1 INTRODUCCION

### INTRODUCCION

La ingenieria de producción es una de las ramas u. ...
injenieria industrial en la cual se requiere del conocimiento de
ciertas herramientas que en determinado momento nos puedan facilitar el análisis de un sistema y las posibles metodologías aplicables a èste.

Una de las herramientas, quizas la más poderosa debido a su amplia gama de potenciales aplicaciones, es la simulación de sistemas.

En los ultimos tiempos, con el desarrollo de las computadoras se ha desarrollado una gran variedad de sistemas de simulación con el objetivo fundamental de comprimir el tiempo para excentrar solución a situaciones que requeririan de un tiempo real imposible de monitorear.

la mayoria de las situaciones conflictivas dentro de cualquier sistema pueden ser atacadas mediante la simulación siempre y cuando se conozca el funcionamiento de èste y las metas establecidas para el cumplimiento de su objetivo.

Este objetivo puede lograrse contando con información completa de las variables que integran el sistema bajo estudio y la implantación de un modelo adecuado.

El contenido del presente trabajo se enfoca al desarrollo de un simulador para sistemas de producción intermitente, el cual tiene por objetivo, simular en forma didáctica, las actividades de un sistema con esta característica en forma gráfica y dinámica mediante la interacción computador-jugador.

Por otro lado, se presenta un panorama generalizado de diferentes aspectos considerados por el simulador tales como reglas y conceptos requeridos para su mejor comprensión.

En la sección número 2 y 3, se presenta un panorama seneral de conceptos y procedimientos de simulación y sistemas de producción respectivamente con el objeto de servir como material, de apoyo a toda persona que desee conocer en terminos senerales les bases sobre las cuales se diseñó el sistema.

Entre las ventajas que posee el simulador para facilitàr su ranejo, se pueden mencionar:

- .- No se requiere del conocimiento de algun lenguaje de programación.
- .- No se requiere del conocimiento de la lógica computacional utilizada.
- .- La representación del sistema es en forma gráfica.
- .- Factibilidad y adaptabilidad a cambios.
- .- Retroalimentación inmediata a las decisiones tomadas.

En la sección número 4, se dá una guia para el uso del sir lador, acompañada de diferentes formatos generados por èste con el objeto de mostrar con claridad su funcionamiento.

Los listados contenidos en el apèndice, están como auterial de referencia exclusivamente, ya que como se nencionó un riormente no se requiere de la comprensión de la lógica utili-ruda.

S CONCEPTOS DE SIMULACION

### CONCEPTOS DE SIMULACION.

la simulación es una de las herramientas más importantes para unalizar el diseño y operación de sistemas y procesos corplejos.

Esta se puede definir como una tècnica numèrica para desarrollar experimentos mediante el uso de una computadora digital con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estratègias con las cuales se puede operar un sitema.

La simulación está fuertemente basada en la teoría de probabilidad y estadistica, en matemáticas, ciencias computacionales, etc. por lo cual se requiere de algunos conceptos de estas areas para el desarrollo y formulación de un modelo.

En esta parte jamos a definir algunos conceptos y procedimientos de gran utilidad para la implantación de cualquier modelo de símulación.

## GENERACION DE NUMEROS ALEATORIOS.

la base fundamental del exito de todo experimento de simulación es lograr una buena aproximación de las variables aleatorias que representan a una cierta distribución de probabilidad.

Esta aproximación se puede lograr estadisticamente mediante el uso de un generador de números rectangulares (distribución uniforme) complementado con una función que a travès de un metodo específico transforme los números rectangulares en valores de una distribución de probabilidad deseada.

Los números rectargulares o distribución uniforme no son 's que nu eros aleatorios distribuidos uniformemente en cierto intervalo de ocurrencia.

Independientemente del proceso o procedimiento utilizado para la generación de los números rectangulares, estos deben de poseer ciertas características deseables que aseguren o aumenten la confiabilidad de los resultados de la simulación. Tales características son:

- 1. Uniformemente distribuidos.
- 2. Reproducibles.
- 3. Periodo largo. C Ciclo largo para los números.)
- 4. Generados a partir de un mètodo rápido.

Existen muchos mètodos para la generación de números rectangulares que pueden ir desde lo más sencillo como abrir aleatimente un libro y to ar algun patrón de esa página; hasta i torbs relativamente más complicados como los congruenciales line les.

En este trabajo sólo me enfocare a describir el metodo congruencial mixto el cual es utilizado para generar cada número entragular requerido por el simulador para sistemas de producción inte mitente.

### GET ERADOR CONGRUENCIAL MIXTO.

la mecánica de los generadores congruenciales lineales se basa en la generación de una secuencia de números pseudoaleatorios (Números rectangulares generados a travès de relaciones de recurrencia.) en la cual, el número pseudoaleatorio Xn+1 es derivido del número pseudoaleatorio Xn.

Para el caso particular del generador congruencial mixto, la relación de recurrencia es la siguiente:

 $X_{n+1} = CAX_n + CD \mod CMD$ 

Donde:

 $X_n = semilla.(X_n > 0)$ 

A = multiplicador.(A > 0)

C = constante aditiva. (C > 0)

M = modulo. (M>Xn, M>A, M>C )

De tal forma que el número Xn+1 es el residuo de dividir AYn + C entre el módulo M.

Una de las caracteristicas que debe contener toda serie de números pseudoalcatorios generada es la de poseer un poriodo largo entre dos números iguales; por lo tanto se requiere establecor algunas reglas para la selección de los valores de los parámetros que nos ayuden a optimizar este periodo.

Algunas de estas reglas son:

SELECCION DEL MODULO M.

Seleccionar M como un número primo muy alto.

SELECCION DEL MULTIPLICADOR "A".

Debe ser un número entero impar y además no debe ser divisible por 3 6 5.

SELECCION DE LA CONSTANTE ADITIVA "C".

El valor seleccionado puede ser cualquier constante. Sim embargo para asegurar buenos resultados se sugiere que el valor de "C" sea entero impar y primo de "M".

FLECCION DE LA SEMILLA Xn.

El valor de este parámetro, para el caso del generador congruencial mixto resulta tener poca ifluencia sobre las propiedades estadisticas de las sucesiones.

Un ejemplo de esta metodologia se presenta en la siguíente sesión conjuntamente con las pruebas estadisticas de rigor para la serie generada.

# PRUEBAS ESTADISTICAS PARA LOS NUMEROS PSEUDOALEATORIOS.

dada la importancia de tener un buen generador de numeros aleatorios para generar otras variables aleatorias nó uniformes (normal, exponencial, poisson, etc.) se hace necesario, a parte de seguir las reglas para los generadores, hacer ciertas pruebas estadisticas a las series generadas para asegurar la eficiencia estadistica del sistema.

Algunas de las muchas pruebas estadisticas que han sido desarrolladas para probar la aleatoriedad de los números pseudo-aleatorios se describen a continuación.

### PPUFBA DE PROMEDIOS.

La función de dencidad en la cúal la característica principal es la constancia en cierto intervalo (0:1) y cero fuera de èl; define la distribución conocida como uniforme o rectangular.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0 \le x \le 1 \\ 0 & \text{si } 0 \ge x \ge 1 \end{cases}$$

Londe:

x es una variable aleatoria definida en el intervalo (0,1).

