49

Anexo V

Medición y valoración de índices acústicos

B) Métodos y procedimientos para el índice de vibraciones.

Los métodos y procedimientos de medición y valoración del índice de vibraciones son los indicados en el apartado C de la instrucción técnica IT.2 del Decreto 6/2012, de 17 de enero.

Las referencias que en dicho apartado se hacen a las normas ISO 2631-1:1997 e ISO 2631-2: 2003, deben entenderse hechas a las normas UNE ISO 2631-1:2008 y UNE ISO 2631-2:2011, respectivamente.

Anexo I

Objetivos de calidad acústica

Tabla 1.5. Objetivos de calidad acústica de vibraciones, aplicables al espacio interior habitable de edificaciones.

Uso de Edificios	Índices de Vibración L_{aw}
Hospitalario	72
Educativo, Cultural	72
Residencial	75
Administrativo, Oficinas	75
Comercial	90

5. MEDIOS EMPLEADOS

La persona responsable de la ejecución de este informe es Santiago Núñez Gutiérrez, Director Técnico de la División de Acústica y Vibraciones de dnata medio ambiente, S.L. Entidad Colaboradora de la Administración en materia de Protección Ambiental, de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, con número de registro 062.

Para la realización del estudio de vibraciones se ha contado con la participación del personal de la citada entidad, destacando el equipo técnico formado por Santiago Núñez Gutiérrez, Director Técnico de la División de Acústica y Vibraciones e Hilario Blesa Mellado, Ingeniero Técnico de Telecomunicaciones y Responsable de Modelización de Vibraciones en dnata medio ambiente, S.L.

En la siguiente tabla se detallan los equipos y sus accesorios de uso en los ensayos realizados a cabo:

F6-G61203

dnata medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnata.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 12 de 49

Descripción	Fabricante	Modelo	Nº de Serie
Analizador de Vibraciones	Svantek	SVAN 958	15490
Acelerómetro Triaxial	Dytran	3233A	507
Calibrador	Svantek	SV111	40501
Estación Meteorológica	Kestrel	400	548405

Los equipos anteriormente enumerados, cumplen todas las características técnicas exigidas en las normativas internacionales a este tipo de instrumental.

Los acelerómetros empleados y sus accesorios, junto con la unidad de adquisición Svantek para las vibraciones, son instrumentos de medida de alta precisión que poseen un tratamiento especial de calibración e acuerdo con instrucciones referenciadas en el sistema de dnata medio ambiente, S.L.

Dichas calibraciones se realizan por laboratorios de calibración acreditados por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC). Además, en cada proceso de medición son verificados antes y después de las mediciones con el fin de comprobar su correcto funcionamiento.

6. PARÁMETROS, DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

- Vibraciones de fondo.* Vibraciones en situación Preoperacional, es decir, vibraciones en la situación actual sin ningún elemento perturbador funcionando ajeno a la situación real de la zona.
- Vibraciones procedentes del elemento excitador.* Entendemos por tales, las que son introducidas de forma directa e indirecta por el elemento excitador (rodillo de 5tm).
- Vibraciones globales.* Vibraciones de fondo + Vibraciones procedentes del elemento excitador.
- Periodo de medición.* Intervalo de tiempo durante el cual los equipos de medida ofrecen datos de los niveles de vibraciones en cada punto de medición.

Las aceleraciones de las vibraciones pueden venir expresadas de las dos formas siguientes:

En ms^{-2} , - $\langle a, aaE^{-bb} \rangle$, siendo igual a $\langle a, aa \times 10^{-bb} \rangle$. Es decir, si el valor expresado es $2,34E^{-03}$, éste equivale a $2,34 \times 10^{-3}$, o lo que es lo mismo: 0,00234.

En dB ref. $10^{-6} ms^{-2}$.

- PV.* Punto de muestreo de niveles de Vibraciones.
- Pmaq.* Punto de Muestreo de niveles de vibraciones en origen, es decir, junto al sistema excitador.
- Pedif.* Punto de Muestreo de niveles de vibraciones en la base del edificio, a cota 0m.

F6-G61203

dnata medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnata.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones
Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 13 de 49

- *Pbase*. Punto de Muestreo de vibraciones situado a una distancia suficiente alejada del sistema excitador o en límite de propiedad.
- *Pinter*. Punto de control de Muestreo de niveles de vibraciones ubicado entre *Pmaq* y *Pedif/Pbase*.
- *Pplan*. Punto de Muestreo de niveles de vibraciones en planta de edificación, a cotas variables.
- *ATE_ver*. Atenuación de los niveles de vibraciones en el eje vertical.
- *ATE_par*. Atenuación de los niveles de vibraciones en el eje paralelo a la línea de fachada de los edificios muestreados.
- *ATE_per*. Atenuación de los niveles de vibraciones en el eje perpendicular a la línea de fachada de los edificios muestreados.

7. DESCRIPCIÓN Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

7.1. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio queda delimitada exclusivamente por el recorrido definido para el *Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión*.

Para el desarrollo del presente estudio nos ceñiremos a la base de aquellas edificaciones cuyas fachadas se encuentran próximas a la ubicación de los ejes de vía dentro del recorrido que ha sido establecido para el tramo ferroviario objeto de análisis. Este recorrido será desglosado en un total de tres secciones para su análisis y caracterización desde el punto de vista vibratorio, secciones que corresponderán con una edificación específica para su estudio particular y suelo a caracterizar.

Estas secciones se harán coincidir principalmente con aquellas zonas en las que el trazado de la vía se sitúa próximo a fachada de edificaciones y se consideren potencialmente susceptibles de padecer afección de naturaleza vibratoria a raíz de la actividad generada por la infraestructura proyectada para su ejecución.

Dichas secciones van a ser identificadas por puntos kilométricos para su estudio tal y como queda de manifiesto en el apartado de resultados de las mediciones desarrollado a tal efecto. Para ello, estableceremos puntos de control donde ubicar los acelerómetros con los que conocer los niveles de vibraciones presentes en estado preoperacional, así como obtener una caracterización del terreno “*in situ*” mediante la acción de un elemento estimulador del mismo quedando éste materializado en un rodillo. Como complemento o alternativa a la utilización del citado elemento mecánico, se empleará la base de datos disponible por *dnota medio ambiente, S.L.* o información facilitada por el promotor al respecto, con los datos correspondiente a la transmisibilidad vibratoria del espacio donde realizar los correspondientes cálculos de inmisión vibratorios.

Indicar que a la hora de desarrollar el presente estudio de vibraciones se ha partido de las siguientes premisas y observaciones: Buen estado de mantenimiento de los raíles y ruedas del elemento móvil; ya que la presencia

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones
Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 14 de 49

de rugosidades puede ocasionar un aumento en los niveles de vibraciones generables por la circulación del elemento móvil, un grado de deflexión del carril inferior a 3mm., y por extensión, descarte de posibles uniones de hormigón y plataforma a modo de puentes de transmisión.

Para edificaciones de diferentes alturas se incorporará un factor de corrección que contempla posibles amplificaciones de los niveles vibratorios asociados a propagación estructural.

Por otro lado, debemos aclarar el uso de pasos de trenes para establecer un punto de partida con objeto de estar en conocimiento de la situación actual de la zona; valorando los niveles vibratorios generados por la actividad ferroviaria en enclaves específicos asociados a tramos de servicio tranviario próximos al proyectado para su ejecución.

7.2. DATOS BÁSICOS

7.2.1. Cartográficos

Planimetría de la zona de estudio facilitada por AYESA.

7.2.2. Geológicos

Geología regional.

La ciudad de Sevilla se enclava en el centro de una amplia llanura fluvial conformada por el río Guadalquivir, cuyos bordes presentan una acusada disimetría originada por la diferente constitución geológica de ambas márgenes.

El borde Oeste del Aljarafe limita de forma brusca con la llanura aluvial del río, generando de un escarpe rectilíneo de entre 60 a 100 m de desnivel, constituido por materiales de edad Terciaria (Plioceno-Mioceno) compuesto de margas, limos y arenas.

Volviendo al centro de la llanura que ocupa la ciudad, el río discurre por la misma con un trazado sinuoso de meandros que cruza la ciudad de Norte a Sur recibiendo los arroyos Rivera de Huelva, Tagarete, Tamarguillo y Guadaira.

El carácter divagante del río además, dio lugar en el pasado a la formación de meandros o de cortas naturales hoy aterradas que discurren por zonas céntricas de la actual ciudad.

Estableciendo un perfil representativo medio del subsuelo bajo la ciudad, situaríamos en la zona más baja a las denominadas "Margas Azules" del Mioceno, cuyo techo se localiza a profundidades entre los 5,00–6,00 m en la zona norte y los 25 m en el sector centro-oeste.

Por encima se sitúan sedimentos cuaternarios de origen fluvial integrados por gravas arenosas, de compacidad en general elevada. A las gravas se superponen un conjunto de arenas limosas y limos arenosos

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com

de hasta 10 m de espesor. Finalmente los suelos más superficiales corresponden a arcillas de tonalidades mayoritarias marrones, a veces grisáceas, de media a baja consistencia.

El espesor de los distintos conjuntos es muy variable de unos sectores a otros de la ciudad por el propio origen fluvial de dichos depósitos. Ligado al río Guadalquivir se desarrolla un nivel freático bajo toda la ciudad cuya profundidad es variable de unos puntos a otros en función de la cota topográfica y de condicionantes locales pudiendo oscilar entre los 2-3 m hasta los 9 m. Este nivel es además susceptible de variación con las oscilaciones del río.

También hay que indicar la frecuente formación de niveles freáticos colgados en los niveles arcillosos superiores por filtraciones superficiales y roturas de tuberías o saneamientos, que no deben de confundirse con el principal del río.

Litología

En los sondeos realizados se ha reconocido un primer nivel de relleno actual con un espesor medio de unos 2 m. A continuación se detecta arcilla arenosa hasta una profundidad de entre 4 y 10 m. Este nivel arcilloso tiene un contenido de arena y limo creciente con la profundidad, habiéndose detectado en algunos sondeos intercalaciones limosas. Bajo el mismo, aparece un nivel de arena que alcanza entre 9 y 14 m de profundidad.

Aparece un nivel de grava a partir de una profundidad media de unos 11 m y con un espesor variable entre 2 y 7 m. Finalmente, a partir de unos 16 a 20 m de profundidad, y hasta la base de los sondeos, se reconoce el sustrato de arcilla margosa.

7.2.3. Inventario de edificaciones

Inventario de las edificaciones presentes en el espacio objeto de estudio facilitado por AYESA.

7.2.4. Características del material móvil

A continuación describimos las características básicas generales asociadas al elemento móvil que se pretende emplear en el Metro de Sevilla.

Metro de Sevilla		
Máxima Carga por Eje		108kN
Máxima Velocidad		50km/h
Rango Velocidades Alcanzables Entre Parada y Máxima del Tramo		0km/h – 50km/h
Cargas	Distancia entre ejes de un bogie	1,80m
	Distancia entre bogies externo/interno	11,04m
	Distancia entre bogies interno/interno	4,59m
Diámetro Rueda Nueva/Gastada		590/560mm

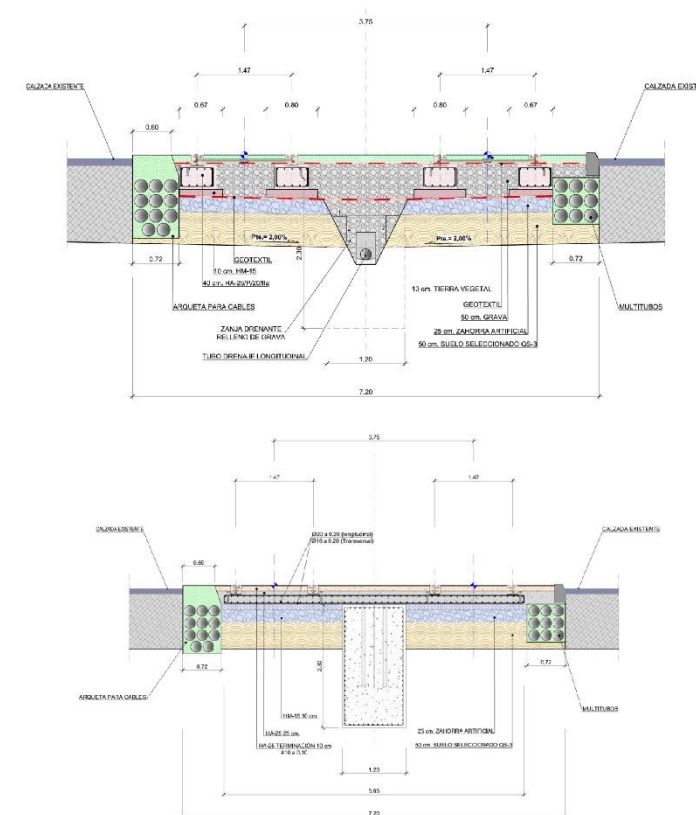
F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Pol. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com

Metro de Sevilla	
Ancho de Vía	1.435mm
Longitud Máxima del Tren	42,30m
Deflexión Máxima	3,00mm
Amplitud Térmica de la Vía	máx. 40°C
Aceleración Máxima	1,20m/s²

7.2.5. Perfiles de las secciones tipo propuestas

A continuación se exponen las diferentes modalidades tipo de plataforma representativas propuestas para su ejecución en el *Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión*.



