

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

Título: “Diseño mecánico de una máquina sembradora de semillas de quinua con una capacidad de siembra de 01 hectárea por hora y traccionada por un tractor agrícola de 55HP”

Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, que presenta el bachiller:

ANEXOS

Luis Alonso Salvá Ramos

ASESOR: Mg. Ing. Jorge Hernán Alencastre Miranda

Lima, octubre de 2015

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: SISTEMA DOSIFICACIÓN DE ABONO

ANEXO 2: CÁLCULOS DE LA VERIFICACIÓN DE LA RODADURA DE LA MÁQUINA VACÍA E INCLINACIÓN 30°

ANEXO 3: CÁLCULOS DE LA VERIFICACIÓN DE LA RODADURA DE LA MÁQUINA LLENA E INCLINACIÓN 30°

ANEXO 4: TABLAS DE CONCENTRADORES DE ESFUERZOS

ANEXO 5: VERIFICACIÓN DE FALLA DE LOS TORNILLOS PRISIONEROS

ANEXO 6: ENGANCHE Y ASEGURAMIENTO DE PROFUNDIDAD DE SIEMBRA

ANEXO 7: VERIFICACIÓN DE VOLCADURA DEL TRACTOR

ANEXO 8: MATERIAL AISI 1045

ANEXO 9: MATERIAL DIN 20 Mn V 6

ANEXO 10: MATERIAL AISI 4140

ANEXO 11: PERFIL EN L 2"X2"X1/4"

ANEXO 12: PLATINA 1/4"X2"

ANEXO 1

SISTEMA DOSIFICACION DE ABONO

Dosificador: rodillo acanalado

Como su propio nombre lo indica se trata de un cilindro en cuya superficie se encuentran unos compartimientos regularmente dispuestos, que en su giro recogen pequeñas cantidades de semillas de la parte inferior de la tolva para ser descargadas en el extremo superior del tubo de caída.

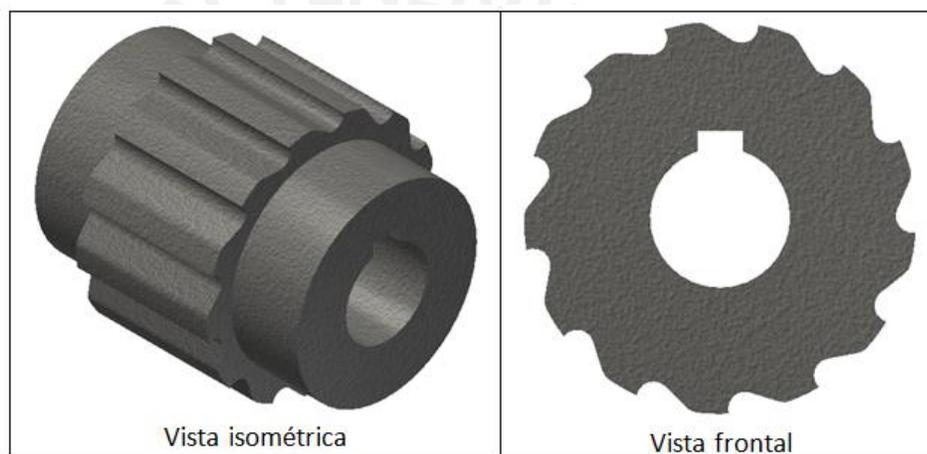


Figura 1. Cilindro acanalado recto.

Densidad de siembra:

En esta parte, se definirá la cantidad de abono mínimo necesario para cubrir 01 Ha de extensión.

$$Cant. de semillas a sembrar = Cant. de plantas total \times Cant. semillas por planta \quad (1.1)$$

Para calcular la cantidad total de plantas sembrada por **UNO** de los módulos se utiliza las longitudes de la sección A (ec. 3.4), sección C (ec. 3.9) y el espacio que debe haber entre planta y planta.

$$Cant. de plantas total = \frac{Longitud\ sección\ A + Longitud\ sección\ C}{e_{plantas}} \quad (1.2)$$

Donde

$$e_{plantas} = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m (dato de la sección 2.3.4)}$$

Reemplazando en (3.2)

$$\text{Cant. de plantas total} = \frac{3\,829,4 + 200}{0,15} \cong 26\,862 \text{ PLANTAS}$$

Se sabe que *Volumen abono por planta* $\sim 908 \text{ mm}^3$. Reemplazando en la ecuación 3.23:

$$\text{Volumen de abono a depositar} = 26\,862 \times 908 = 24\,390\,696 \text{ mm}^3 *$$

*Esta es la cantidad de abono depositado por uno (01) de los módulos en 01 hectárea.

Ahora, usando la densidad del abono ρ , se obtendrá la masa total de abono usada en el terreno:

$$\text{Masa de abono} = \text{Volumen de abono a depositar} \times \rho \quad (1.3)$$

$$\text{Masa de abono} = 24\,390\,696 \text{ mm}^3 \times 1\,635 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Masa de abono} = 39,87 \text{ kg}$$

Aplicando un factor de 1,25 para evitar posibles pérdidas y falta de abono durante la siembra.

$$\text{Masa de abono por módulo} = 39,87 \times 1,25 \cong 49,8 \text{ kg}$$

Por lo tanto, cada módulo de siembra necesitará aproximadamente 50 kg de abono, y como la máquina contará con 3 módulos, se obtiene una densidad de siembra igual a 150 kg / Ha.

Número de alvéolos necesarios:

El número de alvéolos es la principal característica del dosificador, ya que permitirá obtener el espacio necesario entre cada puesta de abono a lo largo del surco. Y como se

busca que la semilla se deposite en el mismo lugar donde cayó el abono, el paso del dosificador de abono debe ser igual al paso del dosificador de semillas. Por lo tanto el número de alvéolos será el mismo, asumiendo que los dos giran a la misma velocidad (RPM).

$$\text{Número de alvéolos} = 13$$

Volumen de los alvéolos:

La dosis distribuida por hectárea es:

$$D = 0,6 \frac{\delta \cdot V \cdot n_r \cdot n_v \cdot Z}{a \cdot v} \text{ (Kg/Ha)} \quad (1.4)$$

Donde:

δ : Densidad de abono (g/cm^3)

V : Volumen de los alvéolos del rodillo en la posición escogida (cm^3/rev)

n_r : Velocidad de rotación del rodillo (r/min). Este valor oscila entre 30 y 50 RPM

n_v : Coeficiente de llenado que varía entre 0,6 y 0,85

Z : Número de dosificadores de la máquina

v : Velocidad de trabajo (Km/h)

a : Anchura de trabajo (m)

Reemplazando con los valores de la tablaen la ecuación 1.4:

Tabla 1. Tabla con valores para ec. 1.4

Dato	Valor	Unidades
δ	1,635	g/cm^3
n_r	41,1	RPM
n_v	0,85	-

Z	3	-
v	5	Km/h
a	2,4	m

Reemplazando en (1.4):

$$119,6 = 0,6 \times \frac{1,635 \times V \times 41,1 \times 0,85 \times 3}{2,4 \times 5}$$

Se obtiene:

$$V = 13,96 \text{ cm}^3/\text{rev}$$

Luego:

$$\text{Volumen de un (01) alvéolo} = \frac{V}{\text{Número de alvéolos}} \quad (1.5)$$

$$\text{Volumen de un (01) alvéolo} = \frac{13,96 \text{ cm}^3/\text{rev}}{13 \text{ alvéolos/rev}}$$

$$\text{Volumen de un (01) alvéolo} = 1073 \text{ mm}^3$$

Verifiquemos si este volumen satisface el mínimo necesario para 1 planta:

$$\text{Volumen de abono por planta} = 908 \text{ mm}^3 \quad (1.6)$$

Comparando los resultados de las ecuaciones (1.5) y (1.6)

$$1073 \sim 908 \text{ mm}^3 \text{ OK!}$$

Torque en el dosificador de semilla

El dosificador necesita que se le transmita un Momento Torsor M (figura 2) suficiente para conseguir su giro y el del abono.

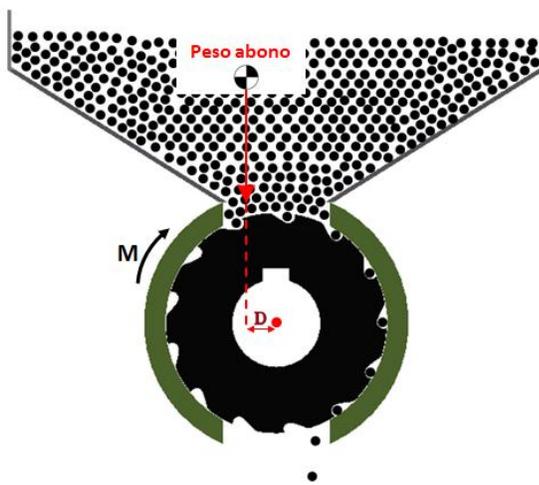


Figura 2. Rodillo acanalado dentro de sistema dosificador

Analizando la cinética del dosificador, tenemos el siguiente DCL:

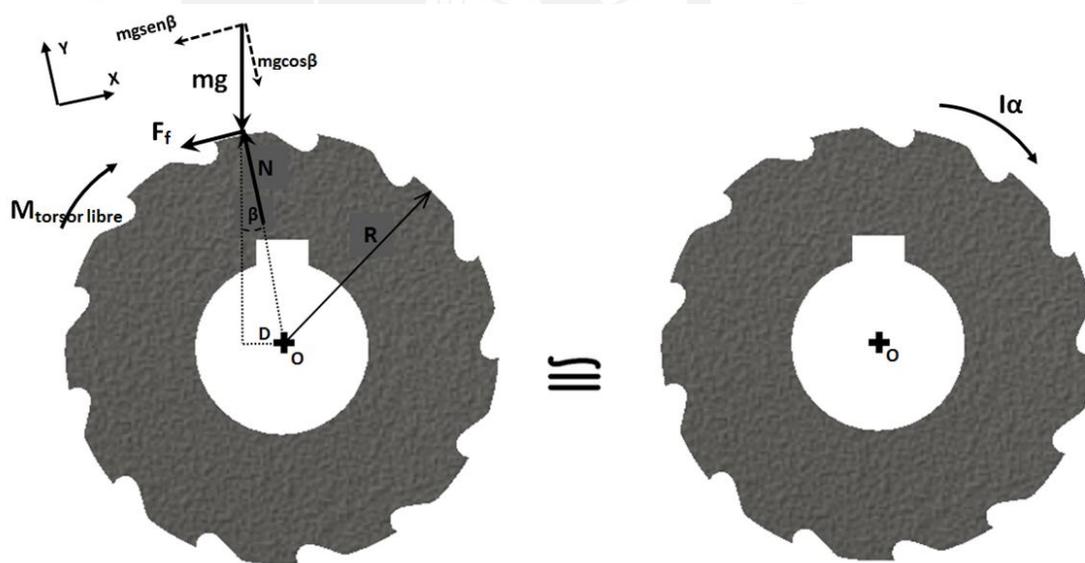


Figura 3. DCL rodillo acanalado

$$\sum F_y: \quad N - mg \cos \beta = 0 \tag{1.7}$$

$$\sum M_O: \quad I \cdot \alpha = M_{torsor\ libre} - F_f \cdot R + mg \sin \beta \cdot R \tag{1.8}$$

Debido a la configuración del sistema dosificador, se asumirá el peor de los casos ($\beta=0^\circ$). Por consiguiente $mg\cos\beta = mg$ (esto significa que el centro de gravedad del total de abono pasa por el eje del rodillo acanalado).

De (1.8)

$$M_{t\text{orsor libre}} = I \cdot \ddot{\theta} + F_f \cdot R \tag{1.9}$$

Donde:

Radio de rueda (R): $R = 0,035 \text{ m}$

Inercia de la rueda (I): para el cálculo de este parámetro, se aproxima el rodillo acanalado a la forma de un cilindro sólido:

$$I = \frac{1}{2} m \times R^2 = \frac{1}{2} \times 1,75 \times 0,035^2 = 1,07 \times 10^{-3} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 \tag{1.10}$$

Aceleración angular ($\alpha = \ddot{\theta}$): se asumirá un diferencial de tiempo Δt en que el dosificador alcanza los 4,30 rad/s.

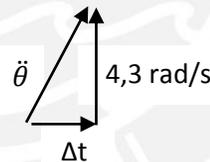


Figura 4. Diagrama vectorial de la aceleración

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.2 para los distintos valores de Δt asumidos.

Tabla 2. Posibles valores de aceleración angular.

Punto	Tiempo Δt (s)	Aceleración (m/s^2)
1	0,5	8,60
2	1,0	4,30
3	1,5	2,87
4	2,0	2,15
5	2,5	1,72
6	3,0	1,43

Se escoge un valor aproximado de $\Delta t = 1$ s (en la que alcanza velocidad de 4,3 rad/s), por lo que $\ddot{\theta} = 4,30$ rad/s²

Fuerza de fricción (F_f): como debe haber movimiento, esta fuerza debe ser la máxima permitida, por lo tanto $F_f = \mu N$. Con $\mu = 0,37$

Normal (N): esta fuerza es igual al peso de las semillas, ya que $\beta = 0^\circ$

$$N = mg = 50 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 490,5 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación (1.9)

$$M_{\text{torsor libre}} = 1,07 \times 10^{-3} \times 4,30 + 0,37 \times 490,5 \times 0,035$$

$$M_{\text{torsor libre}} = 7,41 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Potencia en el dosificador:

La potencia necesaria para que el sistema del dosificador de semilla trabaje es la siguiente:

$$P_{\text{dosificador}} = M_{\text{torsor libre}} \times \omega_{\text{dosificador}} \quad (1.11)$$

$$P_{\text{dosificador}} = 31,86 \text{ W}$$

Cálculo del árbol de transmisión

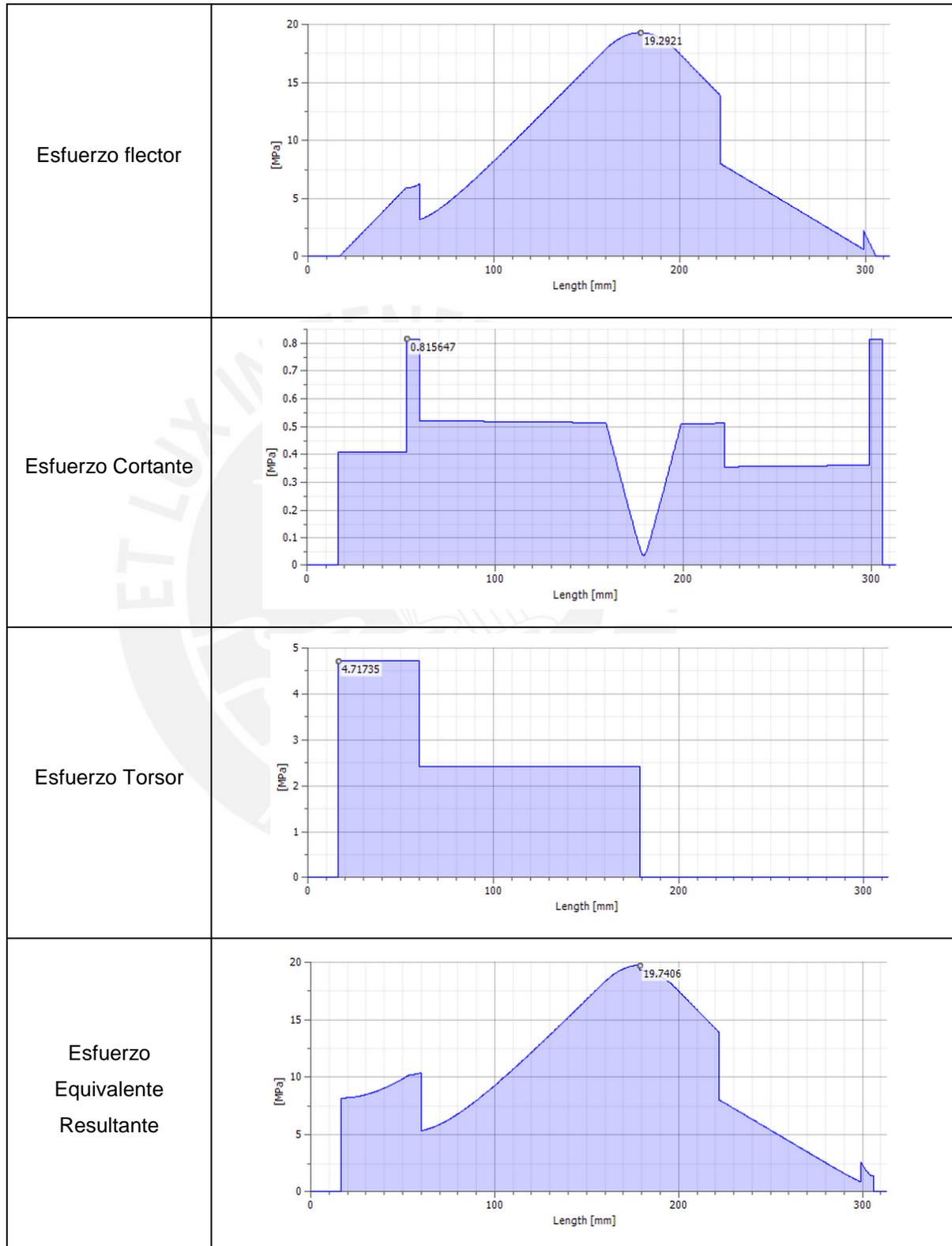
El árbol de transmisión se encarga de transmitir el torque de la rueda dentada (lado cadena) hacia el dosificador. El material del árbol es AISI 1045 (acero de medio carbono y baja aleación utilizado comúnmente para ejes y árboles).