La distribución de probabilidad acumulada F(x) para la distribución uniforme, se obtiene dela siguiente manera:

$$F(x) = \int_{0}^{x} 1 dt = X$$

El valor esperado E y la varianza VAR, de una variable aleatoria uniformemente distribulda, se definen de la sig. forma:

$$E(x)=\int_{0}^{x} (x-1)dx = 1/2$$
 $VAR(x)=\int_{0}^{x} (x-1/2)(1)dx = 1/12$ 

Conociendo los parámetros que definen una distribución uniforme, se puede plantear una prueba de hipótesis de promedios; para probar que los números pseudoaleatorios provienen de un universo uniforme con media de 1/2.

Hipótesis nula Ho:  $\mu$  = 1/2 Hipótesis alternativa H:  $\mu$  <> 1//2

Se requiere obtener una muestra de tamaño N, en la cual el promedio aritmètico ès evaluado de acuerdo a la sig. expresión:

$$x = (ui + u2 + \dots + Un)/N$$

El estadistico ZO se determina mediante la expresión:

$$20 = (X-1/2) * \sqrt{N} / \sqrt{1/12}$$

Si 20 < Za 2, entonces no se puede recharar la hipótesis de que los números pen rados provieren de un universo aleatorio.

# PI'EBA DE FRECUENCIAS.

Esta es una de las pruebas consideradas como importantes sobre la aleatoriedad de los números pseudoaleatorios.

La prueba consiste en dividir el intervalo (0;1) en N sub-intervalos y comparar para cada uno la frecuencia observada y frecuencia esperada. Si estas frecu-ncias son semejantes, entonces la muestra proviene de una distribución uniforme.

El estadistico que se usa en esta prueba es Chi-cuadrada; la cual se obtiene de acuerdo a la siguiente expresión:

$$X_{0} = \sum_{k=1}^{n} (FO_{k} FE_{k})/FE_{k}$$

Donde:

FD:= Frecuercia ob ervida en el intervalo i. FE:= Frecuencia esperrila en el intervalo i. N= Número de sub-intervalos.

2

Este estadistico se compara con Xa,(n-1), la cual representa a una variable aleatoria Chi-cuadrada con (n-1) grados de libertad y un nivel de significancia a.

2 2

Si XO < Xa, $C_{n-1}$ ), entonces no se puede rechazar la hipótesis de que la muestra proviene de una distribución uniforme.

### PRUEBA DE LA DISTANCIA.

Esta prueba puede ser realizada de dos formas:

Considerando a los números aleatorios generados como digitos o como números reales.

Aqui, solo me enfocarè a describir la prueba de la distància considerando los números aleatorios como números reales.

El procedimiento para la realización de esta prueba consiste en seleccionar un intervalo  $(\alpha,\beta)$ , el cual debe estar contenido en el intervalo (0,1); es decir,  $0 \le \alpha \le \beta \le 1$ . Para cada número pseudoaleatorio generado se pregunta si ès o nó elemento del intervalo  $(\alpha,\beta)$ . Si  $U_J$  (número aleatorio  $_J$ ) es elemento de  $(\alpha,\beta)$ ,  $U_{J+1}$  hasta  $U_{J+1}$  no son elementos de dicho intervalo y  $U_{J+1+1}$  vuelve a a ser elemento de  $(\alpha,\beta)$ , entonces se tiene un hueco de tamaño i.

Por ejemplo, si α=0.3 y β=0.5 y la serie generada es la ci inte: 0.324, 0.222, 0.191, 0.751, 0.493; ntonces el hieco rá de tamaño tres (3).

La distribución de probabilidad del tamaño de hueco se lefire para este caso de la siguiente forma:

Donde  $\phi = \beta - \alpha$ , la cual representa la probabilidad de caer en el intervalo  $(\alpha, \beta)$ .

Las frecuencias esperadas por consiguiente quedarán definidas por la siguiente expresión:

El estadistico utilizado en esta prueba se obtiene como:

$$\chi_{O} = \sum_{i=0}^{n} \langle FO_{i} - FE_{i} \rangle / FE_{i}$$

2 2 2

El cual se compara con Xo a,N. Si Xo < Xua,n; entonces los números pseudoaleatorios pasan la prueba de la distancia.

### PRUEBA DE SERIES.

Esta prueba sirve para medir el grado de aleatoriedad entre dos números sucesivos.

La metodologia consiste en formar un cuadrado de M celdas (K\*K), donde K es el número de subintervalos en que se debe dividir el intervalo (0,1).

Una busqueda exautiva en la serie generada nos proporcionarà la información para llenar cada celda.

Por ejemplo, la serie sig tente:0.42, 0.28, 0.33, 0.90, 0.73, 0.79; darà como resultado despis de rializar la busque a la rigurente tabla:

Entonces:

El estadistico utilizado para esta prueba es:

$$X_0 = \sum_{i=1}^{2} \sum_{j=1}^{n} (FO_{i,j} - (N-1)/n)$$

Donde N es elo número de subintervalos.

2 2 2 2 2

Este estadistico se compara con Xa,n-1. Si Xo,Xa,n-1, entonces no se quede rechazar la hipòtesis de que los numeros — r los provienen de una distribución uniforme.

Todas las pruebas anteriormente analizadas, se presentan a continuación con un ejemplo (figuar 1 y 2).

Todos los estadisticos y las pruebas de hipótesis ya istán incluidas en el ejemplo, ya que el programa dispone de ecuaciones de regresión parciales para los valores de chi-cuadrada con un nivel de significancia de 5%.

GENERACION DE OTRAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD A PARTIR DE LA DISTRIBUCION RECTANGULAR.

En todo sistema de simulación estocástico, existen una o varias variables aleatorias interactuando. Por lo general, èstas riguen distribuciones de probabilidad diferentes a la uniforme.

Ejemplos de estas pueden ser la distribución normal, la distribución earlang, poisson, etc.

Existen diferentes tècnicas, que a partir de la lutribución rectangular pueden generar estas distribuciones ente el uso de ciertos algoritmos. A continuación se definirá el procedimiento para generar algunas de estas distribuciones.

### DISTRIBUCION EXPONENCIAL.

El mètodo utilizado para generar esta distribución, partierdo de la distribución rectargular, es el de la transformada z = z, la qual consiste en utilizar la distribución acumulada F(x) de la distribución a simular.

Pueto que la distribución F(x), está distribuida en el intervalo (0,1), se puede generar un número aleatorio uniforme R y tratar de determinar el valor de la variable aleatoria para la cral su distribución acumulada es igual a R.

$$F \subset X \supset = R$$
 6  $F \subset R \supset$ 

Para la distribución exponencial, la distribución de probabilidad está dada por:

$$f(x) = \begin{cases} -\lambda_x \\ \lambda e & \text{si } x \ge 0 \\ 0 & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

La distribución acumulada es:

$$F(x) = \int_{0}^{x} \lambda e \, dt = 1 - e$$

Igualando de acuerdo a la transformada inversa, la distribución acumulada y R, se obtiene:

$$\begin{array}{rcl}
-\lambda x \\
1 - e &= R \\
-\lambda x \\
e &= 1 - R
\end{array}$$

Pero si R sigue una distribución uniforme, entonces (1-R) tambien sigue esa distribución; por lo tanto:

$$X = C-1/\lambda J * ln(R)$$

DISTRIBUCION UNIFORME.

