

### 4.3.10 DISEÑO DE UÑA DE SEPARACIÓN

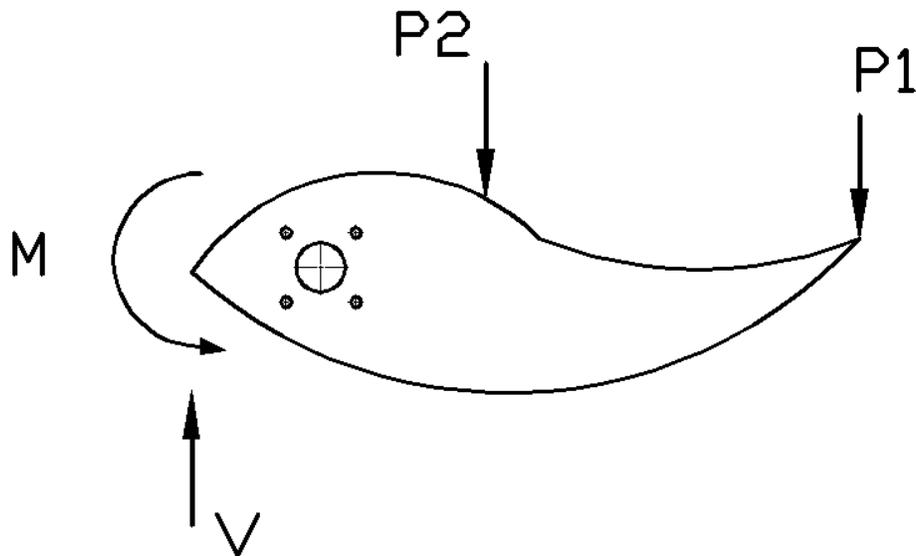


Figura 4.71 DCL uña

$P1 := 790$	N	$P1$ Fuerza que ejercer las varillas máximo
$d1 := 655$	mm	$d1$ distancia a la fuerza que ejercen las varillas
$P2 := 116$	N	$P2$ Fuerza propia del peso de la uña mínimo
$d2 := 200$	mm	$d2$ distancia al peso de la uña

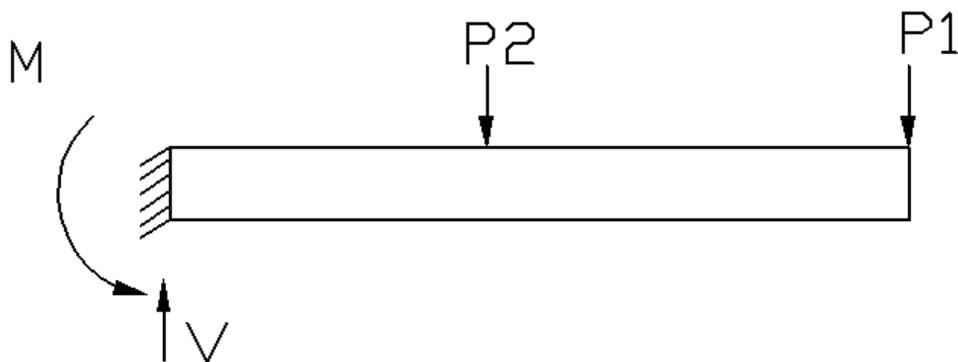


Figura 4.72 DCL uña como viga en voladizo

## Sumatorio de fuerzas y momentos

Para el estudio de diseño de la uña, se toma como una viga en voladizo de forma común, con el fin de simplificar la interpretación de los datos.

