



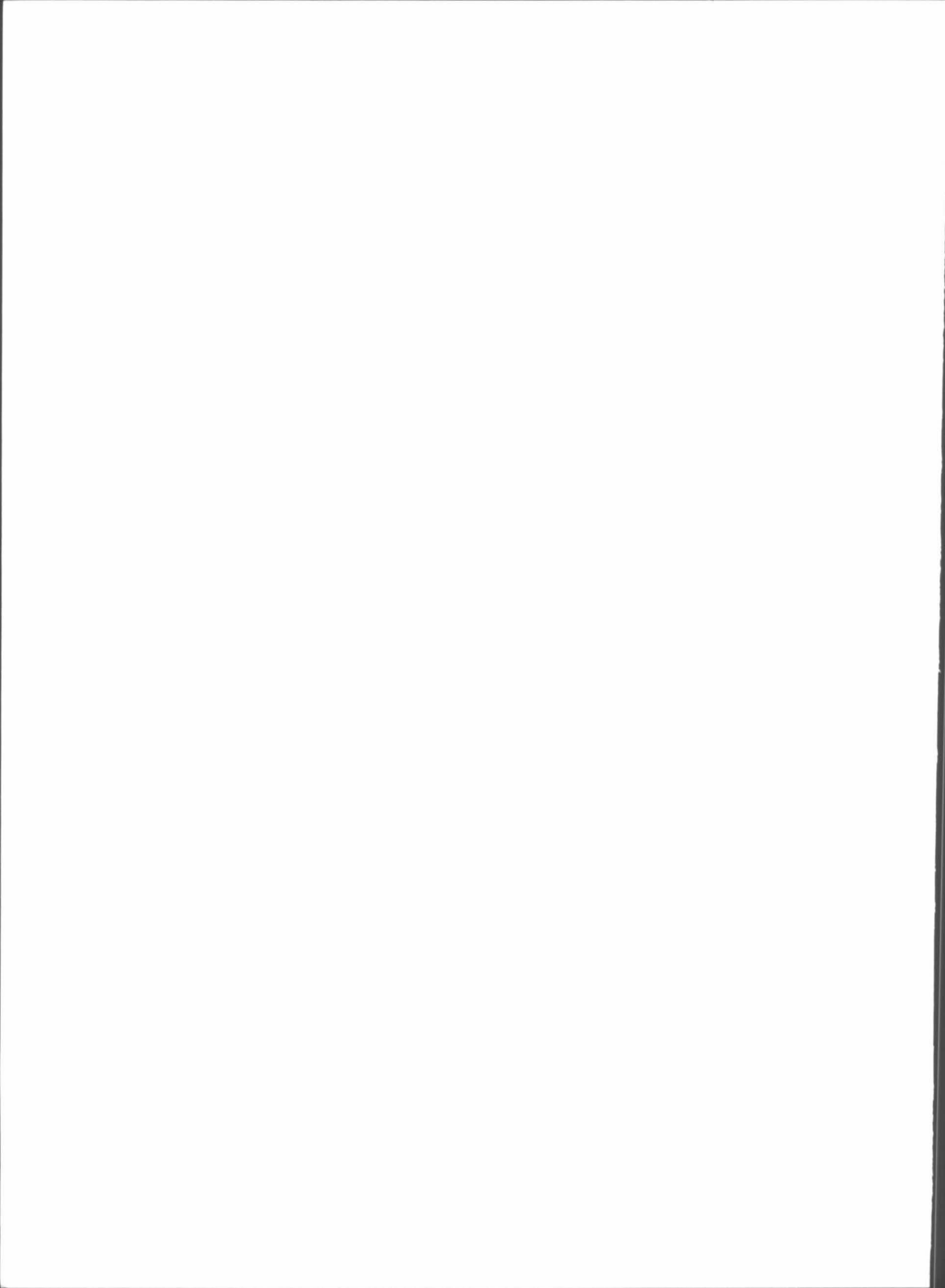
MANUAL DE FÓRMULAS TÉCNICAS DE TRACCIÓN Y POTENCIA

ÚTILES PARA EL INGENIERO AGRÍCOLA

ERICH DIETMAR ROSSEL KIPPING
HÉCTOR MARTÍN DURÁN GARCÍA
HIPÓLITO ORTIZ LAUREL
HILARIO CHARCAS SALAZAR

Facultad de Ingeniería
Instituto de Investigación en Zonas Desérticas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, S.L.P., México, 2005

Manual de Fórmulas Técnicas de Tracción y Potencia
Útiles para el Ingeniero Agrícola





MANUAL DE FÓRMULAS TÉCNICAS DE TRACCIÓN Y POTENCIA

ÚTILES PARA EL INGENIERO AGRÍCOLA

ERICH DIETMAR ROSSEL KIPPING
HÉCTOR MARTÍN DURÁN GARCÍA
HIPÓLITO ORTIZ LAUREL
HILARIO CHARCAS SALAZAR

Facultad de Ingeniería
Instituto de Investigación en Zonas Desérticas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí,
San Luis Potosí, S.L.P., México, 2005

Derechos Reservados *by*

© Erich Dietmar Rossel Kiping; Hector Martín Durán García;
Hipolito Ortiz Laurel; Hilario Charcas Salazar

© Universidad Autónoma de San Luis Potosí

ISBN 970-705-029-2

00833-00506-A 0265

Índice

Agradecimientos	7
Prólogo	9
CAPÍTULO 1 Máquinas Agrícolas	13
CAPÍTULO 2 Tecnología de la producción Agrícola	47
CAPÍTULO 3 Mecánica de Tracción	63
CAPÍTULO 4 Labranza	67
CAPÍTULO 5 Fertilización	79
CAPÍTULO 6 Siembra	89
CAPÍTULO 7 Ensilado	95
CAPÍTULO 8 Cosecha de Granos	111
CAPÍTULO 9 Papas y raíces tuberizadas	121
CAPÍTULO 10 Logística	141

CAPÍTULO 11
Riego

151

CAPÍTULO 12
Ganadería

161

Agradecimientos

Al Dr. Juan Rogelio Aguirre Rivera por sus sugerencias y apoyo administrativo; al Dr. Nicolás Morales Carrillo, al Dr. Javier Fortanelli Martínez, y al Dr. Emilio Jorge González Galván por la revisión del trabajo, que ayudó a mejorar su contenido y presentación; a la L.D.G. Zenia Méndez Soto y a la L.D.G. Diana Charcas Rosales por su trabajo de edición de los dibujos, que permitieron una presentación más didáctica.

Prólogo

Este manual de mecanización de la producción agrícola es un resumen de informaciones necesarias para un uso efectivo de las máquinas agrícolas, en su relación con el suelo y materiales manejados por el hombre en el proceso de la agricultura.

Toda máquina agrícola se proyecta para ser aplicada al mayor número de circunstancias, pero nunca se cumplen todas las variantes presentes en el campo; por eso, una vez construida, hay que adaptar la tecnología a la máquina y al proceso natural. Las distintas condiciones existentes en la agricultura hacen que la mecanización no sea cien por ciento eficiente, aun así las máquinas tienen los siguientes beneficios:

- a) Rendimiento mucho mayor que las herramientas accionadas por energía biológica
- b) Más rápidas que el hombre
- c) Mucho más exactas que el hombre
- d) Los costos unitarios son más reducidos que los efectuados a mano
- e) Las pérdidas, como contaminantes del ambiente en el proceso son más reducidas

El carácter de este manual es eminentemente práctico, por presentar a las máquinas mediante modelos, esquemas y fórmulas que describen las fuerzas actuales en el trabajo de la mecanización. Se

prescinde de describir la cinemática de algunos mecanismos por manejos tecnológicos, de difícil comprensión mediante esquemas o dibujos estáticos. También se renuncia a presentar fórmulas matemáticas y estudios económicos que demuestren la conveniencia del empleo de las máquinas en la agricultura.

Por lo que se refiere a averías, se alude únicamente a aquellas que se pueden corregir por los mecánicos agrícolas, sin acudir a talleres especializados, por cuanto en una obra elemental como ésta, que comprende gran número de máquinas, a de simplificarse este punto a lo estrictamente indispensable, a fin de no distraer de lo principal, que es describir las máquinas, sus principios y su utilización.

Por último mediante la presentación del conocimiento se cumple el objetivo de formar profesionistas con una alta cantidad de habilidades y aptitudes profesionales, como la capacidad de analizar, sintetizar, tomar decisiones, combinar, observar, sistematizar, etcétera, además de concientizar a profesionales y usuarios que el uso de las máquinas beneficia al ambiente y a la humanidad.

Introducción

No hay cosa más agradable, que saberla y utilizarla.

En el uso de cualquier máquina, sistema o elemento mecánico, es de suma importancia el conocer las interacciones entre los elementos de la máquina y el objeto de transformación del material. Este proceso siempre esta controlado, iniciado o planificado por el hombre. Estos dos elementos, el hombre y la máquina son de gran importancia para la eficiencia del proceso, sea biológico, mecánico, eléctrico, óptico, etcétera.

El manual de la mecanización agraria explica en forma sistemática, ordenada y didáctica los medios de la mecanización agrícola con el objetivo de su aplicación en la tecnología agraria, sobre todo por la sistematización de las experiencias del uso de los medios técnicos, como valor de ciencias aplicadas de manera útil en la práctica.

Con esta metodología se facilita la generalización de resultados y la interacción en el proceso de la producción mediante los efectos de uno o más fenómenos.

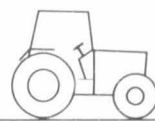
La descripción de los procesos mecanizados mediante ecuaciones, fórmulas, esquemas y dibujos, desarrollan la forma de pensar del profesional con la orientación moderna del ambiente, como símbolo de pensamiento complejo y en especial del manejo sustentable de los recursos naturales, mediante el aumento del rendimiento del proceso y la reducción de perdidas como fuente de contaminantes.

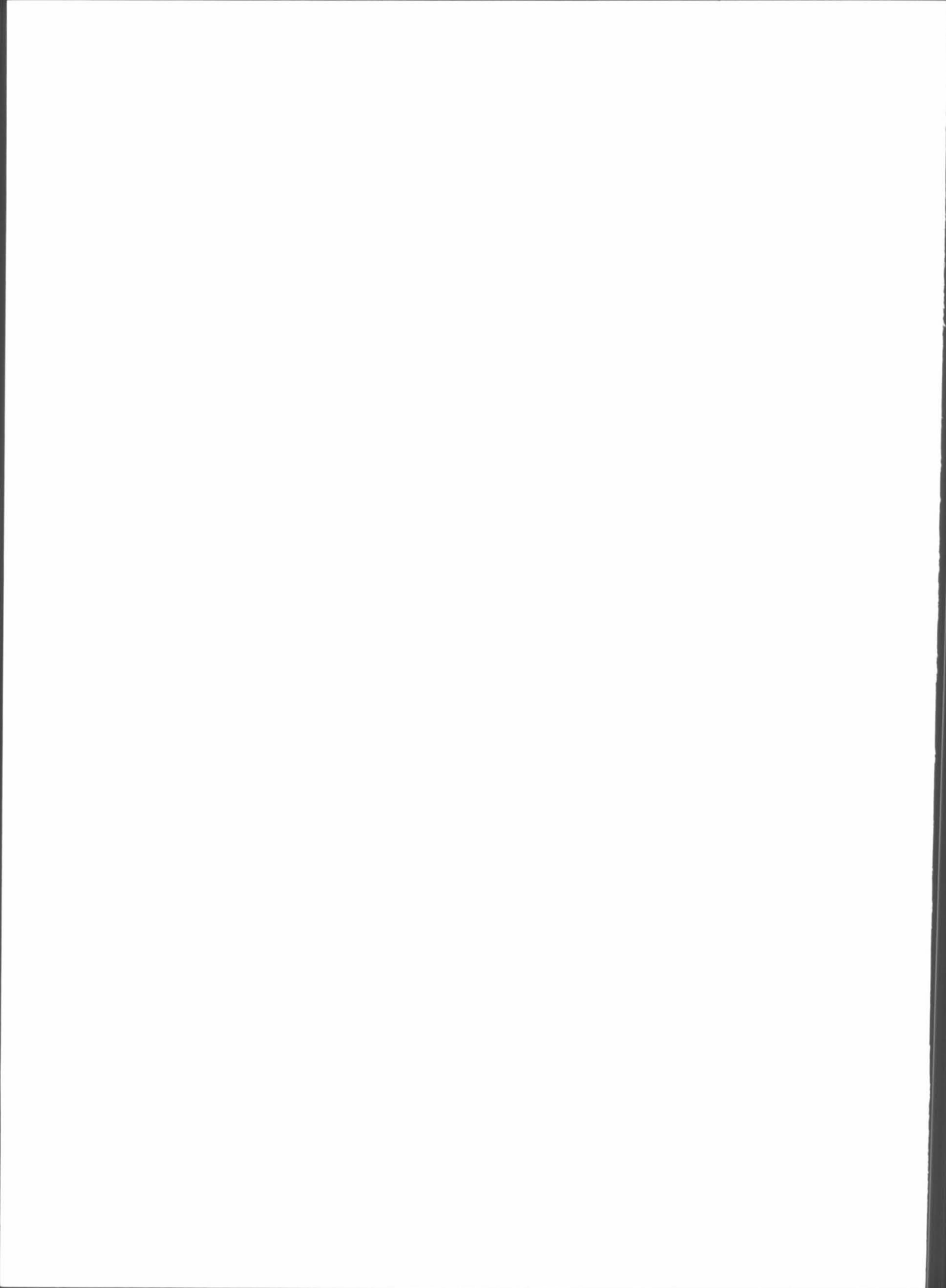
En este sentido el material didáctico forma parte del desarrollo de la tecnología como ciencia aplicada a la agricultura y su fuerte vin-

culación con la agroindustria, sobre todo de la industria alimentaria. El material se presenta en forma básica como apuntes para los alumnos bajo la conducción del profesor, que tiene en esta forma la posibilidad de centrar la atención al núcleo del proceso mediante la reducción de actividades formales.

De esta manera se presentan experiencias útiles para la formación del futuro profesionalista.

Capítulo 1
Máquinas
Agrícolas



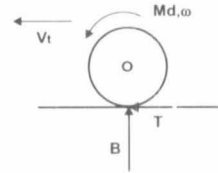


FUERZA DE TRACCIÓN, PATINAJE, RESISTENCIA AL AVANCE

Fuerza de tracción

$$T = k * B \quad [N]$$

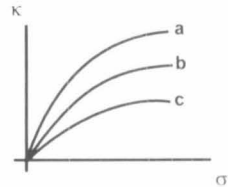
B = fuerza de soporte [N]



a,b,c Situación del suelo

$$\chi = \frac{T}{B} \approx k \sqrt{\sigma}$$

$$\chi = a + b * (1 - e^{-c\sigma}) \quad [s.d.]$$



Coefficiente de la fuerza de tracción

a = suelo pesado

b = suelo medio

c = suelo ligero

Patinaje

$$\sigma = (v_o - v_f) / v_o = 1 - v_f / v_o \quad [-]$$

v_o = velocidad sin patinaje [m/s]

v_f = velocidad con patinaje [m/s]

Resistencia al avance (más simple)

$$W_f = W_v + W_h \quad [N]$$

$$W_f = A * f_v + B * f_h \quad [N]$$

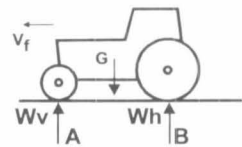
A,B = fuerza de soporte [N]

f = coeficiente de la resistencia al avance [-]

= 0.02....0.05 para carreteras y pistas

= 0.05....0.3 para el campo

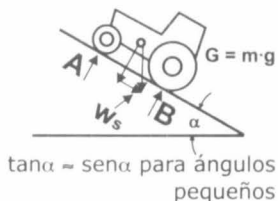
f es una función del suelo y del tamaño de los neumáticos, etc.



FUERZA DE TRACCIÓN PARA TRACTORES CON TRANSMISIÓN EN LAS CUATRO RUEDAS

Fuerza de tracción máxima en el campo

$$Z = T - W_v - W_s \quad [\text{N}]$$

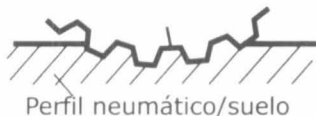


Resistencia contra la pendiente

$$W_s = G * s \quad [\text{N}]$$

Fuerza de tracción máxima en el campo

$$Z = k * B - W_v - G * s \quad [\text{N}] \quad \text{tracción de las ruedas traseras}$$



$$Z = A * k_A + B * k_B - G * s \quad [\text{N}] \quad \text{doble tracción}$$

k = coeficiente de tracción en la subida (pendiente) [-]

$$k = 0.3 \dots 0.5$$

$$s = \tan \alpha = \text{pendiente} \quad [-]$$

Fuerza de tracción máxima en la carretera

$$Z = k * B - A * f - G * s \quad [\text{N}] \quad \text{tracción de las ruedas traseras}$$

$$Z = G * (k * \cos \alpha - s) \quad [\text{N}]$$

$$\text{de ahí } G * \cos \alpha = A + B$$

doble tracción

μ = coeficiente de la fricción

$$= 0.6 \dots 1.0 = k + f$$

μ es una función de la relación del frenado por la fricción/suelo

Coeficiente de la fuerza de tracción

$$k_z = Z / (m * g) \quad [-]$$

FUERZA PARA LAS RUEDAS DE TRACCIÓN

Fuerza tangencial de las ruedas de tracción

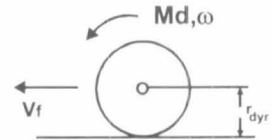
(sobre superficie nivelada)

$$U = T + W_h \quad [N]$$

$$U = Z + W_v + W_h \quad [N]$$

Fuerza tangencial de las ruedas de tracción

$$U = Md/r_{dyn} \quad [N]$$



r_{dyn} = radio dinámico del neumático [m]

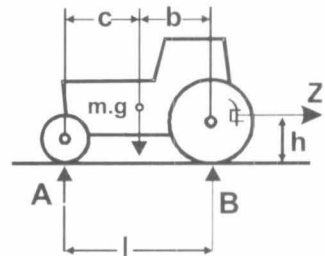
Md = momento de giro de las ruedas de tracción

Fuerza de tracción máxima

$$Z = U - W_f \quad [N]$$

Carga sobre el eje trasero en el tiempo de operación
(más simple)

$$B = (m * g * c + Z * h)/l \quad [N]$$



RENDIMIENTO DEL MOTOR Y DE LA TRACCIÓN

Momento de giro del eje principal

$$M = 9,550 * (P_{\text{mot}} * \eta_{\text{getr}} / n) \quad [\text{Nm}]$$

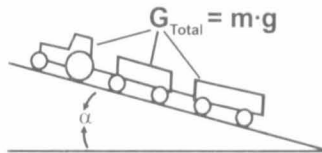
P_{mot} = potencia del motor [kW]

η_{getr} = coeficiente del rendimiento del engranaje [-]

n = revoluciones del eje de accionamiento [min^{-1}]

Rendimiento del tractor en el transporte

$$P_z = (Z * v_f) / 1,000 \quad [\text{kW}]$$



Z = fuerza de tracción [N]

$$P_{\text{nec}} = \frac{G_{\text{total}} * (f * \cos\alpha + s) * v_f}{1,000 * \eta_{\text{eng}} * (1 - \sigma) * \lambda} \quad [\text{kW}]$$

P_{nec} = Potencia necesaria del motor en el transporte [kW]

G_{total} = fuerza total de la masa de la combinación de las máquinas (tractor y remolques cargados) [N]

f = coeficiente del rendimiento de la resistencia contra la tracción (resistencia de avance) [-]

v_f = velocidad de avance [m/s]

σ = patinaje (neumático/suelo) [-]

λ = coeficiente del uso del motor [-]

Fuerza tangencial necesaria en el transporte

$$U = G_{\text{total}} * (f * \cos\alpha + \text{sen}\alpha) \quad [\text{N}]$$

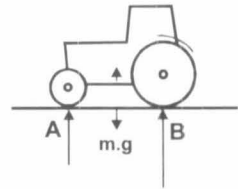
$$U = G_{\text{total}} * (f + s) \quad [\text{N}]$$

$$s = \tan\alpha = \text{pendiente} \quad [-]$$

TRANSFORMACIÓN DE LA FUERZA DE TRACCIÓN

Rendimiento de la transformación de las fuerzas
(situación para un neumático)

$$\eta_T = k \cdot (1 - \sigma) / (k + f) [-]$$



Coeficiente de la resistencia de la tracción

$$f = \mu - k [-]$$

k = coeficiente de la resistencia de la tracción [-]

μ = coeficiente de la fuerza tangencial [-]

Potencia necesaria del motor para un tractor de doble tracción, si se alcanza la fuerza de tracción máxima necesaria para una velocidad dada (más simple)

$$P_A = (A + B) \cdot k \cdot v_r / (1,000 \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot \lambda) \quad [\text{kW}]$$

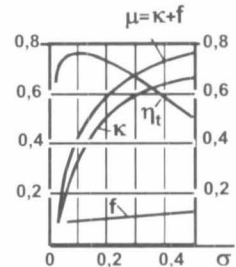
Masa necesaria del tractor de doble tracción, si se logró alcanzar una fuerza especificada (dada)

$$m = Z / (k \cdot g) \quad [\text{kg}]$$

Z = fuerza de tracción [N]

η = rendimiento del engranaje [-]

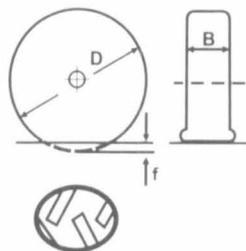
λ = coeficiente del uso de la potencia del motor [-]



TAMAÑO DE LOS NEUMATICOS

Reducción del radio del neumático o su capacidad de resorteo

$$f = \sqrt[3]{\frac{D * B^2}{10^3}} \quad [cm]$$



D y B en [cm]

Superficie de apoyo (de contacto)

$$A = 2 * B * \sqrt{D * f} \quad [cm]$$

Capacidad de soporte

$$T = q_k * (p_i + p_k) * B^{1.33} * D^{0.67} \quad [N]$$

q_k = coeficiente de la construcción del neumático [-]

p_i = presión interna del neumático [bar]

p_k = presión en la carcasa [bar]

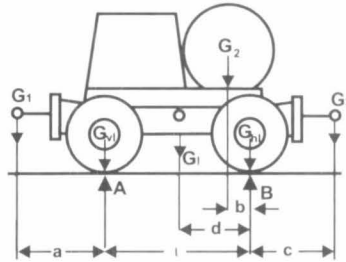
Presión sobre el suelo

$$p_m = k * p_i \quad [bar]$$

k = coeficiente del tamaño del neumático [-]

= 1.2 ... 2.5 dependiente del tamaño del neumático

CARGAS SOBRE LOS EJES CON APEROS CARGADOS



Cargas sobre los ejes en la situación sin llenar

$$G_{vl} = d * G_1 / l \qquad G_{hl} = (l-d) * G_1 / l \qquad G_1 = G_{vl} + G_{hl}$$

Condiciones de los momentos

$$\Sigma M_h = G_1 * (a+l) + G_{vl} * l + G_2 * b - G_3 * c - A * l = 0$$

de ahí

$$A = \{G_1 * (a+l) + G_{vl} * l + G_2 * b - G_3 * c\} / l \quad [N]$$

Condiciones de los momentos

$$\Sigma M_v = G_{hl} * l + G_2 * (l-b) + G_3 * (l+c) - G_1 * a - B * l = 0$$

de ahí

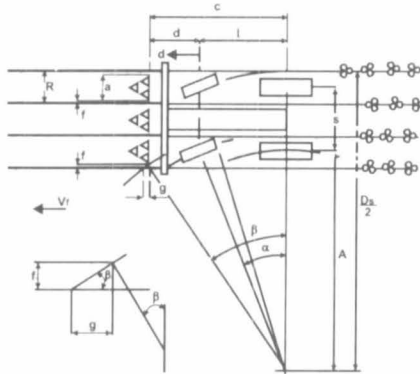
$$B = \{G_{hl} * l + G_2 * (l-b) + G_3 * (l+c) - G_1 * a\} / l \quad [N]$$

$G_1, G_2, etc.,$ = fuerzas de las masas [N]

A y B = fuerzas de la reacción [N]

MOVIMIENTO LATERAL PARA APEROS DELANTEROS EN EL MOMENTO DE LA CONDUCCIÓN

Hileras de plantas



Adicionales

$$(A + S)^2 + l^2 = (D_s/2)^2$$

$$A = l/\tan\alpha$$

de ahí, diámetro del ancho
de trocha

$$D = 2 \sqrt{l^2 + \left(\frac{l}{\tan\alpha} + S\right)^2}$$

Adicionales

$$g = f/\tan\beta \text{ y } f = (R-a)/2$$

$$\tan\beta = (l+d)/\{A-0.5R-f\}$$

de ahí, recorrido hasta
tocar las plantas

$$g = \frac{(R-a) * \left(\frac{l}{\tan\alpha} + \frac{a}{2} - R\right)}{2 * (l+d)}$$

INFLUENCIA DE LOS TAMAÑOS DE TROCHA

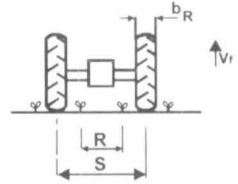
Hileras de plantas

$$S = n * R$$

$$b_R \leq k * R$$

$$k = 0.4..0.7$$

n = número de hileras en la trocha (huella)

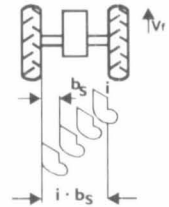


Arar

$$S - b_R \approx i * b_S$$

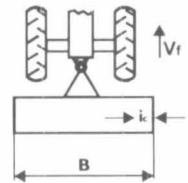
Tratamiento de la superficie, etc.

$$S + b_R \leq B - 2 * c$$



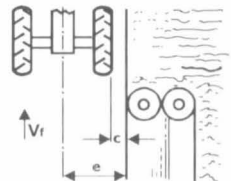
Sembrar

$$B \geq S$$



Cosecha (trabajando a un lado)

$$e \geq a + (S + b_R) / 2$$



EJE CARDAN

Revoluciones críticas

$$n_{cr} \approx 0,9 * 10^7 * \sqrt{\frac{D^2 + d^2}{L^2}}$$

D = diámetro periférico del tubo [cm]

d = diámetro interno del tubo [cm]

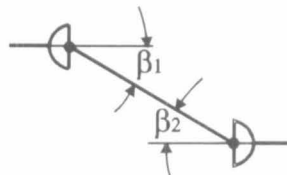
L = distancia de las juntas [cm]

Revoluciones máximas

$$n_{max} \leq 0.8 * n_{kr} \text{ [1/min]}$$

Revoluciones discontinuas

$$\omega_{max}/\omega_{min} = 1/\cos^2\beta$$

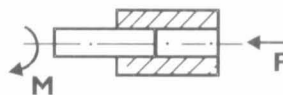
 ω = velocidad angular [s^{-1}]

Fuerza axial

$$F = 2 * M * \mu / D_u \quad [N]$$

 D_u = diámetro efectivo para la fuerza tangencial [m]

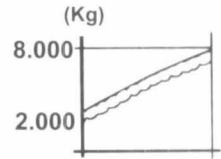
M = momento de giro [Nm]

 μ = coeficiente de fricción [-]

PARÁMETROS BÁSICOS

Masa sin carga

$$M_L = C * (P/P_0)^{0.75} \text{ [kg]}$$



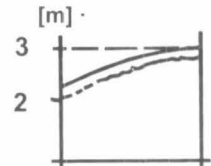
P = potencia del motor [kW]

C = 165...185 [kg]

P₀ = 1 [kW]

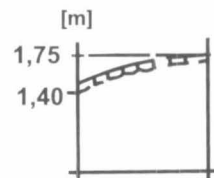
Longitud entre los ejes de las ruedas

$$l = 0.864 * \sqrt[4]{\frac{P}{P_0}} \begin{matrix} +0.1 \\ -0.05 \end{matrix}$$



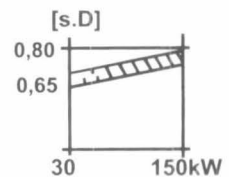
Diámetros de las ruedas traseras para tractores standard

$$D = 0.75 * \sqrt[6]{\frac{P}{P_0}} \begin{matrix} +0.1 \\ -0.05 \end{matrix}$$



Relación de los diámetros de las ruedas para tractores standard

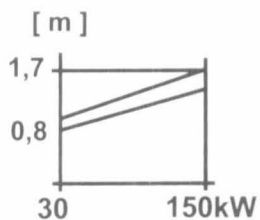
$$k_D = D_v/D_h = 0.65...0.80 \text{ [-]}$$



DIÁMETRO DE LAS RUEDAS CON EL MISMO TAMAÑO (DOBLE TRACCIÓN)

Diámetro de las ruedas con el mismo tamaño (doble tracción)

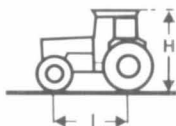
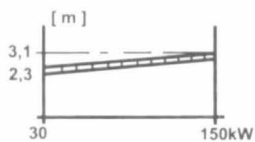
$$D_A = \sqrt[3]{\frac{P}{k}} \quad [m]$$



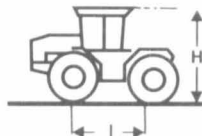
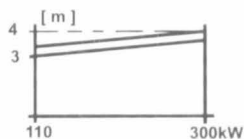
$k = 52 \dots 33 \text{ /kW/m}^3$ / (condiciones ligeras y pesadas)

Altura de la construcción, H

tractores del tipo
de standard



tractor grande



TAMAÑOS DE LOS TRACTORES (ECUACIÓN EMPÍRICA)

Longitud entre los ejes de las ruedas

$$l = 0.864 * \sqrt[4]{\frac{P}{P_0} \frac{+0.1}{-0.05}} \quad [m]$$

P = potencia del motor [kW]

$P_0 = 1$ kW

Diámetro de las ruedas para doble tracción y ruedas con varios diámetros

$$D_k = \sqrt[3]{\frac{P}{K_D}}$$

K_D = parámetro de uso de pendiente de las condiciones [kW/m³]

