

T-1124

UNAM

---

Facultad de Ingeniería

**Planeación de Movimiento de Tierras  
Utilizando Simulación**

**T E S I S**

Que para obtener el título de :  
**INGENIERO CIVIL**

**p r e s e n t a :**

**ERIE EDGARDO QUEZADA RIVAS**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

# I N D I C E

## CAPITULO I

INTRODUCCION. ----- 1

## CAPITULO II

DESCRIPCION DEL PROBLEMA. ----- 4

## CAPITULO III

SOLUCION POR MEDIO DE SIMULACION. 43

## CAPITULO IV

RESULTADOS. ----- 85

## CAPITULO V.

CONCLUSIONES. ----- 93

BIBLIOGRAFIA. ----- 95

## CAPITULO I

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

Dentro de las actividades que tienen una decisiva participación en la economía nacional, la industria de la construcción ocupa un lugar preponderante; y son, quizás, las obras de construcción pesada, los ejemplos más destacados y representativos de la infraestructura, sostén indispensable en el desarrollo económico del país.

Una de las partes que demanda gran importancia y eventualmente la más costosa en este tipo de obras es el movimiento de tierras. Ello ha hecho necesario una adecuada planeación por parte de las empresas constructoras para obtener la máxima productividad con los recursos disponibles.

Por otra parte, con el advenimiento de las computadoras en las dos últimas décadas, la ingeniería dió un avance enorme al utilizar esta herramienta como un poderoso auxiliar en la resolución de problemas que anteriormente demandaban una mayor cantidad de tiempo. Mas no solo se ahorró en este concepto; al incrementarse el uso y la velocidad de estas máquinas, se logró minimizar los costos, haciendo posible su competitividad con otros medios.

Sin embargo, en nuestro país, la limitación de recursos económicos aunada



a la dependencia exterior: en este renglón, hace que la posesión o el arrendamiento - de estos instrumentos electrónicos resulte aún oneroso. Para contrarrestar esta situación podemos contribuir abatiendo dichos costos al obtener el mayor beneficio posible de ellas.

La industria de la construcción ha introducido gradualmente la computadora en este campo utilizándola en:

- + Archivo de datos.
- + Contabilidad.
- + Control de costos.
- + Control de activo fijo.
- + Control de maquinaria y equipo.
- + Cálculos financieros ( análisis ).
- + Nóminas y listas de raya.
- + "Stocks" e inventarios.
- + Cubicaciones y estimaciones.
- + Elaboración de precios unitarios y presupuestos.
- + Planeación y control de obras ( en tiempo y recursos ).

A esta lista se le ha unido la Simulación Digital de modelos. El campo de aplicaciones que nos abre este método es enorme; el estudio de los factores que afectan la construcción de una obra se puede hacer tan complicado como se quiera, lo cual también estará en función de los recursos y del tiempo que se disponga para ello. De hecho, el título con que se presenta este trabajo involucra gran cantidad de variables; no se

pretende hacer un análisis por simulación con todas ellas, su propósito es más modesto, se trata de utilizar esta técnica como un auxiliar para predecir la ocurrencia y afectación de la variable aleatoria más característica de una obra: la lluvia.

En el siguiente capítulo se describe más ampliamente el problema mencionado. El Capítulo III introduce el concepto de simulación y la aplicación a nuestro objeto de estudio; finalmente en los dos últimos capítulos se presentan los resultados y las conclusiones obtenidos de este análisis.

## C A P I T U L O   I I

### D E S C R I P C I O N   D E L   P R O B L E M A

Es común que en la rama de la construcción se busquen día con día nuevos métodos para predecir en forma confiable el comportamiento que tendrá la obra civil a lo largo de su proceso constructivo; sobre todo cuando la obra es de tal magnitud que una planeación adecuada puede redituar grandes ventajas económicas además de cumplir con los programas impuestos.

Como factores que influyen de una manera preponderante en la construcción de una obra podemos considerar los siguientes:

Tipo de construcción.

Destino de la construcción.

Volumen de obra.

Tiempo de ejecución.

Recursos (materiales, maquinaria y mano de obra).

Localización: - Zona económica.

- Condiciones topográficas
- Condiciones climatológicas
- Condiciones geológicas

Todos ellos han sido objeto de diversos estudios más o menos amplios, trataremos de analizar en este trabajo a la lluvia, considerada como el principal elemento de afectación dentro de los factores climatológicos.

Es importante conocer la variación de la precipitación pluvial en el sitio donde se pretende construir la obra, dado que, una vez determinado el equipo a utilizar y sus rendimientos, fija prácticamente el tiempo de ejecución, salvo problemas de tipo financiero o presupuestal.

Existen zonas con una temporada de lluvias bien definida, en la que una programación de horario del turno de trabajo, aparentemente, facilita la operación. Los problemas ocurren cuando en la zona de contratación el régimen de lluvias no es definido, pues rompe los ciclos de trabajo y altera las condiciones en que fue programada la obra, elevando consecuentemente los costos presupuestados.

Para estudiar los tiempos perdidos en temporada de lluvias se desarrolla un ejemplo cuya metodología puede ser extrapolada a cualquier tipo de obra; se trata de la construcción de terracerías en un tramo representativo (15 Km.) de la carretera Salina Cruz - Pochutla en el Estado de Oaxaca.

Primeramente se estudian los movimientos de tierra sin la ocurrencia de lluvias obteniendo el costo total y el tiempo de utilización (en horas) de cada equipo. Posteriormente se predicen las tormentas por medio de la simulación de un modelo a través de la computadora para conocer en qué grado pueden afectar las lluvias a la obra en esta zona de trabajo, variando además el período del año en que se labora.

## LA OBRA

El camino Salina Cruz - Pochutla en el Estado de Oaxaca que formará parte de la carretera costera del Pacífico, tendrá un desarrollo de 186 Km.; comunicará a varios centros de población entre ellos la cabecera municipal de Santiago Astata y el poblado de Santa Cruz Huatulco y facilitará la salida de la producción agrícola y ganadera de la zona. Será necesaria además la construcción de 38 puentes con una longitud total de 3,006 mts.

El camino es de tipo "C" con una velocidad de proyecto de 40-60-80 kilómetros por hora. Se analizarán los movimientos de tierra en el tramo comprendido entre los cadenamientos 5+000 y 20+000 con origen en Salina Cruz.

## EL EQUIPO

Para facilitar el análisis del movimiento de tierras se construyen las gráficas de distancia de acarreo vs. costo por metro cúbico para cada tipo de material ("A", "B" y "C") y para cada una de las siguientes combinaciones de maquinaria:

Tractor ( con ripper en mat. arable).

Motoescrepas con tractor empujador.

Cargador frontal y camiones volteo 6 m<sup>3</sup>.

A continuación se analizan los costos directos Hora-Máquina activa e inactiva, tomando para esta última el criterio SAHOP que deduce los costos por mantenimiento, consumos e intereses.

**ANALISIS DEL COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA**

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM MAQUINA: TRACTOR FECHA: /78  
 TESIS PROFESIONAL E. EDGARDO QUEZADA RIVAS MODELO: CAT D-8K

**DATOS GENERALES.**

Precio Adquisicion: \$ 4'370,000 Vida Economica (Ve): 10,000 horas.  
 Equipo Adicional: \$ \_\_\_\_\_ Horas por Año (Ha): 2,000 hrs/año  
 Llantas: \$ \_\_\_\_\_ Coeficiente Almacenaje (K): 0.10  
 Valor Inicial (Va): \$ 4'370,000 Factor Mantenimiento (Q): 1.00  
 Valor Rescate (Vr) 10%: \$ 437,000 Motor: Diesel de 300 H. P.  
 Tasa Interes Anual (i): 12 % Factor Operacion: 0.75  
 Prima Anual Seguros (s): 2 % Potencia Operacion: 225 H.Pop.

**I. CARGOS FIJOS.**

a) DEPRECIACION  $D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \frac{4'370,000 - 437,000}{10,000} =$  \$ 393.30  
 b) INVERSION  $I = \frac{Va + Vr}{2Ha} (i) = \frac{4'370,000 + 437,000}{2 \times 2,000} \times 0.12 =$  \$ 144.21  
 c) SEGUROS  $S = \frac{Va + Vr}{2Ha} (s) = \frac{4'370,000 + 437,000}{2 \times 2,000} \times 0.02 =$  \$ 24.04  
 d) ALMACENAJE  $A = KD = 0.10 \times 393.30 =$  \$ 39.33  
 e) MANTENIMIENTO  $M = QD = 1.00 \times 393.30 =$  \$ 393.30

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA: \$ 994.18

**II. CARGOS POR CONSUMO.**

a) COMBUSTIBLE:  $E = c \cdot P_c$   
 DIESEL:  $E = 0.16 \times 225 \text{ H.Pop.} = \$ 0.65 / \text{lt}$  \$ 23.40  
 GASOLINA:  $E = 0.23 \times \text{H.Pop.} = \$ \text{ /lt.}$  \$ \_\_\_\_\_  
 b) OTRAS FUENTES DE ENERGIA: \$ \_\_\_\_\_  
 c) LUBRICANTES:  $L = a \cdot P_l$   
 Capacidad Carter:  $C = 33$  lts Cambios Aceite:  $I = 100$  hrs.  
 $a = C / I \times \frac{0.0035}{0.0030} = \frac{33}{100} \times \frac{0.0035}{0.0030} = 0.396$  H.Pop. = 1.12 lts/hr.  
 $L = 1.12 \text{ lts/hr} \times 11.00 / \text{lt.} =$  \$ 12.32  
 d) LLANTAS:  $LL = \frac{V_l}{H_v} (\text{valor llantas}) =$  \$ \_\_\_\_\_

SUMA CARGOS CONSUMO POR HORA: \$ 35.72

**III. CARGO POR OPERACION.**

OPERADOR \$ 507.93  
 \_\_\_\_\_ \$ \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ \$ \_\_\_\_\_  
 Salario / turno-prom.  $So =$  \$ 507.93  
 Horas / turno-prom.  $H =$  8 horas  $\times 0.75$  factor rendimiento = 6 horas.  
 OPERACION:  $D = So/H = 507.93 / 6 =$  \$ 84.66

SUMA CARGOS OPERACION POR HORA: \$ 84.66

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 1,114.56

## ANÁLISIS DEL COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
TESIS PROFESIONAL  
E EDGARDO QUEZADA RIVAS

MAQUINA: TRACTOR C/RIPPER  
MODELO: CAT D-8

FECHA: / / 78

### I. DATOS GENERALES.

Precio Adquisición: \$ 4' 970,000 Vida Económica (Ve): 10,000 horas.  
 Equipo Adicional: \$ \_\_\_\_\_ Horas por Año (Ha): 2,000 hrs./año  
 Llantas: \$ \_\_\_\_\_ Coeficiente Almacenaje (K): 0.10  
 Valor Inicial (Va): \$ 4' 970,000 Factor Mantenimiento (Q): 1.00  
 Valor Rescate (Vr) 10%: \$ 497,000 Motor: Diesel de 300 H. P.  
 Tasa Interés Anual (i): 12 % Factor Operación: 0.75  
 Prima Anual Seguros (s): 2 % Potencia Operación: 225 H.Pop.

### II. CARGOS FIJOS.

a) DEPRECIACIÓN  $D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \frac{4' 970,000 - 497,000}{10,000} = \$ 447.30$   
 b) INVERSIÓN  $I = \frac{Va + Vr}{2Ha} (i) = \frac{4' 970,000 + 497,000}{2 \times 2,000} \times 0.12 = \$ 164.01$   
 c) SEGUROS  $S = \frac{Va + Vr}{2Ha} (s) = \frac{4' 970,000 + 497,000}{2 \times 2,000} \times 0.02 = \$ 27.34$   
 d) ALMACENAJE  $A = KD = 0.10 \times 447.30 = \$ 44.73$   
 e) MANTENIMIENTO  $M = QD = 1.00 \times 447.30 = \$ 447.30$

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA: \$ 1,130.68

### III. CARGOS POR CONSUMO.

a) COMBUSTIBLE:  $E = c + Pc$   
 DIESEL:  $E = 0.16 \times 225 \text{ H.Pop.} \times \$ 0.65 / \text{lt.} = \$ 23.40$   
 GASOLINA:  $E = 0.23 \times \text{H.Pop.} \times \$ / \text{lt.} = \$$   
 b) OTRAS FUENTES DE ENERGÍA: \$  
 c) LUBRICANTES:  $L = a \cdot Pl$   
 Capacidad Carter:  $C = 33 \text{ lts. Cambios Aceite: } t = 100 \text{ hrs.}$   
 $a = C / t \cdot \frac{0.0035}{0.0030} \times 225 \text{ H.Pop.} = 1.12 \text{ lts./hr.}$   
 $L = 1.12 \text{ lts./hr.} \times \$ 11.00 / \text{lt.} = \$ 12.32$   
 d) LLANTAS:  $LL = \frac{Vl}{Hv} (\text{valor llantas}) = \text{_____} (\text{vida económica}) = \$$

SUMA CARGOS CONSUMO POR HORA: \$ 35.72

### IV. CARGO POR OPERACION.

OPERADOR \$ 507.93  
 \_\_\_\_\_ \$  
 \_\_\_\_\_ \$  
 Salario/turno-prom.  $So = \$ 507.93$   
 Horas / turno-prom.  $H = 8 \text{ horas} \times 0.75 \text{ factor rendimiento} = 6 \text{ horas.}$   
 OPERACION:  $D = So/H = \frac{507.93}{6} = \$ 84.66$

SUMA CARGOS OPERACION POR HORA: \$ 84.66

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 1,251.06

### ANALISIS DEL COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM MAQUINA: MOTOESCREPA FECHA: / / 78  
 TESIS PROFESIONAL E EDGARDO QUEZADA RIVAS MODELO: CAT - 621 14 20 yd<sup>3</sup>

#### I. DATOS GENERALES.

Precio Adquisicion: \$ 4'530,000 Vida Economica (Ve): 10,000 horas.  
 Equipo Adicional: \$ \_\_\_\_\_ Horas por Año (Ha): 2,000 hrs./año  
 LLantas: \$ 300,000 Coeficiente Almacenaje (K): 0.10  
 Valor Inicial (Va): \$ 4'230,000 Factor Mantenimiento (Q): 1.00  
 Valor Rescate (Vr)<sup>10</sup>: \$ 453,000 Motor: Diesel de 330 H. P.  
 Tasa Interes Anual (i): 12 % Factor Operacion: 0.75  
 Prima Anual Seguros (s): 2 % Potencia Operacion: 248 H.Pop.

#### II. CARGOS FIJOS.

a) DEPRECIACION  $D = \frac{V_a - V_r}{V_e} = \frac{4'230,000 - 453,000}{10,000}$  \$ 377.70  
 b) INVERSION  $I = \frac{V_a + V_r}{2 \times Ha} (i) = \frac{4'230,000 + 453,000}{2 \times 2,000} \times 0.12$  \$ 140.49  
 c) SEGUROS  $S = \frac{V_a + V_r}{2 \times Ha} (s) = \frac{4'230,000 + 453,000}{2 \times 2,000} \times 0.02$  \$ 23.42  
 d) ALMACENAJE  $A = K D = 0.10 \times 377.70$  \$ 37.77  
 e) MANTENIMIENTO  $M = Q D = 1.00 \times 377.70$  \$ 377.70

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA: \$ 957.08

#### III. CARGOS POR CONSUMO.

a) COMBUSTIBLE:  $E = c \cdot P_c$   
 DIESEL:  $E = 0.16 = 248 \text{ H.Pop.} \times \$ 0.65 / \text{lt.}$  \$ 25.79  
 GASOLINA:  $E = 0.23 = \text{_____ H.Pop.} \times \$ \text{_____} / \text{lt.}$  \$ \_\_\_\_\_  
 b) OTRAS FUENTES DE ENERGIA: \$ \_\_\_\_\_  
 c) LUBRICANTES:  $L = a \cdot P_l$   
 Capacidad Carter:  $C = 33$  lts. Cambios Aceite:  $t = 100$  hrs.  
 $a = C/t + \frac{0.0035}{0.0030} = 248 \text{ H.Pop.} = 1.20$  lts./hr.  
 $L = 1.20$  lts./hr.  $\times \$ 11.00 / \text{lt.}$  \$ 13.20  
 d) LLANTAS:  $LL = \frac{V_{ll}}{H_v} (\text{valor llantas}) = \frac{300,000}{2,550}$  \$ 117.65  
 (vida económica)

SUMA CARGOS CONSUMO POR HORA: \$ 156.64

#### IV. CARGO POR OPERACION.

OPERADOR \$ 507.93  
 \_\_\_\_\_ \$ \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ \$ \_\_\_\_\_  
 Salario/turno-prom.  $S_o = \$ 507.93$   
 Horas/turno-prom.  $H = 8$  horas  $\times 0.75$  factor rendimiento = 6 horas.  
 OPERACION:  $O = S_o/H = \frac{507.93}{6}$  \$ 84.66

SUMA CARGOS OPERACION POR HORA: \$ 84.66

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 1,198.38



**ANALISIS DEL COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA**

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM, MAQUINA: CARGADOR FRONTAL FECHA: /78  
 TESIS PROFESIONAL  
 E. EDGARDO QUEZADA RIVAS MODELO: CAT - 955 1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> - 2yd<sup>3</sup>

**DATOS GENERALES.**

Precio Adquisicion: \$ 2'175,000 Vida Economica (Ve): 10,000 horas.  
 Equipo Adicional: \$ \_\_\_\_\_ Horas por Año (Ha): 2,000 hrs./año  
 LLantas: \$ \_\_\_\_\_ Coeficiente Almacenaje (K): 0.10  
 Valor Inicial (Va): \$ 2'175,000 Factor Mantenimiento (Q): 1.00  
 Valor Rescate (Vr) 10%: \$ 217,500 Motor: Diesel de 130 H. P.  
 Tasa Interes Anual (i): 12 % Factor Operacion: 0.75  
 Prima Anual Seguros (s): 2 % Potencia Operacion: 98 H.Pop.

**I. CARGOS FIJOS.**

a) DEPRECIACION  $D = \frac{V_a - V_r}{V_e} = \frac{2'175,000 - 217,500}{10,000} =$  \$ 195.75  
 b) INVERSION  $I = \frac{V_a + V_r}{2Ha} (i) = \frac{2'175,000 + 217,500}{2 \times 2,000} \times 0.12 =$  \$ 71.78  
 c) SEGUROS  $S = \frac{V_a + V_r}{2Ha} (s) = \frac{2'175,000 + 217,500}{2 \times 2,000} \times$  \$ 11.96  
 d) ALMACENAJE  $A = KD = 0.10 \times 195.75 =$  \$ 19.58  
 e) MANTENIMIENTO  $M = QD = 1.00 \times 195.75 =$  \$ 195.75

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA: \$ 494.82

**II. CARGOS POR CONSUMO.**

a) COMBUSTIBLE:  $E = c \cdot P_c$   
 DIESEL:  $E = 0.16 \times 98 \text{ HP op.} =$  \$ 0.65 /lt. \$ 10.19  
 GASOLINA:  $E = 0.23 \times \text{H.P op.} =$  \$ \_\_\_\_\_ /lt. \$ \_\_\_\_\_  
 b) OTRAS FUENTES DE ENERGIA: \$ \_\_\_\_\_  
 c) LUBRICANTES:  $L = a \cdot P_l$   
 Capacidad Carter:  $C = 19$  lts. Cambios Aceite:  $t = 100$  hrs.  
 $a = \frac{C}{t} \times \frac{0.0035}{0.0030} = \frac{19}{100} \times \frac{0.0035}{0.0030} =$  0.53 HP op. = 0.53 lts./hr.  
 $L = 0.53 \text{ lts./hr} \times$  \$ 11.00 /lt. \$ 5.83  
 d) LLANTAS:  $LL = \frac{V_{ll}}{H_v} (\text{valor llantas}) =$  \$ \_\_\_\_\_

SUMA CARGOS CONSUMO POR HORA: \$ 16.02

**III. CARGO POR OPERACION.**

OPERADOR \$ 460.02  
 \$ \_\_\_\_\_  
 \$ \_\_\_\_\_  
 Salario / turno - prom.  $S_o =$  \$ 460.02  
 Horas / turno - prom.  $H =$  8 horas  $\times$  0.75 factor rendimiento = 6 horas.  
 OPERACION:  $D = S_o/H = \frac{460.02}{6} =$  \$ 76.67

SUMA CARGOS OPERACION POR HORA: \$ 76.67

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 587.51

**ANALISIS DEL COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA**

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM MAQUINA: CAMION VOLTEO FECHA: / 78  
 TESIS PROFESIONAL E EDGARDO QUEZADA RIVAS MODELO: F-600 6M<sup>3</sup>

**DATOS GENERALES.**

Precio Adquisicion: \$ 317,000 Vida Economica (Ve): 10,000 horas.  
 Equipo Adicional: \$ \_\_\_\_\_ Horas por Año (Ha): 2,000 hrs./año  
 LLantas: \$ 22,000 Coeficiente Almacenaje (K): 0.08  
 Valor Inicial (Va): \$ 295,000 Factor Mantenimiento (Q): 0.80  
 Valor Rescate (Vr) %: 31,700 Motor: Gasolina de 200 H. P.  
 Tasa Interes Anual (i): 12 % Factor Operacion: 0.70  
 Prima Anual Seguros (s): 2 % Potencia Operacion: 140 H.Pop.

**I. CARGOS FIJOS.**

a) DEPRECIACION  $D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \frac{295,000 - 31,700}{10,000} = 26.33$  \$ 26.33  
 b) INVERSION  $I = \frac{Va + Vr}{2Ha} (i) = \frac{295,000 + 31,700}{2 \times 2,000} \times 0.12 = 9.80$  \$ 9.80  
 c) SEGUROS  $S = \frac{Va + Vr}{2Ha} (s) = \frac{295,000 + 31,700}{2 \times 2,000} \times 0.12 = 1.63$  \$ 1.63  
 d) ALMACENAJE  $A = KD = 0.08 \times 26.33 = 2.11$  \$ 2.11  
 e) MANTENIMIENTO  $M = QD = 0.80 \times 26.33 = 21.06$  \$ 21.06

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA: \$ 60.93

**II. CARGOS POR CONSUMO.**

a) COMBUSTIBLE:  $E = c \cdot P_c$

DIESEL :  $E = 0.16 =$  \_\_\_\_\_ H.Pop.  $\times$  \$ \_\_\_\_\_ /ll. \$ \_\_\_\_\_

GASOLINA :  $E = 0.23 = 140$  H.Pop.  $\times$  \$ 2.80 /ll. \$ 90.16

b) OTRAS FUENTES DE ENERGIA: \$ \_\_\_\_\_

c) LUBRICANTES:  $L = a \cdot P_l$

Capacidad Carter:  $C = 5$  lts. Cambios Aceite:  $t = 100$  hrs.

$a = C/t + \frac{0.0035}{0.0030} = 140$  H.Pop.  $= 0.54$  lts./hr.

$L = 0.54$  lts./hr.  $\times$  \$ 11.00 /ll. \$ 5.94

d) LLANTAS:  $LL = \frac{Vll}{Hv} (\text{valor llantas}) = \frac{22,000}{3,000} = 7.33$  \$ 7.33

SUMA CARGOS CONSUMO POR HORA: \$ 103.43

**III. CARGO POR OPERACION.**

OPERADOR \$ 438.45

\$ \_\_\_\_\_

\$ \_\_\_\_\_

Salario / turno - prom.  $So =$  \$ 438.45

Horas / turno - prom.  $H = 8$  horas  $\times 0.75$  factor rendimiento  $= 6$  horas.

