

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica
Minera y Metalúrgica



*Simulación Computarizada del
Acarreo en una Mina a Cielo Abierto*
UNA INTRODUCCION AL GPSS

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE :

INGENIERO DE MINAS

WILFREDO HIDALGO LIMAYLLA

LIMA - PERU 1984

A MIS PADRES

AGRADECIMIENTO

DESEO EXPRESAR MI AGRADECIMIENTO A
TODAS AQUELLAS PERSONAS, QUE DE ALGUNA MANERA
HAN PRESTADO SU INVALORABLE COLABORACIÓN PARA
LA REALIZACIÓN DE LA PRESENTE TESIS,

SINCERAMENTE ,

WILFREDO HIDALGO L.

I N D I C E

I.	INTRODUCCION	1
	1.2 Exposición del Problema	4
	1.3 Propósitos y Alcances	5
II.	FUNDAMENTO TEORICO	6
	2.1 Sistema	6
	2.2 Modelos	8
	2.2.1 Tipos de Modelos	10
	2.2.2 Modelos Conceptuales	11
	2.3 Simulación	14
	2.3.1 Definición	14
	2.3.2 Componentes de un Modelo de Simulación.	14
	2.3.3 Ciclos de la Simulación	16
	2.3.4 Usos de la Simulación	19
	2.3.5 Alcances de la Simulación	20
	2.3.6 Limitaciones de la Simulación	20
	2.4 Técnicas de la Simulación	21
	2.4.1 Simulación Determinística	22
	2.4.2 Simulación Estocástica	23

III.	SIMULACION MANUAL Y COMPUTARIZADA	26
3.1	Simulación Manual	26
3.1.1	Simulación Determinística	27
3.1.2	Simulación Estocástica	28
3.2	Simulación Computarizada	35
3.3	Lenguaje de Simulación	36
3.4	Lenguajes Empleados en Simulación	38
3.4.1	Lenguaje de propósitos generales	38
3.4.2	Lenguajes de Simulación propiamente dichos	39
IV.	INTRODUCCION AL GPSS	41
4.1	Elementos del GPSS	42
4.1.1	Transacciones	42
4.1.2	Equipos	43
4.2	Instrucciones del Lenguaje	43
4.3	Instrucciones Básicas	46
4.4	Instrucciones Complementarias	46
4.5	Estadísticas	56
4.6	Descripción del OUTPUT	59
V.	MODELO DE SIMULACION DE ACARREO POR CAMIONES EN UNA MINA A CIELO ABIERTO	61
5.1	Introducción	61

5.2	Descripción del Problema	62
5.3	Circuito de carguío, acarrero y descarga	64
5.4	Datos Numéricos	69
5.5	Elementos del Sistema - Modelo en GPSS	72
5.5.1	Elementos del Sistema	72
5.5.2	Parámetros y Conservadores	72
5.5.3	Variables y Multiprocesadores	73
5.5.4	Funciones	74
5.5.5	Valores Numéricos	79
5.6	Diagrama de Flujo y Programa	79
5.7	Análisis de Resultados	80
VI.	CONCLUSIONES	82
	Sugerencias para Investigaciones Futuras	84
	BIBLIOGRAFIA	85
	ANEXO N° 1 :	75
	Diagrama de Flujo del Modelo de Simulación del Acarreo por Camiones en una Mina a Cielo Abierto	
	ANEXO N° 2 :	
	Listado del Programa	
	ANEXO N° 3	
	Resultados de la Simulación	

APENDICE A	91
Generación de Números Aleatorios	
APENDICE B	94
Generación de Variables Estocásticas	
B.1 Introducción	94
B.2 Generación de Variables Estocásticas a partir de una distribución normal.	97

CAPITULO I

INTRODUCCION GENERAL

1.1 INTRODUCCION

La Industria de la Minería a Cielo Abierto esta enfrentándose con constantes problemas, más que en alguna otra época de su historia. La demanda del mineral para el presente y futuro se incrementan rápidamente, y esto ejerce sobre la industria una enorme presión.

Los cuerpos cercanos a la superficie ya han sido explotados en su gran mayoría, pero la demanda esta obligando a abrir y/o profundizar otros depósitos. Claro esta que esto va acompañado de una fuerte inversión a la cual se adiciona la complejidad geológica y la demanda de una alta tecnología para poder mover el

el material sobreaciente al depósito y poder desarrollar el minado a Cielo Abierto. Para esto es necesario acarrear un gran volumen de material rápidamente, en forma eficiente y a menores costos.

Las operaciones de minado convencionales, tienen algunas dificultades en el uso eficiente y coordinado de los sistemas de acarreo, en la medida que estos se encuentran interrelacionados con las rutas más económicas de minado, implicando que estos deben ser considerados para obtener los resultados deseados.

Los factores que afectan estos sistemas tienden a ser complejos y que su identificación va más allá del alcance de la intuición y experiencia. Desde que el Supervisor de Minas, tiene a su responsabilidad la explotación de los yacimientos mineralizados en forma segura y económica, frecuentemente se ve ante problemas como el análisis de la interdependencia del sistema (hombre - maquinaria - materiales) en el proceso de la toma de decisiones. Debido al crecimiento de este complejo (hombre - maquinaria - materiales), la Supervisión esta continuamente investigando por nuevas técnicas que se complementen con su experiencia.

Es aquí donde surge la Simulación de Sistemas como una técnica que brinda su ayuda a la Supervisión en el proceso de la toma de decisiones. Desde su advenimiento en la Segunda Guerra Mundial, donde fue empleada con fines militares y hasta los momentos actuales, a justificado su aplicación en los diferentes sectores de la Industria.

La simulación es una de las técnicas más versátiles de la Investigación de Operaciones, y es la más idónea para ser aplicada al análisis del sistema complejo del acarreo de materiales. Por otro lado cabe mencionar que para éstos sistemas complejos es necesario un computador que pueda procesar una gran cantidad de datos y realizar operaciones matemáticas con gran rapidez.

Finalmente el lenguaje elegido para hacer el programa depende de muchos factores. La Industria de la Informática y Computación, específicamente la Internacional Business Machine (IBM), ha diseñado un lenguaje que puede ser asimilado fácil y rápidamente, ya que no se necesita el conocimiento previo ni experiencia en la programación; además es tan compacto como ningún otro, me estoy refiriendo al General Purpose Simulator System (GPSS)

1.2 EXPOSICION DEL PROBLEMA

Debido a que el Supervisor se ve frecuentemente en problemas en el proceso de la toma de decisiones , los cuales va más allá de su experiencia e intuición, por lo tanto, se ve en la necesidad de pasar del campo de la toma de decisiones subjetivas, a un proceso de toma de decisiones objetivas.

Particularmente en la Minería a Cielo Abierto y la Industria de Construcción, el sistema adecuado de acarreo de material es un problema con el cual el Supervisor se enfrenta constantemente. Frente a esto, la Investigación de Operaciones presenta la técnica de la Simulación como una alternativa.

En este trabajo se desarrolla un modelo que analiza el problema del acarreo tal como son encontrados en la realidad. El modelo es programado en el Lenguaje GPSS (General Purpose Simulator System); el cual usando una computadora asigna ciclos de trabajo a los camiones entre sus puntos de carga y descarga a lo largo de una ruta de acarreo medida.

1.3 PROPOSITOS Y ALCANCES

El simulador expuesto ayudará a la Supervisión a evaluar esquemas alternativos de acarreo, reduciendo el riesgo inherente a la selección y asignación de equipos a los sistemas de palas y camiones en las minas a cielo abierto.

Los parámetros de entrada para la operación del modelo por ejemplo, incluyen al tiempo de operación - por guardia, número y tipo de camiones y palas operando, velocidades y aceleraciones máximas de los camiones, característicos de las rutas de acarreo, distribución de los tiempos de reparación de los equipos parados por fallas mecánicas, etc.

Este modelo, por lo tanto, puede simular sistemas complejos permitiendo el transporte de materiales desde múltiples frentes de minado, hacia múltiples destinos, mediante la rápida adaptación hacia una gran variedad de planes de minado.

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEORICO

2.1 SISTEMA

Es un conjunto de elementos que interactúan entre sí y cuyo comportamiento se desea estudiar.

Es decir, que el sistema es el objeto de estudio, tales como por ejemplo : un banco, una red de comunicaciones, un aeropuerto, una mina, etc.

Composición de un Sistema

Todo sistema esta compuesto por elementos bien definidos cuya interacción causa el comportamiento del sistema.

Los elementos son los siguientes.

- ENTIDAD : Una parte u objeto de interés en un sistema
- ATRIBUTO : Propiedad de una entidad
- ACTIVIDAD : Proceso que causa cambio en una entidad
- ESTADO : Descripción de los atributos de - todas las entidades y actividades de un sistema, en un instante dado.

A continuación se ilustra estas definiciones

<u>SISTEMA</u>	<u>ENTIDAD</u>	ATRIBUTO	ACTIVIDAD
Banco	Cliente	Saldo	Depositar
Muelle	Barco	Capacidad	Atracar
Aeropuerto	Avión	Velocidad	Aterrizar
Mina	Camión		Descargar

Como ejemplos de Estado podría ser el de un sistema de transporte de una mina donde se indican :

- Número de camiones
- Ubicación de los camiones
- Velocidad de los camiones, etc.

Las actividades pueden clasificarse en :

- ENDOGENAS : Aquellas que ocurren dentro del sistema

- EXOGENAS : Aquellas que ocurren fuera del sistema, pero lo afectan.

De esta manera los sistemas se clasifican en

- CERRADOS : No contienen actividades exógenas
- ABIERTOS : Contienen actividades exógenas

2.2 MODELOS

El primer paso en la simulación de sistemas es la construcción de un modelo de una organización o empresa; y de esta manera se está creando el " Laboratorio de la Gerencia".

Este proceso de la modelación puede ser dividido en dos fases :

- 1º La identificación de los problemas y objetivos de la organización.
- 2º La formulación de un modelo donde se represente la interrelación de los factores significativos.

Con esto se puede definir lo que es un modelo - "Es una representación de un sistema, que puede ser utilizada para estudiar el comportamiento de éste"

Una gran cantidad de supervisores han sido capa

ces de lograr un alto nivel de juicio, basa en su intuición y experiencia, pero hay que tener presente que esto se logra con una gran inversión de dinero y tiempo en la experimentación, sin embargo la Dirección puede tener ahora su propio laboratorio en la cual puede experimentar; un laboratorio donde puede aprender rápidamente- probablemente más a fondo- y a costos inferiores en comparación a los que serían obtenidos de la experiencia de los sistemas reales.

Los modelos matemáticos de sistemas complejos son generalmente de gran extensión y muy detallados. - Algunas veces convertido en la única vía para implementar éstos modelos, es el uso de la simulación computarizada. El hecho de representar un sistema, implica el procesamiento de una gran cantidad de datos y de operaciones, haciendo esto necesario el uso del computador electrónico.

Variados y rigurosos procedimientos son utilizados en la elaboración de un modelo de simulación. El grado de refinamiento depende de

- 1º La naturaleza del sistema
- 2º La retroalimentación de la información requerida
- 3º El nivel deseado en la información de salida.

2.2.1 Tipos de Modelos

Existen una gran variedad de clasificación de los modelos, para efectos de este trabajo se toman la clasificación hecha por Manula y Sanford (*).

Los tipos de modelos considerados son:

- 1.- Modelo Físico Este modelo esta dirigido a observar lo que se esta representando, por ejemplo, un mapa o una máquina prototipo.
- 2.- Modelo Operacional Este es una analogía y esta representada por una secuencia lógica de operaciones, tales como ellas existen en la realidad, tal como un computador analógico.
- 3.- Modelo Conceptual.- Este tipo representa la realidad sólo en esencia, y sus interacciones son establecidas por expresiones matemáticas.

El tercer tipo de modelo es usado en la Investigación de Operaciones, y será el que consideramos en este trabajo. Este modelo proporciona facilidades -

(*) Department of Mineral Preparation College of Earth and Mineral Science. The Pennsylvania State University

al investigador por considerar la operación en su conjunto, antes que como una serie de suboperaciones des conectadas. Además, el modelo conceptual es una representación objetiva de un problema que por su estructura nos permitirá hacer manipulaciones para obtener respuesta a ciertas preguntas. Esencialmente el modelo es una hipótesis.

2.2.2 Modelos Conceptuales

Como modelos conceptuales son llamados estáticos ó dinámicos y de estado fijo o transciente. Estos últimos serán discutidos más adelante, sin embargo es apropiado presentar su diferencias ahora

- 1.- Un modelo estático, no es dependiente del tiempo.
- 2.- Un modelo dinámico tiene interacciones que varían con el tiempo.
- 3.- Un modelo de estado fijo es repetitivo con el tiempo.
- 4.- Un modelo transciente sufre cambios en sus características con el tiempo.

Es importante también mencionar el concepto de modelo abierto y cerrado.

Sus características son las siguientes.

- 1.- Un modelo abierto funciona sólo bajo la influencia de las variables exógenas
- 2.- Un modelo cerrado genera información internamente, no necesita recibir ningún input de una fuente externa.

Hay grados variables en lo que se refiere al grado de considerar modelos abiertos o cerrados, y algunas veces pueden ser combinación de ambos.

Esto implica que hay una gran diversidad de modelos.- Entonces el rol del investigador consiste en decidir cual es el menos complejo, pero que se aproxime al sistema real bajo estudio.

Los modelos dinámicos, transcientes y cerrados son implementados con gran dificultad y son más costosos que los estáticos y los de estado fijo.

Modelo de Estado Fijo

Un modelo de Estado Fijo, ha sido definido como el que no es repetitivo con el tiempo. Muchos sistemas y subsistemas en los cuales la retroalimentación de la información no produce cambios en las características del modelo se prestan para ser estudiadas por este método. Se ha hecho algunos estudios donde

se usa el modelo de Estado Fijo para analizar los sistemas de minado, tales como, acarreo por fajas - transportadoras y el acarreo por trenes. Estos son concernientes con las construcción de modelos, de ciertos segmentos aislados del sistema de producción. La desventaja de este modelo es el no poder aproximarse a sistemas de minado que cambian con el tiempo; se sabe que continuamente se están abriendo nuevas zonas de trabajo, las rutas de acarreo son extendidas y algunas veces son reasignadas, además la performance del equipo no es constante. Por lo tanto, una unidad minera no podrá ser adecuadamente descrita por un modelo, ya que esta es un sistema de producción de cambios constantes con el tiempo.

Modelo Dinámico

Muchos sistemas tales como el acarreo en una mina a cielo abierto, o en una mina moderna de carbón, son dinámicos, ya que éstas poseen interacciones que varían con el tiempo. Algunas veces son llamadas transcientes desde que las características del sistema están constantemente cambiando.

El sistema de acarreo por camiones en una mina a Cielo Abierto puede ser descrito por un modelo

cerrado. Esto es razonable desde que el objetivo es generar información desde el modelo, el cual representa la política de la dirección.

Entonces podemos construir un modelo dinámico que sea cerrado para poder aproximarnos más a la realidad.

2.3 SIMULACION

2.3.1 Definición

Consiste en estudiar el comportamiento de un sistema a través del comportamiento de un modelo.

Desde el punto de vista de la Investigación Operativa, la simulación se puede definir como " La Técnica de Investigación de Operaciones, la cual tiene como finalidad, evaluar alternativas en el diseño de un sistema; predecir el comportamiento del mismo".

2.3.2 Componentes de un modelo de Simulación

En la sección anterior vimos la que era un modelo y su clasificación, ahora veremos los componentes de éstos

- 1.- Variables Exógenas .- estas variables actúan sobre el sistema, pero no recibimos ninguna acción por parte de éste.
- 2.- Variables de Estado .- describen el estado - del sistema o uno de sus componentes en relación al tiempo.
- 3.- Variables Endógenas .- Son las dependientes o de salida del sistema.
- 4.- Identidades Son las relaciones funcionales que describen la interacción de las variables y los componentes de un modelo.
- 5.- Características de Operación .- son las relaciones funcionales que aplicados a procesos estocásticos toma la forma de funciones de densidad de probabilidad.
- 6.- Parámetros .- los parámetros de las características de operación son derivados de las inferencias estadísticas.

2.3.3 Ciclos de la Simulación

Varios autores han desarrollado un ciclo de simulación, los cuales varían en terminología y en número de fases o etapas, todas generalmente siguen un patrón general, el mismo que se muestra en la (Fig. N° 1).

- a).- **Formulación** .- el primer requerimiento es la correcta identificación de las metas y objetivos de la simulación.
- También de esta fase deben considerarse otros elementos, tales como, la manera de medir la efectividad, selección de criterios, fijar - el contexto dentro del cual los problemas serán resueltos y descubrir las variables que entran en operación, así como las interrelaciones.
- b).- **Recopilación de datos** esta fase es la recolección de datos. El lograr un balance apropiado entre la recopilación de datos y el análisis teórico es esencial, pero a menudo de difícil de lograr.

- c).- Conceptualización del sistema el análisis deberá conceptualizar el sistema antes de crear el modelo de dicho sistema.

- d).- Diseño de modelo.- el analista diseñará el modelo basado en la conceptualización del sistema y los datos disponibles. El modelo diseñado deberá proporcionar la información requerida por las metas y objetivos de la simulación.

- e).- Procesamiento del modelo .- esta fase se refiere al procesamiento en computadoras.

- f).- Análisis de resultados - las corridas iniciales del modelo son usadas para verificar a este. Una vez verificado el modelo es procesado con la entrada de datos necesarios para analizar las diferentes alternativas. El analista debe examinar la predicción del modelo, derivar conclusiones acerca de él e indicar un curso de acción.

- g).- Validación de resultados .- es posible cuando las conclusiones obtenidas en el paso anterior son examinadas.

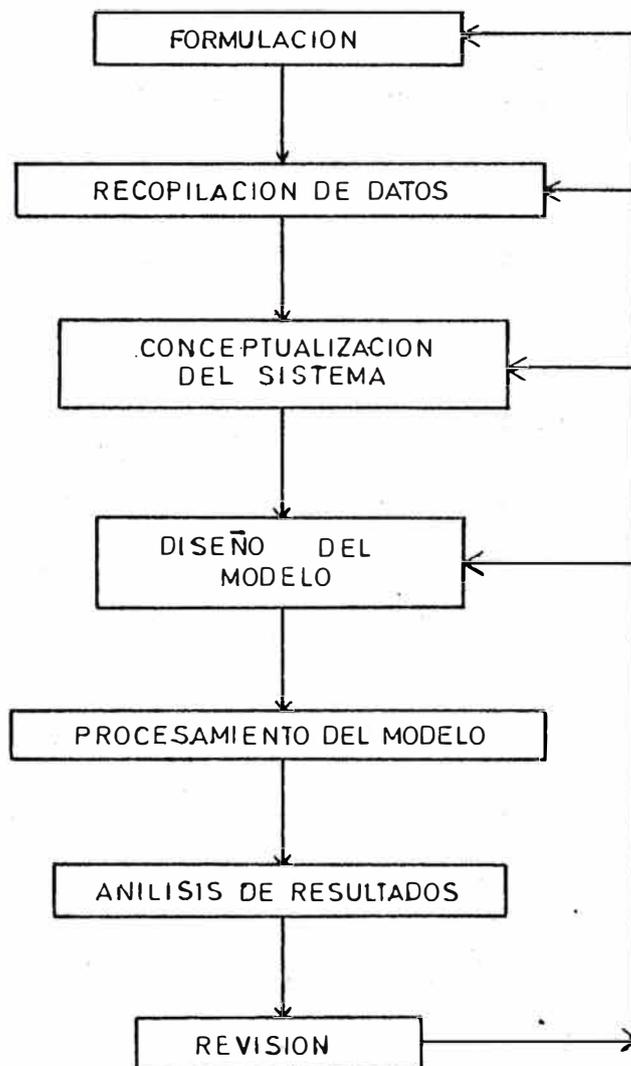


FIGURA.1

CICLO DE SIMULACION

- h).- Revisión .- es importante que un profesional independiente, revise el comportamiento de la simulación para asegurar cosas tales como:: análisis de sensibilidad, validez de datos documentación y redundancia.

2.3.4 Usos de la Simulación

Hay varias razones para usar la simulación :

- a).- Puede ser imposible o extremadamente costoso observar ciertos procesos.
- b).- El sistema observado puede ser tan complejo que no puede ser descrito por una serie de ecuaciones matemáticas capaces de llegar a una solución analítica.
- c).- Puede ser imposible o extremadamente costoso realizar experimentos que examinen la validez de una hipótesis o de un modelo matemático.

Así también hay varias razones para no usar la simulación :

- a).- Cuando pueden usarse otras técnicas más simples
- b).- Cuando los datos son inadecuados.
- c).- Cuando los objetivos no están claramente definidos.

d).- Cuando se trata de problemas secundarios.

2.3.5 Alcances de la Simulación

Como alcances de la simulación tenemos :

- a).- Los modelos de simulación se han ido desarrollando rápidamente y prometen convertirse en una técnica dominante en los próximos años - que ayudará a la dirección en el proceso de la toma de decisiones.
- b).- Permite probar una serie de alternativas sin alterar el sistema real. Es el "Laboratorio de la Dirección "
- c).- Suministra un enfoque a muchos problemas que no podrían resolverse mediante otras técnicas conocidas.
- d).- Puede permitir para un modelo determinado la reducción de años de experiencia a pocas horas.

2.3.6 Limitaciones de la Simulación

A continuación mencionamos limitaciones inherentes a la simulación :

- a).- Una de ellas deriva del hecho que las medidas de efectividad por las cuales una juzga el valor de la alternativa escogida no son nunca realmente conocidas. Aún si la simulación esta propiamente diseñada a investigar la sensibilidad de los resultados según las variaciónes de los parámetros suficiente tiempo y dinero rara vez son disponibles de este tipo.

- b).- Si las probabilidades asociadas con cada enlace de eventos, no son conocidas exactamente - (como es usualmente en el caso), entonces hay una inexactitud inherente en los resultados de la simulación.

- c).- La simulación es cara y no debe ser emprendida sin la seriedad. Por ello un estudio de beneficios de la inversión deberá ser hecho antes de emprender una aplicación de la simulación.

2.4 TECNICAS DE SIMULACIÓN

En general hay dos técnicas de simulación para presentar la performance de una máquina en el modelo. La primera de éstas es la Simulación Determinística o Simulación Stándar, se basa en el cálculo veloz de

la performance del equipo, mediante la aplicación - de determinadas ecuaciones que relacionan la fuerza, masa, aceleración y medio ambiente donde la máquina esta trabajando. La segunda técnica es la llamada - Simulación Estocástica, esta hace uso de las funciones de distribución de probabilidades basadas en - estudios de tiempos para mostrar el cálculo de la performance.

2.4.1 Simulación Determinística

Dentro del área de problemas especiales donde el movimiento de equipo ha de ser simulado, la simulación determinística brinda su ayuda al eliminar el estudios de tiempos. Este atributo presenta grandes ventajas sobre la simulación estocástica, éstas son:

- a).- Por eliminación del estudio de tiempos, el costo y cantidad de tiempo necesario para la obtención de éstos datos es reducida.

- b).- Proporciona una armazón objetivo para la comparación de la performance, eliminando la influencia de fuerzas desconocidas de carácter humano.

La implementación de la Simulación Determinística es proporcionada por una ecuación muy familiar:

$$F = m \cdot a \quad (1)$$

La cual es la segunda ley de Newton. Despejamos de esta la aceleración y tenemos:

$$a = F/m \quad (2)$$

Donde F representa el vector fuerza resultante sobre un cuerpo de masa m. El vector resultante ha sido determinado de (1) sumatoria de fuerzas en una dirección, la fuerza de fricción y resistencia a la gradiente, determinando directamente la aceleración.

Algunos investigadores que han hecho uso de la simulación Determinística, dicen que sí el modelo produce cerca del 10 % de similitud con la situación real en el proceso de prueba, este se puede considerar como satisfactorio.

2.4.2 Simulación Estocástica

Debido a su naturaleza fortuita, es más conocida como la simulación de Monte Carlo. Pueden ser

probadas funciones de distribución probabilística - tanto empíricas como standar, dentro de los límites de la función, los valores de las variables fortuitas ocurren al azar, pero en la misma proporción que ocurre en el sistema real.

En el modelo de acarreo mediante camiones, la simulación probabilística se usa donde las fluctuaciones del sistema son más marcadas, debido al comportamiento al azar, tal como en las determinaciones de tiempos y pesos de carguío y los tiempos de descarga. Debe tenerse en cuenta que deben definirse distribuciones características y especiales para cada camión o combinación de camión-pala.

En muestreo de Monte Carlo, usa números al azar para determinar los valores de las variables fortuitas, mediante el empleo de funciones de distribución probabilísticas o un gráfico de polígono de frecuencias acumuladas, del elemento en particular.

Si se obtiene un buen arreglo, la distribución teórica puede ser usada para calcular directamente elementos de tiempo, como una ecuación algebraica. Unicamente, la computadora necesita los parámetros característicos de la distribución, indicando el grado de tendencia central.

Esto no sólo libera una gran cantidad de capacidad de almacenamiento de la computadora, el cual se puede usar para otros trabajos, sino que el número de operaciones realizadas se reduce considerablemente, mejorando la eficiencia y economía del modelo.

CAPITULO III

SIMULACION MANUAL Y COMPUTARIZADA

La aplicación de las técnicas de simulación se pueden llevar a cabo manualmente o en computadoras manualmente cuando el sistema es sencillo o cuando la información no es abundante, pero se cuenta con una gran cantidad de datos, la computadora se hace necesaria para procesar tal cantidad de información y más aún si el sistema a simular es complejo.

3.1 SIMULACION MANUAL

Para mostrar lo expresado en líneas arriba, desarrollaremos un modelo en forma manual, aplicando primero la técnica de la simulación determinística, para luego hacerlo estocásticamente.

Pero antes sería necesario recordar a manera de resu-

men; algunas de las características de los problemas donde la simulación puede ser aplicada satisfactoriamente

- 1.- En condiciones de incertidumbre
- 2.- Interacción dinámica entre eventos y decisiones
- 3.- Interrelación compleja entre variables y el sistema.
- 4.- Cambio continuo de las condiciones de estado del sistema.

Además hay 2 tipos de orientaciones en cuanto al tiempo y que son usados en los modelos de simulación:

- a). Diferencial de tiempo (Δt) .- en un modelo donde se toma un Δt , el sistema simulado es observado en intervalos fijos de tiempos. Los intervalos de tiempo están en función del intervalo Δt .
- b). Evento - resultado de un experimento.

3.1.1 Simulación Determinística

Presentaremos el caso de un sistema pala-camión, donde se podrá observar el modelo según el tiempo de ocurrencia de ciertos eventos; tales como el carguío -

del camión, viaje al punto de descarga, la descarga y el retorno a la pala para iniciar nuevamente el mismo proceso, se tiene como dato el tiempo de un ciclo completo.

Datos :

Tiempo de carguío	=	96	seg.
Acarreo	=	300	seg.
Descarga	=	120	seg.
Retorno	=	290	seg.
Maniobras	=	60	seg.
		<hr/>	
		770	seg.

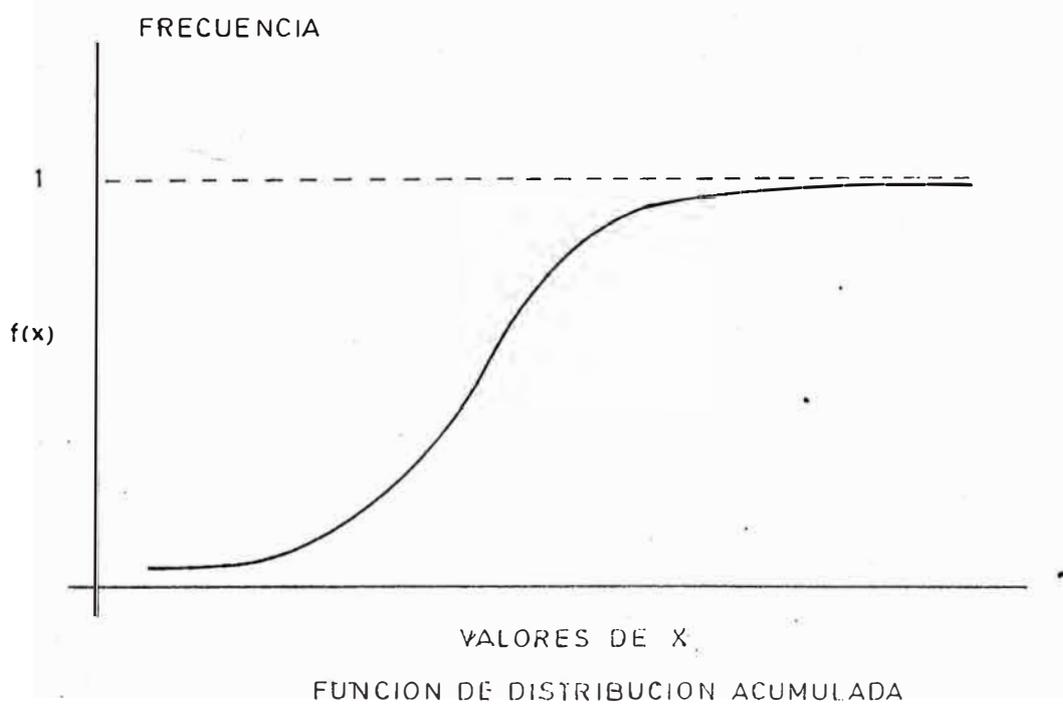
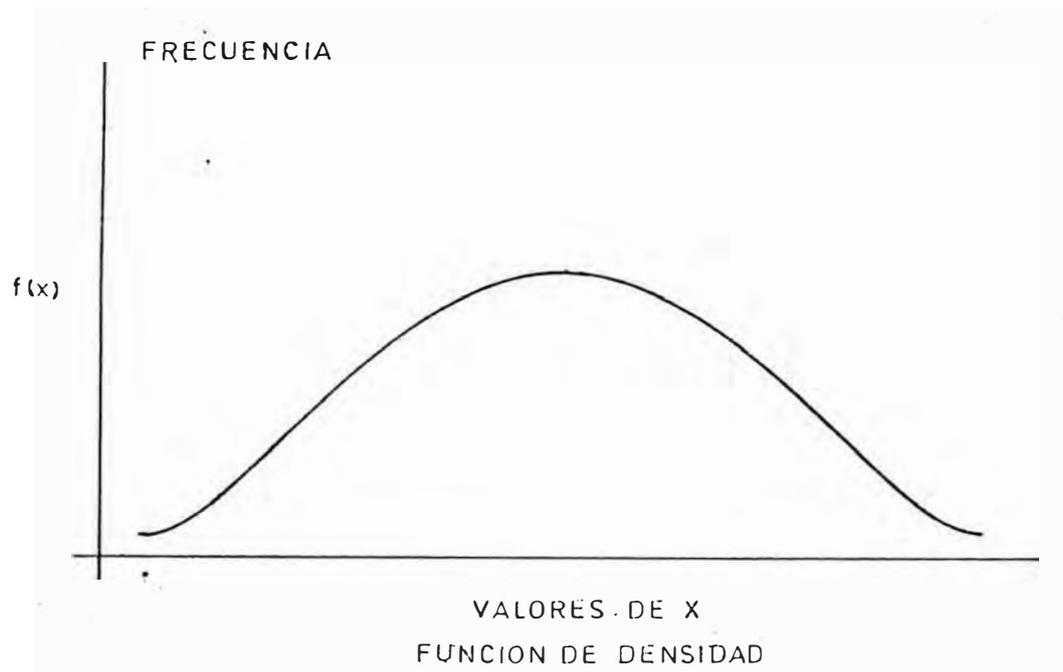
$$\text{N}^{\circ} \text{ de camiones requeridos} = \frac{770}{96} + 1 = 9$$

(ver cuadro).

3.1.2 Simulación Estocástica

En la simulación estocástica las variables , tales como el tiempo de carguío, el tiempo de viaje, son gobernados por distribuciones probabilísticas. - Esto es, tales variables no siempre tienen el mismo valor como en la simulación determinística. Los conceptos básicos de las probabilidades requeridos, son la función de densidad (F (x)) y la función de distribución probabilística acumulada (F (x)).