$K_D = 52 \dots 33$ [kW/m³]

(condiciones ligeras ... pesadas)

Masa sin carga

$m_L = C * (P/P_0)^{0.75}$ [kg]

C = coeficiente de la construcción [kg]

C = 165...185 [kg] dependiendo de la construcción

tracción de las ruedas traseras sin cabina hasta doble

tracción con cabina de seguridad

Fuerza de levante para la instalación en los brazos inferiores

$K_H = k_H * P$ [N]

k_H = constante [N/kW]

$k_H = 300 \dots 420$ [N/kW]

TRACTORES DE EUROPA

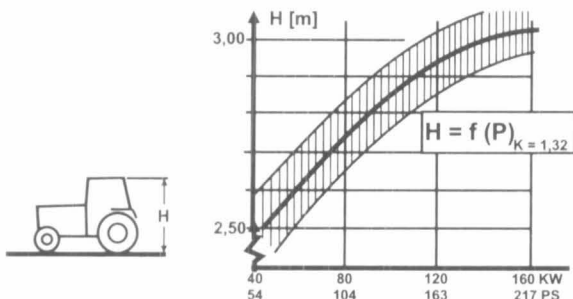
Altura de la construcción de la cabina de seguridad en los tractores

$$H = k * \sqrt[6]{P} \pm 0.1 \text{ [m]}$$

P = potencia del motor [kW]

k = 1.32 [-] para tractores grandes y del tipo standard

k = 1.35 [-] para tractores del tipo sistema



Tractores de Europa

Tipo de construcción	Rango de de	Potencia	Trocha	Neumático	Máximo
	KW	PS	m	Denominación	B*D
Tipo vinicultura	26...48	35...65	0.7...1.0	14.9-24AS	378*1,245
De plantación	37...59	50...80	1.0...1.20	14.9-28AS	378*1,355
Del tipo estándar	22...44	30...60	1.3...1.80	16.9-30AS	416*1,485
	40...66	60...90	1.5...2.0	18.4-34AS	445*1,650
	66...100	90...150	1.8...2.25	20.8-38AS	528*1,840
Del sistema	>110	>150	1.8...2.10	20.8-42AS	528*1,940
	44...66	60...80	1.5...2.00	18.4-30AS	445*1,550
	66...110	90...150	1.8...2.25	18.4-30AS	445*1,550

TAMAÑO DE LOS TRACTORES (ECUACIÓN EMPÍRICA)

Fuerza de levante para la instalación hidráulica delantera

$$K_F = k_F * P \text{ [N]}$$

$$k_F = \text{constante} \\ = 200..280 \text{ [N/kW]}$$

Caudal de la instalación hidráulica para el trabajo

$$Q = k_{hy} * \sqrt[4]{\frac{P}{P_0}} \text{ [l/min]}$$

$$k_{hy} = \text{constante [l/min]}$$

$$k_{hy} = 16...34 \text{ [l/min]}$$

$$P_0 = 1 \text{ kW}$$

Diámetro de las ruedas traseras, tractor standard

$$D_{st} = 0.75 * \sqrt[5]{\frac{P}{P_0} \frac{+0.1}{-0.05}} \text{ [m]}$$

Relación de los diámetros de las ruedas para doble tracción de tractores del tipo standard

$$k_D = D_v/D_h = 0.65 \dots 0.85 \text{ [kW]}$$

P = potencia del motor [kW]

ANCHOS DE TROCHA

Anchos de trocha (el cóncavo hacia afuera)

(posición)

$$S_1 = F + 2 * (s + t + b) \quad \text{max} \quad i$$

$$S_2 = F + 2 * (s + t + a) \quad i$$

$$S_3 = F + 2 * (t - a) \quad a$$

$$S_4 = F + 2 * (t - b) \quad \text{min} \quad a$$

Anchos de trocha (cóncavo hacia el interior)

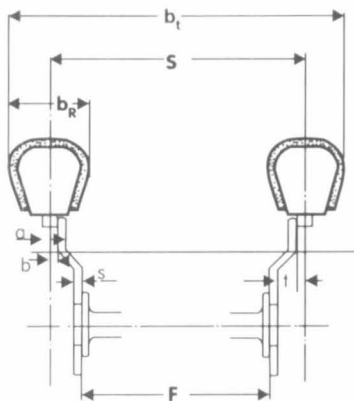
$$S_5 = F - 2 * (t - s - b) \quad \text{max} \quad i$$

$$S_6 = F - 2 * (t - s - a) \quad i$$

$$S_7 = F - 2 * (t + s + a) \quad a$$

$$S_8 = F - 2 * (t + s + b) \quad \text{min} \quad a$$

i = interna
a = afuera

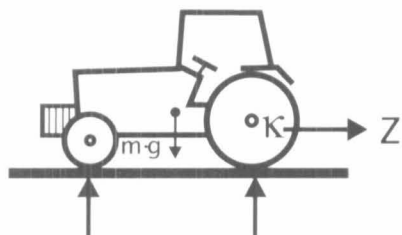


NEUMÁTICOS

Ancho del neumático	Diámetro del rin["]														
	17/	/mm/	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
7.2 - 183									1250		1362				
8.3 - 211	995				1095		1095		1290				1490		
9.5 - 241	1050					1200	1250		1390						1660
11.2 - 284	1105				1200		1305		1410						
12.4 - 302	1160				1260		1360		1465	1515					
13.6 - 332	1190				1310				1515	1545					
14.9 - 365	1265	1315			1365	1415				1615					
16.9 - 415			1385			1485		1585		1685		1770			
18.4 - 445			1450			1550		1650		1750					
20.8 - 528								1722		1840					
										(a)					
23.1 - 587			1605			1705		1805							

TRACCIÓN DE LAS RUEDAS TRASERAS SIN BLOQUEO DEL DIFERENCIAL

$$Z = (m_h - \Delta m_v) * g * k_{\min} - (m_v + \Delta m_v) * g * \rho$$



$$A_{\text{dyn}} = [m_h - \Delta m_v] \cdot g \quad B_{\text{dyn}} = [m_v + \Delta m_v] \cdot g$$

Tracción de las ruedas traseras con bloqueo del diferencial

$$Z = (m_h + \Delta m_v) * g * 0.5 * (k_{\min} + k_{\max}) - (m_v - \Delta m_v) * g * \rho$$

Doble tracción sin bloqueo del diferencial

$$Z = g * [(m_v - \Delta m_v) * k_{v,\min} + (m_h + \Delta m_v) * k_{h,\min}]$$

Doble tracción con bloqueo del diferencial

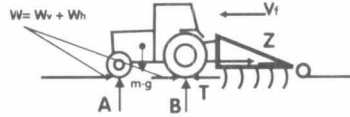
$$Z = g * [(m_v - \Delta m_v) * 0.5 * (k_{v,\min} + k_{v,\max}) + (m_h + \Delta m_v) * 0.5 * k_{h,\min} + k_{h,\max}]$$

k = coeficiente de la fuerza de tracción [-]

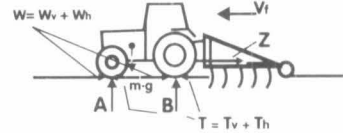
ρ = resistencia de la fuerza de avance [-]

COEFICIENTES DEL RENDIMIENTO

Tracción de las
ruedas traseras



Doble tracción



Rendimiento
de la transmisión
de la tracción

$$\eta_T = Z / (Z + W) * (1 - \sigma) \quad [-]; \quad \sigma = \text{patinaje} \quad [-]$$

Z = fuerza de tracción [N]
W = resistencia de avance [N]

Fuerza de tracción

$$Z = B * k - W_v = (m * g - A) * k - A * f$$

$$k_h = B / (m * g)$$

$$\eta_T = \frac{B * \kappa - A * f}{B * \kappa - A * f + m * g * f} * (1 - \sigma) \quad [s.d.]$$

$$\eta_T = \frac{k_h * \kappa - (1 - h_h) * f}{k_h * \kappa - (1 - k_h) * f + f} * (1 - \sigma) \quad [s.d.]$$

$$Z = (A + B) * k * k_1 = m * g * k * k_1$$

- k = coeficiente de la fuerza de tracción [-]
- f = resistencia de avance [-]
- k_h = proporción de la fuerza dinámica de apoyo [-]
- k_{1,2} = coeficiente de multi-flujo [-] = 1.0 .. 1.3

$$\eta_T = k_2 * \frac{\kappa}{\kappa + f} * (1 - \sigma) \quad [s.d.]$$

FUERZA DE TRACCIÓN UTILIZABLE DEL TRACTOR DE DOBLE TRACCIÓN

$$Z_{\max} = (1,000 * P * \eta_T * \eta_{tr} * \lambda) / v_f \quad [\text{kW}]$$

o bien,

Velocidad de trabajo máximo posible

$$v_{f,\max} = (1,000 * P * \eta_T * \eta_{tr} * \lambda) / Z \quad [\text{m/s}]$$

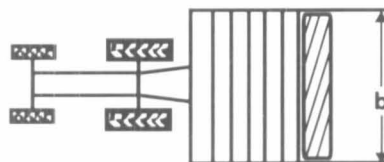
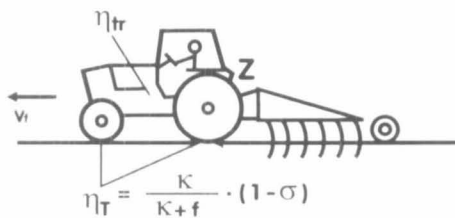
o bien,

Rendimiento máximo de la superficie

$$A_{\max} = \frac{360 * P * b * \eta_T * \eta_{tr} * \lambda * \eta_F * \eta_b}{Z} \quad [\text{ha/h}]$$

Rendimiento de la superficie

$$A = 0,36 * b * v_f * \eta_F * \eta_b \quad [\text{ha/h}]$$



Masa necesaria del tractor

$$m = \geq Z / (g * k) \quad [\text{kg}]$$

POTENCIA EFECTIVA DEL MOTOR

$$P_e = z * p_e * A * h * n / (i * 300) = z * p_e * V_h * n / (i * 300) \text{ [kW]}$$

z = número de cilindros [-]

p_e = presión efectiva promedio [bar]

$$P_e = P_i - P_r$$

A = superficie del pistón [dm²]

V_h = longitud del recorrido del pistón [dm]

n = revoluciones [min⁻¹]

i = número de tiempos (2 o 4) [-]

$$\text{con: } P_e = M * n / 9,550 \text{ [kW]}$$

Presión efectiva

$$p_e = 300 * i * M / (9,550 * z * V_h) \text{ [bar]}$$

M = momento de giro del motor

Rendimiento

$$\eta_M = 100 / (1,163 * b_e) = 86 / b_e \text{ [-]}$$

$$b_e = 1,000 * B / P_e \text{ [g/kWh]}$$

= consumo específico de combustible

B = consumo de combustible [kg/h]

$$1,000 \text{ kcal} = 100\text{g} = 1,163 \text{ kWh}$$

ACELERACIÓN AL INICIAR Y AL TERMINAR EL PROCESO

Aceleración al iniciar y al terminar el proceso

$$a = v_f^2 / (2 * s) = v_f / t = 2 * s / t^2 \quad [m/s^2]$$

Tiempo para empezar y terminar el proceso

$$t = \frac{v_f}{a} = 2 * \frac{s}{v_f} = \sqrt{\frac{2 * s}{a}} \quad [s]$$

Condiciones al borde de la rueda para frenar

$$F_B = m * a \leq B_{dyn} * \mu \quad [N]$$

B_{dyn} = total de las fuerzas perpendiculares de las ruedas frenadas [N]

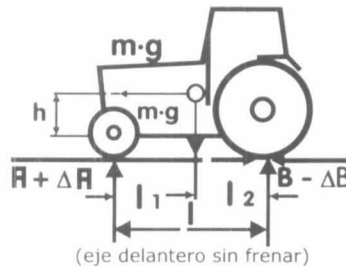
μ = coeficiente de fricción de rodamiento, suelo / neumático [-]

m = masa del vehículo [kg]

v_f = velocidad nominal [m/s]

Descarga de eje trasero o carga del eje de las ruedas

$$-\Delta B = \Delta A = m * a * h / l \quad [N]$$



Carga dinámica sobre el eje de las ruedas traseras en el momento del frenado

$$B_{dyn} = B - \Delta B = (m * g * l_1 / l) - (m * a * h / l)$$

$$B_{dyn} = (m / l) * (g * l_1 - a * h) \quad [N]$$

Fuerza de frenado de las ruedas traseras

$$F_B = B_{dyn} * \mu = m * a = [\mu * m / l] * (g * l_1 - a * h)$$

De ahí, retraso máximo para el frenado

$$a_{max} = [\mu * g * l_1] / (l + \mu * h) \quad [m/s^2]$$

RADIO DE LA LÍNEA CARGADA (PESADA) DE LA SUPERFICIE DE TRABAJO DEL EMBRAGUE

Radio de la línea cargada (pesada) de la superficie de trabajo del embrague

$$R_s = (2/3) * (R^3 - r^3)/(R^2 - r^2) = (R + r)/2 = D/2$$

Fuerzas tangenciales de la transmisión

$$U = F * \mu * Z = p * A * Z * \mu$$

$$U = p * \pi * (R^2 - r^2) * \mu * Z$$

n = número de discos [-]

μ = coeficiente de rozamiento [-]

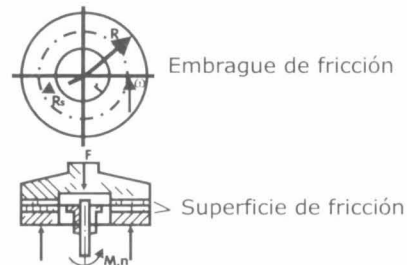
F = fuerza de presión [N]

$r/R = 0.6..0.7$ (común)

p = fuerza de presión de las superficies de rozamiento [N/sm²]

$A = \pi * (R^2 - r^2)$ superficie de rozamiento [cm²]

$Z = 2 * n$ = número de las superficies de fricción [-]



coeficiente de rozamiento

$\mu = 0.1..0.2$ (embrague húmedo)

$= 0.2..0.4$ (embrague seco)

(dependiente del material de la superficie de fricción)

Momento de giro transformado

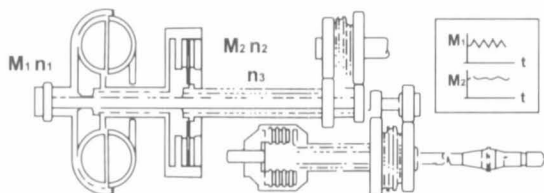
$$M = R_s * U$$

$$= (2/3) * [(R^3 - r^3)/(R^2 - r^2)] * p * \pi * (R^2 - r^2) * Z * \mu$$

$$M = (2/3) * p * \pi * Z * \mu * (R^3 - r^3) \approx \mu * F * Z * D/2$$

TURBINA DE FUERZA CENTRIPETA

Turbina de fuerza centripeta engranaje del cambio de marcha
 bomba de fuerza centrífuga



embrague-turbo embrague
 embrague de la marcha

embrague de la toma de fuerza
 toma de fuera del motor

----- caudal de la fuerza para el accionamiento de la marcha

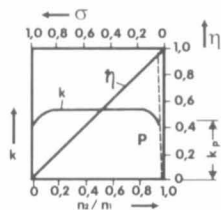
..... caudal de la fuerza de la toma de fuerza del motor

disposición esquemática del caudal de la fuerza para el accionamiento de marcha y para la toma de fuerza del motor

Momento de giro transformado (por las leyes) de similitud para las máquinas de fluidos

$$M = k * n_1^2 * D^5 \text{ [Nm]}$$

coeficiente:

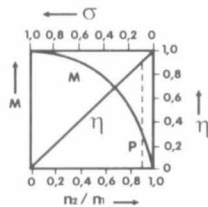


$$k = f(n, \sigma)$$

D = diámetro hidrodinámico más grande utilizado

Rendimiento en la entrada

$$N_1 = M_1 * n_1 / 9,550 \text{ [kW]}$$



Rendimiento en la salida

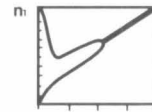
$$N_2 = M_2 * n_2 / 9,550 \text{ [kW]}$$

punto de trabajo

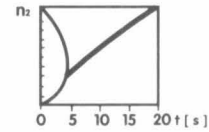
RENDIMIENTO DEL TURBO-EMBRAGUE

Rendimiento del turbo-embrague

Embrague de fricción



Turbo-embrague



Embrague de fricción

$$\eta = N_2/N_1 = \{M_2 * n_2\}/(M_1 * n_1)$$

$$\text{con } M_1 = M_2 \text{ y } n_2 = n_1 * (1 - \sigma)$$

$$\eta = n_2/n_1 = 1 - \sigma \text{ [-]}$$

M = momento de fricción [Nm]

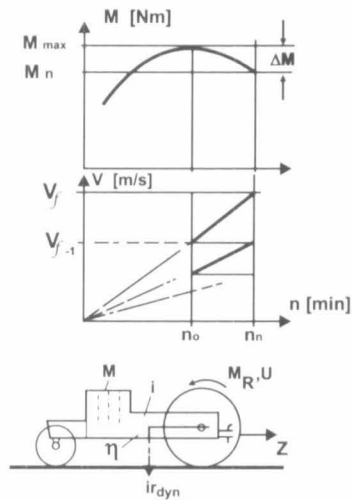
n = revoluciones [min⁻¹]

σ = patinaje[-]

común:

$\eta = 0.97 \dots 0.98$ para revoluciones nominales

PENDIENTE RELATIVA DEL MOMENTO DE GIRO



Pendiente relativa del momento de giro

$$a = \Delta M / M_n$$

Fuerza máxima tangencial

$$U_{max} = (i / r_{dyn}) * M_n * \eta * (1 + a)$$

i = coeficiente de transmisión del engranaje

Condición para el cambio de engranaje, si el momento de giro debiera ser el máximo utilizable

$$\varphi \leq n_0 / n_n$$

$$\text{común: } n_0 / n_n = 0.7 \dots 0.8 [-]$$

de ahí

$$\varphi \leq V_a / V_{a-1} = M_{R,-1}^\alpha / M_{R,R}^\alpha$$

de ahí

$$U = M_R / r_{dyn}$$

BENEFICIO DE LA VELOCIDAD DE MARCHA MEDIANTE UN ENGRANAJE CON SALTOS

Beneficio de la velocidad de marcha mediante un engranaje con saltos (escalones)

$$(\Delta v/v)_{\max} = (\varphi_{\text{promedio}}/\varphi_{\min}) - 1$$

beneficios de velocidad de marcha con engranaje sin escalones en relación al engranaje con escalones

$$\Delta v/v = k * \varphi - 1$$

$$\text{con : } \varphi_{\min} = 1 \text{ y } k = \eta_{G0}/\eta_G * \lambda_0/\lambda$$

Beneficios promedio de la velocidad de marcha con engranaje sin escalones en relación a engranaje con escalones

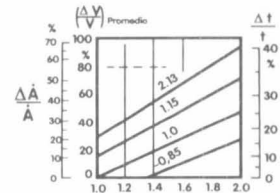
$$\begin{aligned} (\Delta v/v)_{\text{promedio}} &= 0.5 * [(\Delta v/v)_{\max} + (\Delta v/v)_{\min}] \\ &= 0.5 * [(k * \varphi - 1) + (k-1)] \end{aligned}$$

λ = coeficiente de uso de la potencia del motor [-]

η = coeficiente de rendimiento del engranaje [-]

beneficio promedio

$$\frac{\Delta \dot{A}}{\dot{A}} = \left[\frac{\Delta v}{v} \right]_{\text{promedio}}$$



salto del escalón utilizado

Potencia necesaria del motor para tracción pura

$$P = (W + Z) * V_f / (1,000 * \eta_{\text{total}} * \lambda) \text{ [kW]}$$

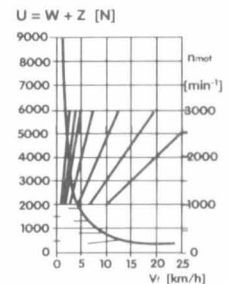
Velocidad posible de marcha

$$v_f = 1,000 * P * \eta_{\text{total}} * \lambda / (W + Z) \text{ [m/s]}$$

W = resistencia de la marcha [N]

U = fuerza tangencial [N]

Z = fuerza de tracción [N]



POTENCIA DE ACCIONAMIENTO DEL CILINDRO HIDRÁULICO EN EL TRABAJO

Potencia de accionamiento del cilindro hidráulico en el trabajo

$$P = \frac{p * \dot{V}}{600 * \eta_{total}} [kW]$$

común: $P = 160 \dots 200$ bar

Volumen de entrada necesaria para la bomba hidráulica

$$V_p = \frac{\dot{V}}{n * \eta_{total}} [l]$$

\dot{V} = caudal [l/min]

p = presión del trabajo /bar/

Capacidad de trabajo del cilindro hidráulico

$$W = p * A * s * \eta_R * 10^5 [Nm]$$

A = superficie utilizable del pistón [m²]

s = recorrido del pistón [m]

η_R = rendimiento por pérdidas de fricción de fugas por agujeros [-]

Tiempo de recorrido del pistón

$$t_h = \frac{60 * V_{cil}}{\dot{V}} [s]$$

Común: $t_h = 1.5 \dots 2(4)$ s

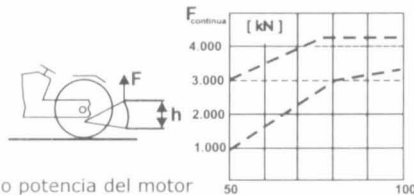
$V_{cilindro}$ = volumen de entrada al cilindro de trabajo [l]

Capacidad utilizable del trabajo

$$W_n = F_{continua} * h [Nm]$$

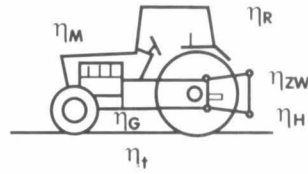
común: $h = 600 \dots 700(800)$ mm

$F_{continua}$ = fuerza para levantar en continuo [N]



Potencia del tractor o potencia del motor

POTENCIA MÁXIMA Y EFECTIVA DEL MOTOR



rendimiento
del eje de las
ruedas
I

rendimiento
de tracción
II

rendimiento
de la toma
de fuerza
III

potencia efectiva
utilizada
IV

caudal de
combustible
(energía)
VIII

potencia
del motor
V

rendimiento
hidráulico
VI

rendimiento
del resto
VII

- I) $P_{M,N} * \eta_G = P_N$
- II) $P_N * \zeta_T = P_Z$
- III) $P_{M,Z;W} * \eta_{ZW} = P_{ZW}$
- IV) $P_{ef} = P_o * \eta_{total}$
- V) $\eta_M * P_o = P_M$
- VI) $P_{M,H} * \eta_H = P_H$
- VII) $P_{M,R} * \eta_R = P_R$
- VIII) $k * V = W = P_O$

Potencia máxima del motor

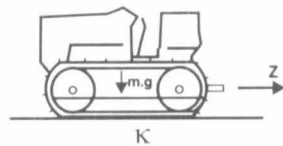
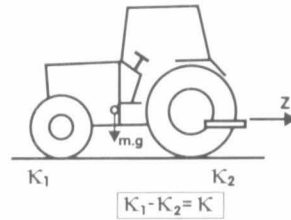
$$P_{M,max} = P_o * \eta_M \left[\frac{P_Z}{\eta_G * \eta_T} + \frac{P_{ZW}}{\eta_{ZW}} + \frac{P_H}{\eta_H} + \frac{P_R}{\eta_R} \right] * 1/\lambda$$

Potencia efectiva utilizada

$$P_{eff} = P_Z + P_{ZW} + P_H + P_R$$

TRABAJO DE LAS RUEDAS (DOBLE TRACCIÓN)

Trabajo de ruedas (doble tracción)



Tractor con orugas

trabajo en
el campo

valores comunes

	coeficiente de la tracción	coeficiente de resistencia de la marcha
	κ	ρ
rueda	0.3...0.7	0.05...0.3
oruga	0.7...1.1	0.05...0.2

$$\kappa_1 \approx \kappa_2 \approx \kappa$$

Fuerza máxima de tracción de doble tracción y de orugas

$$Z_{\max} = m * g * \kappa \quad [\text{N}]$$

m = masa del tractor

g = aceleración de la gravedad $[\text{m/s}^2]$

κ = coeficiente de la fuerza de tracción $[-]$

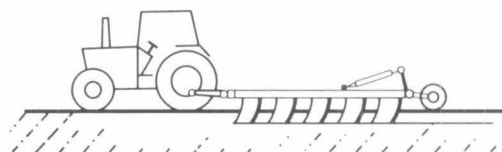
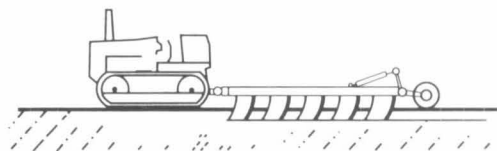
Condiciones para el trabajo de la tracción (doble tracción)

$$Z_{\text{necesaria}} \leq Z_{\max}$$

$$Z_{\text{necesaria}} \leq m * g * \kappa$$

TRACTOR DE ORUGAS (100HP)

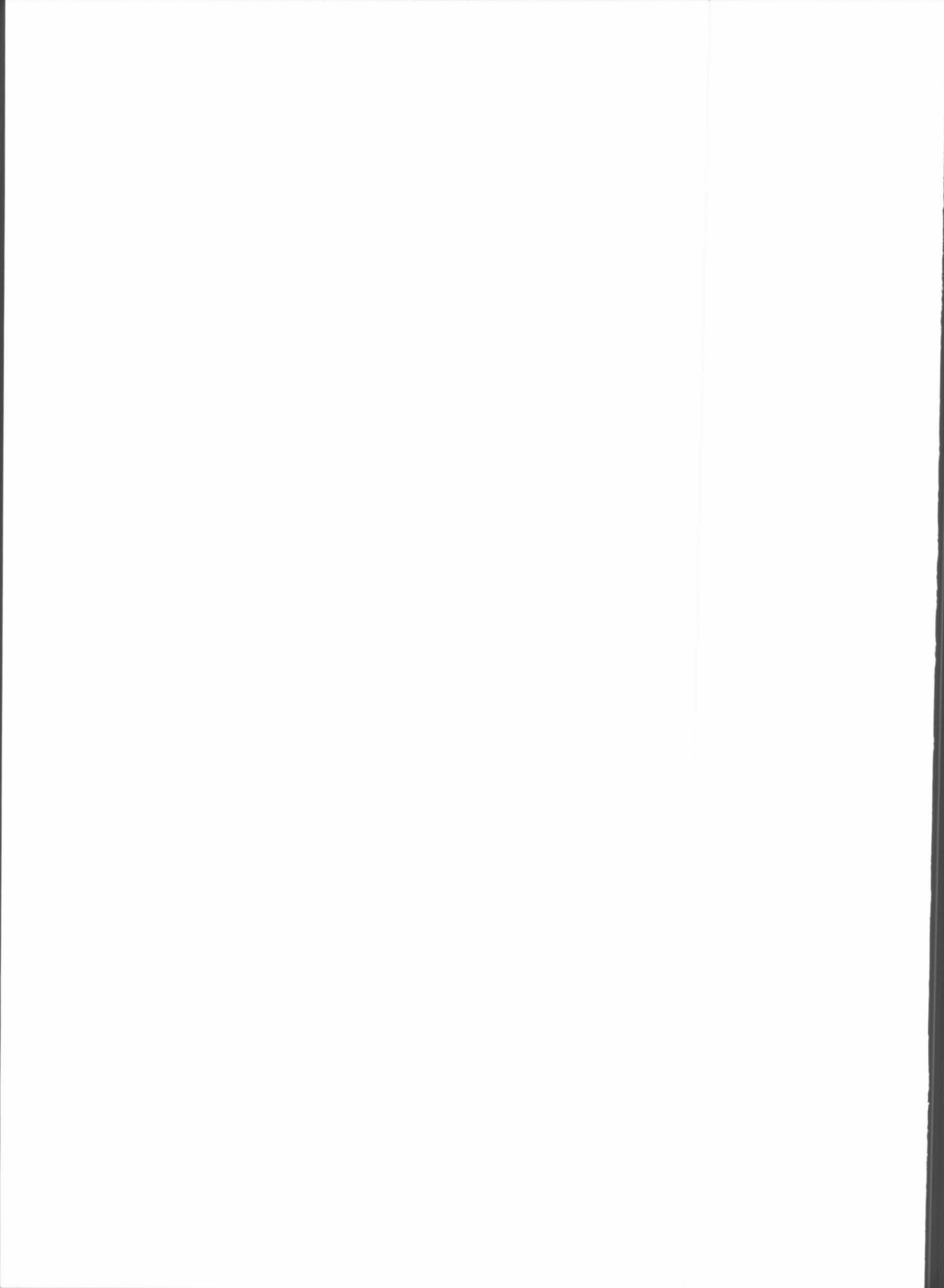
Tractor de orugas (100HP)
con arado semisuspendido de 5 rejas



Tractor de doble tracción (100HP)
con arado semisuspendido de 5 rejas

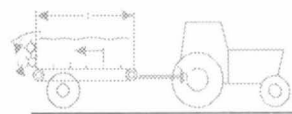
Tractores

Tipo de construcción	Potencia del motor kW/HP	Masa del tractor		Velocidad posible	
		Sin carga (kg)	Trabajando (kg)	km/h	Número de velocidades
Tractor de orugas	74/100	7200	7200	2.5...9 (10)	5...6
Tractor con ruedas	74/100	4500	6400	0.4...30	12...18



