

**Exemplo de seleção e verificação de correias sincronizadoras –
transmissão de movimento (Justino Netto, 2018)**

As correias sincronizadoras são muito utilizadas em sistemas de movimentação nos quais as velocidades devem ser transmitidas com precisão, como em impressoras 3D, o que é proporcionado pelo encaixe dos dentes das correias nas polias. A transmissão é limitada apenas pelas tensões nas correias, que geralmente são menores do que as tensões desenvolvidas em correias em v, e pela tensão de cisalhamento nos dentes da polia (MOTT; VAVREK; WANG, 2018).

3. Geometria

A Figura 41 representa a geometria de uma transmissão por correia do tipo aberta. Os ângulos de contato ($\theta_{P,1}$ e $\theta_{P,2}$) e a distância entre centros (C_D) das polias podem ser calculados usando as Equações 31 a 34, em que D_p é o diâmetro primitivo da polia e L_c é o perímetro da correia (BUDINAS; NISBETT, 2012; MOTT; VAVREK; WANG, 2018):

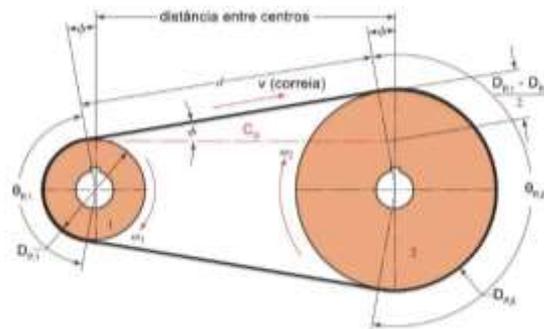


Figura 1. Geometria de correia em configuração aberta. Adaptado de Mott, Vavrek e Wang, 2018

$$\theta_{P,1} = \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{D_{P,2} - D_{P,1}}{2C_D} \right) \quad (31)$$

$$\theta_{P,2} = \pi + 2 \sin^{-1} \left(\frac{D_{P,2} - D_{P,1}}{2C_D} \right) \quad (32)$$

$$C_D = \frac{k_p + [k_p^2 - 32(D_{p,2} - D_{p,1})^2]^{0.5}}{16} \quad (33)$$

$$k_p = 4L_c - 2\pi(D_{p,2} + D_{p,1}) \quad (34)$$

O sistema de transmissão proposto, apresentado na Figura 42, utilizará um eixo auxiliar, no qual se acoplam duas polias, cada uma transmitindo o movimento por correia a uma polia acoplada ao eixo de uma das roscas. As polias sincronizadoras 12 MXL 025 e 24 MXL 025, conforme o Anexo B (Correias Schneider, 2019), foram pré-selecionadas pela limitação do espaço disponível entre os eixos.

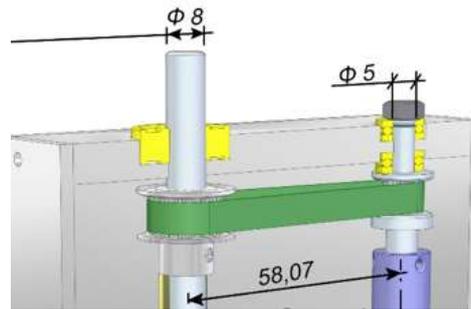


Figura 1. Subsistema de transmissão baseado em correias sincronizadoras.

As polias 12 MXL 025, que serão acopladas aos eixos das roscas, apresentam diâmetro primitivo ($D_{P,1}$) de 7,8 mm e 12 dentes. Ao eixo auxiliar, serão acopladas as polias 24 MXL 025, com 24 dentes e diâmetro primitivo ($D_{P,2}$) de 15,5 mm. Assim, o sistema multiplicará a velocidade de rotação das polias motoras para cada polia movida, na razão 1:2, dividindo o torque pela metade e fazendo que o eixo auxiliar seja o mais solicitado em torção.

