

CARGAS CONCENTRADAS EN CONTENEDORES ESTÁNDAR DE 20'

Soporte con vigas longitudinales de madera para el reparto de carga

Artículo dedicado al personal responsable de la estiba y sujeción de cargas en la empresa Explotacions Forestals de l'Alt Urgell, S.A. (EFAUSA) <http://www.efausa.es/>

Los contenedores estándar de 20', conocidos comercialmente como 20' *Dry Van* (DV) o *Dry Container* (DC) y desde el punto de vista de la normativa ISO como 20' *General Purpose* (GP)¹, están diseñados y contruidos para soportar la carga distribuida uniformemente en toda su anchura y longitud². En la figura 1 puede observarse una distribución ideal de carga, donde el suelo recibe en cada punto el mismo esfuerzo.

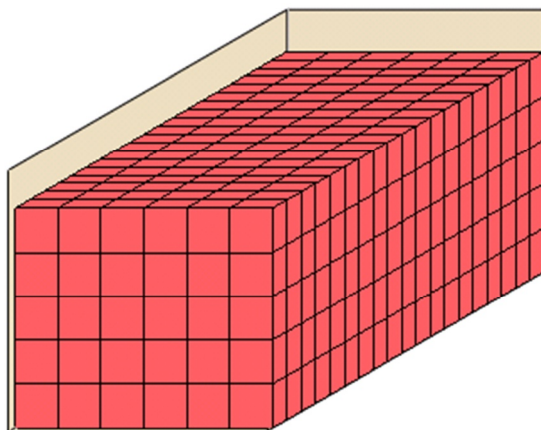


Figura 1. Distribución uniforme de la carga.

Estos contenedores tipo 20' DV, que son los más comunes en el tráfico internacional, son los que presentan un flete marítimo más económico. Por este motivo, las empresas exportadoras intentan cargar sus mercancías en este tipo de contenedores, muchas veces sin tener en cuenta las limitaciones de resistencia estructural y la complejidad técnica que ello conlleva.

La primera consideración que debe ser tenida en cuenta, es que la capacidad de carga útil del contenedor (*payload*), se establece para el transporte de la carga apoyada en toda la longitud del contenedor. Es decir, que un contenedor tenga una carga útil de 28.310 kilos no significa que esa masa puede ser estibada en cualquier longitud o superficie de apoyo, sino que esa carga útil debe ser apoyada de forma uniforme en todo el suelo del contenedor.

En base al *payload* de los contenedores de la figura 2, puede obtenerse la tabla 1 de carga máxima lineal admitida para los contenedores de dicha figura.

Tipo	Longitud mínima ISO ³ (m)	<i>Payload</i> (t)	Carga lineal (t/m)
20' DV	5,867	28,31	4,82
20' DV	5,867	30,16	5,14

Tabla 1. Carga máxima lineal admitida.

¹ Código ISO 22G1 (20'x8'x8,5' para carga seca con puerta en un extremo).

² Los argumentos técnicos de este artículo son igualmente aplicables a los contenedores 20' *Open Top* (OT) código ISO 22U1 (20'x8'x8,5' para carga seca con techo abierto y puerta en un extremo).

³ Longitud mínima interior que, según la norma ISO 668, puede tener un contenedor de 20'.

De la tabla 1, se deduce que las mercancías cuya carga lineal exceda las 4,8 o 5,1 toneladas por metro lineal, deben recibir un tratamiento especial.

MSKU	776 699	2
	22G1	
MAX. GROSS	30.480 KG	
	67.200 LB	
TARE	2.170 KG	
	4.780 LB	
PAYLOAD	28.310 KG	
	62.420 LB	
CUBE	33.2 M³	
	1.170 FT³	

HLXU	100608	9
	22G1	
MAX. GROSS	32 500 kg	
	71 650 lbs	
TARE	2 340 kg	
	5 160 lbs	
MAX. PAYLOAD	30 160 kg	
	66 490 lbs	
CUBE	33.2 m³	
	1 172 cuft	

Figura 2. Contenedores estándar de 20'.