Nº	EVENTO	DURANCION ACTIVIDAD	TIEMPO DEL RELOJ	PROXIMO EVENTO
1	Camión 1 cargado	96	96	Retornará en 866
2	Camión 2 cargado	96	192	Retornará en 962
3	Camión 3 cargado	96	288	Retornará en 1058
4	Camión 4 cargado	96	384	Retornará en 1154
5	Camión 5 cargado	96	480	Retornará en 1250
6	Camión 6 cargado	96	576	Retornará en 1346
7	Camión 7 cargado	96	672	Retornará en 1442
8	Camión 8 cargado	96	768	Retornará en 1538
9	Camión 9 cargado	96	864	Retornará en 1634
10	Espera extra	2	866	
11	Camión 1 cargado	96	962	Retornará en 1732



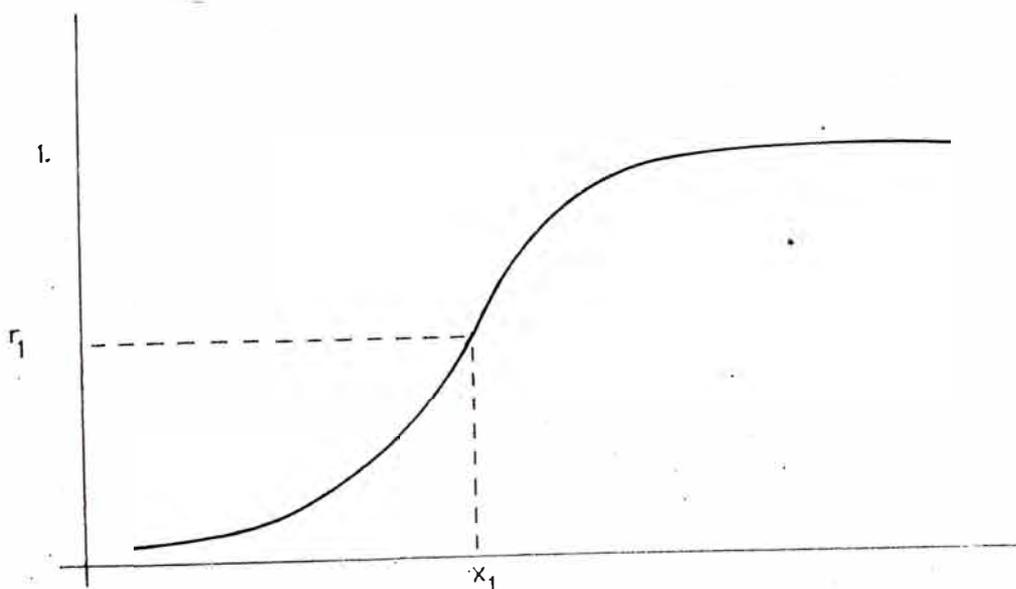
El procedimiento para determinar el valor de las variables estocásticas es realizado de la forma siguiente :

- 1.- Iniciar con la densidad acumulada

$$P [t \leq x] = F(x) = \int_{-\infty}^x f(u) du$$

- 2.- Seleccionar una variable distribuida uniformemente la cual es "llamado número random", en el intervalo $[0,1]$ digamos r_1

- 3.- $F(x) = r_1$ para x
o proyectar horizontalmente sobre la función acumulada y seleccionar x_1 , como sigue :



VALORES DE X

Ejemplo de Simulación Estocástica

Una pequeña mina en operación tiene una pala, y se necesita conocer el número de camiones requeridos para asegurar que la pala no tenga esperas por camiones para un intervalo de 20 minutos.

Desarrollo del Modelo

- Encontrar una operación similar donde se conoce
Tiempo de carguío = 2 min.

Tiempo de viaje (min)	Nº de Observaciones	Probabilidad acumulada
6	40	0.4
7	60	0.1
8	90	0.19
9	150	0.34
10	150	0.49
11	150	0.64
12	160	0.80
13	80	0.88
14	70	0.95
15	<u>50</u>	1.00
	1000	

Cálculo por fórmula :

$$\text{Nº de camiones} = 1 + \frac{\text{tiempo medio del ciclo}}{\text{tiempo de carguío}} = 1 + \frac{10.5}{2} = 6$$

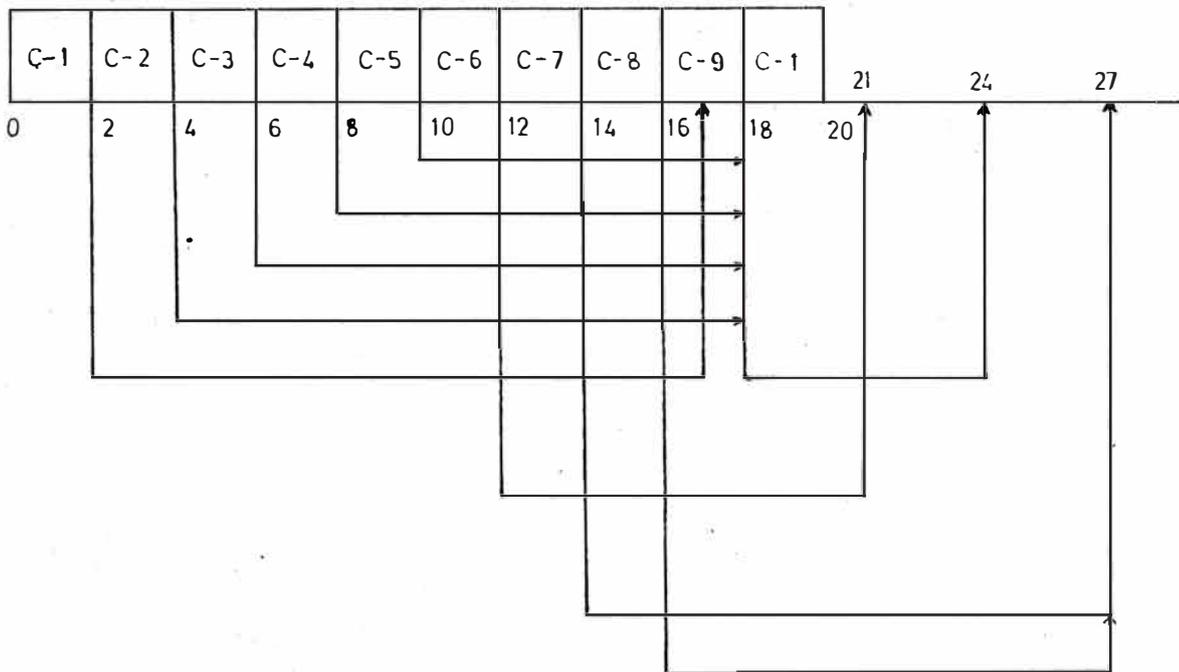
Ahora, si se generan los números Random (*) se tendrá :

<u>Nº Randon Generado</u>	<u>Tiempo de viaje</u>
r ₁ = .99	15
r ₂ = .95	14
r ₃ = .80	12
r ₄ = .37	10
r ₅ = .11	8
r ₆ = .30	9
r ₇ = .87	13
r ₈ = .55	11
r ₉ = .04	6
r ₁₀ = .09	<u>7</u>
	total · 105

$$\text{Tiempo medio del ciclo} = \frac{105}{10} = 10.5$$

(*) Ver Apéndice A - Generación de Números Random

Necesitamos 9 camiones



3.2 **SIMULACION COMPUTARIZADA**

Actualmente se cuenta con computadoras muy sofisticadas, haciendo que la simulación tome otro significado; debido a que se pueden experimentar con modelos matemáticos (que describen algún sistema de interés), en una computadora.

Esta experiencia implica el problema de la escritura de programas; para ser procesado por las computadoras, una forma de hacer frente al problema de la programación de experimentos de simulación consiste en escribir un programa especial para simular cada sistema utilizando lenguaje de propósitos generales, tales como el FORTRAN, COBOL, PL₁, etc.

Pero, también se han diseñado lenguajes cuyo objetivo es simplificar la labor de escribir el programa de simulación para diversos tipos de modelos y sistemas; los lenguajes más conocidos son : EL GPSS, DIMSCRIPT, GASP, SIMPAC, DYNAMO, SIMULATE.

3.3 LENGUAJE DE SIMULACION

Los lenguajes de simulación difieren considerablemente por el grado en que se hace posible su aplicación a tipos particulares de sistemas y hasta el grado en que pueden suministrar procedimientos de simulación o menos automáticos.

Del mismo modo, cualquier reducción en el tiempo de programación que sea lograda mediante la utilización de lenguaje de simulación está asociada con incrementos en el tiempo de cómputo y su costo.

En lo que se refiere al diseño de los lenguajes de simulación, estos deben considerar las siguientes pautas :

- a).- Descripción estructural La estructura de un modelo especifica la interrelación entre las variables independientes y dependientes. La

- b).- Parametrización .- La parametrización de un modelo permite especificar los coeficientes de las ecuaciones, condiciones, límites y condiciones iniciales en la forma de expresiones aritméticas generales.
- c).- Control algorítmico .- una biblioteca de algoritmos puede ser provista para cada lenguaje y el usuario puede seleccionar el algoritmo apropiado.
- d).- Reprocesamientos múltiples .- la capacidad de reprocesamientos múltiples permite procesar - diferentes parámetros, obteniendo sus respectivas soluciones en una hornada de procesos cíclicos.
- e).- El control de inicialización .- permite la manipulación algorítmica de los datos de entrada previos al inicio de la corrida de simulación.
- f).- Control de terminación - puede ser incondicional, por ejemplo de 100 interacciones de un algoritmo, o puede ser condicional cuando por ejemplo es formulado en términos de error relativo aceptable entre las soluciones de dos iteraciones.

- g).- Control de salida flexible.- el control de salida específica el formato en el cual debe ser presentada la solución, por ejemplo listados numéricos, alfanuméricos, imprimir gráficos, etc.
- h).- Uso de extensiones .- el uso de extensiones permite incorporar los sub-programas definidos por el usuario dentro del programa de simulación.

3.4 LENGUAJES EMPLEADOS EN SIMULACION

El lenguaje de simulación mas apropiado para un estudio en particular depende principalmente de la naturaleza del sistema a estudiarse y de la habilidad del programador, siendo este último importante en el sentido de que pueda dar al programa de simulación una máxima flexibilidad. Estos pueden dividirse en dos grupos :

3.4.1 Lenguaje de propósitos generales

Los cuales no han sido creados específicamente orientado hacia la simulación y en los cuales se requiere escribir un programa especial para simular el sistema a estudiar.

Este programa especial incluye el diseño y formulación del Modelo Matemático del Sistema, y los formatos de los reportes de salida.

Dentro de este grupo de lenguaje de propósitos generales se tienen por ejemplo :

FORTRAN	ALGOL
COBOL	PL/1
	FORTRAN

3.4.2 Lenguajes de simulación propiamente dichos

Estos lenguajes tienen la finalidad de simplificar el trabajo de escribir los programas de simular ya que éstos se han escrito teniendo en cuenta lo siguiente :

- La estructura es genérica para el diseño
- Permite pasar rápidamente del modelo a simular al programa de computación.
- Permite modificar el modelo de simulación de tal forma que este cambio puede efectuar sin ninguna dificultad en el programa.
- Proporcionar una forma simple de obtener los reportes de salida.

Esta forma genérica, se puede decir que estos lenguajes de simulación son aplicables en cada caso de tipos particulares del sistema a simular.

Entre los lenguajes de simulación se tienen :

GPSS II	SIMPAC	CSMP
SIMSCRIPT	SIMULANTE	PDEL
DYNAMO	GSP	
GASP		

En resumen, la decisión relativa de la utiliza
ción de un lenguaje de simulación en particular -
depende principalmente de consideraciones económicas
como :

- 1.- Disponibilidad del computador
- 2.- Disponibilidad de programar con conocimientos
de lenguaje de computación
- 3.- Costo de programación por unidad de tiempo
- 4.- Costo de tiempo de computadora.

CAPITULO IV

INTRODUCCION AL GPSS

General Purpose Simulator System (GPSS) es un Paquete de aplicación creado por IBM para procesar modelos de Simulación Discreta.

GPSS contiene un lenguaje de programación que le da gran versatilidad. Este lenguaje puede considerarse de más alto nivel que FORTRAN, ASSEMBLER y PL1, porque no requiere programar en detalle cada movimiento de información, lectura ó cálculo, etc. - Aunque conceptualmente no es riguroso, desde un punto de vista didáctico, se puede decir que cada instrucción del lenguaje GPSS equivale a una subrutina de un lenguaje de más bajo nivel. El programa GPSS está escrito en lenguaje ASSEMBLER Y donde la lectura del sistema a simular se describe en forma de dia

grama de bloques, los cuales se dibujan de acuerdo con un conjunto fijo dado de tipos de bloques.

4.1 ELEMENTOS DE GPSS

4.1.1 Transacciones

Las transacciones representan las entidades del modelo que son los elementos que fluyen a través de él; por ejemplo : automóviles, barcos, camiones , etc.

Las transacciones se crean durante el proceso, se mueven a través del modelo en forma similar a las entidades que representan del sistema real, y finalmente son eliminadas del proceso.

Cada transacción tiene asociado un conjunto de parámetros en los que el usuario puede guardar los atributos o características propias de la transacción, por ejemplo, el número de muelle al que se dirige un barco, número de la partición de memoria de un computador en la que será procesado un programa.

4.1.2 Equipos

Los equipos representan los elementos que atienden o dan servicio a las transacciones. Son de dos tipos :

- a).- Equipos monoprocesadores .- pueden atender hasta una transacción a la vez. Ejemplo : un teléfono, la unidad central de procesamiento (CPU) de un computador 360/40, etc.

- b).- Equipos multiprocesadores (STORAGE).- pueden atender varias transacciones al mismo tiempo. Ejemplo : un cine, la memoria de un computador 360/50, etc.

4.2 INSTRUCCIONES DEL LENGUAJE

Se emplean para describir el modelo. Las funciones básicas de éstas instrucciones son las siguientes :

- a).- Crear y eliminar transacciones
- b).- Detener el avance de las transacciones
- c).- Modificar el recorrido normal de las transacciones.
- d).- Modificar las propiedades de las transacciones.

Reloj

Con el objeto de respetar las secuencias de las actividades en el tiempo. GPSS tiene un reloj (CLOCK TIME), que indica la cantidad de unidades de tiempo - que han transcurrido desde el comienzo de la simulación.

El reloj avanza en unidades enteras de tiempo - que representa la unidad elegida por el usuario, que puede ser cualquiera. Esta unidad no se define en forma explicativa, sino que todas las estimaciones de tiempo usadas en un modelo, deben estar en la misma unidad.

Formato General de las Instrucciones

Cada instrucción del programa se entre con eñ siguiente formato :

<u>COLUMNA</u>	<u>CONTENIDO</u>
2 - 6	Label o rótulo de la instrucción (operativo)
8 - 17	Nombre de la instrucción
19 - 71	Parámetro de la instrucción.

El label debe contener 3 a 5 caracteres distintos del blanco, y los 3 primeros deben ser alfabéticos (A-Z). Los parámetros se perforan en columnas seguidas separadas entre sí por comas. Los espacios que ocupan se llaman campos, los cuales se designan genericamente por las letras : A, B, C, D, E, F, G y H. Estos parámetros son posicionales, después del término de los parámetros es decir, a continuación de uno o más blancos, se puede colocar los comentarios que el usuario desee.

Formato General de los Blocks - Definición

Se usan para definir elementos tales como funciones, tablas de frecuencia, capacidad de los multi procesadores, etc.

Tienen el siguiente formato

<u>COLUMNA</u>	<u>CONTENIDO</u>
2 - 6 label	Nombre o dígito que identifica al elemento que se define.
8 - 17 Operac.	Tipo de elemento que se va a definir
19 - 71 Operac.	Parámetro de la definición.

4.3 INSTRUCCIONES BASICAS

El GPSS tiene un grupo de instrucciones con los cuales pueden simularse con efectividad diversos problemas prácticos ; este grupo de instrucciones básicas puede además ser aprendido rápidamente , éste subset esta formado por :

- 5 instrucciones de control
- 18 instrucciones de definición
- 5 instrucciones de entrada

Además hace de 19 atributos numéricos Standar; este subset es mostrado en la Tabla Nº 1 , valdría la salvedad de que este grupo de instrucciones es arbitrario, se puede seleccionar diferentes subset de acuerdo a la función que cumple cada bloque y/o instrucción.

4.4 INSTRUCCIONES COMPLEMENTARIAS

En la sección anterior se manifestó como un pequeño subset puede resolver problemas de simulación, pero cuando éstos problemas requieren modelos

TABLA N°1

INSTRUCCIONES BASICAS DEL GPSS

DESCRIPCION	INSTRUCCION
* INSTRUCCIONES DE CONTROL	
Requerido para la simulación	SIMULATE
Control de la ejecución	START
Fin de la ejecución	END
Reinicializa el modelo	CLEAR
Reinicializa el modelo, llevando a cero las estadísticas acumuladas	RESET
* BLOCK-INSTRUCCIONES DE DEFINICION	
Creación y destrucción de transac- ciones	GENERATE/TERMINATE
Tiempo de detención en un block	ADVANCE
Manipulación o acceso a atributos	ASSIGN,PRIORITY
BLOCKS-ORIENTADOS A EQUIPOS	
Monoprocesadores	SEIZE/RELEASE PREEMPT/RETURN
Multiprocesadores	ENTER/LEAVE
Colas	QUEUE/DEPART
MODIFICACION DE TRAYECTORIAS	
Transferencias	TRANSFER(BOTH,SIM)
Pruebas	GATE, TEST
Conservación y devolución de infor- mación	SAVEVALUE/MSAVEVALUE
* INSTRUCCIONES PARA ENTIDADES	
Capacidad del conservador	STORAGE
Variables	VARIABLE/FVARIABLE

cont.

TABLA N°1

DESCRIPCION	INSTRUCCION
Funciones	FUNCTION (C,D,L tipos)
Definición de un conservador matricial	MATRIX
Inicialización de un conservaodr - matricial	INITIAL
* VARIABLES ESPECIALES	
(SNA)	
Tiempo de reloj	C1
Generador de números Random	RNj
Número de Transacciones/Block	Nj/Wj
Monoprocesadores	Fj
Multiprocesadores	Sj/Rj
Colas	Qj
Conservadores	Xj/XHj/MXj(K ,1)
Entidades Computacionales	MHj(k,1)
Variable	Yj
Funciones	FNj
Número Random	RNj

más sofisticado el grupo de instrucciones dado presenta problemas, por ejemplo, tenemos una cola, podemos estar interesados en la distribución de tiempos de la cola más que en el tiempo promedio de espera, la cual puede ingresar a un block QTABLE, es más, - podemos necesitar la distribución de tiempos entre dos puntos dados del sistema, los cuales pueden ser obtenidos por los blocks TABULATE y MARK.

Ante todo esto surge la necesidad de contar con otros bloques que nos permitan solucionar algunos - problemas como los expresados en el párrafo anterior. Con tal motivo presentamos en la Tabla Nº 2, los blocks-instrucciones que complementan el subset dado anteriormente.

Para mayor ilustración se presenta el ejemplo 3 en la última sección de este capítulo.

Ahora, deseando tener una apreciación global de los blocks-instrucciones del GPSS se hace una fusión de las tablas 1 y 2, y esta se presenta en la tabla 3.

TABLA N°2

INSTRUCCIONES COMPLEMENTARIAS DEL GPSS

DESCRIPCION	INSTRUCCION
* INSTRUCCIONES DE CONTROL	
Inicialización de los generados de Números Random	RMULT
Reasignación de Entidades	REALLOCATE
Conserva el modelo/lectura continua da	SAVE/READ
Job del GPSS	JOB
Impresión de salidas solicitadas por el usuario	REPORT
* BLOCK-INSTRUCCIONES DE DEFINICION	
Creación y destrucción de transac- ciones	SPLIT/ASSEMBLE/JOBTAPE
Manipulación o ingreso de un atri- buto	MARK, INDEX
Sincronización de transacciones	MATCH,GATHER ASSEMBLE
BLOCKS ORIENTADOS A EQUIPOS	
Monoprocesadores	PREEMPT
Switch	LOGIC
Control y selección permanente de transacciones	COUNT,SELECT
MODIFICACION DE LA TRAYECTORIA DE TRANSACCIONES	
Transferencias	TRANSFER (ALL,PICK,FN, SBR)
Pruebas	GATE
Loops	LOOP

CONT.

TABLA N°2

DESCRIPCION	INSTRUCCION
Uso de cadena Grupo de Entidades Acumulación e impresión de Inf. Blocks especiales	LINK/UNLINK JOIN/REMOVE EXAMINE, SCAN, ALTER TABULATE, PRINT,TRACE/ UNTRACE, WRITE CHANGE, EXECUTE,HELP
* INSTRUCCIONES PARA ENTIDADES	
Variable Funciones Tablas Estadísticas	BVARIABLE FUNCTION(E,M,S,tipos) TABLE/QTABLE
* VARIABLES ESPECIALES	
(SNA)	
Transacciones	MPj
Monoprocesadores	FRj/FCj/FTj
Multiprocesadores	SRj/SCj/SAj/SMj/STj
Colas	QCj/QAj/QMj/QZj/QTj
Grupos	Gj
Uso de cadenas	CHj/CAj/CMj/CCj/CTj
Entidades Computacionales	
Variables	BVj
Funciones	FNj

TABLA N°3

INSTRUCCIONES DEL GPSS

DESCRIPCION	INSTRUCCIONES	
* INSTRUCCIONES DE CONTROL		
Requerido para la simulación	SIMULATE	
Control de la ejecución	START	
Fin de la ejecución	END	
Reinicializa el modelo	CLEAR	
Reinicialización de todas las estadísticas acumuladas	RESET	
Inicialización de los Generadores # Random		RMULT
Reasignación de entidades		REALLOCATE
Conservador del modelo/lectura continuada		SAVE/READ
Job del GPSS		JOB
Impresión de salidas solicitadas por el Usuario		REPORT
* BLOCK-INSTRUCCIONES DE DEFINICION		
Creación y destrucción de Transacciones	GENERATE/ TERMINATE	SPLIT/ASSEMBLE, JOBTAPE
Tiempo detenido	ADVANCE	
Manipulación o acceso a un atributo	ASSIGN, PRIORITY	MARK, INDEX

cont.

TABLA N° 3

DESCRIPCION		INSTRUCCIONES
Sincronización de Transacciones		MATCH/ASSEMBLE,GATHER
Blocks orientados a Equipos		
Monoprocesadores	SEIZE/RELEASE,PREEMPT/ RETURN	PREEMPT
Multiprocesadores	ENTER/LEAVE	
Colas	QUEUE/DEPART	
Switches		LOGIC
Contador y Seleccionador permanente de Entidades		COUNT,SELECT
Modificación de la Trayectoria de Transacciones		
Transferencias	TRANSFER(BOTH,SIM)	TRANSFER(ALL,PICK,FN,P,SBR)
Pruebas	GATE,TEST	GATE
Loops		LOOP
Uso de cadenas		LINK/UNLINK
Conservación y evolución de información	SAVEVALUE MSAVEVALUE	
Entidades en grupo		JOIN/REMOVE,EXAMINE, SCAN
Acumulación e Impresión de Información		TABULATE,PRINT,TRACE/ UNTRACE
Blocks especiales		CHANGE,EXECUTE,HELP

cont.

TABLA N°3

DESCRIPCION	INSTRUCCIONES	
Uso de cadenas	CHj/CAj/CMj/CCj/CTj	
Tablas	TCj/TBj/TDj	
Entidades Computacionales		
Variables	Vj	BVj
Funciones	FNj	FNj
# Random	RNj	

4.5 ESTADÍSTICAS

Las estadísticas se acumulan durante el proceso y sirven para conocer el comportamiento del modelo.

Las estadísticas son de dos tipos :

- a).- Entregadas automáticamente
- b).- Solicitadas por el usuario.

Así tenemos las estadísticas entregadas automáticamente:

Estadísticas para monoprocesadores

El programa entrega automáticamente para cada monoprocesador las siguientes estadísticas :

- Número o nombre del monoprocesador (FACILITY)
- Utilización : fracción de tiempo en uso con respecto al total del proceso (AVERAGE UTILIZATION).
- Cantidad total de transacciones que entraron (Número entries).
- Tiempo promedio de estadía de las transacciones en el monoprocesador (AVERAGE TIME/TRANS).
- Número de transacciones en el monoprocesador al terminar el proceso, indicando :
 - En estado SEIZE (SEIZE ing. Trans. Nº)
 - En estado PREEMPT (PREEMPT ing Trans. Nº).

Estadística para colas

Para cola el GPSS entre la siguiente información

- Contenido máximo (QMJ : Maxium Contents)
- Número o nombre de la cola (QUEUE)
- Contenido promedio (QAJ : Average Contents)
- Cantidad total de transacciones que entraron (QCJ : Total Entries)
- Cantidad total de transacciones que entraron por no haber existido cola (QZJ : Zero Entries)
- Porcentaje de transacciones que entraron sin ser detenidas con respecto al total que entró (Percent Zeros).
- Promedio de estadía de cada transacción en la cola sin incluir las transacciones no detenidas (QXJ Average Time/Trans.)
- Si existe, contiene el número de la tabla de frecuencia asociada a la cola (QTABLE).
- Contenido de la cola al término del proceso (QJ Current Contents).

Estadísticas para Multiprocesadores

El programa entrega automáticamente para cada multiprocesador las siguientes estadísticas :

- Número o nombre del multiprocesador (STORAGE)
 - Capacidad (Capacity)
 - Contenido promedio (Average Contents)
 - Utilización promedio que es igual al cuociente entre el contenido promedio y la capacidad máxima (Average utilización).
 - Cantidad total de transacciones que entraron (Entries)
 - Promedio de estadía de las transacciones (Average Time/trans).
 - Contenido al término del proceso (Current Contents)
 - Ocupación máxima (Maxium Contents)
- Esta información permite analizar la ocupación y eficiencia del equipo.

Estadísticas de Tablas

Para cada tabla el programa entrega la siguiente información

- Número o nombre de la tabla
- Cantidad total de entradas en la tabla (Entries in table)
- Promedio de los valores ingresados a la tabla (Mean Argument)
- Desviación standar de la tabla (Standar Deviation)

Suma de los argumentos de todas las entradas

(Sum of Arguments)

Tabla ponderada o no (Weighted y Non-weighted)

Para las tablas ponderadas indica el promedio -
y la desviación standard.

Las clases de frecuencia se definen por su cota superior (Upper limit)

Para cada clase entrega la siguiente información:

Cantidad de entradas (Observed frequency)

Porcentaje de entradas a la clase con respecto al total de entradas (Percent of total)

Porcentaje acumulado (Cumulative percentage)

Porcentaje restante acumulativo (Cumulative Remainder)

Múltiplo del promedio (Múltiple of mean)

Desviación standard normalizada con respecto al promedio (Deviation from mean)

4.6 DESCRIPCION DEL OUTPUT

El programa entrega output al término de la simulación del modelo, después de ocurrir algún error y cuando el propio programa lo solicita.

Tipos del OUTPUT

- a). Listado del programa
- b). Programa a procesar
- c). Valor del reloj
- d). Errores de ejecución
- e). Current Event chains
- f). Future Event chains
- g). Interrupt chains
- h). User chains
- i). Match chains
- j). Contador de transacciones (Block counts)
- k). Contenido de los conservadores (Savevalue)
- l). Matrices de conservadores (Matrix SAVEVALUE)
- ll). Estadísticas para monoprocesadores
- m). Estadísticas para multiprocesadores
- n). Estadísticas para colas
- o). Estadísticas para tablas.

CAPITULO V

MODELO DE SIMULACION DE ACARREO POR CAMIONES EN UNA MINA A CIELO ABIERTO.

5.1 INTRODUCCION.

Las operaciones modernas de minado a gran escala son en realidad sistemas complejos de carguío-acarreo-descarga de materiales, que consisten en un gran número de entidades interdependientes. La producción de una pala es por ejemplo, dependiente del tipo de roca, calidad del material fragmentado y del tamaño y número de camiones que llegan a ésta para ser cargados. El número de viajes realizados por un camión en una guardia depende de las condiciones en la pala y en los puntos de descarga. Usualmente en punto de descarga tiene una capacidad limitada y está sujeto al tramo por ser relleno.

Desde que, la operación no puede ser eficientemente planificada usando tiempos promedios para las palas y camiones, se hace obvia la necesidad de desarrollar un modelo preciso del sistema de trabajo.

5.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Se describe la simulación de un modelo desarrollado para analizar el problema del acarreo de material - en camiones, tal como son encontrados en la minería a cielo abierto y en obras civiles.

El modelo usando una computadora, asigna ciclos de trabajo a los camiones entre sus puntos de carga y descarga a lo largo de una ruta de acarreo medida. Con el propósito de reducir los costos del acarreo de materiales, mediante camiones, la supervisión se enfrenta con cuatro problemas particulares en minas donde se trabaja con palas y camiones :

1. Cuál es el número óptimo de camiones que se deben asignar a una pala en el sistema?
2. Si es necesario nuevo equipo. Qué tipos de nuevos camiones y palas operarán más eficientemente en el sistema?
3. Hay algún cambio físico en el conjunto global del acarreo que nos asegure un incremento en la productividad?

4. Cuál sería la producción y los costos de operación para una flota de camiones y palas dado?

Para minas a cielo abierto donde no hay un gran movimiento de material; la respuesta a estas preguntas pueden ser obvias, pero sin embargo, en grandes operaciones se encuentran problemas sumamente complejos, relacionados con la producción y la configuración del sistema, los cuales son generalmente desconocidos.

Plan de Minado.

Se tienen cinco niveles en producción con tres puntos de descarga.

La naturaleza irregular del material a cargar presenta continuos cambios, variando de mineral a desmonte rápidamente. Las rampas tienen gradientes de 8% como máximo y se dan distancias de recorridos de alrededor de 5000 á 6000 metros.

El prototipo analizado es una típica operación de palas y camiones donde se tiene que minar 5 bancos con palas P&H 1900 de 9Yd³ de capacidad de cuchara y camiones Lectra Haul M-100 GM. Dada la naturaleza irregular del material a cargar se presentan cambios continuos variando de mineral a desmonte rápidamente.

Normalmente, una sola pasa es destinada al minado del material sobreyacente al depósito, para nuestro caso tenemos la pala N^o 1, estableciéndose de este modo un subsistema independiente del plan de minado general.

El perfil de Minado del Sistema prototipo es mostrado en la Fig. N^o 3.

El problema particular que tiene que resolver la dirección es el asignamiento adecuado de la flota de camiones a cada pala.

5.3 CIRCUITO DE CARGUIO, ACARREO Y DESCARGA

El mineral es acarreado de las diversas zonas de carguío a áreas de descarga a lo largo de una red de rutas; tal como es representado esquemáticamente en la fig. N^o 4. Para ilustrar la naturaleza del sistema, permitamos seguir una unidad típica de acarreo a través de un ciclo completo.

