

01199

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA

GRAFICAS COSTO UNITARIO - DISTANCIA
PARA SELECCIONAR EL EQUIPO
ADECUADO EN MOVIMIENTOS
COMPENSADOS DE TERRACERIAS

MARIO EFRAIN ALFARO PEREZ

TRABAJO

Presentado a la División de Estudios de
Posgrado de la

FACULTAD DE INGENIERIA

de la

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

como requisito para obtener

el diploma de

Especialista en Ingeniería

(CONSTRUCCION)

CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F., 30 de Mayo de 1985.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

APROBADO POR EL JURADO:

Presidente: Ing. Pedro Llano Martínez
Vocal: Ing. Vicente Villaseñor Bianchi
Secretario: Ing. Alfonso M. Elizondo Ramírez
Suplente: M. en I. Jaime Martínez Mier
Suplente: Dr. J. Abraham Díaz Rodríguez

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

R E S U M E N

En el presente trabajo se desarrollan las fórmulas generales que permitirán trazar las gráficas para seleccionar el equipo adecuado para ejecutar los trabajos de excavación, carga, acarreo y descarga de suelos escarificables en la realización de movimientos compensados de terracerías. Su aplicación se ejemplifica en los siguientes tipos de máquinas: a) bulldozer, b) cargador frontal de orugas y camiones, c) escrepa remolcable y d) cargador frontal de neumáticos. Al final se trazan las curvas de COSTO UNITARIO-DISTANCIA de cada tipo de máquinas en las que se señalan las distancias límites de operación y el acarreo libre.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

C O N T E N I D O

INTRODUCCION.....	v
CAPITULO I	
FUNDAMENTO TEORICO.....	1
CAPITULO II	
MOVIMIENTO DE TIERRAS CON BULLDOZER	
2.1 RENDIMIENTO.....	3
2.1 EJEMPLIFICACION.....	6
CAPITULO III	
MOVIMIENTO DE TIERRAS CON ESCREPA	
3.1 RENDIMIENTO.....	14
3.2 DURACION DEL CICLO.....	14
3.3 EJEMPLIFICACION.....	14
CAPITULO IV	
MOVIMIENTO DE TIERRAS CON CARGADOR FRONTAL DE NEUMATICOS	
4.1 RENDIMIENTO.....	22
4.2 DURACION DEL CICLO.....	22
4.3 EJEMPLIFICACION.....	23
CAPITULO V	
CARGADOR FRONTAL DE ORUGAS Y CAMIONES	
5.1 RENDIMIENTO.....	27
5.2 EJEMPLIFICACION.....	27

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CAPITULO VI

GRAFICAS COSTO UNITARIO-DISTANCIA Y

COMENTARIOS..... 36

REFERENCIAS..... 40

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

I N T R O D U C C I O N

Suele definirse a la construcción como uno o varios procesos de producción en el o los que se combinan en alguna forma recursos humanos, materiales y maquinaria con objeto de lograr un producto terminado que viene siendo en sí, una obra. El movimiento de tierras puede encontrarse como todo o parte de un proceso total. Uno de los problemas principales que se tiene en un proceso de movimiento de tierras, es el de la selección del equipo; esto es, determinar de una manera óptima qué tipo, modelo, tamaño y número de máquinas se deberán usar para cumplir con las condiciones del proyecto. La selección del equipo no es más que una toma de decisiones.

El ingeniero tiene como objetivo fundamental adecuar el costo con la satisfacción de una necesidad, es por eso, que generalmente basa sus decisiones siguiendo el criterio del mínimo costo directo para definir el equipo adecuado y el procedimiento de construcción que deberá seguirse en la realización de una obra determinada. Para lograr esto, debe realizar un estudio sistemático y cuantitativo para seleccionar la vía de acción más adecuada entre las distintas combinaciones de tipos de máquinas que él sabe le producirán la obra de acuerdo con el diseño. La manera adecuada de realizar éste estudio es analizando todas las variables o las más importantes que intervienen en el proceso de movimiento de tierras, encontrar las relaciones entre ellas y la influencia que en el resultado final tendría la variación de cada

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

una de ellas.

Las etapas básicas que intervienen en el proceso de movimiento de tierras son la excavación, la carga, el acarreo y la descarga de un material determinado. Estas etapas pueden ser realizadas por una sola o por la combinación de varias máquinas. La decisión del equipo que deberá usarse, puede basarse en la determinación de los costos unitarios de material movido con cada una de las opciones de máquinas disponibles. Es lógico pensar que éstos costos unitarios dependerán principalmente del rendimiento y de los costos de hora máquina.

El objetivo fundamental de éste trabajo es analizar la operación económica de algunos equipos básicos en la realización de movimientos compensados de terracerías, como lo son el bulldozer, la escarpa, los cargadores frontales de neumáticos y carriles y los camiones de volteo. Se trazarán las curvas COSTO UNITARIO-DISTANCIA de éstos equipos, en las que se señalaran las distancias mas convenientes de operación de cada uno de ellos así como sus distancias de acarreo libre.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

C A P I T U L O I
FUNDAMENTO TEORICO

La fuerza efectiva de trabajo de un equipo con motor de combustión interna viene dada por la siguiente expresión, (Ref. 1):

$$F = 4500 P K / V \quad (1)$$

donde F = fuerza efectiva de trabajo (kg)

P = potencia en el motor (HP)

K = factor de eficiencia mecánica del motor

V = velocidad de operación (m/min)

despejando V de la ecuación (1) se tiene:

$$V = 4500 P K / F \quad (1.a)$$

con la ecuación (1.a) se puede calcular la velocidad de operación de cualquier equipo con motor de combustión interna que tenga que efectuar un trabajo (F) al desplazarse.

La fuerza (F) que debe aplicar la unidad motriz para mover al equipo, debe cubrir las resistencias al movimiento. Las resistencias que se oponen al movimiento son dos fundamentalmente: la resistencia al rodamiento (RR) y la resistencia por pendiente (RP).

La resistencia al rodamiento depende principalmente de la superficie por la que se desplaza el equipo y está dada en kg/T; por facilidad de cálculo la RR puede expresarse en porcentaje de la relación kg/kg. Así, la fuerza por resistencia al rodamiento puede expresarse de la siguiente manera:

$$FRR = W \times \%RR \quad (2)$$

donde W es el peso de la unidad motriz en kg o T.

La resistencia por pendiente se debe al efecto del peso del equipo que está aplicado pendiente abajo de la superficie inclinada cuando el equipo se desplaza sobre ella. Para pendientes comunes, menores del 20%, la fuerza por resistencia a la pendiente puede expresarse así:

$$FRP = W \times \% \text{ de pendiente} \quad (3)$$

de esta manera F viene dada por:

$$F = FRR + FRP \quad (4)$$

Debe verificarse si toda la potencia del motor puede ser transmitida a los neumáticos o a las orugas antes de que se produzca el patinaje, para esto debe conocerse el coeficiente de tracción de la superficie de rodamiento, así:

$$F \leq W \times \text{coeficiente de tracción} \quad (5)$$

C A P I T U L O I I
MOVIMIENTO DE TIERRAS CON BULLDOZER

2.1 RENDIMIENTO.

El rendimiento teórico de un tractor puede calcularse en base al volumen de material empujado por ciclo y al número de ciclos efectuados en la unidad de tiempo, así:

$$R = (\text{ciclos/hora}) \times (\text{m}^3/\text{ciclo}) = \text{m}^3/\text{hora}$$

si hacemos, $\text{ciclos/hora} = e \times 60 / T$, y $\text{m}^3/\text{ciclo} = CE/f$, se puede expresar el rendimiento (R) de la siguiente manera:

$$R = (CE \times e \times 60) / (T \times f) \quad (6)$$

donde: R = rendimiento en m³/hr de suelo en banco

CE = capacidad efectiva de la cuchilla en m³ suelto

e = factor de eficiencia horaria

f = coeficiente de abundamiento del suelo

T = duración del ciclo en minutos

60 = número de minutos en una hora

2.1.1 Capacidad de la cuchilla: Según la norma SAE J1265, la capacidad de una hoja empujadora es:

$$C = 0.8 L \times H^2 \quad (7)$$

donde L es la longitud de la hoja y H su altura.

Esta capacidad teórica (C) disminuye según la distancia de acarreo (D) aumente. Esta disminución puede estimarse en 5% por cada 30 metros de recorrido (Ref. 2). Así, se tiene que la capacidad efectiva (CE) puede estimarse según la siguiente ecuación:

$$CE = C \times (100 - 0.1667 D)/100 \quad (8)$$

2.1.2 Duración del ciclo: El ciclo completo de un bulldozer se puede descomponer en: a) tiempo de carga (TD), b) tiempo de viaje empujando el material (TVC), c) tiempo de descarga (TD), d) tiempo de viaje de retorno (TVV) y e) tiempos fijos por aceleraciones y desaceleraciones (TF).