A distância ($C_{D,I}$) entre o eixo motor auxiliar e o eixo de rosca mais próximo é livre e foi calculada por meio das Equações 33 e 34 em função das dimensões da correia menor pré-selecionada (código 520 MXL-K). Conforme o Anexo C (Correias Schneider, 2019), o perímetro da correia menor ($L_{c,1}$) é de 132,08 mm. Assim,

$$C_{D,I} = 47,58 \text{ mm}$$

Ao valor da distância $C_{D,I}$, adiciona-se a distância entre os centros das roscas (A) e a folga adicional discutida na Seção 5.1.2. Assim, a distância ($C_{D,II}$) entre o eixo motor e o eixo de rosca mais afastado será:

$$C_{D,II} = 47,58 + 10,5 = 58,08 \text{ mm}$$

Utilizando as Equações 33 e 34 e o Anexo C (Correias Schneider, 2019), é possível selecionar a correia maior (código 600 MXL-K), com perímetro ($L_{c,2}$)

de 152,4 mm e 75 dentes. As correias serão de poliuretano com perfil do tipo MXL, caracterizadas por dentes trapezoidais e passo de 2,035 mm.

Com as distâncias entre centros $C_{D,I}$ e $C_{D,II}$ definidas e os diâmetros primitivos das polias ($D_{p,1} = 7,8$ mm e $D_{p,2} = 15,5$ mm) é possível calcular os ângulos de contato:

Para a correia menor,

$$C_{D,I} = 47,58 \text{ mm}; \theta_{P,1} = 2,98 \text{ rad}; \theta_{P,2} = 3,30 \text{ rad}$$

Para a correia maior,

$$C_{D,II} = 58,08 \text{ mm}; \theta_{P,1} = 3,01 \text{ rad}; \theta_{P,2} = 3,27 \text{ rad}$$

Em razão das dimensões reduzidas, as polias menores serão fabricadas nos respectivos eixos, como peças contínuas. Uma vez que as roscas pendem na vertical, os eixos movidos serão fixados a rolamentos axiais suportados pela estrutura da caixa, a ser fabricada em alumínio. A fixação será realizada por porcas convencionais. Rolamentos axiais serão adicionados também entre as polias menores e a estrutura, para garantir livre a rotação em caso de movimentação ascendente da dupla rosca. Os eixos das roscas deverão ser fixados aos eixos das polias movidas por meio de acoplamentos rígidos.

O eixo auxiliar também será conectado ao redutor por meio de um acoplamento rígido e deverá girar entre dois rolamentos radiais em sua extremidade, para minimizar o atrito. A fixação das polias motoras no eixo auxiliar será feita por meio de parafusos de travamento. A separação entre as polias motoras será feita com auxílio de uma bucha de bronze.

5.3.2 Transmissão de potência

A potência a ser transmitida (N) relaciona-se com a velocidade de rotação (N) e o torque aplicado (M_t) por meio da Equação 35 (BUDINAS; NISBETT, 2012). Estipulando que o torque necessário para vencer a resistência do material em cada rosca seja de 5 N.m tanto a 50 rpm quanto a 100 rpm, é possível determinar a potência requerida nas polias de 12 dentes ($Pot_{p,1}$):

$$N = 2\pi N M_t \quad (35)$$

Dupla rosca a 50 rpm,

$$N_{p,1} = 2\pi \frac{50}{60} 5 = 26,17 \text{ W}$$

Dupla rosca a 100
rpm,

$$N_{p,1} = 2\pi \frac{100}{60} 5 = 52,35 W$$

Considerando uma perda de 10% na transmissão realizada pelas correias sincronizadoras, a potência nas polias motoras ($P_{ot,p,2}$) deverá ser maior:

Dupla rosca a 50 rpm,

$$N_{p,2} = \frac{26,17}{0,9} = 29,10 W$$

Dupla rosca a 100
rpm,

$$N_{p,2} = \frac{52,35}{0,9} = 58,17 W$$

A partir do número de dentes das polias, sabe-se que a velocidade de rotação das polias maiores equivale à metade da velocidade das polias menores ($n_2=n_1/2$). Assim, o torque ($M_{T,A}$) no eixo auxiliar será:

Dupla rosca a 50 rpm,

$$M_{T,A} = \frac{29,10}{2\pi(25/60)} = 11,11 Nm$$

Dupla rosca a 100
rpm,

$$M_{T,A} = \frac{58,17}{2\pi(50/60)} = 11,11 Nm$$

3.1 Verificações mecânicas

Os esforços desenvolvidos nos mecanismos de transmissão por correias em v são descritos em detalhes em Budinas e Nisbett (2012). Para este trabalho, é importante notar que as correias são tensionadas por uma força F_1 no lado apertado e uma força F_2 no lado frouxo, relacionadas à geometria e às condições de atrito por meio da Equação 36, ao torque (M_T) pela Equação 37, à força de pré-carga (F_i) pela Equação 38 e à força centrífuga (F_c) por meio da Equação 39:

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\frac{\mu\theta}{\sin(\chi/2)}} \quad (36)$$

$$F_1 - F_2 = \frac{2M_T}{D_p} \quad (37)$$

$$F_1 + F_2 = 2F_i + 2F_c \quad (38)$$

$$F_c = \frac{\omega}{g} \left(\frac{v}{60}\right)^2 \quad (39)$$

Em que μ é coeficiente de atrito entre a correia e a polia, χ é o ângulo do dente trapezoidal, ω é o peso da correia, g é a aceleração da gravidade e v a velocidade tangencial da correia.

Os valores para o coeficiente de atrito entre o material das correias e as polias e o ângulo do dente trapezoidal foram considerados 0,6 e 40°, respectivamente. Para a faixa de velocidades de rotação pretendida e em razão das dimensões das correias, o valor da força centrífuga foi desprezado.

Uma vez que os ângulos de contato da correia menor e maior ($\theta_{p,1}$ e $\theta_{p,2}$) são próximos, as forças desenvolvidas também serão parecidas. Aplicando as Equações 36 a 39, é possível estimar a força no lado apertado (F_1) e no lado frouxo (F_2) das correias, além da força de pré-carga (F_i):

$$F_1 = 1,62 \text{ N}; F_2 = 0,18 \text{ N}; F_i = 0,90 \text{ N}$$

De acordo com o Anexo D (SDP-SI, 2019), a tensão suportada pelas correias de poliuretano reforçadas com fibras de aramida é de 142 a 311 N por polegada de largura ao longo da espessura, o que equivale a pelo menos 88,3 MPa para as correias selecionadas, cuja largura é de 6 mm e a espessura é de 0,38 mm. Para a força de maior valor ($F_1=1,62 \text{ N}$), a tensão gerada será de 0,7 MPa, que é menor que a tensão limite suportada pelas correias.

Com os valores dos torques (M_T) a serem aplicados nos eixos do sistema de transmissão, é possível verificar também se os diâmetros adotados resistem à torção utilizando a Equação (40) (BUDINAS; NISBETT, 2012):

$$\tau = \frac{16M_T}{\pi d_e^3} \quad (40)$$

Em que τ deve ser menor que a tensão admissível, considerada como 80% da tensão de escoamento do aço AISI 4340 (470 MPa) e d_e é o diâmetro do eixo. Sendo o diâmetro menor dos eixos das polias igual a 5 mm e o diâmetro menor do eixo auxiliar igual de 8 mm, as tensões desenvolvidas serão:

$$\text{Para os eixos das polias,} \quad \tau = \frac{16 \times 5}{\pi \times (5 \times 10^{-3})^3} = 203,7 \text{ MPa}$$

$$\text{Para o eixo auxiliar,} \quad \tau = \frac{16 \times 11,11}{\pi \times (8 \times 10^{-3})^3} = 110,5 \text{ MPa}$$

Como o valor das tensões calculadas é menor que tensão admissível ($\tau_{adm} = 376 \text{ MPa}$), os eixos possuem diâmetro adequado para resistir à torção.