$$\Sigma F_x := 0$$

$$\Sigma F_y := 0$$

$$\Sigma M_A := 0$$

$$V := P_1 + P_2$$

$$M := P_1 \cdot d_1 + P_2 \cdot d_2$$

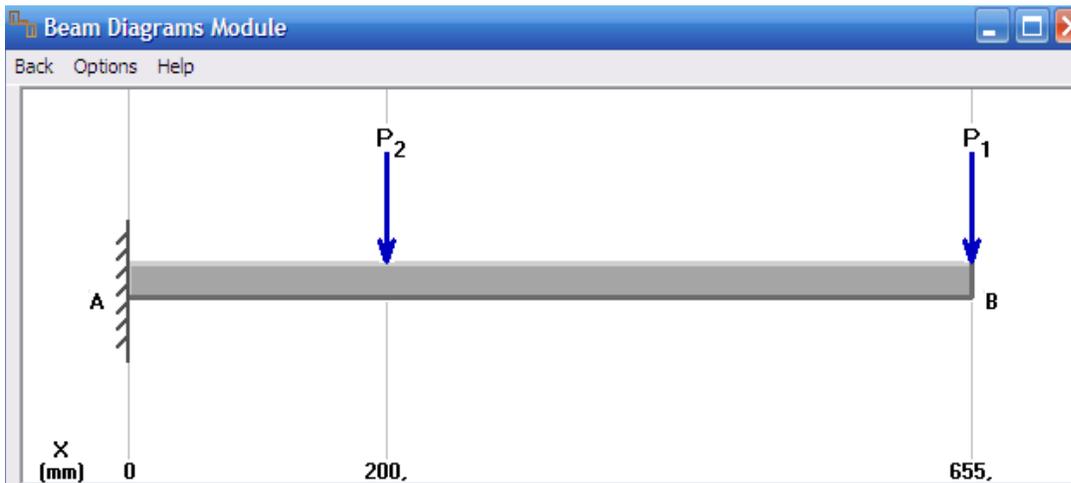
$$V = 906 \quad \text{N}$$

$$M = 5.407 \times 10^5 \quad \text{N}\cdot\text{mm}$$

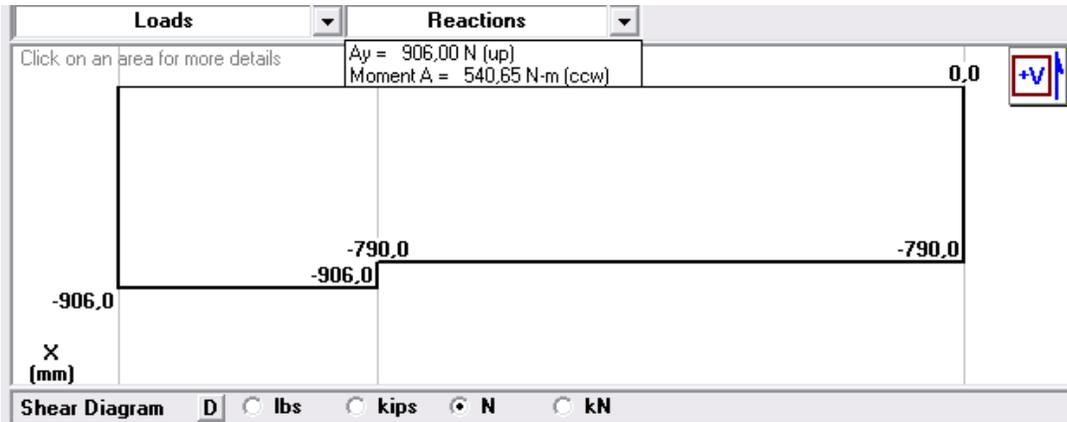
M Momento máximo para el diseño de la uña

V Cortante máximo para el diseño de la uña

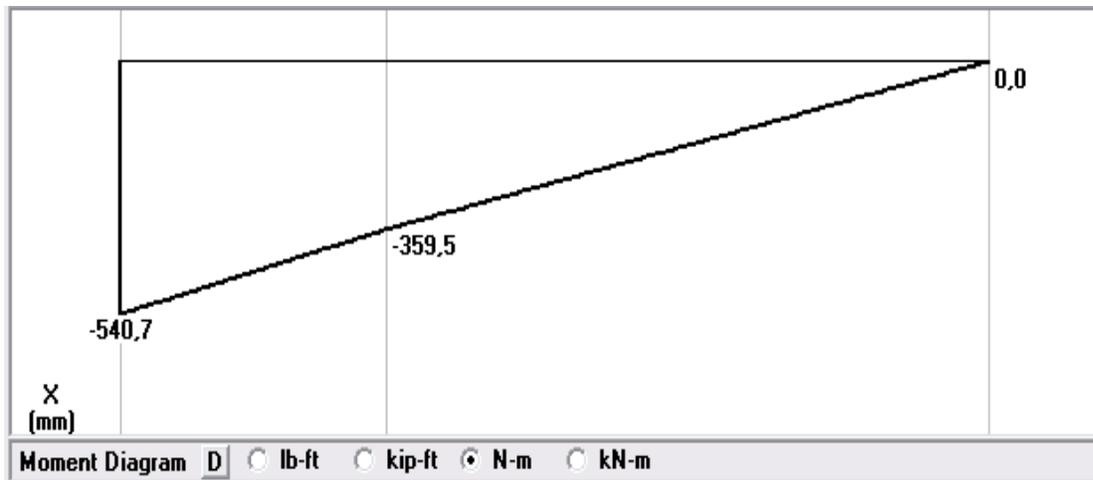
## Diagramas de fuerzas



## Diagrama de Fuerza Cortante



## Diagrama de Momento Flector



## Sección transversal de la uña

Tabla en Excel donde se encuentran los datos de las variaciones de las alturas de la sección transversal de la uña, con la que se encuentran las variaciones de los momentos y el momento de inercia, para calcular el esfuerzo normal producido por el momento flector para encontrar el punto crítico de la sección.

