CÁLCULO DE SUJECIÓN DE LA CARGA ACORDE AL CÓDIGO CTU 2014
Consideraciones técnicas sobre la distribución de la carga en el contenedor

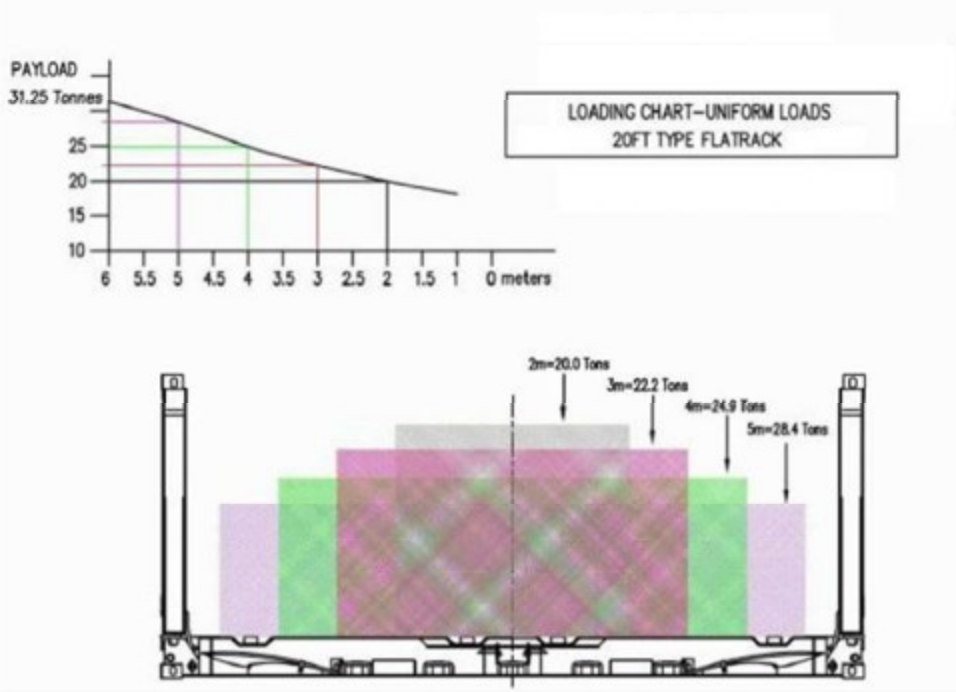
ESPECIFICACIONES DE LA CARGA		ESPECIFICACIONES DEL CONTENEDOR	
LONGITUD (r) (L)	2.5 m	PAYLOAD (P)	30 t
ANCHURA (B)	2.1 m	TARA (T)	2 t
ALTURA (H)	1.0 m	MSL ANILLAS SUJECIÓN	5000 daN
MASA (m)	28 t	AÑO	1998

ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL DE SUJECIÓN	
MSL CINTAS DE POLIÉSTER TIRO SIMPLE	2000 daN
MSL CINTAS DE POLIÉSTER TIRO DOBLE CON HEBILLA	4000 daN
MSL CADENA ESLABÓN CORTO 9 MM GRADO 80 TIRO SIMPLE	5000 daN

1 kilogramo fuerza ≈ 1 daN (por ejemplo, podríamos decir 4 toneladas fuerza de MSL o bien 4000 daN)

La carga es un bloque de acero plastificado en los laterales y en la parte superior. Por la parte inferior es únicamente una superficie lisa de acero. El transporte es combinado por carretera, ferrocarril y marítimo área C.

Verificar si se puede estibar una carga concentrada de 28 t con una longitud de 2.5 m directamente en un 20' FR. Ha de comprobarse si se supera la resistencia longitudinal del contenedor.



Del propio diagrama de carga de un 20' FR con 30 o 31 t de *payload* se deduce que para 28 toneladas la longitud de apoyo debe ser de algo mayor de 4 metros. Pero, a través de las fórmulas de cargas concentradas, puede verificarse si realmente es necesario crear un apoyo suplementario para la distribución longitudinal de la masa.

Aplicando la fórmula para un contenedor antiguo (1998) que no ha superado un test de cargas concentradas y considerando que se trata de una carga rígida,

$$r_l = L \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot P + T}{4 \cdot m}\right)$$

$$r_l = 5.85 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 30 + 2}{4 \cdot 28}\right) = 2.61 > 2.5$$

Por tanto, al ser el valor obtenido superior a la longitud real de la carga, son necesarias vigas para la distribución longitudinal de la masa en el suelo del contenedor.

