



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

DISEÑO DE UNA VÍA FERROVIARIA A ESCALA SOBRE CUBIERTA DE LA EPSL PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Alumna: Tania Sofía Salcedo Barrera

Tutor: Javier Fernández Aceituno

Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

Septiembre, 2019



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

DISEÑO DE UNA VÍA FERROVIARIA A ESCALA SOBRE CUBIERTA DE LA EPSL PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

D. Javier Fernández Aceituno, tutor del Trabajo Fin de Grado “DISEÑO DE UNA VÍA FERROVIARIA A ESCALA SOBRE CUBIERTA DE LA EPSL PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE LABORITARIO” que presenta la alumna TANIA SOFIA SALCEDO BARRERA, da su visto bueno para la defensa y evaluación del citado trabajo en la Escuela Politécnica Superior de Linares.

Linares, SEPTIEMBRE de 2019

EL ALUMNO:

EL TUTOR:

ÍNDICE

1	Resumen.....	8
2	Introducción y conceptos básicos.....	10
2.1	Estructura de una vía ferroviaria.	10
2.1.1	Infraestructura.....	10
2.1.2	Superestructura.	11
2.2	Trazado ferroviario.	22
2.2.1	Trazado en Planta.....	22
2.2.2	Alineaciones.....	24
2.2.2	Trazado en Alzado.....	26
2.3	Irregularidades de la vía.....	28
2.4	Influencia de la calidad geométrica de la vía en la dinámica de un vehículo.	29
2.4.1	Descripción del sistema de coordenadas de vía.....	29
2.4.2	Ancho de vía:.....	29
2.4.3	Nivelación Longitudinal.	31
2.4.4	Nivelación Transversal.....	32
2.4.5	Alineación.	33
2.4.6	Alabeo.....	34
2.4.7	Evaluación de la calidad geométrica de la vía.....	34
2.4.8	Importancia relativa de varios parámetros.....	35
3	Objetivos.....	38
4	diseño del trazado ferroviario.....	39
4.1	Propuestas de diseño.....	39
4.1.1	Primera alternativa.....	39
4.1.2	Segunda alternativa.....	43
4.2	Justificación del tramo adoptado.....	48
4.2.1	Matriz de decisión.	50

4.2.2	Conclusión de la matriz de decisión.....	50
4.3	Descripción detallada del trazado ferroviario.....	51
4.3.1	Alineación Recta de inicio.....	52
4.3.2	Curva de transición de inicio.....	53
4.3.3	Curva circular.....	55
4.3.4	Curva de transición de salida.....	59
4.3.5	Alineación recta del final.....	61
4.4	Geometría del Carril.....	63
5	. Diseño de la estructura soporte.....	67
5.1	Características generales.....	69
5.2	Requisitos de Rigidez.....	70
5.3	Diseño de la estructura en Robot.....	72
5.3.1	Definición de la sección de las barras.....	73
5.3.2	Definición del grupo de barras.....	73
5.3.3	Definición de los Apoyos.....	75
5.4	Definición de las cargas.....	76
5.4.1	Cargas Permanentes.....	76
5.4.2	Cargas Variables.....	79
5.4.3	Cargas de Viento.....	82
5.4.4	Carga de nieve.....	86
5.4.5	Combinaciones.....	88
5.5	Cálculo de la estructura.....	97
5.5.1	Deformaciones.....	97
5.5.2	Verificación de los perfiles elegidos.....	101
5.5.3	Comprobación de las secciones más desfavorables.....	104
5.5.4	Comprobación a inestabilidad de la estructura.....	107
6	. Estimación económica.....	108

7	. Conclusiones.....	112
8	Planos.....	113
9	Anexos.....	114
10.	Referencias bibliográficas.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Ancho de vía.....	11
Figura 2.2.	Descripción gráfica de los sistemas de cambiadores.....	12
Figura 2.3.	Gálibo de material.....	12
. Figura 2.4.	Carril en vientre de pez.....	14
. Figura 2.5.	Carril doble cabeza.....	15
Figura 2.6.	Carril Vignole.....	16
Figura 2.7.	Geometría de los carriles UIC.....	16
Figura 2.8.	Tipos de sujeciones según las traviesas. [2].....	18
Figura 2.9.	Tipos de sujeciones.[2].....	19
Figura 2.10.	Detalle aparatos de vía. [3].....	19
Figura 2.11.	Detalle desvío mixto. [4].....	20
Figura 2.12.	Detalle de travesía. [5].....	20
Figura 2.13.	Descripción de los tipos de combinación de vía [5].....	20
Figura 2.14.	Descripción gráfica de la Clotoide.....	24
Figura 2.15.	alineación circular. [6].....	25
Figura 2.16.	Descripción gráfica de los acuerdos.	26
Figura 2.17.	Descripción gráfica de los tipos de explanaciones.	27
Figura 2.18.	Descripción gráfica alabeo.....	28
Figura 2.19.	Relación entre los ejes del sistema de coordenadas de vía [8] ...	29
Figura 2.20.	Ancho de vía para un carril nuevo. [8].....	30
Figura 2.21.	Ancho de vía para un carril desgastado.[8].....	30
Figura 2.22.	Nivelación longitudinal. [8].....	31
Figura 2.23.	Nivelación transversal [8].....	32
Figura 2.24.	Alineación [8].....	33
Figura 2.25.	Método de análisis del alabeo. [8].....	34

Figura 4.1. Instalaciones en la cubierta de los laboratorios este.	40
Figura 4.2. Baldosa en mármol como conexión de las zonas de la cubierta. ...	41
Figura 4.3. Grava e instalaciones de aire acondicionado.	41
Figura 4.4. Medidas en planta de la cubierta.	42
. Figura 4.5. Trazado de la primera alternativa.	42
Figura 4.6. Acceso a la cubierta.	44
Figura 4.7. Tramo recto de la cubierta.	44
Figura 4.8. Instalaciones dentro de la cubierta.	45
Figura 4.9. Estrechamiento del ancho de la cubierta.	45
Figura 4.10. Espacio para la curva circular.	46
Figura 4.11. Vista panorámica del acceso de la cubierta al tramo recto.	46
Figura 4.12. Vista panorámica del espacio disponible.	47
Figura 4.13. Medidas de la cubierta de los laboratorios oeste.	47
Figura 4.14. Trazado de la segunda alternativa.	48
Figura 4.15. Tramo 1, 2, 3, 4,5 de la alineación recta.	52
Figura 4.16. Tramo 6, 7,8 de la alineación recta.	52
Figura 4.17. Tramo 1 del carril superior de la curva de transición inicial.	54
Figura 4.18. Tramo 2 del carril superior de la curva de transición inicial.	54
Figura 4.19. Tramo 1 del carril inferior de la curva de transición inicial.	54
Figura 4.20. Tramo 2 del carril inferior de la curva de transición inicial.	54
Figura 4.21. Tramos 1, 2, 3,4 del carril superior de la curva circular.	56
Figura 4.22. Detalle de los tramos del carril superior de la curva circular.	56
Figura 4.23. Tramos 1, 2, 3,4 del carril inferior de la curva circular.	58
Figura 4.24. Detalle de los tramos del carril inferior de la curva circular.	58
Figura 4.25. Tramo 1 del carril superior de la curva de transición de salida.	59
Figura 4.26. Tramo 2 del carril superior de la curva de transición de salida.	60
Figura 4.27. Tramo 1 del carril inferior de la curva de transición de salida.	60
Figura 4.28. Tramo 2 del carril superior de la curva de transición de salida.	60
Figura 4.29. Tramos 1, 2, 3, 4 de la alineación recta final.	62
Figura 4.30. Carril en vientre de pez.	63
Figura 4.31. Carril UIC 54. [10].	65
Figura 4.32. Carril a escala.	66
Figura 5.1. Especificaciones para los tipos de acero según la EAE. [11]	68
Figura 5.2. Perfil rectangular.	69
Figura 5.3. Dimensiones del perfil a utilizar.	69
Figura 5.4. Enumeración de los perfiles.	69
Figura 5.5. Líneas de construcción de la estructura.	72

Figura 5.6. Creación de la sección.	73
Figura 5.7. Definición de las barras.	74
Figura 5.8. Estructura de la mesa.	74
Figura 5.9. Definición del apoyo.	75
Figura 5.10. Rotulas de apoyos.	75
Figura 5.11. Definición de las cargas.	76
Figura 5.12. Carga, Pero propio	77
Figura 5.13. Cargas permanentes.	78
Figura 5.14. Carga vertical 1.	79
Figura 5.15. Carga Vertical 2.	79
Figura 5.16. Carga Longitudinal 1.	80
Figura 5.17. Carga Longitudinal 2.	80
Figura 5.18. Carga Lateral 1.	81
Figura 5.19. Carga Lateral 2.	81
Figura 5.20. Bordes con aristas.	83
Figura 5.21. Distribución por zonas de la cubierta.	83
Figura 5.22. Carga viento 1.	85
Figura 5.23. Carga viento 2	86
Figura 5.24. Altitud de la provincia de Jaén.	87
Figura 5.25. Carga de nieve.	87
Figura 5.26. Coeficientes de simultaneidad para la acción del viento[15].	89
Figura 5.27. Coeficientes de simultaneidad para la acción de la nieve.	89
Figura 5.28. Combinación 1.	90
Figura 5.29. Combinación 2.	91
Figura 5.30. Combinación 3.	92
Figura 5.31. Combinación 4.	92
Figura 5.32. Combinación 5.	93
Figura 5.33. Combinación 6.	93
Figura 5.34. Combinación 7.	94
Figura 5.35. Combinación 8.	94
Figura 5.36. Combinación 9.	95
Figura 5.37. Combinación 10.	95
Figura 5.38. Combinación 11.	96
Figura 5.39. Combinación 12.	96
Figura 5.40. Combinación 13.	97
Figura 5.41. Deformación de la carga vertical 1.	98
Figura 5.42. Deformación de la carga vertical 2.	99

Figura 5.43. Deformación de la carga longitudinal 1.	99
Figura 5.44. Deformación de la carga longitudinal 2.	100
Figura 5.45. Deformación de la carga lateral 1.	100
Figura 5.46. Deformación de la carga lateral 2.	101
Figura 5.47. Definición de columna.	102
Figura 5.48. Definición de viga.	103
Figura 5.49. Verificación de los perfiles	104
Figura 5.50. posición de las barras.	105
Figura 5.51. Comprobaciones de Robot Structural Barra 7.	106
Figura 5.52. Comprobaciones de Robot Structural Barra 8.	107
Figura 6..1. Descompuesto de los perfiles metálicos según PRESTO.	108
Figura 6.2. Descompuesto de la lámina de acero según PRESTO.	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1. Medidas del trazado de la primera alternativa.	40
Tabla 4-2. Medidas del trazado de la segunda alternativa.	43
Tabla 4-3. Matriz de decisión.	50
Tabla 4-4. Longitudes de la alineación recta 1.	53
Tabla 4-5. Dimensiones de la curva de transición de inicio.	55
Tabla 4-6. Dimensiones de los tramos del carril superior de la curva circular.	57
Tabla 4-7. Dimensiones de los tramos del carril inferior de la curva circular.	59
Tabla 4-8. Dimensiones dos tramos de la curva de transición 2.	61
Tabla 4-9. Dimensiones de los tramos de la alineación recta del final.	62
Tabla 5-1. Dimensiones de los perfiles.	70
Tabla 5-2. Requerimientos de rigidez.	71
Tabla 5-3. Distribución de las cargas de la instalación ferroviaria.	78
Tabla 5-4. Valores del coeficiente de exposición	82
Tabla 5-5. Valores de C_p	84
Tabla 5-6. Combinación de cargas.	88
Tabla 6-1. Presupuesto final.	110

1 RESUMEN

En este proyecto se diseña la instalación de una vía ferroviaria a escala localizada en la cubierta de uno de los edificios de la Escuela Politécnica de Linares y que se utilizará para la realización de ensayos de laboratorio en los que se estudie el comportamiento dinámico de un vehículo ferroviario a escala.

Inicialmente se hizo un estudio teórico de las partes de las que está compuesta una vía ferroviaria así mismo como su funcionamiento y comportamiento.

La fase de diseño de este proyecto estuvo directamente relacionada con el espacio disponible dentro de la universidad, en la que la instalación ocupará un lugar en el que no impidiera otras actividades necesarias dentro de la universidad como instalaciones de investigación de otros departamentos y labores de mantenimiento. Para la elección del espacio de construcción de esta instalación se hizo una comparación entre dos posibilidades planteadas, teniendo en cuenta todos los factores importantes que condicionan la construcción de la instalación, eligiendo la más conveniente así mismo teniendo en cuenta que el diseño del trazado pudiera tener todas las alineaciones comunes de una vía ferroviaria real.

El trazado final está compuesto por dos alineaciones rectas, dos curvas de transición y una curva circular, con este trazado final se realizaron los cálculos correspondientes para diseñar el soporte de la vía.

En la fase de diseño de la estructura portante, se han considerado además de los requisitos de seguridad exigidos por las normativas EAE y CTE, diferentes requisitos de rigidez y de instalación, dado su carácter particular.

Los requisitos de rigidez para la estructura soporte son requisitos exigidos en este TFG simulando unos requisitos impuesto por el cliente, así mismo estos requisitos deben ser tal que, si se aplican cargas concentradas en cualquier punto, dirección vertical, lateral o longitudinal los desplazamientos del punto de aplicación de la carga no superen ciertos valores.

El soporte de la vía serán unas mesas metálicas de acero S275 y perfiles TCAR 60x3.2 y 40x3.2, la parte superior de la mesa será una lámina de acero inoxidable con un espesor de 4 milímetros, las mesas tienen unas dimensiones de 1 metro de ancho y 2 metros de longitud.

Sobre ellas estará soportada los carriles que conforman el trazado ferroviario que se ha planteado. Los carriles que se utilizarán son de tipo UIC 54 a escala de 5" y tendrán una separación entre ellos de 127 milímetros.

La fase de comprobación de los cálculos realizados siguiendo las normativas, resistencia de los perfiles seleccionados e introducción de cargas se ha realizado con el programa "*Robot Structural Analysis*", programa de cálculo estructural.

La estructura no estará sometida a cargas que puedan ser determinantes respecto a la estabilidad de la instalación por lo que tenemos una estructura muy segura, así mismo las deformaciones según las cargas permanentes serán mínimas por lo tanto la construcción de esta instalación podrá ser útil para el estudio dinámico de la vía de un ferrocarril.

2 INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS

2.1 Estructura de una vía ferroviaria.

Una vía ferroviaria está integrada por la infraestructura y superestructura que resultan esenciales para garantizar un sistema común de transporte ferroviario.

2.1.1 *Infraestructura*

La infraestructura es el terreno base sobre el que se asienta la vía, también se denomina como explanada o plataforma. Está compuesta por obras de defensa como lo son los muros de contención y sostenimiento, drenajes, saneamientos, entre otros; las obras de fábrica como los túneles, puentes, viaductos, pasos a distinto nivel, etc.

En ningún caso se puede colocar la vía directamente sobre el terreno sin haberlo acondicionado previamente, así mismo los cambios en la orografía, topografía y el propio terreno hacen que la colocación directa sea poco viable.

Por ello, es preciso realizar una determinada serie de obras de infraestructura. En las construcciones ferroviarias se destacan los siguientes elementos:

- **Puentes y viaductos:** son estructuras que ayudan a salvar hundimientos de terreno como ríos, cañones, valles, etc. Existe una diferencia conceptual entre puente y viaducto, y es que estos últimos salvan un valle en su totalidad. También se construyen viaductos para hacer que los trenes circulen elevados en núcleos urbanos.
- **Túneles:** son perforaciones en el terreno para cruzar montañas o cualquier tipo de elevación, así mismo se construyen para cruzar de manera subterránea grandes núcleos de población o incluso lugares de alto valor ambiental. De esta manera el impacto acústico y visual que genera el tren se elimina parcialmente.
- **Falsos túneles:** similares a los túneles, tienen por misión reducir el impacto acústico, ambiental o la barrera arquitectónica que genera un ferrocarril. Sin embargo, su construcción no se realiza perforando ni excavando.
- **Drenaje transversal:** canalizaciones utilizadas para que el agua, cauces, arroyos no fluya por la explanación en la que se encuentra la vía [1].

2.1.2 Superestructura.

La superestructura comprende la vía propiamente dicha y el conjunto de apartados e instalaciones necesarias para que los trenes puedan circular con garantías de eficacia y seguridad. [2]

2.1.2.1 Ancho de vía

El componente principal es el ancho de vía, que se define como la distancia entre las caras interiores de los carriles de uno y otro lado de la vía, se mide en un plano situado 14 mm por debajo del plano de rodadura. En España existen en la actualidad a nivel de Adif que es la empresa encargada del diseño y construcción de las vías férreas en España, dos tipos de ancho, nacional o ibérico (1688mm) que estos son denominados de vía ancha que conforma la red convencional y el ancho internacional (1435mm) que es el utilizado en las líneas de alta velocidad y en la mayor parte de los países europeos.

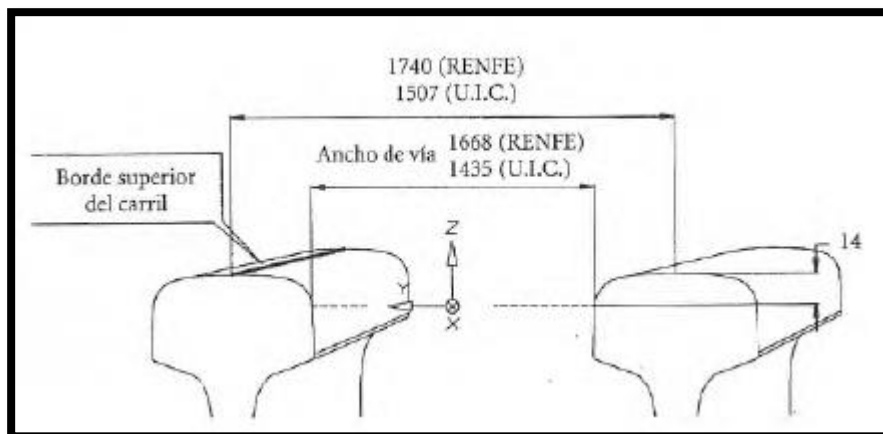


Figura 2.1. Ancho de vía

Para poder cambiar de un ancho a otro se utilizan unas instalaciones llamadas cambiadores, que permiten que el material debidamente preparado para ello pase en breves minutos de uno a otro. En España existen dos sistemas:

1. Sistema Talgo
2. Sistema Brava (Bogie de Rodadura de Ancho Desplazable Autopropulsado)

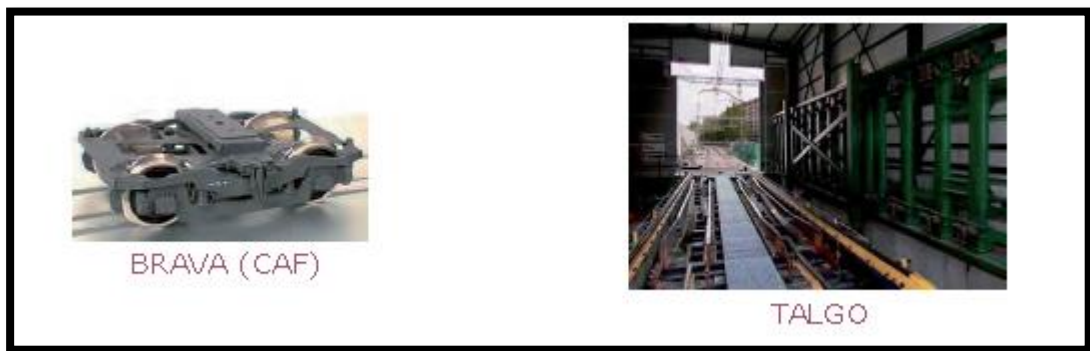


Figura 2.2. Descripción gráfica de los sistemas de cambiadores.

También existen las denominadas vías estrechas, vías inferiores al ancho internacional, el más extendido es la vía métrica $A=1000\text{mm}$.

2.1.2.2 Gálibo de Material.

Es el perfil transversal que debe tener como máximo el material móvil para no golpear con la vía y otras instalaciones como andenes, túneles, puentes, etc.

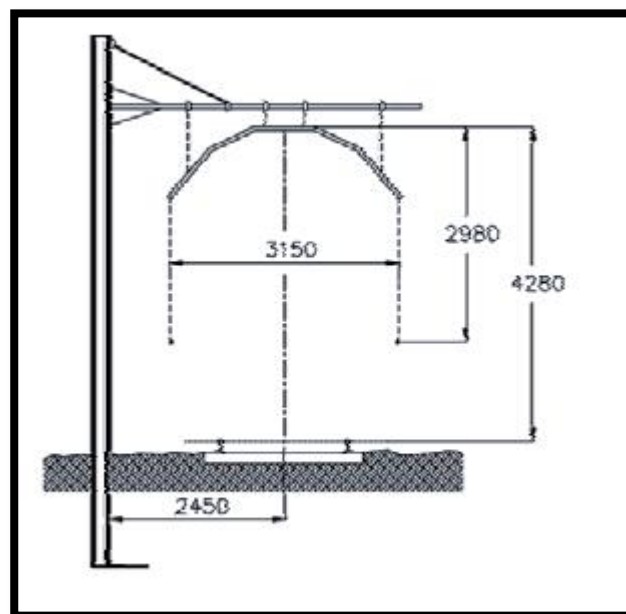


Figura 2.3. Gálibo de material.

2.1.2.3 Carril.

El carril es el elemento fundamental y característico del camino de rodadura, y por ello, deben ser minuciosamente estudiados, tanto desde el punto de vista de la seguridad como de la economía. Su función principal es la de absorber, resistir y transmitir a las traviesas los esfuerzos que recibe el material móvil, así como los de origen térmico:

Esfuerzos verticales:

- Cargas Cuasi estáticas: por la acción de la aceleración transversal sin compensar.
- Cargas Estáticas: peso propio de los vehículos.
- Cargas Dinámicas: sobrecargas producidas por masas no suspendidas y suspendidas de los vehículos a causa de las irregularidades de la vía o material y debido al movimiento del vehículo ferroviario.

Esfuerzos Transversales:

- Fuerza centrífuga no compensada
- Componente longitudinal del movimiento de lazo
- Aceleraciones producidas en el arranque y frenado

Las tensiones que soporta el carril tienen distintos orígenes como:

- Tensiones de flexión debidas a la deformación de la vía al paso del tren.
- Tensiones tangenciales, debido a la carga puntual de las ruedas.
- Tensiones de origen térmico
- Tensiones generadas en la zona de contacto entre la llanta y el carril, estas tensiones se localizan en unos 3-4 mm de profundidad.
- Tensiones residuales debidas a la fabricación.
- Tensiones debido al curvado del carril para adaptarlo al trazado de la vía.

Así mismo tiene también como función el guiado de materiales móviles, dando continuidad tanto en planta como en alzado, conductor de corrientes de retorno cuando se utiliza la tracción eléctrica, conductor de las corrientes de señalización cuando se emplean circuitos de vía.

Inicialmente el carril se fabricaba en hierro el cual favorecía a que el carril sufriera de grandes desgastes y deformaciones por lo que se sustituyó este material de fabricación a un acero, ya que resisten mayores cargas, sufren menores deformaciones y desgastes.

En la construcción del carril se deben asegurar las siguientes características:

- Uniformidad en la composición química
- Ausencia de incrustaciones
- Gran resistencia a abrasión y choques
- Perfecta soldabilidad.

2.1.2.3.1 Forma.

Sección variable: En los comienzos, el carril se apoyaba sobre dados de piedra, y para adaptarse a los esfuerzos presentaba una sección variable, que le dio la denominación de “carril en vientre de pez”.

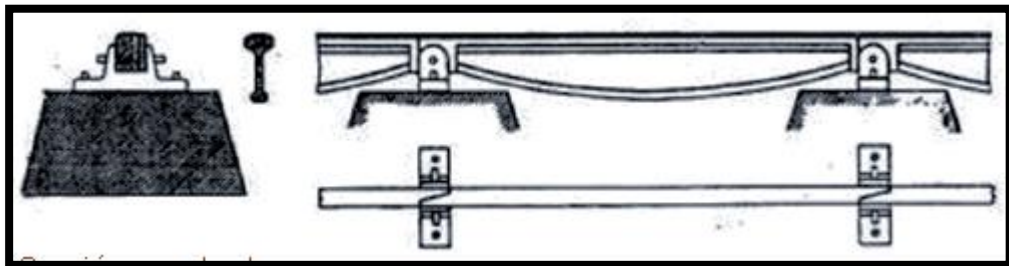


Figura 2.4. Carril en vientre de pez.

Sección Constante: Debido a las cargas verticales que debe soportar el carril, la sección óptima es la que se aproxima a una doble T, la forma del carril se tiene que adaptar a los efectos de la rodadura, para minimizar desgastes.

La simplificación del proceso de fabricación y el desarrollo de la laminación impuso el carril constante.

Carril de doble cabeza.

Es muy utilizado ya que es simétrico, pero no es posible su reutilización por la deformación de la cabeza inferior por el uso de cojinetes y cuñas.

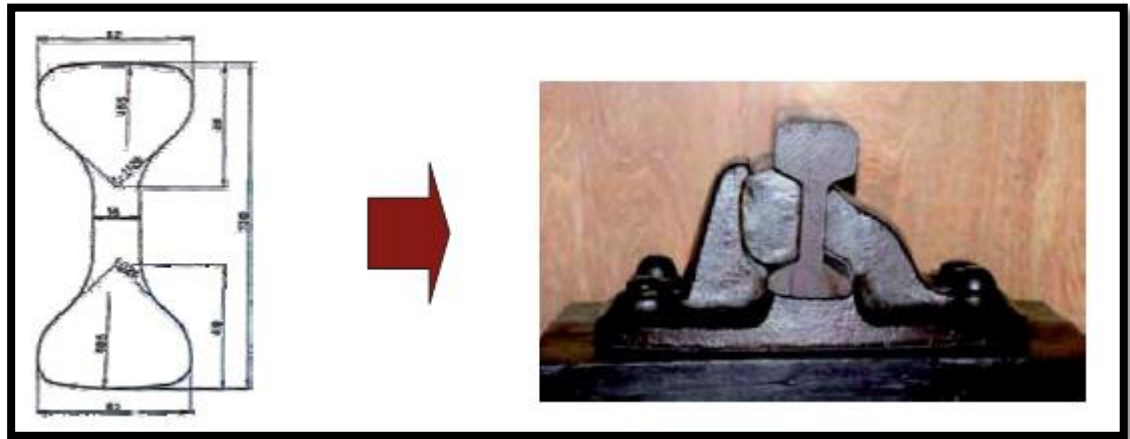


Figura 2.5. Carril doble cabeza.

Carril Vignole

Es el más utilizado, tiene forma de viga en doble T, con distinta forma en las alas superior e inferior, este carril es no simétrico, la cabeza y el patín tienen distintas formas y funciones. La cabeza tiene una altura necesaria para que a pesar del desgaste, el carril siga cumpliendo su misión hasta su renovación, la altura aceptable se encuentra entre 60-70 mm, con esta altura se evitará la concentración de la acción de las ruedas en zonas limitadas, limita la tendencia natural que el metal de la cabeza tiene a extenderse, proporciona una sección transversal suficiente que soporte el proceso de desgaste y permite la realización de un trazado correcto del perfil de acuerdo con el alma, dejando un margen suficiente para la colocación de las bridas.

La anchura del patín condiciona la rigidez del carril en sentido transversal y su resistencia al vuelco, un patín ancho transmite menores presiones a la traviesa, pero limita la flexibilidad para la instalación de la vía en curvas.

Las alas están condicionadas por el laminado y por el equilibrio de masas a existir entre cabeza, el alma y el patín. La inclinación facilita el trabajo de bridas y uniones y ahorra material.

El alma debe resistir los esfuerzos cortantes, la corrosión y las tensiones elevadas que se presentan en las proximidades de los agujeros de las bridas.

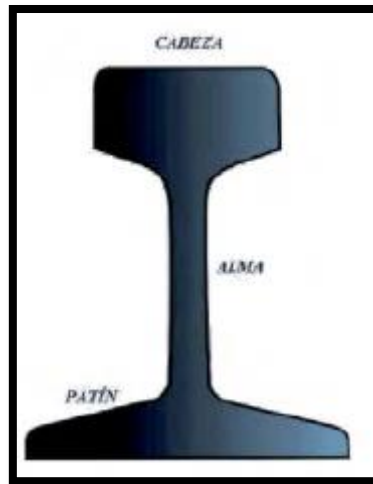


Figura 2.6. Carril Vignole.

2.1.2.3.2 Peso

El peso es la característica fundamental que define la resistencia del carril ya que un carril más pesado, resiste mayores cargas y tiene una mayor vida útil, ya que tiene una sección mayor. Los carriles UIC que son los más empleados se denominan por su peso en kilogramos por metro lineal.

- UIC-54: 54 Kg/ml
- UIC-60: 60 Kg/ml
- UIC-71: 71 Kg/ml

A mayor tráfico en una línea ferroviaria, más pesados deben ser los carriles.

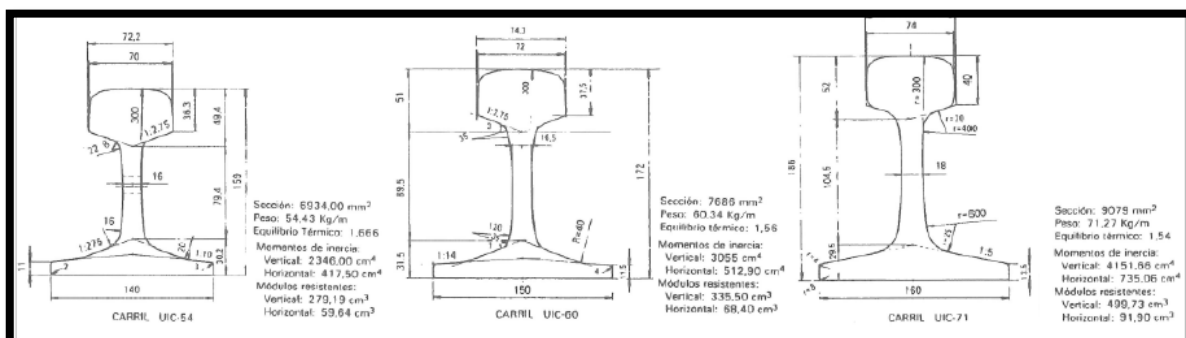


Figura 2.7. Geometría de los carriles UIC.

2.1.2.4 Traviesas.

Las traviesas tienen como función mantener la estabilidad de la vía mediante la adecuada absorción y transmisión de esfuerzos, impedir el movimiento transversal de la vía, proporcionar estabilidad vertical y horizontal a la vía, asegurar el ancho de vía, aislamiento eléctrico, para evitar que la corriente que discurre por los carriles se derive a la tierra.

La colocación de las traviesas en vía se hace cada 60 cm de la longitud de la vía, existen algunas variaciones en las distancias de colocación como en los aparatos de vía ya que cada uno tiene una distancia entre traviesas específica así mismo se varían las distancias para evitar que una soldadura de carril caiga encima de una traviesa. A mayor proximidad entre traviesas se incrementa el costo por km de la obra.

Las sujeciones son los elementos que unen el carril a las traviesas, es importante que sean sencillas, con pocas piezas que tenga larga vida útil y fácil sustitución.

2.1.2.4.1 Tipos de traviesas y sujeciones.

Las traviesas se clasifican en función del tipo de material:

- Traviesas de madera
- Traviesas metálicas
- Traviesas de hormigón armado
- Traviesas de hormigón pretensado

La tipología de sujeciones se ha desarrollado en base a la evolución de las traviesas, estas se clasifican según el anclaje a las traviesas:

- Directa: el anclaje es el mismo que el apriete.
- Indirecta: el carril se fija a una placa de asiento y la placa a la traviesa con otro elemento.
- Mixta: tanto el carril como la placa de asiento, se fijan a la traviesa.

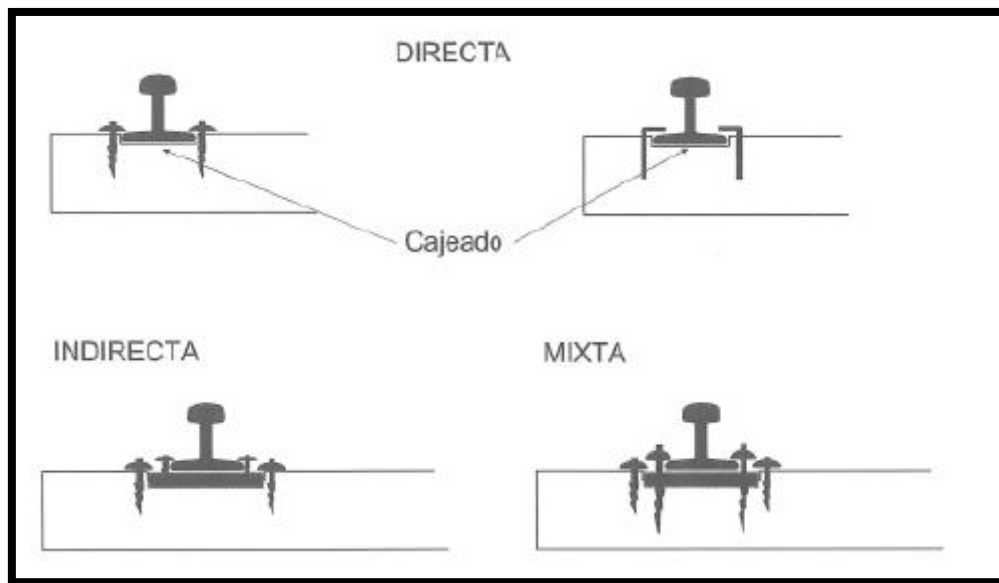


Figura 2.8. Tipos de sujeciones según las traviesas. [2]

Según la deformación:

- Rígidas.
- Elásticas: admiten pequeños movimientos verticales del carril.

Principales tipos de sujeciones para los tipos de traviesas:

En madera:

- Sujeciones rígidas directas: tirafondos
- Sujeciones elásticas directas: sujeción nabla
- Sujeciones elásticas indirectas: sujeción SKL-12

En Hormigón:

- Sujeciones elásticas directas: sujeción RN, P-2, J-2, Nabla.
- Sujeciones elásticas indirectas: sujeción HM, Vossloh.

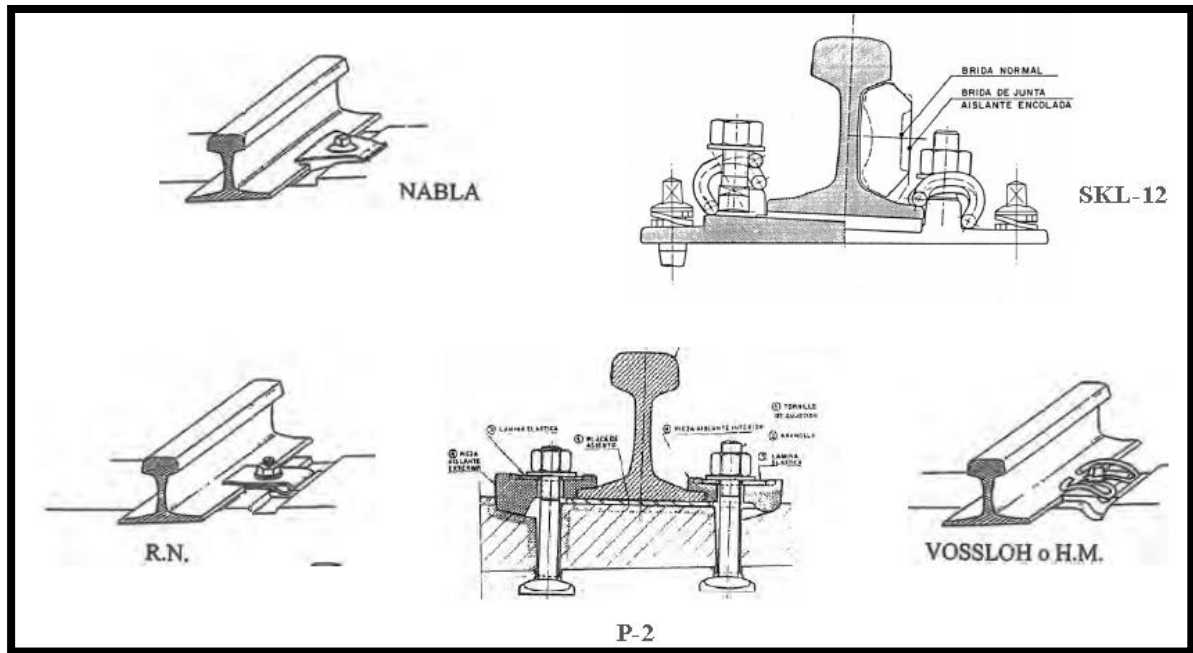


Figura 2.9. Tipos de sujeciones.[2]

2.1.2.5 Aparatos de vía.

Son los elementos que permiten el desdoblamiento de los carriles mediante unas piezas que tienen por nombre “aguja” las cuales se componen de una parte floja en la conexión de las dos vías que se llaman corazón, y una parte móvil que permite el paso hacia una u otra vía, que se denomina espadín. Dentro de los aparatos de vía se destacan:

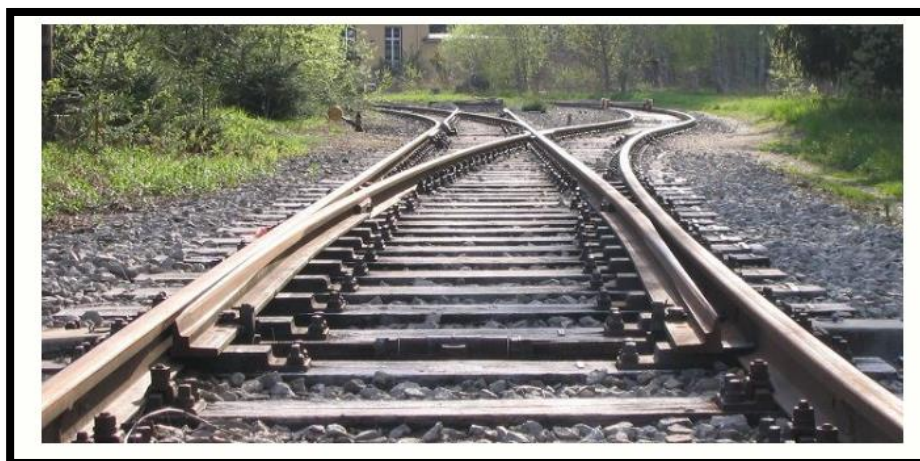


Figura 2.10. Detalle aparatos de vía. [3]

Desvíos: Son aquellos que permiten el desdoblamiento de una vía en dos, existen de dos tipos los cuales dependen de la velocidad máxima de paso por ellos y, cuando es necesario compatibilizar los dos anchos de vía, se utilizan los desvíos mixtos.