Tabla 4.5 Esfuerzos a diferentes secciones de la uña

<b>h</b>	<b>I</b>	<b>x</b>	<b>Momentos</b>	<b>Esfuerzo</b>
213.39	10283587.9	660	544600	5.650
226.16	12242492.9	640	526480	4.863
236.53	14004937.3	620	508360	4.293
244.6	15487874.9	600	490240	3.871
250.4	16615960.4	580	472120	3.557
253.98	17338879.6	560	454000	3.325
255.32	17614770.2	540	435880	3.159
254.4	17425040.5	520	417760	3.050
251.16	16767715.6	500	399640	2.993
245.48	15655639.7	480	381520	2.991
237.22	14127859.9	460	363400	3.051
226.14	12239245.3	440	345280	3.190
211.91	10071098.2	420	327160	3.442
194	7727298.07	400	309040	3.879
181.32	6308986.62	380	290920	4.181
172.06	5390911.85	360	272800	4.353
163.01	4584217.53	340	254680	4.528
154.12	3874355.57	320	236560	4.705
145.34	3249211.21	300	218440	4.886
136.64	2699951.95	280	200320	5.069
127.99	2218965.72	260	182200	5.255
119.33	1798338.31	240	164080	5.444
110.64	1433372.2	220	145960	5.633
101.86	1118493.57	200	127840	5.821
92.97	850454.273	180	109720	5.997
83.9	625040.786	160	91600	6.148
74.61	439555.375	140	73480	6.236
65.03	291047.409	120	55360	6.185
55.09	176946.017	100	37240	5.797
44.7	94524.6427	80	19120	4.521
33.76	40722.0646	60	1000	0.415
22.13	11470.0871	40	-17120	-16.515
9.64	948.098756	20	-35240	-179.155
0	0	0	-53360	0.000

Para los cálculos de la uña se toma en cuenta que la sección transversal varía en su altura, manteniéndose constante el ancho, como se muestra en la figura.

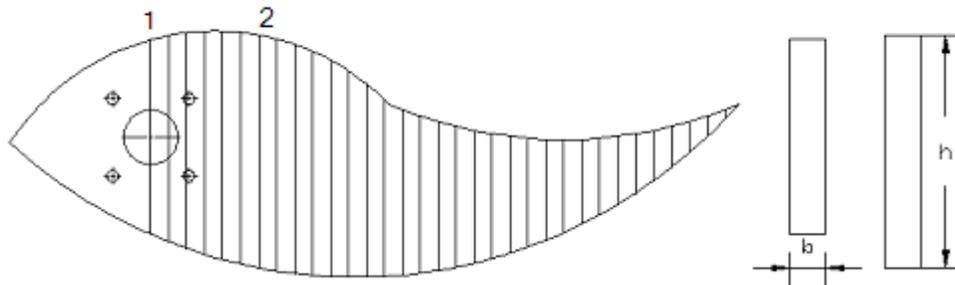


Figura 4.73 Sección transversal de la uña

### Cálculos en el punto 1

El **Punto 1** se encuentra al inicio de la uña, y de acuerdo a la grafica momento vs distancia es el punto donde se produce el momento máximo, del corte de la sección transversal se obtiene:

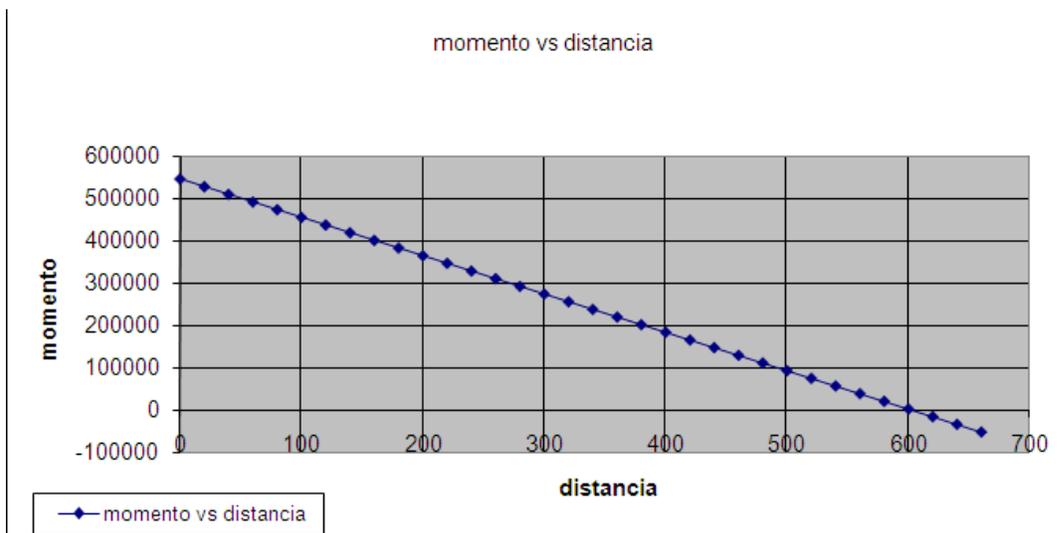


Figura 4.74 Grafica Momento distancia

### Calculo para fuerza y momento máximo

$$P_{\max} := V \quad P_{\max} = 906 \quad N$$

$$M_{\max} := M \quad M_{\max} = 5.407 \times 10^5 \quad Nmm$$

$h1 := 213.39$	mm	Altura de la uña
$b1 := 12.7$	mm	Ancho de la uña
$I1 := \frac{b1 \cdot h1^3}{12}$		Momento de inercia
$I1 = 1.028 \times 10^7$	mm <sup>4</sup>	
$A1 := b1 \cdot h1$		Área de la sección transversal de la uña
$A1 = 2.71 \times 10^3$	mm <sup>2</sup>	
$y1 := \frac{h1}{2}$		
$y1 = 106.695$	mm	Distancia de la línea neutra al punto más extremo de la sección
$\sigma_{x1} := \frac{M_{max} \cdot y1}{I1}$		Esfuerzo Normal
$\sigma_{x1} = 5.609$	MPa	
$\tau_{xy1} := \frac{3 \cdot V}{2 \cdot A1}$		Esfuerzo Cortante en viga rectangular es máximo ec.NORTON 4.14b
$\tau_{xy1} = 0.501$	MPa	

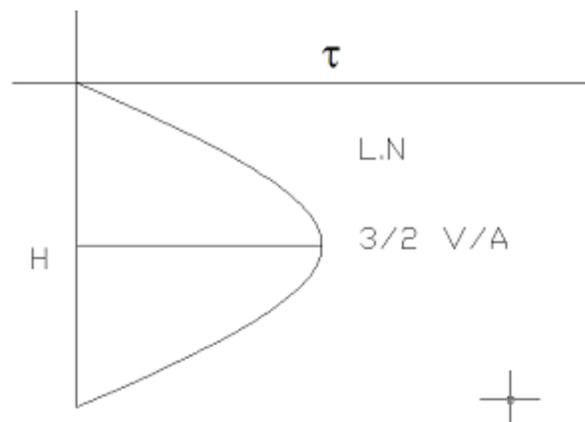


Figura 4.75 Esfuerzo cortante en viga rectangular NORTON pag 199.

## Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo

$$\sigma_{eqmax} := \sqrt{\sigma_{x1}^2 + 4\tau_{xy1}^2}$$

$$\sigma_{eqmax} = 5.698 \quad \text{MPa}$$

## Calculo para fuerza y momento mínimo

$$P_{min} := P2 \quad P_{min} = 116 \quad \text{N}$$

$$M_{min} := 116 \cdot 200 \quad M_{min} = 2.32 \times 10^4 \quad \text{Nmm}$$

$$I1 := \frac{b1 \cdot h1^3}{12} \quad \text{Momento de inercia}$$

$$I1 = 1.028 \times 10^7 \quad \text{mm}^4$$

$$A1 = 2.71 \times 10^3 \quad \text{mm}^2 \quad \text{Área de la sección transversal de la uña}$$

$$y1 := \frac{h1}{2}$$

$$y1 = 106.695 \quad \text{mm} \quad \text{Distancia de la línea neutra al punto más extremo de la sección}$$

$$\sigma_{x1} := \frac{M_{min} \cdot y1}{I1} \quad \text{Esfuerzo Normal}$$

$$\sigma_{x1} = 0.241 \quad \text{MPa}$$

$$\tau_{xy1} := \frac{3 \cdot P_{min}}{2 \cdot A1} \quad \text{Esfuerzo Cortante en viga rectangular es máximo ec.NORTON 4.14b}$$

$$\tau_{xy1} = 0.064 \quad \text{MPa}$$

## Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo

$$\sigma_{eqmin} := \sqrt{\sigma_{x1}^2 + 4\tau_{xy1}^2}$$

$$\sigma_{eqmin} = 0.273 \quad \text{MPa}$$

## Material para diseño de uña Acero SAE 1040

Propiedades físicas del Acero SAE 1040 al cual se le debe realizar un tratamiento de revenido