~ 3**5**:

La distribución de probabilidad  $F(\mathbf{x})$  uniforme se define  $\cdot$  de la siguiente forma:

$$f(x) = \begin{cases} i/(b-a) & \text{si } a \le x \le b \\ 0 & \text{si } a \ge x \ge b \end{cases}$$

La distribución acumulada será:

$$F(x) = \int_{-\alpha}^{x} f(x) dt = (x-\alpha)/(b-\alpha)$$

Utilizando el mètodo de la transformada inversa, igua-

$$x-a = R \in b-a \supset$$

Por lo tanto:

$$X = \alpha + C b - \alpha > R$$

De esta forma se pueden generar muchas otras distri uciones como la empirica , poisson, etc. Sin embargo existen algunas distribuciones que por lo complicado de sus distribuciones acumuladas, resultaria un procedimiento largo y dificil, tal es el caso de la distribución normal, earlang, triangular, etc: las suales para ser generadas por un computador requieren otros procedimientos especiales.

### DISTRIBUCION NORMAL.

La distribución de probabilidad que define una distribu-, ción normal es:

$$f(x) = 1/\sqrt{2\pi\sigma} \frac{-1/2((x-\mu)/\sigma)}{e}$$

El procedimiento para generar un numero al azar que siga tal distribución, se basa en el teorema del limite central, el na establece que la suma de n variables independientes se aprona a una distribución normal a medida que n crece.

En forma de teorema, èsto se puede expresar de la sig. Turrera:

Si X1, X2,..., Xn son variables aleatorias independientes con  $E(X)i = \mu_1 y$  varianza  $var(X_1)=\sigma y Y = A1X1+A2X2+...$  + AnXn, entonces bajo ciertas condiciones tendremos:

$$Y - \sum_{i=1}^{n} Ai \mu_{i}$$

$$Z = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} Ai \sigma}$$

Si las variables que se están sumando son uniformes en el intervalo (0,1), entonces:

$$\sum_{i=1}^{n} Ri - N/2$$

$$Z = -----$$

$$\sqrt{n/12}$$

La normal estandar de una variable aleatoria X, distribuida normalmente se obtiene como:

$$Z = \langle X - \mu \rangle / \sigma$$

Por lo tanto, la generación de una variable aleatoria X se harla de acuerdo a la sigüente expresión:

$$X = \mu + \sigma$$

$$\nabla (ki - N/2)$$

$$V = n/12$$

Experimentalmente, y con la finalidad de reducir la exfresión unterior se ha demostrado que con un valor de n=12 la confiabilidad de los resultados es bastante aceptable; y la expresión se reduce a:

$$X = \mu + \sigma \in \sum_{i=1}^{12} Ri - \delta \supset$$

3 SISTEMAS DE PRODUCCION

# SISTEMAS DE PRODUCCION

### EL SISTEMA PRODUCTIVO.

En general, el sistema de producción es aquella parte de la producción que existe principalmente para Jenerar los productos de la organización, el cual tiene un proceso de conversión en code se convierten los insumos un productos terminados.

Todo proceso de conversión requiere de una operación efectiva y confiable, quedando la respunsabilidad de èsta sobre el administrador del sistema.

En todo sistema productivo existen tres variables fundantales que fijan la respuesta del lismo, estas son:

- Recursos utilizados. Lo que alimenta al sistema,incluyendo cantidad y calidad.
- 2. Li it comes del proce o. El diceño del sist ma y sus i stricciones.
- 3. Consideraciones externas. E maría, economia.etc. Fact res no controlaras por el sistema.

Cada una de las variables se verá reflejada en el projucto o servicio que ofrece el sistema; alguna con major influencia que las demás dependiendo del espacio de tiempo que se considere.

El objetivo global del sistema de producción es proveer capacidades de conversión para lograr las metas básicas de la organización. La meta primaria de la mayoría de las organizaciones es generar utilidades o rendimiento. Esta meta es luego traducida a sub-retas de operación las cuales especifican entre otras:

- 1. Caracteristicas del producto.
- 2. Caracteristicas del proceso.
- 3. -. Servicio al cliente.
- 4. Eficiencia.
  - . Control de costo de M.o.
  - . Control de costo de materiales.
  - . Control de costos de utilización de facilidades.
- 5. Adaptabilidad a cambios.

El análisis de los problemas permite a los administradores planear, organizar y controlar el proceso de conversión en forma sistemática. Mientras se analicen problemas o alternativas, los administradores a menudo hacen uso de de diversas técnicas de modelación.

### CRITIRIO PARA LAS DECISIONES.

Los criterios para tomar decisiones son el origen de los modelos matemáticos, varian su grado de importancia o prioridad pura la administración de acuerdo al tiempo, lugar y producto del sistema.

Los criterios generales son:

- 1. Maximizar utilidades sobre ventas.
- 2.- Minimizar costos de abastecimiento, producción y distribución.
- 3. Dar un buen nivel de servicio al cliente.
- 4. Balancear niveles de empleo.
- 5. Minimizar la inversión en inventarios.
- 6. Mantener baja inversión en facilidades.
- 7. Satisfacer la demanda.

### CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS.

No todos los siste as productivos son iguales, por lo que existe cierta clasificación de acuerdo al tipo de proceso que se trobaje.

Dificilmente ercontraremos una empresa con un solo tipo i ploceso productivo. Por lo gereral se elucatra una cola de varios de ellos.

Algunos de estos sistemas productivos son:

- POR PROYECTO: La producción es unitaria, por lo tanto no tiene sentido hablar de volumen de producción. Generalmente las operaciones son únicas.
- POR PRODUCTO: La producción es continua. La finalidad de este tipo de sistemas es reducir los costos de manejo de materiales y unitarios de producción conjuntamente con un incremento de èsta.
- ORGANIZACION DE SERVICIOS: Cuando lo producido es un servicio y por lo tanto es imposible tener inventario de producto terminado.
- GRUPOS TECNOLOGICOS: Es una combinación de sistemas productivos en serie e intermitente en el cual se consideran las ventajas de cada uno de ellos.
- PRODUCCION INTERMITENTE: Este tipo de sistemas se analizarà con más detalle ya que es el analizado por el simulador.

### SILIEMAS DE PRODUCCION INTERMITENTE.

Tambien conocido como organización por proceso u organización de taller. Se basa en el proceso por lote; los cuales son práctica para su proceso en equipo de utilización general.

Por ser èste, el sistema productivo planteado por el sinuludor, a continuación se discribe un panorama más amplio de este tipo de sistemas y algunas metodologías para optimizar su desemreño.

Un sistema de producción intermitente, consiste en un conjunto de máquinas de uso general que realizan operaciones en iertos trabajos u ordenes de producción.

los trabajos por lo general son únicos, es decir, son de un solo cliente. Dependiendo de la magnitud de la empresa, será la complejidad y número de actividades y servicios de soporte reque-. C s per esta si su orianización es de taller.

Alguras de estas actilidades involeran funciones como:

- .- Manejo de materiales.
- .- Mantenimiento.
- .- Control de calidad.
- .- Recepción de rateriales.
- .- Erol. lues.
- .- Control de tráfico.
- . Etc.