Salida del Estacionamiento

Los camiones salen del estacionamiento al iniciarse la operación, luego continúan su viaje a pala a tra-

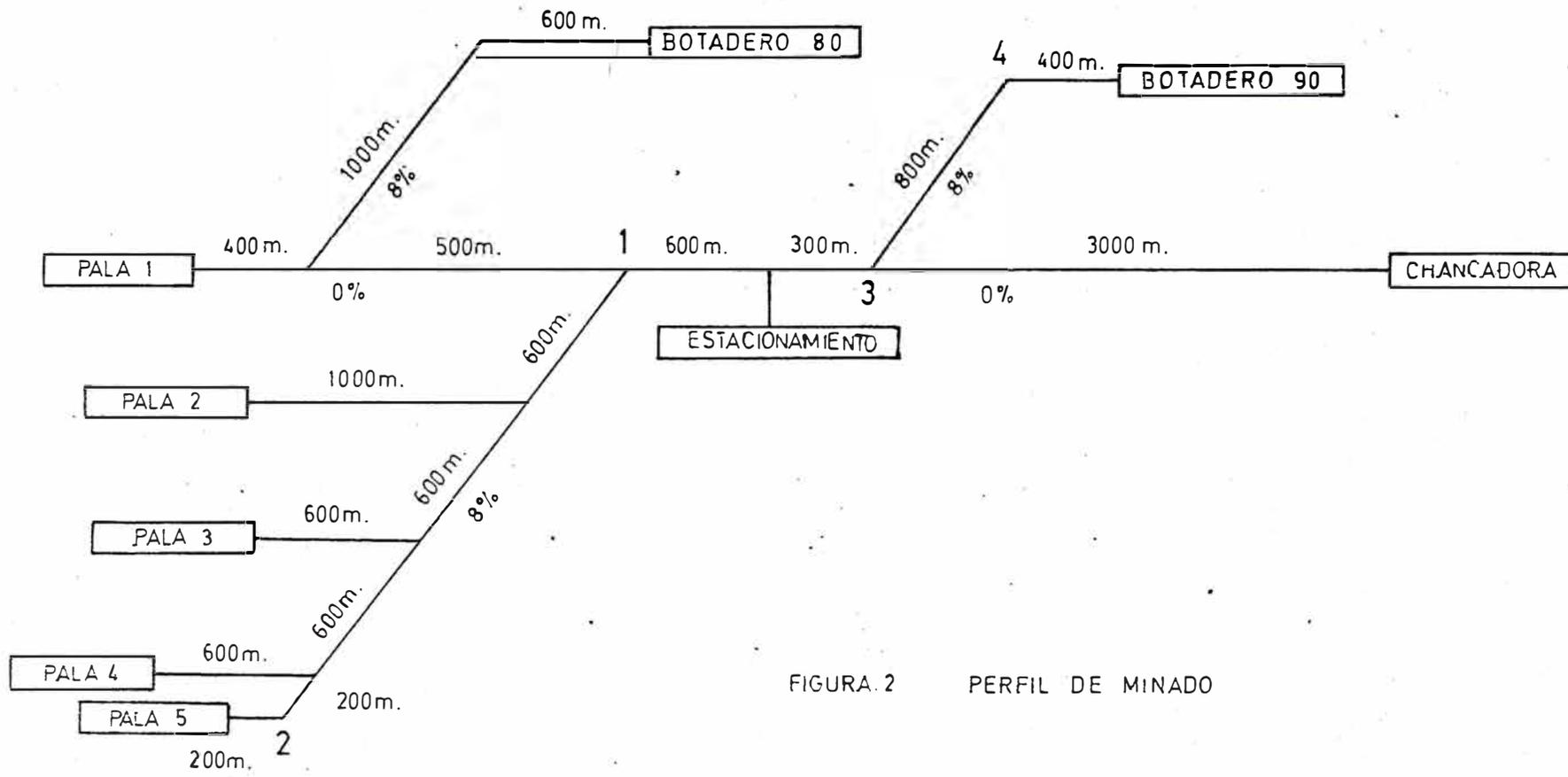
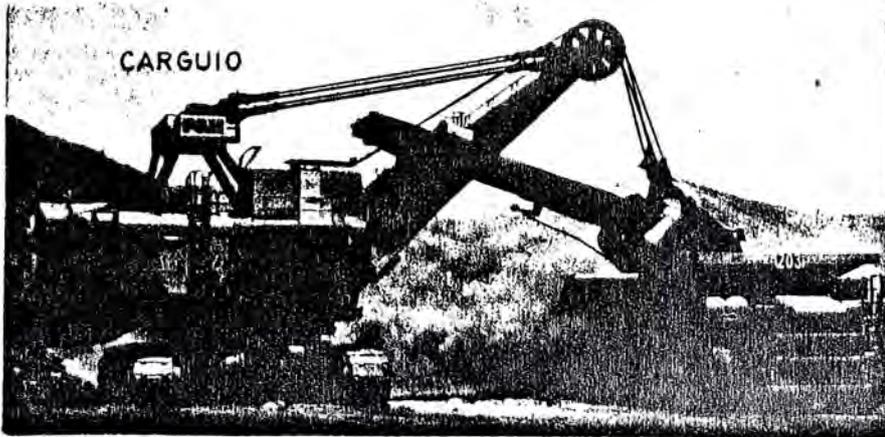


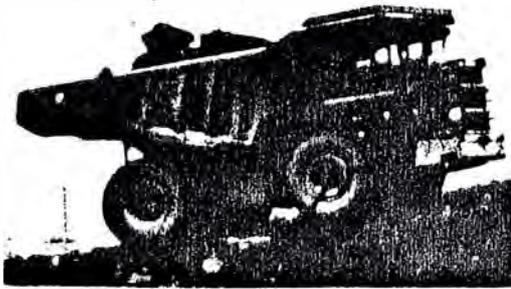
FIGURA. 2 PERFIL DE MINADO



PALA 2

OTRAS
PALAS

PALA 1



ACARREO

OTROS PUNTOS
DE DESCARGA

BOTADERO

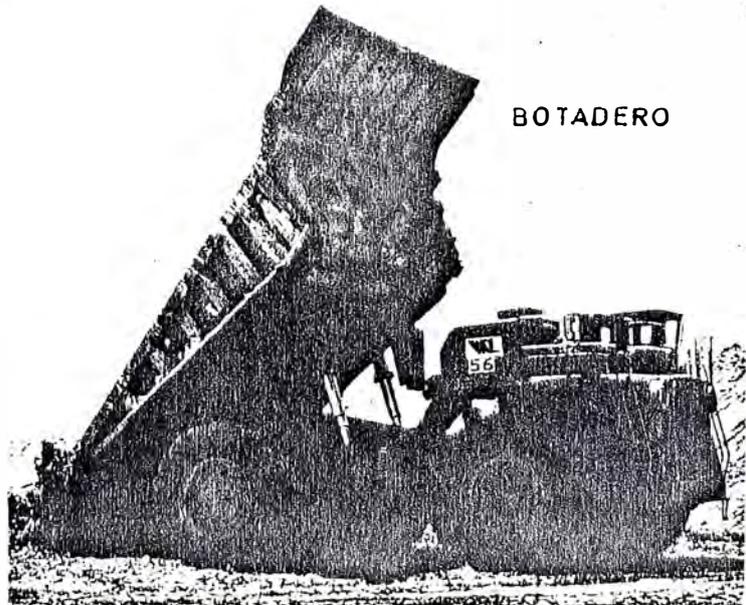


FIGURA.3

CIRCUITO TÍPICO DE CARGUIO, ACARREO Y
DESCARGA EN UNA MINA A CIELO ABIERTO

vés de la ruta trazada, para finalmente detenerse en la zona de carguío.

Zona de Carguío.

Se considera al tipo de carguío a ambos lados de la pala. Si la pala está desocupada se procede a cuadrarse para ser cargado, de lo contrario el camión se acoplará o formará una cola para posteriormente ingresar a la zona de carguío. El principio de la cola es "el primero de ingresa - el primero que sale", ahora - que la posición de carguío está disponible éste se cudra para ser cargado. El tiempo de carguío depende de muchos factores incluyendo, la capacidad de la tolva - del camión, la capacidad de la cuchara de la pala, el tipo de roca, calidad del material fragmentado todos - estos factores condensados dan al corte una clasificación de bueno o malo.

Ruta de Acarreo.

Luego de haber sido cargado el camión inicia su viaje desde la pala hacia la ruta principal de acarreo. Si éste encuentra viajando otro vehículo en la misma - dirección a baja velocidad, entonces se toma una decisión para intentar el pase. En muchas minas el pase - es considerado prohibido e impráctico; tal considera--ción se toma en cuenta para nuestro modelo.

Zona de Descarga

Pueden haber uno o más puntos disponibles de descarga para los camiones. Si hay más de un punto de descarga el camión se dirigirá al que le permita un viaje de ida y vuelta más rápidamente (en algunos casos los puntos de descarga pueden ser asignados por un Dispatcher, tanto como para toda la guardia o de viaje en viaje). Si otros camiones están esperando, para descargar el camión ingresará a la cola. Generalmente los puntos de descarga son la Chancadora y los Botaderos.

Continuación de la Operación.

Luego retornan a la mina para continuar cargando en el modelo; se ha considerado el asignamiento de un número fijo de camiones a cada pala para toda la guardia. Se considera al estacionamiento como un punto de control para verificar el normal funcionamiento de los camiones y por ser una zona de gran tráfico.

Además el cambio de guardia y el refrigerio son incluidos ya que juegan un papel importante en el movimiento de camiones. Las paradas por fallas mecánicas de camiones son inevitables y deben ser considerada también.

5.4 DATOS NUMERICOS

Puntos de Carguío.

Se tienen cinco puntos de carguío, denominados así

Pala 1

Pala 2

Pala 3

Pala 4

Pala 5

Puntos de Descarga.

Se tienen tres puntos de descarga :

Botadero 80 para desmonte

Botadero 90 para desmonte

Chancadora para mineral

Tiempo de Salida del Estacionamiento.

Los camiones salen del estacionamiento con una media igual a 90 segundos, y se adecúa a una distribución exponencial.

Tiempo de Carguío de Camiones.

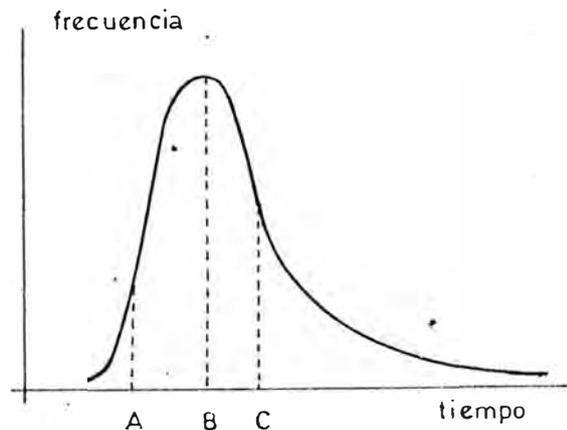
Una pala carga un determinado en cierto tiempo, este tiempo de carguío es estadístico, y en la mayoría

de los casos aparece como una distribución logarítmica normal (log. normal). Generalmente, el tiempo de carguío más posible, será mayor que el tiempo mínimo, y tendrá un valor B.

A : tiempo de carguío mínimo.

B : tiempo más probable de carguío.

C : tiempo promedio de carguío.



Dependiendo de las condiciones de campo y la naturaleza de las demoras menores, el tiempo de carguío tendrá un valor tal como C. Las variantes de esta naturaleza definen una distribución logaritmo normal, la cual es apropiada y nos permite tener todos los casos posibles del tiempo de carguío.

Tiempo de Descarga.

Esta fase tiene un comportamiento similar a la de carguío, es estocástico y se adecúa a una función exponencial con media igual a 77 segundos con una desviación standard de 27 segundos.

Tiempo de Viaje.

El tiempo de viaje se puede determinar mediante el uso de funciones distancia Vs. tiempo, las que fueron confeccionadas a partir de los siguientes datos :

Velocidad máxima = 25 mph (por condiciones de seguridad).

Aceleración promedio = 0.28 mps

Desaceleración Prom. = 0.37 mps

Se han determinado funciones para las siguientes secciones del perfil

Sección	:	Estacionamiento - 1
Sección	:	1 - 2
Sección	:	2 - pala
Sección	:	Pala - 2
Sección	:	2 - 1
Sección	:	1 - 3
Sección	:	4 - Botadero

Tiempo de Reparación de Camiones.

El tiempo de reparación de camiones tiene una media de 1200 segundos y su distribución es exponencial.

Destino Probable del Material Cargado.

La probabilidad de que el material cargado sea desmonte es del 30% y de que sea mineral es del 60%.

Probabilidad de Falla en los Camiones.

La probabilidad de falla de los camiones por desperfectos mecánicos es del 20%.

5.5 ELEMENTOS DEL SISTEMA MODELO EN GPSS

5.5.1 Elementos del Sistema.

Unidad de tiempo	La Unidad de tiempo para el modelo es el segundo.
Camiones	Están representados por Transacciones
Palas	Están representados por Monoprocesadores.
Botaderos	Están representados por Multiprocesadoras.
Chancadora	Está representado por un Multiprocesador.

5.5.2 Parámetros y Conservadores.

Parámetros para Camiones :

P1, P3, P5, P7, P9, P11, P13, P15. = Distancia recorrida por el camión a través de las diferentes secciones del perfil.

P2, P4, P6, P8, P10 P12, P14, P16. = Valor de la función tiempo de viaje para una distancia dada.

Parámetros para Palas

P20 = Número de pala a la cual deben dirigirse la flota asignada.

P31, P32, P33 = Tipo de corte.

P34, P35 = Si es igual a cero es malo.
Si es igual a uno es bueno.

Conservadores

X1 = Tonelaje acumulado en el botadero 80.

X2 = Tonelaje acumulado en la chancadora.

X3 = Tonelaje acumulado en el botadero 90.

X5 = Tonelaje acumulado en la pala 1.

X7 = Tonelaje acumulado en la pala 2.

X9 = Tonelaje acumulado en la pala 3

X11 = Tonelaje acumulado en la pala 4.

X13 = Tonelaje acumulado en la pala 5.

5.5.3 Variables y Multiprocesadores.

Variables

V4	=	1 á 12	Número de unidades asignadas a la - Pala 1.
V5	=	1 á 12	Número de unidades asignadas a la Pala 2.
V6	=	1 á 12	Número de unidades asignadas a la Pala 3.
V7	=	1 á 12	Número de unidades asignadas a la Pala 4.
V8	=	1 á 12	Número de unidades asignadas a la Pala 5.
V10	=		Igual a cero corte malo. Igual a uno corte bueno.

Multiprocesadores

BOT 80	Botadero 80 puede prestar servicio a 2 unida des simultáneamente.
BOT 90	Botadero 90 puede prestar servicio a 3 unida des simultáneamente.
CHAN	Chancadora pueden descargar en ella hasta 2 camiones simultáneamente.

5.5.4 Funciones.

FN\$EXPON	Función de distribución exponencial. (Ver figura 7.1).
FN\$LOAD1	Tiempo de carguío para un corte en malas condiciones. (Ver figura 7.2).

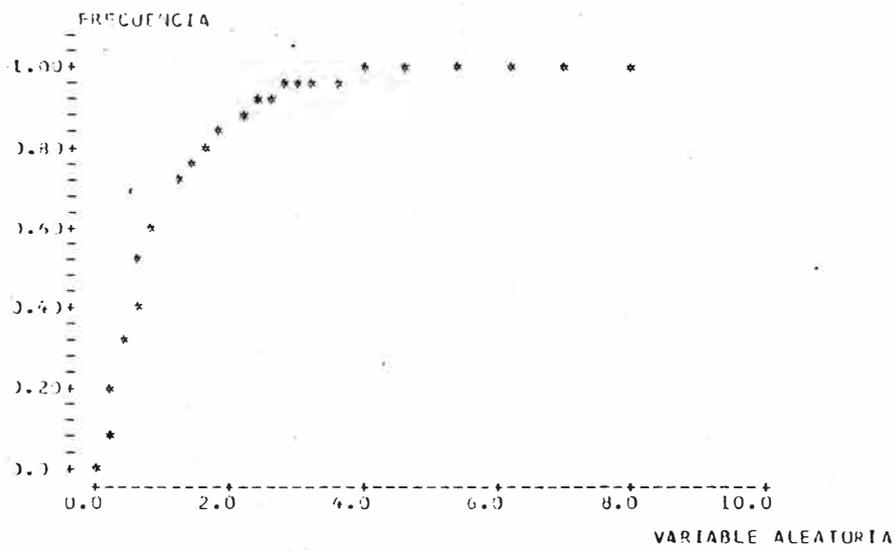


FIGURA 7.1 FUNCION DE DISTRIBUCION EXPONENCIAL

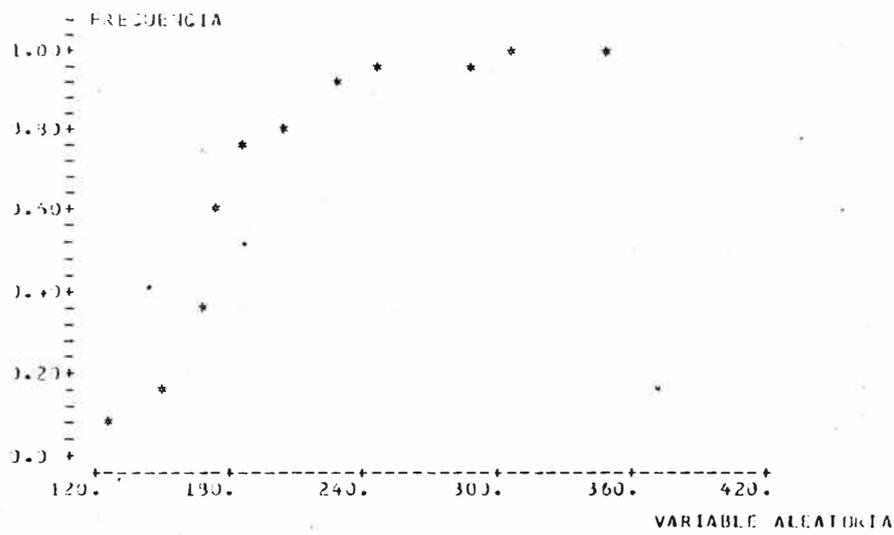


FIGURA 7.2 FUNCION DE DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE CARGUIO PARA UN CORTE BUENO

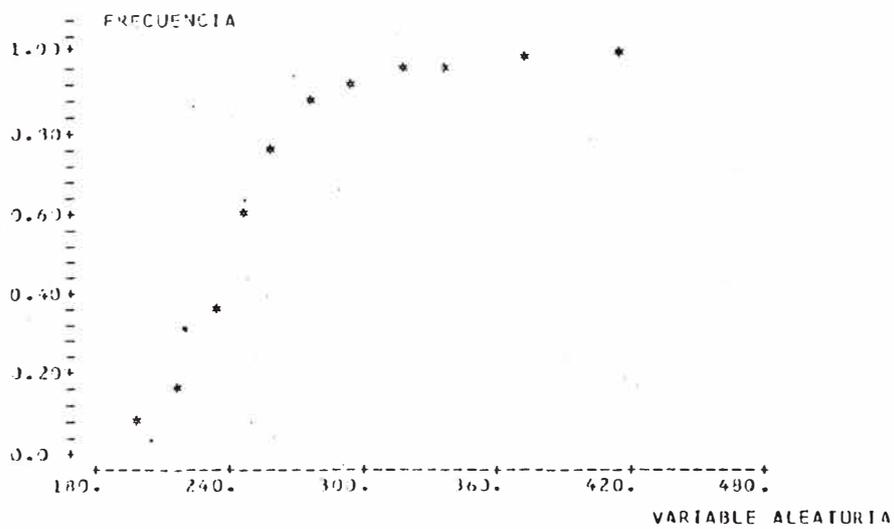


FIGURA 7.3 FUNCION DE DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE CARGUIO PARA UN CORTE MALO

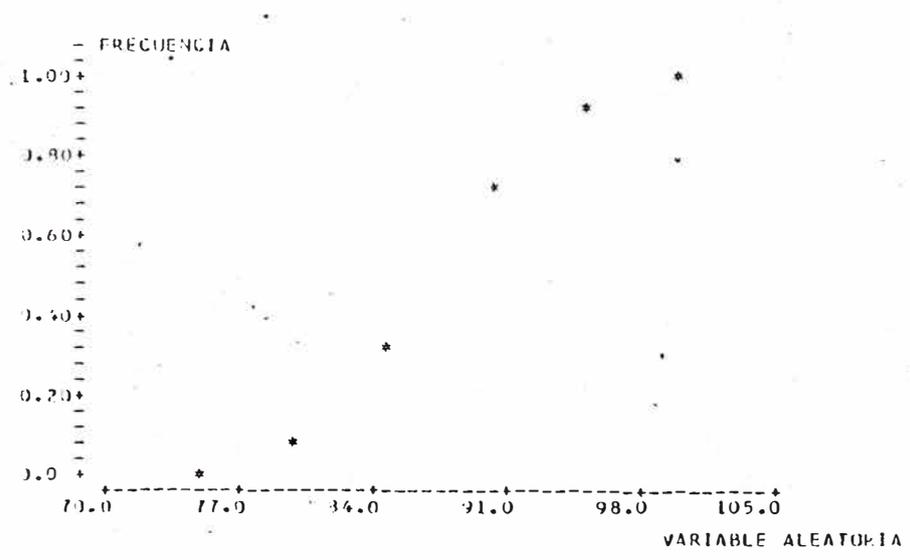


FIGURA 7.4 FUNCION DE DISTRIBUCION DEL PESO DE LA CARGA

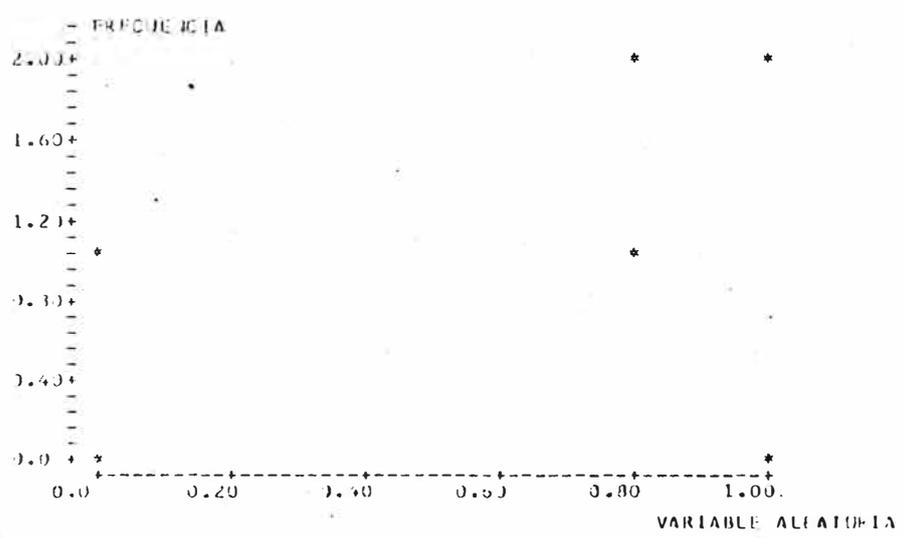


FIGURA 7.5 FUNCION DE DISTRIBUCION DEL PROBABLE DESTINO

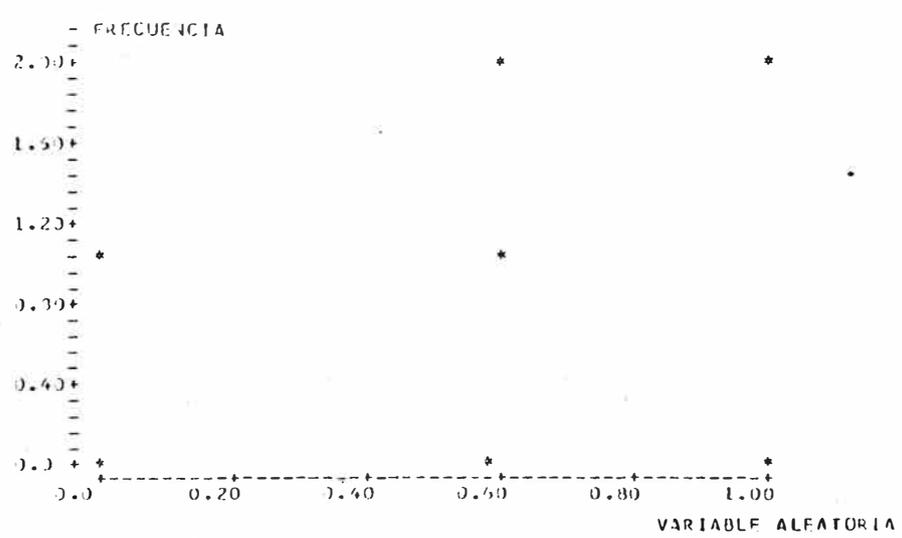


FIGURA 7.6 FUNCION DE DISTRIBUCION DE LA PROBABLE FALLA

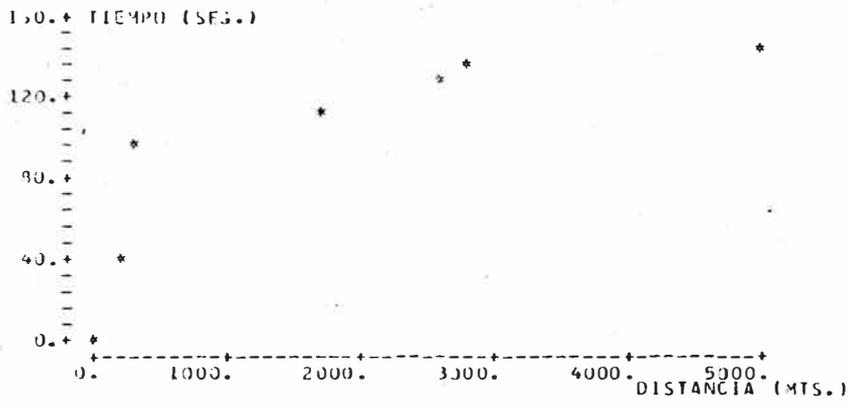


FIGURA 7.7.1 - FU\$FUNC1

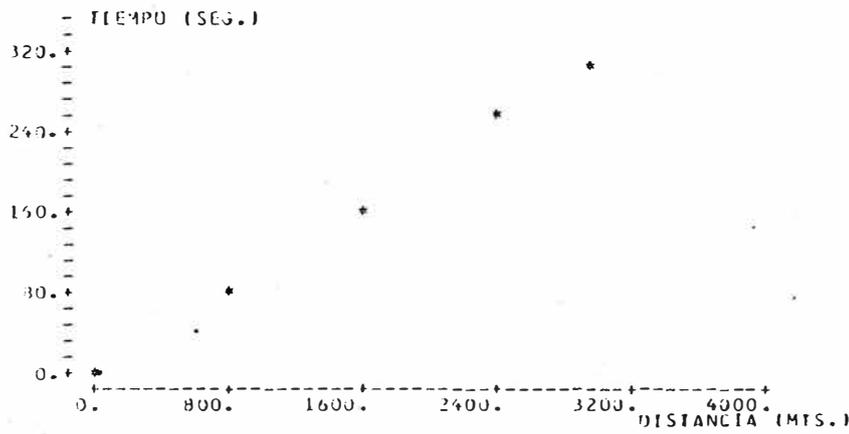


FIGURA 7.7.2 - FN\$FUNC2

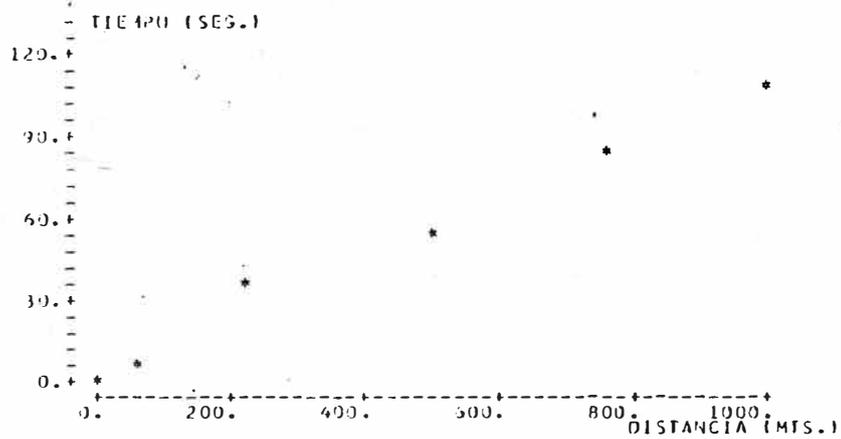


FIGURA 7.7.3 - FN\$FUNC3

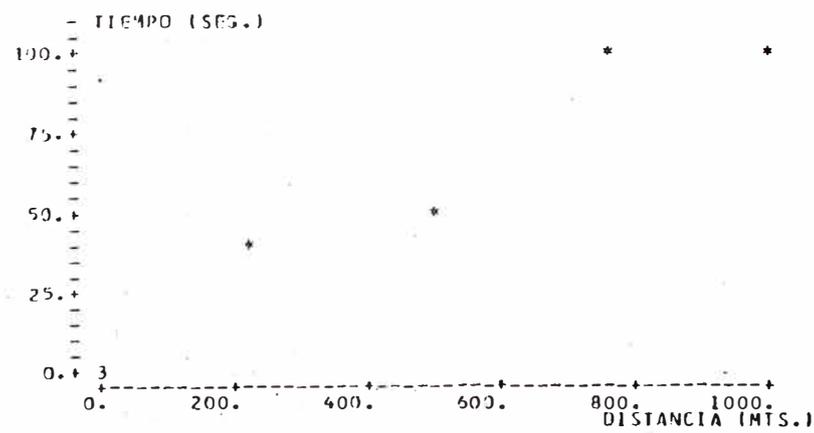


FIGURA 7.7.4 - FU\$FUNC4

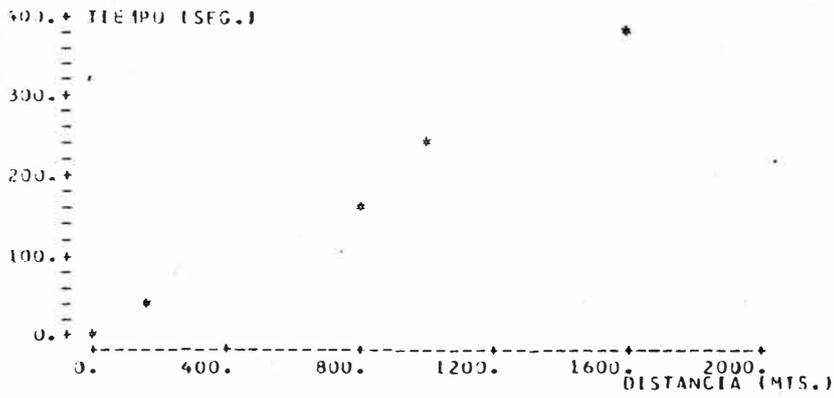


FIGURA 7.7.5 - FU\$FUNC5

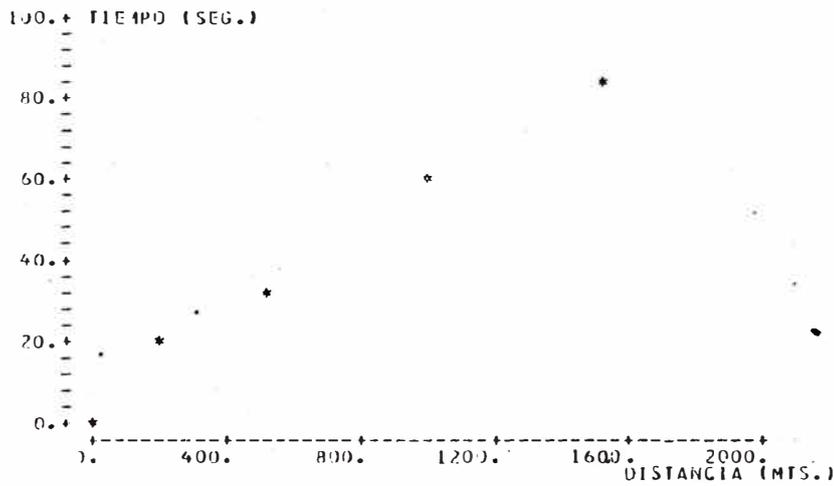


FIGURA 7.7.6 - FU\$FUNC6

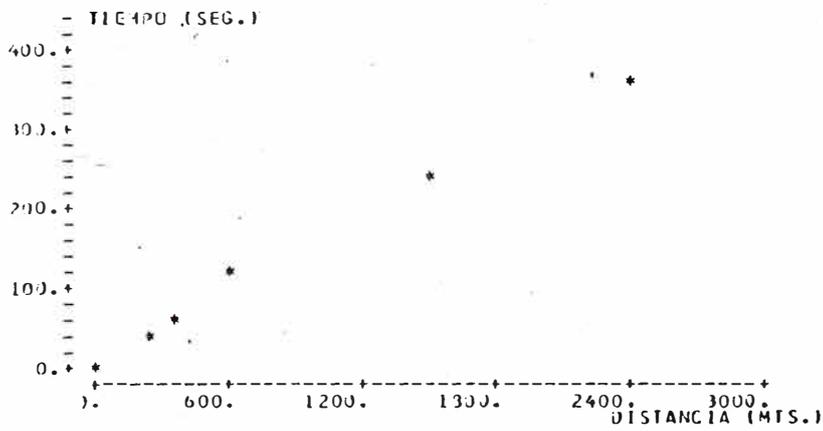


FIGURA 7.7.7 - FU\$FUNC7

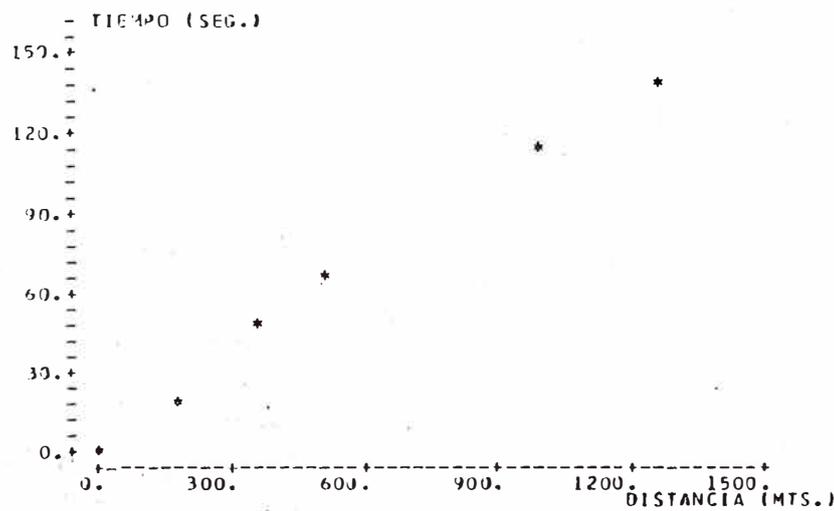


FIGURA 7.7.8 - FU\$FUNC8

FN\$LOAD1	Tiempo de carguío para un corte en buenas condiciones (Ver figura 7.3).
FN\$CARGA	Función que nos da la distribución probabi <u>l</u> ísticas de la carga transportada por los camiones. (Ver figura 7.4).
FN\$2	Probabilidad de falla de los camiones. (Ver figura 7.5).
FN30	Destino probable de las unidades. (Ver figura 7.6).
FN\$FUNCI á	Tiempo de viaje de los camiones para una
FN\$FUNC8	distancia dada. (Ver figura del 7.7.1 al 7.7.8).

