



T  
G21.8  
CAS  
c.2



## Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y  
Ciencias de la Producción

" DISEÑO DE UNA MAQUINA SEMBRADORA DE  
ARROZ CON SEMILLA PREGERMINADA "

## TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de:  
INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Xavier Guillermo (Castillo Reinoso

---

Guayaquil · Ecuador

1999

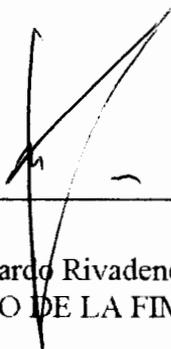
# **DEDICATORIA**

**MI ABUELO**

**MIS PADRES**

**MIS MAESTROS**

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



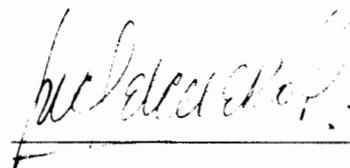
Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FIMCP



Ing. Marco Mejía C.  
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Marcelo Espinosa L.  
VOCAL



Ing. Manuel Helguero G.  
VOCAL

# DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, reading "Xavier G. Castillo Reinoso", written over a horizontal line.

Xavier G. Castillo Reinoso

# RESUMEN

El presente trabajo corresponde al diseño de una máquina para sembrar arroz de forma directa, la cual esparce grupos de semilla pregerminada sobre suelo fangueado. Esta máquina presenta como característica particular que al realizar la labor de siembra los grupos de semillas quedan separados a distancias fijas de 25x25 cm.

Las semillas se colocan dentro de tolvas desde donde son esparcidas al suelo fangueado. La cantidad de semilla que se esparce se puede variar calibrando las posiciones de las paletas que las esparcen.

La disposición ordenada del cultivo facilita la aplicación de fertilizantes, insecticidas y herbicidas, así como el control del número de plantas por metro cuadrado.

La máquina sembradora diseñada está dirigida a los pequeños agricultores, ya que ellos están entre el 94.97-98.18% [1] de los productores de arroz del país. Esta máquina representa una alternativa para los agricultores que no requieren de un equipo muy sofisticado, de fácil funcionamiento, manejo y mantenimiento.

Con esta tesis se aporta con una solución para el desarrollo del sector agrícola del país.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VIII
SIMBOLOGÍA.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1
I. EL ARROZ Y EL MANEJO DE SU CULTIVO.....	2
1.1. El arroz y sus variedades en el Ecuador.....	2
1.2. Métodos de siembra de arroz.....	4
1.2.1. Siembra al voleo.....	4
1.2.2. Siembra por transplante.....	5
1.2.3. Siembra por espeque.....	6
1.3. Preparación del terreno.....	8
1.4. Fertilización del terreno.....	9

1.5. Siembra.....	10
1.6. Control de malezas.....	11
1.6.1. Métodos de control de malezas.....	14
1.6.1.1. Control biológico.....	14
1.6.1.2. Control preventivo.....	15
1.6.1.3. Control cultural.....	15
1.6.1.4. Control químico.....	16
1.6.2. Daños causados por las malezas.....	17
1.6.2.1. Daños directos.....	17
1.6.2.1.1. Interferencia.....	17
1.6.2.1.2. Competencia.....	18
1.6.2.1.3. Alelopatía.....	19
1.6.2.2. Daños indirectos.....	20
1.7. Control de insectos y plagas.....	21
1.8. Cosecha.....	23
<b>II. MÁQUINAS SEMBRADORAS.....</b>	<b>26</b>
2.1. Descripción general de las máquinas sembradoras.....	26
2.2. Sembradoras semimontadas en motocultores.....	26
2.3. Sembradoras montadas de tracción animal.....	27
2.4. Sembradoras manuales.....	28

<b>III. ANÁLISIS DEL PROBLEMA EN LA SIEMBRA DE ARROZ.....</b>	<b>30</b>
3.1. Comparación entre los métodos de siembra de arroz.....	30
3.2. Clasificación de los productores arroceros del país.....	31
3.3. Características que debe cumplir una solución.....	32
3.4. Planteamiento, análisis y selección de alternativas.....	33
3.4.1. Alternativa 1. Máquina sembradora de chorro continuo.....	33
3.4.2. Alternativa 2. Máquina voleadora autopropulsada por tractor.....	35
3.4.3. Alternativa 3. Máquina voleadora autopropulsada manual.....	36
3.4.4. Alternativa 4. Máquina sembradora propuesta.....	38
3.4.5. Análisis y selección de la alternativa adecuada.....	40
<b>IV. DISEÑO DE UNA MÁQUINA ALTERNATIVA PARA SEMBRAR ARROZ.....</b>	<b>42</b>
4.1. Matriz de selección de materiales.....	42
4.1.1. Resistencia a la corrosión.....	44
4.1.2. Proceso de manufactura.....	44
4.1.3. Costos.....	45
4.2. Diseño de forma.....	47
4.2.1. Marco.....	49
4.2.2. Tolvas.....	50
4.2.3. Ejes.....	52
4.2.4. Ejes de acoplamiento.....	53
4.2.5. Ruedas propulsoras.....	54

4.2.6. Cojinetes de deslizamiento.....	56
4.2.7. Paletas.....	57
4.2.8. Patines.....	58
4.3. Selección de accesorios.....	59
4.3.1. Abrazaderas.....	59
4.3.2. Martillos.....	59
4.3.3. Bisagras.....	60
4.3.4. Arnés.....	61
4.4. Cálculo del coeficiente de rozamiento estático.....	63
4.5. Cálculo de momentos de torsión para mover las tolvas.....	66
4.6. Cálculo del torque para vencer la resistencia de los cojinetes de deslizamiento.....	77
4.7. Cálculo del torque requerido por las ruedas propulsoras y del número de aspas.....	81
4.8. Cálculo de las fuerzas de fuste.....	90
4.9. Cálculo del área de los patines.....	95
4.10. Cálculo de la fuerza para halar la máquina.....	109
4.11. Análisis de esfuerzos en los perfiles seleccionados para la construcción de la máquina.....	109
4.11.1. Ángulo de acero de 20x20x2 mm.....	110
4.11.2. Plancha de acero de 0.50 mm.....	114
4.11.3. Plancha de acero de 1.00 mm.....	116

4.11.4.	Tubo de acero de 20x2 mm.....	120
4.11.5.	Fleje de acero de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$ in.....	122
4.12.	Cálculo de factor de seguridad.....	126
4.12.1.	Factor de seguridad estático en los pernos.....	126
4.12.2.	Factor de seguridad por fatiga en los pernos.....	135
4.13.	Análisis de la prueba del prototipo experimental.....	137
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		141
APÉNDICES		
PLANOS		
BIBLIOGRAFÍA		

# ABREVIATURAS

A	Área
$A_{\text{rueda } x}$	Sumatoria de las proyecciones horizontales de las áreas sumergidas de las aspas de la rueda
$A_{\text{lateral}}$	Área lateral
Ancho <sub>patín</sub>	Ancho del patín
$A_{\text{patín}}$	Área del patín
$A_r$	Área al diámetro menor del perno
ArcSen	Función arco seno
ArcTan	Función arco tangente
$A_{\text{total sumergida}}$	Área total sumergida de las aspas
$A_{\text{total } x}$	Área total horizontal que sustenta a la máquina
$A_{\text{vicera } x}$	Proyección horizontal del área de la vicera
CGR	Giro en contra de las manecillas del reloj
Cos	Función coseno
cSt	Centi Stokes (0.01 Stokes)
d	Diámetro
$d_e$	Diámetro efectivo de la viga rotatoria equivalente
D	Diámetro de la rueda propulsora
E	Empuje
F	Fuerza para halar la máquina
$F_{\text{aspa } 1}$	Fuerza perpendicular sobre el aspa 1
$F_{\text{aspa } 2}$	Fuerza perpendicular sobre el aspa 2
$F_1$	Componentes de F en dirección de las cuerdas del arnés
$F'_1$	Proyección de $F_1$ sobre el plano horizontal XZ
$F_{1x}$	Componente en X de la fuerza $F_1$
$F_{1y}$	Componente en Y de la fuerza $F_1$
$F_{1z}$	Componente en Z de la fuerza $F_1$
$F_2$	Resultante de la suma de $F_{1z}$ y $\frac{1}{2} \cdot F_{1x}$
$F_{\text{fuste}}$	Fuerza de fricción en el fuste
$F_{\text{fuste aspa } 1}$	Fuerza de fricción en el fuste del aspa 1
$F_{\text{fuste aspa } 2}$	Fuerza de fricción en el fuste del aspa 2
$F_{\text{fuste rueda}}$	Fuerza de fricción en el fuste de las aspas de la rueda
$F_{\text{fuste rueda } x}$	Fuerza de fricción horizontal en el fuste de las aspas

$F_{\text{fuste rueda } y}$	Fuerza de fricción vertical en el fuste de las aspas
$F_{\text{fuste vicera}}$	Fuerza de fricción en el fuste de la vicera del patín
$F_{\text{fuste vicera } x}$	Fuerza de fricción horizontal en el fuste de la vicera
$F_{\text{fuste vicera } y}$	Fuerza de fricción vertical en el fuste de la vicera
$F_{\text{rueda}}$	Fuerza del fango contra la rueda propulsora
$f_s$	Fricción estática
$F_{\text{tolva}}$	Fuerza para mover una tolva
$F_{\text{tolva } x'}$	Componente de $F_{\text{tolva}}$ en la dirección $x'$
$F_{\text{torque}}$	Fuerza debida al torque
$F_{\text{vicera}}$	Fuerza del fango contra la vicera del patín
$F_{\text{vicera } x}$	Componente horizontal de $F_{\text{vicera}}$
$F_{\text{vicera } y}$	Componente vertical de $F_{\text{vicera}}$
$F_x$	Componente x de la fuerza para halar la máquina
$F_y$	Componente y de fuerza para halar la máquina
$g$	Aceleración de la gravedad
$gr$	Gramos
$GR$	Giro a favor de las manecillas del reloj
$ha$	Hectáreas
$I$	Momento de inercia
$in$	Pulgadas
$INEC$	Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos
$Kg$	Kilogramos
$Kg/m^3$	Kilogramos por metro cúbico
$KPa$	Kilo Pascales
$Kpsi$	Kilolibras por pulgada cuadrada
$lb \cdot in$	Libras pulgadas
$lb \cdot \text{seg}/in^2$	Libras segundos sobre pulgadas cuadradas
$l$	Longitud
$l_{\text{patín}}$	Largo del patín sin la vicera
$l_{\text{patín actual}}$	Valor actual de $l_{\text{patín}}$
$l_{\text{patín anterior}}$	Valor anterior de $l_{\text{patín}}$
$l_{\text{vicera}}$	Largo de la vicera
$m$	Metros
$m^2$	Metros cuadrados
$m^3$	Metros cúbicos
$MPa$	Mega pascales
$m/\text{seg}$	Metros por segundo

$m/\text{seg}^2$	Metros por segundo cuadrado
M	Momento flector
$M_{\text{máx}}$	Momento máximo
n	Número de cojinetes
N	Fuerza normal
New	Newtons
$\text{New}/\text{m}^2$	Newtons por metro cuadrado
No.	Número
psi	Libras por pulgada cuadrada
r	Radio del eje de acoplamiento
R	Fuerza de reacción
$\text{Radio}_{\text{rueda}}$	Radio de la rueda
rev/seg	Revoluciones por segundo
Sen	Función seno
St	Stokes (100 cSt)
Tan	Función tangente
$T_{\text{cojinetes}}$	Momento torsionante friccional
$T_{\text{tolvas}}$	Torque que requieren las 8 tolvas para girar
$T_{\text{tolvas máximo}}$	Valor máximo de $T_{\text{tolvas}}$
$T_{\text{ruedas}}$	Torque que requieren hacer las ruedas propulsoras
UNC	Rosca unificada de paso basto
USD	Dólar norteamericano
$\text{UTM}/\text{m}^3$	Unidad técnica de masa por metro cúbico
VD	Viscosidad dinámica del lubricante
V	Volumen desplazado
v	Velocidad de la máquina
vs	Versus
w	Reacción del suelo por unidad de longitud
W	Peso de la máquina
$W_{\text{máquina sin patines}}$	Peso de la máquina sin los patines
$W_{\text{patines}}$	Peso de los patines
$W_{\text{semillas}}$	Peso de las semillas
$W_{\text{total}}$	Peso total que actúa sobre la viga
$W_{\text{total tolva}}$	Peso total de la tolva con las semillas
$W_{\text{viga}}$	Peso de la viga por unidad de longitud

# SIMBOLOGÍA

a	Espesor
$a_{\text{selección}}$	Espesor del perfil seleccionado
b	Ancho
$b_{\text{máximo}}$	Ancho máximo del aspa
c	Holgura radial
C	Distancia del centro de una sección a su fibra más externa
e	Distancia
h	Distancia que se hunde la máquina
$h_{\text{actual}}$	Valor actual de h
$h_{\text{anterior}}$	Valor anterior de h
i	Ancho de la garganta del cordón de soldadura
k	Factor por contaminación por lodo
OR	Radio de la rueda propulsora
OS	Longitud no sumergida del aspa
$OU_1$	Distancia del centro de la rueda (O) al punto de aplicación de la fuerza $F_{\text{aspa 1}} (U)$
$OU_2$	Distancia del centro de la rueda (O) al punto de aplicación de la fuerza $F_{\text{aspa 2}} (U)$
PT	Distancia máxima que se sumerge el aspa
$PQ_1$	Distancia que sumada a $QT_1$ da la profundidad máxima de hundimiento del aspa 1
$PQ_2$	Distancia que sumada a $QT_2$ da la profundidad máxima de hundimiento del aspa 2
Q	Caudal
$QT_1$	Distancia que sumada a $PQ_1$ da la profundidad máxima de hundimiento del aspa 1
$QT_2$	Distancia que sumada a $PQ_2$ da la profundidad máxima de hundimiento del aspa 2
SR	Longitud sumergida del aspa
$S_e$	Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico
$S'_e$	Límite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria
$S_{sy}$	Resistencia a la fluencia en cortante
$S_{ut}$	Resistencia mínima a la tensión

$S_y$	Resistencia a la fluencia
$S_F$	Resistencia al corte de la relación suelo - pilote
$X_m$	Abscisa del centro de gravedad
$Y_m$	Ordenada del centro de gravedad
$\rho$	Densidad del fango
$\rho_{grasa}$	Densidad de la grasa
$\rho_{acero}$	Densidad del acero
$^{\circ}$	Grados
$^{\circ}C$	Grados Celsius
$\alpha$	Desplazamiento angular de la tolva
$\beta$	Ángulo BOJ
$\Delta$	Variación
$\varepsilon_1$	Ángulo entre la fuerza $F_{rueda}$ y la fuerza $F_{aspa 1}$
$\varepsilon_2$	Ángulo entre la fuerza $F_{rueda}$ y la fuerza $F_{aspa 2}$
$\varepsilon_3$	Ángulo entre la fuerza $F_{rueda}$ y la fuerza $F_{aspa 3}$
$\phi$	Ángulo entre $F$ y la horizontal
$\phi'$	Ángulo entre el marco y las cuerdas del arnés
$\phi''$	Ángulo complementario de $\phi'$
$\phi'''$	Ángulo entre $F$ y $F_1$
$\gamma_1$	Ángulo del aspa 1 respecto a la horizontal (CGR)
$\gamma_2$	Ángulo del aspa 2 respecto a la horizontal (CGR)
$\gamma_3$	Ángulo del aspa 3 respecto a la horizontal (CGR)
$\eta_{est}$	Factor de seguridad estático
$\eta_{fatiga}$	Factor de seguridad por fatiga
$\mu_s$	Coefficiente de rozamiento estático
$\mu_k$	Coefficiente de rozamiento cinético
$\nu$	Viscosidad cinemática
$\pi$	Constante $\pi=3.1416$
$\theta$	Ángulo que rota la rueda respecto a la horizontal (GR)
$\theta_{inicial}$	Valor inicial de $\theta$ en el que empieza a moverse la tolva
$\theta'$	Ángulo que forma la fuerza $F_{tolva}$ con respecto al eje $x'$
$\sigma$	Esfuerzo normal
$\sigma_1$	Esfuerzo principal equivalente a $\sigma_{m\acute{a}x}$
$\sigma_2$	Esfuerzo principal equivalente a $\sigma_{m\acute{i}n}$
$\sigma_a$	Amplitud del esfuerzo

$\sigma'_a$	Amplitud del esfuerzo de Von Misses
$\sigma_{\text{aplastamiento}}$	Esfuerzo de aplastamiento
$\sigma_H$	Esfuerzo efectivo horizontal
$\sigma_m$	Esfuerzo medio
$\sigma_{\text{máx}}$	Esfuerzo de tensión máximo
$\sigma_{\text{mín}}$	Esfuerzo de tensión mínimo
$\sigma'_m$	Esfuerzo medio de Von Misses
$\sigma_{\text{máx}}$	Esfuerzo de tensión máximo
$\sigma_{\text{mín}}$	Esfuerzo de tensión mínimo
$\sigma_x$	Esfuerzo de tensión en la dirección x
$\sigma_y$	Esfuerzo de tensión en la dirección y
$\Sigma F_x$	Sumatoria de fuerzas en la dirección x
$\Sigma F_y$	Sumatoria de fuerzas en la dirección y
$\Sigma M$	Sumatoria de momentos
$\Sigma \text{Torques}$	Sumatoria de torques
$\tau$	Esfuerzo cortante
$\tau_m$	Esfuerzo cortante medio
$\tau_{\text{máx}}$	Esfuerzo cortante máximo
$\tau_{\text{mín}}$	Esfuerzo cortante mínimo
$\tau_{xy}$	Esfuerzo cortante perpendicular a x en la dirección y
$\omega$	Velocidad angular del eje
% Error	Porcentaje de error
$>$	Mayor que
$\angle$	Ángulo

# ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1.6	Clasificación taxonómica de las malezas..... 13
Figura 2.2	Esquema de la transplantadora italiana Ilema..... 27
Figura 2.3	Sembradora montada de tracción animal..... 28
Figura 2.4-1	Sembradora de rodillo..... 28
Figura 2.4-2	Sembradora manual..... 29
Figura 3.4.1	Sembradora de chorro continuo..... 34
Figura 3.4.2	Voleadora autopropulsada por tractor..... 35
Figura 3.4.3	Voleadora autopropulsada manual..... 37
Figura 3.4.4	Sembradora propuesta..... 39
Figura 4.2.2	Sistema de distribución de semillas..... 51
Figura 4.3.1	Abrazaderas..... 59
Figura 4.3.3	Bisagra..... 60
Figura 4.3.4-1	Arnés para halar la máquina..... 61
Figura 4.3.4-2	Análisis de posición hombre-máquina..... 62
Figura 4.4	Diagrama del cuerpo libre del modelo..... 63
Figura 4.5-1	Vista lateral de la tolva..... 68
Figura 4.5-2	Análisis de la tolva..... 69
Figura 4.5-3	Análisis del centro de gravedad de la tolva..... 74
Figura 4.6	Cojinete de deslizamiento..... 77
Figura 4.7-1	Movimiento del aspa de una rueda..... 82
Figura 4.7-2	Fuerza del fango sobre las aspas de una rueda de 6 aspas..... 85
Figura 4.7-3	Curva número de aspas vs. peso de la rueda propulsora..... 89
Figura 4.8	Fuerza de fricción en el fuste de un aspa..... 92
Figura 4.9-1	Diagrama del cuerpo libre de la sembradora de arroz..... 96
Figura 4.9-2	Área del patín y su vicerá..... 104
Figura 4.11.1-1	Viga de análisis del marco..... 110
Figura 4.11.1-2	Análisis en la mitad de la viga..... 111
Figura 4.11.1-3	Viga empotrada en sus extremos..... 111
Figura 4.11.2	Análisis en la plancha de la tolva..... 115
Figura 4.11.3-1	Patín como una viga..... 117
Figura 4.11.3-2	Patín como viga alternativa..... 118
Figura 4.11.4	Sección del eje en la unión empernada..... 120
Figura 4.11.5	Análisis en el aspa de una rueda..... 123

Figura 4.12.1-1	Puntos de aplicación y dirección de la fuerza de tiro (F).....	127
Figura 4.12.1-2	Ángulo que forma la fuerza F con el suelo.....	126
Figura 4.12.1-3	Fuerzas F y $F_1$ .....	128
Figura 4.12.1-4	Descomposición de $F_1$ . ....	130
Figura 4.12.1-5	Fuerzas que actúan sobre los pernos de las patas.....	132
Figura A	Tolva	
Apéndice K	Curva hundimiento (h) vs. peso (W)	
Apéndice L	Curva hundimiento (h) vs. largo de patín ( $l_{patin}$ )	
Apéndice M	Curva hundimiento (h) vs. fuerza (F)	
Apéndice N	Curva peso (W) vs. Fuerza (F)	

# ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 4.1.3	Costos.....46
Tabla 4.1.4	Matriz de Selección.....46
Tabla 4.9	Variación en % del peso (W), fuerza (F) y largo de patín (lpatín) en función de la variación del hundimiento (h).....108
Apéndice A-1	Peso de pernos $\frac{3}{16}$ " UNC grado 1
Apéndice A-2	Peso de la Sembradora de Arroz y sus partes
Apéndice B-1	Tipos de Ajuste
Apéndice B-2	Ajustes recomendados para Eje Único
Apéndice B-3	Ajustes recomendados para Agujero Único
Apéndice C-1	Coefficiente de rozamiento estático ( $\mu_s$ ) con un área de 20 x 20 cm
Apéndice C-2	Coefficiente de rozamiento estático ( $\mu_s$ ) con un área de 25 x 25 cm
Apéndice C-3	Coefficiente de rozamiento estático ( $\mu_s$ ) con un área de 30 x 30 cm
Apéndice C-4	Coefficiente de rozamiento estático ( $\mu_s$ ) con un área de 35 x 35 cm
Apéndice C-5	Coefficiente de rozamiento estático ( $\mu_s$ ) con un área de 40 x 40 cm
Apéndice C-6	Coefficiente de rozamiento estático ( $\mu_s$ ) con un área de 45 x 45 cm
Apéndice C-7	Coefficiente de rozamiento estático ( $\mu_s$ ) con un área de 50 x 50 cm
Apéndice C-8	Coefficiente de rozamiento estático promedio ( $\mu_s$ )
Apéndice D	Densidad del suelo ( $\rho$ )
Apéndice E	Centro de gravedad (G) de la tolva
Apéndice F	Torque que requieren las tolvas
Apéndice G-1	Ancho de aspa de rueda de 3 aspas
Apéndice G-2	Ancho de aspa de rueda de 4 aspas
Apéndice G-3	Ancho de aspa de rueda de 5 aspas
Apéndice G-4	Ancho de aspa de rueda de 6 aspas
Apéndice G-5	Ancho de aspa de rueda de 7 aspas
Apéndice G-6	Ancho de aspa de rueda de 8 aspas
Apéndice H	Peso de una rueda propulsora
Apéndice I	Fuerzas de fuste en las aspas de una rueda de 4 aspas
Apéndice J-1	Cálculo del largo de patín para un hundimiento $h = 5$ mm
Apéndice J-2	Cálculo del largo de patín para un hundimiento $h = 10$ mm
Apéndice J-3	Cálculo del largo de patín para un hundimiento $h = 15$ mm
Apéndice J-4	Cálculo del largo de patín para un hundimiento $h = 20$ mm

Apéndice J-5	Cálculo del largo de patín para un hundimiento $h = 25$ mm
Apéndice J-6	Cálculo del largo de patín para un hundimiento $h = 30$ mm
Apéndice J-7	Cálculo del largo de patín para un hundimiento $h = 35$ mm
Apéndice J-8	Cálculo del largo de patín para un hundimiento $h = 40$ mm
Apéndice J-9	Cálculo del largo de patín para un hundimiento $h = 45$ mm
Apéndice J-10	Cálculo del largo de patín para un hundimiento $h = 50$ mm
Apéndice J-11	Resultados de las iteraciones de largo de patín
Apéndice Ñ	Cálculo del hundimiento del prototipo experimental con el uso de la fuerza teórica
Apéndice O	Cálculo del hundimiento del prototipo experimental con el uso de la fuerza real
Apéndice P	Vocabulario

# ÍNDICE DE PLANOS

Plano 0/0 .....	Conjunto 3D
Plano 1/0 .....	Conjunto
Plano 1/1 .....	Marco
Plano 1/2 .....	Tolva
Plano 1/3 .....	Eje
Plano 1/4 .....	Eje de acoplamiento
Plano 1/5 .....	Rueda propulsora
Plano 1/6 .....	Bocín
Plano 1/7 .....	Soporte
Plano 1/8 .....	Paleta
Plano 1/9 .....	Patín

# INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se hace un análisis de los diferentes métodos de siembra de arroz que se llevan a cabo en el país, así como de las diferentes etapas del cultivo, tales como la preparación del terreno, su fertilización, la siembra, el control de malezas, insectos y plagas, y la cosecha.

En el mercado existen máquinas sembradoras, la mayoría, son para suelo seco y sus costos son muy elevados. Se plantea como alternativa para mejorar el rendimiento de la siembra sobre suelo fangueado, el diseño de una máquina sembradora de arroz con semilla pregerminada, que requiere simplemente ser halada por una persona.

En el desarrollo del diseño de la máquina sembradora se han tenido en cuenta factores como lo son la selección adecuada de materiales, la facilidad de manejo de la máquina, la comodidad del agricultor al realizar la labor de siembra, así como la forma de esparcido de las semillas. Además se ha tenido que analizar el suelo para determinar ciertas características, como lo son su densidad y el coeficiente de rozamiento estático, para así poder llevar a cabo los cálculos correspondientes.

# Capítulo 1

## 1. EL ARROZ Y EL MANEJO DE SU CULTIVO

### 1.1. EL ARROZ Y SUS VARIEDADES EN EL ECUADOR

Las variedades de arroz que se cultivan actualmente en el Ecuador son las siguientes [1]:

INIAP-11. Esta variedad de arroz es la que más se cultiva en el país, representa aproximadamente el 65% de la producción. Esta variedad presenta las siguientes características:

- Variedad del grupo índico.
- Ciclo vegetativo de 97 a 111 días (precoz).
- Altura 90-110 cm (enana).
- Resistente al volcamiento.

- Moderadamente resistente a la hoja blanca, manchado del grano y Sogatodes oryzicola.
- Buena calidad molinera y culinaria.
- Rendimiento en secano de 6.2 toneladas por hectárea.

**INIAP-12.** Esta variedad de arroz es la segunda más cultivada en el país, representa aproximadamente el 20% de la producción de arroz en el país. Las características de esta variedad son:

- Variedad del grupo indico
- Ciclo vegetativo de 95 a 108 días (precoz)
- Altura de 100-111 cm (enana)
- Resistente a la Pyricularia oryzae, manchado de grano y hoja blanca.
- Grano extra largo (más de 7.5 mm)
- Rendimiento bajo riego de 5 a 9 toneladas por hectárea.
- Rendimiento en secano de 5 a 7 toneladas por hectárea.

**INIAP-415.** Esta variedad de arroz es la tercera más cultivada en el país, representa aproximadamente el 8% de la producción de arroz en el país. Las características de esta variedad son:

- Variedad del grupo indico.

- Ciclo vegetativo de 131 a 138 días.
- Enana de tallos fuertes y vigorosos.
- Moderadamente resistente a la *Pyricularia oryzae* y hoja blanca.
- Grano largo y pubescente (6.6 a 7.5 mm).
- Buena calidad molinera y culinaria.
- Rendimiento bajo riego de 5.2 toneladas por hectárea.

**OTROS.** Aproximadamente el 7% de la producción de arroz la forman variedades como INIAP-7, Donato Mejorado y variedades tradicionales.

## **1.2. MÉTODOS DE SIEMBRA DE ARROZ**

En el Ecuador la labor de siembra del arroz se realiza voleo, por transplante y por espeque.

### **1.2.1. SIEMBRA AL VOLEO**

La siembra al voleo es un método de siembra directa, que consiste en lanzar puñados de semillas sobre el terreno. Las características de este tipo de siembra son:

#### **Ventajas**

- Se puede realizar con el terreno inundado o húmedo, y en seco.
- Menos mano de obra.

- Elimina la necesidad de preparar semillero, el cuidado de las plántulas en éste, y las operaciones de acarreo y transplante.
- El arroz sembrado directamente puede madurar de 7 a 10 días antes que el arroz transplantado. Este ahorro de tiempo es importante, sobre todo si se utiliza el patrón de cosechas múltiples.

#### Desventajas

- En siembra sobre lodo se exponen al ataque de ratas y pájaros. Lo cual puede ser controlado con productos químicos.
- El gasto de semillas es de 80 a 100 kg/ha [2].

### 1.2.2. SIEMBRA POR TRANSPLANTE

La siembra por transplante no es un método de siembra directo, ya que se realiza en dos etapas: la siembra de semillero y su posterior transplante. Las características de la siembra por transplante son:

#### Ventajas

- Procedimiento de siembra eficaz para combatir las malezas.
- El transplante aumenta el ahijamiento y produce tallos robustos y resistentes al vuelco.
- El gasto de semillas es de 25 a 50 kg/ha [2].

- Representa una economía de agua y de los gastos de distribución de los días de semillero (20 – 25 días).
- Resulta posible un espaciamiento óptimo entre las plantas (20x20, 25x25 y 30x30 cm).
- Facilita la aplicación superficial de fertilizantes, insecticidas y herbicidas.

#### Desventajas

- Se realiza sólo bajo riego.
- En igualdad de condiciones, el transplante es más lento que la siembra directa, aún cuando esté bien organizado.
- El transplante requiere grandes cantidades de mano de obra para preparar y sembrar los semilleros, arrancar, transportar y sembrar las plántulas.
- Mayor cansancio para el agricultor, ya que debe permanecer agachado.
- Representa mayor disponibilidad de suelos.

### **1.2.3. SIEMBRA POR ESPEQUE**

La siembra por espeque es un método de siembra directa, que consiste en hacer agujeros sobre el suelo, utilizando una estaca, y

depositando 4 ó 5 semillas en cada agujero debido a la fertilidad de la semilla. Las características de este tipo de siembra son:

### Ventajas

- Resulta posible un espaciamiento óptimo entre las plantas (20x20, 25x25 y 30x30 cm).
- Facilita la aplicación de fertilizantes, insecticidas y herbicidas.
- Permite un gasto 19.2-24 Kg de semillas por hectárea en una densidad de siembra de 25x25 cm (4 a 5 granos de semilla por punto de siembra).
- Facilidad para controlar rendimiento del cultivo (tamaños de muestras iguales).
- Utiliza menos mano de obra que el transplante.
- El arroz sembrado directamente puede madurar de 7 a 10 días antes que el arroz transplantado. Este ahorro de tiempo es importante, sobre todo si se utiliza el patrón de cosechas múltiples.
- Se emplea también en zonas en las que el agua es escasa. Se ara el terreno dos veces y se pasa la rastra dos a tres veces. Las malas hierbas crecen rápidamente.
- Se puede realizar en zonas bajo riego con el terreno húmedo, y en seco.

### Desventajas

- Requiere gran cantidad de mano de obra para hacer los agujeros y colocar las semillas dentro de ellos.
- Mayor cansancio para el agricultor ya que debe permanecer agachado.

### **1.3. PREPARACIÓN DEL TERRENO**

La preparación del terreno consiste en acondicionar el suelo de tal forma que se provea de una cama o condición adecuada para que se pueda realizar una germinación segura de la semilla y un desarrollo vigoroso del cultivo.

En terreno seco se deben realizar las labores de arada y rastrada, con el objeto de incorporar los residuos de la cosecha anterior y las malezas, y exponer las larvas y pupas, de insectos-plaga al medio ambiente, a fin de disminuir su población.

Si la siembra se realiza en campos inundados o drenados, es necesario preparar el suelo bajo agua.

La profundidad del lodo debe ser de 25 a 30 cm, donde se mezclan los residuos de las plantas de la cosecha anterior, así como las malezas. Si antes

de cada siembra, siempre se realiza solamente la labor de fangueo, cada vez se va aumentando la profundidad de la capa sólida del suelo, lo cual se corrige, haciendo las labores de arada y rastrada cada 2 ó 3 ciclos. En la arada se determina la profundidad de penetración de la herramienta en el suelo, lo cual establece a que profundidad se va a encontrar la capa dura del suelo. La capa dura sustenta la maquinaria que trabaja sobre el terreno.

#### 1.4. FERTILIZACIÓN DEL TERRENO

La fertilización es una práctica necesaria para obtener rendimientos altos por lo que es importante hacer un uso adecuado de los fertilizantes, caso contrario, esta labor puede ser antieconómica.

En el Ecuador los suelos aptos para el cultivo de arroz son deficientes en nitrógeno [3]. En base a estudios realizados, se ha determinado que las mejores fuentes de este nutriente para el arroz son la úrea y el sulfato de amonio.

El tipo de fertilizante que se debe aplicar, la cantidad y el momento de aplicación dependen de [4]:

- La variedad. Las variedades modernas responden mejor que las tradicionales a la aplicación de fertilizantes, especialmente a los nitrogenados.

- El sistema de cultivo. El agua de inundación cambia las condiciones del suelo y hace que los fertilizantes aplicados sean más eficientes.
- La fertilidad del suelo. Los suelos fértiles requieren menos fertilizantes que los poco fértiles.
- La etapa de desarrollo del cultivo. Cada etapa tiene diferente demanda de fertilizante.

### 1.5. SIEMBRA

Se debe utilizar semilla certificada, con el propósito de asegurar la pureza varietal y una eficiente germinación, pues esta semilla es desinfectada con fungicidas e insecticidas, para controlar algunos patógenos e insectos causantes de enfermedades y daños durante el primer ciclo de desarrollo de la planta. Es de resaltar que el uso de semilla certificada evita la diseminación de malezas tales como Arroz Rojo, Barba de Indio, Caminadora, etc., de difícil control.

La siembra se puede realizar en forma directa o por transplante. Cuando se adopte la primera alternativa se puede sembrar a máquina, a espeque o al voleo, con semilla seca o pregerminada.

El riego por inundación es importante para combatir malezas y obtener buenas producciones. Cuando la siembra se hace en forma directa, debe regarse el

terreno inmediatamente a fin de asegurar una mayor germinación. Luego se deben dar los riegos necesarios, hasta que las plantas tengan de 25 a 30 días de edad [3]. Posteriormente se procede a inundar en forma permanente el terreno. En la siembra por trasplante es aconsejable tener una pequeña lámina de agua al momento de efectuar esta operación con la finalidad de facilitar su labor. Después se debe mantener inundado el terreno y luego drenarlo dos semanas antes de la cosecha, para facilitar la misma.

## 1.6. CONTROL DE MALEZAS

Las malezas constituyen uno de los principales problemas en el cultivo del arroz. La competencia que éstas establecen causa notable disminución del rendimiento, eleva el costo de producción, originan problemas en el secado y limpieza de cosecha, disminuyen la calidad del producto y ocasionan mayor incidencia de plagas y enfermedades. El combate de las malezas por medios químicos se realiza mediante el uso de herbicidas, productos que deben ser aplicados adecuada y oportunamente para evitar el enmalezamiento y la competencia. El tipo de control de malezas y la época de aplicación de herbicidas dependen de los siguientes factores [4]:

- El sistema de cultivo. Las malezas predominantes en cultivos de secano son diferentes a las que predominan en los cultivos bajo riego.

- La densidad de siembra. Con altas densidades de siembra el arroz compite mejor con las malezas.
- La población de malezas. En suelos con alta población de malezas se requieren prácticas de manejo especiales.
- Las especies de malezas predominantes. Debido a que, por ejemplo las malezas gramíneas requieren diferente tipo de manejo que las de hoja ancha o las ciperáceas (figura 1.6).

A continuación se mencionan algunas de las características de las plantas de arroz, las cuales están relacionadas con su capacidad para competir con las malezas [5]:

- Altura. Característica varietal que obviamente confiere ventajas en la competencia por luz.
- Rápido crecimiento inicial con desarrollo temprano del área foliar y de las raíces, y rápida acumulación de materia seca.
- Macollamiento. Característica varietal que puede compensar una siembra deficiente ya que puede llenar los espacios libres que podrían ocupar las malezas. El macollamiento temprano e intensivo es característico de los tipos más agresivos; sin embargo, cuando es excesivo debido a una sobre-fertilización disminuye la producción de granos.

CLASE	MONOCOTILEDONEAS			DICOTILEDONEAS
	Familia Gramineas	Cyperaceae	Otras de hoja ancha	Varias Familias
Carácter				
Lámina foliar				
Nervaduras				
Cortes de tallo				
Forma de la planta				
Ejemplos	<i>Echinochloa</i> spp <i>Luziola</i> sp <i>Ischaemum</i> sp.	<i>Cyperus</i> spp	<i>Sagittaria</i> sp. <i>Commelina</i> sp <i>Heteranthera</i> sp	<i>Eclipta</i> sp. <i>Ludwigia</i> spp <i>Aeschynomene</i> spp

### Clasificación Taxonómica de las Malezas

Figura 1.6

- **Ciclo Vegetativo.** Existen planteamientos como los de Smith et al (1981), que afirman que las variedades de ciclo largo tienen la característica de poseer mayor capacidad de competencia con las malezas, en comparación con las de ciclo corto, debido a que las de período de crecimiento prolongado tienen mayor capacidad de recuperación. Sin embargo, esto depende también del ciclo vegetativo de la especie de maleza con la cual compite el cultivo.

### **1.6.1. MÉTODOS DE CONTROL DE MALEZAS**

Los diversos métodos de control se integran en prácticas de manejo que buscan crear condiciones favorables al cultivo y desfavorables a las malezas. Todos los métodos tienen como objetivo evitar la infestación de los lotes cultivables con semillas de malezas, impedir su germinación y limitar o impedir el desarrollo de las plántulas. Los diferentes métodos de control de malezas se pueden clasificar en cuatro grupos, los cuales son: biológico, preventivo, cultural y químico [5].

#### **1.6.1.1. CONTROL BIOLÓGICO**

El control biológico se basa en la utilización de agentes biológicos (insectos o patógenos) para controlar las malezas

sin causar daños en los rendimientos del cultivo. Aunque ya se han realizado investigaciones de este tipo para el control de malezas en leguminosas de grano, como el frijol y la soya, aún no hay resultados prácticos para el cultivo del arroz.

#### **1.6.1.2. CONTROL PREVENTIVO**

El control preventivo consiste en la aplicación de todas aquellas prácticas que evitan la introducción o difusión de las malezas a una región determinada, las cuales son:

- Las normas legales que restringen la entrada de material vegetal a determinadas zonas.
- Las medidas sanitarias.
- La cuarentena de animales.
- La eliminación de malezas aisladas.
- La limpieza de maquinaria, implementos, equipos y herramientas antes de iniciar labores de campo.

#### **1.6.1.3. CONTROL CULTURAL**

El control cultural consiste en la aplicación de prácticas agronómicas que favorezcan al cultivo y originen ambientes inadecuados para las malezas, las cuales son:

- Rotación con otros cultivos.
- Preparación del suelo.
- Utilización de semilla certificada.
- Modificación en las densidades y sistemas de siembra.
- Distribución de las plantas en el campo.
- Deshierbas.
- Quemadas.
- Manejo del agua.
- Fertilización.
- Indirectamente a través del control de plagas y enfermedades.

#### **1.6.1.4. CONTROL QUÍMICO**

El control químico consiste en la utilización de sustancias químicas (herbicidas) para inhibir el crecimiento de las malezas o la germinación de sus semillas. Por ejemplo: Aplicación de Round-up antes de la siembra; Machete en preemergencia o Propanex en posemergencia.

Dependiendo de las especies que compiten con el cultivo, se han reportado pérdidas de hasta el 60% en su rendimiento.

## **1.6.2. DAÑOS CAUSADOS POR LAS MALEZAS**

Los daños que causan las malezas en los cultivos de arroz se pueden clasificar en dos categorías, las cuales se mencionan a continuación [5]:

- Daños directos
- Daños indirectos

### **1.6.2.1. DAÑOS DIRECTOS**

Los daños directos son aquellos que influyen directamente sobre el cultivo. Dentro de los daños directos se encuentran la interferencia, la competencia y la alelopatía.

#### **1.6.2.1.1. INTERFERENCIA**

La interferencia entre plantas afecta en forma directa al cultivo disminuyendo su crecimiento, capacidad para producir raíces, tallos, flores y frutos, y en consecuencia su productividad y rendimiento. La interferencia entre plantas permite ajustar su densidad (No. plantas por metro cuadrado) hasta alcanzar el número adecuado para

el hábitat y que a la vez representa la "capacidad de carga" del ambiente.

La interferencia determina la mortalidad de un cierto número de individuos y el fenómeno se conoce como "Plasticidad".

#### 1.6.2.1.2. COMPETENCIA

La competencia surge cuando el suministro de los factores de crecimiento que aporta el ambiente (agua, luz, nutrimentos) se encuentra por debajo de la demanda combinada del cultivo y de las malezas.

La competencia por agua se hace más notoria en los cultivos de secano, debido a que la falta de ésta puede ser un factor que se encarga de reducir la producción.

La competencia por luz se establece con malezas de crecimiento acelerado, como *Rottboellia cochinchinensis* (caminadora), que al alcanzar mayor

altura que el cultivo interfiere el paso de la luz afectando su proceso de fotosíntesis y disminuyendo el nivel de la producción. Existen otras malezas como las Cyperaceas, las cuales se expanden en forma de sombrilla sombreando el cultivo, lo cual perjudica su desarrollo y por lo tanto su producción.

La competencia por nutrientes es en ocasiones más ventajosa para algunas malezas, que por tener un sistema radicular bien desarrollado y profundo, pueden absorber mayores cantidades de nutrientes. Esta habilidad para competir hace que las fertilizaciones que se realizan a un cultivo enmalezado favorezcan más a las malezas que al arroz, razón por la cual la fertilización debe hacerse después de haber controlado las malezas.

#### 1.6.2.1.3. ALELOPATÍA

La alelopatía es un daño directo que se presenta cuando ciertas plantas vivas o en proceso de degradación producen sustancias químicas que

actúan como inhibidoras del crecimiento de las plantas que se encuentran a su alrededor.

#### 1.6.2.2. DAÑOS INDIRECTOS

Los daños indirectos son aquellos que influyen sobre otros agentes los cuales influyen sobre el cultivo. Los daños indirectos causados por las malezas provocan lo siguiente:

- Dificultan el manejo del agua por obstrucción de canales de riego y drenaje.
- Hospedan insectos de los géneros: Spodoptera, Diatraea, Oebalus, Sogata, y enfermedades como quemazón, oja blanca y nemátodos.
- Afectan la calidad de las cosechas. Una cosecha de arroz con presencia de *Oryza sativa* (arroz rojo) tiene menos valor y es rechazada cuando se trata de producción de semillas.
- Dificultan la labor de cosecha, como ocurre con *Ipomoea* spp., *Ludwigia* spp., *Aeschynomene* spp., entre otras.

- Aumenta los costos de producción. El manejo de las malezas representa el mayor de los costos de producción en el cultivo.
- Limitan el área de siembra. En un suelo infestado de *Rottboellia exaltata* u *Oryza sativa* en condiciones de secano tiene que hacerse rotación de cultivo, de lo contrario los rendimientos del arroz resultarán muy afectados.
- Afectan la salud del hombre o los animales; *Mucuna Pruriens* (pica pica) es urticante para el hombre y *Casia tora* es tóxica para el ganado.
- Disminuyen el valor de las tierras agrícolas, como en el caso del *Cyperus rotundus* u *Oryza sativa* (arroz rojo).

## 1.7. CONTROL DE INSECTOS Y PLAGAS

Los insectos plagas principales del cultivo del arroz son [3]:

<i>Rupela albinella</i>	(Novia del Arroz)
<i>Sogatodes oryzicola</i>	(Sogata)
<i>Spodoptera frugipeda</i>	(Langosta)

También se han observado:

<i>Shizotetranychus oryzae</i>	(Ácaros)
<i>Oebalus ornatus</i>	(Chinches vaneadores de la espiga)

La sogata no constituye una plaga por su daño mecánico en las plantas sino por transmitir el virus que causa la enfermedad conocida como "hoja blanca".

Otra enfermedad de importancia es la "quemazón del arroz", que es ocasionada por el hongo *Pyricularia oryzae* Cav.

Ultimamente los ácaros se han convertido en una plaga que está afectando a los cultivos de arroz.

El manejo de los insectos-plaga depende de [4]:

- La variedad.
- Las condiciones climáticas.
- El sistema de cultivo.
- La población del insecto-plaga.
- El daño económico que causa el insecto.
- La población de insectos benéficos.
- La etapa de desarrollo del cultivo.

El manejo de las enfermedades depende de:

- La variedad. Debido a las diferencias en las reacciones de las variedades a los agentes patógenos.
- Las condiciones climáticas. Factores como la temperatura y la humedad relativa se relacionan estrechamente con el ataque de agentes patógenos.
- El sistema de cultivo. En condiciones de secano, algunas enfermedades como piricularia se vuelven severas.
- La aplicación de fertilizantes. El estado de déficit de algunos nutrimentos en las plantas las hace susceptibles al ataque de agentes patógenos; también la aplicación excesiva de algunos nutrimentos, como el nitrógeno, favorece el ataque de ciertas enfermedades.

## 1.8. COSECHA

El momento de la cosecha guarda estrecha relación con la variedad sembrada y el estado de madurez del grano, pero especialmente con su contenido de humedad.

La cosecha del arroz es la etapa final del cultivo y para lograr éxito, deben considerarse tres aspectos importantes:

- Cuando cosechar.
- El método de cosechar.
- Las pérdidas en el rendimiento y en la calidad del grano.

El arroz debe cosecharse cuando el grano está maduro, para lo cual el mejor indicador es la humedad y el color del mismo. Se debe cosechar cuando el 95% de los granos en las espigas tengan color "pajizo" y el resto estén amarillentos, lo que generalmente coincide con un 20 a 25% de humedad del grano.

En cosechas muy tempranas, cuando aún existen muchos granos sin madurar, el rendimiento disminuye considerablemente, debido a las mermas que ocasiona el gran número de granos verdes que no han llegado a formarse bien. Si el arroz se almacena en este estado se produce recalentamiento e infecciones de mohos; luego al trillar, el grano toma un color negruzco; y si se utiliza como semilla, disminuye el poder germinativo.

Cuando la cosecha es tardía también bajan los rendimientos debido a pérdidas de grano por desgrane, acame, ratas, pájaros. Así mismo, la calidad de los granos desmejora cuando los cultivos permanecen demasiado tiempo sobre el terreno.

La cosecha puede hacerse en:

- Forma mecánica mediante el empleo de combinadas.
- Forma manual cortando las plantas con hoces.

Para proceder a la trilla mediante el empleo de:

- Trilladoras estacionarias.
- Chicoteo, que consiste en golpear manojos de plantas contra un madero situado en una lona.

## Capítulo 2

### 2. MÁQUINAS SEMBRADORAS

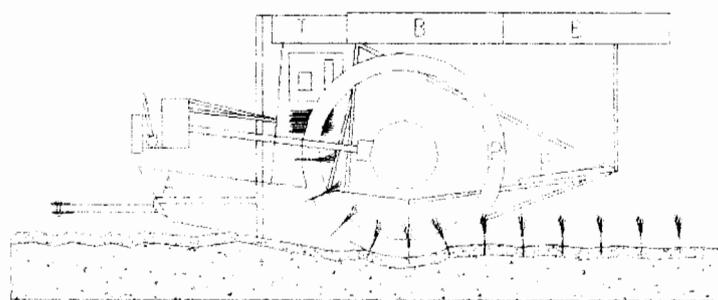
#### 2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS MÁQUINAS SEMBRADORAS

Para optimizar las labores de siembra se han diseñado y construido máquinas sembradoras de arroz que permiten realizar esta labor ya sea empleando motocultores, animales e incluso personas. Existen máquinas para los diferentes tipos de siembra, ya sea por transplante o siembra directa en suelo fangueado o en seco.

#### 2.2. SEMBRADORAS SEMIMONTADAS EN MOTOCULTORES

Dentro de este grupo podemos mencionar la máquina transplantadora de arroz de la figura 2.2. Ésta máquina requiere de tres operarios que van en la plataforma (A), los cuales se encargan de colocar las plántulas en los seis alimentadores (T), de las seis ruedas-pinzas (R). Las bandejas (B) se emplean para la colocación de las plántulas. Mientras que en la plataforma (P) va un

cuarto operario que se encarga de acercar las plántulas de la bandeja (B) a los alimentadores (T). Cada rueda-pinza (R) aprisiona entre sus dos aros las plántulas ordenadas por los alimentadores (T). El punto (C) es donde los aros de las ruedas-pinzas depositan las plántulas en el suelo. Esta máquina requiere ser halada por un motocultor para realizar la labor de siembra sobre el fango.