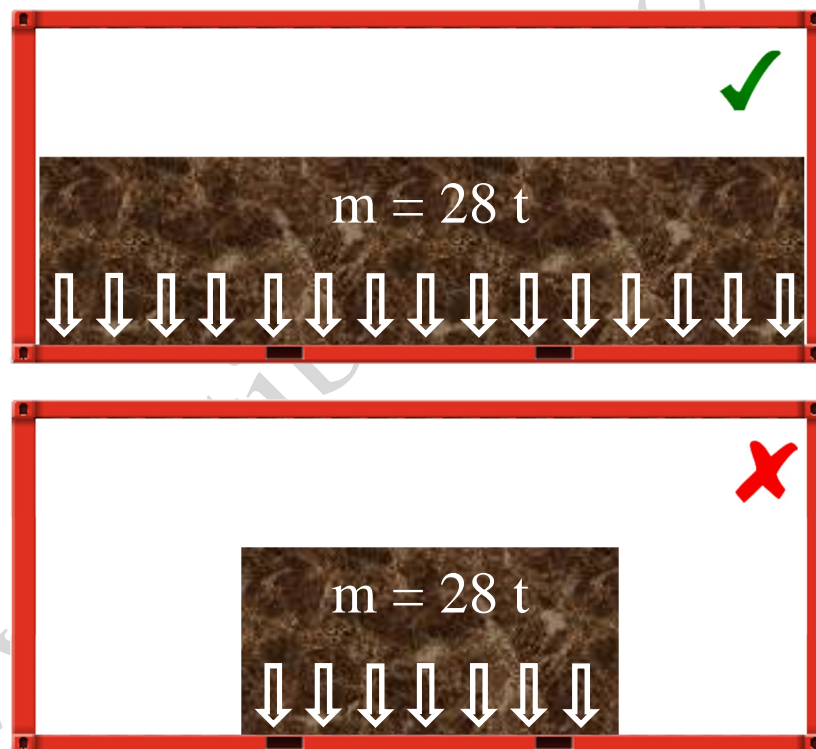


Figura 3. Carga correcta e incorrectamente distribuida.

En la figura 3 se esquematiza lo indicado en el párrafo anterior. No se deben estibar 28 toneladas en una longitud de 2 metros, por ejemplo, ya que se estaría sobrecargando el contenedor y se correría el riesgo de sobrepasar su límite de resistencia estructural.

Para esclarecer un poco más la cuestión, en la figura 4 se muestra una fase de la construcción de un suelo en una factoría de CIMC (principal constructor mundial de contenedores). Este suelo está formado por dos largueros (*side rails*) a los que se van soldando travesaños (*cross members*) que finalmente llevarán atornillados en la parte superior los paneles de contrachapado de madera.

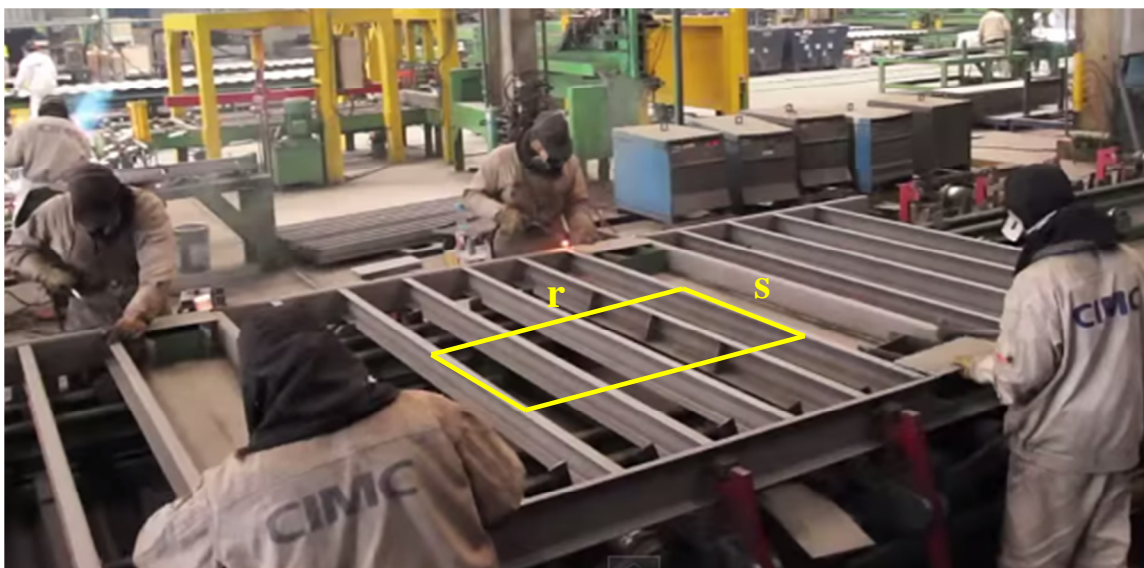


Figura 4. Suelo de un contenedor 20' DV.

