

PROPIEDADES DE LA TUBERÍA CORRUGADA HLK®



El tubo corrugado de acero se clasifica como flexible debido al comportamiento de las cargas externas a las que es sometida, dicho de otra manera, su resistencia dependerá de la interacción del suelo con el tubo. Por lo que el correcto proceso de relleno es fundamental para la transferencia de cargas llegando así a generar la integridad estructural del sistema. Tal como lo indica la norma AASHTO en la sección 12.

El tubo de acero corrugado está disponible con una amplia variedad de recubrimientos protectores que han demostrado cumplir con los requisitos de los entornos más exigentes. Se puede alcanzar una vida útil superior a los 100 años utilizando el recubrimiento adecuado, específico para la ubicación y la aplicación. El tubo metálico corrugado es fabricado con acero en acabado galvanizado o aluminizado, para dar una amplia vida útil.

Tabla descriptiva a cumplimiento de Normas Internacionales

Recubrimiento del Acero	Galvanizado > 2 oz/Ft2	ASTM 929	AASHTO M218
	Aluminizado tipo 2	ASTM 929	AASHTO M274
Tubería		ASTM 760	AASHTO M36
Instalación		ASTM 798	AASHTO Seccion 26
Diseño		ASTM A796	AASHTO Seccion 12

La capacidad estructural de la tubería se debe a una combinación de factores propios de su constitución, los cuales son:

• **Corrugación:**

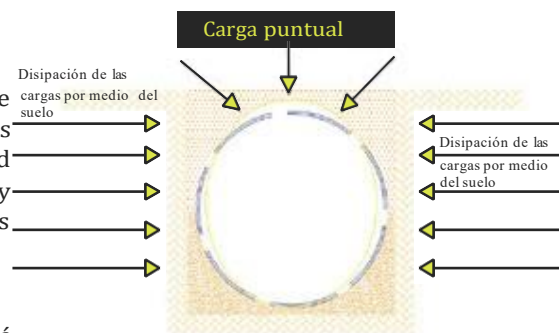
Son las ondulaciones transversales a todo lo largo de la tubería, que le dan cuerpo a la estructura. Un tubo con corrugaciones más profundas y más juntas tendrá más cuerpo y, por ende, mayor capacidad estructural que uno del mismo calibre, cuyas corrugaciones sean muy poco profundas y muy separadas, por ser el cuerpo de este último más liso.

• **Calibre:**

Es el espesor de la pared del tubo. Un tubo con un calibre más grueso será por ende más resistente estructuralmente que otro de la misma corrugación y del mismo diámetro.

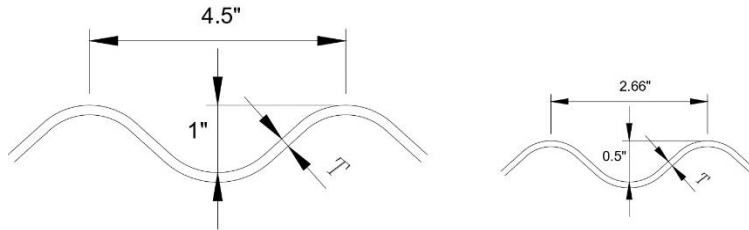
• **Diámetro:**

A mayor diámetro, menor rigidez y a menor diámetro, mayor rigidez.



La combinación de estos tres factores dará como resultado la capacidad estructural para resistir diferentes coberturas. Esta información se describe en la siguiente tabla.

TUBERÍA HLK CUBIERTAS MÍNIMAS Y MÁXIMAS CARGAS VIVAS H-20 / H-25 / E-80 PARA ACERO ALUMINIZADO / GALVANIZADO / POLIMERIZADO.