$S_y := 380$  Limite de fluencia MPa

$S_u := 630$  Limite de rotura MPa Tabla de aceros. Anexos

### 4.3.10.1 Diseño a fatiga

$\sigma_{eqmax} = 5.698$  [MPa]

$\sigma_{eqmin} = 0.273$  [MPa]

$$\sigma_{eqm} := \frac{\sigma_{eqmax} + \sigma_{eqmin}}{2}$$

$\sigma_{eqm} = 2.986$  [MPa]

$$\sigma_{eqa} := \frac{\sigma_{eqmax} - \sigma_{eqmin}}{2}$$

$\sigma_{eqa} = 2.713$  [MPa]

$k_t := 1$  por ser material dúctil  $k_t = 1$

$$\sigma_{eqM} := k_t \cdot \sigma_{eqm}$$

$\sigma_{eqM} = 2.986$  [MPa]

$q := 0.8$  Norton p.392 Fig.(6-36 parte 1)

$K_t := 2$  Norton p.1010 Fig. (E-9)

$k_f := 1 + q \cdot (K_t - 1)$  Norton p.390 Ec (6.11b)

$k_f = 1.8$

$$\sigma_{eqA} := k_f \cdot \sigma_{eqa}$$

$$\sigma_{eqA} = 4.883 \quad [\text{MPa}]$$

### GOODMAN

$$\frac{Su}{FS} = \sigma_{eqM} + \frac{Su}{Se} * \sigma_{eqA}$$

$$Su = 630 \quad [\text{Mpa}]$$

$$Se = K_{carga} * K_{sup} * K_{ta} * SE'$$

$$SE' := 0.5 \cdot Su$$

$$SE' = 315 \quad [\text{MPa}]$$

$$K_{carga} := 0.7$$

$$K_{sup} := 4.51 \cdot (Su^{-0.265})$$

$$K_{sup} = 0.817$$

$$K_{ta} = 1.189d^{-0.097}$$

$$d = \sqrt{\frac{A_{95}}{0.0766}}$$

$$b1 = 12.7 \quad [\text{mm}]$$

$$h1 = 213.39 \quad [\text{mm}]$$

$$A_{95} := 2 \cdot 0.05b1 \cdot h1$$

$$A_{95} = 271.005 \quad [\text{mm}^2]$$

$$d := \sqrt{\frac{A_{95}}{0.0766}}$$

$$d = 59.48$$

[mm]

$$K_{ta} := 1.189 \cdot d^{-0.097}$$

Kcarga: Factor de carga

Ksup: Factor de acabado superficial

Kta: Factor de tamaño

SE': Limite de resistencia a la fatiga

Norton pág. 376

Norton pág. 378 tabla 6.3

Norton pág. 377

Norton pág. 378

$$K_{ta} = 0.8$$

$$S_e := K_{carga} \cdot K_{sup} \cdot K_{ta} \cdot S_e'$$

$$S_e = 144.154 \quad [\text{MPa}]$$

$$FS := \frac{S_u}{\sigma_{eqM} + \frac{S_u}{S_e} \cdot \sigma_{eqA}}$$

$$FS = 25.898$$

#### 4.3.10.2 Diseño por Rigidez

##### Viga en voladizo con carga concentración

La uña se comporta como una viga en voladizo, por tanto para simplificar su estudio procedemos a realizar el diseño por rigidez como muestra la figura, donde varia la longitud(L), el ancho (b) y la altura (h).

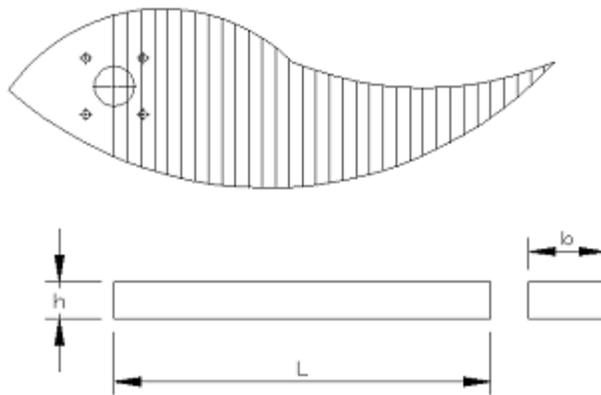


Figura 4.76 Esquema de uña para diseño por rigidez

Para obtener la deformación de la uña se realizan los cálculos de utilizando Espesores de diferente magnitud a diferentes fuerzas transversales.