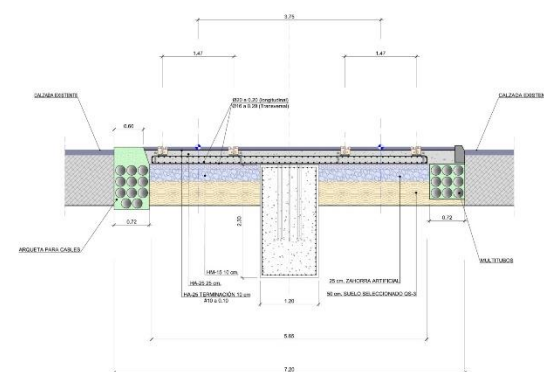
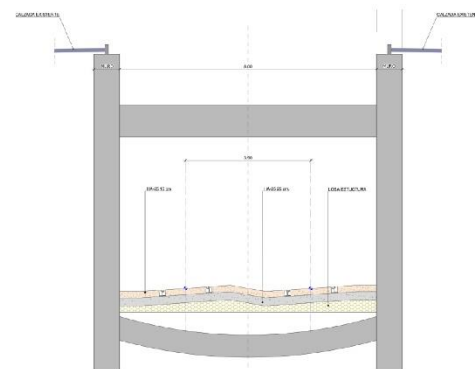
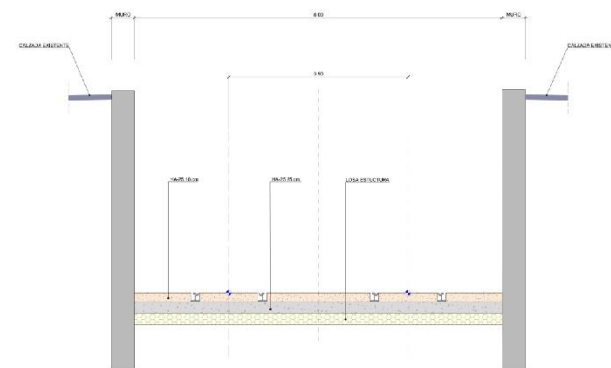
F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Pola. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com

d.nota

Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 17 de 49



F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com

d.nota

Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 18 de 49

7.3. MÉTODOS DE ENSAYO PARA DETERMINACIÓN DE VIBRACIONES

Se han empleado dos métodos de ensayo diferentes para la obtención de los niveles de vibraciones. El primero de ellos, se utiliza para facilitar los niveles de vibración de fondo que existen en la zona y que servirá para corregir las aceleraciones procedentes del elemento vibrátil, mientras que el segundo método, es un método desarrollado por *dnota medio ambiente, S.L.* para la obtención de la atenuación del valor de las vibraciones generadas en un rango de frecuencias específicas. A continuación se describen ambos:

7.3.1. Método de ensayo oficial para la determinación de vibraciones de fondo

El método de ensayo para valorar las vibraciones de fondo, es el descrito en el Procedimiento Específico AV-1203.e06 (*Procedimiento Específico para la Medición de las Vibraciones*), basado en las normas ISO 2631-2:1989 y ISO 2631-2:2003. *Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2: Continuous and shock-induced in buildings (1 to 80 Hz)* y en el Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, y se modifica el Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética.

Consiste, en determinar la aceleración de las vibraciones con la actividad generadora de las mismas en funcionamiento y apagada, con motivo de conocer las diferencias existentes. En este caso, tan sólo tenemos la opción de medir los niveles de vibraciones existentes actualmente, por tanto, se ofrecen resultados de los niveles de vibraciones de fondo.

Todos los valores de incertidumbre asociada a los resultados obtenidos, expresados en el documento, hacen referencia a un factor de cobertura de $K = 2$. Para cada uno de los valores de aceleración en tercios de octava incluidos en el presente informe, la incertidumbre es del 8% del valor en cuestión.

A la hora de realizar los ensayos y cálculos, se han considerado:

- Las vibraciones medidas se consideran continuas.
- La duración de los ensayos de vibraciones es de 1 minuto como mínimo en continuo por punto de medición integrándose en dicho periodo temporal los niveles obtenidos tras la excitación del terreno a caracterizar.
- Los muestreos se ejecutan preferentemente en las inmediaciones a edificaciones de uso residencial o con características más restrictivas.

Los parámetros a determinar, según los requerimientos del Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, y se modifica el Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética, junto con la Ordenanza Municipal de Protección Contra la Contaminación Acústica de Sevilla, es el índice de

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 19 de 49

vibración L_{aw} con ponderación w_m en la banda de tercios de octava entre 1Hz y 80Hz según define la ISO-2631:2. El eje utilizado como referencia de medición es el global fruto de la suma energética de los tres ejes de coordenadas X, Y, Z.

7.3.2. Método de ensayo para estudio predictivo

El objetivo de este método es conocer el nivel de atenuación, en términos vibratorios, existente en el terreno circundante al trazado propuesto para el Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión.

Para ello, el método está basado en datos experimentales obtenidos a partir de una campaña de medición de la aceleración de las vibraciones "in situ" en la zona de estudio y cálculos analíticos. Posteriormente, se determinan los niveles de recepción de vibraciones en aquellas zonas sensibles que se han estimado oportunas por su ubicación respecto al trazado.

Es importante citar que, a diferencia de lo que sucede con la propagación acústica aérea, a día de hoy no existe un estándar que especifique cómo debe establecerse un modelo numérico - teórico para la previsión de la propagación vibratoria en el terreno y edificación. Para ello, previa evaluación de la zona a analizar, se han propuesto 4 edificaciones para la determinación o valoración del comportamiento atenuador/amplificador del terreno bajo análisis.

Para estas edificaciones y espacios seleccionados, ha sido comprobado el comportamiento del suelo en cuanto a la transmisión de vibraciones. Para ello se ha empleado la amplia base de datos disponible por *dnota medio ambiente, S.L.* en cuanto a diferentes modalidades de terreno caracterizados en diferentes campañas de vibraciones realizadas en el casco urbano de Sevilla en años anteriores. De todas las muestras obtenidas, se emplea para cada zona de estudio, aquella que se ajusta a las condiciones geotécnicas del terreno presente en la zona. En la realización de dichas campañas de vibraciones preliminares, se colocaron sensores secuencialmente en diferentes emplazamientos situados entre la fuente controlada de excitación y la base de la edificación. Los datos obtenidos constituyen un valiosa fuente de información de cara al desarrollo del estudio predictivo de posibles afecciones por vibraciones a abordar.

Como ha sido comentado, se han establecido un total de 3 puntos de muestreo situados en las inmediaciones a diferentes edificaciones ubicadas a lo largo del trazado establecido. Estas edificaciones han sido elegidas fundamentalmente por su proximidad al recorrido y por el uso que poseen, a saber: docente y residencial, por lo que presentarán unos valores más restrictivos en cuanto a niveles de recepción de vibraciones permisibles.

Las campañas de mediciones han sido elaboradas de acuerdo a una configuración bien definida con la que poder determinar el comportamiento tanto del terreno como de la edificación de cara a la transmisión de las vibraciones:

- Colocación de acelerómetros en línea desde la zona de ubicación de la fuente excitadora situada próxima al eje de la plataforma proyectada sobre el plano horizontal en superficie de la futura infraestructura a implantar. Se colocarán un total de 3 acelerómetros de manera progresiva, el último

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 20 de 49

en cuestión estará situado junto a la base del edificio o en un punto suficientemente alejado de la fuente de excitación controlada, mientras que el primero se ubicará a 1 m. del instrumento generador de vibraciones y un segundo sensor se situará entre éste y el punto anteriormente mencionado.

Los datos disponibles de caracterización del suelo serán empleados para establecer diversos cálculos numéricos que permitan determinar el nivel de atenuación que introduce las distintas zonas seleccionadas.

Para llevar a cabo el estudio predictivo de las atenuaciones del nivel de vibraciones en la zona, se utilizó como elemento excitador del terreno un rodillo con una masa de 700Kg., como ya se ha comentado. Dicho elemento es accionado en determinados puntos, intentando hacerlo coincidir, en la medida de lo posible, lo más cercano posible a la ubicación del eje del trazado proyectando éste en superficie según el plano horizontal.

Gracias a la actividad de nuestra fuente controlada de vibraciones, se registraron progresivamente en tres puntos distintos (Pmaq, Pinter y Pbase) los niveles de aceleración en cada banda de frecuencia (análisis FFT y CPB con filtros digitales). Una vez cesada la actividad del rodillo, y/o previa a ella, se obtuvieron adicionalmente los niveles de vibraciones de fondo. A partir de todos los datos obtenidos, se realizan una serie de cálculos de manera que conseguimos una aproximación a los valores de atenuación introducidos por cada área o zona de medición.

Es de destacar, que para frecuencias muy bajas (inferiores a 12,5Hz, dentro del rango de trabajo previsto, es difícil conseguir sistemas móviles que exciten con suficiente nivel como para ser registrado en el receptor a distancias relativamente cortas. Se pretende caracterizar el área de estudio en su conjunto, así pues, los puntos de muestreo están distribuidos teniendo en cuenta los edificios cuya proximidad al trazado sea máxima, por el uso que disponen y velocidad de circulación del elemento rodante. Para ello, se realizaron mediciones respecto a 3 edificaciones ubicadas a lo largo del recorrido ya comentado a estructuras próximas a éste. El objetivo es determinar los niveles de atenuación/amplificación que introduce el terreno y el comportamiento vibratorio del edificio de cara a una posible afección por vibraciones cuando quede instaurada la infraestructura a desarrollar.

Por tanto, se han determinado los niveles de vibración en la zona de excitación (zona próxima a la situación de la vía del Metro), en la zona de recepción (base de las edificaciones a proteger o en un punto próximo a éste), y en una zona intermedia respecto a los anteriormente indicados. De esta forma, se conocerá la evolución de los niveles de vibración en función de la distancia.

Una vez obtenidos los niveles de vibración, se han calculado los niveles de atenuación y/o amplificación entre la plataforma y la línea de edificación preseleccionada. A partir de los datos anteriores, se estima el nivel máximo permisible para cada banda de frecuencias en el foco emisor, es decir, se obtiene el espectro máximo con el que se podrá excitar el suelo bajo la vía para no superar el índice L_{aw} establecido por la normativa local en materia de ruido y vibraciones a tal efecto aplicable en función de la tipología de uso de los edificios.

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligeró en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 21 de 49

8. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VIBRACIONES

8.1. Niveles de atenuación de vibraciones (Método Experimental)

Tipo de ensayo	Caracterización vibratoria del terreno. Transmisibilidad
Punto de Muestreo	PV01. Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas
Tramo	San Bernardo – Centro Nervión
Punto Kilométrico – Margen	0 + 130 – Margen izquierdo
Descripción del trazado	En superficie
Fecha de ensayo	14 de noviembre del 2018
Equipos de medida	Analizador de Vibraciones Svantek. Modelo SVAN 958. Número de serie: 15490

Imagen representativa de la zona de ensayo vibratorio.



F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligeró en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 22 de 49

Tabla de valores obtenidos de la excitación del terreno mediante el empleo de elementos mecánicos.
Información obtenida de la base de datos de *dnota medio ambiente, S.L.* para suelos de similares
características geológicas para el casco urbano de Sevilla en la zona.