Algunos de los problemas a los que se enfrenta el administrador de la producción en este tipo de sistemas es el distribuir de acuerdo a ciertos criterios, el equipo, persoral, areas,
etc; además de secuenciar los trabajos en cada una de las
facilidades minimizando costos, ordenes atrasadas, tiempos ociosos
en las máquinas, etc.

Para el caso de secuenciar los trabajos en sus respectivas facilidades, existen una serie de metodologias de las cuales el administrador puede hacer uso; eliminando parcialmente así, uno de los problemas a los que se enfrenta.

# MODELOS DE SECUENCIACION PARA TALLER.

Existen cuatro factores que describen y clasifican los diferentes problemas de secuenciación.

Primero el patrón de llegadas, donde si los lotes llegan al mismo tiempo el problema de programación es estático y si la llegada es intermitente de acuerdo a cierto patrón, el problema se vuelve dinámico.

El segundo factor, es el rúrero de máquinas que deberán consider rise in la programación.

El tercer factor, es el ronjunto de precedencias entre las máquinas para cada trabajo.

El cuarto y ultimo factor es el criterio de evaluación el desempeño (medida de efectividad), con la cual se evaluará la cuanciación obtenida.

Existen criterios de evaluación como mini isar el tiempo tital de procesado, fechis de entriga, raximo retraso, tie pos de timinación, tiempos de espera, tiempos de preparación, etc.

La gran mayoria de los roturos de seculrolación on muy ecificos y solo son aplicables a sistemas con ciertas cacterísticas tales como:

- .- Todos los trabajos siguen el mismo orden tecnológico.
- .- Máquinas idènticas.
- .- Tiempos de preçaración y terminación despreciables.
- . Etc

Los mètodos utilizalos por el simulador para sistemas de priducción intermitente, quia secan de los rás simples pero los 1's adaptables a la sirulación.

Dado que el patrón de llegadas está regido por cierta distribición probabilistica, dando co o resultado la infración de un problema dinámico, es obvio suponer la formación de colas en la máy ina en espera de ser prociadis. Por otro la o, como las itas para cada trabajo tampoco llevan una secuencia tecnológica i ntica, es una tarea dificil el programar esta producción mediante el uso de mètodos ya establecidos por lo que las tècnicas desarrolladas para el simulador solo plantean la secuenciación optima por máquina en el momento T deseado de la simulación.

Esta secuenciación asume que cada lote al ser procesado en una máquina "M" pasa a ser producto terminado, independientemente de si en su orden tecnológico falten o nó máquinas por procesarlo. En el caso que falten máquinas por procesar esta orden, al momento de formar la cola de lotes en espera de ser procesados por esa máquina, se repite una vez más el procedimiento.

Se emplen dos criterios de evaluación en la metodología de secuenciación de "N" trabajos en una máquina para este simulador, estos son:

- .- Minimizar trempo promedio de procesado considerando la importancia o prioridad de cada lote.
- .- Minimizar el número de lotes atrasados.

MINIMIZAR TIEMPO PROMEDIO DE PROCESADO, CONSIDERANDO LAS PRIORIDA-DES DE CADA ORDEN DE TRABAJO.

La secuenciación más sencilla involucra determinar el orden optimo para un conjunto de N trabajos en una máquina.

Si consideramos P1,P2,...,Pn como los tiempos de procesado de los N trabajos, tendremos N! programas de secuenciación factibles.

A su vez, si consideramos [K] como la cosición del tralajo en la recuencia, el ti ipo de terminación de un trabajo en la K ima posición s-rá:

$$FIKI = \sum_{i=1}^{k} PCi \mathcal{I}$$

Por lo tanto el tiempo medio de flujo de toda la secuencua pería: n k

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} I \sum_{i=1}^{n} P(i) I}{\sum_{k=1}^{n} F(k)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} I \sum_{i=1}^{n} P(i) I}{N}$$

P do que en esta suma, el termino (N-1+1) estí en orden criliente implica que pira minimizar F debe util zarse una cilinia de trabajos or i udis en foi a criciente de al erdo a su li po de procesado; o sia:

Para este caso especifico, los trabajos no son igualmente importantes por lo tanto puede haber distintas preferencias al dictar la secuencia a seguir.

Este aspecto puede ser considerado suponiendo que cada trabajo tiene una cierta prioridad Wi ( A mayor Wi mayor importancia.); teniendo por objetivo minimizar el tiempo total ponderado.

$$\overline{F}_{V} = \sum_{i=1}^{N} W_{i}F_{i}$$

Este criterio se optimizaria programando los trabajos de manera que:

# MINIMIZAR EL NUMEPO DE TRABAJOS ATPASADOS.

Este mètodo supone que todos los trabajos tienen la i a prioridad, además de requerir de fechas de entreja y tiempos je p oceso conocidos como parte fundamental para su aplic rión. En forma secuencial, los pasos a seguir son:

- 1.- Ordenar los trabajos en or `in cronológico de fechas in rtrega. Esta sería la secucncia tentativa inicial.
  - 2.- Usando la secuencia inicial, encontrar el pri r èrjo atrasado. Si se l'accentra al uno, proseguir. Si no huy gun trabajo atrasado, la s'acencia es óptica.
- 3.- Considerar la subsecuencia hasta el tribajo atrasido (inclusive). Encontrar en esta sub ecuencia el trabajo con el tripo de procisido adorar y ponerlo al final de toda la secuencia. Considerar sta sicuencia y regresar al palo 2.

Ejerplos de èstas metodologías se poirín analizar en el rjuiente capitulo como parte del simulador para siste as de profichion intermitente.

4 HANUAL PARA EL SIMULADOR

### MANUAL D.L

# SIMULADOR PARA PRODUCCION INTERMITENTE

### EL SIMULADOR:

El simulador para sistemas de producción intermitente nfoca o simula la problemática real que involucran estos sistemas le producción.

En este capitulo se e pecificará cada una de las caracteristicas de operación del misio o n ilustración:s letalladas por procedimientos y mediante una guía o han al de operación.

En todo riste a productivo de taller, existen diversidad de problemas de indole administrativo; costos de producción, orpacidad disponible tarto de tienpo productivo do lo de recursos humanis, inventarios, etc; los quales regimento de cierta productión de la producción pura lo rar un punto óptimo de operación.

Especificamente, el simulador nos muestra el sistema no cración, llegada de pedidos, sistemas de colas, tiempo uctual de la simulación, etc; dejando a criterio del "jugador" las decisiones de operación.

Para la toma de decisiones, el simulador nos provee de ciertas herramientas de las cuales el "jugador" puede hacer uso al momento que lo requiera; como por ejemplo:

matriz de información: Esta matriz nos brinda información referente a costos, tiempos de proceso, prioridades, precios de venta, fechas de entrega, localización situación cronológica de cada trabajo, etc.

Re-ubicación de trabajos en un mismo sistema de colas: Dada la situación de algun trabajo o su importancia, el jugador podrá realizar cambios de acuerdo a su conveniencia.

Resultados parciales de producción: En cualquier momento de la simulación se puede optar por conocer su balance, midiendo así, el nivel de actuación hasta ese momento.

Metodologias de secuenciación: El jugador puede pedir ayuda en determinado momento en cuanto a què ordenes de trabajo deberán procesarce; mediante el uso de las metodologias disponibles.