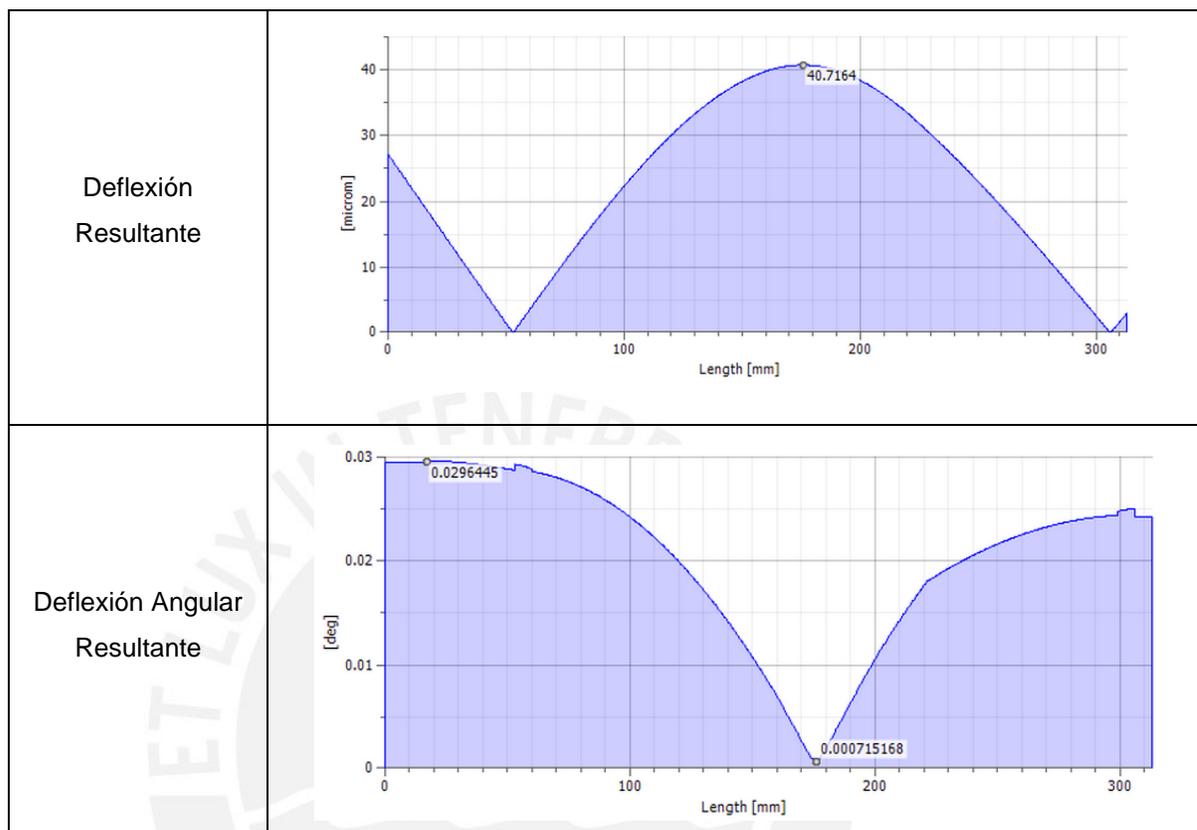
El árbol está sometido a la fuerza tangencial y momento torsor transmitido por la cadena, además de una fuerza y un momento torsor producidos en el dosificador (mitad del eje).

Las reacciones en los apoyos se pueden calcular fácilmente ya que son simétricos respecto al canal chavetero. En la siguiente tabla se muestra el esquema del árbol y sus principales diagramas de carga.

Tabla 3. Diagramas de cargas del árbol de transmisión

<p>Esquema del árbol de transmisión</p>	
<p>DFC – Plano YZ</p>	
<p>DFC – Plano XZ</p>	
<p>DMF-Resultante</p>	





El esfuerzo equivalente de Von-Mises máximo se presenta en la sección donde se ubica el canal chavetero, ya que existen esfuerzos combinados de flexión y torsión, con un valor de 19,7406 MPa, se tiene un factor de seguridad de 19,7 considerando un esfuerzo de fluencia de 390 MPa para el acero AISI 1045. Se puede observar además un momento flector máximo de solo 29,6 Nm, esto debido a las bajas cargas a las que trabaja el árbol. Por otro lado, la deflexión máxima es 0,0407164 mm y se encuentra en el canal chavetero del árbol; esto cumple con la recomendación de 0,5 mm/m para árboles de transmisión. Además, el desplazamiento angular en los apoyos tiene un valor de 0,03° y no sobrepasa el valor máximo de 0,17° permitido para rodamientos rígidos de bolas.

ANÁLISIS DE FATIGA

Se analiza si el árbol sufre una falla por fatiga, para dicho estudio se encontrará sometido a esfuerzos alternantes y pulsantes. Para este análisis se utilizará la expresión de C.

Bach, la cual es una alternativa que no requiere descomponer los esfuerzos en sus componentes alternantes y medios.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma'_f{}^2 + 3 * (\alpha_0 * \tau'_t)^2} \quad (1.12)$$

Donde:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fALT}}{1.73 * \tau_{tPUL}} \quad (1.13)$$

Sin embargo, los esfuerzos de flexión y torsión están influenciados por los coeficientes de fatiga, los cuales son β_K , C_s , C_t , C_{temp} . Por lo cual los esfuerzos aumentados de flexión (σ'_f) y torsión (τ'_f) se determinan con la siguiente ecuación.

$$\sigma'_f = \frac{\beta_f}{C_s C_t C_{temp}} * \sigma_f \quad (1.14)$$

$$\tau'_f = \frac{\beta_t}{C_s C_t C_{temp}} * \tau_t \quad (1.15)$$

Donde el factor de concentración de esfuerzo efectivo (β_K) se determina según el tipo de carga, ya sea de flexión (β_f) o de torsión (β_t), y viene dado por la siguiente fórmula:

$$\beta_K = 1 + \eta * (\alpha_K - 1) \quad (1.16)$$

Donde η es el factor de sensibilidad a la entalla y viene dado por:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{8}{r} * \left(1 - \frac{\sigma_F}{\sigma_B}\right)^3} \quad (1.17)$$

Por último, para verificar que el elemento no falle por fatiga se tiene que cumplir:

$$\sigma_{eq} \leq \frac{\sigma_{fALT}}{FS_{fat}} \quad (1.18)$$

El análisis de fatiga comprende los puntos que se muestran en la siguiente figura:



Figura 5. Puntos analizados a fatiga en el árbol de transmisión

Donde:

1. Cambio de sección para apoyar rodamiento
2. Cambio de sección por anillo de seguridad
3. Cambio de sección por canal chavetero
4. Cambio de sección para apoyar dosificador
5. Cambio de sección para apoyar rodamiento

En la tabla 4 se muestra los resultados del cálculo de factor de seguridad a la fatiga, se obtuvo un valor mínimo de 5.82 en el punto 3 por lo que el componente no falla por fatiga.

Tabla 4. Resultados del análisis por fatiga

PARÁMETRO	SIMBOLO	UNIDADES					
Material	-	-	AISI 1045				
Esfuerzo de fluencia	σ_F	MPa	390				
Esfuerzo de rotura	σ_B	MPa	650				
Esfuerzo alternante de flexión	$\sigma_{f_{ALT}}$	MPa	370				
Esfuerzo pulsante de flexión	$\sigma_{f_{PUL}}$	MPa	620				
Esfuerzo alternante de corte	$\tau_{t_{ALT}}$	MPa	260				
Esfuerzo pulsante de corte	$\tau_{t_{PUL}}$	MPa	340				
Módulo de elasticidad	E	MPa	210000				
Módulo de corte	G	MPa	80000				
ANÁLISIS POR FATIGA			1	2	3	4	5
Esfuerzo de flexión	σ_f	MPa	6	7.5	19	14	2.5
Esfuerzo de torsión	τ_t	MPa	4.7	2.5	2.5	0	0
Coeficiente de fatiga	α_o	-	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Coeficiente de superficie	C_s	-	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Coeficiente de tamaño	C_t	-	0.83	0.80	0.80	0.80	0.83
Coeficiente de temperatura	C_{temp}	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de sensibilidad a la entalla	η	-	0.61	-	-	0.61	0.61
Factor geométrico de conc. de esfuerzo para carga de flexión	α_K	-	1.95	-	-	2.05	2.10
Factor geométrico de conc. de esfuerzo para carga de torsión	α_K	-	1.55	-	-	1.60	1.70

Factor efectivo de concentración de esfuerzo de flexión	β_f	-	1.58	3.50	2.40	1.64	1.67
Factor efectivo de concentración de esfuerzo de torsión	β_t	-	1.34	3.50	1.60	1.37	1.43
Esfuerzo de flexión aumentado	σ'_f	MPa	12.69	36.46	63.33	31.90	5.59
Esfuerzo de torsión aumentado	τ'_t	MPa	8.40	12.15	5.56	0.00	0.00
Esfuerzo equivalente aumentado	σ'_{eq}	MPa	15.64	38.79	63.62	31.90	5.59
Factor de seguridad a la fatiga	FS_{fat}	-	23.65	9.54	5.82	11.60	66.16

Cálculo de la transmisión por chaveta:

Las chavetas son las encargadas de transmitir la potencia entre elementos que estén dispuestos en sentido axial. Para el diseño, se emplearán chavetas según la norma DIN 6885 A.

Para el diseño de la transmisión entre el árbol (cubo) y el dosificador de semillas se debe determinar las especificaciones de la chaveta. Por otro lado, el material del cubo es acero, por lo que su presión de aplastamiento admisible varía de 90 a 100 MPa. Así que para realizar este cálculo se tomará un valor intermedio.