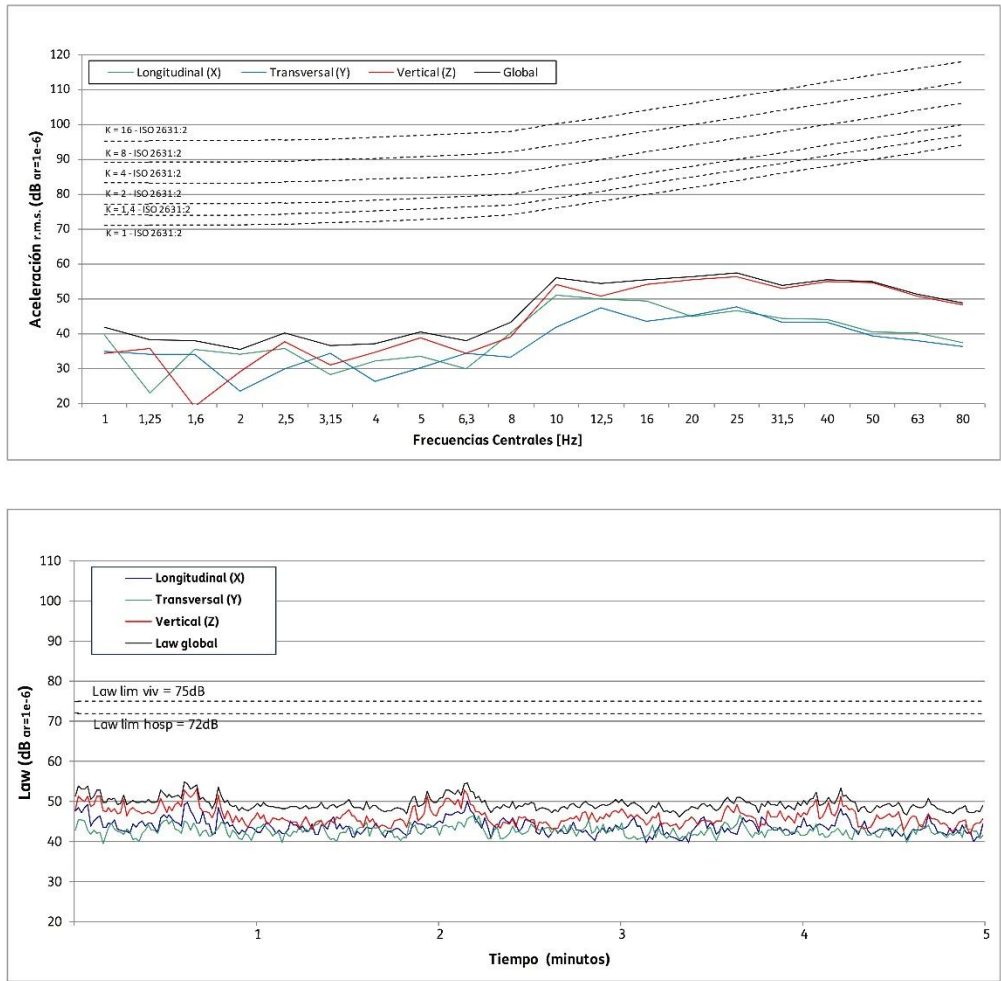
CPB	Pmaq			Pinter			Pedif		
	Dirección VERTICAL			Dirección VERTICAL			Dirección VERTICAL		
Hz	OFF	ON	Proced	OFF	ON	Proced	OFF	ON	Proced
1	36,6	44,5	43,7	41,7	39,6	39,6	36,9	31,0	31,0
1,25	40,7	46,5	45,2	32,9	41,4	40,7	45,4	39,1	39,1
1,6	43,6	43,7	43,6	38,6	36,5	36,5	33,2	40,3	39,4
2	40,9	44,7	42,3	35,5	37,5	35,5	37,2	46,4	45,8
2,5	40,5	44,1	41,6	39,3	37,1	37,1	33,3	43,3	42,8
3,15	40,4	50,4	49,9	39,4	34,7	34,7	32,3	41,5	40,9
4	40,6	39,4	39,4	35,3	41,3	40,1	39,2	43,9	42,0
5	38,7	42,6	40,4	39,6	44,1	42,2	42,6	40,7	40,7
6,3	46,0	40,9	40,9	37,1	40,6	38,1	40,2	40,0	40,0
8	45,5	42,5	42,5	40,9	42,5	40,9	40,7	42,6	40,7
10	44,7	44,9	44,7	38,5	40,9	38,5	39,6	41,0	39,6
12,5	44,6	70,5	70,5	40,6	64,1	64,1	39,6	55,8	55,7
16	45,5	99,0	99,0	41,1	92,6	92,6	40,1	84,2	84,2
20	46,4	87,5	87,5	43,7	81,2	81,2	41,0	73,0	73,0
25	53,6	73,1	73,0	47,2	67,0	67,0	43,6	53,5	53,0
31,5	51,8	101,0	101,0	52,2	95,0	95,0	44,1	80,1	80,1
40	53,0	92,3	92,3	49,3	85,1	85,1	40,3	70,5	70,5
50	67,9	112,9	112,9	60,8	103,3	103,3	51,2	89,6	89,6
63	65,4	105,6	105,6	57,8	89,8	89,8	44,1	87,1	87,1
80	48,4	102,7	102,7	50,2	93,7	93,7	44,7	85,4	85,4
100	53,0	97,3	97,3	49,5	82,1	82,1	46,7	79,8	79,8
125	48,3	104,7	104,7	46,7	85,5	85,5	44,4	69,9	69,9
160	57,6	106,2	106,2	49,0	83,3	83,3	43,2	65,4	65,3
200	51,8	100,2	100,2	54,6	89,0	89,0	46,6	71,0	71,0
RMS 1 a 80Hz	70,2	114,4	114,4	63,7	104,8	104,8	55,9	93,4	93,4
RMS 1 a 125Hz	70,3	114,9	114,9	64,0	104,9	104,9	56,6	93,6	93,6
RMS 1 a 200Hz	70,6	115,6	115,6	64,6	105,0	105,0	57,2	93,6	93,6

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com

MEDICIÓN 1ª. PV01. Vibración residual registrada.

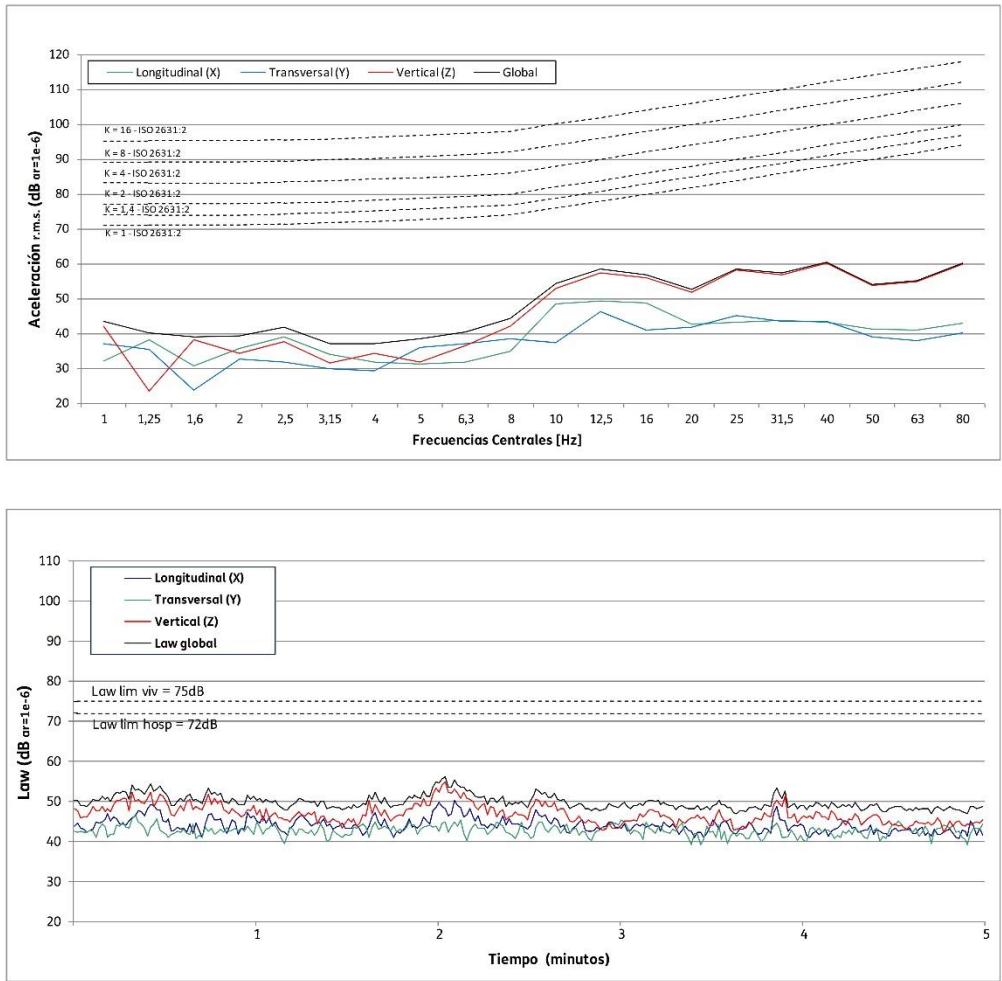
Medición de 5 minutos en continuo. Resultados del espectro de vibración y evolución de los niveles de inmisión L_{ow} en el dominio del tiempo registrados



Índice de inmisión L_{ow} máximo global medido: 55,0dB

MEDICIÓN 2ª. PV01. Vibración residual registrada.

Medición de 5 minutos en continuo. Resultados del espectro de vibración y evolución de los niveles de inmisión L_{ow} en el dominio del tiempo registrados



Índice de inmisión L_{ow} máximo global medido: 56,1dB

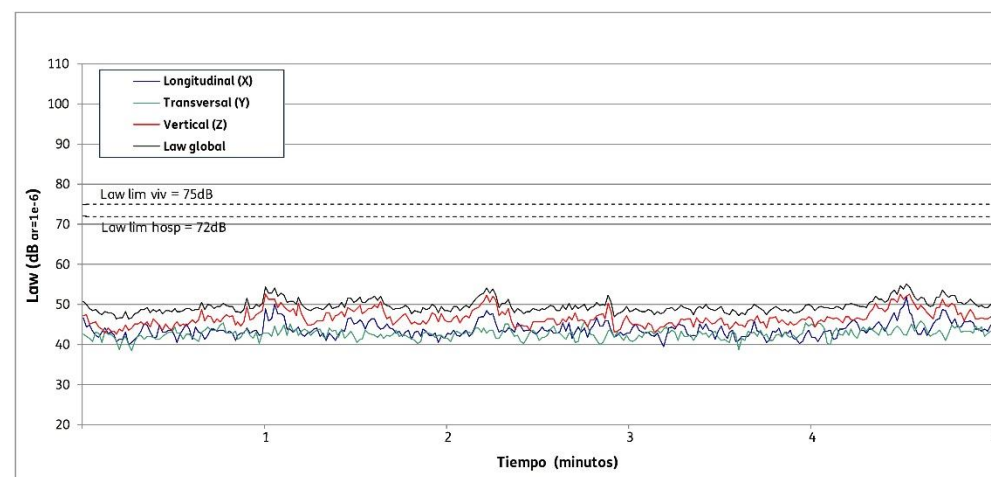
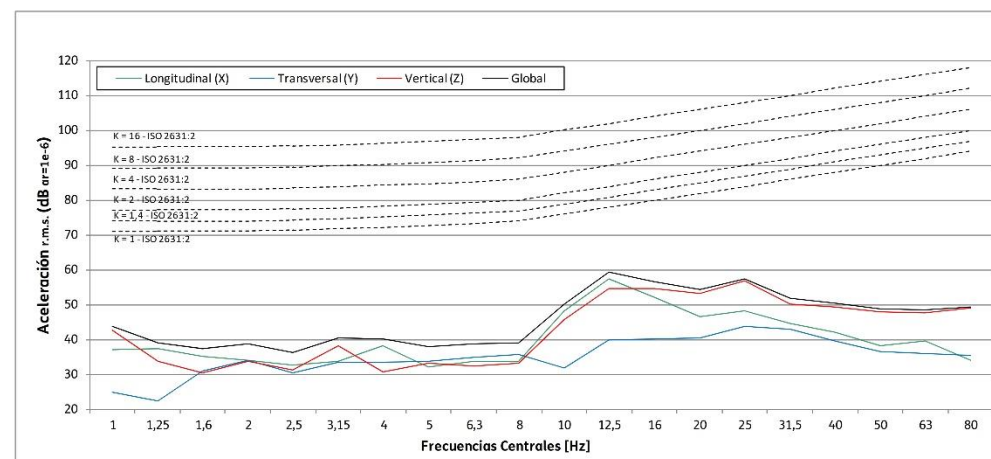


Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 25 de 49

MEDICIÓN 3ª. PV01. Vibración residual registrada.