Si llamamos LAL a la distancia que recorre la máquina en el ciclo mínimo para hacer eficiente su trabajo (acarreo libre), entonces el tiempo de carga puede estimarse según la siguiente expresión:

$$TC = LAL / Vc \quad (9)$$

donde Vc es la velocidad media de carga. En el otro extremo del ciclo, el tiempo de descarga puede estimarse en base a la longitud de descarga (LD) y a la velocidad media de descarga (Vd) así:

$$TD = LD / Vd \quad (10)$$

La LAL se puede estimar en base a la longitud de la hoja del bulldozer (L), a la profundidad de corte (h) y a la capacidad máxima teórica de la hoja (C). Si partimos de que el volumen del material excavado tiene que ser igual a la capacidad de la hoja, se tiene:

Volúmen excavado = Capacidad de la hoja

$$f(L \times h \times LAL) = C$$

$$LAL = C / (f \times L \times h) \quad (11)$$

Siguiendo el mismo criterio, la longitud de descarga (LD) puede estimarse en base al volumen del material extendido y a la altura de la capa de descarga (hd), así:

Volúmen extendido = Capacidad efectiva

$$L \times hd \times LD = CE$$

$$LD = CE / (L \times hd) \quad (12)$$

El tiempo de viaje empujando el material (TVC) y el tiempo de viaje de retorno (TVV), pueden estimarse en base a la longitud del recorrido y a las velocidades media de ida (Vmi) y media de retorno (Vmr) respectivamente, así:

$$TVC = D / Vmi \quad (13)$$

$$TVV = (LD + D + LAL) / Vmr \quad (14)$$

el tiempo de ciclo será:

$$T = TC + TVC + TD + TVV + TF \quad (15)$$

Antes de la longitud de acarreo libre, o sea en el rango $0 < d < LAL$, rigen las siguientes expresiones:

$$C = d \times f \times L \times h \quad (16)$$

$$LD = C / (L \times hd) \quad (17)$$

$$TC = d / Vc \quad (18)$$

$$TD = LD / Vd \quad (19)$$

$$TVV = (d + LD) / Vmr \quad (20)$$

$$T = TC + TD + TVV + TF \quad (21)$$

2.2 EJEMPLIFICACION.

Se quiere calcular el rendimiento de un bulldozer que realiza las actividades de excavación, acarreo y descarga de un suelo escarificable. Se debe calcular el rendimiento a distintas longitudes de acarreo para posteriormente trazar su curva COSTO UNITARIO-DISTANCIA.

Se cuenta con un bulldozer D7G CAT que tiene las siguientes características:

Hoja empujadora recta 75	
Potencia	200 HP
Transmisión automática	
Peso	20,520 kg
Longitud de la hoja (L)	3.66 m
Altura de la hoja (H)	1.27 m
Costo horario	\$ 14,542.48

Se supone que el camino por el que se transitará es de tierra firme, aplanado y regularmente conservado, que ofrece una resistencia al rodamiento, para un tractor de orugas, de 40 kg/T

(RR = 4%) y un coeficiente de tracción de 0.90. La pendiente del camino es de 4% adversa.

La altura sobre el nivel del mar del area de trabajo es de 2300 m por lo que, según especificaciones, no se necesita corregir la potencia por altura.

Las características del material por excavar son:

Arcilla del grupo CL, según SUCS	
Peso volumétrico suelto (PVS)	1,605 kg/m ³
Coefficiente de abundamiento (f)	1.25

Para la operación de la máquina se supondrán las siguientes condiciones:

Factor de eficiencia mecánica del motor (K)	0.80
Factor de velocidad media (fv _m)	0.75
Factor de eficiencia horaria (e)	0.83
Velocidad máxima	130 m/min 7.9 km/hr
Tiempos fijos (TF)	0.05 min
Velocidad media de carga (Vc)	45 m/min 2.7 km/hr
Velocidad media de descarga (Vd)	50 m/min 3.0 km/hr

Se considerará una profundidad de corte (h) de 0.15 m y la altura de la capa de descarga (hd) será de 0.20 m.

El rendimiento teórico (R) calculado según la ecuación (6), será modificado, para estimar el rendimiento real (Rr), por los siguientes factores:

Factor de carga del material (Fc) 0.85
Factor de eficiencia de dirección del trabajo (Ft) 0.85

Solución para el rango LAL < D:

La capacidad nominal de la hoja empujadora es, según la ecuación (7):

$$C = 0.8 L H^2 = 0.8 \times 3.66 \times 1.27^2 = 4.72 \text{ m}^3 \text{ suelto}$$

la longitud de acarreo libre (LAL) será, según la ecuación (11):

$$\begin{aligned} \text{LAL} &= C / (f \times L \times h) = 4.72 / (1.25 \times 3.66 \times 0.15) \\ &= 6.88 \text{ m} \end{aligned}$$

el peso del material por empujar es:

$$W_{\text{mat}} = PVS \times C = 1.605 \times 4.72 = 7.58 \text{ T}$$

y la resistencia total que tiene que vencer el tractor en el trayecto de ida es:

$$\begin{array}{rcl} \text{por el tractor:} & 20.52 (0.04 + 0.04) & = 1.64 \text{ T} \\ \text{por el material:} & 7.58 (1.00 + 0.04) & = 7.88 \text{ T} \\ & & \hline & & F = 9.52 \text{ T} \end{array}$$

revisamos si $F_{\text{máx}} > F$, según ecuación (5):

$$\begin{aligned} F_{\text{máx}} &= W_{\text{tractor}} \times \text{coeficiente de tracción} \\ &= 20.52 \times 0.90 = 18.47 \text{ T} > 9.52 \text{ T, correcto.} \end{aligned}$$

Se puede ahora calcular la velocidad de operación en el trayecto de ida, según la ecuación (1.a), así:

$$V = 4500 P K / F = 4500 \times 200 \times 0.8 / 9520 = 75.59 \text{ m/min}$$

y la velocidad media de ida será:

$$V_{mi} = V \times f_{vm} = 75.59 \times 0.75 = 56.70 \text{ m/min (3.4 km/hr)}$$

Supongamos que la distancia de acarreo (D), medida a partir de LAL=6.88 m, es de 20 m, entonces la capacidad efectiva (CE) transportada es según la ecuación (8):

$$\begin{aligned} CE &= C \times (100 - 0.1667 D)/100 \\ &= 4.72 \times (100 - 0.1667 \times 20)/100 \\ &= 4.57 \text{ m}^3 \text{ suelto} \end{aligned}$$

por lo que la longitud de descarga, ecuación (12), será:

$$LD = CE / l \times h_d = 4.57 / (3.66 \times 0.20) = 6.24 \text{ m}$$

y el tiempo de ciclo (T) será:

TC = LAL / Vc	= 6.88 / 45	0.15 min
TVC = D / Vmi	= 20 / 56.70	0.35 min
TD = LD / Vd	= 6.24 / 50	0.12 min
TVV = (LD + D + LAL)/Vmr	= (6.24+20+6.88)/130	0.25 min
TF = supuesto		0.05 min

		T = 0.93 min

El rendimiento teórico, según la ecuación (6), es:

$$\begin{aligned} R &= CE \times e \ 60 / T \times f \\ &= (4.57 \times 0.83 \times 60)/(0.93 \times 1.25) \\ &= 194.45 \text{ m}^3 \text{ banco/hr.} \end{aligned}$$

y el rendimiento real sería:

$$R_r = R \times F_c \times F_t = 194.45 \times 0.85 \times 0.85 = 140.49 \text{ m}^3\text{b/hr}$$

finalmente, el costo unitario por metro cúbico de material en banco, para un acarreo de 20 metros es:

$$\begin{aligned} \text{COSTO/m3b} &= \$ 14,542.48 / 140.49 \\ &= \$ 103.51 \end{aligned}$$

Siguiendo el mismo procedimiento se puede determinar el rendimiento del bulldozer para distintas longitudes de acarreo y el costo unitario del material acarreado.

