



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

**Escuela de
Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo**

Grado en Ingeniería de Tecnologías Mineras



Trabajo Fin de Grado

Análisis estructural de celosía en una cinta transportadora

Autor: Alejandro Campelo Menéndez

Tutor: Javier Gracia Rodríguez

Oviedo, Julio de 2023

Resumen

El objetivo de este proyecto es realizar un análisis estructural de una celosía tomando como modelo la cinta transportadora del Lavadero del Batán de Hunosa, S.A. Al ser una infraestructura en funcionamiento, no fue posible adquirir todos los detalles de la cinta, sin embargo, fue posible obtener datos de otras fuentes y llevar a cabo el trabajo.

El programa a utilizar es el Robot Structural Analysis de Autodesk, al que obtuve acceso gracias a la licencia otorgada por la Universidad de Oviedo.

Índice

1. Introducción	1
1.1 Objeto	2
1.2 Descripción de la cinta transportadora	2
1.3 Metodología de trabajo	2
2. Marco teórico	3
2.1 Estructuras	3
2.1.1 Métodos de cálculo de estructuras	6
2.1.2 Tipos de estructuras articuladas	8
2.2 Transporte de material en seco	9
3. Análisis estructural de la celosía	24
3.1 Características y medidas del conjunto	25
3.2 Análisis de la estructura en Robot Structural Analysis	27
3.2.1 Viento	28
3.2.2 Nieve	31
3.2.3 Perfiles de los elementos estructurales	32
3.2.4 Análisis estructural	33
4. Conclusión	45

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería es la capacidad para aplicar el conocimiento a diferentes ámbitos y la utilización de técnicas para aprovechar los recursos naturales y satisfacer las necesidades del ser humano.

Una rama muy importante de la ingeniería va referida al cálculo y análisis de estructuras, las cuales nos acompañan desde tiempos muy remotos y conforman gran parte de nuestra vida cotidiana, proporcionándonos un lugar bajo el que resguardarse, mejorando nuestra capacidad para desplazarnos y muchos otros ámbitos.

La acepción “estructura” posee diferentes significados, el más acertado en este caso es que las estructuras están ligadas a la construcción, más específicamente, sería la parte que se encarga de soportar el conjunto ante diferentes acciones, ya sea su propio peso u otros agentes externos como los sismos o el viento. Desde la prehistoria hasta el presente, el ser humano ha tenido la necesidad de construir estructuras, primero con el fin de protegerse del exterior para más adelante, y gracias a los avances en la materia, abarcar más ámbitos, así como puede ser el arte o la prosperidad de la sociedad.

Las estructuras deben de cumplir cuatro criterios, que dependiendo de la situación van a primar unos más que otros:

- Seguridad: la estructura debe soportar todas las cargas.
- Funcionalidad: la estructura debe servir para lo que fue construida.
- Economía: debe de poder realizarse con los recursos materiales disponibles.
- Estética: debe de tener un aspecto adecuado dependiendo de la situación.

El objetivo entonces del análisis de estructuras es decretar la capacidad que tienen las estructuras para soportar las cargas a las que está sometida durante su vida útil.

1.1 Objeto

El objetivo de este proyecto es realizar el análisis estructural de una celosía en una cinta transportadora, estudiando los efectos que realizan las cargas sobre esta. El análisis se centrará únicamente en la celosía que soporta los elementos mecánicos de la cinta. Para ello se utilizará el programa de cálculo de estructuras SAP2000.

1.2 Descripción de la cinta transportadora

Se tomará como modelo la cinta transportadora que conecta ambas partes del lavadero del Batán, -más concretamente la zona Sueros con el propio lavadero- perteneciente a la empresa Hunosa, situado en Mieres, Asturias. Se trata de una cinta que cruza sobre la autovía Ruta de la Plata (A-66) y consta de unos 321.42 m de largo, con una altura constante en todo su recorrido de unos 12 m.



Ilustración 1. Panorámica conjunto instalaciones de Hunosa. Fuente: <https://www.hunosa.es/>

1.3 Metodología de trabajo

En este proyecto se hizo un modelado de cada sección del total de la estructura y un dimensionado de las barras para adquirir los mejores perfiles. Y gracias a ello una mejora económica.

Capítulo 2

2. MARCO TEÓRICO

En este apartado se desarrollarán los fundamentos de las estructuras a estudiar, así como tipos de cintas transportadoras.

2.1 Estructuras

La estructura de barras o armadura es aquella que está formada por un ensamblaje de piezas prismáticas. Su finalidad es la de soportar las cargas y transmitir las fuerzas y momentos que actúan sobre ella al medio de sustentación. Las estructuras de barras se pueden clasificar en espaciales o planas dependiendo de la disposición de las directrices de las piezas que forman la estructura.

- *Armaduras planas:* son aquellas armaduras en las que todas sus directrices y las cargas aplicadas se encuentran en un mismo plano, es decir, se trabaja con dos dimensiones. Es el caso de las armaduras que trabajan a pares en los puentes.
- *Armaduras espaciales:* son aquellas armaduras en las que sus directrices no se encuentran en un mismo plano y las cargas a las que están sometidas tampoco, es decir, se trabaja con tres dimensiones. Pueden ser el ejemplo de torres de alta tensión.

Las estructuras espaciales son más complejas de estudiar y diseñar, por tanto, muchas estructuras tridimensionales en realidad se diseñan como un conjunto de estructuras planas que trabajan en sintonía para conseguir el objetivo para el que son concebidas.

Según el tipo unión entre las piezas tendremos un tipo de estructura de barras u otro:

- *Estructuras articuladas*: son aquellas cuyas piezas prismáticas están unidas entre sí mediante articulaciones. Dichas articulaciones no transmiten momentos flectores, por tanto, los componentes de las estructuras articuladas van a trabajar solo a esfuerzos axiales, es decir, compresión y tracción, siempre y cuando las cargas estén ubicadas sobre los nudos. En caso de que haya cargas transversales situadas sobre alguna pieza, sí podrían existir esfuerzos de flexión.
- *Estructuras reticuladas*: son aquellas cuyas piezas prismáticas están unidas entre sí mediante nudos rígidos. En este caso se transmiten entre las barras momentos flectores, provocando que los componentes tengan esfuerzos de torsión y de flexión.¹

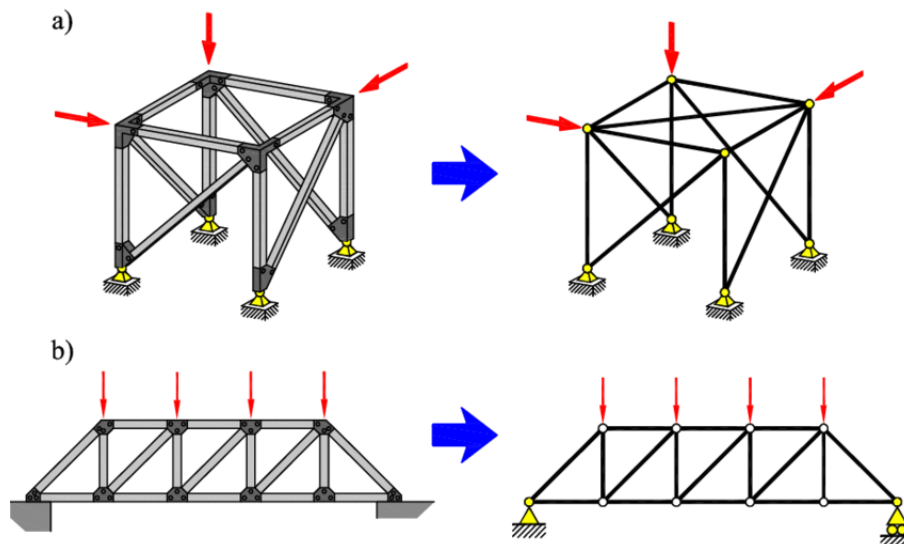


Figura 1. Estructuras de barras articuladas espacial (a) y plana (b). Fuente: "Mecánica de estructuras" Miguel Cervera Ruíz, Elena Blanco Díaz.

¹Cervera, M. y Blanco, E. (2014). Capítulo 1.4

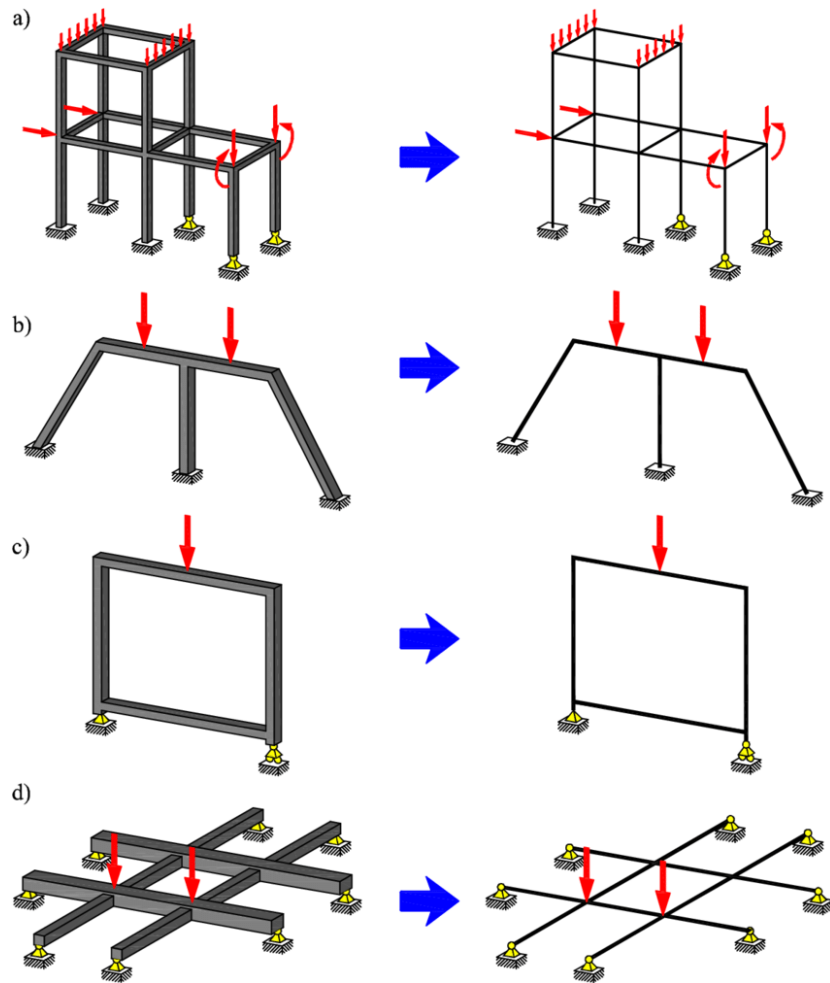


Figura 2. Estructuras de barras reticuladas espacial (a) y planas (b) (c) (d). Fuente: "Mecánica de estructuras" Miguel Cervera Ruiz, Elena Blanco Díaz

2.1.1 Métodos de cálculo de armaduras

Los métodos de análisis de armaduras son una herramienta importante para el diseño y la evaluación de estructuras.