Medición de 5 minutos en continuo. Resultados del espectro de vibración y evolución de los niveles de inmisión L_{ow} en el dominio del tiempo registrados



Índice de inmisión L_{ow} máximo global medido: 55,3dB

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com

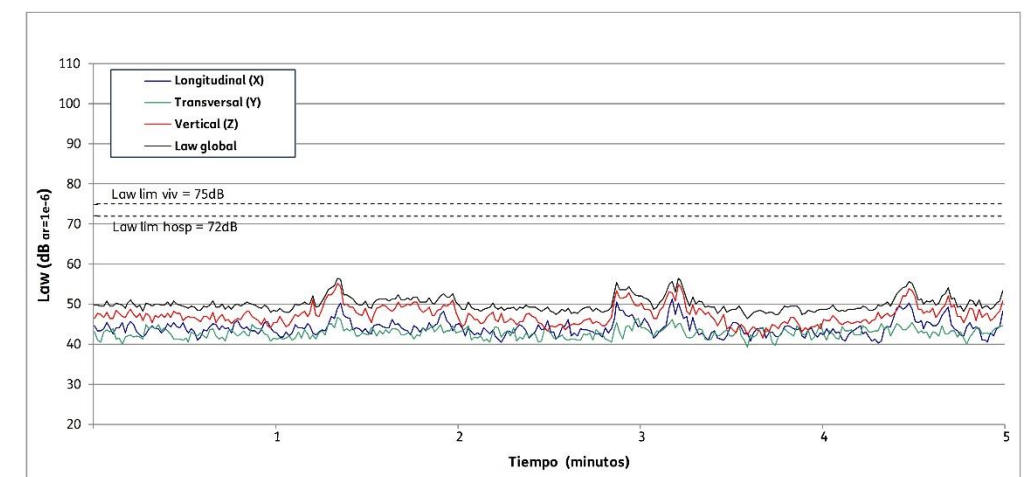
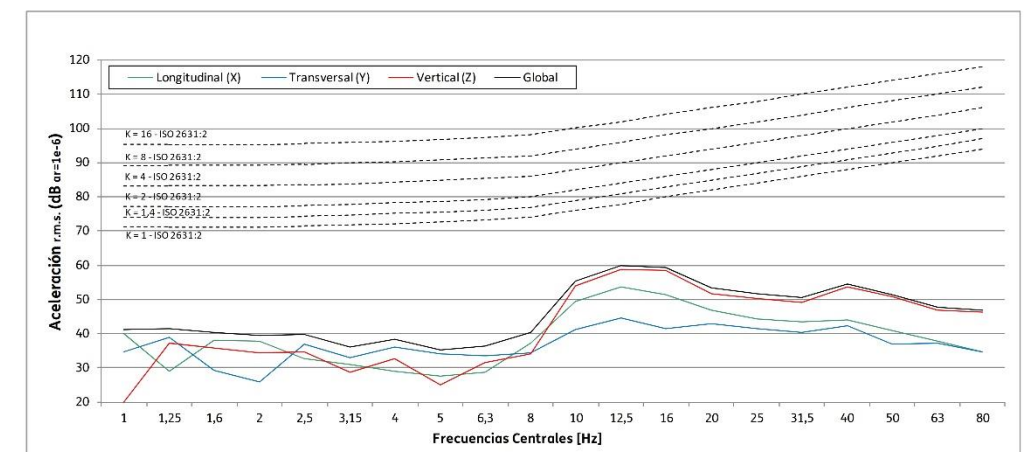


Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 26 de 49

MEDICIÓN 4ª. PV01. Vibración residual registrada.

Medición de 5 minutos en continuo. Resultados del espectro de vibración y evolución de los niveles de inmisión L_{ow} en el dominio del tiempo registrados.



Índice de inmisión L_{ow} máximo global medido: 56,5dB

F6-G61203

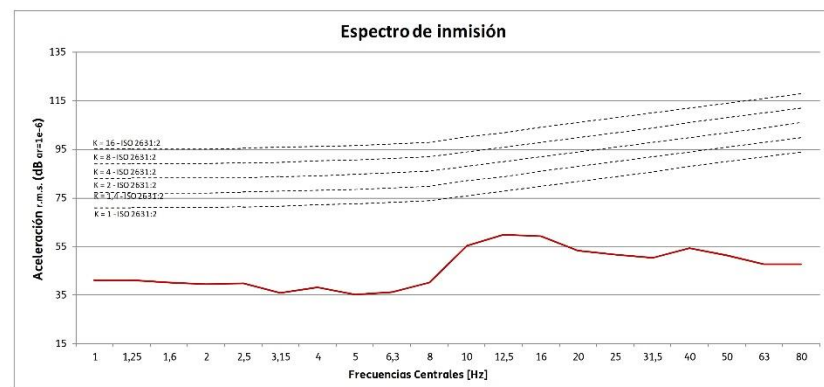
dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 27 de 49

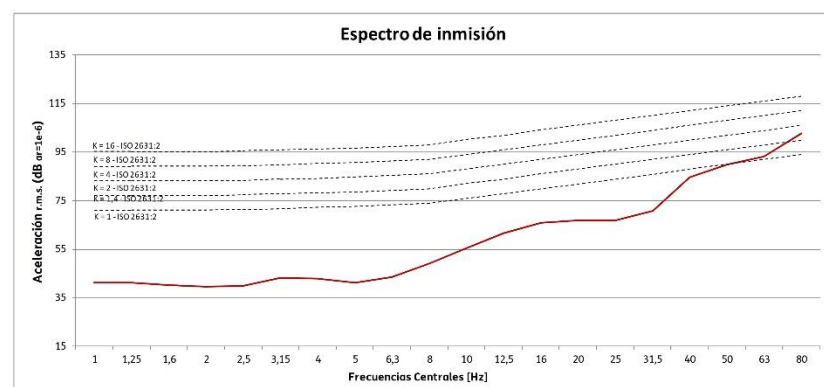
Espectro en frecuencia máximo previsto para la edificación de uso docente (Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas) bajo análisis comparado con el límite de inmisión vibratoria L_{aw} definido para dicha estructura según una velocidad de circulación del tranvía máxima de 50 Km/h en base a la sección tipo de plataforma propuesta para su ejecución en la zona.



Índice de inmisión L_{aw} máximo global previsto: 56,5dB

Límite normativo: 72dB

Espectro en frecuencia máximo previsto para el límite de propiedad del edificio de oficinas (Edificio Sevilla 1) bajo análisis comparado con el límite de inmisión vibratoria L_{aw} definido para dicha estructura según una velocidad de circulación del tranvía máxima de 30 Km/h en base a la sección tipo de plataforma propuesta para su ejecución en la zona.



Índice de inmisión L_{aw} máximo global previsto: 80,0dB

Límite normativo: 72dB (al tratarse de un edificio de interés cultural)

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 28 de 49

Espectro en frecuencia máximo previsto para el edificio de oficinas (Edificio Sevilla 1) bajo análisis comparado con el límite de inmisión vibratoria L_{aw} definido para dicha estructura según una velocidad de circulación del tranvía máxima de 30 Km/h en base a la sección tipo de plataforma propuesta para su ejecución en la zona. Cálculos realizados para una distancia aproximada de 25 metros entre eje de la vía y la localización de las oficinas correspondientes según la información proporcionada por el cliente.



Índice de inmisión L_{aw} máximo global previsto: 56,5 dB

Límite normativo: 72dB (al tratarse de un edificio de interés cultural)

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com

Tipo de ensayo	Caracterización vibratoria del terreno. Transmisibilidad
Punto de Muestreo	PV02. Avenida de San Francisco Javier nº2
Tramo	San Bernardo – Centro Nervión
Punto Kilométrico – Margen	0 + 715 – Margen izquierdo
Descripción del trazado	En superficie
Fecha de ensayo	14 de noviembre del 2018
Equipos de medida	Analizador de Vibraciones Svantek. Modelo SVAN 958. Número de serie: 15490

Imagen representativa de la zona de ensayo vibratorio.



Tabla de valores obtenidos de la excitación del terreno mediante el empleo de elementos mecánicos.
Información obtenida de la base de datos de *dnota medio ambiente, S.L.* para suelos de similares
características geológicas para el casco urbano de Sevilla en la zona.

CPB	Pmaq			Pinter			Pedif		
	Dirección VERTICAL			Dirección VERTICAL			Dirección VERTICAL		
Hz	OFF	ON	Proced	OFF	ON	Proced	OFF	ON	Proced
1	47,4	49,3	47,4	31,7	32,8	31,7	36,8	42,8	41,6
1,25	45,1	42,1	42,1	46,0	41,4	41,4	40,0	41,7	40,0
1,6	43,9	41,4	41,4	47,8	39,6	39,6	33,0	41,3	40,6
2	31,1	43,1	42,8	41,2	40,5	40,5	40,7	39,0	39,0
2,5	38,1	45,2	44,3	43,9	33,7	33,7	37,7	36,7	36,7
3,15	33,1	41,2	40,5	37,8	45,8	45,0	40,8	45,7	44,0
4	36,4	44,5	43,7	39,9	42,6	39,9	41,5	46,9	45,4
5	44,4	49,7	48,2	37,0	44,1	43,1	41,4	48,0	46,9
6,3	41,0	70,6	70,6	35,4	59,9	59,9	36,8	59,7	59,7
8	44,5	69,9	69,9	41,5	60,5	60,4	47,8	61,3	61,1
10	61,6	82,2	82,2	59,9	75,0	74,9	55,4	64,7	64,2
12,5	63,2	79,4	79,3	61,8	73,7	73,4	54,0	63,5	63,0
16	59,1	98,2	98,2	59,1	93,4	93,4	52,0	85,0	85,0
20	53,9	101,8	101,8	56,0	98,5	98,5	47,5	86,6	86,6
25	54,6	99,7	99,7	59,1	96,3	96,3	50,3	84,8	84,8
31,5	58,7	101,9	101,9	58,5	95,6	95,6	47,5	86,3	86,3
40	52,5	107,7	107,7	51,4	104,3	104,3	46,7	91,0	91,0
50	49,8	107,0	107,0	55,1	103,1	103,1	47,0	84,6	84,6
63	42,2	110,7	110,7	45,8	103,7	103,7	42,5	85,2	85,2
80	44,8	109,8	109,8	44,0	107,4	107,4	41,8	85,1	85,1
100	44,5	109,0	109,0	44,8	99,5	99,5	48,8	81,0	81,0
125	45,0	109,0	109,0	43,3	97,6	97,6	45,1	78,0	78,0
160	44,0	108,8	108,8	42,5	99,8	99,8	42,2	82,3	82,3
200	43,6	112,2	112,2	42,8	102,3	102,3	45,0	85,3	85,3
RMS 1 a 80Hz	67,9	115,7	115,7	67,7	111,6	111,6	60,9	95,7	95,7
RMS 1 a 125Hz	67,9	117,2	117,2	67,8	112,0	112,0	61,3	95,9	95,9
RMS 1 a 200Hz	68,0	118,8	118,8	67,8	112,7	112,7	61,5	96,5	96,5

MEDICIÓN 1ª. PV02. Vibración residual registrada.