Diámetro in (m)	Corrugación	Cubierta min. pies / mts.		Cubierta max. pies / mts.				
		Carga viva H-20 / H-25	Carga viva E-80	H-20 / H-25 / E-80				
				Calibres				
				18	16	14	12	10
12"(30 cm)	2-2/3" X 1/2"	1.0 / 0.30	1.0 / 0.30	189 / 57	247 / 75	309 / 94		
15"(38 cm)	2-2/3" X 1/2"	1.0 / 0.30	1.0 / 0.30	151 / 46	198 / 60	247 / 75		
18"(45 cm)	2-2/3" X 1/2"	1.0 / 0.30	1.0 / 0.30	126 / 38	165 / 50	206 / 63		
21"(53 cm)	2-2/3" X 1/2"	1.0 / 0.30	1.0 / 0.30	108 / 33	141 / 43	177 / 54	248 / 75	
24"(60 cm)	2-2/3" X 1/2"	1.0 / 0.30	1.0 / 0.30	94 / 28	123 / 37	154 / 47	217 / 66	
30"(76 cm)	2-2/3" X 1/2"	1.0 / 0.30	1.0 / 0.30		98 / 30	123 / 37	173 / 53	
36"(90 cm)	2-2/3" X 1/2"	1.0 / 0.30	1.0 / 0.30		82 / 25	102 / 31	144 / 44	
42"(107 cm)	2-2/3" X 1/2"	1.0 / 0.30	1.5 / 0.45		70 / 21	87 / 26	123 / 37	159 / 48
48"(122 cm)	2-2/3" X 1/2"	1.5 / 0.45	1.5 / 0.45		61 / 18	76 / 23	108 / 33	139 / 42
54"(137 cm)	4.5" x 1"	1.5 / 0.45	1.5 / 0.45		58 / 17	73 / 22	102 / 31	132 / 40
60"(150 cm)	4.5" x 1"	1.5 / 0.45	2.0 / 0.60		52 / 16	66 / 20	92 / 28	119 / 36
66"(167 cm)	4.5" x 1"	1.5 / 0.45	2.0 / 0.60		48 / 14	59 / 18	83 / 25	108 / 32
72"(182 cm)	4.5" x 1"	1.5 / 0.45	2.0 / 0.60		44 / 13	54 / 16	76 / 23	99 / 30
78"(198 cm)	4.5" x 1"	1.5 / 0.45	2.0 / 0.60		40 / 12	50 / 15	71 / 21	91 / 27
84"(213 cm)	4.5" x 1"	1.5 / 0.45	2.0 / 0.60		37 / 11	47 / 14	66 / 20	85 / 25
90"(228 cm)	4.5" x 1"	2.0 / 0.60	2.5 / 0.76		34 / 10	44 / 13	61 / 18	79 / 24
96"(243 cm)	4.5" x 1"	2.0 / 0.60	2.5 / 0.76		32 / 9	40 / 12	57 / 17	74 / 22
102"(260 cm)	4.5" x 1"	2.0 / 0.60	2.5 / 0.76			38 / 11	54 / 16	70 / 21
108"(275 cm)	4.5" x 1"	2.0 / 0.60	2.5 / 0.76			36 / 11	51 / 15	66 / 20
114"(290 cm)	4.5" x 1"	2.5 / 0.76	3.0 / 0.90			33 / 10	47 / 14	60 / 18
120"(304 cm)	4.5" x 1"	2.5 / 0.76	3.0 / 0.90			31 / 9	43 / 13	56 / 17
126"(320 cm)	4.5" x 1"	2.5 / 0.76	3.0 / 0.90				40 / 12	52 / 16
132"(335 cm)	4.5" x 1"	2.5 / 0.76	3.0 / 0.90				37 / 11	49 / 15
138"(350 cm)	4.5" x 1"	2.5 / 0.76	3.0 / 0.90				34 / 10	45 / 13
144"(365 cm)	4.5" x 1"	2.5 / 0.76	3.0 / 0.90					40 / 12

Notas

- Estas tablas son para tubería con costuras engrapadas.
- Estos valores, donde sean aplicables, fueron calculados usando $K=0.86$ con el fin de apegarse al manual AISI.
- La cubierta mínima para H 20 y H 25 es medida desde la parte superior de la tubería hasta la superficie del pavimento flexible o a la parte superior del pavimento rígido.
- La altura de la cubierta mínima para cargas E-80 se mide desde la base del durmiente hasta la parte superior exterior de la tubería.