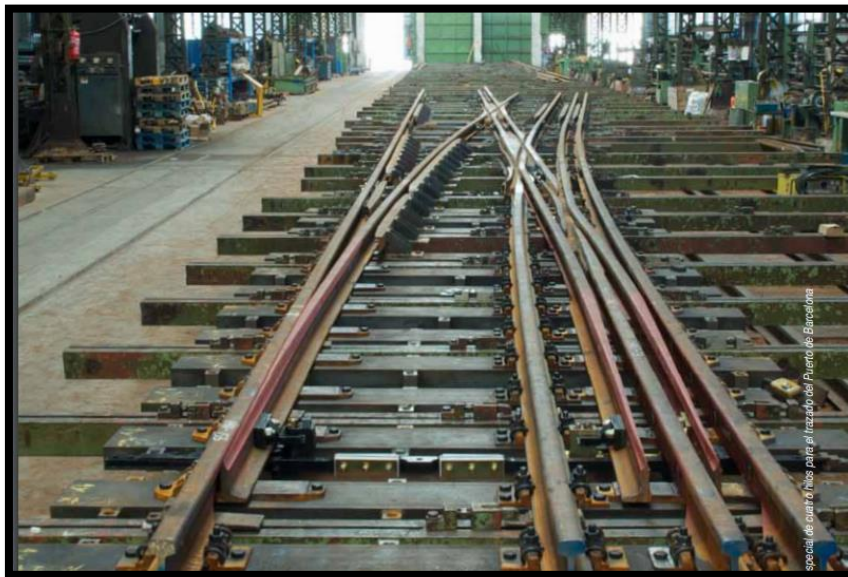


Figura 2.11. Detalle desvío mixto. [4]

Travesía: Permite el cruzamiento de dos vías en oblicuo o perpendicularmente con continuidad de sus direcciones respectivas.

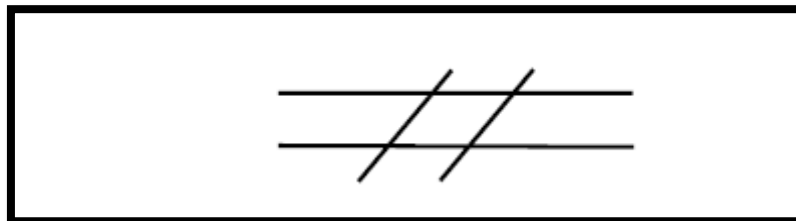


Figura 2.12. Detalle de travesía. [5]

Combinación de aparatos de vía: Están compuestos por una combinación de instalación de desvíos y travesías, tienen por nombre escape, la diagonal, el haz y el bretelle.

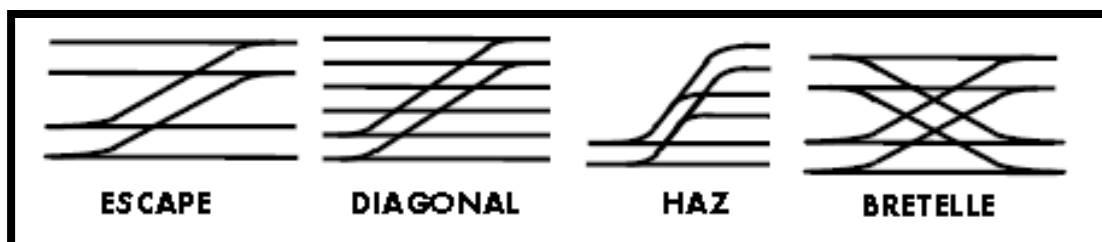


Figura 2.13. Descripción de los tipos de combinación de vía [5].

Cambios de aguja: Para poder realizar los desvíos antes descritos, se utilizan cambios de aguja. Existen de diferentes tipos como:

Eléctricos: Accionados a distancia desde las estaciones o CCT.

Mecánicos: Accionados desde la estación mediante un cable de acero.

Manuales: Accionados a pie de cambio, en el cual se utiliza un elemento auxiliar que es el indicador de la posición de aguja, que según esta nos indica el cambio que está hecho a vía directa o desviada.

2.1.2.6 Señales

Son dispositivos que se utilizan para transmitir mensajes desde la vía. Estaciones y trenes, los mensajes se transmiten utilizando sonidos, colores y formas, de acuerdo por un código en el Reglamento General de Circulación. Los más usuales son:

Semáforos: Estos son accionados de manera mecánica desde la estación mediante un cable de acero.

Luminosas: Estos son accionados de manera eléctrica desde la estación, son muy similares estéticamente como los semáforos de carreteras.

Portátiles: Estas son las señales que pueden realizar el personal autorizado que son los encargados de la regulación del tráfico en cualquier momento.

De los trenes: Son las que llevan los trenes en la parte de la cabeza y cola.

Señalización Vertical: Comprende un conjunto de elementos destinados a informar, ordenar o regular la circulación por una vía.

Señales de indicación: Tienen por objeto facilitar al usuario de las vías indicaciones que pueden serle de utilidad.

Señales de circulación: Conjunto de señales y órdenes de agentes de la circulación, señales circunstanciales que modifican el régimen normal de utilización de la vía.

2.2 Trazado ferroviario.

El trazado está compuesto de: trazado en planta o perfil longitudinal, y trazado en alzado o perfil transversal [6].

La importancia del trazado influye en la velocidad y comodidad en el transporte de mercancías y viajeros ya que ayuda a mejorar la competitividad del transporte ferroviario frente a otros modos de transporte.

2.2.1 Trazado en Planta.

Para realizar el diseño del trazado en planta se utilizan tramos rectos y curvos. A un tramo recto siempre le sigue uno curvo; y a uno curvo le puede seguir uno recto u otro curvo de diferente radio o dirección. Existe un punto de unión entre el tramo recto con el curvo en el cual aparecería instantáneamente la fuerza centrífuga en su máximo valor, originando gran peligro de descarrile para el material y pérdida de confort total para el viajero.

Cuando el vehículo transita a velocidad constante por una curva circular de radio R_c la aceleración centrífuga que actúa sobre él tiene el siguiente valor:

$$a_c = \frac{v^2}{R_c} \quad (1)$$

En la recta no se presenta aceleración centrífuga $a_c=0$ y el incremento total de aceleración, al pasar por la tangente a la curva, corresponde a $\frac{v^2}{R_c}$.

Donde v es la velocidad a la que transita el vehículo y R_c es el radio de la curva.

Si el vehículo se desplaza por la tangente y se aproxima a una curva circular, al llegar al punto de contacto se experimenta una variación súbita en la aceleración centrífuga, por lo que al estar relacionados ocurre lo mismo con el radio, con la curvatura y demás parámetros o fenómenos asociados, esta situación de manera semejante se presenta en el punto de transición, cuando el vehículo sale de la curva circular.

Para que este cambio en la aceleración centrífuga se produzca de manera progresiva es necesario disponer de un elemento entre la recta o en curva, se deduce de la ecuación de la aceleración centrífuga que este elemento debe proporcionar que la velocidad del vehículo se conserve, que sea constante en cualquier posición, en la recta

tanto como en la curva, dicho elemento deberá permitir que la variación del radio de curvatura sea progresiva y lineal, tramo que se conoce como curva de transición [7].

El enlace entre la tangente y la curva circular de radio R_c se dispone de una transición de longitud L , para que la longitud de aceleración centrífuga pase de 0 a $\frac{v^2}{R_c}$.

Es necesario que se produzca una variación de la aceleración por la unidad de longitud que es dada por:

$$a_{cv} = \frac{\frac{v^2}{R_c}}{L} \quad (2)$$

Si la curva de transición varía su radio ∞ en la tangente a R_c en la curva, para un punto cualquiera ubicado en ella y a una distancia l desde el inicio de la curvatura, el punto de contacto con la recta, experimentará una aceleración centrífuga de la siguiente magnitud:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{R} \quad (3)$$

Para subsanar este problema se intercalan arcos de unas curvas que son las curvas de transición que hacen que la fuerza centrífuga aparezca paulatinamente desde el valor cero al final de la recta, hasta el valor máximo al principio del arco de circunferencia.

Existen diferentes tipos de curvas de transición, pero tanto en carreteras como en ferrocarril se utiliza la denominada Clotoide la cual tiene como característica principal la continua variación del radio. El mismo procedimiento en la salida de las curvas o en la unión de dos curvas de diferente radio de curvatura.

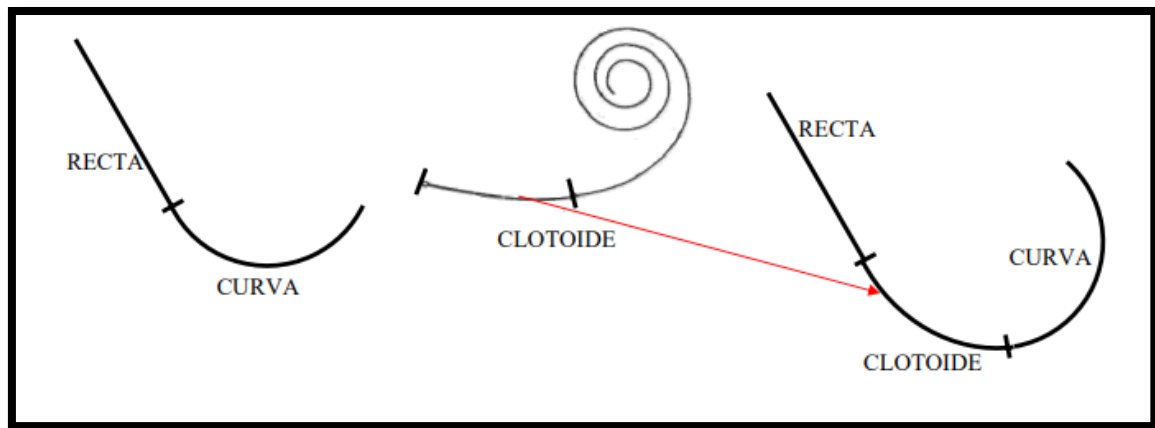


Figura 2.14. Descripción gráfica de la Clotoide.

2.2.2 Alineaciones.

Las alineaciones son las que configuran el trazado de una vía ferroviaria. El tipo de alineaciones que componen el trazado son:

- Rectas
- Curvas:
 - Curvas circulares: sencillas o monocéntricas, compuestas
 - De transición: entre recta y curva, o entre curvas circulares.

Curva Circular: Está definida por la longitud de su radio en metros y es comprobada in situ mediante la flecha que se define como la distancia entre la secante al punto medio; o con medios mecánicos automatizados instalados en máquinas de auscultación.

Curva de transición: Se insertan entre las alineaciones rectas y curvas para conseguir un cambio gradual de curva y/o transición progresiva del peralte.

Con esto se consigue que la fuerza centrífuga se compense de manera segura y confortable. Los tipos de curvas de transición más utilizadas en líneas de nueva construcción son la clotoide que la definimos anteriormente, así como el óvalo y la lemniscata.

2.2.2.1 Alineaciones circulares:

Trazado de radio constante entre las tangentes de entrada y salida, el radio condiciona la explotación del carril ya que limita la velocidad, determina los empujes y rozamientos, determina los deslizamientos entre carril y llantas, relacionado con el ancho de vía la diferencia de desplazamiento relativo entre ruedas crece en las curvas con las distancia entre carriles.[6]

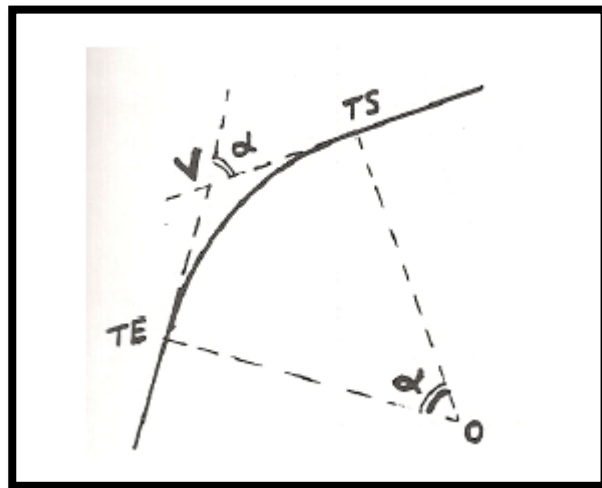


Figura 2.15. alineación circular. [6]

2.2.2.2 Peralte

Cuando un vehículo circula por una curva circular está sometido a una aceleración normal $= v^2/R$. La fuerza que actuará sobre el vehículo será:

$$F_v = m * \frac{v^2}{R} * n = \frac{P}{g} * \frac{V^2}{R} * n \quad (4)$$

Que está dirigida hacia el exterior de la curva, perpendicular al eje de la vía y que se puede considerar aplicada en el centro de gravedad del vehículo.

Esta fuerza provoca unas sobrecargas y descargas de las ruedas de cada lado que pueden producir efectos de importancia como:

- volcar el vehículo
- desgaste mayor del carril externo desequilibrando el desgaste de ambos carriles
- desclavar el carril

- esfuerzo transversal sobre la vía

Para poder subsanar estos efectos se utiliza el peralte, que es la elevación del carril exterior respecto del interior lo que provoca una diferencia de altura entre carriles, buscando que se iguales las fuerzas en curva y las fuerzas en recta, por esta elevación desaparecen las aceleraciones laterales.

Razones del peralte en curva:

- Limitar los esfuerzos transversales y choques a la entrada y salida de las curvas, que, unidos a los movimientos de lazo, pueden producir descarrilamientos y vuelcos.
- Conseguir desgaste similar en ambos carriles, impidiendo exceso trabajo de sujeciones y la tendencia al vuelco del carril.
- Alcanzar mayor confort de los viajeros y mayor estabilidad de las mercancías.
- Compensar la fuerza centrífuga.

2.2.2 Trazado en Alzado

Está constituido por una sucesión de rectas y curvas que enlazan los acuerdos verticales, y que serán cóncavos o convexos en función del signo de la pendiente de las rectas que unen. Normalmente son curvas parabólicas de tipo convexo y cóncavo, los parámetros que definen estos acuerdos dependen de la velocidad y de las pendientes de alineaciones rectas, por tanto, quedan definidas por la constante K_v y las tangentes T de entrada y salida.

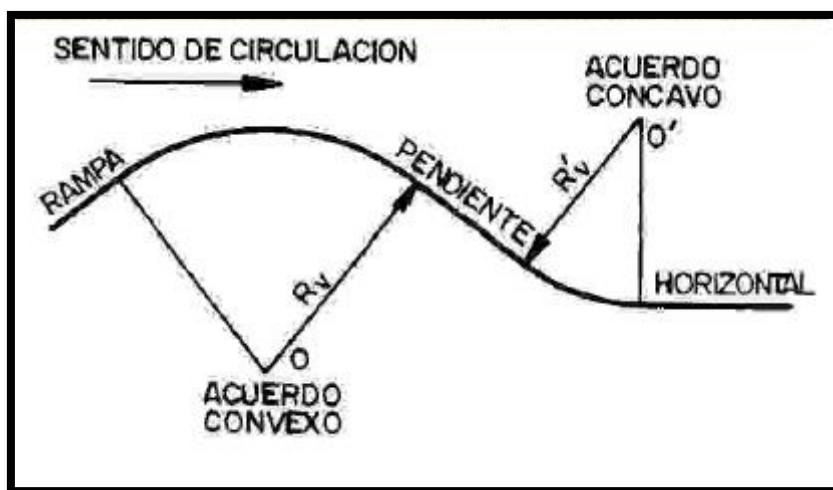


Figura 2.16. Descripción gráfica de los acuerdos.

Las rasantes pueden ser en *Rampa*, es el plano inclinado en sentido ascendente según el sentido de circulación; *Pendiente*, es el plano inclinado en sentido descendente según el sentido de circulación; *Horizontal*, cuando no tiene declividad alguna. El punto en el cual cambia la declividad se denomina cambio de rasante, estos puntos se encuentran convenientemente señalizados en la línea ferroviaria.

Dentro del trazado en alzado se pueden definir distintos tipos de explanaciones como:

Trinchera, en las que es necesario efectuar un vaciado de tierras.

Terraplén, en las que sucede todo lo contrario, necesitan relleno de material.

Mixtas, una unión de las anteriores, se utilizan en vías que discurren por la ladera de una montaña.

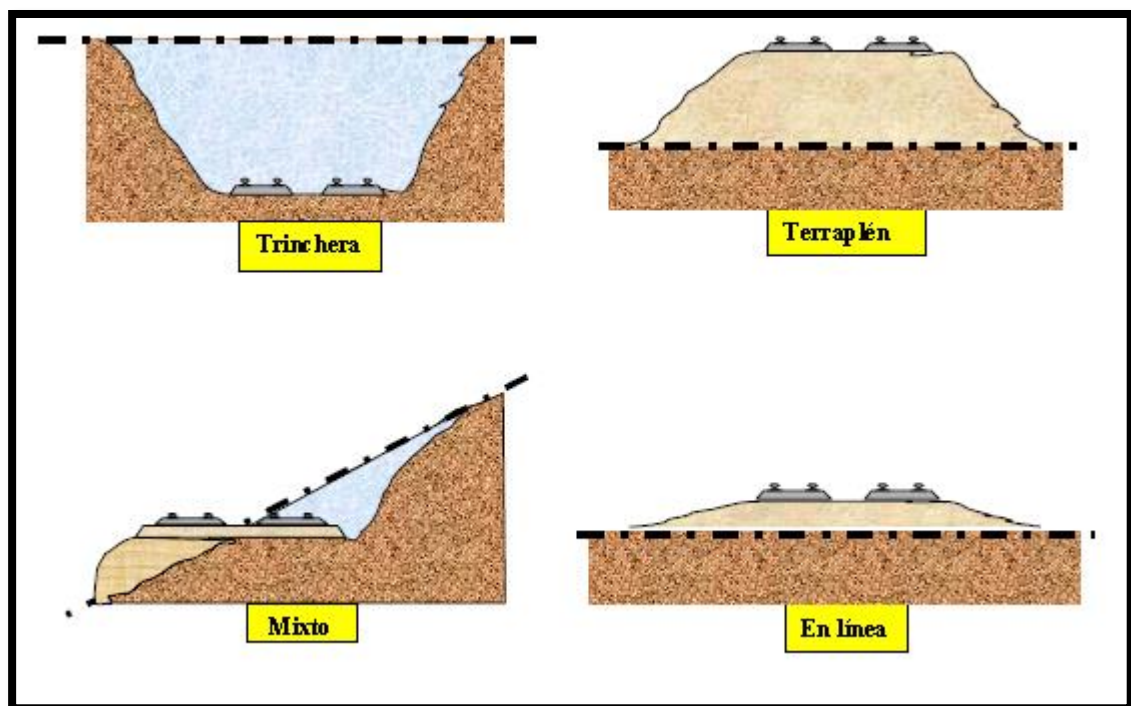


Figura 2.17. Descripción gráfica de los tipos de explanaciones.

2.3 Irregularidades de la vía.

Los fallos en la continuidad provocan aceleraciones verticales y horizontales, que producen un aumento de las cargas dinámicas.

En España existen normativas como la UNE-EN-13848-5-2009 que regula la calidad geométrica de la vía y la UNE-EN-13848-1-2004 que regula la geometría de la vía.

Las irregularidades en una vía aumentan la incomodidad para los viajeros y el deterioro de suspensiones, entre otros; así mismo una vía con irregularidades se deteriora mucho antes que una que tenga una geometría perfecta por consecuencia a esto se debe de controlar los siguientes parámetros:

- Nivelación longitudinal:
- Alabeo de la vía:

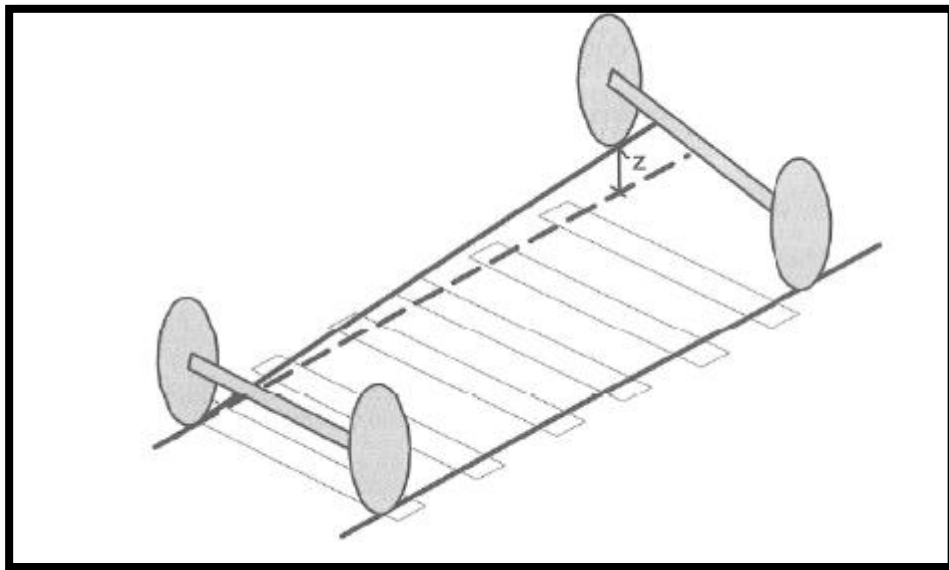


Figura 2.18. Descripción gráfica alabeo.

- Ancho de vía:
- Nivelación transversal:
- Alineación:

2.4 Influencia de la calidad geométrica de la vía en la dinámica de un vehículo.

La calidad de la geometría de la vía se define como la evaluación de las desviaciones con respecto al valor medio o al de proyecto, de las características geométricas de determinados parámetros, en los planos vertical y horizontal, que afectan a la seguridad o se relacionan con la calidad de la rodadura.

Los parámetros geométricos principales de vía son:

2.4.1 Descripción del sistema de coordenadas de vía

La calidad de la geometría de la vía se describe mediante un sistema ortogonal de coordenadas centrado en la vía con rotación en el sentido de las agujas del reloj, el eje x representa una prolongación de la vía hacia la dirección del desplazamiento, el eje Y es el eje paralelo a la superficie de rodadura y el eje Z es el eje perpendicular a la superficie de rodadura apuntando hacia abajo

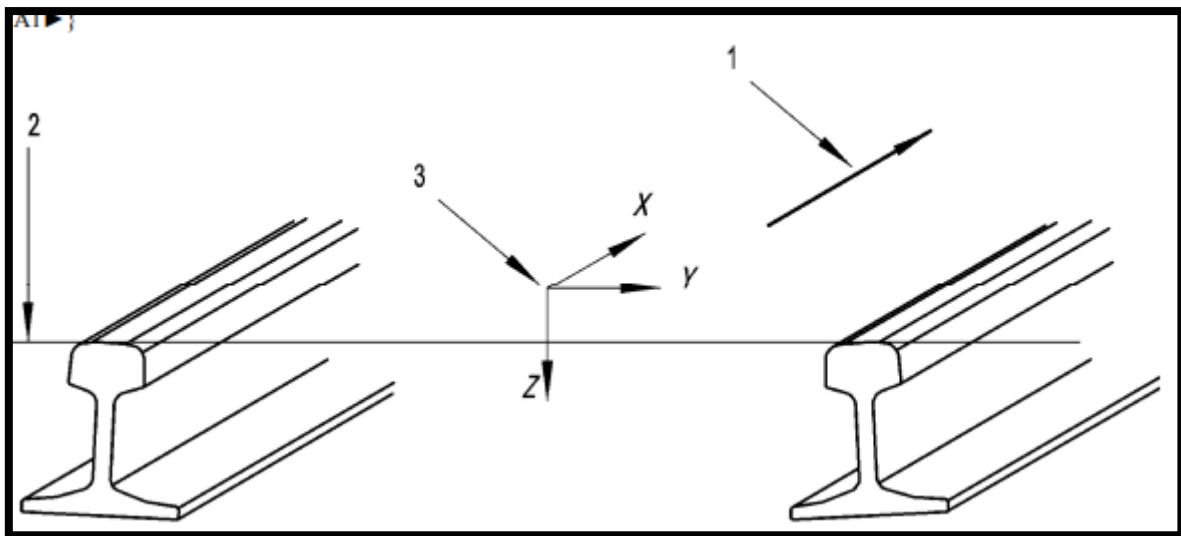


Figura 2.19. Relación entre los ejes del sistema de coordenadas de vía [8]

2.4.2 Ancho de vía:

El ancho de vía G , es la menor distancia entre las líneas perpendiculares a la superficie de rodadura cuya intersección con cada perfil de la cabeza del carril está situada en el punto P , situado a 14 mm por debajo de la superficie de rodadura.

La situación de un carril nuevo sin desgaste, el punto P estará en el límite de Z_p por debajo de la cabeza del carril.

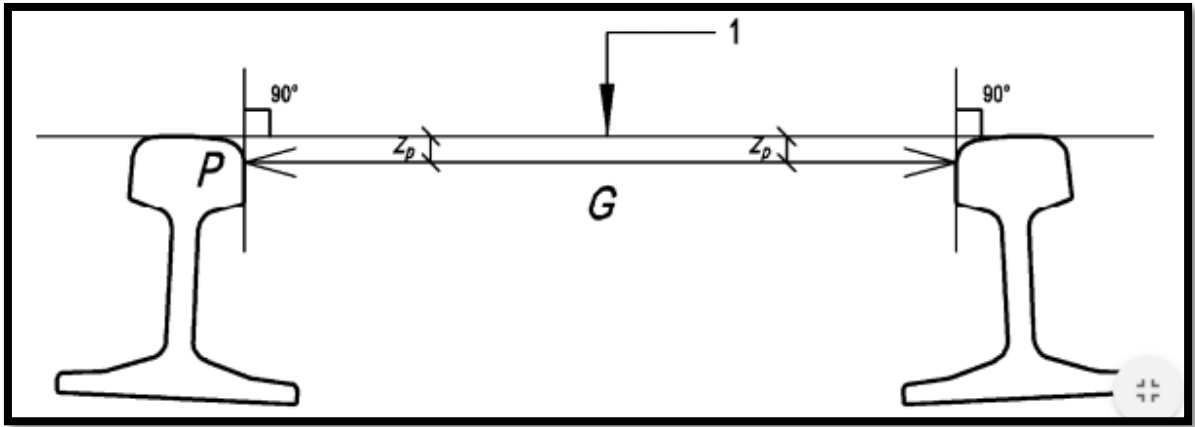


Figura 2.20. Ancho de vía para un carril nuevo. [8]

En la situación de una cabeza de carril con desgaste el punto P para el carril izquierdo puede ser diferente que para el carril derecho.

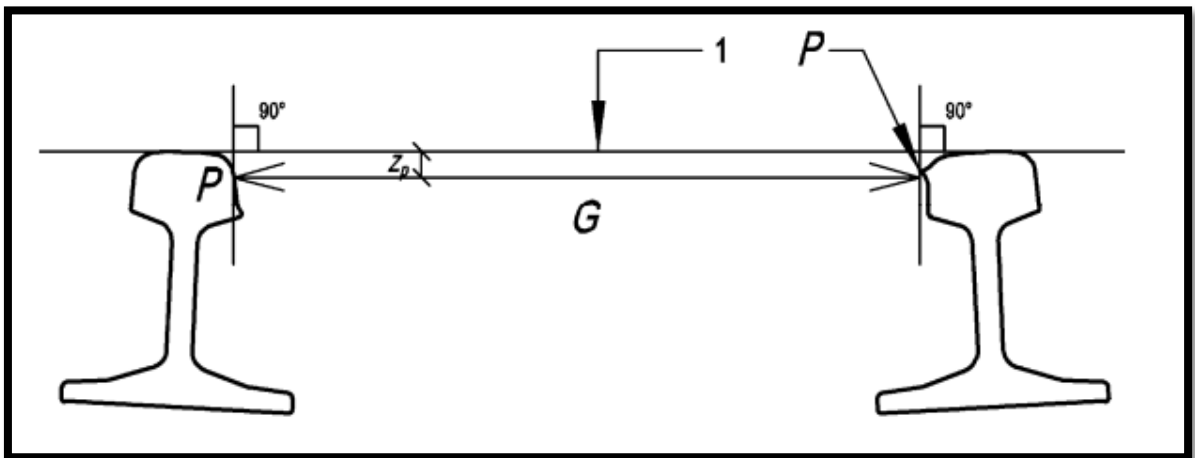


Figura 2.21. Ancho de vía para un carril desgastado.[8]

El método de medición del ancho de vía se puede efectuar utilizando un sistema de contacto o de no contacto.

El método de análisis de los defectos individuales está representado por la amplitud entre el valor nominal y el valor pico.

Las medidas para los requisitos de datos de salida son recogidas por vehículos auscultadores, máquinas de mantenimiento de vía o equipos de medida se deben registrar como un conjunto de lecturas consecutivas preferentemente en formato digital y además se deben representar gráficamente. Para los dispositivos que sean de uso manual la medición de cada ancho de vía se debe registrar como un valor único.

Para la presentación del resultado de la medición del ancho de vía este se debe describir por:

- La identificación de defectos individuales que excedan un umbral determinado.
- El ancho de vía medido.
- La diferencia entre el ancho de vía medido y el ancho de vía nominal.
- El ancho de vía medido sobre una distancia especificada.
- La variación del ancho de vía sobre una distancia especificada.

2.4.3 Nivelación Longitudinal.

Variación de Z_p según el eje z de alturas consecutivas de la tabla de rodadura de cada carril, expresada como desviación de la posición vertical media cubriendo los rangos de longitud de onda estipulados a continuación y calculadas a partir de mediciones sucesivas.

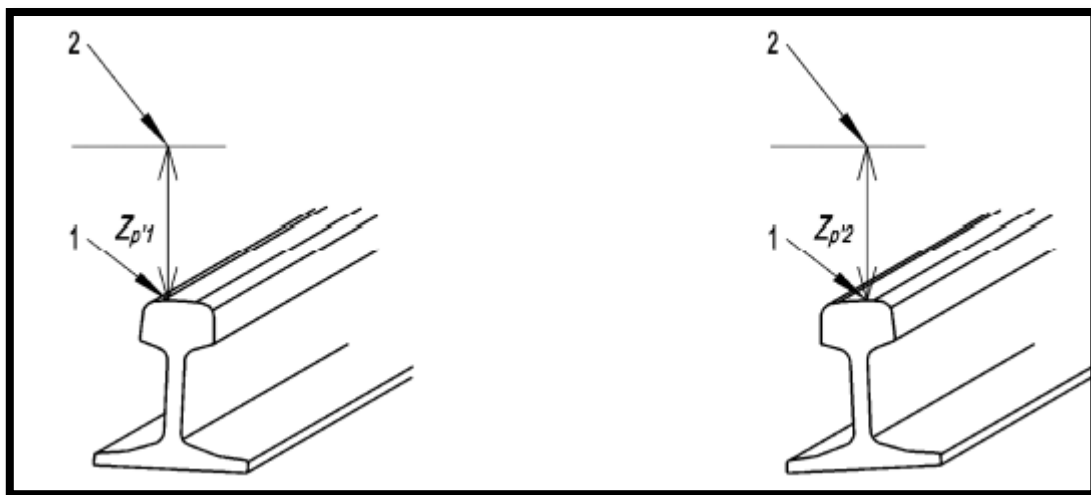


Figura 2.22. Nivelación longitudinal. [8]

Las mediciones de nivelación longitudinal se deben realizar mediante un sistema inercial o un sistema de medición de fecha o bien mediante una combinación de ambos

métodos, si se utiliza el método de medición de fecha es necesario una recolocación de las señales de medidas para así eliminar la influencia de la función de transferencia del sistema.

El análisis de los defectos individuales está representado por la amplitud entre el valor medio y el valor pico, así mismo las mediciones de los requisitos de los datos de salidas serán recogidas por vehículos auscultadores, máquinas de mantenimiento de vía o carretillas de medida se deben registrar como un conjunto de lecturas consecutivas perfectamente en forma digital y además se deben representar gráficamente. La presencia de los resultados como mínimo debe estar descrito por:

- Los defectos individuales que excedan un umbral determinado
- La desviación típica sobre una distancia especificada.

2.4.4 Nivelación Transversal.

Diferencia en altura de tablas de rodadura adyacentes calculada según el ángulo entre la superficie de rodadura y un plano de referencia horizontal, se expresa como la altura del cateto vertical de un triángulo rectángulo con una hipotenusa de valor igual al ancho de vía nominal más el ancho de cabeza del carril.

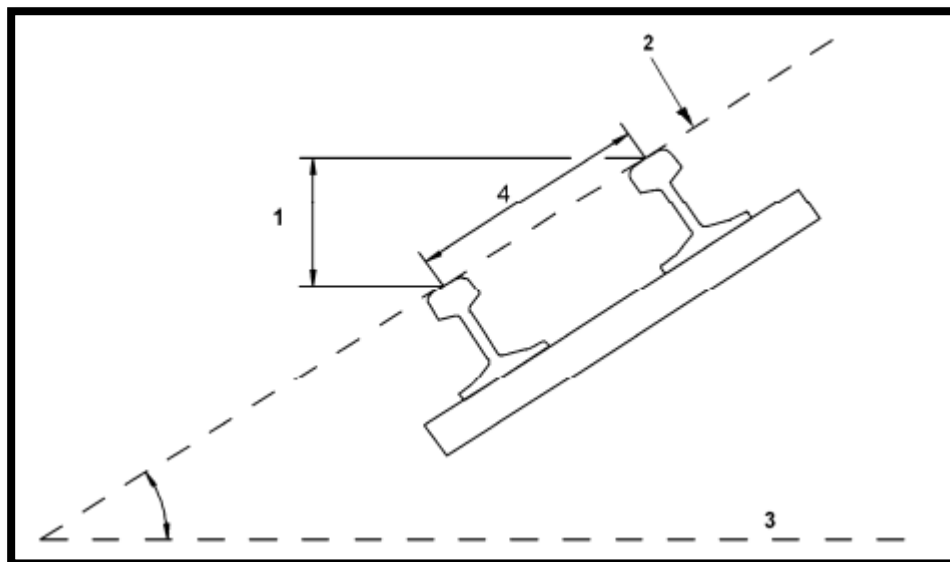


Figura 2.23. Nivelación transversal [8]

La medición transversal se determina midiendo el ángulo de la superficie de rodadura con el plano de referencia o la diferencia en altura entre las dos tablas de rodadura.

El análisis de los defectos individuales está representado por la amplitud entre valor medio y el valor pico, además, los valores medidos definidos como la amplitud entre cero y los valores pico, se pueden comparar con los valores de proyecto. Así mismo las mediciones de los requisitos de los datos de salidas serán recogidas por vehículos auscultadores, máquinas de mantenimiento de vía o carretillas de medida se deben registrar como un conjunto de lecturas consecutivas perfectamente en forma digital y además se deben representar gráficamente.

2.4.5 Alineación.

Variación Y_p según el eje Y de posiciones consecutivas del punto P sobre cada carril, expresada como desviación de la posición horizontal medida cubriendo los rangos de longitud de onda estipulados a continuación y calculada a partir de mediciones sucesivas.

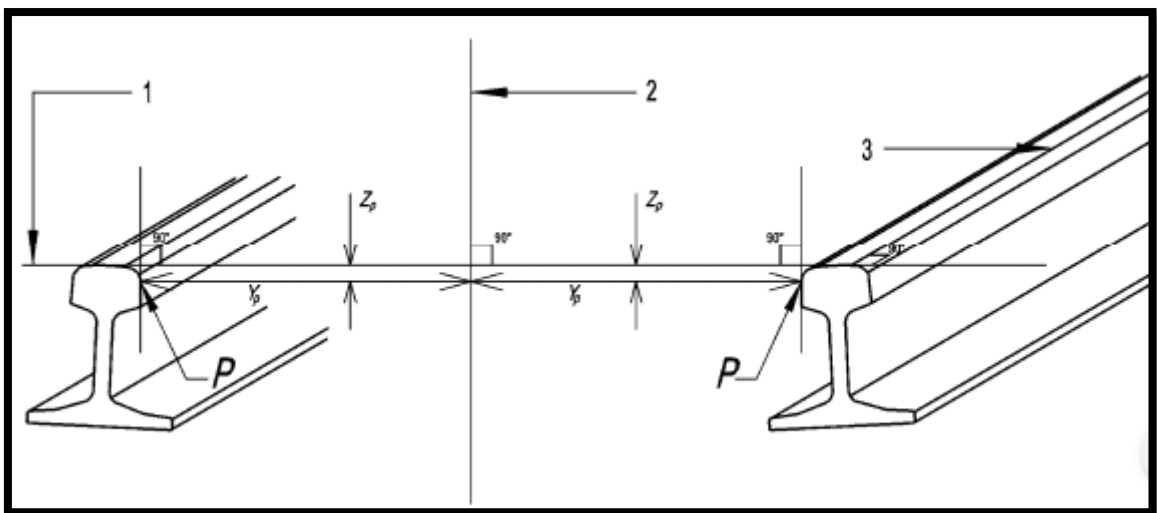


Figura 2.24. Alineación [8]

Las mediciones de alineación se deben realizar mediante un sistema inercial o un sistema de medición de flecha que deberá ser asimétrico o bien mediante una combinación de ambos métodos. El método de análisis y las mediciones de los requisitos de los datos de salida son los mismos que los apartados anteriores de nivelación.

2.4.6 Alabeo.

La diferencia entre dos nivelaciones transversales tomadas a una distancia de separación definida, expresada generalmente como un gradiente entre los dos puntos de medición. La medición del alabeo se deberá tomar simultáneamente a una distancia fija como la distancia equivalente a la que existe entre ejes o bien calculadas a partir de mediciones consecutivas de nivelación transversal.