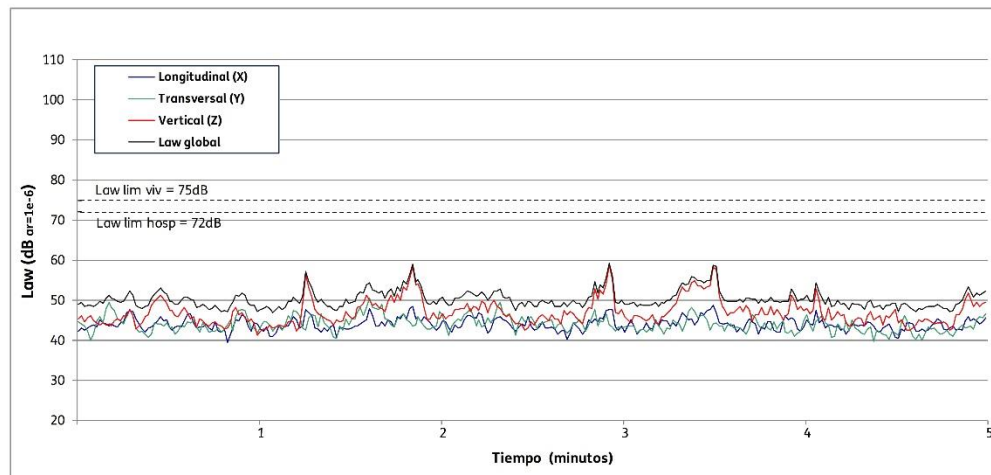
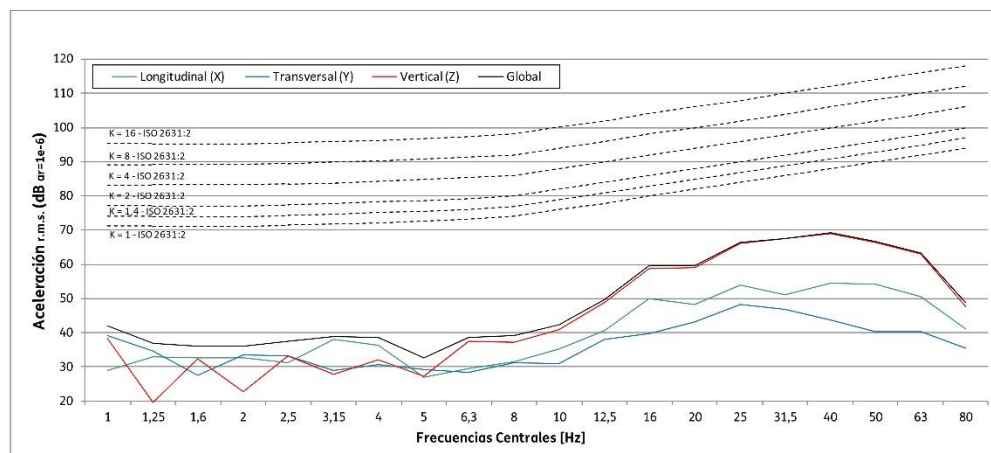


Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 31 de 49

MEDICIÓN 1ª. PV02. Vibración residual registrada.

Medición de 5 minutos en continuo. Resultados del espectro de vibración y evolución de los niveles de inmisión L_{aw} en el dominio del tiempo registrados



Índice de inmisión L_{aw} máximo global medido: 59,3dB

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com

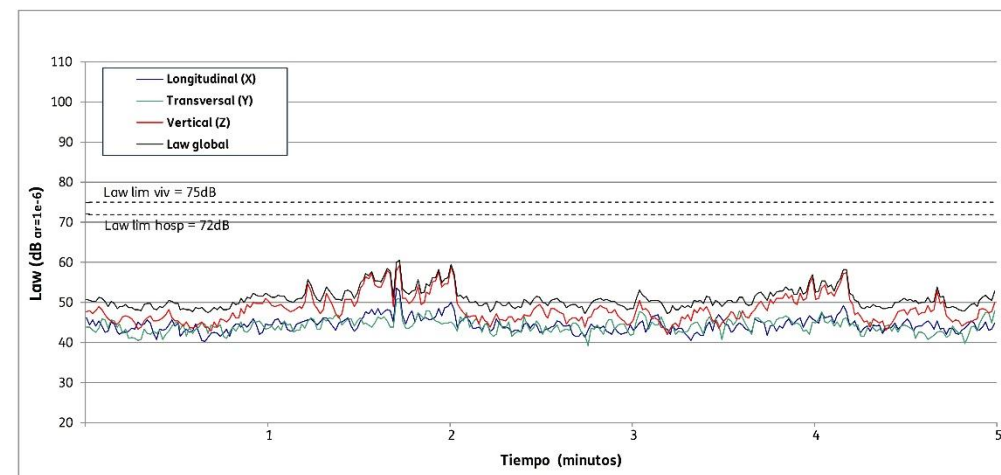
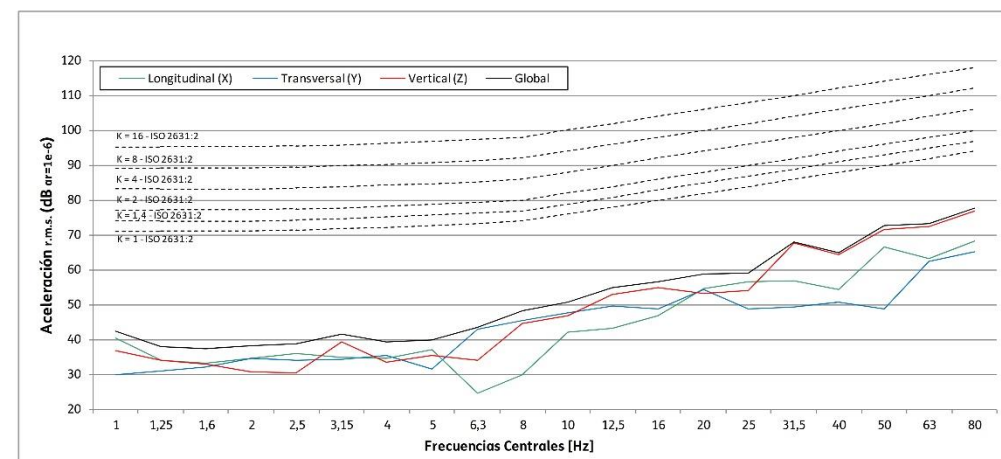


Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión
Laboratorio "in situ" de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 32 de 49

MEDICIÓN 2ª. PV02. Vibración residual registrada.

Medición de 5 minutos en continuo. Resultados del espectro de vibración y evolución de los niveles de inmisión L_{aw} en el dominio del tiempo registrados



Índice de inmisión L_{aw} máximo global medido: 60,6dB

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com

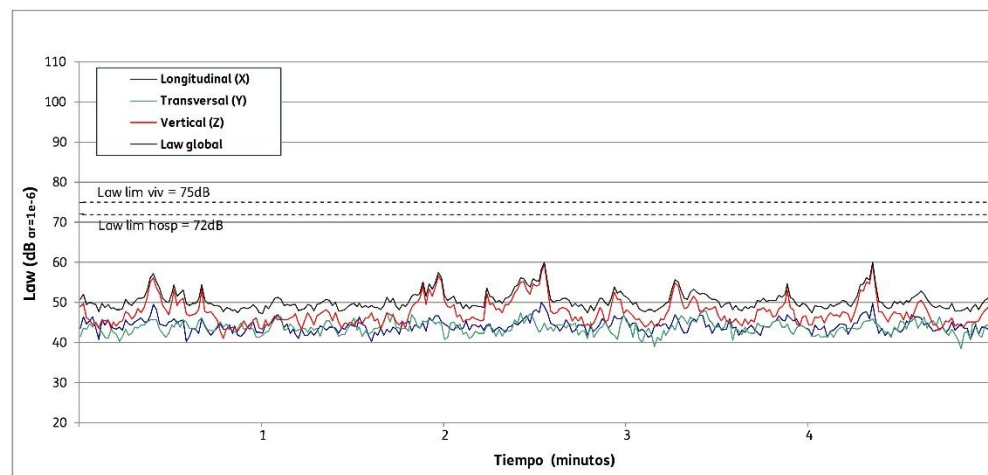
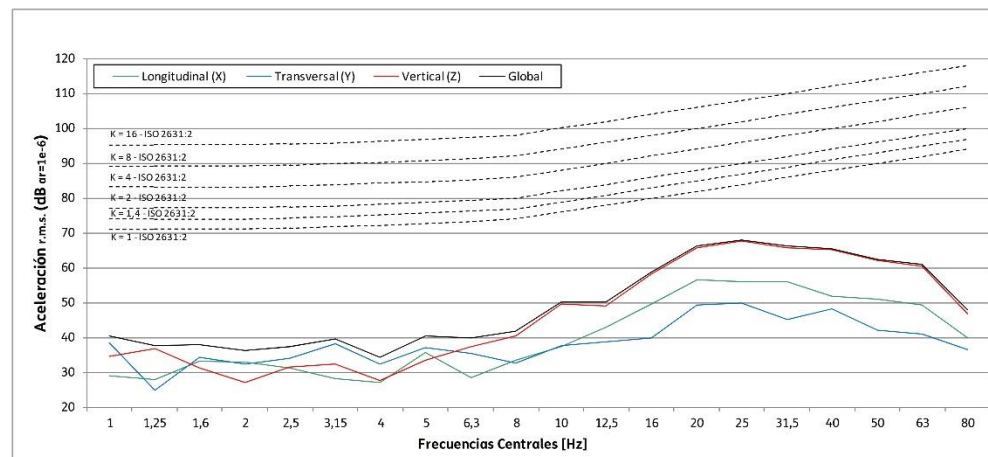


Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 33 de 49

MEDICIÓN 3ª. PV02. Vibración residual registrada.

Medición de 5 minutos en continuo. Resultados del espectro de vibración y evolución de los niveles de inmisión L_{ow} en el dominio del tiempo registrados



Índice de inmisión L_{ow} máximo global medido: 60,1dB

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-1 · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com

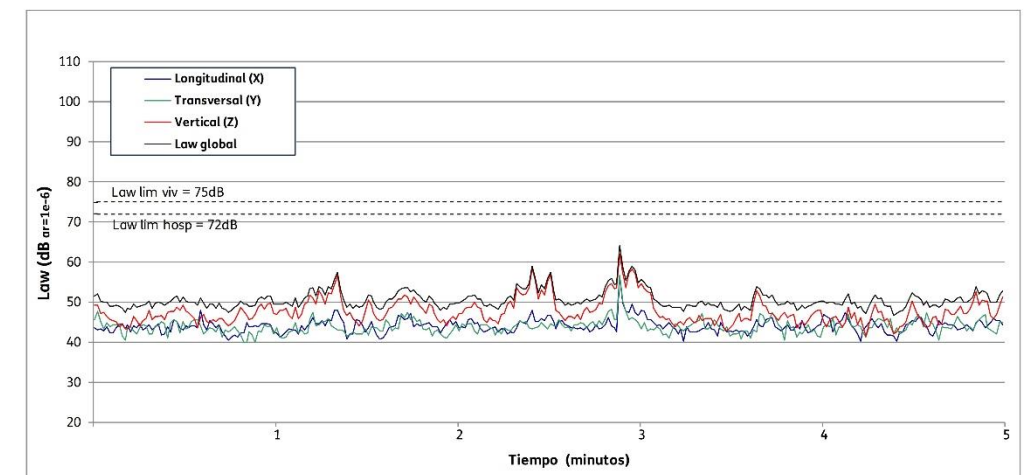
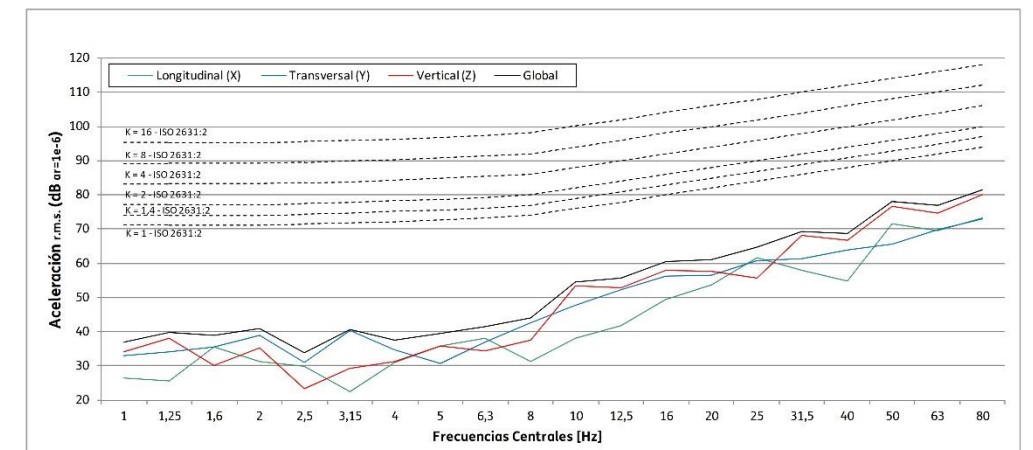


Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 34 de 49

MEDICIÓN 4ª. PV02. Vibración residual registrada.