Esquema de la transplantadora de arroz italiana Hema

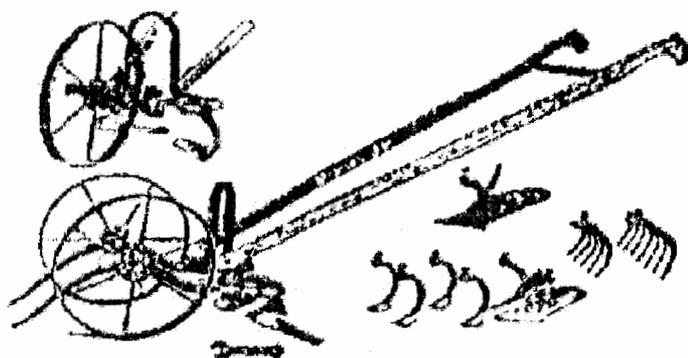
Figura 2 2

Existen también máquinas para siembra directa, que por sus dimensiones, peso y características de trabajo requieren ser haladas por motocultores. El mantenimiento requerido por éstas es un tanto más complicado y costoso.

### 2.3. SEMBRADORAS MONTADAS DE TRACCIÓN ANIMAL

Estas máquinas son menos sofisticadas y menos pesadas que las haladas por motocultores, lo cual permite halarlas usando animales. El

funcionamiento y mantenimiento de estas máquinas es sumamente sencillo (figura 2.3).

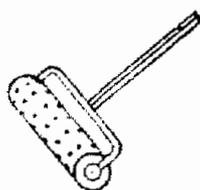


Sembradora montada de tracción animal

Figura 2.3

#### 2.4. SEMBRADORAS MANUALES

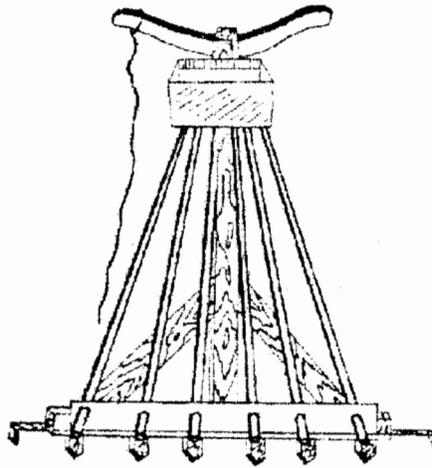
Las sembradoras manuales son aquellas que son manejadas por personas. El funcionamiento de éstas es muy sencillo, al igual que su mantenimiento y sus costos son bastante cómodos. Estas sembradoras están dirigidas a pequeños agricultores. En la figura 2.4-1 se puede observar una sembradora de rodillo que se utiliza en sobre suelo seco, dentro del rodillo se colocan las semillas de arroz, y a medida que el rodillo gira las semillas salen a través de los orificios del rodillo.



Sembradora de rodillo

Figura 2.4-1

En la figura 2.4-2 se puede observar una sembradora manual que permite la caída de las semillas por gravedad a través de unos canales que depositan las semillas de manera continua dentro de los surcos que abre la sembradora mientras es halada sobre el suelo seco.



Sembradora manual  
Figura 2.4-2

## **Capítulo 3**

### **3. ANÁLISIS DEL PROBLEMA EN LA SIEMBRA DE ARROZ**

Debido al tipo de clima existente en el país, el Ecuador es un país arrocerero con zonas de siembra bajo riego y secoano. Las zonas de riego representan aproximadamente el 45% del área arrocerera del país, mientras que el resto corresponde a la siembra en secoano [3].

En las zonas de riego se pueden realizar hasta tres siembras en el año, utilizando variedades precoces, mientras que en las zonas de secoano se realiza sólo una siembra, que es en invierno.

#### **3.1. COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE SIEMBRA DE ARROZ**

En la siembra al voleo, la disposición aleatoria de las semillas sobre el terreno dificulta la determinación de la densidad de siembra (No.

plantas/m<sup>2</sup>), dificulta el tránsito dentro del cultivo para el control y aplicación de fertilizantes, insecticidas y herbicidas. Mientras que la disposición ordenada de las plantas en la siembra por transplante y por espeque permiten un mejor control y tránsito dentro del cultivo, así como la aplicación de fertilizantes, insecticidas y herbicidas. En la siembra al voleo se gasta entre 80 y 100 Kg de semilla/ha, mientras que por transplante se gasta de 25 a 50 Kg de semilla/ha (sección 1.2), para obtener un rendimiento en ambos casos de 5 a 7 toneladas/ha [3].

La siembra por transplante requiere la preparación de un semillero (terreno extra) para el posterior transplante.

La siembra por transplante y por espeque son labores que requieren más tiempo y mayor mano de obra que la siembra al voleo para la misma superficie de terreno, además, son labores más agotadoras que la siembra al voleo, ya que el agricultor debe permanecer agachado mientras siembra, y por más tiempo.

### **3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PRODUCTORES ARROCEROS DEL PAÍS**

De acuerdo con estudios realizados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), se tiene que [6]:

- Los pequeños agricultores (0-19.9 ha) representan el 96.58% de los productores de arroz del país.
- Los medianos agricultores (20-49.9 ha) representan el 2.15% de los productores de arroz del país.
- Los grandes agricultores (> 50 ha) representan el 1.29% de los productores de arroz del país.

### 3.3. CARACTERÍSTICAS QUE DEBE CUMPLIR UNA SOLUCIÓN

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, la mayor cantidad de productores de arroz son pequeños agricultores, y las tierras que más producen arroz en el país son las zonas bajo riego. Los pequeños agricultores de esta zona realizan la siembra a mano, y no de manera mecanizada, por lo tanto, se requiere de un equipo que:

- Permita combinar lo mejor de cada tipo de siembra.
- Haga más sencillo el trabajo del agricultor.
- Permita el control de gasto de semillas.
- Permita el control de la densidad de siembra.
- Permita el trabajo sobre suelo fangueado.
- Facilite el acceso al cultivo.
- Facilite la aplicación de fertilizantes, insecticidas y herbicidas.

- Bajo costo de compra del equipo.
- Bajo costo de operación.
- Fácil manejo.
- Fácil transporte.
- Fácil mantenimiento.
- La máquina debe ser construida con material anticorrosivo, ya que el ambiente de trabajo es altamente corrosivo.
- Poco peso, para no dañar el terreno y para ser transportada y manejado por una persona.

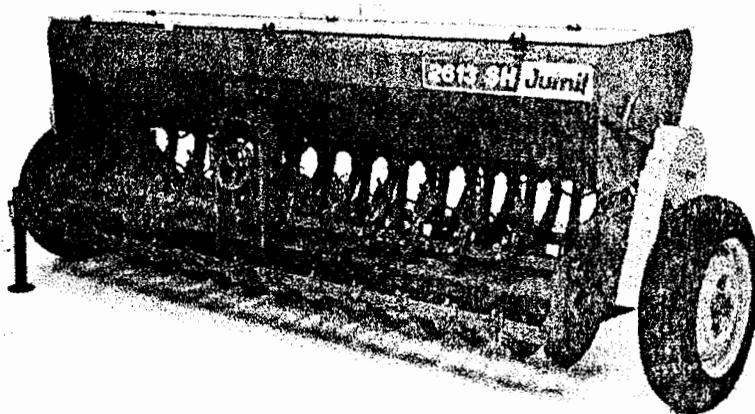
### **3.4. PLANTEAMIENTO, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

A continuación se procede a mostrar un grupo de alternativas, de las cuales se analizarán, una por una, sus ventajas y desventajas, para determinar cuál de ellas es la adecuada para satisfacer de mejor manera como solución del problema.

#### **3.4.1. ALTERNATIVA 1. MÁQUINA SEMBRADORA DE CHORRO CONTINUO**

Las máquinas sembradoras de chorro continuo son aquellas que a lo largo de su recorrido sobre el terreno dejan caer las semillas

de manera continua en forma de hileras. Como ejemplo de este tipo de máquina se puede mencionar la sembradora Jumil, modelo 2613 SH (figura 3.4.1), existente en el mercado, la cual posee las siguientes características:



Sembradora de chorro continuo  
Figura 3.4.1

### **Ventajas**

- Labor de siembra en línea continua (11 líneas) por lo tanto fácil acceso al cultivo, fácil control de gasto de semillas y de densidad de siembra.
- Capacidad operacional efectiva de 15 ha/día.

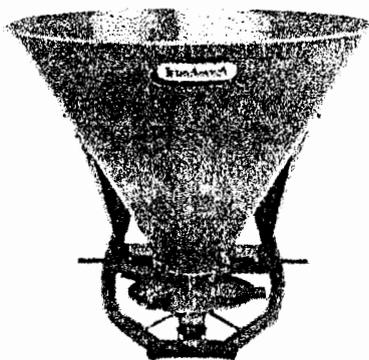
### **Desventajas**

- Trabaja sólo sobre terreno seco.

- Requiere de un tractor para desplazarse sobre el terreno.
- Peso sin semillas de 670 Kg.
- Precio de USD 4800.

### 3.4.2. ALTERNATIVA 2. MÁQUINA VOLEADORA AUTOPROPULSADA POR TRACTOR

Este tipo de máquinas realizan la labor de siembra al voleo, y requieren conectarse a la toma de fuerza de un tractor para su funcionamiento. Como un ejemplo de este tipo de máquina se puede mencionar la voleadora Terranova, modelo XA-150 (figura 3.4.2), existente en el mercado, cuyas características se describen a continuación:



Voleadora autopropulsada por tractor  
Figura 3.4.2

#### Ventajas

- Labor de siembra al voleo (alta densidad de siembra).

- Radio de esparcimiento de 14 m.
- Permite tres formas diferentes de esparcir las semillas.

### **Desventajas**

- Trabaja sólo sobre terreno seco.
- Peso con semillas de 244 Kg.
- Requiere engancharse a un tractor para su funcionamiento.
- Dificil acceso al cultivo.
- Dificil control de gasto de semillas y de densidad de siembra.
- Precio de USD 880.

### **3.4.3. ALTERNATIVA 3. MÁQUINA VOLEADORA AUTOPROPULSADA MANUAL**

Este tipo de máquinas realizan la labor de siembra al voleo, y requieren ser operadas manualmente. Como un ejemplo de este tipo de máquina se puede mencionar la voleadora Maruyama, modelo MG-10 (figura 3.4.3), existente en el mercado, cuyas características se describen a continuación:

### **Ventajas**

- Máquina del manual del tipo mochila.

- Labor de siembra al voleo (alta densidad de siembra).
- Se puede utilizar para siembra bajo riego y en secano.
- Peso de la máquina sin semillas de 1.7 Kg.
- Capacidad de carga de semillas de 8 Kg.
- Capacidad de descarga de 0 a 0.25 Kg/minuto.
- Precio de USD 100

### **Desventajas**

- Sistema poco eficiente debido a que en ocasiones la semilla se atora.
- Difícil acceso al cultivo.
- Difícil control de gasto de semilla y de densidad de siembra.



Voleadora autopropulsada manual  
Figura 3.4.3

### 3.4.4. ALTERNATIVA 4. MÁQUINA SEMBRADORA PROPUESTA

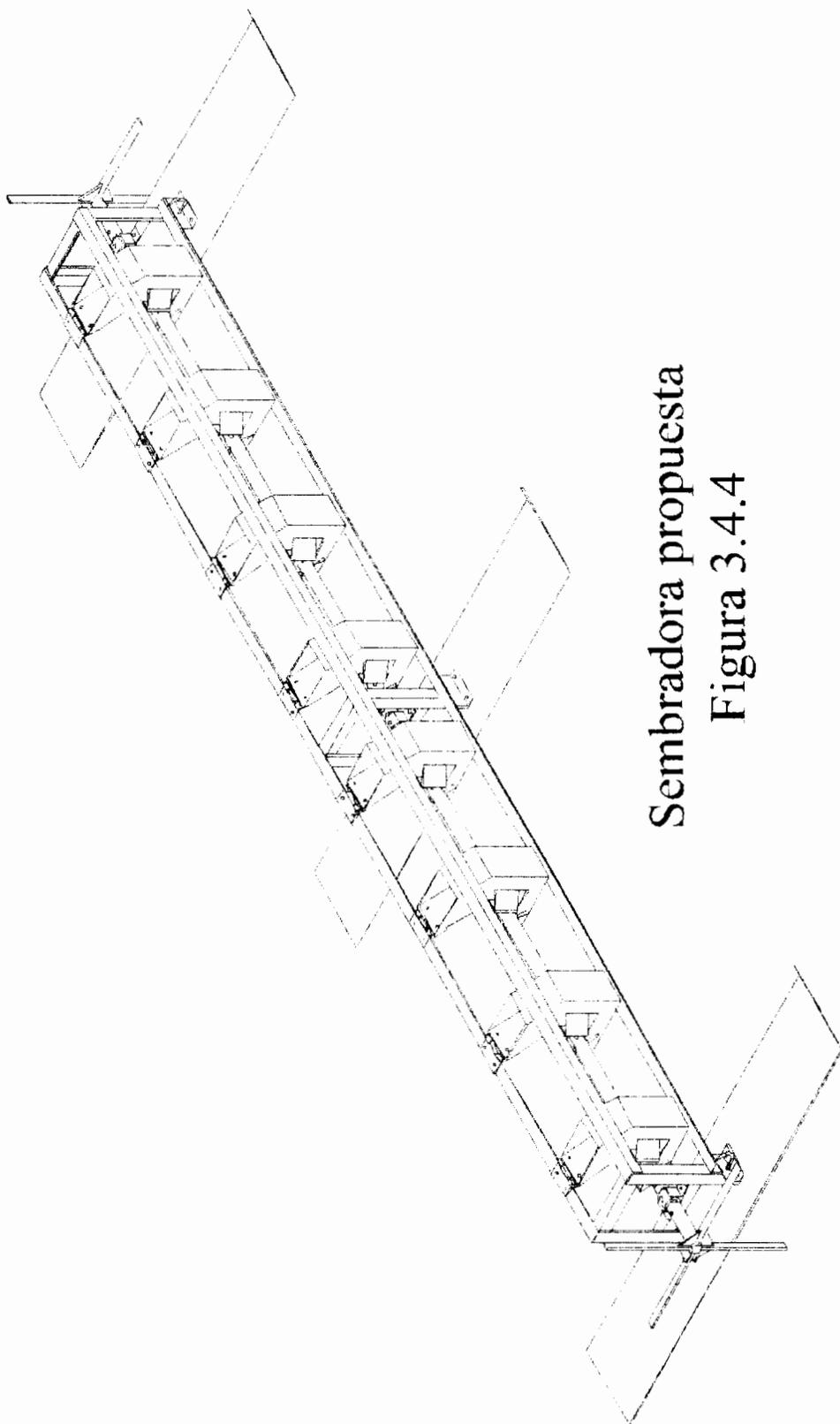
La alternativa 4 (figura 3.4.4) nace de la necesidad de una máquina que permita realizar una labor de siembra sobre suelo fangueado. Las características de esta máquina son:

#### Ventajas

- Cuenta con patines para sustentarse y desplazarse sobre el suelo fangueado.
- No es muy pesada por lo que puede ser halada por una persona para hacer su trabajo sobre el terreno.
- Salpica grupos de semillas (calibrable) a distancias iguales, es decir, distribución ordenada de las semillas sobre el terreno.
- Utiliza semilla pregerminada.

La distribución ordenada facilita el control del gasto de semillas, el control de la densidad de siembra y el acceso al cultivo.

- Distribución ordenada facilita el control del gasto de semillas.
- Requiere menos tiempo para sembrar que el transplante.
- Construida con material anticorrosivo.
- Bajo costo de compra del equipo en relación a las otras máquinas.
- Fácil de manejar.
- Fácil mantenimiento.



Sembradora propuesta  
Figura 3.4.4

### Desventajas

- Desplazamiento sólo en línea recta, para cambiar de dirección debe ser levantada.
- Requiere de más tiempo para sembrar que al voleo.
- Se debe controlar y mantener una velocidad de recorrido para disminuir el cansancio.
- No se puede usar en suelos muy profundos, porque acelera el cansancio del agricultor, disminuyendo su rendimiento.

### **3.4.5. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ADECUADA**

Se descartan las alternativa 1 y 2 debido a que sus desventajas no satisfacen a las características que debe cumplir una solución. es decir:

- Sus precios de compra son muy altos.
- Requieren de un tractor para su funcionamiento, lo cual incrementa los costos de operación, aparte de la necesidad de contar con un tractor.
- Trabajan sólo sobre suelo seco, mientras que se requiere de un equipo que trabaje sobre suelo fangueado.

Se descarta la alternativa 3 debido a que sus desventajas de poca eficiencia, difícil acceso al cultivo y difícil control de gasto de semillas y densidad de siembra, las cuales no satisfacen las características de diseño, y no se pueden superar.

La alternativa 4 es la más adecuada, ya que sus desventajas no van en contra de las características de diseño, y es más, son hasta cierto punto manejables. Por este motivo se selecciona la alternativa 4 como *mejor solución*.

## **Capítulo 4**

### **4. DISEÑO DE UNA MÁQUINA ALTERNATIVA PARA SEMBRAR ARROZ**

De acuerdo a lo expuesto en la sección anterior, la máquina que se va diseñar está sujeta a las condiciones de siembra bajo riego, y está dirigida a los pequeños agricultores.

#### **4.1. MATRIZ DE SELECCIÓN DE MATERIALES**

Al comenzar el desarrollo de la matriz de selección para determinar el material más adecuado para la construcción de la máquina se plantearon varias alternativas. debido a sus características de resistencia al desgaste, fatiga, corrosión, y peso, las cuales son: aluminio, acero, acero inoxidable y acero galvanizado. De igual forma, para poder proceder a un análisis de estos materiales, y así evaluarlos, se plantearon las preguntas más comunes e importantes que se formularía un comprador al estudiar una alternativa, las cuales son:

1. ¿La corrosión afectará a la máquina?
2. Si la máquina se daña, ¿se requiere de personal, material o equipos especiales para su reparación?
3. ¿Cuánto cuesta la máquina?

Dentro de este grupo de preguntas, la primera es fundamental ya que el equipo, debido al ambiente corrosivo de trabajo, no debe corroerse fácilmente para asegurar un mayor tiempo de vida útil. La pregunta dos se refiere a un problema que el comprador puede ayudar a resolver, ya que de antemano se debe considerar quién y dónde se encuentra la ayuda más cercana para reparar los daños. La tercera pregunta acerca del costo, es relativa, ya que se puede construir la máquina usando el material más barato, pero corrosivo, lo cual disminuye su costo y su tiempo de vida útil, pero así también se puede pagar un poco más y utilizar un material adecuado.

Para cada una de las preguntas formuladas se ha determinado un factor que las represente y a las cuales debido a su importancia se les dará un porcentaje de valor:

- Resistencia a la Corrosión: 50% debido al ambiente de trabajo altamente corrosivo.

- Proceso de Manufactura: 25% debido al personal, materiales y equipos requeridos para su construcción.
- Costos: 25% debido al mercado al que está dirigido.

#### 4.1.1. RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

La resistencia a la corrosión tiene mucha importancia ya que el ambiente de trabajo es bastante corrosivo. El aluminio y el acero inoxidable son los menos corrosivos, por este motivo su puntaje es 10; el acero galvanizado es menos corrosivo por lo cual su calificación es 8; mientras que el acero común es altamente corrosivo, debido a esto su calificación es 5.

#### 4.1.2. PROCESO DE MANUFACTURA

- El aluminio requiere equipo más costoso para ser soldado, por lo tanto también requiere personal capacitado para manejar este equipo. En nuestro medio hay pocos lugares que suelden aluminio.
- El acero inoxidable requiere suelda con argón y el material de aporte es sumamente caro (USD 4.72/Kg) en relación al material

de aporte común (USD 1.13/Kg), por lo que requiere de personal con experiencia para evitar desperdicios.

- El acero galvanizado se maneja igual que el acero común, sólo hay que agregar un paso más, que es el galvanizado de las piezas terminadas.
- El acero común no presenta ninguna dificultad en el proceso de manufactura de la máquina.

Un aspecto importante a considerar en el proceso de manufactura es la facilidad que se tiene para poder reemplazar o reparar una parte averiada de la máquina. Ya que la máquina va a trabajar en el campo, esto dificulta conseguir materiales como el aluminio o el acero inoxidable, y no se diga de personal y equipos para trabajarlos, lo cual disminuye sus puntajes. Se ha dado la calificación más alta de 10 a los material que presentan menor complicación en el proceso de manufactura, en este caso, el acero. De acuerdo a las dificultades que presentan los otros materiales se los ha calificado con, 5 al aluminio y 5 al acero inoxidable.

#### 4.1.3. COSTOS

El costo es un factor a considerar, ya que la máquina está dirigida a pequeños agricultores, los cuales no cuentan con muchos

recursos para adquirir equipos muy costosos. Se ha calificado con el puntaje más alto al que tiene el menor costo y los demás disminuyen su puntaje de acuerdo al porcentaje en que aumenten sus costos respecto al más económico. Los costos considerados son los siguientes:

	Material (USD)	Manufactura (USD)	Flete (USD)	Total (USD)	Puntaje
<b>Aluminio</b>	30.22	84.99	2.83	118.04	<b>4.84</b>
<b>Acero</b>	7.06	47.21	2.83	57.11	<b>10.00</b>
<b>Acero Inoxidable</b>	42.38	103.87	2.83	149.08	<b>3.83</b>
<b>Acero+Galvanizado</b>	12.26	47.21	2.83	65.14	<b>8.77</b>

Tabla 4.1.3

Reuniendo los resultados, la matriz de selección para determinar el material más adecuado para la construcción de la máquina queda de la siguiente forma:

OBJETIVOS	RESISTENCIA CORROSIÓN	PROCESO DE MANUFACTURA	COSTO	TOTAL (10/10)
VALORES	0.50	0.25	0.25	
ALTERNATIVAS				
<b>Aluminio</b>	10.00	5.00	4.84	<b>7.46</b>
<b>Acero</b>	5.00	10.00	10.00	<b>7.50</b>
<b>Acero Inoxidable</b>	10.00	5.00	3.83	<b>7.21</b>
<b>Acero+Galvanizado</b>	8.00	10.00	8.77	<b>8.69</b>

Tabla 4.1.4

De acuerdo con la matriz de selección, se llega a la conclusión de que el material más adecuado para la construcción de la máquina es el acero galvanizado.

## 4.2. DISEÑO DE FORMA

Se ha dicho que se requiere de un equipo que permita depositar sobre el suelo fangueado grupos de semilla pregerminada a una distancia constante. Para dicho fin se ha pensado en un grupo de depósitos de semillas (tolvas), equidistantes, desde los cuales se salpiquen las semillas sobre el suelo fangueado. Para soportar y transportar los recipientes con las semillas se requiere de un marco, cuyas dimensiones se deben ajustar a la forma, dimensiones y distribución de los recipientes.

Para salpicar las semillas sobre el terreno se ha pensado en un eje que atraviese la máquina, sobre el cual, se ajustan por medio de abrazaderas algunas paletas, que al girar el eje, golpeen éstas a las semillas para que caigan sobre el terreno. Por supuesto, los recipientes deben tener una forma especial, que permita la formación de un colchón de semillas bajo el eje, para permitir que las paletas las salpiquen.

Para provocar el giro del eje se ha pensado en dos ruedas propulsoras de paletas, una a cada lado de la máquina y empataadas con el eje, para que

entierren sus aspas en el terreno, y cuando la máquina sea halada, las ruedas giren, provocando el giro del eje y de las paletas, y por ende el salpicado de las semillas.

La máquina debe sustentarse y desplazarse sobre el suelo fangueado, motivo por el cual se ha pensado asentarla sobre un grupo de tres patines, uno en cada extremo de la máquina, y otro en medio, para así evitar el hundimiento de la misma.

Esta máquina se puede apreciar en la figura 3.4.4.

A lo largo del desarrollo del diseño de la máquina se podrá apreciar que las fuerzas y esfuerzos que intervienen no son muy altos, por este motivo, para la construcción de cada una de las partes se han seleccionado los perfiles comerciales más pequeños. Pero a pesar de todo esto, posteriormente, se realiza un análisis de esfuerzos que intervienen versus la resistencia del material, para así, dejar constancia de que la selección de los perfiles es correcta.

A continuación se describen cada una de las partes de esta máquina:

En el plano 0/0 se muestra la máquina que se ha diseñado para realizar la labor de siembra sobre el suelo fangueado.

#### 4.2.1. MARCO

El alto y el ancho del marco se ajusta a las necesidades de forma y movimiento de las tolvas y paletas, mientras que el largo del mismo se ha pensado para que cubra un ancho aproximado de 2 metros en un recorrido. Si el largo fuera menor, se requeriría recorrer más distancia para cubrir un área determinada, y si fuera más largo el peso de la máquina aumentaría, no sólo porque se requiere más material en el marco, sino porque se requiere que el eje sea más largo, hay que agregar más tolvas con sus correspondientes contenidos de semilla, necesita patines más grandes para sustentar un mayor peso, y este incremento de peso dificultaría la labor del agricultor. El peso de la máquina diseñada es de 14.96 Kg (apéndice A). De acuerdo con las dimensiones y distribución de las tolvas se han obtenido las dimensiones del marco (plano 1'1).

El marco se ha diseñado para ser construido de acero, para su posterior galvanizado (según matriz de selección). Por sus características de resistencia, se empleará ángulo de acero de 20x20x2 mm.

El marco será soldado y no empernado o remachado para evitar el aflojamiento de las piezas unidas. Se empleará soldadura con

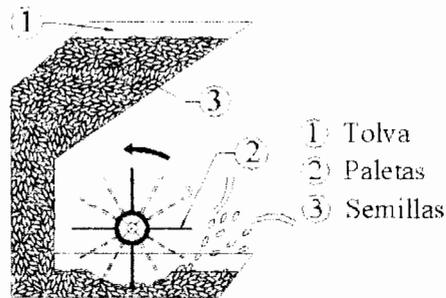
electrodo revestido 6011. Después de su construcción, se debe someter al marco a un proceso de galvanizado para protegerlo contra la corrosión.

#### 4.2.2. TOLVAS

Son 8 tolvas, cuya distancia entre centros es de 25 cm, distribuidas a lo largo del marco (plano 1/2).

Desde las tolvas se van a salpicar grupos de semilla pregerminada. La cantidad de semillas de cada grupo se puede variar calibrando la posición de las paletas que las salpican. La capacidad de las tolvas se ha diseñado para que sean capaces de proporcionar hasta un máximo de 10 semillas en cada grupo salpicado [3], a lo largo de un recorrido de 200 m. Para cubrir un área de 1 ha ( $100 \times 100 \text{ m}^2$ ) la máquina debe recorrer 100 m en un sentido, dar la vuelta y recorrer 100 m en el sentido opuesto, y así sucesivamente hasta cubrir la hectárea.

La forma de las tolvas facilita el descenso de las semillas para que en la parte inferior se forme un cojín con las mismas (figura 4.2.2), desde donde son esparcidas al terreno por medio de las paletas. De igual manera, esta forma evita que las tolvas interfieran con el movimiento de las paletas y los martillos.



Sistema de distribución de semillas

Figura 4.2.2

Sobre un lado de cada tolva existe un ala sobre la cual actuarán unos martillos montados en el eje, los cuales al entrar en contacto con la tolva la harán girar sobre una bisagra que une la tolva con el marco. Este movimiento facilita el descenso de las semillas. Las bisagras se fijan a las tolvas y al marco por medio de uniones empernadas. Estas uniones permiten el montaje y demontaje de las tolvas. Cada tolva requiere dos pernos de  $\frac{3}{16} \times \frac{3}{4}$  in para unirse con su correspondiente bisagra.

Las tolvas se asientan en su parte inferior sobre un travesaño que asegura el marco.

Las tolvas serán construidas utilizando plancha de acero de 0.5 mm.

Las planchas deben ser sometidas a un proceso de galvanizado para

protegerlas contra la corrosión. Las planchas serán unidas utilizando soldadura de punto.

#### 4.2.3. EJES

El eje que atraviesa la máquina está compuesto de dos ejes iguales más pequeños, los cuales se empatan y entre sí por medio de un eje de acoplamiento. Todo el conjunto del eje se empata en sus extremos con un eje de acoplamiento. Los ejes de acoplamiento le permiten al conjunto del eje asentarse sobre los cojinetes de deslizamiento, y empatare en sus extremos con las ruedas propulsoras que provocan su giro.

Los ejes se construirán usando tubo de acero de 20x2 mm. Los ejes deben ser sometidos a un proceso de galvanizado para protegerlos contra la corrosión. En el plano 1/3 se pueden observar las dimensiones de los ejes, sobre los cuales se montarán las paletas y los martillos.

Los ejes se fijan a los ejes de acoplamiento por medio de uniones empernadas, lo cual facilita su montaje y desmontaje. Cada eje requiere de dos pernos de  $\frac{3}{16}$  x  $1\frac{1}{4}$  in para unirse con sus correspondientes ejes de acoplamiento.

#### 4.2.4. EJES DE ACOPLAMIENTO

Son 3 ejes de acoplamiento, de los cuales, el que están en el centro del marco tiene como fin unir los ejes, mientras que los de los extremos, empatar las ruedas propulsoras con los ejes.

Las dimensiones de los ejes de acoplamiento se pueden observar en el plano 1/4. Los ejes de acoplamiento se asientan en los cojinetes de deslizamiento. Para los ejes de acoplamiento se ha seleccionado eje de transmisión de 16 mm de diámetro, debido a que esta medida corresponde al diámetro interior del tubo al cual se van a acoplar.

Entre el eje de acoplamiento y el cojinete de deslizamiento, se va a maquinar al cojinete, por lo tanto, las tolerancias se las determina a partir del criterio de eje único.

Utilizando juego que corresponde al de rotación suelta (apéndice B-1) para evitar que partículas de tierra queden atrapadas entre el eje de acoplamiento y el cojinete. Se selecciona para eje único la especificación C11/h11 (apéndice B-1). Con esta especificación, y con el diámetro exterior del eje de acoplamiento (16 mm) se obtienen de la tabla del apéndice B-2 los valores de tolerancia correspondientes:

$$16_{-0.11}^{+0.00} \text{ mm}$$

Se debe someter a los ejes de acoplamiento a un proceso de galvanizado para protegerlos contra la corrosión.

Cada eje de acoplamiento requiere de 2 pernos de  $\frac{3}{16}$  x  $1\frac{1}{4}$  in para unirse con los ejes y las ruedas propulsoras.

#### 4.2.5. RUEDAS PROPULSORAS

- Para provocar la rotación del eje, y por lo tanto el movimiento de las paletas y martillos, se han diseñado las ruedas propulsoras del tipo de paletas, la cuales se ven en el plano 1/5. Son dos ruedas que van a un extremo y otro de la máquina y que se empatan con los ejes por medio de dos ejes de acoplamiento. Estas ruedas entierran sus aspas en el lodo, y a medida que la máquina se arrastra, éstas rotan transmitiendo el giro a los ejes.

Las ruedas también se encargarán de marcar el paso de esparcido de las semillas, así, tengo 4 paletas para esparcir las semilla en cada tolva, montadas en el eje, y cada una debe esparcir semillas cada 25 cm, ya que se ha escogido una distribución de siembra de 25x25 cm.

por lo tanto, la circunferencia que la rueda debe marcar es de 100 cm (25 cm por cada paleta):

$$\text{Circunferencia} = \pi \cdot D = 100 \text{ cm} \quad (4.2.5)$$

$$D = \frac{100 \text{ cm}}{\pi} = 31.83 \text{ cm} \approx 31.8 \text{ cm}$$

donde D es el diámetro de la rueda propulsora.

Por lo tanto las ruedas deben tener un diámetro de 31.8 cm como se puede ver en el plano 1/5.

Los ejes de las ruedas se construirán con tubo de acero de 20x2 mm, igual que los ejes de la máquina, para evitar desperdicios y aprovechar material; mientras que las aspas y sus refuerzos se construirán con fleje de acero de  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$  in. Para la construcción de las ruedas se utilizará soldadura con electrodo revestido 6011. Después de su construcción se debe someter a las ruedas a un proceso de galvanizado para protegerlas contra la corrosión. Las uniones entre las ruedas y los ejes de acoplamiento serán empernadas para facilitar su montaje y desmontaje, utilizándose para ello 2 pernos de  $\frac{3}{16} \times 1\frac{1}{4}$  in, uno para cada rueda.

#### 4.2.6. COJINETES DE DESLIZAMIENTO

Son 3 cojinetes de deslizamiento, las dimensiones de los bocines corresponden en su diámetro interior a 16 mm para poder alojar a los ejes de acoplamiento y en su diámetro exterior a 21.4 mm, que es el diámetro interior correspondiente al tubo de acero comercial inmediato superior (plano 1/6). Por lo tanto la carcaza será construida con tubo de 25.4x2 mm y con ángulos de 20x20x2 mm (plano 1/7), los cuales permitirán fijar los cojinetes al marco. El tubo y los ángulos serán soldados utilizando electrodos revestidos 6011. Después de su fabricación, las carcazas deben ser sometidas a un proceso de galvanizado para protegerlas contra la corrosión. Los cojinetes serán torneados utilizando bronce fosfórico, el cual es un material usado para la construcción de cojinetes de deslizamiento.

La unión de las carcazas al marco será empernada para facilitar su montaje y desmontaje. Cada cojinete requiere de dos pernos de  $\frac{3}{16}$  x  $\frac{3}{4}$  in. Sobre las carcazas se practicará un agujero, y alineado con el mismo se soldará una tuerca que permita el montaje de un graseo de 6 mm.

Para maquinar el diámetro interior del cojinete, se debe tener en cuenta que entre el cojinete y el eje de acoplamiento se toma el

criterio de eje único. Del análisis hecho en la sección 4.2.4, para el juego de rotación suelta, especificación C11/h11, se tiene para el diámetro interior del cojinete de deslizamiento (apéndice B-2)

$$16_{+0.095}^{+0.205} \text{ mm}$$

Se debe tener en cuenta que el cojinete se va a introducir en su carcaza, y de los dos, a quien se va a maquinar es al cojinete y no a su carcaza (tubo 25.4 x 2 mm). Por lo tanto entre los dos se toma el criterio de agujero único. Ya que el cojinete no debe moverse, se toma para el ajuste de transmisión media la especificación H7/s6 (apéndice B-1). Para el diámetro exterior del cojinete (21.4 mm), de acuerdo con la tabla del apéndice B-3 se tiene que:

$$21.4_{-0.035}^{+0.048} \text{ mm}$$

#### 4.2.7. PALETAS

Las paletas se encargan de esparcir la semilla pregerminada sobre el terreno, y la forma de las mismas (plano 1/8) permite calibrar su profundidad de impacto en el colchón de semillas. Las paletas se construirán de plancha de acero de 0.5 mm al igual que las tolvas

para evitar desperdicios y aprovechar material. Después de su fabricación, las paletas deben ser sometidas a un proceso de galvanizado para protegerlas contra la corrosión.

De acuerdo con las pruebas realizadas en el campo se obtuvo que para lograr esparcir 10 semillas, desde la punta de las paletas hasta la periferia de las abrazaderas deben haber aproximadamente 2.5 cm.

Cada paleta se une a su par de abrazaderas a través de un perno de  $\frac{3}{16} \times \frac{1}{2}$  in .

#### 4.2.8. PATINES

Son 3 patines que servirán para asentar la máquina sobre el lodo y a la vez para permitir su deslizamiento (plano 1/9).

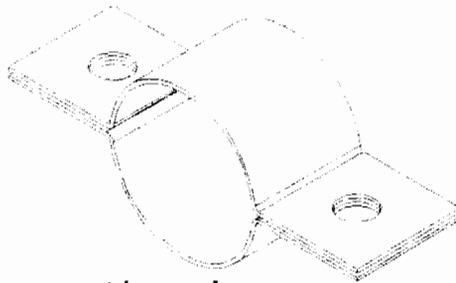
La construcción de los patines se hará utilizando plancha de acero de 1.00 mm de espesor. Después de su fabricación, los patines deben ser sometidos a un proceso de galvanizado para protegerlos contra la corrosión.

Cada patín se une al marco por medio de 4 pernos de  $\frac{3}{16} \times \frac{3}{4}$  in. Esto facilita el montaje y demontaje de los mismos.

### 4.3. SELECCIÓN DE ACCESORIOS

#### 4.3.1. ABRAZADERAS

Las abrazaderas permiten fijar las paletas al eje. Se seleccionan las abrazaderas de acero de 20mm debido a que el tubo al cual se van a sujetar es de este diámetro (Figura 4.3.1).



Abrazaderas  
Figura 4.3.1

Se debe someter a las abrazaderas al proceso de galvanizado para protegerlas contra la corrosión. La unión de las abrazaderas es empernada para facilitar su montaje y desmontaje, así como la calibración de las paletas que portan. Cada juego de abrazaderas requiere de dos pernos de  $\frac{3}{16} \times \frac{1}{2}$  in.

#### 4.3.2. MARTILLOS

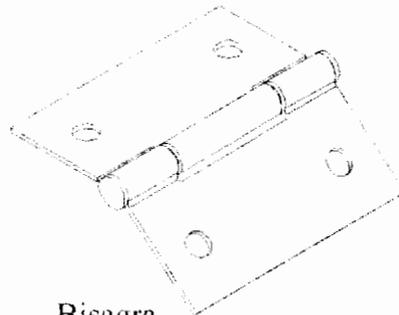
Para sacudir las tolvas se dispone de 4 martillos por cada tolva, los cuales se forman atravesando el eje con dos pernos, donde cada extremo de los pernos forma un martillo como se ve en el plano 1/0.

Los pernos son de  $\frac{3}{16} \times 2$  in. Este es el perno comercial que se ajusta a las dimensiones de la tolva permitiendo que alcance su giro máximo.

Estos y todos los pernos se deben someter al proceso de galvanizado para protegerlos contra la corrosión.

### 4.3.3. BISAGRAS

Para fijar las tolvas al marco de la máquina se emplearán bisagras niqueladas, por estar protegidas contra la corrosión (figura 4.3.3).

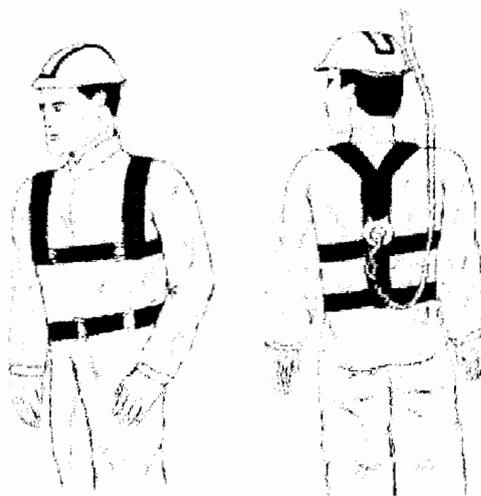


Bisagra  
Figura 4.3.3

De acuerdo con las dimensiones del ángulo del marco y de las tolvas se han seleccionado bisagras de 20x50 mm. Las bisagras se fijan a las tolvas y al marco por medio de uniones empernadas, lo que facilita su montaje y desmontaje. Cada bisagra requiere de 4 tornillos de  $\frac{3}{16} \times \frac{3}{4}$  in.

#### 4.3.4. ARNÉS

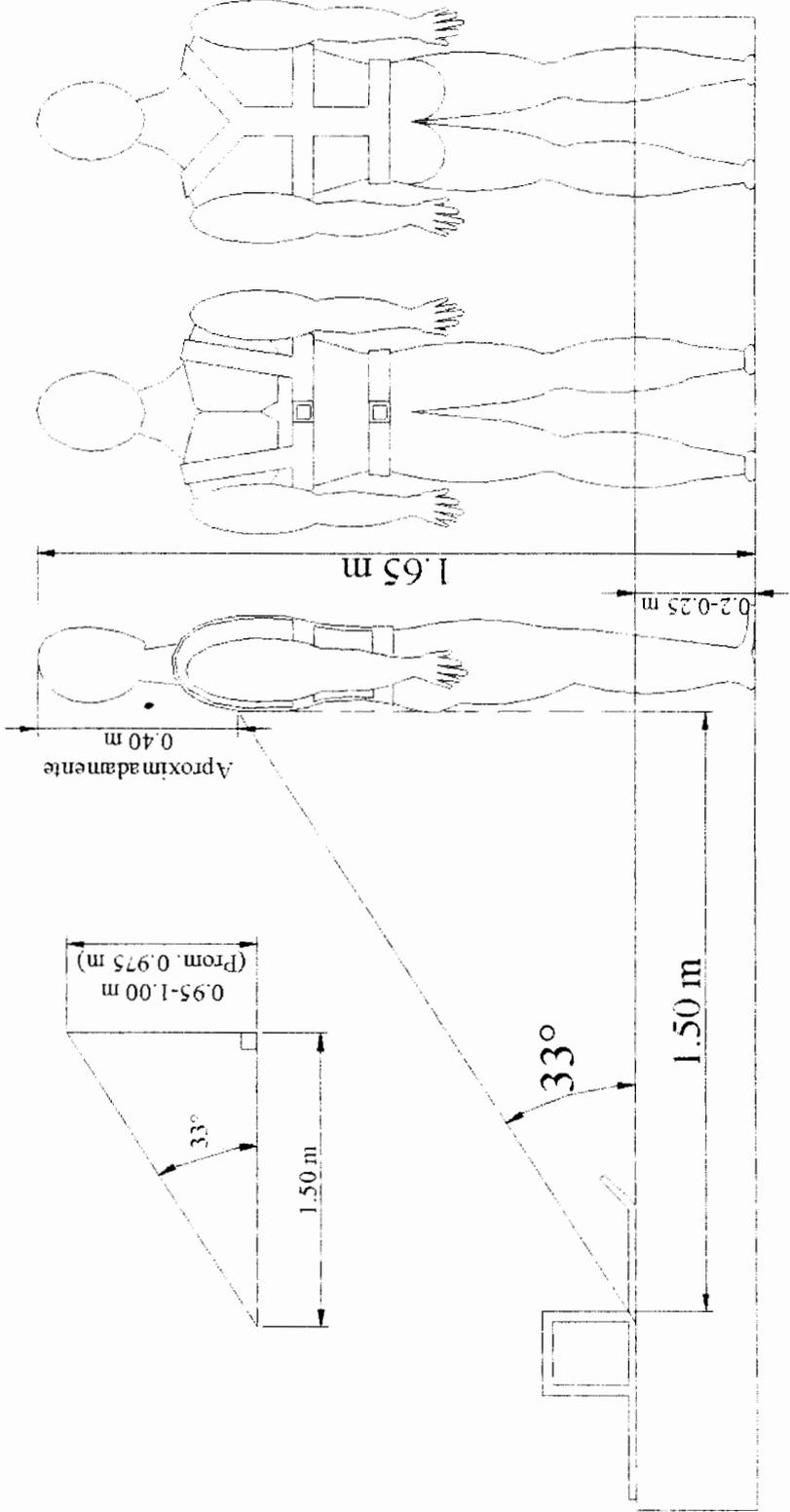
Para arrastrar la máquina se ha seleccionado un arnés [7] como el que se aprecia en la figura 4.3.4-1, el cual es un arnés cintura-pecho, que cumple con la norma ANSI A10.14, y que se emplea en este tipo de labores. Este arnés permite que la fuerza que tiene que hacer el individuo se distribuya en la cintura y el pecho disminuyendo la incidencia de la fuerza sobre la espalda.



Arnés para halar la máquina  
Figura 4.3.4-1

Con el arnés se asegura la comodidad del individuo para evitar malestares y lesiones.

Se ha estimado un ángulo promedio de  $33^\circ$  con respecto al suelo para la fuerza que hace una persona (figura 4.3.4-2). Este ángulo se ha obtenido considerando el arnés seleccionado, la profundidad del



Análisis de posición hombre-máquina

Figura 4.3.4-2

fango (25-30 cm), la estatura promedio de un varón adulto en el Ecuador (1.65 m de acuerdo con el INEC), y de acuerdo con la separación de la persona con respecto a la máquina, la cual no debe ser mucha para permitir que la persona pueda estar atenta con respecto al trabajo que realiza la máquina y corregir cualquier dificultad que se presente. Debido a ésto se recomienda una separación de 1.5 m.

#### 4.4. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO

Para el cálculo de la fuerza teórica para halar un peso sobre el fango es necesario conocer el coeficiente de rozamiento estático ( $\mu_s$ ) entre ambas superficies. En todo el diseño de la máquina se trabajará con el coeficiente de rozamiento estático ( $\mu_s$ ) y no con el cinético ( $\mu_k$ ), ya que el estático es un valor más conservador. En la figura 4.4 se observa el diagrama del cuerpo libre de un modelo, en base al cual se trabaja para encontrar el coeficiente de rozamiento estático.

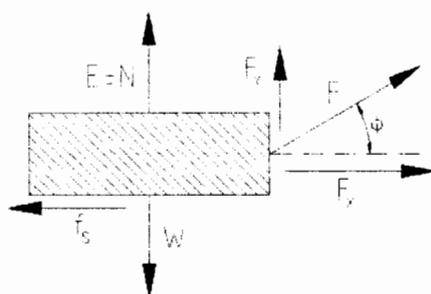


Diagrama del cuerpo libre del modelo  
Figura 4.4

De la figura 4.4 se tiene que:

$$\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$F_x - f_s = 0$$

$$F_x = f_s \quad (4.4-1)$$

$$F_x = F \cdot \cos\phi \quad (4.4-2)$$

$$f_s = \mu_s \cdot N \quad (4.4-3)$$

$$\uparrow \sum F_y = 0$$

$$F_y + E - W = 0$$

$$E = W - F_y \quad (4.4-4)$$

$$F_y = F \cdot \sin\phi \quad (4.4-5)$$

$$E = N \quad (4.4-6)$$

De la ecuación 4.3-1:

$$\mu_s = \frac{F \cdot \cos\phi}{W - F \cdot \sin\phi} \quad (4.4-7)$$

Donde:

- W = Peso de la máquina  
 F = Fuerza para halar la máquina  
 F<sub>x</sub> = Componente x de F

$F_y$	=	Componente y de F
N	=	Fuerza normal
$f_s$	=	Fuerza de rozamiento estática
$\mu_s$	=	Coefficiente de rozamiento estático
$\phi$	=	Ángulo entre F y $F_x$
E	=	Empuje

Todas las fuerzas se trabajan en Kg.

Con la ecuación 4.4-7 se determinará el coeficiente de rozamiento estático ( $\mu_s$ ) entre el acero galvanizado y el fango.

1. Para este experimento se cortaron 7 planchas de acero galvanizado con las siguientes dimensiones:

0.20 x 0.20 m	0.40 x 0.40 m
0.25 x 0.25 m	0.45 x 0.45 m
0.30 x 0.30 m	0.50 x 0.50 m
0.35 x 0.35 m	

2. Cada una de estas planchas se colocan sobre el fango en tres lugares diferentes del terreno de prueba: donde hay una ligera lámina de agua (2-

5 mm), donde no hay lámina de agua pero está mojado, y donde el lodo está más escurrido.

3. Para cada uno de estos lugares y para cada plancha se colocan pesos sobre las planchas, aumentando el peso de kilogramo en kilogramo, desde 2 Kg hasta 12 Kg.
4. Para cada peso se hala cada plancha con una fuerza horizontal ( $\phi=0^\circ$ ), las mismas que se registran por medio de un dinamómetro.
5. Con cada valor de fuerza obtenido se obtiene un valor de coeficiente de rozamiento, luego todos los valores de coeficiente de rozamiento son promediados y se obtiene el coeficiente de rozamiento promedio del terreno. Como se puede ver en la tabla del apéndice C-8 el resultado final fue de  $\mu_s = 0.33$ .

Los pesos de las planchas fueron incluidos en la tabla del apéndice C-8 para tener el peso real que es halado.

#### 4.5. CÁLCULO DE MOMENTOS DE TORSIÓN PARA MOVER LAS TOLVAS

El siguiente análisis tiene como fin encontrar qué ángulo rota la tolva ( $\alpha$ ) mientras el martillo está en contacto con ella. Una vez determinado  $\alpha$  se hallará una expresión que lo relacione con la fuerza que se requiere para

hacer girar la tolva, es decir, se podrá determinar qué fuerza requiere la tolva para ser girada dependiendo de su posición angular.

La figura 4.5-1 representa la vista lateral de la tolva, donde se describen los diferentes puntos que servirán para el análisis.

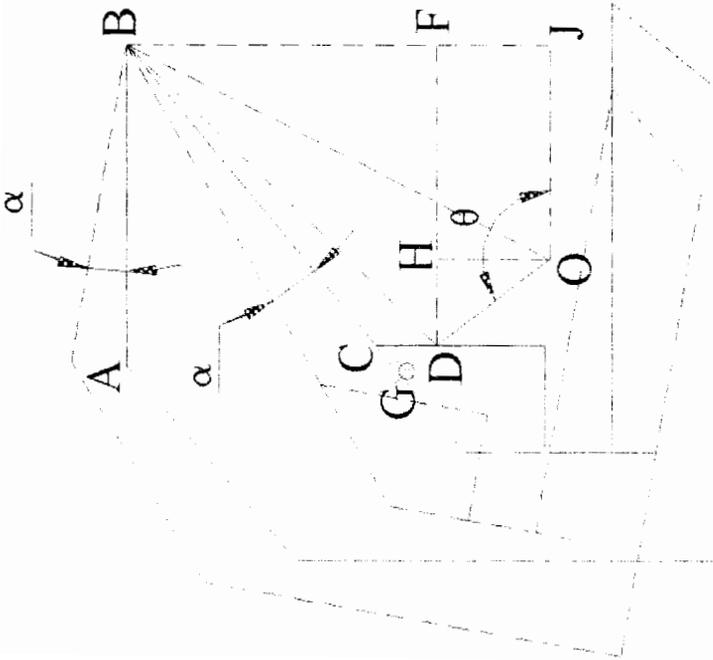
### ANÁLISIS DEL TRIÁNGULO BDO

En la figura 4.5-2 (a) el ángulo  $\theta$  ( $\angle JOD$ ) representa el desplazamiento angular del martillo DO, cuya longitud es conocida. El ángulo  $\beta$  ( $\angle BOJ$ ) representa una magnitud constante entre OB y OJ, cuyas magnitudes y posiciones no varían.