- Método de los nodos:

En “*el método de los nodos las fuerzas axiales en los elementos de una armadura estáticamente determinada son comprobadas al considerar las ecuaciones de equilibrio de sus nodos*”.

Cada nodo, consta de un sistema de fuerzas coplanares concurrentes, las cuales deben satisfacer las dos ecuaciones de equilibrio $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$.

A la hora de aplicar el método, se realizaría el modelo de sólido libre de la estructura a estudiar, situando el sentido de las fuerzas de cada elemento de forma arbitraria, debido a que en un principio no se sabe si trabajan a compresión o tracción; se escogen los nodos con no más de dos fuerzas desconocidas (no deben de ser colineales) y se determina el valor de estas aplicando las ecuaciones de equilibrio. Por último, si el resultado de las fuerzas tiene un valor negativo significa que trabajan a compresión, en el caso contrario trabajarían a tracción. El proceso se repite en cada uno de los nodos hasta hallar todas las incógnitas.²

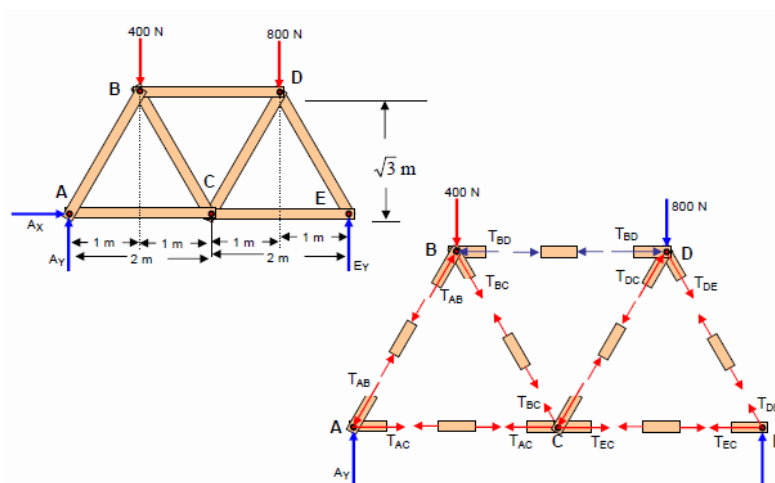


Figura 3. Diagrama sólido libre celosía tipo Warren. Fuente:

<https://marcocarrasco.weebly.com/blog-de-estaacutetica/capitulo-6-analisis-de-estructuras>

²Aslam Kassimali (2015). Capítulo 4.5

- Método de las secciones:

En ciertas situaciones es de interés calcular una sección de la totalidad de una estructura, en ese caso, el método de los nodos dejaría de ser eficiente porque es probable que haya que calcular otros nodos antes de llegar a la sección a estudiar. Entonces se pasaría a usar el método de las secciones.

“El método de las secciones involucra cortar la armadura en dos partes pasando una sección imaginaria a través de los elementos en los cuales se requiere determinar las fuerzas. Las fuerzas en los elementos requeridas son entonces determinadas considerando el equilibrio de una de las dos partes de la armadura”.

Cada parte de la armadura trabaja como un cuerpo rígido en equilibrio, con sus cargas aplicadas, reacciones y las fuerzas internas de los elementos cortados por la sección imaginaria. Para resolver las incógnitas se utilizan las tres ecuaciones de equilibrio $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$ y $\sum M_i = 0$, siendo i el punto que se tome como referencia a la hora de calcular el momento, en la sección con menos de tres incógnitas. Por tanto, no interesa cortar más de tres elementos con fuerzas desconocidas.²

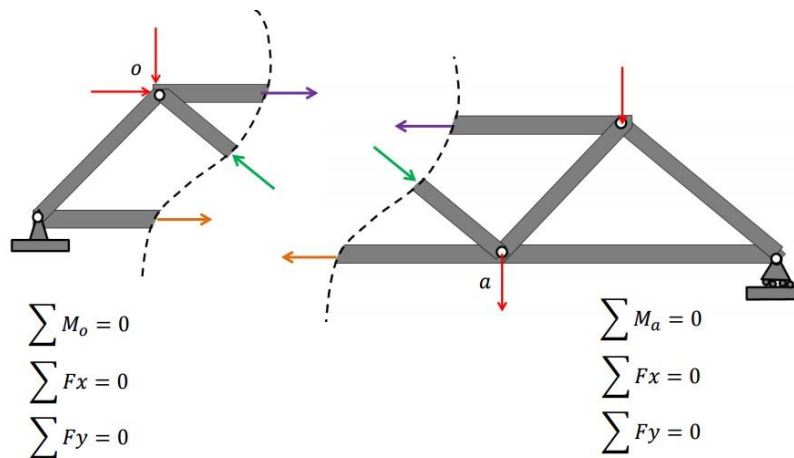


Figura 4. Descripción gráfica método de las secciones. Fuente:

<https://estaticageovanni.wordpress.com/2016/10/05/cerchas-metodo-de-secciones/>

²Aslam Kassimali (2015). Capítulo 4.5

2.1.2 Tipos de estructuras articuladas

Dependiendo del contexto será más conveniente utilizar un tipo u otro de estructura, las más comunes son:

- Pratt:

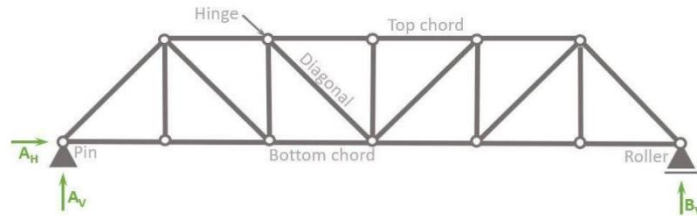


Figura 5. Estructura articulada tipo Pratt. Fuente: <https://www.structuralbasics.com/pratt-truss/>

- Howe:

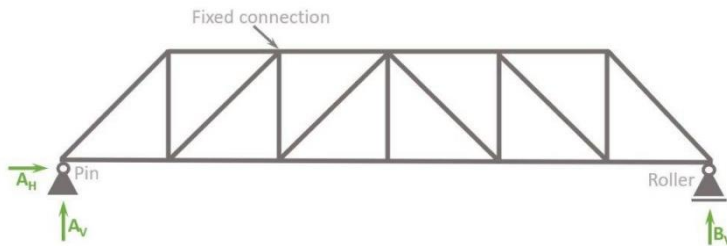


Figura 6. Estructura articulada tipo Howe. Fuente: <https://www.structuralbasics.com/howe-truss/>

- Warren:

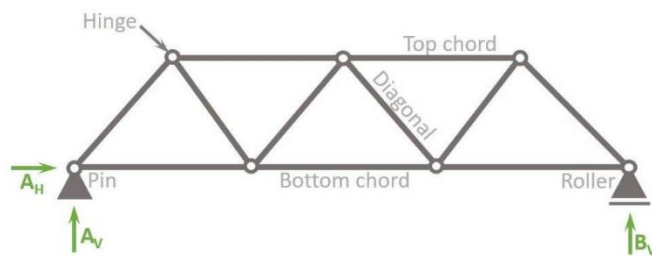


Figura 7. Estructura articulada tipo Warren. Fuente: <https://www.structuralbasics.com/warren-truss/>

2.2 Sistemas de transporte de mineral en seco

Dentro de las plantas de procesamiento es de sumo interés operar el material de la forma menos brusca posible, evitando en la medida de lo posible tramos horizontales y ascendentes, debiendo de utilizar la gravedad como un factor a favor y reducir la distancia entre diferentes unidades del proceso.³

Teniendo en cuenta estas premisas, se distinguen cinco tipos de métodos de transporte: canaletas, cintas transportadoras, elevadores de cangilones, bandas de tacos transversales y transportadores tipo “sándwich”.

- **Canaletas:** el mineral seco se puede transportar mediante canaletas siempre y cuando tengan una buena pendiente y el material lo permita. En superficies de acero el mineral puede deslizarse fácilmente en pendientes de unos 15-25°, aunque en la mayoría de las menas se usan pendientes de trabajo comprendidas entre 45-55°.



Ilustración 2. Canaletas de transporte mineral. Fuente: <http://www.gama-peru.org/libromedmin/capitulo/5/5-4-2-1-2.htm>

³Operaciones auxiliares en la preparación de minerales. (2021). En M. Menéndez y M. Gent, GITEMI01-3-006: Tecnología de la preparación de Menas (pp. 5-9). Universidad de Oviedo.

- **Cintas transportadoras:** es el sistema más utilizado de sólidos a granel, existiendo cintas que transportan capacidades de hasta 20000t/h con longitudes en un tramo simple de 5000m y velocidades de 10m/s.⁴



Ilustración 3. Imagen cinta transportadora. Fuente: <https://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/211530-Michelin-compra-Fenner-referente-global-cintas-transportadoras-productos-base-polimeros.html>

Los principales elementos que conforman las cintas transportadoras son: el bastidor, la banda, los rodillos y los tambores y tensores.

Bandas:

Por lo general las bandas de las cintas transportadoras son fabricadas de varias capas textiles recubiertas de caucho vulcanizado. Sin embargo, en ciertas ocasiones se busca una resistencia mayor de la banda debido a la carga de materiales más pesados o abrasivos. Para ello, se pueden reforzar con un núcleo formado por cables de acero flexibles y resistentes a la corrosión. Para minería de interior, debido a la normativa en atmósferas explosivas, la banda se fabrica de PVC siendo esta antideflagrante, autoapagante y antiestática.

Los anchos de la cinta transportadora normalizados según las normas DIN e ISO, se indican en la *Tabla 1*.

⁴Operaciones auxiliares en la preparación de minerales. (2021). En M. Menéndez y M. Gent, GITEMI01-3-006: Tecnología de la preparación de Menas (pp. 5-9). Universidad de Oviedo.

ANCHOS DE BANDA NORMALIZADOS					
300	400	500	650	800	1000
1200	1400	1600	1800	2000	2200

Tabla 1. Anchos de cinta transportadora normalizados.



Ilustración 4. Cinta transportadora en minería de interior. Fuente: <https://www.dismet.com/product/equipos-para-transporte-de-materiales-transportadores-de-banda-transportadores-de-banda-subterranos-apiladores-radiales-elevadores-de-cangilones-sistemas-pesadores-dos>

Rodillos:

Los rodillos son una parte importante de la cinta transportadora, y la calidad de la misma depende en gran medida de que estos se encuentren en buenas condiciones. Los rodillos se colocarán dependiendo del ancho de la banda y de la densidad del material que transporta. Están separados la máxima distancia que evite un pando excesivo de la cinta. A su vez, los rodillos están anclados a los bastidores y aquellos que contribuyen al envío de la cinta se denominan rodillos superiores o portantes. Por el otro lado, en su camino de retorno, la cinta se apoyará en los rodillos inferiores o de retorno.