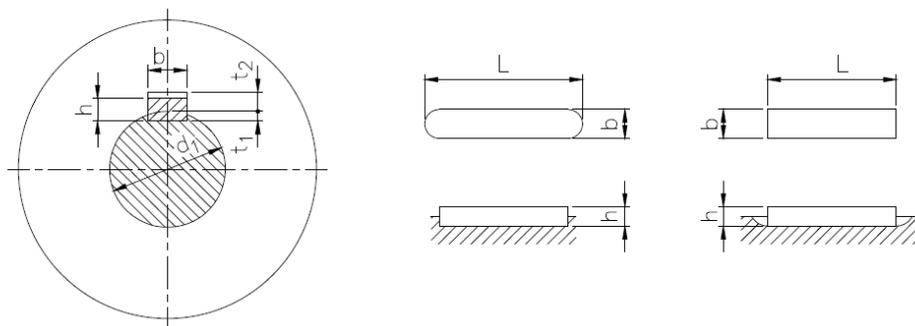


Figura 6. Unión mediante chaveta según DIN 6885

Los parámetros iniciales son los siguientes:

Presión admisible del cubo : $p_{adm} = 95 \text{ N/mm}^2$

Momento torsor a transmitir : $M_t = 7,41 \text{ N.m}$

Diámetro de la sección : $d = 25 \text{ mm}$

En este cálculo no se hallarán todas las dimensiones de la chaveta, debido a que estas ya se encuentran normalizadas, empero se tiene que seleccionar una longitud que cumpla con los requerimientos de resistencia. Expuesto lo anterior, este cálculo se basa en hallar la longitud mínima efectiva que debe poseer dicha chaveta para asegurar una buena transmisión de potencia y evitar una falla por exceso de la presión de aplastamiento. La longitud mínima efectiva se determina mediante la siguiente fórmula:

$$L_{ef} = \frac{2 \times M_t}{d \times p_{adm} \times t} \quad (3.19)$$

Donde “t” es la profundidad que penetra la chaveta en el cubo. Con el diámetro de la sección ($d = 25 \text{ mm}$) ya se tienen valores normalizados que se encuentran en cualquier catálogo DIN 6885, los cuales son:

Ancho de la chaveta (b)	$b = 8 \text{ mm}$
Espesor de la chaveta (h)	$h = 7 \text{ mm}$
Espesor efectivo de la chaveta ($t = h - t_1$)	$t = 3 \text{ mm}$

Con estos datos queda definida la longitud mínima efectiva de la chaveta según la ecuación (3.34):

$$L_{ef} = \frac{2 \times 7,41}{0,025 \times 95 \times 10^6 \times 0,003} = 2,08 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$L_{chaveta} = L_{ef} + b = 2,08 + 8 = 10,08 \text{ mm}$$

Se selecciona la longitud de chaveta de caras planas que se encuentre normalizada y se halle más cerca al valor calculado. En este caso se selecciona una chaveta con una longitud de 18 mm.

La chaveta seleccionada tiene una designación de DIN6885 8x7x18

Selección de los rodamientos:

En esta sección se verificarán los dos rodamientos que van montados como apoyos en el árbol del sistema de dosificación de semillas. Para soportar las cargas en el árbol de

transmisión, se utilizó rodamientos rígidos de bolas obturados SKF 6204-2Z porque requieren poco mantenimiento y no son desarmables (poseen protección para evitar el ingreso de partículas al interior). Además los rodamientos obturados no necesitan relubricación mientras que la temperatura de funcionamiento no exceda los 70 °C y la velocidad de giro esté por debajo del 50% de las velocidades límite que se muestran en las tablas del producto. Las condiciones de operación de la máquina permite que se cumplan estas condiciones por lo tanto se aprovechará esta característica.

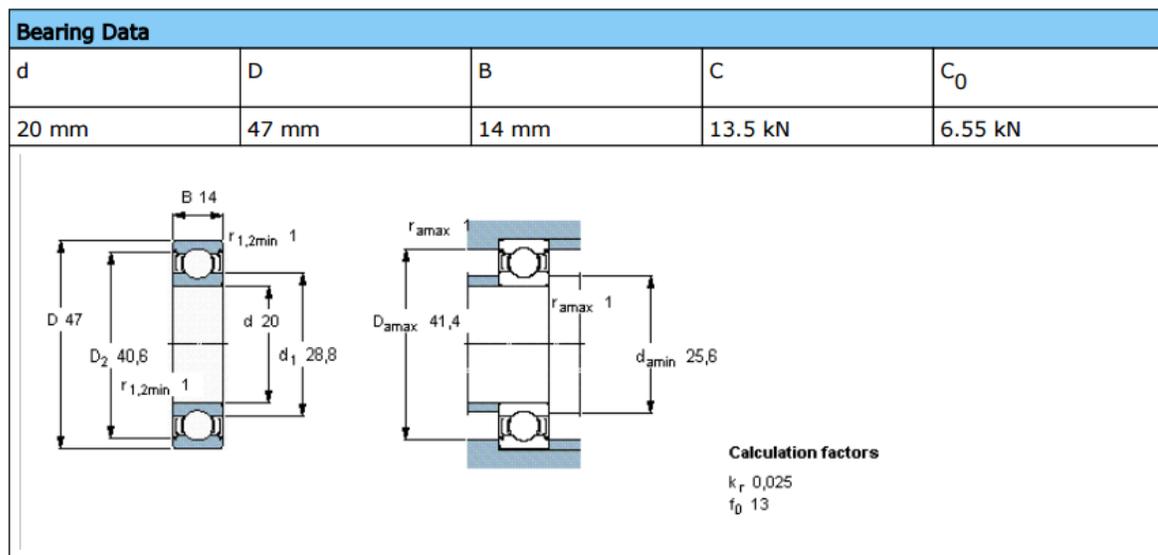


Figura 7. Datos del rodamiento 6204-2Z

Las cargas radiales que se generan en los rodamientos son: 255.9 y 293.3 N. Como los rodamientos son los mismos para el árbol. Se realizará el cálculo de duración de vida para la mayor carga.

Tabla 5. Cálculo de la vida de los rodamientos rígidos de bolas

Rodamiento 6204-2Z		
DATOS DE ENTRADA		
Carga Radial	kN	0.294
Carga Axial	kN	0
Velocidad de rotación de aro interior	r/min	41.1
Temperatura de trabajo	°C	40

Tipo de ambiente de trabajo		Limpieza normal (rodamientos cubiertos)
Grasa (código SKF)		MT47
Viscosidad a 40°C	mm ² /s	70
Viscosidad a 100 °C	mm ² /s	7.3
RESULTADOS		
Vida del rodamiento (L_{10mh})	horas	>1000000
Factor de modificación de ciclo de vida (a _{SKF})		0.16
Relación de viscosidad (k)		0.21
Carga equivalente	kN	0.29
Factor de nivel de contaminación (η _c)		0.07
Viscosidad cinemática requerida para k=1	mm ² /s	330
Vida nominal (L _{10h})	horas	>1000000
Vida de la grasa en rodamientos cubiertos (L ₁₀)	horas	100000
Factor de carga (C/P)		46.6

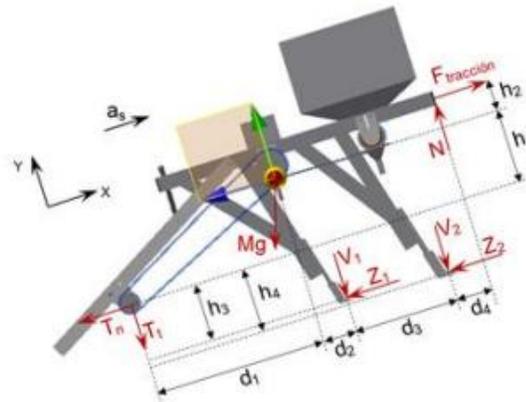
ANEXO 2

CÁLCULOS DE LA VERIFICACIÓN DE LA RODADURA DE LA MÁQUINA VACÍA

Inclinación de los terrenos $\alpha := 30^\circ$ $g := g$

Peso total de la sembradora (modulo) $M := 55.17 \text{ kg}$ $W := M \cdot g = 541.033 \text{ N}$

Coefficiente de fricción entre metal y tierra $\mu := 0.37$



Datos:

$d_1 := 611.5 \text{ mm}$	$h_1 := 261.6 \text{ mm}$	$T_{cad} := 7.56 \text{ N} \cdot \text{m}$
$d_2 := 169.0 \text{ mm}$	$h_2 := 98.5 \text{ mm}$	$V_1 := 54.4 \text{ N}$
$d_3 := 300.0 \text{ mm}$	$h_3 := 207.1 \text{ mm}$	$V_2 := 204.4 \text{ N}$
$d_4 := 144.1 \text{ mm}$	$h_4 := 220.9 \text{ mm}$	$Z_1 := 49 \text{ N}$
$r := 215 \text{ mm}$	$a := 1.39 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{s}}$	$Z_2 := 49 \text{ N}$

Datos de la rueda motriz:

$I := 0.494376 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m} = 0.494 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ $m := 23.578 \text{ lb} = 10.695 \text{ kg}$

$$\theta := \frac{a}{0.215 \text{ m}} = 6.465 \frac{1}{\text{s}^2}$$

$$F_{rod} := \frac{I \cdot \theta + T_{cad}}{r} = 50.029 \text{ N}$$

$$T_n := m \cdot a + m \cdot g \cdot \sin(\alpha) + \frac{I \cdot \theta + T_{cad}}{r} = 117.335 \text{ N}$$

$$A := M \cdot g \cdot ((\cos(\alpha)) \cdot (d_2 + d_3 + d_4) - h_2 \cdot \sin(\alpha))$$

$$B := -M \cdot a \cdot (h_1 + h_2) - Z_1 \cdot (h_1 + h_2 + h_3) - Z_2 \cdot (h_1 + h_2 + h_4)$$

$$C := V_1 \cdot (d_3 + d_4) + V_2 \cdot (d_4) - T_n \cdot (h_1 + h_2)$$

$$T_t := -\frac{A + B + C}{d_1 + d_2 + d_3 + d_4} = -153.606 \text{ N}$$

$$F := M \cdot a + T_n + W \cdot \sin(\alpha) + Z_1 + Z_2 = 562.537 \text{ N}$$

$$\text{RUEDA} \quad N' := m \cdot g \cdot \cos(\alpha) - T_t = 244.434 \text{ N}$$

$$F_f := \mu \cdot N' = 90.441 \text{ N}$$

$$\text{MAQUINA} \quad N := T_t + W \cdot \cos(\alpha) + V_1 + V_2 = 573.743 \text{ N}$$

$$T := \sqrt{T_n^2 + T_t^2} = 193.293 \text{ N}$$



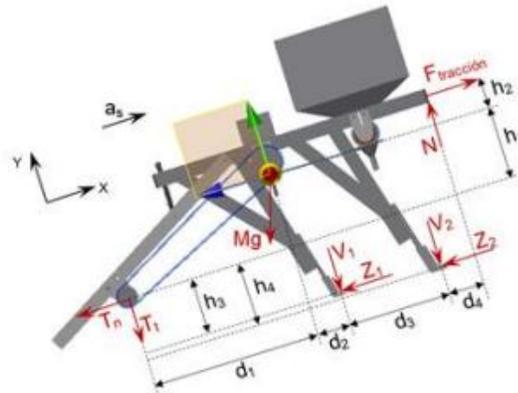
ANEXO 3

CÁLCULOS DE LA VERIFICACIÓN DE LA RODADURA DE LA MÁQUINA LLENA

Inclinación de los terrenos $\alpha := 30^\circ$ $g := g$

Peso total de la sembradora (modulo) $M := 106.17 \text{ kg}$ $W := M \cdot g = (1.041 \cdot 10^3) \text{ N}$

Coefficiente de fricción entre metal y tierra $\mu := 0.37$



Datos:

$$d_1 := 721.1 \text{ mm}$$

$$d_2 := 59.4 \text{ mm}$$

$$d_3 := 300 \text{ mm}$$

$$d_4 := 144.1 \text{ mm}$$

$$r := 215 \text{ mm}$$

$$h_1 := 360.1 \text{ mm}$$

$$h_2 := 0 \text{ mm}$$

$$h_3 := 207.1 \text{ mm}$$

$$h_4 := 220.9 \text{ mm}$$

$$a := 1.39 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{s}}$$

$$T_{\text{cad}} := 7.56 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$V_1 := 54.4 \text{ N}$$

$$V_2 := 204.4 \text{ N}$$

$$Z_1 := 49 \text{ N}$$

$$Z_2 := 49 \text{ N}$$

Datos de la rueda motriz:

$$I := 0.494376 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m} = 0.494 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad m := 23.578 \text{ lb} = 10.695 \text{ kg}$$

$$\theta := \frac{a}{0.215 \text{ m}} = 6.465 \frac{1}{\text{s}^2}$$

$$F_{\text{rod}} := \frac{I \cdot \theta + T_{\text{cad}}}{r} = 50.029 \text{ N}$$

$$T_n := m \cdot a + m \cdot g \cdot \sin(\alpha) + \frac{I \cdot \theta + T_{\text{cad}}}{r} = 117.335 \text{ N}$$

$$A := M \cdot g \cdot ((\cos(\alpha)) \cdot (d_2 + d_3 + d_4) - h_2 \cdot \sin(\alpha))$$

$$B := -M \cdot a \cdot (h_1 + h_2) - Z_1 \cdot (h_1 + h_2 + h_3) - Z_2 \cdot (h_1 + h_2 + h_4)$$

$$C := V_1 \cdot (d_3 + d_4) + V_2 \cdot (d_4) - T_n \cdot (h_1 + h_2)$$

$$T_t := -\frac{A + B + C}{d_1 + d_2 + d_3 + d_4} = -290.669 \text{ N}$$

$$F := M \cdot a + T_n + W \cdot \sin(\alpha) + Z_1 + Z_2 = 883.497 \text{ N}$$

RUEDA $N' := m \cdot g \cdot \cos(\alpha) - T_t = 381.498 \text{ N}$

$$F_f := \mu \cdot N' = 141.154 \text{ N}$$

MAQUINA $N := T_t + W \cdot \cos(\alpha) + V_1 + V_2 = 869.812 \text{ N}$

$$T := \sqrt{T_n^2 + T_t^2} = 313.458 \text{ N}$$



ANEXO 4

TABLAS DE CONCENTRADORES DE ESFUERZO

A. FACTOR EFECTIVO DE CONCENTRADOR DE EJE SOMETIDO A MOMENTO FLECTOR

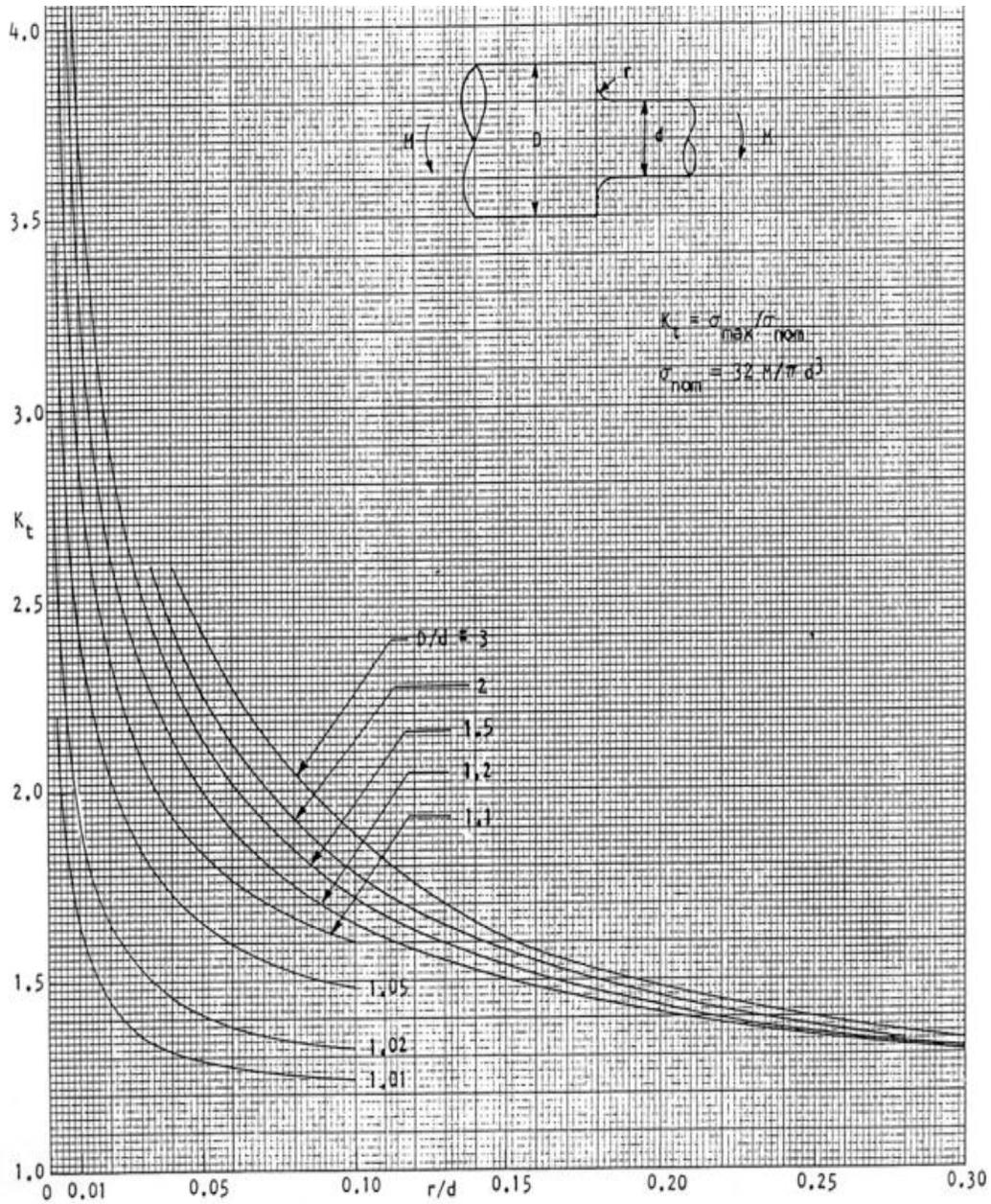


Figura 8: factor efectivo de concentrador de esfuerzo de eje sometido a momento flector