Os acoplamentos rígidos também estarão sujeitos a torsão. A Equação 41 pode ser utilizada para calcular a tensão de cisalhamento desenvolvida no eixo vazado (BUDINAS; NISBETT, 2012).

$$\tau = \frac{16M_T D_o}{\pi(D_o^4 - D_i^4)} \quad (41)$$

Sendo o diâmetro externo (D_o) igual a 12,7 mm e diâmetro interno (D_i) igual a 7 mm, para o torque máximo de 5 N.m a ser aplicado em cada rosca tem-se:

$$\tau = \frac{16 \times 5 \times (12,7 \times 10^{-3})}{\pi[(12,7 \times 10^{-3})^4 - (7 \times 10^{-3})^4]} = 13,7 \text{ MPa}$$

Os acoplamentos rígidos poderão ser fabricados em alumínio 1060 ($\sigma_y=27,6$ MPa), o que resulta em um fator de segurança de aproximadamente 2, ou em aço baixo carbono (AISI 1030, $\sigma_y=250$ MPa), com Coeficiente de Segurança igual a 19.

ANEXO B – CATÁLOGO DE POLIAS SINCRONIZADORAS MXL

**CORREIAS
SCHNEIDER**

Pça. Bento de Camargo Barros, 64 - Pte. Pequena
(Metrô Armênia) São Paulo - SP CEP 01101-020
vendas@correias.com.br www.correias.com.br
vendas@polias.com.br www.polias.com.br

Ligue para nós
Tel. (011) 3315-0777
(011) 3326-3955
Fax: (11) 3313-3258



Polias sincronizadoras

MXL



Passo 0,080' = 2,032 mm Largura 025 (Padronizada)

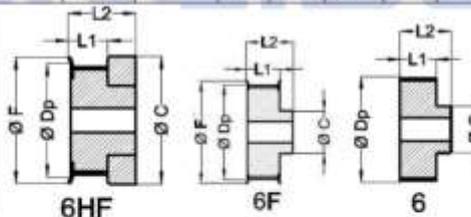
Para correias de largura de $\frac{3}{16}$ " (4,763 mm) MXL 019
Para correias de largura de $\frac{1}{4}$ " (6,350 mm) MXL 025

Referência da Polia	Número de Dentes	Tipo de Polia	Diâm. Prim. Ø	Diâm. sobre Flanges	ØP Furo Min.	ØP Furo Máx.	ØC Cubo	025			Material
								L1	L2*	Peso (g)	
10 MXL 025	10	6HF	6,47	10,79	3,00	3,00	10,80	7,30	14,40	1	Alumínio
11 MXL 025	11	6HF	7,11	11,43	3,00	3,00	11,40	7,30	14,40	1	Alumínio
12 MXL 025	12	6HF	7,77	12,19	3,00	3,00	12,20	7,30	14,40	2	Alumínio
14 MXL 025	14	6HF	9,06	13,46	3,00	3,00	13,40	7,30	14,40	3	Alumínio
15 MXL 025	15	6HF	9,70	14,09	5,00	5,00	14,10	7,30	14,40	6	Alumínio
16 MXL 025	16	6HF	10,33	14,73	5,00	5,00	14,70	7,30	14,40	8	Alumínio
18 MXL 025	18	6F	11,63	16,12	5,00	5,00	7,90	9,90	15,90	9	Alumínio
20 MXL 025	20	6F	12,92	17,10	5,00	5,00	9,20	9,90	15,90	10	Alumínio
21 MXL 025	21	6F	13,58	18,03	5,00	6,00	9,20	9,90	15,90	13	Alumínio
22 MXL 025	22	6F	14,22	18,79	5,00	6,00	9,20	9,90	15,90	15	Alumínio
24 MXL 025	24	6F	15,51	20,06	6,00	6,00	11,20	9,90	17,40	16	Alumínio
28 MXL 025	28	6F	17,85	22,73	6,00	8,00	12,50	9,90	17,40	18	Alumínio
30 MXL 025	30	6F	19,40	24,00	6,00	8,00	13,90	9,90	17,40	22	Alumínio
32 MXL 025	32	6F	20,70	25,40	6,00	9,50	15,20	9,90	17,40	25	Alumínio
36 MXL 025	36	6F	23,29	28,06	6,00	11,00	17,20	9,90	17,40	30	Alumínio
40 MXL 025	40	6F	25,88	30,73	6,00	14,00	19,10	9,90	18,20	38	Alumínio
42 MXL 025	44	6F	27,17	32,00	6,00	14,00	20,00	9,90	18,20	40	Alumínio
44 MXL 025	42	6F	28,44	33,40	6,00	16,00	20,00	9,90	18,20	48	Alumínio
48 MXL 025	48	6F	31,03	36,06	6,00	19,00	20,00	9,90	18,20	70	Alumínio
60 MXL 025	60	6	38,81	---	6,00	22,00	29,10	9,50	19,05	111	Alumínio
72 MXL 025	72	6	46,55	---	6,00	25,00	30,30	9,50	19,05	128	Alumínio
80 MXL 025	80	6	51,73	---	12,00	32,00	38,10	9,50	19,05	145	Alumínio