Pitas y prioridades: M l'iante el o de este proclimiento el jujidor pi de tivr una visión (13 il ra de las rutas de mayor priabilidad de ocurrencia y sus prioridades y por ende de què máquinas n-cesitarán mayor atención.

Con el buen reejo de estos proceditientos y un bu n unal sis lel sistema, se podrá lograr una busta progranac un de la producción, la cual d'elemporarse particularmente a permar utilid les.

Especifica ente, el simulador de de el punto de vista " juigo " tiene por objetivo terminar determinado núm ro de trabajos con el menor costo fosible de un sistema de producción al cual 
llegan ordenes de trabajo con cierta distribución de probabilidad 
en una forma continua e infinita.

A continuación re dará na jula pira el "alejo del si ulalor arorpañado le for atos g neredos por èste, lo cial tiene por objetivo dur un panorama. As elaro del sistema para su mejor comprensión.

### INICTALIZACION.

El simulidor está desarrollado en lenguaje GW b sic, or lo tanto se requiere de un sistema operativo que contença alguno de los sistemas basic desarrollados con excepción del BA-SICA.

Una vez cargado el simulador, èste nos solicitará el número de máquinas con el que deseamos trabajar (1,4) y posteriormente nos indicará que esperemos ya que se están generando las posibles rutas estáticas que pueden tomar las ordenes de trabajo.

Cabe aclarar que el número limitado de máquinas (1,4) es simplemente para mantener un formato en el cual todas las transacciones y procedimientos puedan analizarse en una sola pantalla, ya que la lógica del sistema puede generalizarse para N máquinas.

### ENTRADA DE DATOS.

Para facilidad de manejo y rápido acseso al sistema de simulación, existe la opción de comenzar el "juego" con valores constantes para determinadas variables requeridas por este para complementar su funcionamiento.

El formato número 4 nos indica que tan solo con teclear el número "1" estaremos iniciando la simulación.

Otra opción para inicializar el proceso de simulación es alimentando los datos mostrados en los formatos 5,6 y 7.

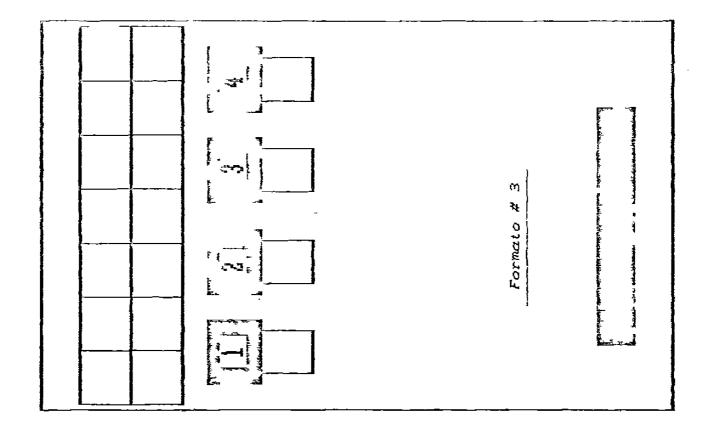
Lindens De Deuthwiss	LILLA DE SENERS
GENERADOR MIXTO DE MULEROS ALEATAO. SEMILLA - 7 123 RULTIPLICADOR - 2 463 CONSTANTE ADITIUA - 2 064 MODILO - 2 8795 NUMEROS À CELERAR (0,56)? 55.	PRUEBA DE FRECHE, CLAS

T.D. H. PROB F.O. F.E.	7.6 = >1.0 PKSA LA	STREET BERRES		21 ( 36 == ) inou la Prulon
SERIE GENERADA 57 57 43 13 48 61 3621376 77 76 29 99 66 86 920 682 18 56 28 18 66 66 7896961 94 68 28 89 99 56 5594583	13 .48 9.3 .44 .56 .93 .99886 60 .59 .33 .13 .71 .25 .48462 22 .77 .88 .19 .24 .16 .81444 18 8.3 .75 .55 .37 .73 .53132	PRUEBA DE FRECUEICIAS	1	<pre>4 9.2 ==&gt; LA DISTR.Ex</pre>

Formato # 4

Op. Ting
[ -4
ILICIO

Continuity button (1)



# HATRON, DE DATOS

# **5** FURMATO # 5

I. THPO DE PROCESO EN 4 =? N

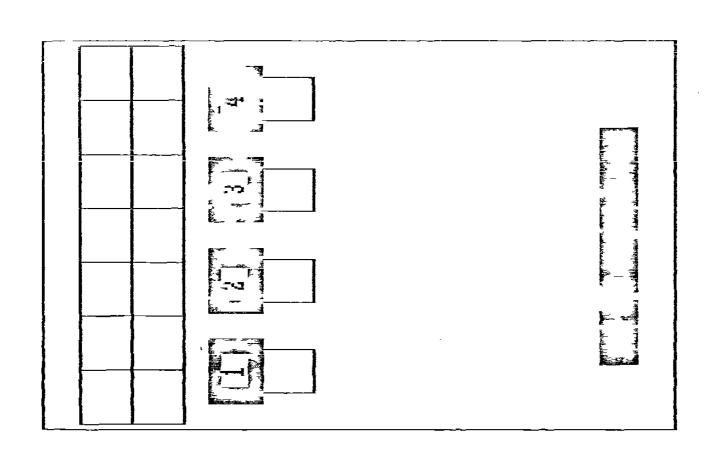
3

D.TRIBUCICA NOTATAL

DESTRIBUCION UNIFORME

DICTRIBUCION EXPONENCIAL (E)

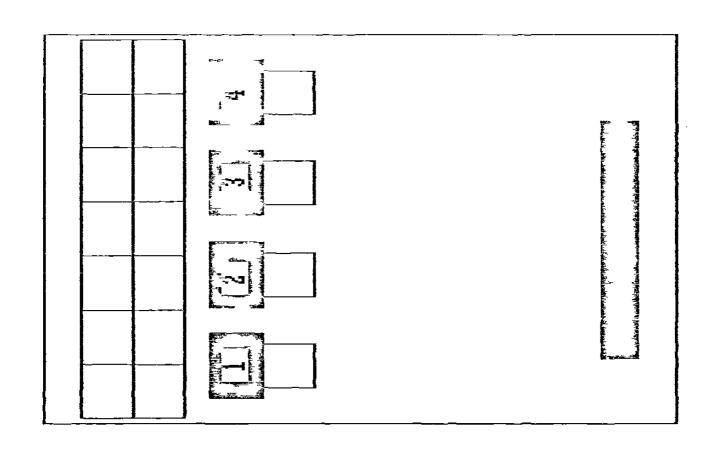
Manda in the second of the sec



formato # 6

eathada de datos

DISTRIBUCION	H.IVORTE	$\equiv$
DISTRIBUCION	107 W	**************************************
DISTRIBUCION	EXPORENCIAL	
TIEMPO DE LLEGADAS=?	rganas=?	