Medición de 5 minutos en continuo. Resultados del espectro de vibración y evolución de los niveles de inmisión L_{ow} en el dominio del tiempo registrados

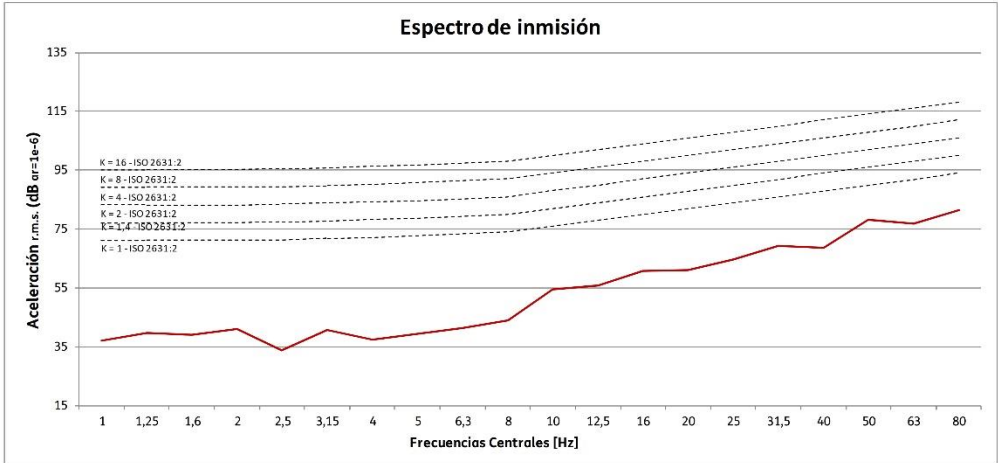


Índice de inmisión L_{ow} máximo global medido: 64,1dB

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-1 · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com

Espectro en frecuencia máximo previsto para la edificación de uso residencial bajo análisis comparado con el límite de inmisión vibratoria L_{aw} definido para dicha estructura según una velocidad de circulación del tranvía máxima de 50 Km/h en base a la sección tipo de plataforma propuesta para su ejecución en la zona.



Índice de inmisión L_{aw} máximo global previsto: 64,1dB
Límite normativo: 75dB

Tipo de ensayo	Caracterización vibratoria del terreno. Transmisibilidad
Punto de Muestreo	PV03. Calle Luis de Morales nº22
Tramo	San Bernardo – Centro Nervión
Punto Kilométrico – Margen	0 + 715 – Margen izquierdo
Descripción del trazado	En superficie
Fecha de ensayo	14 de noviembre del 2018
Equipos de medida	Analizador de Vibraciones Svantek. Modelo SVAN 958. Número de serie: 15490

Imagen representativa de la zona de ensayo vibratorio.



Tabla de valores obtenidos de la excitación del terreno mediante el empleo de elementos mecánicos.

 Información obtenida de la base de datos de *dnota medio ambiente, S.L.* para suelos de similares

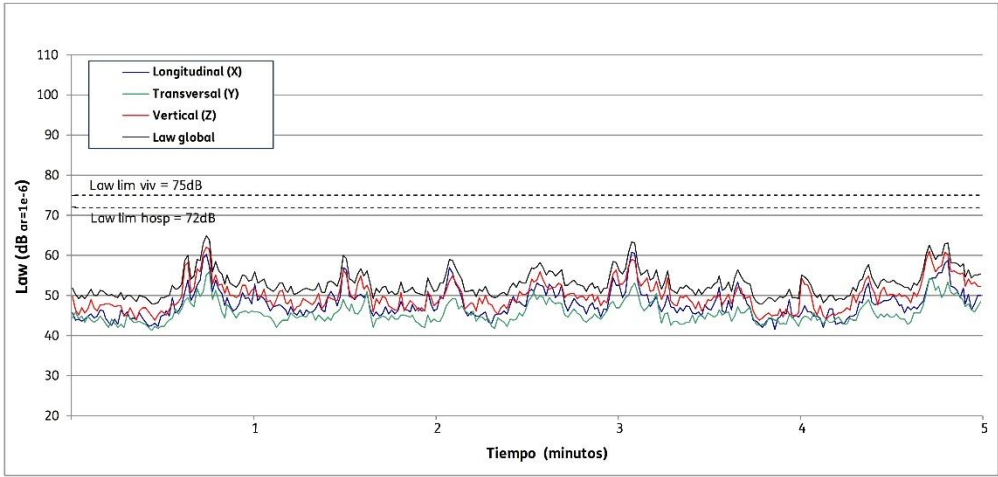
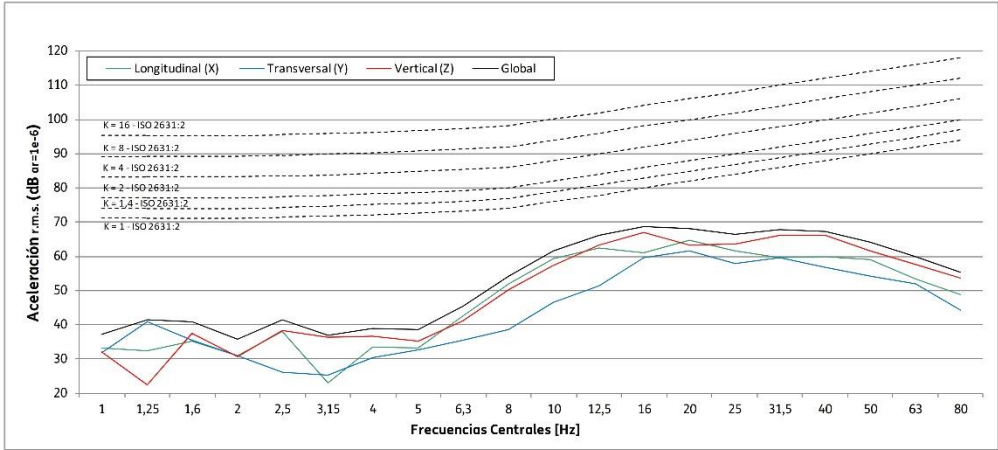
 características geológicas para el casco urbano de Sevilla en la zona.

CPB	Pmaq			Pinter			Pedif		
	Dirección VERTICAL			Dirección VERTICAL			Dirección VERTICAL		
Hz	OFF	ON	Proced	OFF	ON	Proced	OFF	ON	Proced
1	48,4	70,5	70,5	59,6	47,4	47,4	50,9	56,2	54,7
1,25	35,9	67,9	67,9	60,6	39,3	39,3	47,7	48,1	47,7
1,6	38,6	67,5	67,5	48,3	40,5	40,5	41,2	46,7	45,3
2	40,2	62,3	62,2	49,0	42,2	42,2	41,1	39,0	39,0
2,5	36,0	57,8	57,7	43,9	41,6	41,6	40,8	44,9	42,7
3,15	40,6	48,9	48,2	38,6	34,7	34,7	44,1	43,4	43,4
4	44,4	45,1	44,4	38,7	37,3	37,3	46,5	44,6	44,6
5	43,7	45,2	43,7	38,6	37,3	37,3	43,4	39,9	39,9
6,3	46,5	42,6	42,6	38,5	41,1	38,5	42,3	42,4	42,3
8	47,5	43,4	43,4	37,4	40,1	37,4	40,6	39,2	39,2
10	43,8	41,8	41,8	48,2	40,2	40,2	42,9	40,0	40,0
12,5	48,5	67,8	67,7	43,8	65,1	65,0	45,6	50,9	49,4
16	48,5	88,3	88,3	45,5	85,5	85,5	43,1	70,0	70,0
20	46,5	106,7	106,7	43,8	104,0	104,0	43,6	88,4	88,3
25	45,4	83,4	83,4	49,2	80,0	80,0	42,0	64,8	64,8
31,5	44,2	96,0	96,0	43,3	86,6	86,6	41,1	75,7	75,7
40	48,8	114,3	114,3	46,2	104,9	104,9	42,3	94,1	94,1
50	47,1	106,3	106,3	41,3	98,1	98,1	39,9	73,0	73,0
63	45,5	116,6	116,6	39,8	108,4	108,4	39,4	79,9	79,9
80	42,8	116,4	116,4	41,1	106,5	106,5	39,8	83,2	83,2
100	43,3	109,5	109,5	41,3	103,4	103,4	51,7	80,1	80,1
125	44,1	109,6	109,6	41,0	95,8	95,8	39,0	81,4	81,4
160	42,0	114,0	114,0	40,7	94,8	94,8	40,9	81,4	81,4
200	43,7	112,5	112,5	41,5	86,4	86,4	50,6	71,3	71,3
RMS 1 a 80Hz	58,5	121,0	121,0	64,1	112,5	112,5	57,1	95,6	95,6
RMS 1 a 125Hz	58,8	121,6	121,6	64,2	113,1	113,1	58,3	95,9	95,9
RMS 1 a 200Hz	59,0	122,7	122,7	64,2	113,2	113,2	59,0	96,1	96,1

MEDICIÓN 1ª. PV03. Vibración residual registrada.

Medición de 5 minutos en continuo. Resultados del espectro de vibración y evolución de los niveles de inmisión

 L_{ow} en el dominio del tiempo registrados



Índice de inmisión L_{ow} máximo global medido: 64,9dB



Estudio de Ruido y Vibraciones

Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión

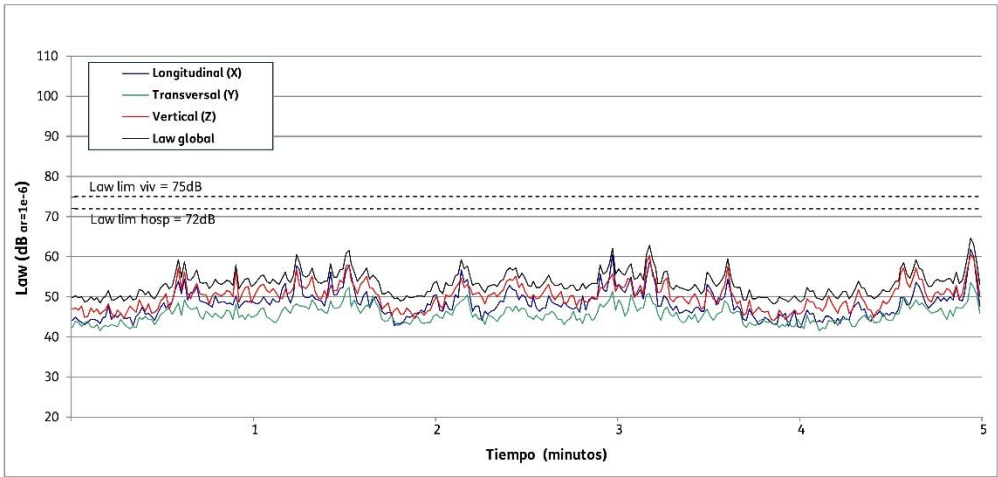
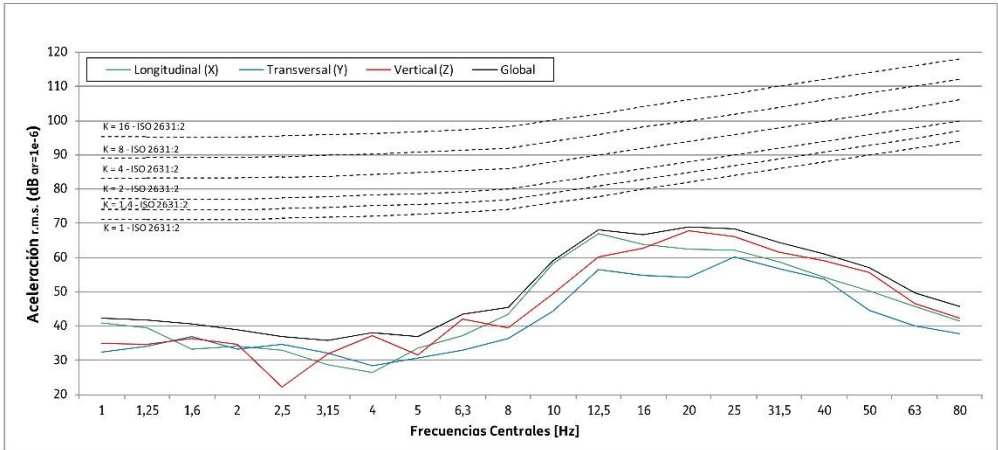
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00

Fecha: 15/11/18 Página: 39 de 49

MEDICIÓN 2ª. PV03. Vibración residual registrada.