Capítulo 2

Tecnología de la Producción Agrícola



ESCALAS DE LA PRODUCCIÓN EN SERIE

Salto de una escala

$$\varphi = \sqrt[n-1]{\frac{N_{\max}}{N_{\min}}} \quad [s.d.]$$

n = número de los varios tipos

N_{\max} = coeficiente de rendimiento (potencia) del tipo más grande

N_{\min} = coeficiente de rendimiento (potencia) del tipo más pequeño

Variables de experiencia para tractores y máquinas agrícolas

$$\varphi = \sqrt{2} \approx 1.4$$

Necesidades pequeñas, o cifra de negocios, o monopolio

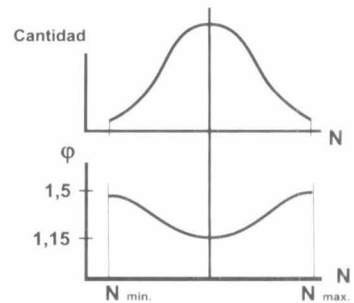
$$\varphi = \sqrt[3]{2} \approx 1.25$$

Necesidades medianas o cifra mediana de negocios o pequeña competencia

$$\phi = \sqrt[4]{2} \approx 1.18$$

Necesidades grandes o cifras grandes de negocios y competencia grande

Para necesidades casi - normal (cantidad = $f(N)$) un pequeño y frecuente salto de escala en el punto de grandes necesidades y un gran salto de escala en el rango del borde



RENDIMIENTO DEL TRANSPORTE Y DE SUPERFICIE EN EL CAMPO

Rendimiento superficial (de superficie en el campo)

$$\dot{A} = \frac{b \cdot v_F}{10} \cdot \eta_B \cdot \eta_F \quad [ha/h]$$

b = ancho de trabajo de la máquina [m]

v_F = velocidad de trabajo [km/h]

η_B = coeficiente de utilización del ancho [-]

η_F = coeficiente de utilización en el campo [-]

Rendimiento de transporte

$$\dot{T} = m_N \cdot v_F \cdot \eta_N \cdot \eta_T \quad \left[\frac{t \cdot km}{h} \right]$$

m_N = masa útil [t]

η_N = coeficiente de utilización de la masa útil [-]

η_T = rendimiento para el transporte [-]

Rendimiento en el campo o para el transporte

$$\eta_F \text{ o bien } \eta_T = \frac{\sum t_h}{\sum t_h + \sum t_n} \quad [s.d.]$$

t_h = tiempo principal de trabajo [min]

t_n = tiempo auxiliar del trabajo [min]

Tiempo necesario para un lote (parcela)

$$t_F = \frac{A}{\dot{A}} \quad [h]$$

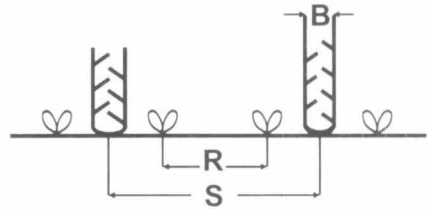
A = área de la parcela (lote) [ha]

T = trabajo para el transporte [t*km]

TROCHA, ANCHO DE LAS HILERAS, LONGITUD DE LA HILERA, NÚMERO DE VUELTAS

Ancho entre las ruedas

$$S = n * R \text{ [m]}$$



n = número de hileras en el ancho entre las ruedas [-]

R = ancho entre las hileras de las plantas [m]

Ancho máximo de los neumáticos entre las hileras de las plantas

$$B \leq 0.6 * R \text{ [m]}$$

Longitud por unidad de superficie

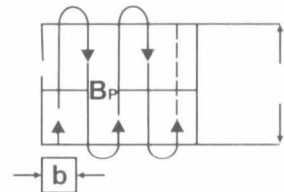
$$l_f = 10^4/R \text{ [m longitud de hilera/ha]}$$

Número de vueltas por parcela(lote)

$$Z_w = B_p/(b * \eta_B) \text{ [-]}$$

b = ancho de trabajo de la máquina [m]

η_B = rendimiento de la utilización del ancho [-]



B_p = ancho del lote (parcela)

FUERZAS DE TRABAJO NECESARIO

Fuerzas de trabajo necesario

$$K_A = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{A_i} \begin{bmatrix} Akh \\ ha \end{bmatrix}$$

Material necesario

$$m_A = \sum_{i=1}^k \frac{m_i}{A_i} \begin{bmatrix} th \\ ha \end{bmatrix}$$

Energía necesaria

$$W_A = \sum_{i=1}^k \frac{P_{nec,i}}{A_i} \begin{bmatrix} kWh \\ ha \end{bmatrix}$$

Rendimiento de la superficie

$$A = \frac{b \cdot v_F \cdot \eta_b \cdot \eta_F}{10} \begin{bmatrix} ha \\ h \end{bmatrix}$$

k = número de operaciones de trabajo/número de varios trabajos específicos [-]

n = número de trabajadores para cada trabajo específico

m = masa de la máquina

P_{nec.} = rendimiento necesario del motor [kW]

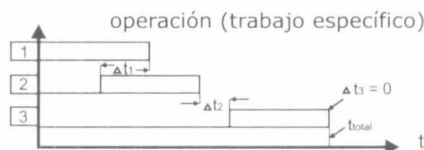
b = ancho de trabajo [m]

v_F = velocidad de trabajo [km/h]

η = rendimiento del ancho [-]

η = rendimiento de campo [-]

t_{total} = tiempo total de trabajo [h/ha]



Potencia (una o más operaciones)

$$S = \frac{1}{t_{total}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{A_i} \pm \Delta t_i \right)} \begin{bmatrix} ha \\ h \end{bmatrix}$$

RENDIMIENTO DE LA SUPERFICIE (LOTE), PRESIÓN SOBRE EL SUELO, ANCHO DE LA LLANTA

Volumen de tratamiento

$$\dot{V} = 10^4 * \dot{A} * h \quad [m^3 / h]$$

\dot{A} = rendimiento de la superficie [ha]

h = profundidad de trabajo [m]

Consumo de energía por volumen específico

$$W_{vol} = \frac{W_E * \dot{A}}{\dot{V}} = \frac{P * \lambda}{\dot{V}} \quad [kWH / m^3]$$

W_E = consumo de energía por superficie específica

$$n = \frac{A}{t * \dot{A}} \quad [pieza]$$

Número de máquinas necesarias

$$n = \frac{A}{t * \dot{A}} \quad [pieza]$$

A = superficie que se tiene que preparar [ha/h]

t = tiempo disponible [h]

Presión sobre la superficie del suelo

$p_m = k * p_i$ [bar] objetivos: $p \approx 1.0..1.5$ bar sobre el campo

p_i = presión interna del neumático

k = coeficiente de la construcción del neumático [-]
= 1.2 .. 2.5 por perfil, tamaños del neumático, etc.

Ancho de la llanta (empírico)

$$B = 1,360 * P/n \quad [cm]$$

P = potencia del motor [kW]

n = revoluciones [min^{-1}]

CONDICIONES PRINCIPALES

Consumo de combustible

$$m_{KA} = \frac{b_e * P * \lambda}{A} \quad [kg / ha]$$

$$\dot{m}_k = b_e * P * \lambda \quad [kg / h]$$

 \dot{A} = rendimiento de la superficie [ha]

 b_e = consumo de combustible específico [kg/kWh]

 P = potencia del motor [kW]

 λ = coeficiente del uso del motor [-]

Potencia necesaria del motor

$$P_e = \left[\frac{P_Z + P_S + P_F}{\eta * (1 - \sigma)} + \frac{P_{PZ}}{\eta_{ZW}} + \frac{P_H}{\eta_H} \right] * \frac{1}{\lambda}$$

 P_Z = fuerza de tracción [kW]

 P_F = rendimiento para la resistencia de avance [kW]

 P_S = rendimiento para la elevación [kW]

 P_{ZW} = rendimiento en la toma de fuerza [kW]

 P_H = rendimiento hidráulico y en otros accionamientos auxiliares [kW]

 $\eta_{Z,ZW,H}$ = rendimiento [-]

Patinaje

$$\sigma = (v_o - v) / v_o = 1 - v / v_o \quad [-]$$

 v_o = velocidad teórica [m/s]

 v = velocidad efectiva [m/s]

Discontinuidad de la rotación

$$S = (\omega_{\max} - \omega_{\min}) / \omega_{\text{promedio}} \quad [-]$$

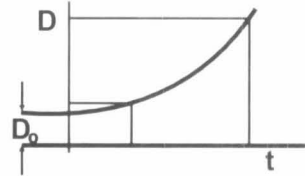
$$\omega_{\text{promedio}} = 0.5(\omega_{\max} + \omega_{\min})$$

 ω = velocidad del angular [s⁻¹]

LEYES DEL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO EN LA AGRICULTURA

Crecimiento de las plantas

$$\ln D = k * t + \ln D_0$$



o en otras palabras

$$D = e^{k*t + \ln D_0}$$

D = diámetro de las plantas

k = constante del crecimiento

D₀ = diámetro al inicio del crecimiento

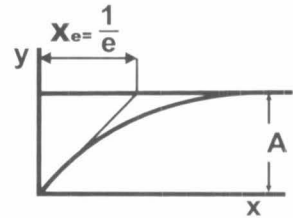
t = tiempo

Ley de los factores de crecimiento (por Mitscherlich)

$$y'(x) = d_y/d_x = c * (A - y)$$

de ahí

$$1/c * y' + y = A$$



Resultado de la ecuación diferencial

$$y = A * [1 - e^{-c*x}]$$

A = rendimiento máximo

y = rendimiento realizado

c = valor del factor de crecimiento

x = masa conducida en el factor de crecimiento

PERDIDAS DE LA COSECHA EN RELACIÓN A LA FECHA DE LA COSECHA

Pérdidas de la cosecha

$$\Delta e = T * e_o * \Delta t \text{ [t/ha]}$$

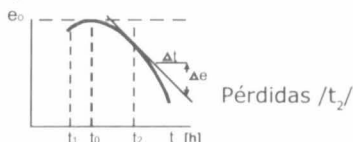
T = factor de gastos y de la fecha [h]

e_o = rendimiento óptimo [t/ha]

t = tiempo [h]

t_o = fecha óptima de la cosecha

Rendimiento e_o /t/ha/



Rendimiento



tiempo de cultivo (labrado)

Rendimiento en relación al tiempo de labrado para unos trabajos típicos con sencillez diferente (por Hunt y Patterson)

Factor - gastos - fechas T por Hunt

acción del trabajo	factor-gasto-fechas $T * 10^3$ [1/h]
labranza del suelo	0.05..0.3
sembrar	0.3
cosecha de granos	0.2
cosecha de soya	0.5
cosecha de maíz	0.3
cosecha de heno	1.0

Pérdidas por día para la cosecha de granos desde 0.25 hasta 0.45% del rendimiento óptimo por divergencia del punto correcto de la fecha óptima de la cosecha.

LA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD Y DE CRECIMIENTO

Distribución normal (o densidad de la probabilidad)

$$f(x) = \frac{1}{S \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} * e^{-\frac{1}{2 \cdot s^2} * (x - \bar{x})^2}$$

x = variabilidad de la probabilidad

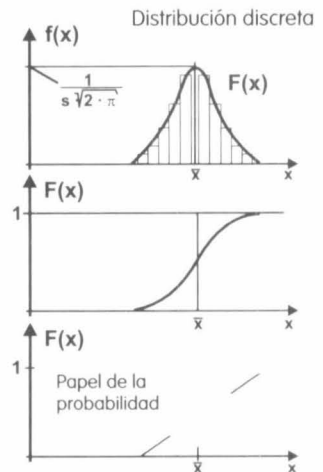
s = divergencia del standard

x = valor promedio

Función de la suma

(S - curva)

$$f(x) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) * dx$$



t = tiempo

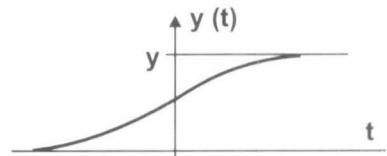
Función de crecimiento

(curva logarítmica)

$$y(t) = \frac{1}{1 + A * e^{-k * t}}$$

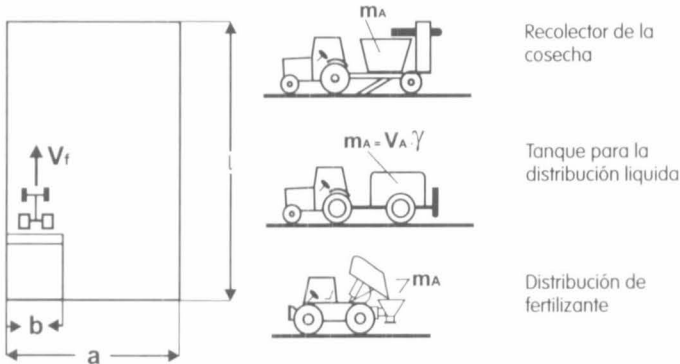
A, k = constantes

t = tiempo



PARCELA

Parcela



$b = b_o * \eta_B =$ ancho efectivo de trabajo [m]

$n =$ número de viajes [-]

$m_A =$ masa de la distribución o de la cosecha [kg/ha]

$\gamma =$ densidad [kg/ha]

$v_f =$ velocidad de trabajo [m/s]

Capacidad del tanque (masa utilizada) para la distribución (por ej. líquida) o recolección (cosecha)

$$m_B = n * b * l * m_A / 10^4 \text{ [kg]}$$

Longitud máxima del lote

$$l \leq (10^4 * m_B) / (n * b * m_A) \text{ [m]}$$

Volumen del tanque o del recipiente

$$V_B = m_B / \gamma \text{ [dm}^3\text{]}$$

Volumen del recipiente para la ida y vuelta

$$V_B = (b * l_o * m_A) / (\gamma * 10^4) \text{ [dm}^3\text{]}$$

Tiempo para la operación (trabajo)

$$t = l_o / v_f \text{ [s]}$$

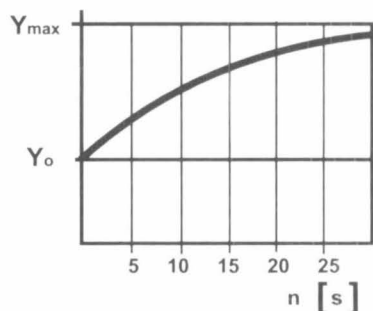
ECUACIÓN PRINCIPAL PARA EL DESARROLLO DE LA EXISTENCIA DE LAS PLANTAS EN EL LOTE

Ecuación principal para el desarrollo de la existencia de las plantas en el lote

$$Y_n = Y_{n-1} * (1 - 1/T) + Y_a$$

De ahí la función principal para el desarrollo de la existencia de las plantas en el lote

$$Y_n = Y_o * (1 - 1/T)^n + Y_a * T * [1 - (1 - 1/T)^n]$$



Existencia de las plantas al final

$$Y_{max} = Y_a * T$$

Y_n = número de máquinas en n - años [piezas]

Y_o = número de máquinas al inicio [piezas]

Y_a = crecimiento aditivo de máquinas [piezas/a]

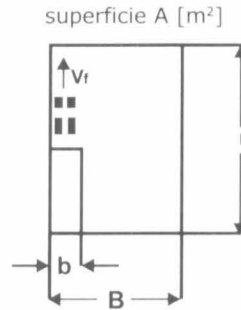
T = tiempo promedio utilizado por año [a]

n = 1,2,3... = número de años

ANCHO DE LOTE

Ancho de lote

$$B = A/l$$



Número de vueltas

$$n_w = B/b = A/(l * b)$$

Tiempo principal del tratamiento

$$t_h = n_w * l/v_f = (l/v_f) * (A/(l*b)) = A/(v_f * b)$$

b = ancho efectivo de trabajo de la máquina [m]

$$b = b_o * \eta_b$$

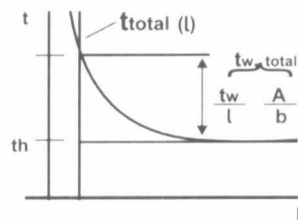
t_w = tiempo para la vuelta

Tiempo total para el tratamiento (operaciones + vuelta, sin averías, llenado, transporte hacia el campo, etc.)

$$t_{total} = t_h + t_{w,total}, \text{ con } t_{w,total} = t_w * n_w$$

$$= A/(v_f * b) + t_w * A/(l * b)$$

$$t_{total}(l) = A/b * (1/v_f + t_w/l)$$

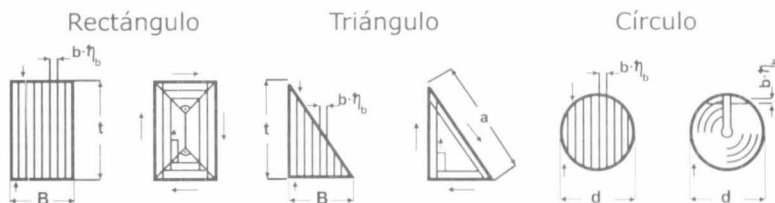


$$t_{total}(l)_{min} = (A/b) * (1/v_f)$$

para $l \rightarrow \infty$

o $B \rightarrow b$

TRIÁNGULO, RECTÁNGULO, CÍRCULO



Rectángulo :

Superficie $A = B * l$

Número de operaciones en la vuelta [1/ha]

$$n = \frac{B}{b * \eta_b} \qquad n = \frac{4 * A}{\bar{s} * b * \eta_b}$$

Recorrido promedio por viaje a la derecha o para ida y vuelta $s = l$

$$\bar{s} = \frac{2 * (l + B) + 2 * (l - B)}{2} \\ \bar{s} = 2 * l$$

Triángulo:

Superficie $A = B * l / 2$

Número de operaciones en la vuelta [1/ha]

$$n = \frac{B}{b * \eta_b} \qquad n = \frac{3 * A}{\bar{s} * b * \eta_b}$$

Recorrido promedio por viaje a la derecha o para ida y vuelta $s = l / 2$

$$\bar{s} = \frac{B + l + a}{2}$$

Círculo:

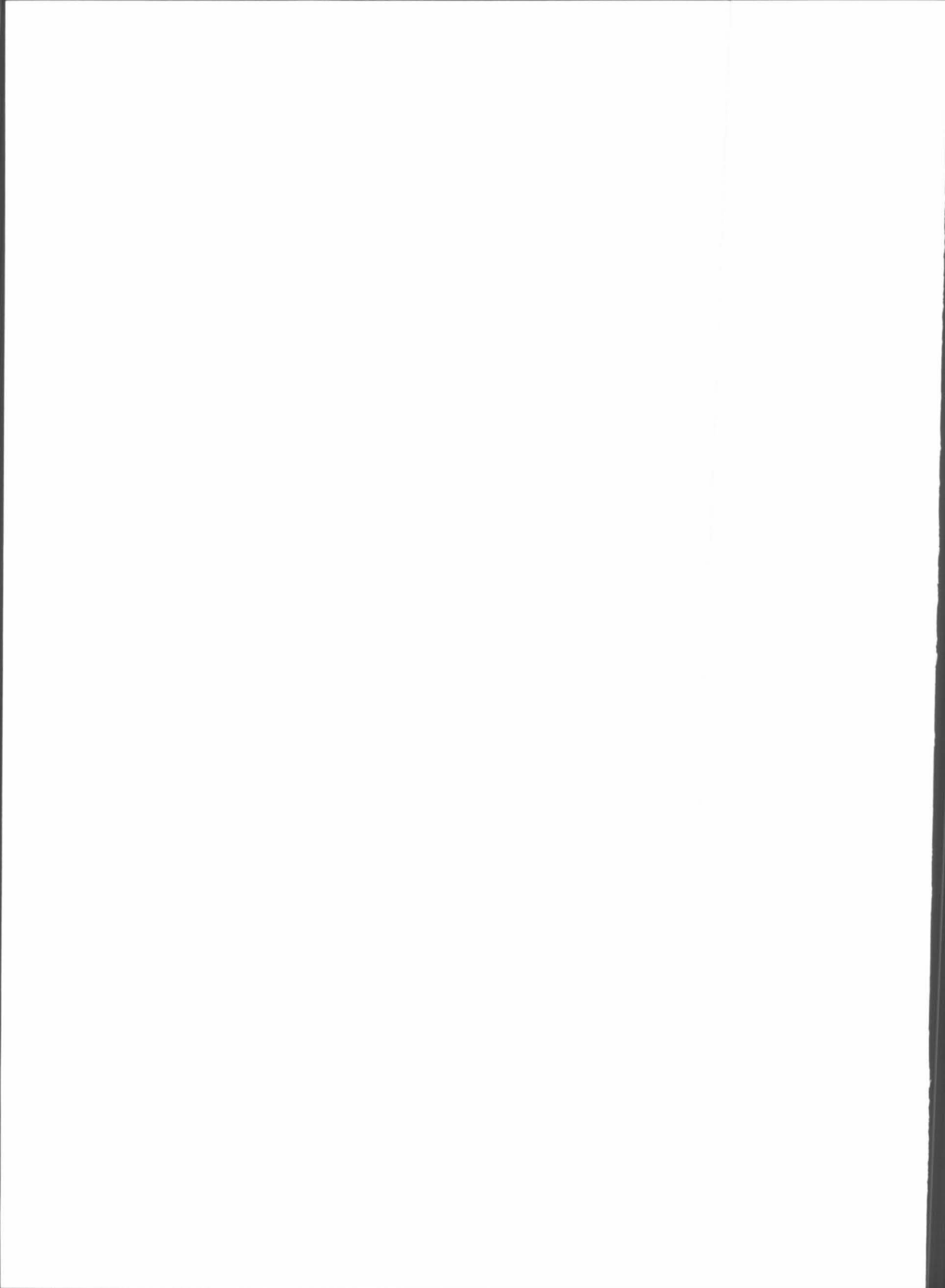
Superficie $A = \pi * d^2 / 4$

Número de operaciones en la vuelta

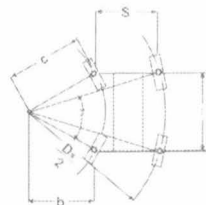
$$n = d / (b * \eta_b) \text{ o } \\ n = (d / 2) / \{b * \eta_b\}$$

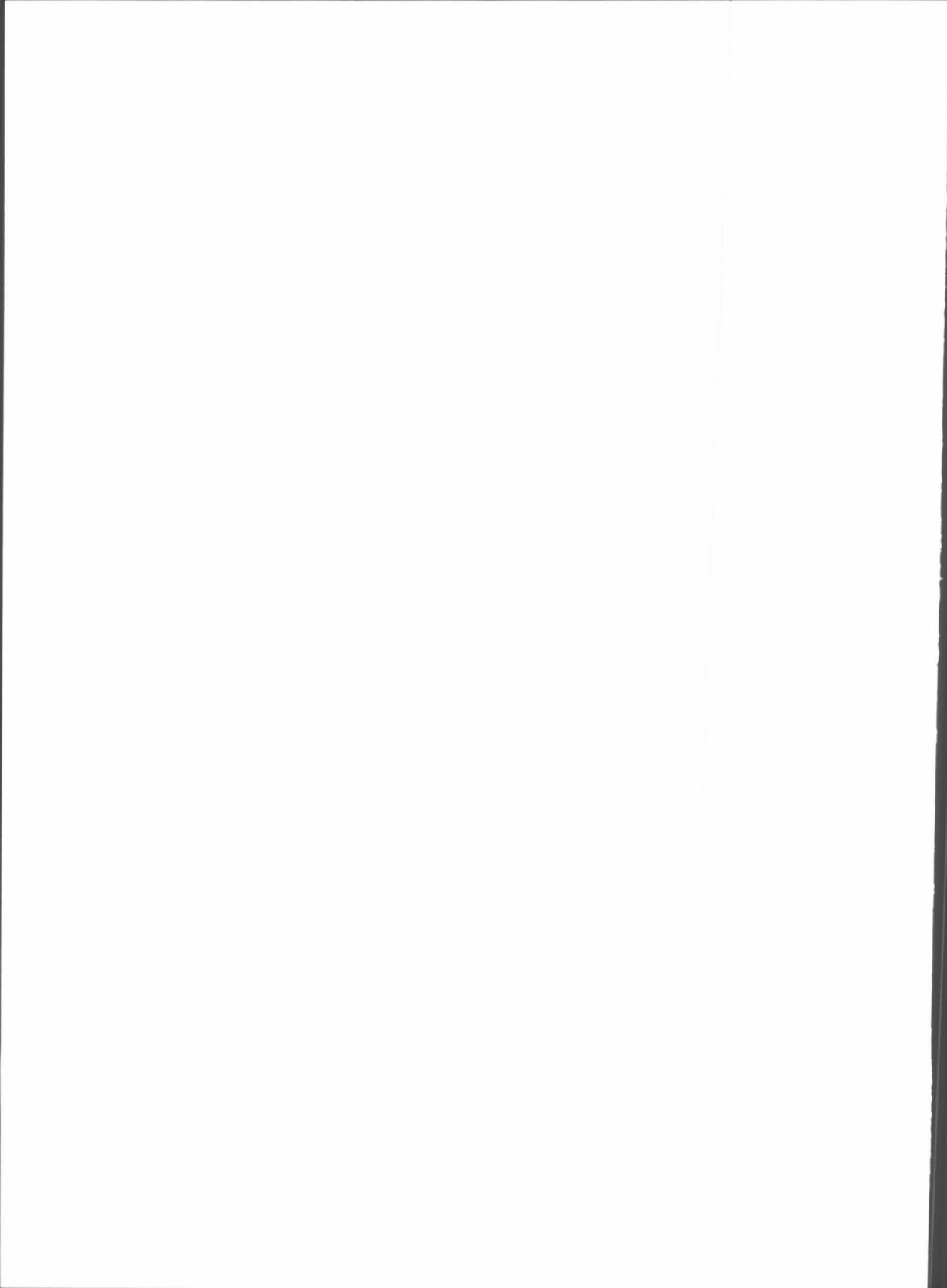
Recorrido promedio por viaje a la derecha o para ida y vuelta

$$n * \bar{s} * b * \eta_b = \frac{\pi * d^2}{4} \qquad \bar{s} = \frac{\pi * d}{4} \qquad \bar{s} = \frac{\pi * d}{2}$$



Capítulo 3
Mecánica
de la Tracción

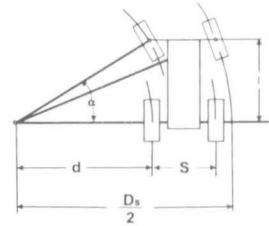




GEOMETRÍA DE LA CONDUCCIÓN PARA VARIOS TIPOS DE CONDUCCIÓN DE LAS MÁQUINAS MOVILES EN LA AGRICULTURA

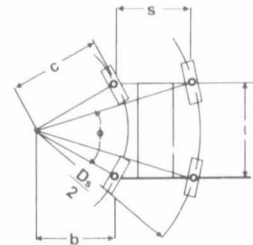
Conducción del eje delantero o trasero

$$D_s = 2 * \sqrt{l^2 + \left(\frac{l}{\tan \alpha} + S\right)^2} \quad [m]$$



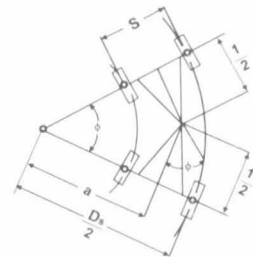
Conducción para doble tracción

$$D_s = 2 * \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2 * \tan \frac{\varphi}{2}} + S\right)^2} \quad [m]$$



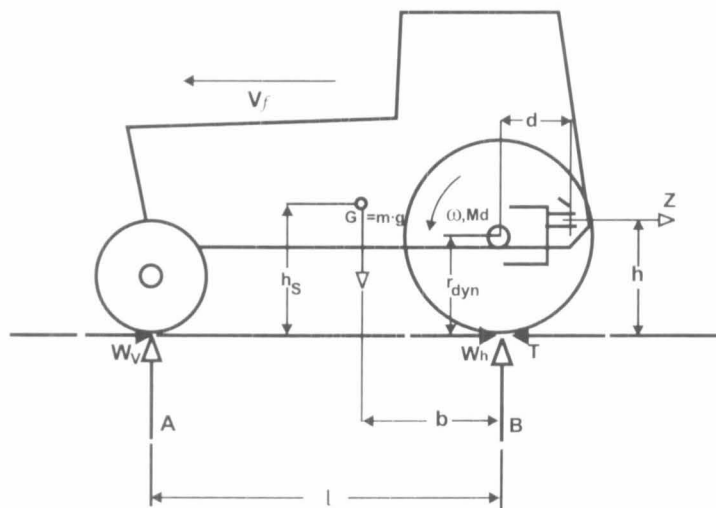
Conducción con articulación

$$D_s = l / (\tan \varphi / 2) + S \quad [m]$$



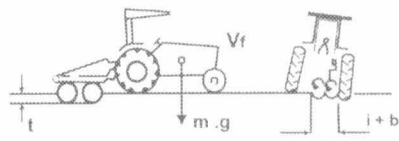
PARÁMETROS DEL TRACTOR EN LA TRACCIÓN (MÁS SIMPLE)