OPERACION:  $O = So/H = 438.45 / 6 = 73.08$  \$ 73.08

SUMA CARGOS OPERACION POR HORA: \$ 73.08

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 237.44

## ANALISIS DEL COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM  
 TESIS PROFESIONAL  
 F. EDGARDO QUEZADA RIVAS

MAQUINA: CARGADOR DE RUEDAS  
 MODELO: CAT 930 2yd<sup>3</sup>

FECHA: / 78

## DATOS GENERALES.

Precio Adquisición: \$ 1'210,000 Vida Económica (Ve): 10,000 horas.  
 Equipo Adicional: \$ \_\_\_\_\_ Horas por Año (Ha): 2,000 hrs./año  
 LLantas: \$ 110,000 Coeficiente Almacenaje (K): 0.10  
 Valor Inicial (Va): \$ 1'100,000 Factor Mantenimiento (Q): 1.00  
 Valor Rescate (Vr) 10%: \$ 110,000 Motor: Diesel de 100 H. P.  
 Tasa Interés Anual (i): 12 % Factor Operación: 0.75  
 Prima Anual Seguros(s): 2 % Potencia Operación: 75 H.Pop.

## I. CARGOS FIJOS.

a) DEPRECIACION  $D = \frac{V_a - V_r}{V_e} = \frac{1'100,000 - 110,000}{10,000} = \$ 99.00$   
 b) INVERSION  $I = \frac{V_a + V_r}{2Ha} (i) = \frac{1'100,000 + 110,000}{2 \times 2,000} \times 0.12 = \$ 36.30$   
 c) SEGUROS  $S = \frac{V_a + V_r}{2Ha} (s) = \frac{1'100,000 + 110,000}{2 \times 2,000} \times 0.12 = \$ 6.05$   
 d) ALMACENAJE  $A = KD = 0.10 \times 99.00 = \$ 9.90$   
 e) MANTENIMIENTO  $M = QD = 1.00 \times 99.00 = \$ 99.00$

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA: \$ 250.25

## II. CARGOS POR CONSUMO.

a) COMBUSTIBLE:  $E = c \cdot P_c$   
 DIESEL:  $E = 0.16 \times 75 \text{ H.Pop.} \times \$ 0.65 / \text{lit.} = \$ 7.80$   
 GASOLINA:  $E = 0.23 \times \text{H.Pop.} \times \$ \text{ / lit.} = \$$   
 b) OTRAS FUENTES DE ENERGIA: \$  
 c) LUBRICANTES:  $L = a \cdot P_l$   
 Capacidad Carter: C = 19 lts. Cambios Aceite: t = 100 hrs.  
 $a = C/t + \frac{0.0035}{0.0030} \times 75 \text{ H.Pop.} = 0.42 \text{ lts/hr.}$   
 $L = 0.42 \text{ lts/hr.} \times \$ 11.00 / \text{lit.} = \$ 4.62$   
 d) LLANTAS:  $LL = \frac{V_l}{H_v} (\text{valor llantas}) = \frac{110,000}{2,500} = \$ 44.00$

SUMA CARGOS CONSUMO POR HORA: \$ 56.42

## III. CARGO POR OPERACION.

OPERADOR \$ 460.02  
 \$  
 \$  
 Salario / turno - prom.  $S_o = \$ 460.02$   
 Horas / turno - prom.  $H = 8 \text{ horas} \times 0.75 \text{ factor rendimiento} = 6 \text{ horas.}$   
 OPERACION:  $O = S_o/H = \frac{460.02}{6} = \$ 76.67$

SUMA CARGOS OPERACION POR HORA: \$ 76.67

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 383.34

**ANALISIS DEL COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA**

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM MAQUINA: TRACK - DRILL FECHA: / 78  
 TESIS PROFESIONAL E. EDGARDO QUEZADA RIVAS MODELO: \_\_\_\_\_

**DATOS GENERALES.**

Precio Adquisicion: \$ 1'300,000 Vida Economica (Ve): 8,000 horas.  
 Equipo Adicional: \$ \_\_\_\_\_ Horas por Año (Ha): 1,600 hrs./año  
 LLantas: \$ \_\_\_\_\_ Coeficiente Almacenaje (K): 0.08  
 Valor Inicial (Va): \$ 1'300,000 Factor Mantenimiento (Q): 0.80  
 Valor Rescate (Vr) 10 %: \$ 130,000 Motor: NEUMATICO de - H.P.  
 Tasa Interes Anual (i): 12 % Factor Operacion: \_\_\_\_\_  
 Prima Anual Seguros (s): 2 % Potencia Operacion: \_\_\_\_\_ H.Pop.

**I. CARGOS FIJOS.**

a) DEPRECIACION  $D = \frac{V_a - V_r}{V_e} = \frac{1'300,000 - 130,000}{8,000}$  \$ 146.25  
 b) INVERSION  $I = \frac{V_a + V_r}{2 \times H_a} (i) = \frac{1'300,000 + 130,000}{2 \times 1,600} \times 0.12$  \$ 53.62  
 c) SEGUROS  $S = \frac{V_a + V_r}{2 \times H_a} (s) = \frac{1'300,000 + 130,000}{2 \times 1,600} \times 0.02$  \$ 8.94  
 d) ALMACENAJE  $A = K D = 0.08 \times 146.25$  \$ 11.70  
 e) MANTENIMIENTO  $M = Q D = 0.80 \times 146.25$  \$ 117.00

**SUMA CARGOS FIJOS POR HORA: \$ 337.51**

**II. CARGOS POR CONSUMO.**

a) COMBUSTIBLE:  $E = c \cdot P_c$   
 DIESEL:  $E = 0.16 =$  \_\_\_\_\_ H.Pop.  $\times$  \$ \_\_\_\_\_ /lt. \$ \_\_\_\_\_  
 GASOLINA:  $E = 0.23 =$  \_\_\_\_\_ H.Pop.  $\times$  \$ \_\_\_\_\_ /lt. \$ \_\_\_\_\_  
 b) OTRAS FUENTES DE ENERGIA: \$ \_\_\_\_\_  
 c) LUBRICANTES:  $L = a \cdot P_l$   
 Capacidad Carter: C = \_\_\_\_\_ lts. Cambios Aceite: t = \_\_\_\_\_ hrs.  
 $a = C/t + \frac{0.0035}{0.0030} =$  \_\_\_\_\_ H.Pop. = \_\_\_\_\_ lts./hr.  
 $L =$  \_\_\_\_\_ lts./hr.  $\times$  \$ \_\_\_\_\_ /lt. \$ \_\_\_\_\_  
 d) LLANTAS:  $LL = \frac{V_{ll}}{H_v}$  (valor llantas) = \_\_\_\_\_ \$ \_\_\_\_\_  
 (vida económica)

**SUMA CARGOS CONSUMO POR HORA: \$ - 0 -**

**III. CARGO POR OPERACION.**

OPERADOR \$ 507.93  
 \_\_\_\_\_ \$ \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ \$ \_\_\_\_\_  
 Salario / turno - prom.  $S_o =$  \$ 507.93  
 Horas / turno - prom.  $H =$  8 horas  $\times$  0.75 factor rendimiento = 6 horas.  
 OPERACION:  $O = S_o/H = \frac{507.93}{6}$  \$ 84.66

**SUMA CARGOS OPERACION POR HORA: \$ 84.66**

**COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 422.17**

**ANALISIS DEL COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA**

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM  
 TESIS PROFESIONAL  
 E. EDUARDO QUEZADA RIVAS

MAQUINA: COMPRESOR  
 MODELO: 750 PCM Ingersoll - Rand

FECHA: /78

**DATOS GENERALES.**

Precio Adquisición: \$ 900,000 Vida Económica (Va): 10,000 horas.  
 Equipo Adicional: \$ \_\_\_\_\_ Horas por Año (Ha): 2,000 hrs./año  
 LLantas: \$ \_\_\_\_\_ Coeficiente Almacenaje (K): 0.08  
 Valor Inicial (Va): \$ 900,000 Factor Mantenimiento (Q): 0.80  
 Valor Rescate (Vr) 10%: \$ 90,000 Motor: Diesel de 150 H.P.  
 Tasa Interés Anual (i): 12 % Factor Operación: 0.75  
 Prima Anual Seguros (s): 2 % Potencia Operación: 112 H.Pop

**I CARGOS FIJOS.**

a) DEPRECIACION  $D = \frac{Va - Vr}{ve} = \frac{900,000 - 90,000}{10,000} = \$ 81.00$   
 b) INVERSION  $I = \frac{Va + Vr}{2Ha} (i) = \frac{900,000 + 90,000}{2 \times 2,000} \times 0.12 = \$ 29.70$   
 c) SEGUROS  $S = \frac{Va + Vr}{2Ha} (s) = \frac{900,000 + 90,000}{2 \times 2,000} \times 0.02 = \$ 4.95$   
 d) ALMACENAJE  $A = KD = 0.08 \times 81.00 = \$ 6.48$   
 e) MANTENIMIENTO  $M = QD = 0.80 \times 81.00 = \$ 64.80$

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA: \$ 186.93

**II CARGOS POR CONSUMO.**

a) COMBUSTIBLE:  $E = c \cdot P_c$   
 DIESEL:  $E = 0.16 = 112 \text{ H.Pop.} \times \$ 0.65 / \text{lit.} = \$ 11.65$   
 GASOLINA:  $E = 0.23 = \text{H.Pop.} \times \$ / \text{lit.} = \$$   
 b) OTRAS FUENTES DE ENERGIA: \$ \_\_\_\_\_  
 c) LUBRICANTES:  $L = a \cdot P_l$   
 Capacidad Carter:  $C = \text{lit.} \text{ Cambios Aceite: } t = \text{hrs.}$   
 $a = C / t + \frac{0.0035}{0.0030} \text{ H.Pop.} = \text{lit.} / \text{hr.}$   
 $L = 0.30 \text{ lit.} / \text{hr} \times \$ 11.00 / \text{lit.} = \$ 3.30$   
 d) LLANTAS:  $LL = \frac{VII}{Hv} (\text{valor llantas}) / (\text{vida económica}) = \$$

SUMA CARGOS CONSUMO POR HORA: \$ 14.95

**III CARGO POR OPERACION.**

OPERADOR \$ 438.45  
 \$ \_\_\_\_\_  
 \$ \_\_\_\_\_  
 Salario / turno - prom.  $So = \$ 438.45$   
 Horas / turno - prom  $H = 8 \text{ horas} \times 0.75 \text{ factor rendimiento} = 6 \text{ horas.}$   
 OPERACION:  $O = So / H = 438.45 / 6 = \$ 73.08$

SUMA CARGOS OPERACION POR HORA: \$ 73.08

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 274.96

COSTOS DIRECTOS      HORA - MAQUINA

MAQUINA	COSTO DIRECTO HORA ACTIVA	D E D U C C I O N E S			COSTO DIRECTO HORA INACTIVA
		MANTENIMIENTO	CONSUMOS	INTERESES	
Tractor D - 8	1,114.56	393.30	35.72	144.21	541.33
Tractor D - 8 <sup>c</sup> / RIPPER	1,251.06	447.30	35.72	164.01	604.03
Motoescrepa 621	1,198.38	377.70	156.64	140.49	523.55
Cargador 955	587.51	195.75	16.02	71.78	303.96
Camión Volteo F-600	237.44	21.06	103.43	9.80	103.15
Cargador 930	383.34	99.00	56.42	36.30	191.62
Track Drill	422.17	117.00	-	53.62	251.55
Compresor	274.96	64.80	14.95	29.70	165.51

## PRODUCCION Y COSTO DE MOVIMIENTOS DE TIERRA

### MATERIAL TIPO "A"

#### Análisis con Tractor con Hoja Topadora.

Unidad: Un tractor D8K equipado con hoja tipo 8S.

Material a mover: Arena limosa poco compacta ( 100-00-00)

Para estimar la producción horaria utilizando la Guía sobre rendimientos Caterpillar se recurre a las gráficas distancia de acarreo vs producción horaria - ( teórica); una vez obtenida esta, se afecta por diferentes factores de corrección como se desarrolla en seguida.

#### Factores de Corrección de la Producción Máxima:

Por operación considerando un operador bueno ----- 0.75

Corrección por peso del material :  $\frac{1370 \text{ Kg/M}^3\text{s (densidad base)}}{1600 \text{ Kg/M}^3\text{s (densidad en obra)}}$  ----- 0.86

Eficiencia del trabajo : ----- 0.84

Se trabaja a nivel del mar y no se consideran las pendientes por ser menores del 1% en general.

Multiplicando todos estos factores obtenemos el factor de corrección total que a su vez se multiplicará por la producción máxima teórica para estimar la producción real a diferentes distancias de acarreo.

$$\text{Factor de Corrección total} = 0.75 \times 0.68 \times 0.84$$

$$= 0.54$$

$$\text{Coef. de Variación Volumétrica (CVV)} = 0.79$$

$$\text{Costo Horario del Tractor D8K} = \$ 1,114.56$$

DISTANCIA DE ACARREO (M)	PRODUCCION MAXIMA TEORICA (M <sup>3</sup> /HR)	PRODUCCION ESTIMADA		COSTO POR M <sup>3</sup> B
		M <sup>3</sup> S/HR	M <sup>3</sup> B/HR	
15	940	507.6	401	2.78
30	610	329.4	260	4.29
45	430	232.2	183	6.09
60	335	180.9	143	7.79
75	275	148.5	117	9.53
90	230	124.2	98	11.37

### Análisis con Motoescrepas.

Unidades: Dos motoescrepas mod. 621B con  
un tractor empujador mod. D8K.

Material a mover: Arena limosa poco compacta (100-00-00)

Estimación de la producción horaria utilizando la Guía sobre rendimientos Caterpillar.

Capacidad de carga de la motoescrepa 621B ----- 21,800 Kg.

Densidad del material ----- 1,600 kg/m<sup>3</sup>s

Máximo volumen que puede transportar :  $\frac{21,800}{1,600} = 13.6 \text{ m}^3\text{s}$

Volumen estimado de transporte =  $13.6 \times 0.79 \text{ (CVV)} \times 0.9 = 9.7 \text{ m}^3\text{b}$



### Tiempos del ciclo.

Tiempos fijos.- Típicos de la 621B con empujador D8.

Tiempo de carga -----	0.60 min
Tolerancias -----	0.70 min
Tiempo maniobras y esparcimiento -----	0.10 min
	<u>1.40 min</u>

Tiempos variables.- Hacemos uso de la resistencia al rodado.

"Un camino de tierra, con baches y zurcos, que cede bajo la carga; se repara muy poco o nada y no se riega. Los neumáticos penetran 1" o más " -----

50 Kg/ton

Cada 10 Kg/ton de resistencia al rodado equivalen a 1% de pendiente adversa.

∴ 50 Kg/ton = 5% pendiente compensada.

Con la pendiente compensada recurrimos a las gráficas del manual Caterpillar - para leer los tiempos de viaje de la motoescrepa cargada y vacía en función de la distancia de recorrido.

$$HMD = (2 \times 1,198.38) + 1,114.56 = \$ 3,511.32$$

$$\text{Factor de eficiencia} = 0.75$$

DIST. DE ACARREO (mts)	TIEMPO DE RECORRIDO (min)		TIEMPO TOTAL DEL CICLO (min)	PRODUC. POR UNIDAD	PRODUC. TOTAL CORREGIDA	COSTO POR M <sup>3</sup> B
	CARGADA	VACIA				
50	0.23	0.21	1.84	316.3	474.5	7.40
100	0.41	0.29	2.10	277.1	415.7	8.45
200	0.68	0.48	2.56	227.3	341.0	10.30
300	0.92	0.66	2.98	195.3	293.0	11.98
400	1.18	0.81	3.39	171.7	257.6	13.63
500	1.42	0.97	3.79	153.6	230.4	15.24
600	1.67	1.12	4.19	138.9	208.4	16.85
700	1.91	1.28	4.59	126.8	190.2	18.46
800	2.14	1.43	4.97	117.1	175.7	19.98
900	2.37	1.59	5.36	108.6	162.9	21.56
1000	2.65	1.77	5.82	100.0	150.0	23.41

### Análisis con Cargador y Camiones.

Unidades: Un tractor D9K equipado con hoja topadora  
 Un cargador 955K - UG  
 Camiones volteo F - 600 (6 m<sup>3</sup>)

Material a mover: Arena limosa poco compacta (100 - 00 - 00)

El tractor formará montones del material que pueda atacar el cargador. Se considera la producción que se obtuvo en el análisis del tractor para este tipo de material acarreado a una distancia de 30 mts.

Producción = 260 M<sup>3</sup>B/hr

HMD Tractor = \$ 1,114.56

Costo por m<sup>3</sup> amontonado = \$ 4.29/m<sup>3</sup>B

Estimación de la producción horaria del cargador utilizando la Guía sobre rendimientos Caterpillar.

$$\text{Capacidad del cucharón} = 1.53 \times 0.9 \times 0.79 (\text{CVV}) = 1.1 \text{ m}^3\text{B}$$

Tiempos fijos del ciclo:

$$\text{T tiempo de carga} \text{ ----- } 0.20 \text{ min}$$

$$\text{T tiempo de maniobras} \text{ ----- } 0.22 \text{ min}$$

$$\text{T tiempo de descarga} \text{ ----- } \frac{0.08}{0.50} \text{ min}$$

$$\text{Ciclos por hora} = \frac{60}{0.50} \times 0.75 (\text{operación}) \times 0.83 (\text{trabajo}) = 75$$

$$\text{Producción del cargador} = 75 \times 1.1 = 82.5 \text{ m}^3\text{B/hr}$$

Ciclo del camión:

Para cargar un camión son necesarias 4 "botazos"

$$\text{T tiempo de carga} = \frac{0.50 \times 4}{(0.75) (0.83)} \text{ ----- } 3.21 \text{ min}$$

$$\text{T tiempo de descarga} \text{ ----- } 0.75 \text{ min}$$

$$\text{T tiempo de maniobras} \text{ ----- } \frac{0.25}{0.50} \text{ min}$$

$$\text{Tiempos fijos} = 4.21 \text{ min}$$

Velocidad promedio del camión:

$$\text{vacío} = 30 \text{ Km/hr}$$

$$\text{cargado} = 15 \text{ Km/hr}$$

$$\text{Capacidad del camión} = 1.1 \times 4 = 4.4 \text{ m}^3\text{B}$$

HMD Cargador = \$587.51/hr  
HMD Camión = \$237.44/hr

Producción Máxima = 82.5 m<sup>3</sup>/hr

DISTANCIA DE ACARREO (m)	TIEMPO DE RECORRIDO VACIO	TIEMPO DE RECORRIDO CARGADO	TIEMPO TOTAL DEL CICLO (min) Carga y Acarreo	PRODUCCION POR UNIDAD m <sup>3</sup> (B)/hr	NUM. DE UNIDADES	FACTOR DE ESPERA EN COLA	PRODUCCION TOTAL	COSTO POR M <sup>3</sup> CARGA	ACARREO	(BANCO) TOTAL
500	1.00	2.00	7.21	36.6	2	-	73.2	8.02	6.49	18.80
600	1.20	2.40	7.81	33.8	2	-	67.6	8.69	7.02	20.00
700	1.40	2.80	8.41	31.4	3	1.14	82.5	7.12	8.63	20.04
800	1.60	3.20	9.01	29.3	3	1.07	82.5	7.12	8.63	20.04
900	1.80	3.60	9.61	27.5	3	1.00	82.5	7.12	8.63	20.04
1,000	2.00	4.00	10.21	25.9	3	-	77.7	7.56	9.17	21.02
1,100	2.20	4.40	10.81	24.4	3	-	73.2	8.03	9.73	22.05
1,200	2.40	4.80	11.41	23.1	4	1.12	82.5	7.12	11.51	22.92
1,300	2.60	5.20	12.01	22.0	4	1.07	82.5	7.12	11.51	22.92
1,400	2.80	5.60	12.61	20.9	4	1.01	82.5	7.12	11.51	22.92
1,500	3.00	6.00	13.21	20.0	4	-	80.0	7.34	11.87	23.50
1,600	3.20	6.40	13.81	19.1	4	-	76.4	7.69	12.43	24.41
1,700	3.40	6.80	14.41	18.3	4	-	73.2	8.03	12.97	25.29
1,800	3.60	7.20	15.01	17.6	5	1.07	82.5	7.12	14.39	25.80
1,900	3.80	7.60	15.61	16.9	5	1.02	82.5	7.12	14.39	25.80
2,000	4.00	8.00	16.21	16.3	5	-	81.5	7.21	14.57	26.07
2,100	4.20	8.40	16.81	15.7	5	-	78.5	7.49	15.12	26.90
2,200	4.40	8.80	17.41	15.2	5	-	76.0	7.73	15.62	27.64
2,300	4.60	9.20	18.01	14.7	5	-	73.5	7.99	16.15	28.43
2,400	4.80	9.60	18.61	14.2	6	1.03	82.5	7.12	17.27	28.68
2,500	5.00	10.00	19.21	13.7	6	-	82.2	7.15	17.33	28.77
2,600	5.20	10.40	19.81	13.3	6	-	79.8	7.36	17.85	29.50
2,700	5.40	10.80	20.41	12.9	6	-	77.4	7.59	18.41	30.29
2,800	5.60	11.20	21.01	12.6	6	-	75.6	7.77	18.84	30.90
2,900	5.80	11.60	21.61	12.2	7	1.04	82.5	7.12	20.15	31.56
3,000	6.00	12.00	22.21	11.9	7	1.01	82.5	7.12	20.15	31.56
3,100	6.20	12.40	22.81	11.6	7	-	81.2	7.24	20.47	32.00
3,200	6.40	12.80	23.41	11.3	7	-	79.1	7.43	21.01	32.73
3,300	6.60	13.20	24.01	11.0	7	-	77.0	7.63	21.59	33.51
3,400	6.80	13.60	24.61	10.7	7	-	74.9	7.84	22.19	34.32
3,500	7.00	14.00	25.21	10.5	8	1.02	82.5	7.12	23.02	34.43
3,600	7.20	14.40	25.81	10.2	8	-	81.6	7.20	23.28	34.77
3,700	7.40	14.80	26.41	10.0	8	-	80.0	7.34	23.74	35.37
3,800	7.60	15.20	27.01	9.8	8	-	78.4	7.49	24.23	36.01
3,900	7.80	15.60	27.61	9.6	8	-	76.8	7.65	24.73	36.67

## MATERIAL TIPO "B"

### Análisis con Tractor con Hoja Topadora

Unidad : Un tractor D8 equipado con hoja tipo 8S y ripper de 1 diente

Material a mover : Grantio muy imtemperizado y muy fracturado ( 00-100-00) Tucuruaguay

Velocidad de la onda sísmica : 4,500 ft/seg

De las gráficas de la Guía sobre rendimientos Caterpillar se estima la producción del desgarrador en función de la velocidad de la onda sísmica:

Vel = 4,500 ft/seg      producción = 370 m<sup>3</sup>B/hr

Eficiencia del trabajo = 50 min/hr ----- 0.84

Coef. de variación volumétrica ----- 0.75

Producción estimada = 370 x 0.84 x 0.75 = 233 m<sup>3</sup>B/hr desgarrando.

Cálculo de la producción de acarreo :

Factores de Corrección de la Producción Máxima :

- Por operación, considerando un operador bueno ----- 0.75
- Corrección por peso  $\frac{1370 \text{ Kg/m}^3 \text{ S (densidad base)}}{1721 \text{ Kg/m}^3 \text{ S (densidad en obra)}}$  ----- 0.80
- Por el tipo de material : Roca desgarrada ----- 0.80
- Eficiencia del trabajo 50 min/hr ----- 0.84

Factor de Corrección total = 0.75 x 0.80 x 0.80 x 0.84

= 0.40 x 0.75 (CVV) = 0.30

Costo horario del tractor D9K con ripper = \$ 1,251.06

DISTANCIA DE ACARREO (m)	PRODUCCION - MAXIMA TEORICA DE ACARREO	PRODUCCION ESTIMADA DE ACARREO m <sup>3</sup> /hr	PRODUCCION ESTIMADA DESGARRE Y ACARREO. *	COSTO POR M <sup>3</sup> B
15	940	282	128	9.77
30	610	183	102	12.27
45	430	129	83	15.07
60	335	101	70	17.87
75	275	83	61	20.51
90	230	69	53	23.60

(\* ) La producción estimada desgarrar y acarreo se basa en que el mismo tractor se utiliza para ambos trabajos, pero como se tienen diferentes rendimientos para  $\frac{c}{u}$  de ellos se iguala este considerando el porcentaje de tiempo que se utiliza para cada concepto. p. ej.

para 15 m de acarreo: producción estimada de acarreo : 282 m<sup>3</sup>/hr  
 " " desgarrando:  $\frac{233}{515}$  m<sup>3</sup>/hr

$$\% \text{ acarreo} = 1 - \frac{282}{515} = 45.24\% \times 282 = 128 \text{ m}^3/\text{hr}$$

### Análisis con Motoescrepas.

Unidades: Dos motoescrepas mod. 621 B con  
un empujador mod. D3K

Material a mover: Granito muy intemperizado y muy fracturado (00-100-00)  
Tucuruquay.