Considérese una carga con una huella de apoyo de longitud “r” y anchura “s” (ver figura 4):

- Cuanto menor sea “r”, menor será el número de travesaños sobre los que apoya la carga y, consecuentemente, menor podrá ser la masa (m) de dicha carga para no llegar al límite de resistencia estructural del contenedor. Solamente con una longitud $r = 5,86$ m (redondeando, la total interior del contenedor), podría llegarse al máximo *payload*.
- Cuanto menor sea “s”, para una misma “r” y “m”, mayor será el momento flector que se genera en los travesaños. Si “s” y “r” son muy bajas y “m” muy alta, es posible llegar a deformar los travesaños por un esfuerzo de flexión que supere su límite de resistencia. En ese caso, para evitarlo, deberíamos aumentar “s”, “r” o ambos.

Los puntos a) y b) nos llevan a la conclusión inicial de que la masa debe distribuirse a todo lo largo y ancho del contenedor para poder cargar el máximo *payload*.

Llegado a este punto, la pregunta que se plantea es ¿Qué hacer si ha de ser cargada una mercancía de alta densidad como el acero ($7,8 \text{ t/m}^3$), bronce (9 t/m^3), granito ($2,8 \text{ t/m}^3$), etc.?

El Código CTU 2014, la referencia internacional más importante en cuanto a estiba y sujeción de carga en contenedores, indica que no deben concentrarse cargas en el suelo de los contenedores, pero no facilita herramientas técnicas que ayuden a resolver el problema cuando esta necesidad se plantea.

Durante la elaboración del CTU 2014, en el borrador *DSC-18-8-Draft-CTU-Code* se incluyeron cálculos para el diseño de vigas de madera como soporte de cargas concentradas⁴. Más tarde, el

⁴ Grupo de expertos del CTU durante la redacción (borradores no aprobados)

<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2013/wp24/DSC-18-8-Draft-CTU-Code.pdf>

<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2013/wp24/Informal-document-EG-GPC-No8-2013-DE-SK-SE.pdf>

grupo de expertos de Alemania, Eslovaquia y Suecia incluyó enmiendas a dicho borrador en el documento *Informal-document-EG-GPC-No8-2013-DE-SK-SE*. Pero finalmente no fueron incluidos en la versión definitiva y aprobada ni los cálculos iniciales ni las enmiendas de los grupos de expertos. De este modo, en el CTU 2014 la única referencia que se hace al respecto es que “el cargador deberá solicitar información al fabricante o a la naviera que suministra el contenedor cuando se encuentre ante cargas concentradas”.

Algunas navieras facilitan en sus páginas web información sobre el tipo de vigas (número, longitud y sección) que deben utilizarse en el caso de cargas concentradas, pero otras no facilitan ningún tipo de información, dejando recaer la responsabilidad sobre el cargador. Las siguientes directrices pueden servir a modo de ejemplo:

APL

[https://www.apl.com/wps/wcm/connect/9bed1a8c-f551-4ba4-a82a-87c12b168baf/Concentrated+Metal+Requirements+\(R\).pdf?MOD=AJPERES](https://www.apl.com/wps/wcm/connect/9bed1a8c-f551-4ba4-a82a-87c12b168baf/Concentrated+Metal+Requirements+(R).pdf?MOD=AJPERES)

OOCL

<http://www.oocl.com/germany/eng/localinformation/operationalrestrictions/Documents/Rail%20Loading%20Guide%20Canada.pdf>

HAPAG LLOYD

https://www.hapag-lloyd.com/content/dam/website/downloads/pdf/How_to_secure_steel_coils.pdf

MSC

<http://180.168.67.23/back/upload/MSC%20GUIDELINES%20-%20COILSAFESHIPPING%20-%20V201602%20-%20English.pdf>

Analizando los borradores del CTU, las enmiendas propuestas y las diferentes directrices de las navieras, se observa que existe una gran heterogeneidad en cuanto a la propuesta del número, longitud y sección de las vigas longitudinales a utilizar para la distribución de cargas concentradas en contenedores. Esto complica mucho llegar a una propuesta armonizada válida para todas las líneas y en todos los contextos.