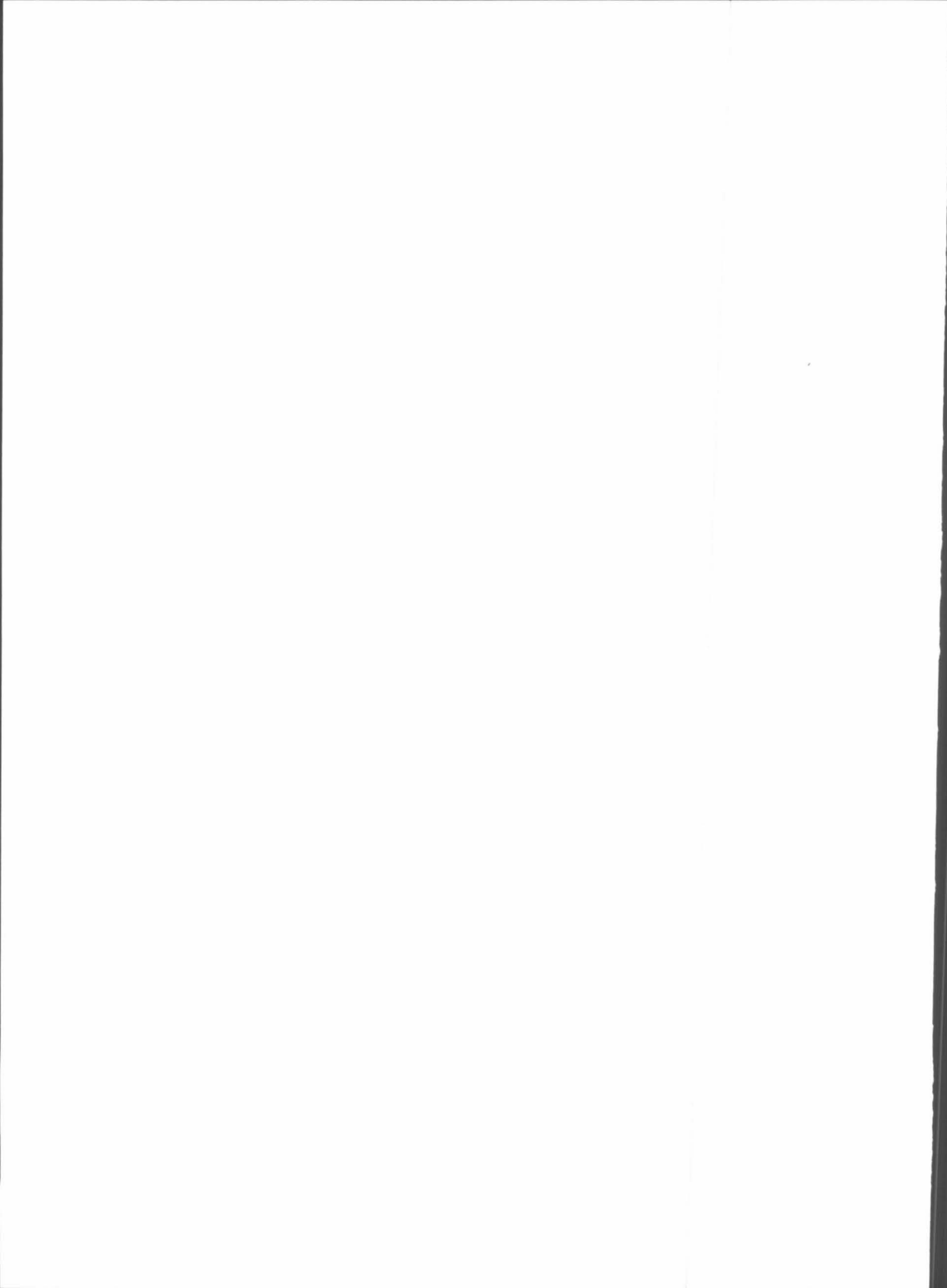
Parámetros del tractor en la tracción (más simple)



Capítulo 4

Labranza





ARADO DE VERTEDERA

Fuerza de tracción al arar

$$Z = n * F_R * f_r + i * k * (b * t + \epsilon * b * t * v_f^2) \text{ [N]}$$

ruedas de soporte vertederas
fórmula de Gorjatschkin

o bien,

$$Z = n * F_R * f_f + i * k * b * t * \sqrt{\frac{v_f}{v_0}} \text{ [N]}$$

ecuación aproximada de Schilling

n = número de ruedas de soporte [-]

F_R = fuerza de soporte de una rueda [N]

f_r = coeficiente de rozamiento de una rueda de soporte [-]

i = número de vertederas (rejas) [-]

b = ancho de trabajo de una vertedera (reja) [dm]

t = profundidad de trabajo [dm]

k = coeficiente específico de la resistencia del suelo [N/dm²]

ϵ = coeficiente dinámico de la resistencia del suelo [N*s²/
(m²*dm²)]

v_f = velocidad de avance [m/s]

$v_0 = 1$ [m/s]

Profundidad de trabajo (dependiente del tiempo)

$$t \approx 2 * 10^2 * T'' / H_{\text{lluvia}} \text{ [dm]}$$

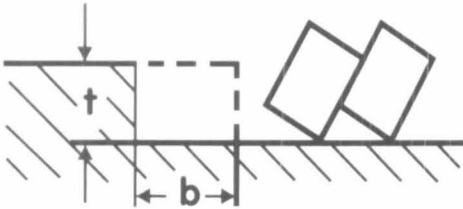
T'' = valor de la temperatura promedio en el año [°C]

H_{lluvia} = cantidad de lluvia promedio en el año [mm]

ARADO DE VERTEDERA

Relación altura /anchura del bloque de suelo

$$b/t \approx 1.1 \dots 1.3 \text{ (común)}$$



Resistencia a la tracción de una cuchilla de corte recto

$$Z_{MS} \approx (0.14 \dots 0.2) * Z_s \text{ [N]}$$

Resistencia a la tracción de una cuchilla de corte circular

$$Z_{SS} \approx (0.1 \dots 0.16) * Z_s \text{ [N]}$$

diámetro de una cuchilla circular

$$D_{SS} \approx 2.5 * t \approx 250 \dots 500 \text{ [mm]}$$

Espesor de una cuchilla de corte circular

$$S \approx D_{SS}/100 \approx 3 \dots 6 \text{ [mm]}$$

Diámetro de la rueda de soporte de la vertedera

$$D_R \approx 2 * t \text{ [mm]}$$

Z_s = fuerza de tracción para una reja [N]

t = profundidad de trabajo [mm]

b = ancho de trabajo [mm]

ARADO DE DISCOS

Diámetro del discos

$D_s \approx 560 \dots 660$ [mm] arados rastrojeros

$\approx 610 \dots 810$ [mm] arados para cama de siembra

Espesor (profundidad) del disco

$S \approx 0.008 * D_s$ [mm] arados rastrojeros

$S \approx 0.01 * D_s$ [mm] arados para cama de siembra

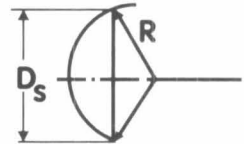
Profundidad posible de trabajo de un arado de discos

$T \leq \cos \alpha * D_s / 2.5$ [mm] ≤ 200 [mm] arados rastrojeros

≤ 320 [mm] arados con gran profundidad

Superficie de carga para $\alpha = 0^\circ$ y $T = D/2.5$

$A \approx 0.3 * D_s^2$ [mm²]



Radio del cóncavo del disco

$R \approx (0.8 \dots 1.2) * D_s$ [mm]

Fuerza de tracción al arar análogo a la de la vertedera

$$Z = n * F_R * f_f + i * k * b * t_m * \sqrt{\frac{v_f}{v_0}} \quad [N]$$

α = pendiente del disco en la dirección longitudinal [°]

β = pendiente en relación a la dirección de marcha [°]

n = número de ruedas de soporte [-]

i = número de rejas [-]

t_m = profundidad de trabajo [mm]

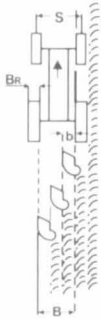
σ = patinaje [-]

Velocidad tangencial del disco

$u = v_f * (1 - \sigma) / \cos \beta$ [m/s]

CONJUNTO TRACTOR Y ARADO

Avance del tractor con una
rueda en el surco



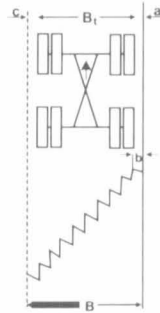
Condiciones para la tracción
del tractor próxima
al eje central

$$S - B_R \approx B$$

Ancho de trabajo

$$B = i * b$$

Avance del tractor
al lado del surco



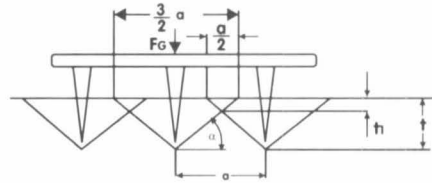
Condiciones para la tracción
del tractor próxima
al eje central

$$c \approx a$$

Ancho de trabajo

$$B = i * b = B_1 + a + c$$

RASTRAS (GRADAS)



Ancho entre las púas

$$a \approx t / (0.75 * \tan \alpha) \approx t \text{ [cm]}$$

Angulo de la pendiente de ruptura

$$\alpha \approx 55^\circ$$

Carga sobre las púas

$$Q = f_z * t * k_q * q \text{ [N]}$$

Fuerza de la masa de la rastra

$$F_G = B * Q / a \text{ [N]}$$

Número de púas

$$i_2 = B / a$$

f_z = superficie de corte de la púa [cm²]

k_q = coeficiente de la superficie de corte [-]

$$= 0.5 \dots 1.2 \text{ [-]}$$

q = coeficiente de deformación especial [N/cm³]

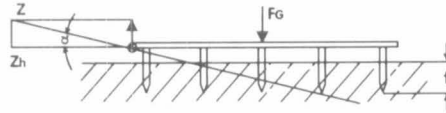
$$= 2 \dots 4 \text{ [N/cm}^3\text{] para suelo arado (fresco)}$$

$$= 10 \dots 25 \text{ [N/cm}^3\text{] para campo con rastrotejo sin trabajar, pradera}$$

B = ancho de trabajo

GRADAS, RASTRAS/RODILLOS

Fuerza de tracción necesaria para las rastras



$$Z_h \approx 2 * F_G * \cos \gamma * \sqrt{\frac{v_f}{v_0}} \quad [N]$$

F_G = fuerza de la masa de la rastra [N]

v_f = velocidad de marcha [m/s]

$v_0 = 1$ [m/s]

Cargas sobre las rastras de pásas

pásas rectas $Q = 5 \dots 16$ [N/púa]

pásas inclinadas hacia adelante $Q = 12 \dots 28$ [N/púa]

rastras ligeras de cucharas $Q = 15 \dots 20$ [N/púa]

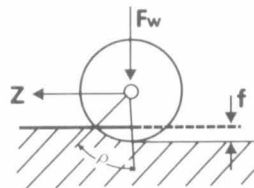
gradas pesadas de cucharas $Q = 23 \dots 25$ [N/púa]

gradas ligeras para la preparación de la cama de siembra

$Q = 10 \dots 20$ [N/púa]

Fuerza de tracción para los rodillos y subsuelos

$$Z \approx F_w * f_r \quad [N]$$



F_w = fuerza del peso del rodillo [N]

f_r = coeficiente de la resistencia para la rotación [-]

f = profundidad del hundimiento [mm]

ρ = ángulo de la resistencia para la rotación [°]

FRESADORAS

Relación de velocidades

$$k = u/v_f \text{ [-]}$$

Velocidad tangencial

$$u = \pi * n * r / 30 = r * \omega \text{ [m/s]}$$

Longitud de la rebanada

$$L_B = v_f / (n * z / 60) = 2 * \pi * r * v_f / (u * z) \text{ [m]}$$

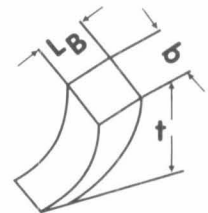
Trabajo específico (trabajo/unidad de volumen de suelo)

$$W_{\text{esp}} = Md_{\text{total}} * 2 * \pi / (B * L_B * z * t) = Md_{\text{total}} * u / (B * f * v_f * t) \text{ [Nm/m}^3\text{]}$$

Ajuste de la herramienta

$$\varphi = 360 / (z * k) \text{ [}^\circ\text{]}$$

Densidad de la rebanada (entradas/unidad de superficie)



$$d = n * k * z / (60 * B * v_f) \text{ [1/m}^2\text{]}$$

Ancho de trabajo de la fresadora

$$B = k * b \text{ [m]}$$

n = número de revoluciones de la fresadora [min^{-1}]

z = número de cuchillas en el plano de corte (corona)

k = número de coronas [-]

r = radio de la fresadora [m]

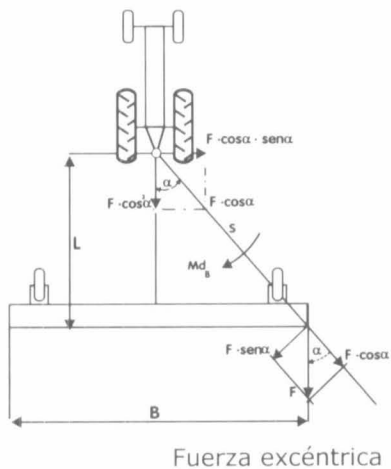
Md_{total} = momento de giro necesario para la fresadora [Nm]

t = profundidad de trabajo [m]

b = ancho de trabajo [m]

v_f = velocidad de marcha [m/s]

TRACCIÓN EN LA PENDIENTE PARA ANCHOS DE TRABAJO GRANDES



Condiciones Geométricas

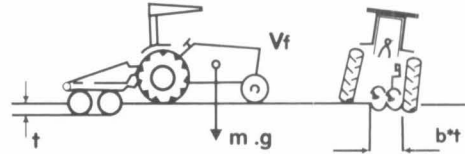
$$\tan \alpha = B / (2 * L)$$

$$S = \sqrt{L^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2}$$

Momento de la tracción excéntrico

$$Md_{\text{aparato}} = F * \text{sen } \alpha * S$$

FUERZA DE ARAR (DE GORJATSCHKIN)



Fuerza de arar (de Gorjatschkin)

$$F = i * k * b * t * (1 + \varepsilon * v_f^2) \text{ [N]}$$

de ahí la potencia necesaria del tractor

$$P = (F + m * g * \rho) * v_f / \{1,000 * \eta_{tr} * (1 - \sigma) * \lambda\} \text{ [kW]}$$

k = resistencia específica del suelo [N/cm²]

ε = coeficiente de la resistencia dinámica del suelo [s²/m²]

λ = coeficiente de la tracción [-]

ρ = coeficiente de la resistencia de marcha [-]

σ = patinaje [-]

Medición de la masa del tractor

$$k_h * m * g * \kappa - F + m * g * \rho$$

o bien,

$$F - m * g * (k_h * \kappa - \rho)$$

de ahí,

$$m = i * k * b * t * (1 + \varepsilon * v_f^2) / \{g * (k_h * \kappa - \rho)\} \text{ [kg]}$$

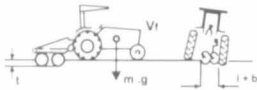
y

$$P = \frac{i * k * b * t * (1 + \varepsilon * v_f^2) * \left(1 + \frac{\rho}{k_h * \kappa - \rho}\right) * v_f}{1.000 * \eta_{tr} * (1 - \sigma) * \lambda} \text{ [kWh]}$$

η_{tr} = rendimiento del tractor [-]

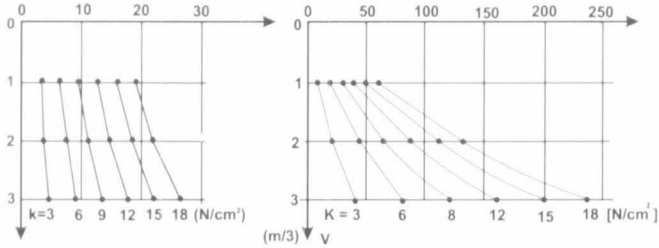
λ = coeficiente del uso de la potencia del motor [-]

k_h = parte de la carga de soporte sobre el eje de tracción [-]



Fuerza de tracción
F (10 N)

Potencia necesaria del tractor P/kW/



velocidad de trabajo

v_t /m/s/

k = resistencia específica del suelo [N/cm²]

$$\kappa = 0.6$$

$$\rho = 0.15$$

$$\sigma = 0.15$$

$$\kappa_h = 0.8$$

$$\eta = 0.8$$

$$i = 2 \text{ rejas}$$

$$b = 25 \text{ cm}$$

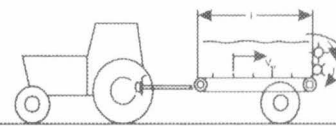
$$t = 20 \text{ cm}$$

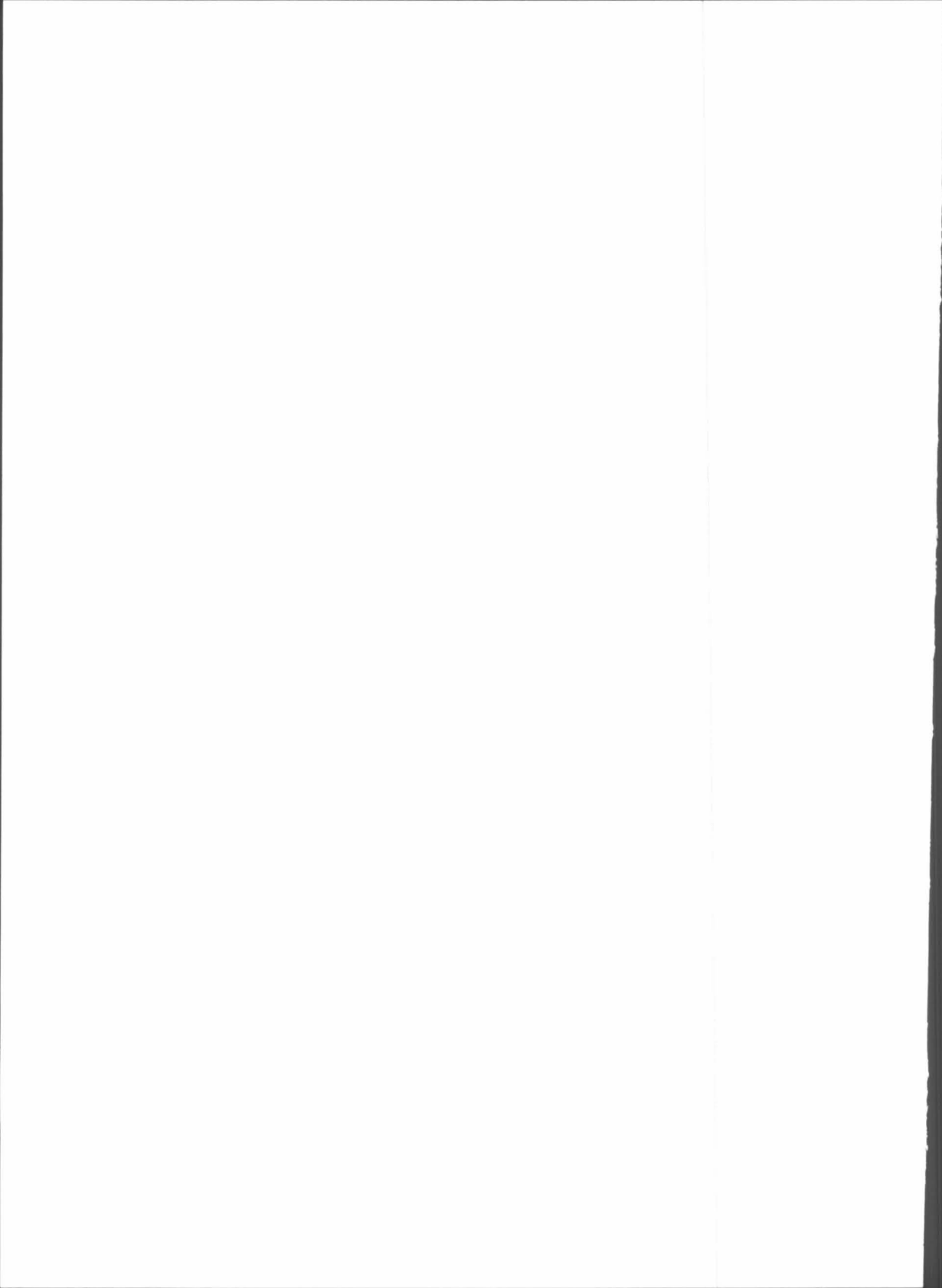
$$\varepsilon = 0.05 \text{ s}^2/\text{m}^2$$

$$\lambda = 0.7$$

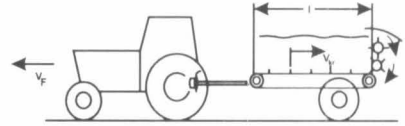
Capítulo 5

Fertilización





REMOLQUE DISTRIBUIDOR DE ESTIÉRCOL



Superficie a cubrir

$$A = \frac{v_f * b * t_e}{600} = \frac{v_f * b * l}{600 * V_{kr}} \text{ [ha]}$$

v_f = velocidad de trabajo [km/h]

b = ancho de trabajo [m]

l = longitud utilizable [m]

v_f = avance del fondo móvil del remolque

Tiempo para la descarga

$$t_e = \frac{l}{V_{kr}} \text{ [min]}$$

Densidad de la distribución

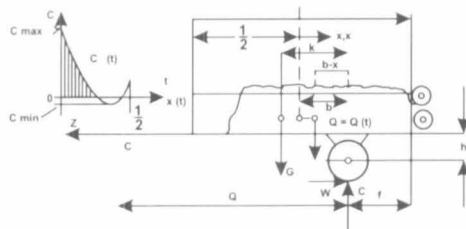
$$D_s = \frac{m}{A} \text{ [kg/ha]}$$

m = masa [kg]

Recorrido de la distribución con una carga

$$S = \frac{v_f * t_e}{60} \text{ [km]}$$

CARGA SOBRE EL SOPORTE PARA REMOLQUES DISTRIBUIDORES DE ESTIÉRCOL DE UN EJE



Equilibrio de fuerzas

$$\sum V = 0 \rightarrow G + Q - D - C = 0$$

$$\sum H = 0 \rightarrow Z - W = 0 \rightarrow Z = W$$

Fuerza de tracción

$$Z = W = f * D ; Z = f * (G + Q - C)$$

Equilibrio de los momentos

$$\sum M = 0 \rightarrow C * a - G * k - Q * (b-x) - Z * h = 0$$

Carga sobre el soporte

$$C = \frac{Q * (b-x) + g * k + f * (G+Q) * h}{a * f * h}$$

Tiempo

Cantidad de estiércol

Recorrido del centro de gravedad del estiércol

$$t_e = \frac{t}{2 * \dot{x}}$$

$$Q(t) = Q_{max} \frac{\frac{l}{2 * \dot{x}} - t}{\frac{l}{2 * \dot{x}}}$$

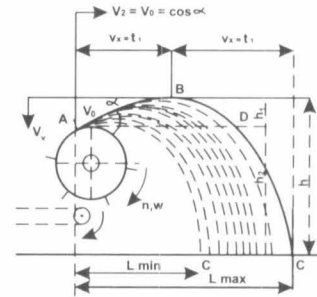
$$x = \dot{x} * t$$

Carga sobre el soporte como una función del tiempo

$$C(t) = \frac{Q_{max} * \frac{\frac{l}{2 * \dot{x}} - t}{\frac{l}{2 * \dot{x}}} * (b-x * t) + G * k + f(G + Q_{max} * \frac{\frac{l}{2 * \dot{x}} - t}{\frac{l}{2 * \dot{x}}}) * h}{a + f * h}$$

CAMINO DE DISTRIBUCIÓN AL VOLEO DE LAS PARTICULAS DE ESTIÉRCOL

Altura del voleo



$$h_1 = v_0 * t_1 * \sin \alpha - \frac{g * t_1^2}{2}$$

con

$$v_0 * \sin \alpha - g * t_1 = 0; \text{ o bien, } t_1 = \frac{v_0 * \sin \alpha}{g}$$

será

$$h_1 = v_0 * \sin \alpha * \frac{v_0 * \sin \alpha}{g} - \frac{g}{2} * \left(\frac{v_0 * \sin \alpha}{g} \right)^2 = \frac{v_0^2 * \sin^2 \alpha}{2 * g}$$

Altura total

$$h = h_1 + h_2 = \frac{v_0^2 * \sin^2 \alpha}{2 * g} + h_2$$

con

$$v_y = g * t_2 = \sqrt{2 * g * h}; \quad t_2 = \sqrt{\frac{2 * (h_1 + h_2)}{g}}$$

será

$$t_2 = \sqrt{\frac{v_0^2 * \sin^2 \alpha}{g^2} + \frac{2 * h_2}{g}}$$

por eso

$$t = t_1 + t_2; \quad L_{\max} = v_0 * \cos \alpha * t$$

sea la longitud máxima del vuelo

$$L_{\max} = v_0 * \cos \alpha \left[\frac{v_0 * \sin \alpha}{g} + \left(\frac{v_0 * \sin \alpha}{g} \right)^2 + \frac{2 * h_2}{g} \right]$$

ABONADORAS

Cantidad de abono

$$\dot{m}_D = \frac{v_F * b * Q_{DF}}{600} \text{ [kg/min]}$$

v_F = velocidad de trabajo [km/h]; b = ancho de trabajo [m];

Q_{DF} = densidad de la distribución [kg/ha]

Ancho de trabajo

$$b = \frac{b_1 + b_2}{2} \text{ [m]}$$

Superficie con doble distribución

$$a = \frac{b_1 - b_2}{2} \text{ [m]}$$

Velocidad radial del abono para distribuidoras centrífugas

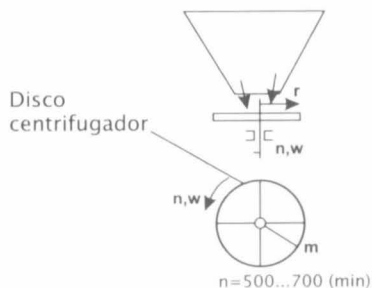
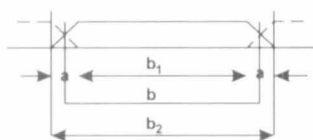
$$\dot{r} = \frac{dr}{dt} = r * \omega [\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu]$$

Condiciones de la centrifugación: $m * r * \omega^2 \geq \mu * m * g$;

$$n \geq \frac{30}{\pi} * \sqrt{\frac{\mu * g}{r_0}} ;$$

μ = valor de rozamiento[s.d.]; g = aceleración de la gravedad
= 9,81 m/s²

Imagen de la distribución
(transversal)



FUERZA CENTRÍFUGA

$$F_z = m * r * \dot{\omega}^2$$

Fuerza de Coriolis

$$F_c = 2 * m * \dot{\omega} * r$$

Resistencia de la fricción
(disco/costilla)

$$F_R = \mu * m * (g + 2 * \omega * r)$$

Fuerza de inercia

$$F = \ddot{m} * r$$

Condiciones de equilibrio (grano de abono sobre el disco)

$$F + F_R - F_z = 0$$

Longitud del tiro(vuelo)

$$b = k * v_a * t = k * v_a * \sqrt{\frac{2 * h}{g}}$$

Coefficiente de la resistencia del viento

k = 0.4(fertilizante en forma de polvo)

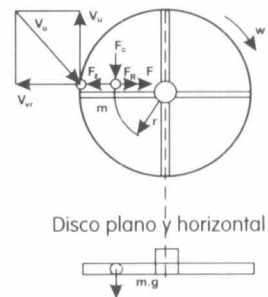
k = 0.7(granulado)

Velocidad al inicio del voleo; v_u = velocidad tangencial

$$v_a = v_u * \sqrt{2} = \pi * d * n * \sqrt{2}$$

de ahí

$$b = 2 * k * \pi * d * n * \sqrt{\frac{h}{g}}$$



DISTRIBUIDORES DE LÍQUIDOS (PULVERIZADORAS)

Potencia del accionamiento necesario

$$P_{\text{nec}} = \frac{p * \dot{V}}{600 * \eta_{\text{mec}} * \eta_{\text{vol}}} \text{ [kW]}$$

p = presión de trabajo [bar]

\dot{V} = caudal [l/min]

η_{mec} = rendimiento mecánico [s.d.]

η_{vol} = rendimiento volumétrico [s.d.]