Teniendo como datos constantes $V_{ni}=56.70$ m/min, $V_{mr}=130$ m/min, $V_d=50$ m/min, $TC=0.15$ min, $TF=0.05$ min y \$14,542.48 de costo horario, se obtienen los siguientes resultados:

D* (m)	CE (m3s)	TVC (min)	LD (m)	TVV (min)	TD (min)	T (min)	Rr (m3b/hr)	COSTO \$/m3b
5	4.68	0.09	6.39	0.14	0.13	0.56	240.83	60.38
10	4.64	0.18	6.34	0.18	0.13	0.68	195.16	74.52
15	4.60	0.26	6.29	0.22	0.13	0.81	163.60	88.89
20	4.56	0.35	6.23	0.25	0.12	0.93	140.49	103.51
25	4.52	0.44	6.18	0.29	0.12	1.06	122.84	118.39
30	4.48	0.53	6.13	0.33	0.12	1.19	108.92	133.52
40	4.41	0.71	6.02	0.41	0.12	1.44	88.35	164.60
50	4.33	0.88	5.91	0.48	0.12	1.69	73.89	196.81
60	4.25	1.06	5.80	0.56	0.12	1.94	63.17	230.21
70	4.17	1.23	5.70	0.64	0.11	2.19	54.90	264.89
80	4.09	1.41	5.59	0.71	0.11	2.44	48.33	300.90
90	4.01	1.59	5.48	0.79	0.11	2.69	42.99	338.28
100	3.93	1.76	5.37	0.86	0.11	2.94	38.55	377.24
110	3.86	1.94	5.27	0.94	0.11	3.19	34.82	417.65
120	3.78	2.12	5.16	1.02	0.10	3.44	31.62	459.91
130	3.70	2.29	5.05	1.09	0.10	3.69	28.86	503.90
140	3.62	2.47	4.94	1.17	0.10	3.94	26.45	549.81
150	3.54	2.64	4.84	1.24	0.10	4.19	24.33	597.72
175	3.34	3.09	4.57	1.43	0.09	4.81	20.00	727.12
200	3.15	3.53	4.30	1.62	0.09	5.44	16.16	872.90
225	2.95	3.97	4.03	1.81	0.08	6.06	14.00	1038.75
250	2.75	4.41	3.76	2.00	0.08	6.69	11.85	1227.21
275	2.56	4.85	3.49	2.20	0.07	7.32	10.06	1445.57
300	2.36	5.29	3.23	2.39	0.06	7.94	8.56	1698.89

* a partir de LAL = 6.88 m

Solución para el rango $0 < d < LAL$:

Si suponemos $d = 4$ m, la capacidad efectiva excavada es, según la ecuación (16):

$$C = d \times f \times L \times h = 4 \times 1.25 \times 3.66 \times 0.15 \\ = 2.75 \text{ m}^3 \text{ suelto}$$

la longitud de descarga sería, según la ecuación (17):

$$LD = C / (L \times h_d) = 2.75 / (3.66 \times 0.20) \\ = 3.75 \text{ m}$$

los tiempos de carga y descarga serían, respectivamente:

$$TC = d / V_c = 4 / 45 = 0.09 \text{ min} \\ TD = LD / V_d = 3.75 / 50 = 0.08 \text{ min}$$

Se asumirá una velocidad media de retorno (V_{mr}) de 75 m/min por considerar que la longitud del tramo de retorno ($d + LD$) es muy pequeña y no permitiría que se desarrollara una velocidad mayor. Según la ecuación (20), el tiempo de viaje de retorno es:

$$TVV = (d + LD) / V_{mr} = (4 + 3.75) / 75 = 0.10 \text{ min}$$

el tiempo de ciclo total estimado es:

$$T = TC + TD + TVV + TF \\ T = 0.09 + 0.08 + 0.10 + 0.05 = 0.32 \text{ min}$$

el rendimiento teórico es:

$$R = (C \times e \times 60) / (T \times f) \\ R = (2.75 \times 0.83 \times 60) / (0.32 \times 1.25) = 344.75 \text{ m}^3/\text{hr}$$

y el rendimiento real:

$$R_r = R \times F_c \times F_t = 344.75 \times 0.85 \times 0.85 = 249.08 \text{ m}^3\text{b/hr}$$

Seguendo el mismo procedimiento, se obtienen los resultados siguientes:

d (m)	C (m ³ s)	LD (m)	TVV (min)	TC (min)	TD (min)	T (min)	R _r m ³ b/hr	COSTO \$/m ³ b
6.88	4.72	6.45	0.18	0.15	0.13	0.51	266.67	54.53
6.00	4.12	5.63	0.16	0.13	0.11	0.45	262.89	55.32
5.00	3.43	4.69	0.13	0.11	0.09	0.38	257.19	56.54
4.00	2.75	3.75	0.10	0.09	0.08	0.32	249.08	58.38
3.00	2.06	2.81	0.08	0.07	0.06	0.25	236.65	61.45
2.00	1.37	1.88	0.05	0.04	0.04	0.18	215.16	67.59
1.00	0.69	0.94	0.03	0.02	0.02	0.12	169.11	85.99

Con los datos de costo unitario encontrados, se puede proceder a hacer la gráfica de COSTO UNITARIO - DISTANCIA.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MAQUINA: Tractor D7 CAT de orugas Potencia HP : 200
 Factor operación: 0.80
 Precio adquisición \$ 43'825,385.00 HP operación : 160
 Equipo adicional Vida económica (Ve) 6 años
 Horas/año (Ha) : 2000
 F. mantenimiento (D): 0.80

Valor inicial (Va) \$ 43'825,385.00

Valor rescate (Vr) 20%
 Tasa de interés (i) 55%
 Prima seguros (s) 3%

I. CARGOS FIJOS.

a) Depreciación $D = (Va - Vr) / Ve$ = \$ 2,921.69
 b) Inversión $I = (Va + Vr) i / 2 Ha$ = \$ 7,231.19
 c) Seguros $S = (Va + Vr) s / 2 Ha$ = \$ 394.43
 d) Mantenimiento $M = D \times D$ = \$ 2,337.35

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA = \$ 12,884.66

II. CONSUMOS.

a) Combustible
 Diesel: $E = 0.20 \times 160 \text{ HPop} \times \$ 33.60 / \text{lt.}$ = \$ 1,075.20
 Gasolina: $E = 0.24 \times \text{HPop} \times \$ \quad / \text{lt.}$ = \$

b) Lubricantes: $L = a \times Pe$
 Capacidad carter: $C = 30$ litros
 Cambios aceite: $t = 100$ horas
 $\left\{ \begin{array}{l} 0.0035 \\ 0.0030 \end{array} \right.$
 $a = C/t + \left\{ \begin{array}{l} 0.0035 \\ 0.0030 \end{array} \right. \times 160 \text{ HPop} = 0.86 \text{ lt/hr}$

$L = 0.86 \text{ lt/hr} \times \$ 247.23/\text{lt}$ = \$ 212.61

c) Llantas: $L1 = \frac{\text{Valor Llantas}}{\text{Vida econ. LT}}$ = \$

SUMA CONSUMOS POR HORA = \$ 1,287.82

III. OPERACION.

Salarios \$ 1,627 Operador de equipo mayor
 \$

Sal/turno \$ 1,627

Horas/turno: 8

Fact. rendimiento: 0.83

Fact. salario real: 1.51

Operación = $(1,627 \times 1.51) / (8 \times 0.83)$

SUMA OPERACION POR HORA = \$ 370.00

C O S T O D I R E C T O H O R A - M A Q U I N A (H M D) = \$ 14,542.48

C A P I T U L O I I I
M O V I M I E N T O D E T I E R R A S C O N E S C R E P A

3.1 RENDIMIENTO.

La ecuación (6) es válida también para una escrepa, (capítulo II):

$$R = CE \times e \times 60 / T \times f$$

en éste caso, CE es la capacidad nominal de la escrepa, en m³ suelto, y todas las demás literales con el mismo significado.

3.2 DURACION DEL CICLO.

Los tiempos que intervienen en el ciclo de una escrepa son: a) carga (TC), b) acarreo (TVC), c) descarga (TD), d) retorno (TVV), e) aceleraciones, desaceleraciones y frenado (ADF) y f) vueltas (Tvu).

Las ecuaciones (9) a la (20) son igualmente aplicables para estimar el ciclo completo así como las longitudes de acarreo libre (LAL) y descarga (LD).

3.3 EJEMPLIFICACION.

Como se hizo para el bulldozer, se requiere determinar la producción de una escrepa remolcable a diferentes longitudes de

acarreo y posteriormente trazar su curva COSTO UNITARIO-
 DISTANCIA. Se cuenta con el siguiente equipo:

Tractor de orugas D7G CAT	
potencia	200 HP
transmisión automática	
peso	20,520 kg
costo horario	\$ 14,542.48
Escrepa remolcable 435G CAT	
capacidad	9.2/13m ³
longitud de la cuchilla (L)	2.84 m
peso	10,400kg
costo horario	\$ 3,401.12

Las condiciones del camino presentan las siguientes características:

RR del tractor sobre orugas	4%
RR de la escrepa sobre neumáticos	3.3%
RP adversa	4%
Coefficiente de tracción	0.90

Las características del material por excavar y acarrear son:

Arcilla del grupo CL, según SUCS	
PVS	1,605 kg/m ³
coef. de abundamiento (f)	1.25

Las condiciones para operar el equipo serán:

Factor de eficiencia mecánica del motor del D7G	0.80
Factor de velocidad media (fvm)	0.75
Factor de eficiencia horaria (e)	0.83
Tiempos por ADF	0.30 min
Tiempos por vueltas	
2 vueltas de 180° a 0.25/vuelta	0.50 min
Velocidad máxima (9 km/hr)	150 m/min
Velocidad media de carga (Vc)	45 m/min
Velocidad media de descarga (Vd)	50 m/min

Se considerará una profundidad de corte (h) de 0.15 m y la altura de la capa de descarga (hd) será de 0.20 m.