⁵Santillán, J.C. (abril, 2008). Criterios para el diseño de una cinta transportadora. *Monografías*.

<https://www.monografias.com/trabajos58/disenocintas-transportadoras/disenocintas-transportadoras>

⁶Rotrans, S.A. *Estaciones de rodillos*. <https://rotranssa.com/soposte-estaciones-de-rodillos/inferiores>

Las funciones que los rodillos cumplen son tres: ⁵

- (1) Soporta la banda con el material a transportar en el ramal superior e inferior, además, los rodillos portantes de la zona de carga deben soportar el impacto del material.
- (2) Centrado de la banda, que principalmente se logra con estaciones de rodillos en forma de artesa.
- (3) Limpieza de la banda, aunque esta es limpiada por los rascadores, a veces el material es pegajoso y se emplean rodillos de goma (autolimpiadores).



Ilustración 5: Rascador en una cinta transportadora. Fuente:

<https://www.spinozziargentina.com/post/2017/05/26/3-sistemas-de-limpiezas-para-cintas-transportadoras>

Los rodillos superiores pueden adoptar diversas disposiciones espaciales: ⁶

- (1) Planas de un rodillo.
- (2) En “V” o bina de dos rodillos.
- (3) En forma de artesa de tres rodillos. Con esta disposición se consigue un aumento de la capacidad de la cinta

Se atornillan a los bastidores a una distancia que es función de la velocidad de la banda, el lugar y la carga de la cinta. Se fabrican con ángulos de 0° hasta 45°, incluso con ángulos variables.

⁵Santillán, J.C. (abril, 2008). Criterios para el diseño de una cinta transportadora. *Monografías*.

<https://www.monografias.com/trabajos58/disenocintas-transportadoras/disenocintas-transportadoras>

⁶Rotrans, S.A. *Estaciones de rodillos*. <https://rotranssa.com/soposte-estaciones-de-rodillos/inferiores>

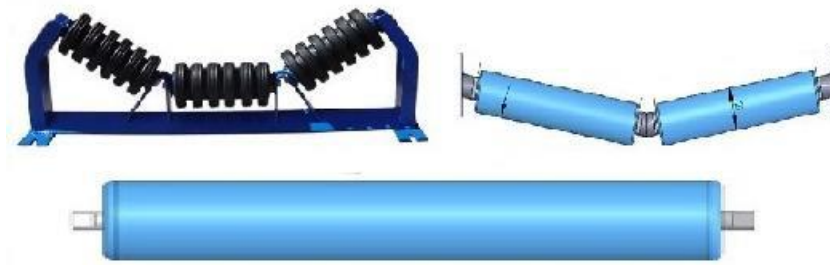


Figura 8. Disposición de estaciones de rodillos superiores. Fuente: Mario Salinero Gervaso, "Diseño de una banda transportadora mediante Guide de Matlab", 2013

Los rodillos inferiores se sitúan de dos formas:

- (1) Plana de un solo rodillo.
- (2) Dos rodillos en forma de "V".

Los ángulos van de 0° a 15° grados con respecto a la horizontal.

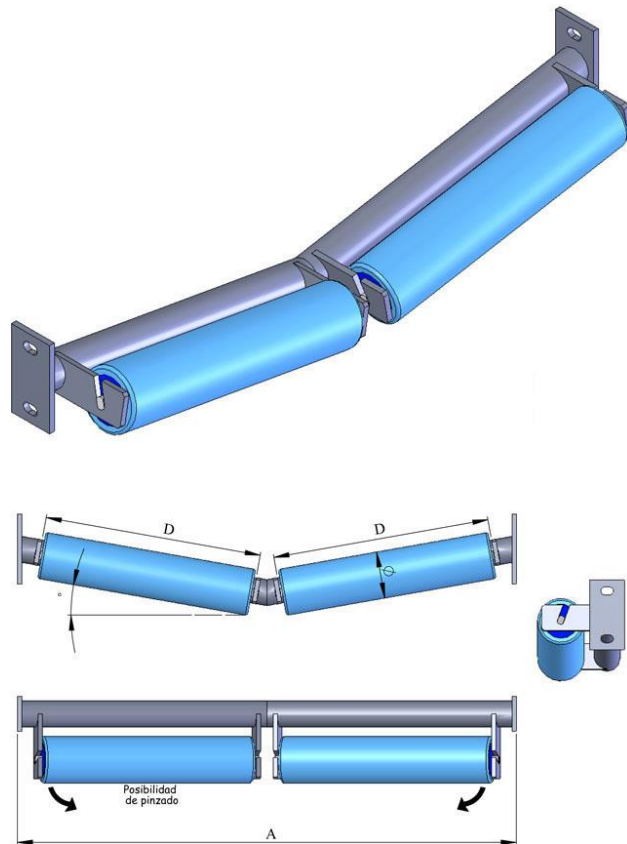


Figura 9. Disposición rodillos inferiores. Fuente: <https://rotranssa.com/soporte-estaciones-de-rodillos/inferiores>

También existe otro tipo de estaciones de rodillos que son los soportes autocentrantes, tanto en el ramal superior como en el inferior:

Se utilizan para corregir las desalineaciones de la banda. Consiste en un sistema de giro con máximo de 5° con respecto a la vertical y dos rodillos guía, perpendiculares a los rodillos laterales en el caso de que sea en forma de artesa, y perpendicular al rodillo plano en el caso que sea estación del ramal inferior.

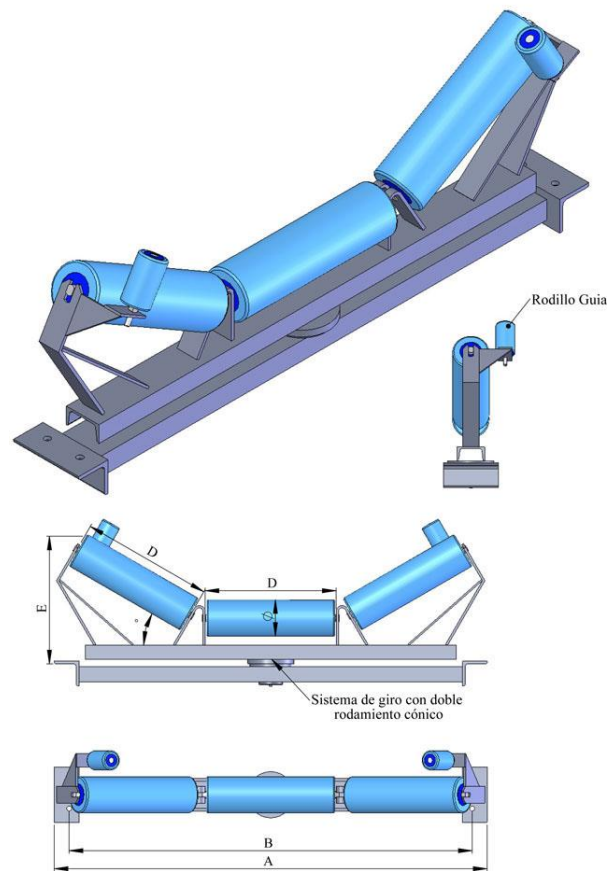


Figura 10. Estación de rodillos autocentrantes superior en artesa. Fuente: <https://rotranssa.com/soporte-estaciones-de-rodillos/autocentrantes>

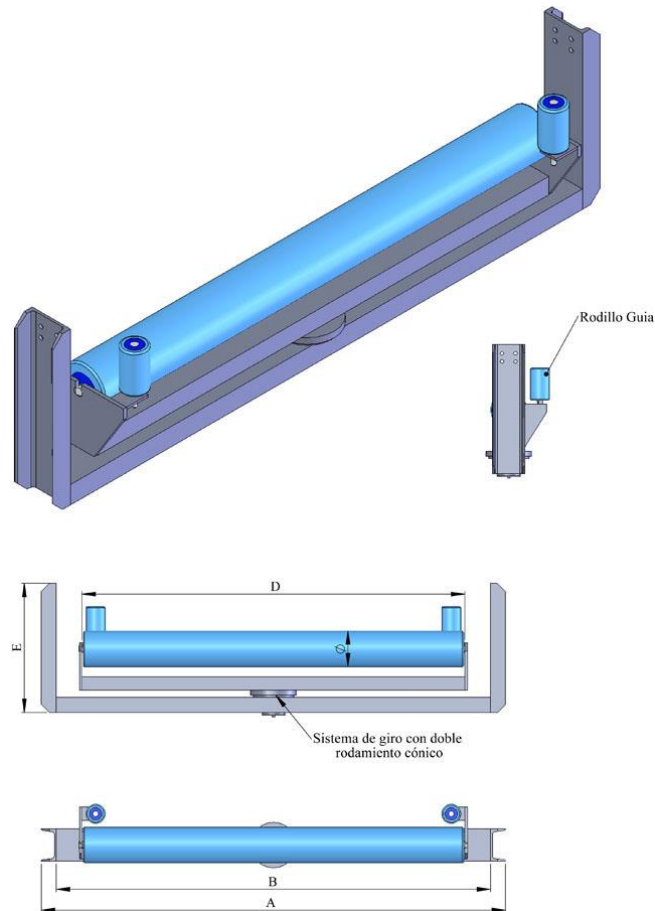


Figura 11. Estación de rodillos autocentrantes inferior plana. Fuente: <https://rotranssa.com/soporte-estaciones-de-rodillos/autocentrantes>

Bastidor:

Es la estructura más sencilla de una banda transportadora, su misión es la de soportar las cargas de todos los demás elementos que conforman la cinta transportadora desde el punto de alimentación al de descarga. Está compuesto del ramal superior e inferior y de la propia estructura metálica.⁷

Existen dos tipos de bastidores:

- (1) Formados por dos largueros metálicos.
- (2) Bastidor tubular.

⁷ Santillán, J.C. (abril, 2008). Criterios para el diseño de una cinta transportadora. *Monografías*.

<https://www.monografias.com/trabajos58/disenocintas-transportadoras/disenocintas-transportadoras>



Ilustración 6. Bastidores cinta transportadora. Fuente: <https://www.assembly.es/modelo-tbbc-transportador-de-banda-bastidor-celasia/>

Tambores:

Para conseguir el movimiento de la cinta y su retorno se emplean tambores o también llamados poleas. Estos a su vez, se encargan del tensado de la cinta para evitar un pandeo excesivo entre rodillos, y también deben de evitar un deslizamiento entre la polea de accionamiento y la banda, lo cual se logra con el posicionamiento correcto de varios tambores.



Ilustración 7. Tambor cinta transportadora. Fuente: <https://issuu.com/fueyoeditores0/docs/rocas582/s/11654962>

Existen tres tipos de tambores, dependiendo de la función que desempeñan: ⁸

- (1) Tambores motrices. Transmiten la fuerza tangencial a la banda. Este tambor está situado generalmente en la cabeza de la cinta, debido a que la relación de fuerzas es más favorable. La superficie del mismo suele ser engomada, esto es porque mejora el contacto con la banda evitando deslizamientos de la misma.