La fuerza transversal F, es la que se encarga de deformar la viga, esta fuerza también varia de pendiendo de la fuerza que ejercen las varillas al momento de la separación

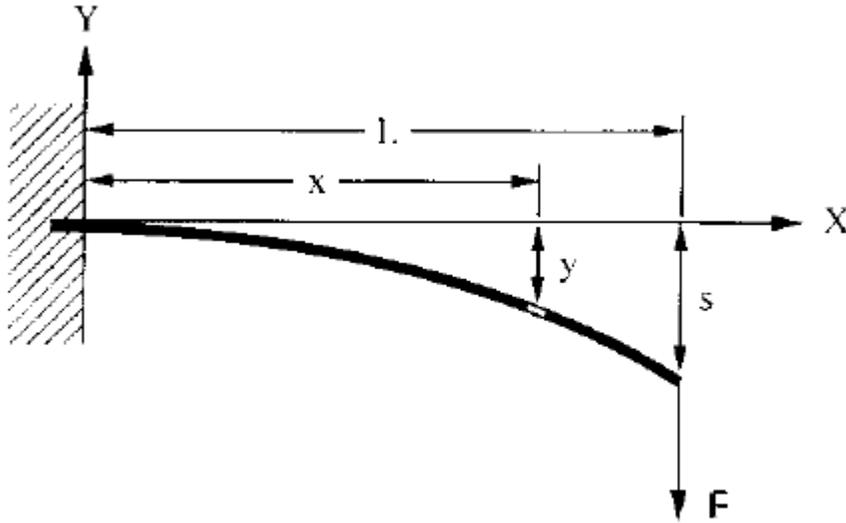


Figura 4.77 Deflexión de la viga

### Calculo de la fuerza lateral

$$w_a := 790$$

N      Peso de las varillas

$$w_{ax} := w_a \cdot \sin\left(10 \cdot \frac{\pi}{180}\right)$$

$$w_{ax} = 137.182$$

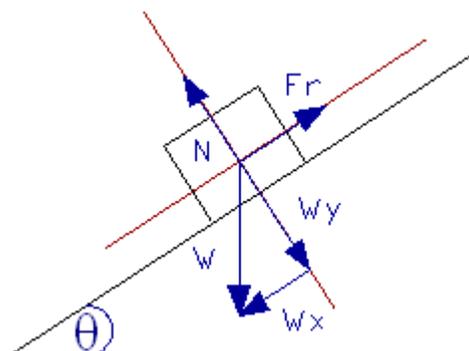
N      Componente en x del peso de la varilla

$$w_{ay} := w_a \cdot \cos\left(10 \cdot \frac{\pi}{180}\right)$$

$$w_{ay} = 777.998$$

N

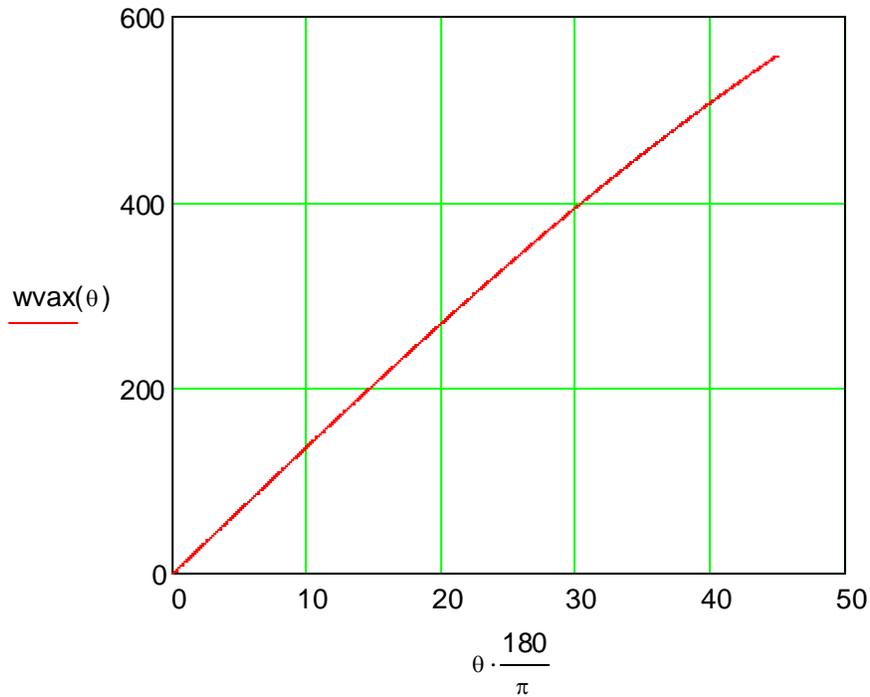
Componente en y del peso de la varilla



Grafica de la variación de la fuerza transversal respecto al ángulo de desfase de 10 grados entre las uñas

$$\theta := 0,001 .. \frac{\pi}{4}$$

$$w_{\max}(\theta) := w_a \cdot \sin(\theta)$$



**Figura 4.78 Grafica de la variación de la fuerza**

Los cálculos que se realizan a continuación son con una base ( $b=12.7\text{mm}$ ) constante, los parámetros altura ( $h$ ) longitud ( $L$ ) varían, ver tabla de resultados