5.5.5 Valores Numéricos.

X1	=	0
X2	=	0
X3	=	0
X4	=	0
X5	=	0

5.6 **DIAGRAMA DE FLUJO Y PROGRAMA.**

El Diagrama de Flujo es mostrado en el Anexo N°1. El programa ha sido ejecutado en el Computador del Centro de Cómputo de la Universidad Nacional de Ingeniería; éste es mostrado en el Anexo N°2.

5.7 ANALISIS DE RESULTADOS

Las simulaciones se realizaron para cada pala con 1, 2, 3,, 12 camiones del mismo tipo en cada pala, se hizo esto para corte bueno y corte malo.

Se confeccionaron tablas para cada subsistema tanto en corte bueno y malo, los cuales permiten obtener el número óptimo de camiones de la producción máxima y/o costo mínimo.

Para lograr la confección de las tablas antes mencionadas se hizo uso de las siguientes ecuaciones :

Costo total por turno = Costo fijo + Costo variable.

$$\text{Costo fijo} = T \times CF_p + \frac{Nc}{Dc} \times 100 \times CF_c$$

Donde :

- T = duración turno en horas.
- CF_p = costo fijo pala por hora (*)
- Nc = Número de camiones en operación.
- Dc = Disponibilidad de camiones.
- CF_c = Costo fijo camión por hora (*)

(*) Los costos para los equipos han sido tomados de los standares de una Empresa del Sur del país, la cual trabaja con el método de minado a Cielo Abierto.

$$\text{Costo variable} = T \times CV_p \times U + N_c \times CV_c$$

Donde

CV_p = Costo variable pala por hora (*)

CV_c = Costo variable camión por hora (*)

$$\text{Costo por tonelada} = \frac{\text{Costo total por turno}}{\text{producción total por turno}}$$

En el Anexo N°3, paralelamente a las Tablas se presentan los gráficos de las curvas que relacionan el número de viajes por guardia, el tonelaje acarreado, la utilización y el costo por tonelada de carguío y acarreo para cada pala, así como para sus acumulados tanto para corte bueno como corte malo respectivamente.

Ahora las posibilidades de maximizar la producción o minimizar costos pueden ser determinados a partir de este conjunto de tablas y/o gráficos.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

1. La simulación no es una técnica de optimización; pero permite analizar una infinidad de alternativas para un modelo determinado. Nos presta su ayuda en la planificación, en los diseños de equipos, diseños de Open Pit, planeamiento de las operaciones de minado y nos permite introducir mejoras en la operación.
2. El problema materia de este trabajo está dirigido al desarrollo de modelos dinámicos para sistemas de acarreo - tal como son encontrados en la Minería a Cielo Abierto y en obras civiles.
3. Detrás del tratamiento dinámico del modelo del sistema de acarreo, éste ha demostrado su aplicación aún cuando es sometido a una variedad de condiciones de trabajo

y equipo.

4. Para sistemas que pueden ser fácilmente descritos en términos del concepto de Transacciones, el modelo es usualmente bastante simple. Este es el caso del sistema de acarreo por camiones donde los elementos dinámicos que van a través del modelo están representados por estos.
5. El General Purpose Simulator System es un lenguaje que puede ser asimilado tan rápido y fácilmente; debido a que no es condición indispensable la experiencia previa en programación.
6. En algunas ocasiones, se presentan dificultades en poner el modelo en términos del flujo de transacciones a través de la red de bloques. Entonces es necesario llegar a desarrollar un alto grado de abstracción para poder expresarlo en términos del GPSS o en una de sus versiones posteriores. Sin embargo, esta dificultad puede ser compensada por los beneficios que da la característica inherente de este lenguaje.
7. Este modelo intenta colaborar con el esfuerzo continuo - por hacer más eficiente la producción; pretende ser la semilla de cual partan trabajos posteriores.

SUGERENCIAS PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

1. Diseñar el modelo, para situaciones más complejas, donde la característica principal sea, la simulación Standard para el movimiento de camiones, esta técnica permite analizar el rendimiento de los camiones de acuerdo a su capacidad mecánica y al perfil de la ruta de acarreo.
2. Para diseñar el modelo propuesto en el párrafo líneas arriba se recomienda el uso del bloque HELP el cual es una interfase en FORTRAN o PL/I, y nos permite usar estos lenguajes en toda su capacidad.
3. El modelo desarrollado aparentemente es rígido, tal vez con un poco de continuidad en el uso del GPSS se puede hacer el refinamiento y/o modificación de los bloques funcionales simplificándolo.
4. Este modelo puede ser base para investigaciones posteriores del sistema productivo de una mina a Cielo Abierto, desde que está conectado con éste, muchas y nuevas ideas tal vez bastante ambiciosas pueden ser tratados y sus efectos observados para el sistema completo.

BIBLIOGRAFIA

- AGREDA I. (1975) "Técnica de la Simulación aplicada al problema del transporte del mineral en la Mina Marcona (uso de la Computación Electrónica)". Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería.
- BOBILLIER P.A. (1976) "Simulation with GPSS and GPSS V" Englewood Cliff N.J. Prentice Hall Inc.
- BURTON A.K. (1975) "Off Highway Trucks : How to Calculate Truck Fleet Requirements". SME-AIME Mining Engineering, Dic. 1975. pag. 36-45.
- BUTLER J.M., FOUTS R.K. (1975) "Optimizing Open Pit Mining with Computer Simulation". Mining Congress Journal, Mar. 1975, pag.32-36.
- CRAWFORD J.T., Hustrulid W.A. (1979) "Open Pit Mine Planning and Design". AIME.
- CROSS B.K. (1969) "Digital Simulation of an Open Pit Truck Haulage System" AIME-SEM International Symposium, Computer Applications and Operation Research in the Mineral Industry.
- CUMMINS A.B., GIVEN I.A. (1973) "SME Mining Engineering Handbook". AIME.
- DESHMUKH S.S. (1970) "Sizing of Fleets in Open Pits". Mining Engineering AIME. Dic. 1970, pag.41-45.
- E/MJ (1978) "Operation Handbook of Mineral Surface Mining and Exploitation". E/MJ's Library

Operating Handbooks, Mc. Graw Hill.

- FALKI T.V., MITCHELL D.R. (1963) "Probability Simulation for Mine Haulage Systems". Transactions AIME, Dic. 1963, pag. 467-473..
- FERRERO (1971) "Simulación de transporte en la Mina Marcona", Reporte Interno, San Nicolás.
- GALVEZ J., CORDOVA (1981) "Operación Simulada de Volquetes", Reporte Interno, Southern Perú Copper Corporation.
- GORDON G. (1964) "Simulación de Sistemas" Printece Hall New Jersey.
- GORDON G. (1975) "The Application of GPSS V to Discrete System Simulation" Englewood Cliffs, N.J. Printece Hall Inc.
- IBM (1960) "General Purpose Simulation System/360" Introductory User's Manual (GH20-0304-4).
- IBM (1960) "GENERAL PURPOSE SIMULATION SYSTEM/360" User's Manual (H20-0326-0).
- JOHNSON T.B., BARNES R.J. (1982) "Proceeding 17th. Application of Computers and Operation Research in the Mineral Industry (APCOM)". AIME.
- JOHNSON T.B., BARNES R.J. (1983) "Application of Computers and Operation Research for the Mineral Industry". Lima.
- LIMO G. (1982) "Simulación de Acarreo por Volquetes de la Serie de Minado 61-22 G". Reporte Interno

Southern Perú Copper Corporation.

- MAGDE D.N. (1964) "Simulation of Truck Movements in a Open Pit Mining Operation". Canadian Operation Research Society Journal, Vol.2, N°1, pags. 32-41.
- MANULA C.B., SANFORD (1970) "A Complete Coal Mining Simulation". Special Report of Research, Département of Mineral Preparation College of Earth and Mineral Science, The Pennsylvania State University. N°SR-75, Nov.70.
- MARIN A. (1974) "Simulación con GPSS 360". 4to. Seminario Latinoamericano de Investigación de Operaciones Aplicada a la Industria Minera. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Dpto. de Minas, Santiago.
- O'NEIL T.J. (1966) "Computer Simulation of Materials - Handling in Open Pit Mining". M.S. Thesis, The Pennsylvania State University.
- O'NEIL T.J., MANULA C.B. (1967) "Computer Simulation - of Material Handling in Open Pit Mining", Transactions AIME, Vol. 238, pag. 137-146.
- O'NEIL T.J. (1979) "16th. Application of Computers and Operation Research in the Mineral Industry (APCOM)". AIME-SME.
- ORTIZ G. (1967) "Truck Fleet Selection for Underground Mining", M.S. Thesis, The New Mexico Institute Technological Mining and Metallurgy.
- PFLEIDER E. (1968) "Surface Mining". AIME-SME.

- PLAISTONE R.H.A., ALGEO N.B. (1979) "The Determination of Haulage-Truck Requirements for an Open Pit Operations" Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, Febrero 79, pags.185-190.
- REDMON D.E. (1969) "Solving Mine Haulage Problems by - System Simulation", Colorado School of Mines-International Simposium, Applications of Statictics, Operation Research and Computers in the Mineral Industry. Parte B.
- RODRIGUEZ C.R. (1975) "Simulación en Computadoras del Movimiento de Material en Minas a Cielo Abierto" Tesis de Bachiller. Universidad Nacional de Ingeniería.
- RODRIGUEZ C.R. (1977) "Sistema Mecanizado para simular el acarreo de materiales en la Mina de Cobre Cerro Verde". Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería.
- ROTHER E.G. (1967) "Estudio Analítico del Carguío de Volquetes con Palas Eléctricas en Toquepala", Southern Perú Copper Corp.
- SANFORD R.L. (1965)"Stochastics Simulation of a Belt Convoyer System", M.S. Thesis, Department of Mining, The Pennsylvania State University.
- THIEME M.A. (1968) "Computer Simulation of Scraper and Truck During Early Open Pit Mining Operations". M.S. Thesis, The University of Missouri-Rolla.
- TRAFTON B.O., KOCHANOWSKY B.J. (1969) "A Computer Application for Truck Allocation with Shovel Crusher

and Quality Constraints" SME-AIME International Symposium Computer Application and Operations. Research in the Mineral Industry.

VAN RENSBURG W.J. (1970)"Planning Open Pit Mines, Proceedings of the Symposium. Johannesburg The South African Institute Mining and Metallurgy.

VILLEGAS G., LLANOS S. (1975) "Simulación de un Sistema de Extracción por Camiones de Alto Tonelaje" Rocas y Minerales, Vol.154 Instituto de Ingenieros de Minas, Santiago.

WEISS A. (1980) "Computer Methods for the 80's". AIME SME.

ANEXO Nº 1

DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO DE
ILUMINACIÓN DEL ACARREO POR CAMIONES EN
UNA MINA A CIELO ABIERTO,

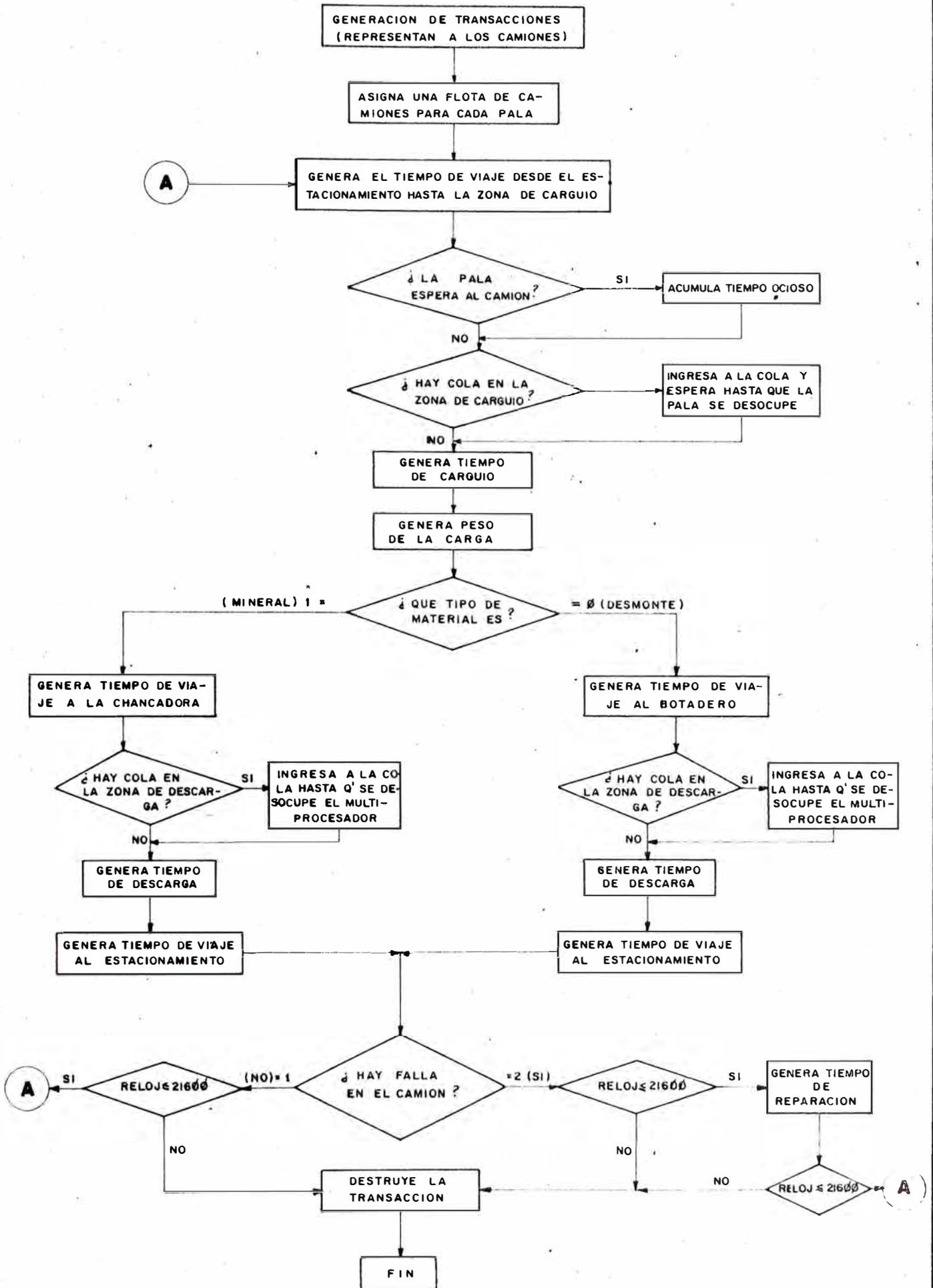


DIAGRAMA DE FLUJO

ANEXO N° 2

LISTADO DEL PROGRAMA



CARGA FUJICION 249,03
0.,0./0.3,35/0.7,90/0.9,90/0.997,100

* JUNTA FUJICION :
* PROBABILIDAD DE FALLA DE LOS CAMIONES

12 FUJICION 245,02
0.30,170.997,02

* SEXTA FUJICION :
* DEL DESTINO PROBABLE DEL MATERIAL CARGADO

30 FUJICION 242,02
0.30,170.997,02

* FUNCIONES :
* TIEMPO VS. DISTANCIA RECORRIDA

* ESTACIONAMIENTO - 1

FUN1 FUJICION 21,04
0.,0./0.220.43,39.00/250.45,90.44/5000.,401.40

* 1 - 2

FUN2 FUJICION 23,02
0.,0./3000.,300.19

* 2 - PALA

FUN3 FUJICION 25,04
0.,0./31.30,4.35/219.91,34.04/3000.,283.43

* PALA - 2

FUN4 FUJICION 27,03
0.,0./220.43,39.00/3000.,283.52

* 2 - 1

FUN5 FUJICION 29,03
0.,0./1+1.24,+2.35/3000.,677.63

* 1 - ESTACIONAMIENTO

FUN6 FUJICION 211,03
0.,0./135.64,20.44/5000.,272.31

56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113



114	
115	
116	
117	
118	
119	
120	
121	
122	
123	
124	
125	
126	
127	
128	
129	
130	
131	
132	
133	
134	
135	
136	
137	
138	
139	
140	
141	
142	
143	
144	
145	
146	
147	
148	
149	
150	
151	
152	
153	
154	
155	
156	
157	
158	
159	
160	
161	
162	
163	
164	
165	
166	
167	
168	
169	
170	
171	
172	
173	
174	
175	
176	
177	
178	
179	
180	
181	
182	
183	
184	
185	
186	
187	
188	
189	
190	
191	
192	
193	
194	
195	
196	
197	
198	
199	
200	

MIVEL PRINCIPAL

FUNCT FUNCION 213104
0.012.1220.42189.53/337.03103.88/6000.1857.30

3 - 3UTADEROS

FUNCT FUNCION 213104
0.130.5+20.47/322.2+150.04/2000.1197.89

=====

VARIABLES

=====

NUMERO DE UNIDADES MEDIDAS A CADA PALA

CAMIONES A LA PALA 1

4 VARIABLE 1

CAMIONES A LA PALA 2

5 VARIABLE 1

CAMIONES A LA PALA 3

0 VARIABLE 1

CAMIONES A LA PALA 4

7 VARIABLE 1

CAMIONES A LA PALA 5

8 VARIABLE 1

TIPO DE CORTE :

0 MALO
1 BUENO

10 VARIABLE 0



```

*
* =====
*
* MULTIPROCESADORES
*
* =====
*

```

```

*
* CAPACIDAD DEL BOTADERO 80 (PRESTA SERVICIO HASTA 2 UNIDADES)
*
* BOT00 STORAGE 2

```

```

*
* CAPACIDAD DEL BOTADERO 90 (PRESTA SERVICIO HASTA 3 UNIDADES)
*
* BOT90 STORAGE 3

```

```

*
* CAPACIDAD DE LA CHANGADORA (PRESTA SERVICIO HASTA 2 UNIDADES)
*
* CHA1 STORAGE 2

```

```

*
* =====
*
* CONSERVADORES
*
* =====
*

```

```

INITIAL X1,J
INITIAL X2,J
INITIAL X3,J
INITIAL X4,J
INITIAL X7,J
INITIAL X9,J
INITIAL X11,J
INITIAL X13,J

```

```

*
* =====
*
* GENERACION DE TRANSACCIONES PARA EL MODELO
*
* =====
*

```

```

1 GENERATE 90,FN$EXPON,,900,,V4,,50
2 TRANSFER ,CAMP1
3 GENERATE 90,FN$EXPON,,V5,,50
4 TRANSFER ,CAMP2
5 GENERATE 90,FN$EXPON,,V6,,50
6 TRANSFER ,CAMP3
7 GENERATE 90,FN$EXPON,,V7,,50
8 TRANSFER ,CAMP4
9 GENERATE 90,FN$EXPON,,V8,,50
10 TRANSFER ,CAMP5

```

171
171
171
171
172
173
173
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
191
191
191
192
193
193
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227



OPERACIONES EN LA PALA 1

1	*	CAMP1	ASSIGN	13,K10JJ	269
2	*		ADVANCE	14,F15FJJC7	270
3	*	PALI	SEIZE	20,K1	271
4	*		DEPART	20,K1	272
5	*		ASSIGN	20,K1	273
6			ADVANCE	20,K1	274
7			TRAVELER	20,K1	275
8		SIGJI	ADVANCE	20,K1	276
9		VALL	SAVEVALE	20,K1	277
10			RELEASE	20,K1	278
11			ASSIGN	20,K1	279
12			ADVANCE	20,K1	280
13			ASSIGN	20,K1	281
14			ADVANCE	20,K1	282
15			ASSIGN	20,K1	283
16			ADVANCE	20,K1	284
17			ASSIGN	20,K1	285
18			ADVANCE	20,K1	286
19			ASSIGN	20,K1	287
20			ADVANCE	20,K1	288
21			ASSIGN	20,K1	289
22			ADVANCE	20,K1	290
23			ASSIGN	20,K1	291
24			ADVANCE	20,K1	292
25			ASSIGN	20,K1	293
26			ADVANCE	20,K1	294
27			ASSIGN	20,K1	295
28			ADVANCE	20,K1	296
29			ASSIGN	20,K1	297
30			ADVANCE	20,K1	298
31			ASSIGN	20,K1	299
32			ADVANCE	20,K1	300
33			ASSIGN	20,K1	301
34			ADVANCE	20,K1	302
35			ASSIGN	20,K1	303
36			ADVANCE	20,K1	304
37			ASSIGN	20,K1	305
38			ADVANCE	20,K1	306
39			ASSIGN	20,K1	307
40			ADVANCE	20,K1	308
41			ASSIGN	20,K1	309
42			ADVANCE	20,K1	310
43			ASSIGN	20,K1	311
44			ADVANCE	20,K1	312
45			ASSIGN	20,K1	313
46			ADVANCE	20,K1	314
47			ASSIGN	20,K1	315
48			ADVANCE	20,K1	316
49			ASSIGN	20,K1	317
50			ADVANCE	20,K1	318
51			ASSIGN	20,K1	319
52			ADVANCE	20,K1	320
53			ASSIGN	20,K1	321
54			ADVANCE	20,K1	322
55			ASSIGN	20,K1	323
56			ADVANCE	20,K1	324
57			ASSIGN	20,K1	325
58			ADVANCE	20,K1	326
59			ASSIGN	20,K1	327
60			ADVANCE	20,K1	328
61			ASSIGN	20,K1	329
62			ADVANCE	20,K1	330
63			ASSIGN	20,K1	331
64			ADVANCE	20,K1	332
65			ASSIGN	20,K1	333
66			ADVANCE	20,K1	334
67			ASSIGN	20,K1	335
68			ADVANCE	20,K1	336
69			ASSIGN	20,K1	337
70			ADVANCE	20,K1	338
71			ASSIGN	20,K1	339
72			ADVANCE	20,K1	340
73			ASSIGN	20,K1	341
74			ADVANCE	20,K1	342
75			ASSIGN	20,K1	343
76			ADVANCE	20,K1	344
77			ASSIGN	20,K1	345
78			ADVANCE	20,K1	346
79			ASSIGN	20,K1	347
80			ADVANCE	20,K1	348
81			ASSIGN	20,K1	349
82			ADVANCE	20,K1	350
83			ASSIGN	20,K1	351
84			ADVANCE	20,K1	352
85			ASSIGN	20,K1	353
86			ADVANCE	20,K1	354
87			ASSIGN	20,K1	355
88			ADVANCE	20,K1	356
89			ASSIGN	20,K1	357
90			ADVANCE	20,K1	358
91			ASSIGN	20,K1	359
92			ADVANCE	20,K1	360
93			ASSIGN	20,K1	361
94			ADVANCE	20,K1	362
95			ASSIGN	20,K1	363
96			ADVANCE	20,K1	364
97			ASSIGN	20,K1	365
98			ADVANCE	20,K1	366
99			ASSIGN	20,K1	367
100			ADVANCE	20,K1	368
101			ASSIGN	20,K1	369
102			ADVANCE	20,K1	370
103			ASSIGN	20,K1	371
104			ADVANCE	20,K1	372
105			ASSIGN	20,K1	373
106			ADVANCE	20,K1	374
107			ASSIGN	20,K1	375
108			ADVANCE	20,K1	376
109			ASSIGN	20,K1	377
110			ADVANCE	20,K1	378
111			ASSIGN	20,K1	379
112			ADVANCE	20,K1	380
113			ASSIGN	20,K1	381
114			ADVANCE	20,K1	382
115			ASSIGN	20,K1	383
116			ADVANCE	20,K1	384
117			ASSIGN	20,K1	385
118			ADVANCE	20,K1	386
119			ASSIGN	20,K1	387
120			ADVANCE	20,K1	388
121			ASSIGN	20,K1	389
122			ADVANCE	20,K1	390
123			ASSIGN	20,K1	391
124			ADVANCE	20,K1	392
125			ASSIGN	20,K1	393
126			ADVANCE	20,K1	394
127			ASSIGN	20,K1	395
128			ADVANCE	20,K1	396
129			ASSIGN	20,K1	397
130			ADVANCE	20,K1	398
131			ASSIGN	20,K1	399
132			ADVANCE	20,K1	400
133			ASSIGN	20,K1	401
134			ADVANCE	20,K1	402
135			ASSIGN	20,K1	403
136			ADVANCE	20,K1	404
137			ASSIGN	20,K1	405
138			ADVANCE	20,K1	406
139			ASSIGN	20,K1	407
140			ADVANCE	20,K1	408
141			ASSIGN	20,K1	409
142			ADVANCE	20,K1	410
143			ASSIGN	20,K1	411
144			ADVANCE	20,K1	412
145			ASSIGN	20,K1	413
146			ADVANCE	20,K1	414
147			ASSIGN	20,K1	415
148			ADVANCE	20,K1	416
149			ASSIGN	20,K1	417
150			ADVANCE	20,K1	418
151			ASSIGN	20,K1	419
152			ADVANCE	20,K1	420
153			ASSIGN	20,K1	421
154			ADVANCE	20,K1	422
155			ASSIGN	20,K1	423
156			ADVANCE	20,K1	424
157			ASSIGN	20,K1	425
158			ADVANCE	20,K1	426
159			ASSIGN	20,K1	427
160			ADVANCE	20,K1	428
161			ASSIGN	20,K1	429
162			ADVANCE	20,K1	430
163			ASSIGN	20,K1	431
164			ADVANCE	20,K1	432
165			ASSIGN	20,K1	433
166			ADVANCE	20,K1	434
167			ASSIGN	20,K1	435
168			ADVANCE	20,K1	436
169			ASSIGN	20,K1	437
170			ADVANCE	20,K1	438
171			ASSIGN	20,K1	439
172			ADVANCE	20,K1	440
173			ASSIGN	20,K1	441
174			ADVANCE	20,K1	442
175			ASSIGN	20,K1	443
176			ADVANCE	20,K1	444
177			ASSIGN	20,K1	445
178			ADVANCE	20,K1	446
179			ASSIGN	20,K1	447
180			ADVANCE	20,K1	448
181			ASSIGN	20,K1	449
182			ADVANCE	20,K1	450
183			ASSIGN	20,K1	451
184			ADVANCE	20,K1	452
185			ASSIGN	20,K1	453
186			ADVANCE	20,K1	454
187			ASSIGN	20,K1	455
188			ADVANCE	20,K1	456
189			ASSIGN	20,K1	457
190			ADVANCE	20,K1	458
191			ASSIGN	20,K1	459
192			ADVANCE	20,K1	460
193			ASSIGN	20,K1	461
194			ADVANCE	20,K1	462
195			ASSIGN	20,K1	463
196			ADVANCE	20,K1	464
197			ASSIGN	20,K1	465
198			ADVANCE	20,K1	466
199			ASSIGN	20,K1	467
200			ADVANCE	20,K1	468
201			ASSIGN	20,K1	469
202			ADVANCE	20,K1	470
203			ASSIGN	20,K1	471
204			ADVANCE	20,K1	472
205			ASSIGN	20,K1	473
206			ADVANCE	20,K1	474
207			ASSIGN	20,K1	475
208			ADVANCE	20,K1	476
209			ASSIGN	20,K1	477
210			ADVANCE	20,K1	478
211			ASSIGN	20,K1	479
212			ADVANCE	20,K1	480
213			ASSIGN	20,K1	481
214			ADVANCE	20,K1	482
215			ASSIGN	20,K1	483
216			ADVANCE	20,K1	484
217			ASSIGN	20,K1	485
218			ADVANCE	20,K1	486
219			ASSIGN	20,K1	487
220			ADVANCE	20,K1	488
221			ASSIGN	20,K1	489
222			ADVANCE	20,K1	490
223			ASSIGN	20,K1	491
224			ADVANCE	20,K1	492
225			ASSIGN	20,K1	493
226			ADVANCE	20,K1	494
227			ASSIGN	20,K1	495
228			ADVANCE	20,K1	496
229			ASSIGN	20,K1	497
230			ADVANCE	20,K1	498
231			ASSIGN	20,K1	499
232			ADVANCE	20,K1	500
233			ASSIGN	20,K1	501
234			ADVANCE	20,K1	502
235			ASSIGN	20,K1	503
236			ADVANCE	20,K1	504
237			ASSIGN	20,K1	505
238			ADVANCE	20,K1	506
239			ASSIGN	20,K1	507
240			ADVANCE	20,K1	508
241			ASSIGN	20,K1	509
242			ADVANCE	20,K1	510
243			ASSIGN	20,K1	511
244			ADVANCE	20,K1	512
245			ASSIGN	20,K1	513
246			ADVANCE	20,K1	514
247			ASSIGN	20,K1	515
248			ADVANCE	20,K1	516
249			ASSIGN	20,K1	517
250			ADVANCE	20,K1	518
251			ASSIGN	20,K1	519
252			ADVANCE	20,K1	520
253			ASSIGN	20,K1	521
254			ADVANCE	20,K1	522
255			ASSIGN	20,K1	523
256			ADVANCE	20,K1	524
257			ASSIGN	20,K1	525
258			ADVANCE	20,K1	526
259			ASSIGN	20,K1	527
260			ADVANCE	20,K1	528
261			ASSIGN	20,K1	529
262			ADVANCE	20,K1	530
263			ASSIGN	20,K1	531
264			ADVANCE	20,K1	532
265			ASSIGN	20,K1	533
266			ADVANCE	20,K1	534
267			ASSIGN	20,K1	535
268			ADVANCE	20,K1	536
269			ASSIGN	20,K1	537
270			ADVANCE	20,K1	538
271			ASSIGN	20,K1	539
272			ADVANCE	20,K1	540
273			ASSIGN	20,K1	541
274			ADVANCE	20,K1	542
275					



77	ADVANCE	24	285
78	ASSIGN	24	286
79	ASSIGN	31F18FJIG3	287
80	ASSIGN	33	288
81	ASSIGN	33	289
82	ASSIGN	33	290
83	ASSIGN	33	291
84	ASSIGN	33	292
85	ASSIGN	33	293
86	ASSIGN	33	294
87	ASSIGN	33	295
88	ASSIGN	33	296
89	ASSIGN	33	297
90	ASSIGN	33	298
91	ASSIGN	33	299
92	ASSIGN	33	300
93	ASSIGN	33	301
94	ASSIGN	33	302
95	ASSIGN	33	303
96	ASSIGN	33	304
97	ASSIGN	33	305
98	ASSIGN	33	306
99	ASSIGN	33	307
100	ASSIGN	33	308
101	ASSIGN	33	309
102	ASSIGN	33	310
103	ASSIGN	33	311
104	ASSIGN	33	312
105	ASSIGN	33	313
106	ASSIGN	33	314
107	ASSIGN	33	315
108	ASSIGN	33	316
109	ASSIGN	33	317
110	ASSIGN	33	318
111	ASSIGN	33	319
112	ASSIGN	33	320
113	ASSIGN	33	321
114	ASSIGN	33	322
115	ASSIGN	33	323
116	ASSIGN	33	324
117	ASSIGN	33	325
118	ASSIGN	33	326
119	ASSIGN	33	327
120	ASSIGN	33	328
121	ASSIGN	33	329
122	ASSIGN	33	330
123	ASSIGN	33	331
124	ASSIGN	33	332
125	ASSIGN	33	333
126	ASSIGN	33	334
127	ASSIGN	33	335
128	ASSIGN	33	336
129	ASSIGN	33	337
130	ASSIGN	33	338
131	ASSIGN	33	339
132	ASSIGN	33	340
133	ASSIGN	33	341