Aún así, el objetivo de este artículo es plantear un método sencillo que permita calcular el número de pares (n), longitud (t) y sección (b×h) de las vigas longitudinales a emplear en el caso de cargas concentradas. Para ello, se han tenido en cuenta todas las directrices citadas y se ha escogido la parte más conservadora de cada una de ellas, llegando a un método que pretende no quedarse corto, en ningún caso, en el dimensionamiento de las vigas.

Parámetros para el dimensionamiento de las vigas longitudinales

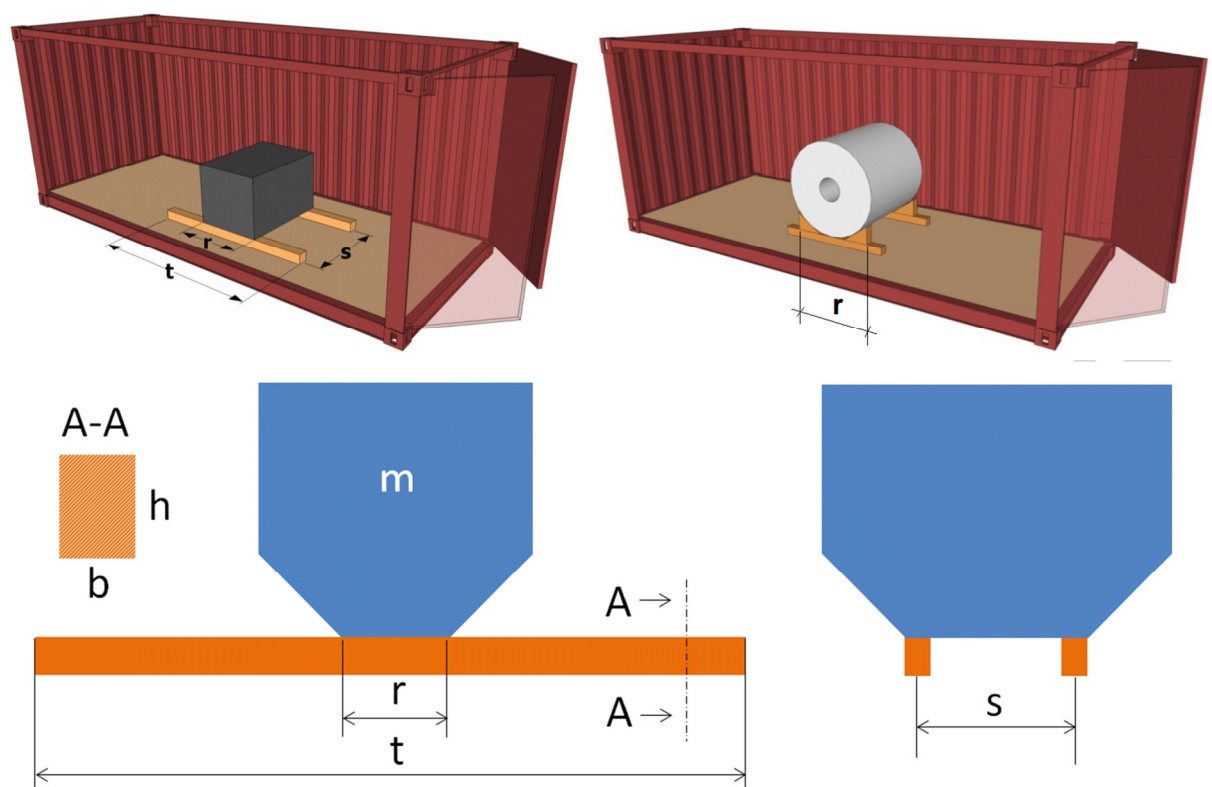


Figura 5. Parámetros para el dimensionamiento de vigas.