En la figura 4.5-2 el punto O es el centro de rotación del martillo y B es el centro de rotación de la tolva, por lo tanto son puntos fijos. El punto D es el punto de contacto entre el martillo y la tolva, dicho punto cambia de posición respecto a O y a B a medida que gira el martillo en el rango de  $126^\circ \leq \theta \leq 172.63^\circ$  (tabla apéndice F). Este es el rango de contacto entre la tolva y el martillo. Analizando la figura 4.5-2 (a) se tiene que:

$$\angle DOB = \theta - \beta \quad (4.5-1)$$

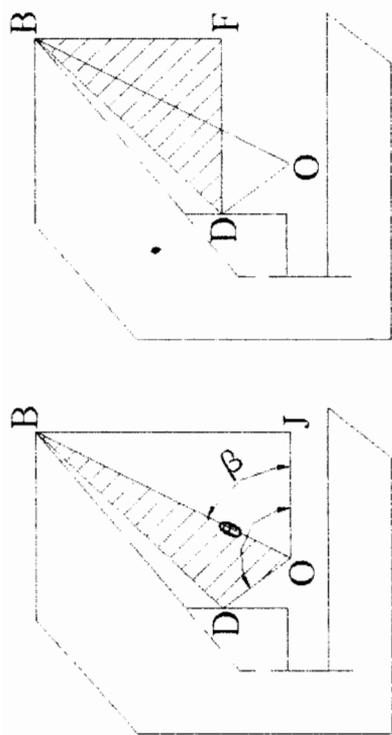
Aplicando la ley del coseno:



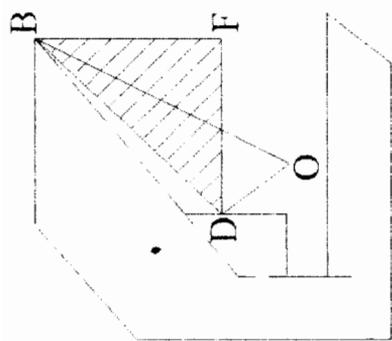
OB	111.8034 mm	Angulo BCD	130.1009°
OD	33.2500 mm	Angulo ABC	40.1009°
BC	91.5139 mm	Angulo JOD ( $\theta_{aprox}$ )	126.9777°
BG	100.8437 mm	Angulo CBD (inicial)	6.2720°
Ángulo BOJ	63.4349°	Ángulo CDB (inicial)	43.6271°
Ángulo OBJ	26.5651°	Ángulo DBF (inicial)	43.6271°

Vista lateral de la tolva

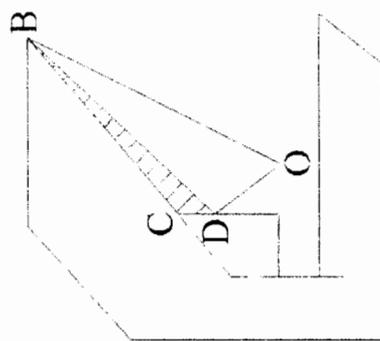
Figura 4.5-1



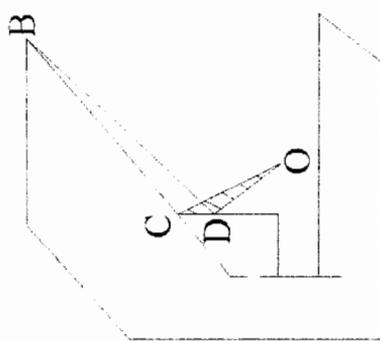
a) Triángulo BDO



b) Triángulo BDF



c) Triángulo BCD



d) Triángulo CDO

Análisis de la tolva  
Figura 4.5-2

$$BD = \sqrt{OB^2 + OD^2 - [2 \cdot (OB) \cdot (OD) \cdot \text{Cos} \angle DOB]} \quad (4.5-2)$$

Aplicando la ley del seno:

$$\frac{BD}{\text{Sen} \angle DOB} = \frac{OB}{\text{Sen} \angle BDO}$$

$$\angle BDO = \text{ArcSen} \left( \frac{OB}{BD} \cdot \text{Sen} \angle DOB \right) \quad (4.5-3)$$

Sabiendo que la suma de los ángulos interiores de un triángulo es  $180^\circ$  tenemos:

$$\angle DOB + \angle BDO + \angle DBO = 180^\circ$$

$$\angle DBO = 180^\circ - \angle DOB - \angle BDO \quad (4.5-4)$$

### ANÁLISIS DEL ÁNGULO DBF

Como se puede ver en la figura 4.5-2 (b):

$$\angle DBF = \angle DBO + \angle OBF \quad (4.5-5)$$

Donde  $\angle DBO$  ya fue calculado en 4.5-4 y  $\angle OBF$  es constante.

La variación del ángulo DBF ( $\Delta \angle DBF$ ) será la diferencia entre su posición final y su posición inicial que es constante:

$$\Delta \angle DBF = \angle DBF - \angle DBFo \quad (4.5-6)$$

Aplicando el seno al ángulo DBF tenemos:

$$DF = DB \cdot \text{Sen} \angle DBF \quad (4.5-7)$$

### ANÁLISIS DEL ÁNGULO CBD

En la figura 4.5-2 (c) se puede observar que BC se mantiene constante al igual que el ángulo BCD, mientras que CD y BD varían debido a que el punto de contacto D cambia de posición.

Aplicando la ley del seno se tiene:

$$\frac{BD}{\text{Sen} \angle BCD} = \frac{BC}{\text{Sen} \angle CDB}$$

$$\angle CDB = \text{ArcSen} \left( \frac{BC}{DB} \cdot \text{Sen} \angle BCD \right) \quad (4.5-8)$$

Sabiendo que la suma de los ángulos interiores de un triángulo es  $180^\circ$  tenemos:

$$\angle BCD + \angle CDB + \angle CBD = 180^\circ$$

$$\angle CBD = 180^\circ - \angle BCD - \angle CDB \quad (4.5-9)$$

De la figura 4.5 -1, tenemos que  $\alpha$  representa el desplazamiento angular de la tolva respecto al punto B. Por lo tanto el ángulo CBD (figura 4.5-1) se puede determinar también como la suma de su valor inicial (antes de moverse) y el ángulo que gira la tolva ( $\alpha$ ) menos la variación del ángulo DBF ( $\Delta\angle DBF$ ), determinada en la ecuación 4.5-6:

$$\angle CBD = \angle CBD_o + \alpha - \Delta\angle DBF \quad (4.5-10)$$

$$\alpha = \angle CBD - \angle CBD_o + \Delta\angle DBF \quad (4.5-11)$$

### ANÁLISIS DEL ÁNGULO CDO

Como se ve en la figura 4.5-2 (d), OD es constante, mientras que CD y OC varían de acuerdo a las diferentes posiciones del martillo OD.

De la figura 4.5-2 (d) se tiene que:

$$\angle CDO = \angle CDB + \angle BDO \quad (4.5-12)$$

Donde  $\angle CDB$  se calcula con la ecuación 4.6-8 y  $\angle BDO$  se calcula con la ecuación 4.5-3. Mientras el ángulo CDO disminuye su valor, aumenta el valor de  $\alpha$  (desplazamiento angular de la tolva), ésto ocurre hasta que  $\angle CDO = 90^\circ$ , luego su valor empieza a aumentar a diferencia de  $\alpha$  que

disminuye. Por lo tanto el máximo valor de  $\alpha$  se alcanza con  $\angle CDO = 90^\circ$ , y corresponde a  $\alpha = 7.3751^\circ$  (ver tabla apéndice F).

### CÁLCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LA TOLVA

A partir de la figura 4.5-3 (a) se calcula el centro de gravedad (G) de la tolva, donde se representa el perímetro que llenan las semillas en la tolva.

Se ha dividido esta figura en siete áreas, cuyas áreas y centros de gravedad con respecto al origen se pueden apreciar en la tabla del apéndice E, donde:

$$\bullet \quad X_m \cdot \sum A = \sum (X_m \cdot A)$$

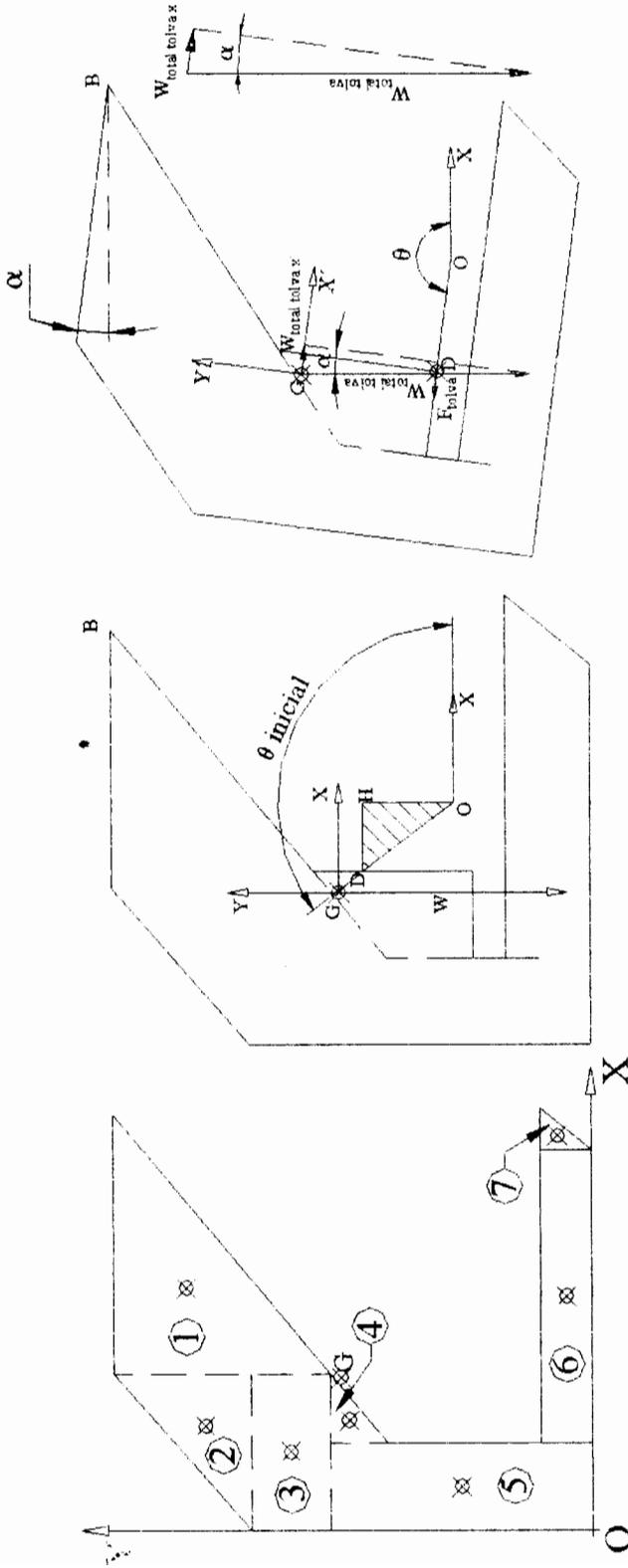
$$X_m = \frac{\sum (X_m \cdot A)}{\sum A} \quad (4.5-13)$$

De manera análoga:

$$Y_m = \frac{\sum (Y_m \cdot A)}{\sum A} \quad (4.5-14)$$

### CÁLCULO DEL MOMENTO TORSOR

Como se ve en la figura 4.5-3 (b), el peso de la tolva está concentrado en el centro de gravedad (G), y es esta fuerza la que hay que vencer para provocar el giro de la tolva.



a) Centro de gravedad de la tolva      b) Tolva en posición inicial      c) Tolva rotada alfa

Análisis del centro de gravedad de la tolva  
Figura 4.5-3

El martillo OD al tocar la tolva le transmite una fuerza ( $F_{\text{tolva}}$ ) perpendicular a la superficie de contacto, cuya magnitud corresponde al de la componente del peso en esa dirección. Inicialmente el valor de esta componente es cero ya que la dirección del peso es vertical hacia abajo, pero mientras la tolva va girando esta componente va incrementando su valor hasta un máximo para luego disminuir nuevamente hasta cero.

A medida que la tolva rota  $\alpha$ , en el centro de gravedad (G), los ejes coordenados X y Y también se rotan el mismo ángulo para poder hallar la componente del peso de la tolva en la dirección X' ( $W_{\text{total tolva } x'}$ ). Donde para vencer el peso de la tolva ( $W_{\text{total tolva}}$ ), un martillo debe ejercer una fuerza mayor a  $W_{\text{total tolva } x'}$  en el punto de contacto D ( $F_{\text{tolva}}$ ), en la misma dirección, pero en sentido opuesto a  $W_{\text{total tolva } x'}$ . Por lo tanto, de la figura 4.5-3 (c) se tiene que, aplicando la tangente del ángulo  $\alpha$  en el triángulo del peso y sus componentes:

$$\text{Tan}\alpha = \frac{W_{\text{total tolva } x'}}{W_{\text{total tolva}}}$$

$$W_{\text{total tolva } x} = (W_{\text{total tolva}}) \cdot \text{Tan}\alpha \quad \angle -\alpha \quad (4.5-15)$$

Donde la dirección de  $W_{\text{total tolva } x}$  es  $-\alpha$  debido a la rotación de la tolva. Ya que la fuerza para mover la tolva ( $F_{\text{tolva}}$ ) va en sentido contrario, su ángulo es  $180^\circ - \alpha$ , por lo tanto:

$$F_{\text{tolva}} = W_{\text{total tolva}} \cdot \sin(180^\circ - \alpha) \quad (4.5-16)$$

Para hallar el torque que requiere el eje para provocar el giro de las tolvas se multiplica la fuerza que requiere una tolva ( $F_{\text{tolva}}$ ) por el número de tolvas (8 tolvas) y por el brazo de palanca respecto al centro de rotación del eje (punto O), que corresponde a la distancia HO. De la figura 4.5 -3 (b) se tiene que:

$$\angle DOH = \theta - 90^\circ \quad (4.5-17)$$

Aplicando el coseno del ángulo DOH:

$$\cos \angle DOH = \frac{HO}{DO}$$

$$HO = DO \cdot \cos \angle DOH \quad (4.5-18)$$

Por lo tanto el torque que requieren las tolvas ( $T_{\text{tolvas}}$ ) para girar es:

$$T_{\text{tolvas}} = 8 \cdot F_{\text{tolva}} \cdot HO \quad (4.5-19)$$

Los valores del torque que requieren las tolvas ( $T_{\text{tolvas}}$ ) para las diferentes posiciones angulares del martillo se pueden observar en la tabla del apéndice

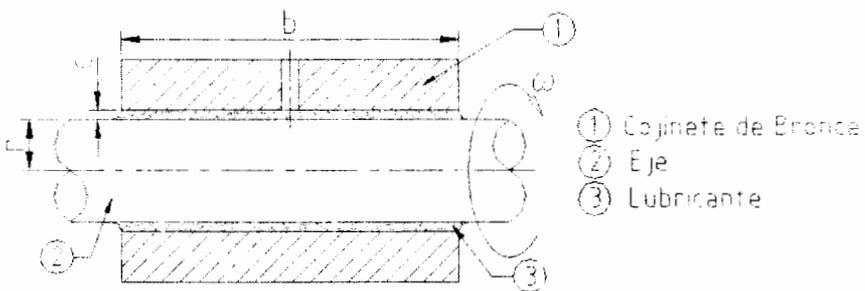
F, de donde se toma el valor máximo para análisis posteriores, ya que es el caso crítico, dicho valor de torque corresponde a:

$$T_{\text{tolvas máximo}} = 7.2657 \text{ Kg}\cdot\text{mm} \quad (\theta = 148.7^\circ)$$

Este torque máximo ocurre cuando el martillo está en una posición de  $\theta = 148.7^\circ$ .

#### 4.6. CÁLCULO DEL TORQUE PARA VENCER LA RESISTENCIA DE LOS COJINETES DE DESLIZAMIENTO

Según la Ley de Petroff [8], el torque requerido para deslizar la película lubricante en un cojinete de deslizamiento es (figura 4.6):



Cojinete de deslizamiento  
Figura 4.6

$$T_{\text{cojinetes}} = k \cdot n \cdot \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^3 \cdot b \cdot VD \cdot \omega}{c} \quad (4.6-1)$$

Donde:

$T_{\text{cojinetes}}$	=	Momento torsionante friccional	[lb·in]
$r$	=	Radio del eje de acoplamiento	[in]
$b$	=	Ancho del cojinete de deslizamiento	[in]
$VD$	=	Viscosidad dinámica del lubricante	[lb·seg/in <sup>2</sup> ]
$\omega$	=	Velocidad angular del eje	[rev/seg]
$c$	=	Holgura radial	[in]
$n$	=	Número de cojinetes	
$k$	=	Factor por contaminación por lodo	

Para los cojinetes de deslizamiento se ha seleccionado la grasa "Marfax Multipurpose 2" con las siguientes características:

$$\text{Viscosidad Cinemática (v)} = \begin{array}{l} 220.00 \text{ CSt} \quad @ 40^{\circ}\text{C} \\ 18.20 \text{ CSt} \quad @ 100^{\circ}\text{C} \end{array} = 2.2\text{e-}4 \text{ m}^2/\text{seg}$$

$$\text{Densidad de la grasa } (\rho_{\text{grasa}}) = 899.56 \text{ Kg/m}^3$$

Empleando la viscosidad cinemática (v) a 40 °C, tenemos que:

$$VD = \rho_{\text{grasa}} \cdot v \quad (4.6-2)$$

$$VD = 0.198 \frac{\text{New} \cdot \text{seg}}{\text{m}^2}$$

$$VD = 2.863 \times 10^{-5} \frac{lb \cdot seg}{in}$$

Del plano 1/6 del bocín, se obtiene de acuerdo a los valores de tolerancia que:

$$\text{Eje de acoplamiento : } 16_{-0.11}^{+0.00} \text{ mm}$$

$$\text{Cojinete de deslizamiento: } 16_{+0.095}^{-0.205} \text{ mm}$$

De acuerdo con esto, el máximo juego se producirá con el mínimo diámetro del eje de acoplamiento y el máximo diámetro interior del cojinete, mientras que el mínimo juego se da con el máximo diámetro del eje de acoplamiento y el mínimo diámetro interior del cojinete. Se selecciona el mínimo juego ya que éste es el caso crítico para el análisis. Por lo tanto:

$$\text{Mínimo juego: } 16.095 - 16.000 = 0.095 \text{ mm}$$

Se divide el mínimo juego para dos ya que la holgura se distribuye a un lado y otro del eje de acoplamiento, entonces:

$$c = \frac{1}{2} \cdot \text{Mínimo Juego} = \frac{1}{2} \cdot (0.095 \text{ mm}) = 0.0475 \text{ mm} = 1.87 \times 10^{-3} \text{ in}$$

El radio del eje de acoplamiento se obtiene del plano 1/4, y su valor corresponde a:

$$r = 8.00 \text{ mm} = 0.315 \text{ in}$$

El ancho del cojinete se obtiene del plano 1/6, y su valor corresponde a:

$$b = 20.00 \text{ mm} = 0.787 \text{ in}$$

De acuerdo con el diseño de forma (sección 4.2) el número de cojinetes es de:

$$n = 3$$

Se considera la posibilidad de atascamiento del eje de acoplamiento en los cojinetes debido a la contaminación por lodo, por este motivo se considera un factor  $k$  con valor de:

$$k=5$$

Para determinar la velocidad angular del eje, se ha tomado como valor crítico una velocidad de la máquina, que es un resultado de diferentes pruebas en el campo y fue obtenido halando una carga sobre el lodo, en las mismas condiciones que trabajaría la máquina, variando el peso de la carga (2-12 Kg) en pequeños recorridos (10 m), se midió el tiempo en cada prueba y se lo promedió dando como resultado 20 seg, por lo tanto si se tiene que se recorre 10 m en 20 seg, la velocidad será de 0.5 m/seg. Este es un valor crítico, el cual la máquina no va a alcanzar, ya que se van a realizar recorridos largos que requieren menor velocidad, pero se lo asume como un

valor crítico para el análisis. Las ruedas son las que provocan el giro del eje, y éstas tienen un radio de 159 mm (plano 1/5), por lo tanto la velocidad angular del eje ( $\omega$ ) sería:

$$\omega = \frac{\text{Velocidad}}{\text{radio}} = \frac{0.5 \frac{m}{seg}}{0.159m} = 3.145 \frac{rad}{seg} = 0.5 \frac{rev}{seg}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación 4.6-1 se tiene que:

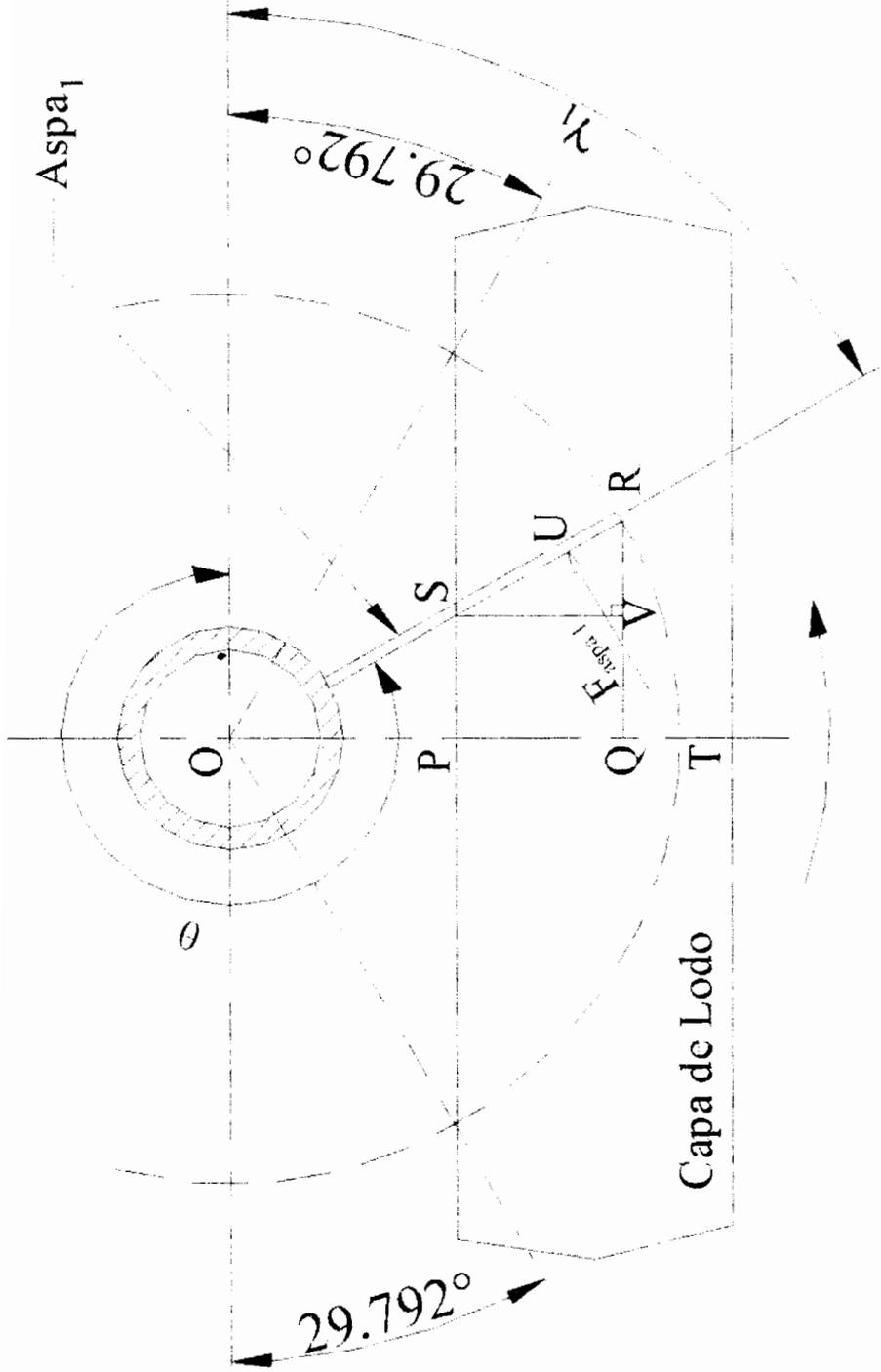
$$T_{\text{cojinetes}} = 0.1115 \text{ lb}\cdot\text{in}$$

$$T_{\text{cojinetes}} = 1.2875 \times 10^{-3} \text{ Kg}\cdot\text{m}$$

#### 4.7. CÁLCULO DEL TORQUE REQUERIDO POR LAS RUEDAS PROPULSORAS Y DEL NÚMERO DE ASPAS

Las dos ruedas propulsoras de la máquina deben generar un torque mayor que el que requieren las tolvas y los cojinetes. De acuerdo al diseño de forma, las aspas de las ruedas propulsoras se entierran una profundidad de 80 mm, si es que la máquina no se hundiera en el fango, que es lo que se asume para determinar las fuerzas que se requieren hacer sobre las aspas de las ruedas.

Como se ve en la figura 4.7-1, se tiene que:



Movimiento del aspa de una rueda

Figura 4.7-1

- OR = Radio de la rueda propulsora = 159.0 mm
- PT = Longitud máxima que se sumerge el aspa = 80.0 mm
- SR = Longitud sumergida del aspa
- OS = Longitud no sumergida del aspa
- $\theta$  = Ángulo que rota la rueda propulsora respecto a la horizontal (GR)
- $\gamma_1$  = Ángulo del aspa 1 respecto a la horizontal (CGR)
- $\gamma_2$  = Ángulo del aspa 2 respecto a la horizontal (CGR)
- $\gamma_3$  = Ángulo del aspa 3 respecto a la horizontal (CGR)
- :
- :

Las distancias están dadas en milímetros y los ángulos en grados. El análisis se hará respecto a un aspa y luego se usará el mismo procedimiento para las otras.

$$\begin{aligned}
 QT_1 &= OR - OQ_1 \\
 QT_1 &= OR - (OR \cdot \text{Sen} \gamma_1) \\
 QT_1 &= OR \cdot (1 - \text{Sen} \gamma_1) \quad (4.7-1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 PQ_1 &= PT - QT_1 \\
 PQ_1 &= PT - [OR \cdot (\text{Sen} \gamma_1)] \quad (4.7-2)
 \end{aligned}$$

En el triángulo SRV tiene que:

$$\begin{aligned} \text{Sen } \gamma_1 &= \frac{PQ_1}{SR_1} \\ SR_1 &= \frac{PQ_1}{\text{Sen } \gamma_1} \end{aligned} \quad (4.7-3)$$

En la figura 4.7-2 se puede observar, que la fuerza perpendicular sobre el aspa 1 ( $F_{\text{aspa 1}}$ ), está ubicada a una distancia de  $\frac{1}{3}$  de  $SR_1$ , medido desde la punta del aspa, esto se debe a que la distribución de fuerzas forma un triángulo sobre la parte sumergida del aspa, y  $F_{\text{aspa 1}}$  es la resultante de estas fuerzas. Por lo tanto, de la figura 4.7-2, se tiene que:

$$\bullet \quad OU_1 = OS_1 + \left( \frac{2}{3} \cdot SR_1 \right)$$

Sabiendo que  $OR$  es constante, se puede escribir la ecuación en términos de  $SR$  y  $OR$ , por lo tanto:

$$OU_1 = OR - SR_1 + \left( \frac{2}{3} \cdot SR_1 \right) \quad (4.7-4)$$

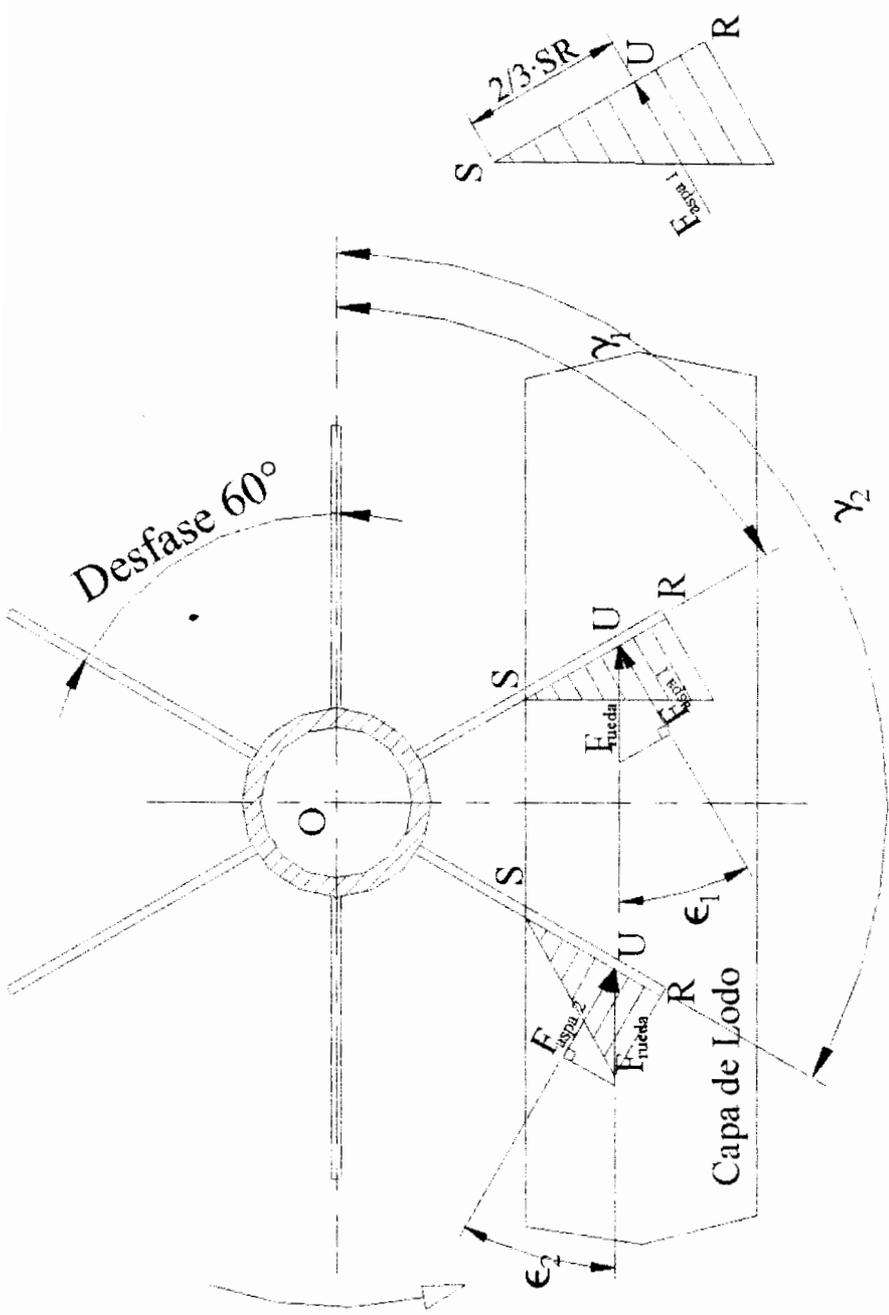
En la figura 4.7-2 se observa que:

$$\gamma_1 = 360^\circ - \theta \quad (4.7-5)$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 - \text{desfase} \quad (4.7-6)$$

$$\gamma_3 = \gamma_2 - \text{desfase}$$

$$\begin{array}{l} : \\ : \\ : \end{array} \quad \begin{array}{l} : \\ : \\ : \end{array}$$



Fuerza del fango sobre las aspas de una rueda de 6 aspas

Figura 4.7-2

Donde el ángulo de desfase entre las aspas depende del número de aspas de las ruedas.

Además, se tiene que  $\epsilon$  representa el ángulo entre la fuerza  $F_{rueda}$  (fuerza que reciben del suelo las aspas) y la componente de  $F_{aspa\ 1}$  perpendicular a cada aspa, por lo tanto:

$$\epsilon_1 = 90^\circ - \gamma_1 \quad (4.7-7)$$

$$\epsilon_2 = 90^\circ - \gamma_2$$

$$\vdots \quad \vdots$$

$$\vdots \quad \vdots$$

$$\bullet \quad F_{aspa.1} = F_{rueda} \cdot \text{Cos} \epsilon_1 \quad (4.7-8)$$

$$F_{aspa.2} = F_{rueda} \cdot \text{Cos} \epsilon_2$$

$$\vdots \quad \vdots$$

$$\vdots \quad \vdots$$

Haciendo una sumatoria de torques se tiene que:

$$(CGR+) \sum \text{Torques} = T_{ruedas}$$

$$2 \cdot [(F_{aspa.1} \cdot OU_1) + (F_{aspa.2} \cdot OU_2) + \dots] = T_{ruedas}$$

Se multiplica por 2 debido a que son dos ruedas.

$$2 \cdot [(F_{rueda} \cdot OU_1 \cdot \text{Cos} \epsilon_1) + (F_{rueda} \cdot OU_2 \cdot \text{Cos} \epsilon_2) + \dots] = T_{ruedas}$$

$$F_{ruedas} = \frac{T_{ruedas}}{2 \cdot [(OU_1 \cdot \text{Cos}\varepsilon_1) + (OU_2 \cdot \text{Cos}\varepsilon_2) + \dots]} \quad (4.7-9)$$

Donde  $T_{ruedas}$  es el torque mínimo que requieren hacer las dos ruedas propulsoras para mover las tolvas y vencer la fricción en los cojinetes, por lo tanto:

$$T_{ruedas} = T_{tolvas \text{ máximo}} + T_{cojinetes} \quad (4.7-10)$$

$$T_{tolvas \text{ máximo}} = 7.2657 \times 10^{-3} \text{ Kg}\cdot\text{m} \quad (\text{sección 4.5})$$

$$T_{cojinetes} = 1.2875 \times 10^{-3} \text{ Kg}\cdot\text{m} \quad (\text{sección 4.6})$$

$$T_{ruedas} = 8.5532 \times 10^{-3} \text{ Kg}\cdot\text{m}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación 4.7-9 se han elaborado seis tablas que analizan las fuerzas en las diferentes posiciones de las aspas para seis diferentes tipos de ruedas propulsoras, desde 3 hasta 8 puntas (apéndice G).

### CÁLCULO DEL NÚMERO DE ASPAS

Como se ve en la figura 4.7-2,  $F_{rueda}$  es la fuerza que recibe del suelo cada rueda propulsora. Las ruedas se mueven en el fango, pero se puede ver esto como si fuera el fango el que se mueve y empuja las aspas de la ruedas haciéndolas girar. Desde este punto de vista se tendría un caudal de lodo Q

que viaja con una velocidad  $v$ , y cuya densidad es  $\rho$ , el cual choca contra el área sumergida de las aspas de las ruedas ( $A_{\text{total sumergida}}$ ), con una fuerza  $F_{\text{rueda}}$ . De esto se tiene que [9]:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{rueda}} &= \rho \cdot Q \cdot v \\
 F_{\text{rueda}} &= \rho \cdot (A_{\text{total sumergida}} \cdot v) \cdot v \\
 F_{\text{rueda}} &= \rho \cdot A_{\text{total sumergida}} \cdot v^2 \\
 A_{\text{total sumergida}} &= \frac{F_{\text{rueda}}}{\rho \cdot v^2} \quad (4.7-11)
 \end{aligned}$$

La densidad ( $\rho$ ) del lodo es de  $1628 \text{ Kg/m}^3$  (apéndice D), y la velocidad ( $v$ ) es de  $0.3 \text{ m/seg}$  de acuerdo con lo expuesto en la sección 4.6.

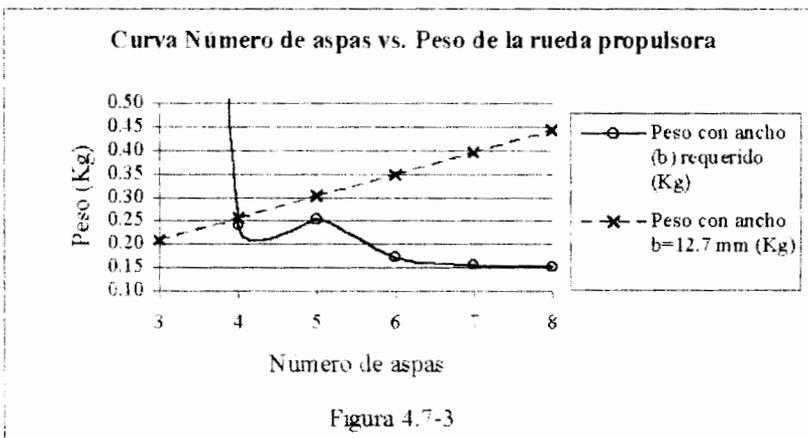
Con la ecuación 4.7-11 se determina el área total sumergida de las aspas de las ruedas que requiere la fuerza ( $F_{\text{rueda}}$ ) para provocar el torque ( $T_{\text{ruedas}}$ ).

$$\begin{aligned}
 A_{\text{total sumergida}} &= A_1 + A_2 + \dots \\
 A_{\text{total sumergida}} &= (SR_1 \cdot b) + (SR_2 \cdot b) + \dots \\
 A_{\text{total sumergida}} &= b \cdot (SR_1 + SR_2 + \dots) \\
 b &= \frac{A_{\text{total sumergida}}}{SR_1 + SR_2 + \dots} \quad (4.7-12)
 \end{aligned}$$

Con la ecuación 4.7-12 se determina el ancho ( $b$ ) de las aspas.

Se han analizado seis tipos de ruedas desde 3 hasta 8 aspas, cuyos resultados se pueden ver en las tablas del apéndice G. En la tabla del apéndice H se ha calculado el peso de cada una de las ruedas con su ancho de aspa obtenido de su correspondiente tabla, así como el peso de cada rueda con un ancho de aspa de 12.7 mm, que es el ancho correspondiente al fleje de acero comercial más pequeño del mercado (fleje  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$  in).

La figura 4.7-3 muestra la curva número de aspas vs. peso de la rueda construida a partir de los anchos de aspa mínimos requeridos (línea llena). De igual forma se ha construido la curva número de aspas vs. peso de la rueda utilizando un ancho de aspa de 12.7 mm (línea cortada), el cual corresponde al ancho del fleje comercial más pequeño del mercado (fleje de  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$  in). El punto de equilibrio de estas dos curvas se da aproximadamente con la rueda propulsora de 4 aspas, esto se debe a que el ancho de aspa requerido por la rueda de 4 aspas es de 11.72 mm, y es el que más se aproxima al ancho del fleje de  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$  in (12.7 mm).



Se descarta la selección de una rueda de 3 aspas, ya que requiere un ancho de aspa de 324.83 mm, lo cual aumenta el costo de construcción de la rueda, así como su peso (3.66 Kg).

La construcción de ruedas de 5 aspas en adelante no resulta conveniente ya que los ancho de aspa que requieren son pequeños, y al construirlas con fleje de  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$  in se aumentarían innecesariamente sus anchos de aspa, así como sus pesos. Por lo tanto queda como mejor alternativa la rueda propulsora de 4 aspas.

#### 4.8. CÁLCULO DE LAS FUERZAS DE FUSTE

Mientras la máquina trabaja, las ruedas van introduciendo y sacando sus aspas en el lodo, y mientras esto ocurre existe una fuerza de fricción que actúa sobre la superficie sumergida de cada aspa en la dirección instantánea del movimiento, ya que las aspas cambian de posición debido a que rotan y se trasladan. Dichas fuerzas de fricción ofrecen una resistencia que se debe vencer para poder mover la máquina.

Para poder analizar y encontrar dichas fuerzas de fricción, se hace una analogía con el comportamiento de los pilotes.

Según Juárez & Rico [10], los pilotes son elementos que se usan para:

transmitir las cargas de una estructura, a través de un espesor de suelo blando o a través de agua hasta un estrato de suelo resistente, que garantice el apoyo adecuado. También se usan para transmitir carga a un cierto espesor de suelo blando, utilizando para ello la fricción lateral que se produce entre el suelo y el pilote.

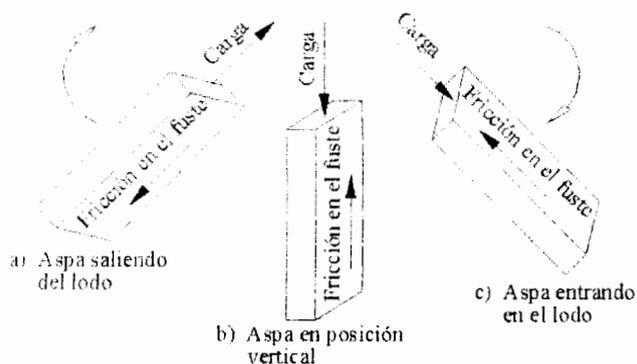
Desde el punto de vista de su forma de trabajo se clasifican en de punta, de fricción y mixtos. Los pilotes de punta desarrollan su capacidad de carga con apoyo directo en un estrato resistente. Los pilotes de fricción desarrollan su resistencia por la fricción lateral que generan contra el suelo que los rodea. Los pilotes mixtos aprovechan a la vez ambos efectos.

De acuerdo con Lambe & Whitman [11]:

Un pilote que recibe la mayoría del soporte por fricción o adherencia del suelo a lo largo de su fuste se denomina pilote de fricción o flotante. El pilote que recibe la mayor parte del soporte del terreno situado bajo su punta se denomina pilote de punta o pilote-columna.

Debido a que el suelo sobre el cual va a trabajar la máquina es blando y que el área de la punta de un aspa es pequeña, la resistencia por la punta se

considera muy pequeña, por lo tanto se considera sólo la fuerza de fricción en el fuste ( $F_{\text{fuste}}$ ) (figura 4.8). Donde, para hallar esta fuerza se tienen que utilizar las siguiente variables y fórmulas descritas a continuación:



Fuerza de fricción en el fuste de una aspa  
Figura 4.8

$$F_{\text{fricte}} = S_F \cdot A_{\text{lateral}} \quad (4.8-1)$$

$$S_F = \sigma_H \cdot \text{Tan} \mu_s \quad (4.8-2)$$

$$\sigma_H = \rho \cdot g \cdot SR \quad (4.8-3)$$

Donde:

$F_{\text{fuste}}$	=	Fuerza de fricción en el fuste	[New]
$S_F$	=	Resistencia al corte de la relación suelo pilote	[New/m <sup>2</sup> ]
$\sigma_H$	=	Esfuerzo efectivo horizontal	[New/m <sup>2</sup> ]
$\rho$	=	Densidad del fango	[Kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu_s$	=	Coefficiente de rozamiento estático	
$A_{\text{lateral}}$	=	Área lateral	[m <sup>2</sup> ]

- g = Aceleración de la gravedad [m/seg<sup>2</sup>]
- SR = Longitud sumergida del aspa (figura 4.7-1)

El coeficiente de rozamiento estático ( $\mu_s$ ) fue calculado en la sección 4.3 y es de  $\mu_s=0.33$ , la densidad del fango es  $\rho=1628 \text{ Kg/m}^3$  (apéndice D).

Para el análisis en el fuste de las aspas de las ruedas se tiene que el ancho (b) y el espesor (a) de las aspas son de  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$  in (12.7 x 3.175 mm) respectivamente, las distancias (SR) que están sumergidas las aspas son variables para cada aspa en las diferentes posiciones en que se encuentren, por lo tanto, el área lateral total sumergida de las aspas será la suma de las áreas sumergidas de cada una:

$$\begin{aligned}
 A_{lateral} &= A_{lateral_1} + A_{lateral_2} + \dots \\
 A_{lateral} &= [2 \cdot (a + b) \cdot SR_1] + [2 \cdot (a + b) \cdot SR_2] + \dots \\
 A_{lateral} &= 2 \cdot (a + b) \cdot [SR_1 + SR_2 + \dots] \quad (4.8-4)
 \end{aligned}$$

Reemplazando la ecuación 4.8-3 en 4.8-2 se tiene que:

$$\begin{aligned}
 S_{F1} &= \sigma_{H1} \cdot \text{Tan}\mu_s = \rho \cdot g \cdot SR_1 \cdot \text{Tan}\mu_s \quad (4.8-5) \\
 S_{F2} &= \sigma_{H2} \cdot \text{Tan}\mu_s = \rho \cdot g \cdot SR_2 \cdot \text{Tan}\mu_s \\
 &: \quad : \quad : \\
 &: \quad : \quad :
 \end{aligned}$$

Sabiendo que la fuerza debido al fuste en las aspas de la rueda es la suma de las fuerzas en el fuste de cada una de las aspas se tiene que:

$$F_{\text{fuste.rueda}} = F_{\text{fuste. aspa.1}} + F_{\text{fuste. aspa.2}} + \dots$$

$$F_{\text{fuste.rueda}} = (S_{F1} \cdot A_{\text{lateral.1}}) + (S_{F2} \cdot A_{\text{lateral.2}}) + \dots \quad (4.8-6)$$

Ya que se determinó que las ruedas serían de 6 aspas, se pueden encontrar los resultados de las fuerzas en el fuste para este tipo de rueda en la tabla del apéndice I.

Cuando la máquina se asienta sobre el fango, ésta se hunde cierta distancia (h), provocando que las viceras de los patines se sumerjan esta altura, produciéndose una fuerza en el fuste de las viceras, dicha fuerza se puede calcular de la siguiente forma:

$$F_{\text{fuste.vicera}} = \rho \cdot g \cdot h \cdot \text{Tan} \mu_z \cdot l_{\text{vicera}} \cdot \text{Ancho}_{\text{patin}} \quad (4.8-7)$$

$$F_{\text{fuste.vicera x}} = F_{\text{fuste.vicera}} \cdot \text{Cos}(\text{Ángulo}_{\text{vicera}}) \quad (4.8-8)$$

$$F_{\text{fuste.vicera y}} = F_{\text{fuste.vicera}} \cdot \text{Sen}(\text{Ángulo}_{\text{vicera}}) \quad (4.8-9)$$

Donde el ángulo que forma la vicera con el suelo ( $\text{Ángulo}_{\text{vicera}}$ ) es  $45^\circ$ , se ha escogido este ángulo por la conveniencia en los cálculos ya que debido a esto  $F_{\text{fuste.vicera x}} = F_{\text{fuste.vicera y}}$ . La longitud de la vicera del patín ( $l_{\text{vicera}}$ ) y el

ancho de patin ( $Ancho_{patin}$ ) se determinan más adelante cuando se determine la distancia (h) que se hunde la máquina. Dependiendo de la distancia (h) que se hunda la máquina se encontrará el valor de la fuerza de fuste y de sus componentes horizontal ( $F_{fuste\ vicera\ x}$ ) y vertical ( $F_{fuste\ vicera\ y}$ ).