MS

Legenda

- 6F = com flange, maciça
- 6 = sem flange, maciça
- ØC = diâmetro do cubo
- L1 = largura sem cubo
- L2 = largura total com o cubo



Ex. Polia 24 MXL 025
24 = N.º de dentes
MXL = passo da polia
025 = P/ correia de 6,35 mm de largura

* Algumas medidas disponíveis em plástico ABS.

* Exemplo: Seguir padrão, alterando somente a largura e tipo de polia.

* Padrão europeu: Algumas L2 são diferentes do sistema americano. (Somente L2). *Mediante consulta. As dimensões e tolerâncias do furo-guia, e das larguras L1 e L2. Ø cubo e peso podem ser modificadas sem aviso prévio. Veja os procedimentos técnicos a partir da página 77.

Tolerância de excentricidade é de 0,05mm para polias com diâmetros externos de 0 a 200 mm.

Acima de 200 mm de diâmetro, acrescentar 0,005mm para cada 10 mm.

As polias padronizadas em nosso estoque somente possuem furo-guia ou furo apontado, e não estão balanceadas.

O balanceamento e acabamento final das polias ficam sob responsabilidade do comprador.

Os furos apontados ou guias não estão centralizados com relação ao cubo. A centralização deve ser feita através dos dentes das polias.

Nos reservamos-nos o direito de alterar o diâmetro do furo sem aviso prévio.

ANEXO C – CATÁLOGO DE CORREIAS SINCRONIZADORAS MXL



Pça. Bento de Camargo Barros, 64 - Pte. Pequena
(Metró Armênia) São Paulo - SP CEP 01101-020
vendas@correias.com.br www.correias.com.br
vendas@polias.com.br www.polias.com.br

Ligue para nós
Tel: (011) 3315-0777
(011) 3328-3955
Fax: (11) 3313-3256



Correia Sincronizadora em Neoprene – MXL e em Poliuretano com Cordonéis em Aramid – K-MXL



Passo 2,032mm (MXL)