Los defectos individuales se representan por la amplitud entre la línea cero y el valor pico o por la amplitud entre el valor medido y el valor pico. [8]

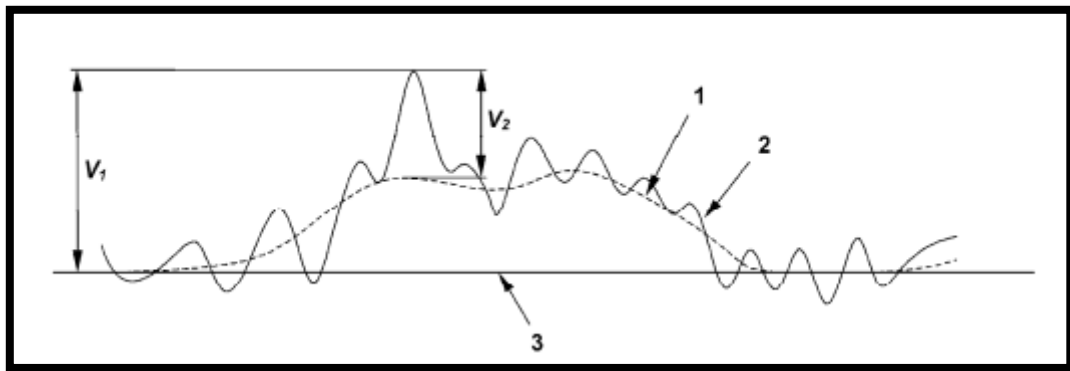


Figura 2.25. Método de análisis del alabeo. [8]

La norma UNE-EN-13848-5-2005 define los requisitos mínimos para los niveles de calidad de la geometría de la vía y especifica los límites de seguridad correspondientes para cada parámetro según se define en la Norma.

2.4.7 Evaluación de la calidad geométrica de la vía.

Existen trenes indicadores que pueden describir la calidad de la vía:

- Valores extremos de los defectos aislados.
- Desviaciones típicas sobre una longitud, típicamente 200 m
- Valor medio.

Así mismo se deben de considerar tres niveles principales.

2.4.7.1 Límites de acción inmediata.

Los valores límite de acción inmediata derivan de la experiencia y de las consideraciones técnicas de la interacción rueda-carril, puesto que no es posible realizar ensayos reales con diferentes vehículos hasta el punto de descarrilamiento.

Sobrepasar estos valores límites de acción inmediata requiere implementar medidas específicas para reducir los riesgos de descarrilamiento u otros peligrosos hasta un nivel aceptable.

2.4.7.2 Límites de alerta e intervención.

A diferencia de los límites de acción inmediata en la que se tiene en cuenta la interacción vehículo-vía, así como el riesgo de acontecimientos inesperados, los otros niveles de calidad están ligados con la política de mantenimiento.

La política de mantenimientos puede estar dirigida ya sea a mantener únicamente la seguridad o a conseguir una buena calidad de rodadura, interior coste de ciclo de vía o un servicio más atractivo además de la seguridad. Los límites de alerta e intervención establecidos por los administradores europeos de infraestructura se establecerán al menos para garantizar la seguridad y pueden estar sujetos a conseguir un nivel dado de calidad de rodadura.

La frecuencia de las inspecciones debería elegirse teniendo en cuenta los niveles de intervención y alerta establecidos en cada norma de la administración de infraestructura europea y para asegurar la calidad geométrica de la vía.

2.4.8 Importancia relativa de varios parámetros.

2.4.8.1 Sistema vehículo-vía.

La vía del ferrocarril tiene tres funciones, transportar el tren, guiándolo y absorbiendo las fuerzas de tracción. Estas funciones conducen a fuerzas verticales, laterales y longitudinales entre el tren y la vía.

La interacción vehículo-vía no puede definirse con precisión según proceso determinista, porque depende de un gran número de factores internos y externos del sistema.

Algunos factores externos no han sido tenidos en cuenta en la determinación de los límites de acción inmediata, tales como viento o efectos de resonancia debidos a la infraestructura.

Considerando únicamente la interacción vehículo-vía, tiene que tenerse en cuenta tres tipos de criterios:

1. Parámetros de seguridad:

- Suma de fuerzas laterales: este parámetro caracteriza el riesgo de cambio de vía bajo carga debido a las fuerzas elevadas sobre la vía.
- Combinación de las fuerzas laterales y verticales: la relación entre las fuerzas generadas por una rueda caracteriza el riesgo de descarrilamiento, correspondiente a subir la pestaña de la rueda sobre el carril. Dicha relación tiene que ser más pequeña que un valor crítico dependiendo del ángulo entre la rueda y el carril, la condición de contacto, la velocidad y otros factores.
- Fuerzas verticales y laterales cuasi estáticas: en las curvas de radio pequeño, las fuerzas verticales y laterales cuasi estáticas también tienen que tenerse en cuenta.

2. Parámetros de confort.

El confort se evalúa midiendo las aceleraciones verticales y laterales en la caja del vehículo.

3. Parámetros que influyen en la vida de los componentes.

La vida de los componentes de la vía y el vehículo está fundamentalmente ligada a fuerzas verticales y laterales.

2.4.8.1 Influencia de los parámetros de la geometría de la vía en el comportamiento y la seguridad del vehículo.

Para definir la calidad geométrica de la vía, es necesario elegir y combinar parámetros geométricos significativos de la vía y definir los umbrales para la seguridad teniendo en cuenta los aspectos de la interacción vehículo y vía.

La experiencia y las consideraciones teóricas han demostrado que prácticamente todos los parámetros geométricos de la vía tienen una influencia sobre la respuesta del vehículo.

Una combinación particular de parámetros de la geometría de la vía podría tener una fuerte influencia sobre la respuesta del vehículo [9].

La calidad geométrica de la vía juega un papel fundamental en la seguridad, confort y la fiabilidad de las infraestructuras ferroviarias así mismo como en la determinación de las acciones para su mantenimiento por lo que será de gran importancia estudiar con rigor la evolución de las características de la vía durante el periodo de vida útil del sistema. De esta manera se podrá minorar al máximo las disposiciones que puedan originar defectos en la geometría de la vía que, de forma sistemática, provoquen no solo deformaciones prematuras si no la necesidad de intervenir en dichas zonas.

3 OBJETIVOS

El objetivo fundamental es el de diseñar una vía ferroviaria a escala que tendrá como finalidad el estudio dinámico de vehículos a escala circulando sobre ella.

Para ello se estudiarán las diferentes cubiertas del Campus Tecnológico de Linares en donde localizar su instalación atendiendo a criterio de funcionalidad y facilidad de instalación.

La estructura del trazado ferroviario estará compuesta por unas mesas metálicas encargadas de proporcionar una superficie horizontal sobre las que se instalarán unos mecanismos de sujeción de los perfiles ferroviarios.

Dado que las cargas a las que estarán sometidas la estructura metálica serán muy pequeñas, se establecerán unos requisitos de rigidez como exigencia del TFG para asegurar que la estructura no experimenta desplazamientos excesivos bajo ciertas hipótesis de carga.

Los requisitos de rigidez para la estructura soporte que se plantea se consideran tal que, si se aplican cargas concentradas en cualquier punto, dirección vertical, lateral o longitudinal los desplazamientos del punto de aplicación de la carga no superen ciertos valores que son parámetros puesto para el desarrollo del TFG.

Debido a las características de la instalación ferroviaria que se tiene planteada y por su localización en la cubierta de un edificio de la EPSL más concretamente en los laboratorios, se debe evitar el anclaje de la estructura a la cubierta para evitar perforaciones que puedan afectar el estado de las cubiertas, por lo que la instalación deberá ir simplemente apoyada y se deberá asegurar su integridad y viabilidad bajo las distintas acciones climáticas.

Se comprobarán mediante software computacional que se cumplen los criterios de rigidez. De igual manera, y dado el carácter académico de este TFG.

4 DISEÑO DEL TRAZADO FERROVIARIO

Se propondrán diferentes tipos de trazado ferroviario que se adaptarán a las condiciones que dentro del área de construcción se tienen.

4.1 Propuestas de diseño.

Dentro de la universidad se cuenta con dos cubiertas en las cuales se evaluará de acuerdo a unos atributos para realizar la elección del trazado final. A continuación, evaluaremos las dos alternativas.

4.1.1 Primera alternativa

Se ha proyectado una primera opción de trazado de la vía ferroviaria a escala en el edificio de los laboratorios Este del Campus Tecnológico de Linares, gran parte de la cubierta es transitable y está compuesta por una zona de acabado en grava que tiene zonas de conexión con baldosa de mármol blanco, dentro de esta cubierta se encuentran diferentes instalaciones de servicios varios como lo son las de aire acondicionado entre otras, así mismo se encuentran instalaciones de otros departamentos de investigación de la universidad.

En esta cubierta se encuentra un espacio libre en el cual se podría proyectar un trazado recto de una longitud de 18 m y una curva de transición de 2 m y una curva circular con una radio 15 m, este trazado sería bueno pero no sería el ideal para poder realizar el dimensionamiento de la vía ya que las medidas de las alineaciones del trazado tanto rectas como las clotoideas y curvas no se podrían identificar para que estas fueran adecuadas y que no interrumpen las instalaciones existentes en la cubierta.

Una de las principales desventajas de esta cubierta es que el trazado ocuparía una gran parte de esta y haría difícil el tránsito sobre la cubierta, podría interrumpir otras instalaciones y/o actividades como de mantenimiento e investigación por consecuente a esto y a la geometría, ya que no se podría aprovechar todo el espacio disponible de la cubierta como conclusión de estas valoraciones resulta difícil plantearse el trazado de la línea ferroviaria a escala en este edificio.

Tramo	Medidas
Recto	18 m
Clotoide	2 m, radio variable
Curva	15 m

Tabla 4-1. Medidas del trazado de la primera alternativa.



Figura 4.1. Instalaciones en la cubierta de los laboratorios este.



Figura 4.2. Baldosa en mármol como conexión de las zonas de la cubierta.



Figura 4.3. Grava e instalaciones de aire acondicionado.

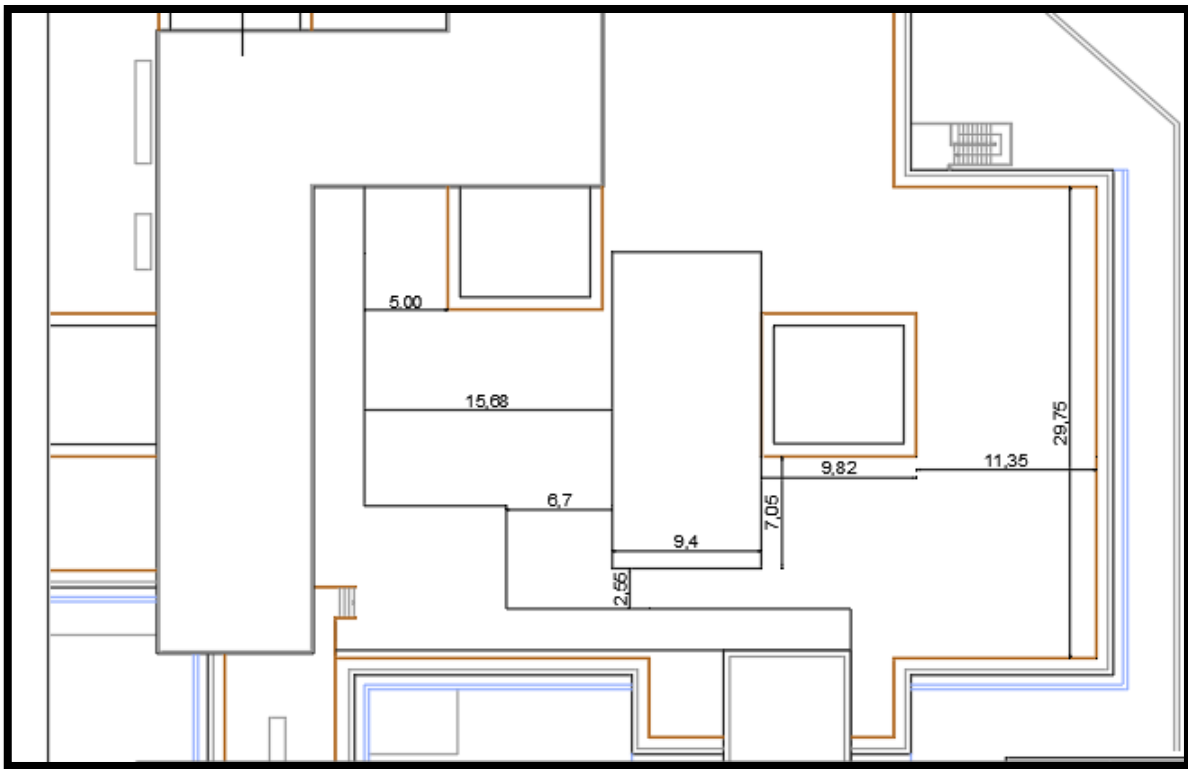


Figura 4.4. Medidas en planta de la cubierta.

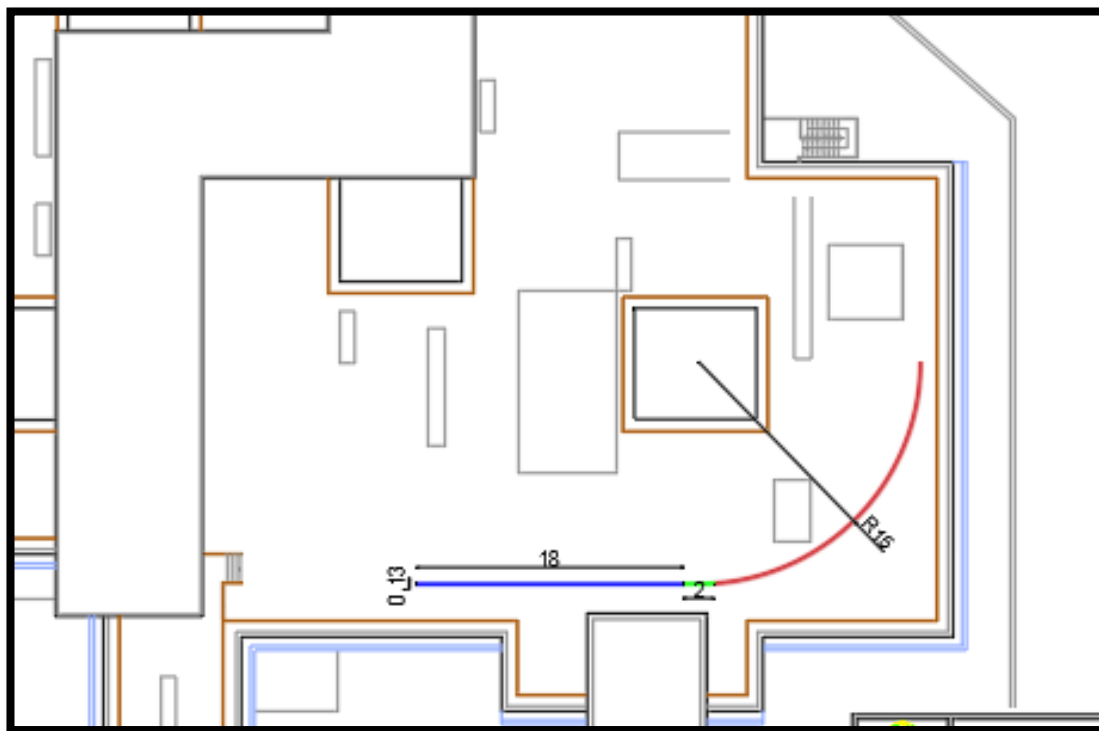


Figura 4.5. Trazado de la primera alternativa.

4.1.2 Segunda alternativa

Se proyecta la segunda alternativa del trazado dentro de la cubierta del edificio de los laboratorios Oeste del Campus Tecnológico de Linares, que cuenta con una cubierta transitable con una zona en grava y otra con baldosas de mármol blanco, a diferencia del edificio de laboratorios Este, este edificio no cuenta con ninguna instalación de investigación por parte de otros departamentos de la universidad, si cuenta con instalaciones de servicios como las de aire acondicionado pero estas no se encuentran interfiriendo en las zonas que son transitables.

Este espacio que se encuentra disponible es posible plantear el trazado adecuado para poder tener una geometría en la que se puedan proyectar alineaciones rectas, curvas de transición (clotoides) y curvas circulares.

Se plantea una recta de aproximadamente 27 m que conecta con una curva de transición (clotoide) que tiene como longitud 6 m con radio variable para que pueda configurar la curva circular que tiene un radio de 12 m y una longitud de 12.85 m, esta curva tiene de salida una curva de transición con las mismas características de la curva de transición con la que inicia conectando con una alineación recta de aproximadamente de 10 m para finalizar el trazado.

La principal ventaja de esta cubierta es que no interfiere con otras instalaciones y/o actividades de diferentes índoles por lo que hace idóneo el uso para la proyección de este tramo ferroviario.

Tramo	Medida
Recto	L= 27m
Clotoide 1	6 m, radio variable
Curva	R= 12 m
Clotoide 2	6 m, radio variable

Tabla 4-2. Medidas del trazado de la segunda alternativa.

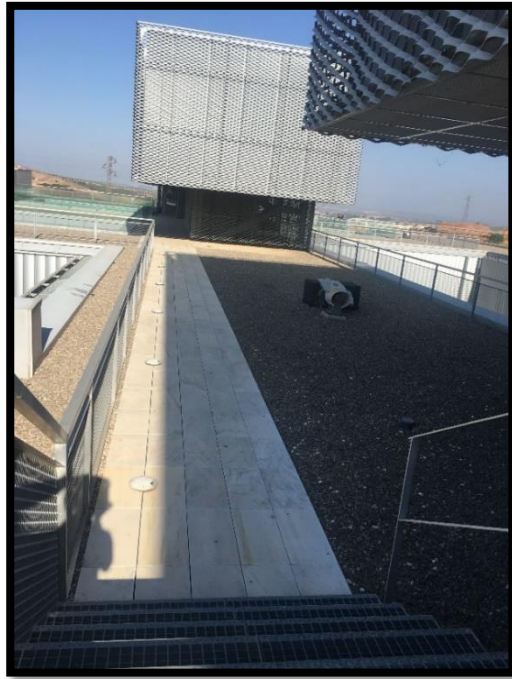


Figura 4.6. Acceso a la cubierta.

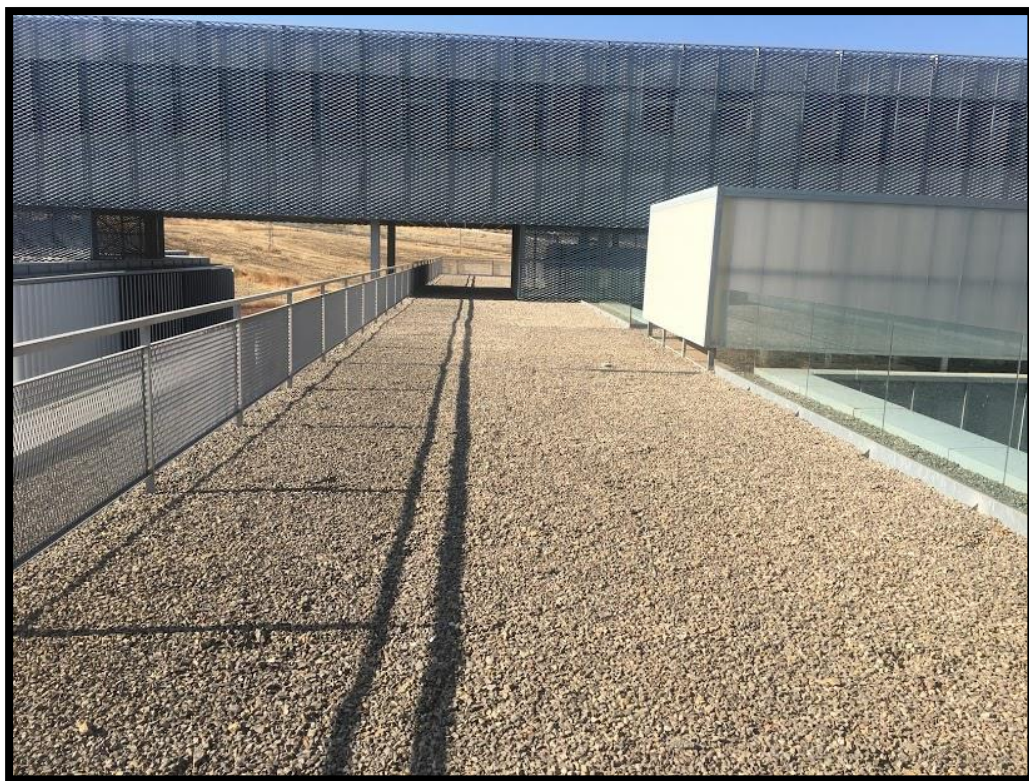


Figura 4.7. Tramo recto de la cubierta.



Figura 4.8. Instalaciones dentro de la cubierta.



Figura 4.9. Estrechamiento del ancho de la cubierta.



Figura 4.10. Espacio para la curva circular.



Figura 4.11. Vista panorámica del acceso de la cubierta al tramo recto.



Figura 4.12. Vista panorámica del espacio disponible.

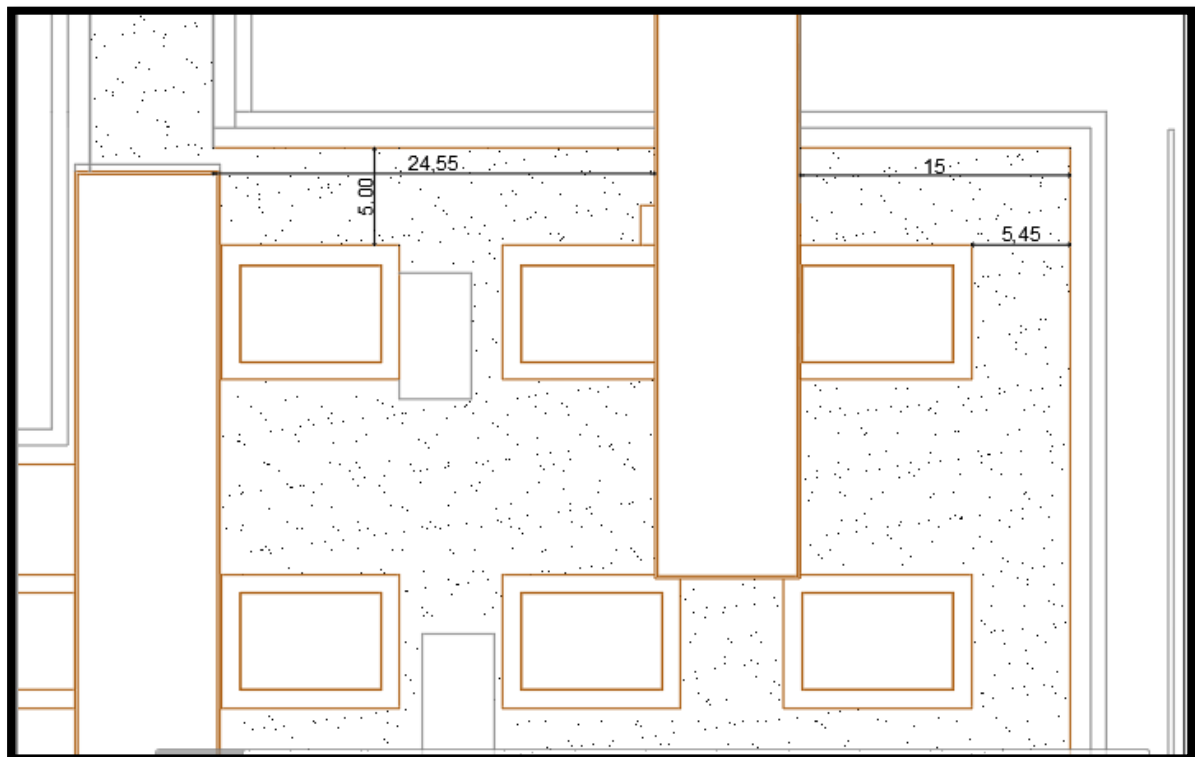


Figura 4.13. Medidas de la cubierta de los laboratorios oeste.

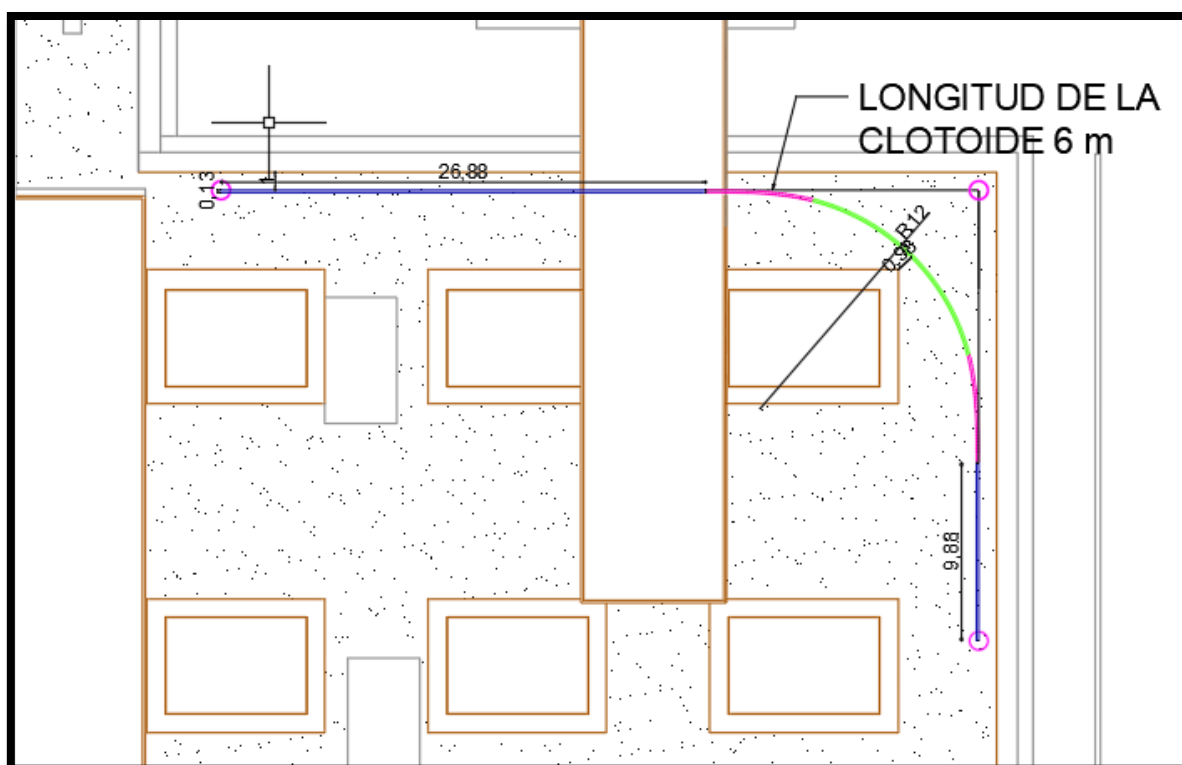


Figura 4.14. Trazado de la segunda alternativa.

4.2 Justificación del tramo adoptado

Para hacer una correcta selección del tramo se realiza una matriz de decisión que es un gráfico que permite identificar y analizar la tasa de la fuerza de las relaciones entre conjuntos de información en este caso los tramos analizados, esta matriz nos permite hacer una planificación de la calidad para realizar una correcta elección, para realizar la matriz debemos de tener en cuenta las necesidades del proyecto.

En la matriz de decisión se evaluarán los siguientes aspectos que se consideran fundamentales:

- Amplitud del trazado, que se refiere a lo grande que puede ser el trazado según el tipo de cubierta, esto es importante ya que si se tiene un trazado amplio se pueden adquirir características de diseño más específicas y con posibilidad de que puedan ser más visibles y diferenciables a simple vista, como lo serían las curvas de transición.
- Variación de las alineaciones, ya que, si se desea tener un trazado en el cual podamos observar todos los efectos que tiene una vía real, el

trazado a realizar tendría que tener todos los tipos de alineaciones básicas que se diferencian en un trazado ferroviario.

- Facilidad de construcción, en la que se valorará el espacio que se dispone adicional al que necesita como tal el modelo ya que dependerá de esto el nivel de comodidad que se tenga a la hora de construir e instalar el modelo.
- Espacio efectivo de utilización, es el espacio total que ocupa la instalación ya que si se tiene dentro de las cubiertas existirán espacios que no podrán ser utilizados por ocupación de otras instalaciones lo que entorpecerá el diseño de la vía, para lo cual se tendrá que acomodar el trazado de la vía de tal manera que no interrumpa otras actividades.
- Interrupción con instalaciones, esto dependerá de cuantas instalaciones se encuentre de por medio del diseño del trazado, habrán cubiertas que tengan más o menos instalaciones.
- Interrupción con el acceso a la cubierta, dependerá el diseño que adopte el trazado.

4.2.1 Matriz de decisión.

	Primera Alternativa	Segunda Alternativa
Amplitud del trazado	5	10
Variación de las alineaciones	5	10
Facilidad de construcción	10	8
Facilidad de mantenimiento	8	6
Espacio efectivo de utilización	8	10
Interrupción con instalaciones	5	10
Interrupción con el acceso a la cubierta	2	8
TOTAL	43	62

Tabla 4-3. Matriz de decisión.

4.2.2 Conclusión de la matriz de decisión.

Para realizar la valoración de cada una de las alternativas, intervienen diferentes características del entorno de las cubiertas, la amplitud del trazado en la primera alternativa la recta y las curvas que la componen son mucho menores a comparación con la segunda alternativa, aunque se tenga un radio mayor, es más importante tener variación en el trazado para poder realizar un análisis completo. La variación de las

alineaciones en la primera alternativa es mucho menor ya que dispones de un espacio menor por lo que las alineaciones son simples, en la segunda alternativa disponemos de más espacio por lo que se podrá tener más alineaciones como es el caso en el que se pudo plantear una curva de transición y otra de salida de la curva circular.

La facilidad de mantenimiento y de construcción se ven favorecidas en la primera alternativa ya que esta es más simple y más pequeña por lo que necesitará menos actividades de construcción y mantenimiento.

El espacio efectivo de utilización se traduce en el espacio que es aprovechado correctamente para realizar el trazado, en la primera alternativa por interferencia de otras instalaciones de servicio y de investigación no es posible aprovechar todo el espacio disponible como en la segunda alternativa que, si se tiene esa facilidad, por consecuente a lo antes mencionado la primera alternativa se valora negativamente en la interrupción con otras instalaciones.

El acceso a la cubierta en la primera alternativa se ve afectada ya que el mayor espacio disponible para el trazado es el que se encuentra justo en frente del acceso a la cubierta, en la segunda alternativa el trazado no interrumpe el acceso a la cubierta.

De esta manera se justificó que la segunda alternativa es la más idónea para la realización del trazado a escala que se plantea por este TFG.

4.3 Descripción detallada del trazado ferroviario

En España se tiene un ancho de vía denominado ancho ibérico de 1668 mm entre las caras internas de los carriles, es un ancho característico de la península ibérica. Esta medida es 233 mm superior al ancho estándar que se encuentra vigente en la mayoría de las vías férreas del continente europeo el cual se adoptó para poder aumentar la velocidad sin comprometer la estabilidad de las locomotoras. En el proyecto se tomará una medida entre carriles de 5" lo que componen 127 milímetros. Se tiene un trazado que se compone de las mayores características que puede tener un trazado ferroviario, recta, curva y clotoides.

El inicio del trazado está compuesto por una alineación recta que tiene una longitud de 26.88 metros, seguido de esta recta se inicia una curva de transición (clotoide) en la cual una sección de recta se convierte en una curva, el inicio de la transición de la curva horizontal tiene un radio infinito, y al final de la transición, tienen el mismo radio que la curva, por lo que se forma una especie de espiral muy amplio,

esta curva de transición tiene una longitud de 6 metros y el radio de la curva circular es de 12 metros.

Para volver a una alineación recta se adoptan las mismas medidas de la curva de transición del inicio del trazado y termina con una recta con una longitud de 9.88 metros.

Para la construcción de la vía es necesario realizarla por tramos para que la construcción e instalación sea más sencilla, por lo que se adaptará una medida de 3 metros para cada tramo de cada carril tanto el interior como el exterior.

4.3.1 Alineación Recta de inicio

La alineación recta tiene la misma longitud para los dos carriles, el extremo como el interior por lo que la división del tramo será la misma para los dos carriles.

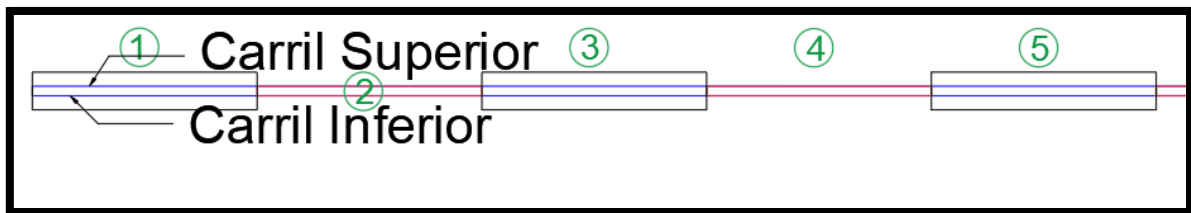


Figura 4.15. Tramo 1, 2, 3, 4,5 de la alineación recta.

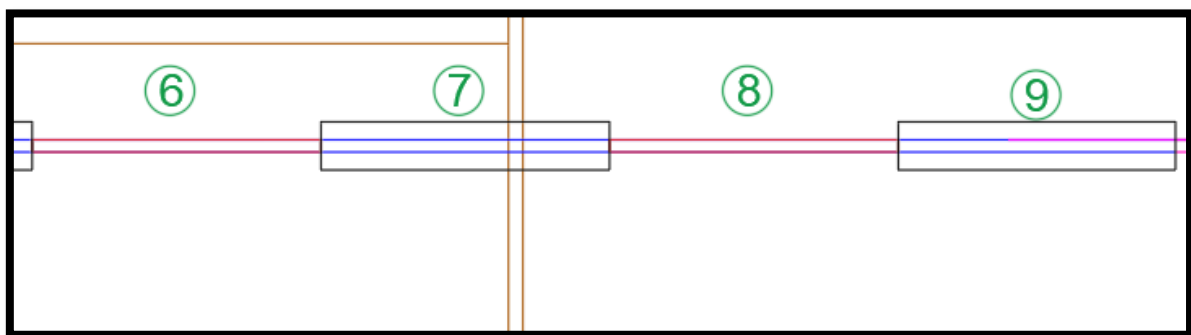


Figura 4.16. Tramo 6, 7,8 de la alineación recta

Alineación Recta 1	Longitud (m)
Tramo 1	3
Tramo 2	3
Tramo 3	3
Tramo 4	3
Tramo 5	3
Tramo 6	3
Tramo 7	3
Tramo 8	3
Tramo 9	2,88
Longitud Total	26,88

Tabla 4-4. Longitudes de la alineación recta 1

La alineación recta tiene una longitud total de 26.88 m por lo que todos los tramos no podrán tener la misma longitud con excepción del último tramo que conecta con la curva de transición (clotoide) tiene una longitud menor.

4.3.2 Curva de transición de inicio

Los tramos de la curva de transición inicial tienen una longitud diferente tanto el carril superior como el inferior ya que la longitud total de la clotoide varía cierta distancia por lo que cada tramo tendrá un valor de longitudes diferentes.

El carril superior se divide en 2 tramos de 3 m ya que la longitud de la curva total es de 6 m con un radio inicial ∞ y un radio final de 12 m.

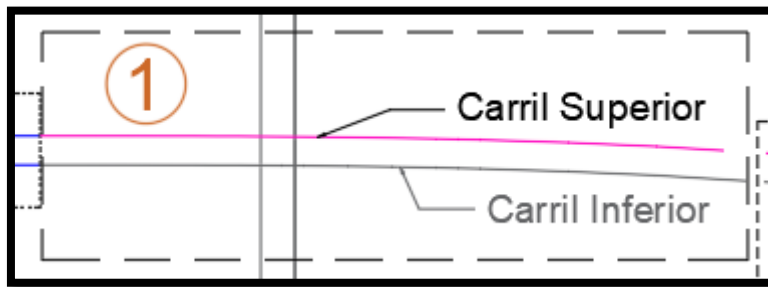


Figura 4.17. Tramo 1 del carril superior de la curva de transición inicial.

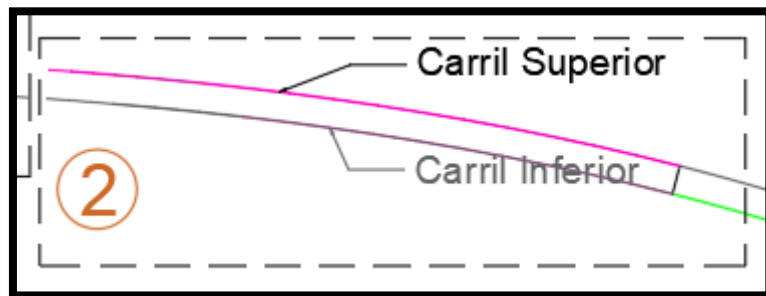


Figura 4.18. Tramo 2 del carril superior de la curva de transición inicial.

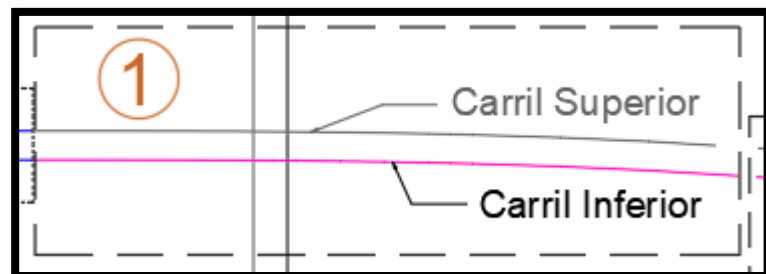


Figura 4.19. Tramo 1 del carril inferior de la curva de transición inicial.