Las posibilidades son múltiples en cuanto a la longitud y número de vigas a usar. En este caso se opta por utilizar 4 vigas de 4.5 m de longitud. En base a estos datos, se puede calcular la sección necesaria de las vigas.

En primer lugar se calcula K con la fórmula para $t > 1.7 \cdot r$, ya que $4.5 > 1.7 \cdot 2.5$

$$K = \frac{(t - r)^2}{t} \ (\text{si } t > 1{,}7 \cdot r)$$

$$K = \frac{(4.5 - 2.5)^2}{4.5} = 0.89$$

A continuación se ha de calcular la sección de las 4 vigas de madera que se van a usar mediante la fórmula correspondiente y teniendo en cuenta el tipo de madera usada (en este caso, madera de calidad media, cuya σ puede ser considerada como 3,0 kN/cm^2).

$$n \cdot W = \frac{250 \cdot m \cdot K}{\sigma}$$

$$4 \cdot W = \frac{250 \cdot 28 \cdot 0.89}{3}$$

De donde W = 519 cm^3.

Sección cuadrada h (cm) × h (cm)	10×10	12×12	15×15	18×18	20×20	25×25
Módulo resistente W=h^3/6 (cm^3)	167	288	563	972	1.333	2.604

Por lo tanto, se han de usar 4 vigas de 4.5 m de madera aserrada de calidad media con una sección de 15 cm x 15 cm para soportar adecuadamente la carga concentrada sin riesgo de colapso del contenedor.

Otras opciones hubieran sido posibles usando madera más larga o más corta con mayor o menor número de vigas y de este modo saldría mayor o menor sección. No existe una única opción.

Análisis del rozamiento

El apoyo es acero sobre madera aserrada y el coeficiente de rozamiento por tanto 0.3.

Material combination in contact surface	Friction factor μ	
	Dry	Wet
SAWN TIMBER/WOODEN PALLET		
Sawn timber/wooden pallet – fabric base laminate / plywood	0.45	0.45
Sawn timber/wooden pallet – grooved aluminium	0.4	0.4
Sawn timber/wooden pallet – stainless steel sheet	0.3	0.3
Sawn timber/wooden pallet – shrink film	0.3	0.3
PLANED WOOD		
Planed wood – fabric base laminate / plywood	0.3	0.3
Planed wood – grooved aluminium	0.25	0.25
Planed wood – stainless steel sheet	0.2	0.2
PLASTIC PALLETS		
Plastic pallet – fabric base laminate / plywood	0.2	0.2
Plastic pallet – grooved aluminium	0.15	0.15
Plastic pallet – stainless steel sheet	0.15	0.15
CARDBOARD (UNTREATED)		
Cardboard – cardboard	0.5	–
Cardboard – wooden pallet	0.5	–
BIG BAG		
Big bag – wooden pallet	0.4	–
STEEL AND SHEET METAL		
Unpainted metal with rough surface – unpainted rough metal	0.4	–
Painted metal with rough surface – painted rough metal	0.3	–
Unpainted metal with smooth surface – unpainted smooth metal	0.2	–
Painted metal with smooth surface – painted smooth metal	0.2	–
STEEL CRATES		
Steel crate – fabric base laminates / plywood	0.45	0.45
Steel crate – grooved aluminium	0.3	0.3
Steel crate – stainless steel	0.2	0.2

4 Amarres directos de cadena (DC) con MSL 5000 daN ¿Qué sujeción aportan?

12.3 CHAIN

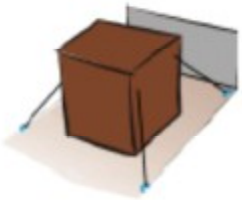
12.3.3 Straight lashings

The tables are valid for **chain (Ø 9 mm, class 8)** with an MSL of 50 kN or 5,000 daN – (5,000 kg = 5 tonnes) and a pre-tension of minimum 10 kN or 1,000 daN – (1,000 kg = 1 tonne).

All masses are valid for one straight lashing.

The values in the tables are proportional to the maximum securing load (MSL) in the lashings.