Caudal necesario de la bomba

$$\dot{V} = \frac{v_F * b * v_A}{600} \text{ [l/min]}$$

v_A = cantidad de la distribución

v_F = velocidad de trabajo [km/h]

b = ancho de trabajo [m]

Cantidad promedio para un tanque

$$V_{\text{medio}} = \frac{q * V_T}{v_A} \text{ [l/llenado del tanque]}$$

q = cantidad promedio [l/ha]

V_T = volumen del tanque [l]

BOMBA CENTRÍFUGA

Relación presión/revoluciones para bombas centrífugas

$$p_x = p_n * \left(\frac{n_x}{n_n}\right)^2 \text{ [bar]}$$

n_n = revoluciones nominales [min^{-1}]; n_x = revoluciones obtenibles [min^{-1}];

p_a = presión para las revoluciones nominales [bar]

Cantidad efectiva de distribución para todos los inyectores

$$q_x = q_n * \sqrt{\frac{p_x}{p_n}} \text{ [l/min]} \quad q = k * \sqrt{p}$$

$$q = \dot{V}$$

o dependiendo de las revoluciones

$$q_x = q_n * \frac{n_x}{n_n} \text{ [l/min]} \quad \dot{V}_x = \dot{V}_n * \frac{n_x}{n_n}$$

Para bombas de pistones p_x es normalmente independiente de las revoluciones hasta el punto siguiente:

$$\dot{V}_{\text{bomba}} > \dot{V}_{\text{inyector}}$$

Con éste es :

$$p_x = p_n ; \quad q_x = q_n$$

Cantidad necesaria de los inyectores

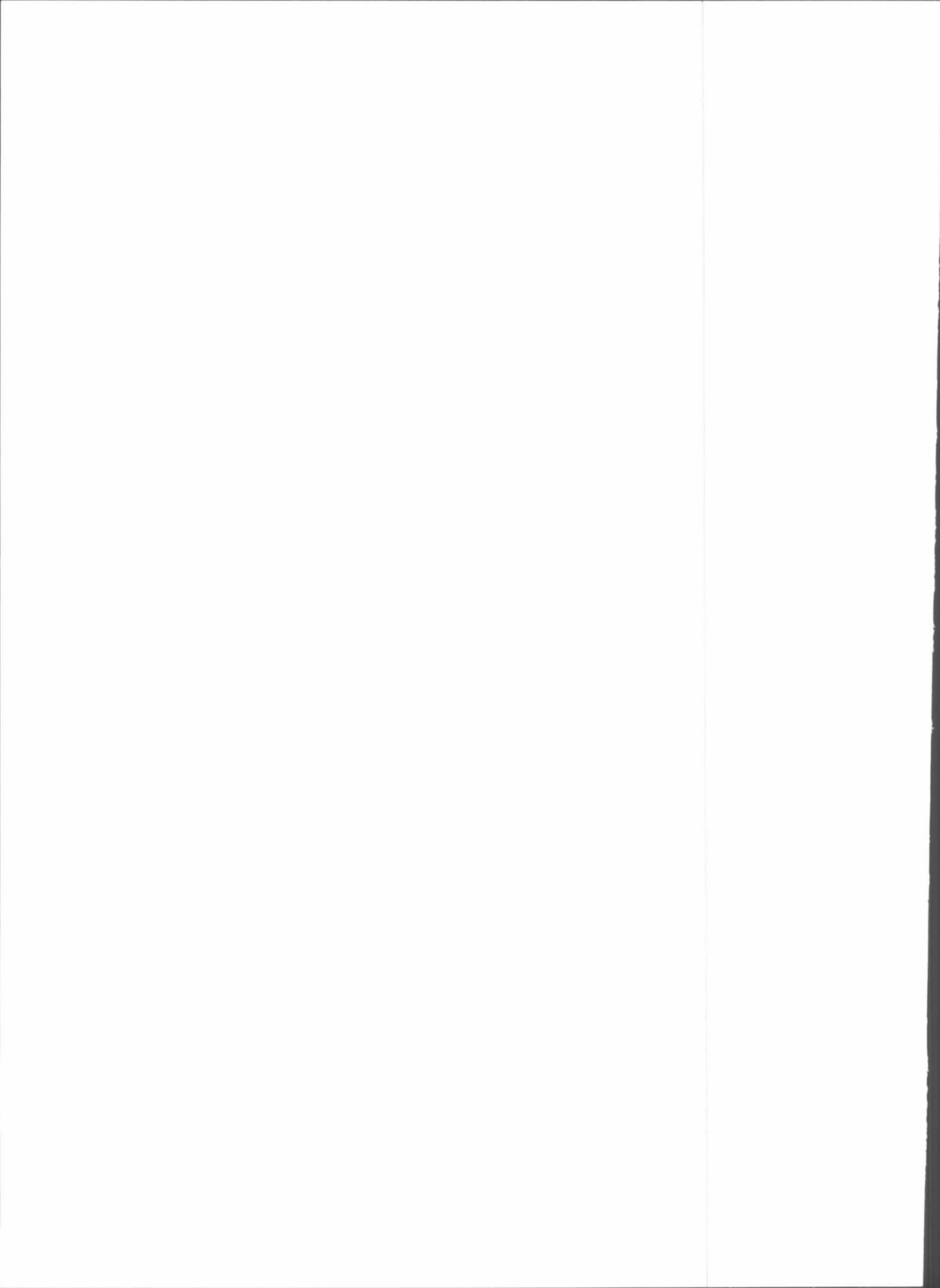
$$q = \frac{Q_A * A}{i * 60} \text{ [l/min]}$$

$$q = \frac{Q_A * b * v_F * \eta_B * \eta_F}{i * 600}$$

Q_A = cantidad de la distribución [l/ha]

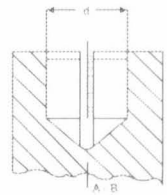
\dot{A} = rendimiento de la superficie [ha/h]

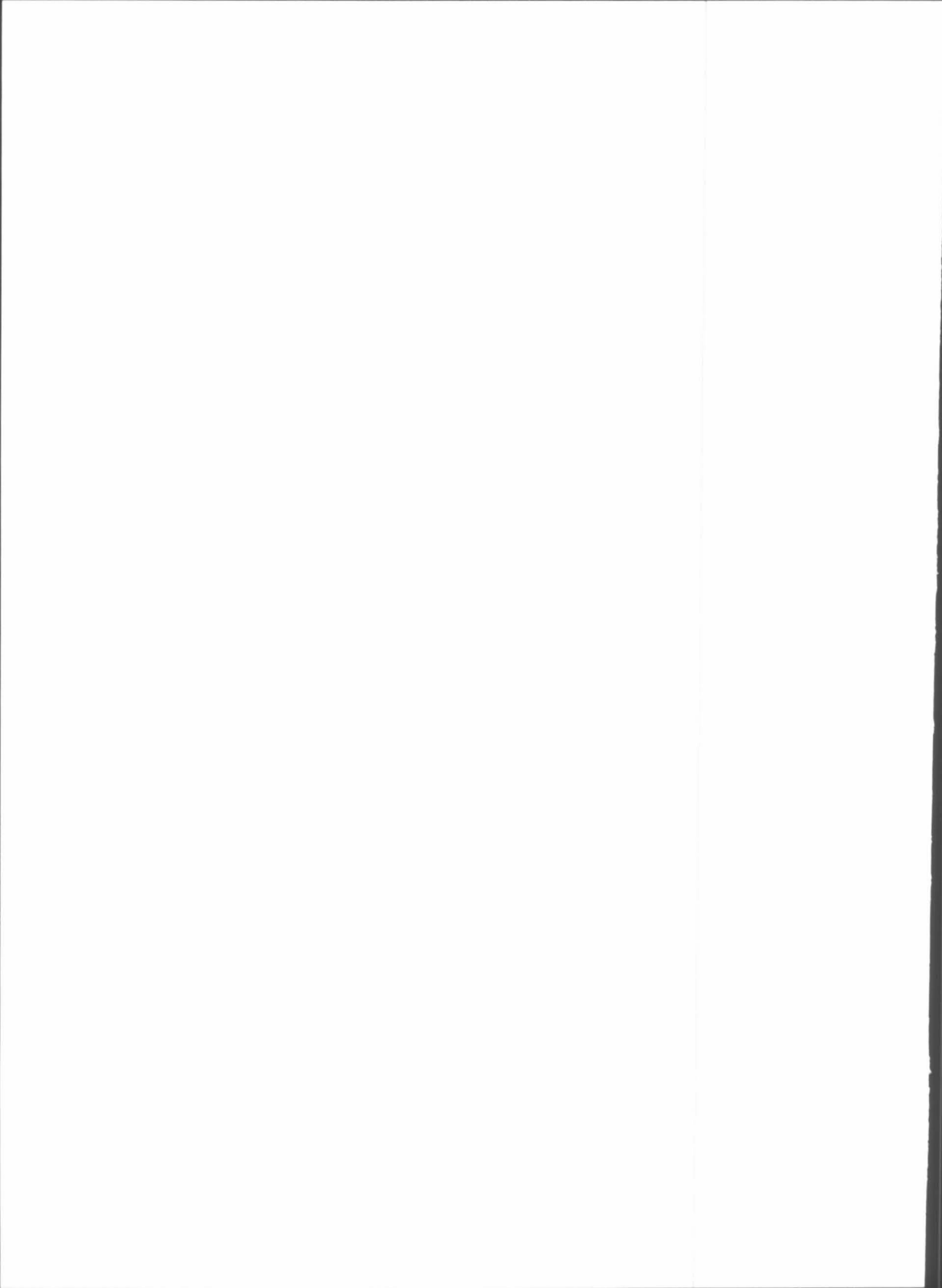
i = número de inyectores [s.d.]



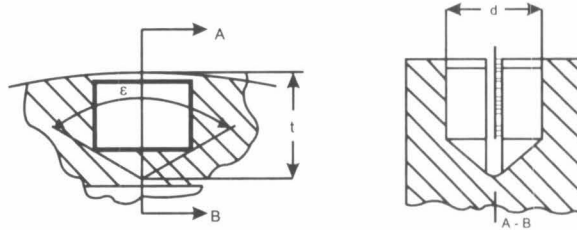
Capítulo 6

Siembra





DISEÑO DE LOS TAMAÑOS DE CELDAS PARA UNA SEMBRADORA DE MONOGRANO



Diámetro de la celda

$$d = 1,1 * d_o - 0,1 * \Delta d_{-0,1}^{+0,1} \quad [\text{mm}]$$

d_o = diámetro máximo de los granos de semilla [mm]

d_u = diámetro mínimo de los granos de semilla [mm]

Diferencia de diámetro de la semilla

$$\Delta d = d_o - d_u \quad [\text{mm}]$$

Profundidad de la celda

$$t_z = k * d \pm 0.1 \quad [\text{mm}]$$

k = constante del grano de semilla [sd]

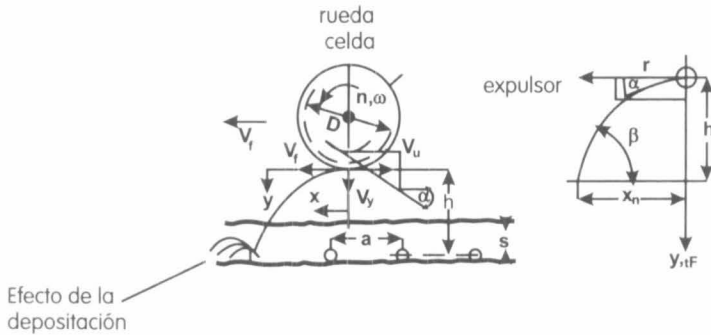
k = 0.78 para semillas redondas

k = 0.60 para semillas planas

(ancho \approx 0.5 * longitud)

$\epsilon \approx 140^\circ$ (ángulo de la punta)

CURVA DE UN GRANO DE SEMILLA MONOGRANA



Velocidad longitudinal de la rueda de las celdas

$$V_u = D * \omega / 2 = D * \pi * n / 60 \quad [\text{m/s}]$$

Recorrido del grano de semilla en la dirección x:

$$x = v_x * t, \text{ de ahí es } v_x = v_f - v_u$$

Recorrido del grano de semilla en la dirección y:

$$y = v_y * t + g * t^2 / 2, \text{ de ahí es } v_y = v_u * \tan \alpha$$

Curva del grano de semilla ($m * \{D/2\} * \omega^2 \ll m * g$)

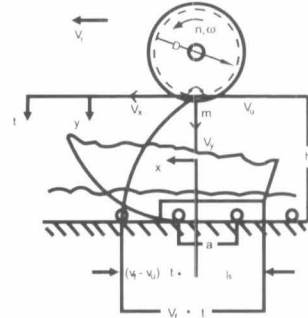
$$y = (v_u * \tan \alpha / v_f - v_u) * x + (g / (v_f - v_u)^2) * x^2 / 2$$

S = profundidad de la semilla [cm]

h = altura de la caída [cm]

a = distancia entre dos granos de semilla [cm]

TIEMPO DE CAIDA DE UN GRANO DE SEMILLA, LA LONGITUD DEL ALA DE LA REJA



Fuerza de gravedad

$$K_s = m * g$$

Fuerza centrífuga

$$K_f = m * D * \omega^2 / 2$$

Equilibrio de fuerzas

$$m * \ddot{y} - K_s - K_f = 0$$

de ahí

$$m * \ddot{y} = m * g$$

$$y = g * t^2 / 2$$

Tiempo de caída para $y = h$

$$t = \sqrt{2 * \frac{h}{g}}$$

Longitud del ala de la rejilla

$$\begin{aligned} l_s &= v_f * t - (v_f - v_u) * t \\ &= v_u * t \end{aligned}$$

DENSIDAD DE SEMILLA Y DISTANCIA ENTRE PLANTAS

Longitud específica de las hileras

$$l_A = 10^4/R \text{ [m longitud de las hileras/ha]}$$

Granos por unidad de longitud (d y f = 0)

$$z_K = 1/\bar{a}$$

[número de granos/m de longitud de la hilera]

R = ancho entre las hileras [m]

\bar{a} = distancia promedio entre los granos [m]

Densidad de granos por superficie específica

$$z_K \frac{10^4}{\bar{a} * R} * (1 + d - f) \left[\text{número de plantas / ha} \right]$$

d = coeficiente para dos granos en el mismo lugar [s.d]

f = coeficiente de sitios sin grano [s.d]

Capacidad de plantas

$$z_A \frac{p * 10^4}{\bar{a} * R} * (1 + d - f) \left[\text{número de plantas / ha} \right]$$

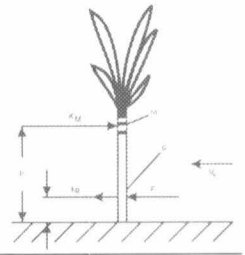
Plantas por unidad de longitud

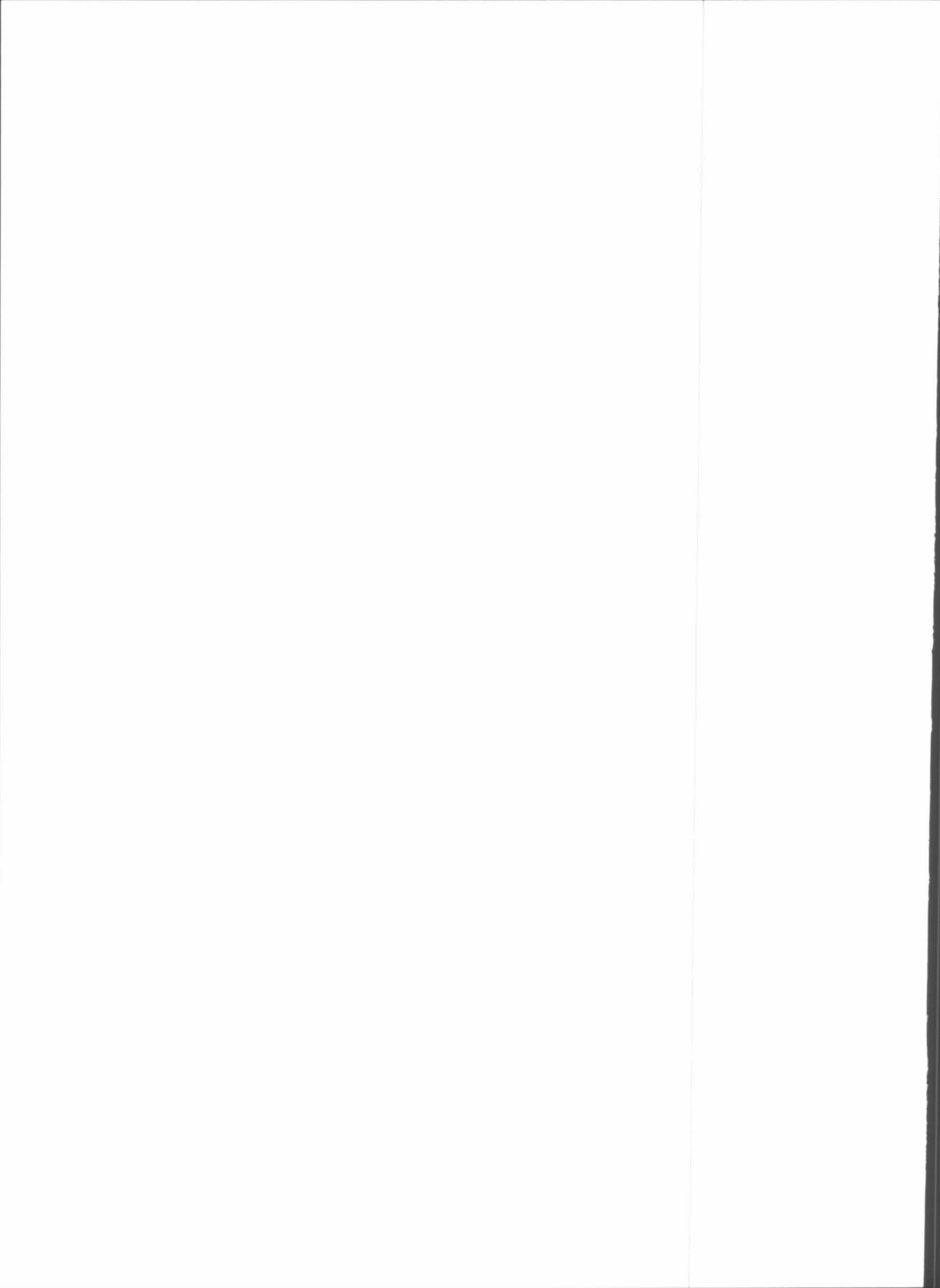
$$z_A \frac{p}{\bar{a}} * (1 + d - f) \left[\text{número de plantas / ha} \right]$$

p = crecimiento de semilla en el campo [s.d]

Capítulo 7

Ensilado





BARRA DE CORTE

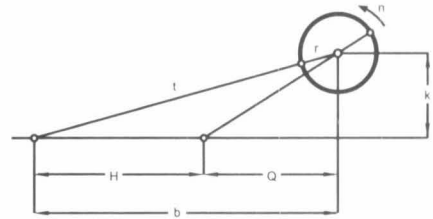
Velocidad promedio de las cuchillas

$$\bar{v}_M = \frac{2 * H * n}{60} = \frac{H * n}{30} \quad [m/s]$$

relación de velocidades

$$\varepsilon = \frac{v_f}{\bar{v}_M} \leq \frac{1}{1.3} \quad [s.d.]$$

v_f = velocidad de trabajo [m/s]



accionamiento por manivela excéntrica

recorrido de la cuchilla

$$H = b - a$$

$$a = \sqrt{(l - r)^2 - k^2}$$

$$b = \sqrt{(l + r)^2 - k^2}$$

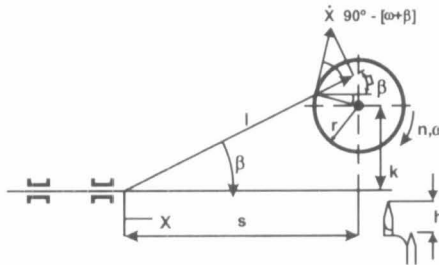
CINEMÁTICA DEL ACCIONAMIENTO DE LA BARRA DE CORTE

Velocidad de la barra de la manivela

$$v_s = v_0 * \text{sen}(\alpha + \beta)$$

de ahí

$$v_0 = r * \omega = r * \pi * \frac{n}{30}$$



velocidad de las cuchillas

$$v_x = \dot{x} = \frac{r * \omega * \text{sen}(\alpha + \beta)}{\cos \beta}$$

$$v_f = \frac{2 * h * n}{60}$$

$$h = \frac{30 * v_f}{n}$$

h = marcha hacia adelante / un recorrido de la cuchilla
recorrido de la cuchilla

$$x = r * \cos \alpha + r * \frac{\lambda}{4} * \cos 2\alpha - r * \frac{\lambda}{4} + \lambda * k * \text{sen} \alpha$$

velocidad de las cuchillas

$$\dot{x} = r * \omega * \left(\text{sen} \alpha + \frac{\lambda}{2} * \text{sen} 2\alpha - \epsilon_i * \cos \alpha \right)$$

aceleración de la cuchilla

$$\ddot{x} = r * \omega^2 * (\cos \alpha + \lambda * \cos 2\alpha + \epsilon_i * \text{sen} \alpha)$$

$\epsilon_1 = K/l$ = excentricidad del engranaje de la manivela

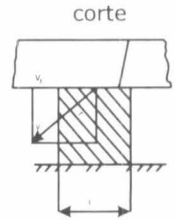
$\lambda = r/l$ = relación de barra - manivela

CORTADOR DE LA MASA DEL TALLO

Fuerza para el corte

$$F = C * \frac{l}{\tan \tau} \quad [N]$$

C = Coeficiente de la duración del corte y la influencia cortante de la cuchilla [N/cm]



masa que está cortada

Relación de los ángulos de corte

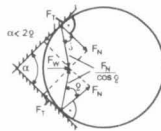
$$\tan \tau = v_f / v_n$$

Condiciones de corte con tijeras

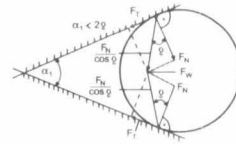
$$\alpha < 2 * \rho$$

ρ = ángulo de rozamiento

$$\mu = \tan \rho$$



Situación a: $\alpha > 2 * \rho$
 F_w no está cortando en la dirección de la expulsión



Situación b: $\alpha < 2 * \rho$
 F_w está cortando contra la dirección de la expulsión

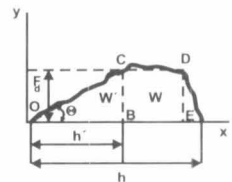
Trabajo al comprimir

$$W_o = \lambda * h_o / h = F_d * h_o / 2 \quad [N \text{ mm}]$$

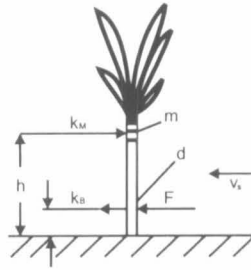
λ = módulo de compresión

Trabajo de corte

$$W = F_d * (h - h_o) \quad [N \text{ mm}]$$



CORTE LIBRE



- K_M = Fuerza en la masa [N]
- m = masa de las plantas [kg]
- v_s = velocidad de corte [m/s]
- K_B = resistencia de flexión [N]
- F = fuerza de corte [N]
- h = altura de corte [m]
- l = distancia del punto de gravedad/m/

Momento de las masas

$$M_M = K_M * l = m * v_s / t * l \text{ [Nm]}$$

momento de flexión

$$M_B = K_B * h \text{ [Nm]}$$

tiempo para el corte

$$t = d / v_s \text{ [s]}$$

momento del corte

$$M_s = F * h \text{ [Nm]}$$

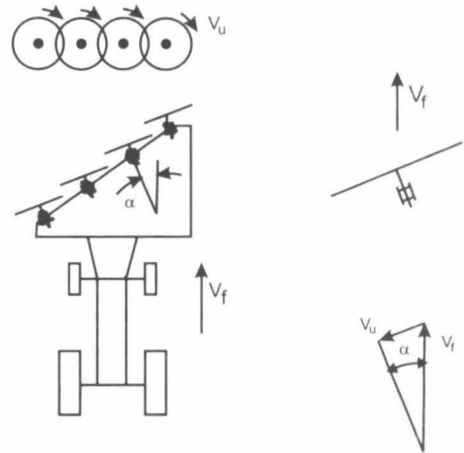
condiciones del momento para el corte libre

$$M_M + M_B = m * v_s / t * l + K_B * h \geq F * h$$

condiciones del corte

$$v_s \geq \sqrt{\frac{(F - K_B) * h * d}{m * l}} \text{ [m/s]}$$

RASTRILLO DE DISCOS (DE ESTRELLAS)



Velocidad periférica teórica

$$v_u = v_f * \text{sen } \alpha \text{ [m/s]}$$

Velocidad periférica con patinaje

$$V_{uS} = v_f * \text{sen } B * (1-\sigma) \text{ [m/s]}$$

v_f = velocidad de trabajo [m/s]

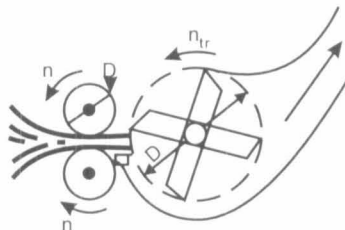
σ = patinaje de los discos (estrellas)

PICADORAS DE FORRAJE

Velocidad a la entrada

$$v_z = D/2 * \omega * (1-\sigma) \text{ [m/s]}$$

$$\omega = \pi * n/30$$



σ = patinaje entre los rodillos de entrada y la masa del forraje [-]

Longitud de las partes cortadas

$$l_s = v_z / (i * [n_{tr}/60]) = \pi * D * n * (1-\sigma) / [i * n_{tr}] \text{ [m]}$$

i = número de cuchillas [-]

D = diámetro de los rodillos de entrada [m]

n = número de revoluciones de los rodillos de entrada [min^{-1}]

n_{tr} = número de revoluciones del tambor de corte [min^{-1}]

Superficie de corte transversal

$$A_{tr} \approx D_{tr} * B/4 \text{ [m}^2\text{]} \quad \text{picador con tambor de corte}$$

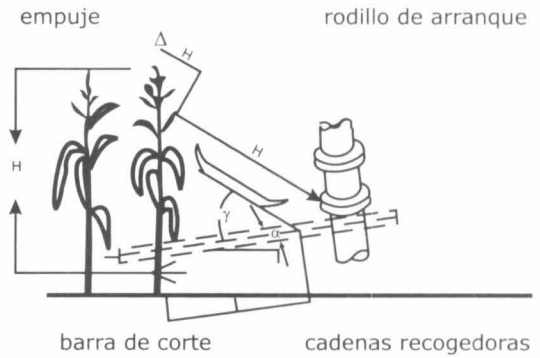
$$A_s \approx D_s * B/8 \text{ [m}^2\text{]} \quad \text{picador con disco de corte}$$

D_{tr} = diámetro del tambor [m]

D_s = diámetro del disco de corte [m]

B = ancho de corte [m]

PICADORA PARA MAIZ



Condiciones para la cadena recogedora

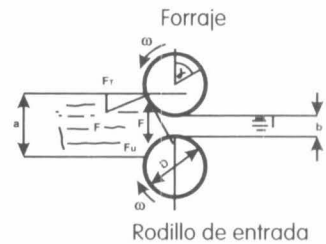
$$(H - \Delta H) * \cos (\gamma - \alpha) \approx L * \cos \alpha$$

de este

$$L \approx (H - \Delta H) * \cos(\alpha - \gamma) / \cos \alpha$$

Trayecto del forraje

$$F_T = \mu * F$$



Condiciones de adherencia

$$F_{Tx} > F_x \text{ o bien, } \mu * F * \cos \alpha > F * \sin \alpha$$

$$\mu = \tan \rho > \tan \alpha$$

Angulo de contacto

$$\cos \alpha = (D - a + b) / D$$

$$\alpha = \arccos(1 - [a-b] / D)$$

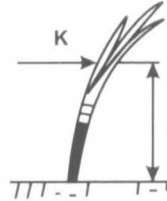
Diámetro del rodillo

$$D = (a + b) / (1 - \cos \alpha)$$

MODULO-E, ROZAMIENTO Y FLEXIÓN DEL TALLO

Módulo-E de un tallo

$$E = K * l^3 / (48 * f * J) \text{ [N/mm}^2\text{]}$$



K = fuerza de flexión [N]

f = recorrido de la flexión [mm]

J = momento de inercia de la superficie de corte del tallo [mm⁴]

l = longitud del tallo cortado

Coefficiente de rozamiento

$$\mu = \mu_f * \mu_v / 0.253 \text{ [-]}$$

μ_f = coeficiente de fricción, dependiente de la humedad [-]

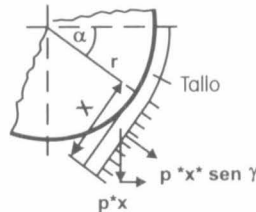
μ_v = coeficiente de fricción, dependiente de la velocidad [-]

Flexión del tallo

$$M / (E * J) = l / r$$

o momento de flexión

$$M = E * J / r \text{ [Ncm]}$$



$E * J$ = rigidez del tallo [N/cm²]

r = radio del tallo [cm]

Fuerza, que es necesaria para el contacto libre del tallo con el rodillo (tambor, etc)

$$F = 2 * E * J / (r * x) * p * x * \text{sen} \gamma \text{ [N]}$$

COMPRESIÓN (PRENSA) DE TALLOS (FORRAJE)

Densidad

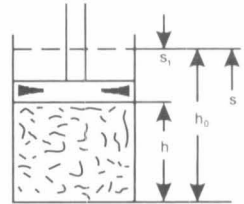
$$\rho = m/(A \cdot h) \quad [\text{kg}/\text{m}^3]$$

A = superficie del presión [m^2]

h_0 = llenado inicial [m]

s = avance del pistón [m]

m = masa [kg]



Presión específica del pistón en la compresión

$$p = C \cdot \rho^n \quad [\text{N}/\text{m}^2] \quad (\text{hasta } 150 \text{ N}/\text{cm}^2)$$

$C = p_0/\rho_0^n$ = constante del material

p_0 = presión inicial del pistón [N/m^2]

ρ_0 = densidad inicial [kg/m^3]

n = exponente

Trabajo específico de compresión

$$\frac{W_s}{m} = \frac{A}{m} \cdot \int_0^s p(s) \cdot ds$$

$$W_s/m = C/(n-1) \cdot (\rho^{n-1} - \rho_0^{n-1})$$

Presión del pistón en empastilladoras y granuladores (hasta $1,500 \text{ N}/\text{cm}^2$)

$$p_k = e^{c_0 \cdot c_1 \cdot F + [c_2 + c_3 \cdot F]^{10}} \quad [\text{N}/\text{cm}^2]$$

C_0, C_1, C_2, C_3 valores de ensayo (pruebas)

F = humedad de la masa

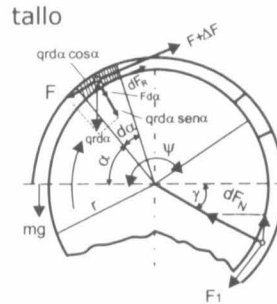
ENROLLADOR DEL TALLO

Condiciones de equilibrio

$$dF + dF_R - q * r * d\alpha * \cos \alpha = 0$$

de ahí

$$dF_R = \mu * dF_N$$



Fuerza de presión perpendicular

$$dF_N \approx F * d\alpha + q * r * d\alpha * \sin \alpha$$

q = carga para la longitud del tallo

$F * d\alpha$ = parte normal de la fuerza F

$\mu = \tan \rho$ (coeficiente de rozamiento)

$dF/d\alpha = [q * r / \cos \rho] * \cos(\alpha + \rho)$ ecuación diferencial

$$F = F\alpha = q * r * \sin(\alpha + \rho) + C * e^{-\mu\alpha}$$

Fuerza externa necesaria en la parte por debajo del tambor para $\gamma < \pi/2$ para la presión de contacto del tallo con el tambor

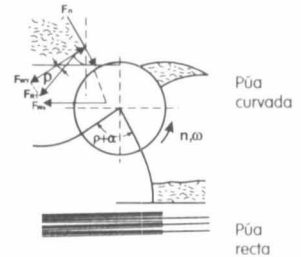
$$F_1/q * r = e^{\mu\pi/2} * e^{\mu\gamma} * (1 + \cos \rho) - \sin(\gamma + \rho)$$

de ahí es

$$F_1/q * r = \sin \gamma$$

TAMBOR-RECOGEDOR

Soporte de depósito



F_n = fuerza normal [N]

F_w = fuerza dependiente del ángulo de rozamiento ρ [N]

Condiciones para el desplazamiento de forraje encima del soporte del depósito

$$F_{wx} > F_{R1} = \mu * F_{wy}$$

de ahí es

$$F_{wx} = F_{wy} * \tan(\alpha - \rho)$$

$$F_{R1} = F_{wy} * \tan\rho_1$$

ρ = ángulo de fricción entre el forraje y la púa

ρ_1 = ángulo de fricción entre el forraje y de soporte del depósito

de ahí, las condiciones para el desplazamiento del forraje

$$F_{wy} * \tan(\alpha - \rho) > F_{wy} * \tan\rho_1$$

$$\tan(\alpha - \rho) > \tan\rho_1$$

$$\alpha > \rho + \rho_1$$

Tiempo para girar el tambor recogedor para el ángulo φ

$$t = \varphi/\omega = 2 \pi/(z*\omega) = 60/z * n, \text{ de ahí es } \omega = \pi*n/30$$