#### 4.9. CÁLCULO DEL ÁREA DE LOS PATINES

Para determinar el área de los patines que requiere la máquina, se debe realizar previamente un análisis de las fuerzas que intervienen. El análisis de fuerzas se ha hecho en base al diagrama del cuerpo libre de la máquina (figura 4.9-1), del cual, haciendo una sumatoria de las fuerzas en la dirección X, se tiene que:

$$\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$F_s - f_c - (2 \cdot F_{fuste\ rueda\ x}) + (3 \cdot F_{fuste\ vicera\ x}) - (2 \cdot F_{rueda}) - (3 \cdot F_{vicera\ x}) = 0$$

$$F = \frac{(\mu_c \cdot E) + (2 \cdot F_{fuste\ rueda\ x}) - (3 \cdot F_{fuste\ vicera\ x}) + (2 \cdot F_{rueda}) + (3 \cdot F_{vicera\ x})}{\cos\phi} \quad (4.9-1)$$

Donde:

F	=	Fuerza para halar la máquina	[Kg]
F <sub>x</sub>	=	Componente horizontal de F	[Kg]
F <sub>rueda</sub>	=	Resistencia del fango contra la rueda propulsora	[Kg]

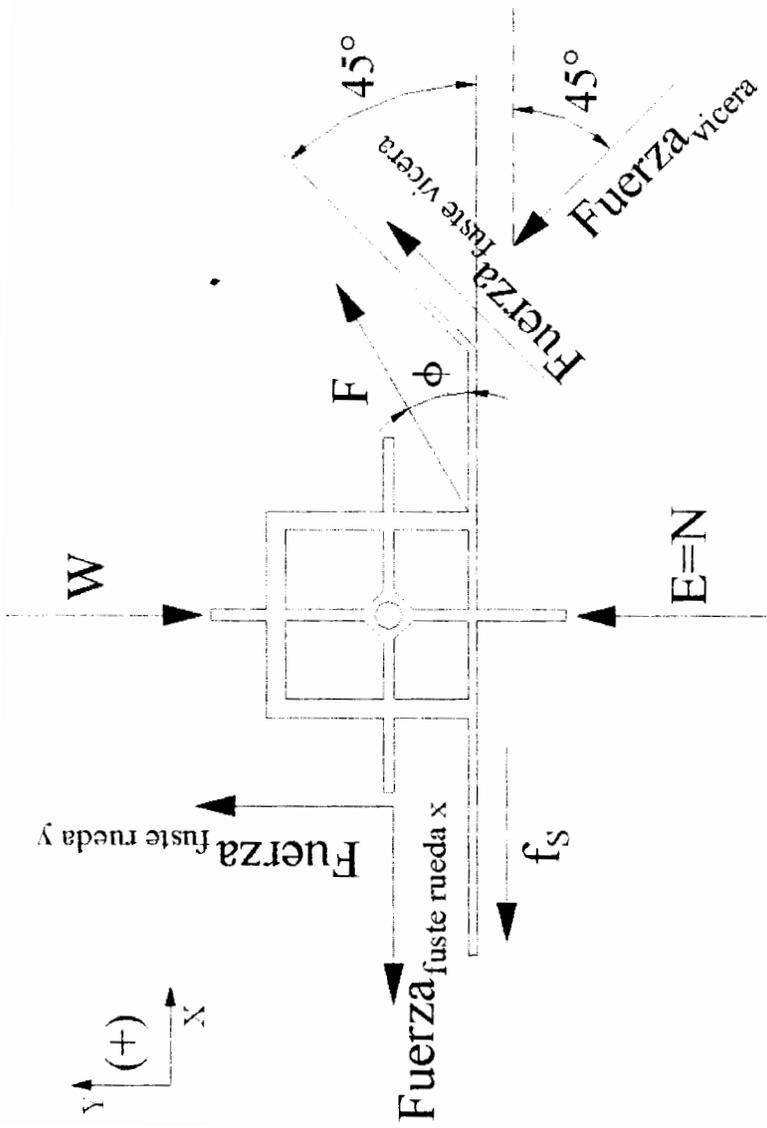
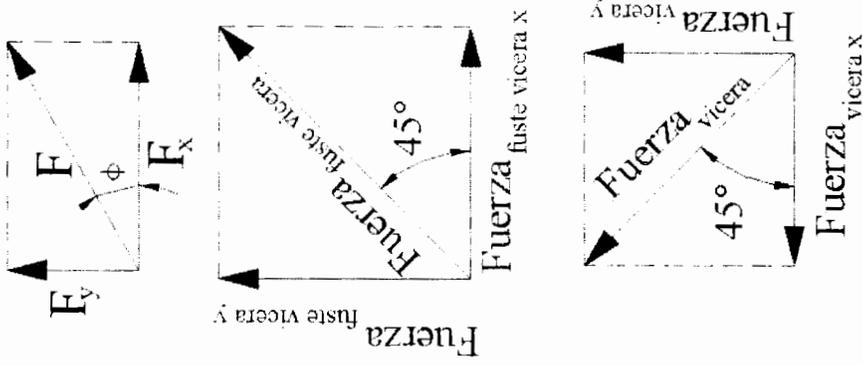


Diagrama del cuerpo libre de la sembradora de arroz

Figura 4.9-1



$F_{vicera}$	=	Resistencia del fango contra la vicera del patín	[Kg]
$F_{vicera x}$	=	Componente horizontal de $F_{vicera}$	[Kg]
$f_s$	=	Fuerza de rozamiento estático	[Kg]
$E$	=	Empuje	[Kg]
$F_{fuste\ rueda}$	=	Fuerza de fricción en el fuste de las aspas	[Kg]
$F_{fuste\ rueda\ x}$	=	Componente horizontal de $F_{fuste\ rueda}$	[Kg]
$F_{fuste\ vicera}$	=	Fuerza de fricción en el fuste de la vicera del patín	[Kg]
$F_{fuste\ vicera\ x}$	=	Componente horizontal de $F_{fuste\ vicera}$	[Kg]
$\mu_s$	=	Coefficiente de rozamiento estático	
$\phi$	=	Ángulo entre $F$ y el suelo = $33^\circ$ (sección 4.2)	[°]

De acuerdo con lo expuesto en la sección 4.8, en la tabla del apéndice I, para la rueda de cuatro aspas seleccionada, se toman los máximos valores de  $F_{fuste\ rueda\ x}$  y  $F_{fuste\ rueda\ y}$  debido a que éstos ocasionan un caso crítico para el análisis. Las fuerzas que tienen que ver con las ruedas se las multiplican por 2 ya que son dos ruedas.

La  $F_{fuste\ vicera}$  y sus componentes horizontal y vertical, se pueden encontrar utilizando las ecuaciones 4.8-7, 4.8-8 y 4.8-9, las cuales se incluyen en las tablas de los apéndices I. Las fuerzas que tienen que ver con las viceras se multiplican por 3 ya que hay tres patines con sus respectivas viceras.

La fuerza de la rueda ( $F_{rueda}$ ) es la fuerza que debe hacer una rueda para mover las tolvas y vencer la resistencia de los cojinetes, y se la calcula a

partir de la ecuación 4.9-2, donde el torque que deben hacer las ruedas propulsoras ( $T_{ruedas} = 8.5532 \times 10^{-3} \text{ Kg}\cdot\text{m}$ , calculado en la ecuación 4.7-10) se divide para 2, ya que son dos ruedas, y se divide para el radio de la rueda ( $R_{rueda} = 159 \text{ mm}$ ), asumiendo que  $F_{rueda}$  va estar concentrada en las puntas de las aspas, dando como resultado un valor crítico para el análisis.

$$F_{rueda} = \frac{T_{ruedas}}{2 \cdot Radio_{rueda}} \quad (4.9-2)$$

$$F_{rueda} = \frac{8.5532 \times 10^{-3} \text{ Kg} \cdot \text{m}}{2 \cdot (0.159 \text{ m})} = 2.690 \times 10^{-2} \text{ Kg}$$

La fuerza de resistencia del suelo contra una vicera ( $F_{vicera}$ ) es perpendicular a la misma, y depende de la distancia (h) que se hunda el patín y de la velocidad con la que este se mueva (v). El ángulo que forma la vicera con respecto al suelo es de  $45^\circ$ . Se ha seleccionado este ángulo debido a la facilidad de cálculo que representa, ya que debido a esto  $F_{vicera\ x} = F_{vicera\ y}$ . Además ángulos menores disminuyen el valor de  $F_{vicera\ x}$  pero provocan el aumento de la longitud de la vicera lo cual provoca un aumento del peso, lo que hay que tratar de evitar. Por otro lado ángulos mayores provocan un aumento de  $F_{vicera\ x}$ , lo que a su vez incrementa la fuerza (F) que debe hacer una persona para halar la máquina.  $F_{vicera\ x}$  y  $F_{vicera\ y}$  se calculan de la siguiente forma:

$$F_{vicera\ x} = \rho \cdot A_{vicera\ x} \cdot v^2 = F_{vicera\ y}$$

$$F_{vicera\ x} = \rho \cdot h \cdot ancho_{patin} \cdot v^2 = F_{vicera\ y} \quad (4.9-3)$$

Donde:

$F_{vicera}$	= Resistencia del fango contra la vicera del patín	[Kg]
$F_{vicera\ x}$	= Componente horizontal de $F_{vicera}$	[Kg]
$F_{vicera\ y}$	= Componente vertical de $F_{vicera}$	[Kg]
$\rho$	= Densidad del fango = 1628 Kg/m <sup>3</sup> (apéndice D)	[UTM/m <sup>3</sup> ]
$h$	= Distancia que se hunde la máquina	[m]
$v$	= Velocidad de la máquina = 0.5 m/seg (sección 4.6)	[m/seg]
$g$	= Aceleración de la gravedad	[m/seg <sup>2</sup> ]
$l_{patin}$	= Largo del patín sin la vicera	[m]
$l_{vicera}$	= Largo de la vicera	[m]

Los patines deben ser de tal ancho para que no interfieran con la caída de las semillas sobre el terreno y para que no interfieran con el giro de las ruedas propulsoras. Mientras más anchos sean los patines se incrementa el peso de la máquina debido a que se requiere más ancho de vicera, ejes de acoplamiento o ejes más largos para empatarse entre sí y con las ruedas, así como mayor largo del marco. Para facilitar el cálculo del área del patín se

procede a fijar el ancho del patín para así buscar el largo de patín adecuado.

Por lo expuesto anteriormente se selecciona un ancho de patín de 15.00 cm.

La densidad ( $\rho$ ) del fango es de 1628 Kg/m<sup>3</sup> (apéndice D), y la velocidad ( $v$ ) es de 0.5 m/seg de acuerdo con lo expuesto en la sección 4.6.

Ahora, haciendo una sumatoria de las fuerzas en la dirección Y, se tiene que:

$$\sum F_y = 0$$

$$E + (2 \cdot F_{\text{fuste, rueda, y}}) + (3 \cdot F_{\text{fuste, vicera, y}}) + (3 \cdot F_{\text{vicera, y}}) + F_y - W = 0$$

$$E = W - (2 \cdot F_{\text{fuste, rueda, y}}) - (3 \cdot F_{\text{fuste, vicera, y}}) - (3 \cdot F_{\text{vicera, y}}) - (F \cdot \text{Sen}\phi) \quad (4.9-4)$$

Donde:

W	=	Peso de la máquina	[Kg]
F	=	Fuerza para halar la máquina	[Kg]
F <sub>y</sub>	=	Componente vertical de F	[Kg]
F <sub>vicera</sub>	=	Resistencia del fango contra la vicera del patín	[Kg]
F <sub>vicera y</sub>	=	Componente vertical de F <sub>vicera</sub>	[Kg]
E	=	Empuje	[Kg]
F <sub>fuste rueda</sub>	=	Fuerza de fricción en el fuste de las aspas	[Kg]

$F_{\text{fuste rueda y}}$	=	Componente vertical de $F_{\text{fuste rueda}}$	[Kg]
$F_{\text{fuste vicera}}$	=	Fuerza de fricción en el fuste de la vicera del patín	[Kg]
$F_{\text{fuste vicera y}}$	=	Componente vertical de $F_{\text{fuste vicera}}$	[Kg]
$\phi$	=	Ángulo entre F y la horizontal = 33° (sección 4.3.4)	[°]
$\rho$	=	Densidad del fango = 1628 Kg/m <sup>3</sup> (apéndice D)	[UTM/m <sup>3</sup> ]

El peso de la máquina (W) se puede ver como el peso de la máquina sin los patines ( $W_{\text{máquina sin patines}}$ ) más el peso de los patines ( $W_{\text{patines}}$ ). Esto se hace debido a que se buscan las dimensiones de los patines, y por lo tanto su peso. Lo que se tiene fijo es el peso del resto de la máquina ( $W_{\text{máquina sin patines}} = 12.228 \text{ Kg}$ , apéndice A) por lo tanto en el momento que se determinen las dimensiones de los patines, se tendrán sus pesos, y por lo tanto el peso de la máquina.

$$W = W_{\text{máquina sin patines}} + W_{\text{patines}} \quad (4.9-5)$$

$$W_{\text{patines}} = 3 \cdot (l_{\text{patín}} + l_{\text{vicera}}) \cdot (\text{ancho}_{\text{patín}}) \cdot (\text{espesor}_{\text{patín}}) \cdot (\rho_{\text{acero}}) \quad (4.9-6)$$

Donde:

W	=	Peso de la máquina	[Kg]
$\rho_{\text{acero}}$	=	Densidad del acero	[UTM/m <sup>3</sup> ]
$l_{\text{patín}}$	=	Largo del patín sin la vicera	[m]

$$l_{vicera} = \text{Largo de la vicera} \quad [m]$$

Combinando las ecuaciones 4.9-1 y 4.9-4 tenemos que:

$$F = \frac{\mu_s \cdot [W - (2 \cdot F_{fuste\ rueda\ y}) - (3 \cdot F_{fuste\ vicera\ y}) - (3 \cdot F_{vicera\ y})] + (2 \cdot F_{fuste\ rueda\ x})}{\cos\phi + (\mu_s \cdot \text{Sen}\phi)} + \frac{(3 \cdot F_{fuste\ vicera\ x}) + (2 \cdot F_{rueda}) + (3 \cdot F_{vicera\ x})}{\cos\phi + (\mu_s \cdot \text{Sen}\phi)} \quad (4.9-7)$$

El empuje se puede hallar también como la densidad del fango ( $\rho$ ) multiplicada por la aceleración de la gravedad ( $g$ ) y por el volumen desplazado ( $V$ ) del cuerpo sumergido. El volumen sumergido se encuentra multiplicando el área total horizontal ( $A_{total\ x}$ ), que requiere la máquina para sustentarse, por la distancia  $h$  que se hunde.

$$E = \rho \cdot g \cdot v$$

$$E = \rho \cdot g \cdot A_{total\ x} \cdot h$$

$$h = \frac{E}{\rho \cdot g \cdot A_{total\ x}} \quad (4.9-8)$$

Reemplazando la ecuación 4.9-4 en la ecuación 4.9-8 se tiene:

$$h = \frac{W - (2 \cdot F_{fuste\ rueda\ y}) - (3 \cdot F_{fuste\ vicera\ y}) - (3 \cdot F_{vicera\ y}) - (F \cdot \text{Sen}\phi)}{\rho \cdot g \cdot A_{total\ x}} \quad (4.9-9)$$

Despejando  $A_{total\ x}$  de la ecuación 4.9-9 se tiene:

$$A_{total\ x} = \frac{W - (2 \cdot F_{fuerza\ rueda\ y}) - (3 \cdot F_{fuerza\ vicerca\ y}) - (3 \cdot F_{vicerca\ y}) - (F \cdot Sen\phi)}{\rho \cdot g \cdot h} \quad (4.9-10)$$

El área total ( $A_{total\ x}$ ) que requiere la máquina para asentarse es la suma del área de los patines ( $3 \cdot A_{patin}$ ) más la proyección horizontal del área de las viceras de los patines ( $3 \cdot A_{vicera\ x}$ ), y más la sumatoria de las proyecciones horizontales de las áreas sumergidas de las aspas de las ruedas ( $2 \cdot A_{rueda\ x}$ ).

Se debe utilizar el valor de  $A_{rueda\ x}$  mínimo, ya que éste produce un caso crítico en el análisis. Para un rueda de 4 aspas su valor mínimo de  $A_{rueda\ x}$  es cero, ya que cuando un aspa está enterrada verticalmente en el lodo las demás están fuera, y por lo tanto no hay ningún área del aspa que ayude a sustentar la máquina en ese instante.

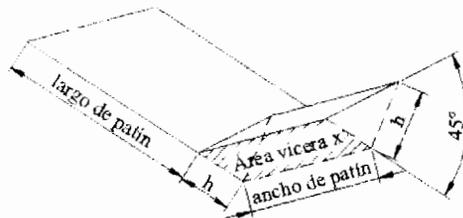
Hay que considerar 3 veces el área de los patines y de las viceras, ya que hay 3 patines, de manera similar, hay que considerar 2 veces el área sumergida de las aspas de las ruedas, debido a que hay dos ruedas.

$$A_{total\ x} = (3 \cdot A_{patin}) + (3 \cdot A_{vicera\ x}) + (2 \cdot A_{rueda\ x}) \quad (4.9-11)$$

De la ecuación 4.9-11 se tiene que:

$$A_{\text{patin}} = \frac{A_{\text{total}} - (3 \cdot A_{\text{vicera}}) - (2 \cdot A_{\text{medias}})}{3} \quad (4.9-12)$$

El área del patín se puede hallar también como (figura 4.9-2):



Área del patín y su viciera  
Figura 4.9-2

$$A_{\text{patin}} = (l_{\text{patin}}) \cdot (\text{ancho}_{\text{patin}}) \quad (4.9-13)$$

En la figura 4.9-2,  $h$  representa la distancia que se hunde el patín, y por tanto la proyección horizontal del área de la viciera se puede calcular como:

$$A_{\text{vicera } x} = (h) \cdot (\text{ancho}_{\text{patin}}) \quad (4.9-14)$$

En la figura 4.9-2, aplicando el seno al ángulo de  $45^\circ$ , se tiene que:

$$\text{Sen}45^\circ = \frac{h}{l_{\text{vicera}}}$$

$$l_{\text{vicera}} = \frac{h}{\text{Sen}45^\circ} \quad (4.9-15)$$

Donde  $l_{\text{vicera}}$  es la longitud de la viciera.

Combinando las ecuaciones 4.9-12, 4.9-13 y 4.9-14 se tiene que:

$$l_{\text{patín}} = \frac{(A_{\text{patín}}) - (3 \cdot h \cdot \text{ancho}_{\text{patín}}) + (2 \cdot A_{\text{viera}})}{3 \cdot \text{ancho}_{\text{patín}}} \quad (4.9-16)$$

Debido a que el ancho de patín se ha predeterminado en 15.00 cm, hace falta encontrar un largo de patín y de viera conveniente para sustentar la máquina sobre el terreno.

Para diferentes distancia de hundimiento (h) de la máquina existe un valor de largo de patín y de viera adecuado. Por lo tanto se han elaborado 10 tablas (ver apéndices J-1 a J-10), cada una de las cuales con un valor de h diferente (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 mm). Para cada valor de h se han obtenido como resultados sus correspondientes valores de peso de la máquina (W), fuerza para halarla (F), largo de patín ( $l_{\text{patín}}$ ) y largo de viera ( $l_{\text{viera}}$ ). Estos resultados han sido tabulados en la tabla del apéndice J-11, la cual se utiliza para el análisis y selección del largo de patín y viera correspondientes.

Para desarrollar las tablas con las diferentes distancia (h) de hundimiento de la máquina se ha llevado a cabo un proceso de iteración de punto fijo [14], en el cual:

1. Se asume un valor hundimiento ( $h$ ) de la máquina para realizar esta tabla. Para la primera tabla se asume un valor 5 mm, para en las tablas posteriores ir aumentando su valor de 5 en 5 mm hasta llegar a 50 mm. No se realiza la primera tabla con un hundimiento ( $h$ ) de 0 mm debido a que en la ecuación 4.9-10 se produciría una división para cero, dando como resultado un área infinita.
2. Se asume un valor inicial de largo de patín ( $l_{\text{patín}}$ ) de 35.00 cm (basado en experiencias anteriores), para desde este valor converger a la verdadera longitud del patín.
3. Por medio de la ecuación 4.9-15, se calcula el largo de la vicera ( $l_{\text{vicera}}$ ).
4. Con el uso de las ecuaciones 4.8-7, 4.8-8 y 4.8-9 se calculan las fuerzas debido al fuste de la vicera ( $F_{\text{fuste vicera}}$ ) y sus componentes horizontal ( $F_{\text{fuste vicera } x}$ ) y vertical ( $F_{\text{fuste vicera } y}$ ) respectivamente.
5. Utilizando la ecuación 4.9-6, se calcula el peso de los patines ( $W_{\text{patines}}$ ). No hay que olvidar que el ancho del patín es de 15.00 cm, y que el espesor de las planchas de los patines es de 1.00 mm (sección 4.2.9). La densidad del acero es  $7.8 \text{ gr/cm}^3$ .
6. Utilizando la ecuación 4.9-5, se obtiene el peso de la máquina ( $W$ ).
7. Con la ecuación 4.9-7 se encuentra la fuerza ( $F$ ) que se requiere para halar la máquina en estas condiciones.
8. Por medio de la ecuación 4.9-10, se calcula el área total horizontal ( $A_{\text{total } x}$ ) que requiere la máquina para sustentarse.

9. Con el uso de la ecuación 4.9-16 se determina una nueva longitud de patín ( $l_{patin}$ ), con la cual se debe repetir todo el proceso desde el paso 3.
10. Comparando el valor actual de  $l_{patin}$  con el anterior, se determina el error, de la siguiente forma:

$$\%Error = \left| \frac{l_{patin\ actual} - l_{patin\ anterior}}{l_{patin\ actual}} \right| \cdot 100 \quad (4.9-17)$$

Los resultados de estas tablas se han tabulado en la tabla del apéndice J-11, a partir de la cual se han contruido las curvas:

- h vs. W (apéndice K)
- h vs.  $l_{patin}$  (apéndice L)
- h vs. F (apéndice M)
- W vs. F (apéndice N)

### ANÁLISIS DE RESULTADOS Y SELECCIÓN DEL LARGO DE PATÍN ( $l_{patin}$ )

De acuerdo con los resultados de la tabla del apéndice J-11, para un hundimiento (h) de 5 mm, la máquina pesa 54.44 Kg, la fuerza que requiere para ser halada es de 17.81 Kg y el largo de patín requerido es de 12.11 m. En cambio para un hundimiento de 10 mm, la máquina pesa 19.72 Kg, la fuerza requerida para halarla es de 6.63 Kg, mientras que su largo de patín requerido es de 2.12 m. Como se puede apreciar, para un hundimiento de 5 a

10 mm la máquina experimenta una disminución de su peso de un 63.77% con respecto al valor inicial, mientras que, la fuerza experimenta una disminución del 62.79%, y en cuanto a la longitud de los patines, una disminución del 82.48%.

Para un hundimiento de 10 a 15 mm se tiene una disminución del peso de un 17.52% con respecto al valor anterior, una disminución de la fuerza de un 16.07%, así como una disminución de la longitud del patín de un 46.74%.

Si se incrementa el hundimiento en 5 mm más ( $h=15$  a  $20$  mm), se tiene una disminución del peso de un 8.00% con respecto al valor anterior, 6.81% en cuanto a la fuerza y 33.42% en cuanto a la longitud del patín.

Para mayores valores de hundimiento de la máquina, se gana poco en disminución de peso de la máquina, fuerza y longitud de patín como se observa a continuación en la tabla 4.9:

Variación de Hundimiento $h$ (mm)	Variación de Peso $W$ (%)	Variación de Fuerza $F$ (%)	Variación de Largo de patín $l_{patin}$ (%)
5 – 10	-63.77	-62.79	-82.48
10 – 15	-17.52	-16.07	-46.74
15 – 20	-8.00	-6.81	-33.42
20 – 25	-4.55	-3.66	-26.74
25 – 30	-2.93	-2.34	-22.91
30 – 35	-2.04	-1.74	-20.62
35 – 40	-1.52	-1.70	-19.53
40 – 45	-1.16	-1.66	-18.94
45 – 50	-0.92	-1.73	-18.92

Tabla 4.9

Por lo tanto, se seleccionan los patines para un hundimiento (h) de 20 mm, ya que de ahí en adelante el peso de la máquina, la fuerza para halarla y el largo de patín disminuyen en pequeños porcentajes. Por lo tanto se tiene que:

$$\begin{aligned}
 h &= 20.00 \text{ mm} \\
 W &= 14.96 \text{ Kg} \\
 F &= 5.18 \text{ Kg} \angle 33^\circ \\
 l_{\text{patin}} &= 752.4 \text{ mm} \approx 752 \text{ mm} \\
 l_{\text{vicera}} &= 28.3 \text{ mm} \approx 28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 4.10. CÁLCULO DE LA FUERZA PARA HALAR LA MÁQUINA

Utilizando la ecuación 4.9-7 se puede calcular la fuerza (F) para halar la máquina, pero de acuerdo con el análisis realizado en la sección 4.9 se determinó que el peso de la máquina (W) es de 14.96 Kg, y la fuerza que se requiere para halarla es de 5.18 Kg a 33° con respecto al suelo.

#### 4.11. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LOS PERFILES SELECCIONADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

De acuerdo con el diseño de forma, la máquina se ha diseñado para ser construida utilizando los perfiles comerciales más pequeños, debido a que las cargas y esfuerzos que actúan sobre ellos se han considerado de poca incidencia. Esto es lo que a continuación se demuestra, calculando el

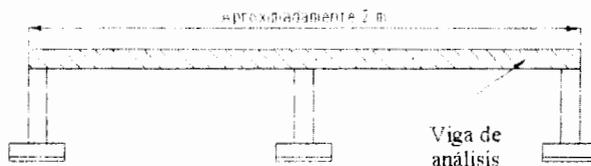
esfuerzo máximo que actúa sobre cada uno (casos críticos), y comparando este valor con el de la resistencia a la fluencia que tiene el material ( $S_y = 340$  MPa).

A continuación se hace una lista de los principales perfiles utilizados, y de las partes que se construyen con ellos.

PERFIL	PARTES
Angulo de acero de 20x20x2 mm	Marco, cojinetes de deslizamiento
Plancha de acero galvanizado de 0.5 mm	Tolvas, paletas
Plancha de acero inoxidable de 1.00 mm	Patines
Tubo de acero de 20x2 mm	Ejes, cojinetes de deslizamiento, ruedas propulsoras
Fleje de acero de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$ in	Ruedas propulsoras

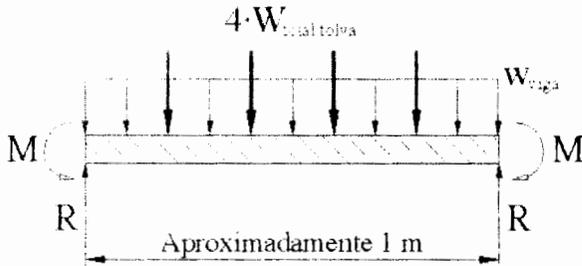
#### 4.11.1. ÁNGULO DE ACERO DE 20x20x2 mm

Este perfil será utilizado para la construcción del marco de la máquina y de las carcazas de los cojinetes de deslizamiento. El caso más crítico se da en la viga del marco (figura 4.11.1-1) que soporta el peso de las tolvas y el de las semillas ( $8 \cdot W_{\text{total tolva}}$ ), por este motivo se centrará el análisis en esa viga.



Viga de análisis del marco  
Figura 4.11.1-1

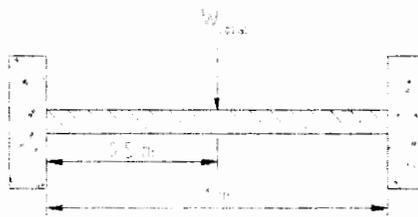
Para facilitar el análisis, se puede tomar la mitad de la viga con sus correspondientes cargas como se ve en la figura 4.11.1-2.



Análisis en la mitad de la viga

Figura 4.11.1-2

En la figura 4.11.1-2 se asume que las tolvas con las semillas se apoyan sólo sobre la viga, para llevar el análisis al caso crítico. Además, esta viga se puede ver como si fuera una viga empotrada en sus extremos (figura 4.11.1-3), las cargas se las puede sumar y colocarlas en el centro de la viga, lo cual facilita el cálculo del esfuerzo máximo ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ).



Viga empotrada en sus extremos

Figura 4.11.1-3

Para una viga sometida a este tipo de cargas, el esfuerzo máximo ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ) ocurre por la flexión de la viga, y se lo calcula de la siguiente forma:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}} \cdot C}{I} \quad (4.11.1-1)$$

Donde:

$\sigma_{\text{máx}}$  = Esfuerzo máximo

$M_{\text{máx}}$  = Momento máximo

$C$  = Distancia del centro de la sección a su fibra más externa

$I$  = Momento de inercia

De acuerdo con Singer & Pytel [15], para una viga empotrada en los extremos y cargada en su centro, el momento máximo ( $M_{\text{máx}}$ ) es:

$$M_{\text{máx}} = \frac{W_{\text{total}} \cdot l}{8} \quad (4.11.1-2)$$

Donde:

$W_{\text{total}}$  = Peso total que actúa sobre la viga

$l$  = Longitud de la viga

El peso total ( $W_{\text{total}}$ ), es la suma del peso de las tolvas más el peso de las semillas y más el peso de la viga, cuyo peso por unidad de longitud es 0.58 Kg/m [12], por lo tanto:

$$W_{\text{total}} = [4 \cdot (W_{\text{total tolva}} + W_{\text{semillas}})] + [(0.58 \text{ Kg/m}) \cdot 1] \quad (4.11.1-3)$$

Donde, del apéndice A se tiene que:

$$W_{\text{total tolva}} = \text{Peso total de la tolva con las semillas} = 0.486 \text{ Kg}$$

Por lo tanto, reemplazando los valores correspondientes en la ecuación 4.11.1-3, se tiene que:

$$W_{\text{total}} = [4 \cdot (0.486 \text{ Kg})] + [(0.58 \text{ Kg/m}) \cdot (1\text{m})]$$

$$W_{\text{total}} = 2.524 \text{ Kg} = 24.760 \text{ New}$$

•

Reemplazando en la ecuación 4.11.1-2, se tiene que:

$$M_{\text{máx}} = \frac{(24.760 \text{ New}) \cdot (1\text{m})}{8}$$

$$M_{\text{máx}} = 3.095 \text{ New} \cdot \text{m}$$

De acuerdo con el catálogo IPAC [12], los valores de I y C correspondientes al ángulo de 20x20x2 mm son:

$$I = 0.28 \text{ cm}^4$$

$$C = 1.41 \text{ cm}$$

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación 4.11.1-1, se tiene que:

$$\sigma_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = \frac{(3.095 \text{New} \cdot \text{m}) \cdot (1.41 \text{cm})}{0.28 \text{cm}^4} \cdot \frac{10^6 \text{cm}^3}{1 \text{m}^3}$$

$$\sigma_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = 15.59 \text{MPa}$$

Comparando este valor de esfuerzo maximo ( $\sigma_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$ ) con el valor de la resistencia a la fluencia del material ( $S_y = 340 \text{MPa}$ ), se tiene que:

$$S_y > \sigma_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$$

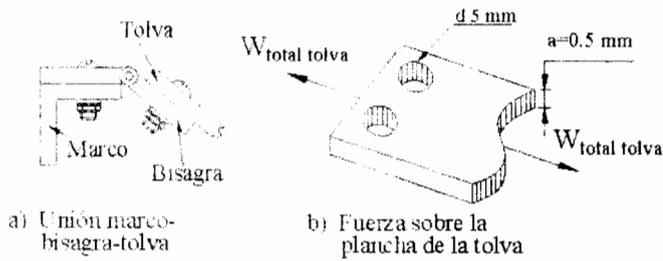
$$340 \text{MPa} > 15.59 \text{MPa}$$

Debido a que la resistencia a la fluencia del material ( $S_y$ ) es mayor que el esfuerzo maximo ( $\sigma_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$ ) que va a resistir la viga, se concluye que el ángulo de acero de 20x20x2 mm está bien seleccionado.

#### 4.11.2. PLANCHA DE ACERO DE 0.5 mm

La plancha de acero de 0.5 mm fue seleccionada para la construcción de las tolvas y de las paletas, donde el caso más crítico se da en las tolvas, ya que éstas se sujetan a las bisagras y se asume como peor de los casos que el peso de la tolva y las semillas lo resiste

la unión empernada bisagra-tolva. Cada bisagra se sujeta al marco por medio de dos pernos y a la tolva por medio de dos pernos más (figura 4.11.2). El diámetro de los agujeros para los pernos es de 5 mm.



Análisis en la plancha de la tolva  
Figura 4.11.2

Si la plancha de la tolva fallara en la unión, lo haría por aplastamiento, por lo tanto, ese esfuerzo de aplastamiento ( $\sigma_{\text{aplastamiento}}$ ) corresponde a:

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{W_{\text{total tolva}}}{\text{área}} = \frac{W_{\text{total tolva}}}{2 \cdot a \cdot d} \quad (4.11.2)$$

Donde:

$W_{\text{total tolva}}$	=	0.486 Kg	=	4.768 New	(apéndice A)
$a$	=	0.5 mm	=	Espesor de plancha	
$d$	=	5.0 mm	=	Diámetro de agujeros	

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación 4.11.2, se tiene que:

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{4.768 \text{ New}}{2 \cdot (0.5 \times 10^{-3} \text{ m}) \cdot (5 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = 953.60 \text{ KPa}$$

Comparando el esfuerzo de aplastamiento ( $\sigma_{\text{aplastamiento}}$ ) con el valor de la resistencia a la fluencia del material ( $S_y = 340 \text{ MPa}$ ), se tiene que:

$$S_y > \sigma_{\text{aplastamiento}}$$

$$340 \text{ MPa} > 0.95 \text{ MPa}$$

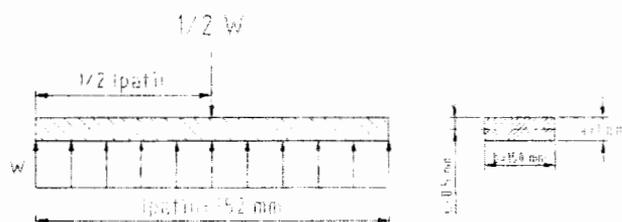
Como se puede observar, la resistencia a la fluencia del material ( $S_y$ ) es mucho mayor que el esfuerzo por aplastamiento ( $\sigma_{\text{aplastamiento}}$ ) que recibiría el material de la tolva, por lo tanto, se concluye que la plancha de acero galvanizado de 0.5 mm está bien seleccionada.

#### ***4.11.3. PLANCHA DE ACERO DE 1.00 mm***

Se ha seleccionado la plancha de acero inoxidable de 1.00 mm para la construcción de los patines.

La máquina posee tres patines, uno en cada extremo, y uno en el centro. El patín del centro resiste la mitad del peso de la máquina ( $\frac{1}{2}W_{\text{máquina}}$ ), mientras que cada patín de los extremos, resiste la cuarta parte del peso de la máquina ( $\frac{1}{4}W_{\text{máquina}}$ ). Por lo tanto, se centra el análisis en el patín central, que es el que más carga resiste.

En la figura 4.11.3-1 se puede apreciar al patín central, visto de lado, actuando como una viga, el cual recibe del suelo una reacción en forma de carga uniformemente distribuida como respuesta al peso que soporta.



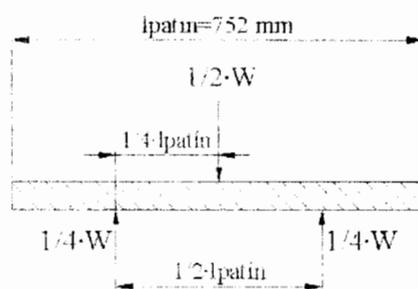
Patín como una viga  
Figura 4.11.3-1

Donde:

$W$	$=$	146.76 New	$=$	Peso de la máquina (sección 4.9)
$l_{\text{patín}}$	$=$	752.4 mm	$=$	Longitud del patín (sección 4.9)
$b$	$=$	150.0 mm	$=$	Ancho del patín
$a$	$=$	1.0 mm	$=$	Espesor de plancha
$C$	$=$	0.5 mm	$=$	$\frac{1}{2}a$

w – Reacción del suelo por unidad de longitud

El patín se puede convertir en una viga de la siguiente forma (figura 4.11.3-2).



Patín como viga alternativa

Figura 4.11.3-2

Se ha llevado el patín a este modelo debido a que tienen un comportamiento similar. Para una viga sometida a flexión, con este tipo de cargas, el esfuerzo máximo ( $\sigma_{\max}$ ) se determina utilizando la ecuación 4.11.1-1.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot C}{I} \quad (4.11.1-1)$$

Para este modelo, según Singer & Pytel [15], el momento máximo ( $M_{\max}$ ) es:

$$M_{\max} = \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot W\right) \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot l_{patin}\right)^2}{\frac{1}{2} \cdot l_{patin}} \quad (4.11.3-1)$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot (146.76 \text{New})\right) \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot (0.752 \text{m})\right)^2}{\frac{1}{2} \cdot (0.752 \text{m})}$$

$$M_{\text{máx}} = 6.90 \text{ New}\cdot\text{m}$$

El momento de inercia (I) se calcula como sigue (figura 4.11.3-1):

$$I = \frac{b \cdot a^3}{12} \quad (4.11.3-2)$$

$$I = \frac{(0.150 \text{m}) \cdot (10^{-3} \text{m})^3}{12}$$

$$I = 1.25 \times 10^{-11} \text{ m}^4$$

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación 4.11.1-1, se tiene que:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{(6.90 \text{ New}\cdot\text{m}) \cdot (0.5 \times 10^{-3} \text{m})}{1.25 \times 10^{-11} \text{m}^4}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 276 \text{ MPa}$$

Comparando el valor de la resistencia a la fluencia del material ( $S_y = 340 \text{ MPa}$ ) con el valor de esfuerzo máximo obtenido ( $\sigma_{\text{máx}}$ ), se tiene que:

$$S_y > \sigma_{\text{máx}}$$

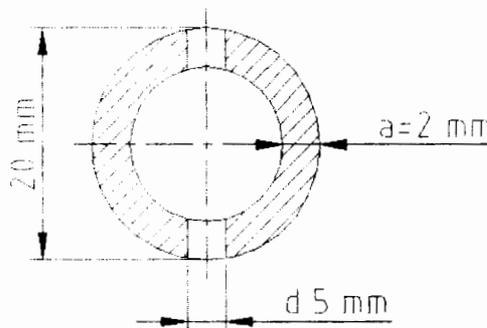
$$340 \text{ MPa} > 276 \text{ MPa}$$

Dado que el esfuerzo máximo ( $\sigma_{\text{máx}}$ ) alcanzado es menor que la resistencia a la fluencia del material ( $S_y$ ), se acepta la selección de la plancha de acero inoxidable de 1.00 mm.

#### 4.11.4. TUBO DE ACERO DE 20x2 mm

El tubo de acero de 20x2 mm se ha seleccionado para la construcción de los ejes, los cojinetes de deslizamiento y para el eje de las ruedas propulsoras.

El caso más crítico se da en los ejes en la parte de la unión emperrada con los ejes de acoplamiento. En la figura 4.11.4 se observa un corte del eje en esta parte.



Sección del eje en la unión emperrada

Figura 4.11.4

Para el caso más crítico, se va a asumir que esta unión va a recibir todo el torque que hacen las esrellas para mover las tolvas ( $T_{\text{tolvas máximo}}$ ). La fuerza debida al torque ( $F_{\text{torque}}$ ) en la parte exterior del tubo (caso crítico) corresponde a:

$$F_{\text{torque}} = \frac{T_{\text{tolvas máximo}}}{\text{Radio}_{\text{exterior}}} \quad (4.11.4-1)$$

Donde:

$$T_{\text{tolvas máximo}} = 71.28 \times 10^{-3} \text{ New} \cdot \text{m} \text{ (sección 4.5)}$$

$$\text{Radio}_{\text{exterior}} = 10 \text{ mm}$$

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación 4.11.4-1, se tiene que:

$$F_{\text{torque}} = \frac{71.28 \times 10^{-3} \text{ New} \cdot \text{m}}{10 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$F_{\text{torque}} = 7.128 \text{ New}$$

Al igual que en el caso de la tolvas, si falla el eje, lo hará en la unión empernada con el eje de acoplamiento, por aplastamiento, por lo tanto, el esfuerzo de aplastamiento ( $\sigma_{\text{aplastamiento}}$ ) será:

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{F_{\text{torque}}}{2 \cdot (a \cdot d)} \quad (4.11.4-2)$$

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{7.128 \text{New}}{2 \cdot (2 \times 10^{-3} \text{m}) \cdot (5 \times 10^{-3} \text{m})}$$

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = 356.4 \text{ KPa}$$

Si se compara el valor del esfuerzo de aplastamiento obtenido ( $\sigma_{\text{aplastamiento}}$ ) con el valor de la resistencia a la fluencia del material ( $S_y = 340 \text{ MPa}$ ), se tiene que:

$$S_y > \sigma_{\text{aplastamiento}}$$

$$340 \text{ MPa} > 0.36 \text{ MPa}$$

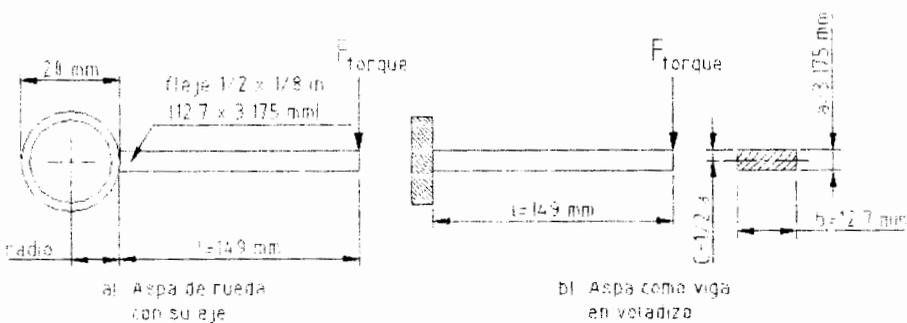
Como se puede observar el valor de la resistencia a la fluencia del material ( $S_y$ ) es mucho mayor que el valor del esfuerzo de aplastamiento ( $\sigma_{\text{aplastamiento}}$ ), por lo tanto, se puede concluir que el tubo de acero de 20x2 mm está bien seleccionado.

#### 4.11.5. FLEJE DE ACERO DE $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$ in

Se ha seleccionado el fleje de acero de  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$  in para la construcción de las aspas de las ruedas propulsoras.

Para determinar que la selección es correcta, se determinará el espesor del fleje que se requiere (a), asumiendo el mismo ancho del fleje ( $b = \frac{1}{2} \text{ in} = 12.7 \text{ mm}$ ), si el espesor calculado del fleje es menor que el seleccionado, se acepta el perfil seleccionado.

Para el análisis de las aspas, se toma una de ellas, la misma que por el hecho de estar soldada a su eje (tubo 20x2 mm) se la puede ver como una viga en voladizo (figura 4.11.5). Para el análisis de la viga en voladizo, se asume una fuerza ( $F_{\text{torque}}$ ) debida al torque máximo ( $T_{\text{tolvas máximo}}$ ), la cual, como caso crítico, se la asume como que si estuviera concentrada en la punta del aspa.



Análisis en el aspa de una rueda  
Figura 4.11.5

La fuerza ( $F_{\text{torque}}$ ) se la calcula de la siguiente forma:

$$F_{\text{torque}} = \frac{T_{\text{tolvas máximo}}}{l + \text{radio}} \quad (4.11.5-1)$$

Donde:

$$T_{\text{tolas máximo}} = 71.28 \times 10^3 \text{ New}\cdot\text{m (sección 4.5)}$$

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación 4.11.5-1,

se tiene que:

$$F_{\text{torque}} = \frac{71.28 \times 10^3 \text{ New}\cdot\text{m}}{(0.149\text{m}) + (0.01\text{m})}$$

$$F_{\text{torque}} = 0.448 \text{ New}$$

El esfuerzo máximo ( $\sigma_{\text{máx}}$ ) sobre esta viga se la calcula por flexión utilizando la ecuación 4.11.1-1:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}} \cdot C}{I} \quad (4.11.1-1)$$

El momento máximo ( $M_{\text{máx}}$ ) se calcula como sigue:

$$M_{\text{máx}} = F_{\text{torque}} \cdot l \quad (4.11.5-2)$$

$$M_{\text{máx}} = (0.448 \text{ New}) \cdot (0.149\text{m})$$

$$M_{\text{máx}} = 0.067 \text{ New}\cdot\text{m}$$

El momento de inercia se calcula utilizando la ecuación 4.11.3-2:

$$I = \frac{b \cdot a^3}{12} \quad (4.11.3-2)$$

El valor de C es:

$$C = \frac{1}{2} \cdot a \quad (4.11.5-3)$$

Combinando las ecuaciones 4.11.5-1, 4.11.5-2 y 4.11.5-3 se tiene que:

$$a = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{\text{máx}}}{b \cdot \sigma_{\text{máx}}}} \quad (4.11.5-4)$$

$$a = \sqrt{\frac{6 \cdot (0.067 \text{New} \cdot \text{m})}{(0.0127 \text{m}) \cdot \left(340 \times 10^6 \frac{\text{New}}{\text{m}^2}\right)}}$$

$$a = 3.05 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.305 \text{ mm}$$

Comparando el espesor del fleje seleccionado ( $a_{\text{selección}}$ ) con el calculado (a), se tiene que:

$$a_{\text{selección}} > a_{\text{requerido}}$$

$$3.175 \text{ mm} > 0.305 \text{ mm}$$

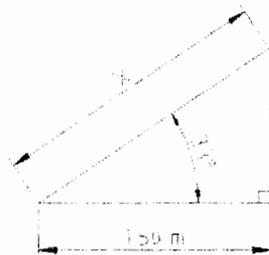
Por lo tanto se puede concluir que el fleje de  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$  in está bien seleccionado para la construcción de las aspas de la ruedas propulsoras.

## 4.12. CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD

### 4.12.1. FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO EN LOS PERNOS

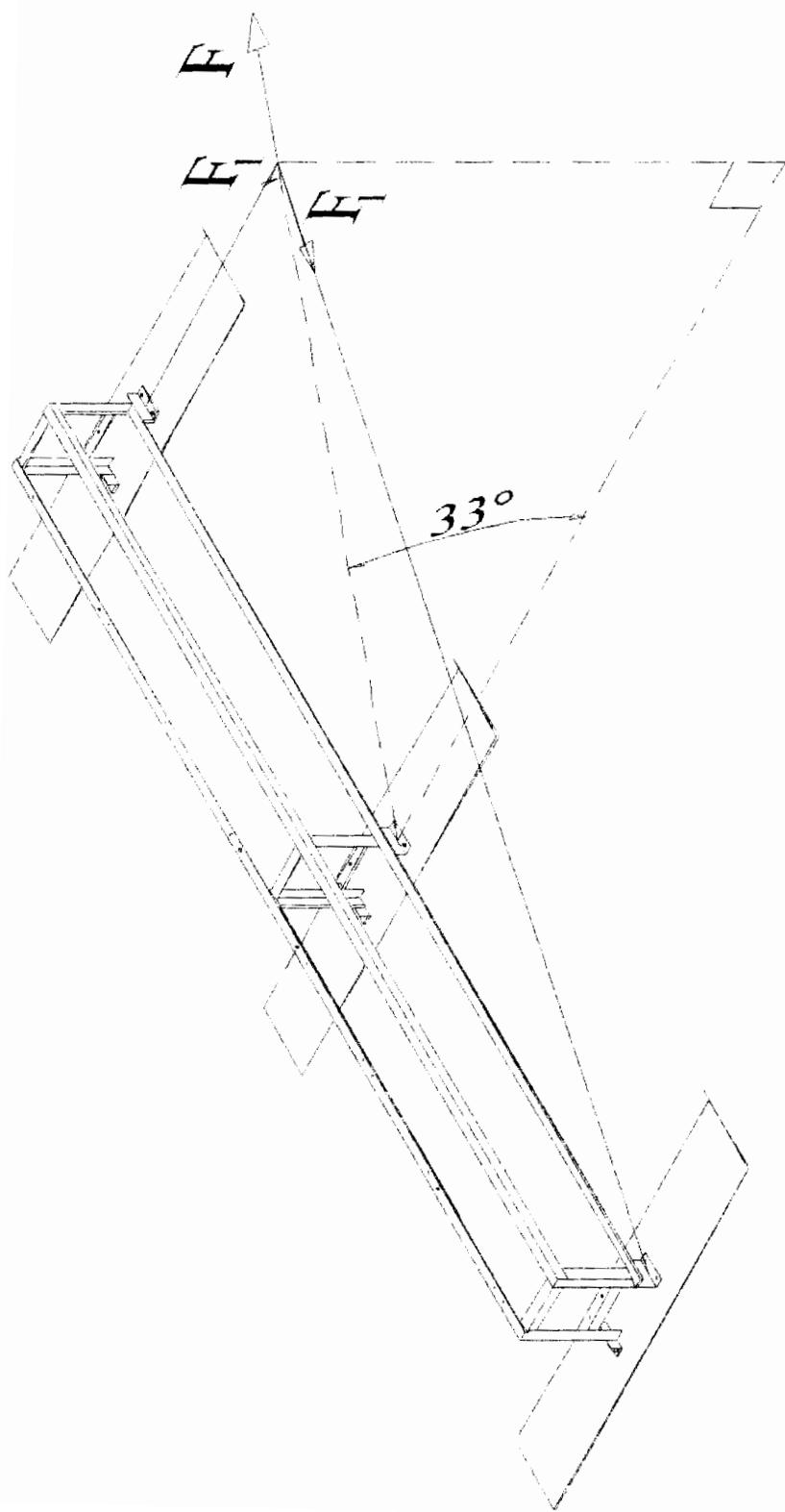
Para el análisis del factor de seguridad estático en los pernos hay que determinar dónde y qué fuerzas actúan.