El tambor motriz es accionado mediante un motor eléctrico acoplado al eje del tambor, a través de una transmisión mediante poleas o incluso puede ser accionado mediante motor de combustión.

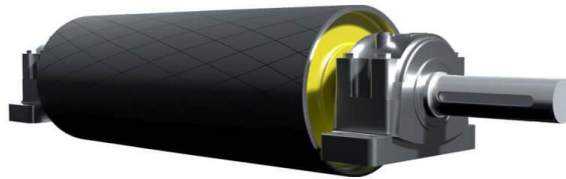


Figura 12. Tambor motriz. Fuente: <https://www.fores-fip.com/tambor-motriz-cinta-transportadora/>

- (2) Tambor de cola o reenvío. Realizan el cambio de trayectoria de la banda y se colocan al lado opuesto del tambor motriz. En este caso se trata de un tambor liso.

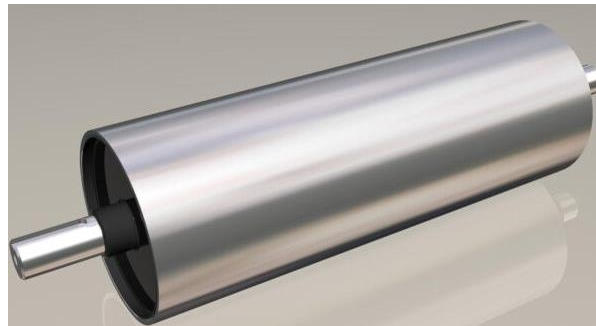


Figura 13. Tambor de cola o reenvío. Fuente: <https://www.rodilloscodimar.com/categoria-producto/rodillos/tambores/>

⁸Santillán, J.C. (abril, 2008). Criterios para el diseño de una cinta transportadora. *Monografías*.

<https://www.monografias.com/trabajos58/disen-cintas-transportadoras/disen-cintas-transportadoras>

- (3) Tambores de desvío e inflexión. Se encuentran en las cintas transportadoras que cuentan con sistema de tensado por gravedad y se sitúan en el ramal inferior. La finalidad de estos tambores es la de desviar la banda verticalmente hacia el sistema de contrapeso.

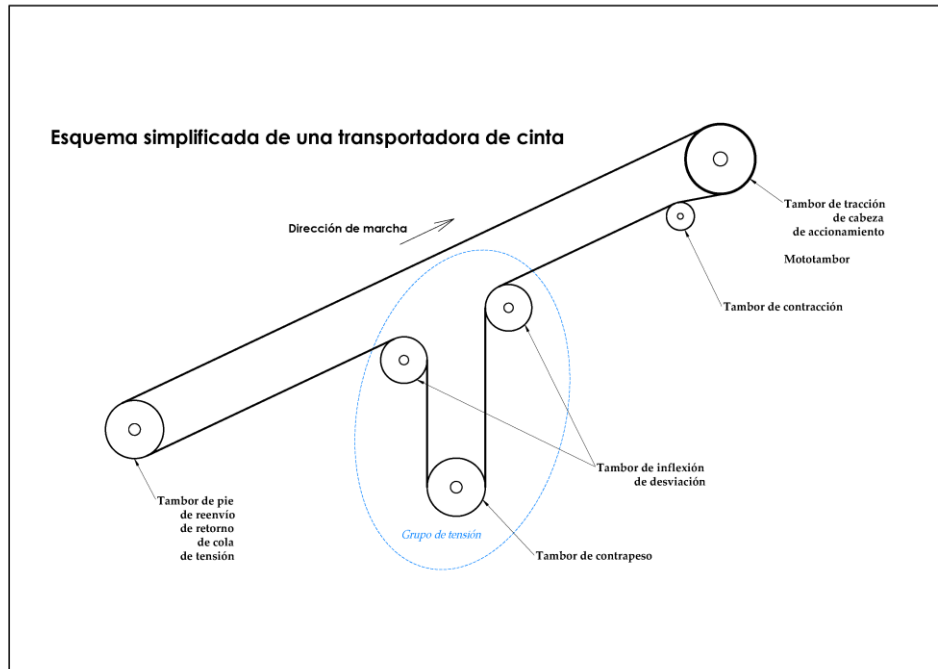


Figura 14. Esquema cinta transportadora. Fuente: <https://www.altmadrum.es/22-categories-es/129-apelaciones-de-los-tambores.html>

Para que una cinta funcione como es debido es necesario aplicar una cierta tensión mínima a la banda durante su funcionamiento.⁹

El tensado constante de la cinta se logra, normalmente, mediante dispositivos tensores como husillos, cabrestantes, resortes neumáticos e hidráulicos, e incluso por gravedad.

Cuando la cinta no es muy larga, el tensado de la misma se consigue mediante husillos tensores situados en los tambores motriz y de reenvío, el movimiento es de alargamiento o acortamiento en la misma dirección de la cinta

⁹Rodríguez, H. Tutorial nº84: Cálculo y diseño de cintas transportadoras. *Ingemecanica.com*. <https://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn84.html>

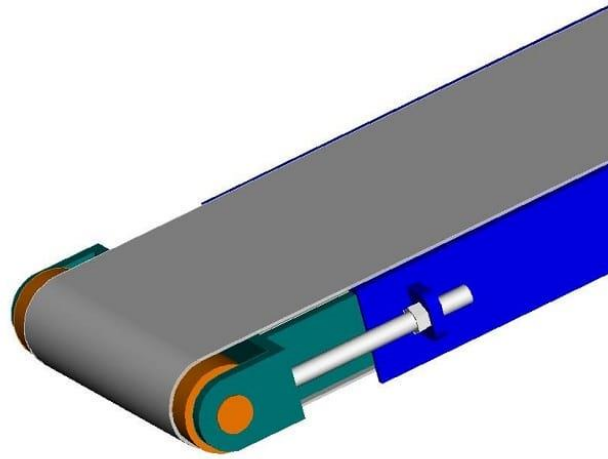


Figura 15. Sistema de tensado por medio de husillo. Fuente: <https://www.dormerconveyors.com/europe/es/resource/metodos-de-tensionado-de-bandas-para-transportadores-de-paquetes-pequenos>

En el caso de cintas grandes y de gran peso, el sistema de tensado suele ser por gravedad, mediante el empleo de contrapesos. Este sistema de tensado constante permite a la cinta funcionar sin la presencia de deslizamientos entre tambor y banda, también evita el pando de la banda a la hora de realizar las puestas en marcha.



Ilustración 8. Sistema de tensado por medio de contrapeso. Fuente: <https://esm.skemachinery.com/f729222/faq-detail.htm>

- **Elevadores de cangilones:** este tipo de maquinaria se utiliza para el transporte de materiales a granel de forma vertical, el material se recoge en la base del transportador y es basculado en la parte superior por medio de la gravedad o centrífugo. ¹⁰

Por lo general estos transportadores adquieren velocidades comprendidas entre los 0.5 y los 4 m/s. La capacidad que pueden llegar a transportar llega hasta los 600 m³/hora y para ello puede emplear unos cangilones de hasta 1.5 m de ancho. Estos elevadores alcanzan alturas de incluso más de 100 m. ¹¹

Se diferencian dos tipos de elevadores de cangilones:

De cadenas.

Los cangilones en este tipo de elevadores están sujetos a unas cadenas, dichas cadenas están hechas de acero y son muy resistentes a la fatiga. El elevador funciona gracias a unas ruedas de tracción segmentadas tanto en la parte superior como en la inferior del elevador. ¹²

¹³Operaciones auxiliares en la preparación de minerales. (2021). En M. Menéndez y M. Gent, GITEMI01-3-006: Tecnología de la preparación de Menas (pp. 5-9). Universidad de Oviedo.

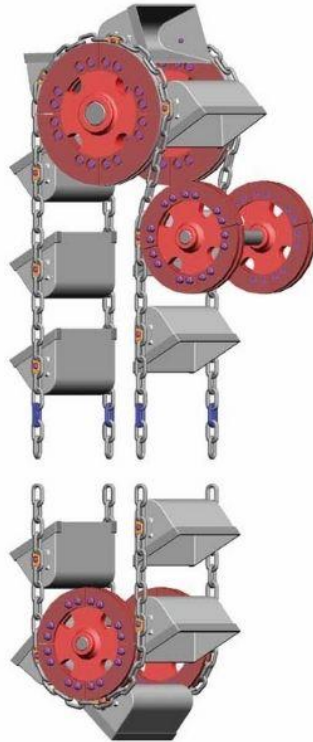


Figura 16. Modelo elevador de cangilones de cadenas. Fuente:
<http://www.aseqsa.com/productos/cadenas-para-elevadores-de-cangilones/#>

De banda.

Estos elevadores se utilizan para superar alturas incluso superiores a las que se pueden alcanzar con los elevadores de cadenas. En este caso los cangilones van fijados a una banda mediante tornillos. Las bandas están fabricadas de varios tipos de material incluyendo poliéster. Los cangilones pueden ser de acero o de materiales poliméricos.¹³

¹³Operaciones auxiliares en la preparación de minerales. (2021). En M. Menéndez y M. Gent, GITEMI01-3-006: Tecnología de la preparación de Menas (pp. 5-9). Universidad de Oviedo.



Ilustración 9. Elevadora de cangilones de banda. Fuente: <https://www.forjasbolivar.com/elevadores-de-cangilones/>

- **Bandas de tacos transversales:**

Se utilizan para el transporte de materiales a granel en todo tipo de planos. Se pueden diferenciar tres componentes básicos en esta cinta: ¹⁴



Ilustración 10. Cinta transportadora de tacos transversales. Fuente: <https://www.assembly.es/por-que-elevadores-de-banda-modelo-ebft-de-assembly/>

¹⁵Operaciones auxiliares en la preparación de minerales. (2021). En M. Menéndez y M. Gent, GITEMI01-3-006: Tecnología de la preparación de Menas (pp. 5-9). Universidad de Oviedo.

- (1) Las bandas: que se fabrican de caucho resistente a la abrasión con retardantes de llama.
- (2) Perfiles longitudinales corrugados de goma vulcanizada reforzada.
- (3) Tacos transversales para evitar que el material se deslice hacia atrás.

- **Transportadores tipo “Sándwich”**: estos transportadores fueron concebidos para superar pendientes con inclinaciones muy pronunciadas o para trayectos en los que el ángulo de transporte variase fuertemente.¹⁵

El sistema se conforma de dos cintas transportadoras que atrapan el material y lo dejan inmóvil, esto se consigue mediante la presión que ejercen los rodillos sobre la cinta y esta, a su vez, sobre el material.



Ilustración 11. Transportador tipo "Sándwich". Fuente: <https://www.asa-automation.com/es/dise%C3%B1o-compacto-transportador-tipo-s%C3%A1ndwich.html>

¹⁵Operaciones auxiliares en la preparación de minerales. (2021). En M. Menéndez y M. Gent, GITEMI01-3-006: Tecnología de la preparación de Menas (pp. 5-9). Universidad de Oviedo.