# Lieum. De De De 108

DETRITICION UNITONE (II)

Defile Common

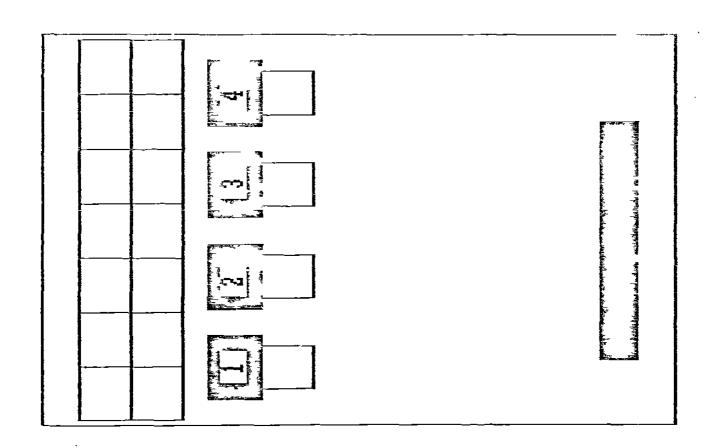
 $\widehat{\mathbb{Z}}$ 

DISTRILLICION EXPONENCIAL (E)

DIST. LE COSTOS EN maq 4 =? U

UPLOG SWXING=? II

FCRMATO # 7



Una vez alimentados estos datos, se dará de manera inmediata inicio a la simulación.

El formato número 8 nos muestra en la parte superior izquierda las llegadas y cambios de las ordenes de trabajo, mostrando para el primer caso el número de la orden, su secuencia tecnológica y su prioridad, y para el segundo caso, el número de la orden de trabajo que acaba de ser procesada en cierta máquina, su secuencia tecnológica restante y prioridad.

La parte inferior izquierda nos muestra el sistema de colas para una distribución de cuatro máquinas además de mostrarnos la fecha actualizada de la simulación.

La capacidad gráfica para el sistema de colas, es de loce trabajos en espera como máximo por lo cual una cola con longitud mayor a doce solo nos proporcionará información gráfica hasta el limite máximo.

A la derecha del mismo formato se nos muestra un menú que nos servirá de ayuda en la toma de decisiones. Este se detalla a continuación.

### MATRIZ DE INFORMACION.

Al teclear la letra "I" como opción del menú anterior se dá entrada a la matriz de información. Esta matriz nos dará toda la información referente a las ordenes en espera de ser procesadas en la máquina en la cual ocurra un evento, bien sea llegada de una orden de trabajo o el avance de un trabajo en su secuencia tecnológica.

En el formato número 9 se puede apreciar la estructura de esta matriz referente a la cola en la máquina número 4.

La información debe ser manejada con cierta habilidad para lograr mejores resultados.

Como puede apreciarse la información brindada va desde la secuencia en la cola, hasta el precio de venta de cada trabajo.

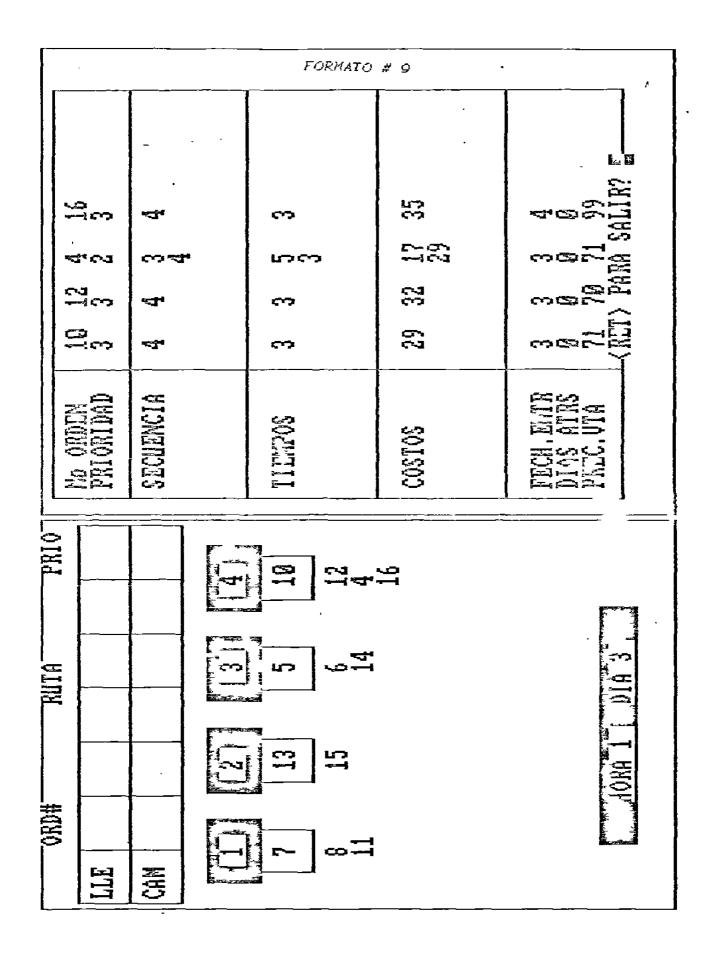
De acuerdo a la ruta especificada para cada trabajo, se asigna tanto el costo como el tiempo de proceso en cada una de las máquinas que conforman dicha ruta de acuerdo a la distribución probabilistica asignada.

Las prioridades son asignadas de acuerdo a un procedimiento aleatorio en el cual la prioridad 1, o de mayor importancia, conforma un 15%, la prioridad 2, o de regular importancia, un 35% y la prioridad 3, o de menor importancia el 50% restante.

Con el manejo de estos datos para cada orden en proceso, apoyado con la información referente a fechas de entrega y precios de venta pueden tomarse decisiones bien fundamentadas y en forma sistemática.

La capacidad gráfica para esta matriz es de seis ordenes por pantalla, con opción de analizar otras seis con solo teclear "enter". Esto es para el caso de tener máquinas en las cuales hay un gran número de trabajos en espera de ser procesados. .

				FOR	MATO A	# 8 	· 	·	
			<b>.</b>	$\widehat{\Xi}$	(5)	9	2	(i) (ii)	-
		IMP. SOUNE COLA 4	RESULTADOS PARCIALES	THINS GENERADAS	GRAFICAS DE PROB. ACUM	COMBIOS EN MAQUINA 4	HEIDS DE SECHENCIACION	OPCION (RET) PARA SALIR)=>? [	
TRIOT	m	m			27.		n		
RUTA				The first the state of the stat	]=				WIA 3
	4	4	cu		]==	•			1016 2 P
#01/0	LLE 17	CAM 5			] ∞∓	<b>-</b>			



Al igual que la capacidad gráfica para los sistemas de colas, aqui tambien el limite máximo son doce ordenes; por lo tanto deberá buscarse la forma de reducir esta cola para tener opción a una información completa en cuanto a número de trabajos.

No es falta de recursos de programación, sino un detalle que en determinado momento, hace del juego un reto muy interesante.

Una vez analizada la información teclee "enter" para regresar al menú principal y continuar.

### CAMBIOS EN UNA MAQUINA.

Sì se ha tomado la decisión de realizar algun cambio en determinada máquina, con teclear "C" se estará en opción de realizarlo.

El formato número 10, nos muestra la forma mediante la cual se puedan realizar estos ajustes.

Se requiere alimentar unicamente el número del trabajo que se desea re-ubicar y su nueva posición.