Estimación de la producción horaria utilizando la Guía sobre rendimientos Caterpillar.

Capacidad de carga de la motoescrepa 621 B ----- 21,800 kg

Densidad del material ----- 1,721 kg/m<sup>3</sup>S

Volumen que puede transportar :  $\frac{21,800}{1721} = 12.7 \text{ m}^3\text{S}$

Volumen estimado de transporte =  $12.7 \times 0.75 \text{ (CVV)} \times 0.9 = 8.6 \text{ m}^3\text{B}$

Los tiempos del ciclo son los mismos que en el análisis para material tipo "A"

Tiempos fijos = 1.40 min.

La producción máxima del tractor desgarrando todo el tiempo es de  $233 \text{ M}^3 \text{ (B) / hr}$

El cargo por desgarrar será =  $\frac{\$ 1,251.06/\text{hr}}{233 \text{ m}^3\text{B}/\text{hr}} = \$5.37/\text{m}^3\text{B}$

$$\text{HMD} = (2 \times 1,198.38) + 1,114.56 = \$ 3,511.32$$

$$\text{Factor de eficiencia} = 0.75$$

DISTANCIA DE ACARREO (m)	TIEMPOS DE RECORRIDO (min)		TIEMPO -- TOTAL DEL CICLO (min)	PRODUC. POR MAQUINA	PRODUC. TOTAL CORREGIDA	COSTO POR m <sup>3</sup>
	CARGADA	VACIA				
50	0.23	0.21	1.84	280.4	420.6	13.71
100	0.41	0.29	2.10	245.7	368.6	14.90
200	0.68	0.48	2.56	201.6	302.4	16.98
300	0.92	0.66	2.98	173.2	259.8	18.89
400	1.18	0.81	3.39	152.2	228.3	20.75
500	1.42	0.97	3.79	136.1	204.2	22.57
600	1.67	1.12	4.19	123.2	184.8	24.37
700	1.91	1.28	4.59	112.4	168.6	26.20
800	2.14	1.43	4.97	103.8	155.7	27.92
900	2.37	1.59	5.36	96.3	144.5	29.67
1000	2.65	1.77	5.82	88.7	133.1	31.75



## Análisis con Cargador y Camiones

Unidades: Un tractor mod. D8K con ripper  
Un cargador mod. 955 - UG y camiones volteo F-600 - 6 m<sup>3</sup>

Material a mover: Granito muy intemperizado y muy fracturado (00-100-00)  
Tucuruquay

Los tiempos del ciclo para cargador y camiones son los mismos que se obtuvieron en el análisis para material tipo "A"

$$\text{Producción max. del cargador} = 75 \times (1.53 \times 0.90 \times 0.75) = 77.5 \text{ m}^3 \text{ (B)/hr}$$

$$\text{Tiempos fijos de acarreo} = 4.21$$

$$\text{Velocidad del camión vacío} = 30 \text{ km/hr}$$

$$\text{cargado} = 15 \text{ km/hr}$$

$$\text{Capacidad del camión} = 1.1 \times \frac{0.75 \text{ (CVV)}}{0.79 \text{ (CVV)}} \times 4 = 4.2 \text{ m}^3 \text{ B}$$

La producción del tractor desgarrando y acarreado para formar montones que pueda atacar el cargador se considera la misma del análisis del tractor para este tipo de material acarreado a una distancia de 30 m.

$$\text{producción} = 102 \text{ m}^3 \text{ B/hr}$$

$$\text{HMD Tractor } \text{C/ripper} = \$ 1,251.06$$

$$\text{Costo por m}^3 \text{ B desgarrado y amontonado} = \$ 12.27/\text{m}^3 \text{ B}$$

HMD Cargador \$587.51/hr  
HMD Camión \$237.44/hr

Producción Máxima 77.5 m<sup>3</sup>/hr

DISTANCIA DE ACARREO (m)	TIEMPO DE RECORRIDO VACIO	TIEMPO DE RECORRIDO CARGADO	TIEMPO TOTAL DEL CICLO (min) Carga y Acarreo	PRODUCCION POR UNIDAD m <sup>3</sup> (B)/hr	NUMERO DE UNIDADES	FACTOR DE ESPERA EN COLA	PRODUCCION TOTAL	COSTO POR CARGA	POR M <sup>3</sup> ACARREO	(BANCO) TOTAL
500	1.00	2.00	7.21	35.0	2	-	70.0	8.39	6.79	27.45
600	1.20	2.40	7.81	32.3	2	-	64.6	9.09	7.35	28.71
700	1.40	2.80	8.41	30.0	3	1.16	77.5	7.58	9.19	29.04
800	1.60	3.20	9.01	28.0	3	1.08	77.5	7.58	9.19	29.04
900	1.80	3.60	9.61	26.2	3	1.01	77.5	7.58	9.19	29.04
1,000	2.00	4.00	10.21	24.7	3	-	74.1	7.93	9.61	29.81
1,100	2.20	4.40	10.81	23.3	3	-	69.9	8.41	10.19	30.87
1,200	2.40	4.80	11.41	22.1	3	-	66.3	8.86	10.74	31.87
1,300	2.60	5.20	12.01	21.0	4	1.08	77.5	7.58	12.25	32.10
1,400	2.80	5.60	12.61	20.0	4	1.03	77.5	7.58	12.25	32.10
1,500	3.00	6.00	13.21	19.1	4	-	76.4	7.69	12.43	32.39
1,600	3.20	6.40	13.81	18.3	4	-	73.2	8.03	12.97	33.27
1,700	3.40	6.80	14.41	17.5	4	-	70.0	8.39	13.57	34.23
1,800	3.60	7.20	15.01	16.8	4	-	67.2	8.74	14.13	35.14
1,900	3.80	7.60	15.61	16.1	5	1.04	77.5	7.58	15.32	35.17
2,000	4.00	8.00	16.21	15.5	5	1.00	77.5	7.58	15.32	35.17
2,100	4.20	8.40	16.81	15.0	5	-	75.0	7.83	15.83	35.93
2,200	4.40	8.80	17.41	14.5	5	-	72.5	8.10	16.38	36.75
2,300	4.60	9.20	18.01	14.0	5	-	70.0	8.39	16.96	37.62
2,400	4.80	9.60	18.61	13.5	6	1.05	77.5	7.58	18.38	38.23
2,500	5.00	10.00	19.21	13.1	6	1.01	77.5	7.58	18.38	38.23
2,600	5.20	10.40	19.81	12.7	6	-	76.2	7.71	18.70	38.68
2,700	5.40	10.80	20.41	12.3	6	-	73.8	7.96	19.30	39.53
2,800	5.60	11.20	21.01	12.0	6	-	72.0	8.16	19.79	40.22
2,900	5.80	11.60	21.61	11.7	6	-	70.2	8.37	20.29	40.93
3,000	6.00	12.00	22.21	11.3	7	1.02	77.5	7.58	21.45	41.30
3,100	6.20	12.40	22.81	11.1	7	1.00	77.5	7.58	21.45	41.30
3,200	6.40	12.80	23.41	10.8	7	-	75.6	7.77	21.99	42.03
3,300	6.60	13.20	24.01	10.5	7	-	73.5	7.99	22.61	42.87
3,400	6.80	13.60	24.61	10.2	7	-	71.4	8.23	23.28	43.78
3,500	7.00	14.00	25.21	10.0	8	1.03	77.5	7.58	24.51	44.36
3,600	7.20	14.40	25.81	9.8	8	1.01	77.5	7.58	24.51	44.36
3,700	7.40	14.80	26.41	9.5	8	-	76.0	7.73	24.99	44.99
3,800	7.60	15.20	27.01	9.3	8	-	74.4	7.90	25.53	45.70
3,900	7.80	15.60	27.61	9.1	8	-	72.8	8.07	26.09	46.43



Acero de barrenación -----	\$ 3.45/m <sup>3</sup>
Cargo por materiales -----	\$ 9.80/m <sup>3</sup>
Cargo al costo por voladura -----	\$ 22.17/m <sup>3</sup> (B)

Unidad de acarreo: Un tractor D8-K equipado con hoja tipo 85

Cálculo de la Producción horario utilizando la Guía sobre rendimientos Caterpillar:

Factores de Corrección de la Producción Máxima:

Por operación, considerando un operador bueno ----- 0.75

Corrección por peso  $\frac{1370 \text{ Kg/m}^3 \text{ S ( densidad base )}}{1660 \text{ Kg/m}^3 \text{ S ( densidad en obra )}}$  ----- 0.83

Por el tipo de material: Roca dinamitada ----- 0.70

Eficiencia del trabajo: 50 min/hr ----- 0.84

Factor de Corrección Total = 0.75 x 0.83 x 0.70 = 0.84

= 0.37 x 0.61 (CVV) = 0.22

Costo Horario del Tractor D8K = \$ 1,114.56

DISTANCIA DE ACARREO (m)	PRODUCCION -- MAXIMA TEORICA DE ACARREO (m)	PRODUCCION ESTIMADA DE ACARREO m <sup>3</sup> (B)/hr	COSTO POR m <sup>3</sup> (B)
15	940	207	27.55
30	610	134	30.49
45	430	95	33.90
60	335	74	37.23
75	275	61	40.44
90	230	51	44.02
105	200	44	47.50

## Análisis con Cargador sobre Neumáticos.

Unidad: Un cargador 930 equipado con cucharón de  $2 \text{ yd}^3$  ( $1.53 \text{ m}^3$ )  
Un tractor D8K equipado con hoja tipo 8S

Estimación de la producción horaria:

Tiempo básico del ciclo ----- 0.40 min.

Correcciones al ciclo básico:

Material: fragmentado	+ 0.05 min.
Montón apilado	+ 0.02 min.
Diversos ( tolerancia )	+ 0.03 min.
	<u>0.50 min.</u>

Tiempos variables :

Resistencia al rodado = 60 Kg/ton. = 6% pendiente compensada

Capacidad del cucharón =  $1.53 \times 0.80$  (llenado)  $\times 0.61$  (CVV) =  $0.75 \text{ m}^3/\text{B}$

Cargo al costo por voladura ----- \$ 22.17/  $\text{m}^3/\text{B}$

El tractor apilará el material considerando una producción igual a la que se obtuvo en el análisis para este tipo de material acarreado a una distancia de 15 m.

Producción =  $207 \text{ m}^3/\text{hr}$

HMD Tractor = \$ 1,114.56

Costo por  $\text{m}^3$  amontonado = \$ 5.38/  $\text{m}^3/\text{B}$

Costo horario del cargador 930 = \$ 383.34

Factor de eficiencia = 0.75

DISTANCIA DE ACARREO ( m )	TIEMPO TOTAL DEL CICLO ( min )	PRODUCCION CORREGIDA - m <sup>3</sup> B/hr	Costo por CARGA Y ACARREO M <sup>3</sup> B	TOTAL
20	0.60	56.3	6.81	34.36
40	0.77	43.8	8.75	36.30
60	0.90	37.5	10.22	37.77
80	1.02	33.1	11.58	39.13
100	1.13	29.9	12.82	40.37
120	1.24	27.2	14.09	41.64
140	1.35	25.0	15.33	42.88
160	1.46	23.1	16.59	44.14
180	1.57	21.5	17.83	45.38

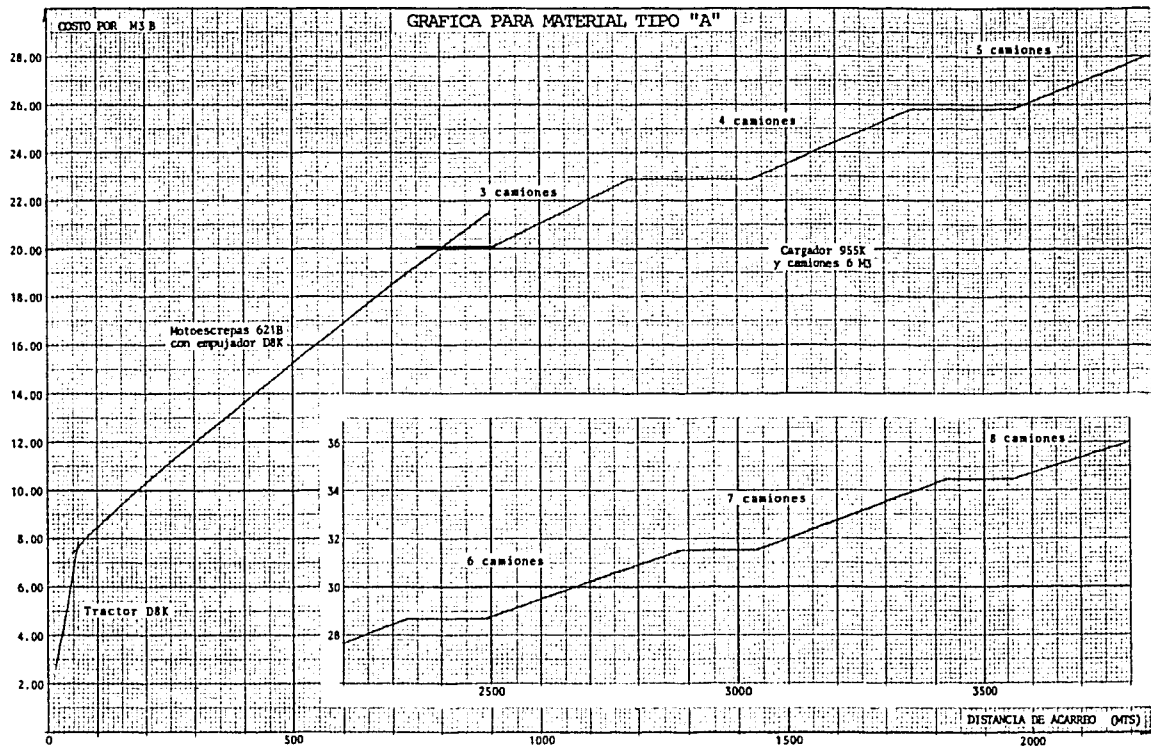


HMD = Cargador = \$ 383.34/hr  
 HMD Camión = \$ 237.44/hr

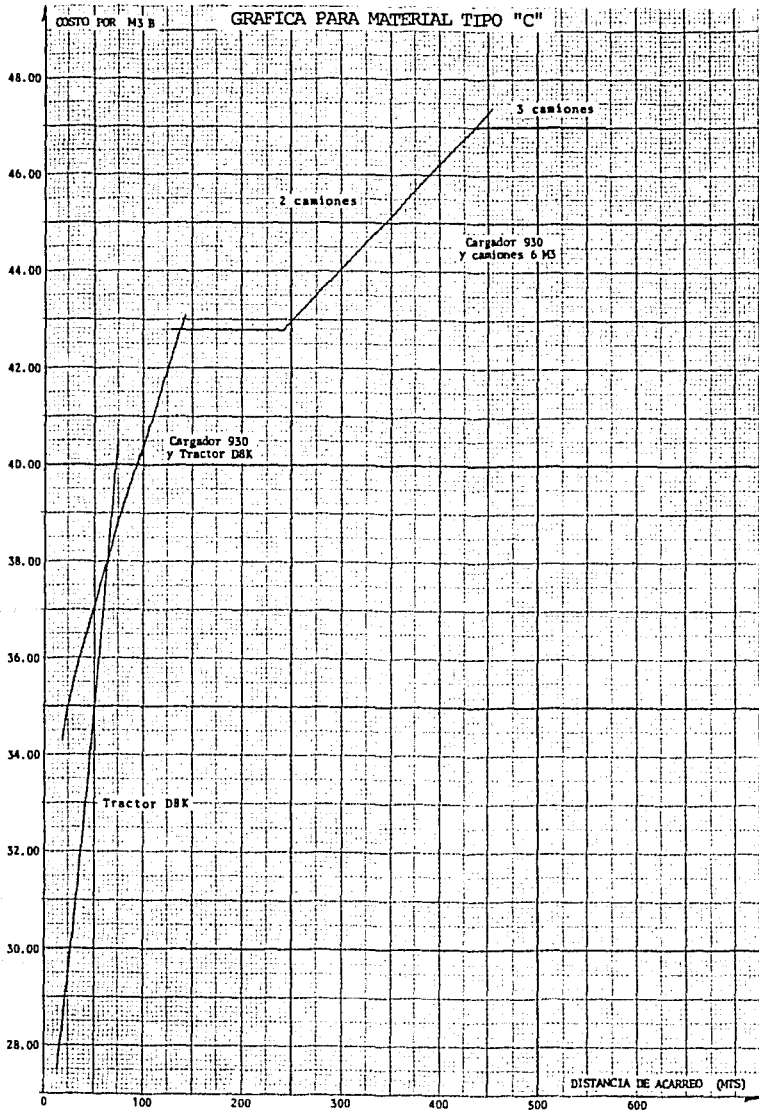
Prod. máx. = 56.3 M<sup>3</sup>/hr

DISTANCIA DE ACARREO (m)	TIEMPO DE RECORRIDO		TIEMPO TOTAL DEL CICLO (min) Carga y Acarreo	PRODUCCION POR UNIDAD m <sup>3</sup> (B)/hr	NUM. DE UNIDADES	FACTOR DE ESPE- RA EN - COLA	PROD. TOTAL	COSTO POR M <sup>3</sup> (Banco)		
	VACIO	CARGADO						CARGA	ACARREO	TOTAL
150	0.45	0.90	5.56	32.4	2	1.15	56.3	6.81	8.43	42.79
200	0.60	1.20	6.01	30.0	2	1.07	56.3	6.81	8.43	42.79
300	0.90	1.80	6.91	26.0	2	-	52.0	7.37	9.13	44.05
400	1.20	2.40	7.81	23.0	2	-	46.0	8.33	10.32	46.20
500	1.50	3.00	8.71	20.7	3	1.10	56.3	6.81	12.65	47.01









## Movimientos de Tierra de la Curva Masa

S. A. H. O. P. - Dirección General de Carreteras Federales

Camino: Costero del Pacífico  
 Tramo: Salina Cruz - Pochutla  
 Sub-tramo: Salina Cruz - Río Copalita  
 De Estación: 5+000 a Estación 20+000  
 Origen: Salina Cruz, Oax.

TRAMO		TIPO DE MOVIMIENTO	CLASIFICACION DEL MATERIAL	DISTANCIA DE ACARREO (m)	VOLUMEN m <sup>3</sup> (B)	MAT. A	MAT. B	MAT. C
DEL CAD.	AL CAD.							
5 + 000	5 + 120	Préstamo lat. izq 20 m	70 - 30 - 00	120	804	683	121	-
5 + 120	5 + 440	Préstamo Banco	100 - 00 - 00	300	3,798	3,798	-	-
5 + 440	6 + 520	Préstamo lat. izq 20 m	100 - 00 - 00	80	6,711	6,711	-	-
6 + 520	6 + 980	Préstamo lat. izq 20 m	70 - 30 - 00	80	2,887	2,021	866	-
6 + 980	7 + 390	Préstamo lat. izq 20 m	100 - 00 - 00	80	4,206	4,206	-	-
			70 - 30 - 00					
7 + 390	7 + 800	Préstamo lat. izq 40 m	100 - 00 - 00	100	4,772	4,295	477	-
7 + 800	8 + 960	Préstamo lat. izq 40 m	100 - 00 - 00	100	11,569	11,569	-	-
8 + 960	9 + 060	Préstamo lat. izq 60 m	100 - 00 - 00	120	5,298	5,298	-	-
9 + 060	9 + 100	PUENTE "NISABURRA"						
9 + 100	9 + 200	Préstamo lat. izq 60 m	100 - 00 - 00	120	5,019	5,019	-	-
9 + 200	10 + 000	Préstamo lat. izq 40 m	100 - 00 - 00	100	8,612	8,612	-	-
10 + 000	10 + 574	Préstamo lat. izq 40 m	100 - 00 - 00	100	8,580	8,580	-	-
10 + 574	10 + 589	ARROYO "EL FRAILE"						
10 + 589	11 + 600	Préstamo lat. izq 20 m	100 - 00 - 00	80	7,760	7,760	-	-
11 + 600	12 + 060	Préstamo lat. izq 20 m	100 - 00 - 00	80	6,718	6,718	-	-
12 + 060	12 + 458	Préstamo lat. izq 20 m	100 - 00 - 00	80	4,159	4,159	-	-
12 + 458	12 + 572	S. A.	100 - 00 - 00	20 + 20(A.L)	216	216	-	-
12 + 572	12 + 818	Préstamo lat. izq 20 m	100 - 00 - 00	80	2,160	2,160	-	-
12 + 818	12 + 915	S. A.	100 - 00 - 00	42 + 20	207	207	-	-
12 + 915	13 + 010	S. A.	100 - 00 - 00	42 + 20	136	136	-	-
13 + 000	13 + 300	Préstamo lat. izq (Bc)	100 - 00 - 00	20	926	926	-	-

TRAMO		TIPO DE MOVIMIENTO	CLASIFICACION DEL MATERIAL	DISTANCIA DE ACARREO (m)	VOLUMEN m <sup>3</sup> (B)	MAT. A	MAT. B	MAT. C
DEL CAD.	AL CAD.							
			100-00-00					
			30-70-00					
13 + 010	13 + 486	S. A.	00-70-30	180 + 20	3,848	932	2,457	459
13 + 486	13 + 974	S. A.	00-70-30	440 + 20	538	131	344	63
"	"		30-70-00					
"	"	S. A.	00-70-30	180 + 20	1,810	125	1,420	265
"	"	S. A.	"	64 + 20	1,010	70	795	145
"	"		30-70-00					
13 + 486	13 + 974	S. A.	00-70-30	4 + 20(A.L)	20	2	16	2
			100-00-00					
			30-70-00					
"	"	S. A.	00-70-30	58 + 20	791	192	505	94
13 + 920	13 + 980	Préstamo lat, izq 20 m	100-00-00	30	173	173	-	-
	13 + 280	Préstamo Banco	100-00-00	180	771	771	-	-
	13 + 880	" "	100-00-00	190	346	346	-	-
13 + 974	14 + 650	Préstamo lat, izq 20 m	100-00-00	80	7,254	7,254	-	-
	14 + 600	Préstamo Banco	100-00-00	60	236	236	-	-
			00-100-00					
14 + 650	14 + 700	S. A.	00-30-70	4 + 20	53	-	36	17
"	"	S. A.	"	6 + 20	74	-	50	24
14 + 700	14 + 780	Préstamo lat, izq 40 m	100-00-00	80	6,940	6,940	-	-
14 + 780	14 + 900	PUENTE ARROYO "CORRALITO"						
14 + 900	14 + 984	Préstamo lat, izq 40 m	100-00-00	80	8,856	8,856	-	-
15 + 000	15 + 214	S. A.	00-30-70	196 + 20	688	-	211	477
"	"	S. A.	"	56 + 20	1,146	-	352	794
"	"	S. A.	00-100-00	10 + 20	267	-	82	185
15 + 214	15 + 548	S. A.	00-30-70	303 + 20	142	-	92	50
"	"	S. A.	"	42 + 20	628	-	413	215
"	"	S. A.	"	18 + 20	28	-	17	11
"	"	S. A.	"	72 + 20	1,048	-	689	359
15 + 548	15 + 600	S. A.	"	20 + 20	163	-	107	56
15 + 600	15 + 772	S. A.	"	60 + 20	3,232	-	2,125	1,107
15 + 772	16 + 018	S. A.	"	220 + 20	610	-	400	210
"	"	S. A.	"	60 + 20	2,157	-	1,417	740
"	"	S. A.	"	12 + 20	259	-	169	90
"	"	S. A.	"	16 + 20	610	-	400	210