STRAIGHT LASHING



Cargo mass in tonnes prevented from sliding *per straight lashing*			
μ	SIDEWAYS per side	FORWARD	BACKWARD
0.00	1.6	1.6	2.5
0.05	1.9	1.9	3.1
0.10	2.2	2.2	3.8
0.15	2.6	2.6	4.6
0.20	3.0	3.0	5.2
0.25	3.4	3.4	5.8
0.30	3.9	3.9	6.4
0.35	4.5	4.5	7.0
0.40	5.2	5.2	7.6
0.45	6.0	6.0	8.3
0.50	6.9	6.9	9.0
0.55	8.0	8.0	9.7
0.60	9.3	9.3	11
0.65	11	11	11
0.70	13	12	12

Cargo mass in tonnes prevented from tipping *per straight lashing*				
H/B	SIDEWAYS per side	H/L	FORWARD	BACKWARD
0.6	no tip	0.6	51	51
0.8	no tip	0.8	19	19
1.0	no tip	1.0	13	13
1.2	no tip	1.2	10	10
1.4	25	1.4	8.5	8.5
1.6	12	1.6	7.5	7.5
1.8	8.1	1.8	6.9	6.9
2.0	6.4	2.0	6.4	6.4
2.2	5.4	2.2	5.4	6.0
2.4	4.7	2.4	4.7	5.7
2.6	4.2	2.6	4.2	5.5
2.8	3.9	2.8	3.9	5.3
3.0	3.6	3.0	3.6	5.1

H/B = 1 / 2.1 = 0.48
H/L = 1 / 2.5 = 0.40

No existe riesgo de vuelco longitudinal ni transversal, solo ha de ser analizada la sujeción por deslizamiento hacia delante, detrás y los lados.

DC1 y DC4 amarran hacia un lateral 2 x 3.9 = 7.8 t
Con igual razonamiento, DC2 y DC3 amarran lo mismo hacia el otro lateral

DC1 y DC2 amarran hacia delante 2 x 3.9 = 7.8 t
DC3 y DC4 amarran hacia detrás 2 x 6.4 = 12.8 t

Nótese que si el modo carretera no fuese a ser utilizado y solo se tratase de un transporte marítimo en área C (de puerto a puerto sin fase carretera), la sujeción hacia delante y detrás sería 12.8 t, no teniendo que ser considerado el valor de 7.8 t (este valor deriva de una aceleración 0.8 g hacia delante según el CTU 2014 en el transporte por carretera, que podría surgir en una maniobra de frenada muy brusca).

4 Amarres directos de poliéster (DP) con 4000 daN en bucle ¿Qué sujeción aportan?

12.2 WEBBING

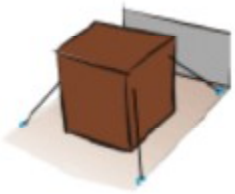
12.2.3 Straight lashings

The tables are valid for **webbing** with an MSL of 20 kN or 2,000 daN – (2,000 kg = 2 tonnes) and a pre-tension of minimum 4 kN or 400 daN – (400 kg).

All masses are valid for one straight lashing.

The values in the tables are proportional to the maximum securing load (MSL) in the lashings.

STRAIGHT LASHING



Cargo mass in tonnes prevented from sliding *per straight lashing*			
μ	SIDEWAYS per side	FORWARD	BACKWARD
0.00	0.64	0.64	1.0
0.05	0.76	0.76	1.2
0.10	0.89	0.89	1.5
0.15	1.0	1.0	1.8
0.20	1.2	1.2	2.1
0.25	1.4	1.4	2.3
0.30	1.6	1.6	2.6
0.35	1.8	1.8	2.8
0.40	2.1	2.1	3.1
0.45	2.4	2.4	3.3
0.50	2.8	2.8	3.6
0.55	3.2	3.2	3.9
0.60	3.7	3.7	4.2
0.65	4.4	4.4	4.5
0.70	5.2	4.8	4.8

Cargo mass in tonnes prevented from tipping *per straight lashing*				
H/B	SIDEWAYS per side	H/L	FORWARD	BACKWARD
0.6	no tip	0.6	20	20
0.8	no tip	0.8	7.6	7.6
1.0	no tip	1.0	5.1	5.1
1.2	no tip	1.2	4.0	4.0
1.4	10	1.4	3.4	3.4
1.6	4.7	1.6	3.0	3.0
1.8	3.2	1.8	2.7	2.7
2.0	2.5	2.0	2.5	2.5
2.2	2.1	2.2	2.1	2.4
2.4	1.9	2.4	1.9	2.3
2.6	1.7	2.6	1.7	2.2
2.8	1.6	2.8	1.6	2.1
3.0	1.5	3.0	1.5	2.0

H/B = 1 / 2.1 = 0.48
H/L = 1 / 2.5 = 0.40

No existe riesgo de vuelco longitudinal ni transversal, solo ha de ser analizada la sujeción por deslizamiento hacia delante, detrás y los lados.