B. FACTOR EFECTIVO DE CONCENTRADOR DE EJE SOMETIDO A MOMENTO TORSOR

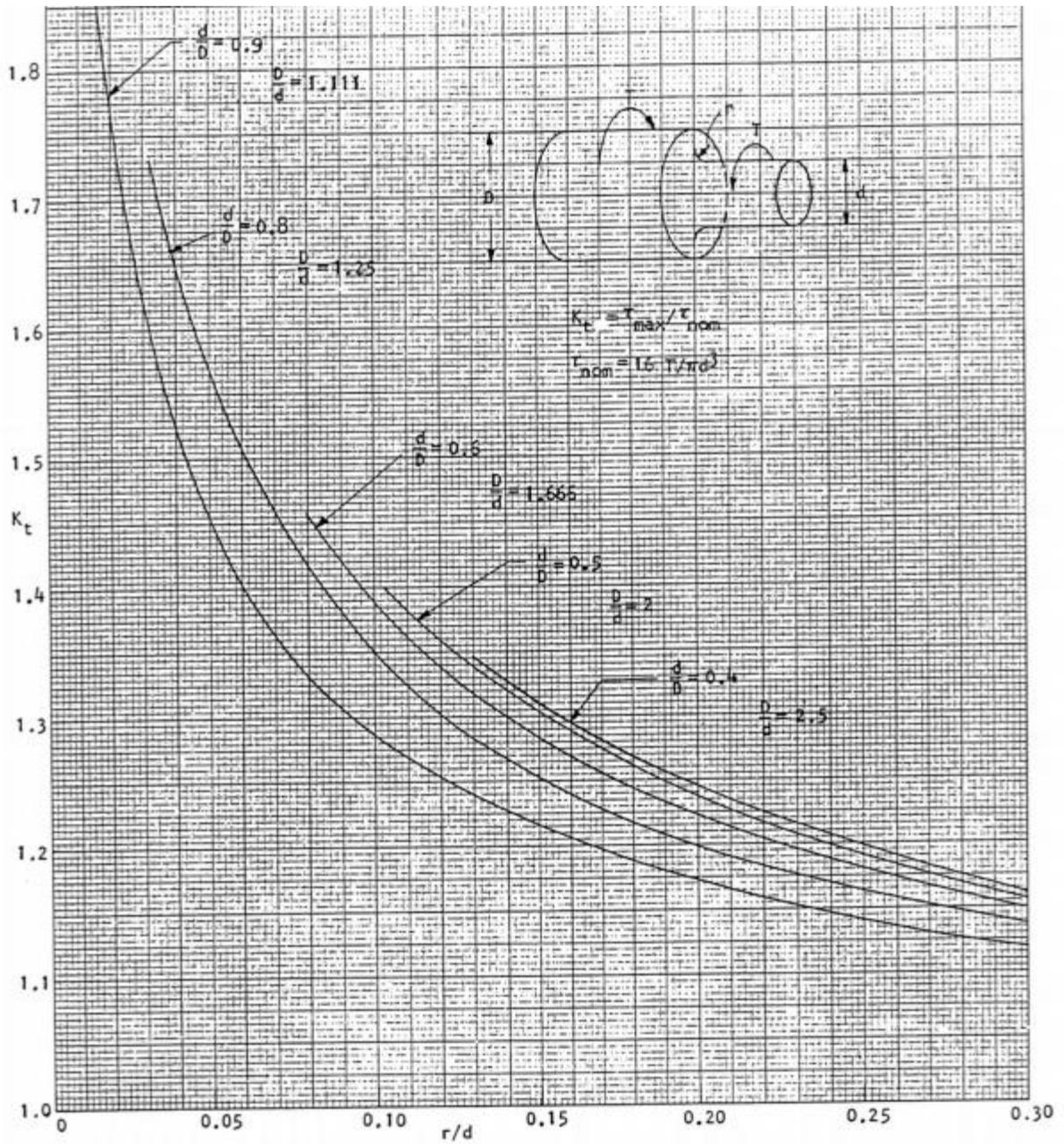


Figura 9: factor efectivo concentrador de esfuerzo de eje sometido a momento torsor

C. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

Valor medio de la rugosidad: $R_a \cong 0,1 R_z^{1,15}$ (donde $R_z \cong R_t$)

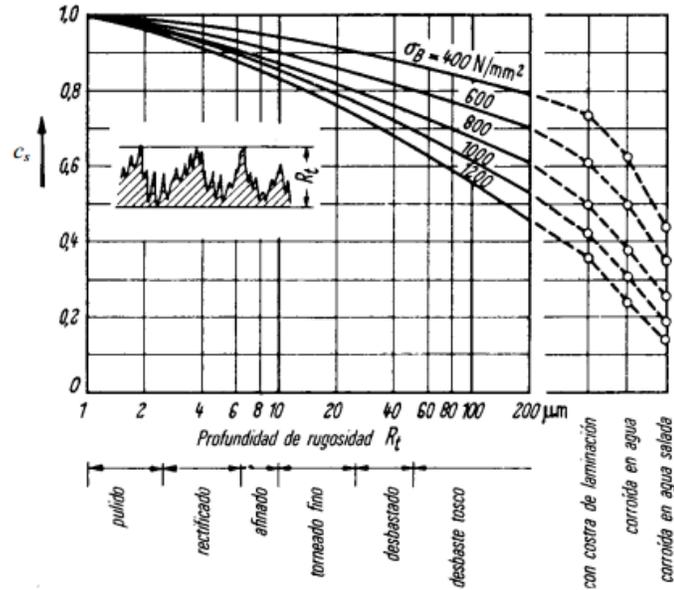


Figura 10: Coeficiente de Rugosidad c_s

D. COEFICIENTE DE TAMAÑO

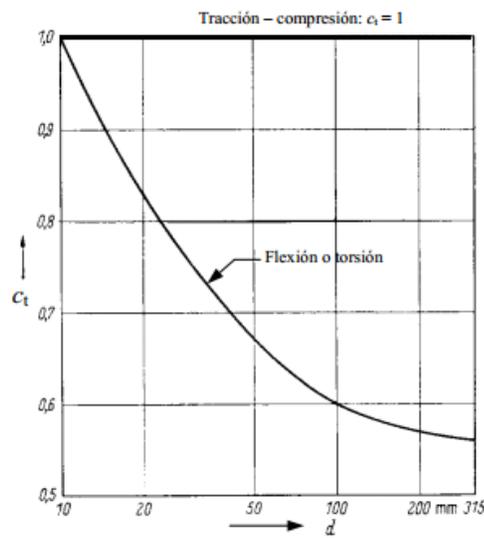


Figura 11: Coeficiente de tamaño c_{tam}

E. COEFICIENTE DE TEMPERATURA

T (°C)	c_{temp}
20	1,000
50	1,010
100	1,020
150	1,025
200	1,020
250	1,000
300	0,975
350	0,927
400	0,922
450	0,840
500	0,766
550	0,670
600	0,546

[Ref: Joseph Shigley & Larry Mitchell: Diseño en Ingeniería Mecánica]

Figura 12: Coeficiente de temperatura c_{temp}

F. COEFICIENTE DE CARGA

Tipo de carga	c_{carg}
Flexión	1,0
Axial	0,85
Torsión	1,00

[Ref: Ch. Lipson & R. Juvinal: Handbook of Stress and Strength]

Figura 13: Coeficiente de carga c_c

ANEXO 5

VERIFICACIÓN DE FALLA DE LOS TORNILLOS PRISIONEROS

Esta verificación se realizará para los diversos tornillos prisioneros que tendrán como función mantener unido el elemento de transmisión de potencia y el eje donde va a ser montado. Su función también es transmitir potencia, por tal motivo se verificará los tornillos por corte, debido al esfuerzo cortante que causa cada momento torsor de cada eje. Principalmente los tornillos prisioneros se encuentran en el árbol motriz, el árbol de dosificación de semilla y el árbol de dosificación de abono. Las ecuaciones a utilizar serán las siguientes:

- Momento torsor: M_t
- Radio del eje: r
- Numero de tornillos: N
- Fuerza en cada tornillo : F
- Esfuerzo cortante σ_c
- Radio resistente del tornillo : Re

$$F = \frac{M_t}{N * r} \quad (1)$$

$$\sigma_c = \frac{F}{\pi * Re^2} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

Tabla 5.1: Verificación de los tornillos de transmisión de potencia

	Momento torsor (N.mm)	Radio del eje (mm)	Número de tornillos	Fuerza por tornillo (N)	Radio Resistente del tornillo (mm)	Esfuerzo cortante (Mpa)	Esfuerzo de fluencia (Mpa)	Resultado
Extremo árbol de rueda motriz	7560	12.5	2	302.4	5	3.85	640	Sí cumple
Extremo derecho árbol de semillas	7560	7.5	2	504	5	6.42	640	Sí cumple
Extremo izquierdo árbol de semillas	7410	7.5	2	494	5	6.29	640	Sí cumple
Extremo árbol de abono	7410	10	2	370.5	5	4.72	640	Sí cumple

ANEXO 6

ENGANCHE Y ASEGURAMIENTO DE PROFUNDIDAD DE SIEMBRA

A continuación se definen dos conceptos:

Enganche de tres puntos [1]: este enganche está normalizado (norma ISO 730), lo cual es necesario para que el acoplamiento de los diversos aperos en tractores de tamaño similar funcionen sin ninguna dificultad.

La forma de funcionar del enganche en tres puntos consiste básicamente en un cilindro hidráulico de simple efecto que establece un potente par en el eje que une las dos palancas de elevación, que a su vez actúan sobre los brazos inferiores a través de los tirantes de elevación correspondientes.

Partes:

- Brazos laterales (2, 5)
- Brazos inferiores (4)
- Tensores (3)
- Tercer punto o punto central (1)
- Eje de la toma de fuerza (7)
- Barra de tiro (6)

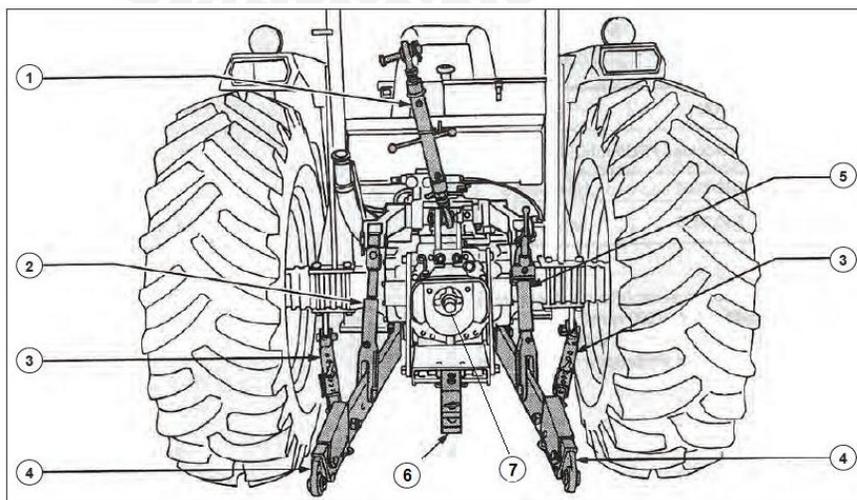


Figura 15. Enganche de tres puntos [2]

Control hidráulico del enganche de tres puntos [1]:

El sistema hidráulico tiene posibilidad de responder a varios controles del enganche de tres puntos que pueden darse conjuntamente en un mismo elevador hidráulico. El control que será utilizado para el trabajo de la sembradora será:

-Control de posición: regula la posición del apero con relación al tractor. Mediante este control se consigue únicamente una buena uniformidad en la profundidad de la labor en los terrenos.