De acuerdo con la sección 4.10, la fuerza (F) que requiere hacer una persona para halar la máquina es de 5.18 Kg, con un ángulo de  $\phi=33^\circ$  con respecto al suelo. La fuerza F se divide, por simetría, en dos fuerzas iguales ( $F_1$ ) (figura 4.12.1-1), las cuales tienen la dirección de las cuerdas que enganchan la máquina. De acuerdo con el diseño de forma (sección 4.2.12), la distancia recomendada entre la persona y la máquina es de 1.50 m, formándose el triángulo (figura 4.12.1-2):



Ángulo que forma F con el suelo

Figura 4.12.1-2



Puntos de Aplicación y dirección  
de la fuerza de Tiro (F)

Figura 4.12.1-1

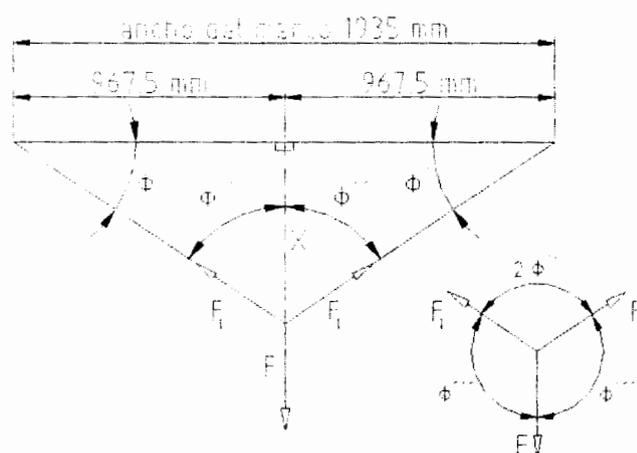
Aplicando el coseno al ángulo  $\phi$ , se tiene que:

$$\text{Cos}\phi = \frac{1.50m}{X}$$

$$X = \frac{1.50m}{\text{Cos}33^\circ}$$

$$X = 1.789 \text{ m}$$

Si se observa como se divide la fuerza ( $F$ ) en la dirección de las cuerdas, se pueden obtener los valores de  $F_1$  (figura 4.12.1-3).



Fuerzas  $F$  y  $F_1$   
Figura 4.12.1-3

$\phi'$  es el ángulo entre el marco y las cuerdas, y se lo puede determinar aplicando la tangente a  $\phi'$ .

$$\text{Tan}\phi' = \frac{X}{0.9675m}$$

$$\phi' = \text{ArcTan}\left(\frac{1.789m}{0.9675m}\right)$$

$$\phi' = 61.60^\circ$$

Teniendo en cuenta que  $\phi''$  es el complemento de  $\phi$ , se tiene que:

$$\phi' + \phi'' = 90^\circ$$

$$\phi'' = 90^\circ - \phi' = 90^\circ - 61.60^\circ$$

$$\phi'' = 28.40^\circ$$

El ángulo que se forma entre la fuerza  $F$  y cualquiera de sus componentes  $F_1$  es  $\phi'''$ , mientras que el ángulo entre las componentes  $F_1$  es  $2 \cdot \phi''$ , por lo tanto, de la figura 4.12.1-3, se tiene que:

$$(2 \cdot \phi''') + (2 \cdot \phi'') = 360^\circ$$

$$\phi''' = 180^\circ - \phi'' = 180^\circ - 28.40^\circ$$

$$\phi''' = 151.60^\circ$$

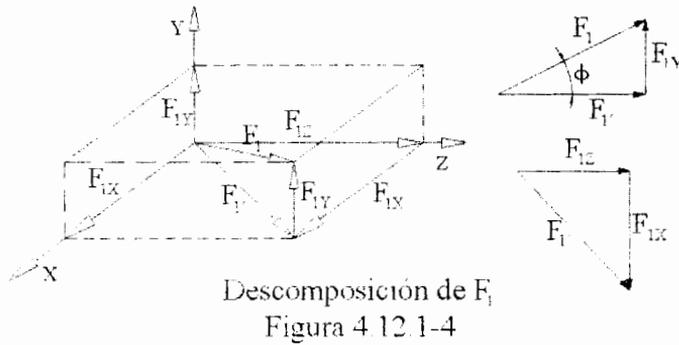
Aplicando la ley del seno en la estrella de fuerzas se tiene que:

$$\frac{F_1}{\text{Sen}\phi'''} = \frac{F}{\text{Sen}(2 \cdot \phi'')}$$

$$F_1 = F \cdot \left( \frac{\text{Sen}\phi'''}{\text{Sen}(2 \cdot \phi'')} \right) = 5.18 \cdot \left( \frac{\text{Sen}151.60^\circ}{\text{Sen}123.20^\circ} \right)$$

$$F_1 = 2.94 \text{ Kg}$$

La fuerza  $F_1$  tiene componentes en las direcciones X, Y y Z como se ve en la figura 4.12.1-4.



Para hallar  $F_{1y}$  se aplica la tangente al ángulo  $\phi$ , por lo tanto:

$$\text{Tan}\phi = \frac{F_{1y}}{F_1}$$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \text{Tan}\phi = (2.94 \text{ Kg}) \cdot \text{Tan}33^\circ$$

$$F_{1y} = 1.91 \text{ Kg} = 4.20 \text{ lb}$$

Para hallar las componentes  $F_{1x}$  y  $F_{1z}$ , es conveniente hallar de antemano la proyección  $F_{1'}$ , la cual es la proyección de  $F_1$  sobre el plano XZ. Por lo tanto, aplicando el coseno al ángulo  $\phi$ , se tiene que:

$$\text{Cos}\phi = \frac{F_{1'}}{F_1}$$

$$F_{1'} = F_1 \cdot \text{Cos}\phi = (2.94 \text{ Kg}) \cdot \text{Cos}33^\circ$$

$$F_1 = 2.47 \text{ Kg}$$

Ahora, aplicando seno y coseno al ángulo  $\phi'$  se tiene que:

$$\text{Sen}\phi' = \frac{F_{1x}}{F_1}$$

$$F_{1x} = F_1 \cdot \text{Sen}\phi' = (2.47 \text{ Kg}) \cdot \text{Sen}61.60^\circ$$

$$F_{1x} = 2.17 \text{ Kg} = 4.78 \text{ lb}$$

$$\text{Cos}\phi' = \frac{F_{1z}}{F_1}$$

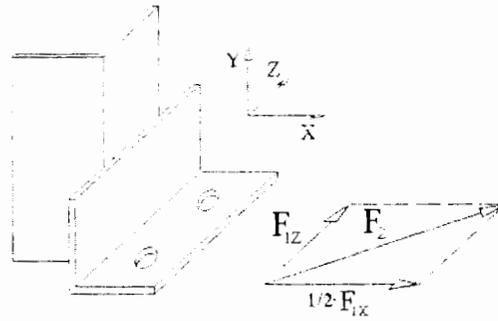
$$F_{1z} = F_1 \cdot \text{Cos}\phi' = (2.47 \text{ Kg}) \cdot \text{Cos}61.60^\circ$$

$$F_{1z} = 1.18 \text{ Kg} = 2.60 \text{ lb}$$

Se centra el punto de análisis en las patas de enganche de la máquina, donde, los patines se unen a las mismas por medio de pernos.

Para hacer el análisis correspondiente y encontrar el factor de seguridad estático, se debe determinar primeramente el diámetro de los pernos.

De acuerdo con el análisis de fuerzas hecho, se tiene que las fuerzas que actúan sobre los pernos son  $F_{1x}$  y  $F_{1z}$  (figura 4.12.1-5).



Fuerzas que actúan sobre los pernos de las patas

Figura 4.12.1-5

La fuerza  $F_{1x}$  se divide para dos ya que se reparte entre la pata delantera y la trasera.

Para hacer más sencillo el análisis es conveniente sumar las fuerzas  $F_{1x}$  y  $F_{1z}$ , y trabajar con su resultante ( $F_2$ ), ya que las dos fuerzas actúan sobre los pernos provocando el esfuerzo cortante, por lo tanto:

$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot F_{1x}\right)^2 + (F_{1z})^2}$$

$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot 4.78lb\right)^2 + (2.60lb)^2}$$

$$F_2 = 3.53 \text{ lb}$$

Debido a que los pernos van a trabajar al corte, se aplica la Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo. La resistencia a la fluencia en cortante ( $S_{sy}$ ) es 0.5 veces la resistencia a la fluencia ( $S_y$ ) [8], por lo tanto:

$$\eta_{est} = \frac{S_{2y}}{\tau_{m\acute{a}x}} = \frac{0.5 \cdot S_y}{\tau_{m\acute{a}x}} \quad (4.12.1-1)$$

Debido a que no se requiere pernos con tratamientos especiales, los pernos que se utilizan, son de grado 1, con las siguientes características [8]:

$$S_{ur} = 60 \text{ Kpsi}$$

$$S_y = 36 \text{ Kpsi}$$

Para hallar un diámetro de perno (d) adecuado, se escribe la ecuación 4.15-1 en términos del diámetro del perno, y se los despeja:

$$\eta_{est} = \frac{0.5 \cdot S_y}{\tau_{m\acute{a}x}} = \frac{0.5 \cdot S_y}{\frac{F_2}{2 \cdot Area}} = \frac{Area \cdot S_y}{F_2}$$

$$\eta_{est} = \frac{\left( \pi \frac{d^2}{4} \right) S_y}{F_2} = \frac{\pi S_y d^2}{4 F_2}$$

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{\eta_{est} F_2}{\pi S_y}} \quad (4.12.1-2)$$

El esfuerzo cortante máximo ( $\tau_{m\acute{a}x}$ ) se divide para dos ya que son dos pernos.

Es necesario asumir un factor de seguridad para hallar el diámetro del perno (d), por lo tanto con un valor de  $\eta_{est} = 2$ , se tiene que:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (3.53lb)}{\pi (36000 psi)}}$$

$$d = 0.016 \text{ in}$$

Como se puede ver, el diámetro del perno (d) obtenido es muy pequeño, es decir, el problema de selección de los pernos no es de resistencia, sino, de forma, por lo tanto, para utilizar el mismo diámetro de perno en toda la máquina, y teniendo en cuenta un perno comercial, fácil de conseguir en el mercado, se ha seleccionado el perno  $\frac{3}{16}$ " UNC de grado 1, el cual tiene un área al diámetro menor ( $A_r$ ) [8] de:

$$A_r = 0.143 \text{ in}^2$$

Por lo tanto, para hallar el esfuerzo cortante máximo ( $\tau_{\text{máx}}$ ) sobre el perno, se tiene que:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{F_2}{2 \cdot A_r} \quad (4.12.1-3)$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{3.53lb}{2(0.143 \text{ in}^2)}$$

$$\tau_{\text{máx}} = 123.43 \text{ psi}$$

Por lo tanto, para hallar el factor de seguridad estático ( $\eta_{\text{est}}$ ) del perno  $\frac{3}{16}$ " UNC grado 1, se utiliza la ecuación 4.12.1-1:

$$\eta_{est} = \frac{0.5 \cdot (36000 \text{ psi})}{123.43 \text{ psi}}$$

$$\eta_{est} = 145.83$$

#### 4.12.2. FACTOR DE SEGURIDAD POR FATIGA EN LOS PERNOS

De acuerdo con la sección 4.12.1, se seleccionaron los pernos de  $\frac{3}{16}$ " UNC grado 1. Si se aplica la Teoría de Goodman Modificada, se tiene que:

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{\eta_{fatiga}} \quad (4.12.2-1)$$

Donde:

- $\sigma'_a$  = Amplitud del esfuerzo de Von Misses
- $\sigma'_m$  = Esfuerzo máximo de Von Misses
- $S_e$  = Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico
- $S_{ut}$  = Resistencia mínima a la tensión
- $\eta_{fatiga}$  = Factor de seguridad por fatiga

Se emplea la Teoría de la Distorsión o de Von Misses [8], ya que se tienen esfuerzos combinados.

El primer término de la ecuación 4.12.2-1 es cero, ya que la amplitud del esfuerzo de Von Misses ( $\sigma'_a$ ) no existe. Por otro lado, el esfuerzo medio de Von Misses ( $\sigma'_m$ ) se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - (\sigma_x \cdot \sigma_y) + (3 \cdot \tau_{xy}^2)} \quad (4.12.2-2)$$

$$\sigma'_m = \sqrt{3} \cdot \tau_{\text{máx}}$$

El esfuerzo medio de Von Misses ( $\sigma'_m$ ) queda sólo en función del esfuerzo cortante máximo ( $\tau_{\text{máx}}$ ), debido a que sólo existe cortante, por lo tanto:

$$\sigma'_m = \sqrt{3} \cdot (123.43 \text{ psi})$$

$$\sigma'_m = 213.79 \text{ psi}$$

Teniendo en cuenta que:

$$S_{ut} = 60 \text{ Kpsi}$$

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación 4.12.2-1 se tiene que:

$$\frac{0}{S_e} + \frac{213.79 \text{ psi}}{60000 \text{ psi}} = \frac{1}{\eta_{fatiga}}$$

$$\eta_{fatiga} = 280.65$$

#### 4.13. ANÁLISIS DE LA PRUEBA DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL

El prototipo experimental utilizado para las pruebas tiene las siguientes características:

Peso del prototipo con semillas	10.75 Kg
Largo de patín	350.00 mm
Ancho de patín	100.00 mm
Vicera de patín	80.00 mm
Número de patines	3
Número de ruedas propulsoras	2
Número de aspas por rueda	8
Ángulo ( $\phi$ ) de la fuerza (F) respecto al suelo	25.77 °

Se ha llevado a cabo un proceso de iteración de punto fijo [14], en el cual, se desarrolla una tabla para determinar teóricamente el hundimiento (h) de la máquina (apéndice Ñ):

1. De acuerdo con las pruebas realizadas en el campo con el prototipo experimental, se trabajó con un largo de patín de 35 cm y un ancho de patín de 10 cm, con dichos valores, el prototipo, que pesaba 10.75 Kg, se hundió entre 25 y 30 mm. Por lo tanto, se tiene una idea del valor de h con el cual iniciar las iteraciones, debido a esto, se utilizará un valor de  $h = 25$  mm.
2. De acuerdo con la sección 4.8, en la tabla del apéndice I, se seleccionan los máximos valores de  $F_{\text{fuste rueda } x}$  y  $F_{\text{fuste rueda } y}$ . Se toma los máximos valores, considerando el caso crítico.

3. Con el uso de la ecuación 4.9-3 se determinan los valores de las componentes horizontal ( $F_{vicera\ x}$ ) y vertical ( $F_{vicera\ y}$ ) de la fuerza que actúa sobre las viceras de los patines.
4. Con el uso de las ecuaciones 4.8-7, 4.8-8 y 4.8-9 se calculan las fuerzas debido al fuste de la vicera ( $F_{fuste\ vicera}$ ) y sus componentes horizontal ( $F_{fuste\ vicera\ x}$ ) y vertical ( $F_{fuste\ vicera\ y}$ ) respectivamente. El largo de las viceras de los patines fue de 8 cm.
5. La fuerza de la rueda ( $F_{rueda}$ ) es la fuerza que debe hacer una rueda propulsora para mover una tolva y vencer la resistencia de los cojinetes, y se lo calcula a partir de la ecuación 4.9-2, donde el torque de la rueda propulsora se calcula a partir de la ecuación 4.7-10, pero teniendo en cuenta de que el valor del torque de las tolvas máximo obtenido ( $T_{tolvas\ máximo}$ ) de la tabla del apéndice F hay que dividirlo para 8 ya que el prototipo se probó sólo con una tolva y no con las ocho como lo inidica el diseño de forma. En la ecuación 4.9-2 se divide para 2 ya que son dos ruedas y se emplea el radio de la rueda ( $R_{rueda}=159\text{ mm}$ ), asumiendo el caso crítico de que la fuerza que genera el torque en las ruedas está concentrada en la punta de las aspas. Esto da como resultado  $F_{rueda} = 1.381 \times 10^{-2}\text{ Kg}$ .
6. Por medio de la ecuación 4.9-7 se obtiene el valor de fuerza ( $F$ ) para halar la máquina.

7. De la tabla del apéndice G-6 se obtienen los valores de  $A_{\text{rueda } x}$ , cuando la máquina no se hunde, es decir  $h=0$  ( $PT = 80$  mm, sección 4.7). Para diferentes valores de hundimiento ( $h$ ) de la máquina, basta con agregar el valor de  $h$  a la distancia  $PT$  y reemplazarlo en la tabla. De igual forma hay que reemplazar el ancho de aspa requerido ( $b_{\text{máximo}} = 3.83$  mm) por 12.70 mm que corresponde al ancho del fleje con el cual se construyen las ruedas (fleje  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$  in). De todos los valores de  $A_{\text{rueda } x}$  se selecciona el menor, ya que este provoca una situación crítica en el análisis.
8. Con la ecuación 4.9-10 se obtiene el valor del área total horizontal que sustenta a la máquina ( $A_{\text{total } x}$ ).
9. Utilizando la ecuación 4.9-9 se calcula un nuevo valor de  $h$  para empezar una nueva iteración desde el paso 2.
10. Comparando el valor actual de hundimiento ( $h$ ) con el anterior, se determina el error, de la siguiente forma:

$$\%Error = \left| \frac{h_{\text{actual}} - h_{\text{anterior}}}{h_{\text{actual}}} \right| \cdot 100 \quad (4.13)$$

Se realizaron 10 iteraciones cuyos resultados finales fueron (apéndice Ñ):

Altura de hundimiento (h)	38.55 mm
Fuerza teórica (F) para halar la máquina	3.48 Kg
Error	0.00065 %

En la prueba del prototipo experimental, la fuerza real con que se haló la máquina ( $F=7.5\text{Kg}$ ) fue mayor que la que fuerza teórica requerida ( $F=3.48\text{Kg}$ ). Manteniendo como constante la fuerza real, se desarrolló una nueva tabla (apéndice O), de la cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Fuerza real	7.50 Kg
Altura de hundimiento (h)	31.41 Mm
Error	0.00008 %

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. De acuerdo con la matriz de selección, el material idóneo para la construcción de la máquina es el acero galvanizado y como segunda alternativa se tiene el aluminio.
2. El costo total de la máquina se detalla a continuación:

CANT.	DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
16	Abrazaderas	7.14
8	Bisagras niqueladas	7.04
1	Arnés Cintura-Pecho	62.24
4½ m	Cuerda de Nylon ¼ in	2.12
	Pernos y Graseros	6.12
	Construcción de la máquina + materiales	65.14
	<b>TOTAL</b>	<b>149.80</b>

3. Para halar la máquina se recomienda usar un arnés cintura-pecho (ANSI A10.14) seleccionado en el diseño de forma.
4. Se determinó que la máquina sembradora de arroz utilice dos ruedas propulsoras de cuatro aspas cada una.

5. Se determinó que los patines tuvieran 752 mm de largo, 150 mm de ancho, una viciera de 28 mm a 45° del suelo. Con estas dimensiones se determinó que el peso la máquina es de 14.96 Kg (con semillas), que la fuerza teórica máxima que requiere para ser halada sobre el fango es de 5.18 Kg, y que se hunde 20 mm, aunque, realmente la máquina se hundirá menos ya que la fuerza que se hace es un poco mayor a la teórica (alrededor de 7.5 Kg).
6. La longitud del ala que deben formar las paletas, medidas desde la periferia del eje, corresponde a aproximadamente 2.5 cm para esparcir 10 de semilla en cada golpe. Esta longitud puede ser calibrada para variar la cantidad de semilla a esparcir.
7. Se requiere que el fango tenga una profundidad entre 25 y 30 cm ya que mayores profundidades dificultan la labor del agricultor, y menores profundidades no permiten el buen desarrollo de la planta.
8. La máquina es de fácil manejo y funcionamiento, sólo se requiere llenar las tolvas con semilla pregerminada, enganchar el arnés a la máquina y que la persona la hale. La máquina se mueve sólo en línea recta.
9. Las tolvas tienen capacidad para proporcionar semillas a lo largo de un poco más de 200 m (salpicando 10 semilla en cada golpe).

10. Se estima un gasto de semilla de 38.4 - 48 kg/ha salpicando 8-10 semillas en cada golpe, en una distribución de siembra de 25 x 25 cm.
11. La sembradora cubre un ancho de aproximadamente 2.00 m. Para cubrir una hectárea (100x100m) la sembradora tendrá que recorrer 100m en una dirección, luego regresar y así sucesivamente hasta cubrir la hectárea; en total se debe caminar 5000m (50 pasadas de 100m cada una).
12. Se recomienda caminar manteniendo un paso moderado y sobre todo constante para evitar un distanciamiento irregular de los grupos de semillas, y el cansancio o fatiga prematura.
13. Se recomienda guardar la máquina en un lugar seco, sin carga sobre ella para evitar deformaciones en el marco.
14. El mantenimiento que requiere la máquina es sumamente sencillo. Hay que lavarla con agua después de cada uso, y engrasar los cojinetes de deslizamiento para así expulsar cualquier impureza. La grasa que se recomienda es la "Marfax Multipurpose 2" de Texaco, aunque se puede usar otra de características similares.

# APÉNDICES

## **A. CÁLCULO DEL PESO DE LA MÁQUINA**

A continuación se calcula el peso de cada uno de los elementos de la máquina sembradora de arroz.

### **A.1. CÁLCULO DEL PESO DEL MARCO**

De acuerdo con el plano 2, el marco será construido usando ángulo de 20x20x2 mm cuyo peso por unidad de longitud es de 0.58 Kg/m [12].

Sumando las longitudes de ángulo a emplear, según el plano 2, se tiene que:

$$\text{Longitud ángulo } 20 \times 20 \times 2 \text{ mm} = 8005 \text{ mm} = 8.005 \text{ m}$$

Por lo tanto el peso del marco corresponde a:

$$\text{Peso marco} = (8.005 \text{ m}) \cdot (0.58 \text{ Kg/m}) = 4.643 \text{ Kg}$$

### **A.2. CÁLCULO DEL PESO DE UNA TOLVA**

Para hallar el peso de una tolva, se debe determinar, el volumen de material con el que se la construye, para luego multiplicar este valor por su densidad ( $7.8 \text{ gr/cm}^3$ ). Para encontrar el volumen del material a utilizar, se calculará el área total de la tolva, para luego multiplicar este valor por su

espesor de plancha correspondiente (0.5mm). Cada tolva está formada por 8 caras, las cuales, según la figura A son:

- 2      Área  $ABQGILN$
- 1      Área  $AA'N'N$
- 1      Área  $LL'N'N$
- 1      Área  $JJ'L'L$
- 1      Área  $HFJJ$
- 1      Área  $QQ'S'S$
- 1      Área  $BB'Q'Q$

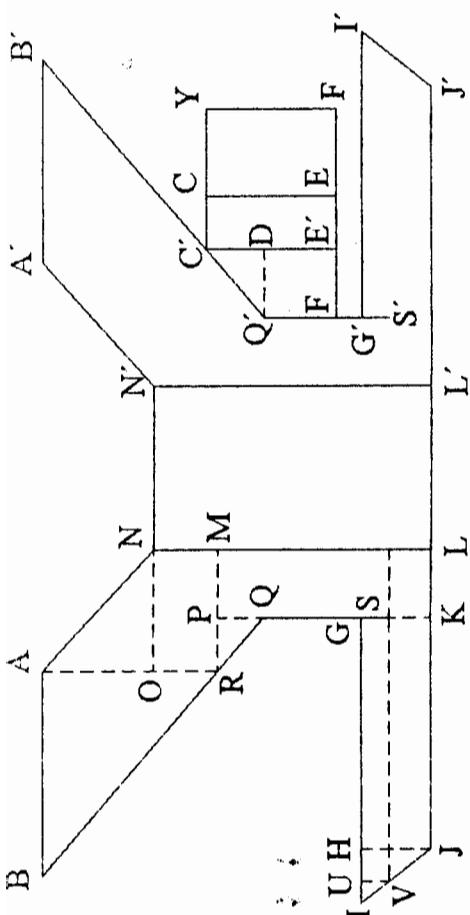
El área  $ABQGILN$ , se repite ya que se encuentra a un lado y otro de la tolva.

Además hay que considerar el ala donde los martillos golpean a la tolva para provocar su giro, la cual corresponde a las áreas:

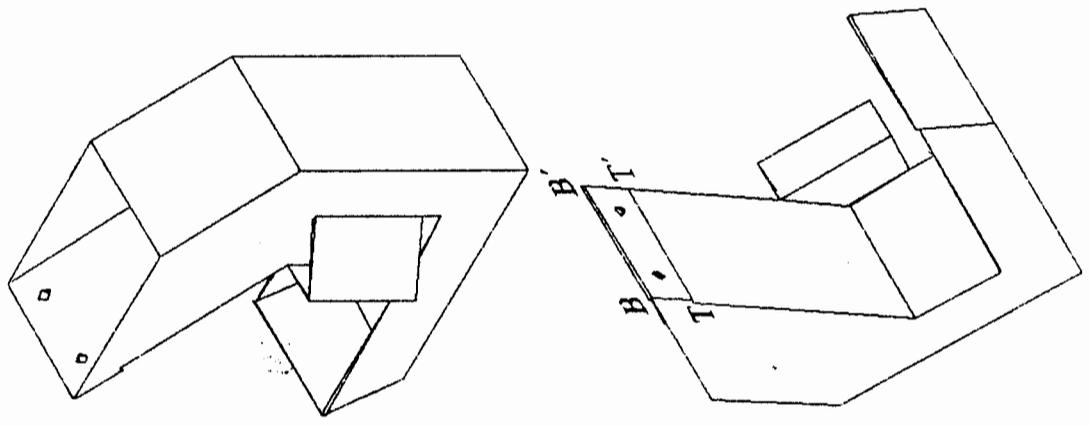
- 1      Área  $C'DE'FQ'$
- 1      Área  $CC'E'E$
- 1      Área  $CEFY$

Finalmente, se considera un refuerzo que se coloca en la parte donde se va a fijar la bisagra, para aumentar la rigidez en esa sección. Este refuerzo corresponde a:

- 1      Área  $BB'T'T$



SEGMENTO	DISTANCIA	SEGMENTO	DISTANCIA
	(mm)		(mm)
AB	75.0000	HJ	25.0000
AA'	60.0000	IJ	32.0156
AN	60.2080	IU	8.0000
AO	40.0000	JK	85.0000
AR	63.1579	JL	110.0000
BQ	124.1974	JW	15.0000
BT	20.0000	LK	25.0000
CC'	20.0000	LM	76.8421
C'D	21.0526	LN	100.0000
CE	46.6435	MN	23.1579
DE'	25.5874	MR	45.0000
DQ'	25.0000	NO	45.0000
EF	32.0156	PQ	16.8421
E'F'	25.0000	PR	20.0000
GK	25.0000	QS	45.0000
GU	97.0000	UV	10.0000
III	20.0000	VW	12.0000



Tolva  
Figura A

### CÁLCULO DEL ÁREA $ABOQLJLN$

Para hallar esta área, de acuerdo con la figura A, la cual corresponde al plano 3 con algunas líneas y puntos auxiliares que permiten el análisis. Se ha dividido el área  $ABOQLJLN$  en triángulos y rectángulos para facilitar su análisis, por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Área}_{ABOQLJLN} = & \text{Área}_{ABR} + \text{Área}_{ANO} + \text{Área}_{MNOR} + \text{Área}_{PQR} + \\ & + \text{Área}_{LKMP} + \text{Área}_{GHJK} + \text{Área}_{HLJ} \end{aligned}$$

Donde:

$$\text{Área}_{ABR} = \frac{AB \cdot AR}{2} = \frac{(75.000) \cdot (63.158)}{2} = 2368.425 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área}_{ANO} = \frac{AO \cdot NO}{2} = \frac{(40.000) \cdot (45.000)}{2} = 900.000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área}_{MNOR} = MN \cdot MR = (23.158) \cdot (45.000) = 1042.110 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área}_{PQR} = \frac{PQ \cdot PR}{2} = \frac{(16.842) \cdot (20.000)}{2} = 168.420 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área}_{LKMP} = LK \cdot LM = (25.000) \cdot (76.842) = 1921.050 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área}_{GHJK} = GK \cdot JK = (25.000) \cdot (85.000) = 2125.000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área}_{HI} = \frac{HI \cdot HJ}{2} = \frac{(20.000) \cdot (25.000)}{2} = 250.000 \text{ mm}^2$$

Sumando estas áreas se tiene que:

$$\text{Área}_{ABQGIJN} = 8775.005 \text{ mm}^2$$

### CÁLCULO DEL ÁREA<sub>AA'NN</sub>

$$\text{Área}_{AA'NN} = AA' \cdot AN = (6.000) \cdot (60.208) = 3612.480 \text{ mm}^2$$

### CÁLCULO DEL ÁREA<sub>LL'NN</sub>

$$\text{Área}_{LL'NN} = LL' \cdot LN$$

Debido a que  $LL' = AA'$ , entonces el área  $AA'NN$  se puede calcular como sigue:

$$\text{Área}_{LL'NN} = AA' \cdot LN = (6.000) \cdot (10.000) = 600.000 \text{ mm}^2$$

### CÁLCULO DEL ÁREA<sub>JJ'LL</sub>

$$\text{Área}_{JJ'LL} = JJ' \cdot JL$$

Debido a que  $JJ' = AA'$ , entonces el área  $JJ'LL$  se puede calcular como sigue:

$$\text{Área}_{JJ'LL} = AA' \cdot JL = (6.000) \cdot (11.000) = 660.000 \text{ mm}^2$$

### CÁLCULO DEL ÁREA<sub>II'JJ'</sub>

$$\text{Área}_{II'JJ'} = II' \cdot JJ'$$

Debido a que  $II' = AA'$ , entonces el área  $II'JJ'$  se calcula como sigue:

$$\text{Área}_{II'JJ'} = AA' \cdot JJ' = (6.000) \cdot (32.016) = 1920.960 \text{ mm}^2$$

### CÁLCULO DEL ÁREA<sub>QQ'S'S'</sub>

$$\text{Área}_{QQ'S'S'} = QQ' \cdot QS'$$

Debido a que  $QQ' = AA'$ , entonces el área  $QQ'S'S'$  se calcula como sigue:

$$\text{Área}_{QQ'S'S'} = AA' \cdot QS' = (6.000) \cdot (45.000) = 2700.000 \text{ mm}^2$$

### CÁLCULO DEL ÁREA<sub>BB'Q'Q'</sub>

$$\text{Área}_{BB'Q'Q'} = BB' \cdot BQ'$$

Debido a que  $BB' = AA'$ , entonces el área  $BB'Q'Q'$  se calcula como sigue:

$$\text{Área}_{BB'Q'Q'} = AA' \cdot BQ' = (60.000) \cdot (124.197) = 7451.820 \text{ mm}^2$$

### CÁLCULO DEL ÁREA<sub>C'DE'FQ'</sub>

De acuerdo con la figura A, el área  $C'DE'FQ'$  es la suma del área  $C'DQ'$  y el área  $DE'FQ'$ , donde:

$$\text{Área}_{C'DQ'} = \frac{CD \cdot DQ}{2} = \frac{(21.053) \cdot (25.000)}{2} = 263.163 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área}_{DE'FQ'} = DE' \cdot E'F = (25.587) \cdot (25.000) = 639.675 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto:

$$\text{Área}_{C'DE'FQ'} = \text{Área}_{C'DQ'} + \text{Área}_{DE'FQ'} = 902.838 \text{ mm}^2$$

### CÁLCULO DEL ÁREA $CC'E'E$

$$\text{Área}_{CC'E'E} = CC' \cdot CE = (20.000) \cdot (46.644) = 932.880 \text{ mm}^2$$

### CÁLCULO DEL ÁREA $CE'EFY$

$$\text{Área}_{CE'EFY} = CE' \cdot EF = (46.644) \cdot (32.016) = 1493.354 \text{ mm}^2$$

### CÁLCULO DEL ÁREA $BB'T'T$

$$\text{Área}_{BB'T'T} = BB' \cdot BT$$

Debido a que  $BB' = AA'$ , entonces el área  $BB'T'T$  se puede calcular como sigue:

$$\text{Área}_{BB'T'T} = AA' \cdot BT = (60.000) \cdot (20.000) = 1200.000 \text{ mm}^2$$

Una vez ya calculadas las áreas de las caras de la tolva, se procede a sumarlas, considerando 2 veces las que se repiten, obteniéndose así el área total de la tolva, por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Área}_{\text{total tolva}} = & (2 \cdot \text{Área}_{\text{ABQGIJLN}}) + \text{Área}_{\text{AA'N'N}} + \text{Área}_{\text{LL'N'N}} + \\ & + \text{Área}_{\text{JJ'LL}} + \text{Área}_{\text{II'JJ}} + \text{Área}_{\text{QQ'S'S}} + \text{Área}_{\text{BB'Q'Q}} + \\ & + \text{Área}_{\text{CDEFQ}} + \text{Área}_{\text{CC'E'E}} + \text{Área}_{\text{CEFY}} + \text{Área}_{\text{BB'T'T}} \end{aligned}$$

Reemplazando los valores correspondientes se tiene que:

$$\text{Área}_{\text{total tolva}} = 39024.342 \text{ mm}^2 = 390.243 \text{ cm}^2$$

Multiplicando el área total de la tolva por el espesor de las planchas con que se la construye (0.5mm) se obtiene el volumen de material:

$$\text{Volumen}_{\text{material tolva}} = (\text{Área}_{\text{total tolva}}) \cdot (\text{espesor})$$

$$\text{Volumen}_{\text{material tolva}} = (390.243) \cdot (0.050) = 19.512 \text{ cm}^3$$

Multiplicando el volumen total de material por la densidad del acero (7.8 gr/cm<sup>3</sup>) se tiene el peso de la tolva:

$$\text{Peso}_{\text{tolva}} = (\text{Volumen}_{\text{material tolva}}) \cdot (\text{densidad}_{\text{acero}})$$

$$\text{Peso}_{\text{tolva}} = (19.512 \text{ cm}^3) \cdot (7.8 \text{ gr/cm}^3) = 152.195 \text{ gr} = 0.152 \text{ Kg}$$

### A.3. CÁLCULO DEL PESO DE LAS SEMILLAS EN UNA TOLVA

Para determinar el peso de las semillas pregerminadas que puede llevar una tolva, es necesario determinar la capacidad que tiene para almacenarlas, es decir, se requiere determinar su capacidad volumétrica, la cual se puede hallar multiplicando el área de la cara lateral por el ancho de la tolva.

El área lateral de la tolva que se considera es el área que ocupan las semillas, que, de acuerdo con la figura A, corresponde al área sombreada ABQSVJLN, la misma que se puede hallar restándole el área  $G_{IVS}$  al área ABQGLLN (calculada en la sección 4.11.2).

El área  $G_{IVS}$  es la suma del área  $G_{UVS}$  y el área  $I_{UV}$ , las cuales se calculan de la siguiente forma:

$$\text{Área}_{G_{UVS}} = GU \cdot UV = (97.000) \cdot (10.000) = 970.000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área}_{I_{UV}} = \frac{IU \cdot UV}{2} = \frac{(8.000) \cdot (10.000)}{2} = 40.000 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto:

$$\text{Área}_{G_{IVS}} = \text{Área}_{G_{UVS}} + \text{Área}_{I_{UV}} = 1010.000 \text{ mm}^2$$

Restando el área  $GIVS$  al área  $ABQGIJLN$  se tiene que:

$$\text{Área}_{ABQSVJLN} = \text{Área}_{ABQGIJLN} - \text{Área}_{GIVS}$$

$$\text{Área}_{ABQSVJLN} = 8775.005 - 1010.000 = 7765.005 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área}_{ABQSVJLN} = 77.650 \text{ cm}^2$$

Multiplicando el área  $ABQSVJLN$  por el ancho de la tolva ( $AA' = 6.000 \text{ cm}$ ), se obtiene la capacidad de la tolva:

$$\text{Capacidad}_{\text{tolva}} = (\text{Área}_{ABQSVJLN}) \cdot (\text{ancho}_{\text{tolva}})$$

$$\text{Capacidad}_{\text{tolva}} = (77.650 \text{ cm}^2)(6.000 \text{ cm}) = 465.900 \text{ cm}^3$$

Sabiendo que 2400 semillas pregerminadas llenan  $100 \text{ cm}^3$  y que 1000 semillas pregerminadas pesan 30gr [3], se puede determinar que:

$$\text{No. de semillas en una tolva} = (465.900 \text{ cm}^3) \cdot \left( \frac{2400 \text{ semillas}}{100 \text{ cm}^3} \right)$$

$$\text{No. de semillas en una tolva} = 11181.600 \text{ semillas} \approx 11182 \text{ semillas}$$

$$\text{Peso de semillas en una tolva} = (11181.600 \text{ semillas}) \cdot \left( \frac{30 \text{ gr}}{1000 \text{ semillas}} \right)$$

Peso de semillas en una tolva = 335.488 gr = 0.336 Kg

Teniendo en cuenta que se van a salpicar 10 semillas cada 25cm, en un recorrido de 200m se salpicará 800 veces, por lo tanto, se salpicarán 8000 en un recorrido de 200m, quedando aproximadamente 3182 semillas, las cuales deben ser suficientes para formar el colchón de semillas para el salpicado de las mismas.

El colchón de semillas lo forma (figura A) el área  $LJVX$ , la cual se puede hallar sumando el área  $JWXL$  con el área  $JVW$ , por lo tanto:

$$\text{Área}_{JWXL} = JL \cdot JW = (110.000) \cdot (15.000) = 1650.000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área}_{JVW} = \frac{VW \cdot JW}{2} = \frac{(12.000) \cdot (15.000)}{2} = 90.000 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto:

$$\text{Área}_{LJVX} = \text{Área}_{JWXL} + \text{Área}_{JVW}$$

$$\text{Área}_{LJVX} = 1740.000 \text{ mm}^2 = 17.400 \text{ cm}^2$$

Multiplicando el valor del área  $LJVX$  por el ancho de la tolva ( $AA' = 6.000$  cm), se obtiene el volumen del colchón, por lo tanto:

Volumen del colchón = (Área<sub>LJvx</sub>)·(ancho<sub>tolva</sub>)

$$\text{Volumen del colchón} = (17.400 \text{ cm}^2) \cdot (6.000 \text{ cm}) = 104.400 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto:

$$\text{No. de semillas en el colchón} = (104.400 \text{ cm}^3) \cdot \left( \frac{2400 \text{ semillas}}{100 \text{ cm}^3} \right)$$

$$\text{No. de semillas en el colchón} = 2505.600 \text{ semillas} \approx 2506 \text{ semillas}$$

De lo dicho anteriormente se sabe que después de un recorrido de 200m van a quedar en la tolva 3182 semillas, y se acaba de calcular que para formar el colchón se requieren sólo 2506 semillas, lo cual garantiza que hay colchón hasta el final del recorrido. Esto permite que al trabajar 1 ha (100x100 m) se pueda hacer un recorrido de ida (100 m) y uno de regreso (100m), para recargar nuevamente las tolvas.

#### A.4. CÁLCULO DEL PESO DE UN EJE

De acuerdo con las dimensiones del plano 4 se obtiene el volumen del material a utilizar para luego calcular su peso. Hay que recordar que son 2 ejes iguales que se empatan y forman uno solo, aquí se calcula el peso de uno.

$$Volumen_{eje} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot \left[ (Diámetro_{mayor})^2 - (Diámetro_{menor})^2 \right] \cdot (longitud_{eje}) \quad (A.4)$$

$$Volumen_{eje} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot \left[ (2.000cm)^2 - (1.600cm)^2 \right] \cdot (92.750cm)$$

$$Volumen_{eje} = 104.898 \text{ cm}^3$$

Multiplicando este valor por la densidad del acero ( $7.8 \text{ gr/cm}^3$ ) se obtiene el peso de un eje:

$$Peso_{eje} = (104.898 \text{ cm}^3) \cdot (7.8 \text{ gr/cm}^3) = 818.204 \text{ gr} = 0.818 \text{ Kg}$$

#### A.5. CÁLCULO DEL PESO DE UN EJE DE ACOPLAMIENTO

De acuerdo con las dimensiones del plano 5, se obtiene el volumen del material a emplear para posteriormente calcular su peso. Hay que recordar que son 3 ejes de acoplamiento, aquí sólo se calcula el peso de uno, por lo tanto:

$$Volumen_{eje \text{ acoplamiento}} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (Diámetro)^2 \cdot (longitud_{eje}) \quad (A.5)$$

$$Volumen_{eje \text{ acoplamiento}} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (1.600cm)^2 \cdot (8.000cm) = 16.085 \text{ cm}^3$$

Multiplicando este valor por la densidad del acero ( $7.8 \text{ gr/cm}^3$ ) se obtiene el peso de un eje de acoplamiento:

$$\text{Peso}_{\text{eje de acoplamiento}} = (16.085 \text{ cm}^3) \cdot (7.8 \text{ gr/cm}^3)$$

$$\text{Peso}_{\text{eje de acoplamiento}} = 125.463 \text{ gr} = 0.125 \text{ Kg}$$

## A.6. CÁLCULO DEL PESO DE UNA RUEDA PROPULSORA

De acuerdo con el plano 6, las ruedas se van a construir utilizando fleje de  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$  in ( $12.7 \times 3.175$  mm) y con tubo de  $20 \times 2$  mm. con el fleje se construyen las aspas y sus refuerzos, por lo tanto, para obtener el volumen de material a emplear en las aspas se multiplica el valor del volumen de cada aspa por 4, ya que son cuatro aspas, entonces, se tiene que:

$$\text{Volumen}_{\text{aspas}} = 4 \cdot (\text{largo}_{\text{aspa}}) \cdot (\text{ancho}_{\text{aspa}}) \cdot (\text{espesor}_{\text{aspa}})$$

$$\text{Volumen}_{\text{aspas}} = 4 \cdot (14.900) \cdot (1.270) \cdot (0.3175) = 24.032 \text{ cm}^3$$

Para hallar el volumen del material empleado en los refuerzos de las aspas, hay que tener en cuenta que éstos forman un cuadrado regular hueco, por lo tanto, se debe encontrar su área, para luego multiplicar este valor por el espesor, y determinar así su volumen:

$$\text{Área}_{\text{refuerzos}} = \text{Área}_{\text{cuadrado mayor}} - \text{Área}_{\text{cuadrado menor}}$$

$$\text{Área}_{\text{refuerzos}} = (4.54 \text{ cm})^2 - (2 \text{ cm})^2$$

$$\text{Área}_{\text{refuerzos}} = 16.612 \text{ cm}^2$$

Entonces:

$$\text{Volumen}_{\text{refuerzos}} = (\text{Área}_{\text{refuerzos}}) \cdot (\text{espesor})$$

$$\text{Volumen}_{\text{refuerzos}} = (16.612 \text{ cm}^2) \cdot (0.3175 \text{ cm}) = 5.274 \text{ cm}^3$$

Finalmente el volumen del tubo se calcula utilizando la ecuación A.4:

$$\text{Volumen}_{\text{tubo}} = \left( \frac{\pi}{4} \right) \cdot \left[ (2.000 \text{ cm})^2 - (1.600 \text{ cm})^2 \right] \cdot (7.700 \text{ cm}) = 8.709 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto el volumen total será la suma de los volúmenes de las aspas, los refuerzos y el tubo:

$$\text{Volumen}_{\text{rueda}} = \text{Volumen}_{\text{aspas}} + \text{Volumen}_{\text{refuerzos}} + \text{Volumen}_{\text{tubo}}$$

$$\text{Volumen}_{\text{rueda}} = (24.032 \text{ cm}^3) + (5.274 \text{ cm}^3) + (8.709 \text{ cm}^3)$$

$$\text{Volumen}_{\text{rueda}} = 38.015 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto, multiplicando el volumen de una rueda por la densidad del acero ( $7.8 \text{ gr/cm}^3$ ) se obtiene el peso de una rueda, entonces:

$$\text{Peso}_{\text{rueda}} = (\text{Volumen}_{\text{rueda}}) \cdot (\text{densidad}_{\text{acero}})$$

$$\text{Peso}_{\text{rueda}} = (38.015 \text{ cm}^3) \cdot (7.8 \text{ gr/cm}^3) = 296.517 \text{ gr} = 0.297 \text{ Kg}$$

## A.7. CÁLCULO DEL PESO DE UN COJINETE DE DESLIZAMIENTO

De acuerdo con el plano 7, la carcasa del cojinete se construirá usando tubo de 25.4x2 mm y ángulo de 20x20x2 mm, por lo tanto para obtener el peso de la carcasa, se obtiene primero el peso del tubo y luego el de los ángulos para luego sumarlos entre sí.

El peso del tubo se obtiene calculando su volumen y luego multiplicándolo por la densidad de acero ( $7.8 \text{ gr/cm}^3$ ), entonces utilizando la ecuación A.4, se tiene que:

$$\text{Volumen}_{\text{tubo}} = \left( \frac{\pi}{4} \right) \cdot \left[ (2.540 \text{ cm})^2 - (2.140 \text{ cm})^2 \right] \cdot (2.000 \text{ cm}) = 2.941 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso}_{\text{tubo}} = (\text{Volumen}_{\text{tubo}}) \cdot (\text{densidad}_{\text{acero}})$$

$$\text{Peso}_{\text{tubo}} = (2.941 \text{ cm}^3) \cdot (7.8 \text{ gr/cm}^3) = 22.940 \text{ gr}$$

El peso de los ángulos se obtiene multiplicando su longitud por el peso por unidad de longitud, que es de  $0.58 \text{ Kg/m}$  [12], por lo tanto:

$$\text{Peso}_{\text{ángulos}} = (0.080 \text{ m}) \cdot (0.58 \text{ Kg/m}) = 0.0464 \text{ Kg} = 46.400 \text{ gr}$$

El cojinete se construirá utilizando bronce fosfórico, y su peso se calcula de igual forma que el del tubo de la carcaza, con la diferencia de que su densidad es  $8.88 \text{ gr/cm}^3$  [13]:

$$Volumen_{cojinete} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot \left[ (2.140 \text{ cm})^2 - (1.600 \text{ cm})^2 \right] \cdot (2.000 \text{ cm})$$

$$Volumen_{cojinete} = 3.172 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso}_{cojinete} = (Volumen_{cojinete}) \cdot (\text{densidad}_{bronce})$$

$$\text{Peso}_{cojinete} = (3.172 \text{ cm}^3) \cdot (8.88 \text{ gr/cm}^3) = 28.167 \text{ gr}$$

Hay que considerar también el peso del grasero y su tuerca, los cuales para mayor precisión fueron pesados en una balanza electrónica con una sensibilidad de  $0.01 \text{ gr}$ . El peso del grasero y su tuerca es de  $4.63 \text{ gr}$ .

Por lo tanto el peso total del cojinete es:

$$\text{Peso}_{total\ cojinete} = \text{Peso}_{tubo} + \text{Peso}_{ángulos} + \text{Peso}_{cojinete} + \text{Peso}_{grasero\ y\ tuerca}$$

$$\text{Peso}_{total\ cojinete} = 22.940 \text{ gr} + 46.400 \text{ gr} + 28.167 \text{ gr} + 4.630 \text{ gr}$$

$$\text{Peso}_{total\ cojinete} = 102.137 \text{ gr} = 0.102 \text{ Kg}$$

## A.8. PESO DE UNA PALETA

De acuerdo con el plano 9, las paletas serán construidas utilizando plancha de acero galvanizado de 0.5 mm de espesor.

El peso de cada paleta se obtiene multiplicando su área por el espesor, mientras que su área se puede hallar como el área de un rectángulo menos el área de un semicírculo y otro rectángulo, entonces:

$$\text{Área}_{\text{paleta}} = [(2.000\text{cm}) \cdot (1.500\text{cm})] - \left[ \left( \frac{\pi}{8} \right) \cdot (0.500\text{cm})^2 \right] - [(0.500\text{cm}) \cdot (0.750\text{cm})]$$

$$\text{Área}_{\text{paleta}} = 2.527 \text{ cm}^2$$

$$\text{Volumen}_{\text{paleta}} = (\text{Área}_{\text{paleta}}) \cdot (\text{espesor}) = (2.527 \text{ cm}^2) \cdot (0.050 \text{ cm})$$

$$\text{Volumen}_{\text{paleta}} = 0.126 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso}_{\text{paleta}} = (\text{Volumen}_{\text{paleta}}) \cdot (\text{densidad}_{\text{acero}}) = (0.126 \text{ cm}^3) \cdot (7.8 \text{ gr/cm}^3)$$

$$\text{Peso}_{\text{paleta}} = 0.983 \text{ gr}$$

## A.9. PESO DE UN PATÍN

De acuerdo con el plano 10, los patines se construirán utilizando plancha de acero inoxidable de 1.00 mm.

El peso de los patines es de 2.79 Kg de acuerdo con los patines seleccionados en la sección 4.12.

El peso de los pernos no se considera aquí, sino en el cálculo del peso de los tornillos.

#### A.10. PESO DE UNA ABRAZADERA

Fueron seleccionadas abrazaderas de 20 mm. Utilizando una balanza electrónica con una precisión de 0.01gr se procedió a pesarlas, dando como resultado:

$$\text{Peso}_{\text{abrazadera}} = 7.184 \text{ gr}$$

#### A.11. PESO DE LOS PERNOS

*De acuerdo con el diseño de forma se tiene que se van a utilizar pernos de  $\frac{3}{16} \times \frac{1}{2}$  in,  $\frac{3}{16} \times \frac{3}{4}$  in,  $\frac{3}{16} \times 1\frac{1}{4}$  in y  $\frac{3}{16} \times 2$  in. Todos los pernos llevan un anillo de presión y una tuerca, a excepción de los de  $\frac{3}{16} \times 2$  in, que llevan 2 anillos de presión y 2 tuercas, debido a que ellos realizan la función de martillos, y deben ajustarse a un lado y otro del eje al atravesarlo.*

Utilizando una balanza electrónica con un precisión de 0.01gr se procedió a pesar los pernos con sus correspondientes anillos y tuercas. Además, del

diseño de forma y de los planos se ha obtenido la cantidad de pernos a emplear en cada caso. Los resultados se pueden observar a continuación en la tabla A-1:

Cant.	Descripción	Peso Unitario (gr)	Peso (gr)
32	Pernos $\frac{3}{16}$ X $\frac{1}{2}$ in + anillo + tuerca	3.77	120.640
50	Pernos $\frac{3}{16}$ X $\frac{3}{4}$ in + anillo + tuerca	4.34	217.000
6	Pernos $\frac{3}{16}$ X $1\frac{1}{4}$ in + anillo + tuerca	5.58	33.480
16	Pernos $\frac{3}{16}$ X 2 in + 2 anillos + 2 tuercas	8.85	141.600
	PESO TOTAL	=	512.720

Tabla A-1

Por lo tanto el peso total de los tornillos es de 0.513 Kg.