El rendimiento teórico calculado será modificado por los factores siguientes:

Factor de carga del material (Fc) 0.85
Factor de eficiencia de dirección del trabajo (Ft) 0.85

Solución para el rango $LAL < D$:

La capacidad nominal copeteada de la escrepa es $C = 13 \text{ m}^3$, por lo que la longitud de acarreo libre es:

$$LAL = C / (f \times L \times h) = 13 / (1.25 \times 2.84 \times 0.15) = 24.41 \text{ m}$$

y la longitud de descarga

$$LD = C / (L \times hd) = 13 / (2.84 \times 0.20) = 22.89 \text{ m,}$$

el peso del material transportado es:

$$W_{\text{material}} = PVS \times C = 1.605 \times 13 = 20.87 \text{ T}$$

el peso máximo permitido, según especificaciones = 22 T > 20.87 T

La resistencia total por vencer es:

$$\begin{array}{rcl} \text{tractor:} & 20.52 (0.04 + 0.04) & = 1.64 \text{ T} \\ \text{escrepa:} & (10.4 + 20.87)(0.04 + 0.033) & = 2.28 \text{ T} \\ & & \text{-----} \\ & & F = 3.92 \text{ T} \end{array}$$

revisamos si $F_{\text{máx}} > F$, según la ecuación (5):

$$F_{\text{máx}} = 20.52 \times 0.90 = 18.47 \text{ T} > 3.92 \text{ T, correcto}$$

Se puede ahora calcular la velocidad de operación en el trayecto de ida, según la ecuación (1.a):

$$V = 4500 P K / F$$

$$V = 4500 \times 200 \times 0.8 / 3920 = 183.47 \text{ m/min}$$

y la velocidad media de ida será:

$$V_{mi} = 183.47 \times 0.75 = 137.60 \text{ m/min} = 8.2 \text{ km/hr}$$

por lo que el tiempo de ciclo estimado (T), suponiendo una distancia de acarreo, medida a partir de LAL = 24.41 m, de 20 m será:

$$TC = LAL / V_c = 24.41/45 = 0.54 \text{ min}$$

$$TVC = D / V_{mi} = 20.00/137.6 = 0.15 \text{ min}$$

$$TD = LD / V_d = 22.89/50 = 0.46 \text{ min}$$

$$TVV = (LD + D + LAL) / V_{mr} = (22.89 + 20 + 24.41) / 150 = 0.45 \text{ min}$$

$$ADF + T_{vu} = 0.30 + 0.50 = 0.80 \text{ min}$$

$$T = 2.39 \text{ min}$$

El rendimiento teórico será:

$$R = C \times e \times 60 / T \times f$$

$$R = 13 \times 0.83 \times 60 / 2.39 \times 1.25 = 216.32 \text{ m}^3\text{b/hr}$$

el rendimiento real:

$$R_r = R \times F_c \times F_t = 216.32 \times 0.85 \times 0.85 = 156.29 \text{ m}^3\text{b/hr}$$

y el costo unitario:

$$\text{COSTO/m}^3\text{b} = (\$14,542.48 - \$3,401.12) / 156.29$$

$$= \$ 114.81$$

Seguendo el mismo procedimiento se llega a los siguientes resultados:

D* (m)	TVC (min)	TC (min)	TD (min)	TVV (min)	TF (min)	T (min)	Rr m ³ b/hr	COSTO \$/m ³ b
5	0.04	0.54	0.46	0.35	0.80	2.19	171.24	104.79
10	0.07			0.38		2.25	165.95	108.13
15	0.11			0.42		2.32	160.97	111.47
20	0.15			0.45		2.39	156.29	114.81
30	0.22			0.52		2.53	147.69	121.50
40	0.29			0.58		2.67	140.00	128.17
50	0.36			0.65		2.81	133.06	134.85
60	0.44			0.72		2.95	126.78	141.53
70	0.51			0.78		3.09	121.06	148.22
80	0.58			0.85		3.23	115.84	154.90
90	0.65			0.92		3.37	111.05	161.58
100	0.73			0.98		3.51	106.64	168.26
110	0.80			1.05		3.65	102.57	174.94
125	0.91			1.15		3.86	97.01	184.97
150	1.09			1.32		4.21	88.98	201.66
175	1.27			1.48		4.55	82.17	218.37
200	1.45			1.65		4.90	76.33	235.08
225	1.63			1.82		5.25	71.27	251.77
250	1.82			1.98		5.60	66.83	268.50
275	2.00			2.15		5.95	62.92	285.18
300	2.18			2.32		6.30	59.44	301.80
325	2.36			2.48		6.64	56.32	318.60
350	2.54			2.65		6.99	53.52	335.27
375	2.72			2.82		7.34	50.98	351.97
400	2.91			2.98		7.69	48.67	368.68
425	3.09			3.15		8.04	46.56	385.39
450	3.27			3.32		8.39	44.62	402.14
475	3.45			3.48		8.73	42.84	418.85
500	3.63			3.65		9.08	41.20	435.52
525	3.81			3.82		9.43	39.68	452.21
550	4.00			3.98		9.78	38.27	468.87
575	4.18			4.15		10.13	36.95	485.62
600	4.36			4.32		10.48	35.72	502.34
625	4.54			4.48		10.82	34.57	519.05
650	4.72			4.65		11.17	33.49	535.79
700	5.09			4.98		11.87	31.53	569.10
800	5.81			5.65		13.26	28.22	635.85
900	6.54			6.32		14.66	25.53	702.84
1000	7.27			6.98		16.05	23.32	769.45

* a partir de LAL = 24.41 m

Solución para el rango $0 < d < LAL$:

Supongamos que $d = 10$ m, entonces el volúmen de material transportado será, según la ecuación (16):

$$C = d \times f \times L \times h = 10 \times 1.25 \times 2.84 \times 0.15 = 5.33 \text{ m}^3\text{s}$$

la longitud de descarga será:

$$LD = C / (L \times hd) = 5.33 / (2.84 \times 0.20) = 9.38 \text{ m}$$

los tiempos de carga y descarga serán respectivamente:

$$TC = d / Vc = 10 / 45 = 0.22 \text{ min}$$

$$TD = LD / Vd = 9.38 / 50 = 0.19 \text{ min}$$

suponiendo que la velocidad media de retorno sea de 150 m/min, el tiempo de viaje de retorno será:

$$TVV = (d + LD) / Vmr = (10 + 9.38) / 150 = 0.13 \text{ min}$$

entonces el tiempo de ciclo total será:

$$T = TC + TD + TVV + (ADF + Tvu)$$

$$T = 0.22 + 0.19 + 0.13 + 0.80 = 1.34 \text{ min}$$

el rendimiento teórico es:

$$R = C \times e \times 60 / T \times f$$

$$R = 5.33 \times 0.83 \times 60 / (1.34 \times 1.25) = 158.45 \text{ m}^3\text{b/hr}$$

y el rendimiento real:

$$Rr = R \times Fc \times Ft = 158.45 \times 0.85 \times 0.85 = 114.48 \text{ m}^3\text{b/hr}$$



por lo que el costo por metro cúbico de material en banco es:

$$\begin{aligned} \text{COSTO/m}^3\text{b} &= (\$14,542.48 - \$3,401.12)/114.48 \\ &= \$ 156.72 \end{aligned}$$

Seguendo el mismo procedimiento se obtienen los siguientes resultados:

d (m)	C (m ³ s)	LD (m)	TVV (min)	TC (min)	TD (min)	T (min)	Rr m ³ b/hr	COSTO \$/m ³ b
24.41	13	22.88	0.32	0.54	0.46	2.12	176.87	101.45
20	10.65	18.75	0.26	0.44	0.38	1.88	163.26	109.91
15	7.99	14.06	0.19	0.33	0.28	1.61	142.95	125.52
10	5.33	9.38	0.13	0.22	0.19	1.34	114.48	156.72
5	2.66	4.69	0.06	0.11	0.09	1.07	71.66	250.38

Con estos datos se puede proceder a hacer la gráfica COSTO UNITARIO-DISTANCIA.