Longitud por púa

$$s = v_f * t = v_f * 60/(z*n) \text{ [m]}$$

Compresión relativa

$$\varepsilon = 1 - \rho_1/\rho_2 \text{ [sd]}$$

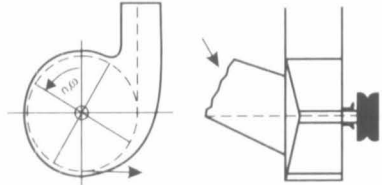
z = número de filas de púas

v_f = velocidad [m/s]

ρ_1 = densidad del forraje antes de la compresión [kg/m³]

SOPLADOR (VENTILADOR DE TIRO)

Entrada



$u \leq 35\text{m/s}$ (forraje verde)
 $\leq 25\text{m/s}$ (cereales)

Ventilador de tiro
 Ventilador de aire

$$P_w \sim n^2$$

$$P_L \sim n^3$$

$$H_{\max} \approx 20 \text{ m}$$

Altura de tiro

altura teórica de tiro

$$H_o = u^2 / (2 * g) \text{ [m]}$$

Altura común de tiro

$$H_{\text{eff}} = \frac{U^2}{2 * g} * \frac{k}{\sqrt[3]{\dot{m}}} \text{ [m]}$$

$$g = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

k = coeficiente de forraje [sd]

= 0.41(para masa verde)

* = 0.389(para cereales)

m = velocidad de la masa (forraje) [kg / s]

H = altura de tiro [m]

Potencia necesaria

$$P_{\text{total}} = P_L + P_R + P_w = \dot{m} * g * \frac{H}{1.000} * \eta_{\text{total}} \text{ [kW]}$$

P_L = potencia sin carga [kW]

P_R = potencia para el rozamiento contra la pared [kW]

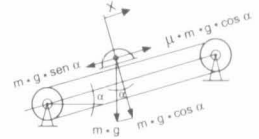
P_w = potencia para el soplador (ventilador de tiro) [kW]

TRANSPORTADOR DE BANDA Y DE TORNILLO SINFIN

Transportador de banda

Condiciones de adherencia para la masa en el transporte
(masa transportada)

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha < \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$$



Potencia de accionamiento

$$P_{nec} = \frac{\dot{m} \cdot g \cdot (L \cdot f \pm H)}{1.000 \cdot \eta_{total}} [kW]$$

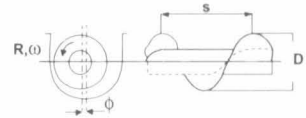
H = altura de la transporte [m]

L = Recorrido de la transportación [m]

η_{total} = rendimiento total [sd]

f = coeficiente total [sd]

Transportador de tornillo sinfin



S = pendiente del
tornillo sinfin [m]

φ = porcentaje de llenado
del tornillo sinfin [sd]

k = disminución en el transporte inclinado [sd]

ρ = densidad de la masa transportada [kg/m^3]

Caudal de la masa

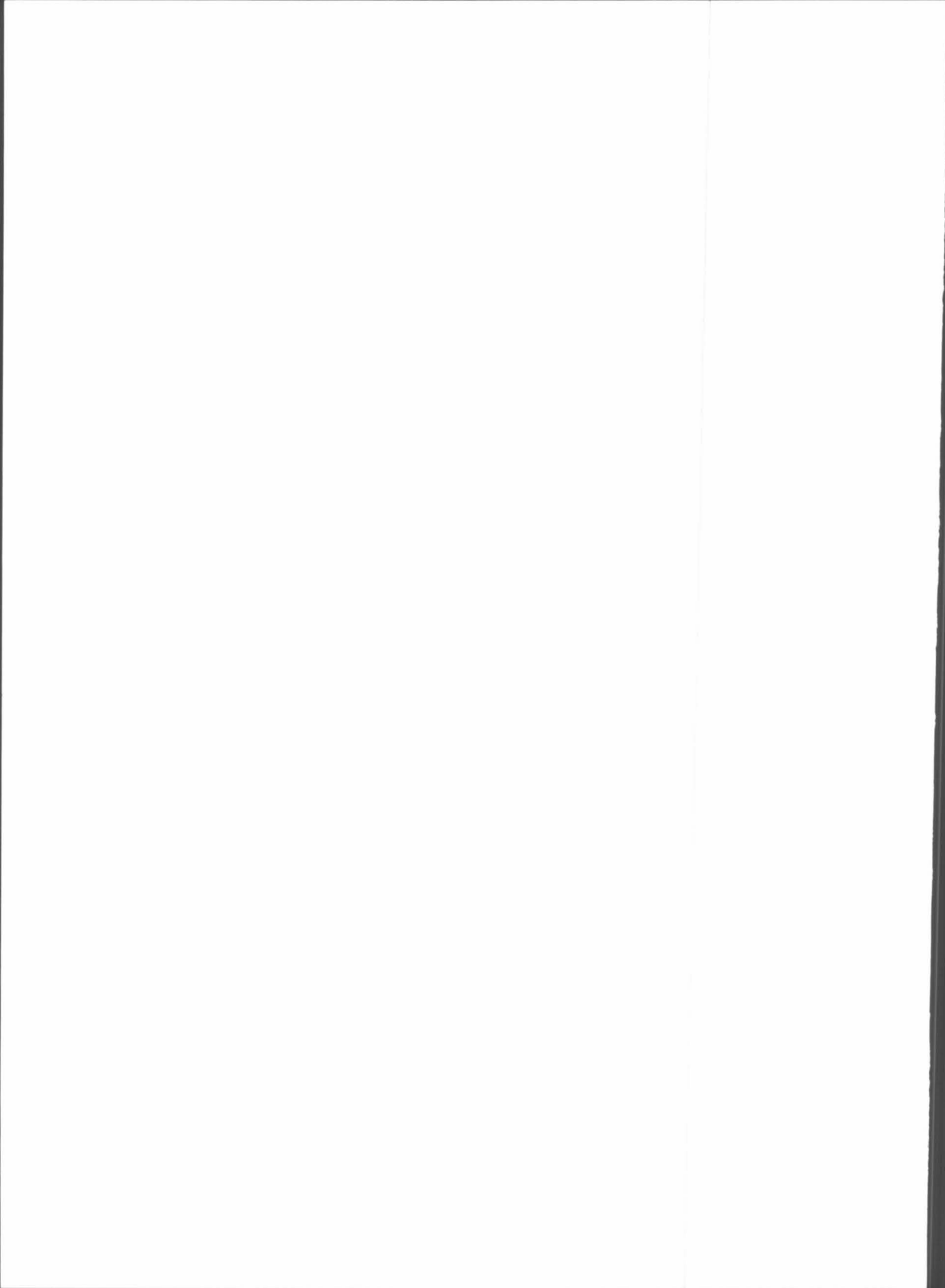
$$\dot{m} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{n}{60} \cdot S \cdot \varphi \cdot k \cdot \rho [kg/s]$$

Potencia de accionamiento

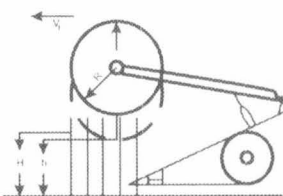
$$P_{nec} = \frac{\dot{m} \cdot g \cdot (L \cdot f \pm H)}{1.000 \cdot \eta_{total}} [kW]$$

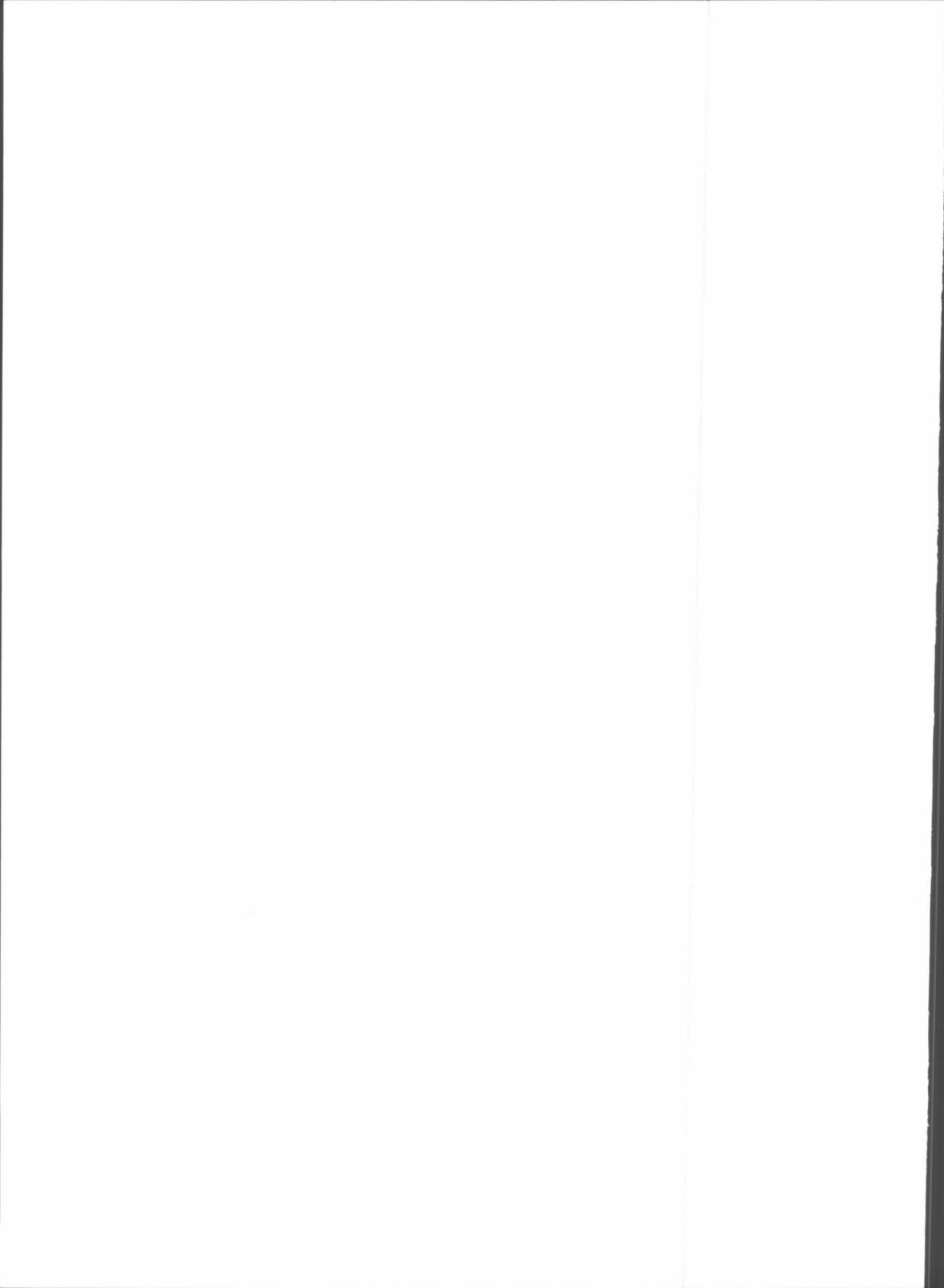
n = revoluciones del tornillo sinfin / min^{-1}

d = diámetro interno

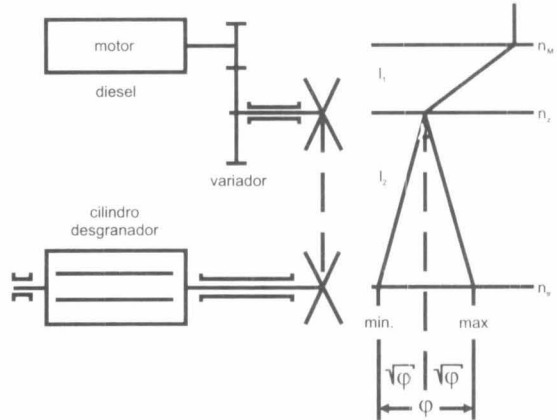


Capítulo 8
Cosecha
de Granos





ACCIONAMIENTO DEL CILINDRO DESGRANADOR (TAMBOR) DE LA COSECHADORA AUTOPROPULSADA (DE GRANOS)



Número de revoluciones del cilindro desgranador

$$n_{cilindro} = n_M * i_1 * i_2 = n_M * i_{total} \quad [\text{min}^{-1}]$$

Número de revoluciones del eje de transmisión

$$n_z = \frac{n_{cilindro, max}}{\sqrt{\varphi}} = n_{cilindro, min} * \sqrt{\varphi} \quad [l / \text{min}]$$

Ambito de variación

$$\varphi = \frac{n_{cilindro, max}}{n_{cilindro, min}} \quad [\text{s.d.}]$$

COSECHADORA AUTOPROPULSADA

Velocidad del molinete

$$v_H \approx 1.1 v_f \text{ [m/s]}$$

$$v_f = \text{velocidad de marcha} \quad \text{[m/s]}$$

Tiempo de llenado de la tolva (igual tiempo para descargar)

$$t_F = \frac{V_T * \rho}{\dot{m} * 60} \text{ [min]}$$

Recorrido para llenar

$$s_F = v_f * t_F * 60 \text{ [m]}$$

Potencia de accionamiento para el elevador

$$P_{\text{necesaria}} = \frac{\dot{m} * g * h}{10^3 * \eta_{\text{total}}} \text{ [kW]}$$

\dot{m} = caudal de granos [kg/s]

ρ = densidad [kg/m³]

V_T = volumen de la tolva [m³]

h = altura del transporte [m]

η_{total} = rendimiento total del elevador [s.d.]

TAMAÑOS DE LA COSECHADORA AUTOPROPULSADA

Relación granos/paja

$$\alpha = \frac{\dot{m}_{\text{grano}}}{\dot{m}_{\text{paja}}} \approx \frac{1}{1.4} \text{ [s.d.]} \quad \dot{m} = \text{caudal de la masa [kg/s] para granos}$$

o paja.

superficie de los sacudidores

$$A_s \approx 0.5 \left[\frac{m^2}{t_{\text{granos/h}}} \right]$$

potencia necesaria

$$\approx 9 \left[\frac{kW}{t_{\text{granos/h}}} \right]$$

22 [kW/m ancho del corte] y

22 [kW/m² superficie de los sacudidores]

número de revoluciones del cilindro desgranador

$$n_r \approx 400 \dots 1500 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

maíz – granos...centeno

COSECHADORA, CAUDAL, PERDIDAS, TRANSPORTADOR DE TORNILLO SIN FIN

Caudal de la cosechadora

$$\dot{V} = v * v_f * h_{red} * \eta_B \quad [m^3 / s]$$

b = ancho de trabajo [m]

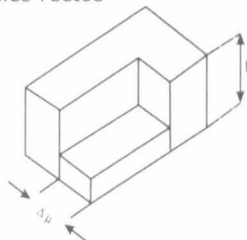
v_f = velocidad de marcha [m/s]

h_{red} = altura del tallo reducido [m]

η_F = rendimiento an el campo [-]

η_B = rendimiento del ancho [-]

cereales rectos



cereales que están
libres e inclinados

velocidad de marcha posible

$$v_f = \frac{\dot{V}_{max}}{b * h_{red} * \eta_B} \quad [m / s]$$

pérdidas de la cosechadora

$$c_v = c * a^{m_0} \quad [s.d.]$$

φ = coeficiente de llenado [-]

ρ = densidad de la masa transportado [kg/m^3]

k = disminución en el transporte inclinado[s.d.]

D = diámetro externo del tornillo sin fin [m]

S = pendiente [s.d.]

n = número de revoluciones del tornillo sin fin [1/min]

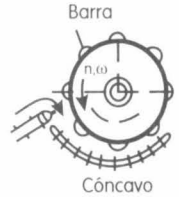
CILINDRO DESGRANADOR (INSTALACIÓN DEL DESGRANADOR)

Número de golpes de las barras del cilindro encima de la cama de cereales en la hendidura

$$i = \frac{\alpha * 60}{2 * \pi * n * z} \left[s^{-1} \right]$$

Z= número de barras

Z_i= número de barras del cóncavo



Proceso del desgranado

frecuencia de pasos de las barras del cóncavo

$$f = \frac{n}{60} \cdot Z \cdot Z_i \left[s^{-1} \right]$$

coeficiente de limpieza para el cóncavo

$$k_a = k_d * \left[1 - \frac{1}{e^{k * L}} \right] \left[s.d. \right]$$

L = longitud del cóncavo [m]

k_d= coeficiente para los cereales [m⁻¹]

CILINDRO DESGRANADOR CON CONCAVO

$$P_L = A * w + B * w^2$$

Potencia sin carga



A = momento de fuerzas de fricción en los cojinetes

B = ventilación del cilindro

fuerza normal

$$F_N = p * b * \eta * l \quad [N]$$

b = grueso de las barras del cóncavo [cm]

l = longitud del cóncavo [cm]

η = coeficiente de uso

$$F_1 = \dot{m} * v, \text{ adicionalmente, la ecuación base } F_1 * dt = dm * v$$

fuerza con que la barra empuja encima de la cama de cereales

v = velocidad de la masa de cereales (del caudal) [m/s]

fuerza de arrastre (caudal de cereales/paja a través de la hendedura)

$$F_2 = \mu * F \quad ; \mu \text{ coeficiente de rozamiento de los cereales}$$

resistencia total al borde del cilindro

$$F = F_1 + F_2 = \dot{m} * v + \mu * F$$

$$F = \frac{\dot{m} * v}{1 - \mu} \quad [N]$$

potencia de accionamiento para el proceso en el cilindro y el cóncavo

$$P_M = \frac{\dot{m} * v^2}{1.000 * (1 - \mu)} \quad [kW]$$

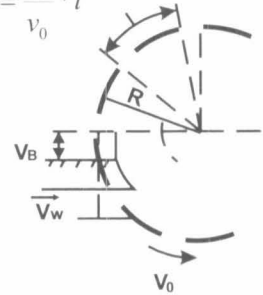
INSTALACIÓN DEL DESGRANADOR

longitud de la alimentación

$$\Delta R = \frac{s}{\cos\phi}; \text{ con } s = v_B * t \text{ i } t = \frac{1}{v_0} \text{ y } s = \frac{v_B * t}{v_0}$$

$$\cos\phi = \sqrt{1 - \text{sen}^2\phi} \text{ y } \text{sen}\phi = \frac{a}{R}$$

$$\Delta R = \frac{v_B * l}{v_0} * \left(1 - \frac{a^2}{R^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$



rendimiento del desgranador

$$\dot{m} = l_s * b * v_w * \rho * \varepsilon * (1 - \rho)^{-1} \text{ [kg/s]}$$

l_s = longitud de la hendidura [m]

b = ancho de la salida de la hendidura [m]

v_w = velocidad de arrastre de los cereales desgranados [m/s]

ρ = densidad de cereales en la hendidura [kg/m³]

ε = coeficiente de uso de la longitud de la hendidura [s.d.]

$$\delta = \frac{\dot{m}_{\text{grano}}}{\dot{m}_{\text{paja}}} = \text{relación grano / paja [s.d.]}$$

presión de las barras encima de la cama de cereales

$$p = K * e^{c*\sigma} \text{ [N/cm}^2\text{]}$$

por Pustigyn

K = coeficiente para varios cereales [N/cm²]

c = coeficiente para varios cereales [s.d.]

v = coeficiente de compresión [s.d.]

σ = coeficiente de compresión [s.d.]

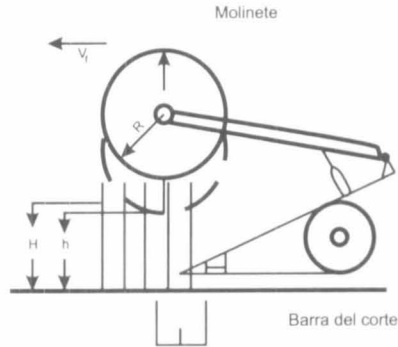
$$\sigma = 1 - \frac{a_1}{a_0}$$

a_1 = grueso de la capa comprimida

a_0 = grueso de la capa no comprimida

ALTURA DEL MOLINETE, PÉRDIDAS DE GRANOS, HUMEDAD DE LOS GRANOS

relación velocidad del molinete a la velocidad de marcha



$$\lambda = \frac{R * w}{v_f} \quad [s.d.]$$

altura del molinete (por Letosnev)

$$h = H - \frac{R}{\lambda} * (\lambda - 1) \quad [m]$$

$$\lambda = 1.1 \dots 1.7$$

cereales estandar de pie rectos.... estando inclinado

l = 30... 60 cm

v_f = velocidad de marcha [m/s]

pérdidas de granos

$$k_v = 2^{\dot{m} - \dot{m}_0} \quad [\%] \quad \dot{m} = \text{caudal efectivo} \quad [kg/s] \quad \dot{m}_0 = \text{caudal con } 1\% \text{ de pérdidas} \quad [kg/s]$$

$$f = \frac{W}{F} = \frac{W}{W + T} \quad [s.d.]$$

humedad de los granos(de la masa)

$$f = \frac{W}{F} = \frac{W}{W + T} \quad [s.d.]$$

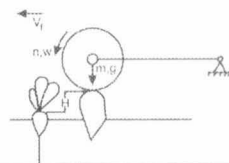
W = masa de agua[kg]

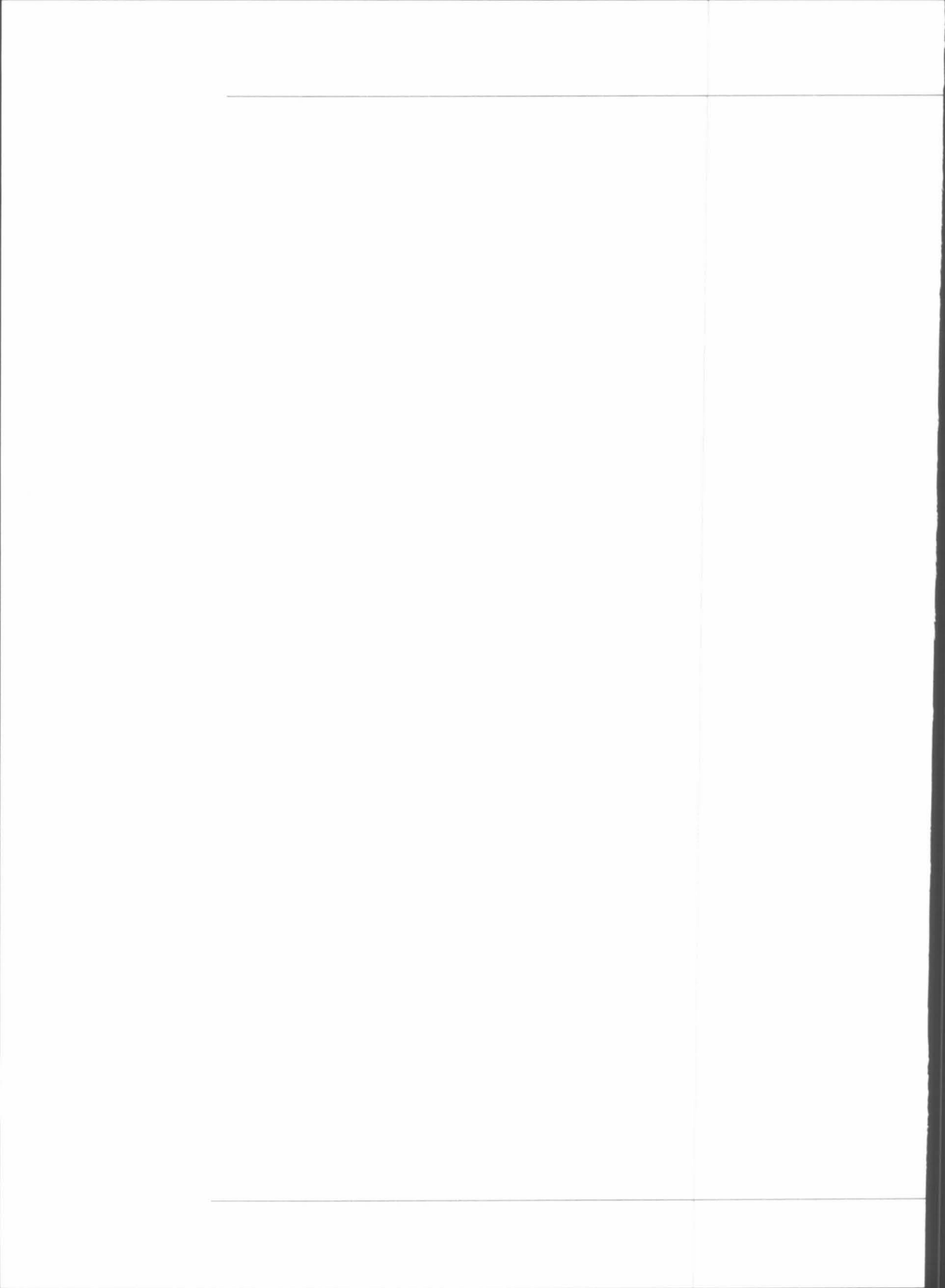
F = masa humedad[kg]

T = masa seca [kg]

Capítulo 9

Papas y raíces Tuberizadas





NÚMERO DE PLANTAS (EFECTIVAS) POR HECTÁREA Y DISTRIBUCIÓN DE LA REMOLACHA

Germinación de semillas en el campo

$$p = \frac{\text{granos con germinación}}{\text{granos distribuidos}} \quad [\text{s.d.}]$$

$$p = 0.5 \dots 0.75 \quad [\text{s.d.}] \text{ común}$$

Distribución de distancias entre plantas

$$x(m) = p * (1-p)^{m-1}$$

$m = 1, 2, 3, \dots =$ muchas veces la distribución de los granos [s.d.]

$x(m) =$ número de plantas por metro [s.d.]

Distancia promedio de plantas efectivas al principio

$$\bar{A}_A = \frac{\bar{a}}{p} \quad [\text{m}]$$

$\bar{a} =$ distancia promedio de los granos [m]

Plantas efectivas al principio

$$Z_A = \frac{10^4}{\bar{A}_A * R} = \frac{p * 10^4}{\bar{a} * R} \quad [\text{plantas/ha}]$$

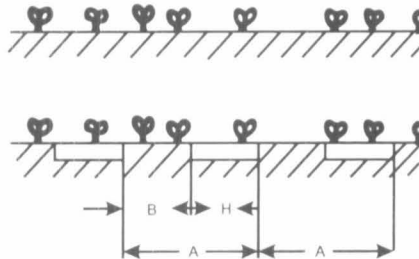
$R =$ separación entre hileras

ACLAREO REMOLACHAS CON HERRAMIENTAS MECÁNICAS

Relación de disminución de plantas

$$\frac{Z_E}{Z_A} = \frac{B}{A} \quad [\text{s.d.}]$$

antes y después de la disminución



B = longitud del bloque [m]

A = Separación del bloque [m]

H = camino de corte [m]

Z_E = plantas efectivas después de la disminución [plantas/ha]

Z_A = plantas efectivas al principio, antes de la disminución [plantas/ha]

Plantas efectivas promedio después de la disminución mecánica y sin observación

$$\bar{A}_E = \frac{\bar{a} * A}{p * B} \quad [\text{m}]$$

Plantas efectivas finales después de la disminución mecánico-ciego

$$Z_E = \frac{p * B * 10^4}{\bar{a} * A * R} \quad [\text{plantas/ha}]$$

\bar{a} = distancia promedio [m]

p = germinación en el campo [s.d.]

R = separación entre hileras [m]

R = 0.45... 0.50... (0.60) [m]

ACLAREO DE REMOLACHAS CON HERRAMIENTAS DE REGULACIÓN

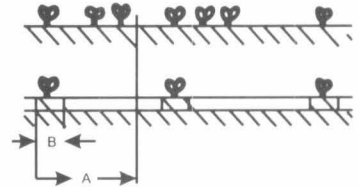
Distribución de plantas después de la disminución con herramientas de regulación

$$x_E (m) = p * (1 - p)^{m-n}$$

p = germinación en el campo [s.d.]

$m = 1,2,3\dots$ = muchas veces la distancia entre granos de semilla [s.d.]

Distancia mínima entre bloques



$$A = n * \bar{a} [m]$$

\bar{a} = distancia promedio entre los granos [m]

B = longitud del bloque

Distancia promedio final entre las plantas

$$\bar{A}_E = n * \bar{a} + \frac{\bar{a}}{p} - \bar{a}$$

$$\bar{A}_E = \bar{a} * \left(n + \frac{1 - p}{p} \right) [m]$$

Plantas efectivas finales después del aclareo

$$Z_E = \frac{10^4}{\bar{A}_E * R} = \frac{10^4}{\bar{a} * \left(n + \frac{1 - p}{p} \right) * R} \quad [\text{plantas/ha}]$$

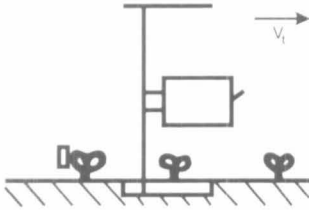
Parte efectiva con 2 plantas en un sitio con semillas con dos gérmenes

$$b_d = p^2 * (1 - E) [s.d.]$$

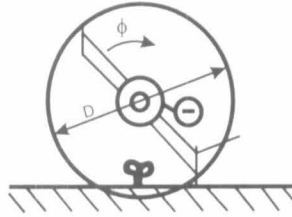
E = calidad de la semilla con un germen por grano [s.d.]