OPERACION EN LA CIUDAD DE PRIMARIA

134	ASSIGN	11, S1993	315
135	ASSIGN	12, F18FJIG3	316
136	ASSIGN	31Z	317
137	ASSIGN	31Z	318
138	ASSIGN	31Z	319
139	ASSIGN	31Z	320
140	ASSIGN	31Z	321
141	ASSIGN	31Z	322
142	ASSIGN	31Z	323
143	ASSIGN	31Z	324
144	ASSIGN	31Z	325
145	ASSIGN	31Z	326
146	ASSIGN	31Z	327
147	ASSIGN	31Z	328
148	ASSIGN	31Z	329
149	ASSIGN	31Z	330
150	ASSIGN	31Z	331
151	ASSIGN	31Z	332
152	ASSIGN	31Z	333
153	ASSIGN	31Z	334
154	ASSIGN	31Z	335
155	ASSIGN	31Z	336
156	ASSIGN	31Z	337
157	ASSIGN	31Z	338
158	ASSIGN	31Z	339
159	ASSIGN	31Z	340
160	ASSIGN	31Z	341

83	ASSIGN	11, S1993	315
84	ASSIGN	12, F18FJIG3	316
85	ASSIGN	31Z	317
86	ASSIGN	31Z	318
87	ASSIGN	31Z	319
88	ASSIGN	31Z	320
89	ASSIGN	31Z	321
90	ASSIGN	31Z	322
91	ASSIGN	31Z	323
92	ASSIGN	31Z	324
93	ASSIGN	31Z	325
94	ASSIGN	31Z	326
95	ASSIGN	31Z	327
96	ASSIGN	31Z	328
97	ASSIGN	31Z	329
98	ASSIGN	31Z	330
99	ASSIGN	31Z	331
100	ASSIGN	31Z	332
101	ASSIGN	31Z	333
102	ASSIGN	31Z	334
103	ASSIGN	31Z	335
104	ASSIGN	31Z	336
105	ASSIGN	31Z	337
106	ASSIGN	31Z	338
107	ASSIGN	31Z	339
108	ASSIGN	31Z	340
109	ASSIGN	31Z	341

130	PRE	VEE3	25
131	PRE	VEE3	26
132	PRE	VEE3	27
133	PRE	VEE3	28
134	PRE	VEE3	29
135	PRE	VEE3	30
136	PRE	VEE3	31



342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

OPERACION EN EL BOTADERO

109 30193 ASS124 718300
 110 ADVANCE 101FNSFJ425
 111 ASS124 1018300
 112 ASS124 101FNSFJ423
 113 ADVANCE 1018300
 114 JUEJE 1018300
 115 DEPART 1018300
 116 DEPART 1018300
 117 ADVANCE 701FNSFJ424
 118 SAVEVALUE 3018300
 119 LEAVE 3018300
 120 ASS124 1018300
 121 ASS124 101FNSFJ421
 122 ADVANCE 1018300
 123 ASS124 1018300
 124 ASS124 101FNSFJ422
 125 ADVANCE 3018300
 126 ASS124 1018300
 127 ADVANCE 101FNSFJ423
 128 TRANSFER 1018300
 129 TRANSFER 1018300

OPERACION EN LA PALA 3

130 CAMP ASS124 201830
 131 ASS124 1018300
 132 ASS124 101FNSFJ421
 133 ADVANCE 1018300
 134 ASS124 1018300
 135 ASS124 101FNSFJ422
 136 ADVANCE 1018300
 137 ASS124 1018300
 138 ASS124 101FNSFJ423
 139 ADVANCE 1018300
 140 JUEJE 1018300
 141 SEIZE 1018300
 142 DEPART 1018300
 143 ASS124 1018300
 144 TRANSFER 1018300
 145 ADVANCE 1018300
 146 TRANSFER 1018300
 147 ADVANCE 1018300
 148 ASS124 1018300
 149 SAVEVALUE 1018300
 150 RELEASE 1018300
 151 ASS124 1018300
 152 ASS124 101FNSFJ424

30

31



133	ADVANCE	P3	9*81200	399
134	ASSIGN		12F15FJ4C1	400
135	ASSIGN		31F15FJ4C1	401
136	ADVANCE			402
137	ASSIGN		11F1500	403
138	ASSIGN		12F15FJ4C1	404
139	ADVANCE	P12		405
140	ASSIGN		30F130	406
141	TRANSFER		TEV10	407
142				408
143				409
144				410
145				411
146				412
147				413
148				414
149				415
150				416
151				417
152				418
153				419
154				420
155				421
156				422
157				423
158				424
159				425
160				426
161				427
162				428
163				429
164				430
165				431
166				432
167				433
168				434
169				435
170				436
171				437
172				438
173				439
174				440
175				441
176				442
177				443
178				444
179				445
180				446
181				447
182				448
183				449
184				450
185				451
186				452
187				453
188				454
189				455
190				
191				
192				
193				

* * * * *

OPERACION EN LA PALA 4

192	CA495	ASSIGN	20K65	428
193		ASSIGN	17K500	429
194		ADVANCE	28F15FJ4C1	430
195		ASSIGN		431
196		ADVANCE		432
197		ASSIGN		433
198		ASSIGN		434
199		ADVANCE		435
200		ASSIGN		436
201		ASSIGN		437
202		ADVANCE		438
203		ASSIGN		439
204		ASSIGN		440
205		ADVANCE		441
206		ASSIGN		442
207		ASSIGN		443
208		ADVANCE		444
209		ASSIGN		445
210		TRANSFER	TEV10	446
211				447
212				448
213				449
214				450
215				451
216				452
217				453
218				454
219				455
220				
221				
222				
223				
224				
225				
226				
227				
228				
229				
230				
231				
232				
233				
234				
235				
236				
237				
238				
239				
240				
241				
242				
243				
244				
245				
246				
247				
248				
249				
250				
251				
252				
253				
254				
255				
256				
257				
258				
259				
260				
261				
262				
263				
264				
265				
266				
267				
268				
269				
270				
271				
272				
273				
274				
275				
276				
277				
278				
279				
280				
281				
282				
283				
284				
285				
286				
287				
288				
289				
290				
291				
292				
293				
294				
295				
296				
297				
298				
299				
300				
301				

* * * * *

OPERACION EN LA PALA 5

194	CA495	ASSIGN	20K65	452
195		ASSIGN	17K500	453
196		ADVANCE	28F15FJ4C1	454
197		ASSIGN		455
198		ADVANCE		
199		ASSIGN		
200		ASSIGN		
201		ADVANCE		
202		ASSIGN		
203		ASSIGN		
204		ADVANCE		
205		ASSIGN		
206		ASSIGN		
207		ADVANCE		
208		ASSIGN		
209		ASSIGN		
210		ADVANCE		
211		ASSIGN		
212		ASSIGN		
213		ADVANCE		
214		ASSIGN		
215		ASSIGN		
216		ADVANCE		
217		ASSIGN		
218		ASSIGN		
219		ADVANCE		
220		ASSIGN		
221		ASSIGN		
222		ADVANCE		
223		ASSIGN		
224		ASSIGN		
225		ADVANCE		
226		ASSIGN		
227		ASSIGN		
228		ADVANCE		
229		ASSIGN		
230		ASSIGN		
231		ADVANCE		
232		ASSIGN		
233		ASSIGN		
234		ADVANCE		
235		ASSIGN		
236		ASSIGN		
237		ADVANCE		
238		ASSIGN		
239		ASSIGN		
240		ADVANCE		
241		ASSIGN		
242		ASSIGN		
243		ADVANCE		
244		ASSIGN		
245		ASSIGN		
246		ADVANCE		
247		ASSIGN		
248		ASSIGN		
249		ADVANCE		
250		ASSIGN		
251		ASSIGN		
252		ADVANCE		
253		ASSIGN		
254		ASSIGN		
255		ADVANCE		
256		ASSIGN		
257		ASSIGN		
258		ADVANCE		
259		ASSIGN		
260		ASSIGN		
261		ADVANCE		
262		ASSIGN		
263		ASSIGN		
264		ADVANCE		
265		ASSIGN		
266		ASSIGN		
267		ADVANCE		
268		ASSIGN		
269		ASSIGN		
270		ADVANCE		
271		ASSIGN		
272		ASSIGN		
273		ADVANCE		
274		ASSIGN		
275		ASSIGN		
276		ADVANCE		
277		ASSIGN		
278		ASSIGN		
279		ADVANCE		
280		ASSIGN		
281		ASSIGN		
282		ADVANCE		
283		ASSIGN		
284		ASSIGN		
285		ADVANCE		
286		ASSIGN		
287		ASSIGN		
288		ADVANCE		
289		ASSIGN		
290		ASSIGN		
291		ADVANCE		
292		ASSIGN		
293		ASSIGN		
294		ADVANCE		
295		ASSIGN		
296		ASSIGN		
297		ADVANCE		
298		ASSIGN		
299		ASSIGN		
300		ADVANCE		
301		ASSIGN		



1	*				513
2	*				514
3	*				515
4	*				516
5	*				517
6	*				518
7	*				519
8	*				520
9	*				521
10	*				522
11	*				523
12	*				524
13	*				525
14	*				526
15	*				527
16	*				528
17	*				529
18	*				530
19	*				531
20	*				532
21	*				533
22	*				534
23	*				535
24	*				536
25	*				537
26	*				538
27	*				539
28	*				540
29	*				541
30	*				542
31	*				543
32	*				544
33	*				545
34	*				546
35	*				547
36	*				548
37	*				549
38	*				550
39	*				551
40	*				552
41	*				553
42	*				554
43	*				555
44	*				556
45	*				557
46	*				558
47	*				559
48	*				560
49	*				561
50	*				562
51	*				563
52	*				564
53	*				565
54	*				566
55	*				567
56	*				568
57	*				569

PARA UNA FLOTA DE 15 CAMIONES
3 POR PALA

CLEAR
VARIABLE 4
VARIABLE 4
VARIABLE 4
VARIABLE 4
VARIABLE 4
VARIABLE 4
START 1

PARA UNA FLOTA DE 20 CAMIONES
4 POR PALA

CLEAR
VARIABLE 5
VARIABLE 5
VARIABLE 5
VARIABLE 5
VARIABLE 5
VARIABLE 5
START 1

PARA UNA FLOTA DE 25 CAMIONES
5 POR PALA

CLEAR
VARIABLE 5
VARIABLE 5
VARIABLE 5
VARIABLE 5
VARIABLE 5
VARIABLE 5
START 1

PARA UNA FLOTA DE 30 CAMIONES
6 POR PALA

CLEAR
VARIABLE 7
VARIABLE 7
VARIABLE 7
VARIABLE 7
VARIABLE 7
VARIABLE 7
START 1



*
* PARA UNA FLOTA DE 35 CAMIONES
* 7 POR PALA
*

4 CLEAR
5 VARIABLE 3
6 VARIABLE 3
7 VARIABLE 3
8 VARIABLE 3
9 VARIABLE 3
10 VARIABLE 3
START 1

570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582

*
* PARA UNA FLOTA DE 40 CAMIONES
* 8 POR PALA
*

4 CLEAR
5 VARIABLE 3
6 VARIABLE 3
7 VARIABLE 3
8 VARIABLE 3
9 VARIABLE 3
10 VARIABLE 3
START 1

583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597

*
* PARA UNA FLOTA DE 45 CAMIONES
* 9 POR PALA
*

4 CLEAR
5 VARIABLE 10
6 VARIABLE 10
7 VARIABLE 10
8 VARIABLE 10
9 VARIABLE 10
10 VARIABLE 10
START 1

598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612

*
* PARA UNA FLOTA DE 50 CAMIONES
* 12 POR PALA
*

4 CLEAR
5 VARIABLE 11
6 VARIABLE 11
7 VARIABLE 11
8 VARIABLE 11
9 VARIABLE 11
10 VARIABLE 11
START 1

613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626

0144193

FUNCTION SYMBOLS AND CORRESPONDING NUMBERS



1 LARPA
2 LKPNJ
3 FJ161
4 FJ162
5 FJ163
6 FJ164
7 FJ165
8 FJ166
9 FJ167
10 FJ168
11 FJ169
12 L1400
13 L1401
14 L1402

31
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

0144192

QJEJE SYMBOLS AND CORRESPONDING NUMBERS



4	CUFAY
2	CUJBO
5	CUJFO
1	CUJAI
3	CUJAZ
7	CUJAS
3	CUJAT
3	CUJAB

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

0144191

STORAGE SYMBOLS AND CORRESPONDING NUMBERS



1 30130
2 30140
3 3141

4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	

0144190

FACILITY SYMBOLS AND CORRESPONDING NUMBERS

- 1 PALA1
- 2 PALA2
- 3 PALA3
- 4 PALA4
- 5 PALA5



31

30

29

28

27

26

25

24

23

22

21

20

19

18

17

16

15

14

13

12

11

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

0144189

REFERENCES BY CARD NUMBER

BLANK NUMBER SYMBOL

1

103	31130	310
11	31131	311
12	31132	312
13	31133	313
14	31134	314
15	31135	315
16	31136	316
17	31137	317
18	31138	318
19	31139	319
20	31140	320
21	31141	321
22	31142	322
23	31143	323
24	31144	324
25	31145	325
26	31146	326
27	31147	327
28	31148	328
29	31149	329
30	31150	330
31	31151	331
32	31152	332
33	31153	333
34	31154	334
35	31155	335
36	31156	336
37	31157	337
38	31158	338
39	31159	339
40	31160	340
41	31161	341
42	31162	342
43	31163	343
44	31164	344
45	31165	345
46	31166	346
47	31167	347
48	31168	348
49	31169	349
50	31170	350
51	31171	351
52	31172	352

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

ANEXO N° 3

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

TABLA 3.1

PALA 1		CAMION : LH M-100 GM		TIPO DE CORTE : BUENO	
N. CAMIONES	COSTO/T.M.(S)	COSTO/OPT.(S)	TONELAJE (T.M)		
1	0.8233	0.5906	1505		
2	0.8605	0.2275	5135		
3	0.3450	0.1153	7435		
4	0.3101	0.0752	6025		
5	0.2637	0.0325	8025		
6	0.2332	0.0	10010		
7	0.2461	0.0127	10120		
8	0.2308	0.0056	10970		
9	0.2593	0.0316	10725		
10	0.2577	0.0247	11060		
11	0.2770	0.0438	10755		
12	0.2923	0.0491	10955		

TABLA 3.2

PALA 2		CAMION : LH M-100 GM		TIPO DE CORTE : BUENO	
N. CAMIONES	COSTO/T.M.(S)	COSTO/OPT.(S)	TONELAJE (T.M)		
1	0.8127	0.5514	1350		
2	0.6233	0.3620	2260		
3	0.4633	0.2077	3525		
4	0.3940	0.0918	5170		
5	0.3470	0.0557	5830		
6	0.3010	0.0375	7225		
7	0.3151	0.0549	7260		
8	0.2751	0.0133	9200		
9	0.2615	0.0003	10345		
10	0.2612	0.0	10545		
11	0.2662	0.0050	11215		
12	0.2773	0.0181	11170		

TABLA 3.3

PALA 3		CAMION : LH M-100 GM		TIPO DE CORTE : BUENO	
N. CAMIONES	COSTO/T.M.(S)	COSTO/OPT.(S)	TONELAJE (T.M)		
1	0.9781	0.7051	1250		
2	0.5724	0.3995	2065		
3	0.4383	0.2153	3225		
4	0.4237	0.1553	4050		
5	0.3505	0.0775	5525		
6	0.3663	0.0939	5645		
7	0.2936	0.0235	7935		
8	0.3028	0.0278	8115		
9	0.2742	0.0012	9725		
10	0.2740	0.0019	10230		
11	0.2765	0.0034	10635		
12	0.2730	0.0	11365		

TABLA 3.4

PALA 4		CAMION : LH M-100 GM		TIPO DE CORTE : BUENO	
N. CAMIONES	COSTO/T.M.(S)	COSTO/OPT.(S)	TONELAJE (T.M)		
1	1.4436	1.1673	935		
2	0.6677	0.3934	2085		
3	0.5341	0.2579	2925		
4	0.4534	0.1821	3810		
5	0.3550	0.0838	5255		
6	0.3502	0.0740	6000		
7	0.3176	0.0433	7065		
8	0.3107	0.0354	7860		
9	0.3044	0.0242	8530		
10	0.2333	0.0076	9750		
11	0.2752	0.0	10560		
12	0.2369	0.0127	10530		

TABLA 3.5

PALA 5		CAMION : LH M-100 GM		TIPO DE CORTE : BUENO	
N. CAMIONES	COSTO/T.M.(S)	COSTO/OPT.(S)	TONELAJE (T.M)		
1	1.3577	1.0577	935		
2	0.6262	0.3664	2130		
3	0.4925	0.2175	3170		
4	0.4339	0.1335	3960		
5	0.3750	0.0762	5170		
6	0.3629	0.0651	5745		
7	0.3442	0.0514	7025		
8	0.3027	0.0024	8115		
9	0.3041	0.0053	8115		
10	0.2915	0.0	9170		
11	0.2800	0.0007	9115		
12	0.3111	0.0112	10235		

• TABLA 3.6

CAMION : LH 4-100 CM TIPO DE CORTE : BUENO

N. DE CAMIONES	PALA 1		PALA 2		PALA 3		PALA 4		PALA 5	
	CST/OP	TONS								
	(S)	(TM)								
1	0.5906	1505	0.6514	1350	0.7051	1250	1.1573	835	1.0579	885
2	0.2274	3135	0.3620	2200	0.3995	2065	0.3934	2085	0.3664	2080
3	0.1158	4335	0.2027	3425	0.2153	3225	0.2579	2925	0.1926	3190
4	0.0769	6025	0.0913	5120	0.1553	4040	0.1321	3310	0.1350	3900
5	0.0305	8025	0.0657	5330	0.0775	5525	0.0338	5265	0.0762	5170
6	0.0	10010	0.0393	7225	0.0339	5345	0.0740	5000	0.0631	5785
7	0.0129	10120	0.0549	7250	0.0200	7935	0.0433	7065	0.0244	7020
8	0.0060	10970	0.0133	9200	0.0390	6115	0.0344	7800	0.0024	8135
9	0.0310	10225	0.0003	10345	0.0012	9725	0.0232	8530	0.0043	8505
10	0.0247	11060	0.0	10345	0.0019	10230	0.0076	9790	0.0	9170
11	0.0435	10755	0.0050	11215	0.0034	10555	0.0	10530	0.0057	9315
12	0.0491	10335	0.0161	11170	0.0	11355	0.0127	10530	0.0012	10105

0777660

TABLA 3.7

PALA 1 CAMION : LH M-100 GM TIPO DE CORTE : MALO

N. CAMIONES	COSTO/TM(\$)	COSTO/OPT.(\$)	TONELAJE(TM)
1	0.8071	0.4942	1600
2	0.4963	0.1811	3090
3	0.4004	0.0879	4405
4	0.3333	0.0254	6045
5	0.3129	0.0	7070
6	0.3245	0.0115	7330
7	0.3249	0.0120	7745
8	0.3397	0.0263	7765
9	0.3452	0.0323	7965
10	0.3489	0.0360	8255
11	0.3645	0.0516	8220
12	0.3737	0.0668	8190

TABLA 3.8

PALA 2 CAMION : LH M-100 GM TIPO DE CORTE : MALO

N. CAMIONES	COSTO/TM(\$)	COSTO/OPT.(\$)	TONELAJE(TM)
1	1.2126	0.8804	1020
2	0.6478	0.3156	2260
3	0.4877	0.1555	3450
4	0.4162	0.0840	4510
5	0.3803	0.0481	5503
6	0.3623	0.0301	6190
7	0.3322	0.0	7480
8	0.3535	0.0213	7375
9	0.3407	0.0034	8115
10	0.3548	0.0226	8095
11	0.3539	0.0216	8535
12	0.3629	0.0307	8630

TABLA 3.9

PALA 3 CAMION : LH M-100 GM TIPO DE CORTE : MALO

N. CAMIONES	COSTO/TM(\$)	COSTO/OPT.(\$)	TONELAJE(TM)
1	1.0753	0.7209	1160
2	0.7027	0.3432	2055
3	0.5449	0.1905	3000
4	0.4294	0.0749	4350
5	0.3379	0.0335	5380
6	0.3735	0.0250	5920
7	0.3618	0.0074	6705
8	0.3599	0.0054	7120
9	0.3553	0.0008	7760
10	0.3544	0.0	8120
11	0.3622	0.0078	8280
12	0.3765	0.0221	8315

TABLA 3.10

PALA 4 CAMION : LH M-100 GM TIPO DE CORTE : MALO

N. CAMIONES	COSTO/TM(\$)	COSTO/OPT.(\$)	TONELAJE(TM)
1	1.2434	0.8925	990
2	0.7421	0.3862	1920
3	0.5640	0.2081	2885
4	0.5020	0.1461	3595
5	0.4131	0.0572	4925
6	0.3710	0.0151	6050
7	0.3590	0.0132	6545
8	0.3616	0.0057	7110
9	0.3551	0.0	7650
10	0.3577	0.0018	8075
11	0.3620	0.0062	8305
12	0.3782	0.0223	8220

TABLA 3.11

PALA 5 CAMION : LH M-100 GM TIPO DE CORTE : MALO

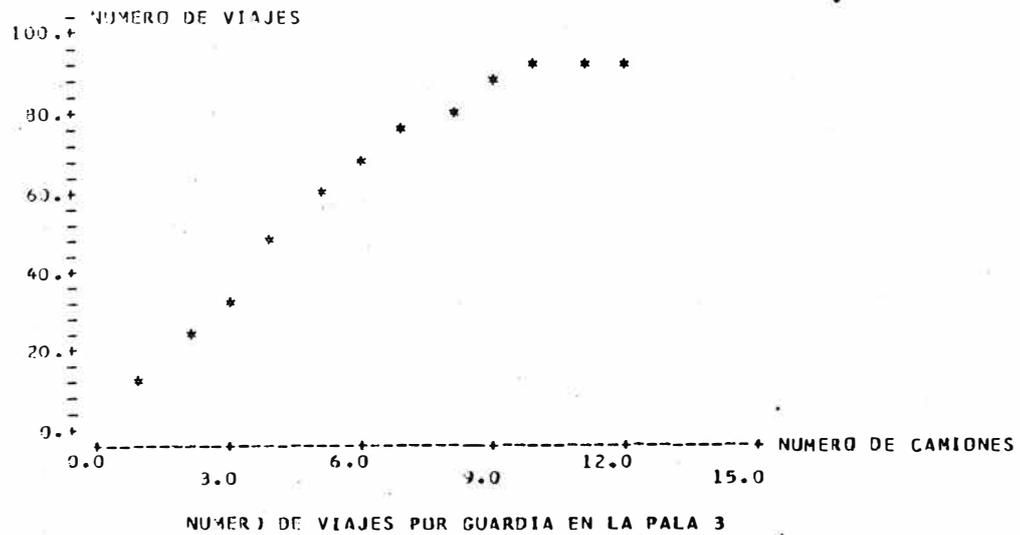
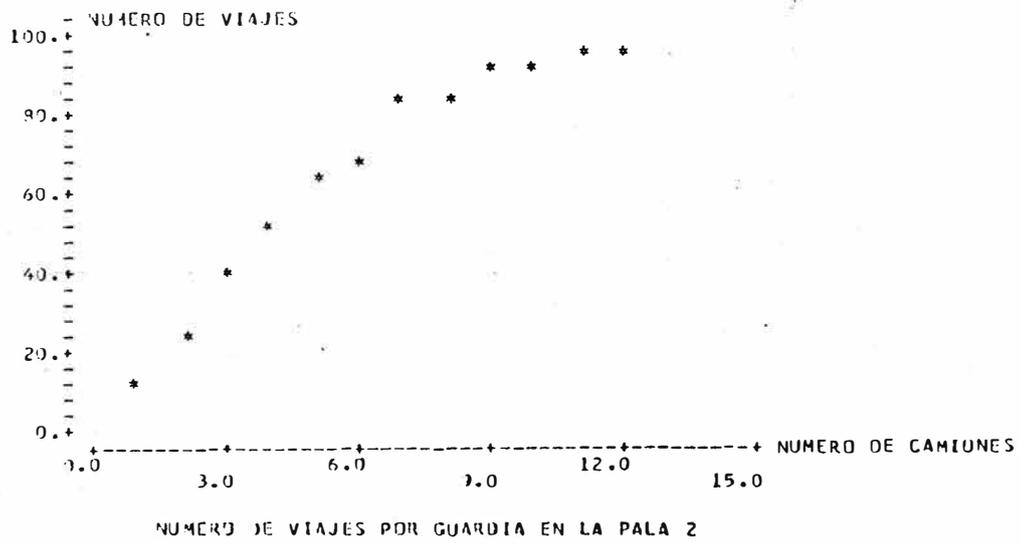
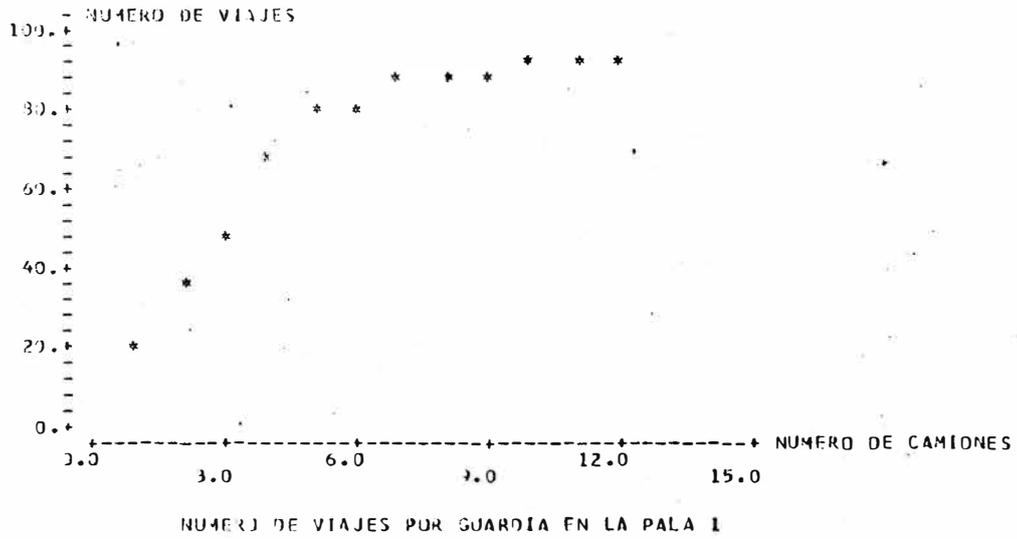
N. CAMIONES	COSTO/TM(\$)	COSTO/OPT.(\$)	TONELAJE(TM)
1	1.1559	0.8067	1075
2	0.7259	0.3767	1980
3	0.5243	0.1757	3140
4	0.4343	0.1456	3645
5	0.4155	0.0662	4895
6	0.3871	0.0379	5705
7	0.3905	0.0413	6330
8	0.3624	0.0131	7005
9	0.4890	0.1398	5575
10	0.3492	0.0	8255
11	0.3633	0.0141	8290
12	0.3707	0.0215	8425

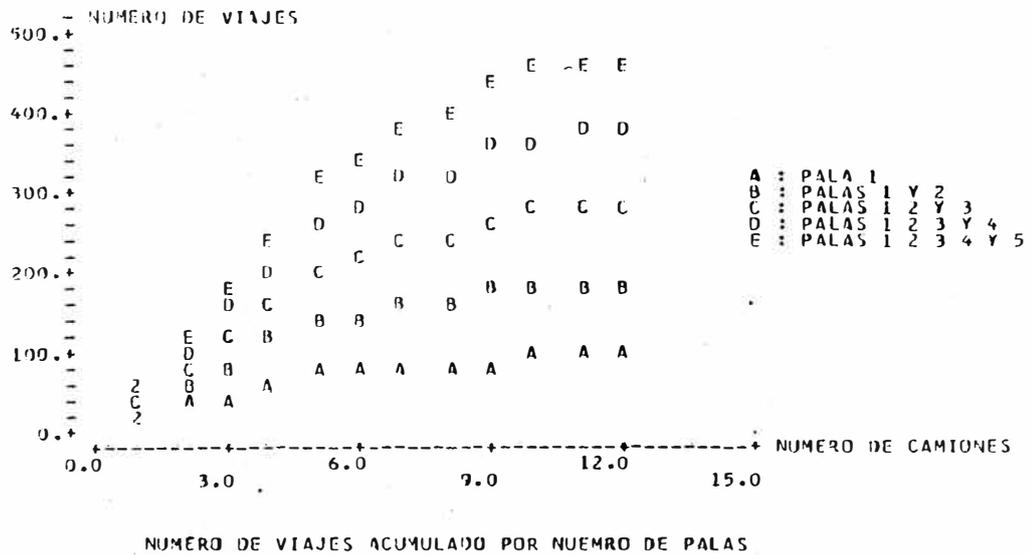
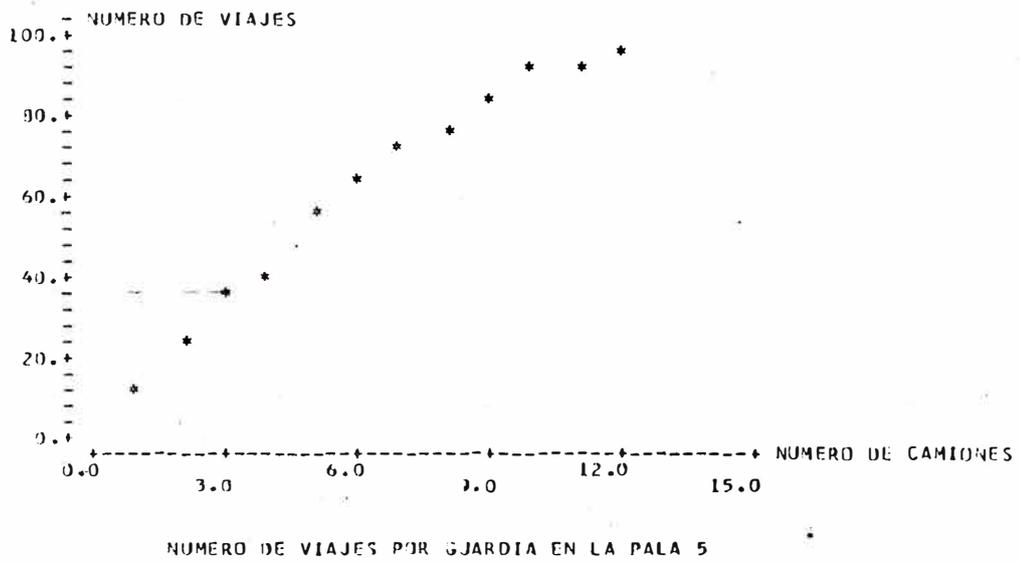
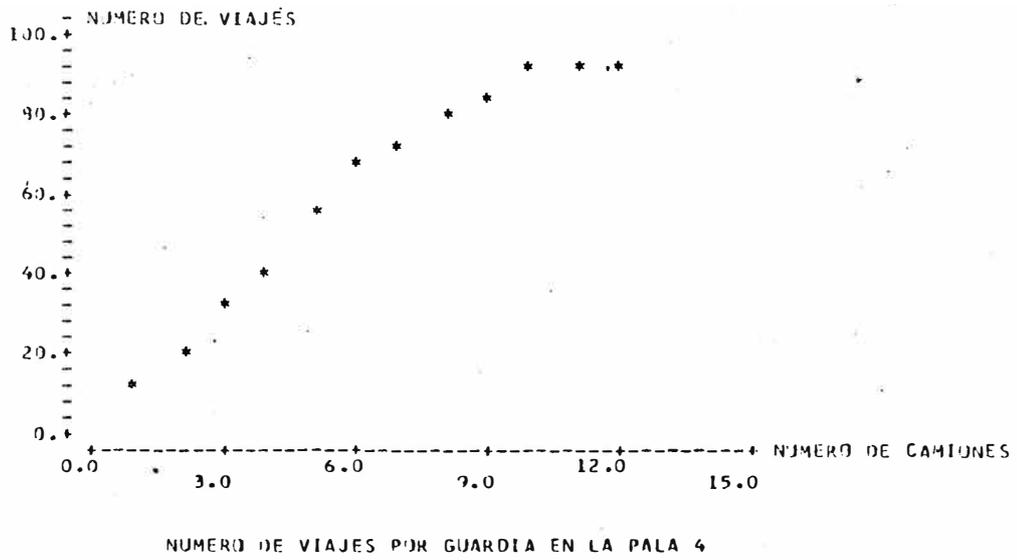
TABLA 3.12