#### A.12. PESO DE UNA BISAGRA

Fueron seleccionadas las bisagras niqueladas de 20x50 mm. Por medio de una balanza electrónica con una precisión de 0.01 gr, se obtuvo el peso de las mismas, dando como resultado:

$$\text{Peso}_{\text{bisagra}} = 13.636 \text{ gr}$$

De acuerdo con los pesos de cada una de las partes, calculados anteriormente, y teniendo en cuenta las partes que se repiten se tiene en la tabla A-2:

Cantidad	Descripción	Peso Unitario	Peso (Kg)
1	Marco	4.643 Kg	4.643
8	Tolvas	0.152 Kg	1.216
8	Contenido de semillas en las tolvas	0.336 Kg	2.688
2	Ejes	0.818 Kg	1.636
3	Ejes de acoplamiento	0.125 Kg	0.376
2	Ruedas propulsoras	0.297 Kg	0.594
3	Cojinetes de deslizamiento	0.102 Kg	0.306
32	Paletas	0.983 gr	0.032
3	Patines	0.912 Kg	2.736
16	Abrazaderas	7.184 gr	0.115
	Pernos		0.513
8	Bisagras	13.636 gr	0.109
	PESO TOTAL	=	14.964

Tabla A-2

Por lo tanto el peso de la máquina con las semillas es de aproximadamente 15 Kg.

TABLA DE AJUSTES  
ANSI B4.2-1978 (R1984)

Símbolo ISO		DESCRIPCIÓN
Agujero único	Eje único	
H11/e11	C11/h11	<b>Rotación Suelta:</b> Ajuste para todas las tolerancias comerciales o tolerancia en miembros externos.
H9/d9	D9/h9	<b>Rotación Libre:</b> Ajuste no recomendado para uso donde la exactitud es esencial, pero bueno para grandes variaciones de temperatura, altas velocidades de rotación, o altas presiones de trabajo
H8/f7	F8/h7	<b>Rotación Restrictiva:</b> Ajuste para rotación en máquinas de precisión y para exactitud localizada a velocidades y presiones de trabajo moderadas.
H7/g6	G7/h6	<b>Deslizante:</b> Ajuste no recomendado para correr libremente, pero si para mover y girar libremente
H7/h6	H7/h6	<b>Juego Localizado:</b> Proporciona un ajuste comodo para partes estacionarias localizadas, pero que pueden ser fácilmente montadas y desmontadas.
H7/k6	K7/h6	<b>Transición Localizada:</b> Ajuste para localización exacta, es un arreglo entre juego e interferencia.
H7/u9	N7/h6	<b>Transición Localizada:</b> Ajuste para localización más exacta, donde una gran interferencia es permisible
H7/p6	P7/h6	<b>Interferencia Localizada:</b> Ajuste para partes que requieren rigidez y alineamiento con primordial exactitud de localización pero sin requerimientos especiales de diámetro de presión
H7/s6	S7/h6	<b>Transmisión Media:</b> Ajuste para partes ordinarias de acero o ajuste por contracción (empotrado en caliente) en secciones pequeñas. Es el ajuste más apretado para usar con hierro fundido.
H7/h6	U7/h6	<b>Forzado:</b> Ajuste apropiado para partes que pueden ser altamente esforzadas o para ajuste de contracción (empotrado en caliente), donde las altas fuerzas de presión requeridas no son prácticas.

← MAS JUEGO

MAS INTERFERENCIA →

Apéndice B-1

AJUSTES METRICOS PARA JUEGO DE EJE UNICO  
ANSI B4.2 1978 (R1984)

Tamaño Básico	Rotación Suelta			Rotación Libre			Rotación Restringida			Deslizante			Juego Localizado		
	Agujero C11	Eje h11	Ajuste	Agujero D9	Eje h9	Ajuste	Agujero F8	Eje h7	Ajuste	Agujero G7	Eje h6	Ajuste	Agujero H7	Eje h6	Ajuste
1	Máx 1.120	1.000	0.180	1.045	1.000	0.070	1.020	1.000	0.030	1.012	1.000	0.018	1.010	1.000	0.016
	Mín 1.060	0.940	0.060	1.020	0.975	0.020	1.006	0.990	0.006	1.002	0.994	0.002	1.000	0.994	0.000
1.2	Máx 1.320	1.200	0.180	1.245	1.200	0.070	1.220	1.200	0.030	1.212	1.200	0.018	1.210	1.200	0.016
	Mín 1.250	1.140	0.060	1.220	1.175	0.020	1.206	1.190	0.006	1.202	1.194	0.002	1.200	1.194	0.000
1.6	Máx 1.720	1.600	0.180	1.645	1.600	0.070	1.620	1.600	0.030	1.612	1.600	0.018	1.610	1.600	0.016
	Mín 1.660	1.540	0.060	1.620	1.575	0.020	1.606	1.590	0.006	1.602	1.594	0.002	1.600	1.594	0.000
2	Máx 2.120	2.000	0.180	2.045	2.000	0.070	2.020	2.000	0.030	2.012	2.000	0.018	2.010	2.000	0.016
	Mín 2.060	1.940	0.060	2.020	1.975	0.020	2.006	1.990	0.006	2.002	1.994	0.002	2.000	1.994	0.000
2.5	Máx 2.620	2.500	0.180	2.545	2.500	0.070	2.520	2.500	0.030	2.512	2.500	0.018	2.510	2.500	0.016
	Mín 2.560	2.440	0.060	2.520	2.475	0.020	2.506	2.490	0.006	2.502	2.494	0.002	2.500	2.494	0.000
3	Máx 3.120	3.000	0.180	3.045	3.000	0.070	3.020	3.000	0.030	3.012	3.000	0.018	3.010	3.000	0.016
	Mín 3.060	2.940	0.060	3.020	2.975	0.020	3.006	2.990	0.006	3.002	2.994	0.002	3.000	2.994	0.000
4	Máx 4.145	4.000	0.220	4.060	4.000	0.090	4.028	4.000	0.040	4.016	4.000	0.024	4.012	4.000	0.020
	Mín 4.070	3.925	0.070	4.030	3.970	0.030	4.010	3.988	0.010	4.004	3.992	0.004	4.000	3.992	0.000
5	Máx 5.145	5.000	0.220	5.050	5.000	0.090	5.028	5.000	0.040	5.016	5.000	0.024	5.012	5.000	0.020
	Mín 5.070	4.925	0.070	5.030	4.970	0.030	5.010	4.988	0.010	5.004	4.992	0.004	5.000	4.992	0.000
6	Máx 6.145	6.000	0.220	6.060	6.000	0.090	6.028	6.000	0.040	6.016	6.000	0.024	6.012	6.000	0.020
	Mín 6.070	5.925	0.070	6.030	5.970	0.030	6.010	5.988	0.010	6.004	5.992	0.004	6.000	5.992	0.000
8	Máx 8.170	8.000	0.260	8.076	8.000	0.112	8.035	8.000	0.050	8.020	8.000	0.029	8.015	8.000	0.024
	Mín 8.080	7.910	0.080	8.040	7.964	0.040	8.013	7.985	0.013	8.005	7.991	0.005	8.000	7.991	0.000
10	Máx 10.170	10.000	0.260	10.076	10.000	0.112	10.035	10.000	0.050	10.020	10.000	0.029	10.015	10.000	0.024
	Mín 10.080	9.910	0.080	10.040	9.964	0.040	10.013	9.985	0.013	10.005	9.991	0.005	10.000	9.991	0.000
12	Máx 12.205	12.000	0.315	12.093	12.000	0.136	12.043	12.000	0.061	12.024	12.000	0.035	12.018	12.000	0.029
	Mín 12.095	11.890	0.095	12.050	11.957	0.050	12.016	11.982	0.016	12.006	11.989	0.006	12.000	11.989	0.000
16	Máx 16.205	16.000	0.315	16.093	16.000	0.136	16.043	16.000	0.061	16.024	16.000	0.035	16.018	16.000	0.029
	Mín 16.095	15.890	0.095	16.050	15.957	0.050	16.016	15.982	0.016	16.006	15.989	0.006	16.000	15.989	0.000
20	Máx 20.240	20.000	0.370	20.117	20.000	0.169	20.053	20.000	0.074	20.028	20.000	0.041	20.021	20.000	0.034
	Mín 20.110	19.870	0.110	20.065	19.948	0.065	20.020	19.979	0.020	20.007	19.987	0.007	20.000	19.987	0.000
25	Máx 25.240	25.000	0.370	25.117	25.000	0.169	25.053	25.000	0.074	25.028	25.000	0.041	25.021	25.000	0.034
	Mín 25.110	24.870	0.110	25.065	24.948	0.065	25.020	24.979	0.020	25.007	24.987	0.007	25.000	24.987	0.000
30	Máx 30.240	30.000	0.370	30.117	30.000	0.169	30.053	30.000	0.074	30.028	30.000	0.041	30.021	30.000	0.034
	Mín 30.110	29.870	0.110	30.065	29.948	0.065	30.020	29.979	0.020	30.007	29.987	0.007	30.000	29.987	0.000

Dimensiones estan en milimetros (mm)

## AJUSTES MÉTRICOS PARA JEGO DE AGUJERO ÚNICO

ANSI B4.2 1978 (R1984)

Tamaño Básico	Transición Localizada		Transición Localizada		Interferencia Localizada		Transmisión Media		Forzado						
	Agujero H7	Eje k6	Agujero H7	Eje n6	Agujero H7	Eje p6	Agujero H7	Eje s6	Agujero H7	Eje u6					
1	Máx	1.006	0.010	1.010	0.006	1.010	0.012	0.004	1.010	1.020	-0.004	1.010	1.024	-0.008	
	Mín	1.000	-0.006	1.000	1.004	-0.010	1.006	-0.012	1.000	1.011	-0.020	1.000	1.018	-0.024	
1.2	Máx	1.206	0.010	1.210	0.006	1.210	0.012	0.004	1.210	1.220	-0.004	1.210	1.224	-0.008	
	Mín	1.200	-0.006	1.200	1.204	-0.010	1.206	-0.012	1.200	1.214	-0.020	1.200	1.218	-0.024	
1.6	Máx	1.606	0.010	1.610	0.006	1.610	0.012	0.004	1.610	1.620	-0.004	1.610	1.624	-0.008	
	Mín	1.600	-0.006	1.600	1.604	-0.010	1.606	-0.012	1.600	1.614	-0.020	1.600	1.618	-0.024	
2	Máx	2.006	0.010	2.010	0.006	2.010	0.012	0.004	2.010	2.020	-0.004	2.010	2.024	-0.008	
	Mín	2.000	-0.006	2.000	2.004	-0.010	2.006	-0.012	2.000	2.014	-0.020	2.000	2.018	-0.024	
2.5	Máx	2.506	0.010	2.510	0.006	2.510	0.012	0.004	2.510	2.520	-0.004	2.510	2.524	-0.008	
	Mín	2.500	-0.006	2.500	2.504	-0.010	2.506	-0.012	2.500	2.514	-0.020	2.500	2.518	-0.024	
3	Máx	3.006	0.010	3.010	0.006	3.010	0.012	0.004	3.010	3.020	-0.004	3.010	3.024	-0.008	
	Mín	3.000	-0.006	3.000	3.004	-0.010	3.006	-0.012	3.000	3.014	-0.020	3.000	3.018	-0.024	
4	Máx	4.012	0.009	4.011	4.012	0.014	4.012	0.020	4.012	4.027	-0.007	4.012	4.031	-0.011	
	Mín	4.000	-0.009	4.000	4.008	-0.016	4.009	-0.020	4.000	4.019	-0.027	4.000	4.023	-0.031	
5	Máx	5.009	0.011	5.012	5.016	0.004	5.012	0.020	5.012	5.027	-0.007	5.012	5.031	-0.011	
	Mín	5.000	-0.009	5.000	5.008	-0.016	5.009	-0.020	5.000	5.019	-0.027	5.000	5.023	-0.031	
6	Máx	6.012	0.009	6.011	6.012	0.004	6.012	0.020	6.012	6.027	-0.007	6.012	6.031	-0.011	
	Mín	6.000	-0.009	6.000	6.008	-0.016	6.009	-0.020	6.000	6.019	-0.027	6.000	6.023	-0.031	
8	Máx	8.015	0.014	8.015	8.019	0.005	8.015	0.024	8.015	8.032	-0.008	8.015	8.037	-0.013	
	Mín	8.000	-0.010	8.000	8.010	-0.019	8.009	-0.024	8.000	8.023	-0.032	8.000	8.028	-0.037	
10	Máx	10.015	0.010	10.014	10.015	0.005	10.015	0.024	10.015	10.032	-0.008	10.015	10.037	-0.013	
	Mín	10.000	-0.010	10.000	10.010	-0.019	10.000	-0.024	10.000	10.023	-0.032	10.000	10.028	-0.037	
12	Máx	12.018	0.017	12.018	12.023	0.006	12.018	0.029	12.018	12.039	-0.010	12.018	12.044	-0.015	
	Mín	12.000	-0.012	12.000	12.012	-0.023	12.000	-0.029	12.000	12.028	-0.039	12.000	12.033	-0.044	
16	Máx	16.018	0.017	16.018	16.023	0.006	16.018	0.029	16.018	16.039	-0.010	16.018	16.044	-0.015	
	Mín	16.000	-0.012	16.000	16.012	-0.023	16.000	-0.029	16.000	16.028	-0.039	16.000	16.033	-0.044	
20	Máx	20.081	0.015	0.019	20.021	0.028	0.006	20.021	20.035	-0.001	20.021	20.048	-0.014	20.054	-0.020
	Mín	20.000	-0.015	20.000	20.015	-0.028	20.000	-0.035	20.000	20.035	-0.048	20.000	20.041	-0.054	
25	Máx	25.021	0.019	25.021	25.028	0.006	25.021	0.035	25.021	25.048	-0.014	25.021	25.061	-0.027	
	Mín	25.000	-0.015	25.000	25.015	-0.028	25.000	-0.035	25.000	25.035	-0.048	25.000	25.048	-0.061	
30	Máx	30.021	0.019	30.021	30.028	0.006	30.021	0.035	30.021	30.048	-0.014	30.021	30.061	-0.027	
	Mín	30.000	-0.015	30.000	30.015	-0.028	30.000	-0.035	30.000	30.035	-0.048	30.000	30.048	-0.061	

Dimensiones están en milímetros (mm)

## Apéndice B.3

**COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO  
CON UN ÁREA DE 20 x 20 cm**

Peso (Kg)	SUELO 1		SUELO 2		SUELO 3	
	F1 (Kg)	u1	F2 (Kg)	u2	F3 (Kg)	u3
2.18	1.50	0.69	1.00	0.46	0.75	0.34
3.18	1.75	0.55	1.25	0.39	1.00	0.31
4.18	1.75	0.42	1.50	0.36	1.00	0.24
5.18	2.00	0.39	1.75	0.34	1.25	0.24
6.18	2.00	0.32	2.00	0.32	2.00	0.32
7.18	2.25	0.31	2.25	0.31	2.00	0.28
8.18	2.50	0.31	2.75	0.34	2.25	0.28
9.18	2.75	0.30	3.25	0.35	3.25	0.35
10.18	3.00	0.29	3.75	0.37	4.25	0.42
11.18	3.50	0.31	4.75	0.42	5.25	0.47
12.18	3.75	0.31				
u prom.		0.38		0.37		0.33

**Apéndice C-1**

**COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO  
CON UN ÁREA DE 25 x 25 cm**

	SUELO 1		SUELO 2		SUELO 3	
Peso (Kg)	F1 (Kg)	u1	F2 (Kg)	u2	F3 (Kg)	u3
2.27	1.25	0.55	1.25	0.55	1.50	0.66
3.27	1.50	0.46	1.50	0.46	1.75	0.54
4.27	1.75	0.41	1.75	0.41	2.00	0.47
5.27	2.00	0.38	1.75	0.33	2.75	0.52
6.27	2.25	0.36	2.00	0.32	2.75	0.44
7.27	2.75	0.38	2.25	0.31	3.00	0.41
8.27	3.25	0.39	2.25	0.27	3.25	0.39
9.27	4.00	0.43	2.25	0.24	3.25	0.35
10.27	4.50	0.44	2.25	0.22	3.25	0.32
11.27	5.25	0.47	2.50	0.22	3.25	0.29
12.27						
u prom.		0.43		0.33		0.44

**Apéndice C-2**

**COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO  
CON UN ÁREA DE 30 x 30 cm**

	SUELO 1		SUELO 2		SUELO 3	
Peso (Kg)	F1 (Kg)	u1	F2 (Kg)	u2	F3 (Kg)	u3
2.41	2.75	1.14	1.00	0.41	0.50	0.21
3.41	3.00	0.88	1.25	0.37	0.50	0.15
4.41	3.00	0.68	1.25	0.28	0.75	0.17
5.41	3.75	0.69	1.50	0.28	1.00	0.18
6.41	3.75	0.59	1.75	0.27	1.50	0.23
7.41	4.00	0.54	1.75	0.24	2.00	0.27
8.41	4.00	0.48	1.75	0.21	2.00	0.24
9.41	4.50	0.48	2.00	0.21	2.25	0.24
10.41	5.00	0.48	2.00	0.19	2.50	0.24
11.41	5.00	0.44	2.00	0.18	2.50	0.22
12.41	5.00	0.40	2.00	0.16	3.00	0.24
u prom.		0.62		0.25		0.22

**Apéndice C-3**

**COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO  
CON UN ÁREA DE 35 x 35 cm**

	SUELO 1		SUELO 2		SUELO 3	
Peso (Kg)	F1 (Kg)	u1	F2 (Kg)	u2	F3 (Kg)	u3
2.54	0.75	0.34	1.00	0.46	0.50	0.23
3.54	1.00	0.31	1.00	0.31	0.50	0.16
4.54	1.00	0.24	1.25	0.30	0.75	0.18
5.54	1.25	0.24	1.25	0.24	0.75	0.14
6.54	2.25	0.36	1.25	0.20	0.75	0.12
7.54	2.50	0.35	1.25	0.17	0.75	0.10
8.54	2.75	0.34	1.50	0.18	1.00	0.12
9.54	2.75	0.30	1.75	0.19	1.00	0.11
10.54	2.75	0.27	1.75	0.17	1.25	0.12
11.54	2.75	0.25	2.00	0.18	1.25	0.11
12.54	3.25	0.27	2.25	0.18	1.50	0.12
u prom.		0.30		0.24		0.14

**Apéndice C-4**

**COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO  
CON UN ÁREA DE 40 x 40 cm**

	SUELO 1		SUELO 2		SUELO 3	
Peso (Kg)	F1 (Kg)	u1	F2 (Kg)	u2	F3 (Kg)	u3
2.74	1.75	0.77	0.50	0.22	0.50	0.22
3.74	2.50	0.76	0.50	0.15	0.75	0.23
4.74	3.00	0.70	0.75	0.18	1.00	0.23
5.74	3.50	0.66	0.75	0.14	1.50	0.28
6.74	4.50	0.72	1.00	0.16	1.75	0.28
7.74	5.50	0.76	1.00	0.14	2.00	0.28
8.74	6.25	0.76	1.00	0.12	2.25	0.27
9.74	7.50	0.81	1.25	0.13	2.25	0.24
10.74	7.75	0.75	1.50	0.15	3.00	0.29
11.74	7.75	0.69	1.50	0.13	3.25	0.29
12.74	8.00	0.65	1.50	0.12	3.25	0.26
u prom.		0.73		0.15		0.26

**Apéndice C-5**

**COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO  
CON UN ÁREA DE 45 x 45 cm**

	SUELO 1		SUELO 2		SUELO 3	
Peso (Kg)	F1 (Kg)	u1	F2 (Kg)	u2	F3 (Kg)	u3
2.76	1.75	0.73	0.50	0.21	1.25	0.52
3.76	2.50	0.73	0.75	0.22	1.25	0.37
4.76	2.50	0.57	0.75	0.17	1.50	0.34
5.76	3.75	0.69	1.00	0.18	1.50	0.28
6.76	4.00	0.62	1.00	0.16	1.75	0.27
7.76	4.25	0.57	1.00	0.13	1.75	0.24
8.76	4.25	0.51	1.00	0.12	1.75	0.21
9.76	4.50	0.48	1.25	0.13	2.25	0.24
10.76	4.75	0.46	1.25	0.12	2.75	0.26
11.76	5.00	0.44	1.50	0.13	3.25	0.28
12.76	5.50	0.44	1.50	0.12	3.50	0.28
u prom.		0.57		0.15		0.30

**Apéndice C-6**

**COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO  
CON UN ÁREA DE 50 x 50 cm**

	SUELO 1		SUELO 2		SUELO 3	
Peso (Kg)	F1 (Kg)	u1	F2 (Kg)	u2	F3 (Kg)	u3
2.92	1.75	0.80	0.75	0.34	0.75	0.34
3.92	2.25	0.71	1.00	0.31	1.00	0.31
4.92	2.25	0.54	1.00	0.24	1.00	0.24
5.92	2.25	0.43	1.25	0.24	1.25	0.24
6.92	2.75	0.44	1.50	0.24	1.50	0.24
7.92	3.25	0.45	1.75	0.24	1.50	0.21
8.92	3.50	0.43	1.75	0.21	1.75	0.21
9.92	4.75	0.52	2.25	0.25	1.75	0.19
10.92	5.25	0.52	2.25	0.22	1.75	0.17
11.92	5.25	0.47	2.50	0.22	2.25	0.20
12.92	5.25	0.43	2.75	0.23	2.25	0.18
u prom.		0.52		0.25		0.23

Apéndice C-7

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO PROMEDIO

	Coef. Rozamiento Estático						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
SUELO 1	0.38	0.43	0.62	0.28	0.67	0.53	0.46
SUELO 2	0.37	0.33	0.25	0.22	0.14	0.14	0.22
SUELO 3	0.33	0.44	0.22	0.13	0.24	0.28	0.20

*Coeficiente de Rozamiento Estático Promedio:*                    **0.33**

PESOS DE LAS PLANCHAS	
AREA	PESO (Kg)
Área 1 (20x20cm)	0.18
Área 2 (25x25cm)	0.27
Área 3 (30x30cm)	0.41
Área 4 (35x35cm)	0.54
Área 5 (40x40cm)	0.74
Área 6 (45x45xm)	0.76
Área 7 (50x50cm)	0.92

\*Estos pesos fueron incluidos  
en todas las tablas

# ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
LABORATORIO DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES

Guayaquil, Diciembre 4 de 1.998

Señor

Javier Castillo

Estudiante de Mecánica

Ciudad.

INFORME: Determinación de densidad en tres muestras arcillosas  
traidas al Laboratorio

## RESULTADO DE LOS ENSAYOS

Muestra No.	Peso húmedo gr.	Densidad k/m <sup>3</sup>
1	116-117	1.612
2	117-119	1.633
3	118-119	1.639

PROMEDIO: 1.63

Atentamente



Ing. Carmen Terreros de Varela  
Jefe del Laboratorio de Suelos y  
Resistencia de Materiales

## Apéndice D

Centro de Gravedad (G) de la Tolva Hlena

	X media (mm)	Y media (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	A·X media (mm <sup>3</sup> )	A·Y media (mm <sup>3</sup> )
1	70.0000	118.9474	2.368.4211	165.789.4770	281.717.5320
2	30.0000	113.3333	900.0000	27.000.0000	101.999.9700
3	22.5000	88.4211	1.042.1053	23.447.3693	92.144.0969
4	31.6667	71.2281	1.68.4211	5.333.3404	11.996.3150
5	12.5000	38.4211	1.921.0526	24.013.1575	73.808.9540
6	67.5000	7.5000	1.275.0000	86.062.5000	9.562.5000
7	114.0000	10.0000	90.0000	10.260.0000	900.0000
			7.765.0001	341.905.8442	572.129.3679

	(mm)
X media total	44.0317
Y media total	73.6805

**Apéndice E**

# TORQUE QUE REQUIEREN LAS TOLLAS

DATOS

	(mm)
OB	111.8034
OD	33.2500
CB	91.5139
BG	100.8437

	(grados)
<BOI	63.1319
<OBF	26.5681
<BCD	130.1009
<ABC	10.1009

	(grados)
Teta $\phi$	126.9777
<CBD $\phi$	6.2720
<CDB $\phi$	13.6271
<DBF $\phi$	13.6271
<GBH $\phi$	18.8794

Wichta 0.5410 Kg

Teta (grados)	TRIANGULO DBO			TRIANGULO BDF			TRIANGULO BCD		
	<DOB (grados)	BD (mm)	<BDO (grados)	<DBF (grados)	DF (mm)	<CDB (grados)	<CBD (grados)	CD (mm)	
126.9777	63.5428	101.4548	99.3951	17.0623	43.6272	0.0001	43.6271	6.2720	
130	66.5651	103.1923	96.2393	17.1956	43.7607	0.1336	42.7145	7.1846	
135	71.5651	106.0869	91.1371	17.2978	43.8629	0.2358	41.2874	8.6117	
140	76.5651	108.9868	86.1734	17.2615	43.8266	0.1995	39.9620	9.9371	
145	81.5651	111.8703	81.3371	17.0978	43.6629	0.0358	38.7354	11.1637	
146	82.5651	112.4433	80.3842	17.0507	43.6158	-0.0113	38.5016	11.3975	
147	83.5651	113.0146	79.4358	16.9991	43.5642	-0.0629	38.2715	11.6276	
148	84.5651	113.5842	78.4920	16.9429	43.5080	-0.1191	38.0452	11.8539	
148.7	85.2651	113.9818	77.8340	16.9009	43.4660	-0.1611	37.8890	12.0101	
149	85.5651	114.1519	77.5526	16.8823	43.4474	-0.1797	37.8226	12.0765	
150	86.5651	114.7175	76.6175	16.8174	43.3825	-0.2446	37.6036	12.2955	
155	91.5651	117.5101	72.0046	16.4303	42.9954	-0.6317	36.5621	13.3370	
160	96.5651	120.2315	67.4886	15.9463	42.5114	-1.1157	35.6062	14.2929	
165	101.5651	122.8663	63.0605	15.3744	41.9395	-1.6876	34.7311	15.1680	
170	106.5651	125.4005	58.7119	14.7230	41.2881	-2.3390	33.9322	15.9669	
172.6249	109.1900	126.6864	56.4582	14.3518	40.9169	-2.7102	33.5418	16.6435	

Inicio de contacto

Torque máximo

Fin de contacto  
(Alfa máximo)

## TORQUE QUE REQUIEREN LAS TOLLAS

AFI (grados)	CCDO (grados)	Fofova (Kg)	Angulo de Fofova	Profundidad (mm)	Torque Fofovas (kg mm)
0.0801	143.0222	0.0080	179.9999	26.5624	0.0001
1.0192	138.9538	0.0099	178.9538	5.1710	2.0129
2.5755	132.1245	0.0243	177.4245	23.5113	4.5226
3.8746	126.1354	0.0365	176.1354	21.3727	6.2345
4.9275	120.0725	0.0465	175.0725	19.0714	7.0899
5.1143	118.8857	0.0482	174.8857	18.5922	7.1734
5.2926	117.7074	0.0499	174.7074	18.1092	7.2297
5.4628	116.5372	0.0515	174.5372	17.6198	7.2597
5.5771	115.7229	0.0526	174.4229	17.2710	7.2657
5.6248	115.3752	0.0530	174.3752	17.1250	7.2645
5.7789	114.2211	0.0545	174.2211	16.6250	7.2449
6.4333	108.5667	0.0606	173.5667	14.0521	6.8144
6.9053	103.0947	0.0650	173.0947	11.3722	5.9175
7.2084	97.7916	0.0679	172.7916	8.9057	4.6735
7.3859	92.6441	0.0693	172.6441	5.7738	3.1994
7.3751	90.0000	0.0694	172.6249	4.2681	2.3712

**Inicio de contacto**

Angulo de Fofova respecto a X (°)	F normal al martillo (Kg)	F cortante al martillo (kg)
143.0222	3.712281507	-4.93034E+0
138.9538	0.006489813	-0.007450071
132.1245	0.017945228	-0.016490307
126.1354	0.029148511	-0.021502102
120.0725	0.040214144	-0.023285683
118.8857	0.042225857	-0.023296219
117.7074	0.044181000	-0.023202792
116.5372	0.046076613	-0.023010337
115.7229	0.047366518	-0.022819335
115.3752	0.047909721	-0.022723781
114.2211	0.049677625	-0.022348037
108.5667	0.057462431	-0.019303055
103.0947	0.063351921	-0.014736333
97.7916	0.067257512	-0.009203057
92.6441	0.069191453	-0.003195357
90.0000	0.069145085	-0.23182E+00

**Fin de contacto (1/4 máximo)**

Apéndice F (continuación)

ANCHO DE ASPA DE  
UNA RUEDA DE 3 ASPAS

No. aspas	3
Desfase aspas	120 °
b máximo	324.83 mm
OR	159 mm
PT	80 mm
Torque ruedas	8.5532 Kg·mm
Densidad	1.628 Kg/m <sup>3</sup>
Velocidad	0.5 m/seg

ANGULO DE ENTERRAMIENTO	
Teta o	209.79217 °
Teta f	330.20783 °

Teta (°)	F (Kg)	At (mm <sup>2</sup> )	b (mm)	*Con b máximo 324.83 mm	
				At* (mm <sup>2</sup> )	At*x (mm <sup>2</sup> )
0	0.03620	872.58	12.87	22,016.61	11,008.31
15	0.03322	800.80	10.37	25,081.24	6,491.50
30	0.03232	778.94	9.74	25,986.48	0.00
45	0.03322	800.80	10.37	25,081.24	6,491.50
60	0.03620	872.58	12.87	22,016.61	11,008.31
75	0.04222	1,017.70	21.53	15,357.08	10,859.09
90	0.02695	649.66	324.83	649.66	562.62
105	0.04222	1,017.70	21.53	15,357.08	10,859.09
120	0.03620	872.58	12.87	22,016.61	11,008.31
135	0.03322	800.80	10.37	25,081.24	6,491.50
150	0.03232	778.94	9.74	25,986.48	0.00
165	0.03322	800.80	10.37	25,081.24	6,491.50
180	0.03620	872.58	12.87	22,016.61	11,008.31
195	0.04222	1,017.70	21.53	15,357.08	10,859.09
210	0.02695	649.66	324.83	649.66	562.62
225	0.04222	1,017.70	21.53	15,357.08	10,859.09
240	0.03620	872.58	12.87	22,016.61	11,008.31
255	0.03322	800.80	10.37	25,081.24	6,491.50
270	0.03232	778.94	9.74	25,986.48	0.00
285	0.03322	800.80	10.37	25,081.24	6,491.50
300	0.03620	872.58	12.87	22,016.61	11,008.31
315	0.04222	1,017.70	21.53	15,357.08	10,859.09
330	0.02695	649.66	324.83	649.66	562.62
345	0.04222	1,017.70	21.53	15,357.08	10,859.09
360	0.03620	872.58	12.87	22,016.61	11,008.31

ANCHO DE ASPA DE  
UNA RUEDA DE 4 ASPAS

No. aspas	1
Desfase aspas	90 °
b máximo	11.72 mm
OR	1.0 mm
PT	80 mm
Torque ruedas	8.5532 Kg mm
Densidad	1628 Kg m <sup>3</sup>
Velocidad	0.5 m/seg

ANGULO DE ENTERRAMIENTO	
Teta o	209.79217 °
Teta f	330.20783 °

Teta (°)	F (Kg)	At (mm <sup>2</sup> )	b (mm)	*Con b máximo 11.72 mm	
				At* (mm <sup>2</sup> )	At*x (mm <sup>2</sup> )
0	0.03232	778.94	9.74	937.89	0.00
15	0.03322	800.80	10.37	905.21	234.29
30	0.02166	522.01	7.59	806.33	407.46
45	0.02111	508.85	5.38	1,108.51	783.84
60	0.02166	522.01	7.59	806.33	407.46
75	0.03322	800.80	10.37	905.21	234.29
90	0.03232	778.94	9.74	937.89	0.00
105	0.03322	800.80	10.37	905.21	234.29
120	0.02166	522.01	7.59	806.33	407.46
135	0.02111	508.85	5.38	1,108.51	783.84
150	0.02166	522.01	7.59	806.33	407.46
165	0.03322	800.80	10.37	905.21	234.29
180	0.03232	778.94	9.74	937.89	0.00
195	0.03322	800.80	10.37	905.21	234.29
210	0.02166	522.01	7.59	806.33	407.46
225	0.02111	508.85	5.38	1,108.51	783.84
240	0.02166	522.01	7.59	806.33	407.46
255	0.03322	800.80	10.37	905.21	234.29
270	0.03232	778.94	9.74	937.89	0.00
285	0.03322	800.80	10.37	905.21	234.29
300	0.02166	522.01	7.59	806.33	407.46
315	0.02111	508.85	5.38	1,108.51	783.84
330	0.02166	522.01	7.59	806.33	407.46
345	0.03322	800.80	10.37	905.21	234.29
360	0.03232	778.94	9.74	937.89	0.00

**ANCHO DE ASPA DE  
UNA RUEDA DE 5 ASPAS**

No. aspas	5
Desfase aspas	72
<i>h</i> máximo	10.07 mm
OR	159 mm
PT	80 mm
Torque ruedas	8,5532 Kg·mm
Densidad	1628 Kg/m <sup>3</sup>
Velocidad	0.5 m/seg

ANGULO DE ENTERRAMIENTO	
Teta o	209.792 °
Teta f	330.208 °

Teta (°)	F (kg)	At (mm <sup>2</sup> )	h (mm)	*Con <i>h</i> máximo 10.07 mm	
				At* (mm <sup>2</sup> )	At*x (mm <sup>2</sup> )
0	0.01982	477.70	4.75	1,012.18	436.61
15	0.01910	460.29	3.77	1,229.83	718.71
30	0.01940	467.63	4.12	1,142.35	603.29
45	0.03264	786.70	9.96	795.55	124.45
60	0.03246	782.37	9.83	801.08	83.74
75	0.01959	472.12	4.38	1,085.84	530.24
90	0.01908	459.81	3.75	1,235.39	726.14
105	0.01959	472.12	4.38	1,085.84	530.24
120	0.03246	782.37	9.83	801.08	83.74
135	0.03264	786.70	9.96	795.55	124.45
150	0.01940	467.63	4.12	1,142.35	603.29
165	0.01910	460.29	3.77	1,229.83	718.71
180	0.01982	477.70	4.75	1,012.18	436.61
195	0.03235	779.80	9.76	804.37	42.10
210	0.02043	492.38	6.21	797.76	172.49
225	0.01926	464.18	3.95	1,184.16	658.08
240	0.01916	461.75	3.83	1,212.96	696.21
255	0.02010	484.43	5.31	917.85	319.00
270	0.03232	778.94	9.74	805.46	0.00
285	0.02010	484.43	5.31	917.85	319.00
300	0.01916	461.75	3.83	1,212.96	696.21
315	0.01926	464.18	3.95	1,184.16	658.08
330	0.02043	492.38	6.21	797.76	172.49
345	0.03235	779.80	9.76	804.37	42.10
360	0.01982	477.70	4.75	1,012.18	436.61

ANCHO DE ASPA DE  
UNA RUEDA DE 6 ASPAS

No. aspas	6
Desfase aspas	60 °
b máximo	4.66 mm
OR	159 mm
PT	80 mm
Torque ruedas	8.5532 Kg mm
Densidad	1028 Kg/m <sup>3</sup>
Velocidad	0.5 m/seg

ANGULO DE ENTERRAMIENTO	
Teta o	209.792 °
Teta f	330.208

Teta (°)	F (Kg)	At (mm <sup>2</sup> )	b (mm)	*Con b máximo 4.66 mm	
				At* (mm <sup>2</sup> )	At*x (mm <sup>2</sup> )
0	0.01810	436.29	3.22	631.76	315.88
15	0.01859	448.16	3.60	580.18	248.94
30	0.01470	354.23	4.32	382.16	8.07
45	0.01859	448.16	3.60	580.18	248.94
60	0.01810	436.29	3.22	631.76	315.88
75	0.01859	448.16	3.60	580.18	248.94
90	0.01470	354.23	4.32	382.16	8.07
105	0.01859	448.16	3.60	580.18	248.94
120	0.01810	436.29	3.22	631.76	315.88
135	0.01859	448.16	3.60	580.18	248.94
150	0.01470	354.23	4.32	382.16	8.07
165	0.01859	448.16	3.60	580.18	248.94
180	0.01810	436.29	3.22	631.76	315.88
195	0.01859	448.16	3.60	580.18	248.94
210	0.01470	354.23	4.32	382.16	8.07
225	0.01859	448.16	3.60	580.18	248.94
240	0.01810	436.29	3.22	631.76	315.88
255	0.01859	448.16	3.60	580.18	248.94
270	0.01470	354.23	4.32	382.16	8.07
285	0.01859	448.16	3.60	580.18	248.94
300	0.01810	436.29	3.22	631.76	315.88
315	0.01859	448.16	3.60	580.18	248.94
330	0.01470	354.23	4.32	382.16	8.07
345	0.01859	448.16	3.60	580.18	248.94
360	0.01810	436.29	3.22	631.76	315.88

ANCHO DE ASPA DE  
UNA RUEDA DE 7 ASPAS

No. aspas	7
Desfase aspas	31.43 °
b máximo	3.33 mm
OR	159 mm
PT	80 mm
Torque ruedas	8.5532 Kg (mm)
Densidad	1628 Kg m <sup>3</sup>
Velocidad	0.5 m/seg

ANGULO DE ENTERRAMIENTO	
Teta o	209.792 °
Teta f	330.208 °

Teta (°)	T (kg)	At (mm <sup>2</sup> )	b (mm)	*Con b máximo 3.33 mm	
				At* (mm <sup>2</sup> )	At*x (mm <sup>2</sup> )
0	0.01790	431.51	3.17	452.03	177.87
15	0.01349	323.16	2.26	478.21	174.92
30	0.01771	426.76	3.05	464.64	193.57
45	0.01761	425.12	3.01	468.92	198.96
60	0.01351	325.67	2.30	470.22	175.85
75	0.01803	434.64	3.26	443.55	167.42
90	0.01755	423.03	2.97	471.35	205.81
105	0.01803	434.64	3.26	443.55	167.42
120	0.01351	325.67	2.30	470.22	175.85
135	0.01761	425.12	3.01	468.92	198.96
150	0.01771	426.76	3.05	464.64	193.57
165	0.01349	323.16	2.26	478.21	174.92
180	0.01790	431.51	3.17	452.03	177.87
195	0.01756	423.26	2.97	473.75	205.05
210	0.01360	327.74	2.50	436.79	157.98
225	0.01355	326.53	2.38	456.58	170.38
240	0.01759	422.96	2.99	471.95	202.78
255	0.01779	428.89	3.11	459.03	186.56
270	0.01348	324.99	2.25	480.85	167.93
285	0.01770	428.89	3.11	459.03	186.56
300	0.01759	422.96	2.99	471.95	202.78
315	0.01355	326.53	2.38	456.58	170.38
330	0.01360	327.74	2.50	436.79	157.98
345	0.01756	423.26	2.97	473.75	205.05
360	0.01790	431.51	3.17	452.03	177.87

**ANCHO DE ASPA DE  
UNA RUEDA DE 8 ASPAS**

No. Aspas	8
Desfase aspas	45
h máximo	2.83 mm
OR	159 mm
PI	80 mm
Torque ruedas	8.5532 Kg mm
Densidad	1028 Kg m <sup>3</sup>
Velocidad	0.5 m/seg

ANGULO DE ENTERRAMIENTO	
Teta o	209.792 °
Teta f	330.208 °

Teta (°)	F (kg)	At (mm <sup>2</sup> )	b (mm)	*Con b maximo 2.83 mm	
				At* (mm <sup>2</sup> )	At*x (mm <sup>2</sup> )
0	0.01277	307.79	1.76	493.67	189.09
15	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
30	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
45	0.01277	307.79	1.76	493.67	189.09
60	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
75	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
90	0.01277	307.79	1.76	493.67	189.09
105	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
120	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
135	0.01277	307.79	1.76	493.67	189.09
150	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
165	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
180	0.01277	307.79	1.76	493.67	189.09
195	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
210	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
225	0.01277	307.79	1.76	493.67	189.09
240	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
255	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
270	0.01277	307.79	1.76	493.67	189.09
285	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
300	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
315	0.01277	307.79	1.76	493.67	189.09
330	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
345	0.01311	316.01	2.16	412.89	154.81
360	0.01277	307.79	1.76	493.67	189.09

## PESO DE UNA RUEDA PROPULSORA

Volumen eje	8.708 cm <sup>3</sup>
Longitud aspa	14.000 cm
Espesor aspa	0.318 cm
Densidad acero	7.800 gr/cm <sup>3</sup>

<i>Con los anchos de aspa mínimos necesarios</i>			
Número de 'spas	Ancho (b) del aspa (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (Kg)
5	32.483	469.715	3.664
4	1.170	30.886	0.241
5	1.007	32.528	0.254
6	0.466	21.036	0.171
7	0.333	19.736	0.154
8	0.293	19.419	0.151

<i>Con Fleje de 1.2 x 1.8 in (12.7 x 3.2 mm)</i>			
Número de Aspas	Ancho (b) del aspa (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (Kg)
5	1.270	26.733	0.209
4	1.270	32.741	0.255
5	1.270	38.749	0.302
6	1.270	44.757	0.349
7	1.270	50.765	0.396
8	1.270	56.773	0.443

En las ruedas no se ha calculado el peso de los refuerzos de las aspas.