$E = 0.75\dots 0.98$

MÁQUINAS DE ACLAREO CON HERRAMIENTAS DE REGULACIÓN Y CON UN SENSOR DE CONTACTO ATRÁS DE LA HERRAMIENTA



Hidro-motor



Herramienta de corte

Momento de aceleración de la herramienta de corte

$$Md_b = \Theta * \ddot{\varphi} \rightarrow \ddot{\varphi} = \frac{Md_b}{\Theta}$$

de ahí dos veces la integración con las condiciones iniciales
 $t = 0 \rightarrow \varphi = 0$

$$\dot{\varphi} = 0$$

Angulo de giro

$$\varphi = \frac{Md_b}{\Theta} * \frac{t^2}{2}$$

Θ = masa de giro

$$\Theta = \frac{m * D^2}{4} \text{ [kg m}^2\text{]}$$

para cuerpo en forma de anillo

De ahí el tiempo de aceleración

$$t = \sqrt{2 * \varphi * \Theta / Md}$$

De ahí el momento de la aceleración

$$Md_b = \frac{2 * \varphi * \Theta}{t^2}$$

MÁQUINAS PARA ACLAREO CON HERRAMIENTAS DE REGULACIÓN Y CON UN SENSOR CONTACTO ATRÁS DE LA HERRAMIENTA (2)

Condiciones del momento para el accionamiento de la herramienta de corte

$$Md_m \geq Md_b + Md_h \text{ [Nm]}$$

Md_m = momento de giro del hidro-motor [Nm]

Md_b = momento de la aceleración de la herramienta de (corte)

Md_h = momento de la herramienta al cavar

Momento de giro del hidro-motor

$$Md_m = \frac{10 * \Delta p * q}{2\pi} * \eta_{hm} \text{ [Nm]}$$

Volumen de la alimentación del hidro-motor

$$q = \frac{2 * \pi * Md_m}{10 * \Delta p * \eta_{hm}} \text{ [cm}^3\text{/revolución]}$$

η_{hm} = rendimiento hidro-mecánico [s.d.]

Δp = presión de trabajo [bar]

(1bar = 10 N/cm²)

LONGITUD DE ARRANQUE Y LA CAPACIDAD DE LA TOLVA PARA LA COSECHA DE REMOLACHAS

Longitud específica de las hileras

$$l_A = \frac{10^4}{R} \quad [\text{m longitud/ha}]$$

R = separación entre las hileras [m]
($10^4 \text{ m}^2 = 1 \text{ ha}$)

Camino de arranque (llenado de la tolva)

$$l_B = \frac{10^4}{R} * \frac{m_B}{m_A} * \frac{1}{i} \quad [\text{m, camino de arranque}]$$

m_B = masa utilizable de la tolva [t]

m_A = masa del producto [t/ha]

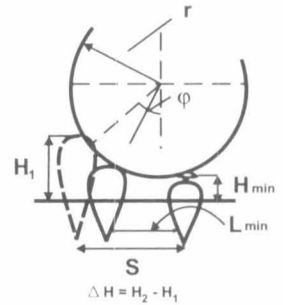
i = número de hileras [s.d.]

Masa mínima utilizable de la tolva para una longitud dada del lote(campo)

$$m_B = \frac{l_S * R * m_A}{i * 10^4} \quad [\text{t}]$$

l_S = longitud del campo [m]

DESCORONADORAS, PALPADOR (SENSOR DE CONTACTO)



$O_1 O_2 = r$; $O_2 A = a$; $O_1 A = b$; eso es

$$r_1^2 = a^2 + b^2 \text{ con}$$

$$r_1 = r_s + r_R; \quad a = L_{\min} - (W + r); \quad \Delta H = H_2 - H_1; \quad b = r_s + r_R - \Delta H; \quad W = r = 0.75 * r_R$$

Condiciones para el radio del disco palpador (o calibrador de profundidad)

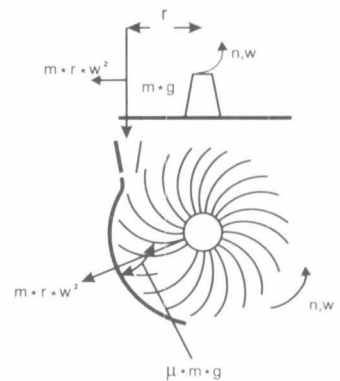
$$r_s \leq \frac{(L_{\min} - 1.5 * r_R)^2}{2 * \Delta H} + \frac{\Delta H}{2} - r_R$$

Estrella de la criba

Condiciones para limpiar y tirar: $m * r * \omega^2 \geq \mu * m * g$

Velocidad del ángulo

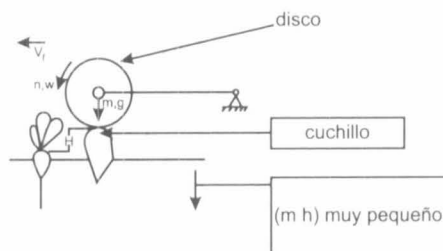
$$\omega \geq \sqrt{\frac{\mu * g}{r}}$$



TIEMPO DE CAIDA DEL DISCO, AL PALPAR Y DESCORONAR Y VELOCIDAD MÁXIMA DE TRABAJO

MASA Y PROCESAMIENTO DE LA COSECHA

Tiempo de marcha desde una remolacha hasta la siguiente remolacha



$$t = \frac{s}{v_f}$$

Altura de caída: $\Delta H = 1/2 * g * t^2$: de ahí

$$\Delta H = 1/2 * g * \left(\frac{s}{v_f}\right)^2$$

Condiciones de velocidad de trabajo

$$v_f \leq s * \sqrt{\frac{g}{2 * \Delta H}}$$

Masa procesada de producto por cada reja o descoronador y por unidad de tiempo

$$\dot{m}_R = \frac{m_A * \dot{A}}{3,600 * i} \text{ [kg/s]}$$

o bien,

$$\dot{m}_R = \frac{m_A * v_f}{L} = \frac{m_A * v_f * R}{10^4} \text{ [kg/s]}$$

m_A = rendimiento del producto (remolacha y hojas)

\dot{A} = rendimiento de la superficie [ha/h]

i = número de hileras de la cosechadora [s.d.]

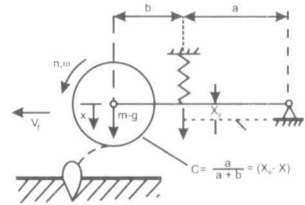
L = longitud específica de las hileras [m/ha]

R = separación entre hileras [m]

v_f = velocidad de trabajo [m/s]

DISCO-PALPADOR CON RESORTE DE ANTE TENSIÓN

Vista más fácil; palanca sin masa; movimiento lineal; fuerza del resorte



Resorte con antención

Posición del resorte sin tensión

$$F = c * \frac{a}{a+b} * (x - x_0)$$

Condiciones de equilibrio

$$m * \ddot{x} - m * g - c * \frac{a}{a+b} * (x_0 - x) = 0$$

$$k = \frac{c * a}{a+b} ;$$

de ahí, la ecuación diferencial para la frecuencia sin amortiguación

$$\ddot{x} + \frac{c}{m} * k * x = g + \frac{c}{m} * k * x_0$$

$$\omega \equiv \sqrt{\frac{c * k}{m}}$$

$$x + \omega^2 * x = g + \omega^2 * x_0$$

Asentar el cálculo para la solución

$$x_{\text{homogéneo}} = A * \text{sen } \omega t + B * \text{cos } \omega t$$

$$x_{\text{especial}} = \frac{g + \omega^2 * x_0}{\omega^2}$$

$$x = x_h + x_p$$

Condiciones al principio : $t = 0 \rightarrow x = 0$ y $\dot{x} = 0$

$$A = 0 \quad \text{y}$$

$$B = - \frac{g + \omega^2 * x_0}{\omega^2}$$

Resultado

$$x = \frac{g + \omega^2 * x_0}{\omega^2} * (1 - \text{cos } \omega t)$$

$$t = \frac{1}{\omega} * \text{arc cos} \left[1 - \frac{\omega^2 * x}{g + \omega^2 * x_0} \right]$$

FUERZA DE GOLPEO DEL DISCO DEL PALPADOR A LA REMOLACHA

Fuerza de golpeo del disco del palpador a la remolacha

$$E_{\text{golpe}} = \frac{m_r}{2} * (v_{1n}^2 - u^2) + U = \int_0^{s_1} F * dx = F_{\text{max}} * S_1$$

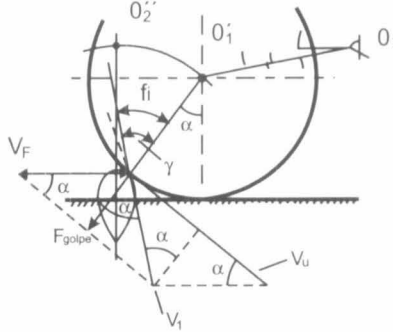
m_r = masa de la instalación del descoronador

U = energía potencial de la instalación del descoronador

u = velocidad equilibraa de dos cuerpos golpeados

F = fuerza de golpe accionada sobre la remolacha

S_1 = camino de deformación de la remolacha



Relación de velocidades

$$v_1^2 = v_F^2 + v_u^2 - 2 * v_F * v_u * \cos \alpha \quad v_u = \frac{v_F * \cos \gamma}{\cos (\alpha + \gamma)}$$

de ahí

$$v_1 = \frac{v_F * \sin \alpha}{\cos (\alpha + \gamma)}$$

Energía del golpeo (para $u = 0$, $U = 0$)

$$E_{\text{golpe}} = \frac{m_r * v_F^2 * \sin^2 \alpha}{2} = \eta * F_{\text{golpe}} * S_1$$

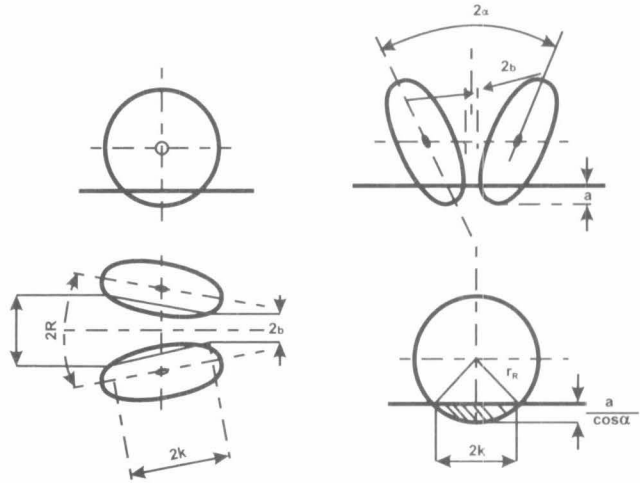
Fuerza del golpeo

$$F_{\text{golpe}} = \frac{m_r * v_F^2 * \sin^2 \alpha}{2 * \eta * S_1}$$

η = coeficiente de la fuerza del golpeo [s.d.]

≈ 0.8 (medido en el laboratorio)

REJA DE LA ARRANCADORA



Condiciones geométricas

$$r_R^2 = k^2 * \left(r_R - \frac{a}{\cos \alpha} \right)^2 \quad k = \frac{c - b}{2 * \sin \beta}$$

de ahí diámetro de la reja de la arrancadora

$$D_R = 2 * r_R = 2 * \left[\frac{(c-b) * \cos \alpha}{8 * a * \sin^2 \beta} + \frac{a}{2 * \cos \alpha} \right]$$

Valores comunes

para máquinas con
más hileras

$$2 \alpha = 25 \dots 30^\circ$$

$$25^\circ$$

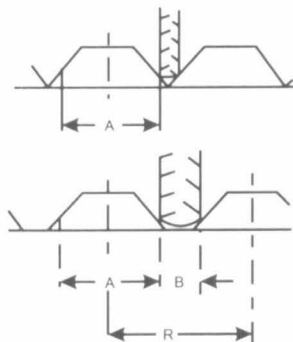
$$2 \beta = 25 \dots 30^\circ$$

$$20^\circ$$

$$a = 5 \dots 8(10) \text{ cm}$$

$$D_R = 600 \dots 650 \text{ mm}$$

ANCHO DEL NEUMÁTICO Y SEPARACIÓN DE LAS HILERAS PARA EL CULTIVO DE PAPA



Ancho de los neumáticos

$$B = R - A \text{ [m]}$$

R = separación de las hileras [m]

Distancia de seguridad

$$A = R - B \approx 0.4 \text{ [m]}$$

Separación de las hileras (trocha)

$$S = n * R \text{ [m]}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

Neumáticos

S	R	A	B	Pulgadas	f (R)
m	m	m	m		
1.25	0.625	0.415	0.21	8	0.34*R
1.36	0.68	0.40	0.28	10	0.41*R
1.50	0.75	0.41	0.34	12	0.45*R
1.80	0.90	0.46	0.44	15	0.49*R

DISTANCIA DE LAS PAPAS Y CAMINO EN LA PLANTACIÓN (COLOCACIÓN)

Distancia necesaria entre las plantas de papas

$$\bar{a} = \frac{p * 10^4}{Z_E * R} \text{ [m]}$$

p = germinación en el campo [s.d.]

Z_E = distancia entre plantas que se desee [plantas/ha]

R = separación entre hileras [m]

Camino de las papas colocadas (camino de provisión) para la máquina plantadora

$$l_v = \frac{m_v * 10^4}{m_A * R} \text{ [m]}$$

m_v = masa de provisión [t]

m_M = masa específica de la superficie para los papas de siembra [t/ha]

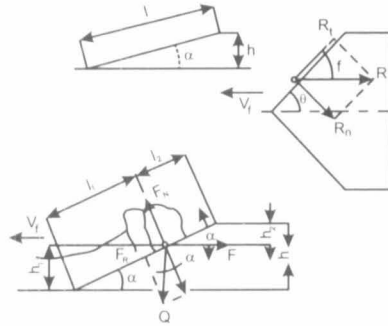
Frecuencia de plantas colocadas

$$f = \frac{v_f}{\bar{a}} \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

REJA PARA RECOLECCIÓN DE PAPAS EN LAS MÁQUINAS AUTOPROPULSADAS

F = fuerza para cambiar el sitio de la masa de suelo encima de la reja [N]

F_N = fuerza normal de la reja en dirección de la masa de suelo



m = masa cargada del caballón [kg]

μ = coeficiente de rozamiento tierra/acero [s.d.]

Condiciones de fuerzas

$$F \cdot \cos \alpha - F_R - m \cdot g \cdot \sin \alpha = 0$$

$$F_N - m \cdot g \cdot \cos \alpha - F \cdot \sin \alpha = 0$$

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

De ahí, ángulo de la pendiente de la reja

$$\alpha \leq \arctan \frac{F - \mu \cdot m \cdot g}{\mu \cdot F + m \cdot g}$$

$\mu_k = \tan \varphi_k =$ coeficiente de fricción del tallo de las papas-acero [s.d.]

$F_s =$ fuerza de corte [N]

Ángulo de la punta de la reja

$$R_t \geq R_n \cdot \mu_k = R_n \cdot \tan \varphi_k$$

$$R \cdot \cos(\theta/2) \geq R \cdot \sin(\theta/2) \cdot \tan \varphi_k$$

$$\varphi_k \leq 90^\circ - \theta/2 \text{ o bien, } \theta \leq 180^\circ - 2 \cdot \varphi_k$$

Resistencia total de la reja en la recolección de papas

$$F_w = F + F_s = A \cdot l \cdot \rho \cdot g \cdot \tan(\alpha + \varphi) + k \cdot A$$

A = superficie de corte transversal del caballón [dm²]

ρ = densidad del terreno (suelo) [kg/dm³]

k = coeficiente de resistencia específica de corte del caballón [N/dm³]

ARRANCADORAS DE RUEDA CENTRÍFUGA, DESTRUCTOR DE TERRONES

Distancia de seguridad

$$c = \frac{R - a}{3}$$

números de brazos de pásas

$$i = \frac{v_f * 60}{v * n}$$

Ángulo de inclinación lateral

$$\text{sen } \gamma = \frac{v_f}{v_u}$$

Diametro de la rueda centrífuga

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \left(R - c - \frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{D}{2} - h\right)^2$$

$$D = \frac{\left(R - c - \frac{g}{2}\right)^2 + h}{h}$$

Condiciones para la destrucción de terrones

$$F_R * \cos \alpha \geq F_N * \text{sen } \alpha$$

$$F_R = \mu * F_N$$

de ahí

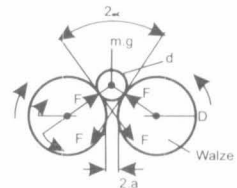
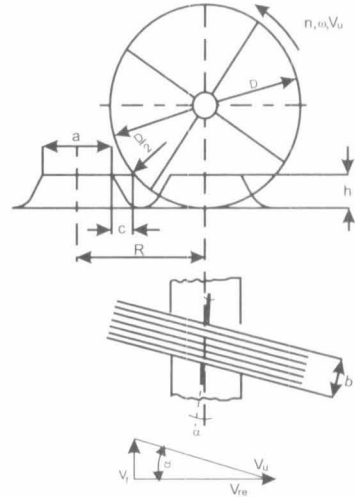
$$\mu \geq \frac{\text{sen } \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\cos \alpha = \frac{D + 2 * a}{D + d} \quad \text{sen } \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{D + 2 * a}{D + d}\right)^2}$$

$$\mu \geq \sqrt{\frac{(D + d)^2 - (D + 2 * a)^2}{(D + 2 * a)^2}}$$

$$D \geq \frac{d (1 - 2 * a/d * \sqrt{1 + \mu^2})}{\sqrt{1 + \mu^2} - 1};$$

μ = coeficiente de rozamiento



SEPARACIÓN DE PAPAS/PIEDRAS

Característica de exactitud (precisión de la separación)

$$\eta = 1 - \frac{z_n + k_n}{z_c + k_c} = \frac{z_d + k_d}{z_c + k_c} \text{ [s.d.]}$$

antes de la separación despues de la separación

papas	tratamiento (operación) de separación	papas	recoleccionado
z_c, m_c		z_d	

piedras y terrones		piedras y terrones k_n	
separado			papas z_n
k_c, m_k		piedras y terrones k_d	

Precisión de la separación

$$\eta_{z_{tn}} = \frac{z_d}{z_c}$$

para papas

$$\eta_k = \frac{k_d}{k_c}$$

para terrones y piedras

Trabajadores necesarios para la separación (recolección)

$$i \geq \frac{(\dot{m}_c + m_k) * (1 - \eta)}{\dot{m}_p} \text{ [piezas]}$$

\dot{m}_p = rendimiento de la selección de un trabajador para terrones y papas [kg/s]

TAMBOR ELEVADOR (RUEDA DE LEVANTE)

Condiciones de equilibrio para una papa

$$m * g * \sin \alpha = m * r * \omega^2 + \mu * m * g * \cos \alpha$$

de ahí

$$g * (\sin \alpha - \mu * \cos \alpha) = r * \omega^2$$

La papa esta rodando por encima de la pala(ala), si

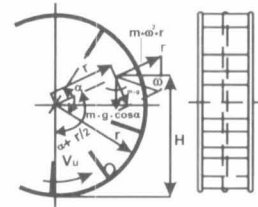
$$g * (\tan \alpha - \mu) \geq r * \omega^2$$

o con otras fórmulas

$$\tan \alpha \geq \frac{r * \omega^2}{g} + \mu$$

$$\alpha \geq \arctan \left(\frac{r * \omega^2}{g} + \mu \right)$$

Altura (limitada en la fontera) al levantar las papas

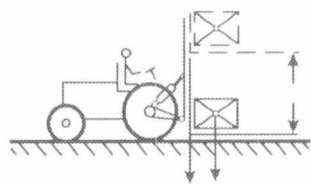


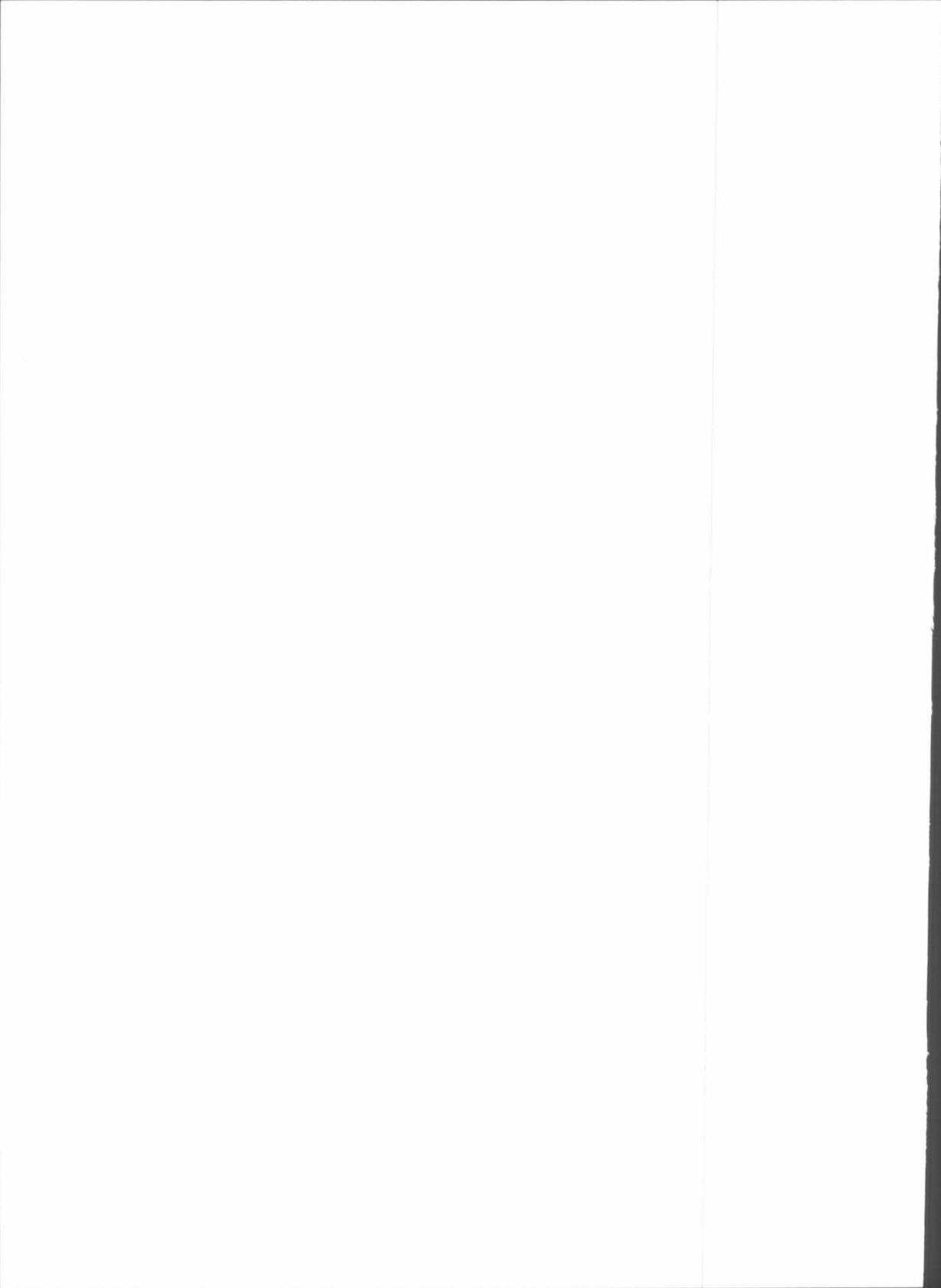
$$H \cong R + R \sin \alpha = R (1 + \sin \alpha)$$



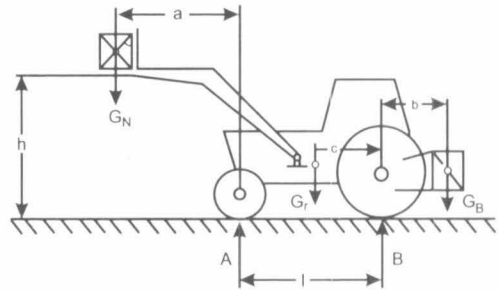
Capítulo 10

Logística





CARGADORES FRONTALES



Condiciones de los momentos para el punto de apoyo trasero

$$\sum M_B = 0$$

$$A * l + G_B * b - G_N * (a + l) - G_T * c = 0$$

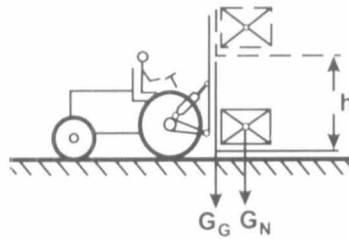
Condiciones de los momentos para el punto de apoyo delantero

$$\sum M_A = 0$$

$$B * l + G_H * a - G_T * (l - c) - G_B * (l + b) = 0$$

De ahí se podrán determinar las fuerzas inversas A y B

CARGADORES Y ESTIBADORES



Trabajo de carga

$$W = (G_G + G_N) * h \quad [\text{Nm}]$$

Potencia al levantar

$$P_H = \frac{W}{t} = \frac{(G_G + G_N) * h}{t} \quad \left[\frac{\text{Nm}}{\text{s}}\right]$$

Tiempo al levantar

$$t = \frac{W}{P_H} \quad [\text{s}]$$

Potencia necesaria de la instalación hidráulica al levantar

$$P_H = \frac{P_H}{1000 * \eta_{hm}} \quad [\text{kW}]$$

η_{hm} = rendimiento hidro - mecánico [s.d.]

CARGADOR FRONTAL Y TRACTOR CON HORQUILLA ESTIBADORA

Fuerza continua de elevación

$$F_H = k_H * \sqrt{\frac{P}{P_0}} \quad [\text{N}] \quad \text{ecuación (fórmula) aproximada}$$

P = potencia del motor [kW]

P₀ = 1 kW

K_H = coeficiente de la fuerza de elevación [N]

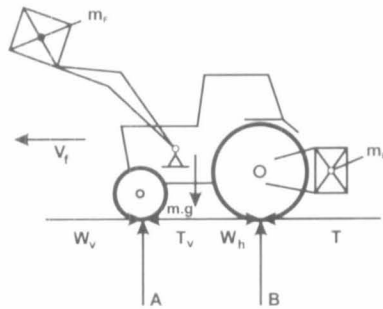
$$K_H = 1,150... 1,750 \quad [\text{N}]$$

Fuerza al tirar el cargador frontal

$$F_R = k_R * F_H \quad [\text{N}]$$

K_R = coeficiente de la fuerza al tirar [s.d.]

$$K_R = 1.25... 1.40 \quad [\text{s.d.}]$$



Masa total

$$m = m_T + m_f + m_b$$

resistencia de marcha

$$W = W_v + W_h = m * g * f$$

Condiciones de marcha hacia adelante

$$\sum W \leq \sum U \quad \text{con : } U = T + W$$

$$m * g * f \leq \mu * B \quad : \quad \mu = \kappa + f$$

de ahí:

$$(A + B) * f \leq \mu * B$$

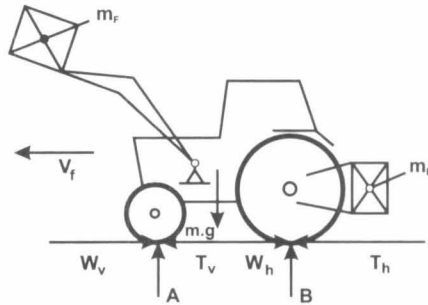
$$A * f \leq \kappa * B$$

condiciones :
$$\frac{A}{B} \leq \frac{\kappa}{f}$$

o bien,
$$A \leq \frac{\kappa}{f} * B$$

Tracción del eje trasero

doble tracción
 $\mu = \kappa * f$
 $U = T + W$



Condiciones principales para la marcha hacia adelante

$$\Sigma W \leq \Sigma U \quad m = m_{Tr} + m_F + m_B$$

$$m * g = A + B$$

$$W_v + W_h \leq U_h \quad T_v = 0 \quad W_v + W_h \leq U_v + U_h$$

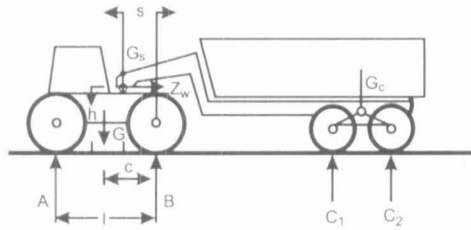
$$(A + B) * f \leq B * (\kappa + f) \quad (A + B) * f \leq (A+B) * (\kappa + f)$$

$$A \leq B * \frac{\kappa}{f}$$

$$f \leq \kappa + f$$

$$\kappa \geq 0$$

REMOLQUE SEMISUSPENDIDO



Equilibrio de fuerzas

$$G_T + G_S + G_C = A + B + C_1 + C_2$$

fuerzas de las masas fuerzas de inercia

Aumento de la carga estática sobre los ejes

$$G_S = G_{SA} + G_{SB}$$

$$G_{SA} = \frac{S}{l} * G_S \text{ [N]}$$

Condiciones de los momentos para la situación dinámica

$$\Sigma M_B = A_{dyn} * l - G_T * c - G_S * s + Z_W * h = 0$$

$$\Sigma M_A = B_{dyn} * l - G_T * (l - c) - G_S * (l - s) - Z_W * h = 0$$

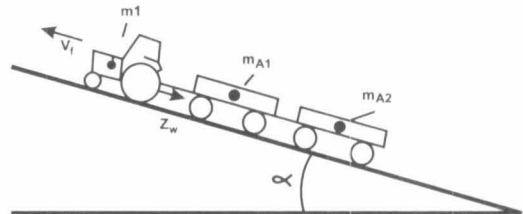
Fuerza de tracción

$$Z_W = G_C (\alpha) * (\text{sen } \alpha + f * \text{cos } \alpha)$$

$$\text{tan } \alpha = \text{pendiente [s.d.]}$$

$$f = \text{coeficiente de resistencia de la marcha [s.d.]}$$

RENDIMIENTO DEL MOTOR Y DEL TRANSPORTE



Fuerza de tracción

$$Z_w = (m_{A1} + m_{A2}) * g * (\text{sen } \alpha + f * \text{cos } \alpha) \quad [\text{N}]$$

para ángulos pequeños $\text{tan } \alpha \approx \text{sen } \alpha$

Potencia necesaria del motor

$$P_{\text{mot}} = \frac{(m_T + m_{A1} + m_{A2}) * g * (\text{sen } \alpha + f * \text{cos } \alpha) * v_F}{3,600 * \eta_{\text{tot}} * \lambda * (1 - \sigma)} \quad [\text{kW}]$$

m = masa [kg]

g = aceleración de la gravedad [m/s^2]

v_F = velocidad del transporte [km/h]

f = resistencia de la marcha [s.d.]