Las restricciones para este procedimiento son:

- .- Solo se podrán re-ubicar trabajos hacia posiciones más adelantadas.
- .- No se permite retrasar trabajos.
- .- No es posible cambiar trabajos entre máquinas sin haberse terminado en la máquina actual.

Al re-ubicar cualquier trabajo, automáticamente se corrige el orden del sistema de colas afectado.

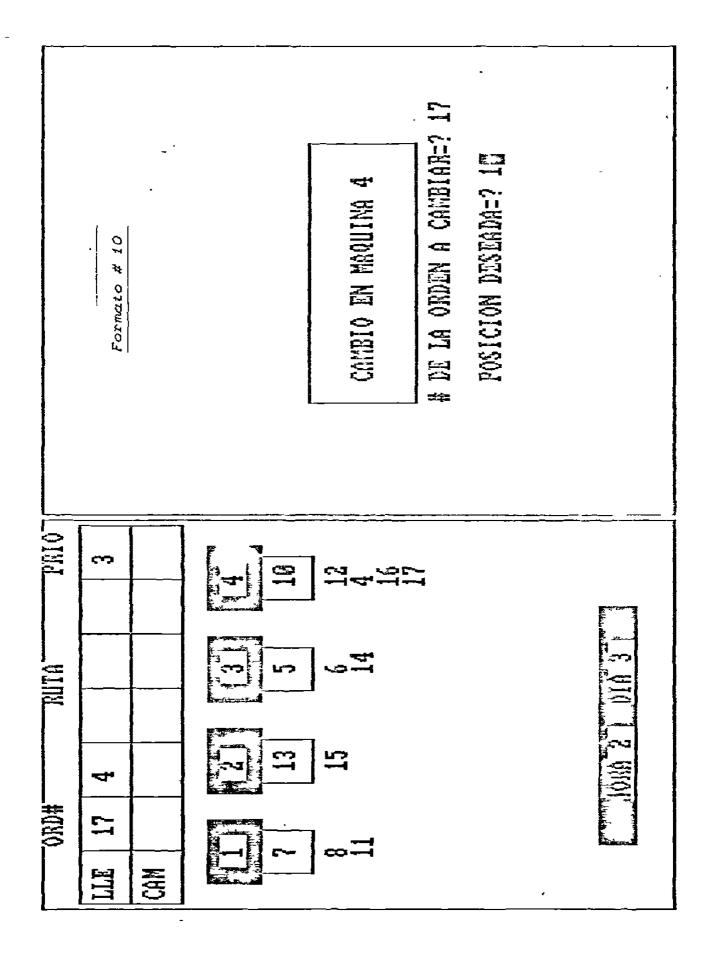
En el formato número 11 puede observarse el resultado de ejecutar el cambio propuesto en el formato número 10.

Como puede apreciarse, el procedimiento es muy sencillo y está a la disposición en cualquier momento que se requiera.

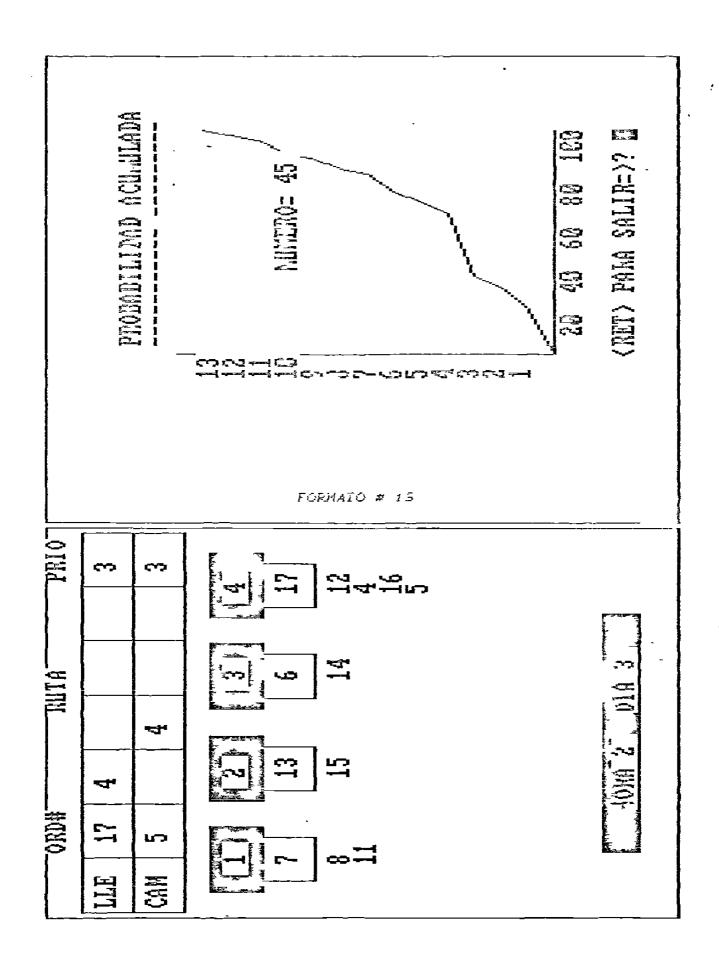
Pueden realizarse los cambios que se desèen en un mismo tiempo, ya que al alimentar la información del formato número 9, el sistema nos lleva nuevamente al menú principal.

### RUTAS Y PRIORIDADES.

La importancia de este reporte recae en la necesidad de conocer las diferentes rutas generadas y las probabilidades de su prioridad. En forma general, las rutas generadas dependen tanto del número de máquinas como de los parámetros utilizados por el generador de números aleatorios; mientras que las probabilidades de su prioridad dependen del historial generado y analizado por el sistema.



	MIAS Y PROFIBILIBADES	PRIORIDADES		(RLT) PARA SALIR? []
PRIO	çıs	ന	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	
RUTA				
	<b>4</b>	4	L3 FORMATO	OKA 2
ORD#	12	ro.		
	LLE	동		



Conociendo las posibles rutas que puedan tomar las ordenes de trabajo generadas y la probabilidad que estas sean de ina prioridad determinada, podemos dar especial atención a aquellas máquinas potencialmente saturadas.

las rutas son generadas cuidando de no repetir máquinas ya que se supone son máquinas diferentes con operaciones únicas.

En el formato número 12, puede apreciarse diferentes rutus y diferentes probabilidades para la prioridad en un caso específico generado.

la elección de una ruta para determinada orden de trabajo se realiza mediante un procedimiento aleatorio en el cual las rutas disponibles tienen igual probabilidad de ser asignadas, como se muestra en el formato número 13.

Se genera un número aleatorio entre 0 y 100, posteriormente con su ubicación se sube hasta la curva de probabilidad acumulada vs. rutas generadas obteniendose esta en la parte izquierda de la gráfica.

## COSTOS PARCIALES.

Para corocer les resultades parciales de nuestras deciciones y optar por nuevas alternativas, se presenta un reporte parcial de costos directos de producción.

Este reporte contiene en forma de subtotales los costos de producción, costos de octo en las máquinas y costo por ordenes atrasadas; como se muestra en el formato número 14.

Para cada orden de producción al momento de su llegada se genera un costo por maquina de acuerdo a la distribución de costos asignada a estas. El costo de ocio está determinado como una variable aleaforia con cierta distribución de probabilidad para cada máquina, el cual se hace efectivo al momento de quedar libre cualquiera de estas.