## Apéndice II

**FUERZAS DE FUSTE EN LAS ASPAS**  
**DE UNA RUEDA DE 4 ASPAS**

No. aspas	4
Desfase puntas	90
h máximo	12.7 mm
OR	150 mm
PT	100 mm
Espesor	3.175 mm
Perímetro	31.75 mm
Coef. Rozamiento	0.55
Densidad	1628 Kg/m <sup>3</sup>
Hundimiento	20 mm
Ala patín	28.3 mm
Ancho patín	150 mm
Angulo vóccra	45°

ANGULO DE ENTERRAMIENTO (CGR)	
Teta o	201.78 °
Teta f	338.22 °

ANGULO DE LAS ASPAS (GR)	
Gamma f	158.22 °
Gamma o	21.78 °

Rango de Teta de 205° a 335°  
Rango de Gamma de 25° a 155°  
Esta tabla sirve con h = 15 y 20 mm

Teta (°)	Fuerza de fuste en una rueda		
	Fuste total x (Kg)	Fuste total y (Kg)	Fuste total (Kg)
0	0.00000	0.17705	0.17705
15	0.04394	0.16397	0.16975
30	0.09888	0.14150	0.17596
45	0.14296	0.14296	0.20217
60	0.09888	0.14150	0.17596
75	0.04394	0.16397	0.16975
90	0.00000	0.17705	0.17705
105	0.04394	0.16397	0.16975
120	0.09888	0.14150	0.17596
135	0.14296	0.14296	0.20217
150	0.09888	0.14150	0.17596
165	0.04394	0.16397	0.16975
180	0.00000	0.17705	0.17705
195	0.04394	0.16397	0.16975
210	0.09888	0.14150	0.17596
225	0.14296	0.14296	0.20217
240	0.09888	0.14150	0.17596
255	0.04394	0.16397	0.16975
270	0.00000	0.17705	0.17705
285	0.04394	0.16397	0.16975
300	0.09888	0.14150	0.17596
315	0.14296	0.14296	0.20217
330	0.09888	0.14150	0.17596
345	0.04394	0.16397	0.16975
360	0.00000	0.17705	0.17705

## CÁLCULO DEL ÁREA DEL PATÍN PARA $h=5\text{ mm}$

<i>h</i>	5 mm
<i>L incial patín</i>	350 mm
<i>Ancho patín</i>	150 mm
<i>L vicera</i>	7.0711 mm
<i>Ángulo patín</i>	45 °
<i>Coef. Rozamiento</i>	0.33
<i>Densidad</i>	1,628 Kg/m <sup>3</sup>
<i>Fi</i>	33 °
<i>W máq. sin patines</i>	12.2280 Kg
<i>Area rueda x</i>	0 mm <sup>2</sup>
<i>F rueda</i>	0.0269 Kg
<i>F fuste rueda</i>	Kg
<i>F fuste rueda x</i>	0.0740 Kg
<i>F fuste rueda y</i>	0.1279 Kg
<i>F fuste vicera</i>	0.0030 Kg
<i>F fuste vicera x</i>	0.0021 Kg
<i>F fuste vicera y</i>	0.0021 Kg
<i>Fvx = Fvy</i>	0.0311 Kg
<i>Velocidad</i>	0.5 m/seg
<i>Seno (Fi)</i>	0.5446
<i>Coseno (Fi)</i>	0.8387

<i>Iteración</i>	<i>W patines (Kg)</i>	<i>W (Kg)</i>	<i>F (Kg)</i>	<i>A total x (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Largo patín (cm)</i>	<i>Error (%)</i>
					<b>35.00000</b>	
1	1.25332	13.48132	4.53684	13,089.57651	290.37948	87.94681
2	10.21714	22.44514	7.44146	22,158.19434	491.90432	40.96830
3	17.29066	29.51866	9.73354	29,314.41447	650.93143	24.43070
4	22.87251	35.10051	11.54227	34,961.52493	776.42278	16.16276
5	27.27726	39.50526	12.96957	39,417.76802	875.45040	11.31162
6	30.75313	42.98113	14.09588	42,934.27485	953.59500	8.19474
7	33.49600	45.72400	14.98467	45,709.21778	1,015.26040	6.07385
8	35.66046	47.88846	15.68604	47,898.97844	1,063.92174	4.57377
9	37.36847	49.59647	16.23950	49,626.96054	1,102.32135	3.48352
10	38.71630	50.94430	16.67624	50,990.54433	1,132.62321	2.67537
11	39.77989	52.00789	17.02089	52,066.57443	1,156.53499	2.06754
12	40.61920	52.84720	17.29285	52,915.69041	1,175.40423	1.60534
13	41.28151	53.50951	17.50747	53,585.74410	1,190.29431	1.25096
14	41.80415	54.03215	17.67682	54,114.49631	1,202.04436	0.97751
15	42.21658	54.44458	17.81046	54,531.74481	1,211.31655	0.76546

## CÁLCULO DEL ÁREA DEL PATÍN PARA $h=10$ mm

<i>h</i>	10 mm
<i>L inicial patín</i>	350 mm
<i>Ancho patín</i>	150 mm
<i>L vicera</i>	14.1421 mm
<i>Ángulo patín</i>	45 °
<i>Coef. Rozamiento</i>	0.33
<i>Densidad</i>	1,628 Kg/m <sup>3</sup>
<i>Fi</i>	33 °
<i>W máq. sin patines</i>	12.2280 Kg
<i>Area rueda x</i>	0 mm <sup>2</sup>
<i>F rueda</i>	0.0269 Kg
<i>F fuste rueda</i>	Kg
<i>F fuste rueda x</i>	0.0945 Kg
<i>F fuste rueda y</i>	0.1434 Kg
<i>F fuste vicera</i>	0.0118 Kg
<i>F fuste vicera x</i>	0.0084 Kg
<i>F fuste vicera y</i>	0.0084 Kg
<i>Fvx = Fvy</i>	0.0622 Kg
<i>Velocidad</i>	0.5 m/seg
<i>Seno (Fi)</i>	0.5446
<i>Coseno (Fi)</i>	0.8387

<i>Iteración</i>	<i>W patines (Kg)</i>	<i>W (Kg)</i>	<i>F (Kg)</i>	<i>A total x (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Largo patín (cm)</i>	<i>Error (%)</i>
					<b>35.00000</b>	
1	1.27814	13.50614	4.61192	6,446.98737	142.26639	75.39826
2	5.04319	17.27119	5.83194	8,351.52150	184.58937	22.92818
3	6.52873	18.75673	6.31331	9,102.97369	201.28830	8.29603
4	7.11486	19.34286	6.50324	9,399.46635	207.87703	3.16953
5	7.34612	19.57412	6.57817	9,516.45037	210.47667	1.23512
6	7.43737	19.66537	6.60774	9,562.60754	211.50239	0.48497
7	7.47337	19.70137	6.61941	9,580.81929	211.90710	0.19098
8	7.48758	19.71558	6.62401	9,588.00491	212.06678	0.07530
9	7.49318	19.72118	6.62583	9,590.84007	212.12978	0.02970
10	7.49539	19.72339	6.62654	9,591.95870	212.15464	0.01172
11	7.49627	19.72427	6.62683	9,592.40007	212.16445	0.00462
12	7.49661	19.72461	6.62694	9,592.57422	212.16832	0.00182
13	7.49675	19.72475	6.62698	9,592.64293	212.16984	0.00072
14	7.49680	19.72480	6.62700	9,592.67004	212.17045	0.00028
15	7.49682	19.72482	6.62701	9,592.68074	212.17068	0.00011

## CÁLCULO DEL ÁREA DEL PATÍN PARA $h=15\text{ mm}$

<i>h</i>	15 mm
<i>L inicial patín</i>	350 mm
<i>Ancho patín</i>	150 mm
<i>L vicera</i>	21.2132 mm
<i>Ángulo patín</i>	45 °
<i>Coef. Rozamiento</i>	0.33
<i>Densidad</i>	1,628 Kg/m <sup>3</sup>
<i>Fi</i>	33 °
<i>W máq. sin patines</i>	12.2280 Kg
<i>Area rueda x</i>	0 mm <sup>2</sup>
<i>F rueda</i>	0.0269 Kg
<i>F fuste rueda</i>	Kg
<i>F fuste rueda x</i>	0.1175 Kg
<i>F fuste rueda y</i>	0.1598 Kg
<i>F fuste vicera</i>	0.0266 Kg
<i>F fuste vicera x</i>	0.0188 Kg
<i>F fuste vicera y</i>	0.0188 Kg
<i>Fvx = Fvy</i>	0.0933 Kg
<i>Velocidad</i>	0.5 m/seg
<i>Seno (Fi)</i>	0.5446
<i>Coseno (Fi)</i>	0.8387

<i>Iteración</i>	<i>W patines (Kg)</i>	<i>W (Kg)</i>	<i>F (Kg)</i>	<i>A total x (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Largo patín (cm)</i>	<i>Error (%)</i>
					<b>35.00000</b>	
1	1.30296	13.53096	4.67497	4,229.60794	92.49129	62.15860
2	3.32090	15.54890	5.32886	4,910.12010	107.61378	14.05256
3	3.85170	16.07970	5.50086	5,089.12183	111.59160	3.56462
4	3.99132	16.21932	5.54610	5,136.20639	112.63792	0.92893
5	4.02805	16.25605	5.55800	5,148.59150	112.91314	0.24375
6	4.03771	16.26571	5.56113	5,151.84928	112.98554	0.06407
7	4.04025	16.26825	5.56195	5,152.70620	113.00458	0.01685
8	4.04092	16.26892	5.56217	5,152.93161	113.00959	0.00443
9	4.04109	16.26909	5.56223	5,152.99090	113.01091	0.00117
10	4.04114	16.26914	5.56224	5,153.00649	113.01126	0.00031
11	4.04115	16.26915	5.56224	5,153.01060	113.01135	0.00008
12	4.04116	16.26916	5.56225	5,153.01168	113.01137	0.00002
13	4.04116	16.26916	5.56225	5,153.01196	113.01138	0.00001
14	4.04116	16.26916	5.56225	5,153.01203	113.01138	0.00000
15	4.04116	16.26916	5.56225	5,153.01205	113.01138	0.00000

## CÁLCULO DEL ÁREA DEL PATÍN PARA $h=20$ mm

<i>h</i>	20 mm
<i>L inicial patín</i>	350 mm
<i>Ancho patín</i>	150 mm
<i>L vicera</i>	28.2843 mm
<i>Ángulo patín</i>	45 °
<i>Coef. Rozamiento</i>	0.33
<i>Densidad</i>	1,628 Kg/m <sup>3</sup>
<i>Fi</i>	33 °
<i>W máq. sin patines</i>	12.2280 Kg
<i>Area rueda x</i>	0 mm <sup>2</sup>
<i>F rueda</i>	0.0269 Kg
<i>F fuste rueda</i>	Kg
<i>F fuste rueda x</i>	0.1430 Kg
<i>F fuste rueda y</i>	0.1771 Kg
<i>F fuste vicera</i>	0.0473 Kg
<i>F fuste vicera x</i>	0.0335 Kg
<i>F fuste vicera y</i>	0.0335 Kg
<i>Fvx = Fvy</i>	0.1245 Kg
<i>Velocidad</i>	0.5 m/seg
<i>Seno (Fi)</i>	0.5446
<i>Coseno (Fi)</i>	0.8387

<i>Iteración</i>	<i>W patines (Kg)</i>	<i>W (Kg)</i>	<i>F (Kg)</i>	<i>A total x (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Largo patín (cm)</i>	<i>Error (%)</i>
					<b>35.00000</b>	
1	1.32778	13.55578	4.72599	3,118.53600	67.30080	47.99467
2	2.46154	14.68954	5.09337	3,405.28928	73.67310	8.64942
3	2.68520	14.91320	5.16584	3,461.85991	74.93022	1.67773
4	2.72933	14.95733	5.18014	3,473.02015	75.17823	0.32989
5	2.73803	14.96603	5.18296	3,475.22184	75.22715	0.06504
6	2.73975	14.96775	5.18352	3,475.65619	75.23680	0.01283
7	2.74009	14.96809	5.18363	3,475.74188	75.23871	0.00253
8	2.74016	14.96816	5.18365	3,475.75878	75.23908	0.00050
9	2.74017	14.96817	5.18365	3,475.76212	75.23916	0.00010
10	2.74017	14.96817	5.18365	3,475.76277	75.23917	0.00002
11	2.74017	14.96817	5.18365	3,475.76290	75.23918	0.00000
12	2.74017	14.96817	5.18365	3,475.76293	75.23918	0.00000
13	2.74017	14.96817	5.18365	3,475.76293	75.23918	0.00000
14	2.74017	14.96817	5.18365	3,475.76294	75.23918	0.00000
15	2.74017	14.96817	5.18365	3,475.76294	75.23918	0.00000

## CÁLCULO DEL ÁREA DEL PATÍN PARA $h=25\text{ mm}$

<i>h</i>	25 mm
<i>L inicial patín</i>	350 mm
<i>Ancho patín</i>	150 mm
<i>L vicera</i>	35.3553 mm
<i>Ángulo patín</i>	45 °
<i>Coef. Rozamiento</i>	0.33
<i>Densidad</i>	1,628 Kg/m <sup>3</sup>
<i>Fi</i>	33 °
<i>W máq. sin patines</i>	12.2280 Kg
<i>Area rueda x</i>	0 mm <sup>2</sup>
<i>F rueda</i>	0.0269 Kg
<i>F fuste rueda</i>	Kg
<i>F fuste rueda x</i>	0.1710 Kg
<i>F fuste rueda y</i>	0.1952 Kg
<i>F fuste vicera</i>	0.0739 Kg
<i>F fuste vicera x</i>	0.0523 Kg
<i>F fuste vicera y</i>	0.0523 Kg
<i>Fvx = Fvy</i>	0.1556 Kg
<i>Velocidad</i>	0.5 m/seg
<i>Seno (Fi)</i>	0.5446
<i>Coseno (Fi)</i>	0.8387

<i>Iteración</i>	<i>W patines (Kg)</i>	<i>W (Kg)</i>	<i>F (Kg)</i>	<i>A total x (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Largo patín (cm)</i>	<i>Error (%)</i>
					<b>35.00000</b>	
1	1.35260	13.58060	4.76493	2,449.98826	51.94418	32.61998
2	1.94734	14.17534	4.95765	2,570.32708	54.61838	4.89615
3	2.04120	14.26920	4.98807	2,589.31941	55.04043	0.76680
4	2.05602	14.28402	4.99287	2,592.31686	55.10704	0.12087
5	2.05835	14.28635	4.99362	2,592.78993	55.11755	0.01907
6	2.05872	14.28672	4.99374	2,592.86459	55.11921	0.00301
7	2.05878	14.28678	4.99376	2,592.87637	55.11947	0.00048
8	2.05879	14.28679	4.99377	2,592.87823	55.11952	0.00007
9	2.05879	14.28679	4.99377	2,592.87852	55.11952	0.00001
10	2.05879	14.28679	4.99377	2,592.87857	55.11952	0.00000
11	2.05879	14.28679	4.99377	2,592.87858	55.11952	0.00000
12	2.05879	14.28679	4.99377	2,592.87858	55.11952	0.00000
13	2.05879	14.28679	4.99377	2,592.87858	55.11952	0.00000
14	2.05879	14.28679	4.99377	2,592.87858	55.11952	0.00000
15	2.05879	14.28679	4.99377	2,592.87858	55.11952	0.00000

## CÁLCULO DEL ÁREA DEL PATÍN PARA $h=30\text{ mm}$

<i>h</i>	30 mm
<i>L inicial patín</i>	350 mm
<i>Ancho patín</i>	150 mm
<i>L vicera</i>	42.4264 mm
<i>Ángulo patín</i>	45 °
<i>Coef. Rozamiento</i>	0.33
<i>Densidad</i>	1,628 Kg/m <sup>3</sup>
<i>Fi</i>	33 °
<i>W máq. sin patines</i>	12.2280 Kg
<i>Area rueda x</i>	0 mm <sup>2</sup>
<i>F rueda</i>	0.0269 Kg
<i>F fuste rueda</i>	Kg
<i>F fuste rueda x</i>	0.2015 Kg
<i>F fuste rueda y</i>	0.2142 Kg
<i>F fuste vicera</i>	0.1065 Kg
<i>F fuste vicera x</i>	0.0753 Kg
<i>F fuste vicera y</i>	0.0753 Kg
<i>Fvx = Fvy</i>	0.1867 Kg
<i>Velocidad</i>	0.5 m/seg
<i>Seno (Fi)</i>	0.5446
<i>Coseno (Fi)</i>	0.8387

<i>Iteración</i>	<i>W patines (Kg)</i>	<i>W (Kg)</i>	<i>F (Kg)</i>	<i>A total x (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Largo patín (cm)</i>	<i>Error (%)</i>
					<b>35.00000</b>	
1	1.37742	13.60542	4.79187	2,002.69942	41.50443	15.67166
2	1.60572	13.83372	4.86585	2,041.19521	42.35989	2.01951
3	1.63575	13.86375	4.87558	2,046.25817	42.47240	0.26490
4	1.63970	13.86770	4.87686	2,046.92405	42.48720	0.03483
5	1.64022	13.86822	4.87703	2,047.01163	42.48915	0.00458
6	1.64029	13.86829	4.87705	2,047.02315	42.48940	0.00060
7	1.64029	13.86829	4.87705	2,047.02466	42.48944	0.00008
8	1.64030	13.86830	4.87705	2,047.02486	42.48944	0.00001
9	1.64030	13.86830	4.87705	2,047.02489	42.48944	0.00000
10	1.64030	13.86830	4.87705	2,047.02489	42.48944	0.00000
11	1.64030	13.86830	4.87705	2,047.02489	42.48944	0.00000
12	1.64030	13.86830	4.87705	2,047.02489	42.48944	0.00000
13	1.64030	13.86830	4.87705	2,047.02489	42.48944	0.00000
14	1.64030	13.86830	4.87705	2,047.02489	42.48944	0.00000
15	1.64030	13.86830	4.87705	2,047.02489	42.48944	0.00000

## CÁLCULO DEL ÁREA DEL PATÍN PARA $h=35\text{ mm}$

<i>h</i>	35 mm
<i>L inicial patín</i>	350 mm
<i>Ancho patín</i>	150 mm
<i>L vicera</i>	49.4975 mm
<i>Ángulo patín</i>	45 °
<i>Coef. Rozamiento</i>	0.33
<i>Densidad</i>	1,628 Kg/m <sup>3</sup>
<i>Fi</i>	33 °
<i>W máq. sin patines</i>	12.2280 Kg
<i>Area rueda x</i>	0 mm <sup>2</sup>
<i>F rueda</i>	0.0269 Kg
<i>F fuste rueda</i>	Kg
<i>F fuste rueda x</i>	0.2345 Kg
<i>F fuste rueda y</i>	0.2345 Kg
<i>F fuste vicera</i>	0.1449 Kg
<i>F fuste vicera x</i>	0.1025 Kg
<i>F fuste vicera y</i>	0.1025 Kg
<i>Fvx = Fvy</i>	0.2178 Kg
<i>Velocidad</i>	0.5 m/seg
<i>Seno (Fi)</i>	0.5446
<i>Coseno (Fi)</i>	0.8387

<i>Iteración</i>	<i>W patines (Kg)</i>	<i>W (Kg)</i>	<i>F (Kg)</i>	<i>A total x (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Largo patín (cm)</i>	<i>Error (%)</i>
					<b>35.00000</b>	
1	1.40224	13.63024	4.80652	1,681.74871	33.87219	3.32959
2	1.36265	13.59065	4.79369	1,676.02745	33.74505	0.37676
3	1.35819	13.58619	4.79225	1,675.38249	33.73072	0.04249
4	1.35768	13.58568	4.79208	1,675.30978	33.72911	0.00479
5	1.35763	13.58563	4.79206	1,675.30158	33.72892	0.00054
6	1.35762	13.58562	4.79206	1,675.30066	33.72890	0.00006
7	1.35762	13.58562	4.79206	1,675.30055	33.72890	0.00001
8	1.35762	13.58562	4.79206	1,675.30054	33.72890	0.00000
9	1.35762	13.58562	4.79206	1,675.30054	33.72890	0.00000
10	1.35762	13.58562	4.79206	1,675.30054	33.72890	0.00000
11	1.35762	13.58562	4.79206	1,675.30054	33.72890	0.00000
12	1.35762	13.58562	4.79206	1,675.30054	33.72890	0.00000
13	1.35762	13.58562	4.79206	1,675.30054	33.72890	0.00000
14	1.35762	13.58562	4.79206	1,675.30054	33.72890	0.00000
15	1.35762	13.58562	4.79206	1,675.30054	33.72890	0.00000

## CÁLCULO DEL ÁREA DEL PATÍN PARA $h=40$ mm

<i>h</i>	40 mm
<i>L inicial patin</i>	350 mm
<i>Ancho patín</i>	150 mm
<i>L vicera</i>	56.5685 mm
<i>Ángulo patín</i>	45 °
<i>Coef. Rozamiento</i>	0.33
<i>Densidad</i>	1,628 Kg/m <sup>3</sup>
<i>Fi</i>	33 °
<i>W máq. sin patines</i>	12.2280 Kg
<i>Area rueda x</i>	0 mm <sup>2</sup>
<i>F rueda</i>	0.0269 Kg
<i>F fuste rueda</i>	Kg
<i>F fuste rueda x</i>	0.2700 Kg
<i>F fuste rueda y</i>	0.2700 Kg
<i>F fuste vicera</i>	0.1893 Kg
<i>F fuste vicera x</i>	0.1338 Kg
<i>F fuste vicera y</i>	0.1338 Kg
<i>Fvx = Fvy</i>	0.2489 Kg
<i>Velocidad</i>	0.5 m/seg
<i>Seno (Fi)</i>	0.5446
<i>Coseno (Fi)</i>	0.8387

<i>Iteración</i>	<i>W patines (Kg)</i>	<i>W (Kg)</i>	<i>F (Kg)</i>	<i>A total x (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Largo patín (cm)</i>	<i>Error (%)</i>
					<b>35.00000</b>	
1	1.42706	13.65506	4.79982	1,436.20753	27.91572	25.37737
2	1.17840	13.40640	4.71925	1,404.76187	27.21693	2.56749
3	1.15387	13.38187	4.71130	1,401.66008	27.14800	0.25390
4	1.15145	13.37945	4.71051	1,401.35412	27.14120	0.02505
5	1.15121	13.37921	4.71044	1,401.32394	27.14053	0.00247
6	1.15119	13.37919	4.71043	1,401.32096	27.14047	0.00024
7	1.15119	13.37919	4.71043	1,401.32067	27.14046	0.00002
8	1.15119	13.37919	4.71043	1,401.32064	27.14046	0.00000
9	1.15119	13.37919	4.71043	1,401.32063	27.14046	0.00000
10	1.15119	13.37919	4.71043	1,401.32063	27.14046	0.00000
11	1.15119	13.37919	4.71043	1,401.32063	27.14046	0.00000
12	1.15119	13.37919	4.71043	1,401.32063	27.14046	0.00000
13	1.15119	13.37919	4.71043	1,401.32063	27.14046	0.00000
14	1.15119	13.37919	4.71043	1,401.32063	27.14046	0.00000
15	1.15119	13.37919	4.71043	1,401.32063	27.14046	0.00000

## CÁLCULO DEL ÁREA DEL PATÍN PARA $h=45\text{ mm}$

<i>h</i>	45 mm
<i>L inicial patín</i>	350 mm
<i>Ancho patín</i>	150 mm
<i>L vicera</i>	63.6396 mm
<i>Ángulo patín</i>	45 °
<i>Coef. Rozamiento</i>	0.33
<i>Densidad</i>	1,628 Kg/m <sup>3</sup>
<i>Fi</i>	33 °
<i>W máq. sin patines</i>	12.2280 Kg
<i>Area rueda x</i>	0 mm <sup>2</sup>
<i>F rueda</i>	0.0269 Kg
<i>F fuste rueda</i>	Kg
<i>F fuste rueda x</i>	0.3080 Kg
<i>F fuste rueda y</i>	0.3080 Kg
<i>F fuste vicera</i>	0.2395 Kg
<i>F fuste vicera x</i>	0.1694 Kg
<i>F fuste vicera y</i>	0.1694 Kg
<i>Fvx = Fvy</i>	0.2800 Kg
<i>Velocidad</i>	0.5 m/seg
<i>Seno (Fi)</i>	0.5446
<i>Coseno (Fi)</i>	0.8387

<i>Iteración</i>	<i>W patines (Kg)</i>	<i>W (Kg)</i>	<i>F (Kg)</i>	<i>A total x (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Largo patín (cm)</i>	<i>Error (%)</i>
					<b>35.00000</b>	
1	1.45188	13.67988	4.78002	1,243.80954	23.14021	51.25186
2	1.03560	13.26360	4.64513	1,197.01561	22.10035	4.70520
3	0.99910	13.22710	4.63331	1,192.91272	22.00917	0.41426
4	0.99590	13.22390	4.63227	1,192.55298	22.00118	0.03634
5	0.99562	13.22362	4.63218	1,192.52144	22.00048	0.00319
6	0.99559	13.22359	4.63217	1,192.51867	22.00041	0.00028
7	0.99559	13.22359	4.63217	1,192.51843	22.00041	0.00002
8	0.99559	13.22359	4.63217	1,192.51841	22.00041	0.00000
9	0.99559	13.22359	4.63217	1,192.51841	22.00041	0.00000
10	0.99559	13.22359	4.63217	1,192.51841	22.00041	0.00000
11	0.99559	13.22359	4.63217	1,192.51841	22.00041	0.00000
12	0.99559	13.22359	4.63217	1,192.51841	22.00041	0.00000
13	0.99559	13.22359	4.63217	1,192.51841	22.00041	0.00000
14	0.99559	13.22359	4.63217	1,192.51841	22.00041	0.00000
15	0.99559	13.22359	4.63217	1,192.51841	22.00041	0.00000

## CÁLCULO DEL ÁREA DEL PATÍN PARA $h=50\text{ mm}$

<i>h</i>	50 mm
<i>L inicial patín</i>	350 mm
<i>Ancho patín</i>	150 mm
<i>L vicera</i>	70.7107 mm
<i>Ángulo patín</i>	45 °
<i>Coef. Rozamiento</i>	0.33
<i>Densidad</i>	1,628 Kg/m <sup>3</sup>
<i>Fi</i>	33 °
<i>W máq. sin patines</i>	12.2280 Kg
<i>Area rueda x</i>	0 mm <sup>2</sup>
<i>F rueda</i>	0.0269 Kg
<i>F fuste rueda</i>	Kg
<i>F fuste rueda x</i>	0.3486 Kg
<i>F fuste rueda y</i>	0.3486 Kg
<i>F fuste vicera</i>	0.2957 Kg
<i>F fuste vicera x</i>	0.2091 Kg
<i>F fuste vicera y</i>	0.2091 Kg
<i>Fvx = Fvy</i>	0.3112 Kg
<i>Velocidad</i>	0.5 m/seg
<i>Seno (Fi)</i>	0.5446
<i>Coseno (Fi)</i>	0.8387

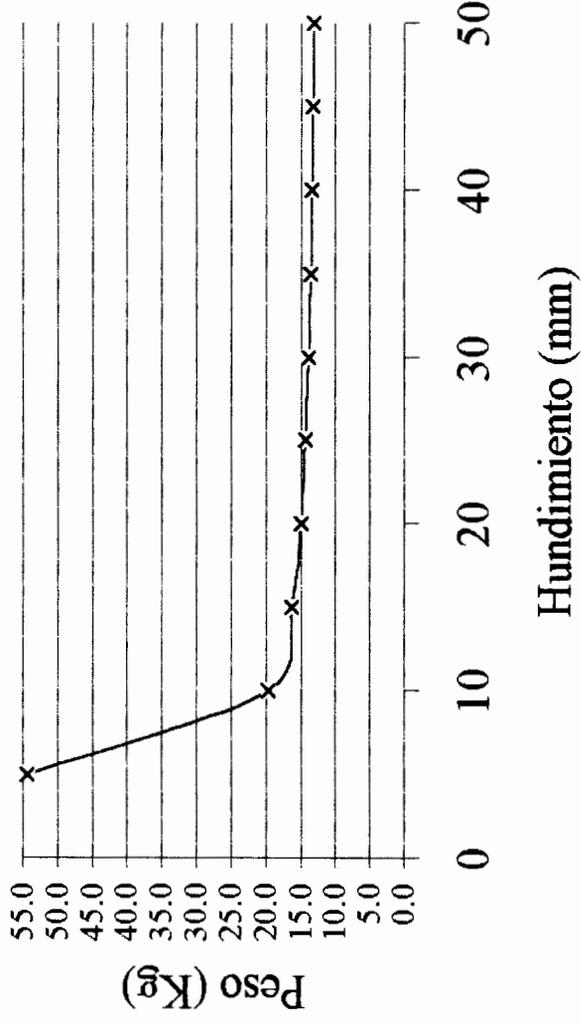
<i>Iteración</i>	<i>W patines (Kg)</i>	<i>W (Kg)</i>	<i>F (Kg)</i>	<i>A total x (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Largo patín (cm)</i>	<i>Error (%)</i>
					<b>35.00000</b>	
1	1.47669	13.70469	4.74715	1,088.60844	19.19130	82.37432
2	0.92181	13.14981	4.56734	1,032.47117	17.94380	6.95223
3	0.87802	13.10602	4.55315	1,028.04127	17.84536	0.55164
4	0.87457	13.10257	4.55203	1,027.69170	17.83759	0.04355
5	0.87429	13.10229	4.55195	1,027.66412	17.83698	0.00344
6	0.87427	13.10227	4.55194	1,027.66194	17.83693	0.00027
7	0.87427	13.10227	4.55194	1,027.66177	17.83693	0.00002
8	0.87427	13.10227	4.55194	1,027.66175	17.83693	0.00000
9	0.87427	13.10227	4.55194	1,027.66175	17.83693	0.00000
10	0.87427	13.10227	4.55194	1,027.66175	17.83693	0.00000
11	0.87427	13.10227	4.55194	1,027.66175	17.83693	0.00000
12	0.87427	13.10227	4.55194	1,027.66175	17.83693	0.00000
13	0.87427	13.10227	4.55194	1,027.66175	17.83693	0.00000
14	0.87427	13.10227	4.55194	1,027.66175	17.83693	0.00000
15	0.87427	13.10227	4.55194	1,027.66175	17.83693	0.00000

**RESULTADOS DE LAS ITERACIONES**  
**DE ÁREA DE PATÍN**

<i>h</i> (mm)	<i>W</i> (Kg)	<i>Fuerza</i> (Kg)	<i>Largo patín</i> (cm)	<i>Largo vicera</i> (cm)
5	54.445	17.810	1.211.317	0.707
10	19.725	6.627	212.171	1.414
15	16.269	5.562	113.011	2.121
20	14.968	5.184	75.239	2.828
25	14.287	4.994	55.120	3.536
30	13.868	4.877	42.489	4.243
35	13.586	4.792	33.729	4.950
40	13.379	4.710	27.140	5.657
45	13.224	4.632	22.000	6.364
50	13.102	4.552	17.837	7.071

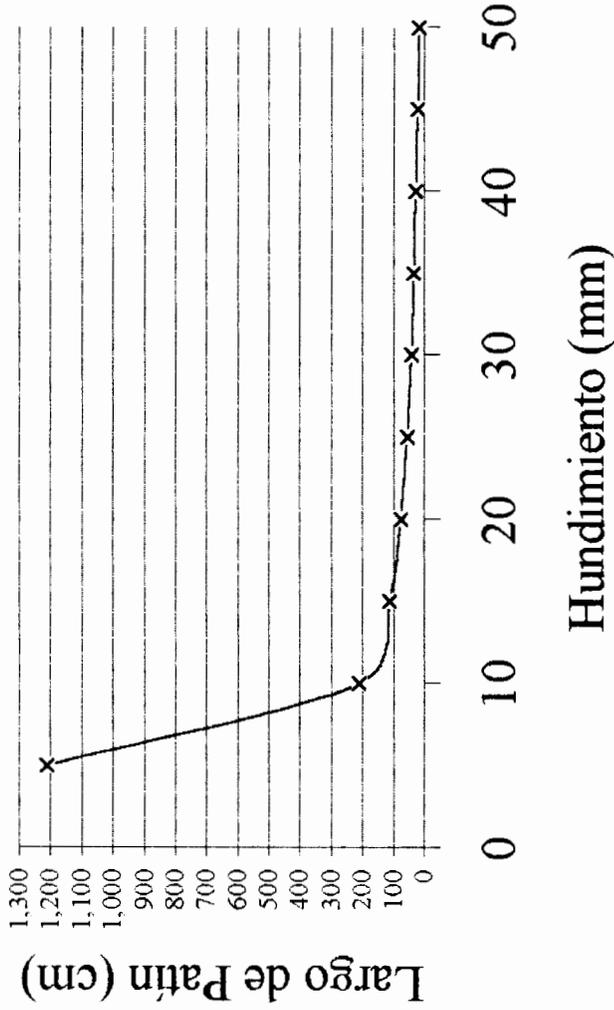
**Apéndice J-11**

# Curva Hundimiento (h) vs. Peso (W)

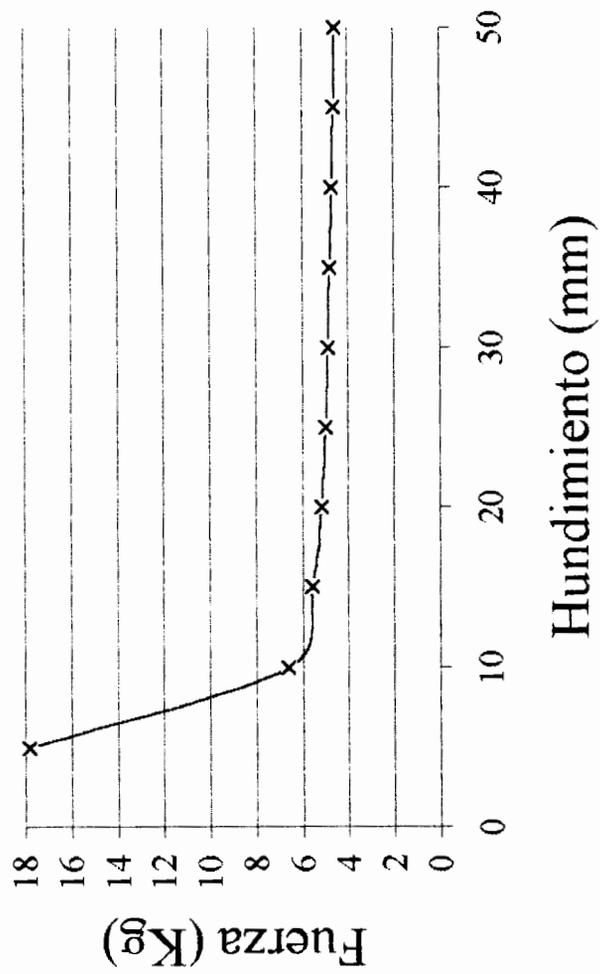


Apéndice K

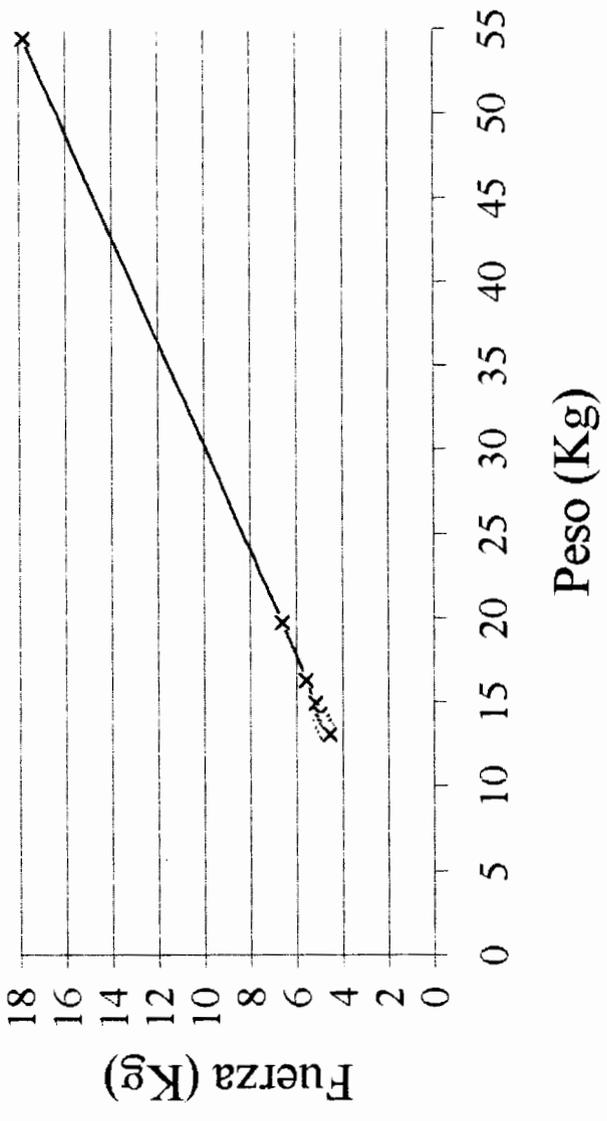
# Curva Hundimiento (h) vs. Largo de Patín



## Curva Hundimiento (h) vs. Fuerza (F)



# Curva Peso (W) vs. Fuerza (F)



**CÁLCULO DEL HUNDIMIENTO DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL  
CON EL USO DE LA FUERZA TEÓRICA**

Area patines	105.000 mm <sup>2</sup>
Ancho patín	100 mm
Long. Vlcera	80 mm
Ángulo vicera	45 °
Coef. Rozamiento	0.33
Densidad	1,628 Kg/m <sup>3</sup>
Fi	25.77 °
W total	10.75 Kg
F rueda	0.0138 Kg
Velocidad	0.5000 m/seg
Seno (Fi)	0.4348
Coseno (Fi)	0.9005

Iteración	h (mm)	R U E D A		V I C E R A		V I C E R A		F (teórica) (Kg)	A rueda x (mm <sup>2</sup> )	Area total x (mm <sup>2</sup> )	h (mm)	Error (%)
		Fuste x (Kg)	Fuste y (Kg)	Fx = Fy (Kg)	Fuste x = Fuste y (Kg)							
1	25.00000	0.18237	0.36616	0.10372	0.07886	3.44057	1,347.33552	115,194.6710	25.00000	41.20445		
2	42.52023	0.32331	0.55463	0.17641	0.13413	3.52015	1,929.13529	121,614.3390	42.52023	13.81311		
3	37.35969	0.26897	0.49480	0.15500	0.11785	3.47487	1,798.05757	119,804.0232	37.35969	3.93263		
4	38.88906	0.28101	0.51215	0.16134	0.12267	3.48074	1,836.90357	120,340.5246	38.45165	1.13754		
5	38.45165	0.27754	0.50716	0.15953	0.12129	3.47903	1,825.79336	120,187.0829	38.57671	0.32418		
6	38.57671	0.27853	0.50858	0.16005	0.12169	3.47952	1,828.96988	120,230.9536	38.54099	0.09268		
7	38.54099	0.27824	0.50817	0.15990	0.12158	3.47937	1,828.06259	120,218.4230	38.55126	0.02664		
8	38.55126	0.27832	0.50829	0.15994	0.12161	3.47941	1,828.32345	120,222.0256	38.54831	0.00767		
9	38.54831	0.27830	0.50826	0.15993	0.12160	3.47940	1,828.24852	120,220.9886	38.54910	0.00207		
10	38.54910	0.27831	0.50827	0.15993	0.12160	3.47941	1,828.26859	120,221.2682	<b>38.54885</b>	0.00065		

**CÁLCULO DEL HUNDIMIENTO DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL  
CON EL USO DE LA FUERZA REAL**

Area patines	105,000 mm <sup>2</sup>
Ancho patin	100 mm
Long. Vicera	80 mm
Ángulo vicera	45 °
Coef. Rozamiento	0.33
Densidad	1,628 Kg/m <sup>3</sup>
Fi	25.77 °
H' total	10.75 Kg
F' rueda	0.0138 Kg
Velocidad	0.5000 m/seg
Seno (Fi)	0.4348
Coseno (Fi)	0.9005

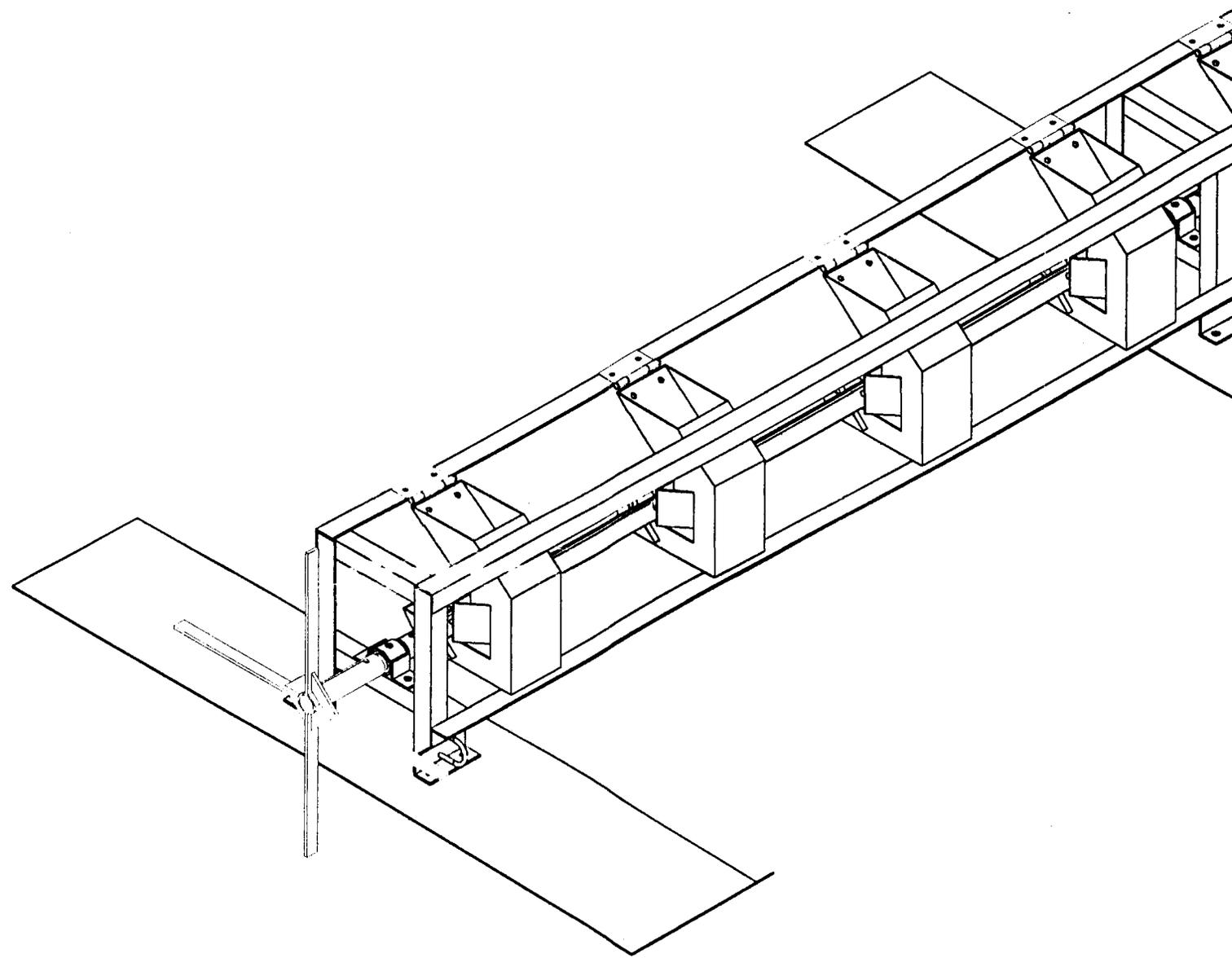
Iteración	h (mm)	R U E D A		VICERA		F (real) (Kg)	A rueda x (mm <sup>2</sup> )	Area total x (mm <sup>2</sup> )	h (mm)	Error (%)
		Fuste x (Kg)	Fuste y (Kg)	Fx = Fy (Kg)	Fuste x = Fuste y (Kg)					
1	25.00000	0.18237	0.36616	0.10372	0.07886	7.5	1,347.33552	115,194.6710	25.00000	24.49278
2	33.10942	0.23703	0.44822	0.13737	0.10444	7.5	1,690.10071	118,313.0263	33.10942	6.85191
3	30.98626	0.22191	0.42588	0.12856	0.09774	7.5	1,636.17245	117,568.2243	30.98626	1.69636
4	31.52097	0.22567	0.43145	0.13078	0.09943	7.5	1,649.75408	117,755.8006	31.52097	0.42922
5	31.38626	0.22472	0.43004	0.13022	0.09901	7.5	1,646.33245	117,708.5427	31.38626	0.10811
6	31.42023	0.22496	0.43040	0.13036	0.09911	7.5	1,647.19529	117,720.4592	31.42023	0.02743
7	31.41161	0.22490	0.43031	0.13032	0.09909	7.5	1,646.97634	117,717.4369	31.41161	0.00691
8	31.41379	0.22491	0.43033	0.13033	0.09909	7.5	1,647.03171	117,718.1990	31.41379	0.00165
9	31.41327	0.22491	0.43032	0.13033	0.09909	7.5	1,647.01850	117,718.0168	31.41327	0.00057
10	31.41344	0.22491	0.43032	0.13033	0.09909	7.5	1,647.02282	117,718.0790	<b>31.41342</b>	0.00008

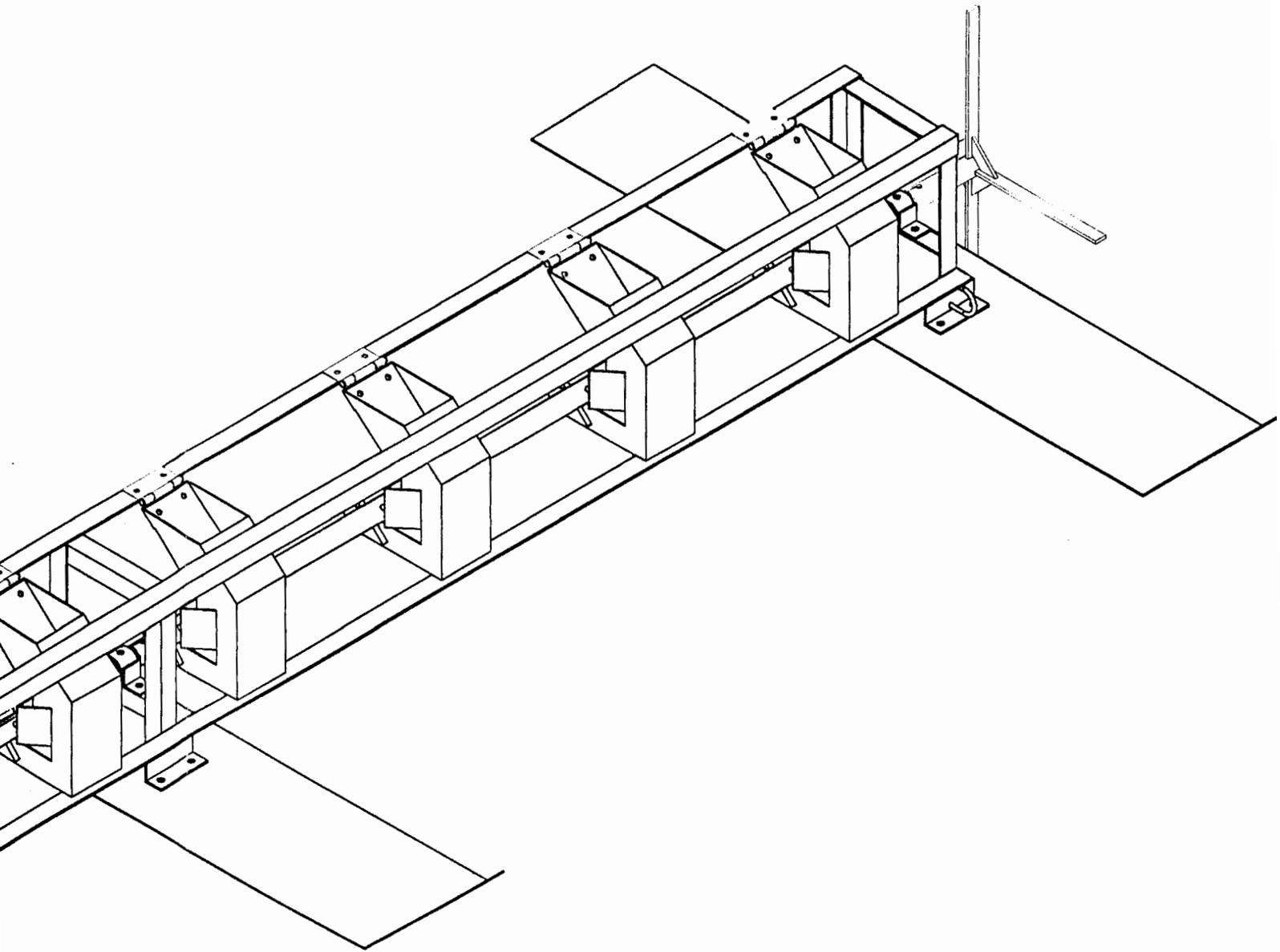
# APÉNDICE P

## VOCABULARIO

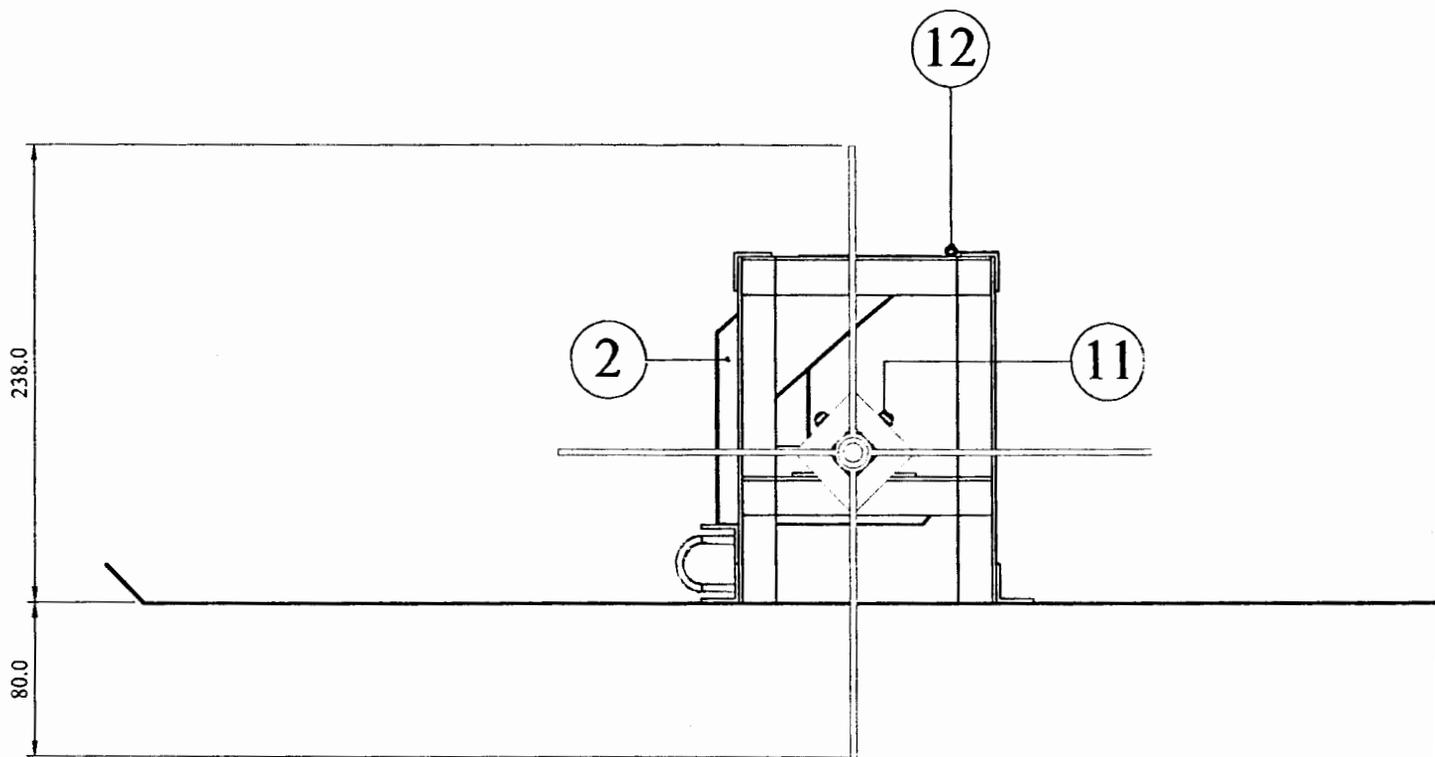
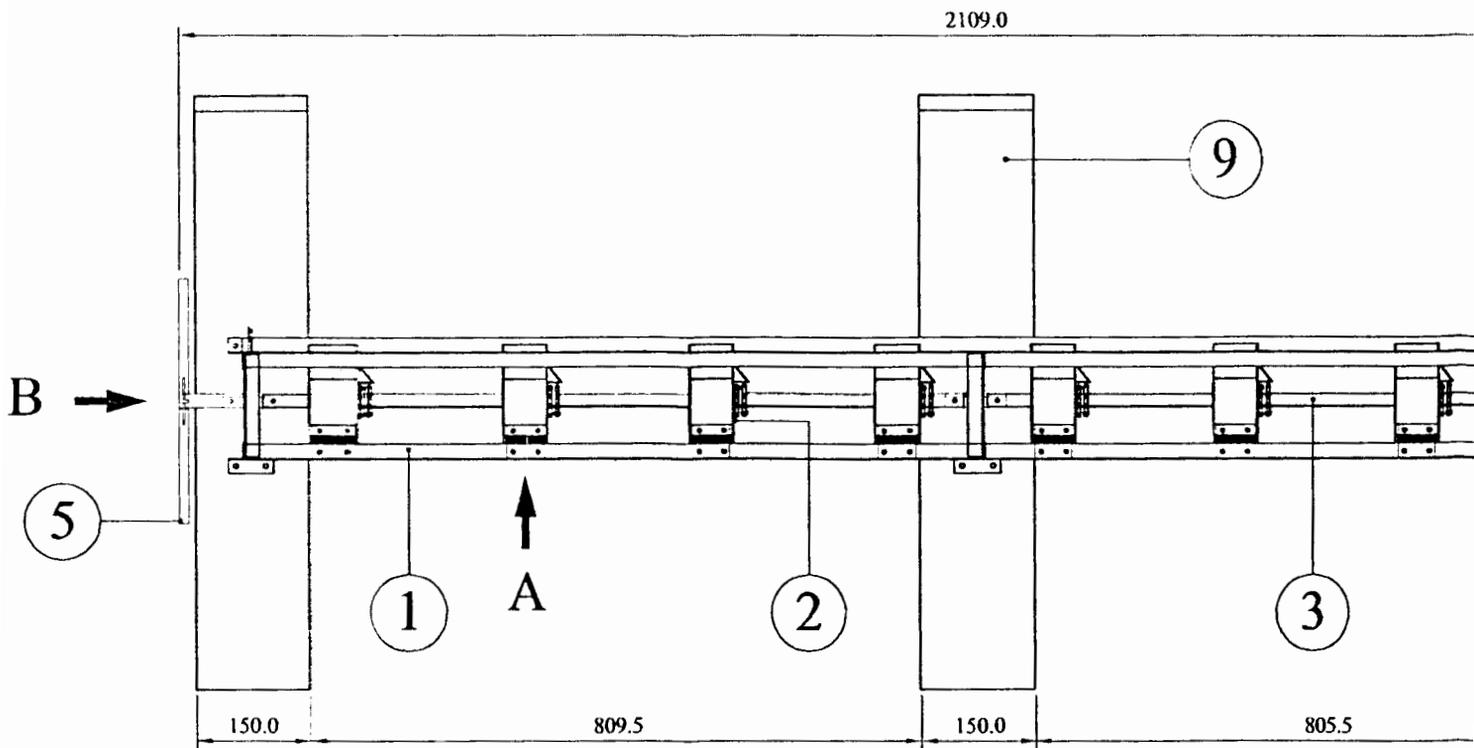
- Acame:** Volcamiento de las plantas.
- Ahijamiento:** Cuando una planta echa retoños o hijuelos.
- Basa:** Asiento de la columna.
- Capitel:** Coronamiento de la columna.
- Chicoteo:** Consiste en golpear manojos de plantas contra un madero situado en una lona.
- Espeque:** Palanca recta de madera que usa el agricultor para hacer agujeros en el suelo.
- Fuste:** Parte de la columna que media entre el capitel y la basa
- Pupas:** Segunda etapa del desarrollo de los insectos, intermedia entre la de larva y la de adulto.