- r Longitud en metros de la huella de apoyo de la carga. Téngase en cuenta que puede ser inferior a la longitud de la carga (ver figura 5 superior derecha e inferior izquierda).
- s Anchura máxima en metros de apoyo entre los ejes de las vigas longitudinales. Téngase en cuenta que puede ser inferior a la anchura de la carga (ver figura 5 inferior derecha).
- t Longitud en metros de las vigas empleadas para el reparto de la carga concentrada.
- b×h Sección en centímetros x centímetros de las vigas empleadas (ver figura 5 inferior izquierda).
- n Número de pares de vigas utilizadas.

¿Cómo determinar la longitud mínima necesaria de las vigas empleadas?

En primer lugar, debe determinarse la longitud para cumplir con el requisito de resistencia longitudinal según la fórmula,

$$t_{\text{longitudinal}} = m \cdot \frac{L}{P}$$

Donde “m” es la masa de la carga en toneladas, “L” la longitud interior del contenedor en metros y “P” el *payload* del contenedor en toneladas.

En segundo lugar, debe determinarse la longitud de las vigas para cumplir con el requisito de resistencia transversal del contenedor según la fórmula,

$$t_{\text{transversal}} = 0,2 \cdot m \cdot (2,3 - s)$$

Donde “m” es la masa de la carga en toneladas y “s” la definida en la figura 5 en metros.

La longitud escogida de las vigas será el máximo entre $t_{\text{transversal}}$ y $t_{\text{longitudinal}}$.

$$t = \text{máximo} (t_{\text{transversal}} ; t_{\text{longitudinal}})$$

¿Cómo determinar el número de pares de vigas y su sección?

El módulo resistente en cm^3 de cada una de las vigas que componen el par se calculará según la fórmula,

$$W = 60 \cdot m \cdot (t - r)$$

Donde “m” es la masa de la carga en toneladas y “t” y “r” en metros han sido definidas en la figura 5.

Si se utilizan “n” pares de vigas, el módulo resistente necesario para cada una de ellas sería W/n .

El módulo resistente de cada viga se calcula según la fórmula,

$$W = \frac{b \cdot h^3}{6}$$

Donde “b” es la base de la sección en cm y “h” la altura de la sección en cm.

Si se utilizan vigas impares, por ejemplo 3 vigas, se introducirá como dato “n = 1,5 pares” (ya que $1,5 \cdot 2 = 3$). Otra opción, si se utilizan 3 vigas de la misma altura “h”, es considerar en el cálculo un par de vigas de base “ $b+b/2=3 \cdot b/2$ ”.

En la figura 6, donde se muestran 3 vigas de 21×21 cm, se puede introducir en la fórmula $n=1,5$ con $b=21$ y $h=21$ o bien $n=1$ con $b=31,5$ y $h=21$.

Ejemplo de cálculo

Considérese la figura 6 solamente a efectos de cálculo de vigas de soporte, el trincaje en esa imagen está incompleto porque se ha desmantelado el bloqueo longitudinal para mostrar las vigas del suelo.

$$\begin{aligned} m &= 12,50 \text{ t} \\ s &= 0,70 \text{ m} \\ r &= 1,00 \text{ m} \\ L &= 5,86 \text{ m} \\ P &= 28,10 \text{ t} \end{aligned}$$