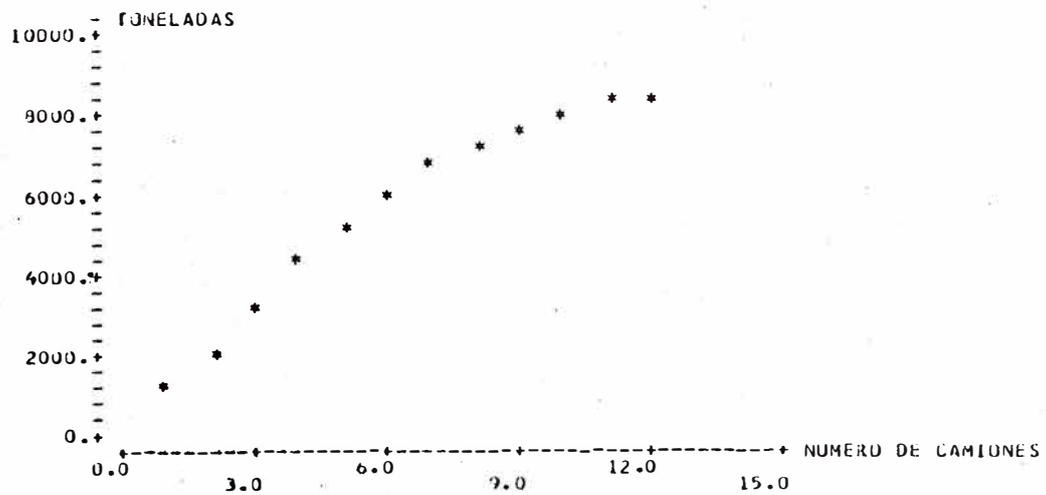
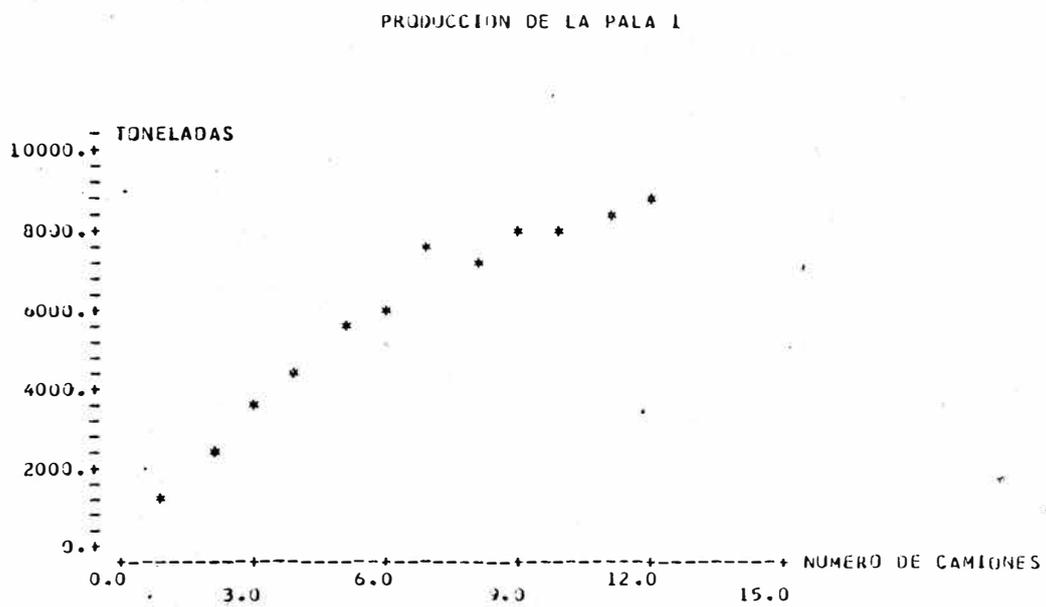
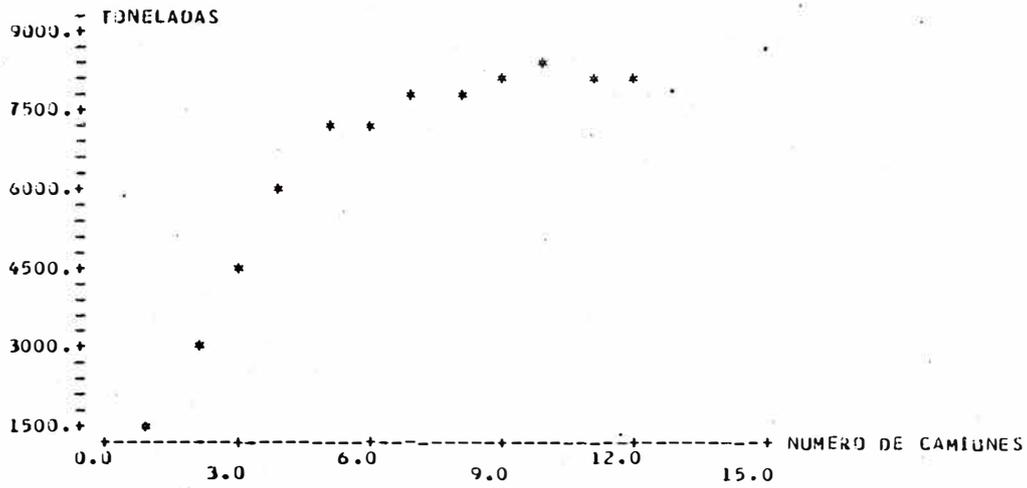
CARRIL : LH M-100 34 TIPO DE CORTE : MALO

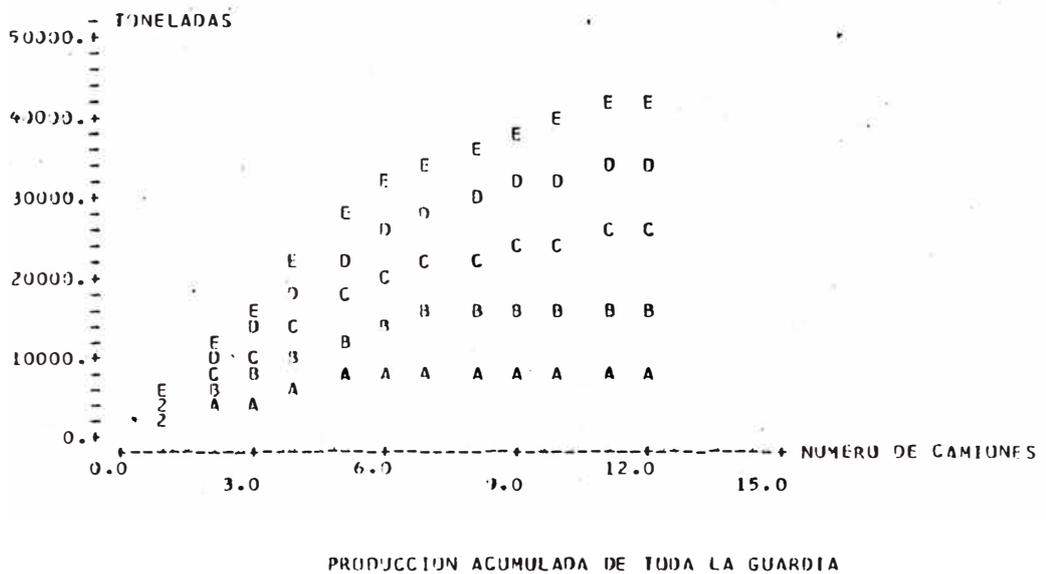
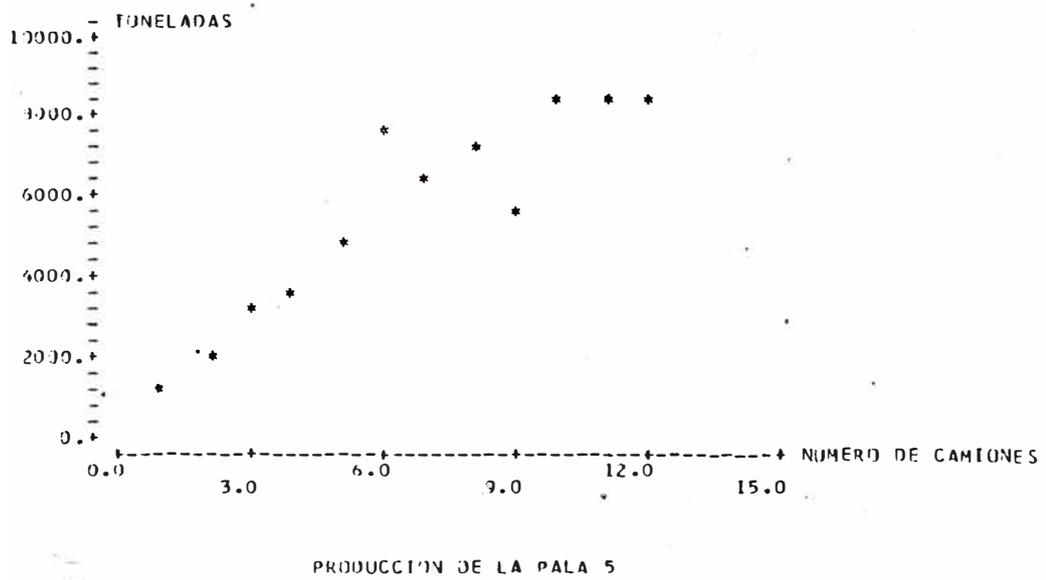
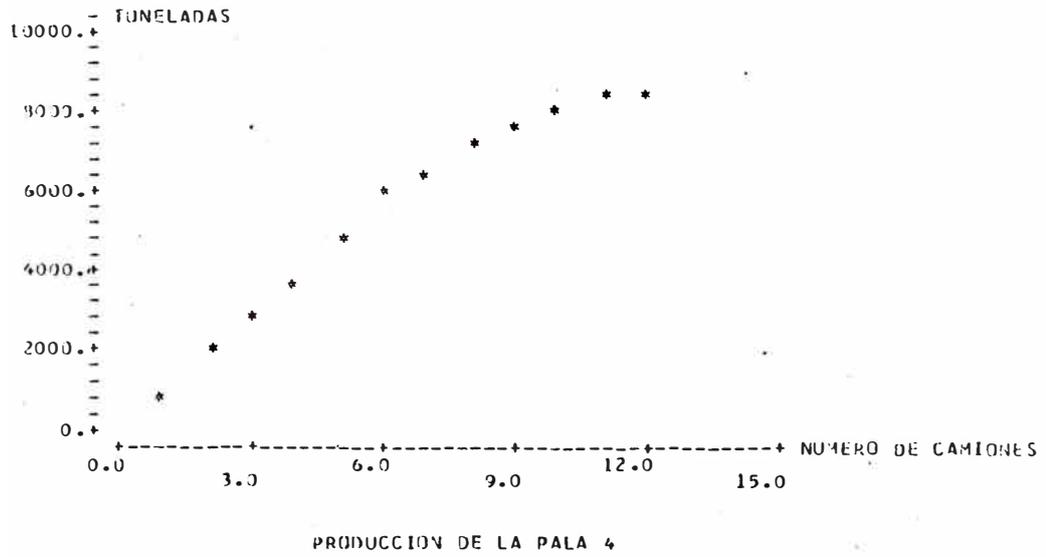
N. DE CARRILES	PALA 1		PALA 2		PALA 3		PALA 4		PALA 5	
	CST/OP (S)	TONS (TM)								
1	J.47+2	1600	J.8304	1020	0.7209	1160	0.6725	990	0.3007	1075
2	J.1331	3190	J.3155	2260	0.3432	3055	0.3862	1920	0.3767	1950
3	J.0379	4405	J.1555	3450	0.1905	3000	0.2031	2335	0.1757	3140
4	J.0254	6045	0.0340	4510	0.0749	4350	0.1401	3595	0.1450	3645
5	J.0	7070	J.0+31	5500	0.0335	5300	J.0572	4925	0.0662	4895
6	J.0115	7330	0.0301	6190	0.0250	5920	0.0151	6050	J.0379	5705
7	J.0120	7745	0.0	7430	0.0074	6705	J.0132	6545	J.0413	6330
8	J.0258	7765	0.0213	7375	0.0054	7120	J.0057	7110	J.0131	7005
9	J.0323	7955	J.003+	8115	0.0003	7760	0.0	7650	0.1398	5575
10	J.0350	9255	J.0226	8095	0.0	8120	J.0018	3075	0.0	8255
11	J.0516	8220	0.0216	8535	0.0076	8280	0.0052	8305	J.0141	8290
12	J.0553	8190	0.0307	8630	0.0221	8315	0.0223	8220	0.0215	8425

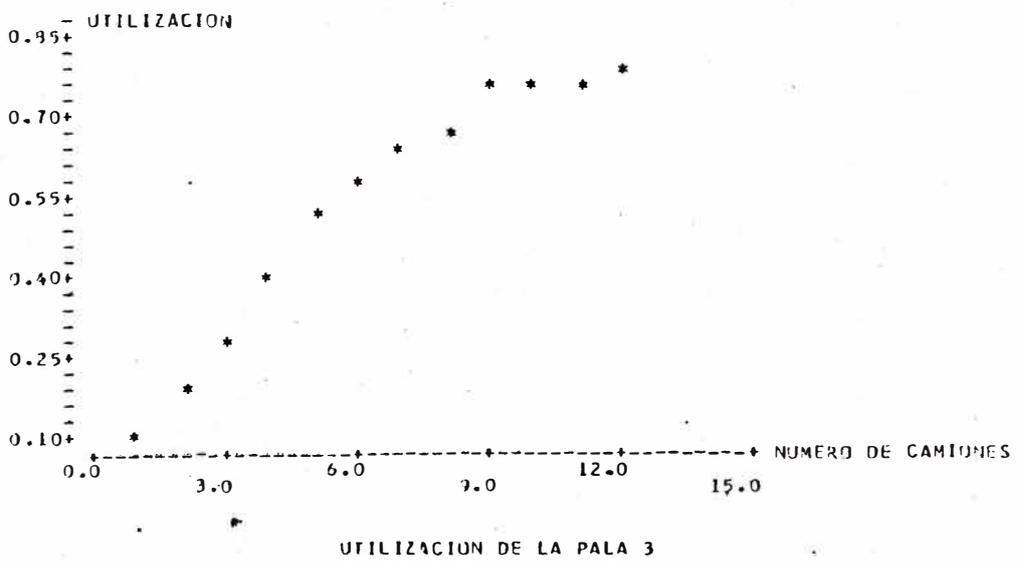
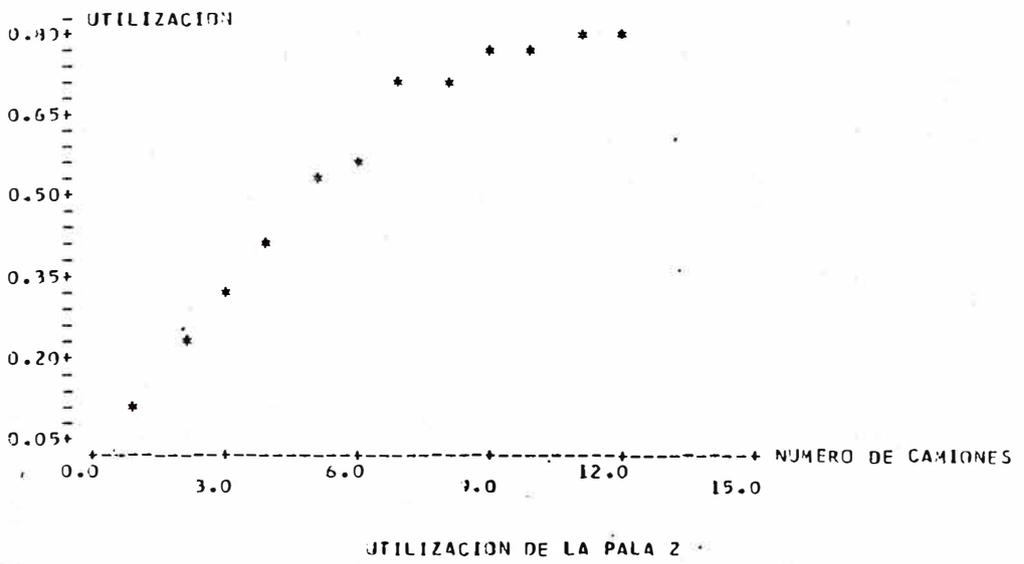
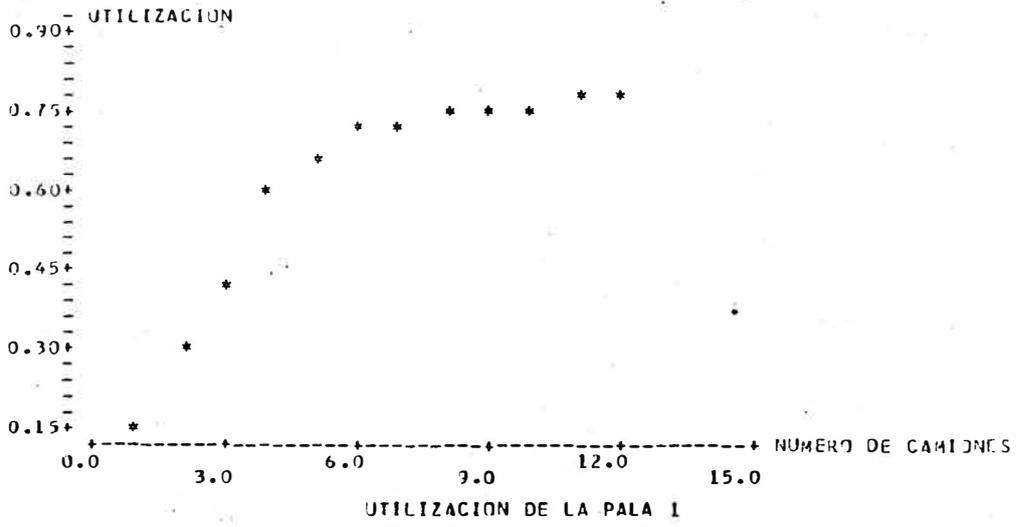
0777035