η_{tot} = rendimiento total del tractor [s.d.]

λ = coeficiente del uso de la potencia del motor [s.d.]

Rendimiento del transporte

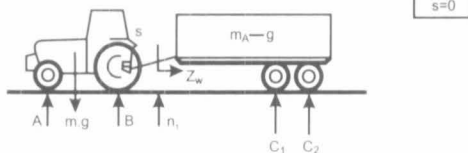
$$\dot{T} = m_N * v_F * \eta_N * \eta_{\text{Tr}} \left[\frac{\text{t} * \text{km}}{\text{h}} \right]$$

m_N = masa utilizada [t]

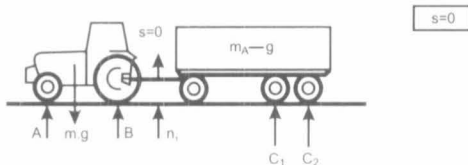
η_N = coeficiente de uso de la masa utilizable [s.d.]

η_{Tr} = coeficiente del rendimiento del transporte [s.d.]

Remolque con un eje



Remolque con dos ejes



Masa total del remolque

$$m_{A;total} = m_A + m_N$$

Fuerza total de soporte del remolque al suelo

$$\sum_{i=1}^n C_i = C_1 + C_2 + C_3 + \dots = m_{A;total} * g - S$$

f = resistencia de la marcha [s.d.];

κ = coeficiente de la fuerza del accionamiento [s.d.]

Fuerza máxima de tracción del tractor

$$Z_w \leq (m_T * g * S) * \kappa ; \quad A + B = (m_T * g * s)$$

Fuerza necesaria para el movimiento del remolque

$$Z_w = \sum_{i=1}^n C_i * f = [(m_A + m_N) * g - S] * f$$

de ahí

$$[(m_A + m_N) * g - S] * f \leq (m_T * g + S) * \kappa$$

de ahí la carga máxima

$$m_N \leq \frac{1}{g} * \left[\frac{\kappa}{f} * (m_T * g + S) + S \right] - m_A$$

f/κ

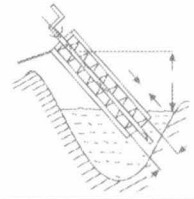
0.1 rastrojo

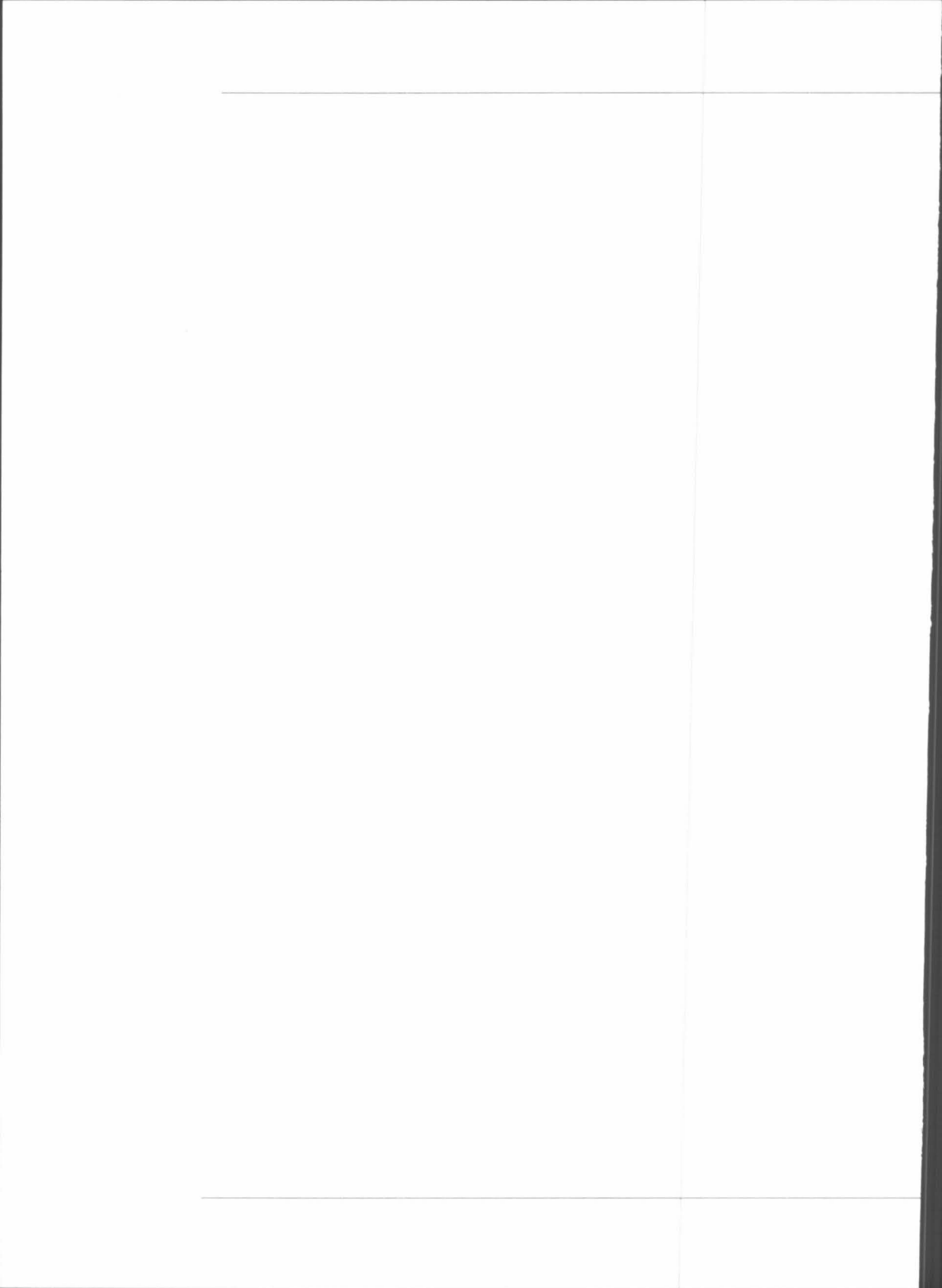
0.7 barro humedo

tractor de 74 kW y tracción del eje trasero

Capítulo 11

Riego

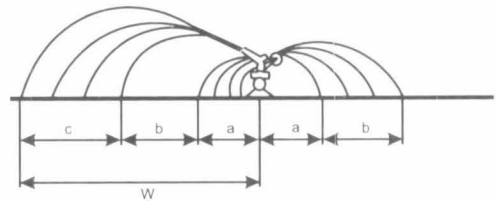




RIEGO POR ASPERSIÓN

Caudal principal

Caudal secundario



Longitud de alcance del aspersor

$$W = a + b + c$$

Caudal necesario (agua necesaria)

$$\dot{V} = n * \dot{V}_R \text{ [m}^3\text{/s]}$$

n = número de aspersores [s.d.]

\dot{V}_R = caudal por aspersor [m/s]

Velocidad del caudal

$$v_s = \frac{\dot{V}}{A_R} \text{ [m/s]} \quad \text{común } v_s \leq 3 \text{ m/s}$$

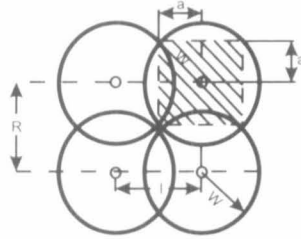
A_R = corte interno transversal

Avance de la lluvia

$$\rho = \frac{3,600 * \dot{V}}{A} \text{ [m/h]}$$

A = superficie cubierta con lluvia [m²]

RIEGO POR ASPERSIÓN CON CUATRO ASPERSORES TRASLAPADOS EN UN CUADRADO



Distancia entre los aspersores en este arreglo

$$l = 2 * a = 2 \frac{W}{\sqrt{2}}$$

$$l = \sqrt{2} * W \text{ [m]}$$

W = longitud de alcance [m]

Distancia de los tubos del agua en este arreglo

$$R = l = \sqrt{2} * W \text{ [m]}$$

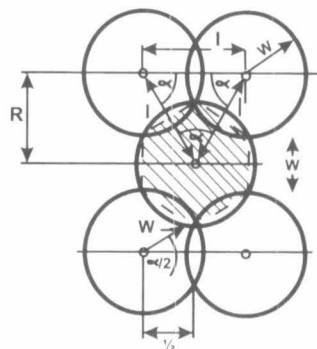
Superficie utilizada por cada aspersor

$$A = l^2 = 2 * W^2 \text{ [m}^2\text{]}$$

ASPERSORES EN EL CAMPO EN FORMACIÓN TRIANGULAR

ASPERSORES EN EL CAMPO EN FORMACION TRIANGULAR

$$\alpha = 60^\circ$$



Superficie utilizada por cada aspersor

$$A = \frac{3 * W^2 * \sqrt{3}}{2} = 2.6 * W^2 \quad [\text{m}^2]$$

$$l = \sqrt{3} * W \quad [\text{m}]$$

$$1/2 = \cos \alpha/2 * W \quad \alpha/2 = 30^\circ$$

$$\text{sen } 60^\circ = \cos 30^\circ = 1/2 * \sqrt{3}$$

Distancia entre los tubos

$$R = 1.5 * W \quad [\text{m}]$$

$$R = \text{sen } \alpha * l \quad R = 1/2 * \sqrt{3} * l$$

$$l = \sqrt{3} * W$$

$$R = 1/2 * \sqrt{3} * \sqrt{3} * W$$

POTENCIA DE ACCIONAMIENTO DE LA BOMBA

POTENCIA DE ACCIONAMIENTO DE LA BOMBA
(APROXIMADAMENTE)

$$P_{nec} = \frac{\rho * \dot{V}_x}{600 * \eta_{mec} * \eta_{vol}} \text{ [kW]}$$

\dot{V}_x = caudal [l/min]

η_{mec} = rendimiento mecánico [s.d.]

η_{vol} = rendimiento volumétrico [s.d.]

ρ = presión de la bomba [bar]

$$\rho = \rho_o + \rho * g * h$$

η_{tot} = rendimiento de la instalación [s.d.]

$$\eta_{tot} = \eta_{mec} + \eta_{vol}$$

Rendimiento del aspersor

$$\eta = \frac{A}{\pi * W^2} \text{ [s.d.]}$$

A = superficie utilizada por el aspersor [m²]

W = longitud del alcance [m]

Superficie del corte transversal interno

$$A_R = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\dot{V}}{v} \text{ [m]}$$

De ahí

superficie del corte transversal interno

$$d = 2 * \sqrt{\frac{\dot{V}}{\pi * v_{max}}} \text{ [m]}$$

v = velocidad del agua [m/s]

\dot{V} = caudal [m³/s]

$$g = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

CAPACIDAD NECESARIA DE LA BOMBA

CAPACIDAD NECESARIA DE LA BOMBA

$$\dot{V} = \frac{10 * A * h}{3.6 * t} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

A = superficie usada por cada instalación (cada conjunto) [ha]

h = altura de la aspersión de cada instalación [m]

t = tiempo de uso de cada instalación [h]

Superficie máxima de una instalación de aspersión(riego)

$$A_{\text{tot}} = A * \frac{n * t_d}{t} \quad [\text{ha}]$$

n = ciclo de uso aspersión-riego

t_d = tiempo de uso para cada día

Potencia necesaria para el accionamiento de la bomba

$$P = \frac{p * g * \rho * \dot{V}}{10000 * \eta_{\text{tot}}} = \frac{\dot{V} * H * \rho * g}{10000 * \eta_{\text{tot}}} \quad [\text{kW}]$$

H = altura del transporte (altura de succión, pérdidas de fricción, altura desde la base de la bomba hasta el aspersor, presión de trabajo del aspersor) [m]-(10m columna-agua = 1bar)

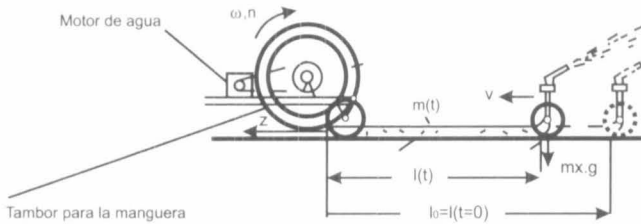
p = presión del transporte [bar]

ρ = densidad [kg/m³]

g = 9.81 m/s²

η_{tot} = rendimiento total de la bomba [s.d.]

FUERZA DE TIRO



Fuerza de tiro

$$Z = \mu * m(t) * g + f * m_R * g$$

$$\text{con } m(t) = m_q * l(t)$$

$$l(t) = l_0 - v_f * t$$

$$Z = g * [\mu * m_q * l(t) + f * m_R]$$

m_q = masa específica de la manguera (con agua) [kg/m]

Tiempo de aspersion (riego)

$$t_0 = \frac{h * A}{1000 * \dot{V}} \quad [s]$$

h = altura de aspersion [mm] (riego) (cantidad de agua)

$A = b * l_0$ = superficie cubierta por cada instalación(conjunto)
y anchura utilizable de la lluvia [m²]

b = anchura utilizable de la lluvia (riego) [m]

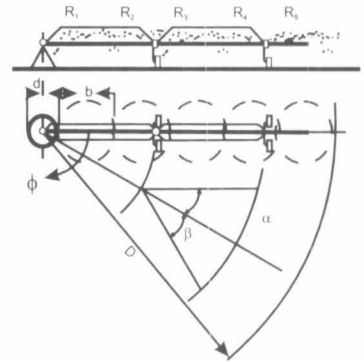
Velocidad de avance

$$v = \frac{l_0}{t_0} = r * \omega \quad \omega = \frac{\pi * n}{30}$$

Número de revoluciones del tambor de la manguera

$$n = \frac{30 * l_0}{\pi * r * t_0} \quad [\text{min}^{-1}]$$

$$\dot{V} = [\text{m}^3/\text{s}]$$



$R_1; R_2; \dots$ = aspersor

α, β = ángulo del interruptor al final

A = superficie aspersada y cubierta [m^2]

t = tiempo para completar un círculo [s]

h = altura de la aspersión para completar un círculo [m]

Diámetro utilizable de la lluvia

$$D = \sqrt{(4 * A) / \pi} \quad [m] \quad \text{para } d \quad [m] \quad \text{para } d \ll D$$

Número de aspersores necesarios

$$i = D - d / 2 * b$$

Velocidad del ángulo

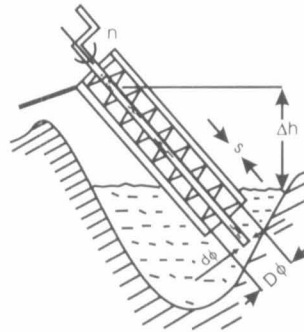
$$\varphi = d\varphi/dt = 2 * \pi / t = 360^\circ/t$$

Caudal necesario

$$\dot{V} = A * h / t \quad [m^3/s]$$

$$\eta_A = \frac{A_0}{A_{\square}} = \frac{\pi * \frac{D^2}{4}}{D^2} = \frac{\pi}{4} = 0.785$$

ESPIRAL DE ARQUIMIDES



S = pendiente del tornillo sinfín del transportador [dm]

Δh = altura de la elevación [dm]

n = revoluciones [min^{-1}]

φ = coeficiente de llenado [s.d.]

η_{hm} = rendimiento hidro-mecánico [s.d.]

h = altura del agua [dm]

Caudal

$$\dot{V} = \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} * S * \frac{n}{60} * \varphi * \eta_{vol} \text{ [l/s]}$$

Potencia necesaria

$$P = \dot{m} * g * \Delta h * \frac{1}{\eta_{hm}}$$

$$P = \dot{V} * \gamma * g * \Delta h * \frac{1}{\eta_{hm}} \text{ [kW]}$$

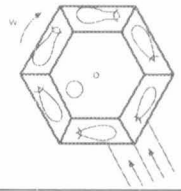
Tiempo de llenado del depósito

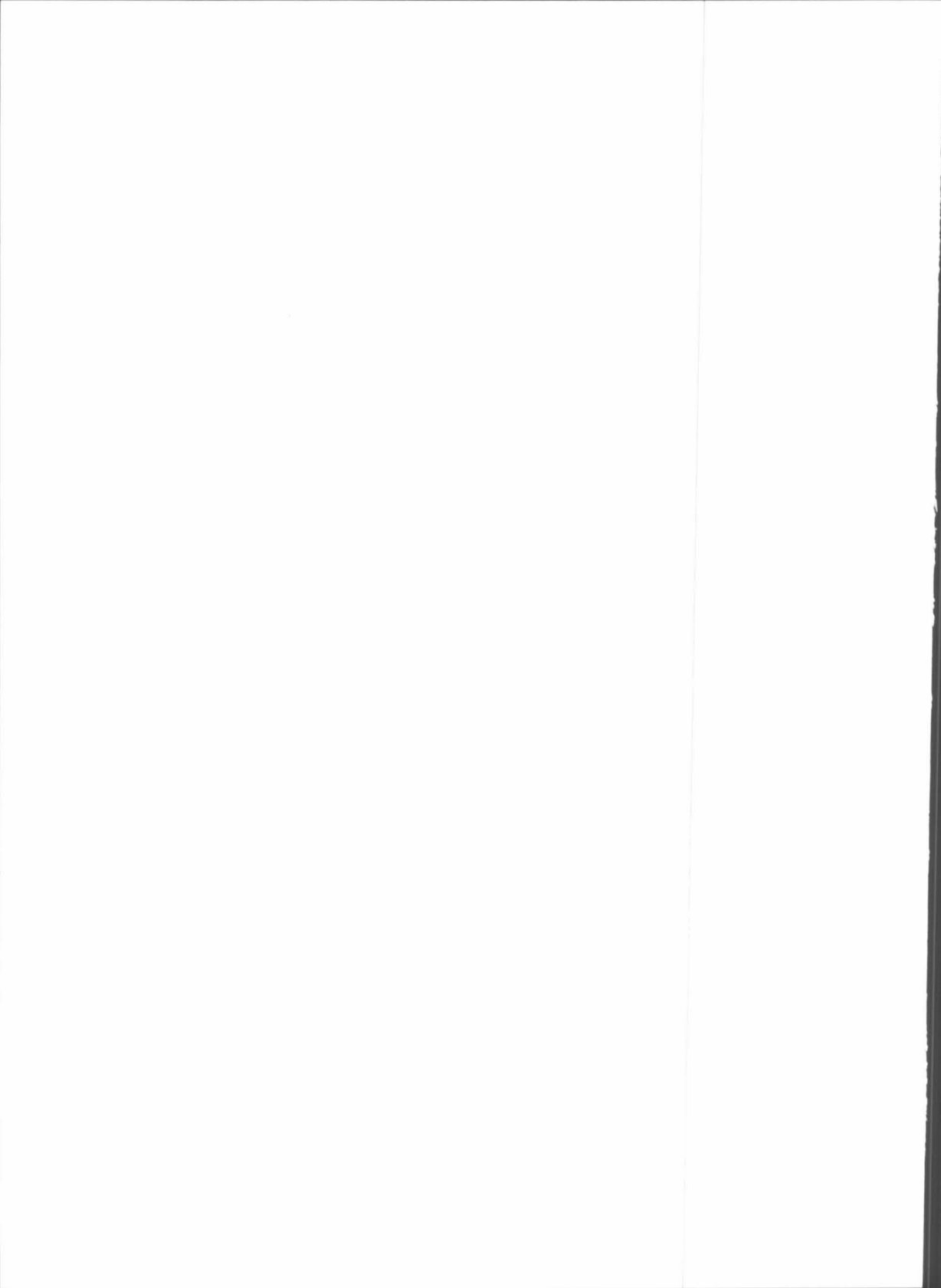
$(a * b)$ = superficie de la piscina

$$t = \frac{V}{\dot{V}} = \frac{a * b * h}{\dot{V}}$$

Capítulo 12

Ganadería



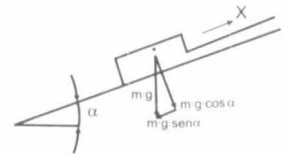


RECOLECCIÓN DE ESTIERCOL CON UN TRINEO DE TIRO CON CABLE

Fuerza de tracción para el trineo con el estiércol

$$Z = m * g (\mu * \cos \alpha + \sin \alpha) [N]$$

μ = coeficiente de fricción [s.d.]



Diámetro del cable

$$d = k * \sqrt{Z_{\max}} [mm]$$

$k = 0.095 \dots 0.125$ [s.d.] coeficiente

Diámetro del tambor y de los rodillos

$$D = c * \sqrt{Z_{\max}} [mm]$$

$c = 1.6 \dots 2.9$ [s.d.] tambor

$= 1.8 \dots 3.8$ [s.d.] rodillo

$= 1.4 \dots 2.4$ [s.d.] rodillo equilibrado

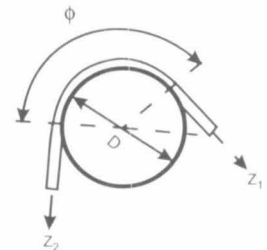
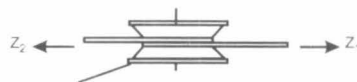
Fuerza de tracción ejercida en un tambor de fricción

$$Z_1 = Z_2 * e^{\mu_{st} \varphi} [N]$$

μ_{st} = coeficiente de fricción acero/acero [s.d.]

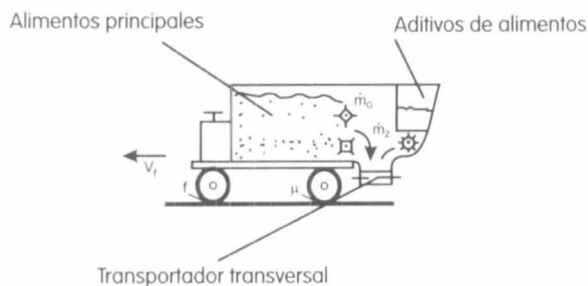
φ = ángulo de abrazamiento [s.d.]

Tambor de fricción



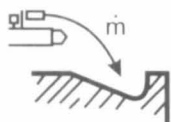
SISTEMA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ALIMENTOS

Carro distribuidor



Relación de la mezcla

$$Z = \frac{\dot{m}_G}{\dot{m}_Z} \quad [\text{s.d.}] \quad \dot{m} \text{ [kg/s]} \quad m = m_G + m_Z$$



Relación de alimentos

$$m_T = \frac{\dot{m} * b}{v_f} \quad [\text{kg/animal}]$$

b = ancho del espacio para el animal [m]

v_f = velocidad de avance [m/s]

Longitud del establo

$$L = i * b \quad [\text{m}]$$

i = número de animales por línea (fila)

Volumen utilizado por carro distribuidor

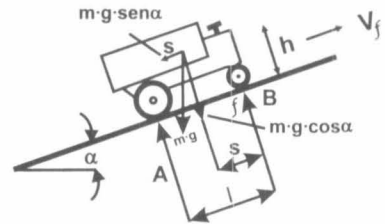
$$V = \frac{i * n * m_T}{\rho} \quad [\text{m}^3]$$

n = número de filas que se llenan con un carro de forraje

ρ = densidad del forraje [kg/m³]

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE FORRAJE II

Límite de la elevación en una pendiente para un carro de distribución de alimentos con ruedas de tracción en el eje trasero



Condiciones de los momentos

$$\sum M_B = A \cdot l - m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot s - m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot h = 0$$

$$\sum M_A = B \cdot l - m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (l-s) + m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot h = 0$$

despejando para A y B

$$A = m \cdot g \cdot \frac{s \cdot \sin \alpha + h \cdot \cos \alpha}{l} \quad [\text{N}]$$

$$B = m \cdot g \cdot \frac{(l-s) \cdot \cos \alpha - h \cdot \sin \alpha}{l} \quad [\text{N}]$$

Condición de marcha hacia adelante

$$\mu \cdot A \geq m \cdot g \cdot (f + \sin \alpha)$$

Angulo de la pendiente

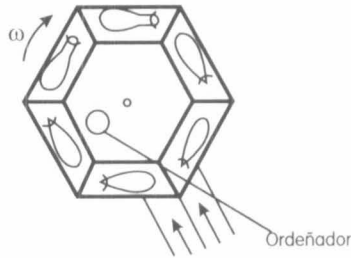
$$\alpha \leq \arcsen \left[\frac{\mu \cdot A}{m \cdot g} - f \right] \quad \mu = \kappa + f$$

κ = coeficiente de la fuerza de accionamiento, suelo/neumático[s.d.]

(en un establo muy pequeño 0.2 .. 0.3)

f = coeficiente de resistencia al rodamiento [s.d.]

INSTALACIONES ROTATORIAS DE ORDEÑA



Tiempo del ciclo en la instalación de ordeña

$$t = \frac{t_u}{n} \text{ [s]}$$

Tiempo de una vuelta

$$t_u = \frac{2 * \pi}{\omega} \text{ [s]}$$

ω = velocidad angular [s⁻¹]

Tiempo utilizable para la ordeña (alimentación y mantenimiento)

$$t_m = \frac{n - 1}{n} * t_u \text{ [s]}$$

o bien,

$$t_m = \frac{2 * \pi * (n - 1)}{n * \omega} \text{ [s]} \quad n = \frac{1}{\frac{t_m}{t_u}}$$

Tiempo total de ordeña (para todas las vacas del establo)

$$t_{tot} = \frac{i * t}{m} = \frac{i * t_u}{m * n} \text{ [s]}$$

Velocidad angular necesaria

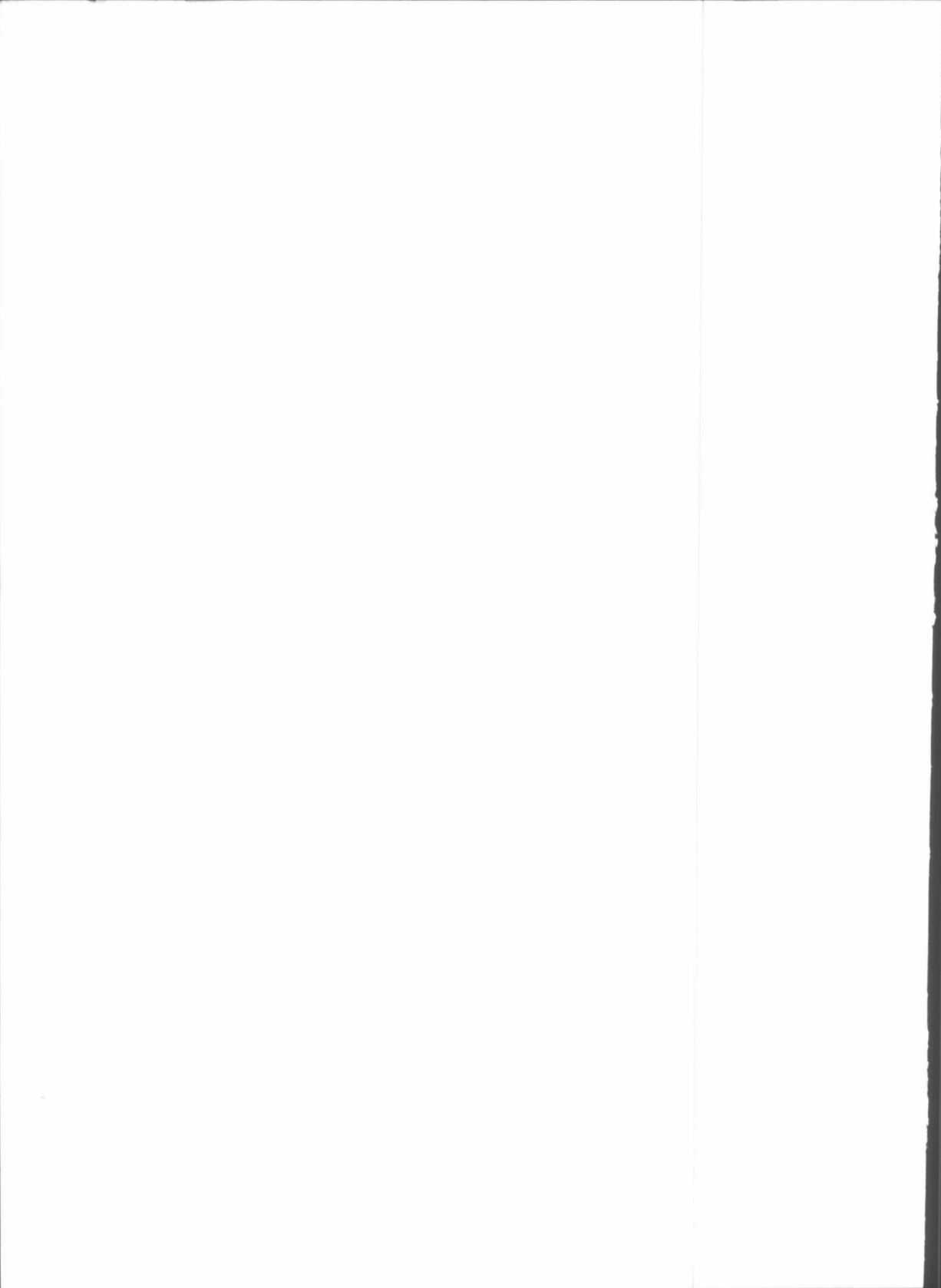
$$\omega = \frac{2 * \pi * (n - 1)}{n * t_m} \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

Número de plazas necesarias para una instalación rotatoria

$$n = \frac{i * t_u}{m * t_{tot}} = \frac{2 * \pi * i}{m * \omega * t_{tot}} \text{ [número de plazas por instalación]}$$

m = número de instalaciones rotatorias

*Por acuerdo del señor Rector
de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí,
Lic. Mario García Valdez,
el libro Manual de Fórmulas Técnicas de Tracción y
Potencia, útiles para el Ingeniero Agrícola
se terminó de imprimir el 7 de octubre
de 2005 en los Talleres Gráficos de la
Editorial Universitaria Potosina.
Se imprimieron 500 ejemplares.*





Facultad de Ingeniería



Instituto de Investigación
en Zonas Desérticas



Editorial
Universitaria
Potosina