Capítulo 3

3. ANALISIS ESTRUCTURAL DE LA CELOSÍA

El objetivo de este trabajo de fin de grado es el de analizar una celosía que soporta las cargas de una cinta transportadora, incluyendo el material que esta transporta. Para ello se tomará como modelo una cinta transportadora del conjunto del Lavadero del Batán de la empresa Hunosa, S.A. Concretamente la cinta que sobrepasa la autovía de La Plata, con una longitud de unos 321.42 m. Al ser una infraestructura en funcionamiento la obtención de datos sobre la estructura no fue posible, por tanto, se planteará una situación adquiriendo los datos de diversas fuentes.



Ilustración 12. Estructura a analizar. Fuente: <https://elblogdeacebedo.blogspot.com/2016/06/la-historia-del-lavadero-batan-de-mieres.html>

3.1 Características y medidas del conjunto

Celosía

Se trata de una celosía tipo Pratt. En una celosía tipo Pratt, las diagonales están sometidas a tracción bajo cargas gravitatorias. Se utilizan cuando predominan las cargas gravitatorias. Las diagonales están sometidas a tracción bajo cargas de levantamiento. Se utilizan cuando predominan las cargas de levantamiento, como edificios abiertos.¹⁶

La estructura en su totalidad está compuesta por Acero S275, sus propiedades mecánicas están mostradas en la *Tabla 2*.

Espesor nominal, mm	Límite elástico mínimo, MPa	Límite de resistencia, MPa
<3	275	430-580
≥3 ≤16	275	410-560
> 16 ≤ 40	265	410-560
> 40 ≤ 63	255	410-560
> 63 ≤ 80	245	410-560
> 80 ≤ 100	235	410-560
> 100 ≤ 150	225	400-540
> 150 ≤ 200	215	380-540
> 200 ≤ 250	205	380-540
> 250 ≤ 400	195	380-540

Tabla 2. Propiedades mecánicas Acero S275. Fuente: <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/s275jr>

Las medidas de la estructura son obtenidas con la herramienta de medición del Google Earth. El vano 1 el situado más hacia el Oeste. Estas son indicadas en la *Tabla 3*.

Nº Vanos = 10	Medidas Estructura Metálica (m)										Luz total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Luz de cada vano	12,89	54,42	58,07	58,07	57,71	25,27	16,15	1,64	1,64	35,56	321,42
Número de nudos	5	17	17	17	17	9	8	2	2	12	97
Distancia horizontal entre nudos de los cordones	3,22	3,40	3,63	3,63	3,61	3,16	2,31	1,64	1,64	3,23	
Canto	2,75										
Ancho	4,5										

Tabla 3. Geometría de la celosía. Fuente: Elaboración propia.

¹⁶ArcelorMittal. (2023). *Edificios de acero de una sola planta*. [Archivo PDF].

https://constructalia.arcelormittal.com/files/SSB05_Diseno_detallado_de_celosias--8d0ba9a397ff7a0d17cb59764589f30d.pdf

Cinta transportadora

El modelo de la cinta y sus características son extraídos del trabajo de fin de grado “*Diseño de un transportador de banda de 90 metros de longitud y 1500 m³/h de capacidad de transporte de piedra caliza*” cuyo autor es Arroyo, J.A en el año 2021, perteneciente a la Universidad de Cantabria.

Se trata de una cinta que transporta caliza triturada. El diseño de la cinta depende plenamente del material que transporta, siendo características como el peso y la abrasividad determinantes. En la *Tabla 4* se muestran las características de algunos de los materiales empleados en industria.

En verde se señala el material que va a transportar la cinta. El peso específico seleccionado para la caliza es de 1.4 T/m³ por ser el valor medio.

Material	Tamaño (mm)	Peso específico (T/m ³)	Ángulos		Abrasividad	Corrosividad
			Reposo (°)	Inclinación máxima (°)		
Antracita	3	1	-	18	N.A.	-
Arcila fina	3	1 - 1,6	-	15	C	A
Arena seca	3	1,5 - 1,8	35	16 - 18	A	A
Asfalto triturado	15	0,75	30 - 45	-	-	-
Bauxita triturada	75	1,2 - 1,4	30 - 45	20	C	-
Basalto	75 - 150	1,4 - 1,7	27 - 35	18	A	B
Caliza triturada	25 - 50	1,36 - 1,44	38	18	B	A
Caliza tamizada	3 - 15	1,3 - 1,5	38	18	B	A
Cal	3	0,6	40	21	A	A
Carbón vegetal	10 - 75	0,3 - 0,5	-	18	-	-
Cenizas de carbón	10 - 75	0,7 - 0,8	45	20	B	A
Cobre mineral	75	1,9 - 2,2	30 - 45	20	B	A
Coque	3 - 15	0,5 - 1	30 - 45	18	C	B
Cuarzo	15	1,3 - 1,45	20 - 29	18	C	A
Grava	10 - 150	1,4 - 1,6	32	16	B	A
Harina	0 - 2,5	0,6 - 0,9	0 - 10	10	-	A
Hierro	50 - 75	2,1 - 2,3	20 - 29	-	-	A
Hula bituminosa	15	0,7 - 0,8	38	22	N.A.	A
Tierra	2,5 - 10	1,2 - 1,3	35	17	A	A
Yeso	75 - 150	1,3 - 1,4	45	18	B	-

*Tabla 4. Características de materiales industriales.*¹⁷

¹⁷Arroyo, J. A. (2021). *Diseño de un transportador de banda de 90 metros de longitud y 1500 m³/h de capacidad de transporte de piedra caliza*. Universidad de Cantabria. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Avilés. (2023)

Los pesos de la cinta y del material quedarían de la siguiente forma: ¹⁸

- Material: 236 kg/m más un 10% debido al ensuciamiento y más un 200% en la zona de carga (UNE 58214).
- Banda: 40,34 kg/m (peso de la banda 1000 EP 1000/3 3+1,5 Y).
- Rodillos superiores: 2,6858 kg/m.
- Rodillos inferiores: 2,585 kg/m.
- Estaciones superiores: 19,3 kg (catálogo del fabricante ROTRANS).
- Estaciones inferiores: 3,5 kg (catálogo del fabricante ROTRANS).
- Peso de los tambores de cabeza y cola: 510 kg.
- Peso de los tambores de inflexión: 320 kg.
- Peso del contrapeso: 7879,97 kg.

3.2 Análisis de la estructura en Robot Structural Analysis

Para estudiar la estructura se va a dividir en secciones que coincidirán con la longitud de cada vano, excepto los vanos 7 y 8, 9 y 10 de la *Tabla 3* que se unificarán en un único vano.

Se generarán 4 casos de carga como se puede observar en la *Tabla 5*.

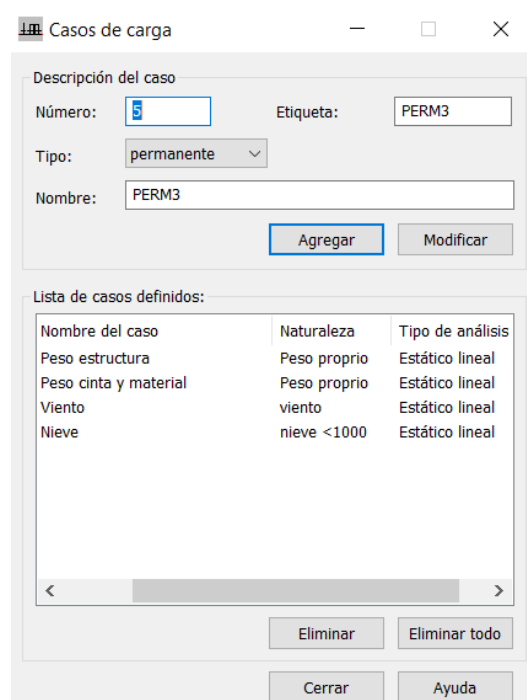


Tabla 5. Casos de carga. Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 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.¹⁸

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

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

- Siendo q_b la presión dinámica del viento. Se tomará un valor de $0,5 \text{ kN/m}^2$ de forma simplificada, pudiendo aplicarse a cualquier punto del territorio español.
- c_e corresponde con el coeficiente de exposición. Variable con la altura del punto considerado y función del grado de rugosidad del terreno del entorno. Los coeficientes se obtienen según la *Tabla 6*.

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 6. Valores del coeficiente de exposición. Fuente: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>

- El coeficiente c_p corresponde con el coeficiente eólico y depende de la forma y orientación de la estructura frente al viento. El valor negativo indica succión.

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≥ 5,00
Coefficiente eólico de presión, c_p	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coefficiente eólico de succión, c_s	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Tabla 7. Valores coeficiente eólico en edificios. Fuente: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>

¹⁸DB SE-AE. (abril 2009). “Acciones variables, viento”. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>

En este caso, la estructura a analizar se encuentra dentro del grupo de naves y construcciones diáfnas del DB SE-AE, concretamente se trata de una estructura con cubierta plana, por tanto, el valor del coeficiente eólico se muestra en la *Tabla 8*.

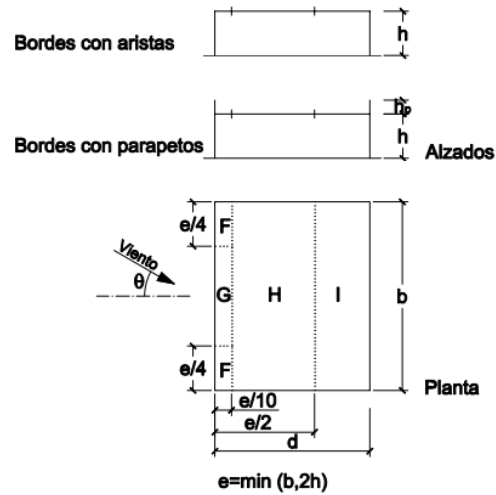


Figura 17. Modelo de cubierta plana. Fuente:

<https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>

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

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

Tabla 8. Coeficientes eólicos en cubiertas planas. Fuente: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>

Siendo la A el área de influencia del viento, entre 1 m² y 10 m² el coeficiente de presión exterior se obtiene con la siguiente ecuación: $C_{pe,A} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \cdot \log_{10} A$

Siendo: ¹⁹

$c_{pe,10}$ coeficiente de presión exterior para elementos con un área de influencia $A \geq 10 \text{ m}^2$

$c_{pe,1}$ coeficiente de presión exterior para elementos con un área de influencia $A \leq 1 \text{ m}^2$

Según la página web “*Meteoblue*” podemos hallar el número total de horas que el viento sopla en cada dirección y su velocidad media dependiendo del territorio. En el caso de Mieres, Asturias que es donde se sitúa la estructura, el caso más desfavorable para esta es un viento de dirección Sur- Norte, ya que incide de manera perpendicular con la estructura y resulta ser el viento con más horas acumuladas a lo largo del año.