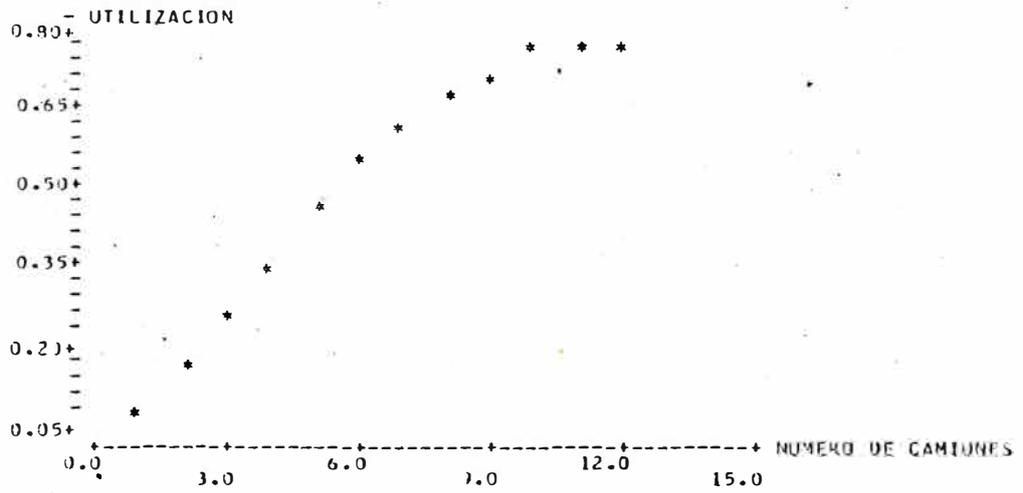




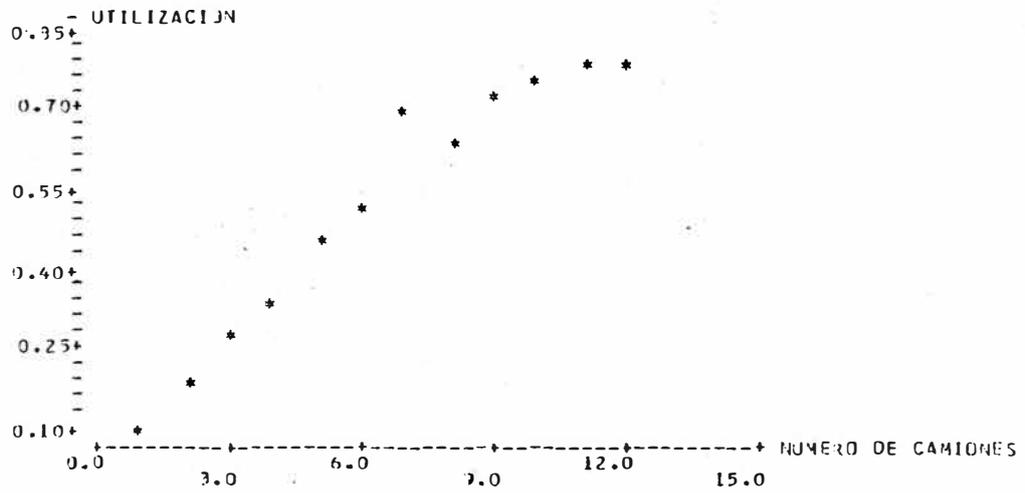




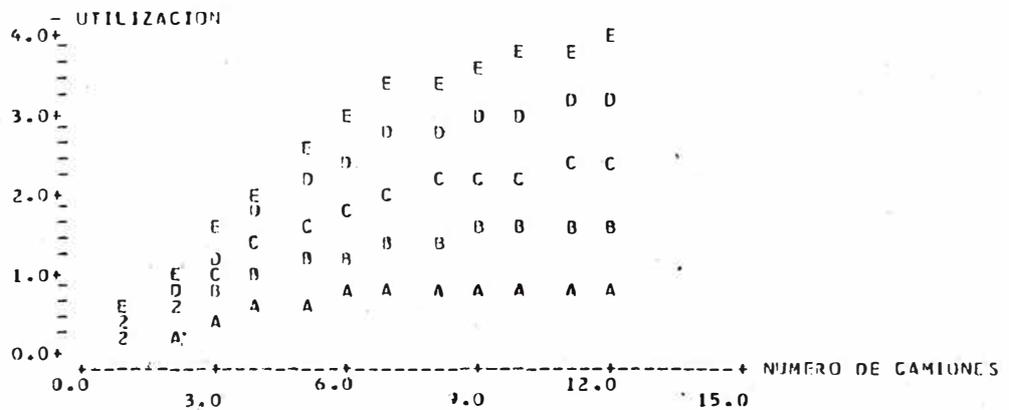




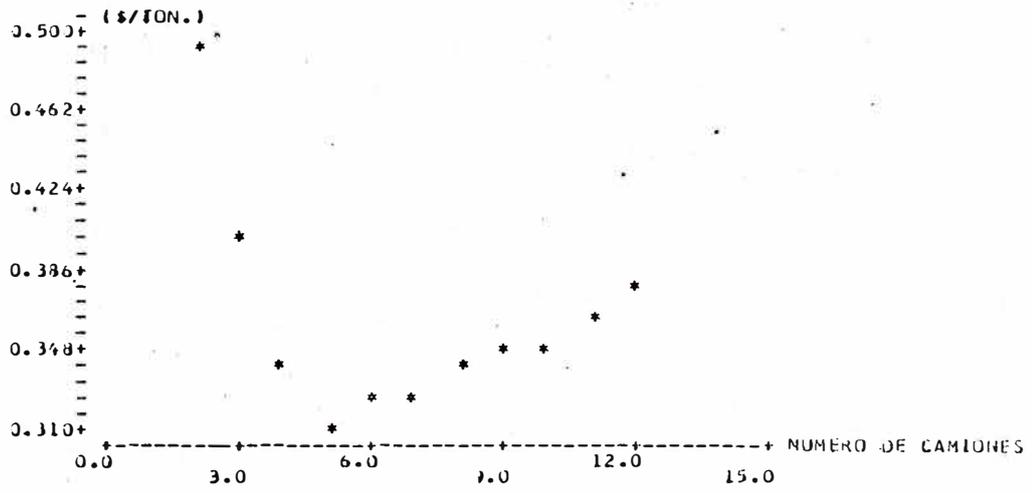
UTILIZACION DE LA PALA 4



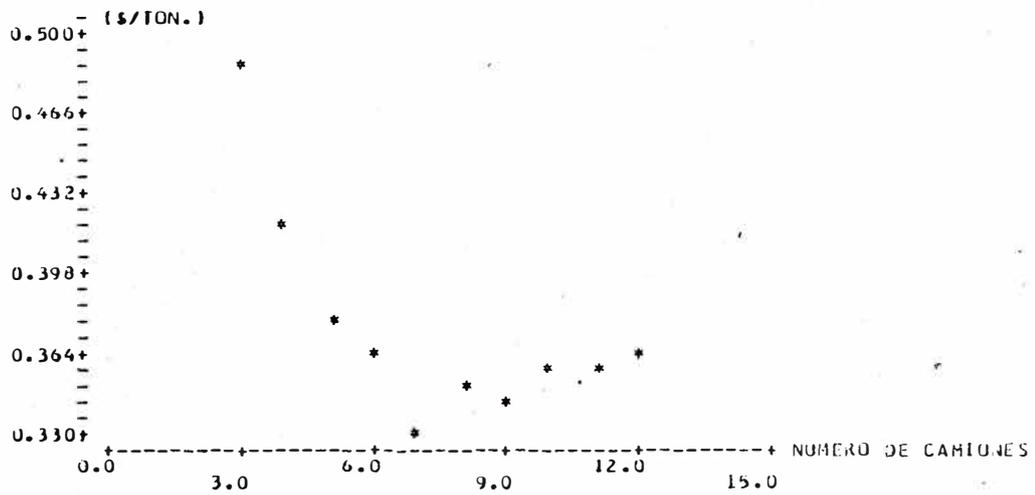
UTILIZACION DE LA PALA 5



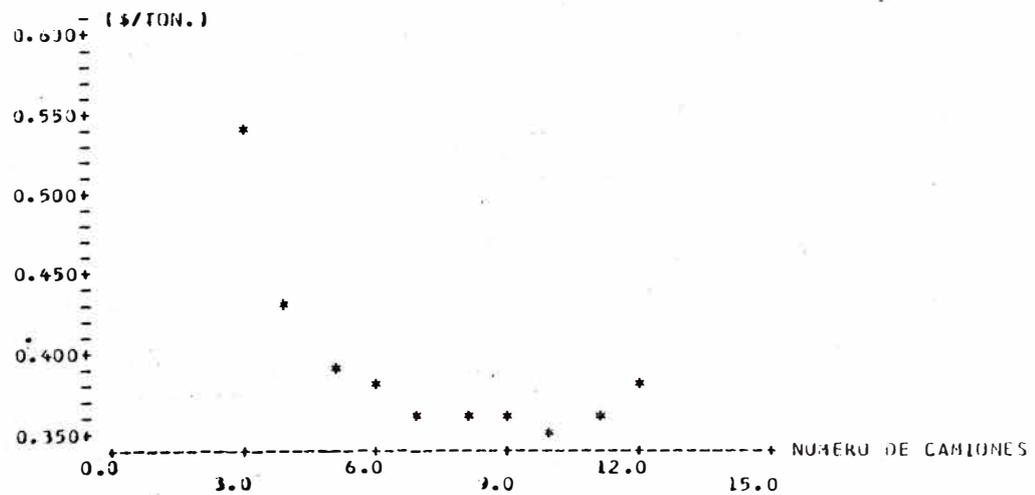
UTILIZACION DE LAS PALAS PARA TODA LA GUARDIA



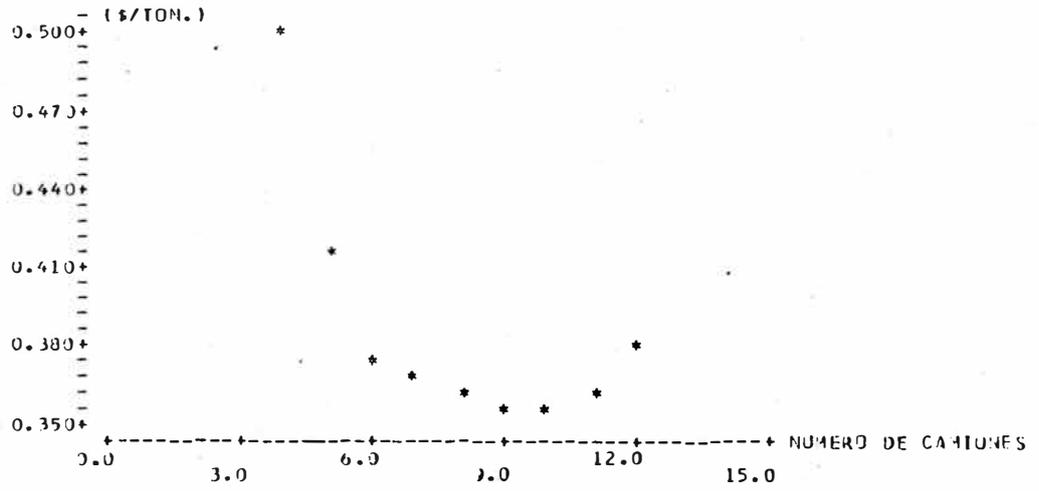
COSTO DE CARGUIO Y ACARREO DE LA PALA 1



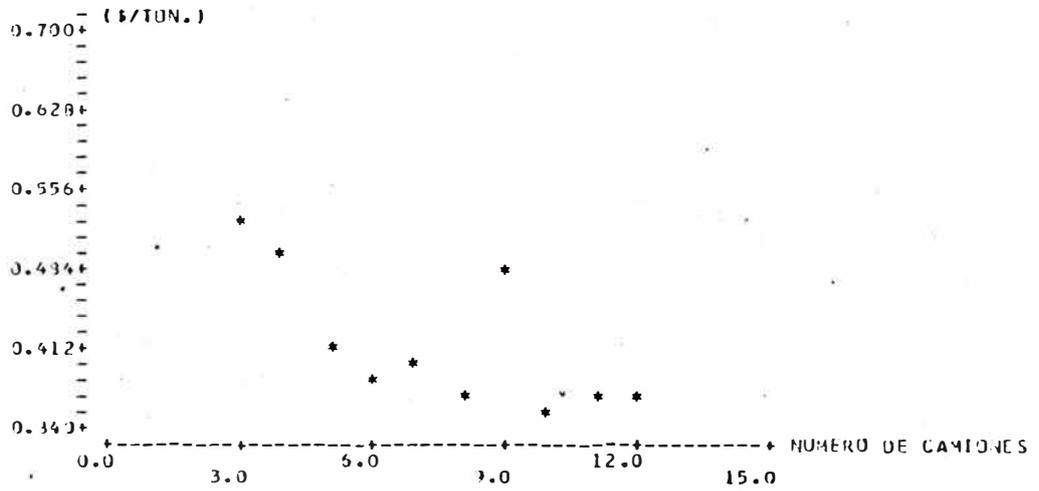
COSTO DE CARGUIO Y ACARREO DE LA PALA 2



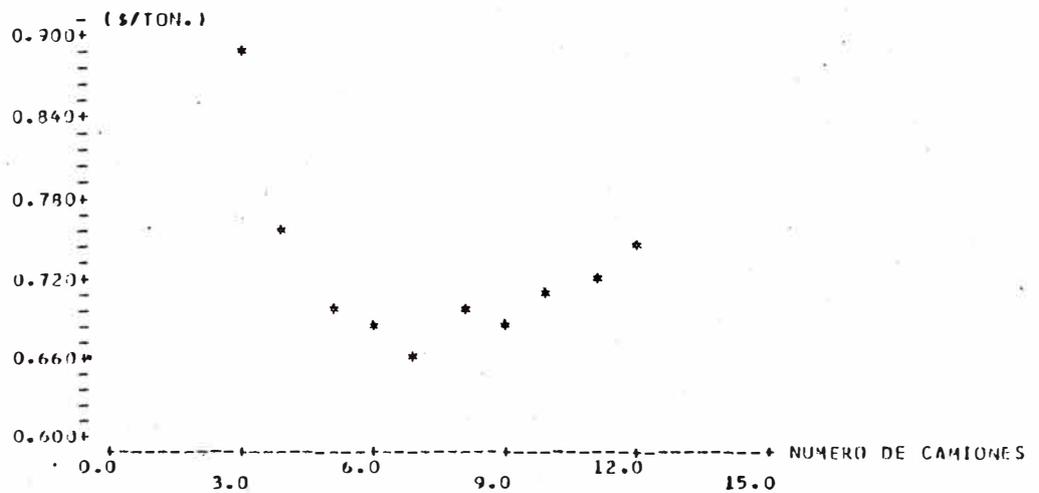
COSTO DE CARGUIO Y ACARREO DE LA PALA 3



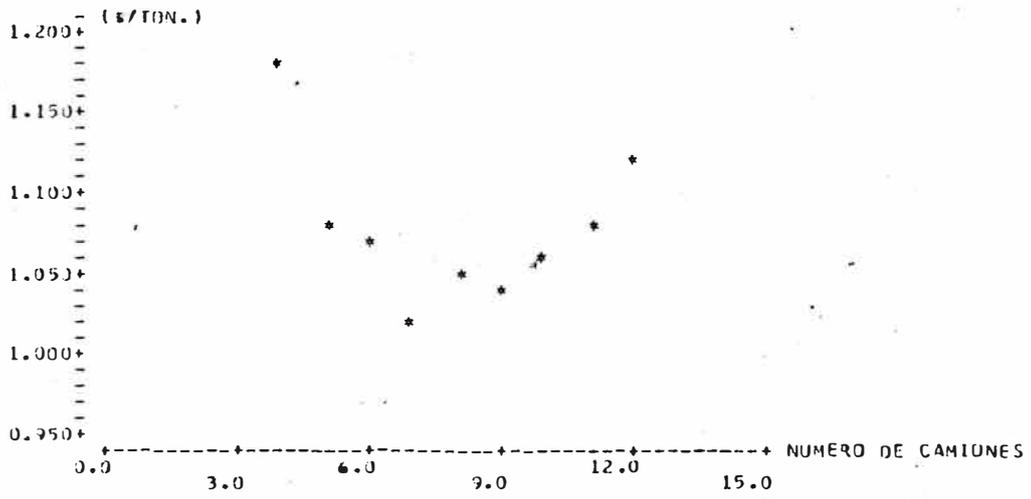
COSTO DE CARGUIO Y ACARREO DE LA PALA 4



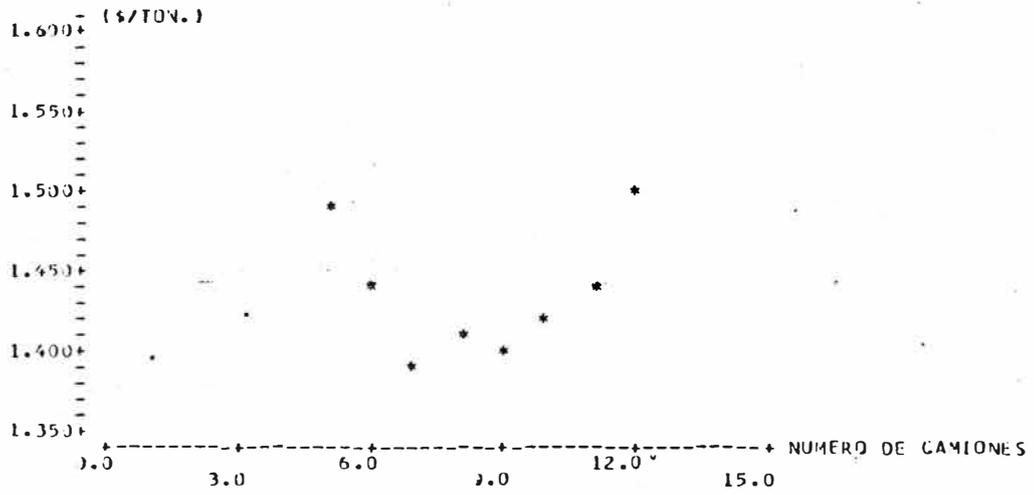
COSTO DE CARGUIO Y ACARREO PARA LA PALA 5



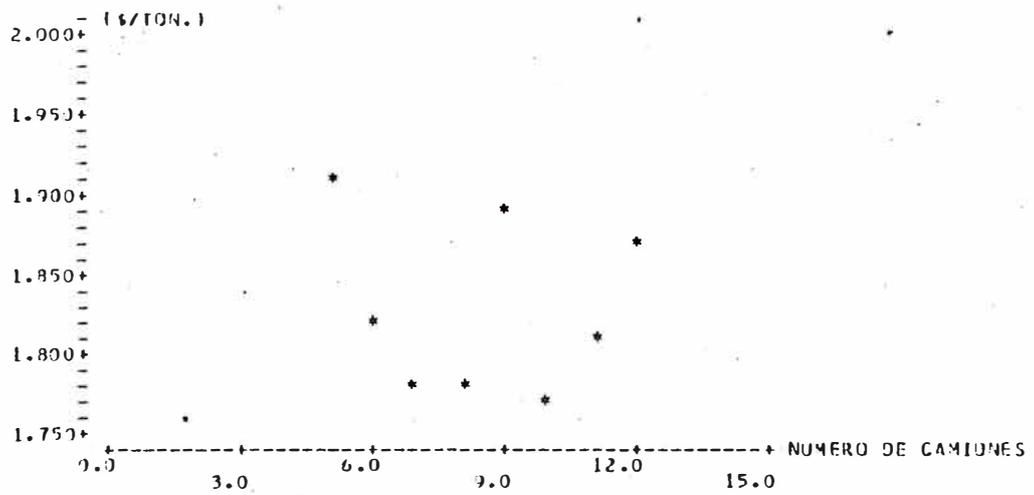
COSTO DE CARGUIO Y ACARREO DE LAS PALAS 1 Y 2



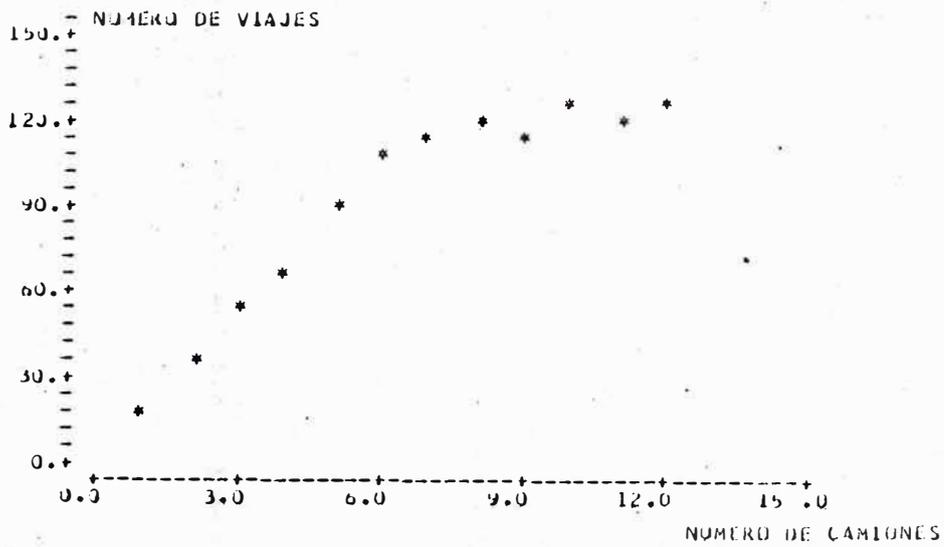
COSTO DE CARGUIO Y ACARREO PARA LAS PALAS 1 2 Y 3



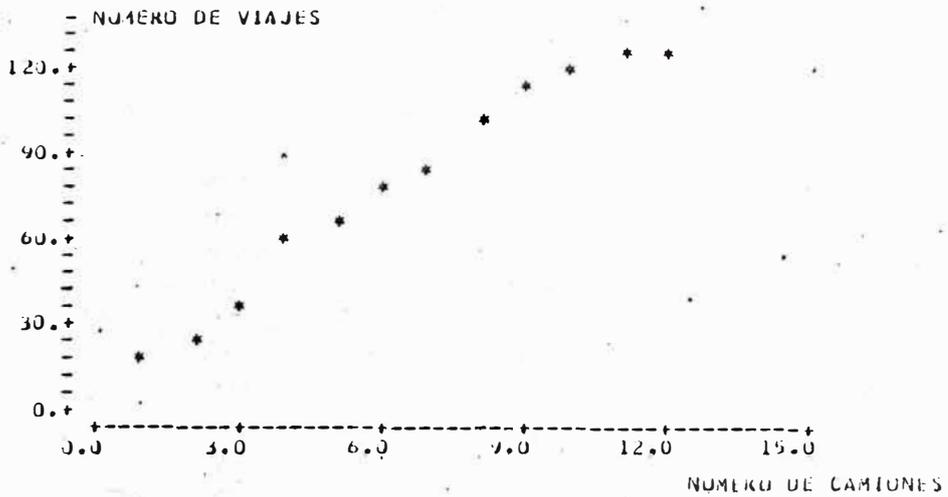
COSTO DE CARGUIO Y ACARREO PARA LAS PALAS 1 2 3 Y 4



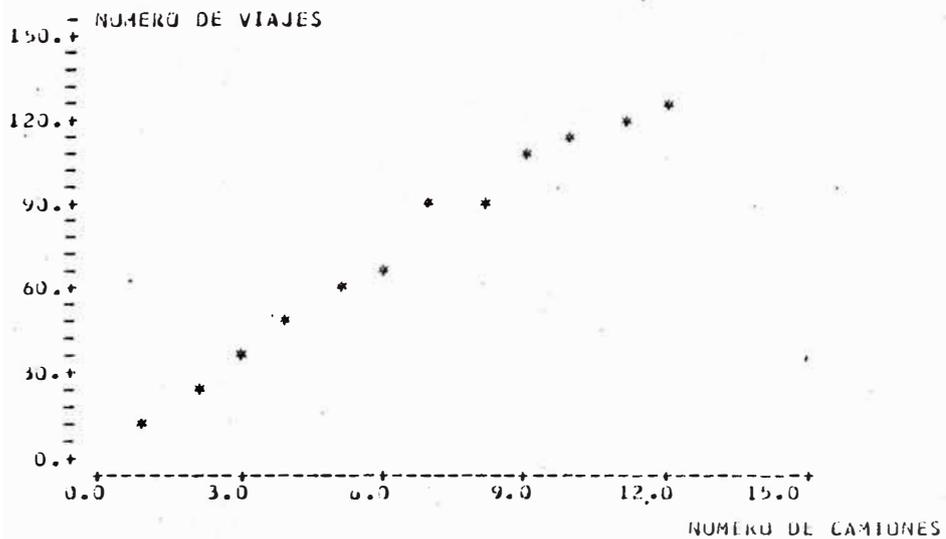
COSTO DE CARGUIO Y ACARREO PARA LAS PALAS 1 2 3 4 Y 5



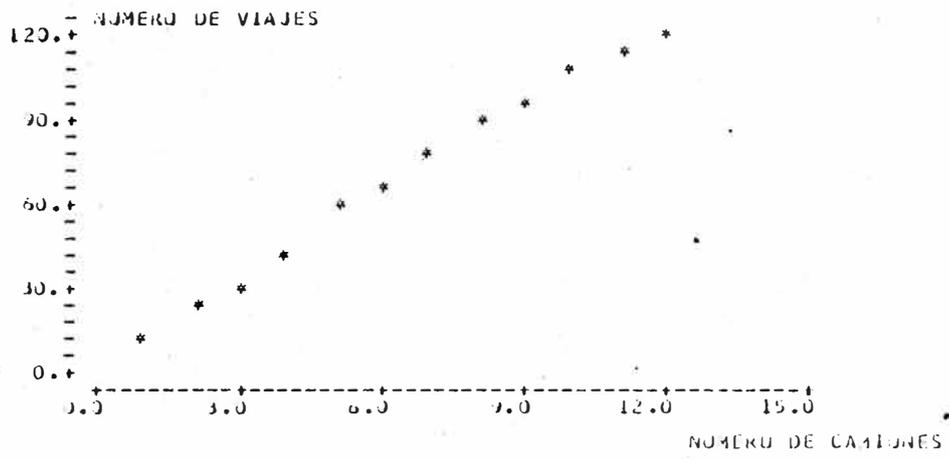
NUMERO DE VIAJES POR GUARDIA EN LA PALA 1



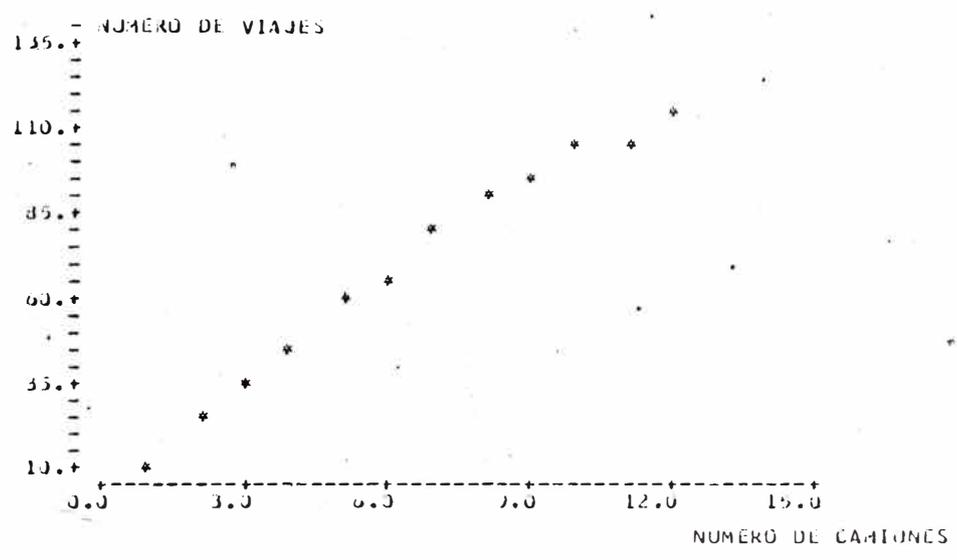
NUMERO DE VIAJES POR GUARDIA EN LA PALA 2



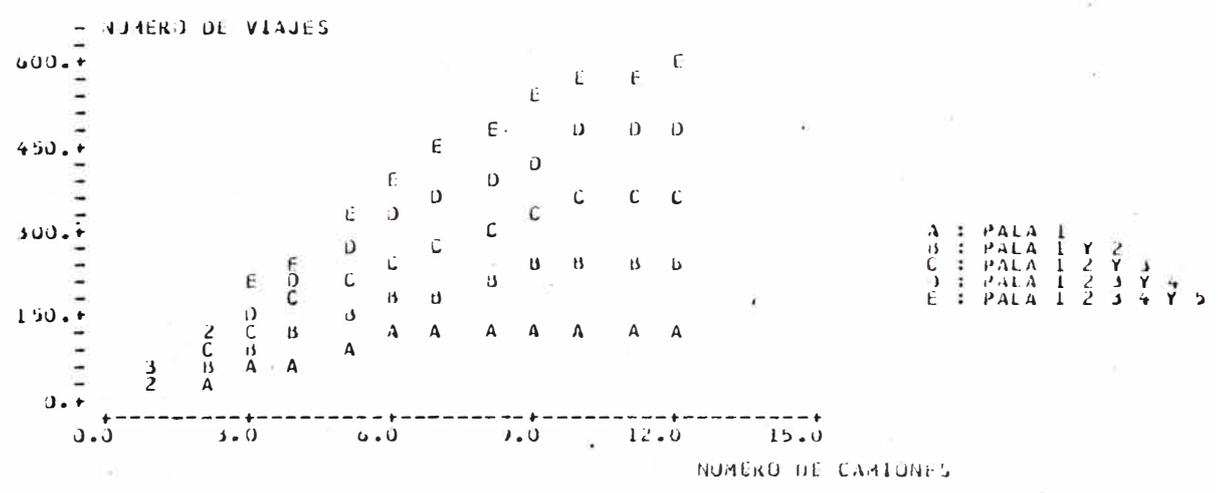
NUMERO DE VIAJES POR GUARDIA EN LA PALA 3



NUMERO DE VIAJES POR GUARDIA EN LA PALA 4

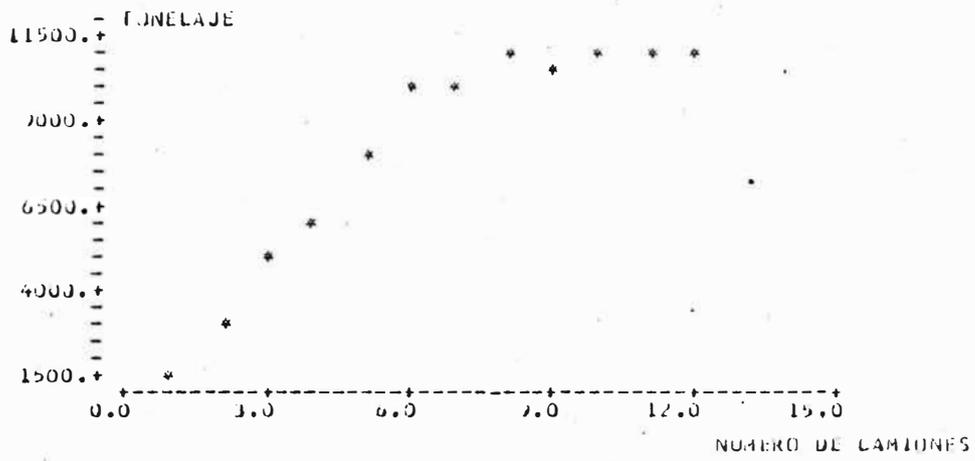


NUMERO DE VIAJES POR GUARDIA EN LA PALA 5

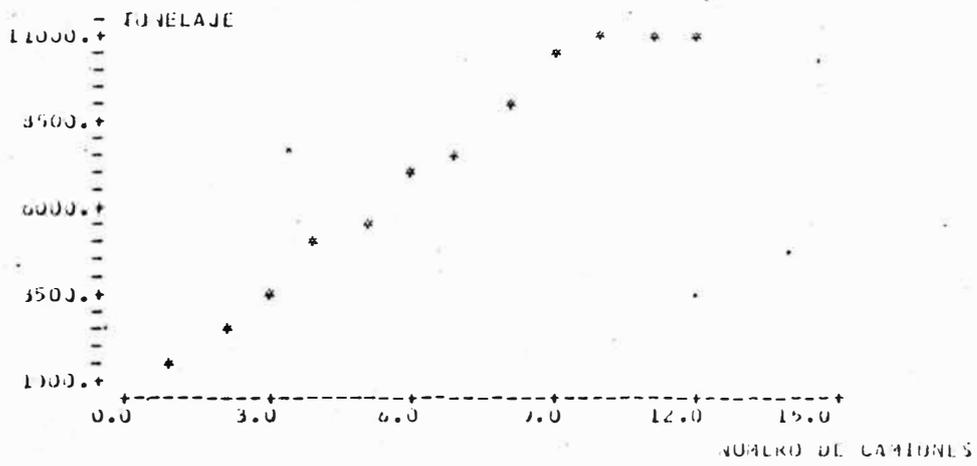


NUMERO DE VIAJES ACUMULADO POR NUMERO DE PALAS

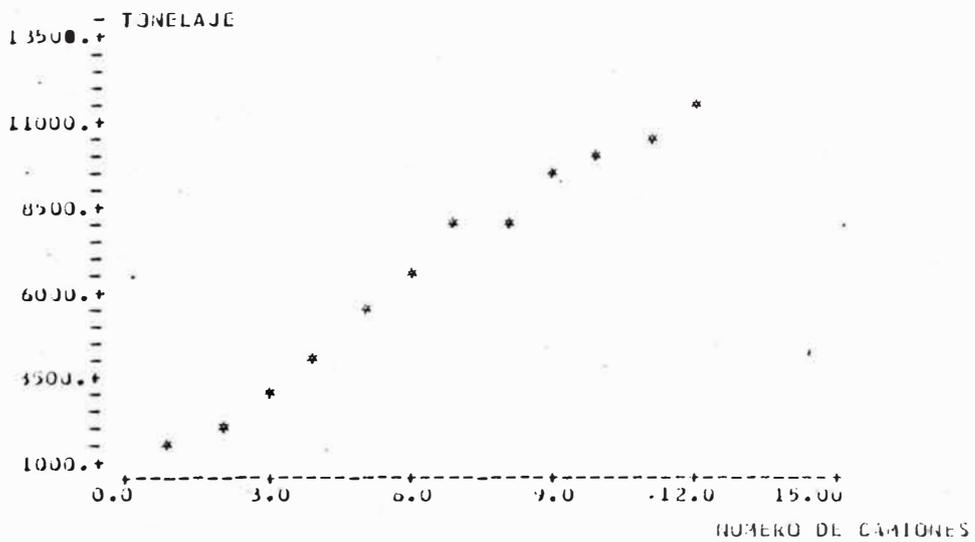
A : PALA 1
 B : PALA 2
 C : PALA 3
 D : PALA 4
 E : PALA 5