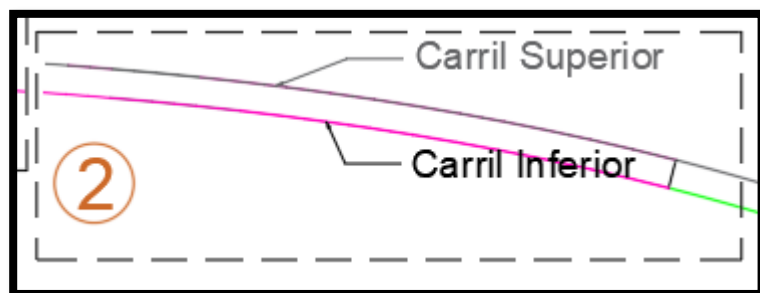


Figura 4.20. Tramo 2 del carril inferior de la curva de transición inicial.

Curva de transición 1			
Tramos	Longitud (m)	Radio inicial	Radio Final
Tramo 1 Sup	3	∞	24
Tramo 2 Sup	3	24	12
Longitud total tramo superior (m)			6
Tramo 1 Inf	2,9675	∞	23,74
Tramo 2 Inf	2,9675	23,74	12
Longitud total tramo inferior (m)			5,935

Tabla 4-5. Dimensiones de la curva de transición de inicio

4.3.3 Curva circular

La curva circular se dividirá tanto el carril superior como el carril inferior en 4 tramos, cada uno de estos tendrán longitudes variables ya que el radio es diferente para los dos carriles.

El carril superior tiene un radio de 12 m con una longitud total de 12.85 m y el carril inferior tiene un radio de 11.87 m con una longitud de 12.71 m.

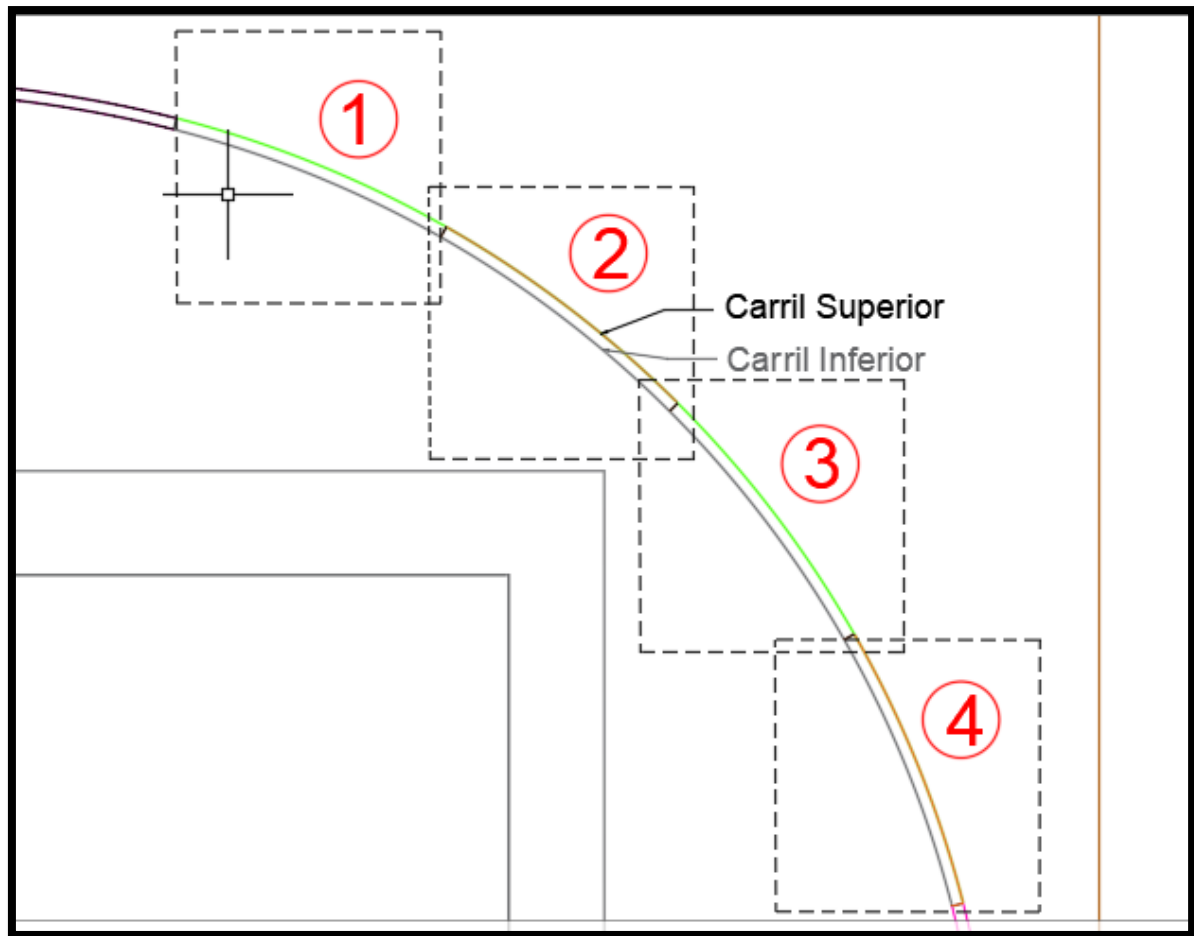


Figura 4.21. Tramos 1, 2, 3,4 del carril superior de la curva circular.

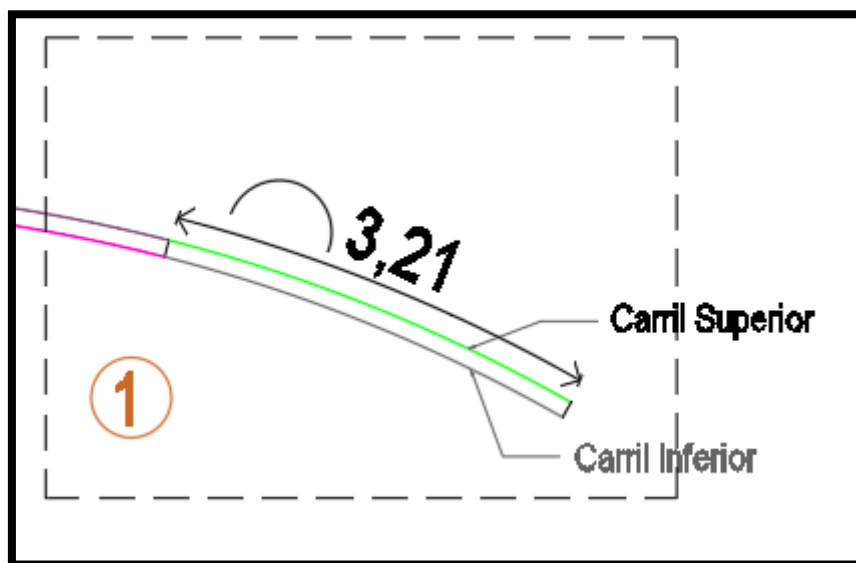


Figura 4.22. Detalle de los tramos del carril superior de la curva circular.

Curva circular		
Tramo	Longitud (m)	Radio (m)
Tramo 1 Sup	3,21	12
Tramo 2 Sup	3,21	12
Tramo 3 Sup	3,21	12
Tramo 4 Sup	3,21	12

Tabla 4-6. Dimensiones de los tramos del carril superior de la curva circular.

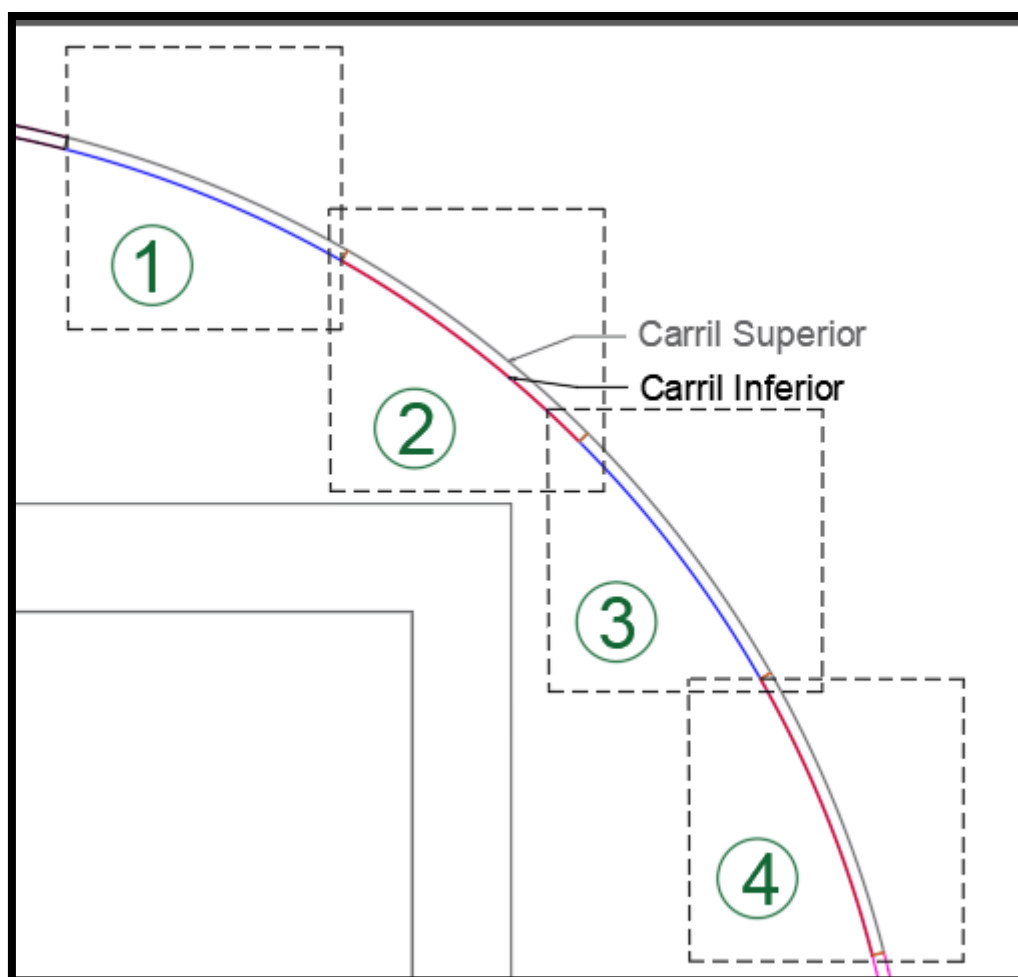


Figura 4.23. Tramos 1, 2, 3,4 del carril inferior de la curva circular.

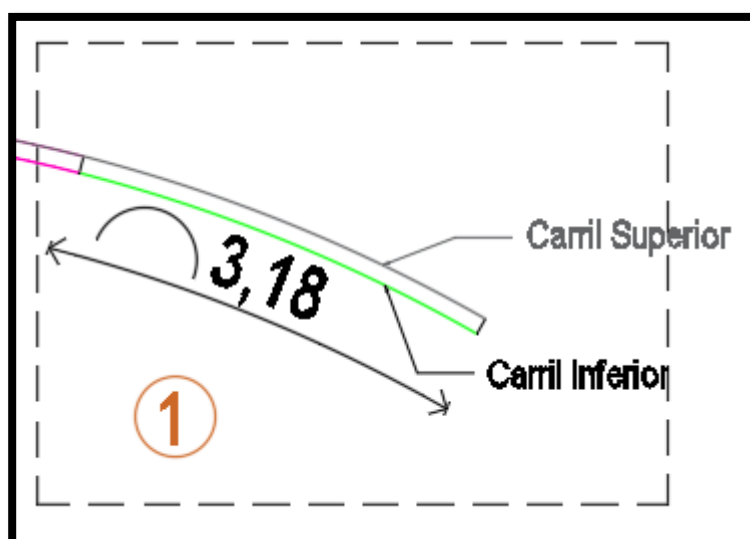


Figura 4.24. Detalle de los tramos del carril inferior de la curva circular.

Curva circular		
Tramo	Longitud (m)	Radio (m)
Tramo 1 Inf	3,18	11,87
Tramo 2 Inf	3,18	11,87
Tramo 3 Inf	3,18	11,87
Tramo 4 Inf	3,18	11,87

Tabla 4-7. Dimensiones de los tramos del carril inferior de la curva circular.

4.3.4 Curva de transición de salida

Las características de la curva de transición de salida de la curva circular serán las mismas de la curva de transición con la que se inicia.

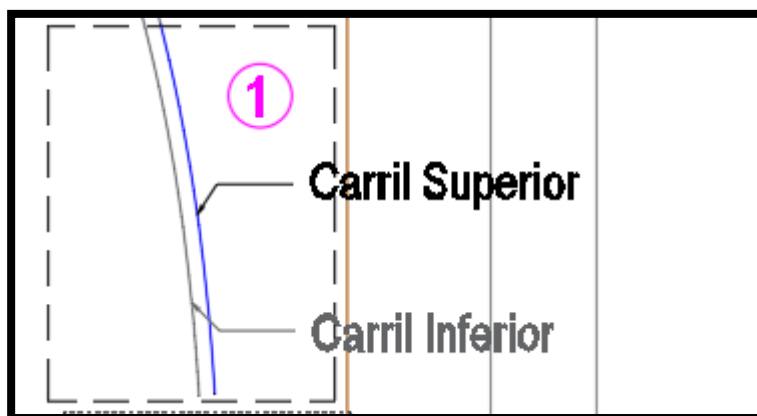


Figura 4.25. Tramo 1 del carril superior de la curva de transición de salida.

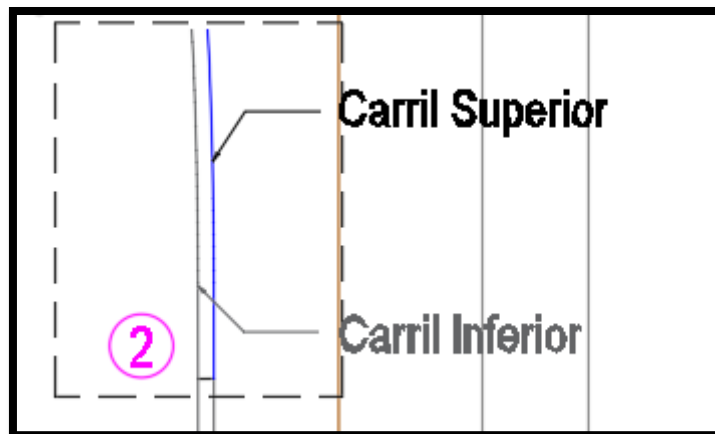


Figura 4.26. Tramo 2 del carril superior de la curva de transición de salida.

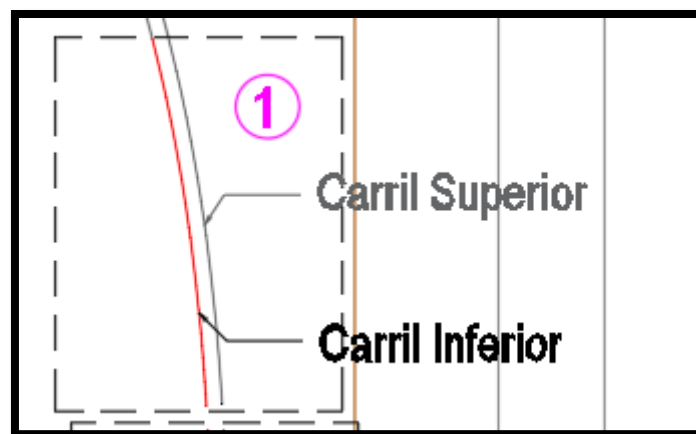


Figura 4.27. Tramo 1 del carril inferior de la curva de transición de salida.

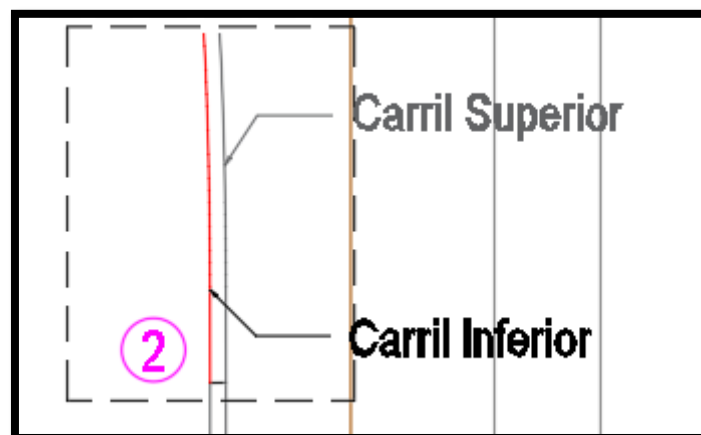


Figura 4.28. Tramo 2 del carril superior de la curva de transición de salida.

Curva de transición 2			
Tramos	Longitud (m)	Radio inicial	Radio Final
Tramo 1 Sup	3	12	24
Tramo 2 Sup	3	24	∞
Longitud total tramo superior (m)			6
Tramo 1 Inf	2,9675	12	24
Tramo 2 Inf	2,9675	24	∞
Longitud total tramo inferior (m)			5,935

Tabla 4-8. Dimensiones dos tramos de la curva de transición 2.

4.3.5 Alineación recta del final

La alineación final tiene una longitud total de 9.88 m de los cuales se dividirá en 4 tramos iguales con una longitud de 2.47 m cada uno, los carriles tanto el superior como el interior tiene la misma longitud.

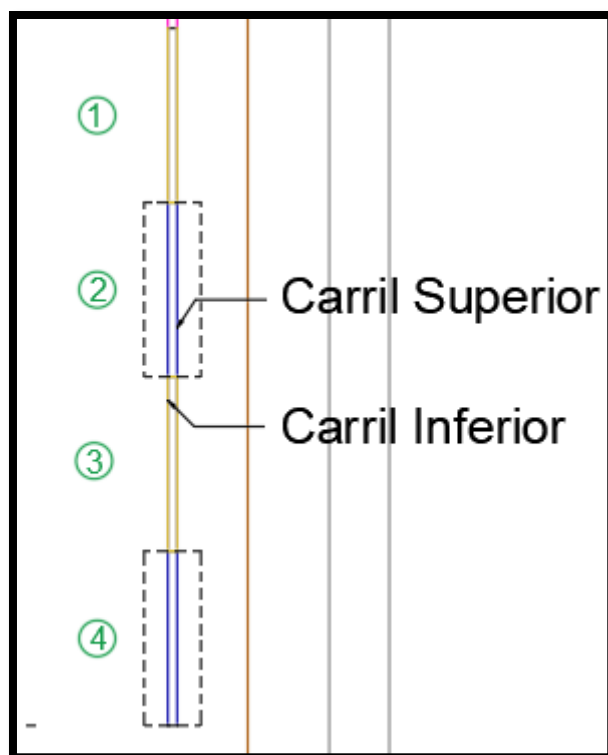


Figura 4.29. Tramos 1, 2, 3, 4 de la alineación recta final.

Alineación Recta 2	Longitud (m)
Tramo 1	2,47
Tramo 2	2,47
Tramo 3	2,47
Tramo 4	2,47
Longitud Total	9,88

Tabla 4-9. Dimensiones de los tramos de la alineación recta del final.

4.4 Geometría del Carril

Desde la invención del ferrocarril, el carril ha experimentado una multitud de variaciones en cuanto a su forma. Por lo que se tuvieron en cuenta las siguientes secciones:

- **Sección variable:** En los comienzos el carril se apoyaba sobre dados de piedra y para adaptarse a los esfuerzos presentaban una sección variable, que le dio la denominación de carril en vientre de pez. La fabricación de un perfil variable es muy difícil.

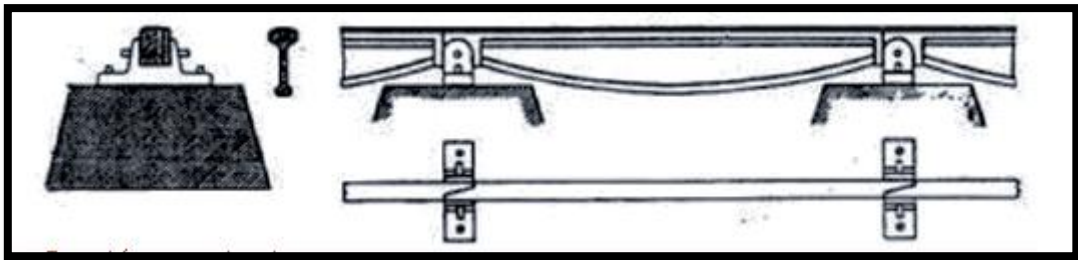


Figura 4.30. Carril en vientre de pez.

- **Sección constante:** Debido a que las cargas principales que soporta un carril son verticales, la sección óptima es la que se aproxima a una doble T, por lo que la forma del carril se tiene que adaptar a los efectos de la rodadura, para minimizar desgastes. Por la simplificación del proceso de fabricaciones y el desarrollo de la laminación impuso el carril constante.

El final de toda la experimentación con la forma de los carriles se llegó a la forma de un carril vignole, es el más utilizado y tiene el nombre del ingeniero que lo introdujo en Europa, la forma de viga en doble T, con distinta forma en las alas superiores e inferiores.

El carril es no simétrico ya que el patín y la cabeza tienen diferentes funciones, la altura de la cabeza de este tipo de carril es la necesaria para que a pesar del desgaste el carril siga cumpliendo su misión hasta su renovación.

Se aplica la Teoría de Hertz que dice que la superficie en contacto con la rueda-carril es una elipse de 1cm^2 , con una distribución de tensiones en forma de paraboloide en una compresión máxima en el centro 50% mayor que la compresión media. La tensión máxima teórica supera las tensiones admisibles y las de rotura.

La altura de la cabeza busca el equilibrio de masas con el patín ya que reduce las tensiones resultantes del enfriamiento posterior a la laminación y tener una dimensión adecuada para prevenir los desgastes normales.

La anchura de la cabeza evita la concentración de la acción de las ruedas en zonas limitadas, limita la tendencia natural que tiene el metal de la cabeza a extenderse, proporciona una sección transversal suficiente que soporte el proceso de desgaste y permite la realización de un trazado correcto del perfil de acuerdo con el alma, dejando un margen suficiente para la colocación de las bridas. La inclinación de las caras laterales garantiza que, en las alineaciones rectas, no se presente contactos con las pestañas de las ruedas, y que en las curvas de radio reducido en las que el contacto es inevitable, se aumente la superficie de contacto disminuyendo las tensiones.

La inclinación de caras inferiores en función de las exigencias derivadas del dimensionamiento, mantenimiento y conservación de las juntas, facilitando el acuerdo con el alma.

La anchura del patín condiciona la rigidez del carril en sentido transversal y su resistencia al vuelco, un patín ancho transmite menores presiones a la traviesa, pero limita la flexibilidad para la instalación de la vía en curvas.

El espesor y formas de las alas están condicionados por el laminado y por el equilibrio de masas a existir entre la cabeza, el alma y el patín. La inclinación facilita el trabajo de bridas y uniones y ahorra material.

El espesor del alma debe resistir los esfuerzos cortantes, la corrosión y las tensiones elevadas que se presentan en las proximidades de los agujeros de las bridas.

Los radios de acuerdo con la cabeza el patín cuando tienen valores menores que crean concentraciones de tensiones que dan lugar a la aparición de fisuras y cuando tienen valores mayores reducen la anchura de la superficie de contacto de la bridas.[2]

Para la realización de la vía ferroviaria a escala se utilizará un carril UIC 54 a escala de 5", como se tiene una escala muy pequeña de todo el conjunto ferroviario, el carril será un tubo de acero inoxidable de 8 mm en el cual se mecanizará la cabeza de este tubo para que tengas las medidas escaladas de un carril UIC 54.

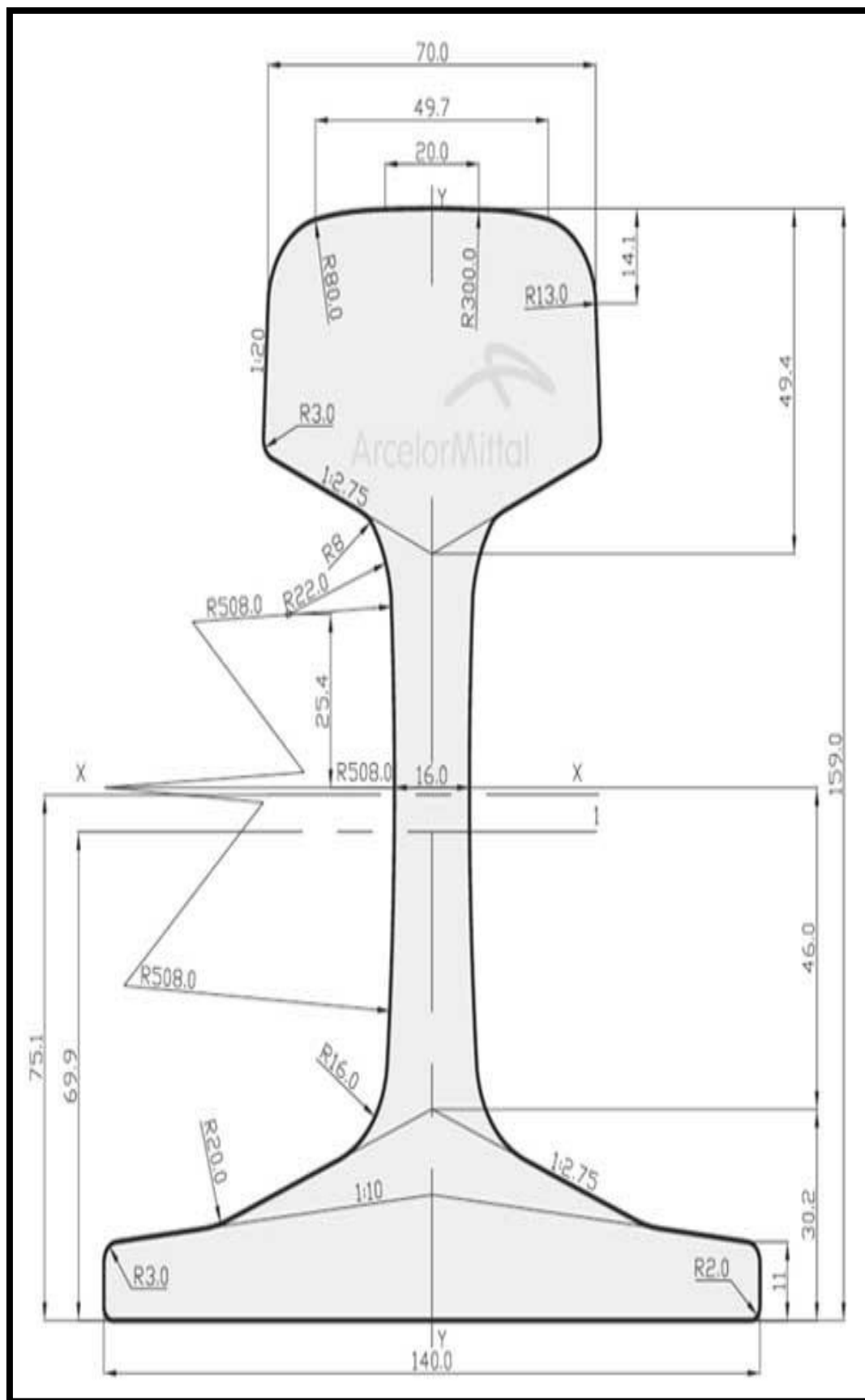


Figura 4.31. Carril UIC 54. [10]

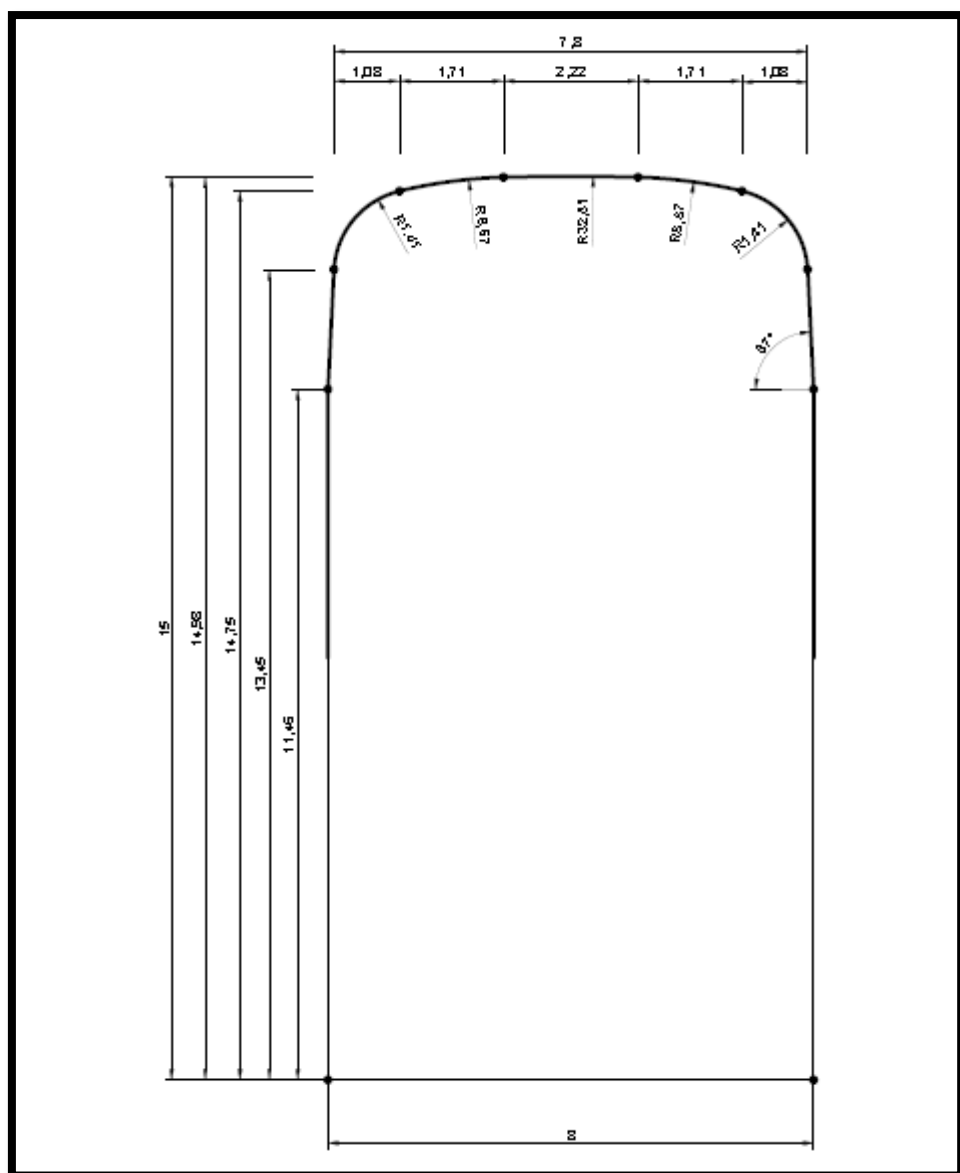


Figura 4.32. Carril a escala.

5 . DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE.

La instalación ferroviaria que se ha proyectado estará soportando sobre unas mesas metálicas las cuales le brindarán a la instalación seguridad y estabilidad frente a las acciones permanentes de la instalación tanto como acciones accidentales a las que estas mesas puedan estar expuestas.

Estas mesas estarán en el exterior por lo que estarán expuestas a las condiciones climáticas ya que se encontrará en una de las cubiertas de los laboratorios del Campus Tecnológico de Linares.

Estas mesas tendrán que ser móviles, montables y desmontables ya que no podrán estar ancladas a la cubierta por lo que no será una estructura fija dentro de la cubierta. Además, se asegurará que las acciones climáticas no produzcan el vuelco de la estructura.

La mesa estará hecha con un acero que según la norma UNE EN 10020:2001 define el acero como aquel material en el que el hierro es el elemento predominante, el contenido en carbono es, generalmente inferior al 2% y contiene además otros elementos.

El límite superior del 2% en el contenido de carbono es el límite que separa al acero de la fundición ya que un aumento del contenido de carbono en el acero eleva la resistencia a la tracción, pero como desventaja incrementa su fragilidad en frío y hace que disminuya su tenacidad y ductilidad.

La determinación de las propiedades mecánicas en el acero, como el límite elástico (f_y), la resistencia a tracción (f_u), así como de otras características mecánicas del acero como el módulo de elasticidad (E), o el alargamiento máximo que se produce en la rotura, se efectuará mediante el ensayo de tracción normalizado en la UNE-EN 10002-1.

El valor de la tensión última o resistencia a la tracción que se calcula a partir a partir de este ensayo, y se define como el cociente entre la carga máxima que ha provocado el fallo a rotura del material por tracción y la superficie de la sección transversal inicial de la probeta, mientras que el límite elástico marca el umbral que, una vez se ha superado, el material trabaja bajo un comportamiento plástico y deformaciones remanente.

Límite elástico mínimo y Resistencia a tracción (N/mm ²)				
Tipo	Espesor nominal de la pieza, t (mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	Límite elástico, f_y	Resistencia a tracción, f_u	Límite elástico, f_y	Resistencia a tracción, f_u
S 235	235	360 < f_u < 510	215	360 < f_u < 510
S 275	275	430 < f_u < 580	255	410 < f_u < 560
S 355	355	490 < f_u < 680	335	470 < f_u < 630

Figura 5.1. Especificaciones para los tipos de acero según la EAE. [11]

Una de las características importantes del acero para la construcción de la instalación ferroviaria planteada es la soldabilidad del acero, mide la capacidad que tiene un acero a ser soldado y que va a depender tanto de las características del metal base, como del material de aporte empleado.

La soldabilidad no depende únicamente de la composición química del acero, sino que existen otros factores como lo es el espesor de la junta ya que este condiciona la elección de temperatura de precalentamiento y/o tratamientos térmicos post-soldadura, o de la adecuada elección del material de aporte.

De igual manera otra característica a considerar será la resistencia al desgarro laminar del acero que se define como la resistencia a la aparición de fisuras en piezas soldadas sometidas a tensiones de tracción en dirección perpendicular a su superficie. Para poder evitar el desgarro laminar, se deberá reducir en lo posible las tensiones de tracción mediante un proyecto adecuado de los detalles constructivos correspondientes[11].

5.1 Características generales

La mesa estará compuesta por perfiles rectangulares TCAR de acero S275 con unas dimensiones 60 x 3.2 y 40 x 3.2 y de una lámina de acero con un espesor de 45mm.



Figura 5.2. Perfil rectangular.

Perfil	Dimensiones			Términos de sección					Peso p Kp/m
	b = h mm	t _w mm	r mm	A cm ²	S cm ³	I cm ⁴	W cm ³	i cm	
# 40.3	40	3	8	4.13	2.80	9.01	4.51	1.48	3.24
# 60.3	60	3	8	6.53	6.89	34.40	11.50	2.30	5.13

Figura 5.3. Dimensiones del perfil a utilizar.

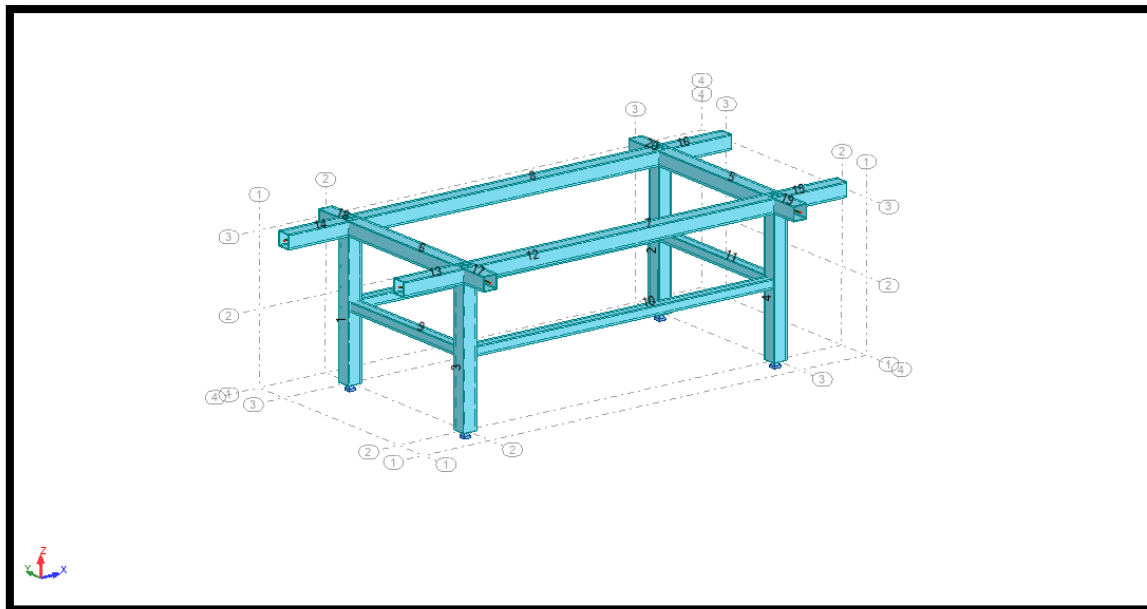


Figura 5.4. Enumeración de los perfiles

Perfiles	Longitud (m)	Perfil
Perfil 1	0,6	TCAR 60 x 3,2
Perfil 2	0,6	TCAR 60 x 3,2
Perfil 3	0,6	TCAR 60 x 3,2
Perfil 4	0,6	TCAR 60 x 3,2
Perfil 5	0,7	TCAR 60 x 3,2
Perfil 6	0,7	TCAR 60 x 3,2
Perfil 7	1,4	TCAR 60 x 3,2
Perfil 8	1,4	TCAR 60 x 3,2
Perfil 9	0,7	TCAR 40 x 3,2
Perfil 10	1,4	TCAR 40 x 3,2
Perfil 11	0,7	TCAR 40 x 3,2
Perfil 12	1,4	TCAR 40 x 3,2
Perfil 13	0,3	TCAR 60 x 3,2
Perfil 14	0,3	TCAR 60 x 3,2
Perfil 15	0,3	TCAR 60 x 3,2
Perfil 16	0,3	TCAR 60 x 3,2
Perfil 17	0,15	TCAR 60 x 3,2
Perfil 18	0,15	TCAR 60 x 3,2
Perfil 19	0,15	TCAR 60 x 3,2
Perfil 20	0,15	TCAR 60 x 3,2

Tabla 5-1. Dimensiones de los perfiles.

5.2 Requisitos de Rigidez

Para realizar el análisis se idealizan tanto la geometría de la estructura como las acciones y las condiciones de apoyo mediante un modelo matemático adecuado que debe reflejar aproximadamente las condiciones de rigidez de las secciones transversales, de los elementos, de sus uniones y de las vinculaciones con el terreno.