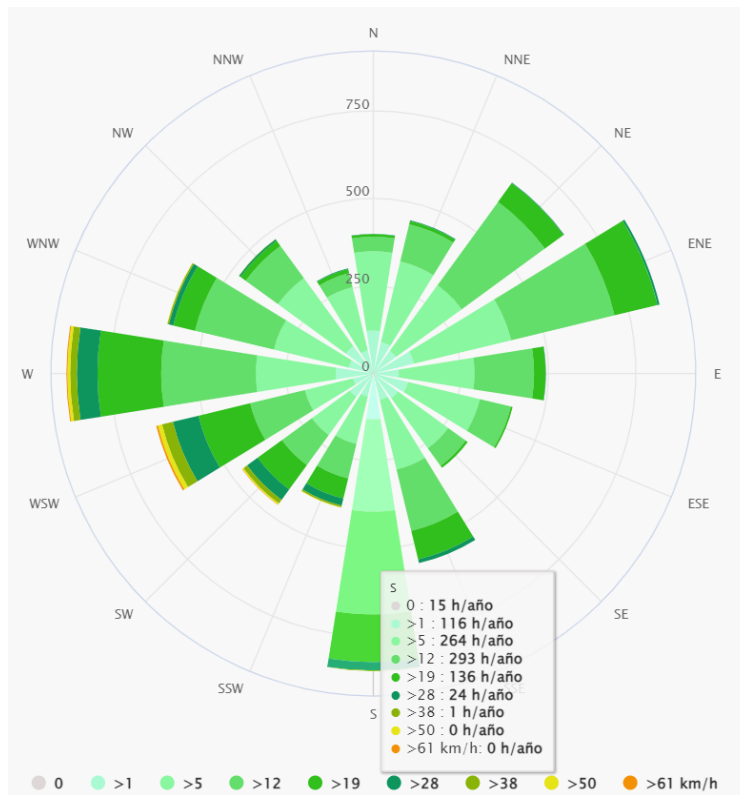


Figura 18. Dirección y velocidad de vientos en Mieres. Fuente:

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/mieres_espa%C3%B1a_3116789

La velocidad básica del viento en España se clasifica en tres sectores A, B y C, la velocidad viene dada en m/s. Viene dada por el Eurocódigo 1. En el caso de Mieres, Asturias son unos 29 m/s. Se muestra en la *Figura 19*.

¹⁹DB SE-AE. (abril 2009). “*Acciones variables, viento*”. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>

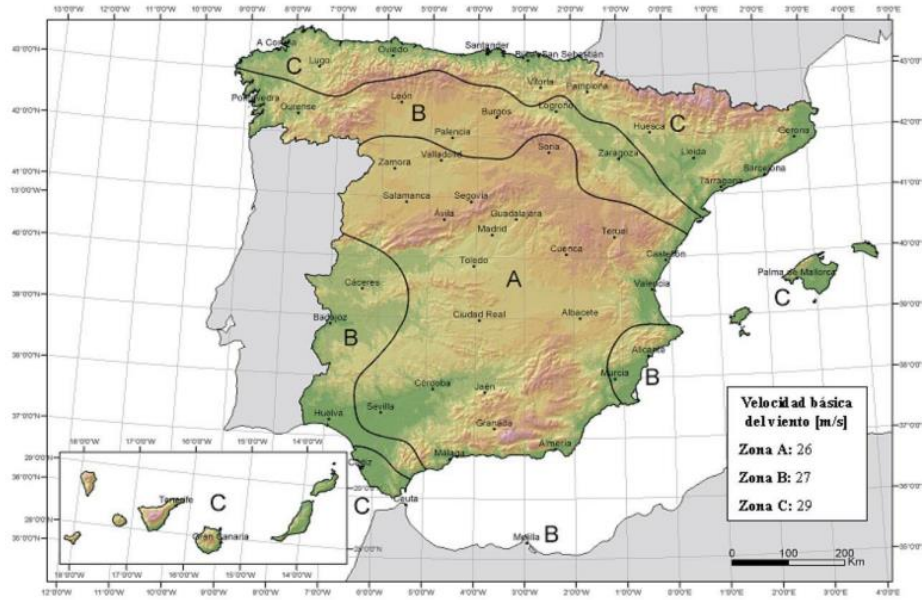


Figura 19. Mapa de isotacas de la velocidad básica del viento. Fuente: https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/carreteras/normativa/AN_UNE-EN_1991-1-4.pdf

3.2.2 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 del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores.¹⁹

Sin embargo, en este proyecto solo modelarán las cargas por acumulación de nieve en una cubierta.

En edificios de altitudes menores de 1000 m bastaría con considerar una carga de nieve de $1,0 \text{ kN/m}^2$. En el caso de estructuras ligeras, sensibles a cargas verticales se calcularía de la forma: $q_n = \mu \cdot s_k$

Siendo:

μ coeficiente de forma de la cubierta. Que al ser horizontal tiene un valor de 1.

s_k el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según la *Tabla 9*.

¹⁹DB SE-AE. (abril 2009). “Acciones variables, viento”. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>

Carga de nieve $q_n = \mu \cdot s_k$; $q_n = 1 * 0,5 = 0,5 \text{ kN/m}^2 = 0,5 \text{ kPa}$

Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas-	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	tían/Donostia	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Santander	1.000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Segovia	10	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Sevilla	1.090	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Soria	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tarragona	0	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Tenerife	950	0,9
Castellón	640	0,2	Murcia	40	0,2	Teruel	550	0,5
Ciudad Real	100	0,2	Orense / Ourense	130	0,2	Toledo	0	0,5
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,4	Valencia/València	690	0,2
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,5	Valladolid	520	0,4
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Vitoria / Gasteiz	650	0,7
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zamora	210	0,4
Granada	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,2	Zaragoza	0	0,5
						Ceuta y Melilla	0	0,2

Tabla 9. Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas. Fuente:

<https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>

Se considerará un peso específico para la nieve acumulada de la forma prensada y empapada de $2,0 \text{ kN/m}^3$.

3.2.3 Perfiles de los elementos estructurales

Para este proyecto se han escogido una serie de perfiles para los elementos acorde al catálogo europeo de perfiles. Son perfiles tubulares cuadrados: TCAR a x ea.

Siendo:

a la longitud del lado en mm.

ea el grosor del tubo en mm.

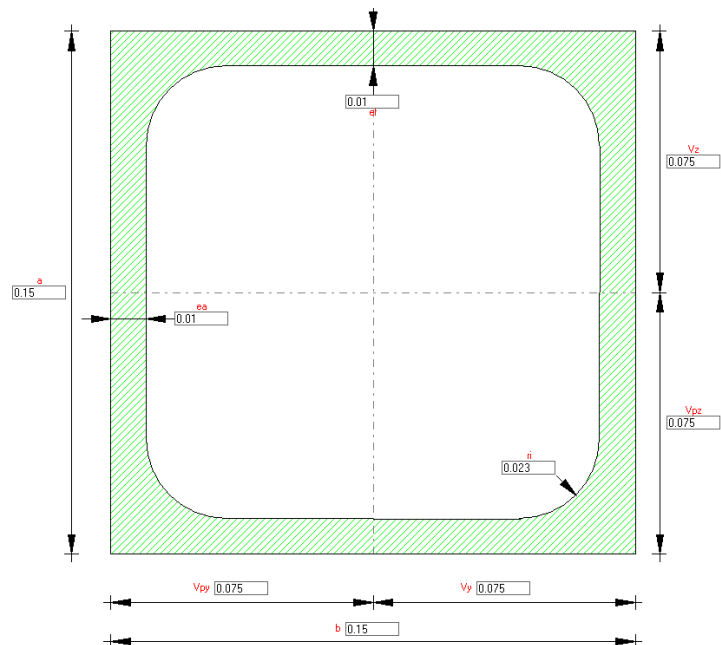


Figura 20. Modelo del perfil utilizado en los elementos.

Fuente: catálogo europeo de perfiles.

Las dimensiones a utilizar son las siguientes:

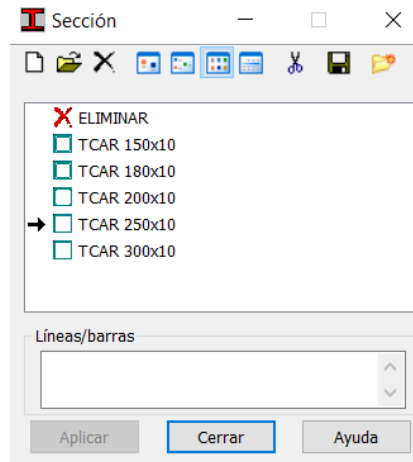


Tabla 10. Dimensión de los perfiles a utilizar.

3.2.4 Análisis estructural

Para poder realizar una simplificación de la estructura y estudiar su pasarela, no se han modelado los pilares que sostienen parte de la estructura y en su lugar se han empotrado los cables y se han puesto dos apoyos fijos en la estructura en el lugar donde apoya con el pilar.

Figura 21.

Los cables en el Vano 1 tienen una sección de 2 cm^2 y en los demás vanos se colocan 8 cables, de los cuales cuatro tendrán una sección de 4 cm^2 y los restantes de 2 cm^2 .

Para todos los casos, las cargas de viento se obtienen por simulación del programa, y para todos los vanos es la misma configuración.

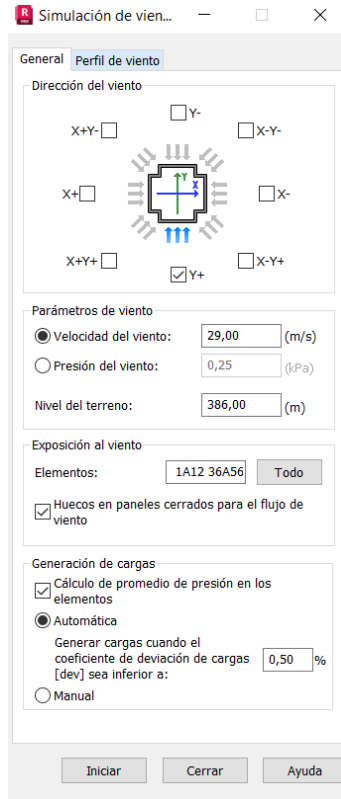


Tabla 11. Datos simulación de viento.

Fuente: elaboración propia.

Lo mismo aplica para las cargas de nieve. Aunque en este caso dependerá de la superficie donde se deposite la nieve, siendo mayor en los vanos con más luz. La carga, se distribuye de manera superficial por la parte superior de la estructura, con una carga $q_n = 0,5 \text{ kN/m}^2$.