ENTRO DOS DENTES TRAPEZOIDAIS

Referência da Correia	Comprimento Primitivo Circunferência		Número de Dentes	Referência da Correia	Comprimento Primitivo Circunferência		Número de Dentes	Referência da Correia	Comprimento Primitivo Circunferência		Número de Dentes
	Polegadas	Milimetro			Polegadas	Milimetro			Polegadas	Milimetro	
264 MXL	2,64	67,06	33	880 MXL-K	8,80	223,52	110	1880 MXL	18,80	477,52	235
360 MXL	3,60	91,44	45	896 MXL	8,96	227,58	112	1920 MXL-K	19,20	487,68	240
432 MXL	4,32	109,73	54	904 MXL	9,04	229,62	113	1984 MXL	19,84	503,93	248
440 MXL	4,40	111,76	55	912 MXL	9,12	231,65	114	1992 MXL	19,92	505,97	249
448 MXL	4,48	113,79	56	920 MXL	9,20	233,68	115	2000 MXL-K	20,00	508,00	250
456 MXL	4,56	115,82	57	944 MXL	9,44	239,78	118	2008 MXL	20,08	510,03	251
464 MXL	4,64	117,86	58	960 MXL-K	9,60	243,84	120	2048 MXL	20,48	520,19	256
480 MXL	4,80	121,92	60	976 MXL	9,76	247,90	122	2080 MXL-K	20,80	528,32	260
488 MXL	4,88	123,95	61	984 MXL	9,84	249,94	123	2120 MXL-K	21,20	538,48	265
520 MXL-K	5,20	132,99	65	1000 MXL	10,00	254,00	125	2144 MXL	21,44	544,58	268
536 MXL	5,36	136,14	67	1008 MXL	10,08	256,03	126	2160 MXL-K	21,60	548,64	270
544 MXL	5,44	138,18	68	1040 MXL	10,40	264,16	130	2200 MXL-K	22,00	558,80	275
560 MXL-K	5,60	142,24	70	1056 MXL	10,56	268,22	132	2240 MXL	22,40	568,96	280
568 MXL	5,68	144,27	71	1072 MXL	10,72	272,29	134	2280 MXL-K	22,80	579,12	285
576 MXL	5,76	146,30	72	1112 MXL	11,12	282,45	139	2320 MXL-K	23,20	589,28	290
600 MXL-K	6,00	152,40	75	1120 MXL	11,20	284,48	140	2384 MXL	23,84	605,54	296
608 MXL	6,08	154,43	76	1136 MXL	11,36	288,54	142	2400 MXL-K	24,00	609,60	300
616 MXL	6,16	156,46	77	1176 MXL	11,76	298,70	147	2480 MXL	24,80	629,92	310
632 MXL	6,32	160,53	79	1200 MXL-K	12,00	304,80	150	2520 MXL	25,20	640,08	315
640 MXL-K	6,40	162,56	80	1224 MXL	12,24	310,90	153	2560 MXL-K	25,60	650,24	320
656 MXL	6,56	166,62	82	1240 MXL-K	12,40	314,96	155	2584 MXL	25,84	656,34	323
672 MXL	6,72	170,69	84	1272 MXL	12,72	323,09	159	2640 MXL-K	26,40	670,56	330
680 MXL-K	6,80	172,72	85	1280 MXL	12,80	325,12	160	2680 MXL	26,80	680,72	335
696 MXL	6,96	176,78	87	1320 MXL-K	13,20	335,28	165	2776 MXL	27,76	705,10	347
704 MXL	7,04	178,82	88	1328 MXL	13,28	337,31	166	2800 MXL-K	28,00	711,20	350
720 MXL-K	7,20	182,88	90	1360 MXL	13,60	345,44	170	2880 MXL	28,80	731,52	360
736 MXL	7,36	186,94	92	1400 MXL	14,00	355,60	175	2920 MXL	29,20	741,68	365
752 MXL	7,52	191,01	94	1440 MXL	14,40	365,76	180	2960 MXL-K	29,60	751,84	370
760 MXL-K	7,60	193,04	95	1472 MXL	14,72	373,89	184	3040 MXL-K	30,40	772,16	380
776 MXL	7,76	197,10	97	1480 MXL-K	14,80	375,92	185	3120 MXL-K	31,20	792,48	390
800 MXL-K	8,00	203,20	100	1520 MXL	15,20	386,08	190	3200 MXL	32,00	812,80	400
808 MXL	8,08	205,23	101	1560 MXL	15,60	396,24	195	3296 MXL	32,96	837,18	412
816 MXL	8,16	207,26	102	1600 MXL	16,00	406,40	200	3472 MXL	34,72	881,08	434
824 MXL	8,24	209,30	103	1640 MXL-K	16,40	416,56	205	3520 MXL	35,20	894,08	440
840 MXL	8,40	213,36	105	1680 MXL-K	16,80	426,72	210	3624 MXL	36,24	920,50	453
848 MXL	8,48	215,39	106	1696 MXL	16,96	430,78	212	3704 MXL	37,04	940,82	463
866 MXL	8,66	217,42	107	1760 MXL-K	17,60	447,04	220	3984 MXL	39,84	1011,94	498
864 MXL	8,64	219,46	108	1788 MXL	17,88	449,07	221	4040 MXL	40,40	1026,16	505
				1800 MXL	18,00	457,20	225				

Obs.: A letra K nesta linha indica Poliuretano com aramid.
Vantagens do Poliuretano: Alta resistência ao óleo, trabalhando em névoas de óleo ou mergulhada no óleo.
Geometria dos dentes não são compatíveis com polias T2,5 ou HTD 2M. Veja polias na página 23.
Temperatura no local da transmissão de -30° até 70°C.