# PLANOS



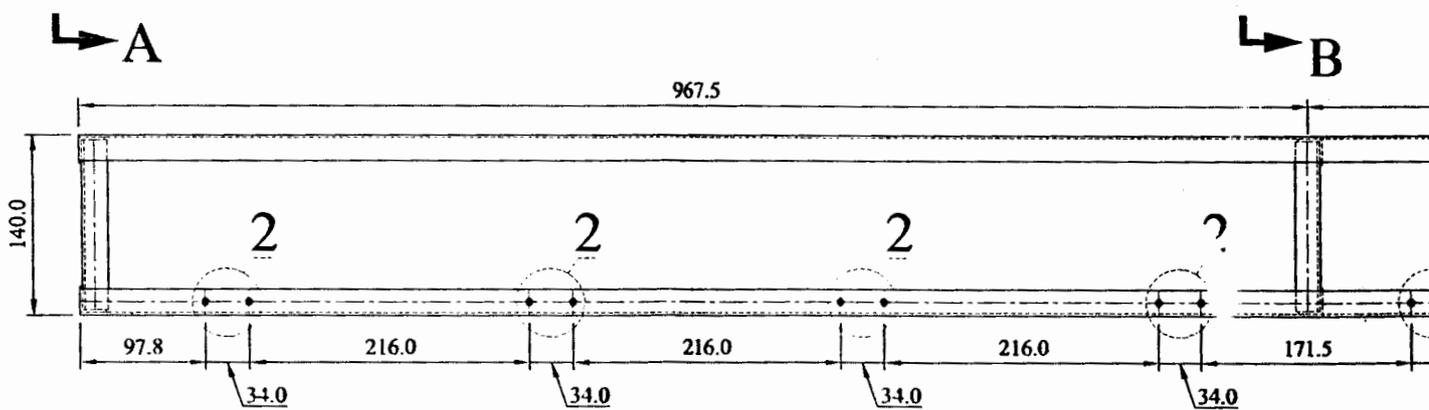
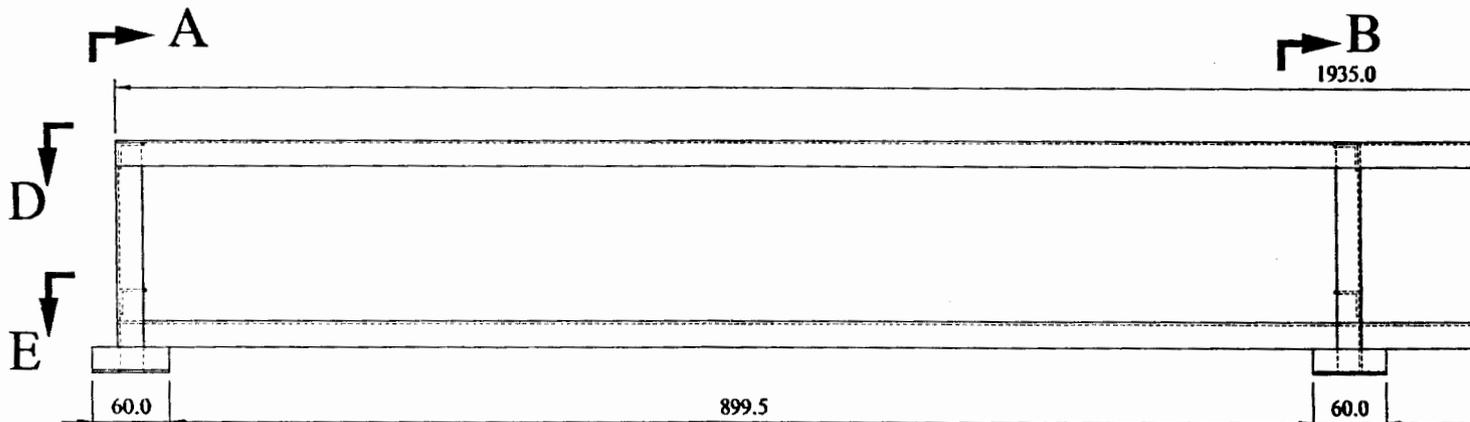


	Fecha:	Nombre:	<b>ESPOL</b> Guayaquil - Ecuador	Tesis de Grado Facultad de Ingeniería en Mecánica
Dibujo	10/05/99	X. Castillo		
Proy.		M. Espinosa		
Aprobó		M. Espinosa		No. de Plano
ESCALA:	MAQUINA SEMBRADORA DE ARROZ			<b>0 / 0</b>
4 : 21	<b>Conjunto 3D</b>			
				

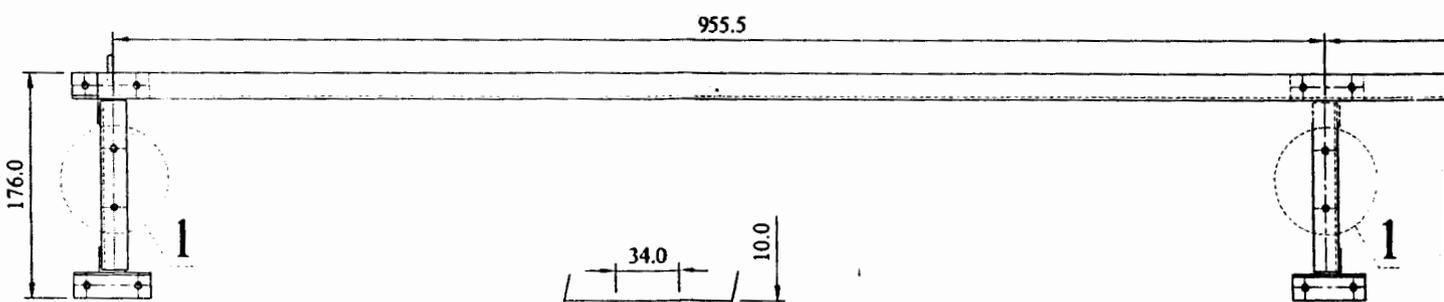


Vista " B "

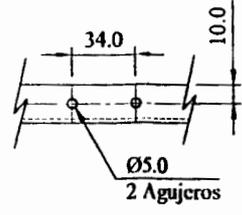
Escala 1 : 4



Sección "D"

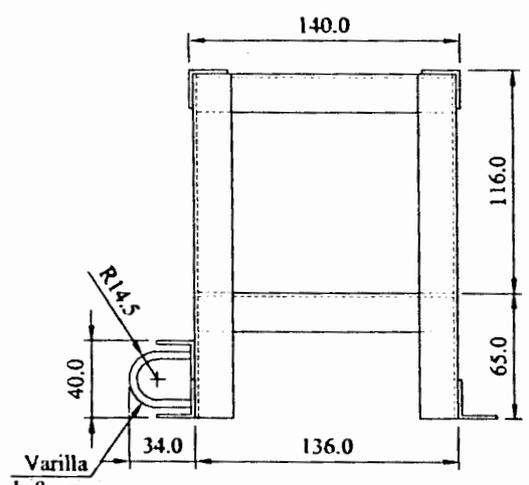


Sección "E"



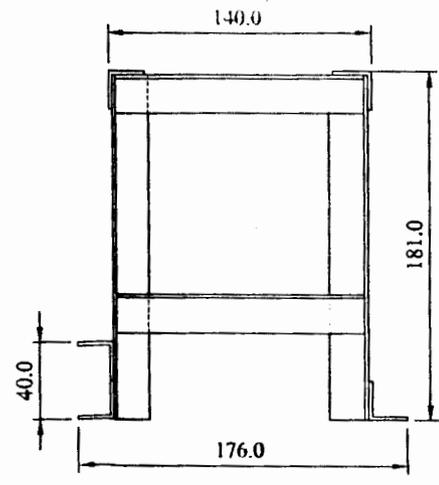
Detalle "2"

Escala 1:4



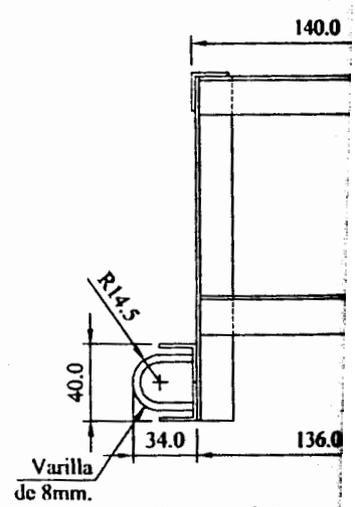
Sección "A - A"

Escala 1:4



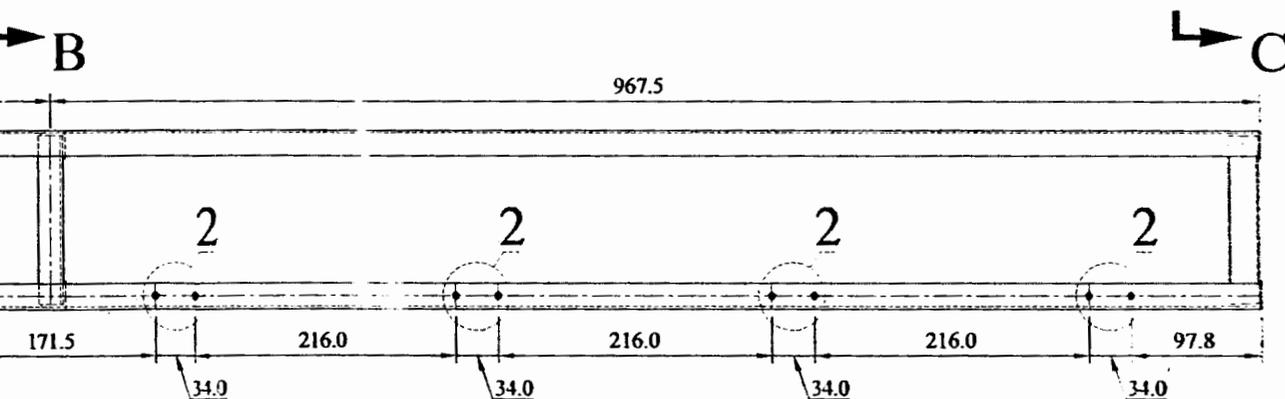
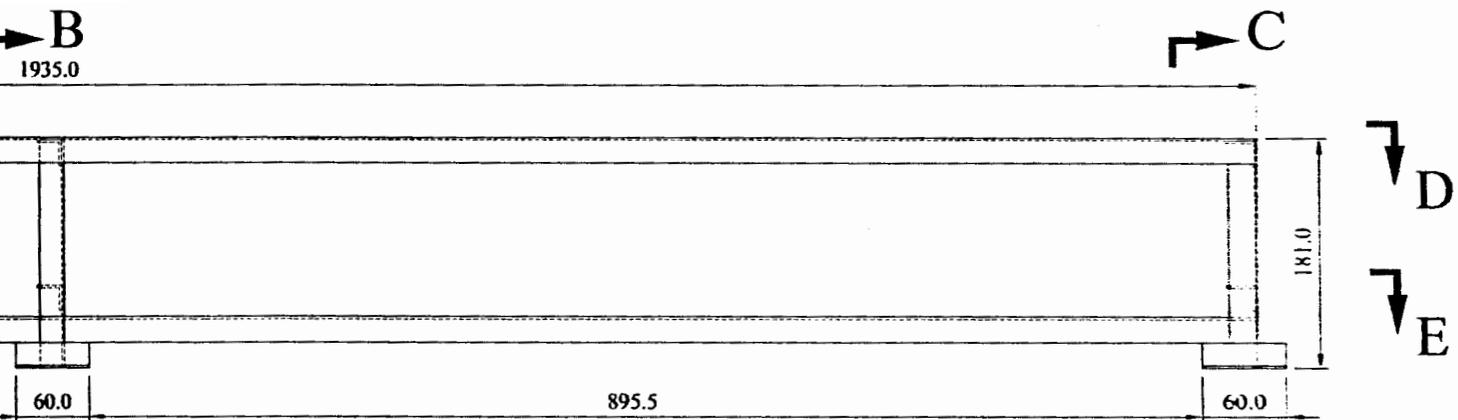
Sección "B - B"

Escala 1:4

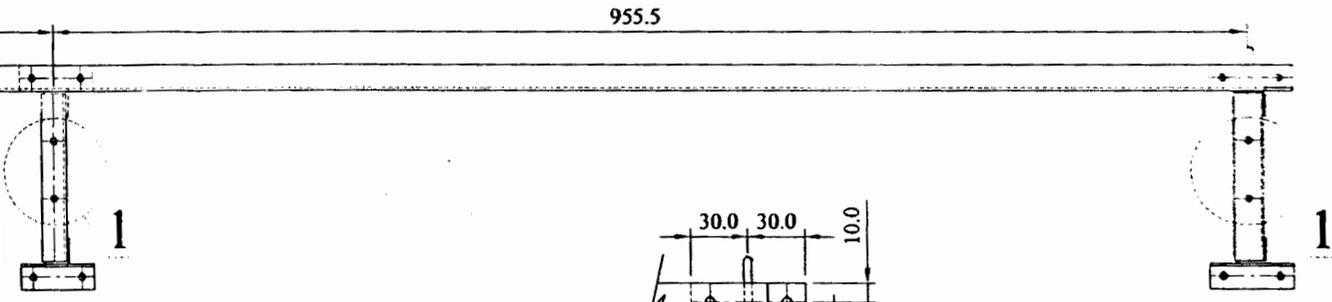


Sección

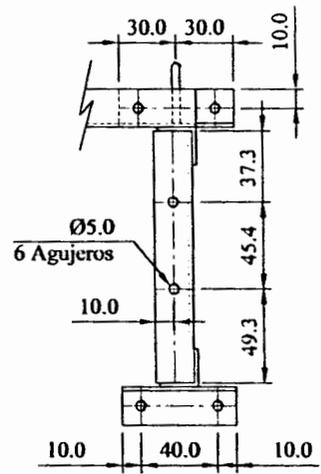
Escala 1:4



cción "D - D"



cción "E - E"

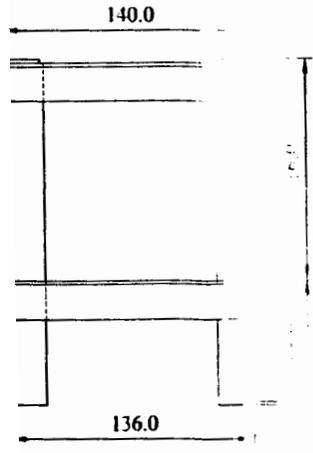


Detalle " 1 "

Escala 1 : 4

Notas:

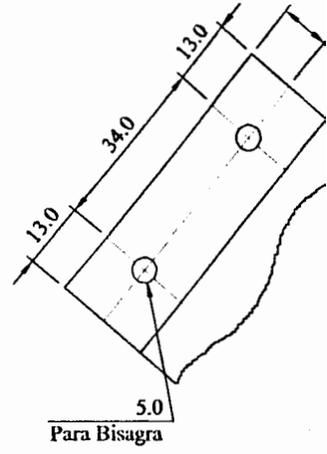
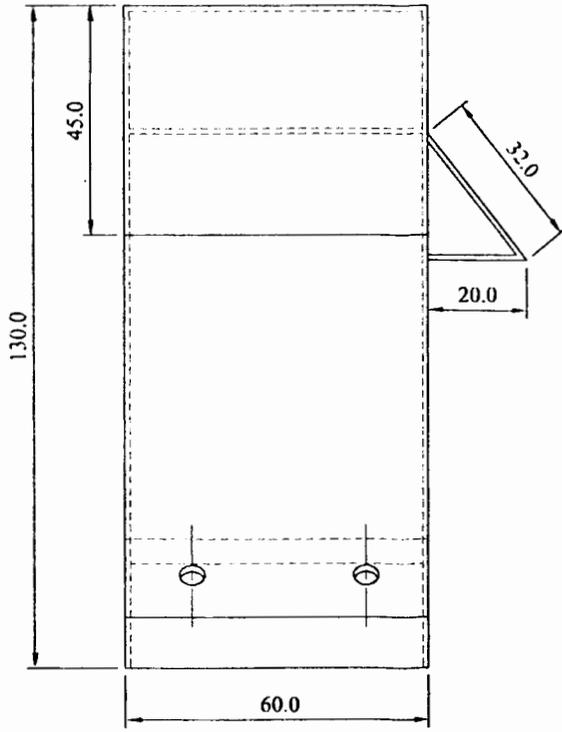
1.- Todos los perfiles son L 20x2 a menos que se indique lo contrario



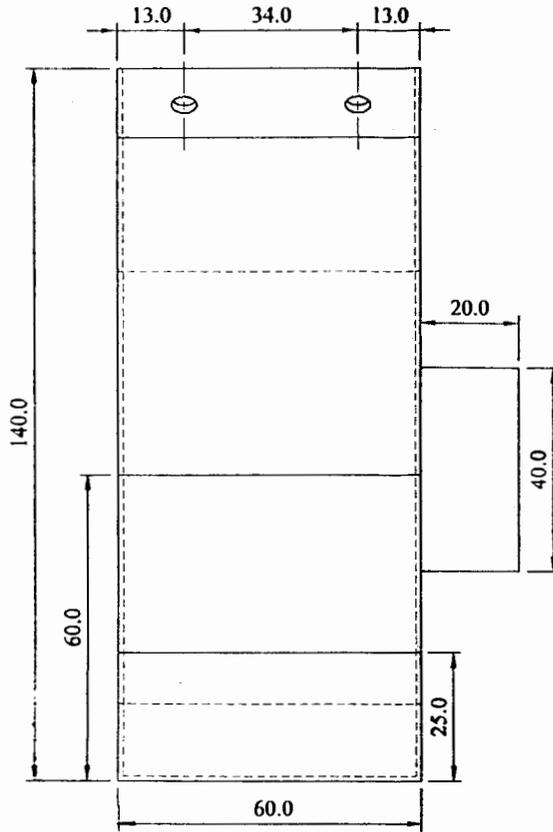
cción "C - C"

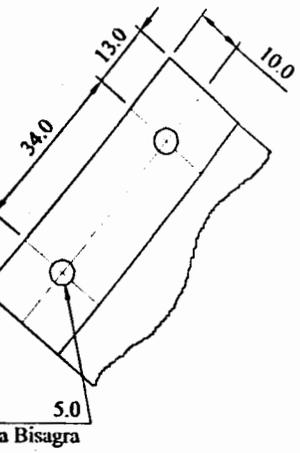
a 1 : 4

Fecha:	Nombre:	<b>ESPOL</b> Guayaquil - Ecuador	Tesis de Grado Facultad de Ingeniería en Mecán
Dibujo	X. Castillo		
Proy.	M. Espinosa		
Aprobó	M. Espinosa	MAQUINA SEMBRADORA DE ARROZ	No. de Plano
ESCALA:	1 : 6		<b>1 / 1</b>
 		<b>Marco</b>	

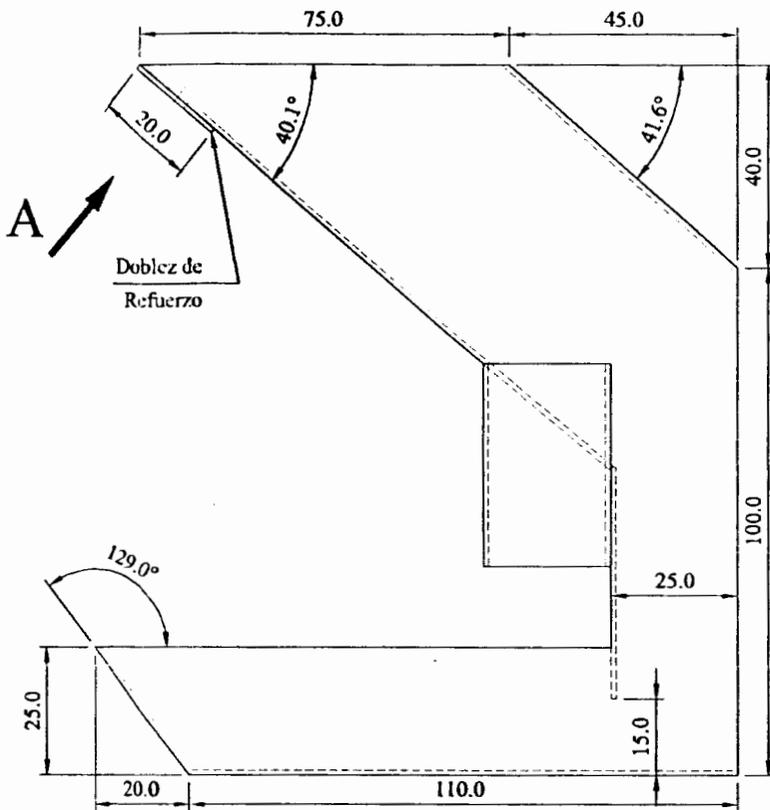
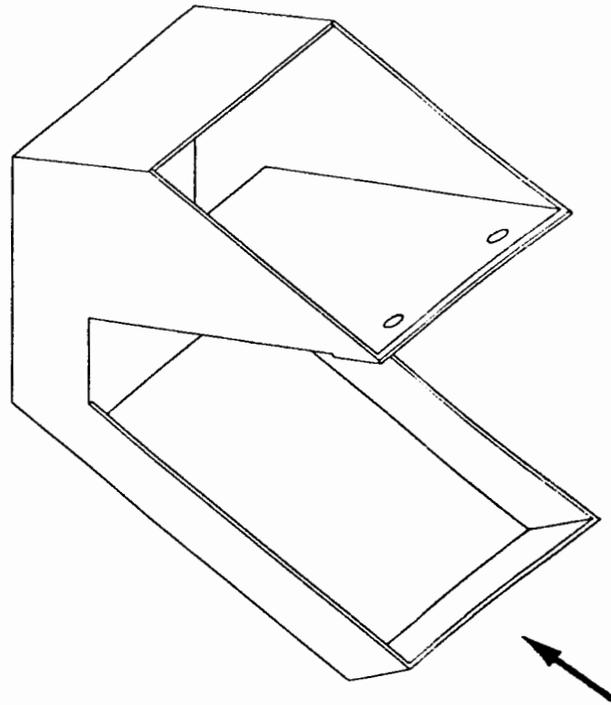


Vista " A "





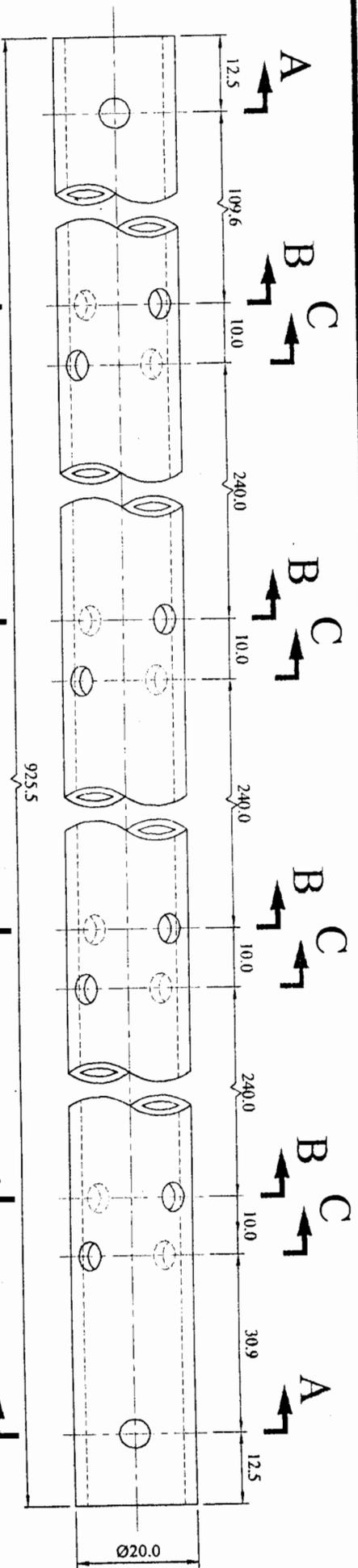
sta " A "



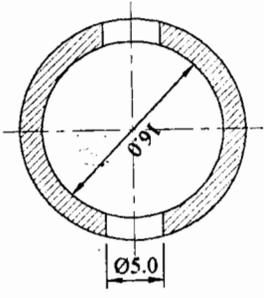
**Nota:**

1.- Espesor  $e = 0.5\text{mm}$ .

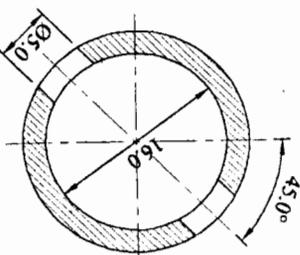
	Fecha:	Nombre:	<b>ESPOL</b> Guayaquil - Ecuador	Tesis de Grado Facultad de Ingeniería en Mecánica
Dibujo	12/04/99	X. Castillo		
Proy.		M. Espinosa		
Aprobó		M. Espinosa		
ESCALA:	MAQUINA SEMBRADORA DE ARROZ			No. de Plano
2 : 3				Tolva



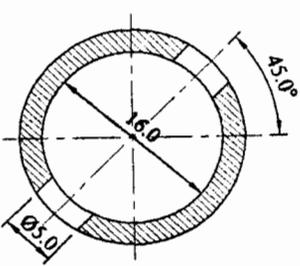
Sección "A - A"  
Escala 3 : 2



Sección "C - C"  
Escala 3 : 2

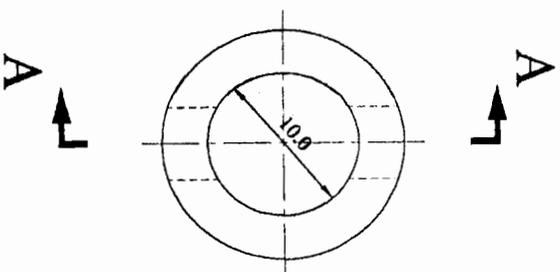
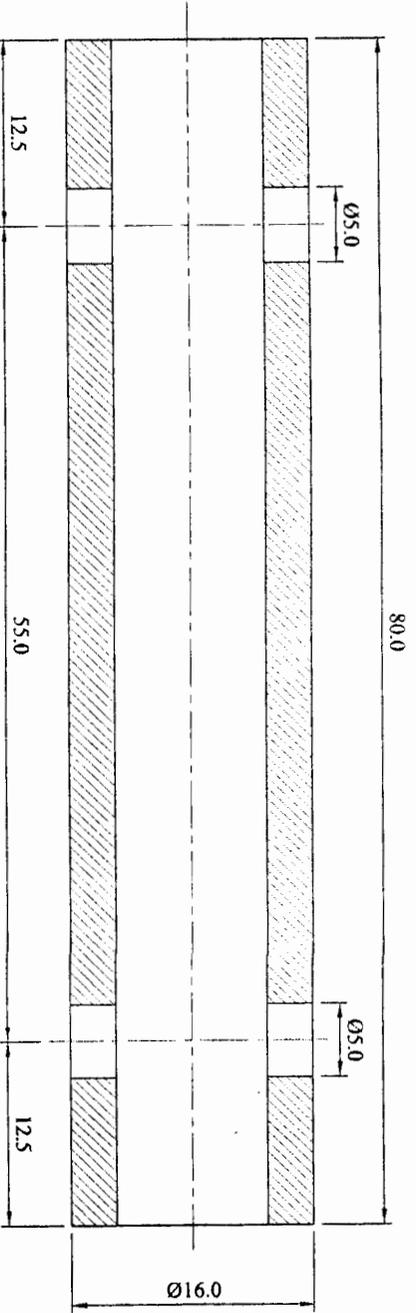


Sección "B - B"  
Escala 3 : 2

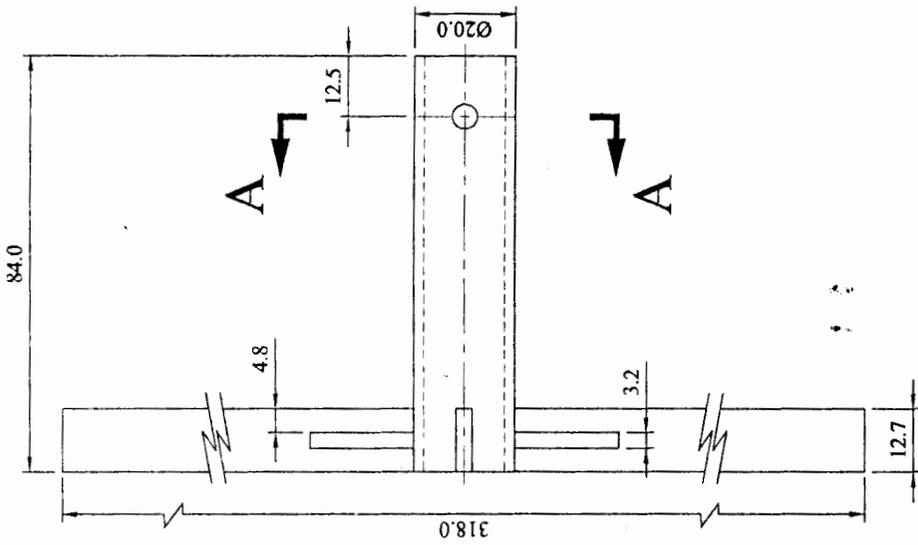


Fecha:	Nombre:	<b>ESPOL</b> Guayaquil - Ecuador	Tesis de Grado Facultad de Ingeniería en Mecánica
Dibujó:	X. Castillo		
Proy.:	M. Espinosa	MAQUINA SEMBRADORA DE ARROZ Eje	No. de Plano <b>1 / 3</b>
Aprobó:	M. Espinosa		
ESCALA:			
1 : 1			

# Sección "A - A"

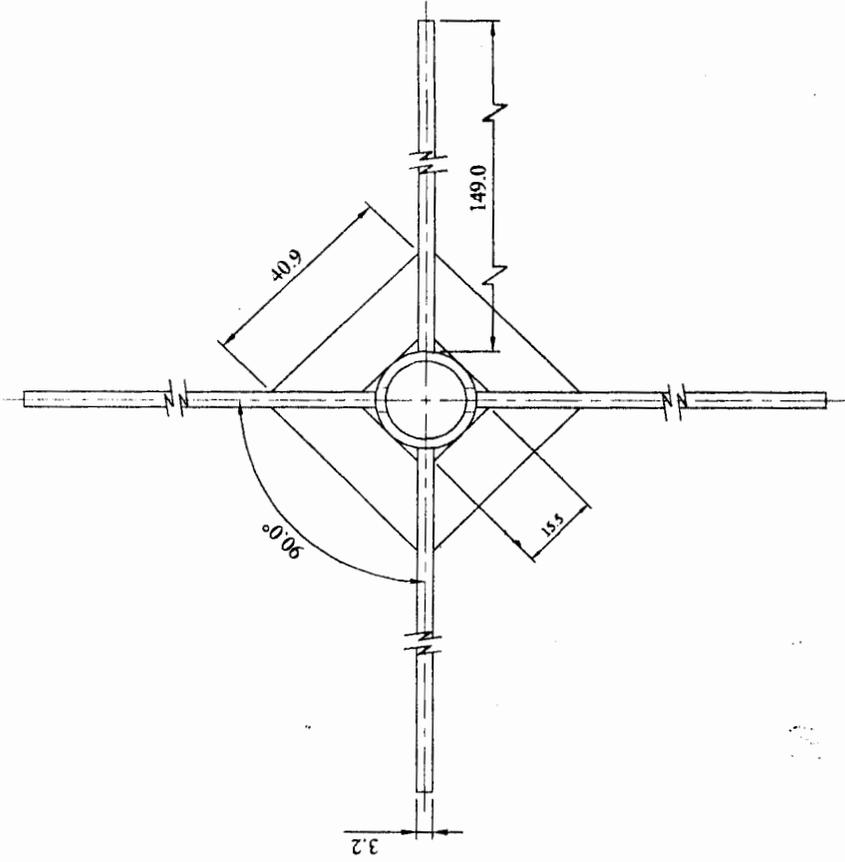
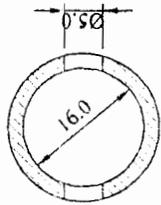


Fecha:	Nombre:	<b>ESPOL</b> Guayaquil - Ecuador	Tesis de Grado Facultad de Ingeniería en Mecánica
Dibujo:	X. Castillo		
Proy.:	M. Espinosa	MAQUINA SEMBRADORA DE ARROZ Eje de Acoplamiento	No. de Plano <b>1 / 4</b>
Aprobó:	M. Espinosa		
ESCALA:			
2 : 1			



Sección "A - A"

Escala 1 : 1



Fecha:	Nombre:
12/04/99	X. Castillo
Proy.	M. Espinosa
Aprobó	M. Espinosa

ESPOL

Guayaquil - Ecuador

MAQUINA SEMBRADORA DE ARROZ

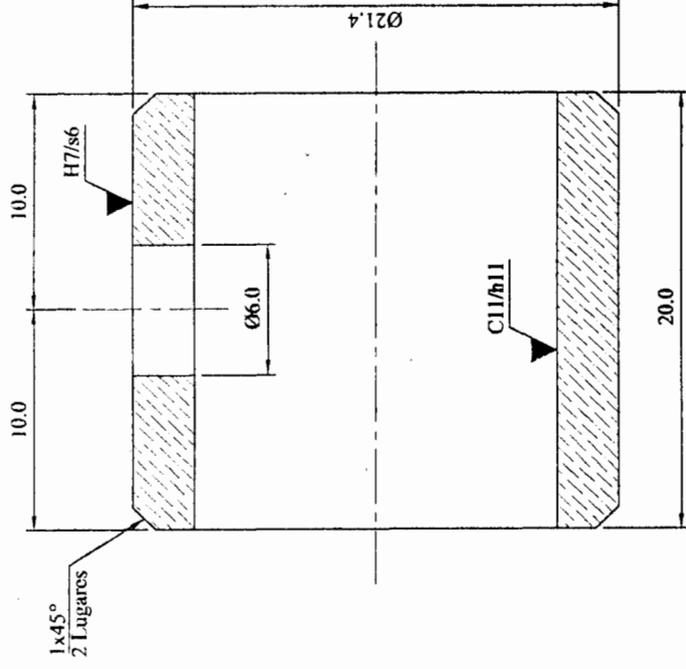
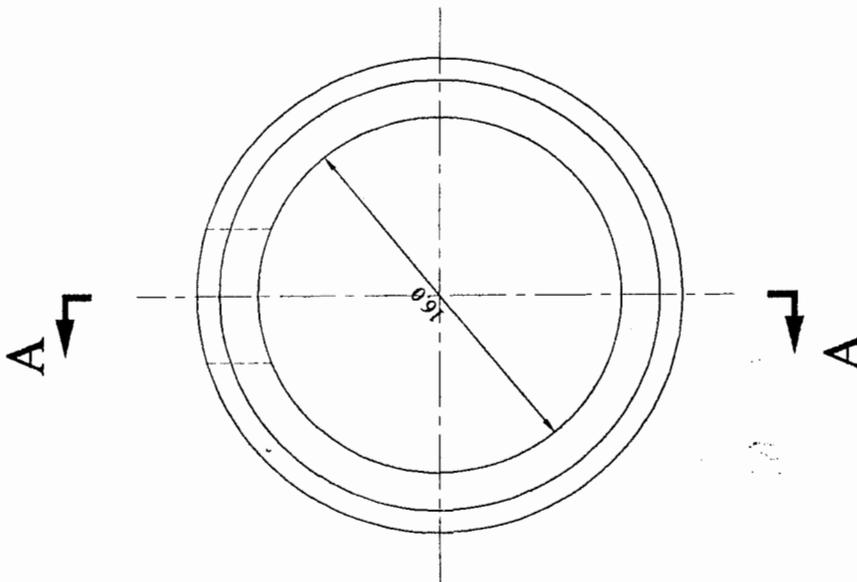
Rueda Propulsora

Tesis de Grado  
Facultad de Ingeniería en Mecánica

No. de Plano

1 / 5

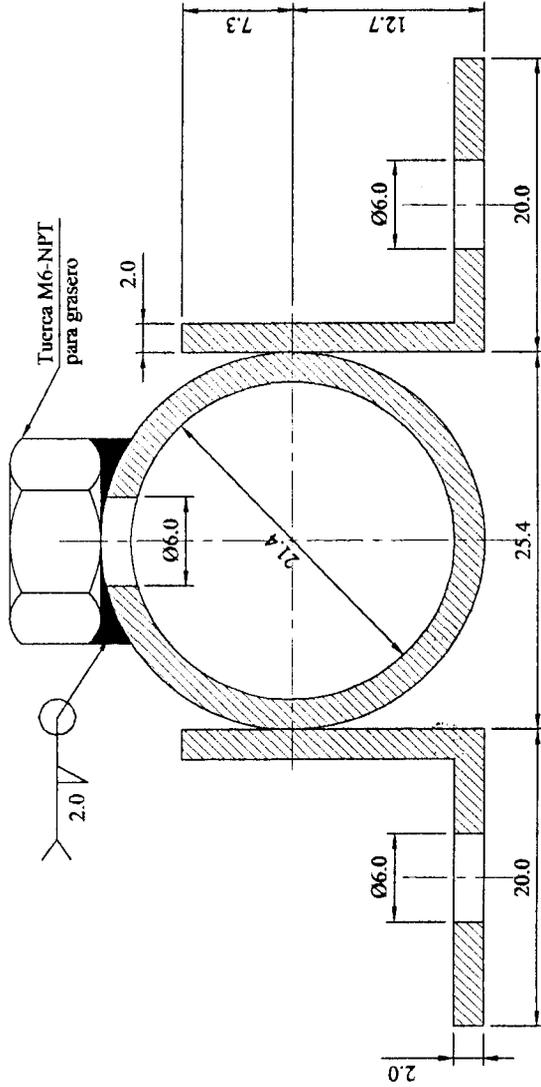
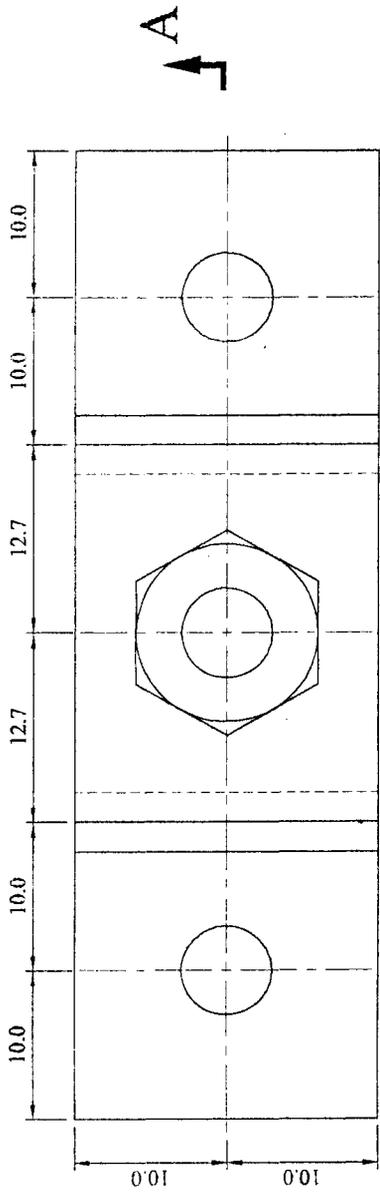




Sección "A - A"

Fecha: 12/04/99		Nombre: X. Castillo	
Dibujo		M. Espinosa	
Proy.		M. Espinosa	
Aprobó			
ESCALA: 3:1		Tesis de Grado	
		Facultad de Ingeniería en Mecánica	
		No. de Plano	
		1 / 6	
		ESPOL	
		Guayaquil - Ecuador	
		MAQUINA SEMBRADORA DE ARROZ	
		Bocín	





Sección "A - A"

Fecha:	Nombre:
Dibujo 12/04/99	X. Castillo
Proy.:	M. Espinosa
Aprobó:	M. Espinosa

ESPOL

Guayaquil - Ecuador

Tesis de Grado  
Facultad de Ingeniería en Mecánica

ESCALA:

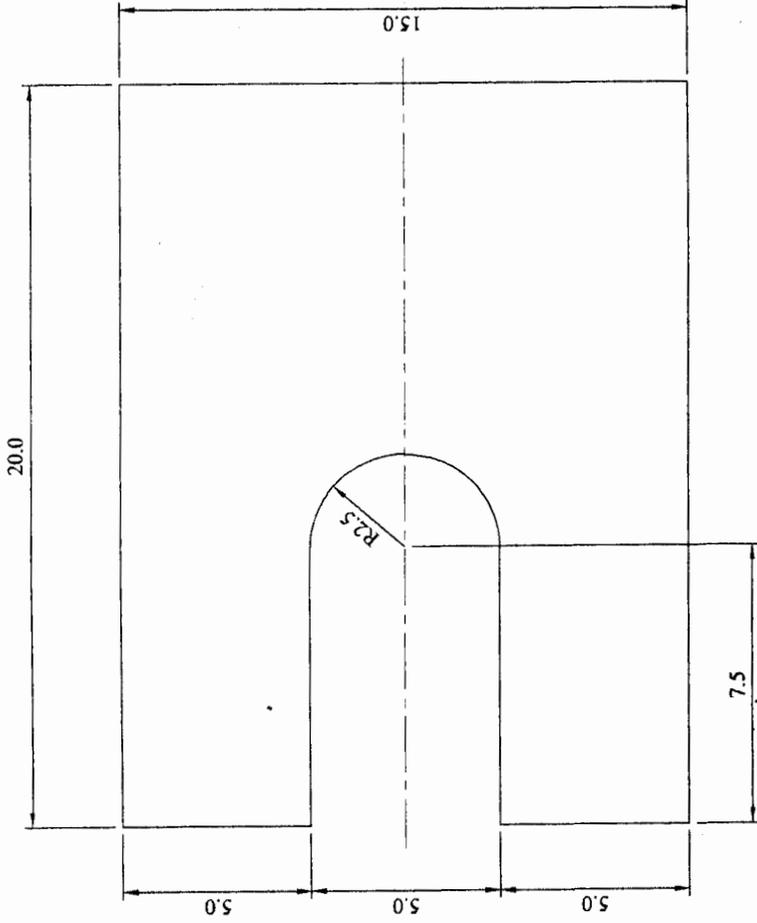
2 : 1

MAQUINA SEMBRADORA DE ARROZ

Soporte

No. de Plano

1 / 7

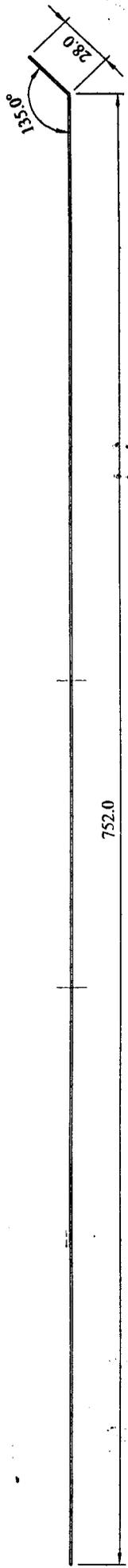
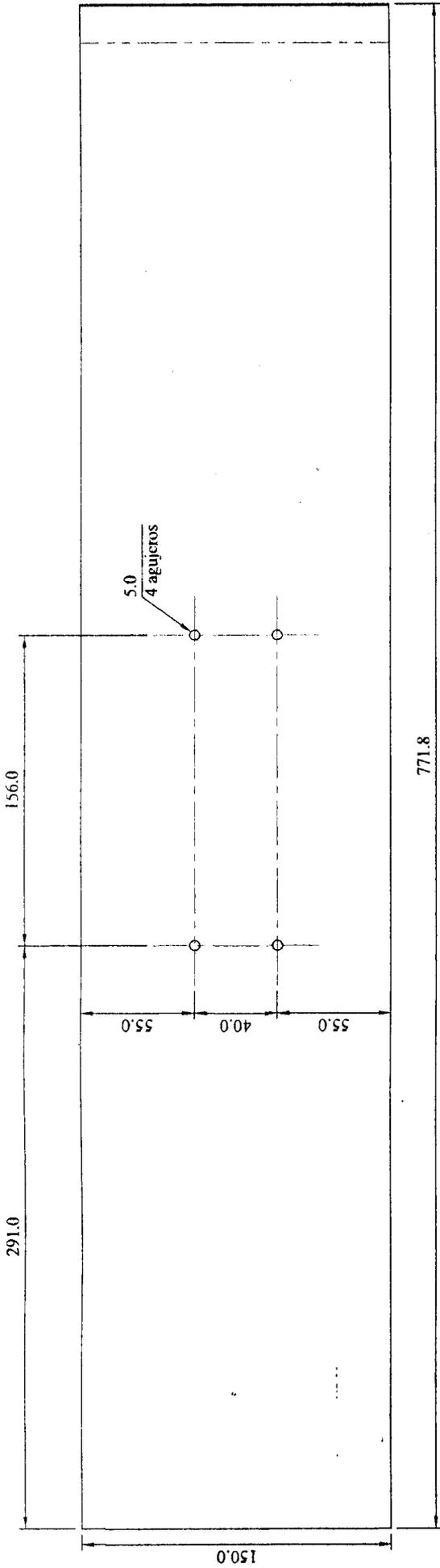


**Notas:**

1.- Espesor e = 0.5 mm.



Fecha: 12/04/99		Nombre: X. Castillo		Tesis de Grado Facultad de Ingeniería en Mecánica
Dibujo		M. Espinosa		
Proy.		M. Espinosa		No. de Plano <b>1 / 8</b>
Aprobó				
ESCALA: <b>5 : 1</b>				<b>ESPOL</b> Guayaquil - Ecuador  MAQUINA SEMBRADORA DE ARROZ  <b>Paleta</b>



Fecha: Nombre:		<b>ESPOL</b> Guayaquil - Ecuador	<b>Tesis de Grado</b> Facultad de Ingeniería en Mecánica
Dibujo	12/04/99 X. Castillo		
Proy.	M. Espinosa	MAQUINA SEMBRADORA DE ARROZ  <b>Patín</b>	No. de Plano  <b>1 / 9</b>
Aprobó	M. Espinosa		
ESCALA:		1 : 3	

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, Uso Eficiente de los Fertilizantes en el Cultivo de Arroz en el Ecuador, tomo 4, MAG, CIAT-INIAP-PROTECA-PNAR, Guayaquil - Ecuador, 1991.
- [2] ESCUELA DE AGRICULTURA, UNIVERSIDAD DE FILIPINAS CON LA COLABORACIÓN DEL INSTITUTO INTERNACIONAL PARA LA INVESTIGACIÓN DEL ARROZ, Cultivo del Arroz, Manual de Producción, Editorial Limusa, México, 1979.
- [3] ANDRADE, FRANCISCO, Guía para el Agricultor Arrocerero, INIAP, Estación Experimental "Boliche", Boletín divulgativo No. 177.
- [4] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, Crecimiento y Manejo del Cultivo del Arroz, tomo 0, MAG, CIAT-INIAP-PROTECA-PNAR, Guayaquil - Ecuador, 1991.
- [5] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, Principios Básicos para el Manejo Integrado de las Malezas del Arroz en el Ecuador, tomo 1, MAG, CIAT-INIAP-PROTECA-PNAR, Guayaquil - Ecuador, 1991.
- [6] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, Estadística Arrocerera, MAG, Programa Nacional del Arroz y Control de Piladoras, Guayaquil - Ecuador, 1993.
- [7] MACMASTER - CARR, Catálogo McMaster - Carr, USA, 1998.
- [8] SHIGLEY, JOSEPH & MISCHKE, CHARLES, Diseño en Ingeniería Mecánica, Publicaciones McGraw Hill, México, 1993.
- [9] WHITE, FRANK, Mecánica de Fluidos, Publicaciones McGraw Hill, México 1993.
- [10] JUÁREZ, EULALIO & RICO, ALFONSO, Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos, tomo II, Editorial Limusa, 1986.
- [11] LAMBE, T. & WHITMAN, ROBERT, Mecánica de Suelos, Editorial Limusa, 1984.
- [12] IPAC. Catálogo General de Productos IPAC. Guayaquil - Ecuador. 1998.

- [13] BAUMEISTER, THEODORE & AVALLONE, EUGENE, Manual Marks del Ingeniero Mecánico, volumen I, Publicaciones McGraw Hill, segunda edición en español.
- [14] BURDEN, RICHARD & FAIRES, J., Análisis Numérico, Impresora Azteca, México, 1993.
- [15] SINGER, FERDINAND & PYTEL, ANDREW, Resistencia de Materiales, Editorial Harla, México, 1982.