TRAMO DEL CAD. ALCAD.		TIPO DE MOVIMIENTO	CLASIFICACION DEL MATERIAL	DISTANCIA DE ACARREO (m)	VOLUMEN m <sup>3</sup> (B)	MAT. A	MAT. B	MAT. C
16 + 018	16 + 232	S. A.	00 - 100 - 00	190 + 20	429	-	281	148
"	"	S. A.	00 - 30 - 70	12 + 20	194	-	127	67
"	"	S. A.	"	4 + 20	21	-	13	8
"	"	S. A.	"	4 + 20	12	-	7	5
"	"	S. A.	"	38 + 20	1,786	-	1,174	612
16 + 232	16 + 380	S. A.	"	66 + 20	6,085	-	3,998	2,087
16 + 380	16 + 670	S. A.	"	230 + 20	1,291	-	849	442
"	"	S. A.	"	58 + 20	2,004	-	1,317	687
"	"	S. A.	"	28 + 20	1,639	-	1,079	560
16 + 670	16 + 783	S. A.	"	48 + 20	3,187	-	2,094	1,093
16 + 783	16 + 823	S. A.	"	14 + 20	95	-	62	33
16 + 823	17 + 043	S. A.	"	170 + 20	824	-	541	283
"	"	S. A.	"	6 + 20	45	-	28	17
"	"	S. A.	"	42 + 20	1,041	-	685	356
17 + 043	17 + 106	S. A.	"	26 + 20	618	-	406	212
17 + 106	17 + 272	S. A.	"	86 + 20	2,984	-	1,961	1,023
17 + 272	17 + 424	S. A.	"	120 + 20	856	-	562	294
"	"	S. A.	"	24 + 20	1,866	-	1,227	639
"	"	S. A.	"	10 + 20	133	-	85	48
17 + 424	17 + 472	S. A.	00 - 50 - 50	16 + 20	259	-	68	191
17 + 472	17 + 612	S. A.	00 - 00 - 100	60 + 20	4,457	-	1,141	3,316
17 + 612	17 + 736	S. A.	"	62 + 20	1,320	-	339	981
17 + 736	17 + 806	S. A.	"	22 + 20	999	-	256	743
17 + 806	17 + 840	S. A.	"	12 + 20	125	-	31	94
17 + 840	17 + 863	S. A.	"	2 + 20	33	-	8	25

TRAMO DEL CAD. DEL CAD		TIPO DE MOVIMIENTO	CLASIFICACION DEL MATERIAL	DISTANCIA DE ACARREO (m)	VOLUMEN m <sup>3</sup> (B)	MAT. A	MAT. B	MAT. C
17 + 863	17 + 955	S. A.	00 - 50 - 50	38 + 20	3,261	-	834	2,427
17 + 955	18 + 130	S. A.	00 - 00 - 100	94 + 20	2,046	-	525	1,521
18 + 130	18 + 240	S. A.	"	52 + 20	1,463	-	374	1,089
18 + 240	18 + 450	S. A.	"	120 + 20	6,097	-	1,562	4,535
18 + 450	18 + 514	S. A.	100 - 00 - 00	28 + 20	1,201	337	-	864
18 + 514	18 + 786	S. A.	00 - 00 - 100	220 + 20	1,635	460	-	1,175
"	"	S. A.	"	72 + 20	3,695	1,037	-	2,658
"	"	S. A.	"	6 + 20	42	12	-	30
18 + 786	18 + 876	S. A.	"	34 + 20	2,965	831	-	2,134
18 + 876	18 + 924	S. A.	"	18 + 20	451	126	-	325
18 + 924	19 + 076	S. A.	"	78 + 20	1,862	522	-	1,340
19 + 076	19 + 188	S. A.	"	50 + 20	1,274	358	-	916
19 + 188	19 + 310	S. A.	"	60 + 20	1,244	349	-	895
19 + 310	19 + 364	S. A.	"	22 + 20	662	186	-	476
I		Préstamo Banco	100 - 00 - 00	52	2,433	2,433	-	-
			100 - 00 - 00					
19 + 382	19 + 445	S. A.	00 - 00 - 100	26 + 20	2,705	759	-	1,946
19 + 445	19 + 638	S. A.	"	96 + 20	20,377	5,719	-	14,658
19 + 638	19 + 780	S. A.	00 - 00 - 100	80 + 20	5,878	-	-	5,878
19 + 780	20 + 042	S. A.	"	220 + 20	4,218	-	-	4,218
"	"	S. A.	"	8 + 20	228	-	-	228
"	"	S. A.	"	76 + 20	6,981	-	-	6,981
II		Préstamo Banco	70 - 30 - 00	340	712	499	213	-
III		Préstamo Banco	"	290	999	699	300	-
IV		Préstamo Banco	"	1,600	9,084	6,359	2,725	-
V		Préstamo Banco	"	3,800	2,748	1,924	824	-
VI		Préstamo Banco	"	2,300	694	486	208	-

COSTO DIRECTO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS

TRAMO		TRACTOR			MOTOESCREPAS		CARGADOR NEUMATI- COS	CARGADOR Y CAMIONES		
		A	B	C	A	B		955		930
							C	A	B	C
5 + 000	5 + 120	---	---	---	6044.55	1854.93	---	---	---	---
5 + 120	5 + 440	---	---	---	45500.04	---	---	---	---	---
5 + 440	6 + 520	---	---	---	54224.88	---	---	---	---	---
6 + 520	6 + 980	---	---	---	16329.68	12522.36	---	---	---	---
6 + 980	7 + 390	---	---	---	33984.48	---	---	---	---	---
7 + 390	7 + 800	---	---	---	36292.75	7107.30	---	---	---	---
7 + 800	8 + 960	---	---	---	97758.05	---	---	---	---	---
8 + 960	9 + 060	---	---	---	46887.30	---	---	---	---	---
9 + 060	9 + 100	---	---	---	---	---	---	---	---	---
9 + 100	9 + 200	---	---	---	44418.15	---	---	---	---	---
9 + 200	10 + 000	---	---	---	72771.40	---	---	---	---	---
10 + 000	10 + 574	---	---	---	72501.00	---	---	---	---	---
10 + 574	10 + 589	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10 + 589	11 + 600	---	---	---	62700.80	---	---	---	---	---
11 + 600	12 + 060	---	---	---	54281.44	---	---	---	---	---
12 + 060	12 + 458	---	---	---	33604.72	---	---	---	---	---
12 + 458	12 + 572	1188.00	---	---	---	---	---	---	---	---
12 + 572	12 + 818	---	---	---	17452.80	---	---	---	---	---
12 + 818	12 + 915	1612.53	---	---	---	---	---	---	---	---
12 + 915	13 + 010	1059.44	---	---	---	---	---	---	---	---
13 + 000	13 + 300	3037.28	---	---	---	---	---	---	---	---
13 + 010	13 + 486	---	---	---	9599.60	41719.86	---	---	---	19640.61
13 + 486	13 + 974	---	---	---	1912.60	7499.20	---	---	---	2961.63
"	"	---	---	---	1287.50	24111.60	---	---	---	11339.35
"	"	---	---	---	571.20	11551.35	5 708.65	---	---	---



TRAMO		TRACTOR			MOTOESCREPAS		CARGADOR NEUMATI- COS	CARGADOR Y CAMIONES		
		A	B	C	A	B		955		930
								A	B	C
13 + 486	13 + 974	7.40	180.80	58.70	---	---	---	---	---	---
"	"	---	---	---	1 551.36	7 302.30	3 666.00	---	---	---
13 + 920	13 + 980	742.17	---	---	---	---	---	---	---	---
	13 + 280	---	---	---	7 679.16	---	---	---	---	---
	13 + 880	---	---	---	3 501.52	---	---	---	---	---
13 + 974	14 + 650	---	---	---	58 612.32	---	---	---	---	---
	14 + 600	1 838.44	---	---	---	---	---	---	---	---
14 + 650	14 + 700	---	406.80	498.95	---	---	---	---	---	---
"	"	---	583.50	711.36	---	---	---	---	---	---
14 + 700	14 + 780	---	---	---	56 075.20	---	---	---	---	---
14 + 780	14 + 900	---	---	---	---	---	---	---	---	---
14 + 900	14 + 984	---	---	---	71 556.48	---	---	---	---	---
15 + 000	15 + 214	---	---	---	---	3 646.08	---	---	---	20 410.83
"	"	---	---	---	---	5 047.68	30 846.90	---	---	---
"	"	---	1 006.14	5 640.65	---	---	---	---	---	---
15 + 214	15 + 548	---	---	---	---	1 777.44	---	---	---	2 227.50
"	"	---	---	8 094.75	---	5 782.00	---	---	---	---
"	"	---	233.92	356.40	---	---	---	---	---	---
"	"	---	---	---	---	10 142.08	14 316.92	---	---	---
15 + 548	15 + 600	---	1 512.98	1 834.56	---	---	---	---	---	---
15 + 600	15 + 772	---	---	---	---	30 727.50	43 316.91	---	---	---
15 + 772	16 + 018	---	---	---	---	7 096.00	---	---	---	8 985.90
"	"	---	---	---	---	20 489.82	28 956.20	---	---	---
"	"	---	2 136.16	2 784.60	---	---	---	---	---	---
"	"	---	5 356.00	6 688.50	---	---	---	---	---	---

TRAMO		TRACTOR			MOTOESCREPAS		CARGADOR NEUMATI- COS	CARGADOR Y CAMIONES		
		A	B	C	A	B		C	955	
16 + 018	16 + 232	---	---	---	---	4 830.39	---	---	---	6 332.92
"	"	---	1 605.28	2 072.98	---	---	---	---	---	---
"	"	---	146.90	234.80	---	---	---	---	---	---
"	"	---	79.10	146.75	---	---	---	---	---	---
"	"	---	---	22 515.48	---	16 318.60	---	---	---	---
16 + 232	16 + 380	---	---	---	---	58 290.84	82 561.72	---	---	---
16 + 380	16 + 670	---	---	---	---	15 231.06	---	---	---	18 913.18
"	"	---	---	---	---	19 043.82	26 793.00	---	---	---
"	"	---	---	19 314.40	---	14 814.67	---	---	---	---
16 + 670	16 + 783	---	---	---	---	29 671.98	41 949.34	---	---	---
16 + 783	16 + 823	---	807.24	1 036.20	---	---	---	---	---	---
16 + 823	17 + 043	---	---	---	---	9 072.57	12 109.57	---	---	---
"	"	---	326.76	503.88	---	---	---	---	---	---
"	"	---	---	13 403.40	---	9 590.00	---	---	---	---
17 + 043	17 + 106	---	---	7 233.44	---	5 513.48	---	---	---	---
17 + 106	17 + 272	---	---	---	---	29 454.22	41 666.79	---	---	---
17 + 272	17 + 424	---	---	---	---	8 857.12	12 600.84	---	---	---
"	"	---	---	21 515.13	---	16 625.85	---	---	---	---
"	"	---	1 042.95	1 463.52	---	---	---	---	---	---
17 + 424	17 + 472	---	910.52	6 083.35	---	---	---	---	---	---
17 + 472	17 + 612	---	---	---	---	16 498.86	129 755.08	---	---	---
17 + 612	17 + 736	---	---	---	---	4 912.11	38 504.25	---	---	---
17 + 736	17 + 806	---	---	24 675.03	---	3 458.56	---	---	---	---
17 + 806	17 + 840	---	391.84	2 908.36	---	---	---	---	---	---
17 + 840	17 + 863	---	87.52	723.00	---	---	---	---	---	---

TRAMO		TRACTOR			MOTOESCREPAS		CARGADOR NEUMATI- COS	CARGADOR Y CAMIONES		
		A	B	C	A	B		955		930
17 + 863	17 + 955	- - -	- - -	89 289.33	- - -	11 592.60	- - -	- - -	- - -	- - -
17 + 955	18 + 130	- - -	- - -	- - -	- - -	7 985.25	62 756.46	- - -	- - -	- - -
18 + 130	18 + 240	- - -	- - -	- - -	- - -	5 336.96	42 068.07	- - -	- - -	- - -
18 + 240	18 + 450	- - -	- - -	- - -	- - -	24 617.12	194 370.10	- - -	- - -	- - -
18 + 450	18 + 514	2 166.91	- - -	29 799.36	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
18 + 514	18 + 786	- - -	- - -	- - -	5 050.80	- - -	- - -	- - -	- - -	50 278.25
"	"	- - -	- - -	- - -	8 627.84	- - -	106 001.04	- - -	- - -	- - -
"	"	46.68	- - -	889.20	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
18 + 786	18 + 876	5 908.41	- - -	76 610.60	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
18 + 876	18 + 924	661.50	- - -	10 530.00	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
18 + 924	19 + 076	- - -	- - -	- - -	4 384.80	- - -	53 975.20	- - -	- - -	- - -
19 + 076	19 + 188	- - -	- - -	- - -	2 813.88	- - -	35 238.52	- - -	- - -	- - -
19 + 188	19 + 310	- - -	- - -	- - -	2 819.92	- - -	35 021.35	- - -	- - -	- - -
19 + 310	19 + 364	1 065.78	- - -	15 807.96	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
	I	- - -	- - -	- - -	18 174.51	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
19 + 382	19 + 445	4 705.80	- - -	66 397.52	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
19 + 445	19 + 638	- - -	- - -	- - -	50 155.63	- - -	605815.14	- - -	- - -	- - -
19 + 638	19 + 780	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	237294.86	- - -	- - -	- - -
19 + 780	20 + 042	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	180 488.22
"	"	- - -	- - -	6 862.80	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	279938.10	- - -	- - -	- - -
	II	- - -	- - -	- - -	6 297.38	4 181.19	- - -	- - -	- - -	- - -
	III	- - -	- - -	- - -	8 248.20	5 613.00	- - -	- - -	- - -	- - -
	IV	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	155 223.19	90 660.75	- - -
	V	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	69 283.24	37 656.80	- - -
	VI	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	13 816.98	7 824.96	- - -

TIEMPO DE UTILIZACION DEL EQUIPO

TRAMO		TRACTOR			MOTOESCREPAS		CARGADOR NEUMATI- COS	CARGADOR Y CAMIONES			
		A	B <small>sin piper</small>		C	A		B	C	955	
5 + 000	5 + 120	1.72	0.34	0.52	- - -	1.72	0.34	- - -	- - -	- - -	- - -
5 + 120	5 + 440	12.96	- - -	- - -	- - -	12.96	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
5 + 440	6 + 520	15.44	- - -	- - -	- - -	15.44	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
6 + 520	6 + 980	4.65	2.24	3.72	- - -	4.65	2.24	- - -	- - -	- - -	- - -
6 + 980	7 + 390	9.68	- - -	- - -	- - -	9.68	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
7 + 390	7 + 800	10.34	1.29	2.05	- - -	10.34	1.29	- - -	- - -	- - -	- - -
7 + 800	8 + 960	27.84	- - -	- - -	- - -	27.84	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
8 + 960	9 + 060	13.35	- - -	- - -	- - -	13.35	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
9 + 060	9 + 100	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
9 + 100	9 + 200	12.65	- - -	- - -	- - -	12.65	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
9 + 200	10 + 000	20.72	- - -	- - -	- - -	20.72	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
10 + 000	10 + 574	20.65	- - -	- - -	- - -	20.65	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
10 + 574	10 + 589	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
10 + 589	11 + 600	17.86	- - -	- - -	- - -	17.86	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
10 + 600	12 + 060	15.46	- - -	- - -	- - -	15.46	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
12 + 060	12 + 458	9.57	- - -	- - -	- - -	9.57	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
12 + 458	12 + 572	1.07	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
12 + 572	12 + 818	4.97	- - -	- - -	- - -	4.97	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
12 + 818	12 + 915	1.45	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
12 + 915	13 + 010	0.95	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
13 + 000	13 + 300	2.73	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
13 + 010	13 + 486	2.73	8.12	10.55	2.22	2.73	8.12	- - -	- - -	- - -	8.15
13 + 486	13 + 974	0.54	1.61	1.48	0.30	0.54	1.61	- - -	- - -	- - -	1.12
"	"	0.37	4.70	6.10	1.28	0.37	4.70	- - -	- - -	- - -	4.71
"	"	0.16	2.07	3.41	0.70	0.16	2.07	4.47	- - -	- - -	- - -

TRAMO		TRACTOR			MOTOESCREPAS		CARGADOR NEUMATI- COS	CARGADOR Y CAMIONES		
		A	B	C	A	B		955		930
								A	B	C
13 + 486	13 + 974	0.01	- 0.14	0.01	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
"	"	0.44	1.31 -	0.45	0.44	1.31	2.81	- - -	- - -	- - -
13 + 920	13 + 980	0.67	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
	13 + 280	2.19	- - -	- - -	2.19	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
	13 + 880	1.00	- - -	- - -	1.00	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
13 + 974	14 + 650	16.69	- - -	- - -	16.69	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
	14 + 600	1.65	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
14 + 650	14 + 700	- - -	0.33	0.11	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	0.47	0.16	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
14 + 700	14 + 780	15.97	- - -	- - -	15.97	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
14 + 780	14 + 900	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
14 + 900	14 + 934	20.38	- - -	- - -	20.38	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
15 + 000	15 + 214	- - -	0.72 0.91	2.30	- - -	0.72	- - -	- - -	- - -	8.47
"	"	- - -	0.90 1.51	3.83	- - -	0.90	23.41	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	- 0.80	1.38	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
15 + 214	15 + 548	- - -	0.37 0.39	0.24	- - -	0.37	- - -	- - -	- - -	0.99
"	"	- - -	1.02 1.77	2.99	- - -	1.02	- - -	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	- 0.19	0.10	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	1.83 2.96	1.73	- - -	1.83	11.55	- - -	- - -	- - -
15 + 548	15 + 600	- - -	- 1.21	0.53	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
15 + 600	15 + 772	- - -	5.50 9.12	5.34	- - -	5.50	33.44	- - -	- - -	- - -
15 + 772	16 + 018	- - -	1.41 1.72	1.01	- - -	1.41	- - -	- - -	- - -	3.73
"	"	- - -	3.67 6.08	3.57	- - -	3.67	22.35	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	- 1.71	0.71	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	- 4.28	1.82	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -

TRAMO		TRACTOR			MOTOESCREPAS		CARGADOR NEUMATI- COS	CARGADOR Y CAMIONES			
		A	B	C	A	B		955		930	
16 + 018	16 + 232	- - -	0.95	1.21	0.71	- - -	0.95	- - -	- - -	- - -	2.63
"	"	- - -	-	1.28	0.53	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	-	0.12	0.05	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	-	0.06	0.03	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	2.85	5.04	8.03	- - -	2.85	- - -	- - -	- - -	- - -
16 + 232	16 + 380	- - -	10.49	17.16	10.07	- - -	10.49	65.39	- - -	- - -	- - -
16 + 380	16 + 670	- - -	3.04	3.64	2.13	- - -	3.04	- - -	- - -	- - -	7.85
"	"	- - -	3.41	5.65	3.32	- - -	3.41	20.52	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	2.57	4.63	6.19	- - -	2.57	- - -	- - -	- - -	- - -
16 + 670	16 + 783	- - -	5.25	8.99	5.28	- - -	5.25	30.88	- - -	- - -	- - -
16 + 783	16 + 823	- - -	-	0.65	0.27	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
16 + 823	17 + 043	- - -	1.76	2.32	1.37	- - -	1.76	11.25	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	-	0.26	0.11	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	1.68	2.94	4.94	- - -	1.68	- - -	- - -	- - -	- - -
17 + 043	17 + 106	- - -	0.95	1.74	2.27	- - -	0.95	- - -	- - -	- - -	- - -
17 + 106	17 + 272	- - -	5.39	8.42	4.94	- - -	5.39	35.17	- - -	- - -	- - -
17 + 272	17 + 424	- - -	1.66	2.41	1.42	- - -	1.66	11.74	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	2.86	5.27	6.59	- - -	2.86	- - -	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	-	0.83	0.36	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
17 + 424	17 + 472	- - -	-	0.73	1.66	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
17 + 472	17 + 612	- - -	2.95	4.90	16.01	- - -	2.95	100.17	- - -	- - -	- - -
17 + 612	17 + 736	- - -	0.88	1.45	4.74	- - -	0.88	29.94	- - -	- - -	- - -
17 + 736	17 + 806	- - -	0.59	1.10	7.36	- - -	0.59	- - -	- - -	- - -	- - -
17 + 806	17 + 840	- - -	-	0.31	0.74	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
17 + 840	17 + 863	- - -	-	0.07	0.15	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -

TRAMO		TRACTOR			MOTOESCREPAS		CARGADOR NEUMATI- COS	CARGADOR Y CAMIONES		
		A	B	C	A	B		955		930
								A	B	C
17 + 863	17 + 955	- - -	2.03 3.58	31.84	- - -	2.03	- - -	- - -	- - -	- - -
17 + 955	18 + 130	- - -	1.47 2.25	7.34	- - -	1.47	54.40	- - -	- - -	- - -
18 + 130	18 + 240	- - -	0.95 1.60	5.26	- - -	0.95	31.48	- - -	- - -	- - -
18 + 240	18 + 450	- - -	4.62 6.70	21.89	- - -	4.62	181.12	- - -	- - -	- - -
18 + 450	18 + 514	1.94	- - -	9.55	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
18 + 514	18 + 786	1.44	- - -	5.67	1.44	- - -	- - -	- - -	- - -	20.87
"	"	2.46	- - -	12.83	2.46	- - -	85.49	- - -	- - -	- - -
"	"	0.04	- - -	0.20	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
18 + 786	18 + 876	5.30	- - -	26.29	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
18 + 876	18 + 924	0.59	- - -	2.98	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
18 + 924	19 + 076	1.25	- - -	6.47	1.25	- - -	44.50	- - -	- - -	- - -
19 + 076	19 + 188	0.80	- - -	4.42	0.80	- - -	26.09	- - -	- - -	- - -
19 + 188	19 + 310	0.80	- - -	4.32	0.80	- - -	27.04	- - -	- - -	- - -
19 + 310	19 + 364	0.96	- - -	4.71	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
I		5.18	- - -	- - -	5.18	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
19 + 382	19 + 445	4.22	- - -	20.86	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
19 + 445	19 + 638	14.28	- - -	70.75	14.28	- - -	526.91	- - -	- - -	- - -
19 + 638	19 + 780	- - -	- - -	28.37	- - -	- - -	196.58	- - -	- - -	- - -
19 + 780	20 + 042	- - -	- - -	20.36	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	74.92
"	"	- - -	- - -	1.62	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
"	"	- - -	- - -	33.70	- - -	- - -	228.55	- - -	- - -	- - -
II		1.79	0.87 0.91	- - -	1.79	0.87	- - -	- - -	- - -	- - -
III		2.35	1.14 1.29	- - -	2.35	1.14	- - -	- - -	- - -	- - -
IV		24.48	26.73 11.70	- - -	- - -	- - -	- - -	83.23	37.23	- - -
V		7.41	8.08 3.54	- - -	- - -	- - -	- - -	24.54	11.08	- - -
VI		1.87	2.04 0.89	- - -	- - -	- - -	- - -	6.61	2.97	- - -

## Resumen del Análisis de Movimientos de Tierra

### C O S T O S   D I R E C T O S

EQUIPO	MATERIAL TIPO "A "	MATERIAL TIPO "B "	MATERIAL TIPO "C "	S U M A
Tractor DBK	24,040.34	16,814.41	446,684.96	487,539.71
Motoescrapas 621 B	1'013,671.94	519,887.75	-	1'533,559.69
Cargador 930	-	-	2'165,230.91	2'165,230.91
Cargador 955 y camiones	238,323.41	136,142.51	-	374,465.92
Cargador 930 y camiones	-	-	321,578.39	321,578.39
	1'276,035.69	672,844.67	2'933,494.26	4'882,374.62

### TIEMPO DE UTILIZACION DEL EQUIPO (horas)

EQUIPO	MATERIAL TIPO "A "	MATERIAL TIPO "B "	MATERIAL TIPO "C "	S U M A
Tractor DBK/con arado	344.02	145.75/163.79	439.48	929.25/163.79
Motoescrapas 621 B	288.68	95.46	-	384.14
Cargador 930	-	-	1 805.25	1 805.25
Cargador 955 K y Camiones	114.38	51.28	-	165.66
Cargador 930 y Camiones	-	-	133.44	133.44

Puesto que el fin del estudio ha dejado el tiempo de ejecución del trabajo como variable dependiente, se equilibraron las horas de utilización del equipo aumentando el número de unidades donde se requiera.