MAQUINA: Escrepa 4356 CAT

Precio adquisición \$ 11'750,000
Equipo adicional
Llantas 29.5x29
28 capas

Juego \$ 1'410,000

Valor inicial (Va) \$ 10'340,000

Valor rescate (Vr) 20%

Tasa de interés (i) 55%

Prima seguros (s) 3%

Potencia HP :
Factor operación:
HP operación :
Vida económica (Ve) 7 años
Horas/año (Ha) : 2000
F. mantenimiento (Q): 0.50

I. CARGOS FIJOS.

a) Depreciación $D = (Va - Vr)/Ve$ = \$ 570.71
b) Inversión $I = (Va + Vr) i / 2 Ha$ = \$ 1,744.88
c) Seguros $S = (Va + Vr) s / 2 Ha$ = \$ 95.18
d) Mantenimiento $M = Q \times D$ = \$ 285.36

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA = \$ 2,696.12

II. CONSUMOS.

a) Combustible
Diesel: $E = 0.20x$ HPop x \$ /lt. = \$
Gasolina: $E = 0.24x$ HPop x \$ /lt. = \$

b) Lubricantes: $L = a \times Pe$
Capacidad carter: C = litros
Cambios aceite: t = horas
 $a = C/t + \begin{cases} 0.0035 \\ 0.0030 \times HPop \end{cases}$ = 1t/hr
L = 1t/hr x \$ /lt = \$

c) Llantas: $Ll = \frac{\text{Valor llantas}}{\text{Vida econ. Ll}} = \frac{1'410,000}{2,000}$ = \$ 705.00
SUMA CONSUMOS POR HORA = \$ 705.00

III. OPERACION.

Salarios \$
\$

Sal/turno \$
Horas/turno:
Fact. rendimiento:

Operación = (Sal/turno)/horas efectivas
SUMA OPERACION POR HORA = \$

C O S T O D I R E C T O , HORA-MAQUINA (HMD) = \$ 3,401.12

C A P I T U L O I V
MOVIMIENTO DE TIERRAS CON CARGADOR FRONTAL SOBRE NEUMATICOS

4.1 RENDIMIENTO.

Cuando la operación del cargador implique la carga y el acarreo de cucharones llenos a largas distancias, el rendimiento dependerá principalmente de la capacidad del cucharón del cargador y del tiempo de ciclo. La ecuación (6), dada en el Capítulo II, es aplicable también en éste caso.

4.2 DURACION DEL CICLO.

El tiempo de ciclo se puede descomponer en: a) tiempos fijos (TF) y b) tiempos variables (TV).

Los tiempos fijos que se considerarán en el ejemplo son:

- a) 0.25 minutos para cargar el cucharón, cambiar las velocidades, girar y vaciar la carga.
- b) Acomodos para atacar el banco, en una distancia de movimiento de 6 metros, 0.11 minutos, así:

$$\text{Reversa a } 116.7 \text{ m/min (7km/hr)} \quad 6/116.7 = 0.05$$

$$\text{Avance a } 100.0 \text{ m/min (6km/hr)} \quad 6/100.0 = 0.06$$

Así, el tiempo fijo a utilizar es $TF = 0.36$ minutos, y los tiempos variables dependerán de la longitud de acarreo.

4.3 EJEMPLIFICACION.

Se requiere determinar la producción de un cargador frontal que realiza las operaciones de excavación, carga y acarreo de suelos escarificables. Se cuenta con un cargador sobre neumáticos con las siguientes características:

Cargador frontal 966D CAT	
Cucharon excavador de uso general de 3.1/2.6 m ³	
Potencia	200 HP
Peso en kilogramos	19,505
Costo horario	\$ 12,435.99

Las condiciones del camino por el que transitará son:

RR para un cargador sobre neumáticos	3.3%
RP adversa	4.0%
Coefficiente de tracción	0.55

Las características del material por excavar son:

Arcilla del grupo CL, según SUCS	
PVS	1,605 kg/m ³
Coefficiente de abundamiento (f)	1.25

Las condiciones de operación del equipo serán:

Factor de eficiencia mecánica del motor (K)	0.80
Factor de velocidad media (fv _m)	0.75
Factor de eficiencia horaria (e)	0.83
Factor de carga del material (Fc)	0.85
Factor de eficiencia de dirección del trabajo (Ft)	0.85
Velocidad máxima (25km/hr)	416 m/min
Tiempos fijos, según inciso 4.2	0.36 min

Solución:

$$\text{Peso de la carga} = \text{PVS} \times \text{C} = 1.605 \times 3.1 = 4.98 \text{ T}$$

La resistencia total por vencer en el trayecto de ida es:

$$F = W_{\text{bruto}} (\%RR + \%RP)$$

$$F = (4.98 + 19.505)(0.033 + 0.04) = 1.79 \text{ T}$$

Revisamos si $F_{\text{máx}} > F$, según ecuación (5):

$$F_{\text{máx}} = W_{\text{bruto}} \times \text{Coef. de tracción}$$

$$F_{\text{máx}} = (19.505 + 4.68) \times 0.55 = 13.30 \text{ T} > 1.79 \text{ T}$$

La velocidad de operación en el trayecto de ida será:

$$V = 4500 P K / F = 4500 \times 200 \times 0.8 / 1790 = 402.89 \text{ m/min}$$

y la velocidad media:

$$V_{\text{mi}} = V \times f_{\text{vm}} = 402.89 \times 0.75 = 302.17 \text{ m/min.}$$

Si suponemos una longitud de acarreo D de 20 metros, el tiempo de ciclo será:

$$T_{\text{VC}} = D / V_{\text{mi}} = 20 / 302.17 = 0.07 \text{ min}$$

$$T_{\text{VV}} = D / V_{\text{max}} = 20 / 416.00 = 0.05 \text{ min}$$

$$T_{\text{F}} = 0.36 \text{ min}$$

$$T = 0.47 \text{ min.}$$

El rendimiento según la ecuación (6) será:

$$R = C \times e \times 60 / T \times f$$

$$R = 3.1 \times 0.83 \times 60 / 0.47 \times 1.25 = 260.41 \text{ m}^3\text{b/hr}$$

con un rendimiento real de:

$$R_{\text{r}} = R \times F_{\text{c}} \times F_{\text{t}} = 260.41 \times 0.85 \times 0.85 = 188.15 \text{ m}^3\text{b/hr}$$

El costo por metro cúbico de material en banco es:

$$\text{COSTO/m}^3\text{b} = \$12,435.99 / 188.15 = \$ 66.10$$

Siguiendo el mismo procedimiento se obtienen los resultados siguientes:

D (m)	TVC (min)	TVV (min)	TF (min)	T (min)	Rr (m ³ b/hr)	COSTO (\$/m ³ b)
0	0.00	0.00	0.36	0.36	247.87	50.17
5	0.02	0.01		0.39	229.64	54.15
10	0.03	0.02		0.42	213.92	58.13
15	0.05	0.04		0.45	200.21	62.11
20	0.07	0.05		0.47	188.15	66.10
25	0.08	0.06		0.50	177.46	70.08
30	0.10	0.07		0.53	167.92	74.06
35	0.12	0.08		0.56	159.35	78.04
40	0.13	0.10		0.59	151.62	82.02
45	0.15	0.11		0.62	144.60	86.00
50	0.17	0.12		0.65	138.20	89.99
60	0.20	0.14		0.70	126.97	97.94
70	0.23	0.17		0.76	117.42	105.91
80	0.26	0.19		0.82	109.21	113.87
90	0.30	0.22		0.87	102.07	121.84
100	0.33	0.24		0.93	95.81	129.80
110	0.36	0.26		0.99	90.27	137.76
120	0.40	0.29		1.05	85.34	145.72
130	0.43	0.31		1.10	80.92	153.68
140	0.46	0.34		1.16	76.93	161.65
150	0.50	0.36		1.22	73.32	169.61
160	0.53	0.38		1.27	70.03	177.58
170	0.56	0.41		1.33	67.03	185.53
180	0.60	0.43		1.39	64.27	193.50
190	0.63	0.46		1.45	61.73	201.46
200	0.66	0.48		1.50	59.38	209.43
210	0.69	0.50		1.56	57.21	217.37
220	0.73	0.53		1.62	55.19	225.33
230	0.76	0.55		1.67	53.30	233.32
240	0.79	0.58		1.73	51.54	241.29
250	0.83	0.60		1.79	49.90	249.22
275	0.91	0.66		1.93	46.21	269.12
300	0.99	0.72		2.07	43.02	289.07
325	1.08	0.78		2.22	40.25	308.97
350	1.16	0.84		2.36	37.82	328.82
375	1.24	0.90		2.50	35.66	348.74
400	1.32	0.96		2.65	33.73	368.69

MAQUINA: Cargador Frontal 966D CAT Potencia HP : 200
 Factor operación: 0.8
 Precio adquisición \$ 35'183,965.00 HP operación : 160
 Equipo adicional Vida económica (Ve) 5 años
 4 llantas 23.5x25 Horas/año (Ha) : 2000
 28 capas F. mantenimiento (Q): 0.50

Juego \$ 2'117,538.00

Valor inicial (Va) \$ 33'066,427.00

Valor rescate (Vr) 20%

Tasa de interés (i) 55%

Prima seguros (s) 3%

I. CARGOS FIJOS.

a) Depreciación $D = (Va - Vr) / Ve$ = \$ 2,602.96
 b) Inversión $I = (Va + Vr) i / 2 Ha$ = \$ 5,514.19
 c) Seguros $S = (Va + Vr) s / 2 Ha$ = \$ 300.77
 d) Mantenimiento $M = Q \times D$ = \$ 1,301.48