$L1 := 655$	mm	Longitud promedio de la viga donde existe mayor deflexión
$F_{tra} := 138$	N	Fuerza transversal máxima que debería soportar la uña
$E_a := 207000$	MPa	Modulo de Young
$br1 := 12.7$	mm	
$hr1 := 44.7$	mm	
$I_r := \frac{br1 \cdot hr1^3}{12}$		Momento de inercia

$$I_r = 9.452 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$\delta_r := \frac{F_{tra} \cdot L_1^3}{3 \cdot E_a \cdot I_r} \quad \text{Formula de la deflexión NORTON apéndice D}$$

$$\delta_r = 0.661 \quad \text{mm} \quad \text{Deflexión máxima que soporta la viga con un ancho de 12.7 mm}$$

Cálculos con la base  $b=6.35$  mm constante, la altura se toma del diseño de rigidez de la uña y la misma longitud del cálculo anterior

$$b_{r2} := 6.35 \quad \text{mm}$$

$$h_{r2} := 44.7 \quad \text{mm}$$

$$I_{r2} := \frac{b_{r2} \cdot h_{r2}^3}{12}$$

$$I_{r2} = 4.726 \times 10^4 \quad \text{mm}^4$$

$$\delta_{u2} := \frac{F_{tra} \cdot L_1^3}{3 \cdot E_a \cdot I_{r2}} \quad \text{Formula de deflexión}$$

$$\delta_{u2} = 1.321 \quad \text{mm} \quad \text{Deflexión máxima que soporta la viga con un ancho de 6.35}$$

A mayor espesor de la uña, menor es la deformación, por tanto se llega a la conclusión que el ancho de la uña debe ser  $b= 12.7\text{mm}$  para diseño por rigidez

### **Viga en voladizo con una carga uniformemente distribuida**

El diseño de la viga con carga uniforme es más real, ya que el peso de las varillas se encuentran distribuidas a lo largo de la uña de separación, por tanto para el diseño por rigidez se tiene.

$$\text{masa} := 6.692 \quad \text{Kg/m} \quad \text{Tabla de propiedades físicas de las varillas fabricadas en ANDEC. Anexos}$$

$$N_{var} := 12 \quad \text{Varillas que levanta la uña de separación}$$

$d_{mov} := 1$  m Segmento (longitud) de la varilla que levanta, es decir la separación que existe entre las uñas  
 $L_u := 655$  mm Longitud de la uña  
 $L_{var} := 32 \cdot 12$  mm Longitud total de la carga distribuida por el peso que ejercen las varillas de diámetro 32 mm  
 $L_{var} = 384$  mm  
 $a := L_u - L_{var}$  Distancia donde se encuentran las varillas (carga distribuida)  
 $a = 271$  mm

$$W_{masa} := masa \cdot d_{mov} \cdot N_{var}$$

$W_{masa} = 80.304$  Kg Peso total de varillas que levanta la uña

$$W_{var} := \frac{W_{masa} \cdot 9.81}{L_{var}}$$

$W_{var} = 2.052$  N/mm El peso es una carga distribuida a lo largo de la uña

$$W_{varx} := W_{var} \cdot \sin\left(10 \cdot \frac{\pi}{180}\right)$$

Fuerza transversal que soporta la uña

$$W_{varx} = 0.356 \quad \text{N/mm}$$

### Carga

$$R_1 := W_{var} \cdot (L_u - a)$$

Norton pág. 1002 apéndice A

$$R_1 = 787.782 \quad \text{N}$$

### Cortante

$$V_{max} := R_1$$

Norton pág. 1002 apéndice A

$$V_{max} = 787.782 \quad \text{N}$$

### Momento

$$M_{max} := \frac{W_{varx} \cdot L_u^2}{2}$$

Norton pág. 1002 apéndice A

$$M_{\max} = 7.642 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

### Deflexión para un ancho de uña de 12.7mm

$$E := 207000 \text{ MPa}$$

$$bd := 12.7 \text{ mm} \quad hd := 44.7 \text{ mm}$$

$$I_d := \frac{bd \cdot hd^3}{12} \quad \text{Momento de inercia}$$

$$I_d = 9.452 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$Lu = 655 \text{ mm} \quad \text{Por motivos de cálculos la distancia de la uña a considerar es de 655 mm}$$

$$y_{\max} := \frac{W_{\text{varx}} \cdot Lu^4}{8 \cdot E \cdot I_d}$$

$$y_{\max} = 0.419 \text{ mm} \quad \text{Deflexión máxima real que soporta la uña}$$