EQUIPO	NUMERO DE UNIDADES	UTILIZACION POR EQUIPO ( horas)
Tractor D8K / con arado	3/1	309.75 / 163.79
Motoescrpa 621 B	2	384.14
Cargador 955 ( 5 camiones )	1	165.66
Cargador 930 ( y 2 camiones )	5	387.74 *

Si tomamos meses de 25 días laborables y turnos de 10 hrs, el análisis de lluvias se -  
 hará para :

$$\frac{388 *}{10 \times 25} \times \frac{365}{12} = 47 \text{ días calendario}$$

## C A P I T U L O   I I I

### SOLUCION POR MEDIO DE SIMULACION

#### LA SIMULACION.

El uso de la simulación se ha extendido rápidamente en numerosas disciplinas, debido principalmente a la aparición de las computadoras electrónicas que facilitan la gran cantidad de operaciones aritméticas necesarias en la aplicación de esta técnica.

Podemos definir la simulación como " el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y efectuar experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema ó evaluar varias estrategias para la operación del sistema ". ( Shannon, System Simulation, The Art. & Science ).

Para hacer uso de esta técnica no es necesario el conocimiento especializado de alguna disciplina en particular sin embargo se necesita estar familiarizado con las técnicas básicas de la probabilidad y estadística, pero sobre todo poseer mucha intuición; se puede decir entonces que la simulación es subjetiva, dependiendo de la imaginación y creatividad de quien la realice; no obstante, es conveniente el conocimiento de algunos procedimientos e ideas básicas.

## PASOS A SEGUIR EN ESTUDIOS DE SIMULACION.

La aplicación de la simulación a diferentes tipos de estudio presenta variaciones en sus formas de análisis, sin embargo se establece una secuencia lógica de los pasos básicos a seguir en el proceso:

### 1. Definición del Problema.

Aunque parece obvio, el inicio de una buena planeación principia estableciendo claramente cual es el problema que se trata de resolver y los objetivos del estudio que se pretende realizar. Se debe identificar claramente las componentes del problema, establecer un plan sobre la extensión del estudio y del tiempo para cada una de las partes constitutivas del mismo.

### 2. Recolección y Procesamiento de Datos.

Es requisito indispensable para la resolución de cualquier problema contar con datos cualitativa y cuantitativamente confiables; en caso de que no se tenga información suficiente es necesario establecer los medios para recolectar y procesar información que sea usada como dato para el estudio.

### 3. Formulación y Evaluación del Modelo Matemático.

Debe establecerse la estructura del modelo para decidir que aspectos del sistema son significativos en el problema a tratar; deben especificarse además los componentes del modelo, las variables y parámetros y las relaciones funcionales entre ellos, procurando que sean sencillos pero sin perder su representatividad con el sistema real.

Para estimar los valores de los parámetros del modelo a través de los datos recolectados, se emplean generalmente métodos estadísticos. Es importante considerar también en la formulación del modelo su facilidad de programación y la obtención del mínimo tiempo de computadora.

#### 4. Formulación del Programa de Computadora.

Dado el modelo matemático, la construcción del programa de computadora está relativamente definido. Deberá escogerse el lenguaje más adecuado para que la compilación del programa se haga en forma rápida y eficiente, aunque en algunos casos se utilizará el disponible. Como cualquier programa de computadora deberá hacerse el diagrama de flujo correspondiente, codificación, pruebas y correcciones si son necesarias.

#### 5. Pruebas de Validez.

Para inferir la validez del modelo debe tenerse mucho criterio y conocimiento del problema; dos pruebas suelen ser apropiadas en este caso: una, comparar que tan bien se ajustan los valores simulados a los datos históricos reales que se tengan; la otra, que tan aproximados son las predicciones del modelo respecto al comportamiento del sistema real. Los errores, por supuesto ocurren, pero debe discernirse si están o no dentro de la lógica.

#### 6. Diseño de Experimentos.

Deberá establecerse el número de experimentos que se harán con el modelo, tomando en cuenta, entre otras cosas, el costo del uso de la computadora. Se está además en posibilidad de ampliar o combinar el modelo y aún integrarlo a -

un sistema de mayor escala.

## 7. Ejecución de la Simulación y Análisis de los Datos Obtenidos.

Una vez hechos los pasos anteriores se procede a utilizar la computadora para la realización de los experimentos, los datos de salida obtenidos deberán interpretarse para que contribuyan al entendimiento del sistema real.

Seguiremos ahora cada paso del proceso de experimentación anteriormente expuesto aplicándolo a nuestro particular estudio.

## MODELO MATEMATICO PARA PREDECIR LA OCURRENCIA Y AFECTACION DE LA LLUVIA EN UNA OBRA

### 1. Definición del Problema.

Generalmente cuando se analiza el presupuesto de una obra, la lluvia es tomada en cuenta como un factor que incrementará los costos en cierto porcentaje a criterio del analista. Se plantea entonces la necesidad de conocer en forma más objetiva dicho incremento que lógicamente no será el mismo para todos los casos. El estudio se enfoca, luego, al conocimiento de la precipitación en la zona donde se trabajará, Salina Cruz en este caso, y la afectación que tendrá en el movimiento de tierras, no solo durante el tiempo en que la lluvia ocurre, sino aún después de que pasa por ser la maquinaria pesada más o menos sensible al terreno mojado.

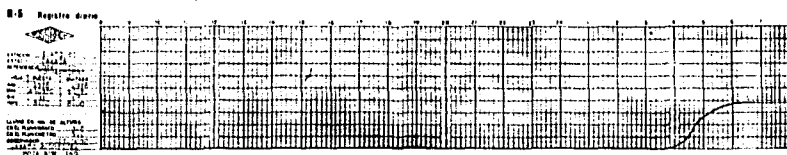
### 2. Recolección y Procesamiento de Datos.

Habremos de reunir la mayor información posible sobre la precipitación que ha ocurrido en la región costera del Estado de Oaxaca. La SARH tiene instaladas en toda la República Mexicana estaciones climatológicas que nos permiten conocer, entre otras cosas, la historia de la lluvia en el lugar donde se encuentran a través de los registros que lleva.

La medición de la lluvia se hace en términos de la altura de lámina de agua y se expresa comúnmente en milímetros; los aparatos de medición que registran las precipitaciones son el pluviómetro y el pluviógrafo. El pluviómetro es un recipiente de lámina con forma cilíndrica de aproximadamente 20 cm de diámetro y 60 cm de altura; la tapa del cilindro es un embudo receptor que se comunica con -

una probeta de sección diez veces menor que la de la tapa, esto permite medir la altura de lluvia con una aproximación de hasta décimos de milímetro, ya que cada centímetro medido en la probeta corresponde a un milímetro de altura de lluvia.

El pluviógrafo, es también de forma cilíndrica, solo que el embudo receptor está ligado a un sistema de flotadores que originan el movimiento de una aguja sobre un papel registrador montado en un sistema de reloj; cuando la aguja llega al borde superior del papel, automáticamente regresa al inferior y sigue registrando. Este aparato nos permite conocer la variación de la altura de lluvia a lo largo del tiempo.



## REGISTRO DE UN PLUVIOGRAFO

Para nuestro estudio se han obtenido datos de precipitación de los registros de dos estaciones: La estación climatológica Salina Cruz, es por su ubicación, la más representativa de la zona donde se construirá el camino, pero cuenta únicamente con registros de pluviómetro de 1969 a 1977.





Puesto que necesitamos conocer además la variación de las tormentas, - fué necesario recurrir a los registros de la estación climatológica Ecatepec por ser esta la estación más cercana a Salina Cruz que cuenta con registros pluviográficos y - tiene además una precipitación media anual similar a la primera ( según plano de isoyetas de la SARH - Hidrología ).

De los registros pluviométricos se obtuvo el número de días que ocurrió la precipitación. De los registros pluviográficos se obtuvieron la hora de inicio de la tormenta, la hora de terminación, su duración y la altura de precipitación correspondiente; así por ejemplo en el registro de pluviógrafo mostrado, la tormenta corresponde al día 1º de septiembre de 1978, se inició a las 3:50 hrs., terminó a las - - 6:10 hrs., tuvo una duración de 2.33 horas y una altura de lluvia de 3.8 mm.

Los datos recolectados de esta manera, se presentan a continuación en forma tabular.

DATOS PLUVIOGRAFICOS - ESTACION CLIM: ECATEPEC, OAX.

FECHA TORRENTA PRECIP							FECHA TORRENTA PRECIP						
AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM	AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM
1974	may	3	16:20	18:50	2.50	5.0	1974	jun	20	14:00	16:20	2.33	7.0
"	"	5-6	23:50	4:00	4.17	0.5	"	"	20-21	20:50	24:10	3.33	8.5
"	"	17	21:30	22:00	0.50	5.0	"	"	21	4:00	7:50	3.83	11.5
"	"	23	13:00	13:30	0.50	1.2	"	"	21	8:10	11:00	2.83	0.4
"	"	24	15:40	16:40	1.00	1.5	"	"	21-22	17:30	4:00	10.50	33.5
"	"	25	3:10	4:10	1.00	5.6	"	"	22-23	12:00	8:00	20.00	32.4
"	"	25	11:20	11:40	0.33	1.0	"	"	23-24	10:00	8:00	22.00	56.0
"	"	25	14:15	23:00	8.75	10.0	"	"	24	8:50	11:00	2.17	1.4
"	"	26	14:40	16:00	1.33	8.6	"	"	24	13:20	22:00	8.67	13.6
"	"	27-28	17:30	6:00	12.50	32.0	"	"	25	23:50	24:00	0.17	0.5
"	"	28	12:40	13:30	0.67	1.7	"	"	26-27	22:10	3:10	5.00	4.3
"	"	29	17:20	18:10	0.67	1.0	"	"	28	2:10	8:00	5.83	2.4
"	jun	2	24:50	4:10	3.33	1.7	"	"	28	11:20	12:20	1.00	1.5
"	"	10	16:40	20:30	3.83	10.0	"	jul	1°	1:30	7:50	6.33	3.3
"	"	11	24:20	4:10	3.83	14.0	"	"	1°	15:00	18:40	3.67	33.9
"	"	13	14:40	18:10	3.50	29.4	"	"	1°-2	21:10	3:30	6.33	57.5
"	"	14	6:40	7:20	0.67	0.6	"	"	2	11:20	12:10	0.83	2.0
"	"	14-15	8:40	3:50	19.17	11.0	"	"	4	22:15	24:00	1.75	3.0
"	"	15-16	11:40	7:30	19.83	93.5	"	"	8	22:00	22:20	0.33	0.3
"	"	16	8:40	19:30	10.83	41.8	"	"	10	1:10	1:20	0.17	0.2
"	"	17-18	21:50	3:10	5.33	11.2	"	"	11-12	23:20	24:30	1.17	3.0
"	"	18	17:10	21:20	4.17	10.0	"	"	14	1:00	4:50	3.83	6.5
"	"	19	5:00	7:50	2.83	10.5	"	"	14	9:00	14:30	5.50	20.0
"	"	19	12:15	22:00	9.75	7.0	"	"	15	14:50	15:20	0.50	1.0

F E C H A		T O R M E N T A			P R E C I P		F E C H A		T O R M E N T A			P R E C I P	
AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM	AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM
1974	jul	16	17:10	18:00	0.83	2.3	1974	sep	14	19:10	21:30	2.33	1.5
"	ago	5	2:45	3:20	0.58	0.5	"	"	15-16	24:40	1:50	1.17	1.0
"	"	8	19:30	20:40	1.17	2.0	"	"	16	4:10	6:20	2.17	1.5
"	"	9	2:20	2:50	0.50	2.5	"	"	18	1:15	4:20	3.08	2.0
"	"	11	18:00	20:10	2.17	2.5	"	"	19	6:40	7:30	0.83	2.5
"	"	12	6:40	7:50	1.17	2.7	"	"	19-20	18:40	7:40	13.00	32.2
"	"	22	16:00	16:30	0.50	0.3	"	"	20-21	12:30	6:00	17.50	49.3
"	"	24	14:10	20:00	5.83	9.0	"	"	21-22	8:00	7:40	23.66	65.4
"	"	25	20:00	23:50	3.83	13.0	"	"	22	17:00	23:50	6.83	14.4
"	"	26-27	16:00	3:00	11.00	60.6	"	"	23	5:35	7:30	1.92	14.6
"	"	27	19:50	23:10	3.33	10.0	"	"	23	14:10	15:20	1.17	1.0
"	"	28	5:40	7:50	2.17	10.5	"	"	24	2:15	7:30	5.25	1.7
"	"	28-29	17:00	6:10	13.17	41.0	"	"	24-25	20:00	7:40	11.67	15.5
"	"	29	16:00	22:00	6.00	6.5	"	"	25-26	14:55	3:40	12.75	9.0
"	"	31	21:20	23:50	2.50	2.0	"	"	28	17:10	19:00	1.83	2.0
"	sep	1°	6:00	6:40	0.67	2.5	"	"	29	7:25	7:50	0.42	2.4
"	"	6	3:50	6:20	2.50	1.0	"	"	30	1:40	3:00	1.33	1.0
"	"	7	24:20	1:00	0.67	0.2	"	"	30	4:40	7:40	3.00	1.8
"	"	8	19:50	20:40	0.83	0.5	"	"	30	14:00	18:30	4.50	6.0
"	"	9	7:00	7:50	0.83	0.8	"	oct	1°	3:50	5:40	1.83	6.9
"	"	9-10	20:00	7:40	11.67	8.5	"	"	1°	13:40	15:00	1.33	1.0
"	"	12	1:00	1:40	0.67	0.5	"	"	3	5:50	6:30	0.67	0.5
"	"	12	19:00	23:00	4.00	3.0	"	"	15	22:50	23:30	0.67	1.0
"	"	13-14	20:40	7:50	11.17	49.3	1975	jun	1°	16:20	20:00	3.67	11.0

FECHA TORMENTA PRECIP							FECHA TORMENTA PRECIP						
AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM	AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM
1975	jun	1 <sup>o</sup> -2	21:50	1:00	3.17	17.8	1975	ago	2	17:50	18:00	0.17	1.0
"	"	2	17:40	8:00	14.33	54.5	"	"	4	2:00	3:10	1.17	1.0
"	"	3	15:10	23:10	8.00	16.8	"	"	4	17:00	22:20	5.33	19.0
"	"	8	22:40	23:20	0.67	1.0	"	"	5-6	14:20	8:00	17.67	58.0
"	"	11	17:20	18:10	0.83	2.0	"	"	6	18:40	19:20	0.67	3.0
"	"	21	24:00	24:10	0.17	1.0	"	"	18	16:30	18:40	2.17	10.0
"	"	21	18:10	19:00	0.83	1.0	"	"	19-20	16:50	24:20	7.50	24.0
"	"	22-23	20:20	24:00	3.67	7.0	"	"	20	20:50	23:40	2.83	21.0
"	"	26	15:10	17:00	1.83	4.0	"	"	21	15:00	16:10	1.17	4.0
"	"	28	12:20	13:00	0.67	7.0	"	"	22	20:00	22:20	2.33	4.0
"	jul	4	21:10	21:20	0.17	2.5	"	"	25	2:20	3:10	0.83	1.0
"	"	5	8:10	10:00	1.83	4.0	"	"	25	16:05	16:20	0.25	2.0
"	"	7	12:00	12:10	0.17	4.5	"	"	27	1:40	4:00	2.33	6.0
"	"	8	8:00	8:40	0.67	7.0	"	"	29	17:50	23:00	5.17	12.0
"	"	9	9:40	13:30	3.83	77.0	"	"	31	3:40	7:00	3.33	5.5
"	"	10	10:20	13:00	2.67	23.0	"	sep	2	1:30	4:50	3.33	41.5
"	"	14	10:30	11:10	0.67	6.5	"	"	2-3	23:20	24:30	1.17	2.3
"	"	16	8:00	8:30	0.50	1.0	"	"	5-6	22:50	24:00	1.17	4.2
"	"	20	10:10	12:30	2.33	5.5	"	"	7	14:20	14:25	0.08	1.0
"	"	23	8:20	12:40	4.33	48.5	"	"	8	16:00	16:05	0.08	1.0
"	"	24	8:20	11:00	2.67	19.5	"	"	9	17:20	22:00	4.67	40.0
"	"	25	18:00	21:00	3.00	18.5	"	"	10	15:40	21:00	7.33	41.0
"	"	26	8:40	10:30	1.83	2.5	"	"	11-12	16:00	24:30	8.50	46.0
"	"	28	8:00	9:00	1.00	12.0	"	"	12	14:10	25:00	8.83	24.0

F E C H A		T O R M E N T A			PRECIP	F E C H A		T O R M E N T A			PRECIP		
AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM	AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM
1975	sep	13-14	11:10	24:10	13.00	68.0	1976	may	16	19:40	21:30	1.83	1.0
"	"	14	11:20	16:40	5.33	17.0	"	"	19	1:00	6:00	5.00	2.0
"	"	15	15:00	17:00	2.00	2.0	"	"	20-21	19:20	1:40	6.33	5.0
"	"	16	5:20	6:30	1.17	1.5	"	"	21-22	20:00	24:30	4.50	4.0
"	"	16	20:10	23:30	3.33	13.0	"	"	22	3:25	5:00	1.58	1.0
"	oct	1 <sup>o</sup> -2	16:50	18:10	1.33	2.0	"	jun	2	18:00	21:00	3.00	3.0
"	"	3	2:40	4:20	1.67	2.0	"	"	8-9	23:40	3:00	3.33	4.0
"	"	3	19:50	21:00	1.17	2.0	"	"	9	12:00	14:00	2.00	3.0
"	"	8	13:30	15:10	1.67	1.0	"	"	10	14:45	16:00	1.25	1.0
"	"	10	22:10	22:30	0.33	4.0	"	"	13	1:10	4:30	3.33	3.0
"	"	11	2:30	4:50	2.33	1.0	"	"	13-14	23:10	2:00	2.83	3.0
"	"	11	15:50	17:00	1.17	5.0	"	"	16	12:10	16:00	3.83	3.0
"	"	14	14:50	17:00	2.17	8.0	"	"	17-18	17:00	6:00	13.00	16.0
"	"	16-17	21:20	24:00	2.67	5.0	"	"	18	14:30	18:00	3.50	4.0
"	dic	21	16:00	17:10	1.17	1.0	"	"	18	20:30	22:00	1.50	1.0
"	"	25	21:40	23:00	1.33	2.0	"	"	19	1:20	3:00	1.67	1.0
1976	ene	31	21:20	23:30	2.17	3.0	"	"	20	16:50	17:30	0.83	1.0
"	abr	7	19:10	20:50	1.67	3.0	"	"	21	18:10	19:00	0.83	1.0
"	"	9	1:00	5:00	4.00	8.0	"	"	22-23	16:10	1:00	8.83	13.2
"	"	16	14:50	15:30	0.67	1.0	"	"	25	13:50	23:00	9.17	36.5
"	"	25-26	19:10	2:00	6.83	16.0	"	"	26-27	17:10	5:00	11.83	24.5
"	abr may	30-P	21:30	7:00	9.50	16.0	"	"	27-28	21:10	7:10	10.00	32.0
"	"	13	17:40	22:20	4.67	6.0	"	"	28-29	14:40	1:00	10.33	60.0
"	"	15	17:20	18:00	0.67	1.0	"	"	29	13:50	21:00	7.17	101.0

FECHA TORRENTA PRECIP							FECHA TORRENTA PRECIP						
AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM	AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM
1976	jun	30	14:50	16:30	1.67	3.0	1976	sep	19	14:50	15:10	0.33	5.5
"	jul	1 <sup>o</sup>	18:30	20:00	1.50	1.0	"	"	25	17:30	18:10	0.67	9.0
"	"	3-4	18:50	7:00	12.17	57.0	"	"	28	12:45	14:00	1.25	4.5
"	"	9	13:30	23:00	9.50	51.0	"	"	30	8:10	19:35	11.25	3.0
"	"	10	1:00	6:00	5.00	3.0	"	"	30	21:45	23:00	1.25	3.5
"	"	13	19:35	20:50	1.25	2.0	"	oct	1 <sup>o</sup>	10:35	10:40	0.08	4.0
"	"	15-16	22:20	4:20	6.00	3.0	"	"	1 <sup>o</sup>	13:00	14:30	1.50	8.9
"	"	26-27	22:15	24:40	4.42	3.0	"	"	6	3:00	4:00	1.00	1.5
"	ago	14	18:15	23:00	4.75	32.0	"	"	17	15:10	17:40	2.50	1.5
"	"	15	2:10	4:30	2.33	3.0	1977	abr	30	18:00	23:30	5.50	4.0
"	"	15-16	16:10	3:20	11.17	31.0	"	may	1 <sup>o</sup> -2	23:50	1:30	1.67	3.7
"	"	16	5:00	6:20	1.33	1.0	"	"	25	2:00	3:30	1.50	6.5
"	"	16-17	20:25	7:50	11.42	63.5	"	"	25	21:50	22:40	0.83	1.4
"	"	18	16:40	20:50	4.17	8.0	"	"	26	12:20	13:00	0.67	5.7
"	"	19	4:00	6:00	2.00	1.0	"	"	27	20:40	22:00	1.33	6.5
"	"	20	1:00	2:00	1.00	1.0	"	jul	6	8:00	13:00	5.00	2.1
"	"	29	18:30	21:00	2.50	3.0	"	"	12	3:40	5:00	1.33	1.4
"	"	30	2:00	7:00	5.00	1.0	"	"	23	1:50	3:00	1.17	0.4
"	sep	3	1:50	2:30	1.83	0.5	"	"	26	15:30	17:10	1.67	5.5
"	"	3	5:00	7:00	2.00	8.5	"	"	31	11:00	12:40	1.67	2.5
"	"	5	5:35	6:20	0.75	3.5	"	ago	6	2:30	3:30	1.00	2.8
"	"	8	15:15	15:50	0.58	9.0	"	"	7	3:00	6:30	3.50	0.8
"	"	16	2:50	6:00	3.17	1.0	"	"	7	12:20	13:00	0.67	0.3
"	"	18	21:00	23:00	2.00	7.0	"	"	8-9	21:10	1:40	4.50	1.2

F E C H A T O R M E N T A P R E C I P							F E C H A T O R M E N T A P R E C I P						
AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM	AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM
1977	ago	9-10	19:30	3:20	7.83	5.3	1977	sep	23	10:20	10:30	0.17	1.3
"	"	10-11	12:20	24:00	11.67	7.0	"	"	28	8:10	9:30	1.33	2.4
"	"	11	8:00	11:20	3.33	0.2	"	"	29	16:50	19:30	2.67	3.7
"	"	11-12	15:00	1:30	10:50	19.3	"	"	30	8:00	8:30	0.50	2.0
"	"	12	8:10	21:30	13.33	9.0	"	"	30	21:40	23:00	1.33	6.8
"	"	14	16:30	18:00	1.50	3.4	"	oct	1º	8:00	9:20	1.33	2.0
"	"	19	14:10	17:00	2.83	9.3	"	"	2	4:30	5:00	0.50	5.6
"	"	20	20:40	22:20	1.67	10.0	"	"	2	16:00	20:40	4.67	15.0
"	"	21	20:10	22:20	2.17	17.1	"	"	6	24:50	2:30	1.67	0.2
"	"	23	20:50	22:30	1.67	2.4	"	"	10	1:40	4:40	3.00	8.6
"	"	24	2:10	5:00	2.83	4.1	"	"	12	1:00	1:30	0.50	1.0
"	"	24	14:40	15:10	0.50	8.8	"	"	26	12:10	14:00	1.83	0.7
"	"	28	16:40	18:20	1.67	1.2	"	nov	4	2:30	2:50	0.33	2.0
"	sep	4	16:30	18:10	1.67	2.8	"	dic	9	7:10	7:50	0.67	0.2
"	"	5	15:40	15:50	0.17	0.9	"	"	14-15	17:20	2:00	8.67	5.4
"	"	13	17:50	18:00	0.17	1.8	"	"	15	14:50	18:30	3.67	1.0
"	"	15	12:00	12:50	0.83	3.3	1978	ene	17	18:10	19:30	1.33	0.2
"	"	16	17:00	21:40	4.67	5.0	"	feb	8	5:50	7:10	1.33	0.5
"	"	17	6:40	8:00	1.33	6.3	"	"	8	15:30	16:40	1.17	1.3
"	"	18	8:00	13:00	5.00	4.2	"	may	16	13:30	14:30	1.00	8.9
"	"	18-19	20:50	2:30	5.67	3.2	"	"	23	6:50	7:10	0.33	2.3
"	"	19	22:40	23:30	0.83	8.5	"	"	24	18:30	18:35	0.08	0.2
"	"	20	15:30	21:50	6.33	3.4	"	"	28	4:00	8:20	2.33	1.8
"	"	21	18:30	19:30	1.00	0.5	"	"	29	16:30	23:20	6.83	18.8