En las figura 16 y 17 se observa que este control permite el ascenso y descenso de la máquina. Esto facilitará el giro de la sembradora cuando no se necesite sembrar.

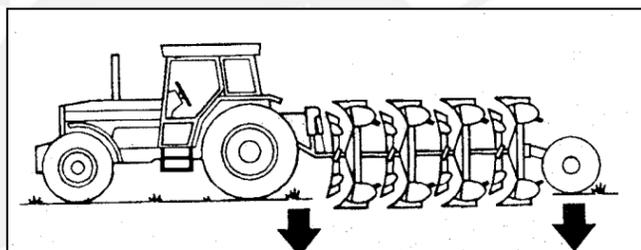


Figura 16. Ejemplo de tractor con máquina abajo [1]

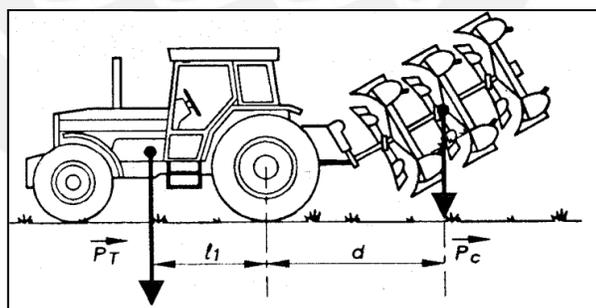


Figura 17. Ejemplo de tractor con máquina levantada [1]

1. ORTIZ CAÑAVATE, J. (1989). *Técnica de la mecanización agrícola*. Madrid: Mundi-Prensa.
2. UNAD. (s.f.). *Lección 3: Fuentes de potencia del tractor*. Recuperado el 25 de Mayo de 2015, de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/356014/Modulo_356014/leccin_3___fuentes_de_potencia_del_tractor.html

ANEXO 7

VERIFICACIÓN DE VOLCADURA DEL TRACTOR

Por medio del enganche tripuntal, el tractor remolcará la máquina sembradora. Esta fuerza de remolque calculada en la sección 3.7, podría causar que el tractor vuelque hacia atrás, por ello se realizará dicha verificación.

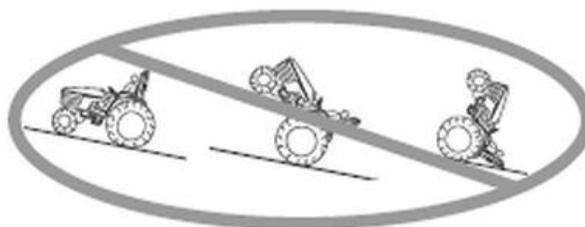


Figura 18. Volcadura de un tractor
Fuente: Revista "Seguridad al usar el tractor"

El enganche tripuntal está dispuesto como se muestra en la Figura 19, donde la fuerza resultante que se aplica para el avance a la máquina se asumirá que pasa por el baricentro del triángulo (punto A de la Figura) a una distancia de 743 mm sobre el nivel del suelo.

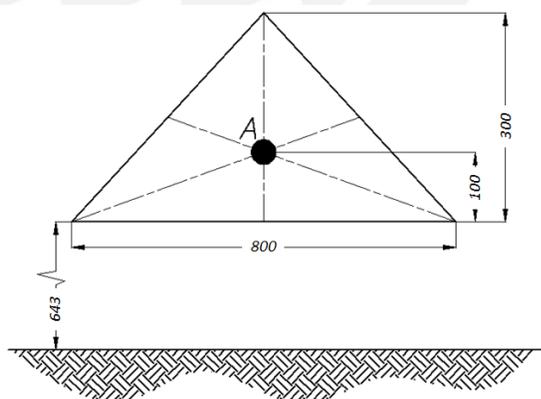


Figura 19: Representación gráfica del enganche tripuntal y la aplicación de la fuerza para el avance de la máquina

Se debe de tener en cuenta que la fuerza aplicada a la máquina se encontraba a una altura de 652 mm sobre el suelo (ver sección 3.7), lo cual se encuentra por debajo del punto A de acuerdo a la Figura . Por lo tanto, también es necesario agregar al extremo del tractor un momento M_F , el cual se encuentra calculado a continuación.

Momento dado por el traslado de la fuerza F:

$$M_F = [h_A - h_F] \times F = 91 \times F \text{ N.mm}$$

Donde:

Altura del punto A: $h_A = 743 \text{ mm}$

Las especificaciones del tractor son:

- Masa del tractor: $M_{tr} = 4,7 \text{ toneladas}$
- Fuerza de volcadura del tractor: F
- Angulo máximo de inclinación: $\alpha = 30^\circ$

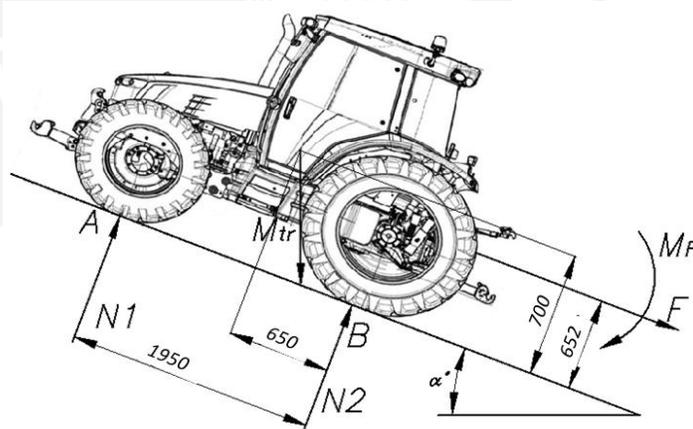


Figura 20: Diagrama de fuerzas aplicadas sobre el tractor

De acuerdo a la Figura se realiza la sumatoria de momentos respecto al punto B para garantizar el equilibrio.

$$\sum M_B: M_{tr} \times \cos\alpha \times 650 = 652 \times F + M_F + M_{tr} \times \sin\alpha \times 700 + N_1 \times 1950$$

De la ecuación anterior se conocerá cual es el valor de la fuerza F para que vuelque el tractor, siendo para el instante de vuelco la fuerza normal N_1 igual a cero.

Por lo tanto, se obtiene:

$$F = 13212.5 \text{ N}$$

De acuerdo a la sección 3.7, la fuerza necesaria para jalar la máquina sembradora es de 3719 N, siendo esta el 28 % de la fuerza necesaria para la volcadura. Por lo tanto se puede garantizar que el tractor bajo funcionamiento condiciones de rodadura pura no volcará.



ANEXO 8

MATERIAL AISI 1045

V 945	AISI : 1045
H	DIN : CK 45
	W N° : 1.1191

Tipo de aleación : C 0,45 Si 0,3 Mn 0,7 %
 Color de identificación : Rojo - Blanco - Rojo
 Estado de suministro : Dureza natural 193 HB máx.

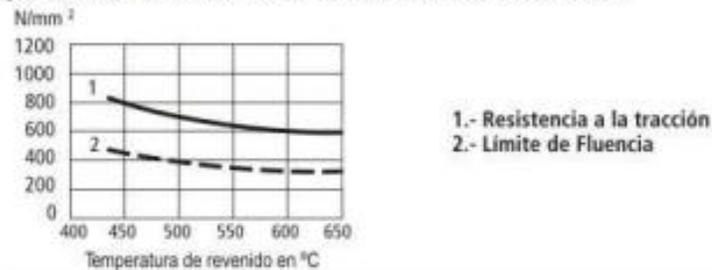
ACERO FINO AL CARBONO DE ALTA CALIDAD
 Gran pureza de fabricación y estricto control de calidad.

APLICACIONES: Partes de maquinaria y repuestos sometidos a esfuerzos normales. Árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pasadores, cuñas, chavetas, etc. También para herramientas de mano, portamatrices, etc.

INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

Forjar: 1100 - 850 °C
Normalizar: 840 - 870 °C
Recocer: 650 - 700 °C
 Enfriamiento lento en el horno
Temple: al agua (*) 820 - 850 °C
Dimensiones menores: al aceite 830 - 860 °C
Revenido: Según el uso 100 - 300 °C
Nitrurado: en baño de sal 580 °C

SOLDADURA: Con soldadura especial de alta resistencia. Según tamaño y complejidad del trabajo, se recomienda un pre-calentamiento. Electrodo BÖHLER UTP 6020 ó 6824LC.