Medición de 5 minutos en continuo. Resultados del espectro de vibración y evolución de los niveles de inmisión L_{aw} en el dominio del tiempo registrados



Índice de inmisión L_{aw} máximo global medido: 64,7dB

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-1 · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones

Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión

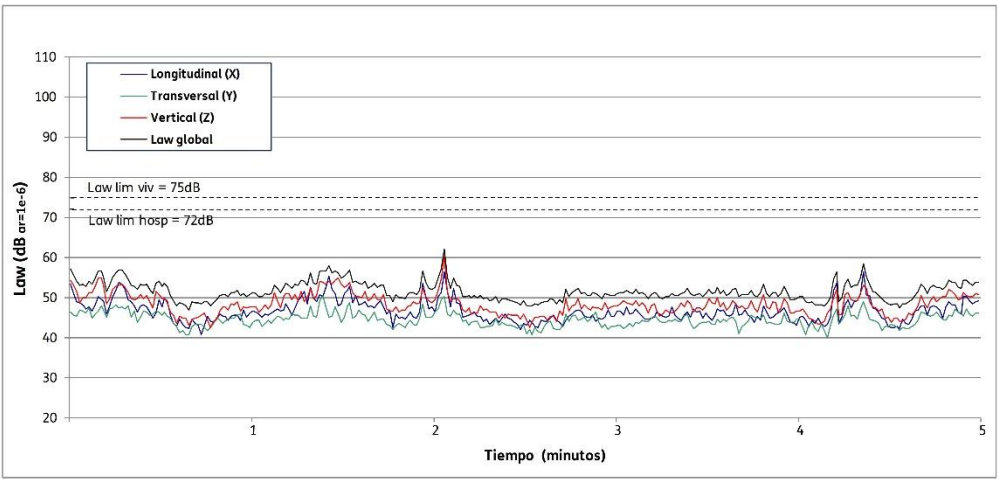
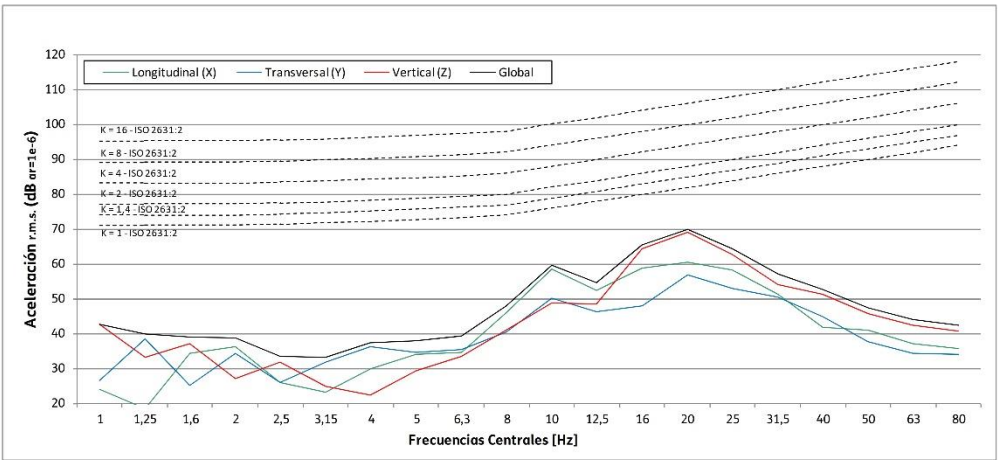
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00

Fecha: 15/11/18 Página: 40 de 49

MEDICIÓN 3ª. PV03. Vibración residual registrada.

Medición de 5 minutos en continuo. Resultados del espectro de vibración y evolución de los niveles de inmisión L_{aw} en el dominio del tiempo registrados



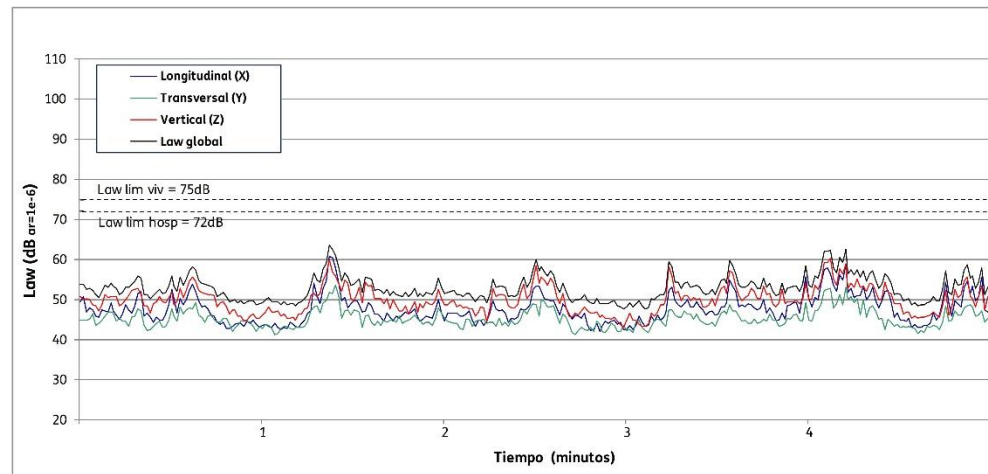
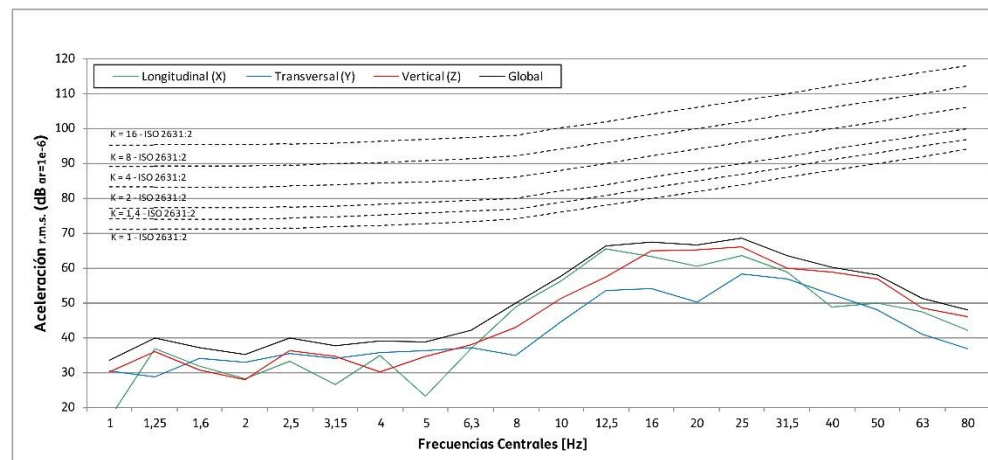
Índice de inmisión L_{aw} máximo global medido: 62,1dB

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-1 · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com

MEDICIÓN 4ª. PV03. Vibración residual registrada.

Medición de 5 minutos en continuo. Resultados del espectro de vibración y evolución de los niveles de inmisión L_{ow} en el dominio del tiempo registrados

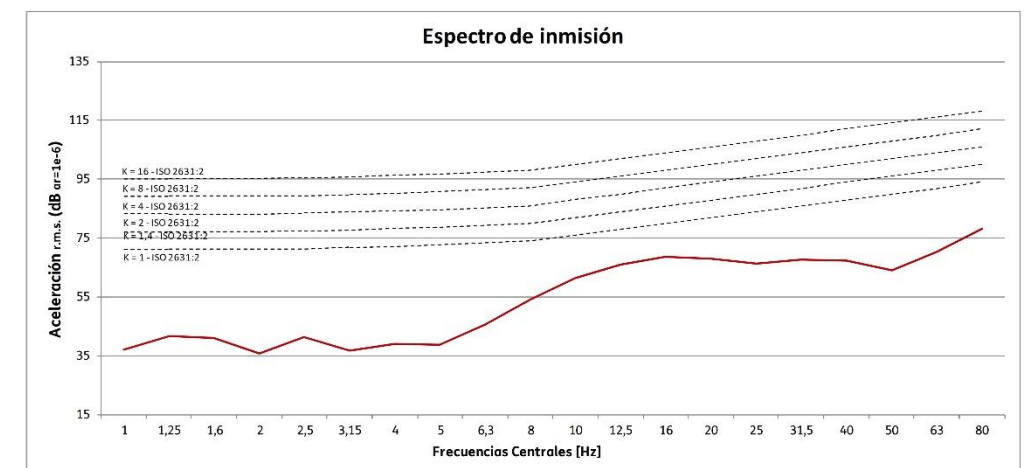


Índice de inmisión L_{ow} máximo global medido: 63,7dB

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com

Espectro en frecuencia máximo previsto para la edificación de uso residencial bajo análisis comparado con el límite de inmisión vibratoria L_{ow} definido para dicha estructura según una velocidad de circulación del tranvía máxima de 50 Km/h en base a la sección tipo de plataforma propuesta para su ejecución en la zona.



Índice de inmisión L_{ow} máximo global previsto: 65,3dB

Límite normativo: 75dB

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com

9. PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS Y CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

El estudio de vibraciones asociado al *Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo - Centro Nervión* realizado se ha centrado en un total de tres secciones distribuidas lo largo del tramo en cuestión para un total de 4 edificaciones de referencia debido a su uso, tipología de trazado (en superficie y soterrado) y distancia de éstas respecto a eje ferroviario.

En los cálculos correspondientes desarrollados para la determinación del nivel de inmisión vibratoria alcanzable para las estructuras analizadas, a su vez representativas de las conclusiones extraíbles para el mismo y extrapolables al resto de estructuras de iguales o similares características arquitectónicas, se ha considerado: velocidad máxima de circulación definida para el elemento móvil por punto kilométrico, carga del elemento móvil, características mecánicas del mismo, propiedades estructurales de la plataforma propuesta para su ejecución, respuesta atenuadora/amplificadora del terreno por donde discurrirá la infraestructura tratada, comportamiento vibratorio de las edificaciones y distancia de éstas al eje de la plataforma.

Del estudio se extrae la necesidad de aplicar medidas correctoras antivibratorias, en base a los niveles de inmisión de vibraciones determinados acogiendo como referencia para el cálculo el límite de propiedad de la estructura sensible detectada, entre los puntos kilométricos 0 + 210 - 0 + 250. En la zona en cuestión se sitúa el edificio Sevilla 1, el cual es considerada de interés cultural por sus cualidades arquitectónicas, por lo que le será de aplicación el índice L_{aw} más restrictivo: 72dB. Para el resto de edificaciones analizadas e indicadas en las correspondientes fichas descriptivas de las diferentes secciones de análisis, los niveles de inmisión calculados no superan los objetivos de calidad en materia de vibraciones exigidos tanto para uso docente (72dB) como residencial (75dB) tratados.

Por otro lado, según la información al respecto facilitada por el cliente, los espacios de oficinas se situarían a una distancia aproximada de 25 metros en el plano horizontal respecto al eje viario. Para dicha distancia y considerando la velocidad máxima de circulación de 30km/h del elemento móvil por la zona, los niveles de inmisión calculados resultan inferiores al máximo permitido de 72dB para dicho espacio según la premisa de *especial sensibilidad* de la que dispone.

Ante esta situación, se propone la incorporación de *mantas elastoméricas* con objeto de aislar las vías del conjunto estructural del edificio Sevilla 1, mitigando la propagación vibratoria por uniones entre vía y el edificio a modo de puentes de transmisión. Estos puentes actúan conduciendo la vibración desde la plataforma hasta el edificio con mínimos grados de atenuación, con el consiguiente perjuicio que supone. Por extensión, la incorporación de la discontinuidad que supone la instalación del sistema antivibratorio indicado, puede repercutir en la reducción de posibles amplificaciones de origen estructural del edificio.

Para el caso particular de la zona en la que se erige el edificio Sevilla 1, como ha quedado expuesto, se aconseja la implantación de *manta elastomérica* bajo losa con objeto de reducir los niveles de inmisión calculados respecto al límite de propiedad para su correspondiente ajuste a los tolerables permitidos según establece la normativa al respecto. Se propone la incorporación de la manta CDM-FSM-L13 (o aquella/s de similares propiedades a ésta) en el diseño final de la plataforma para la infraestructura proyectada para su ejecución.

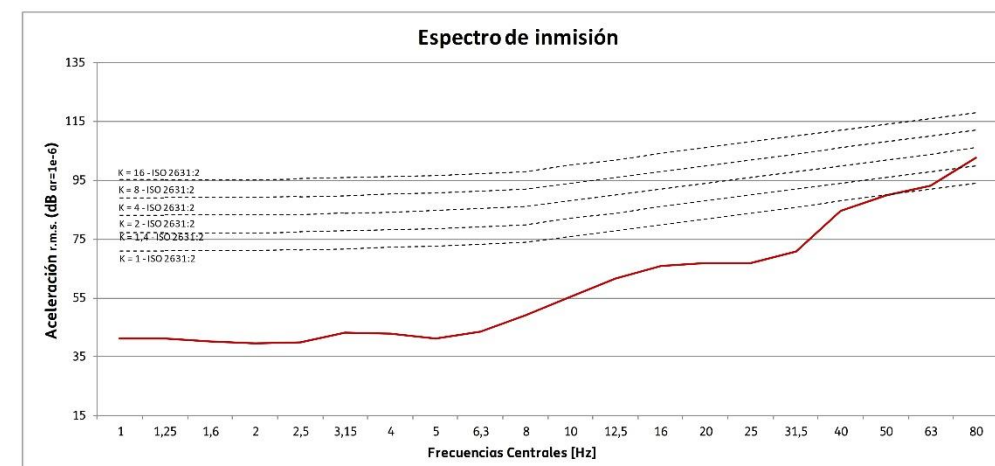
F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: 8-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com

Perdidas de inserción del sistema formado por manta elastomérica CDM-FSM-L13 y sección tipo propuesta para la zona de evaluación.