T O R M E N T A							T O R M E N T A							
F E C H A			I N I C I O			T E R M			D U R			P R E C I P		
AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM	AÑO	MES	DIA	INICIO	TERM	DUR	EN MM	
1978	may	30	7:10	10:00	2.83	4.5	1978	jul	17	22:20	23:25	1.08	8.0	
"	jun	3	18:00	22:20	4.33	8.7	"	"	18	8:25	14:05	5.67	9.0	
"	"	5	2:10	6:00	3.83	16.3	"	"	21	24:10	6:50	6.67	6.5	
"	"	5	14:40	16:50	2.17	6.4	"	"	21	13:00	13:10	0.17	0.3	
"	"	7	1:05	4:10	3.08	1.5	"	"	22	14:20	19:40	5.33	7.0	
"	"	7-8	22:25	2:35	4.17	18.9	"	"	23	13:50	15:00	1.17	3.2	
"	"	8	15:05	17:00	1.92	4.0	"	"	23	18:35	19:55	1.33	3.1	
"	"	9-10	14:30	24:00	9.50	49.0	"	"	24	1:35	2:40	1.08	0.8	
"	"	10-11	22:30	1:00	2.50	2.8	"	"	26	13:00	20:30	7.50	11.0	
"	"	12	7:00	7:25	0.42	0.5	"	"	28-29	19:00	1:00	6.00	19.0	
"	"	13	3:30	6:55	3.42	2.5	"	ago	9	24:20	2:30	2.17	19.3	
"	"	20	22:50	23:05	0.25	2.0	"	"	10	1:25	4:50	3.42	0.9	
"	"	22	3:10	5:20	2.17	6.4	"	"	14	14:30	15:05	0.58	3.2	
"	"	28	15:00	15:20	0.33	0.3	"	"	14-15	24:55	2:50	1.92	10.2	
"	jul	1º	3:35	4:15	0.67	5.5	"	"	18	14:35	15:35	1.00	1.6	
"	"	1º	13:05	13:20	0.25	2.3	"	"	18	20:50	21:30	0.83	1.0	
"	"	3	3:30	8:10	4.67	3.6	"	"	19	13:30	14:20	0.83	6.1	
"	"	3	10:30	12:20	1.83	4.3	"	"	20	2:30	3:05	0.58	7.4	
"	"	6	1:40	2:35	0.92	1.0	"	"	27-28	22:25	2:20	3.92	12.5	
"	"	7-8	21:55	2:15	4.33	5.9	"	"	30	13:40	18:40	5.00	6.5	
"	"	11	1:40	6:50	5.17	5.5	"	sep	1º	3:50	6:10	2.33	3.8	
"	"	17	14:40	18:50	4.17	11.5								



### 3. Formulación y Evaluación del Modelo Matemático.

Como apuntamos al definir el problema, se trata de predecir la ocurrencia de la lluvia y su afectación al trabajo de la maquinaria en terracerías; para ello se procesará la información recolectada utilizando las técnicas de probabilidad y estadística para obtener parámetros que sean útiles en el estudio del modelo.

Se han de establecer entonces las variables significativas que intervendrán en este análisis; tales son:

- + La ocurrencia de la tormenta (llueve o no llueve).
- + La hora en que se inicia.
- + Su duración.
- + La altura de precipitación.
- + El tiempo ocioso de la maquinaria por lluvia.

Cada una de ellas deberá estar ligada con otra para obtener las relaciones funcionales necesarias, siguiendo en el modelo la siguiente secuencia:

Se llevará primeramente un control de la fecha en que se analiza la obra, para predecir en seguida si se presenta o no la tormenta; si esta ocurre, se obtendrá la hora más probable de inicio, la altura de lluvia, y como una variable dependiente de esta última, su duración. Se calcularán entonces los tiempos de espera que sufrirá cada una de las máquinas (presentadas en el capítulo anterior) por este motivo, dependiendo también del tipo de material que se trabaja, y con ello finalmente, la afectación que ocasiona en la obra. Desarrollemos a continuación cada una de estas variables.

Para obtener un parámetro que nos permita predecir la ocurrencia de tormentas se ha recurrido a los registros de la estación Salina Cruz. Se calculará la probabilidad de que llueva como la frecuencia relativa de los días en que esta se ha presentado en cierto mes a lo largo de nueve años de registro, respecto al número total acumulado de días que tiene el mes en el mismo período de tiempo.

PROBABILIDAD DE QUE LLUEVA EN CADA MES (PP(M))

AÑO	NUMERO DE DIAS QUE LLOVIO DURANTE EL MES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1969	0	0	2	0	0	11	11	16	11	3	0	2
1970	2	1	0	0	3	9	11	10	13	3	0	0
1971	1	0	0	0	5	10	4	10	10	3	0	1
1972	0	1	0	1	4	14	6	3	5	1	1	2
1973	1	0	0	0	5	14	7	10	13	6	1	0
1974	0	0	0	0	10	17	6	5	10	0	0	0
1975	0	0	0	0	8	13	10	6	8	1	0	1
1976	1	0	1	1	0	15	6	4	5	3	0	0
1977	0	0	0	1	2	7	2	8	6	3	2	2
SUMA	5	2	3	3	37	110	63	72	81	23	4	8
NUM. DE DIAS EN 9 AÑOS	279	254	279	270	279	270	279	279	270	279	270	279
PP(M)%	1.8	0.8	1.1	1.1	13.3	40.7	22.6	25.8	30.0	8.2	1.5	2.9

De los datos de la estación Ecatepec se obtendrán los parámetros para determinar la altura de precipitación (h) más probable que ocurra en caso de que llueva.

Para predecir esta variable se han agrupado los valores que puede tomar en tres intervalos:

$$0 < h \leq 5 \text{ mm}$$

$$5 \text{ mm} < h \leq 10 \text{ mm}$$

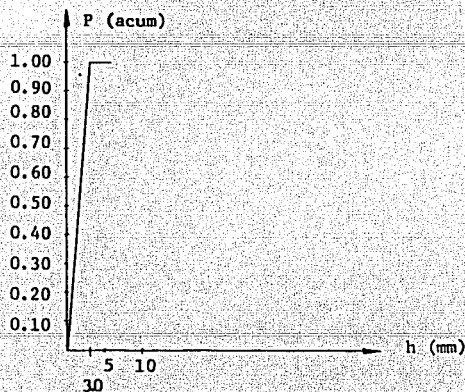
$$h > 10 \text{ mm}$$

Calculando la probabilidad de que se presenten estos eventos como la frecuencia relativa de cada intervalo respecto al número total de casos para cada mes en un período de nueve años. Puesto que la variable puede tomar diversos valores dentro de los intervalos, se construyen las gráficas de distribución de frecuencias relativas acumuladas correspondientes a los tres eventos señalados obteniendo las ecuaciones de las rectas y ligando además la máxima precipitación ocurrida en el mes con el valor unitario.

## ALTURA DE PRECIPITACION EN EL MES DE ENERO

AÑO	Número de Casos		
	$0 < h \leq 5$	$5 < h \leq 10$	$h > 10$
1974	0	0	0
1975	0	0	0
1976	1	0	0
1977	0	0	0
1978	1	0	0
frecuencia	2	0	0
frecuencia relativa acumulada	1.000	1.000	1.000

Máxima Precipitación Observada: 3.0 mm

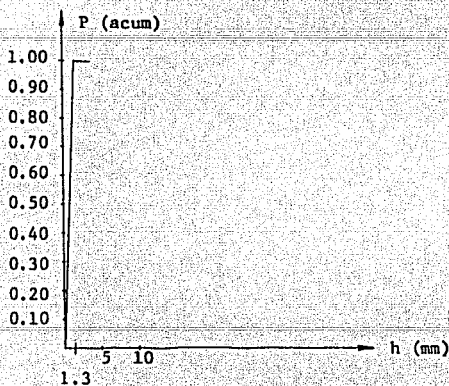


para  $0 < p \leq 1.000 \Rightarrow h = 3.0 p$

## ALTURA DE PRECIPITACION EN EL MES DE FEBRERO

AÑO	Número de Casos		
	$0 < h \leq 5$	$5 < h \leq 10$	$h > 10$
1974	0	0	0
1975	0	0	0
1976	0	0	0
1977	0	0	0
1978	2	0	0
frecuencia	2	0	0
frecuencia relativa acumulada	1.000	1.000	1.000

Máxima Precipitación Observada: 1.3 mm

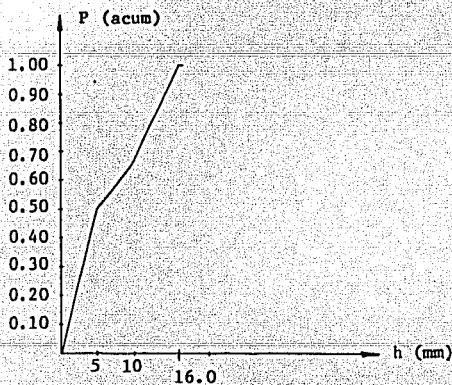


para  $0 < p \leq 1.000 \Rightarrow h = 1.3 p$

## ALTURA DE PRECIPITACION EN EL MES DE ABRIL

AÑO	Número de Casos		
	$0 < h \leq 5$	$5 < h \leq 10$	$h > 10$
1974	0	0	0
1975	0	0	0
1976	2	1	2
1977	1	0	0
1978	0	0	0
frecuencia	3	1	2
frecuencia relativa acumulada	0.500	0.667	1.000

Máxima Precipitación Observada: 16.0 mm



si  $0 < p \leq 0.500 \rightarrow h = 10 p$

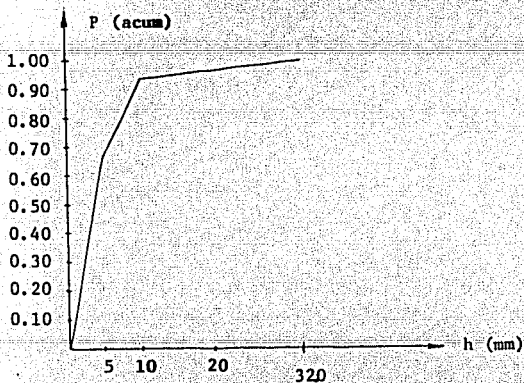
si  $0.500 < p \leq 0.667 \rightarrow h = 29.94 p - 9.97$

si  $0.667 < p \leq 1.000 \rightarrow h = 18.02 p - 2.02$

## ALTURA DE PRECIPITACION EN EL MES DE MAYO

AÑO	Número de Casos		
	$0 < h \leq 5$	$5 < h \leq 10$	$h > 10$
1974	8	3	1
1975	0	0	0
1976	6	1	0
1977	2	3	0
1978	4	1	1
frecuencia	20	8	2
frecuencia relativa acumulada	0.667	0.933	1.000

Máxima Precipitación Observada: 32.0 mm



si  $0 < p \leq 0.667 \rightarrow h = 7.50 p$

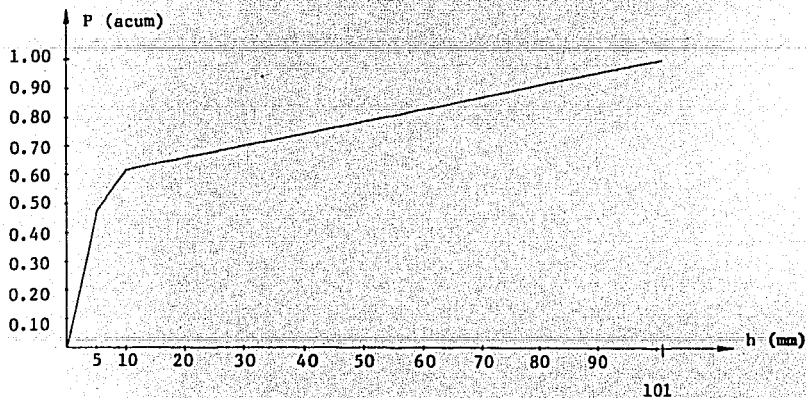
si  $0.667 < p \leq 0.933 \rightarrow h = 18.80 p - 7.54$

si  $0.933 < p \leq 1.000 \rightarrow h = 328.36 p - 296.36$

## ALTURA DE PRECIPITACION EN EL MES DE JUNIO

AÑO	Número de Casos		
	$0 < h \leq 5$	$5 < h \leq 10$	$h > 10$
1974	7	5	13
1975	5	2	4
1976	14	0	7
1977	0	0	0
1978	7	3	3
frecuencia	33	10	27
frecuencia relativa acumulada	0.471	0.614	1.000

Máxima Precipitación Observada: 101.0 mm



si  $0 < p < 0.471 \rightarrow h = 10.62 p$

si  $0.471 \leq p < 0.614 \rightarrow h = 34.97 p - 11.47$

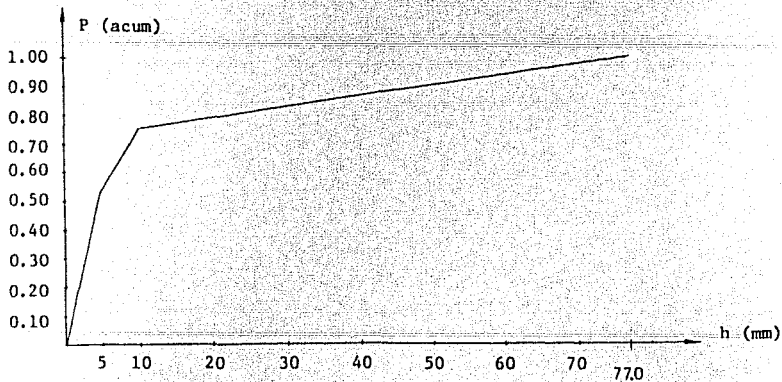
si  $0.614 \leq p \leq 1.000 \rightarrow h = 235.75 p - 134.75$



## ALTURA DE PRECIPITACION EN EL MES DE JULIO

AÑO	Número de Casos		
	$0 < h \leq 5$	$5 < h \leq 10$	$h > 10$
1974	8	1	3
1975	5	3	6
1976	4	0	2
1977	4	1	0
1978	8	7	3
frecuencia	29	12	14
frecuencia relativa acumulada	0.527	0.745	1.000

Máxima Precipitación Observada: 77.0 mm



$$\text{si } 0 < p \leq 0.527 \rightarrow h = 9.49 p$$

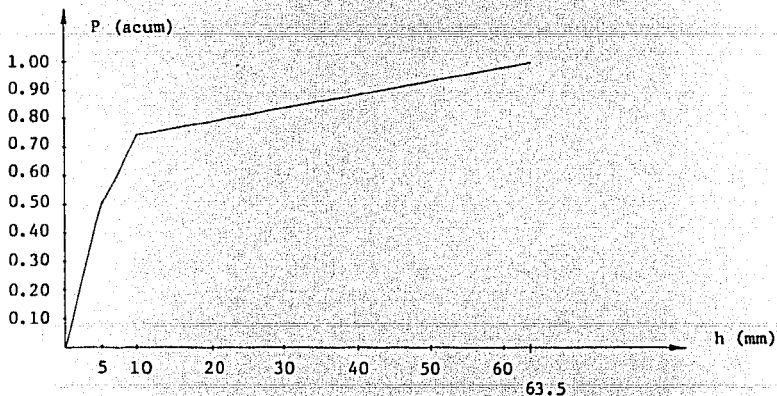
$$\text{si } 0.527 < p \leq 0.745 \rightarrow h = 22.93 p - 7.08$$

$$\text{si } 0.745 < p \leq 1.000 \rightarrow h = 262.74 p - 185.74$$

## ALTURA DE PRECIPITACION EN EL MES DE AGOSTO

AÑO	Número de Casos		
	$0 < h \leq 5$	$5 < h \leq 10$	$h > 10$
1974	7	3	4
1975	7	3	5
1976	6	1	3
1977	9	6	2
1978	4	3	3
frecuencia	33	16	17
frecuencia relativa acumulada	0.500	0.742	1.000

Máxima Precipitación Observada: 63.5 mm



si  $0 < p \leq 0.500 \rightarrow h = 10 p$

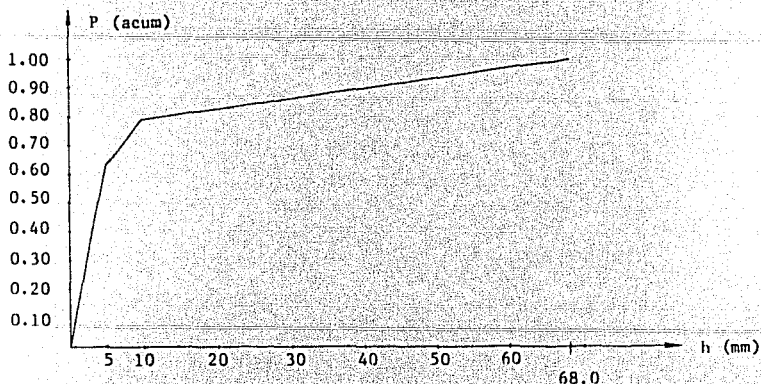
si  $0.500 < p \leq 0.742 \rightarrow h = 20.66 p - 5.33$

si  $0.742 < p \leq 1.000 \rightarrow h = 207.36 p - 143.86$

## ALTURA DE PRECIPITACION EN EL MES DE SEPTIEMBRE

AÑO	Número de Casos		
	$0 < h \leq 5$	$5 < h \leq 10$	$h > 10$
1974	18	3	7
1975	6	0	8
1976	6	5	0
1977	13	3	0
1978	1	0	0
frecuencia	44	11	15
frecuencia relativa acumulada	0.629	0.786	1.000

Máxima Precipitación Observada: 68.0 mm



si  $0 < p \leq 0.629$   $\rightarrow$   $h = 7.95 p$

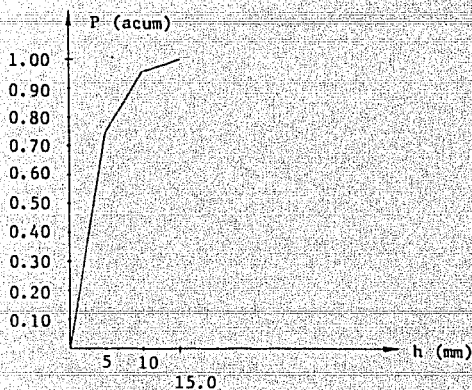
si  $0.629 < p \leq 0.786$   $\rightarrow$   $h = 31.85 p - 15.05$

si  $0.786 < p \leq 1.000$   $\rightarrow$   $h = 271.02 p - 203.02$

## ALTURA DE PRECIPITACION EN EL MES DE OCTUBRE

AÑO	Número de Casos		
	$0 < h \leq 5$	$5 < h \leq 10$	$h > 10$
1974	3	1	0
1975	8	1	0
1976	3	1	0
1977	4	2	1
1978	-	-	-
frecuencia	18	5	1
frecuencia relativa acumulada	0.750	0.958	1.000

Máxima Precipitación Observada: 15.0 mm



si  $0 < p < 0.750 \rightarrow h = 6.67 p$

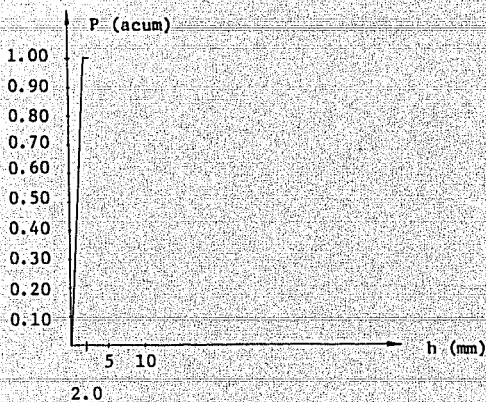
si  $0.750 < p < 0.958 \rightarrow h = 24.04 p - 13.03$

si  $0.958 < p < 1.000 \rightarrow h = 119.04 p - 104.04$

# ALTURA DE PRECIPITACION EN EL MES DE NOVIEMBRE

AÑO	Número de Casos		
	$0 < h \leq 5$	$5 < h \leq 10$	$h > 10$
1974	0	0	0
1975	0	0	0
1976	0	0	0
1977	1	0	0
1978	-	-	-
frecuencia	1	0	0
frecuencia relativa acumulada	1.000	1.000	1.000

Máxima Precipitación Observada: 2.0 mm

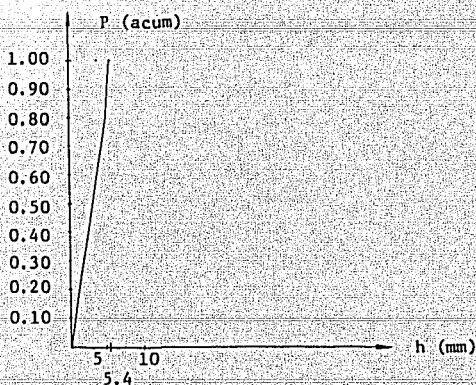


para  $0 < p \leq 1.000 \rightarrow h = 2.0 p$

## ALTURA DE PRECIPITACION EN EL MES DE DICIEMBRE

AÑO	Número de Casos		
	$0 < h \leq 5$	$5 < h \leq 10$	$h > 10$
1974	0	0	0
1975	2	0	0
1976	0	0	0
1977	2	1	0
1978	-	-	-
frecuencia	4	1	0
frecuencia relativa acumulada	0.800	1.000	1.000

Máxima Precipitación Observada: 5.4 mm



$$\text{si } 0 < p \leq 0.800 \Rightarrow h = 6.25 \cdot p$$

$$\text{si } 0.800 < p \leq 1.000 \Rightarrow h = 2.0 \cdot p + 3.4$$

La probabilidad de la hora de inicio de una tormenta no es la misma durante todo el día. Para determinar como cambia la frecuencia de la hora en que esta se presenta recurrimos nuevamente a los datos pluviográficos de la estación Ecatepec.

Se ha dividido el día en intervalos de una hora donde puede presentarse el inicio de la lluvia, se clasifican todas las tormentas en el intervalo correspondiente obteniéndose también las frecuencias ( $f$ ) y las frecuencias relativas acumuladas ( $f_{ra}$ ) para cada mes a lo largo del período de registro de la estación.