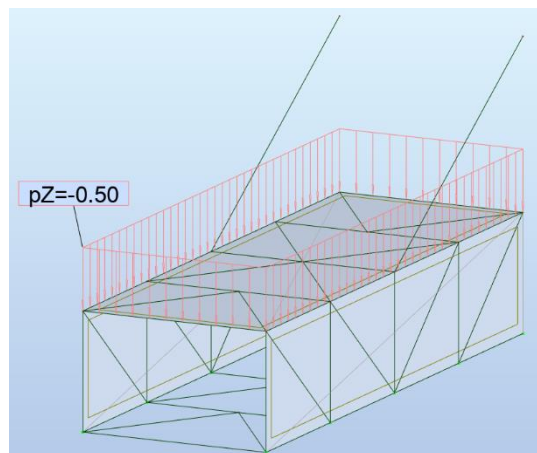


Figura 21. Distribución de cargas de nieve, caso general. Fuente: elaboración propia

- Vano 1.

Desde la caseta hasta el primer pilar. *Ilustración 13.*



Ilustración 13. Vano número 1. Fuente: elaboración propia.

El modelo de la estructura del vano 1 se puede ver en la *Figura 21.*

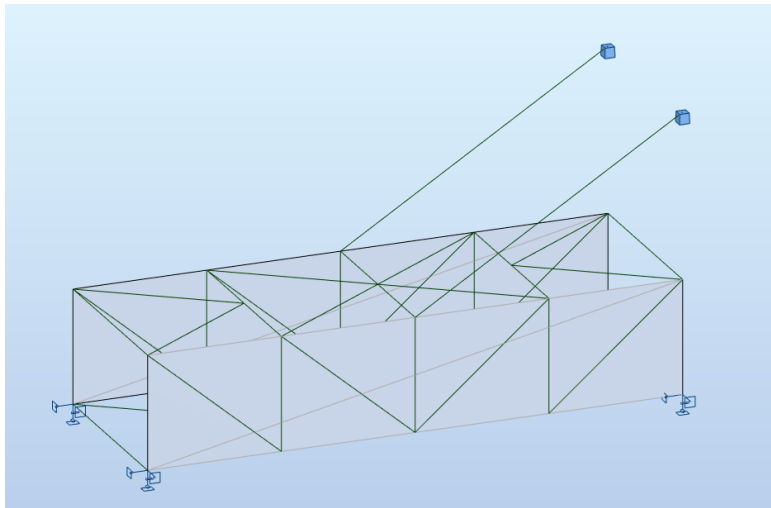


Figura 22. Modelo Vano 1. Fuente: elaboración propia

Consta de cuatro apoyos fijos y dos cordones evitando el pandeo de la estructura sostenidos a los pilares por empotramiento. Los nudos de la misma son articulados.

Las cargas de cinta y material serían las representadas en la *Tabla 12.*

Carga cinta y material Vano 1					
Cordón (m)	12,89	Nudos	5	Gravedad	9,8
Elemento	kg	N	N/Cordón	kN/Nudo	
Material	3042,04	32793,19	16396,60	3,28	
Banda	519,98	5095,83	2547,91	0,51	
Rodillos Superiores	34,62	339,28	169,64	0,034	
Rodillos Inferiores	33,32	326,54	163,27	0,033	
Estación Superior	19,3	189,14	94,57	0,019	
Estación Inferior	3,5	34,30	17,15	0,0034	
Tambor de cola	515	5047,00	2523,50	0,50	
Tambores de inflexión	320	3136,00	1568,00	0,31	

Tabla 12. Cargas cinta y material Vano 1. Fuente: elaboración propia.

La distribución de cargas de la cinta y material se realiza de forma nodal en los cordones inferiores. La *Figura 23* muestra como queda.

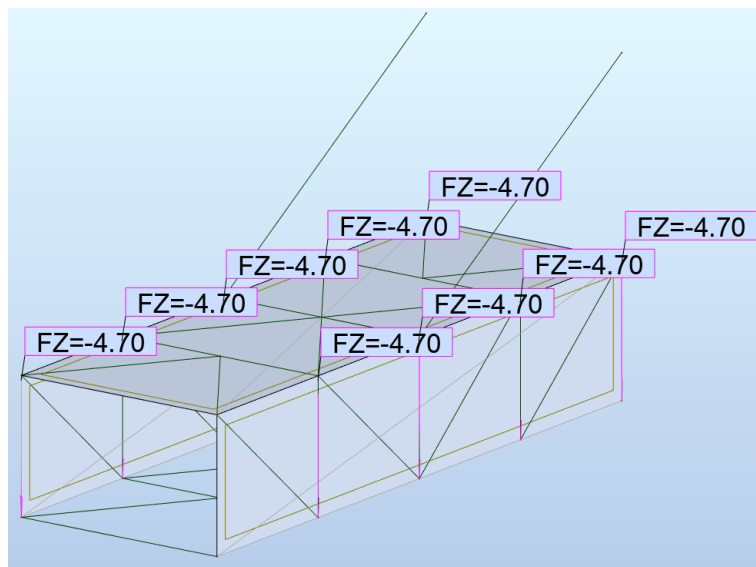


Figura 23. Distribución de cargas de cinta y material. Fuente: elaboración propia.

A la hora de realizar el cálculo se le asignan los 5 perfiles a utilizar y por defecto, Robot Structural Analysis elige el más adecuado. También se realiza la combinación de carga según los ELU.

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

Tabla 13. Coeficientes de mayoración de ELU. Fuente: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE.pdf>

Quedaría de la siguiente forma:

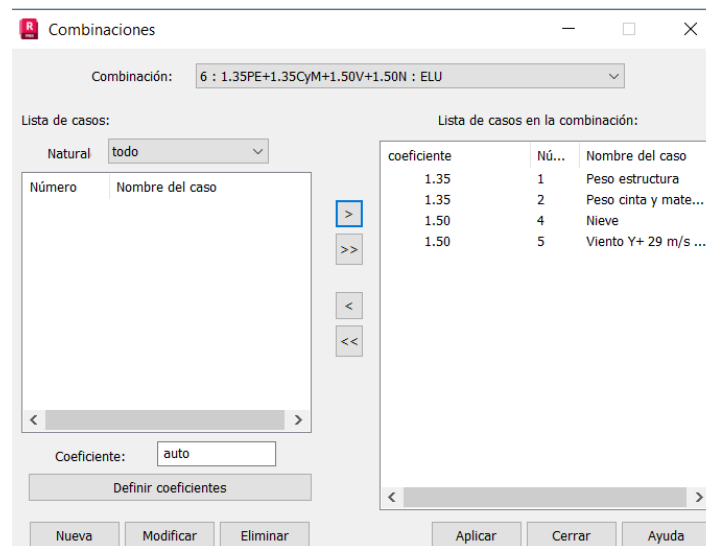


Tabla 14. Combinaciones de carga en Robot. Fuente: elaboración propia

Una vez relizado cálculo, el dimensionamiento de barras de la estructura por grupos quedaría de la siguiente manera, para ELU.

UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Dimensionamiento de grupos de barras (ELU) 2A5

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
Grupo : 2 Montantes						
13	<input checked="" type="checkbox"/> TCAR 150x10	S 275	48.92	48.92	0.02	5 1.35PE+1.35CyM+ 1.5V+1.5N
	<input checked="" type="checkbox"/> TCAR 180x10		40.15	40.15	0.01	
Grupo : 3 Diagonales						
100	<input checked="" type="checkbox"/> TCAR 150x10	S 275	75.36	75.36	0.10	5 1.35PE+1.35CyM+ 1.5V+1.5N
	<input checked="" type="checkbox"/> TCAR 180x10		61.85	61.85	0.07	
Grupo : 4 Barras transversales						
14 Barra_14	<input checked="" type="checkbox"/> TCAR 150x10	S 275	80.05	80.05	0.14	5 1.35PE+1.35CyM+ 1.5V+1.5N
	<input checked="" type="checkbox"/> TCAR 180x10		65.70	65.70	0.09	
Grupo : 5 Ks						
109 Barra_109	<input checked="" type="checkbox"/> TCAR 150x10	S 275	69.92	69.92	0.11	5 1.35PE+1.35CyM+ 1.5V+1.5N
	<input checked="" type="checkbox"/> TCAR 180x10		57.38	57.38	0.07	

Tabla 15. Dimensionado de barras por grupos, ELU. Fuente: elaboración propia.

El perfil a utilizar será el TCAR 150x10.

- Vanos 2, 3, 4 y 5.

En este caso el análisis se realizará para una estructura con la luz media de todos los vanos ya que la geometría de dichos vanos es muy aproximada.

Entre pilares. *Ilustración 13.*



Ilustración 14. Vano número 2.

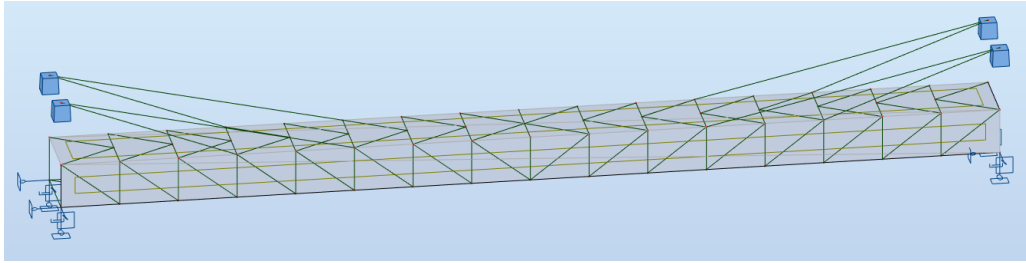


Figura 24. Modelo vanos 2, 3, 4 y 5.

Ahora existen 4 tirantes, el par de tirantes más cercano al centro de la estructura tiene una sección de 4 cm², mientras que los otros tienen 2 cm².

Carga cinta y material Vanos 2, 3, 4 y 5					
Cordón (m)	57,07	Nudos	17	Gravedad	9,8
Elemento	kg	N	N/Cordón	kN/Nudo	
Material	13467,93	145184,29	72592,14	4,27	
Banda	2302,10295	24816,67	12408,33	0,73	
Rodillos Superiores	153,511575	1654,85	827,43	0,049	
Rodillos Inferiores	147,804825	1593,34	796,67	0,047	
Estación Superior	19,3	208,05	104,03	0,0061	
Estación Inferior	3,5	37,73	18,87	0,0011	
			Total	5,10	

Tabla 16. Cargas cinta y material de los vanos 2, 3, 4 y 5.

Los perfiles a utilizar para este caso son los marcados en verde y ponen un “ok”.

UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Dimensionamiento de grupos de barras (ELU) 1A5

Resultados Mensajes
















Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
Grupo : 1 Cordones						
156	 TCAR 120x6.	S 275	77.07	77.07	1.09	5 ELU
	 TCAR 120x7.		77.36	77.36	0.98	
	 TCAR 120x8.		77.21	77.21	0.88	
Grupo : 2 Diagonales						
115	 TCAR 120x7.	S 275	97.68	97.68	1.05	5 ELU
	 TCAR 120x8.		97.49	97.49	0.95	
	 TCAR 135x3.		84.31	84.31	2.14	
Grupo : 3 Montantes						
132	 TCAR 120x6.	S 275	59.42	59.42	1.10	5 ELU
	 TCAR 120x7.		59.64	59.64	0.95	
	 TCAR 120x8.		59.53	59.53	0.86	
Grupo : 4 Barras transversales						
38	 TCAR 80x4.	S 275	145.34	145.34	1.14	5 ELU
	 TCAR 80x5.		147.39	147.39	0.93	
	 TCAR 80x6.3.		150.23	150.23	0.77	
Grupo : 5 Ks						
45	 TCAR 90x5.	S 275	121.82	121.82	1.14	5 ELU
	 TCAR 90x6.3.		123.81	123.81	0.93	
	 TCAR 90x7.1.		124.59	124.59	0.84	

Tabla 17. Dimensionado de barras por grupos, ELU.