Espectro de vibración previsto sin la incorporación de la citada medida correctora y con ésta de forma respectiva tomando como referencia de cálculo el límite de propiedad de la edificación evaluada.



Índice de inmisión L_{aw} máximo global previsto: 80,0dB

Límite normativo: 72dB (al tratarse de un edificio de interés cultural)

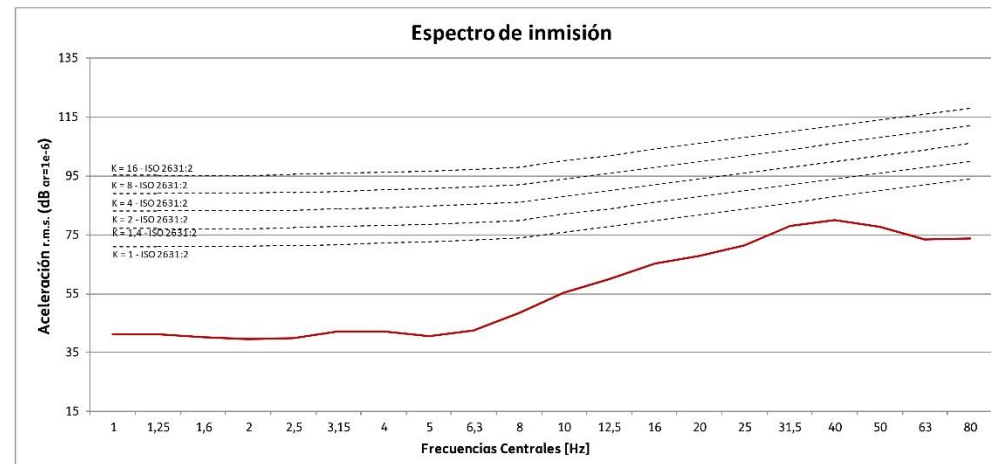
F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: 8-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polg. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com

d.nota

Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 45 de 49



Índice de inmisión L_{aw} máximo global previsto: 68,3dB

Límite normativo: 72dB

A la hora de llevar cabo la ejecución de obra y explotación de la misma se debe tener en cuenta:

- Se debe prestar especial atención a los raíles y ruedas. Se ha calculado que para elementos móviles de estas características y contemplando sus velocidades, las rugosidades pueden producir un incremento de 6-7dBV en vibraciones en interior de las edificaciones. Por ello, se hace necesario un correcto estado de mantenimiento de los mismos con el fin de contrarrestar el ascenso de los niveles de vibraciones que pueda generar un mal estado de mantenimiento de éstos.
- En el caso de existencia de uniones de hormigón entre la plataforma y las edificaciones, materializadas en arquetas, distintas canalizaciones, tuberías o prismas proponemos la implantación de *planchas elastoméricas* paralelas al trazado del metro ligero haciendo especial hincapié en su colocación en aquellos puntos susceptibles de actuar como puentes de transmisión.
- Un incremento en la deflexión de la vía se traducirá en un aumento de la atenuación en el conjunto del sistema total. Ha de tomarse precaución con los niveles máximos establecidos en el proyecto.
- Una vez realizadas los ensayos postoperacionales y si los resultados superan el índice de inmisión L_{aw} recomendamos implantar discontinuidades elásticas o bituminosas entre base de edificaciones y plataforma del metro ligero. La efectividad de este sistema se hará más evidente cuando sean colocados a mayor profundidad y creen una discontinuidad en la superficie.

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polig. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com

d.nota

Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 46 de 49

Finalmente indicar que las conclusiones de este estudio teórico estarán condicionadas a los resultados extraíbles de la posterior certificación de vibraciones una vez puesto en marcha el servicio, realizándose las correspondientes adecuaciones durante el proceso de explotación del mismo e imponiendo medidas correctoras cuando sea oportuno. Para ello será necesario comprobar que las vibraciones transmitidas a las edificaciones no superen los valores establecidos por el índice L_{aw} de aplicación exigido a través de la normativa de referencia: Decreto 6/2012 y Ordenanza Municipal contra la Contaminación Acústica, Ruidos y Vibraciones del Excmo. Ayuntamiento de Sevilla.

d.nota
Fdo. Hilario Blesa Mellado
Técnico en Vibraciones

d.nota
Fdo. Santiago Núñez Gutiérrez
Director Técnico Departamento
Acústica y Vibraciones

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. - CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I - Polig. Juncaril - 18220 Albolote (Granada) - Tlf.: 958 490 339 - www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 47 de 49

ANEXO I. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE MEDIDA



ENAC
CALIBRACIÓN
Nº 25/LC10.016

Número
Number

18/34554239

Página
Page

1 de 8
of pages

Applus+

Metrología

LBAI Technological Center, S.A.
Campus UAB
08193 Bellaterra
T +34 93 567 20 10
F +34 93 567 20 01
metrologia@appluscorp.com
www.applus.com

OBJETO
Item

Medidor de vibración en cuerpo completo

IDENTIFICACIÓN
Identification

Marca / Mark	SVANTEK	Medidor	Acelerómetro
Modelo / Model	958		DYTRAN
Nº serie / Serial Nº	15490		3233A
			507

SOLICITANTE
Applicant

DNOTA MEDIO AMBIENTE, S.L.
C/ Baza, Parcela 6-I, Polígono Juncaril
18220 ALBOLOTE

FECHA/S DE CALIBRACIÓN
Date/s of calibration

2018-10-23

SIGNATARIO/S AUTORIZADO/S:
Authorized signatory/ies

Responsable Técnico / Technical Manager

Técnico / Technician

JORDI GIL DEL RIO 24/10/2018 15:47:21
Código Seguro de Verificación (CSV): 262743265DBL3

Eusebi Ruiz Solà
24/10/2018 15:10:48

Este documento ha sido firmado electrónicamente según la Ley 59/2003 e identificado mediante un Código Seguro de Verificación (CSV).
Consulte la validez del documento en el servicio Web de verificación <http://metrosign.appluscorp.com>

Este certificado se emite de acuerdo con las condiciones de la acreditación concedidas por ENAC, que ha comprobado las capacidades de medida del laboratorio y su trazabilidad a patrones nacionales.
ENAC es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MLA) de certificados de calibración de European Cooperation for Accreditation (EA) y de International Laboratories Accreditation Cooperation (ILAC).
Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito de Applus.

This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC which has assessed the measurement capability of the laboratory and its traceability to national standards.
ENAC is one of the signatories of the Multilateral Agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the International Laboratories Accreditation Cooperation (ILAC).
This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of Applus.

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com



Estudio de Ruido y Vibraciones
Proyecto de Construcción del Metro Ligero en Superficie del
Centro de Sevilla: Tramo San Bernardo – Centro Nervión
Laboratorio “in situ” de Acústica y Vibraciones

Id.: AV-A-18-1397-00
Fecha: 15/11/18 Página: 48 de 49

ANEXO II. PROPIEDADES GENERALES DE LA MANTA ELASTOMÉRICA CDM-FSM-L13

CDM-FSM-L13

General Properties of the Resilient Material

This FSM is made of high quality resin-bonded rubber (CDM-RR material)

Property	Typical value
Colour	Black
Thickness	30 mm
Number of layers	2
Bottom surface	Wavy (2)
Standard roll dimensions (1)	12.5m x 1.6m
Density	710 kg/m³
Weight	15,6 kg/m²
Static load range	0.01 - 0.15 MPa
Maximum total load	0.2 MPa
Maximum occasional load	2.0 MPa
Environmental impact	> 90% recycled 100 % recyclable

(1) Tolerance on length (-0m;+0,3m); width (-0,005m;+0,01m)

(2) A flat and rigid track foundation is required.

Field of Application

Track category	Typical axle load	Vibration isolation
Tramway / Urban Light Rail	100 kN	✓
Metro	130 kN	✓
Main-line railway	225 kN (250 kN freight)	✓

System Stiffness - Following DIN 45673-7

Typical static load cases [N/mm²] for determination of static bedding modulus - (500mm slab)	Load case Tram	Load case Metro	Load case Train
Load stage σ_0	0,013	0,013	0,013
Load stage σ_1	0,026	0,033	0,041
Load stage σ_2	0,027	0,035	0,044
Load stage σ_3	0,038	0,050	0,064
Static bedding modulus [MN/m³] (3)	Load case Tram	Load case Metro	Load case Train
Cstat,z1 (deformation calculation)	10,0	11,2	12,5
Cstat,z2 (static analysis)	9,5	10,7	11,9
Cstat,z3 (bending deformation of track base plate)	10,1	11,5	12,9
Cstat0,z0 (at-rest stiffness value)	-	-	-
Cstat0,z1 (at-rest stiffness value)	-	-	-

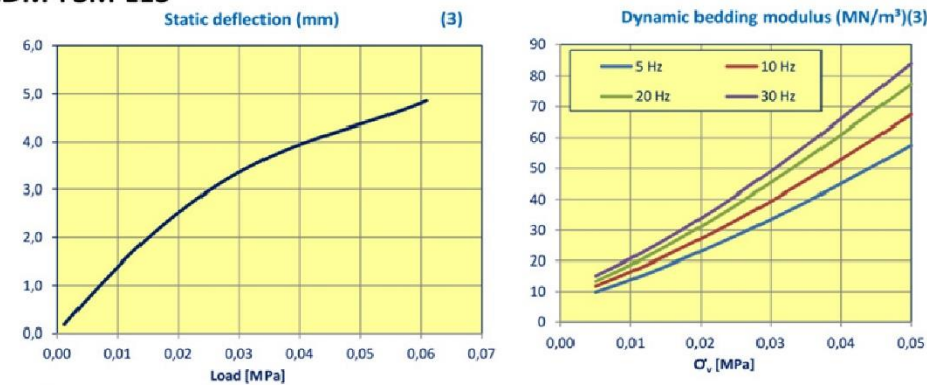
(3) A tolerance of $\pm 20\%$ on these values is acceptable.

Data provided in this document has been collected using tests compliant with internationally recognized test procedures. All data provided is given in good faith using state of the art practices and production tolerances and it may be used for calculation and design purposes. This data cannot be considered a warranty as there may be factors, outside our knowledge and control, which affect the performance of our product and therefore Pandrol CDM Track cannot be held responsible for the project specific performance of our product. Please contact Pandrol CDM Track technical department for application recommendations. Pandrol CDM Track reserve the right to modify our data and product without notice.

F6-G61203

dnota medio ambiente S.L. · CIF: B-78.218.526
C/Baza, Parcela 6-I · Polg. Juncaril · 18220 Albolote (Granada) · Tlf.: 958 490 339 · www.dnota.com

CDM-FSM-L13



Material Performance Tests

Parameter	Norm	Result
Tensile strength	ISO-37	≥ 0.30 MPa
Elongation at break	ISO-37	≥ 40%
Creep rate at 0.01 MPa	ISO-8013	≤ 1%/decade
Elastic recuperation	ISO-8013	≥ 95%
Compression set (50%/23°C/70h)	ISO-815-1	≤ 10%
Fatigue	DIN 45673-7	Successful
Stiffening factor after fatigue	DIN 45673-7	< 30%
Water absorption (volume change)	Internal procedure	< 2%
Water resistance	DIN 45673-7	✓
Freeze-thaw resistance	DIN 45673-7	✓
Resistance to chemical agents (pH 3, pH 12)	Internal procedure (24h at 40°C)	✓
Resistance to fire	DIN 4102-B2	✓

Protection Layer - Non Woven Geotextile (4)

Parameter	Norm	Typical value
Material		Polypropylene
Thickness under 2 kPa	EN ISO 9863-1	1.8 mm
Weight	EN ISO 9864	325 g/m²
Tensile strength	EN ISO 10319	26 kN/m
Elongation at break	EN ISO 10319	50%
CBR puncture resistance	EN ISO 12236	4.35 kN

(4) Can be replaced by PE-foil for some applications.

System Build-up