## PROBABILIDAD DE LA HORA DE INICIO DE UNA TORMENTA (Est. Climatológica: Ecatepec, Oax.)

HORA DE INICIO	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	f	fra	f	fra	f	fra	f	fra	f	fra	f	fra	f	fra	f	fra	f	fra	f	fra	f	fra	f	fra
0.0 - 1.0	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	3	0.043	1	0.018	2	0.030	2	0.021	1	0.042	0	0.000	0	0.000
1.0 - 2.0	0	0.000	0	0.000	0	0.000	1	0.167	1	0.033	3	0.086	8	0.163	3	0.076	5	0.100	2	0.125	0	0.000	0	0.000
2.0 - 3.0	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.167	1	0.067	2	0.115	0	0.163	9	0.212	2	0.129	2	0.208	1	1.000	0	0.000
3.0 - 4.0	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.167	2	0.133	2	0.144	3	0.218	2	0.242	2	0.158	2	0.292	0	1.000	0	0.000
4.0 - 5.0	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.167	1	0.167	1	0.158	0	0.218	1	0.257	2	0.186	1	0.333	0	1.000	0	0.000
5.0 - 6.0	0	0.000	1	0.500	0	0.500	0	0.167	0	0.167	1	0.172	0	0.218	2	0.287	4	0.243	1	0.375	0	1.000	0	0.000
6.0 - 7.0	0	0.000	0	0.500	0	0.500	0	0.167	1	0.200	1	0.186	0	0.218	1	0.303	3	0.286	0	0.375	0	1.000	0	0.000
7.0 - 8.0	0	0.000	0	0.500	0	0.500	0	0.167	1	0.233	1	0.200	0	0.218	0	0.303	2	0.315	0	0.375	0	1.000	1	0.200
8.0 - 9.0	0	0.000	0	0.500	0	0.500	0	0.167	0	0.233	4	0.257	9	0.382	2	0.333	5	0.386	1	0.417	0	1.000	0	0.200
9.0-10.0	0	0.000	0	0.500	0	0.500	0	0.167	0	0.233	0	0.257	2	0.418	0	0.333	0	0.386	0	0.417	0	1.000	0	0.200
10.0-11.0	0	0.000	0	0.500	0	0.500	0	0.167	0	0.233	2	0.286	4	0.491	0	0.333	1	0.400	1	0.458	0	1.000	0	0.200
11.0-12.0	0	0.000	0	0.500	0	0.500	0	0.167	1	0.267	2	0.315	2	0.527	0	0.333	2	0.429	0	0.458	0	1.000	0	0.200
12.0-13.0	0	0.000	0	0.500	0	0.500	0	0.167	2	0.333	5	0.386	1	0.545	2	0.363	3	0.472	1	0.500	0	1.000	0	0.200
13.0-14.0	0	0.000	0	0.500	0	0.500	0	0.167	2	0.400	3	0.429	5	0.636	2	0.393	1	0.486	3	0.625	0	1.000	0	0.200
14.0-15.0	0	0.000	0	0.500	0	0.500	1	0.333	2	0.467	8	0.543	4	0.709	6	0.484	6	0.572	1	0.667	0	1.000	1	0.400
15.0-16.0	0	0.000	1	1.000	0	1.000	0	0.333	1	0.500	4	0.600	1	0.727	2	0.514	4	0.629	2	0.750	0	1.000	0	0.400
16.0-17.0	0	0.000	0	1.000	0	1.000	0	0.333	2	0.567	4	0.657	0	0.727	10	0.666	4	0.686	2	0.833	0	1.000	1	0.600
17.0-18.0	0	0.000	0	1.000	0	1.000	0	0.333	4	0.700	6	0.743	1	0.745	4	0.727	6	0.772	0	0.833	0	1.000	1	0.800
18.0-19.0	1	0.500	0	1.000	0	1.000	1	0.500	1	0.733	5	0.814	3	0.800	4	0.788	2	0.800	0	0.833	0	1.000	0	0.800
19.0-20.0	0	0.500	0	1.000	0	1.000	2	0.833	2	0.800	0	0.814	2	0.836	3	0.834	3	0.843	1	0.875	0	1.000	0	0.800
20.0-21.0	0	0.500	0	1.000	0	1.000	0	0.833	2	0.867	3	0.857	1	0.854	8	0.955	5	0.914	0	0.875	0	1.000	0	0.800
21.0-22.0	1	1.000	0	1.000	0	1.000	1	1.000	2	0.933	3	0.900	3	0.909	2	0.985	3	0.957	1	0.917	0	1.000	1	1.000
22.0-23.0	0	1.000	0	1.000	0	1.000	0	1.000	0	0.933	4	0.957	4	0.982	1	1.000	2	0.986	2	1.000	0	1.000	0	1.000
23.0 - 0.0	0	1.000	0	1.000	0	1.000	0	1.000	2	1.000	3	1.000	1	1.000	0	1.000	1	1.000	0	1.000	0	1.000	0	1.000



Assumiendo la hipótesis de que la duración de la tormenta depende de la altura de precipitación observada, se construyó la gráfica de correlación de estas dos variables (Fig. 1) y se trazó una parábola de regresión obtenida con el llamado "método de mínimos cuadrados".

Este método se basa en suponer que la mejor curva de regresión es aquella para la cual la suma de los cuadrados de las desviaciones de todos los puntos con respecto a la misma es mínima.

Se puede demostrar que para ajustar una curva de la forma  $y = ax^{\frac{1}{2}} + b$  por el método de mínimos cuadrados, los parámetros  $a$  y  $b$  se calculan resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^{\frac{1}{2}} &= \sum_{i=1}^n x_i^{\frac{1}{2}} y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^{\frac{1}{2}} + nb &= \sum_{i=1}^n y_i \end{aligned}$$

Con 331 datos disponibles de duración y altura de precipitación se obtuvieron estos parámetros:

$$a = 1.5463$$

$$b = -0.2990$$

Quedando finalmente la ecuación de la parábola de regresión como:

$$Dur = 1.546 h^{\frac{1}{2}} - 0.299$$

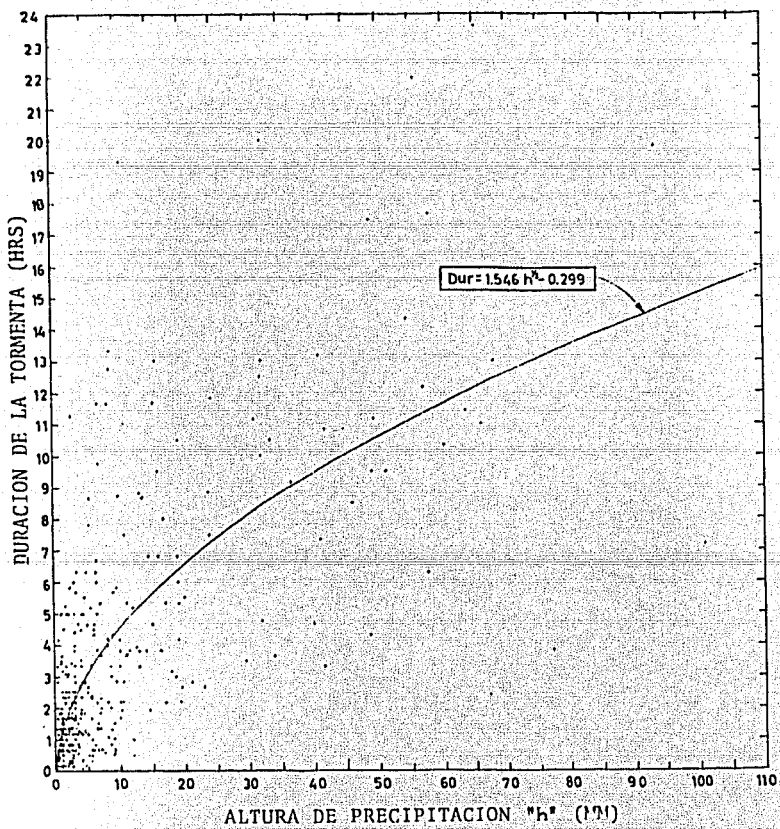


Fig. 1 - Grafica de correlación de los datos de la est. clim. Ecatepec.

En la gráfica ( Fig. 1 ) puede apreciarse que los tiempos de duración de la tormenta reales varían respecto a los tiempos esperados (calculados con la ecuación de la parábola). Esto se tomará en cuenta en la simulación:

Se mide la desviación vertical de cada punto a partir de la curva como la diferencia entre la duración real y la duración predicha correspondiente a cada valor de  $h$  observado. Cada una de estas desviaciones se clasifican dentro del intervalo de 15 minutos más próximo a su valor obteniéndose la distribución que aparece al pie de esta página ( Fig. 2 ).

La probabilidad de que se presente una de las desviaciones se obtiene con su frecuencia relativa acumulada.

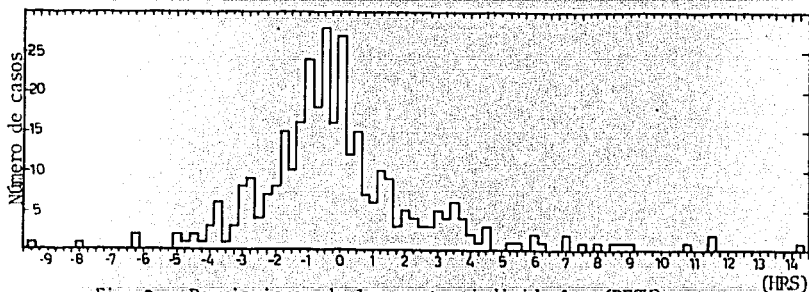


Fig. 2 - Desviaciones de los puntos individuales (DES) respecto a la duración predicha (DIR).

Desviación de la Duración Observada Respecto a la Predicha  
con la Ecuación de la Parábola de Regresión

DES	FRECUENCIA	FRA	DES	FRECUENCIA	FRA	DES	FRECUENCIA	FRA			
hrs	simp	acum	hrs	simp	acum	hrs	simp	acum			
		D(K)			D(K)			D(K)			
-9.50	1	1	0.003	-1.50	10	84	0.254	6.50	0	320	0.967
-9.25	0	1	0.003	-1.25	16	100	0.302	6.75	0	320	0.967
-9.00	0	1	0.003	-1.00	24	124	0.375	7.00	2	322	0.973
-8.75	0	1	0.003	-0.75	18	142	0.429	7.25	0	322	0.973
-8.50	0	1	0.003	-0.50	28	170	0.514	7.50	1	323	0.976
-8.25	0	1	0.003	-0.25	16	186	0.562	7.75	0	323	0.976
-8.00	1	2	0.006	0.00	27	213	0.644	8.00	1	324	0.979
-7.75	0	2	0.006	0.25	12	225	0.680	8.25	0	324	0.979
-7.50	0	2	0.006	0.50	15	240	0.725	8.50	1	325	0.982
-7.25	0	2	0.006	0.75	7	247	0.746	8.75	1	326	0.985
-7.00	0	2	0.006	1.00	6	253	0.764	9.00	1	327	0.988
-6.75	0	2	0.006	1.25	10	263	0.795	9.25	0	327	0.988
-6.50	0	2	0.006	1.50	9	272	0.822	9.50	0	327	0.988
-6.25	2	4	0.012	1.75	3	275	0.831	9.75	0	327	0.988
-6.00	0	4	0.012	2.00	5	280	0.846	10.00	0	327	0.988
-5.75	0	4	0.012	2.25	4	284	0.858	10.25	0	327	0.988
-5.50	0	4	0.012	2.50	3	287	0.867	10.50	0	327	0.988
-5.25	0	4	0.012	2.75	3	290	0.876	10.75	1	328	0.991
-5.00	2	6	0.018	3.00	5	295	0.891	11.00	0	328	0.991
-4.75	1	7	0.021	3.25	4	299	0.903	11.25	0	328	0.991
-4.50	2	9	0.027	3.50	6	305	0.921	11.50	2	330	0.997
-4.25	1	10	0.030	3.75	4	309	0.934	11.75	0	330	0.997
-4.00	3	13	0.039	4.00	2	311	0.940	12.00	0	330	0.997
-3.75	6	19	0.057	4.25	1	312	0.943	12.25	0	330	0.997
-3.50	1	20	0.060	4.50	3	315	0.952	12.50	0	330	0.997
-3.25	3	23	0.069	4.75	0	315	0.952	12.75	0	330	0.997
-3.00	8	31	0.094	5.00	0	315	0.952	13.00	0	330	0.997
-2.75	9	40	0.121	5.25	1	316	0.955	13.25	0	330	0.997
-2.50	4	44	0.133	5.50	1	317	0.958	13.50	0	330	0.997
-2.25	7	51	0.154	5.75	0	317	0.958	13.75	0	330	0.997
-2.00	8	59	0.178	6.00	2	319	0.964	14.00	0	330	0.997
-1.75	15	74	0.224	6.25	1	320	0.967	14.25	1	331	1.000

Dados los parámetros para predecir la lluvia, falta ahora por definir el tiempo de afectación que tendrá en la maquinaria.

De observaciones hechas en diferentes obras se presenta el siguiente resumen que comprende las principales máquinas utilizadas en movimientos de tierra y los tiempos de espera inducidos por las tormentas para diferentes materiales.

#### T R A C T O R

LLUVIA	ARCILLA	MAT. ARABLE	R O C A
$0 < h \leq 5$	Se para la duración de la lluvia + 2 horas	Se para la duración de la lluvia	No se para
$5 < h \leq 10$	Se para la duración de la lluvia + 3 horas	Se para la duración de la lluvia + 2 horas	Se para la duración de la lluvia
$h > 10$	Se para la duración de la lluvia + 8 horas	Se para la duración de la lluvia + 3 horas	Se para la duración de la lluvia

#### M O T O E S C R E P A

LLUVIA	ARCILLA	MAT. ARABLE	R O C A
$0 < h \leq 5$	Se para la duración de la lluvia + 4 horas	Se para la duración de la lluvia + 2 horas	No se para
$5 < h \leq 10$	Se para la duración de la lluvia + 6 horas	Se para la duración de la lluvia + 4 horas	Se para la duración de la lluvia
$h > 10$	Se para la duración de la lluvia + 16 horas	Se para la duración de la lluvia + 6 horas	Se para la duración de la lluvia

### CARGADOR Y CAMIONES

LLUVIA	ARCILLA	MAT. ARABLE	ROCA
$0 < h \leq 5$	Se para la duración de la lluvia + 6 horas	Se para la duración de la lluvia + 4 horas	No se para
$5 < h \leq 10$	Se para la duración de la lluvia + 9 horas	Se para la duración de la lluvia + 6 horas	Se para la duración de la lluvia
$h > 10$	Se para la duración de la lluvia + 24 horas	Se para la duración de la lluvia + 9 horas	Se para la duración de la lluvia + 2 horas

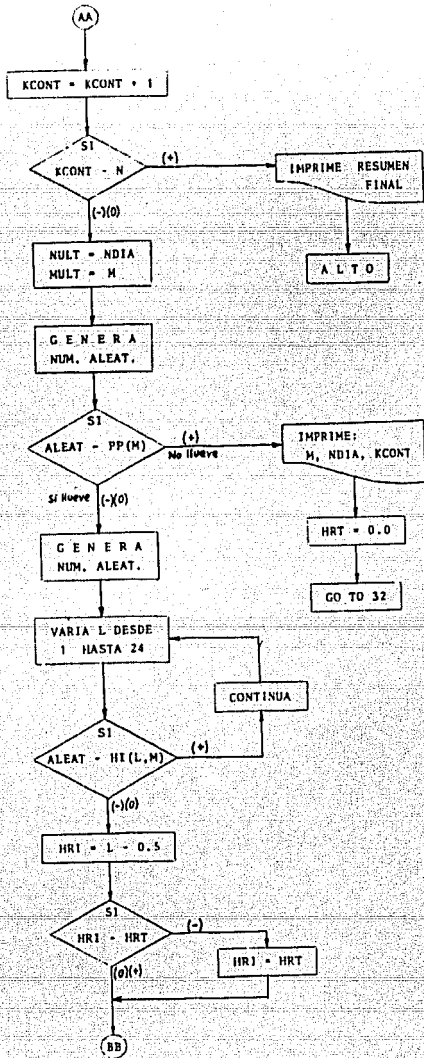
#### 4. Formulación del Programa de Computadora.

En el diagrama de flujo que se muestra a continuación se observa el proceso que seguirá el modelo en el programa de computadora. El lenguaje de codificación utilizado es FORTRAN. Los datos de entrada y el programa fuente se dan en tarjeta perforada y el reporte de salida, impreso en papel, tabula los parámetros resultantes de la simulación de la lluvia y los tiempos de afectación al turno de trabajo para diferentes máquinas y materiales, como puede verse en el listado del programa de prueba adjunto.

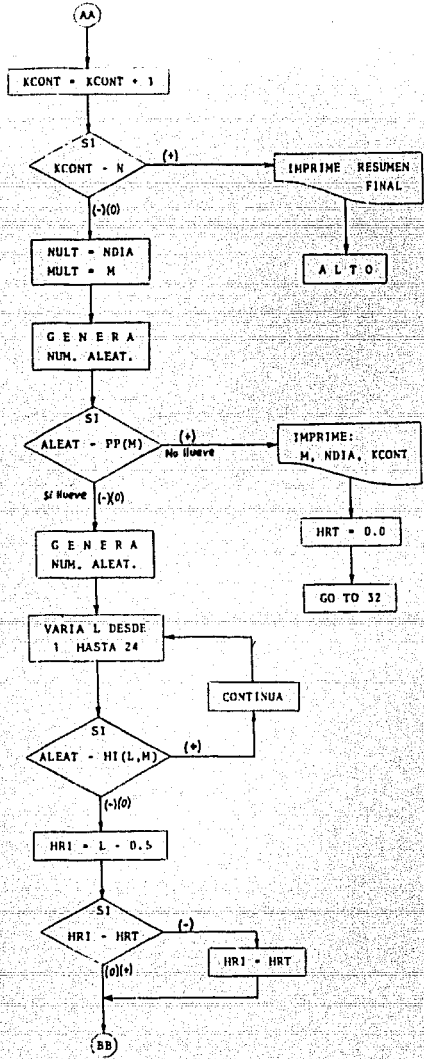
**A PARTIR  
DE ESTA  
PAGINA  
FALLA DE  
ORIGEN**

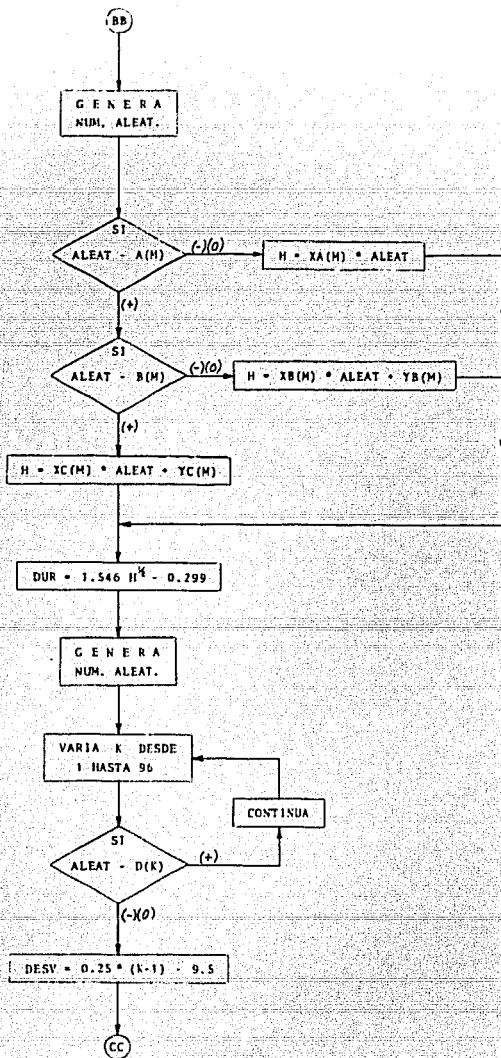


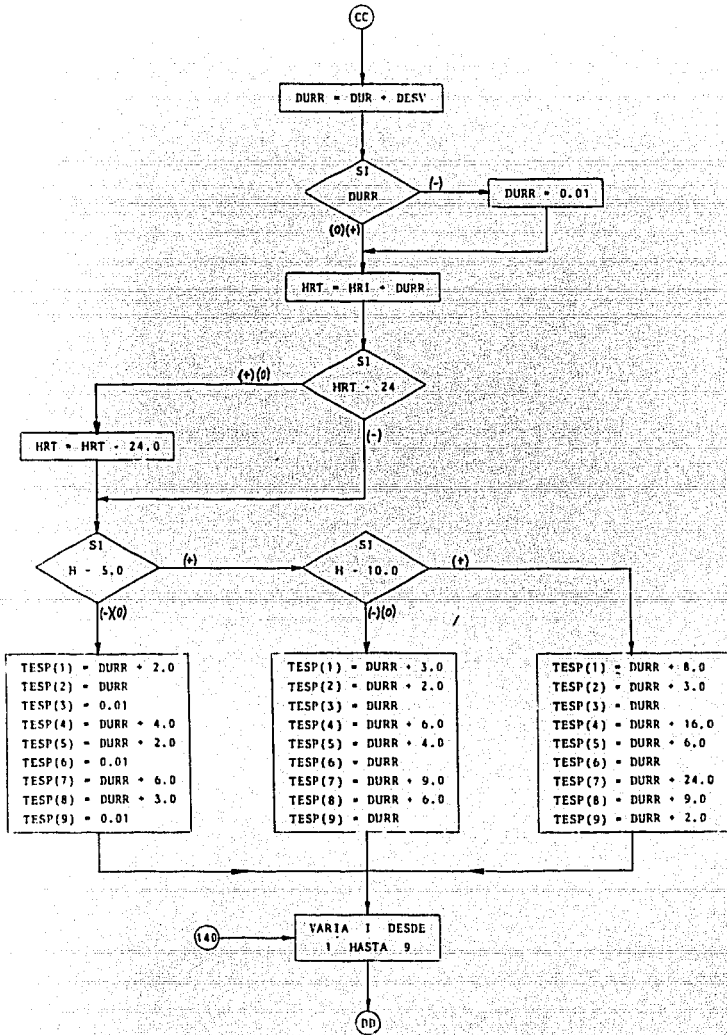


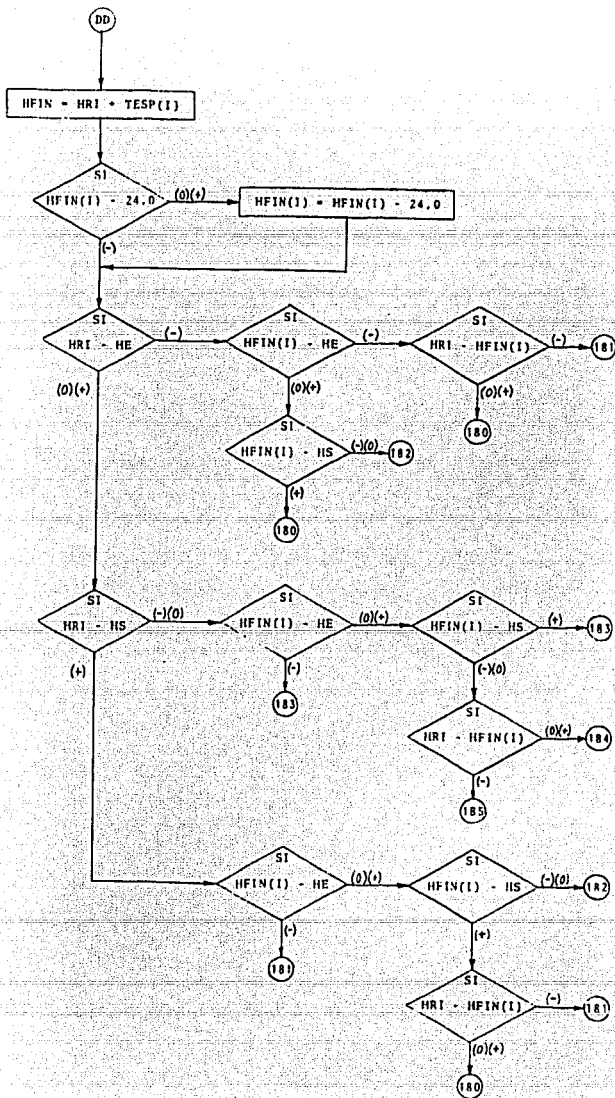


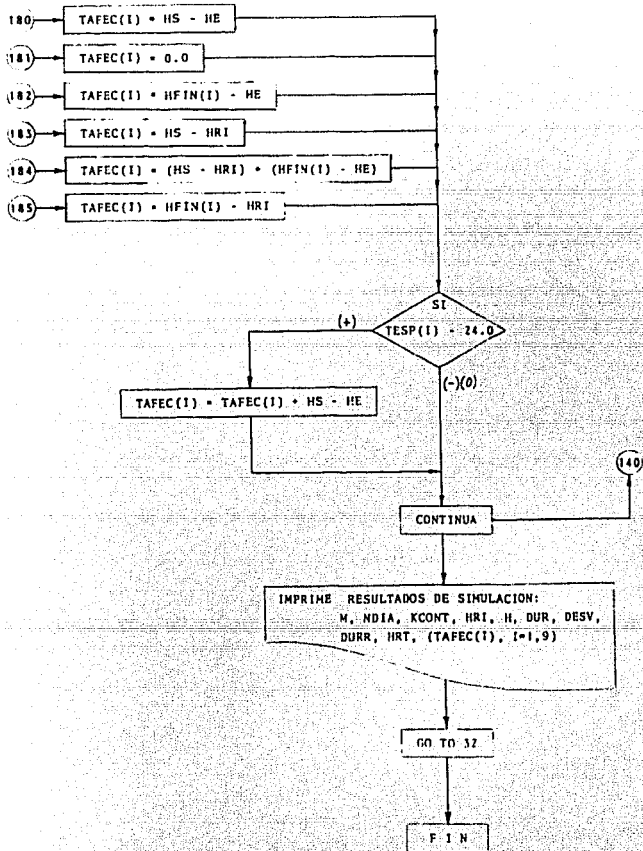












PROGRAMA PARA SIMULAR LA OCURRENCIA Y AFECTACION DE LLUVIAS  
EN LA REGION COSTERA DE SALINA CRUZ, QUAACA

.....  
NUM. DE DIAS QUE SE ANALIZAN 47

FECHA DE INICIO DEL ANALISIS  
DIA 1  
MES 6

TORNOS DE 10.00 HRS.