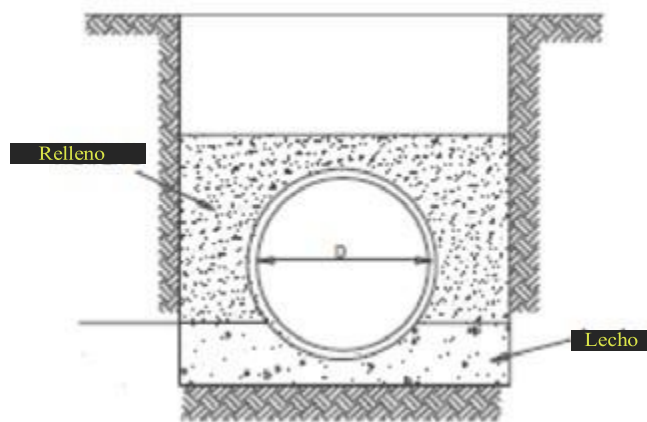
Procedimiento constructivo

Excavación

Una vez terminada la excavación de la zanja se recomienda el ancho de un diámetro exterior más 50 a 120 cm por ambos lados para permitir el relleno del cuadrante crítico de la tubería (acostillado) dependiendo del equipo de compactación a utilizar que garantice el adecuado relleno y acostillado de la tubería. Menor espacio puede ser utilizado con mezclas y otros materiales de relleno que no requieren compactación mecánica. En condiciones de terraplén, solo es necesario quitar la capa superior de tierra, lodo, materia orgánica, raíces y piedras salientes para preparar una base estable (cimentación) y uniforme al grado de compactación y elevación adecuado.

Cimentación

Se deberá proporcionar a la tubería un soporte uniforme y estable para su buen funcionamiento, esto se hará con materiales granulares finos (T.M.A de 3") compactados al 90% mínimo de su densidad mediante la prueba proctor estándar. Nunca se deberá instalar la tubería sobre tierra con materia orgánica, suelos congelados y encamados con piedras de gran tamaño o rocas salientes, de ser el caso retire el material inestable del fondo y sustitúyalo por otro material adecuado.



El tubo de acero no debe ser colocado en contacto directo con cunas de concreto, pero en caso de requerirse se deberá cubrir primeramente la superficie con una capa de material granular sobre la que se instalará la tubería.



Manejo de la tubería

Aunque las estructuras de acero soportan el manejo normal, es necesario que sean manipuladas con cuidados razonables. El arrastrar la tubería en cualquier momento puede dañar el recubrimiento. Los tubos de acero son de poco peso y pueden manejarse fácilmente con equipo ligero, se recomienda el uso de eslingas para manejar adecuadamente la tubería.

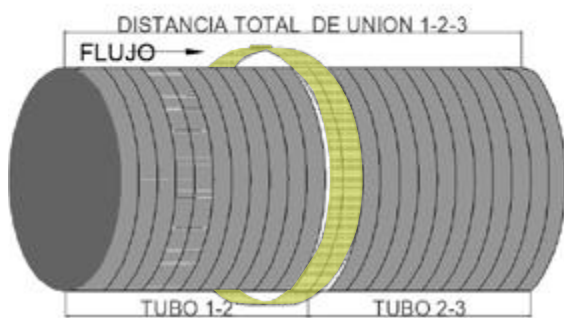
Instalación de la tubería

Durante la instalación de tubos de acero se deberá tener cuidado en la unión de las juntas para controlar la infiltración y exfiltración, ambas acciones tendrán un efecto negativo sobre los materiales de relleno, ya que podría ocurrir la migración de las partículas del suelo. La unión de dos o más tubos se hace mediante el uso de bandas de conexión de acero.

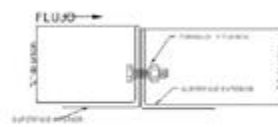


Las bandas de conexión se colocan en la terminación del tubo con la banda abierta para recibir la siguiente sección, esta última se acerca a 1 pulgada (25 milímetros) aproximadamente de la primera sección para después verificar que todos los elementos estén libres de arenas, piedras, suciedad, etc. Las corrugaciones de la banda deberán colocarse sobre las corrugaciones de la tubería. Posteriormente, se deberán apretar los tornillos de las bandas para sujetar los extremos de la tubería, proporcionando una estructura integral y continua. En diámetros de 12" a 48" la banda de conexión es de una pieza, de 54" a 96" de dos piezas y de diámetros de 102" en adelante en tres piezas.