### Deflexión para un ancho de uña de 6.35mm

$$bd := 6.35 \text{ mm} \quad \text{Norton pág. 1002 apéndice A}$$

$$hd := 44.7 \text{ mm}$$

$$I_d := \frac{bd \cdot hd^3}{12} \quad \text{Momento de inercia}$$

$$I_d = 4.726 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$Lu = 655 \text{ mm} \quad \text{por motivos de cálculos la distancia de la uña a considerar es de 655 mm}$$

$$y_{\max} := \frac{W_{\text{varx}} \cdot Lu^4}{8 \cdot E \cdot I_d}$$

$$y_{\max} = 0.838 \text{ mm} \quad \text{Deflexión máxima real que soporta la uña}$$

La deformación de 0.41 mm para un ancho de la viga de 12.7 mm y la deformación de 0.83 mm para un ancho de viga de 6.35mm obtenida de los cálculos con carga distribuida uniformemente se acerca al comportamiento real de la viga, la cual se compara con la obtenida en los cálculos de una viga en voladizo con carga puntual la cual es de 0.45 mm y 0.91 respectivamente, de donde se puede concluir que la uña soporta la flexión producida por el peso de las varillas de 790 N.

#### 4.3.10.3 Diseño por aplastamiento de la uña

$$A_{pro} = D \times t$$

D Diámetro del perno  
t espesor de la uña

$$A_{pro} := 12.7 \cdot 12.7$$

$$A_{pro} = 161.29 \quad \text{mm}^2$$

$$\sigma_{aplas} := \frac{V}{A_{pro}}$$

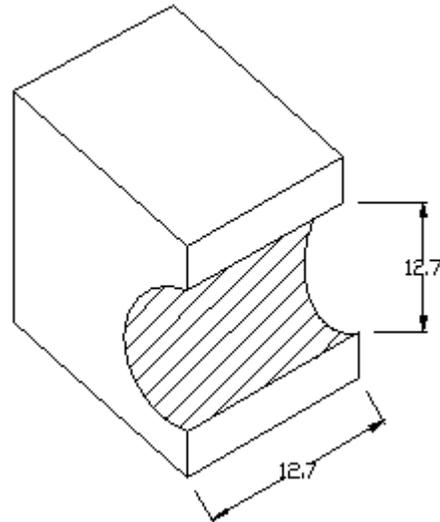
$$\sigma_{aplas} = 5.617 \quad \text{MPa}$$

$$\tau_{fl} := 0.577 \cdot S_y$$

$$\tau_{fl} = 219.26 \quad \text{MPa}$$

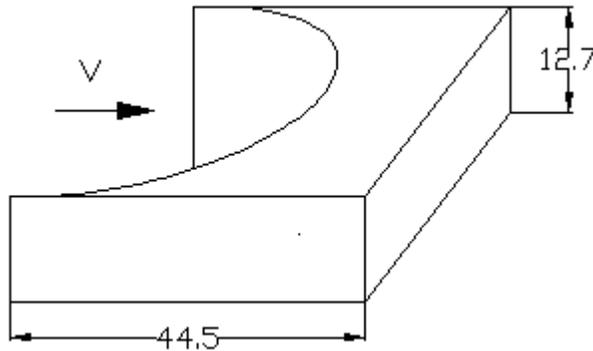
$$F_s := \frac{\tau_{fl}}{\sigma_{aplas}}$$

$$F_s = 39.034$$



El diseño por aplastamiento no es crítico, se obtienen un factor de seguridad de 39, el diseño crítico de la uña es por fatiga, el área de aplastamiento no es tan pequeña, por tanto resiste la fuerza de aplicación

#### 4.3.10.4 Diseño por corte lateral de la uña



$$t1 := 12.7 \quad \text{mm}$$

Espesor de la uña

$$ed := 44.5 \quad \text{mm}$$

Separación del centro del agujero  
al borde de la uña

$$\tau_{\text{cort}} := \frac{V}{2(ed \cdot t1)}$$

$$\tau_{\text{cort}} = 0.802 \quad \text{MPa}$$

$$F_{\text{Scorte}} := \frac{\tau_{\text{fl}}}{\tau_{\text{cort}}}$$

$$F_{\text{Scorte}} = 273.543$$

Factor de seguridad

La uña no falla por corte lateral, ya que el espesor de este es de 12.7 debido al diseño por rigidez.