Los modelos estructurales deben permitir la consideración de los efectos de los movimientos y deformaciones en aquellas estructuras, o partes de ellas, en las que los efectos de segundo orden incrementen significativamente los efectos de las acciones.

El modelo debe de incorporar condiciones de rigidez en los cuales se consideran los siguientes efectos:

- La respuesta no lineal del material fuera del rango elástico.
- Los efectos del arrastre de cortante en secciones con alas anchas.
- Los efectos de la abolladura en paneles comprimidos de chapa.

- Los efectos de la catenaria y de los desplazamientos en las estructuras con cables.
- La deformabilidad a cortante de ciertos elementos estructurales.
- La rigidez de las uniones
- La interacción suelo-estructura

Cuando es preciso la realización de análisis dinámicos de los modelos estructurales se consideran las características de masa, rigidez, resistencia y amortiguamiento de cada elemento estructural, así como las masas de los demás elementos no estructurales.

Cuando, de acuerdo a las instrucciones o normativas vigentes, resulte apropiado efectuar una aproximación casi-estática de los efectos dinámicos de la estructura, dichos efectos pueden considerarse incluidos en los valores estáticos de las acciones, o bien aplicarse coeficientes de amplificación dinámica equivalente a dichas acciones estáticas. [12]

Los requisitos de rigidez para la estructura soporte son requisitos exigidos en este TFG simulando unos requisitos impuesto por el cliente, así mismo estos requisitos deben ser tal que, si se aplican cargas concentradas en cualquier punto, dirección vertical, lateral o longitudinal los desplazamientos del punto de aplicación de la carga no superen los siguientes valores:

Dirección	Carga	Desplazamiento
Longitudinal	100 kg	1 mm
Lateral	101 kg	1 mm
Vertical	102 kg	0,5 mm

Tabla 5-2. Requerimientos de rigidez.

5.3 Diseño de la estructura en Robot.

Robot Structural Analysis es la plataforma de cálculo utilizada en este proyecto ya que integra los procesos de diseño de estructuras y el cumplimiento del código técnico español, incorpora la tecnología MEF para el análisis estructural.

Para la construcción de la mesa en Robot utilizamos las líneas de construcción, de esta manera se podrán verificar las medidas de la mesa y será más fácil la definición de las barras.

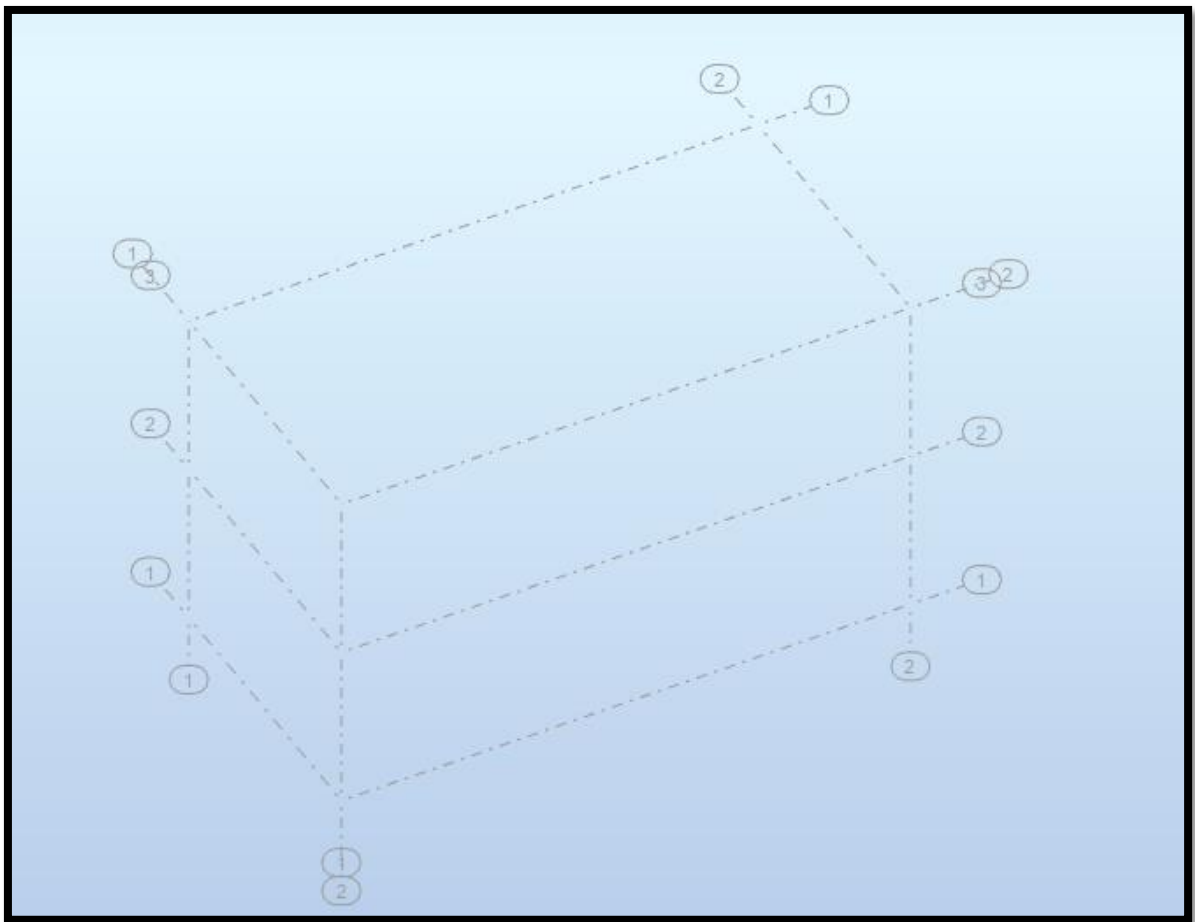


Figura 5.5. Líneas de construcción de la estructura.

La mesa tendrá una altura de 0.60 metros con una longitud de 1.4 metros, pero en la parte superior de la mesa donde se apoyará la vía tendrá una longitud de 2 metros, y un ancho de 1 metro, para darle más soporte a la estructura se le incorporarán a una altura de 0.30 metros barras longitudinales atadas a las barras verticales.

5.3.1 Definición de la sección de las barras.

Como anteriormente se había comentado, se definirá una sección rectangular del tipo TCAR 60x3.2 y TCAR 40x3.2 de un acero S275.

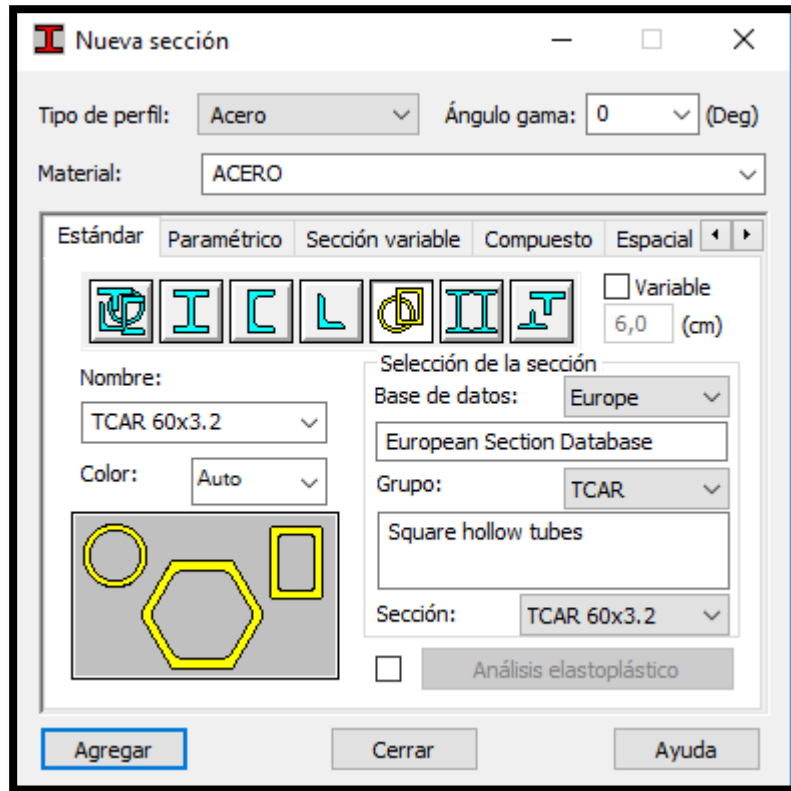


Figura 5.6. Creación de la sección.

5.3.2 Definición del grupo de barras.

Se definirán las barras mediante las líneas de construcción que ya tienen las dimensiones correspondientes de la mesa.

Barra

Número: Paso:

Nombre: ...

Características

Tipo de barra: ...

Sección: ...

Material predeterminado:

Coordenadas de los nudos (m)

Inicio:

Fin:

☐ Arrastrar

Posición del eje

Excentricidad: ...

Figura 5.7. Definición de las barras.

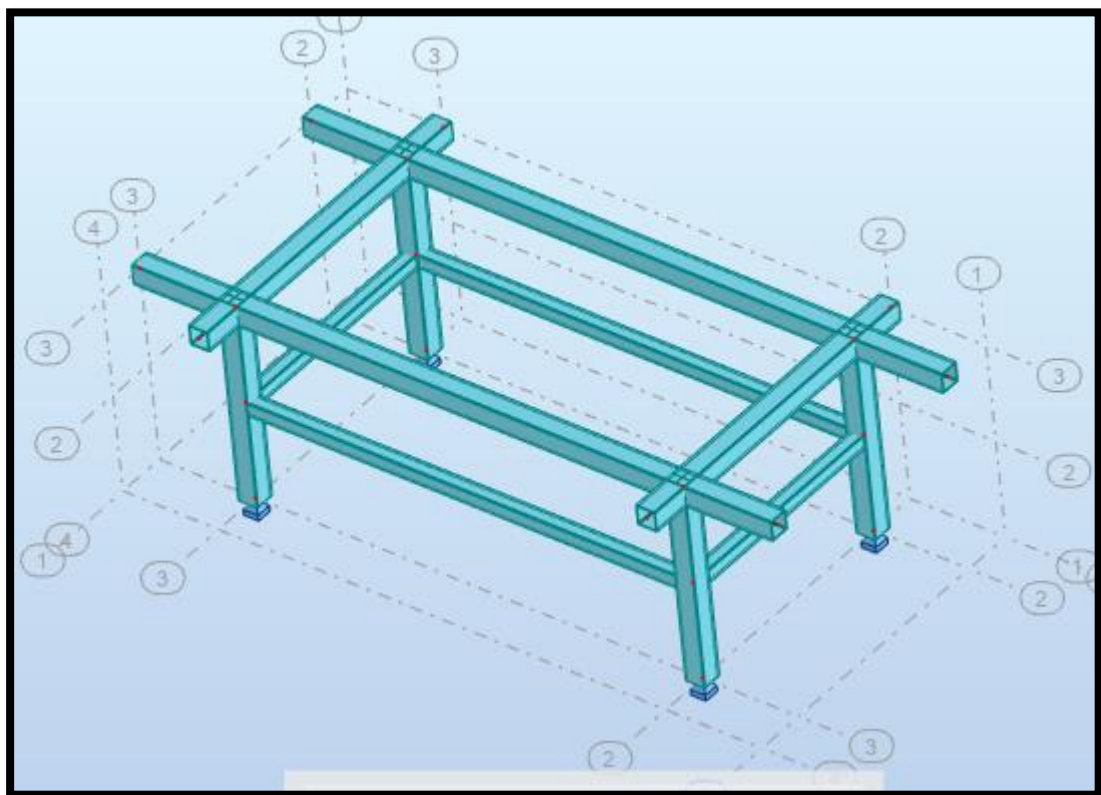


Figura 5.8. Estructura de la mesa.

5.3.3 Definición de los Apoyos.

El cálculo de los apoyos de la estructura no serán objeto de este TFG, pero estos se podrán adaptar al material de la cubierta, serán del tipo simplemente apoyadas en la cubierta para evitar anclajes y posibles filtraciones en la cubierta. Para el cálculo los definiremos como rotulas.

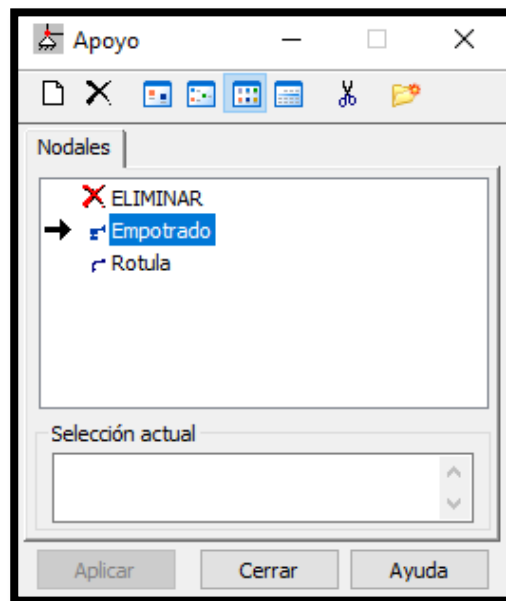


Figura 5.9. Definición del apoyo.

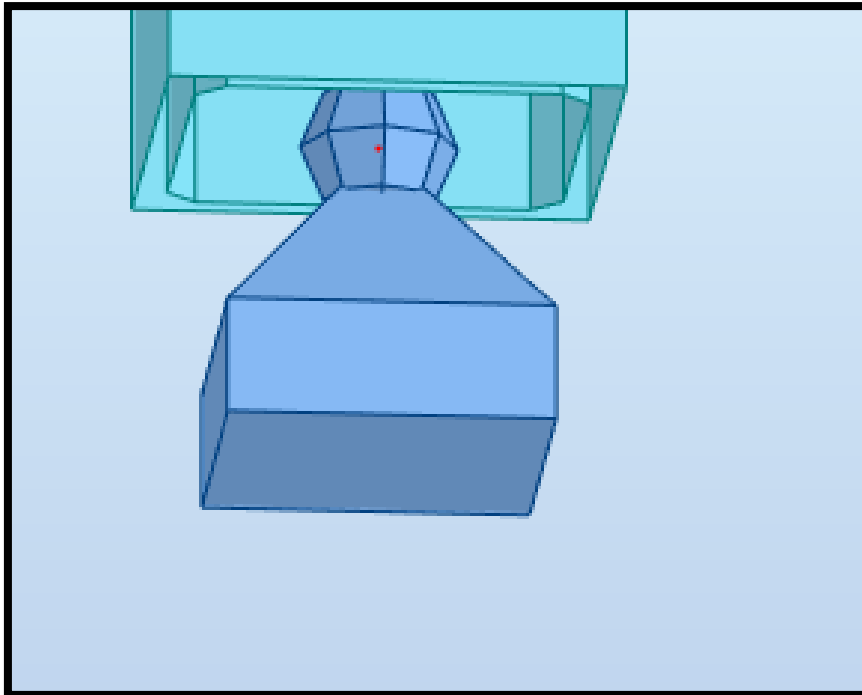


Figura 5.10. Rotulas de apoyos.

5.4 Definición de las cargas.

Se definirán dos tipos de cargas, uno de tipo permanente que se designa al conjunto de acciones que se producen por el peso propio de los elementos estructurales y no estructurales y otro de tipo variable que se le designa a las cargas variables lo que significa que estas no actúan de manera constante en tiempo y lugar.

5.4.1 Cargas Permanentes

Dentro de las cargas permanentes, no solo se designarán las de peso propio si no también la lámina de acero que hará parte de la mesa, así como la estructura de la instalación ferroviaria que esta soportará.

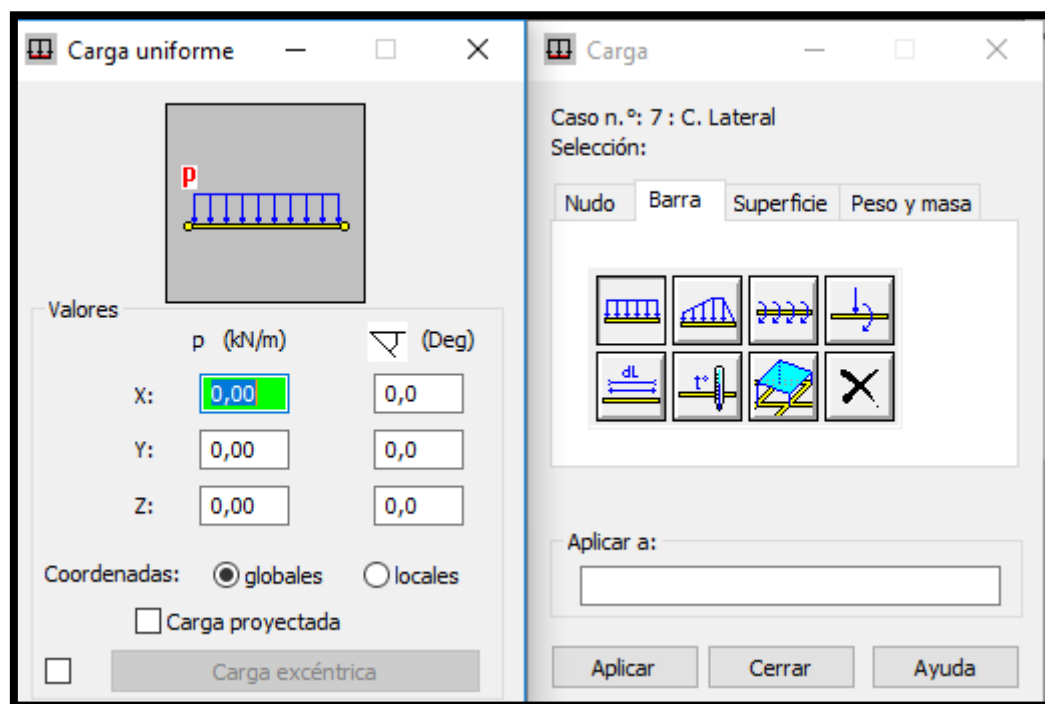


Figura 5.11. Definición de las cargas.

La designación de la carga del peso propio, el programa la calcula automáticamente ya que se le ha asignado una sección y un material anteriormente.

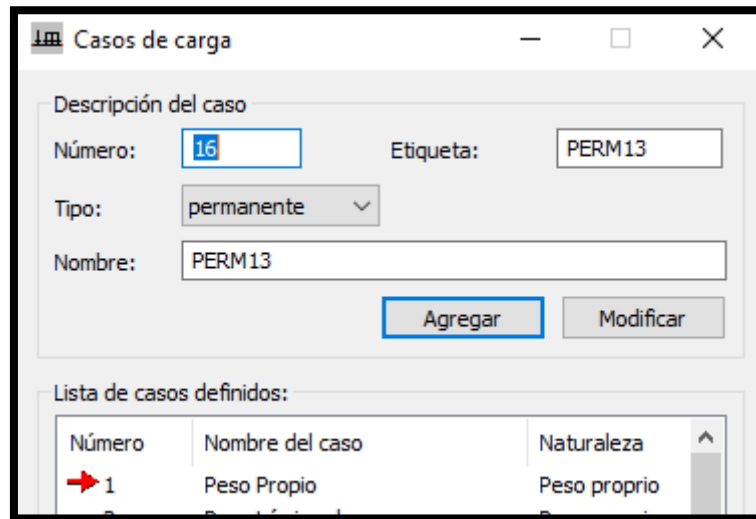


Figura 5.12. Carga, Pero propio

El peso de la lámina de acero que formará parte de la superficie de la mesa, se calculará con la densidad del material y las dimensiones de esta, la lámina tendrá un espesor de $e = 4$ milímetros.

$$\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$$

$$V = 0.045 \text{ m} * 2 \text{ m} * 1 \text{ m} = 0.09 \text{ m}^3$$

$$P = 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.09 \text{ m}^3 = 706.5 \text{ Kg} \approx 6.9284 \text{ kN}$$

$$\text{Carga sobre todos los perfiles} \rightarrow 6.9284 \frac{\text{kN}}{6 \text{ m}} = 1.155 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

El peso de la instalación ferroviaria estará conformado por:

Carriles	20 kg
Instalación	20 kg
Vehículo	30 kg
Total	70 kg

Tabla 5-3. Distribución de las cargas de la instalación ferroviaria.

$$P = 70 \text{ Kg} \approx \mathbf{0.6865 \text{ kN}}$$

$$\text{Carga sobre todos los perfiles} \rightarrow \frac{0.6865 \text{ kN}}{6 \text{ m}} = \mathbf{0.1144 \text{ kN/m}}$$

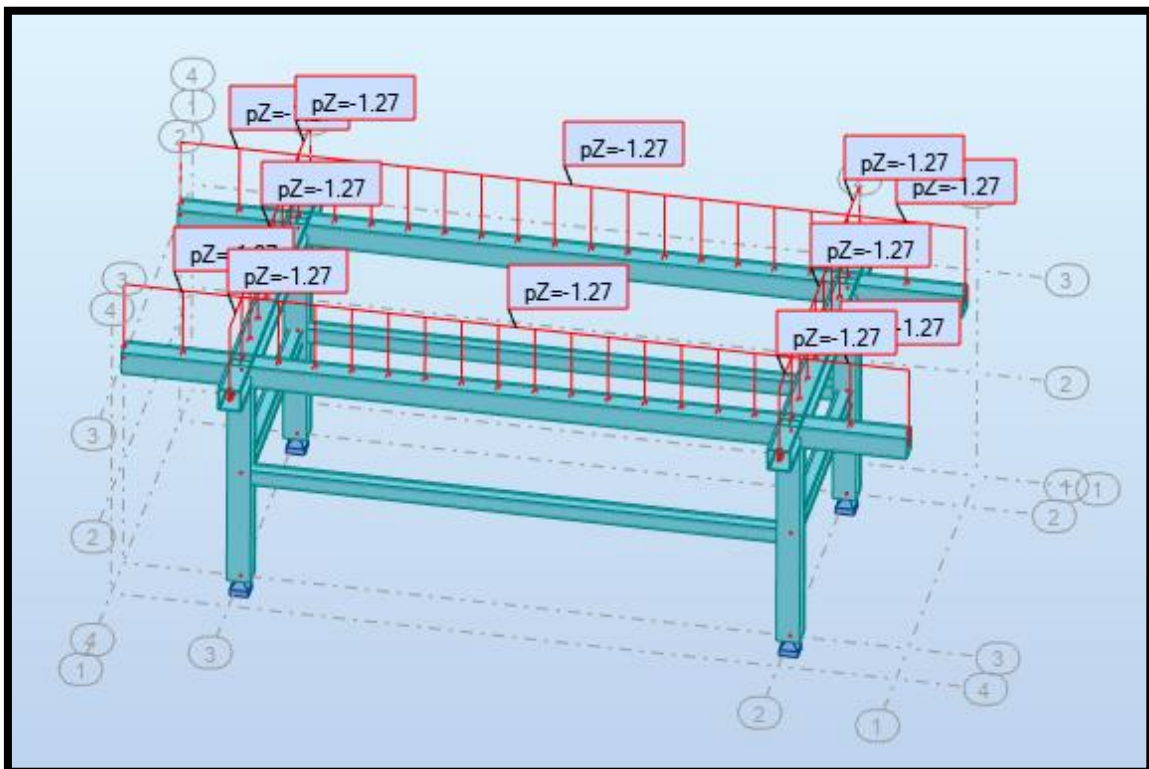


Figura 5.13. Cargas permanentes.

5.4.2 Cargas Variables

Las cargas variables estarán definidas por los requerimientos de rigidez anteriormente comentada.

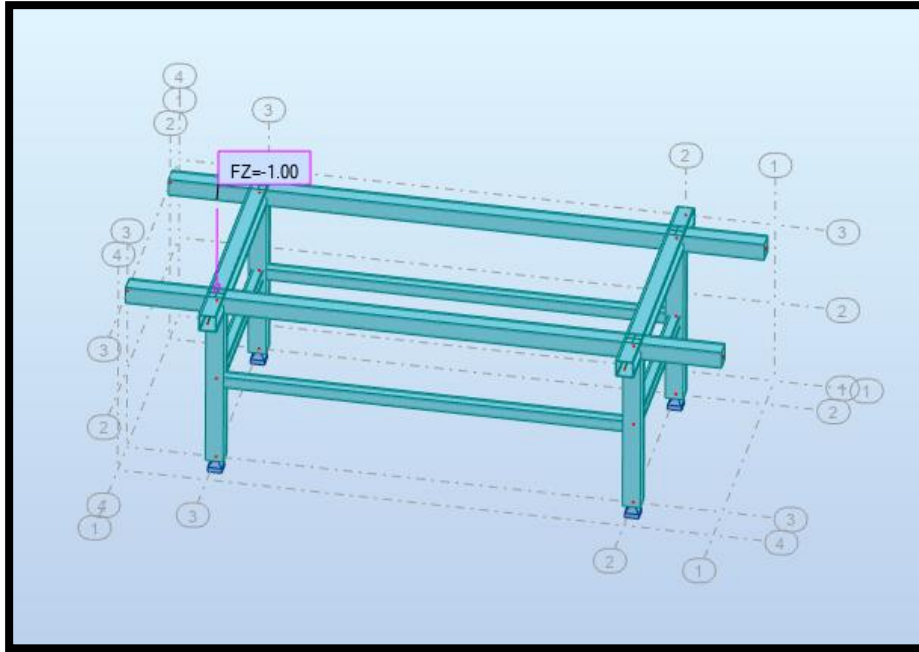


Figura 5.14. Carga vertical 1.

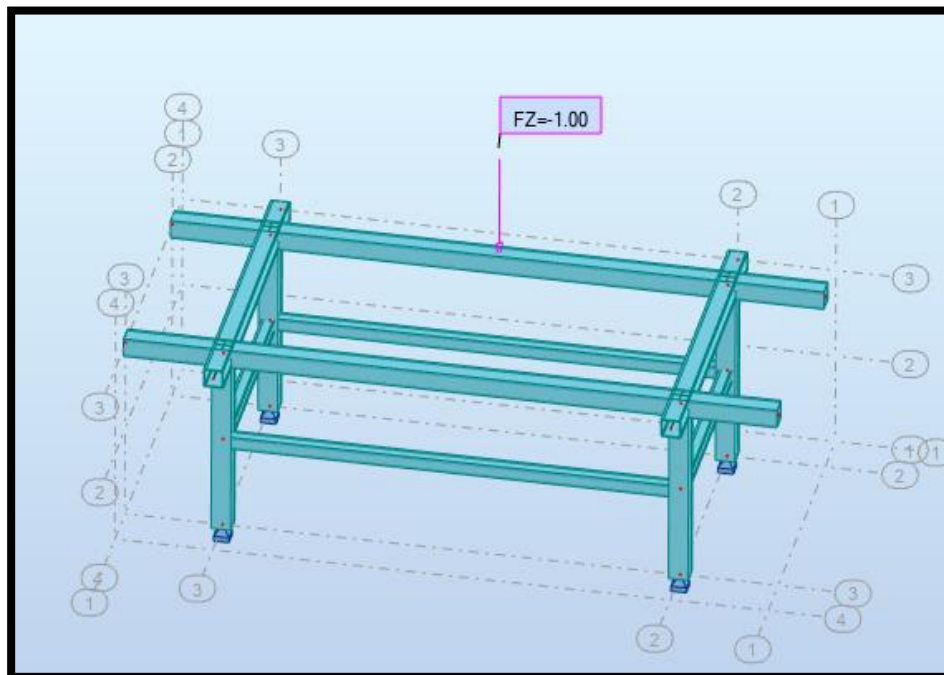


Figura 5.15. Carga Vertical 2.

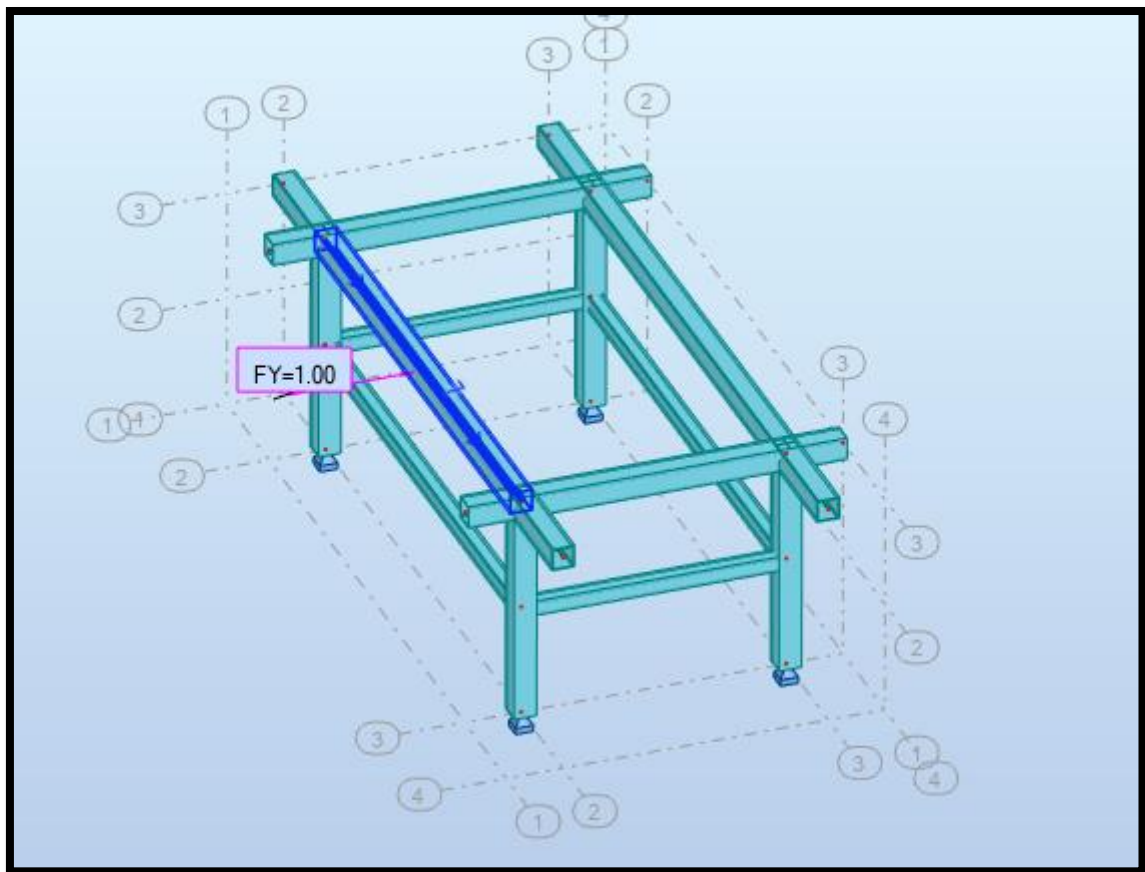


Figura 5.16. Carga Longitudinal 1.

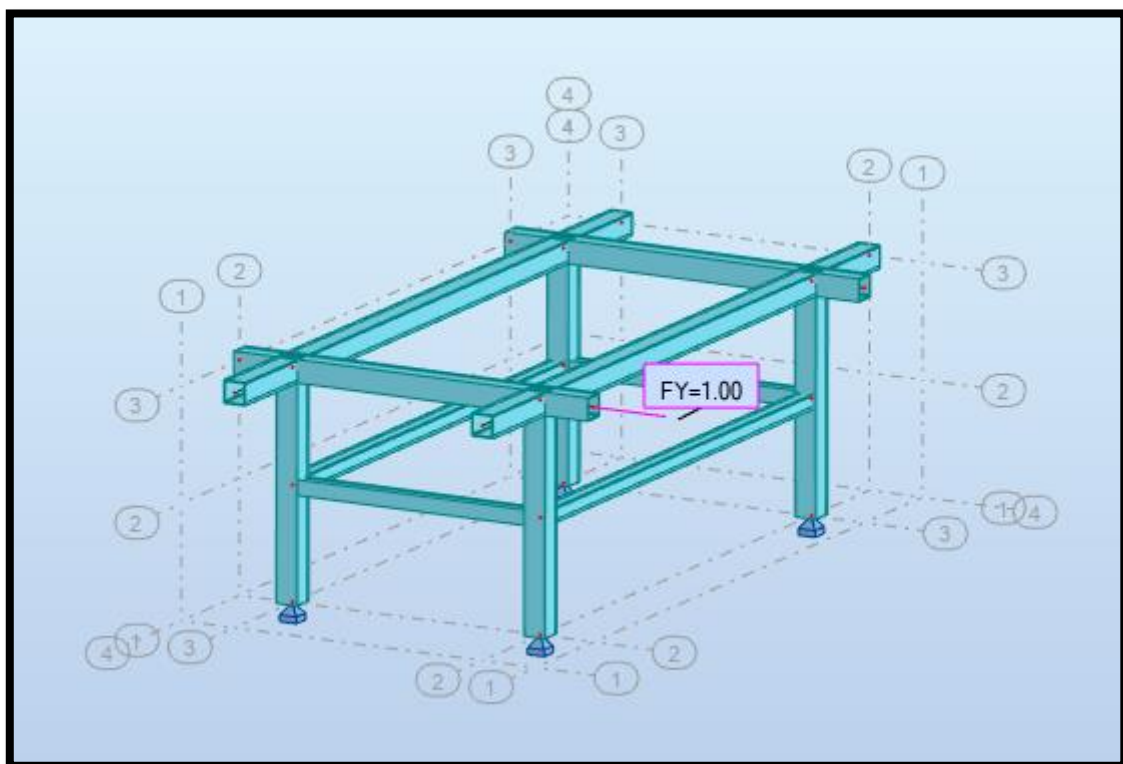


Figura 5.17. Carga Longitudinal 2.

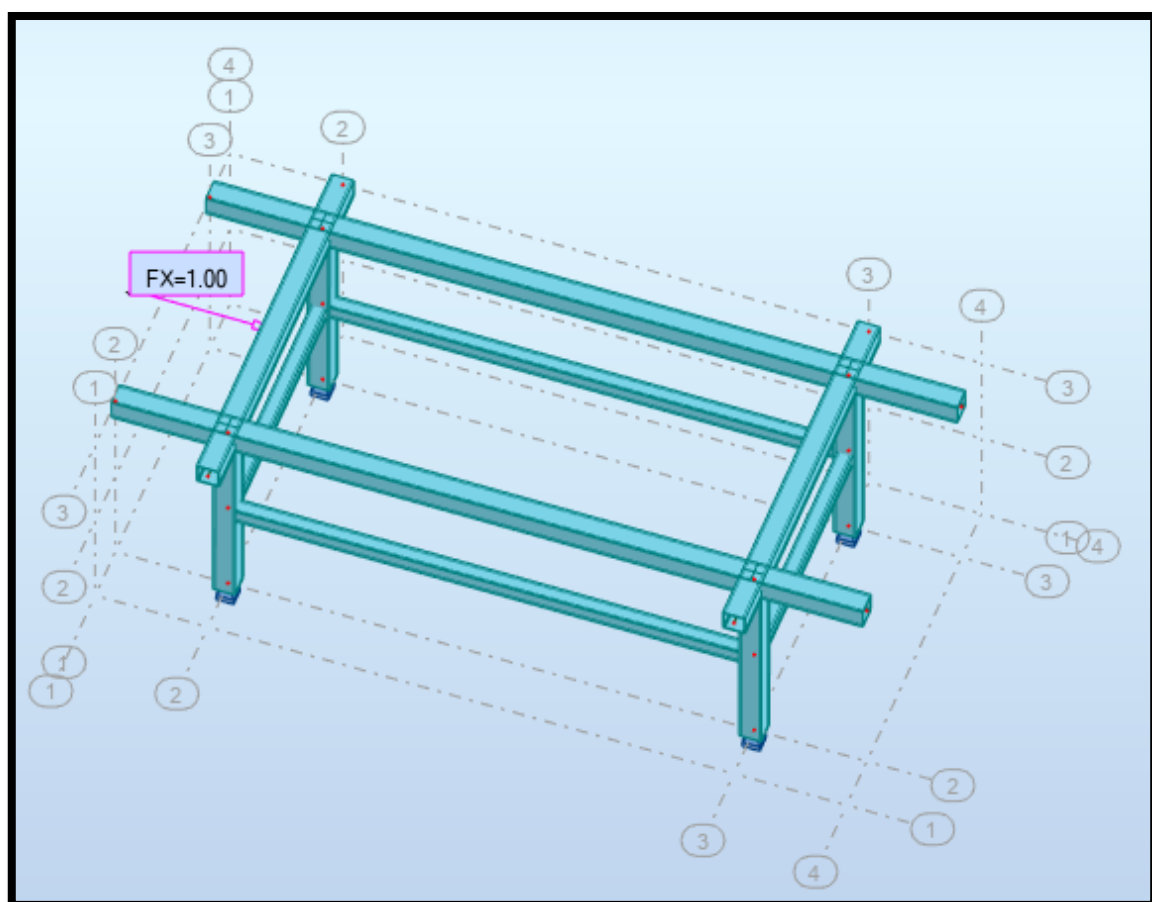


Figura 5.18. Carga Lateral 1.