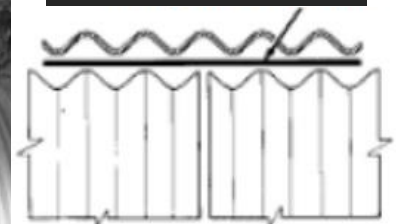
Unión de tubos según secuencia helicoidal al corte



Detalle de cinturón de traslape



Manga de Empaque



Encamado

Para el encamado de la tubería deberán utilizarse materiales granulares finos sueltos en un espesor mínimo aproximado, a fin de cubrir los vacíos entre las corrugaciones. El espesor mínimo antes de colocar la tubería será el siguiente:

- 1 pulgada (25mm) para una profundidad de corrugación de 1/2 pulgada.
- 2 pulgadas (50mm) para una profundidad de corrugación de 1 pulgada.

El ancho del encamado podrá ser de cuando menos un diámetro del tubo.

Rellenos

La capacidad de carga de cualquier tipo de tubería depende en gran medida de un relleno adecuado, por lo tanto, es necesario que se hagan con un buen material debidamente colocado y compactado, el cual deberá ser material granular seleccionado y bien graduado, con poca cantidad de limo y arcilla. El material de relleno deberá estar libre de rocas o terrones de más de 3" (75 milímetros) de tamaño, suelos congelados, materia orgánica o raíces. El material de relleno deberá ser colocado de forma simétrica en capas de 15 a 20 cm de espesor compactadas al 90% de su densidad Proctor estándar (AASHTO T99) teniendo el cuidado suficiente de rellenar y compactar el cuadrante crítico de la tubería (acostillado) y hasta una altura mínima que garantice el buen desempeño estructural de la tubería.



En instalaciones múltiples de tuberías el relleno debe equilibrarse en todas las estructuras en todo momento. El diseño debe tomar en cuenta el equipo de compactación adecuado para el relleno entre las estructuras, se pueden utilizar algunos materiales como rellenos fluidos que no requieren compactación mecánica para lograr una separación mínima entre las estructuras.

Para tuberías de 24" a 72" el espacio mínimo recomendado entre las estructuras es de 1/2 diámetro de la tubería y para tuberías de 72" en adelante el espacio mínimo recomendado es de 36" (915 mm).



Criterios de diseño para tuberías de metal corrugado en vías ferroviarias (Cooper-E80)

FERROVIARIAS (Cooper E-80)

Criterios

Se deben considerar cuatro criterios en el diseño estructural de un conducto metálico corrugado flexible enterrado. Estos criterios son el factor de flexibilidad, el área de pared, el pandeo y la resistencia de la costura.

Cargas

- DL, Presión de carga muerta = densidad especificada del suelo compactado x altura de la cubierta en pies.
- LL, Presión de carga viva, incluyendo un impacto del 50%, para Cooper E-80. La presión de carga viva puede interpolarse para alturas de cubierta no indicadas en la Tabla 1. Normalmente, las alcantarillas ferroviarias se instalan con alturas de cubierta de 60 cm o más. Si la altura de la cubierta es inferior a 60 cm, el diseñador debe determinar la presión de carga viva.
- Pv = Presión de carga total = DL+LL.

Altura de la cubierta (pies)	Carga viva (PSF)
2	3800
5	2400
8	1600
10	1100
12	800
15	600
20	300
30	100

Tabla 1. Presión de carga viva para Cooper E-80. La altura de la cubierta se mide desde la base del travesaño hasta la parte superior exterior de la tubería.

Fórmulas

Resistencia de manipulación e instalación

La rigidez de manipulación e instalación se mide mediante un factor de flexibilidad (FF), determinado por la fórmula: $FF = S^2/EI$

donde:

FF = Factor de flexibilidad (pulgadas por libra) S

= Tramo máximo (pulgadas)

E = Módulo de elasticidad del material de la tubería (psi) (véase la Tabla 4)

I = Momento de inercia por unidad de longitud de la sección transversal de la tubería ($\text{pulg}^2/\text{pulg.}$) (véanse las Tablas 6 y 7)

Para tuberías de acero, el FF no debe superar 0,043 para corrugaciones de ½ pulgada de profundidad; 0,033 para corrugaciones de 1 pulgada de profundidad.