- Vano 6.

Desde el pilar hasta la sombra proyectada del soporte.

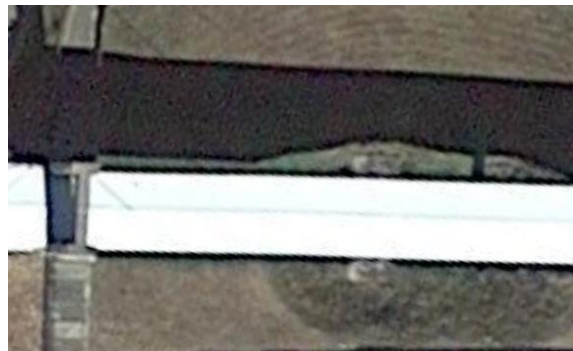


Ilustración 15. Vano número 6.

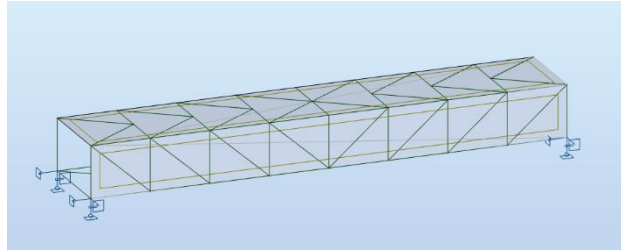


Ilustración 16. Modelo estructura vano 6.

Carga cinta y material Vano 6					
Cordón (m)	25,27	Nudos	9	Gravedad	9,8
Elemento	kg	N	N/Cordón	kN/Nudo	
Material	5963,72	64288,90	32144,45	3,57	
Banda	1019,3918	10989,04	5494,52	0,61	
Rodillos Superiores	67,9763	732,78	366,39	0,041	
Rodillos Inferiores	65,4493	705,54	352,77	0,039	
Estación Superior	19,3	208,05	104,03	0,012	
Estación Inferior	3,5	37,73	18,87	0,0021	
			Total	4,28	

Tabla 18. Cargas cinta y material vano 6.

Los perfiles a utilizar serían los siguientes:

UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Dimensionamiento de grupos de barras (ELU) 2A5

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
Grupo : 2 Barras transversales						
38	TCAR 60x4	S 275	197.45	197.45	1.18	5 ELU
	TCAR 60x5		201.26	201.26	0.92	
	TCAR 70x3.2		165.31	165.31	0.97	
Grupo : 3 Diagonales						
44	TCAR 80x4	S 275	135.27	135.27	1.10	5 ELU
	TCAR 80x5		137.18	137.18	0.90	
	TCAR 80x6.3		139.81	139.81	0.74	
Grupo : 4 Ks						
3	TCAR 80x4	S 275	125.26	125.26	1.04	5 ELU
	TCAR 80x5		127.03	127.03	0.86	
	TCAR 80x6.3		129.47	129.47	0.70	
Grupo : 5 Montantes						
14	TCAR 55x3.2	S 275	129.99	129.99	1.25	5 ELU
	TCAR 55x5		134.71	134.71	0.85	
	TCAR 60x2.5		119.72	119.72	1.30	

Tabla 19. Dimensionado de barras por grupos, ELU, vano 6.

- Vano 7-8

Se unifican los vanos 7 y 8 y se colocan en ámbos extremos apoyos fijos, en este caso va a existir una carga extra aplicada en el apoyo más hacia el este debido al contrapeso.



Ilustración 17. Vano número 7-8.

El modelo de la estructura es el siguiente

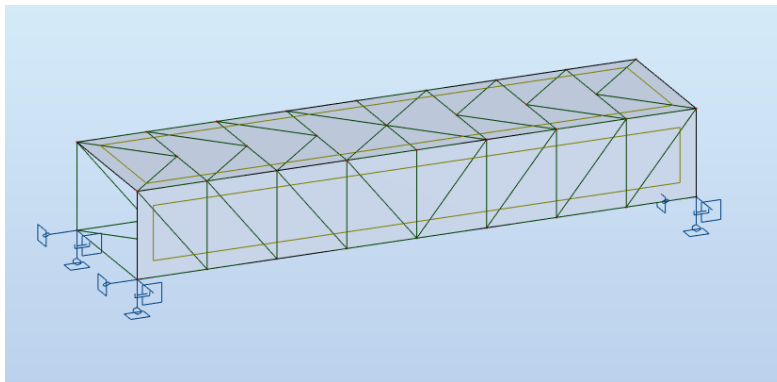


Figura 25. Modelo del vano 7-8.

Carga cinta y material Vano 7-8					
Cordón (m)	17,79	Nudos	8	Gravedad	9,8
Elemento	kg	N	N/Cordón	kN/Nudo	
Material	4198,44	45259,18	22629,59	2,83	
Banda	717,6486	7736,25	3868,13	0,48	
Rodillos Superiores	47,8551	515,88	257,94	0,032	
Rodillos Inferiores	46,0761	496,70	248,35	0,031	
Estación Superior	19,3	208,05	104,03	0,013	
Estación Inferior	3,5	37,73	18,87	0,0024	
Contrapeso	7879,97	84946,08		42,47	
			Total	3,391	

Tabla 20. Cargas cinta y material vano 7-8.

UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Dimensionamiento de grupos de barras (ELU) 1A5

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
Grupo : 1 Barras transversales						
34	TCAR 22x2.3	S 275	580.24	580.24	0.00	6 ELU
	TCAR 25x2.5		494.80	494.80	0.00	
Grupo : 2 Ks						
85	TCAR 22x2.3	S 275	407.90	407.90	0.00	6 ELU
	TCAR 25x2.5		347.84	347.84	0.00	
Grupo : 3 Cordones						
1	TCAR 22x2.3	S 275	286.73	286.73	0.00	6 ELU
	TCAR 25x2.5		244.52	244.52	0.00	
Grupo : 4 Diagonales						
17	TCAR 22x2.3	S 275	456.01	456.01	0.00	6 ELU
	TCAR 25x2.5		388.87	388.87	0.00	
Grupo : 5 Montantes						
25	TCAR 22x2.3	S 275	354.59	354.59	0.00	6 ELU
	TCAR 25x2.5		302.38	302.38	0.00	

Figura 26. Dimensionamiento de barras por grupos, ELU, vano 7-8.

○ Vano 9-10

En este caso se unifican los vanos 9 y 10, aplicando también la carga del contrapeso en el apoyo más hacia el Oeste. Es la zona de carga, por tanto, las cargas del material se mayoran un 200%.



Ilustración 18. Vanos número 9-10.

Modelo de la estructura vano 9-10

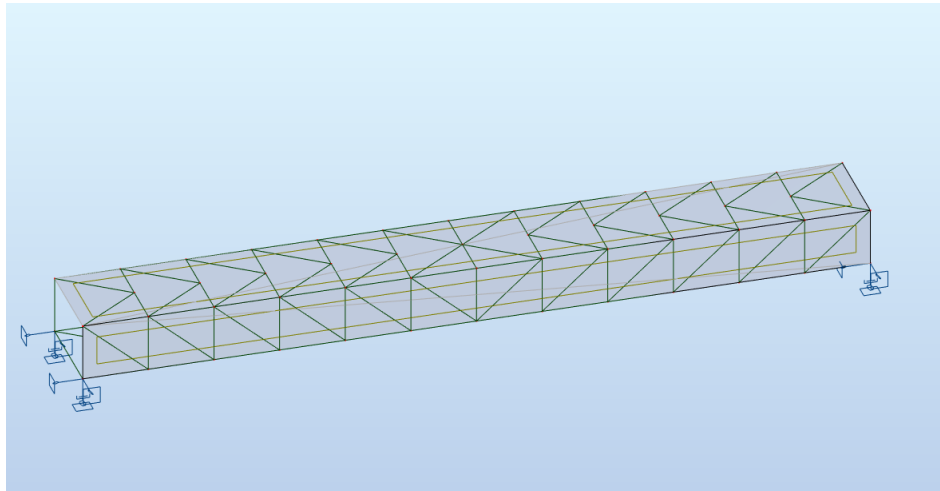


Figura 27. Modelo vano número 9-10.

Carga cinta y material Vano 9-10					
Cordón (m)	37,20	Nudos	12	Gravedad	9,8
Elemento	kg	N	N/Cordón	kN/Nudo	
Material	8779,2	189279,55	94639,78	7,89	
Banda	1500,648	16176,99	8088,49	0,67	
Rodillos Superiores	100,068	1078,73	539,37	0,045	
Rodillos Inferiores	96,348	1038,63	519,32	0,043	
Estación Superior	19,3	208,05	104,03	0,0087	
Estación Inferior	3,5	37,73	18,87	0,0016	
Contrapeso	7879,97	84946,08		42,47	
Tambor de cola	515	5551,70	2775,85	0,2313	
			Total	8,89	

Tabla 21. Cargas cinta y material en el vano 9.10.

Finalmente, las barras dimensionadas serán las siguientes.

UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Dimensionamiento de grupos de barras (ELU) 1A5

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
Grupo : 1 Barras transversales						
99	TCAR 22x2.3	S 275	580.24	580.24	0.00	6 ELU
	TCAR 25x2.5		494.80	494.80	0.00	
Grupo : 2 Ks						
126	TCAR 22x2.3	S 275	493.91	493.91	0.00	6 ELU
	TCAR 25x2.5		421.18	421.18	0.00	
Grupo : 3 Cordones						
1	TCAR 22x2.3	S 275	399.72	399.72	0.00	6 ELU
	TCAR 25x2.5		340.86	340.86	0.00	
Grupo : 4 Diagonales						
25	TCAR 22x2.3	S 275	534.33	534.33	0.00	6 ELU
	TCAR 25x2.5		455.66	455.66	0.00	
Grupo : 5 Montantes						
37	TCAR 22x2.3	S 275	354.59	354.59	0.00	6 ELU
	TCAR 25x2.5		302.38	302.38	0.00	

Tabla 22. Dimensionado de barras por grupos, ELU, vano 9-10.

Capítulo 4

4. CONCLUSIÓN

La realización de este trabajo me hizo darme cuenta de los avances tecnológicos en cuanto a diseño y modelización de estructuras, cálculos que podrían llevar semanas son calculados gracias a programas de modelización de estructuras en tan solo minutos.