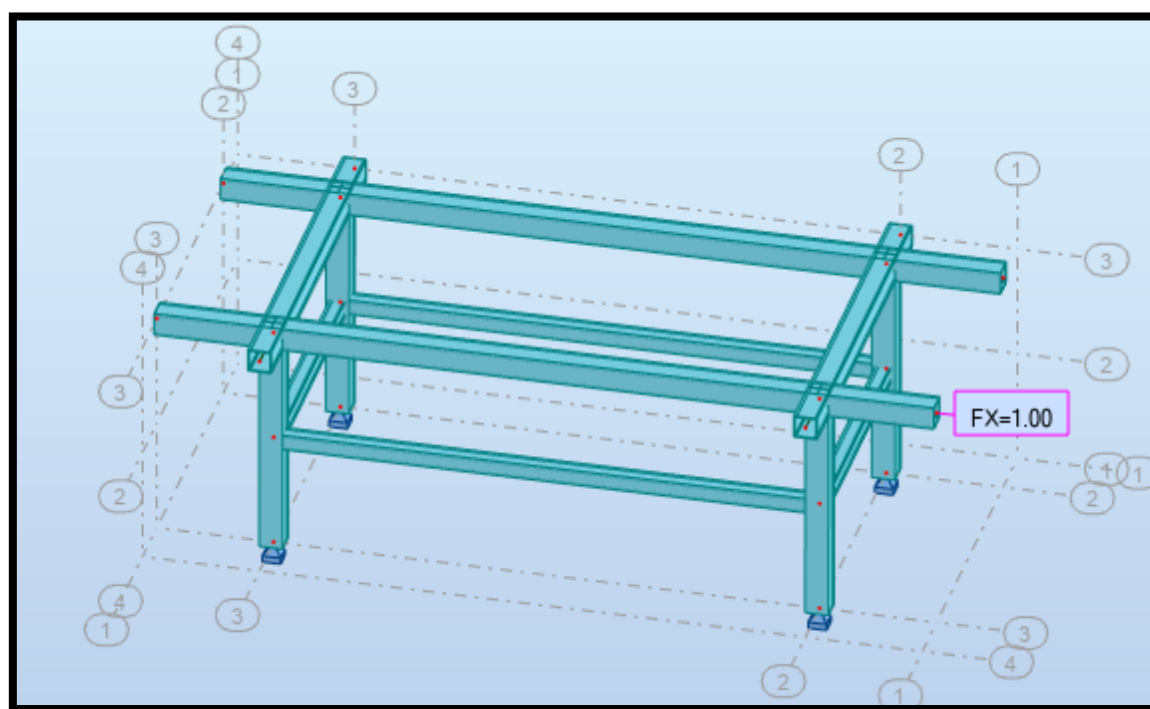


Figura 5.19. Carga Lateral 2

5.4.3 Cargas de Viento

La distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, de la intensidad y del racheo del viento [13].

Nuestra estructura al estar ubicada en la cubierta de un edificio puede ser susceptible a los efectos del viento por lo que dentro del cálculo de nuestra estructura tendremos en cuenta esta carga considerándola para el cálculo como un pórtico plano.

La acción del viento, en general es la fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e puede expresarse como:

$$q_e = q_b * C_e * C_p \quad (6)$$

q_b → La presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0.5 kN/m^2 .

En nuestro cálculo consideraremos este valor 0.5 kN/m^2 .

C_e → El coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. El coeficiente de exposición tiene en cuenta las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno.

Podremos obtener el valor de la siguiente tabla:

Grado de aspereza del entorno		Altura del punto considerado (m)							
		3	6	9	12	15	18	24	30
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V	Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Tabla 5-4. Valores del coeficiente de exposición

El edificio donde se ubicará la instalación se encuentra en una **zona urbana en general. Industrial o forestal**. La altura media del punto considerado se tomará la mínima que será superior a la real, de esta manera estaremos del lado de la seguridad.

Por lo que el valor de $C_e = 1.3$.

$C_p \rightarrow$ El coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso de la situación del punto respecto a los bordes de esta superficie; un valor negativo indica succión. Se utilizará el anejo D del documento básico de acciones de la edificación para calcular este valor, Consideramos cubiertas planas y bordes con aristas, es importante destacar que no se tendrá en cuenta los paramentos verticales ya que se tiene un área mínima al ser el ancho de los perfiles que soportar la mesa los que actúa como paramentos verticales.

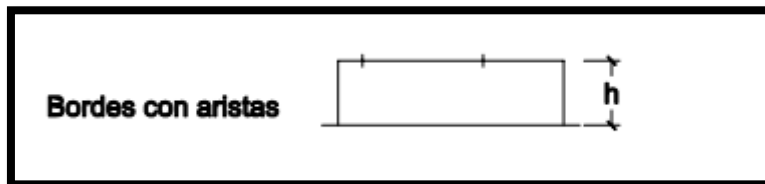


Figura 5.20. Bordes con aristas.

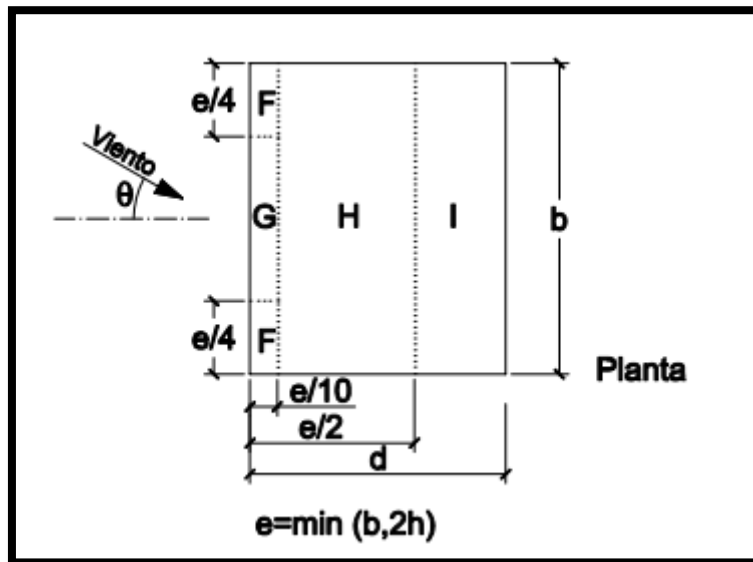


Figura 5.21. Distribución por zonas de la cubierta.

Según la figura se tendrán los siguientes valores:

$$b \rightarrow 2m$$

$$e \rightarrow \min(b, 2h) = (2, 1.2) = 1.2$$

$$d \rightarrow 1m$$

$$\frac{e}{2} \rightarrow 0.60m$$

$$\frac{e}{10} \rightarrow 0.12m$$

$$\frac{e}{4} \rightarrow 0.30m$$

Obtendremos este valor dependiendo del área de influencia que en este caso es 2 m². Como no podemos tener este valor en la siguiente tabla consideraremos la más desfavorable, de esta manera estaremos del lado de la seguridad.

h_p/h	$A \text{ (m}^2\text{)}$	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$			
		F	G	H	I
Bordes con aristas	≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	0,2
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	-0,2
Con parapetos	0,025	≥ 10	-1,6	-1,1	-0,7
		≤ 1	-2,2	-1,8	-1,2
	0,05	≥ 10	-1,4	-0,9	-0,7
		≤ 1	-2,0	-1,6	-1,2
	0,10	≥ 10	-1,2	-0,8	-0,7
		≤ 1	-1,8	-1,4	-1,2

Nota: Se considerarán cubiertas planas aquellas con una pendiente no superior a 5°

Tabla 5-5. Valores de C_p .

Para este cálculo consideraremos los valores de las zonas F y G ya que son los valores más desfavorables. Se tendrá como valor para el cálculo del **viento 1** $C_p = -2.5$ y para el **viento 2** $C_p = -2.0$.

Según los datos anteriormente mencionados tendremos:

Viento 1

$$q_e = 0.5 \frac{kN}{m^2} * 1.3 * -2.5 = -1.625 \frac{kN}{m^2} * 2m^2 = -3.25 kN$$

$$\frac{3.25kN}{6 m} = 0.5416 kN/mL$$

Viento 2

$$q_e = 0.5 \frac{kN}{m^2} * 1.3 * -2.0 = -1.3 \frac{kN}{m^2} * 2 m^2 = -2.6 kN$$

$$\frac{-2.6 kN}{6 m} = 0.43 kN/mL$$

Estas serán las cargas con las que se calculará la estructura de soporte de la instalación ferroviaria que se plantea en el proyecto, para poder introducir este valor en *Robot Structural* se dividirá por los metros cuadrados del perímetro de la mesa.

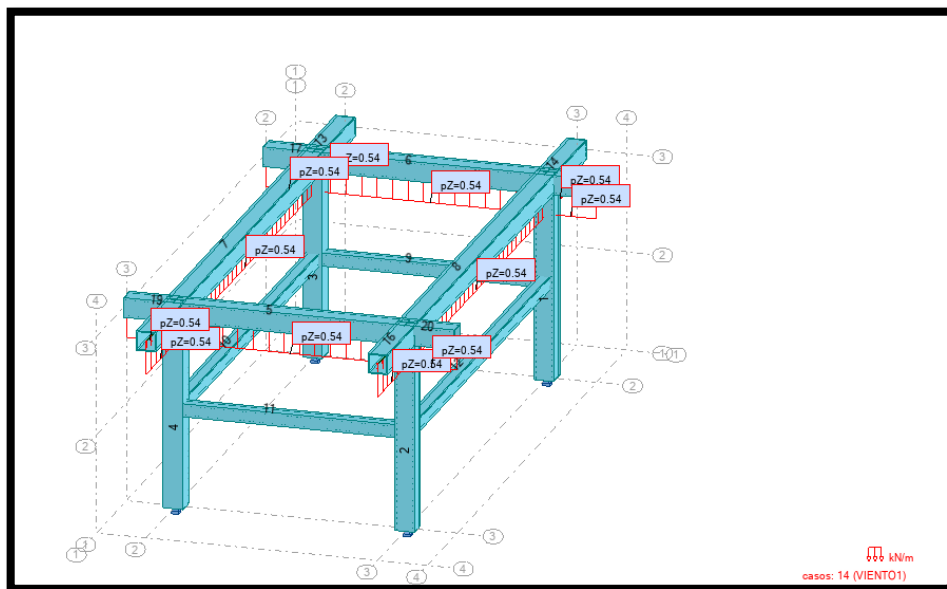


Figura 5.22. Carga viento 1.

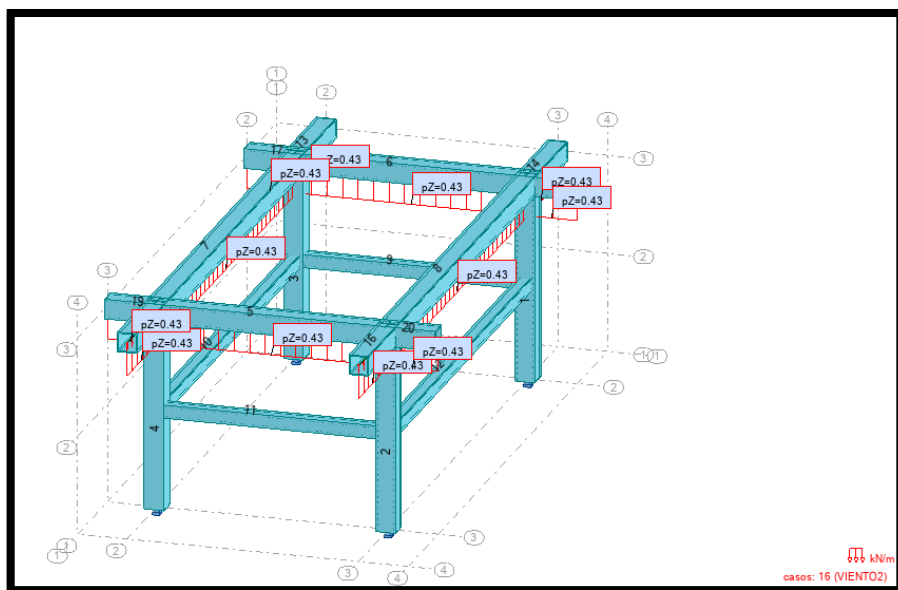


Figura 5.23. Carga viento 2

5.4.4 Carga de nieve.

La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma el edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores [13].

En cubiertas planas de edificios de pisos situados en localidades con altitud inferior a 1000 m es suficiente considerar una carga de nieve de 1.0 kN/m^2 .

En la provincia de Jaén se tienen altitudes entre 570 y 820 m consideraremos como carga de nieve **1.0 kN/m^2** .

Para el introducir las cargas dentro del programa se debe tener en cuenta el cálculo de esta carga por metro lineal.

$$\frac{1.0 \text{ kN/m}^2}{6 \text{ m}} = 0.16 \text{ kN/mL}$$

Capital	Altitud m
Guadalajara	680
Huelva	0
Huesca	470
Jaén	570
León	820
Lérida / Lleida	150
Logroño	380
Lugo	470
Madrid	660
Málaga	0
Murcia	40
Orense / Ourense	130
Oviedo	230
Palencia	740
Palma de Mallorca	0
Palmas, Las	0
Pamplona/Iruña	450

Figura 5.24. Altitud de la provincia de Jaén.

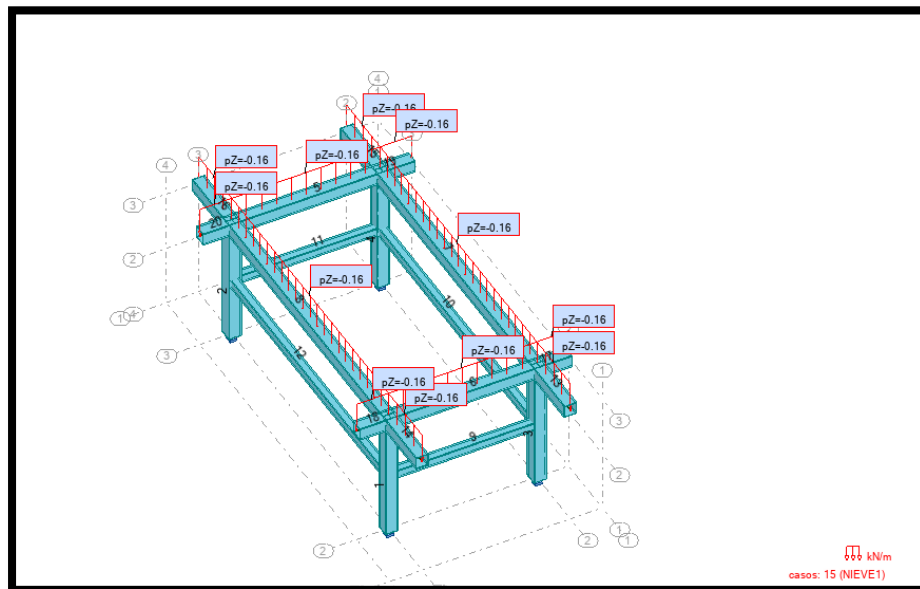


Figura 5.25. Carga de nieve.

5.4.5 Combinaciones

El artículo 13 de la EAE establece las posibles combinaciones de acciones, para la comprobación de un estado límite determinado.

Las combinaciones están formadas por acciones permanentes, una acción variable determinante y una o varias acciones variables concomitantes.[14]

La combinación dependerá de la comprobación que se desee realizar, en este caso se realizará la comprobación a estado límite último, los estados límites son aquellas situaciones en las que, de ser superadas, la estructura incumpliría alguno de los fines para los que ha sido diseñada, durante un período de vida útil asignado.

Se pueden dar dos clases de fallos:

1. Los fallos que afectan a la seguridad de las personas, seres vivos o el medio ambiente, asociados al colapso de toda o una parte de la estructura, la comprobación de una estructura ante esta clase de fallo corresponde a su análisis en los Estados Límite Último.
2. Los fallos que afectan al uso de la estructura y su durabilidad provocando una pérdida parcial de las prestaciones, la comprobación de una estructura ante esta clase de fallo corresponde a su análisis en los Estados Límite de Servicio.

Las combinaciones que se realizaron vienen definidas por:

Combinaciones	Carga 1	Carga 2
Combinación 1	Peso propio	Carga Vertical 1
Combinación 2	Peso propio	Carga Vertical 2
Combinación 3	Peso propio	Carga Longitudinal 1
Combinación 4	Peso propio	Carga Longitudinal 2
Combinación 5	Peso propio	Carga Lateral 1
Combinación 6	Peso propio	Carga Lateral 2
Combinación 7	Peso propio	Nieve
Combinación 8	Peso propio	Viento 1
Combinación 9	Peso propio	Viento 2

Tabla 5-6. Combinación de cargas.

Así mismo tendremos en cuenta la situación donde en la estructura se tenga cargas de viento y de nieve al mismo tiempo. Para el cálculo utilizaremos las

combinaciones con carga simultaneas teniendo en cuenta los coeficientes de simultaneidad tanto para la acción de la nieve como la del viento.

Viento.

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Edificios emplazados a una altitud $H > 1.000$ metros sobre el nivel del mar	0,7	0,5	0,2
Edificios emplazados a una altitud $H \leq 1.000$ metros sobre el nivel del mar	0,5	0,2	0,0

Figura 5.26. Coeficientes de simultaneidad para la acción del viento[15].

Nieve.

ψ_0	ψ_1	ψ_2
0,6	0,2	0,0

Figura 5.27. Coeficientes de simultaneidad para la acción de la nieve.

Para las situaciones que se puedan encontrar en el proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con la siguiente expresión, teniendo en cuenta situaciones persistentes o transitorias:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (7)$$

Las combinaciones a realizar serán:

Combinaciones	Carga Permanente	Carga variable determinante	Carga Variable
Combinación 10	Peso propio	Nieve	Viento 1
Combinación 11	Peso propio	Nieve	Viento 2
Combinación 12	Peso propio	Viento 1	Nieve
Combinación 13	Peso propio	Viento 2	Nieve

El valor de las combinaciones será:

Combinación 1 $\rightarrow 1.35 * pp + 1.5 \text{ nieve} + 0.6 \text{ viento } 1$

Combinación 2 $\rightarrow 1.35 * pp + 1.5 \text{ nieve} + 0.6 \text{ viento 2}$

*Combinación 3 $\rightarrow 1.35 * pp + 1.5$ viento 1 + 0.5 nieve*

*Combinación 4 $\rightarrow 1.35 * pp + 1.5$ viento 2 + 0.5 nieve*

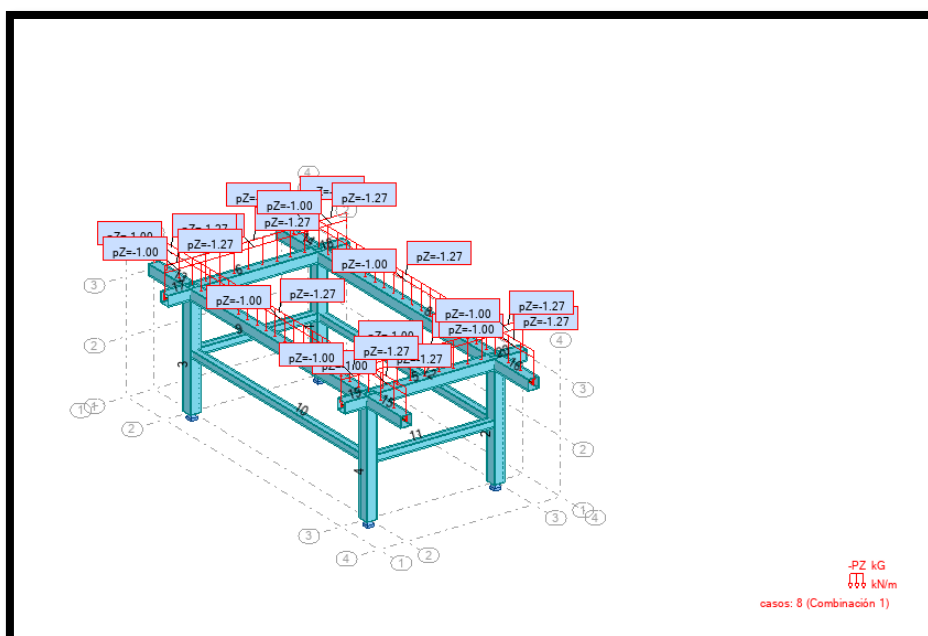


Figura 5.28. Combinación 1

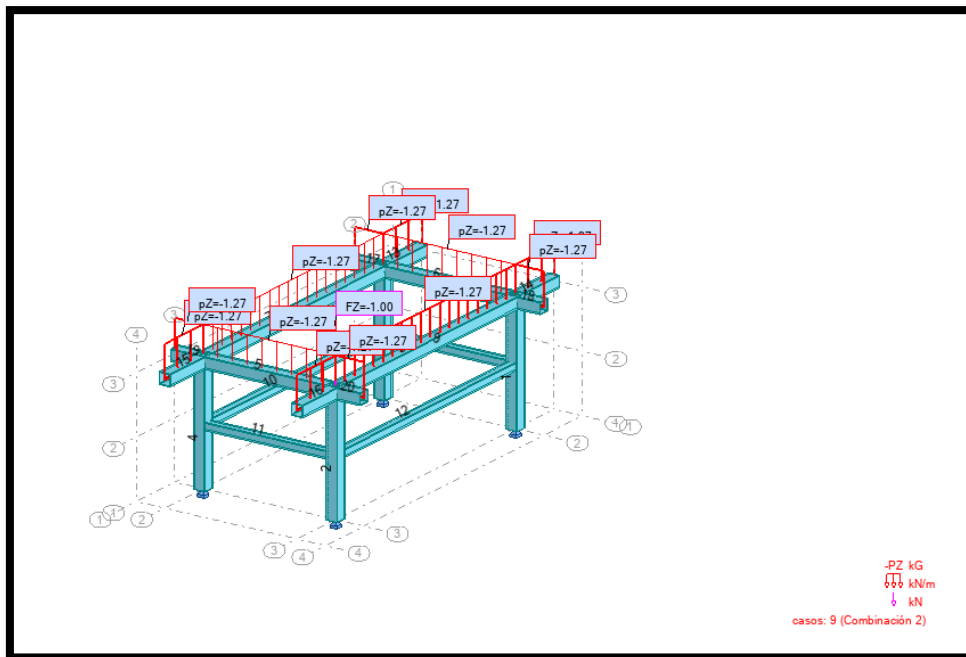


Figura 5.29. Combinación 2.

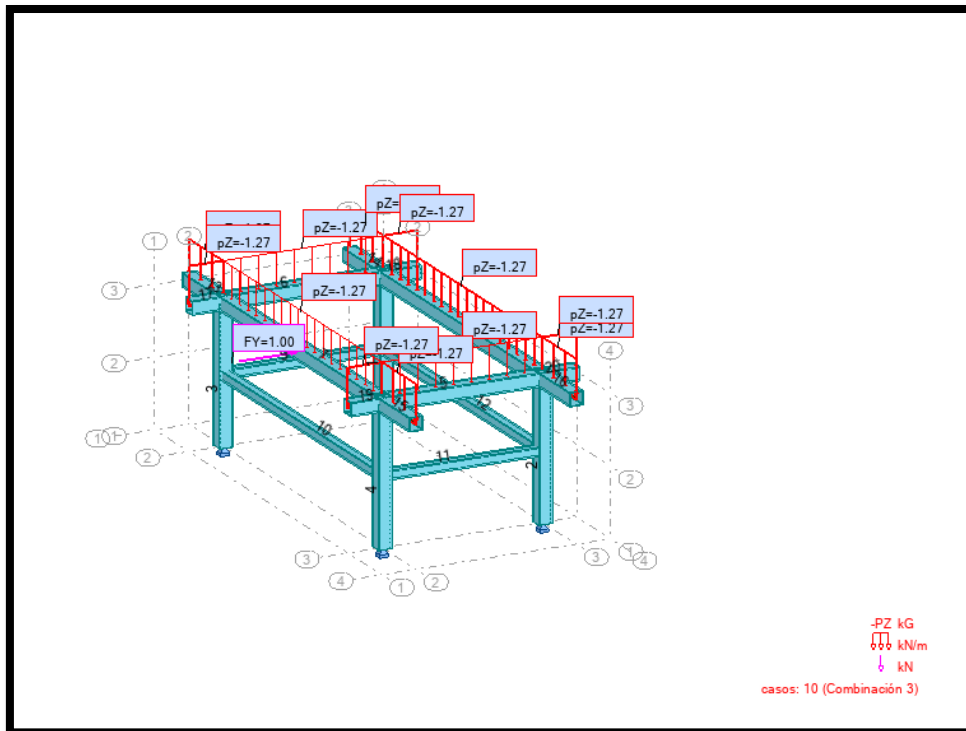


Figura 5.30. Combinación 3.

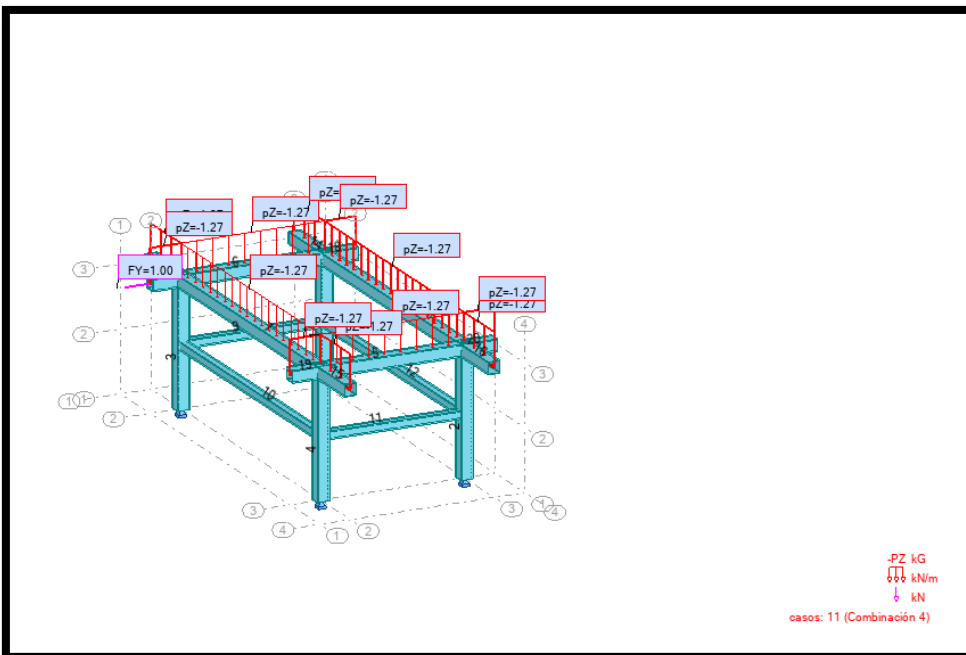


Figura 5.31. Combinación 4.

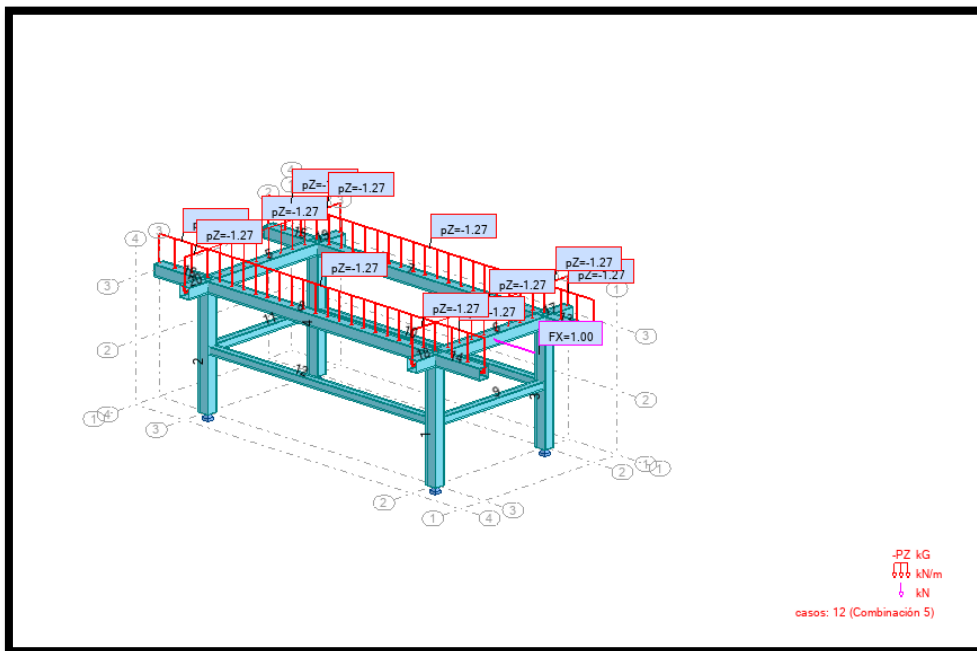


Figura 5.32. Combinación 5.

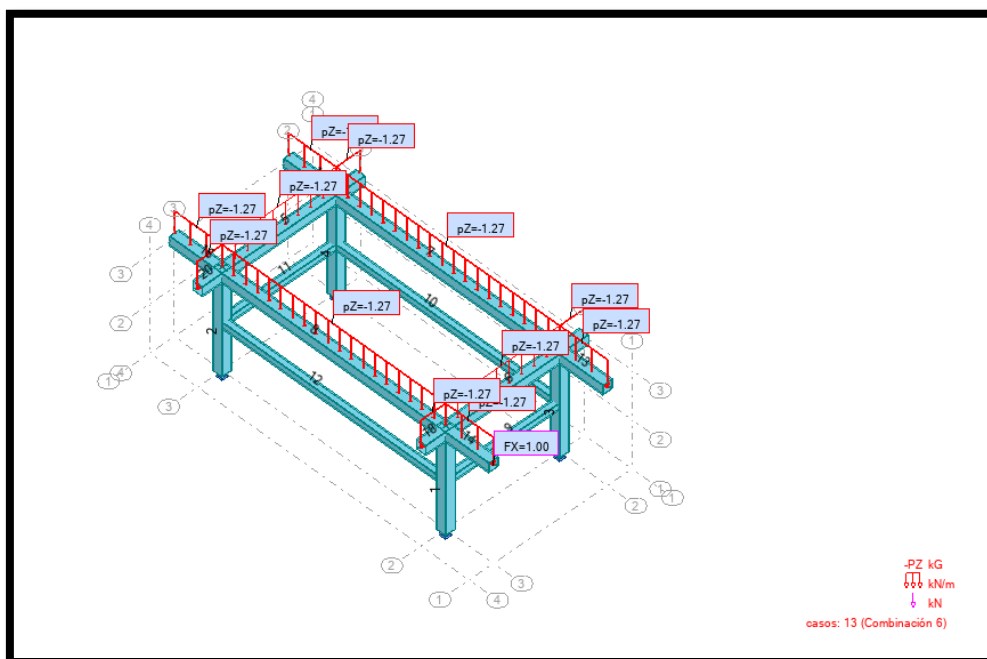


Figura 5.33. Combinación 6.

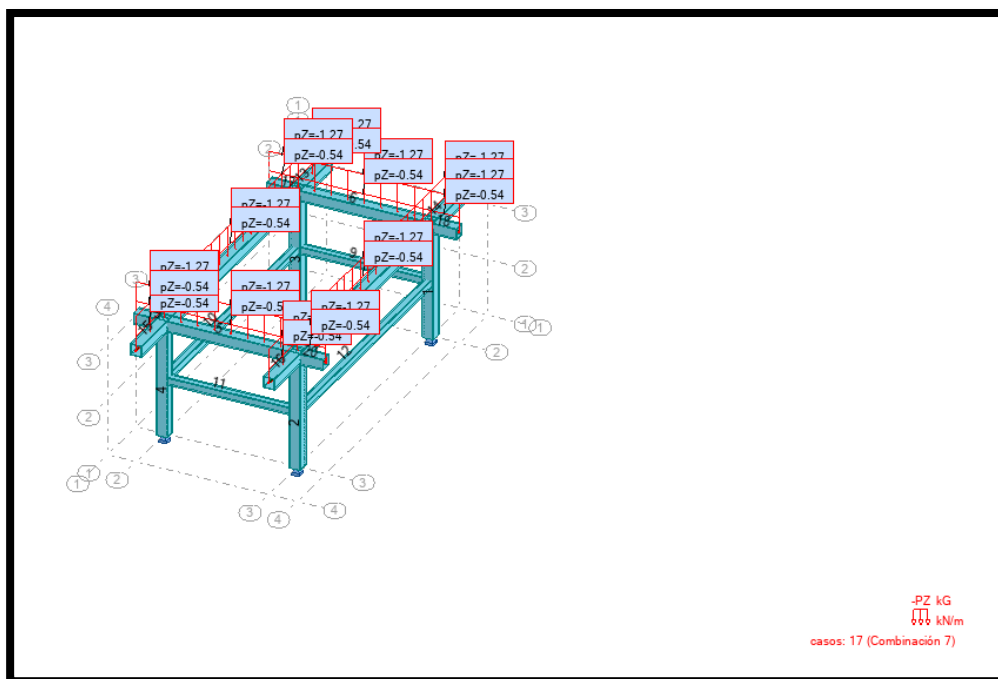


Figura 5.34. Combinación 7.

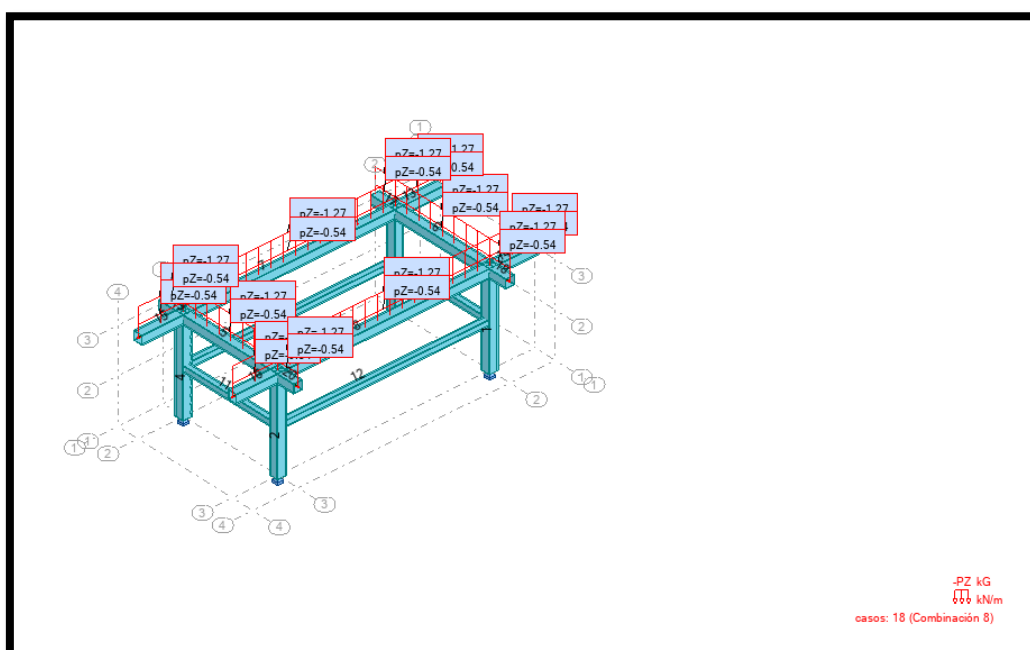


Figura 5.35. Combinación 8.

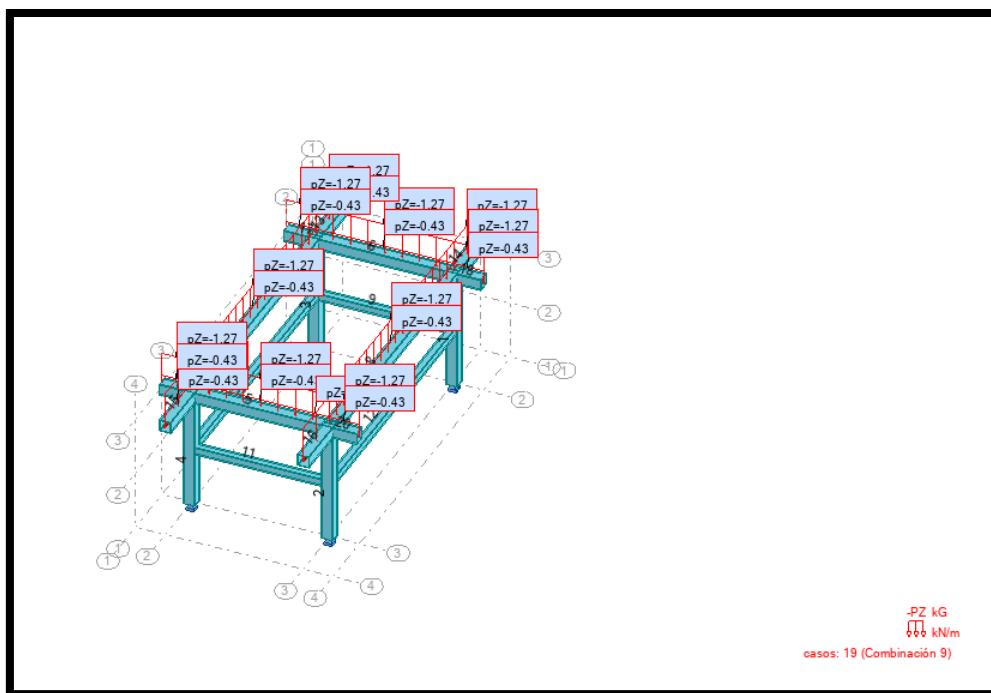


Figura 5.36. Combinación 9.

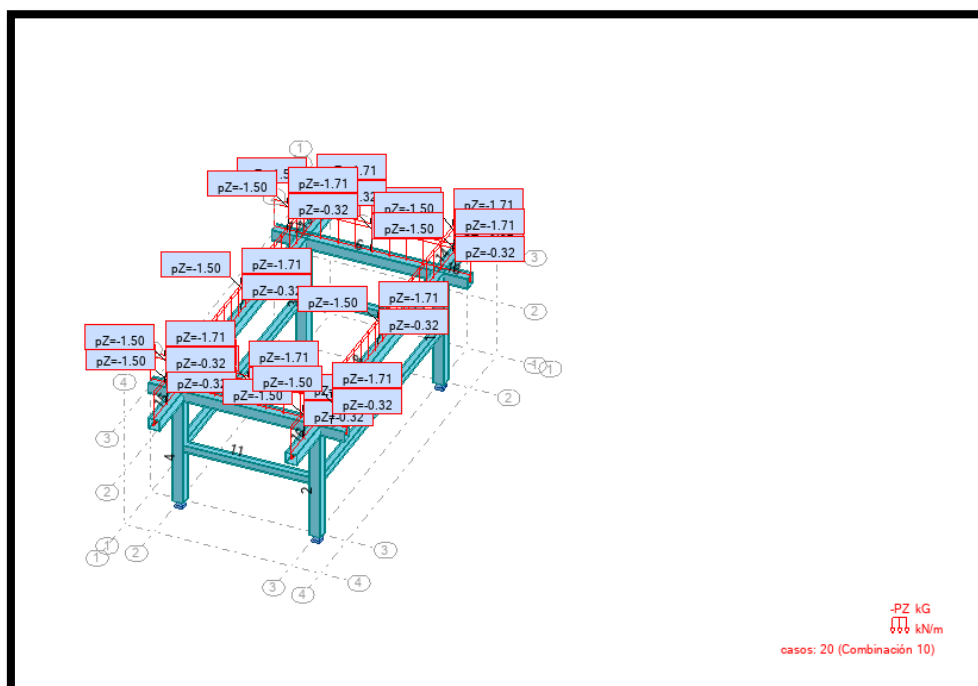


Figura 5.37. Combinación 10.