Área del muro

La fórmula para el área del muro es: $A = T / f_a$ EQ 4-9

donde:

$$T = P_v \times S / 2 \text{ EQ 4-10}$$

A = Área de muro requerida (pulg²/pie) (Ver Tablas 6 y 7)

f_a = Tensión de muro admisible = punto de fluencia mínimo dividido entre un factor de seguridad adecuado; $f_a = f_y / SF$ EQ 4-11 f_y = Punto de fluencia mínimo (psi) (véase Artículo 4.13.4b, Tabla 1)

donde:

DL = Carga muerta (psf)

LL = Carga viva de diseño (psf)

S = Luz (pies) (diámetro máximo de la tubería)

T = Empuje de compresión (libras por pie lineal) SF

= Factor de seguridad (SF recomendado = 2)

Pandeo

Las corrugaciones con el área de pared requerida, A, deben revisarse para detectar posible pandeo. Si la tensión de pandeo admisible f_{cr}/SF es menor que f_a , el área requerida debe recalcularse utilizando f_{cr}/SF en lugar de f_a . Las fórmulas para el pandeo son:

$$\text{if } S < \frac{r}{k} \sqrt{\frac{24E}{f_u}} \text{ then } f_{cr} = f_u - \frac{f_u^2}{48E} \left(\frac{KS}{r} \right)^2$$

$$\text{if } S > \frac{r}{k} \sqrt{\frac{24E}{f_u}} \text{ then } f_{cr} = \frac{12E}{\left(\frac{KS}{r} \right)^2}$$

donde:

f_{cr} = tensión crítica de pandeo (psi)

S = luz máxima en pulgadas

r = radio de giro en pulgadas (véanse las Tablas 6 y 7) E

= módulo de elasticidad (psi) Tabla 4

K = factor de rigidez del suelo = 0,22

SF = factor de seguridad (SF recomendado = 2)

f_u = resistencia mínima a la tracción (psi) (véase la Tabla 4)

Resistencia de la costura

La resistencia de la costura para tuberías metálicas corrugadas con corrugaciones anulares y costuras longitudinales atornilladas o remachadas deberá ser suficiente para desarrollar el empuje de compresión en la pared de la tubería. Este empuje de compresión (T) en libras por pie lineal de estructura.

La resistencia de la costura longitudinal requerida deberá ser igual o superior al empuje de compresión en la pared de la tubería aplicando un factor de seguridad adecuado.

Es decir, resistencia de costura requerida = T(F.S.) = Empuje de compresión con factor de seguridad donde:

F.S. = Factor de seguridad. F.S. recomendado = 3

El valor de la resistencia de la costura requerida no debe exceder los valores de resistencia de la costura longitudinal que se muestran en el Artículo 4.13.4c, Tabla 5.

Propiedades de diseño de alcantarillas

La Tabla 3 muestra la relación entre el espesor del metal y el calibre, en pulgadas, que se utilizará en el diseño de alcantarillas.

La Tabla 4 muestra las propiedades mecánicas del metal que se utilizará en el diseño de alcantarillas. La Tabla 5 muestra la resistencia de la costura de las alcantarillas remachadas.

Las Tablas 6 y 7 muestran las propiedades de la sección de las tuberías metálicas corrugadas.

Indicador	Acero		Aluminio	
	Espesor especificado (in)		Espesor especificado	
16	0.064		0.06	
14	0.079		0.075	
12	0.109		0.105	
10	0.138		0.135	
8	0.168		0.164	

Metal	Ten silencia mínima fuerza (psi)	Rendimiento mínimo (psi)	Módulo de elasticidad (psi)
Acero	45000	33000	29,000,000
Aluminio H34	31000	24000	10,000,000