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA = \$ 9,719.41

II. CONSUMOS.

a) Combustible
 Diesel: $E = 0.20 \times 160 \text{ HPop} \times \$ 33.60 / \text{lt.}$ = \$ 1,075.20
 Gasolina: $E = 0.24 \times \text{HPop} \times \$ \quad \quad \quad / \text{lt.}$ = \$

b) Lubricantes: $L = a \times Pe$

Capacidad carter: $C = 30$ litros

Cambios aceite: $t = 100$ horas

$a = C/t + \begin{cases} 0.0035 \\ 0.0030 \end{cases}$

$+ [0.0030 \times 160 \text{ HPop} = 0.86 \text{ lt/hr}$

$L = 0.86 \text{ lt/hr} \times \$ 247.23/\text{lt}$ = \$ 212.61

c) Llantas: $Ll = \frac{\text{Valor llantas}}{\text{Vida econ. Ll}} = \frac{2'117,538}{2,000}$ = \$ 1,058.77

SUMA CONSUMOS POR HORA = \$ 2,346.58

III. OPERACION.

Salarios \$ 1,627.00 Operador de equipo mayor
 \$

Sal/turno \$ 1,627.00

Horas/turno: 8

Fact. rendimiento: 0.83

F. salario real: 1.51

Operación= $(1,627 \times 1.51) / (8 \times 0.83)$

SUMA OPERACION POR HORA = \$ 370.00

C O S T O D I R E C T O H O R A - M A Q U I N A (HMD) = \$ 12,435.99

C A P I T U L O V
CARGADOR FRONTAL DE ORUGAS Y UNIDADES DE ACARREO

5.1 RENDIMIENTO.

Para estimar la producción de éste grupo de equipos, se propone el siguiente procedimiento:

- 1o. Determinar la productividad máxima del cargador (R_c).
- 2o. Calcular el tiempo de carga (T_C) para las unidades de acarreo.
- 3o. Calcular las resistencias, velocidades y tiempos de recorrido que intervienen en el acarreo.
- 4o. Calcular el tiempo total de ciclo para una unidad de acarreo.
- 5o. Estimar la producción (R_a) en m^3/hr de suelo en banco para las unidades de acarreo.
- 6o. Decidir sobre el número de unidades de acarreo que se necesitan para el cargador.

5.2 EJEMPLIFICACION.

Se desea encontrar el rendimiento de un cargador frontal sobre orugas que descarga sobre camiones de volteo ordinarios. Se cuenta con el siguiente grupo de máquinas:

Cargador frontal de orugas 953 CAT	
Potencia (a 1500 M.S.N.M.)	110 HP
Potencia disponible a 2300 m	97%
Cucharón excavador	1.5/1.29 m ³
Peso	13,793 kg
Costo horario	\$ 7,601.11

Camiones de volteo Ford F600 de gasolina	
Potencia	153 HP
Potencia disponible a 2300 m	95%
Capacidad (10 T)	6 m ³
Peso	11,600 kg
Costo horario	\$ 5,549.49

Las condiciones del camino por el que se transitará son:

RR para vehículos sobre neumáticos	3.3%
RP adversa	4.0%
Coefficiente de tracción	0.55

Las características del material son:

Arcilla del grupo CL, según SUCS	
Peso volumétrico suelto (PVS)	1,605 kg/m ³
Coefficiente de abundamiento (f)	1.25

Las condiciones de operación del equipo serán:

Eficiencia mecánica de los camiones (K)	0.80
Factor de velocidad media (fvm)	0.75
Factor de eficiencia horaria (e)	0.83
Factor de carga del material (Fc)	0.85
Eficiencia de dirección del trabajo (Ft)	0.85
Velocidad máxima de los camiones	416 m/min 25 km/hr
Tiempo de descarga de los camiones	0.50 min
Tiempo para acomodados	0.20 min

Solución:

Supongamos una distancia de movimiento de 12 metros, 6 en reversa y 6 en avance, para el cargador, entonces su tiempo de ciclo (T)

es:

$$\begin{array}{r}
 \text{Reversa a } 100 \text{ m/min (6 km/hr): } 2 \times 6 / 100 = 0.12 \text{ min} \\
 \text{Avance a } 100 \text{ m/min (6 km/hr): } 2 \times 6 / 100 = 0.12 \text{ min} \\
 \hline
 0.24 \text{ min}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \text{Más tiempo para cargar el cucharón, cambiar} \\
 \text{velocidades, girar y vaciar la carga} \quad 0.25 \text{ min} \\
 \hline
 T = 0.49 \text{ min}
 \end{array}$$

Entonces su productividad máxima es:

$$\begin{aligned}
 R &= C \times e \times 60 / T \times f = 1.5 \times 0.83 \times 60 / 0.49 \times 1.25 \\
 &= 121.96 \text{ m}^3\text{b/hr}
 \end{aligned}$$

y su productividad real:

$$R_c = R \times F_c \times F_t = 121.96 \times 0.85 \times 0.85 = 88.12 \text{ m}^3\text{b/hr.}$$

El tiempo de carga (TC) para los camiones es:

$$\begin{aligned}
 TC &= \text{Capacidad del camión} / (f \times R_c) \\
 TC &= (6 / 1.25 \times 88.12) \times 60 = 3.27 \text{ min}
 \end{aligned}$$

por lo que el tiempo fijo (TF) para los camiones es:

Tiempo de carga	3.27 min
Tiempo de descarga	0.50 min
Tiempo para acomodados	0.20 min
	<hr style="width: 100%;"/>
	TF = 3.97 min.

El peso de la carga de los camiones es:

$$W_{\text{carga}} = 1.605 \text{ T/m}^3 \times 6 \text{ m}^3 = 9.63 \text{ T} < 10 \text{ T max.}, \text{ correcto}$$

La resistencia total por vencer en el trayecto de ida es:

$$F = W_{\text{bruto}} (\%RP + \%RR)$$

$$F = (11.6 + 9.63) (0.04 + 0.033) = 1.55 \text{ T}$$

Revisamos si $F_{\text{máx}} > F$:

$$F_{\text{máx}} = (11.6 - 9.63) \times 0.55 = 11.68 \text{ T} > 1.55 \text{ T, correcto.}$$

La velocidad de operación en el trayecto de ida, tomando en cuenta la potencia disponible de 95% por altitud, será:

$$\begin{aligned} V &= 4500 P K / F = 4500 \times 153 \times 0.95 \times 0.8 / 1550 \\ &= 337.63 \text{ m/min} \end{aligned}$$

y la velocidad media:

$$V_{\text{mi}} = V \times f_{\text{vm}} = 337.63 \times 0.75 = 253.22 \text{ m/min} = 15.19 \text{ km/hr.}$$

Si suponemos una longitud de acarreo de 20 m, el tiempo de ciclo será:

$$\text{TVC} = D / V_{\text{mi}} = 20 / 253.22 = 0.08 \text{ min}$$

$$\text{TVV} = D / V_{\text{máx}} = 20 / 416.00 = 0.05 \text{ min}$$

$$\text{TF} = 3.97 \text{ min}$$

$$\text{T} = 4.10 \text{ min}$$

Y el rendimiento:

$$\begin{aligned} R &= C \times e \times 60 / T \times f = 6 \times 0.83 \times 60 / 4.10 \times 1.25 \\ &= 58.35 \text{ m}^3\text{b/hr} \end{aligned}$$

con un rendimiento real de acarreo de:

$$R_a = R \times F_t = 58.35 \times 0.85 = 49.59 \text{ m}^3\text{b/hr}$$

Se debe decidir ahora, el número de unidades de acarreo a usar y

estimar el factor de costo por concepto de equipo esperando, así:

$$N = \text{Ciclo del camión} / \text{Tiempo de carga}$$

$$N = 4.10 / 3.27 = 1.25$$

Supongamos que rige el cargador, entonces $N = 2$:

$$\text{Factor de costo de acarreo, FCA} = 2/1.25 = 1.60$$

$$\text{Costo de carga} \quad \$7,601.11 / 88.12 = 86.26 \text{ \$/m}^3\text{b}$$

$$\text{Costo de acarreo} \quad \$5,549.49 / 49.59 = 111.91 \text{ \$/m}^3\text{b}$$

$$\text{Incremento al costo de acarreo} = .6 \times 111.91 = 97.14 \text{ \$/m}^3\text{b}$$

$$\text{COSTO/m}^3\text{b} = 265.31$$

Supongamos que rigen los camiones, entonces $N = 1$:

$$\text{Factor de costo de carga, FCC} = 1.25/1 = 1.25$$

$$\text{Costo de carga} \quad 86.26 \text{ \$/m}^3\text{b}$$

$$\text{Costo de acarreo} \quad 111.91 \text{ \$/m}^3\text{b}$$

$$\text{Incremento al costo de carga} = 0.25 \times 86.26 = 22.07 \text{ \$/m}^3\text{b}$$

$$\text{COSTO/m}^3\text{b} = 219.74$$

En conclusión debe elegirse un cargador y un camión con un costo total por excavación, carga y acarreo de:

$$\text{COSTO/m}^3\text{b} = \$219.74$$



Siguiendo el mismo procedimiento se obtienen los resultados para distintas longitudes de acarreo, con los cuales se puede proceder a hacer la gráfica COSTO UNITARIO-DISTANCIA de este grupo de máquinas. Estos datos se muestran en las siguientes tablas:

D m	TVC min	TVV min	T min	Rc nSb/hr	Ra nSb/hr	T/TC	N	FCA	N	FCC
10	0.04	0.02	4.03	88.12	50.37	1.23	2	1.62	1	1.23
20	0.08	0.05	4.10		49.59	1.25	2	1.60	1	1.25
30	0.12	0.07	4.16		48.84	1.27	2	1.57	1	1.27
40	0.16	0.10	4.22		48.10	1.29	2	1.55	1	1.29
50	0.20	0.12	4.29		47.39	1.31	2	1.53	1	1.31
60	0.24	0.14	4.35		46.70	1.33	2	1.50	1	1.33
70	0.28	0.17	4.41		46.03	1.35	2	1.48	1	1.35
80	0.32	0.19	4.48		45.37	1.37	2	1.46	1	1.37
90	0.36	0.22	4.54		44.74	1.39	2	1.44	1	1.39
100	0.39	0.24	4.60		44.12	1.41	2	1.42	1	1.41
125	0.49	0.30	4.76		42.65	1.46	2	1.37	1	1.46
150	0.59	0.36	4.92		41.28	1.51	2	1.33	1	1.51
175	0.69	0.42	5.08		39.99	1.55	2	1.29	1	1.55
200	0.79	0.48	5.24		38.78	1.60	2	1.25	1	1.60
250	0.99	0.60	5.56		36.56	1.70	2	1.18	1	1.70
300	1.18	0.72	5.87		34.59	1.80	2	1.11	1	1.80
350	1.38	0.84	6.19		32.81	1.89	2	1.06	1	1.89
400	1.58	0.96	6.51		31.21	1.99	2	1.00	1	1.99
450	1.78	1.08	6.83		29.76	2.09	3	1.44	2	1.05
500	1.97	1.20	7.14		28.44	2.18	3	1.37	2	1.09
550	2.17	1.32	7.46		27.23	2.28	3	1.31	2	1.14
600	2.37	1.44	7.78		26.12	2.38	3	1.26	2	1.19
650	2.57	1.56	8.10		25.09	2.48	3	1.21	2	1.24
700	2.76	1.68	8.41		24.15	2.57	3	1.17	2	1.29
750	2.96	1.80	8.73		23.27	2.67	3	1.12	2	1.34
800	3.16	1.92	9.05		22.45	2.77	3	1.08	2	1.39
850	3.36	2.04	9.37		21.69	2.86	3	1.05	2	1.43
900	3.55	2.16	9.68		20.98	2.96	3	1.01	2	1.48
950	3.75	2.28	10.00		20.32	3.06	4	1.31	3	1.02
1000	3.95	2.40	10.32		19.69	3.16	4	1.27	3	1.05
1050	4.15	2.52	10.64		19.10	3.25	4	1.23	3	1.08
1100	4.34	2.64	10.95		18.55	3.35	4	1.19	3	1.12
1150	4.54	2.76	11.27		18.03	3.45	4	1.16	3	1.15
1200	4.74	2.88	11.59		17.53	3.54	4	1.13	3	1.18
1250	4.97	3.00	11.91		17.07	3.64	4	1.10	3	1.21
1300	5.13	3.12	12.22		16.62	3.74	4	1.07	3	1.25
1350	5.33	3.24	12.54		16.20	3.84	4	1.04	3	1.28
1400	5.53	3.36	12.86		15.80	3.93	4	1.02	3	1.31

D m	RIGE EL CARGADOR			RIGEN LOS CAMIONES			SOLUCION OPTIMA	
	CARGA \$/m3b	ACARREO \$/m3b	TOTAL \$/m3b	CARGA \$/m3b	ACARREO \$/m3b	TOTAL \$/m3b	N	\$/m3b
10	86.26	178.48	264.74	106.10	110.17	216.27	1	216.27
20	86.26	179.05	265.31	107.83	111.91	219.74	1	219.74
30	86.26	178.37	264.65	109.55	113.63	223.18	1	223.18
40	86.26	178.83	265.09	111.28	115.37	226.65	1	226.65
50	86.26	179.17	265.43	113.00	117.10	230.10	1	230.10
60	86.26	178.25	264.51	114.73	118.83	233.56	1	233.56
70	86.26	178.43	264.69	116.45	120.56	237.01	1	237.01
80	86.26	178.59	264.84	118.17	122.32	240.49	1	240.49
90	86.26	178.62	264.88	119.90	124.04	243.94	1	243.94
100	86.26	178.61	264.87	121.62	125.78	247.40	1	247.40
125	86.26	178.26	264.52	125.94	130.12	256.06	1	256.06
150	86.26	178.80	265.06	130.25	134.44	264.69	1	264.69
175	86.26	179.02	265.28	133.70	138.77	272.47	2	265.28
200	86.26	178.88	265.14	138.01	143.10	281.11	2	265.14
250	86.26	179.11	265.37	146.64	151.79	298.43	2	265.37
300	86.26	178.08	264.34	155.27	160.44	315.71	2	264.34
350	86.26	179.29	265.55	163.03	169.14	332.17	2	265.55
400	86.26	177.81	264.07	171.65	177.81	349.46	2	264.07
450	86.26	268.52	354.78	90.57	186.47	277.04	2	277.04
500	86.26	267.33	353.59	94.02	195.13	289.15	2	289.15
550	86.26	266.98	353.24	98.33	203.80	302.13	2	302.13
600	86.26	267.70	353.96	102.65	212.46	315.11	2	315.11
650	86.26	267.63	353.89	106.96	221.18	328.14	2	328.14
700	86.26	268.86	355.12	111.27	229.79	341.06	2	341.06
750	86.26	267.10	353.36	115.59	238.48	354.07	3	353.36
800	86.26	266.97	353.23	119.90	247.19	367.09	3	353.23
850	86.26	268.65	354.91	123.35	255.85	379.20	3	354.91
900	86.26	267.16	353.42	127.66	264.51	392.17	3	353.42
950	86.26	357.77	444.03	87.98	273.10	361.08	3	361.08
1000	86.26	357.94	444.20	90.57	281.84	372.41	3	372.41
1050	86.26	357.38	443.64	93.16	290.55	383.71	3	383.71
1100	86.26	356.01	442.27	96.61	299.16	395.77	3	395.77
1150	86.26	357.04	443.30	99.20	307.79	406.99	3	406.99
1200	86.26	357.73	443.99	101.79	316.57	418.36	3	418.36
1250	86.26	357.61	443.87	104.37	325.10	429.47	3	429.47
1300	86.26	357.28	443.54	107.82	333.90	441.72	3	441.72
1350	86.26	356.26	442.52	110.41	342.56	452.97	4	442.52
1400	86.26	358.26	444.52	113.00	351.23	464.23	4	444.52

MAQUINA: Cargador frontal 953 CAT
de orugas
Precio adquisición \$ 24'188,550
Equipo adicional

Potencia HP : 110
Factor operación: 0.8
HP operación : 88
Vida económica (Ve) 7 años
Horas/año (Ha) : 2000
F. mantenimiento (Q): 0.65

\$

Valor inicial (Va) \$ 24'188,550

Valor rescate (Vr) 20%

Tasa de interés (i) 55%

Prima seguros (s) 3%

I. CARGOS FIJOS.

a) Depreciación $D = (V_a - V_r) / V_e$ = \$ 1,382.20
 b) Inversión $I = (V_a + V_r) i / 2 H_a$ = \$ 3,991.11
 c) Seguros $S = (V_a + V_r) s / 2 H_a$ = \$ 217.70
 d) Mantenimiento $M = Q \times D$ = \$ 898.43

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA = \$ 6,489.44

II. CONSUMOS.

a) Combustible

Diesel: $E = 0.20 \times 88 \text{ HPop} \times \$ 33.60/\text{lt.}$ = \$ 591.36
 Gasolina: $E = 0.24 \times \text{HPop} \times \$ \quad /\text{lt.}$ = \$

b) Lubricantes: $L = a \times P_a$

Capacidad carter: $C = 30$ litros

Cambios aceites: $t = 100$ horas

$a = C/t + \begin{cases} 0.0035 \\ 0.0030 \times 88 \end{cases} \text{ HPop} = 0.61 \text{ lt/hr}$

$L = 0.61 \text{ lt/hr} \times \$ 247.23/\text{lt}$ = \$ 150.32

c) Llantas: $Ll = \frac{\text{Valor llantas}}{\text{Vida econ. Ll}}$ = \$

SUMA CONSUMOS POR HORA = \$ 741.68

III. OPERACION.

Salarios \$ 1,627.00 Operador equipo mayor
\$

Sal/turno \$ 1,627.00

Horas/turno: 8

Fact. rendimiento: 0.83

F. salario real: 1.51

Operacion = $(1,627 \times 1.51) / (8 \times 0.83)$

SUMA OPERACION POR HORA = \$ 370.00

C O S T O D I R E C T O HORA-MAQUINA (HMD) = \$ 7,601.11

MAQUINA: Camión Ford F600, 6m3
 Gasolina
 Precio adquisición \$ 7'412,840.00
 Equipo adicional
 6 llantas 9x20, 10 capas