Código de Largura = Milímetros
019 = 3/16" → 4,76 milímetros
025 = 1/4" → 6,35 milímetros

ANEXO D – TENSÃO ADMISSÍVEL DE SERVIÇO EM DIFERENTES CORREIAS

SECTION 7 BELT TOOTH PROFILES

There are several belt tooth profiles (Figure 19, Table 3) which are the result of different patented features, marketing and production considerations.

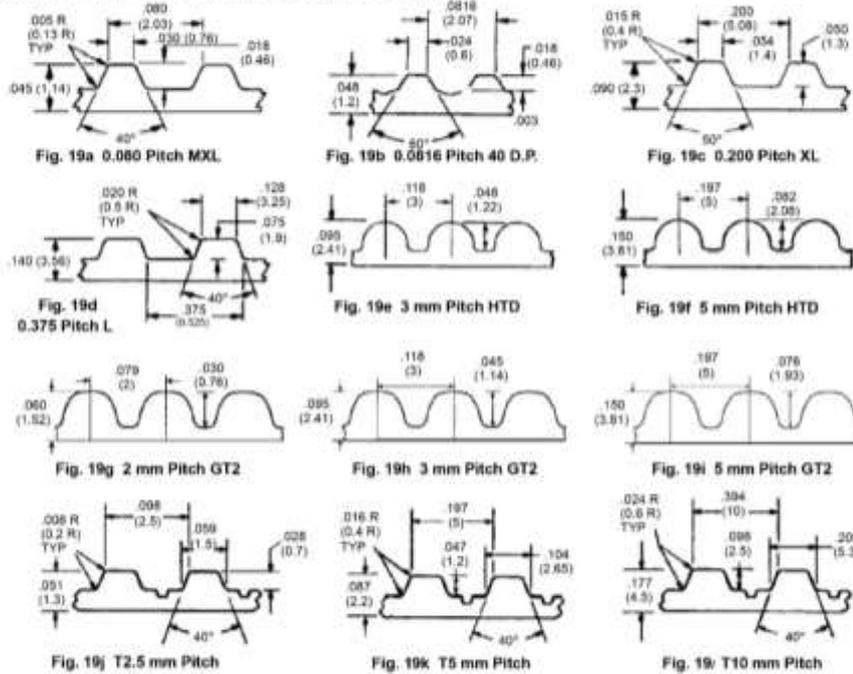


Fig. 19 Belt Tooth Configuration Dimensions in () are mm

Table 3 Allowable Working Tension of Different Belt Constructions

	Belt Type	Pitch		Allowable Working Tension Per 1 Inch of Belt Width						
				Neoprene		Urethane/Polyester		Urethane/Kevlar		
		Inch	mm	lbs	N	lbs	N	lbs	N	
→	19a	MXL	0.080	2.03	18	80	20 to 32	89 to 142	32 to 70	142 to 311
	19b	40DP	0.0816	2.07	—	—	20 to 32	89 to 142	32 to 70	142 to 311
	19c	XL	0.200	5.08	28	125	32	142	40	178
	19d	L	0.375	9.525	48	218	—	—	—	—
	—	H	0.500	12.7	135	601	—	—	—	—
	19e	—	0.118	3	64	285	—	—	—	—
	19f	HTD	0.197	5	102	454	—	—	—	—
	—	—	0.315	8	178	792	—	—	—	—
	19g	—	0.079	2	28	111	—	—	—	—
	19h	—	0.118	3	114	507	—	—	—	—
	19i	—	0.197	5	160	712	—	—	—	—
	—	—	0.315	8	300	1360	—	—	—	—
	—	—	0.501	14	650	2881	—	—	—	—
	19j	T	0.096	2.5	70	312	—	—	—	—
	19k	—	0.197	5	209	930	—	—	—	—
	19l	—	0.394	10	405	1800	—	—	—	—

*Urethane w/Steel Cords. NOTE: For thinner belt widths, less than 1", the tension must be derated since the tension cords on the sides are not complete loops.

TECHNICAL SECTION