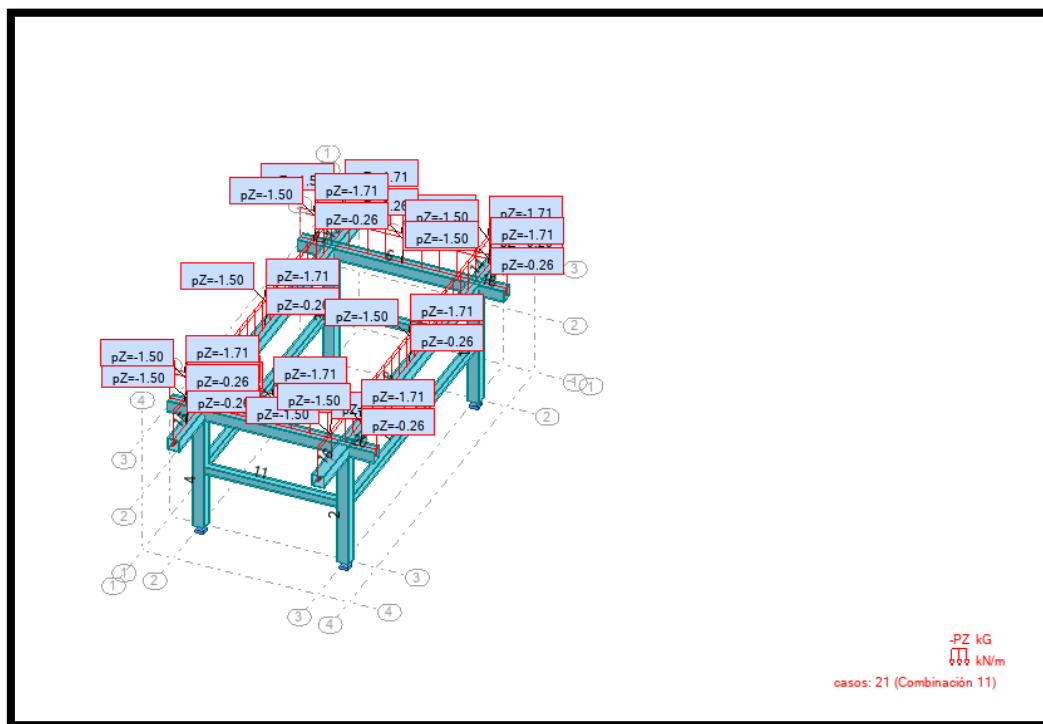


Figura 5.38. Combinación 11.

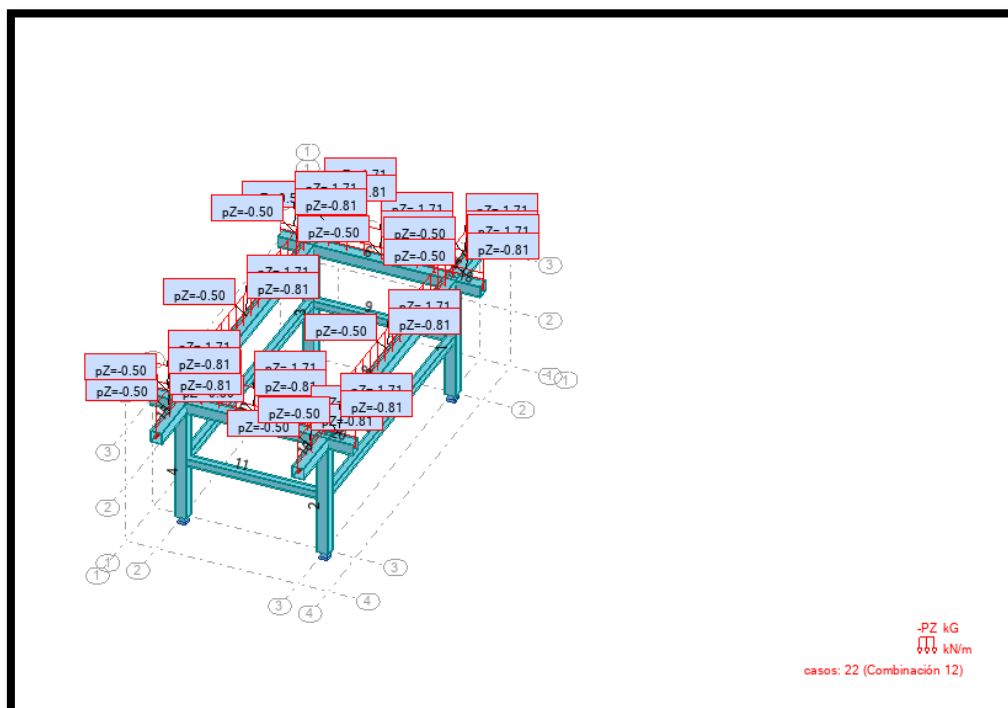


Figura 5.39. Combinación 12.

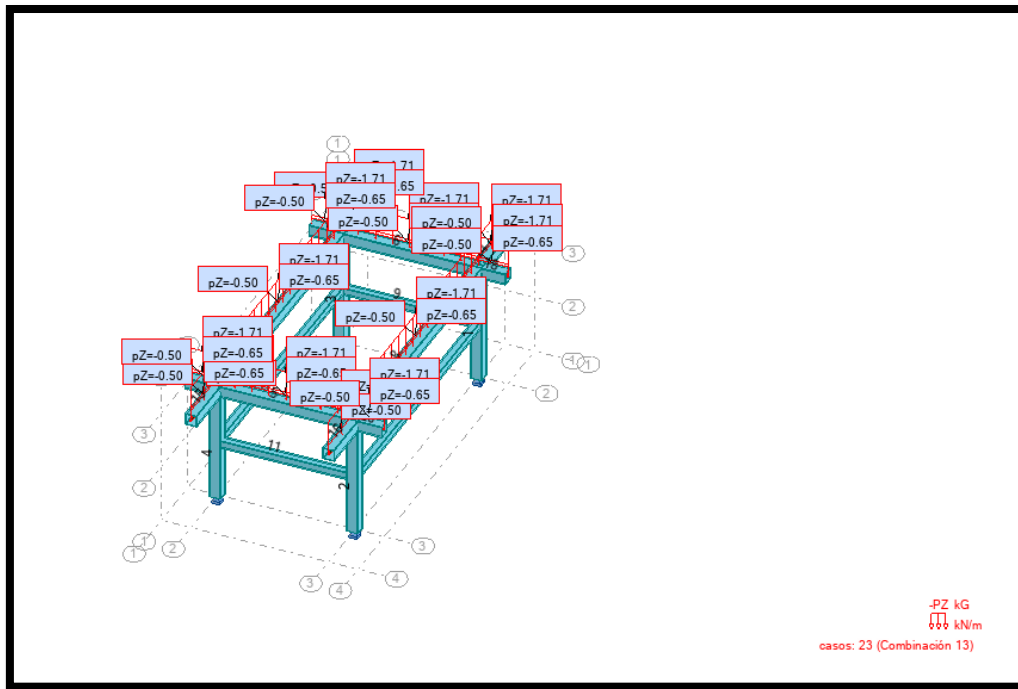


Figura 5.40. Combinación 13.

5.5 Cálculo de la estructura.

Una vez se hayan introducido todos los parámetros de la estructura en función de una utilización, se procederá a calcular la estructura en Robot estructural para comprobar que cumple con los requisitos anteriormente establecidos, así como de la normativa.

5.5.1 Deformaciones.

La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido al esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo, provocando el desplazamiento entre las partículas que lo componen.

De igual manera se pueden producir deformaciones causadas por la dilatación térmica que es función del comportamiento de los materiales ante los cambios de temperatura.

La deformación puede producirse en una, dos o tres dimensiones dando lugar a deformaciones lineales, superficiales y volumétricas, respectivamente.

Para medir la deformación se utiliza la magnitud deformación unitaria, que se define como la deformación por unidad de longitud de la pieza formada.

Se pueden definir dos tramos de deformación:

- Deformación elástica: el cuerpo recupera su forma original al retirar la fuerza que le provoca la deformación.
- Deformación plástica: modo de deformación en el que el material no recupera su forma original después de retirar la carga aplicada.

El factor determinante en una deformación es por tanto la elasticidad de los materiales, determinada por el módulo elástico, que relaciona las tensiones con las deformaciones en cada material, según la ley de Hooke. [16]

La estructura según los casos de carga, presentará las siguientes deformaciones:

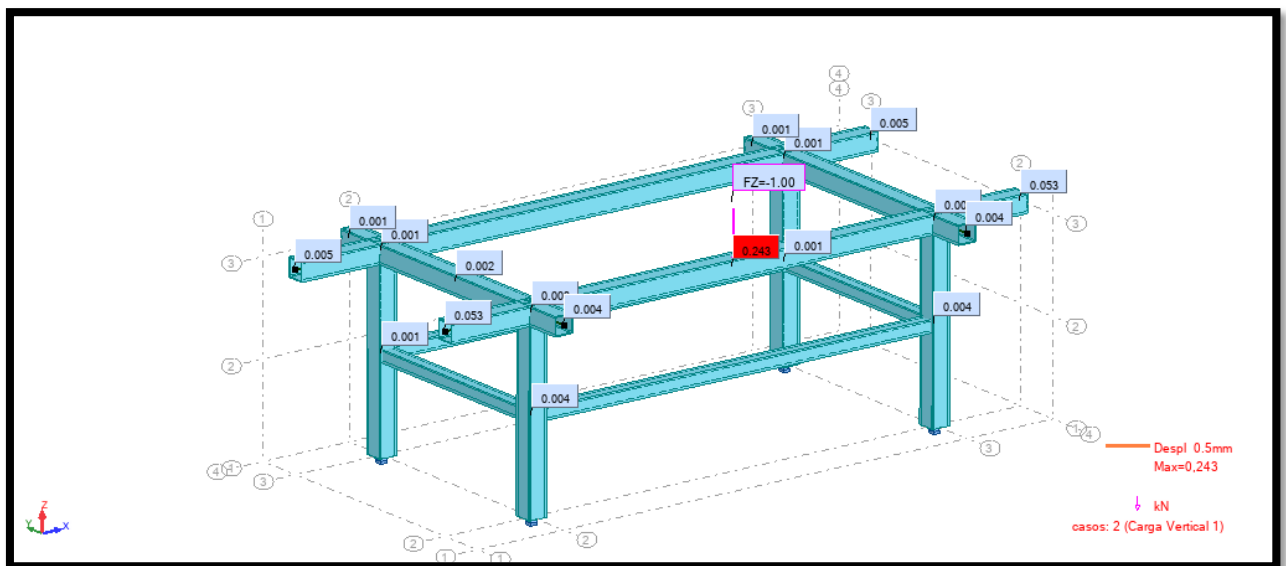


Figura 5.41. Deformación de la carga vertical 1.

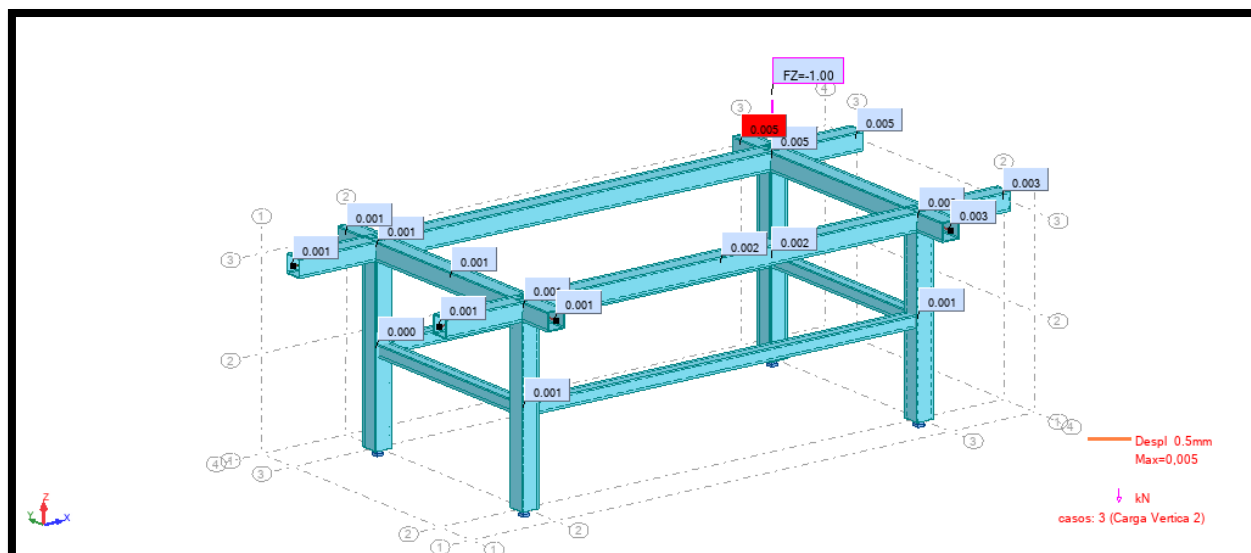


Figura 5.42. Deformación de la carga vertical 2.

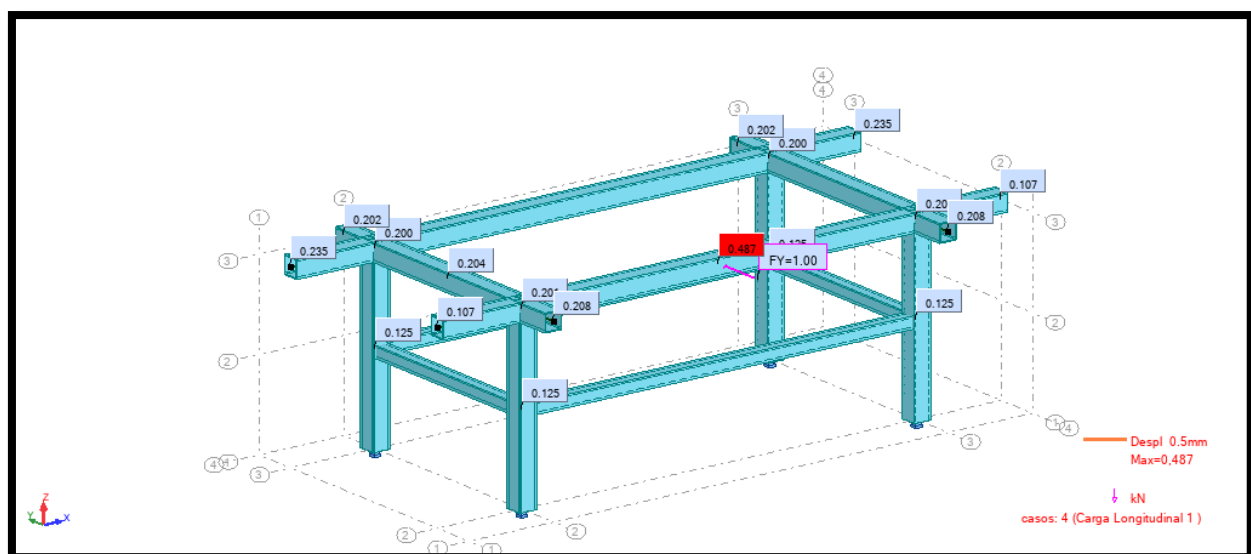


Figura 5.43. Deformación de la carga longitudinal 1.

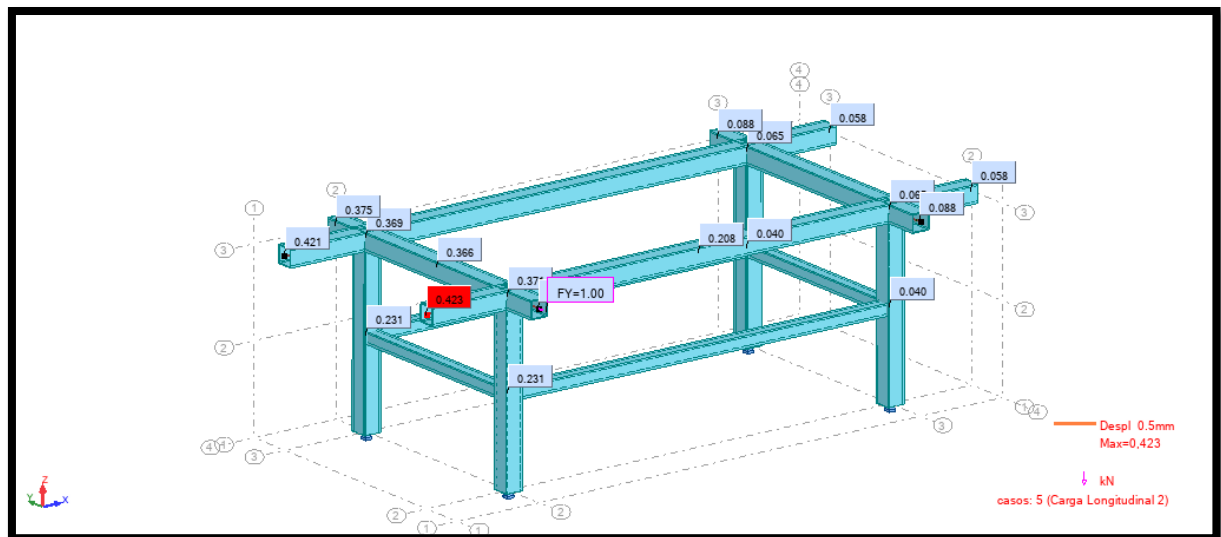


Figura 5.44. Deformación de la carga longitudinal 2.

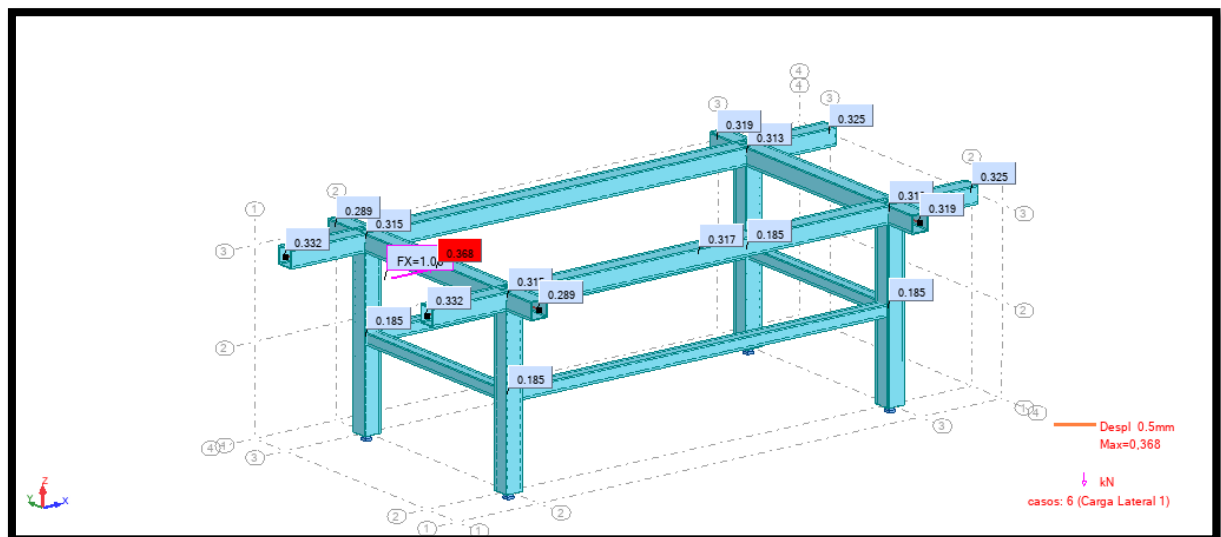


Figura 5.45. Deformación de la carga lateral 1.

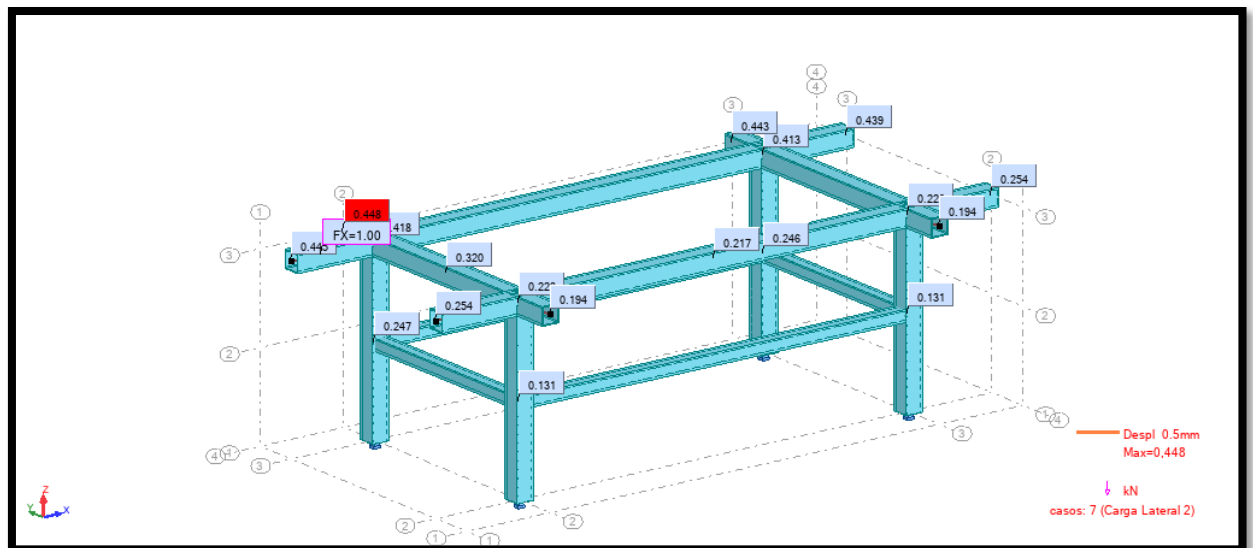


Figura 5.46. Deformación de la carga lateral 2.

5.5.2 Verificación de los perfiles elegidos.

Una vez se han realizado los cálculos se verificará los perfiles que conforman la estructura, si cumple o no las exigencias establecidas.

Para realizar una correcta verificación vamos a definir las barras como vigas o como columnas..

Las barras verticales se definirán como columnas.

Definición de la barra - parámetros - UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014

Tipo de barra:

Guardar

Cerrar

Pandeo respecto al eje y

Longitud de la barra l_y :

☐ real ☒ coeficiente

Coef. de longitud de pandeo y:

traslacional

Curva de pandeo y:

Pandeo respecto al eje z

Longitud de la barra l_z :

☐ real ☒ coeficiente

Coef. de longitud de pandeo z:

traslacional

Curva de pandeo z:

☐ Pandeo flexo-torsor

Parámetros de pandeo lateral

☐ Pándeo lateral

Coef. de long. de pandeo lateral

Nivel de carga:

$L_{cr} = l_0$ $L_{cr} = l_0$

Momento crítico: ☒ Automático ☐ Usuario

$M_{cr} = 1,00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Curva de pandeo lateral:

☐ Método general [6.3.2.2] $\Lambda_{LT,0} = 0,4$

☒ Método detallado [6.3.2.3] $\beta = 0,75$

☐ Método simplificado para las vigas con rigidizadores laterales [6.3.2.4] $k\beta = 1,1$

Conjuntos adicionales de parámetros de la barra

☒ Flechas y desplazamientos límites:

☐ Secciones compuestas:

☐ Secciones de paredes delgadas:

☐ Parámetros del análisis de resist. al fuego:

Más...

Nota

Ayuda

Figura 5.47. Definición de columna.

De esta manera la comprobación tendrá en cuenta el pandeo de la barra en el eje Y y Z.

Del mismo modo definimos las barras longitudinales como vigas.

Definición de la barra - parámetros - UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014

Tipo de barra:

Guardar

Cerrar

Pandeo respecto al eje y

Longitud de la barra l_y :

☐ real

☒ coeficiente

Coef. de longitud de pandeo y:

☒ traslacional

Curva de pandeo y:

Pandeo respecto al eje z

Longitud de la barra l_z :

☐ real

☒ coeficiente

Coef. de longitud de pandeo z:

☒ traslacional

Curva de pandeo z:

☐ Pandeo flexo-torsor

Parámetros de pandeo lateral

☒ Pandeo lateral

Nivel de carga: 

Coef. de long. de pandeo lateral

$L_{cr} = l_0$ $L_{cr} = l_0$

Momento crítico:

☒ Automático ☐ Usuario

$M_{cr} = 1,00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Curva de pandeo lateral:

☐ Método general [6.3.2.2] $\Lambda_{LT,0} = 0.4$

☒ Método detallado [6.3.2.3] $\beta = 0.75$

Método simplificado para las vigas con rigidizadores laterales [6.3.2.4] $k_{fl} = 1.1$

Conjuntos adicionales de parámetros de la barra

☒ Flechas y desplazamientos límites: Utilización

☐ Secciones compuestas: Compuestas

☐ Secciones de paredes delgadas: Paredes delgadas

☐ Parámetros del análisis de resist. al fuego: Fuego

Más...

Nota

Ayuda

Figura 5.48. Definición de viga.

La comprobación de estas barras se hará también a pandeo lateral lo cual indica que la estructura esta teniendo en cuenta la resistencia lateral de la estructura.

Barra		Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
1 Columna_1	OK	TCAR 60x3.2	S 275	25.93	25.93	0.06	11 Combinación 4
2 Columna_2	OK	TCAR 60x3.2	S 275	25.93	25.93	0.07	13 Combinación 6
3 Columna_3	OK	TCAR 60x3.2	S 275	25.93	25.93	0.05	11 Combinación 4
4 Columna_4	OK	TCAR 60x3.2	S 275	25.93	25.93	0.06	12 Combinación 5
5 Barra_5	OK	TCAR 60x3.2	S 275	30.26	30.26	0.05	10 Combinación 3
6 Barra_6	OK	TCAR 60x3.2	S 275	30.26	30.26	0.05	11 Combinación 4
7 Barra_7	OK	TCAR 60x3.2	S 275	60.51	60.51	0.08	10 Combinación 3
8 Barra_8	OK	TCAR 60x3.2	S 275	60.51	60.51	0.09	13 Combinación 6
9 Barra_9	OK	TCAR 40x3.2	S 275	46.77	46.77	0.06	5 Carga Longitudinal
10 Barra_10	OK	TCAR 40x3.2	S 275	93.54	93.54	0.03	6 Carga Lateral 1
11 Barra_11	OK	TCAR 40x3.2	S 275	46.77	46.77	0.04	4 Carga Longitudinal
12 Barra_12	OK	TCAR 40x3.2	S 275	93.54	93.54	0.04	7 Carga Lateral 2
13 Barra_13	OK	TCAR 60x3.2	S 275	12.97	12.97	0.02	8 Combinación 1
14 Barra_14	OK	TCAR 60x3.2	S 275	12.97	12.97	0.02	8 Combinación 1
15 Barra_15	OK	TCAR 60x3.2	S 275	12.97	12.97	0.02	8 Combinación 1
16 Barra_16	OK	TCAR 60x3.2	S 275	12.97	12.97	0.02	8 Combinación 1
17 Barra_17	OK	TCAR 60x3.2	S 275	6.48	6.48	0.00	8 Combinación 1
18 Barra_18	OK	TCAR 60x3.2	S 275	6.48	6.48	0.00	8 Combinación 1
19 Barra_19	OK	TCAR 60x3.2	S 275	6.48	6.48	0.00	8 Combinación 1
20 Barra_20	OK	TCAR 60x3.2	S 275	6.48	6.48	0.00	8 Combinación 1

Figura 5.49. Verificación de los perfiles

Como se puede observar en los resultados anteriores, todos los perfiles cumplen las exigencias de los cálculos, observándose que el ELU es el que más solicita a las secciones.

La deformación máxima en la mesa serán en los perfiles longitudinales 7 y 8, con una sollicitación de 0.09, el primero con una combinación del peso propio con la carga vertical 1 y el segundo con una combinación del peso propio y la carga lateral 2.

5.5.3 Comprobación de las secciones más desfavorables.

Se comprobarán las dos barras más desfavorables 7 y 8 que son las barras longitudinales que tienen una sección TCAR 60x3.2, que tienen una sollicitación de un 9% en el estado límite último, para el estado límite último.

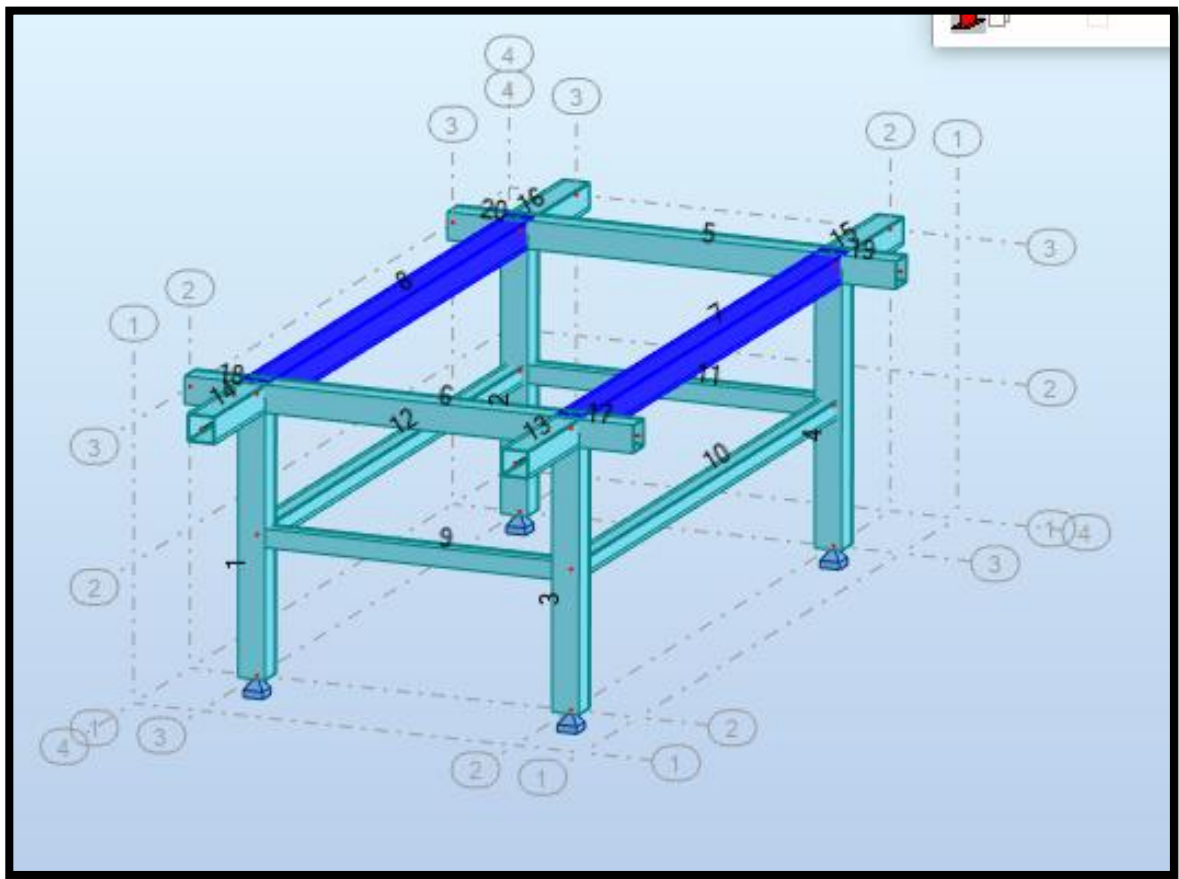


Figura 5.50. posición de las barras.

RESULTADOS - norma - UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014

Barra: 7 Barra_7
Punto / Coordenada: 3 / x = 0.50 L = 0.70 m
Caso de carga: 10 Combinación 3 (1+4)*1.00

TCAR 60x3.2

Perfil correcto

OK

Cambiar

Resultados simplificados Resultados detallados

FUERZAS

N,Ed = 0.72 kN	My,Ed = 0.13 kN*m	Mz,Ed = -0.21 kN*m	Vy,Ed = -0.50 kN
Nc,Rd = 198.58 kN	My,Ed,max = -0.20 kN*m	Mz,Ed,max = -0.21 kN*m	Vy,c,Rd = 57.32 kN
Nb,Rd = 168.62 kN	My,c,Rd = 4.26 kN*m	Mz,c,Rd = 4.26 kN*m	
	MN,y,Rd = 4.26 kN*m	MN,z,Rd = 4.26 kN*m	

CLASE DE LA SECCION = 1

PANDEO LATERAL

XLT = 1.00

PANDEO EN Y

Ly = 1.40 m
Lcr,y = 1.40 m
Lamy = 60.51

Lam_y = 0.70
Xy = 0.85
kzy = 0.60

PANDEO EN Z

Lz = 1.40 m
Lcr,z = 1.40 m
Lamz = 60.51

Lam_z = 0.70
Xz = 0.85
kzz = 1.00

CONTROL DE LA SECCIÓN

$(My,Ed/MN,y,Rd)^{1.66} + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^{1.66} = 0.01 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
 $Vy,Ed/Vy,c,Rd = 0.01 < 1.00$ (6.2.6.(1))

CONTROL DE LA ESTABILIDAD DE LA BARRA

Lamy = 60.51 < Lam,max = 210.00 Lamz = 60.51 < Lam,max = 210.00 ESTABLE
 $N,Ed/(Xz*N,Rk/gM1) + kzy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) + kzz*Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.08 < 1.00$ (6.3.3.(4))

Fuerzas

Detallado

Nota de cálc.

Parámetros

Ayuda

Figura 5.51. Comprobaciones de Robot Structural Barra 7.

RESULTADOS - norma - UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014

Barra: 8 Barra_8
Punto / Coordenada: 1 / x = 0.00 L = 0.00 m
Caso de carga: 13 Combinación 6 (1+7)*1.00

Perfil correcto

TCAR 60x3.2

Auto

OK

Cambiar

Resultados simplificados Resultados detallados

FUERZAS

N,Ed = 1.02 kN	My,Ed = -0.32 kN*m	Mz,Ed = -0.04 kN*m	Vy,Ed = -0.06 kN
Nc,Rd = 198.58 kN	My,Ed,max = -0.32 kN*m	Mz,Ed,max = 0.04 kN*m	Vy,T,Rd = 57.29 kN
Nb,Rd = 168.62 kN	My,c,Rd = 4.26 kN*m	Mz,c,Rd = 4.26 kN*m	Vz,Ed = 1.11 kN
	MN,y,Rd = 4.26 kN*m	MN,z,Rd = 4.26 kN*m	Vz,T,Rd = 57.29 kN
			Tt,Ed = -0.00 kN*m
			CLASE DE LA SECCION = 1

PANDEO LATERAL

XLT = 1.00

PANDEO EN Y

Ly = 1.40 m Lam_y = 0.70
Lcr,y = 1.40 m Xy = 0.85
Lamy = 60.51 kyy = 1.00

PANDEO EN Z

Lz = 1.40 m Lam_z = 0.70
Lcr,z = 1.40 m Xz = 0.85
Lamz = 60.51 kyz = 0.60

CONTROL DE LA SECCIÓN

$(My,Ed/MN,y,Rd)^{1.66} + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^{1.66} = 0.01 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
 $Vz,Ed/Vz,T,Rd = 0.02 < 1.00$ (6.2.6-7)

CONTROL DE LA ESTABILIDAD DE LA BARRA

Lamy = 60.51 < Lam,max = 210.00 Lamz = 60.51 < Lam,max = 210.00 ESTABLE
 $N,Ed/(Xy*N,Rk/gM1) + kyy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) + kyz*Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.09 < 1.00$ (6.3.3.(4))

Fuerzas

Detallado

Nota de cálc.

Parámetros

Ayuda

Figura 5.52. Comprobaciones de Robot Structural Barra 8.

5.5.4 Comprobación a inestabilidad de la estructura.

El pandeo es un fenómeno de inestabilidad en elementos esbeltos que puede ser provocado por una compresión, flexión o flexocompresión en el que, para cierto valor crítico de carga, flecta súbitamente y aparecen grandes desplazamientos transversales para incrementos muy pequeños de la carga. Como los elementos estructurales tienen una esbeltez considerable, su diseño suele estar condicionado por estas inestabilidades.

El pandeo lateral o vuelco, es un tipo de inestabilidad que parecen en vigas sometidas a flexión y que no estas inmovilizadas en su plano. Lo que ocurre es que la parte comprimida de la viga pandea saliéndose del plano de flexión. Se da con mayor asiduidad en vigas como baja rigidez a torsión que trabajan a flexión en su plano fuerte.

6 . ESTIMACIÓN ECONÓMICA

Esta estimación económica está basada en la base de precios de la Junta de Andalucía que se encuentran en PRESTO.