Potencia HP : 153
 Factor operación: 0.8
 HP operación : 122.4
 Vida económica (Ve) 5 años
 Horas/año (Ha) : 2000
 F. mantenimiento (Q): 0.80

Juego \$ 217,224.00

Valor inicial (Va) \$ 7'195,616.00

Valor rescate (Vr) 20%

Tasa de interés (i) 55%

Prima seguros (s) 3%

I. CARGOS FIJOS.

a) Depreciación $D = (V_a - V_r) / V_e$ = \$ 571.80
 b) Inversión $I = (V_a + V_r) i / 2 H_a$ = \$ 1,193.25
 c) Seguros $S = (V_a + V_r) s / 2 H_a$ = \$ 65.09
 d) Mantenimiento $M = Q \times D$ = \$ 457.04

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA = \$ 2,286.69

II. CONSUMOS.

a) Combustible
 Diesel: $E = 0.20 \times H_{Pop} \times \$ / \text{lt.}$ = \$
 Gasolina: $E = 0.24 \times 122.4 H_{Pop} \times \$ 55.0 / \text{lt.}$ = \$ 1,615.68

b) Lubricantes: $L = a \times P_e$
 Capacidad carter: $C = 7$ litros
 Cambios aceite: $t = 95$ horas

$a = C/t + \begin{cases} 0.0035 \\ 0.0030 \times 122.4 H_{Pop} \end{cases} = 0.44 \text{ lt/hr}$

$L = 0.44 \text{ lt/hr} \times \$ 229.66 / \text{lt}$ = \$ 101.17

c) Llantas: $L_l = \frac{\text{Valor llantas}}{\text{Vida econ. } L_l} = \frac{217,224}{2,000}$ = \$ 108.61

SUMA CONSUMOS POR HORA = \$ 2,902.58

III. OPERACION.

Salarios \$ 1,584.00 Chofer
 \$

Sal/turno \$ 1,584.00

Horas/turno: 8

Fact. rendimiento: 0.83

F. salario real: 1.51

Operación = $(1,584 \times 1.51) / (8 \times 0.83)$

SUMA OPERACION POR HORA = \$ 360.22

C O S T O D I R E C T O H O R A - M A Q U I N A (HMD) = \$ 5,549.49

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

C A P I T U L O VI
GRAFICAS COSTO UNITARIO-DISTANCIA, COMENTARIOS

Con los resultados obtenidos en capítulos anteriores, se procede a hacer las graficas de COSTO UNITARIO-DISTANCIA correspondientes a cada uno de los equipos analizados. Para poder apreciar en detalle el comportamiento de los equipos en el rango de 0 a 40 metros, se hizo una ampliación de esa parte.

Haciendo un análisis de dichas gráficas, se puede concluir que:

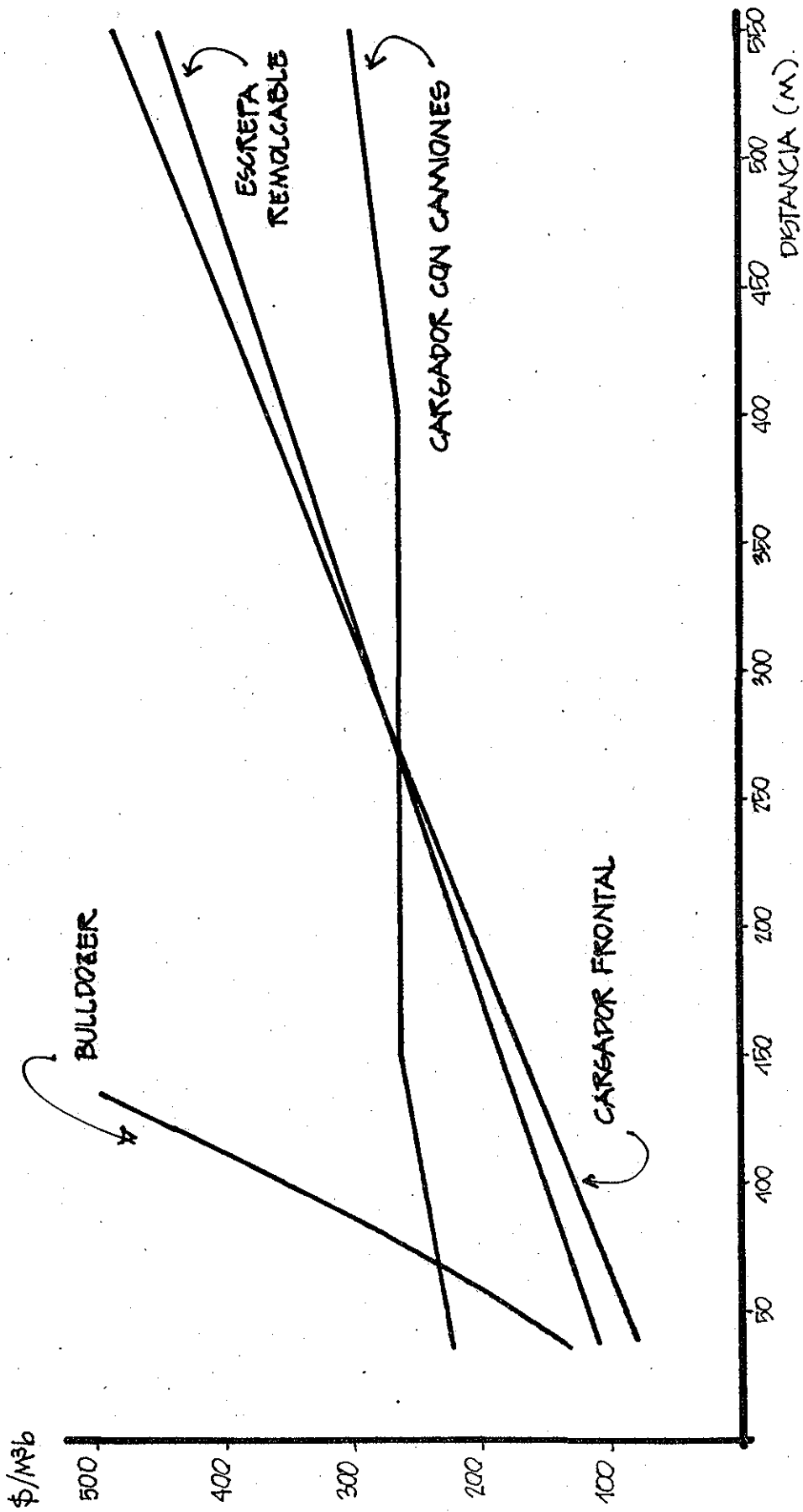
- 1o. La distancia que debe recorrer el bulldozer en el ciclo mínimo para hacer eficiente su trabajo, o sea, su longitud de acarreo libre, es de 6.90 metros.
- 2o. El bulldozer opera con ventajas económicas sobre los otros equipos analizados, entre 4.50 y 13.00 metros; antes y después de éste rango, el cargador frontal de neumáticos opera con mayor ventaja económica.
- 3o. Suponiendo que no se contara con un cargador de neumáticos, el bulldozer resultaría más eficiente hasta los 26 metros, momento en el cual la operación de la escarpa remolcada por tractor de orugas resultaría más económica.
- 4o. La longitud de acarreo libre de la escarpa remolcada

por tractor de orugas, es de 24.40 metros. Si no se contara con los recursos del cargador de orugas y los camiones de volteo, tendría ventajas sobre el cargador de neumáticos a partir de los 275 metros.

5o. La operación del cargador frontal de neumáticos resulta económica hasta los 275 metros, exepctuando el rango de los 6.90 a los 13 metros en el cual se ve desplazado con mínima ventaja por el bulldozer.

6o. La operación económica del cargador de orugas con camiones de volteo ocurre a partir de los 275 metros.

GRAFICAS COSTO UNITARIO-DISTANCIA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

R E F E R E N C I A S

1. David A. Day. MAQUINARIA DE CONSTRUCCION.
Primera Reimpresión, Editorial Limusa, 1,982. México D.F.

2. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. COSTOS
Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION EN LAS VIAS TERRESTRES.
México, D.F., 1983.

3. APUNTES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS. División de Ingeniería
Civil, Topográfica y Geodésica. Departamento de Construcción
Facultad de Ingeniería, UNAM.

4. CATERPILLAR PERFORMANCE HANDBOOK. Edición 14. Publicación
de Caterpillar Tractor Co., Peoria, Illinois, U.S.A. Octubre
de 1,983.

**TELIS CON
FALLA DE ORIGEN**