DP1 y DP4 amarran hacia un lateral 2 x 2 x 1.6 = 6.4 t
Con igual razonamiento, DP2 y DP3 amarran lo mismo hacia el otro lateral

DP1 y DP2 amarran hacia delante 2 x 2 x 1.6 = 6.4 t
DP3 y DP4 amarran hacia detrás 2 x 2 x 2.6 = 10.4 t

¿Por qué se utiliza en este caso el doble del valor que se obtiene de las tablas?

Una cinta tiene un MSL de 2000 daN en tiro simple (parte superior del esquema), pero si se emplea un lazo, es como si fueran 2 cintas en paralelo generando un sistema con el doble de MSL. De ahí que en un sistema de este tipo, si el MSL de la cinta es de 2000 daN, el MSL del sistema en lazo es el doble (parte inferior del esquema).

6 Amarres en bucle de poliéster (LP) con MSL 2000 daN ¿Qué sujeción aportan?

12.2 WEBBING

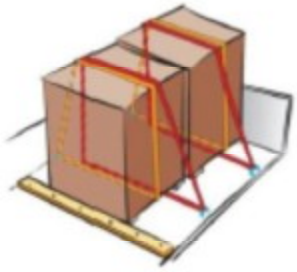
12.2.2 Half-loop lashings

The tables are valid for **webbing** with an MSL of 20 kN or 2,000 daN – (2,000 kg = 2 tonnes) and a pre-tension of minimum 4 kN or 400 daN – (400 kg).

The masses in the tables below are valid for one pair of half-loop lashings.

The values in the tables are proportional to the maximum securing load (MSL) in the lashings.

HALF-LOOP LASHING



Cargo mass in tonnes prevented from sliding *per pair of half-loop lashing*	
μ	SIDEWAYS
0.00	2.5
0.05	2.8
0.10	3.0
0.15	3.3
0.20	3.6
0.25	4.0
0.30	4.3
0.35	4.8
0.40	5.3
0.45	5.9
0.50	6.6
0.55	7.4
0.60	8.4
0.65	9.7
0.70	11

Cargo mass in tonnes prevented from tipping *per pair of half-loop lashing*					
	SIDEWAYS				
H/B	1 row	2 rows	3 rows	4 rows	5 rows
0.6	no tip	no tip	7.0	3.9	2.9
0.8	no tip	9.1	3.3	2.3	1.9
1.0	no tip	4.2	2.2	1.6	1.4
1.2	no tip	2.8	1.6	1.3	1.1
1.4	17	2.1	1.3	1.0	0.89
1.6	7.3	1.6	1.1	0.87	0.76
1.8	4.6	1.4	0.92	0.75	0.66
2.0	3.4	1.2	0.80	0.66	0.58
2.2	2.7	1.0	0.71	0.59	0.52
2.4	2.2	0.90	0.64	0.53	0.47
2.6	1.9	0.81	0.58	0.49	0.43
2.8	1.6	0.73	0.53	0.45	0.40
3.0	1.5	0.67	0.49	0.41	0.37

H/B = 1 / 2.1 = 0.48

No existe riesgo de vuelco transversal, solo ha de ser analizada la sujeción por deslizamiento hacia los lados.

LP1, LP2 y LP3 amarran hacia un lateral 3 x 4.3 = 12.9 t
Con el mismo razonamiento; LP3, LP4 y LP6 amarran lo mismo hacia el otro lateral

El amarre en bucle no aporta sujeción longitudinal.

2 Amarres de tirantes de poliéster (SP) con MSL 4000 daN (usado en lazo) ¿Qué sujeción aportan?

12.2 WEBBING

12.2.4 Spring lashings

The tables are valid for **webbing** with an MSL of 20 kN or 2,000 daN – (2,000 kg = 2 tonnes) and a pre-tension of minimum 4 kN or 400 daN – (400 kg).

The masses in the tables are valid for one spring lashing.

The values in the tables are proportional to the maximum securing load (MSL) in the lashings.