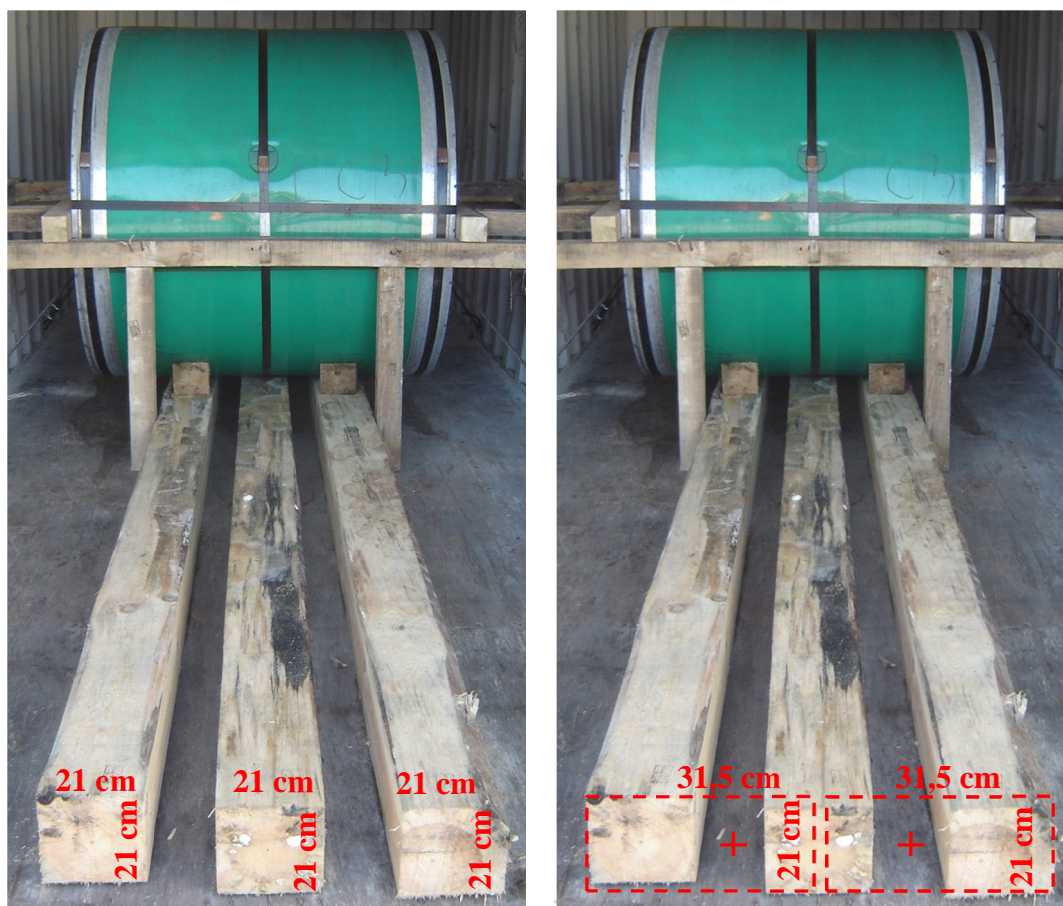


Figura 6. Equivalencia de vigas.

$$t_{\text{longitudinal}} = m \cdot \frac{L}{P} = 12,50 \cdot \frac{5,86}{28,1} = 2,61 \text{ m}$$

$$t_{\text{transversal}} = 0,20 \cdot m \cdot (2,30 - s) = 0,20 \cdot 12,50 \cdot (2,30 - 0,70) = 4,00 \text{ m}$$

$$t = \text{máximo} (t_{\text{transversal}} ; t_{\text{longitudinal}}) = 4,00 \text{ m}$$

$$W = 60 \cdot m \cdot (t - r) = 60 \cdot 12,50 \cdot (4,00 - 1,00) = 2.250 \text{ cm}^3$$

Una viga de $b=31,5 \text{ cm}$ y $h=21 \text{ cm}$ tiene un W de $2.315,25 \text{ cm}^3$. Por tanto 2 vigas de este tipo o 3 de $21 \times 21 \text{ cm}$ como las representadas en la figura 6 serían suficientes.

El apoyo del ejemplo sería, por lo tanto, correcto. Se anexa un Excel como herramienta de cálculo.

Nota del autor:

Este artículo pretende únicamente servir de apoyo en el cálculo de vigas longitudinales de soporte de cargas concentradas en contenedores estándar para las empresas cargadoras que diariamente se enfrentan con la necesidad de realizar estos cálculos y no cuentan con la ayuda de los fabricantes ni de las líneas marítimas.

Existen diferentes métodos y supuestos de cálculo. El método iSEC elaborado por el autor se basa en todos ellos, buscando un criterio armonizado que recoja los valores más conservadores de cada uno de ellos.

Ni el autor ni el iSEC se responsabilizan del uso del método, ya que pueden existir requerimientos específicos solicitados por los distintos operadores de transporte de contenedores en sus diferentes modos y países de tránsito. El método es una guía técnica y no un requerimiento legal.