HORA DE ENTRADA 8.00

HORA DE SALIDA 18.00  
.....







\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

TIEMPO TOTAL QUE AFECTA LA LLUVIA

AL TIEMPO EN 47 DIAS DE TRABAJO

DEFINITA DEL MES 6

AL DIA 17 DEL MES 7

TRACTOR EN MAT.A = 64.68 HRS.  
MAT.B = 40.17 HRS.  
MAT.C = 25.66 HRS.

MOTOCREPA EN MAT.A = 94.98 HRS.  
MAT.B = 60.61 HRS.  
MAT.C = 25.66 HRS.

CARGADOR Y CANION EN MAT.A = 114.34 HRS.  
MAT.B = 76.48 HRS.  
MAT.C = 32.17 HRS.

## 5. Pruebas de Validez.

Para inferir la validez del modelo se pueden comparar principalmente los siguientes parámetros :

- a ).- La probabilidad de ocurrencia de lluvia que se dió como dato y la que se obtiene dividiendo el número de días simulados en que está se presentó entre el total de días analizados en el mes.
- b ).- La altura de precipitación y la duración "real" obtenidos con el programa y la aproximación que estas tienen con la curva de regresión calculada con el método de mínimos cuadrados.

Como puede verse, ambas comparaciones se encuentran dentro de un rango aceptable.

## 6. Diseño de Experimentos.

La capacidad del modelo nos permite llevar la simulación de la lluvia día con día en períodos de tiempo tan amplios como se quiera, - y combinarlos con diferentes duraciones del turno, horas de inicio, etc. Para ejemplificar alguna de las aplicaciones que puede tener, se efectuarán cinco simulaciones del modelo en dos diferentes fechas de inicio de la obra ( junio y octubre ) correspondientes a la temporada de lluvias y a los últimos meses en que esta se presenta, sin variar los horarios de trabajo; y obtener así los tiempos perdidos del equipo en un período de 47 días.

## CAPITULO IV

### R E S U L T A D O S

Este capítulo corresponde al séptimo y último paso en el estudio de simulación que se ha desarrollado a lo largo del capítulo anterior. Se trata de la realización de los experimentos y el análisis e interpretación de los datos simulados.

A continuación se presentan las hojas de resultados obtenidas de la simulación del modelo en la computadora siguiendo el diseño de experimentos determinado con anterioridad.

En base a los tiempos perdidos por lluvia resultantes de las 5 "corridas" para cada fecha de inicio, se hará un promedio de la afectación calculando además el porcentaje de incremento de tiempo en el programa de obra por causa de lluvia y el porcentaje de incremento en costo por equipo parado.

PROGRAMA PARA SIMULAR LA OCURRENCIA Y AFECTACION DE LLUVIAS

EN LA REGION COSTERA DE SALINA CRUZ, CAXACA

\*\*\*\*\*  
NUM. DE DIAS QUE SE ANALIZAN 47

FECHA DE INICIO DEL ANALISIS

DIA 1  
MES 6

TORNOS DE 12.00 HRS.

HORA DE ENTRADA 8.00

HORA DE SALIDA 19.00  
\*\*\*\*\*









R E S U M E N

\*\*\*\*\*  
TIEMPO TOTAL QUE AFECTA LA LLUVIA

AL TURNO EN 47 DIAS DE TRABAJO

DEL DIA 1 DEL MES 6

AL DIA 17 DEL MES 7

T R A C T O R EN NAT. A = 46.23 HRS.  
NAT. B = 31.03 HRS.  
NAT. C = 27.14 HRS.

MOTODESCREPA EN NAT. A = 85.99 HRS.  
NAT. B = 42.23 HRS.  
NAT. C = 27.14 HRS.

CARGADOR Y CAMION EN NAT. A = 116.49 HRS.  
NAT. B = 56.41 HRS.  
NAT. C = 27.14 HRS.



*****																		
FECHA			T O R M E N T A S I M U L A D A							TIEMPO QUE AFECTA LA LLUVIA AL TURNO DE TRABAJO								
MFS	DIA	NUM.	LLUEVE	HR. DE	DE	DURAC.	DESV.	DURAC.	HR. DE	T R A C T O R			MOTOESCREPA			CARGADOR Y CAMION		
		DIAS		INICIO	LLUVIA	ESP.		REAL	TERM.	MAT.A	MAT.B	MAT.C	MAT.A	MAT.B	MAT.C	MAT.A	MAT.B	MAT.C
*****																		
6	27	27	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	28	28	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	29	29	SI	21.50	3.7	2.67	0.50	3.17	0.67	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	30	30	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	1	31	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	2	32	SI	10.50	9.3	4.42	1.25	5.67	16.17	7.50	7.50	5.67	7.50	7.50	5.67	7.50	7.50	5.67
7	3	33	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	4	34	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	5	35	SI	18.50	1.5	1.60	-1.75	0.01	18.51	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	6	36	SI	18.51	4.9	3.13	-1.25	1.88	20.39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	7	37	SI	20.39	8.3	4.16	0.25	4.41	0.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.80	0.0	0.0
7	8	38	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	9	39	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	10	40	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	11	41	SI	10.50	3.5	2.60	0.0	2.60	13.10	4.60	2.60	0.01	6.60	4.60	0.01	7.50	5.60	0.01
7	12	42	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	13	43	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	14	44	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	15	45	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	16	46	NO	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	17	47	SI	9.50	1.7	1.69	-0.50	1.19	10.69	3.19	1.19	0.01	5.19	3.19	0.01	7.19	4.19	0.01

R E S U M E N  
\*\*\*\*\*

TIEMPO TOTAL QUE AFECTA LA LLUVIA

AL TURNO EN 47 DIAS DE TRABAJO

DEL DIA 1 DEL MES 6

AL DIA 17 DEL MES 7

T R A C T O R EN	MAT.A =	38.34 HRS.
	MAT.B =	30.96 HRS.
	MAT.C =	19.72 HRS.
MOTOSCREPA EN	MAT.A =	48.80 HRS.
	MAT.B =	18.34 HRS.
	MAT.C =	19.72 HRS.
CARGADOR Y CAMION EN	MAT.A =	59.02 HRS.
	MAT.B =	41.23 HRS.
	MAT.C =	19.72 HRS.







R E S U M E N

\*\*\*\*\*

TIEMPO TOTAL QUE AFECTA LA LLUVIA

AL TURNO EN 47 DIAS DE TRABAJO

DEL DIA 1 DEL MES 6

AL DIA 17 DEL MES 7

T R A C T O R EN MAT.A = 40.38 HRS.  
MAT.B = 26.12 HRS.  
MAT.C = 13.02 HRS.

MOTOCICLETA EN MAT.A = 45.29 HRS.  
MAT.B = 39.21 HRS.  
MAT.C = 13.02 HRS.

CARGADOR Y CAMION EN MAT.A = 100.62 HRS.  
MAT.B = 55.38 HRS.  
MAT.C = 15.02 HRS.







R E S U M E N

\*\*\*\*\*

TIEMPO TOTAL QUE AFECTA LA LLUVIA  
AL TRFNC EN 47 CIAS DE TRABAJO  
DEL DIA 1 DEL MES 6  
AL DIA 17 DEL MES 7

T. P. A. C. T. O. R. EN MAT. A = 75.70 HRS.  
MAT. B = 60.05 HRS.  
MAT. C = 49.52 HRS.

PCTCCREFA EN MAT. A = 125.62 HRS.  
MAT. B = 75.40 HRS.  
MAT. C = 49.57 HRS.

CARGADOR Y CAMION EN MAT. A = 161.22 HRS.  
MAT. B = 91.68 HRS.  
MAT. C = 51.52 HRS.

PROGRAMA PARA SIMULAR LA OCURENCIA Y AFECTACION DE LLUVIAS  
EN LA REGION COSTERA DE SALINA CRUZ, CAACAA

\*\*\*\*\*

NUM. DE DIAS QUE SE ANALIZAN 47

FECHA DE INICIO DEL ANALISIS  
DIA 1  
MES 10

TORNOS DE 10.00 HRS.

HORA DE ENTRADA 8.00

HORA DE SALIDA 18.00

\*\*\*\*\*





R E S U M E N

\*\*\*\*\*

TIEMPO TOTAL QUE AFECTA LA LLUVIA

AL TURNO EN 47 DIAS DE TRABAJO

DEL DIA 1 DEL MES 10

AL DIA 16 DEL MES 11

T R A C T O R	EN	MAT. A =	3.68 HRS.
		MAT. B =	1.68 HRS.
		MAT. C =	0.01 HRS.

MOTOESCREPA	EN	MAT. A =	4.50 HRS.
		MAT. B =	3.68 HRS.
		MAT. C =	0.01 HRS.

CARGADOR Y CAMION	EN	MAT. A =	4.50 HRS.
		MAT. B =	4.50 HRS.
		MAT. C =	0.01 HRS.









R E S U M E N

\*\*\*\*\*

TIEMPO TOTAL QUE AFECTA LA LLUVIA

AL TURNO EN 47 DIAS DE TRABAJO

DEL DIA 1 DEL MES 10

AL DIA 16 DEL MES 11

T. R. A. C. T. O. R. EN NAT. A = 0.00 HRS.  
NAT. B = 0.05 HRS.  
NAT. C = 0.02 HRS.

MOTOFSCREPA EN NAT. A = 0.51 HRS.  
NAT. B = 0.00 HRS.  
NAT. C = 0.02 HRS.

LARGADOR Y CAMICH EN NAT. A = 0.51 HRS.  
NAT. B = 0.00 HRS.  
NAT. C = 0.02 HRS.





R E S U M E N

\*\*\*\*\*

TIEMPO TOTAL QUE AFECTA LA LLUVIA

AL TURNO EN 47 DIAS DE TRABAJO

DEL DIA 1 DEL MES 10

AL DIA 16 DEL MES 11

T R A C T O R EN

MAT. A = 3.34 HRS.

MAT. B = 1.34 HRS.

MAT. C = 0.01 HRS.

MOTOCICLETA EN

MAT. A = 4.50 HRS.

MAT. B = 3.34 HRS.

MAT. C = 0.01 HRS.

CARGADOR Y CAMION EN

MAT. A = 4.50 HRS.

MAT. B = 4.34 HRS.

MAT. C = 0.01 HRS.





R E S U M E N

\*\*\*\*\*

TIEMPO TOTAL QUE AFECTA LA LLUVIA

AL TURNO EN 47 DIAS DE TRABAJO

DEL DIA 1 DEL MES 10

AL DIA 16 DEL MES 11

T. R. A. C. T. O. K. EN	MAT. A =	2.01 HRS.
	MAT. B =	0.01 HRS.
	MAT. C =	0.01 HRS.

MOTOCICLETA EN	MAT. A =	4.12 HRS.
	MAT. B =	2.01 HRS.
	MAT. C =	0.01 HRS.

LARGADOR Y CAMION EN	MAT. A =	6.61 HRS.
	MAT. B =	3.01 HRS.
	MAT. C =	0.01 HRS.









R E S U M E N

\*\*\*\*\*  
TIEMPO TOTAL QUE AFECTA LA LLUVIA

AL TURNO EN 47 DIAS DE TRABAJO

DEL DIA 1 DEL MES 10

AL DIA 16 DEL MES 11

T R A C T O R EN	MAT. A =	0.0	HRS.
	MAT. B =	0.0	HRS.
	MAT. C =	0.0	HRS.
MOTOESCOPA EN	MAT. A =	0.0	HRS.
	MAT. B =	0.0	HRS.
	MAT. C =	0.0	HRS.
CARGADOR Y CAMION EN	MAT. A =	0.0	HRS.
	MAT. B =	0.0	HRS.
	MAT. C =	0.0	HRS.

Promedio de horas perdidas por lluvia  
en los meses de Junio y Julio.

Tractor en:

$$\text{Material "A": } \bar{X} = 1/5 (64.68 + 46.23 + 38.34 + 46.38 + 75.70)$$

$$\bar{X} = 54.27 \text{ hrs.}$$

$$\text{Material "B": } \bar{X} = 1/5 (40.17 + 31.03 + 30.96 + 26.12 + 60.05)$$

$$\bar{X} = 37.67 \text{ hrs.}$$

$$\text{Material "C": } \bar{X} = 1/5 (25.66 + 27.14 + 19.72 + 13.82 + 49.52)$$

$$\bar{X} = 27.17 \text{ hrs.}$$

Motoescrapas en:

$$\text{Material "A": } \bar{X} = 1/5 (94.98 + 85.99 + 48.80 + 85.29 + 125.62)$$

$$\bar{X} = 88.14 \text{ hrs.}$$

$$\text{Material "B": } \bar{X} = 1/5 (60.61 + 42.23 + 38.34 + 39.21 + 75.40)$$

$$\bar{X} = 51.16 \text{ hrs.}$$

Cargador sobre ruedas \* en:

$$\text{Material "C": } \bar{X} = 1/5 (25.66 + 27.14 + 19.72 + 13.82 + 49.52)$$

$$\bar{X} = 27.17 \text{ hrs.}$$

(\*) Por formato aparece en el listado como Motoescrapa en Mat. C.

Cargador y camiones en:

$$\text{Material "A": } \bar{X} = 1/5 (114.34 + 116.49 + 59.02 + 100.62 + 161.22)$$

$$\bar{X} = 110.34 \text{ hrs.}$$

$$\text{Material "B": } \bar{X} = 1/5 (76.68 + 56.41 + 41.23 + 55.38 + 91.68)$$

$$\bar{X} = 64.28 \text{ hrs.}$$

$$\text{Material "C": } \bar{X} = 1/5 (32.17 + 27.14 + 19.72 + 15.82 + 51.52)$$

$$\bar{X} = 29.27 \text{ hrs.}$$

### R E S U M E N

EQUIPO	MATERIAL TIPO "A"	MATERIAL TIPO "B"	MATERIAL TIPO "C"	SU MA
Tractor	54.27	37.67	27.17	119.11
Motoescrapas	88.14	51.16	-	139.30
Cargador sobre ruedas	-	-	27.17	27.17
Cargador orugas y camiones	110.34	64.28	-	174.62
Cargador ruedas y camiones	-	-	29.27	29.27

Promedio de horas perdidas por lluvia en los  
meses de Octubre y Noviembre

Tractor en

$$\text{Material "A": } \bar{X} = 1/5 (3.68 + 6.00 + 3.34 + 2.01 + 0.00) \\ \bar{X} = 3.01 \text{ hrs.}$$

$$\text{Material "B": } \bar{X} = 1/5 (1.68 + 4.05 + 1.34 + 0.01 + 0.00) \\ \bar{X} = 1.42 \text{ hrs.}$$

$$\text{Material "C": } \bar{X} = 1/5 (0.01 + 0.02 + 0.01 + 0.01 + 0.00)$$

Motoescopos en:

$$\text{Material "A": } \bar{X} = 1/5 (4.50 + 6.51 + 4.50 + 4.12 + 0.00) \\ \bar{X} = 3.93 \text{ hrs.}$$

$$\text{Material "B": } \bar{X} = 1/5 (3.68 + 6.00 + 3.34 + 2.01 + 0.00) \\ \bar{X} = 3.01 \text{ hrs.}$$

Cargador sobre ruedas en:

$$\text{Material "C": } \bar{X} = 1/5 (0.01 + 0.02 + 0.01 + 0.01 + 0.00) \\ \bar{X} = 0.01 \text{ hrs.}$$

Cargador y camiones en :

$$\text{Material "A": } \bar{X} = 1/5 (4.50 + 8.51 + 4.50 + 6.61 + 0.00)$$

$$\bar{X} = 4.82 \text{ hrs}$$

$$\text{Material "B": } \bar{X} = 1/5 (4.50 + 6.00 + 4.34 + 3.01 + 0.00)$$

$$\bar{X} = 3.57 \text{ hrs}$$

$$\text{Material "C": } \bar{X} = 1/5 (0.01 + 0.02 + 0.01 + 0.01 + 0.00)$$

$$\bar{X} = 0.01 \text{ hrs}$$

### R E S U M E N

EQUIPO	MATERIAL TIPO "A "	MATERIAL TIPO "B "	MATERIAL TIPO "C "	SU M A
Tractor	3.01	1.42	0.01	4.44
Motoescrapas	3.93	3.01	-	6.94
Cargador sobre ruedas	-	-	0.01	0.01
Cargador orugas y camiones	4.82	3.57	-	8.39
Cargador ruedas y camiones	-	-	0.01	0.01

## INCREMENTO EN EL TIEMPO DE EJECUCION

Se calcula como el cociente resultante de dividir las horas perdidas por lluvia entre las horas laborables en el periodo analizado ( 388 hrs).

Se promedia afectando el porcentaje de incremento con el porcentaje de tiempo utilizado por equipo en cada tipo de material.

- En temporada de lluvias ( Junio y Julio )

### PORCENTAJE DE INCREMENTO

EQUIPO	MATERIAL TIPO "A "	MATERIAL TIPO "B"	MATERIAL TIPO "C "	PROMEDIO
Tractor	0.31 x 14.0	0.29 x 9.7	0.40 x 7.0	9.95
Motoescrapas	0.75 x 22.7	0.25 x 13.2	-	20.33
Cargador sobre ruedas	-	-	1.00 x 7.0	7.00
Cargador orugas y camiones	0.69 x 28.4	0.31 x 16.6	-	24.74
Cargador ruedas y camiones	-	-	1.00 - 7.5	7.50

Incremento en tiempo de ejecución = 24.7 %

- En los meses de Octubre y Noviembre

### PORCENTAJE DE INCREMENTO

EQUIPO	MATERIAL TIPO "A "	MATERIAL TIPO "B"	MATERIAL TIPO "C "	PROMEDIO
Tractor	0.31 x 0.8	0.29 x 0.4	0.40 x 0.0	0.36
Motoescrapas	0.75 x 1.0	0.25 x 0.8	-	0.95
Cargador sobre ruedas	-	-	1.00 x 0.0	0.00
Cargador orugas y camiones	0.69 x 1.2	0.31 x 0.9	-	1.11
Cargador ruedas y camiones	-	-	1.00 - 0.0	0.00

Incremento en tiempo de ejecución = 1.1 %

## INCREMENTO EN EL COSTO

Se calcula multiplicando las horas perdidas por lluvia por el costo directo hora-máquina usada en cada tipo de material, y la suma de los productos resultantes dividida entre el costo directo total nos dá el porcentaje de incremento en el costo.

- En temporada de lluvias ( Junio y Julio )

EQUIPO	MATERIAL TIPO "A"	MATERIAL TIPO "B"	MATERIAL TIPO "C"	INCREMENTO DEL COSTO
Tractor	88,133.94	22,753.81	44,123.81	155,011.56
Motoescrepas	92,291.39	53,569.64	-	145,861.03
Cargador sobre ruedas	-	-	20,825.26	20,825.26
Cargador orugas y camiones	90,446.80	52,690.96	-	143,137.76
Cargador ruedas y camiones	-	-	11,647.12	11,647.12
			Total:	476,482.73

$$\text{Porcentaje de Incremento} = \frac{476,482.73}{4,882,374.62} = 9.8\%$$

- En los meses de Octubre y Noviembre

EQUIPO	MATERIAL TIPO "A"	MATERIAL TIPO "B"	MATERIAL TIPO "C"	INCREMENTO DEL COSTO
Tractor	4,888.21	857.72	16.24	5,762.17
Motoescrepas	4,115.10	3,151.77	-	7,266.87
Cargador sobre ruedas	-	-	7.66	7.66
Cargador orugas y camiones	3,951.00	2,926.36	-	6,877.36
Cargador ruedas y camiones	-	-	3.98	3.98
			Total:	19,918.04

$$\text{Porcentaje de Incremento} = \frac{19,918.04}{4,882,374.62} = 0.4\%$$



Los incrementos obtenidos en el análisis se tomarán en cuenta tanto para la programación de la obra así como para el presupuesto correspondiente.

Podemos establecer además que aún cuando se utilizó el promedio de los resultados de la simulación (obtenidas de cada programa), se podrá seleccionar cualquiera de ellos dependiendo del criterio particular del analista.

## CAPITULO V

### C O N C L U S I O N E S

El análisis de los problemas que presentan las lluvias a lo largo de la ejecución de una obra tiene múltiples enfoques; el estudio realizado presenta solo una parte de lo que el modelo de simulación puede hacer.

Se está en posibilidad de variar la duración de turnos y de la fecha y hora de inicio del trabajo, analizándolo durante un lapso mayor para seleccionar la solución óptima desde el punto de vista económica (esto es empleando los recursos disponibles, obtener el costo mínimo).

Se puede ampliar el modelo incluyendo la selección del equipo utilizado en el movimiento de tierras en función de sus distancias económicas de acarreo, -tomando en cuenta las descomposturas y reparaciones como variables aleatorias.

El modelo podría también combinarse con programas existentes: e.g. los costos resultantes a lo largo del tiempo se combinarían con el flujo de fondos dando las variaciones económicas de la obra, el período donde sería necesario el financiamiento y el punto a partir del cual se obtendrían utilidades.

Sin embargo hay que considerar - como se apuntó en el Capítulo III - que para obtener resultados confiables, se debe partir igualmente de datos cualitativa y cuantitativamente confiables; desafortunadamente en nuestro país la instalación de instrumentos de medición de lluvias es reciente; el principal problema con que nos enfrentamos es el de no contar con la información necesaria, ya que en muchas zonas no existen registros o son insuficientes para utilizarlos como datos en este tipo de estudios.

Son pocas además las empresas constructoras en nuestro medio que lleven una estadística amplia y confiable de su maquinaria, agravando el problema antes mencionado.

También es importante hacer notar que puesto que el resultado de la simulación es de tipo numérico, se deberán considerar los valores obtenidos como una guía, y no darles mayor importancia de la que realmente tienen.

En cuanto al análisis del movimiento de tierras se refiere, se deben tomar en cuenta factores cuya influencia se ha incrementado en forma considerable tales como la tasa de inflación, las características del equipo, las distancias económicas de acarreo, etc.

Finalmente, para implementar un modelo de simulación, hay que considerar el costo que genera su desarrollo y compararlo con la economía que puede obtenerse de él, determinando si es conveniente el uso de esta técnica para algún estudio particular.

## B I B L I O G R A F I A

- GORDON, GEOFFREY                      System Simulation; Prentice Hall 1969.
- NAYLOR, T.,                                Balintfy J., Burdick D., Chu K.  
Computer Simulation Techniques.
- KRICK, Edward V.                        Introducción a la Ingeniería y al Diseño  
de la Ingeniería; Limusa W. 1973.
- CATERPILLAR TRACTOR Co.              Guía sobre Rendimientos.
- RASCON, Ch., Villarreal.                Introducción a Probabilidades y Estadística;  
Publicación del Inst. de Ing. UNAM.
- DESFI - UNAM.                            Apuntes de Cursos de Movimiento de Tien-  
ras y Costos del Centro de Educación Con-  
tínua.