Pesupuesto final MEDICIONES Y PRESUPUESTOS

Código	Descripción	Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Medición	Precio	Presupuesto
--------	-------------	------	----------	---------	--------	-----------	----------	--------	-------------

CAPÍTULO A-1 Elementos Estructurales

A-1.1 1.001	Perfil de Acero TCAR 60x3,2								
			1,00			1,00			
							1,00	3.186,98	3.186,98
A-1.2 1.002	Perdil de Acero TCAR 40x3,2								
							1,00	1.659,77	1.659,77

TOTAL CAPÍTULO A-1 Elementos Estructurales. 4.846,75

Pesupuesto final DETALLE DE LOS PRECIOS

Código	Cantidad	Ud.	Descripción	Precio	Importe
--------	----------	-----	-------------	--------	---------

PRECIOS DESCOMPUESTOS

CAPITULO A-1 Elementos Estructurales

1.001 A-1.1			Perfil de Acero TCAR 60x3,2		
U06JJ110	1.486,170	Kg	Acero A-42b en perfil tubular	1,52	2.258,98
U01FS001	40,000	Hr	Oficial 1º soldador	16,00	640,00
U01FS002	20,000	Hr	Ayudante soldador	14,40	288,00
			TOTAL PARTIDA		3.186,98
1.002 A-1.2			Perdil de Acero TCAR 40x3,2		
U06JJ110	481,430	Kg	Acero A-42b en perfil tubular	1,52	731,77
U01FS001	40,000	Hr	Oficial 1º soldador	16,00	640,00
U01FS002	20,000	Hr	Ayudante soldador	14,40	288,00
			TOTAL PARTIDA		1.659,77

Pesupuesto final

MEDICIONES Y PRESUPUESTOS

Código	Descripción	Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Medición	Precio	Presupuesto
--------	-------------	------	----------	---------	--------	-----------	----------	--------	-------------

CAPÍTULO B-1 Lámina de Acero

B-1.1 Lámina de Acero
2.001

1,00 2.855,33 2.855,33

TOTAL CAPÍTULO B-1 Lámina de Acero. 2.855,33

Pesupuesto final

DETALLE DE LOS PRECIOS

Código	Cantidad	Ud.	Descripción	Precio	Importe
--------	----------	-----	-------------	--------	---------

PRECIOS DESCOMPUESTOS

CAPÍTULO B-1 Lámina de Acero

2.001 B-1.1 Lámina de Acero

U06QA012	1.460,100	Kg	Chapa galvanizada 3,0 mm(20Kg/m2)	1,32	1.927,33
U01FS001	40,000	Hr	Oficial 1º soldador	16,00	640,00
U01FS002	20,000	Hr	Ayudante soldador	14,40	288,00
TOTAL PARTIDA					2.855,33

Pesupuesto final

MEDICIONES Y PRESUPUESTOS

Código	Descripción	Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Medición	Precio	Presupuesto
--------	-------------	------	----------	---------	--------	-----------	----------	--------	-------------

CAPÍTULO C-1 Patas de goma

C-1.1 Patas de goma
3.001

1,00 1.219,20 1.219,20

TOTAL CAPÍTULO C-1 Patas de goma. 1.219,20

Pesupuesto final

DETALLE DE LOS PRECIOS

Código	Cantidad	Ud.	Descripción	Precio	Importe
--------	----------	-----	-------------	--------	---------

PRECIOS DESCOMPUESTOS

CAPÍTULO C-1 Patas de goma

3.001 C-1.1 Patas de goma

C1	124,000		Goma	8,80	1.091,20
U01FM008	8,000	Hr	Oficial escayolista	16,00	128,00
TOTAL PARTIDA					1.219,20

Pesupuesto final

DETALLE DE LOS PRECIOS

Código	Ud.	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
--------	-----	-------------	----------	--------	---------

PRECIOS UNITARIOS

U01 MANO DE OBRA

U01FM008	Hr	Oficial escavolista	8,00	16,00	128,00
U01FS001	Hr	Oficial 1º solador	120,00	16,00	1.920,00
U01FS002	Hr	Ayudante solador	60,00	14,40	864,00

U06 ACERO PARA ARMAR Y TALLER

U06JU110	Kg	Acero A-42b en perfil tubular	1.967,60	1,52	2.990,75
U06QA012	Kg	Chapa galvanizada 3,0 mm (20Kg/m2)	1.460,10	1,32	1.927,33

Z99 OTROS PRECIOS

C1		Goma	124,00	8,80	1.091,20
----	--	------	--------	------	----------

Pesupuesto final

RESUMEN GENERAL DEL PRESUPUESTO

Código	Capítulo	Total €	
A-1	Elementos Estructurales	4.846,75	54%
B-1	Lámina de Acero	2.855,33	32%
C-1	Patatas de goma	1.219,20	14%
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		8.921,28	

14 de Agosto de 2019

El coste total estimado de la instalación ferroviaria sería de **8.921.28 €** en el cual se tienen en cuenta el precio del material, así como de la mano de obra que tiene la realización, se hizo esta estimación con los precios que la Junta de Andalucía tiene actualizados en el programa PRESTO que es un software para la realización de presupuestos y mediciones en obras civiles.

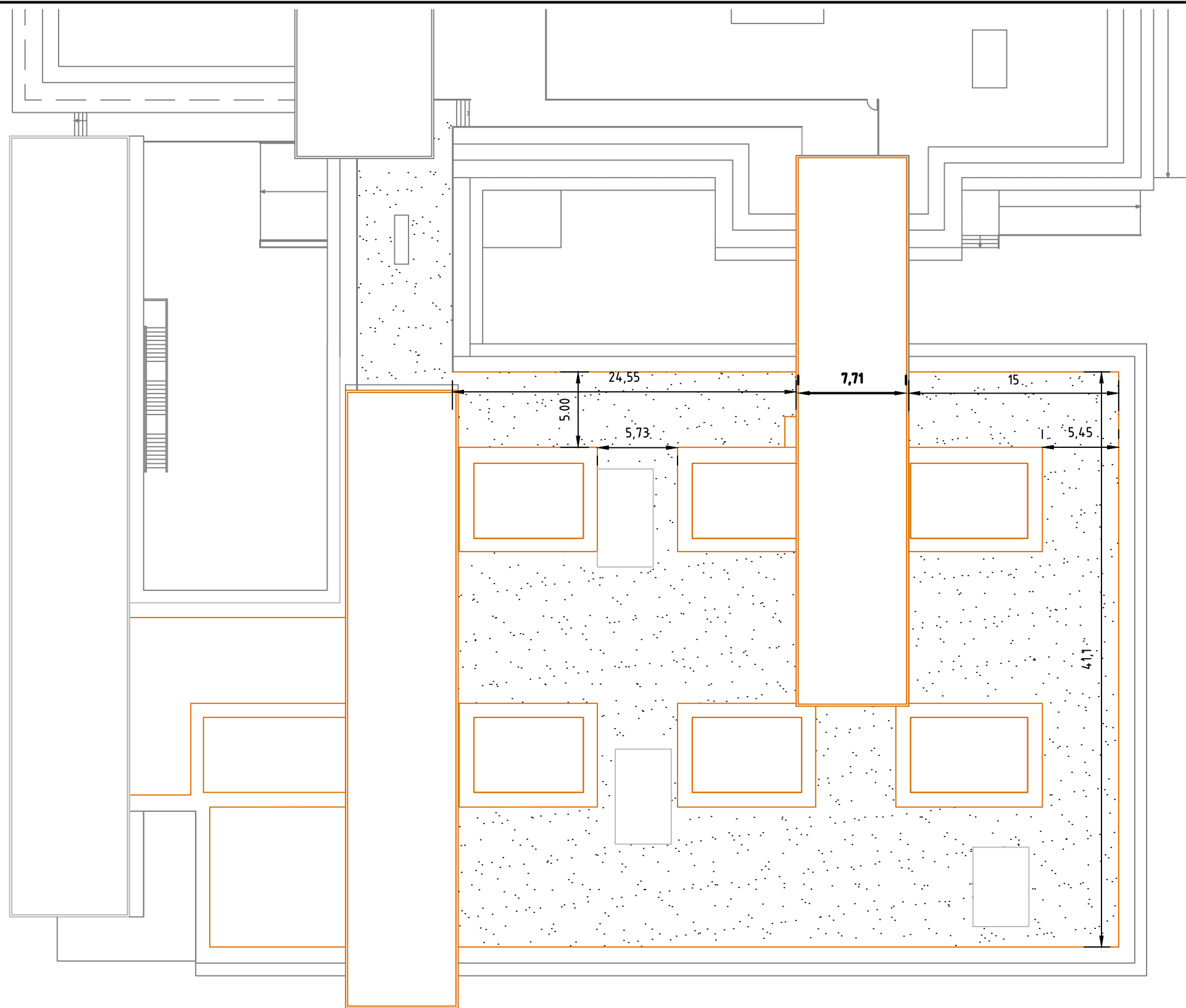
7 . CONCLUSIONES

El proceso del trabajo ha sido, inicialmente lectura y comprensión de las definiciones más fundamentales de la estructura ferroviaria, así como la de realizar una búsqueda de ubicación en la que se pueda construir esta estructura de la manera más eficiente y fácil dentro de la universidad en la que todos los interesados en hacer uso de esta instalación puedan aprovechar el diseño y funcionalidad en su totalidad.

En la fase de diseño se ha encontrado el mejor trazado integrando todas las alineaciones posibles de un trazado ferroviario real, optimizando todo el espacio que se encuentra disponible en la cubierta, respetando los espacios que se consideran necesarios para las distintas labores que se realizan en esta, como las de mantenimiento entre otras.

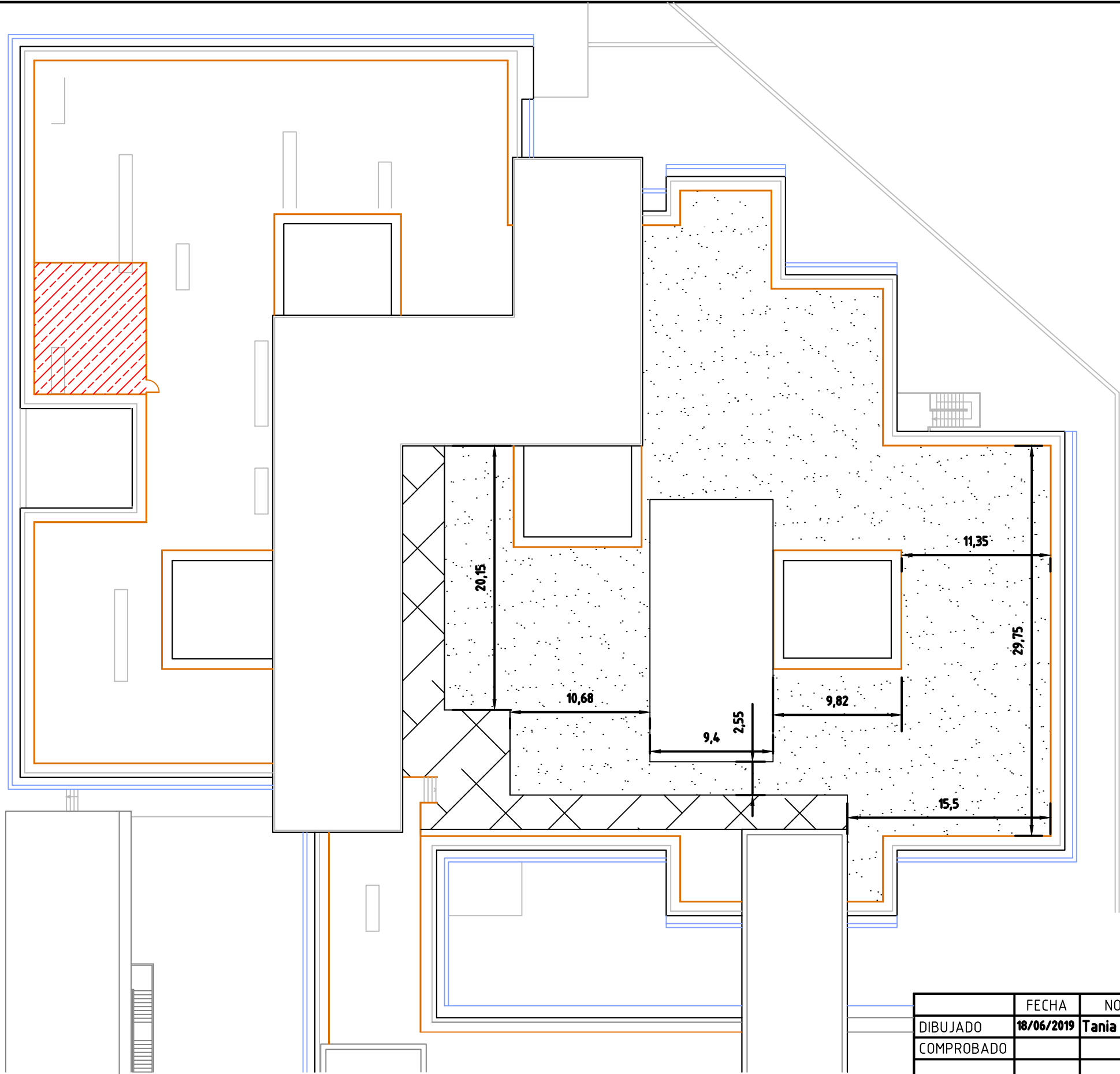
En lo que a software se refiere, el programa *Robot Structural Analysis* ha sido utilizado satisfactoriamente permitiendo conocer el comportamiento del soporte de la estructura, a las cargas a las que se tiene previsto que la instalación va a estar sometida obteniendo resultados beneficiosos para este proyecto.

8 PLANOS

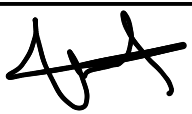


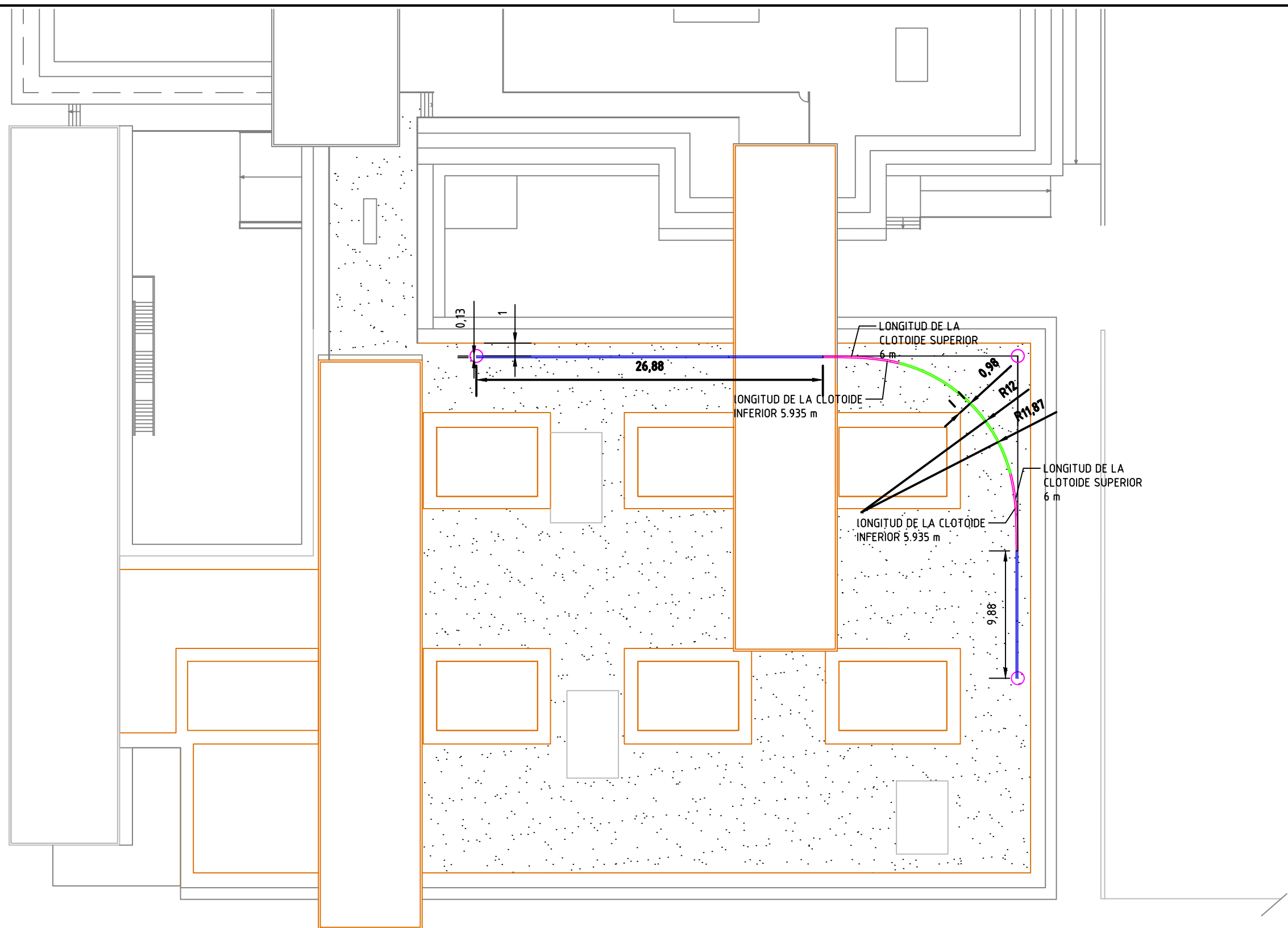
CUADRO DE REFERENCIA	
	CUBIERTA TRANSITABLE: ACABADO EN GRAVA

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	18/06/2019	Tania Salcedo B.		
COMPROBADO				
ESCALA: 3:1	Diseño de una vía ferroviaria a escala sobre la cubierta de la EPSL para realización de ensayos de laboratorio Planta Cubierta Laboratorios Oeste			Nº PLANO 1
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

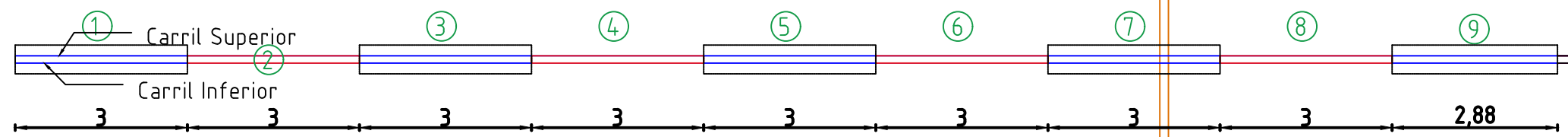


CUADRO DE REFERENCIA	
	CUBIERTA TRANSITABLE: ACABADO EN GRAVA
	ZONA DE CONEXIÓN CON BALDOSA DE MÁRMOL BLANCO

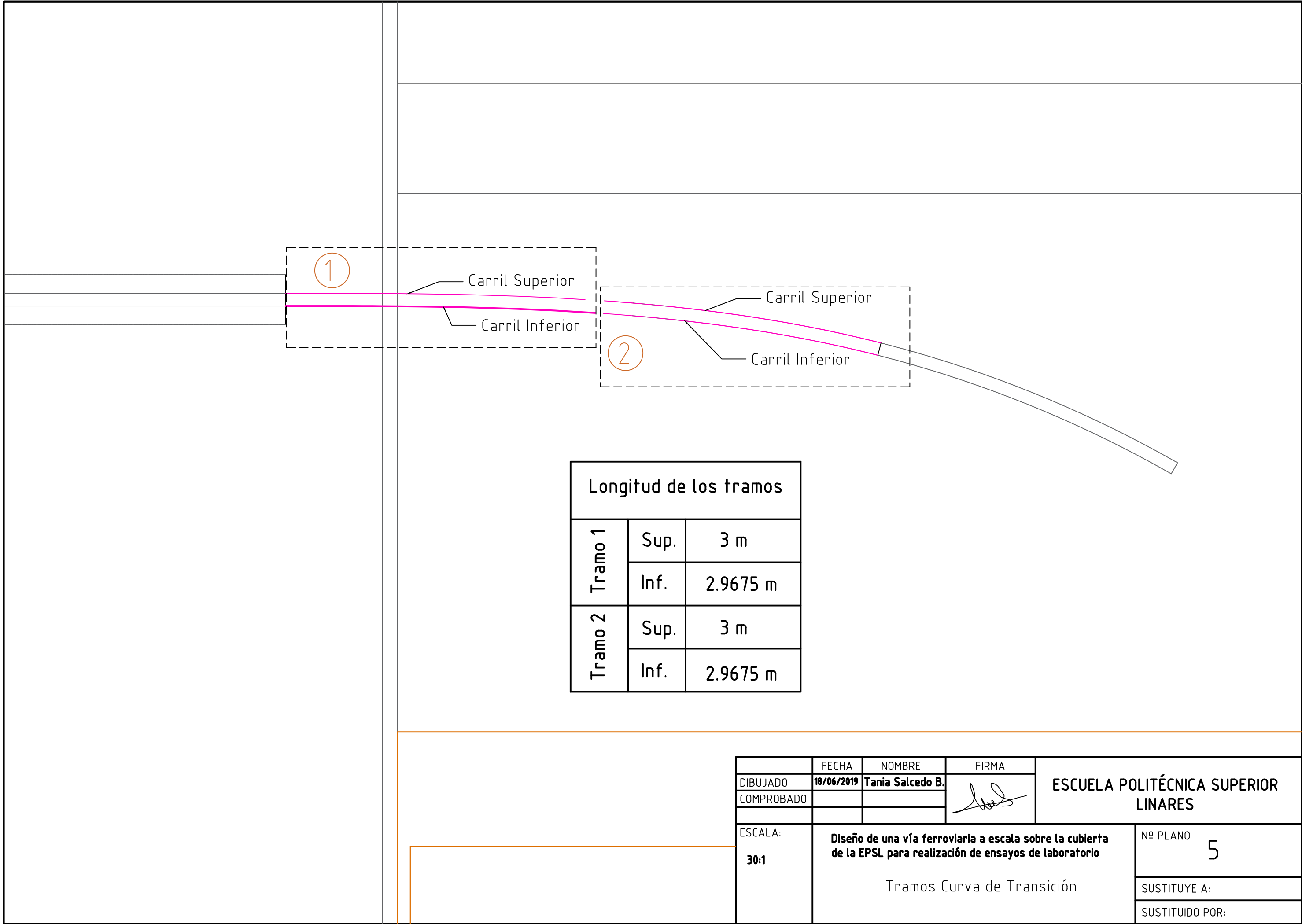
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	18/06/2019	Tania Salcedo B.		
COMPROBADO				
ESCALA: 3:1	Diseño de una vía ferroviaria a escala sobre la cubierta de la EPSL para realización de ensayos de laboratorio Planta Cubierta Laboratorios Este			Nº PLANO 2
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



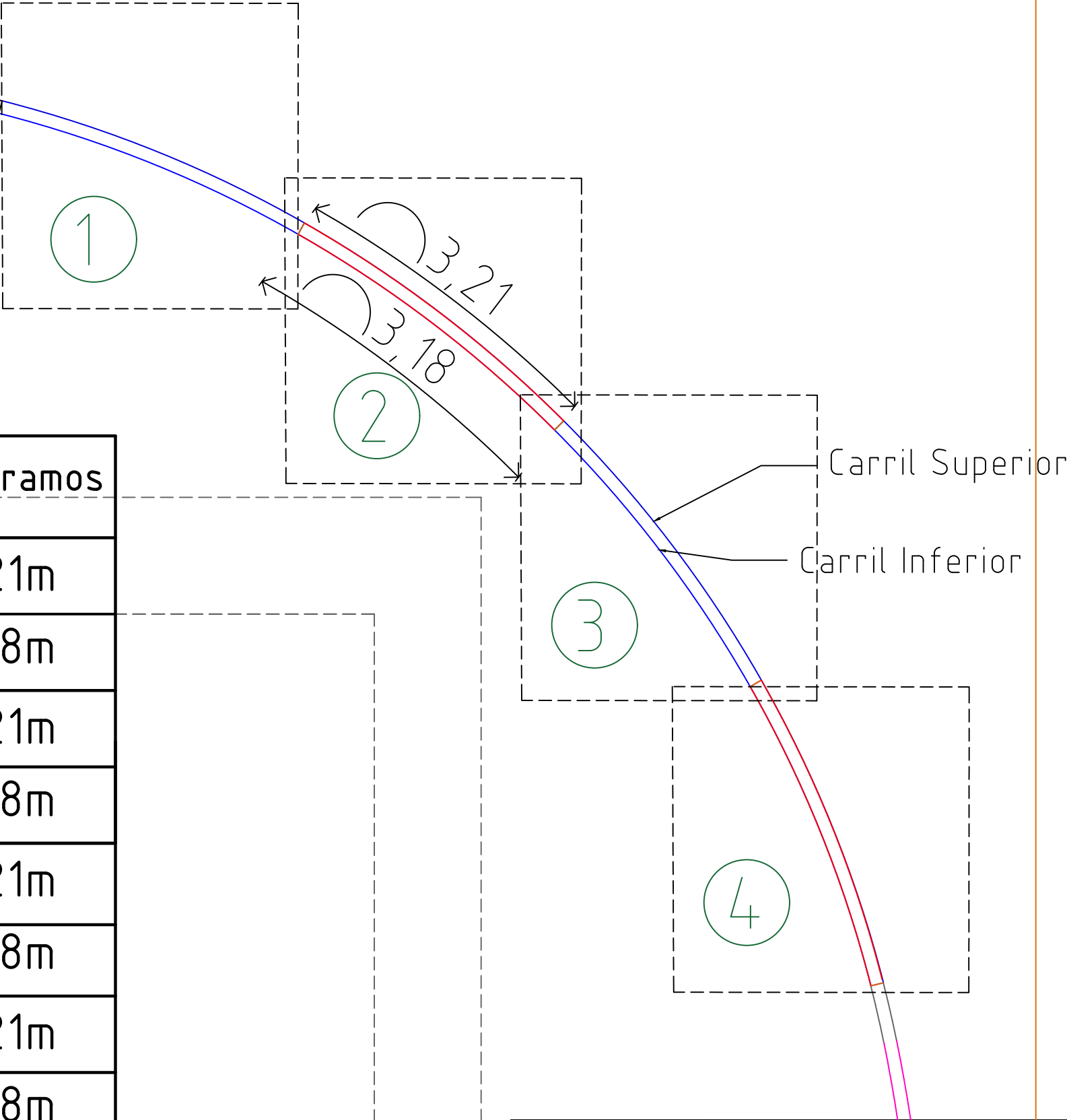
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	18/06/2019	Tania Salcedo B.		
COMPROBADO				
ESCALA: 3:1	Diseño de una vía ferroviaria a escala sobre la cubierta de la EPSL para realización de ensayos de laboratorio Trazado vía ferroviaria			Nº PLANO 3
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



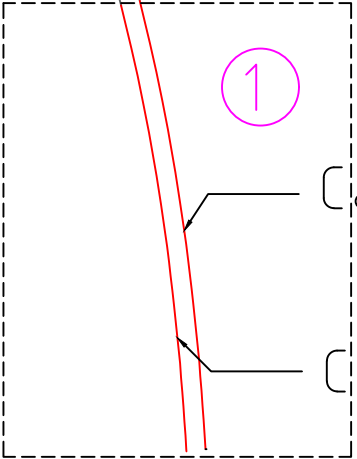
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	18/06/2019	Tania Salcedo B.		
COMPROBADO				
ESCALA: 10:1	Diseño de una vía ferroviaria a escala sobre la cubierta de la EPSL para realización de ensayos de laboratorio Tramos Alineación Recta 1			Nº PLANO 4
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



longitud de los tramos		
Tramo 1	Sup.	3.21m
	Inf.	3.18m
Tramo 2	Sup.	3.21m
	Inf.	3.18m
Tramo 3	Sup.	3.21m
	Inf.	3.18m
Tramo 4	Sup.	3.21m
	Inf.	3.18m

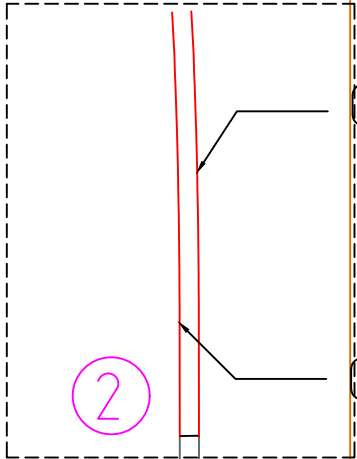


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	18/06/2019	Tania Salcedo B.		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño de una vía ferroviaria a escala sobre la cubierta de la EPSL para realización de ensayos de laboratorio Tramos Curva Circular			Nº PLANO 6
20:1				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



Carril Superior

Carril Inferior

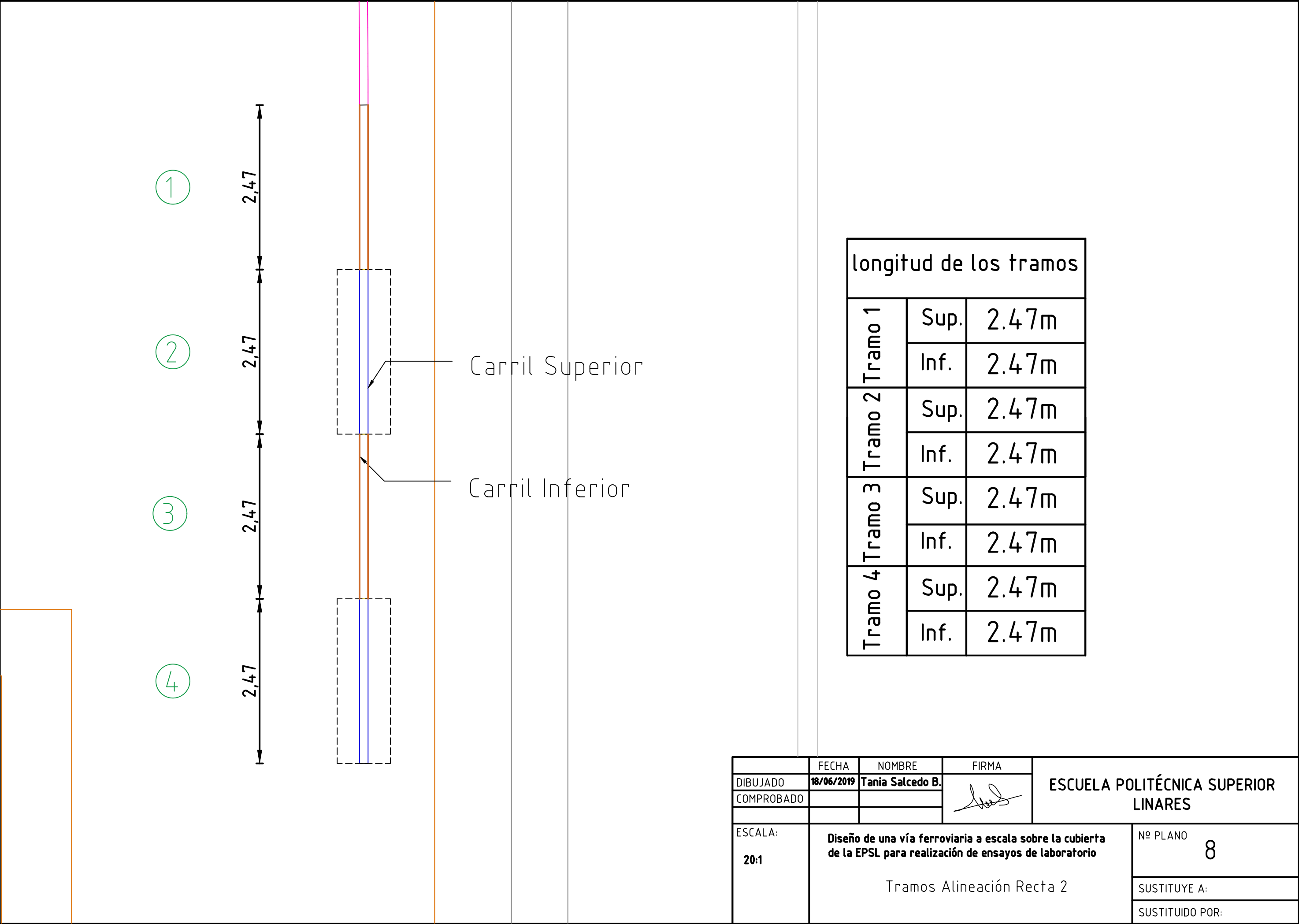


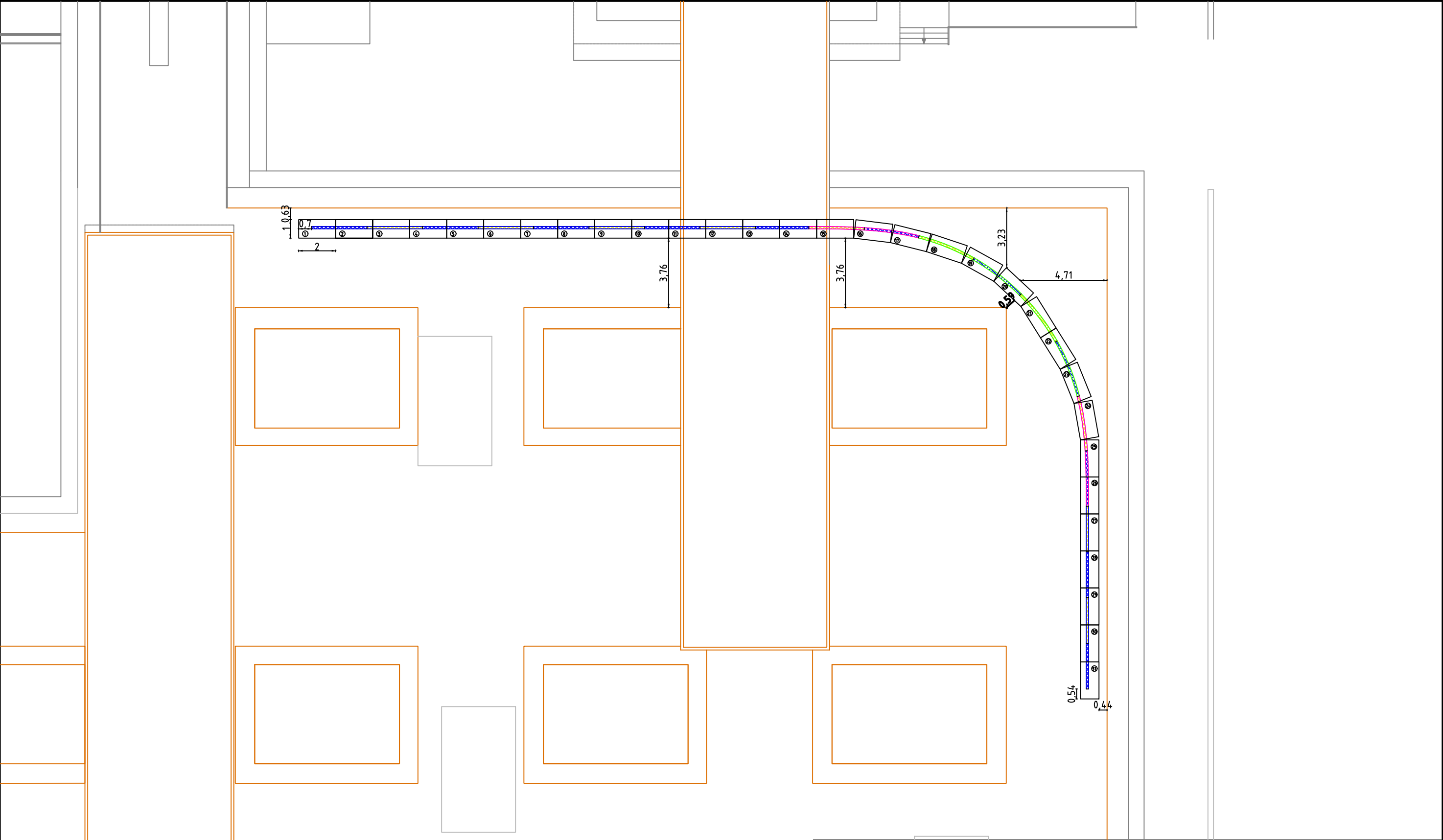
Carril Superior

Carril Inferior

longitud de los tramos		
Tramo 1	Sup.	3m
	Inf.	2.9675m
Tramo 2	Sup.	3m
	Inf.	2.9675m

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	18/06/2019	Tania Salcedo B.		
COMPROBADO				
ESCALA: 20:1	Diseño de una vía ferroviaria a escala sobre la cubierta de la EPSL para realización de ensayos de laboratorio Tramos Curva de Transición 2			Nº PLANO 7
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:





	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	18/06/2019	Tania Salcedo B.		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño de una vía ferroviaria a escala sobre la cubierta de la EPSL para realización de ensayos de laboratorio Distribución Mesas de soporte			Nº PLANO 9
5:1				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

9 ANEXOS

10.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Conceptos básicos de la infraestructura ferroviaria - Trenvista.” [Online]. Available: <https://www.trenvista.net/descubre/mundo-ferroviario/conceptos-basicos-infraestructura-ferroviaria/>. [Accessed: 03-May-2019].
- [2] B. B. Estructura and D. E. L. A. Vía, “Índice de Temas :,” 2010.
- [3] “Aparatos de vía: los desvíos ferroviarios | MÁS QUE INGENIERÍA.” [Online]. Available: <https://masqueingenieria.com/blog/aparatos-de-via-los-desvios/>. [Accessed: 06-Mar-2019].
- [4] “DESVÍOS MIXTOS DE TRES HILOS DESVÍOS MIXTOS DE CUATRO HILOS.”
- [5] A. Dirección de Formación Operativa, Centro de Formación de Circulación. Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, “Conceptos básicos ferroviarios. Convocatoria de factor de circulación de entrada. OFERTA PÚBLICA DE EMPLEO 2007 – 2008 CONVOCATORIA,” 2007.
- [6] B. D. Trazado and Y. G. D. E. La, “EQGLFH GH 7HPDV 1 * HRPHWUtD GH OD 9tD.”
- [7] L. Quesada, “Capitulo 11 capitulo 11,” *Sangre (Saragossa)*, pp. 191–194.
- [8] N. Europea, N. Une-en, A. Autoriza, E. L. Uso, and D. E. E. Documento, “española,” 2009.
- [9] O. Antecedentes, “española,” 2009.
- [10] “54E1 (UIC54) Rail - ArcelorMittalRails.” [Online]. Available: <https://rails.arcelormittal.com/tipos-rieles/carril-de-transporte/norma-europea/caril-uic54-54e1>. [Accessed: 07-Jun-2019].
- [11] “Características mecánicas del acero.” [Online]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>. [Accessed: 06-Jun-2019].
- [12] Cpa, “TÍTULO 2.º ANÁLISIS ESTRUCTURAL CAPÍTULO V ANÁLISIS ESTRUCTURAL Artículo 17 Generalidades.”
- [13] S. Estructural, “Documento BásicoSE-AE,” 2009.

- [14] E. Met, “Características mecánicas del acero Conceptos de resistencia aplicables a la estructura metálica Estados límite Seguridad de las estructuras Acciones Material Análisis estructural.”
- [15] Ministerio de fomento, “EAE 4.2 Model de càlcul L’estructura es modelitza amb elements tipus shell, utilitzant el programa d’elements finits Robot Structural v2018. Les escales es modelitzen recolzades als extrems.” p. 655, 2011.
- [16] L. Beltrán López Rodríguez, “Tema 1: Las Estructuras Tipo Y Sus Deformaciones Analisis Y Control De Deformaciones Tema 1: Conocimiento General De Las Estructuras Tipo Y Sus Deformaciones,” pp. 1–66.