SPRING LASHING

Cargo mass in tonnes prevented from sliding *per spring lashing*		
μ	FORWARD	BACKWARD
0.00	3.6	5.8
0.05	3.9	6.5
0.10	4.3	7.3
0.15	4.7	8.3
0.20	5.1	9.0
0.25	5.6	9.4
0.30	6.1	9.9
0.35	6.8	10
0.40	7.5	11
0.45	8.3	12
0.50	9.3	12
0.55	11	13
0.60	12	13
0.65	14	14
0.70	15	15

Cargo mass in tonnes prevented from tipping *per spring lashing*		
H/L	FORWARD	BACKWARD
0.6	86	86
0.8	38	38
1.0	29	29
1.2	25	25
1.4	22	22
1.6	21	21
1.8	20	20
2.0	19	19
2.2	17	19
2.4	15	18
2.6	14	18
2.8	13	18
3.0	12	17

H/L = 1 / 2.5 = 0.40

No existe riesgo de vuelco longitudinal, solo ha de ser analizada la sujeción por deslizamiento hacia delante y detrás.

SP1 amarra hacia delante 2 x 6.1 = 12.2 t
SP2 amarra hacia detrás 2 x 9.9 = 19.8 t

El amarre de tirantes no aporta sujeción transversal.

De la suma de amarres, se concluye que el amarre total es el siguiente:

SUJECIÓN	LATERAL	DELANTE	DETRÁS
DIRECTO CADENA	7,8	7,8	12,8
DIRECTO POLIÉSTER	6,4	6,4	10,4
EN BUCLE POLIÉSTER	12,9	0,0	0,0
DE TIRANTES POLIÉSTER	0,0	12,2	19,8
	27,1	26,4	43,0

Como la masa de la carga es 28 t, aún falta alrededor de una tonelada de amarre lateralmente y hacia delante. Esta diferencia se solventa con unas cuñas de madera clavadas. Las vigas de madera están clavadas al suelo y las cuñas a las vigas. El cálculo de clavos siempre es aproximado y debe usarse solamente para redondear una sujeción, no como método principal. La tabla del CTU es orientativa, ya que la sujeción depende de múltiples factores como la penetración del clavo en la madera, su longitud, su espesor, etc. En este caso, con una docena de clavos en cada dirección se sujeta holgadamente lo que falta.

12.6 TAG WASHERS AND NAILS

TAG WASHER

Approximate cargo mass in tonnes prevented from sliding by one tag washer for wood on wood in combination with top-over lashing only

μ [**]	SIDEWAYS						
	∅ 48	∅ 62	∅ 75	∅ 95	30×57	48×65	130×130
BS (ton)	0.5	0.7	0.9	1.2	0.5	0.7	1.5
0.10	0.18	0.25	0.32	0.43	0.18	0.25	0.54
0.20	0.21	0.29	0.38	0.50	0.21	0.29	0.63
0.30	0.25	0.35	0.45	0.60	0.25	0.35	0.75
	FORWARD						
0.10	0.18	0.25	0.32	0.43	0.18	0.25	0.54
0.20	0.21	0.29	0.38	0.50	0.21	0.29	0.63
0.30	0.25	0.35	0.45	0.60	0.25	0.35	0.75
	BACKWARD						
0.10	0.31	0.44	0.56	0.75	0.31	0.44	0.94
0.20	0.35	0.49	0.63	0.83	0.35	0.49	1.0
0.30	0.37	0.51	0.66	0.88	0.37	0.51	1.1

[**] Between tag washer and platform bed/cargo.

4 in (100 mm) – NAIL
Approximate cargo mass in tonnes prevented from sliding by one nail

μ [***]	SIDEWAYS per side		FORWARD		BACKWARD	
	blank	galvanised	blank	galvanised	blank	galvanised
BS (ton)	0.22	0.32	0.22	0.32	0.22	0.32
0.00	0.14	0.20	0.14	0.20	0.22	0.32
0.05	0.15	0.21	0.15	0.21	0.24	0.36
0.10	0.16	0.23	0.16	0.23	0.28	0.40
0.15	0.17	0.25	0.17	0.25	0.30	0.43
0.20	0.18	0.27	0.18	0.27	0.31	0.44
0.25	0.20	0.29	0.20	0.29	0.31	0.46
0.30	0.22	0.32	0.22	0.32	0.32	0.47
0.35	0.24	0.36	0.24	0.36	0.33	0.48
0.40	0.28	0.40	0.28	0.40	0.34	0.50
0.45	0.31	0.46	0.31	0.46	0.35	0.52
0.50	0.37	0.53	0.37	0.53	0.37	0.53
0.55	0.44	0.64	0.38	0.55	0.38	0.55
0.60	0.55	0.80	0.39	0.57	0.39	0.57
0.65	0.73	1.1	0.41	0.59	0.41	0.59
0.70	1.1	1.6	0.42	0.62	0.42	0.62

[***] Between cargo and platform bed.