Estado	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS				
	Diámetro mm.	Límite de fluencia N/mm ²	Resistencia a la tracción N/mm ²	Alargamiento (Lo = 5d) mín. %	Contracción mín. %
Natural	-	370	650	15	35
Recocido	16 - 100	340	650 - 750	17	35
	100 - 250	330	580 - 700	18	-

(*) Consultar con el Departamento Técnico.

9

ANEXO 9

MATERIAL DIN 20 Mn V 6

BP 280	DIN : 20 Mn V 6
BARRA PERFORADA	W N° : 1.5217

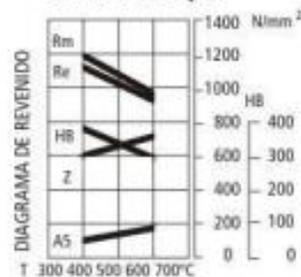
Tipo de aleación : C 0,18 Si 0,3 Mn 1,5 S 0,03 V 0,18 %
 Color de identificación : Azul
 Estado de suministro : Dureza Natural, 220 HB máx.

BARRA PERFORADA, de alta resistencia de acero con una microaleación de 0.1% de vanadio que le confiere una mayor resistencia en estado natural que otros aceros de bajo carbono. La barra perforada BP 280 es de fácil maquinado y soldabilidad. Tiene amplias posibilidades de aplicación, en estado bonificado o cementado.

APLICACIONES: Para elementos de maquinaria, tales como engranajes, cuerpos de bomba, anillos, separadores, casquillos de protección, como también para la construcción de columnas de taladro u otras máquinas, ejes, bujes, rodillos y accesorios de perforación de pozos de petróleo.

INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

Forjar:	1100 - 850 °C
Normalizar:	860 - 890 °C
Recocer:	650 - 680 °C
Enfriamiento lento en el horno	
Templar: al agua (sin cementar):	900 - 920 °C
Revenir:	100 - 400 °C
Nitrurar: en baño de sal	570 °C
Cementar:	880 - 950 °C
Dureza de la capa:	58 - 63 HRC



El diagrama se entiende para piezas templadas sin cementación previa.

- Rm : Resistencia a la tracción en N/mm²
- Re : Límite de fluencia en N/mm²
- HB : Dureza Brinell
- Z : Contracción en %
- AS : Elongación en %
- SOLDADURA : Electrodo BÖHLER UTP 6020

Espesor de pared en mín.	Límite de fluencia mín. N/mm ²	Resistencia a la tracción N/mm ²	Elongación (L=5d) mín. %	Dureza HB
25	480 450	620 770	17	170 - 220

10

ANEXO 10

MATERIAL AISI 4140

V 320	AISI : 4140
VCL	DIN : 42 Cr Mo 4
	W N° : 1.7223/25

Tipo de aleación : C 0,41 Cr 1,1 Mo 0,2 Si 0,2 Mn 0,7 %
 Color de identificación : Verde - Blanco
 Estado de suministro : Bonificado, 250-310 HB Típico. Ver tabla inf.
 Largo Standard : 3,5 - 5 metros

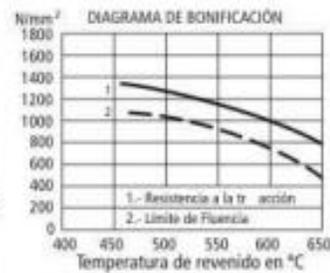
Acero especial de bonificación con aleación de cromo molibdeno.

Muy resistente a la tracción y a la torsión, como también a cambios de flexión. Se suministra en estado bonificado, lo que permite, en la mayoría de los casos, su aplicación sin necesidad de tratamiento térmico adicional.

APLICACIONES: Partes de maquinaria y repuestos de dimensiones medianas, con grandes exigencias en las propiedades arriba mencionadas y también ciertos elementos para la construcción de motores, engranajes, pernos, tuercas, pines, émbolos, árboles de transmisión, ejes de bombas, cañones de armas para la cacería.

INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

Forjado: 1050 - 850 °C
 Normalizado: 840 - 880 °C
 Recocido: 690 - 720 °C
 Enfriamiento lento en el horno
 Temple: al aceite 830 - 860 °C
 al agua 820 - 850 °C
 Dureza Obtenible: 52 - 56 HRC
 Revenido: 540 - 680 °C
 Nitrurar: 580 °C



Resistencia en estado Recocido		CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO BONIFICADO						
máx. N/mm²	Dureza Brinell máx.	Diámetro mm.		Límite de fluencia N/mm²	Resistencia a la tracción N/mm²	Elongación (Lo = 5d) % mín.	Estricción % mín.	Resiliencia según DVM Joule
		desde	hasta					
770	241	16	16	835	1030 - 1250	10	40	34
		40	40	715	930 - 1130	11	45	41
		100	100	595	830 - 1030	12	50	41
		160	160	530	730 - 900	13	55	41
		160	250	490	690 - 840	14	55	41

Soldadura: Consultar con nuestro Departamento Técnico

ANEXO 11

PERFIL EN L 2"X2"X1/4" (ACEROS AREQUIPA)

barras lisas y perfiles

Ángulos Estructurales



DIMENSIONES		DIMENSIONES	
Sistema Inglés (pulgadas)		Sistema Métrico (mm)	
1 1/2 x 1 1/2 x 3/32	2 1/2 x 2 1/2 x 3/16	20 x 20 x 2.0	
1 1/2 x 1 1/2 x 1/8	2 1/2 x 2 1/2 x 1/4	20 x 20 x 2.5	
1 1/2 x 1 1/2 x 3/16	2 1/2 x 2 1/2 x 5/16	20 x 20 x 3.0	
1 1/2 x 1 1/2 x 1/4	2 1/2 x 2 1/2 x 3/8	25 x 25 x 2.0	
2 x 2 x 1/8	3 x 3 x 1/4	25 x 25 x 2.5	
2 x 2 x 3/16	3 x 3 x 5/16	25 x 25 x 3.0	
2 x 2 x 1/4	3 x 3 x 3/8	25 x 25 x 4.5	
2 x 2 x 5/16	3 x 3 x 1/2	25 x 25 x 6.0	
2 x 2 x 3/8	4 x 4 x 1/4	30 x 30 x 2.0	
	4 x 4 x 5/16	30 x 30 x 2.5	
	4 x 4 x 3/8	30 x 30 x 3.0	
	4 x 4 x 1/2	30 x 30 x 4.5	
		30 x 30 x 6.0	

USOS:

En la fabricación de estructuras de acero para plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industria naval, carrocerías, torres de transmisión.

También se utiliza para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia mínimo	= 2,530 kg/cm ²
Resistencia a la Tracción	= 4,080 - 5,620 kg/cm ² (*)
Alargamiento en 200 mm	
Espesores:	
2.0mm, 2.5mm, 3.0mm,	
3/32" y 1/8"	= 15.0 % mínimo
4.5 mm y 3/16"	= 15.0 % mínimo
6.0 mm	= 17.0 % mínimo
1/4"	= 17.5 % mínimo
5/16", 3/8" y 1/2"	= 20.0 % mínimo
Soldabilidad	= Buena

(*) Para espesores de 2.0 y 2.5 mm, la resistencia a la tracción mínima es de 3,500 kg/cm².

NORMAS TÉCNICAS:

Sistema Inglés: Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36 M
Tolerancias Dimensionales: ASTM A6 / A6 M
Sistema Métrico: Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36 M
Tolerancias Dimensionales: ISO 657/ V

PRESENTACIÓN**:

Se producen en longitudes de 6 metros. Se suministran en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetes de 1 TM c/u.

ANEXO 12

PLATINA 1/4" X 2" (ACEROS AREQUIPA)

Platinas



DIMENSIONES		
Sistema Inglés (pulgadas)		
1/8 x 1/2	3/16 x 1 1/2	1/4 x 4
1/8 x 5/8	3/16 x 2	3/8 x 1
1/8 x 3/4	3/16 x 2 1/2	3/8 x 1 1/4
1/8 x 1	1/4 x 1/2	3/8 x 1 1/2
1/8 x 1 1/4	1/4 x 5/8	3/8 x 2
1/8 x 1 1/2	1/4 x 3/4	3/8 x 2 1/2
1/8 x 2	1/4 x 1	3/8 x 3
3/16 x 1/2	1/4 x 1 1/4	3/8 x 4
3/16 x 5/8	1/4 x 1 1/2	1/2 x 1
3/16 x 3/4	1/4 x 2	1/2 x 1 1/2
3/16 x 1	1/4 x 2 1/2	1/2 x 2
3/16 x 1 1/4	1/4 x 3	1/2 x 2 1/2

USOS:

Estructuras metálicas de todo tipo: construcción de puertas, portones, cercos, marcos de ventanas, rejas de protección y decorativas, barandas, carpintería metálica artística, muebles, mesas, sillas, adornos.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia mínimo	= 3,520 kg/cm ²
Resistencia a la Tracción	= 4,590-5,620 kg/cm ²
Alargamiento en 200 mm:	
Límite de Fluencia mínimo	= 2,530 kg/cm ²
Resistencia a la Tracción	= 4,080 - 5,620 kg/cm ²
Alargamiento en 200 mm:	
1/8" y 3/16"	= 15.0 % mínimo
1/4"	= 17.5 % mínimo
5/16, 3/8", 5/8", 3/4" y 1"	= 20.0 % mínimo
Doblado a 180°	= Bueno
Soldabilidad	= Buena

NORMAS TÉCNICAS:

Composición Química y Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M
Tolerancias Dimensionales: ISO 1035/4

PRESENTACIÓN**:

Se producen en barras de 6 metros de longitud. Se suministran en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetes de 1 TM c/u.