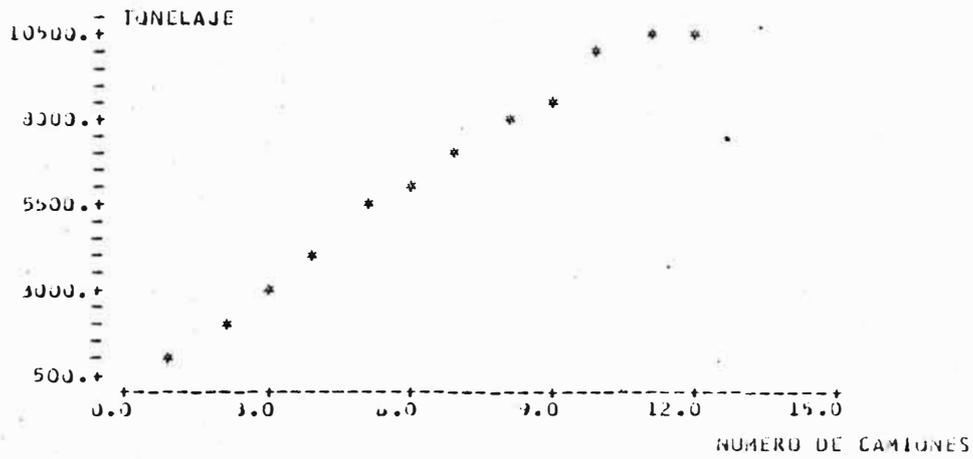
PRODUCCION DE LA PALA 1



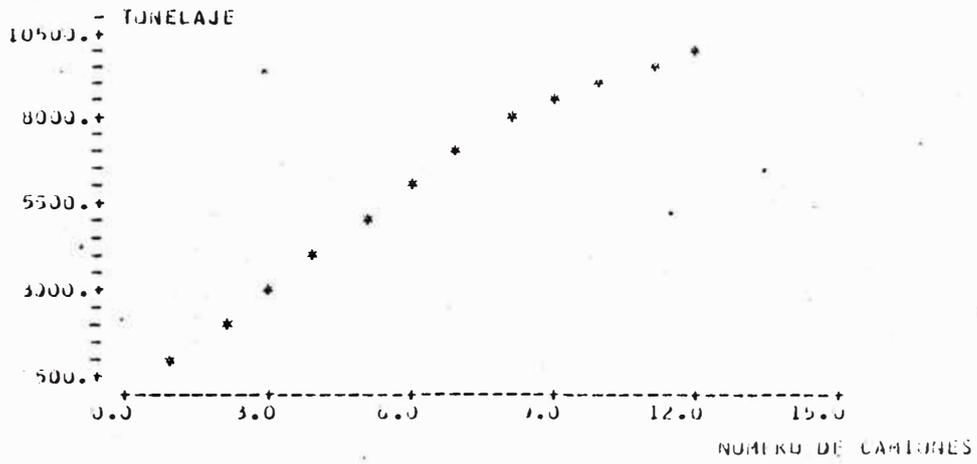
PRODUCCION DE LA PALA 2



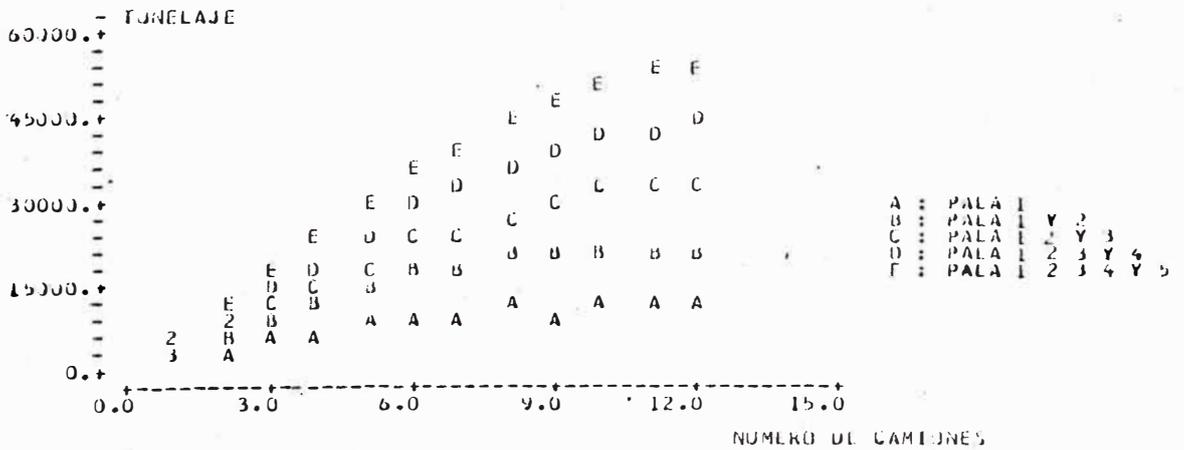
PRODUCCION DE LA PALA 3



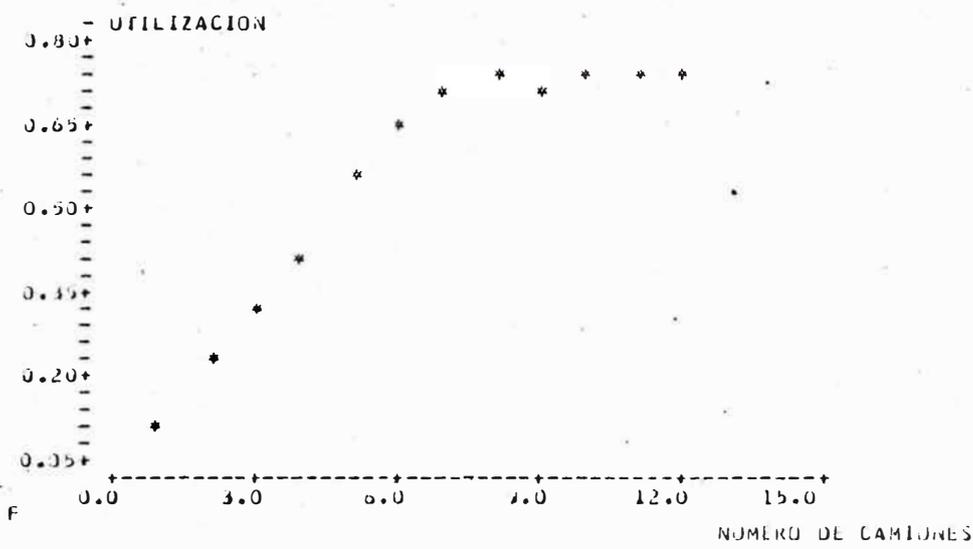
PRODUCCION DE LA PALA 4



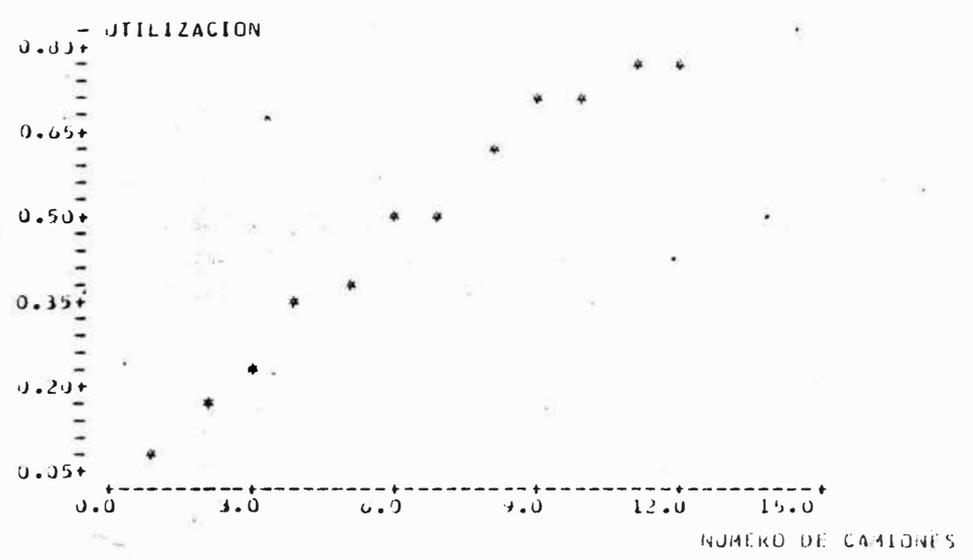
PRODUCCION DE LA PALA 5



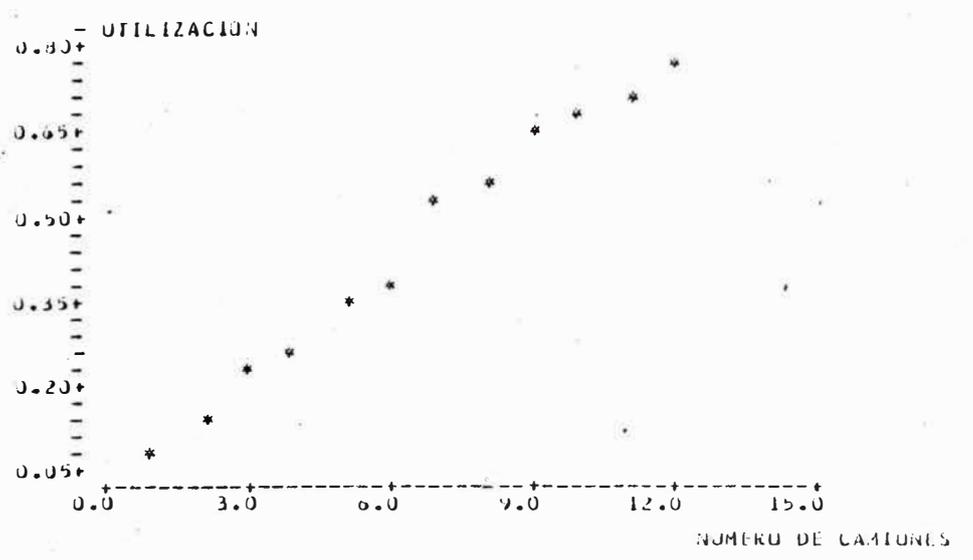
PRODUCCION ACUMULADA POR EL NUMERO DE PALAS



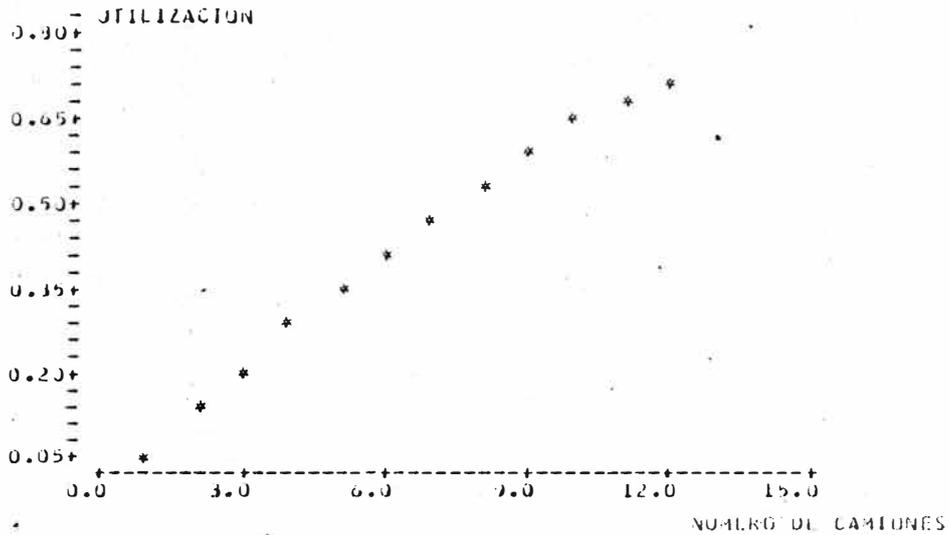
CURVA DE UTILIZACION DE LA PALA 1



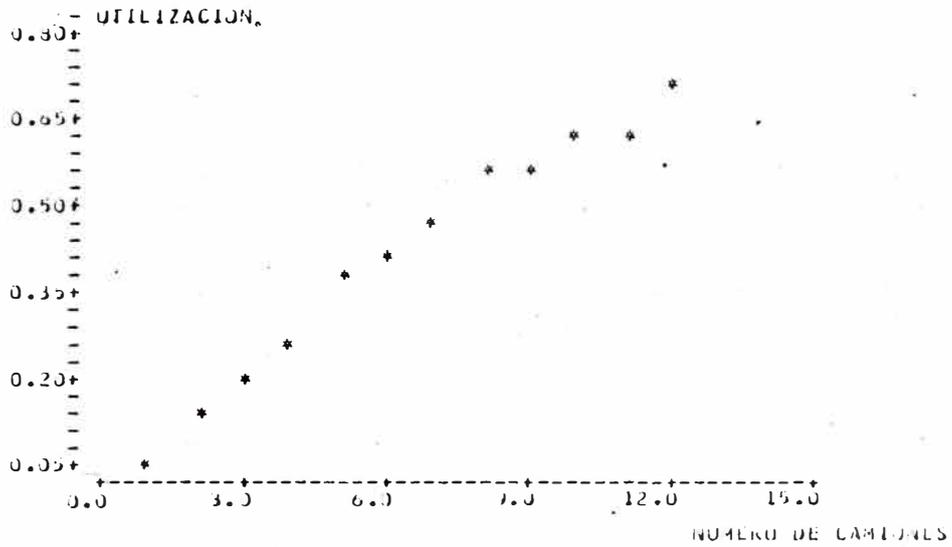
CURVA DE UTILIZACION DE LA PALA 2



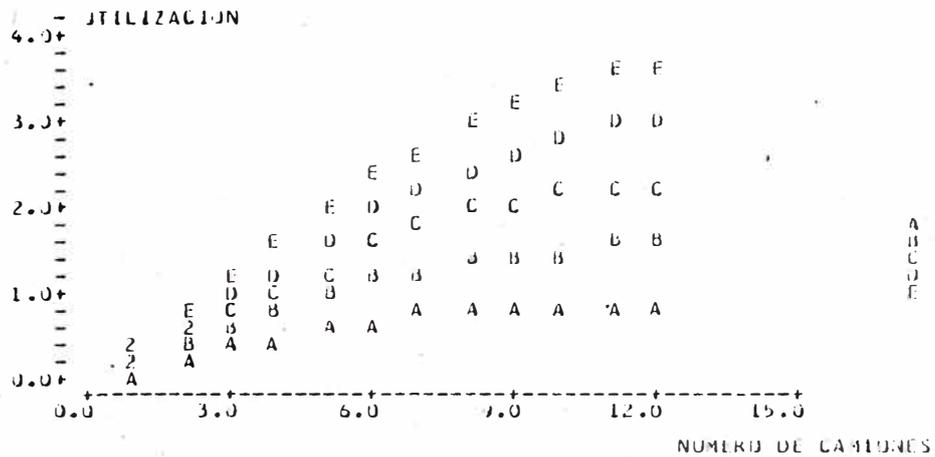
CURVA DE UTILIZACION DE LA PALA 3



CURVA DE UTILIZACION DE LA PALA 4

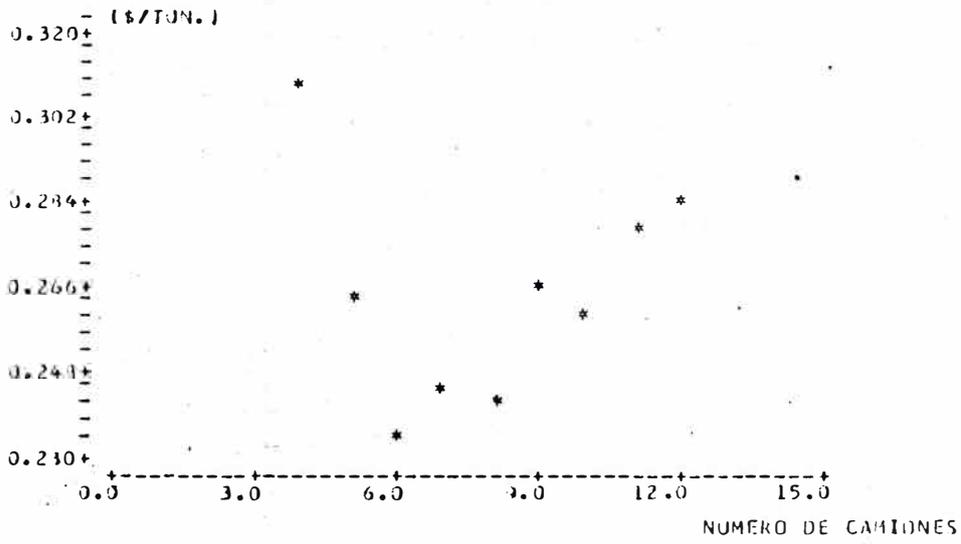


CURVA DE UTILIZACION DE LA PALA 5

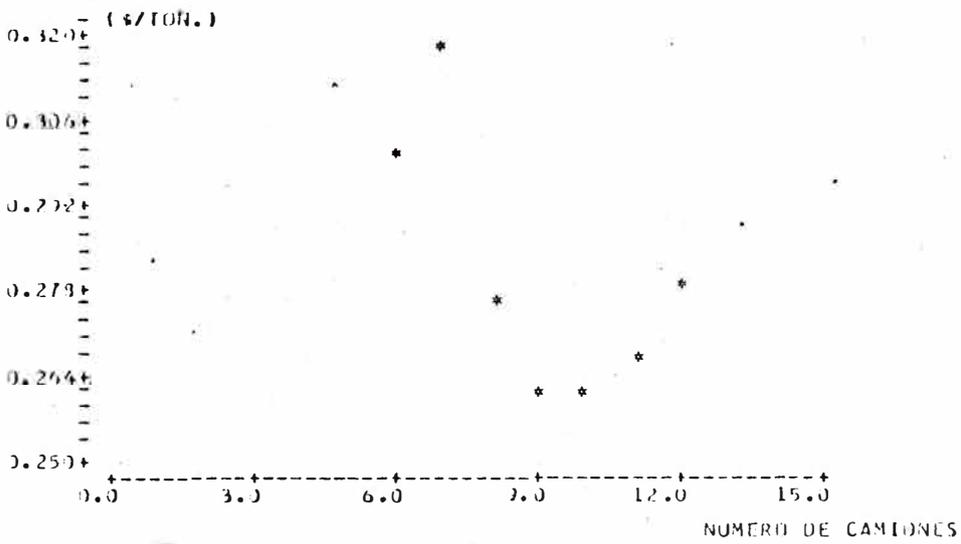


A : PALA 1
 B : PALA 1 Y 2
 C : PALA 1 2 Y 3
 D : PALA 1 2 3 Y 4
 E : PALA 1 2 3 4 Y 5

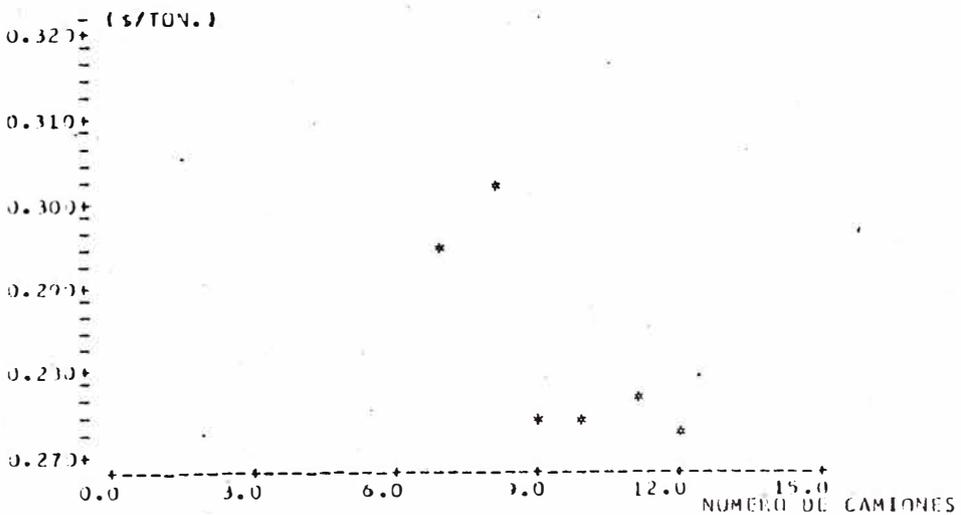
CURVA DE UTILIZACION POR NUMERO DE PALAS



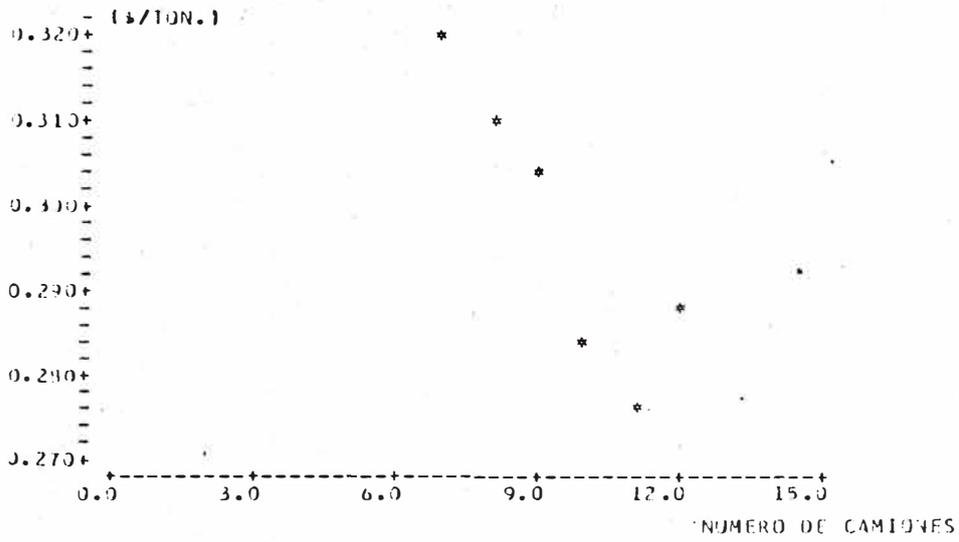
COSTO DE CARGUIO Y ACARREO DE LA PALA 1



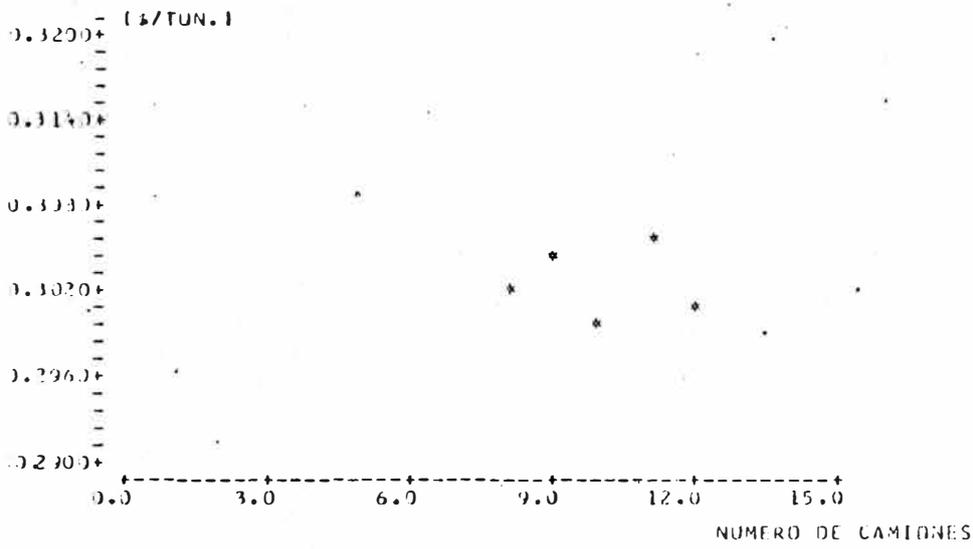
COSTO DE CARGUIO Y ACARREO DE LA PALA 2



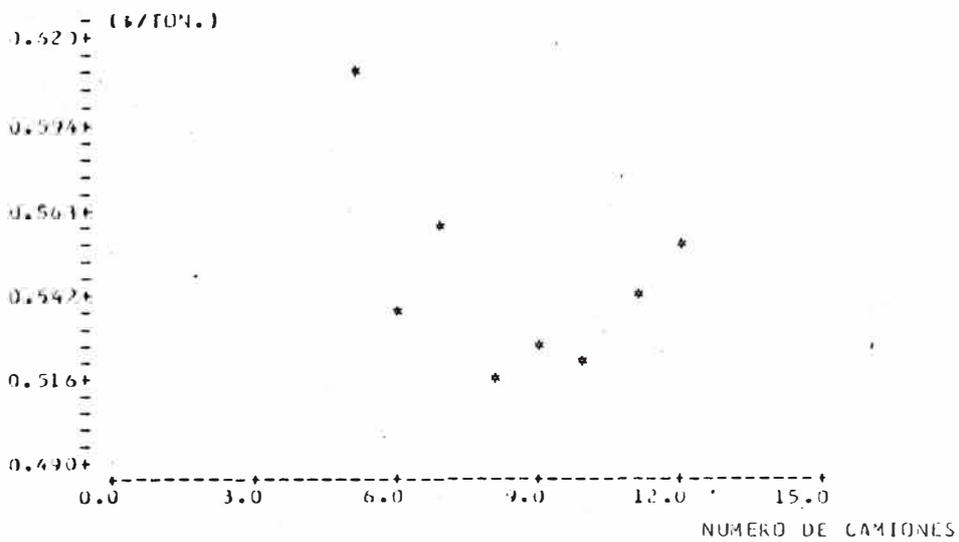
COSTO DE CARGUIO Y ACARREO DE LA PALA 3



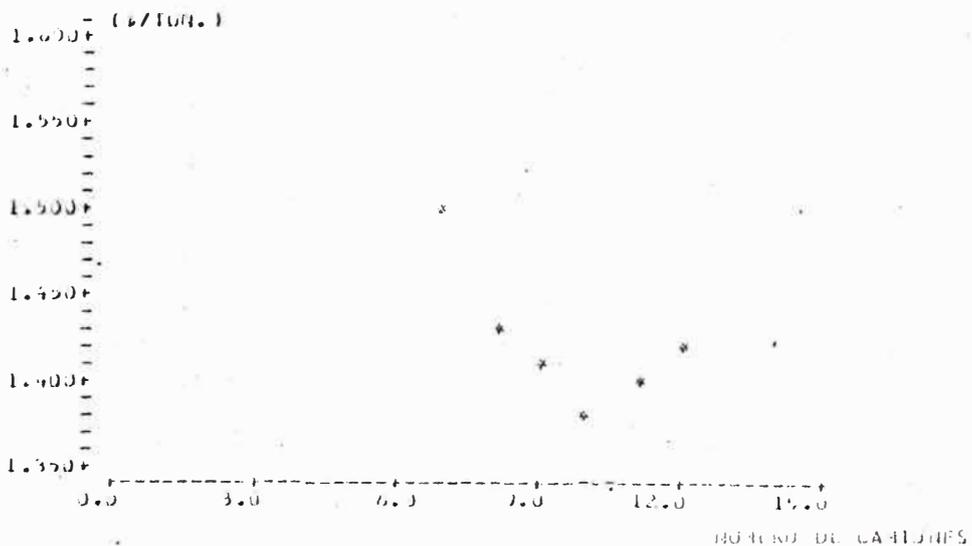
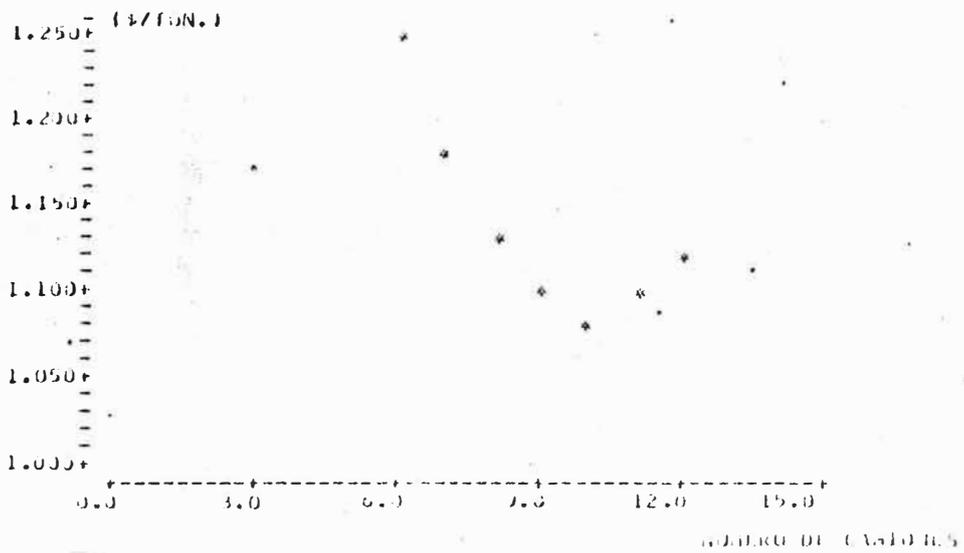
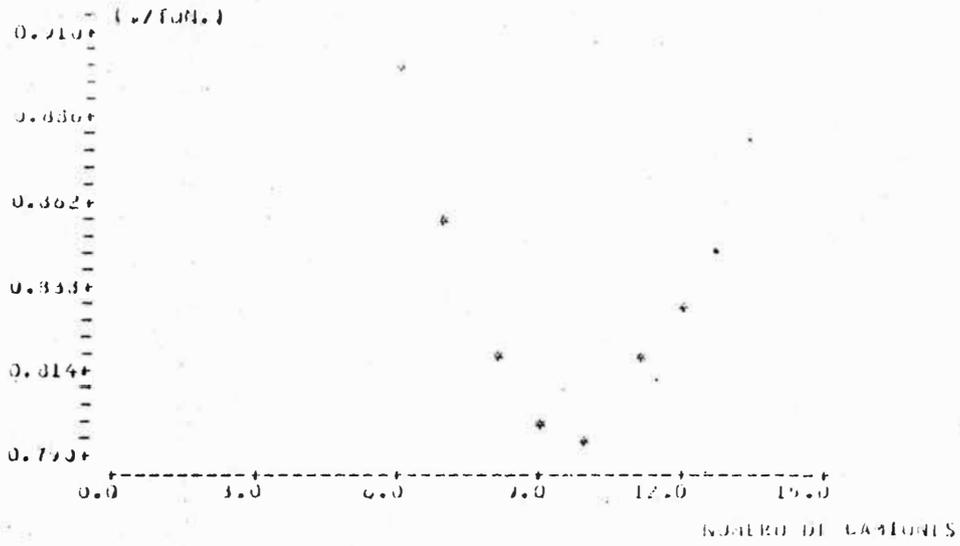
COSTO DE CARGUIO Y ACARREO DE LA PALA 4



COSTO DE CARGUIO Y ACARREO DE LA PALA 5



COSTO DE CARGUIO Y ACARREO PARA LAS PALAS 1 Y 2



APENDICE A

GENERACION DE NUMEROS ALEATORIOS

La generación de variables simuladas requiere que la selección sea al azar o aleatoria. Necesitamos, entonces, una fuente de aleatoriedad. La fuente de aleatoriedad más apropiada proviene de los números aleatorios.

Números aleatorios son aquellos números que tienen la misma probabilidad de ser obtenidos. Existen varios métodos para generar secuencias de números aleatorios; manualmente (naipes, dados, ruleta, etc.); de tablas (la tabla del Millón de Dígitos Aleatorios de la Rand Corporation); de computadoras analógicas aprovechando ciertos procesos físicos aleatorios como el comportamiento de la corriente eléctrica o el sonido de los tubos de vacío; y a partir de computadoras digitales mediante una transformación continuada indefinidamente de un grupo de números escogidos arbitrariamente.

En realidad los números aleatorios producidos por las computadoras digitales no son tales porque no cumplen completamente con las pruebas estadísticas de aleatoriedad. Por eso son llamados, más bien, Números Seudo-aleatorios, caracterizándose principalmente porque se repiten después de un cierto período. Sin embargo, para los objetivos corrientes tales secuencias son suficientes ya que 1) están distribuidas uniformemente, 2) son estadísticamente independientes, 3) son reproducibles, 4) no son repetibles en un ciclo dado, 5) son generados a altas velocidades y 6) requieren una mínima cantidad de capacidad de memoria.

En las computadoras digitales se usa el método congruencial para generar números seudo-aleatorios. Este método se basa en las relaciones fundamentales de congruencia.

Se dice que 2 números enteros son congruentes con módulo si su diferencia es múltiplo de m . Se expresa por la siguiente notación.

$$a \equiv b \pmod{m}$$

que se lee "a es congruente de b con módulo m".

Una relación recursiva es

$$n_{i+1} = an_i + c \pmod{m}$$

donde n_i , a , c y m son enteros no negativos. Expandiendo -

para $i = 0, 1, 2, \dots$, obtenemos :

$$n_1 = a n_0 + c \pmod{m}$$

$$n_2 = a n_1 + c = a^2 n_0 + (a + 1) c \pmod{m}$$

$$n_3 = a^3 n_0 + (a^2 + a + 1) c = a^3 n_0 + \frac{c(a^3 - 1)}{a - 1} \pmod{m}$$

$$\dots$$
$$n_i = a^i n_0 + \frac{c(a^i - 1)}{a - 1} \pmod{m}$$

donde n_0 es el valor inicial, a es un multiplicador constante, c es una constante aditiva y n_i es cualquier valor i de la secuencia $(n_1, n_2, \dots, n_i, \dots)$ obtenido según una relación de congruencia (módulo m).

El método congruencial puede ser aditivo, multiplicativo o mixto según se considere el primer, el segundo o ambos términos del segundo miembro de la última relación.

APENDICE B

GENERACION DE VARIABLES ESTOCASTICAS

B.1 INTRODUCCION

La generación de variables estocásticas (variables aleatorias) se logra suministrando número pseudo-aleatorios al proceso o sistema bajo estudio (donde el sistema está representado por un modelo probabilístico) y, obteniendo de él números (variables aleatorias) como respuestas. Como una regla, la simulación estocástica comprende el reemplazamiento del universo estadístico - real de elementos por su contraparte teórica, un universo descrito por alguna distribución de probabilidad asumida (como la distribución normal) y luego muestrear - de esta población teórica por medio de algún tipo generador de números aleatorios. Sin embargo, en algunos casos no es posible encontrar una distribución standard

que describe el proceso estocástico particular o algún componente de tal proceso. En estos casos el proceso estocástico puede ser reproducido (o simulado) sólo por muestreo de distribuciones empíricas.

Al considerar procesos estocásticos que impliquen sean variables aleatorias discretas o continuas, definimos una función $F(x)$ llamada función de distribución acumulativa de la cual denota la probabilidad de que una variable aleatoria X tome el valor de x o menos. Si la variable aleatoria es discreta, entonces x toma valores específicos, y $F(x)$ es una función del intervalo. Si $F(x)$ es continua en el dominio de x , es posible diferenciar esta función y definir $f(x) = dF(x)/dx$. La derivada $f(x)$ se llama función de densidad de probabilidad. La función de distribución acumulativa puede ser establecida matemáticamente como :

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$$

donde $F(x)$ está definido en el rango $0 \leq F(x) \leq 1$, y $f(t)$ representa el valor de la función de densidad de probabilidad de la variable aleatoria X cuando $X = t$.

Las variables aleatorias distribuidas uniformemente desempeñan un importante rol en la generación de variables aleatorias extraídas de otras distribuciones de

probabilidad. Entonces denotaremos las variables aleatorias uniformes por r , cuando $0 \leq r \leq 1$, y $F(r) = r$.

Hay métodos básicos para generar variables a partir de distribuciones de probabilidad "el método de la transformación inversa" y "el método de la exclusión" y el "método de la composición". Explicaremos solamente el primer método que es el que se usa en la simulación de la distribución normal.

Según el Método de Transformación Inversa, si deseamos generar variables aleatorias x_i de alguna población estadística particular cuya función de densidad está dada por $f(x)$, primero obtenemos la función de distribución acumulativa $F(x)$. Verificado esto, puesto que $F(x)$ está definido en el rango 0 a 1 podemos generar números aleatorios distribuidos uniformemente y hagamos $F(x)=r$. Es evidentemente que x está unívocamente determinado por $r = F(x)$. Entonces para cualquier valor particular de r , digamos r_0 , el cual generamos, es posible encontrar el valor de x , en este caso x_0 , correspondiendo a r_0 la función inversa de F si es conocida. Es decir,

$$x_0 = F^{-1}$$

donde $F^{-1}(r)$ es la transformación inversa de r en el intervalo unitario en el dominio de x . Podemos resumir ma

temáticamente este método diciendo que si generamos números aleatorios normales correspondientes a una $F(x)$ dada,

$$r = F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt \quad (\&)$$

luego,

$$P(X \leq x) = F(x) = P[r \leq f(x)] = P[F^{-1}(r) \leq x],$$

y consecuentemente $F^{-1}(r)$ es una variable que tiene $f(x)$ como su función de densidad de probabilidad. Esto es equivalente a resolver la ecuación (&) para x en término de r .

B.2 GENERACION DE VARIABLES ESTOCASTICAS A PARTIR DE UNA DISTRIBUCION NORMAL.

La distribución normal es la distribución más conocida y más corrientemente usada. Aunque su existencia requiere ciertas condiciones, la experiencia estadística ha mostrado que, de hecho, las distribuciones a menudo se aproximan a la normal.

Una variable aleatoria X tiene una distribución normal si tiene la siguiente función de densidad $f(x)$:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2} \quad \begin{array}{l} -\infty < x < \infty \\ \sigma_x > 0 \end{array}$$

Si hacemos $Z = \frac{X - \mu_x}{\sigma_x}$, obtendremos la llamada distribución normal standard cuya función de densidad sería :

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-1/2 Z^2} \quad -\infty < Z < \infty$$
$$\mu_x = 0, \sigma_x = 1$$

El valor esperado y la varianza de la distribución normal no standard están dados por :

$$E(Z) = \mu_x$$

$$V(X) = \sigma_x^2$$

Para generar una variable aleatoria a partir de una distribución normal nos valemos del T. del L. Central - según la cual "la distribución de probabilidad de la suma de N variables aleatorias x_i distribuídas independientemente e idénticamente con sus respectivas medias μ_i y varianzas σ_i^2 , se aproximan asintóticamente a una distribución normal con media y varianza.

$$\mu = \sum_{i=1}^N \mu_i \quad \sigma = \sum_{i=1}^N \sigma_i$$

conforme N se hace muy grande".

Para simular una distribución normal con un valor esperado dado, μ_x y una desviación standard dada σ_x , - la siguiente interpretación matemática según el Teorema del Límite Central puede darse. Si r_1, r_2, r_3, \dots

Si hacemos $Z = \frac{X - \mu_x}{\sigma_x}$, obtendremos la llamada distribución normal standard cuya función de densidad sería :

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-1/2 Z^2} \quad -\infty < Z < \infty$$
$$\mu_x = 0, \sigma_x = 1$$

El valor esperado y la varianza de la distribución normal no standard están dados por :

$$E(Z) = \mu_x$$

$$V(X) = \sigma_x^2$$

Para generar una variable aleatoria a partir de una distribución normal nos valemos del T. del L. Central - según la cual "la distribución de probabilidad de la suma de N variables aleatorias x_i distribuídas independientemente e idénticamente con sus respectivas medias μ_i y varianzas σ_i^2 , se aproximan asintóticamente a una distribución normal con media y varianza.

$$\mu = \sum_{i=1}^N \mu_i \quad \sigma = \sum_{i=1}^N \sigma_i$$

conforme N se hace muy grande".

Para simular una distribución normal con un valor - esperado dado μ_x y una desviación standard dada σ_x , - la siguiente interpretación matemática según el Teorema del Límite Central puede darse. Si r_1, r_2, r_3, \dots

r_n son variables aleatorias independientes teniendo cada uno la misma distribución de probabilidad con

$$E(r_i) = \theta \quad \text{y} \quad \text{Var}(r_i) = \sigma^2$$

luego :

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P \left[a < \frac{\sum r_i - N\theta}{\sqrt{N} \sigma} < b \right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\frac{1}{2}z^2} dz$$

donde

$$E \left(\sum_{i=1}^N r_i \right) = N\theta$$

$$\text{Var} \left(\sum_{i=1}^N r_i \right) = N\sigma^2$$

$$z = \frac{\sum_{i=1}^N r_i - N\theta}{\sigma/\sqrt{N}}$$

z es una variable normal standard.

El procedimiento para simular variables normales en una computadora se reduce, entonces, a tomar la suma de k variables aleatorias distribuidas uniformemente r_1, r_2, \dots, r_k , donde r_i está definida en el intervalo $[0, 1]$. Luego aplicando la notación matemática del Teorema del Límite Central y nuestros conocimientos sobre distribución uniforme, tendremos:

$$\theta = \frac{a + b}{2} = \frac{0 + 1}{2} = \frac{1}{2}$$

$$\sigma = \frac{b - a}{\sqrt{12}} = \frac{1}{\sqrt{12}}$$

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^K r_i - K/2}{K/12}$$

pero Z es una variable normal standard igual a $\frac{x - \mu_x}{\sigma_x}$,
reemplazando tenemos :

$$\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} = \frac{\sum_{i=1}^K r_i - K/2}{\sqrt{K/12}}$$

resolviendo para x, obtenemos

$$x = \mu_x + \left(\frac{12}{K}\right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^K r_i - \frac{K}{2} \right) \sigma_x$$

El valor de K debe determinarse de manera que que
de balanceado la eficiencia computacional y la seguri-
dad.

Un valor de K = 12 permite una ventaja en la velo-
cidad de computación y una seguridad hasta un límite -
de más o menos 60'

Cuando la distribución que se va, a simular no pue-
de ser aproximado a ninguna de las distribuciones cono-
cidas, se utiliza el método de la simulación en distri-
buciones empíricas. En realidad este método es aplica-
ble a cualquier tipo de distribución : discreta,

continua o empírica.

Sea X una variable aleatoria discreta con $P(X = b_i) = P_i$ tal como las variables aleatorias en la siguiente tabla

b_i	$P(x = b_i) = P_i$
b_1	.273
b_2	.037
b_3	.195
b_4	.009
b_5	.124
b_6	.058
b_7	.062
b_8	.151
b_9	.047
b_{10}	.044

Claramente un método para generar x en una computadora es generar una variable aleatoria uniforme $r(0,1)$ y hacer $x = b_i$ si

$$p_1 + \dots + p_{i+1} \leq r \leq p_1 + \dots + p_i$$