Indicador	Corrugación				
	2-2/3" x 1/2" y 2" x 1/2"			4.5" x 1"	
	Engrape sencillo K/ft	Engrape doble K/ft	Tamaño del engrape (in)	Engrape doble K/ft	Tamaño del engrape (in)
Tubo de acero engrapado					
16	16.7	21.6	5/16	28.7	3/8
14	18.2	29.8	5/16	35.7	3/8
12	23.4	46.8	3/8	53	7/16
10	24.5	49	3/8	63.7	7/16
8	25.6	51.3	3/8	70.7	7/16
Tubo de aluminio engrapado					
16	9	14	5/16	16.5	3/8
14	9	18	5/16	20.5	3/8
12	15.6	31.5	3/8	28	1/2
10	16.2	33	3/8	42	1/2
8	16.8	34	3/8	54.5	1/2

Indicador	Corrugación											
	1-1/4" x 1/2"			2-2/3" x 1/2"			3" x 1"			5" x 1" (NOTA)		
	A	r	lx10^-3	A	r	lx10^-3	A	r	lx10^-3	A	r	lx10^-3
	$\frac{in^2}{ft}$	in	$\frac{in^4}{in}$	$\frac{in^2}{ft}$	in	$\frac{in^4}{in}$	$\frac{in^2}{ft}$	in	$\frac{in^4}{in}$	$\frac{in^2}{ft}$	in	$\frac{in^4}{in}$
16	0.76	0.0832	0.439	0.755	0.1712	1.89	0.89	0.3417	8.66	0.794	0.3657	8.85
14				0.968	0.1721	2.39	1.113	0.3427	10.89	0.992	0.3663	11.09
12				1.356	0.1741	3.43	1.56	0.3448	15.46	1.39	0.3677	15.65
10				1.744	0.1777	4.53	2.008	0.3472	20.18	1.788	0.3693	20.32
8				2.133	0.1795	5.73	2.458	0.3499	25.09	2.186	0.3711	25.09

Tabla 7: Propiedades de la sección de tubos corrugados anclados en espiral de acero y aluminio

Indicador	Corrugación											
	Acero						Aluminio					
	3/4" x 3/4" x 7-1/2"			3/4" x 1" x 11-1/2"			3/4" x 3/4" x 7-1/2"			3/4" x 1" x 11-1/2"		
	A	r	$I \times 10^{-3}$	A	r	$I \times 10^{-3}$	A	r	$I \times 10^{-3}$	A	r	$I \times 10^{-3}$
	$\frac{in^2}{ft}$	in	$\frac{in^4}{in}$	$\frac{in^2}{ft}$	in	$\frac{in^4}{in}$	$\frac{in^2}{ft}$	in	$\frac{in^4}{in}$	$\frac{in^2}{ft}$	in	$\frac{in^4}{in}$
16	0.509	0.258	2.82	0.374	0.383	4.58	1.415	0.272	2.558	0.312	0.396	4.08
14	0.712	0.25	3.7	0.524	0.3773	6.08	0.569	0.267	3.372	0.427	0.391	5.45
12	1.184	0.237	5.54	0.883	0.355	9.26	0.914	0.258	5.073	0.697	0.38	8.39
10	1.717	0.228	7.43	N/A	N/A	N/A	1.29	0.252	6.826	1.009	0.369	11.48

Nota: las propiedades de la sección de la costilla en espiral son propiedades efectivas reducidas de las propiedades reales debido a la geometría de la sección. Las propiedades efectivas de la sección se toman a plena tensión de rendimiento y por tanto diferirá del acero al aluminio para el mismo perfil de corrugación.

Factores de seguridad

FS = 3.0 para juntas longitudinales (aplica solo a tuberías con juntas atornilladas o remachadas) FS =

2.0 para pandeo de la pared de la tubería

FS = 2.0 para área de pared

FF = Véase al inicio del documento

Criterios de diseño

- Presión de carga muerta = 120 psf por pie de altura.
- Presión de carga viva = Como se muestra en la Tabla 1 para la Carga Viva Cooper E-80. Los valores de la tabla incluyen un 50% adicional de la carga viva por impacto.
- Resistencia de la costura, módulo de elasticidad, resistencia a la tracción, límite elástico y propiedades de la sección de la pared de la tubería, como se muestra en las tablas.
- Coeficiente de rigidez del suelo "K" = 0.22.
- Estas tablas se basan en consideraciones estructurales. Las condiciones abrasivas o corrosivas de la obra pueden requerir tuberías con mayor espesor de lámina o con revestimiento protector y pavimento invertido.