El costo por ordenes atrasadas depende de la prioridad de cada orden de trabajo, a mayor importancia y mayor atraso de la orden, mayor será el costo cargado a esta. Por lo tanto, como la lógica lo indica, las ordenes de trabajo con mayor prioridad deben ser asignadas al menor tiempo posible.

Tambien se dispone de un algoritmo mediante el cual se fijan las fechas de entrega dependiendo de la importancia de la orden de trabajo; a mayor urgencia, menor será la fecha fijada para su entrega y viceversa.

Para optar por este reporte, solo se teclea "P" en el menú principal y la información acumulada referente a costos hasta este momento se desplegará en la pantalla como se muestra en el formato número 14. Una vez analizada esta información el sistema lo llevará nuevamente al menú principal.

							E3 .
			ca	63	ಡಾ	N 113	SALIR-
	Formato # 14	RESULTADOS PANCIALES	CTOXORDENTS ATRASADAS	COSTO DE PRODUCCION	COSTO DE OCIO EN MAQS.	COSTO TOT. DE PRODUCCION 113	(RET) PARA SALIR=>?
	c-3			7	en e		
<b>-</b>					~ <b>~</b>		
	****						
=	ೞ						
	2						
	13				<b>=</b>		
	TILE	СВМ					

Como ayuda para la toma de decisiones, el menú dispone de metodologias de secuenciación que de acuerdo a diversos criterios nos proporcionará la secuencia óptima para determinado número de ordenes en espera de ser procesadas por cualquier máquina.

Esta secuencia "óptima" no significa que lo sea para el sistema global, ya que no se considera el futuro inmediato de cada orden de trabajo; simplemente en determinado instante y determinada maquina esa sera la mejor alternativa.

La información proporcionada por estas metodologias, en conjunto con el criterio de decisión del jugador pueden dar exelentes soluciones a determinados momentos de indecisión.

Las secuencias generadas por los nétodos utilizados pelen ser totalmente diferentes ya que el criterio de evaluación es diferente para cada uno. El mètodo de minimización de tiempo promedio total de procesado se basa exclusivamente en los tiempos de proceso de cada orden de trabajo y su respectiva prioridad o grado de importancia; mientras que el mètodo de minimización de ordines atrasadas lo hace en función de las fechas de entiega.

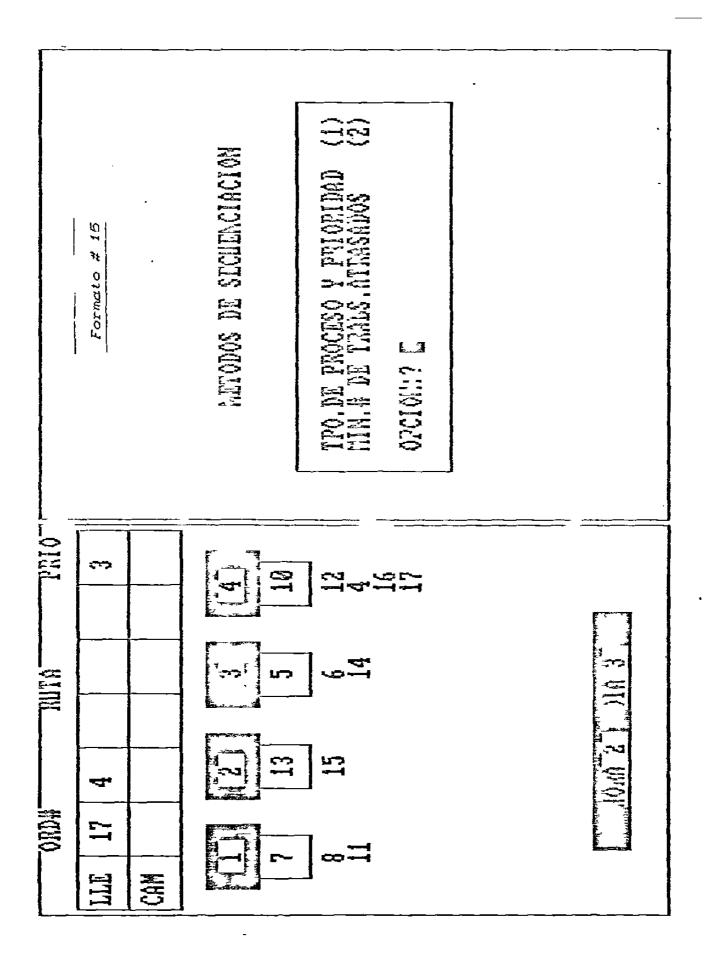
Por lo tanto, como se dijo anteriormente, el an'lisis de estos resultados conjuntamente con la visión que se i nga del sistema, puede ser de gran utilidad para la toma de decisiones.

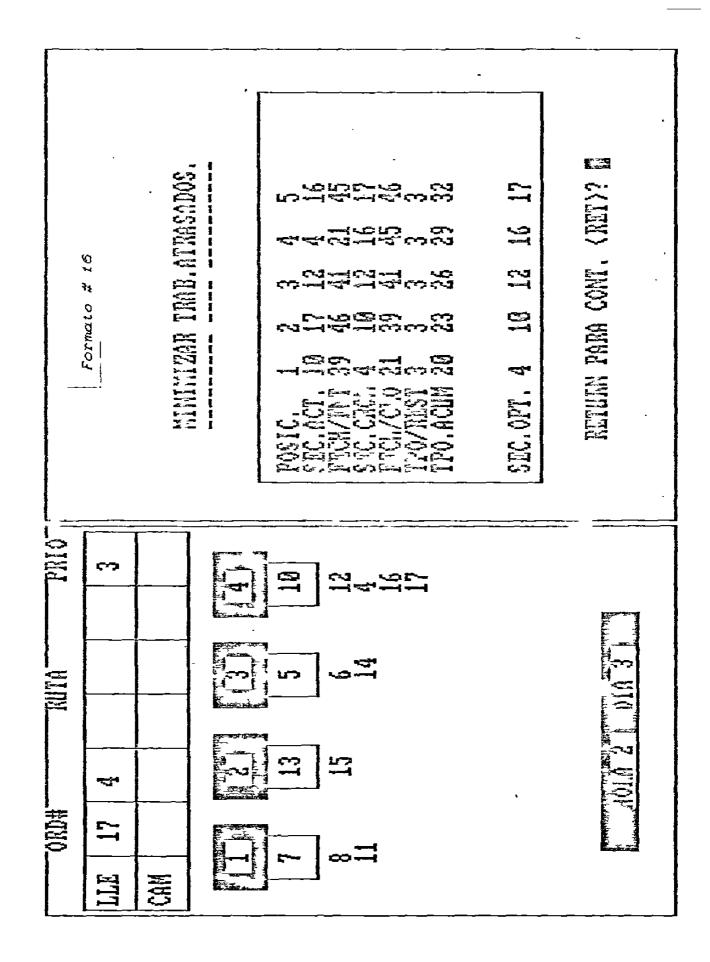
Al optar por estas metodologias, con la letra "M" en el menu principal, se dará paso a un nuevo menú en el cual se puede optar por alguna metodologia especifica como se muestra en los formatos número 15, 16 y 17.

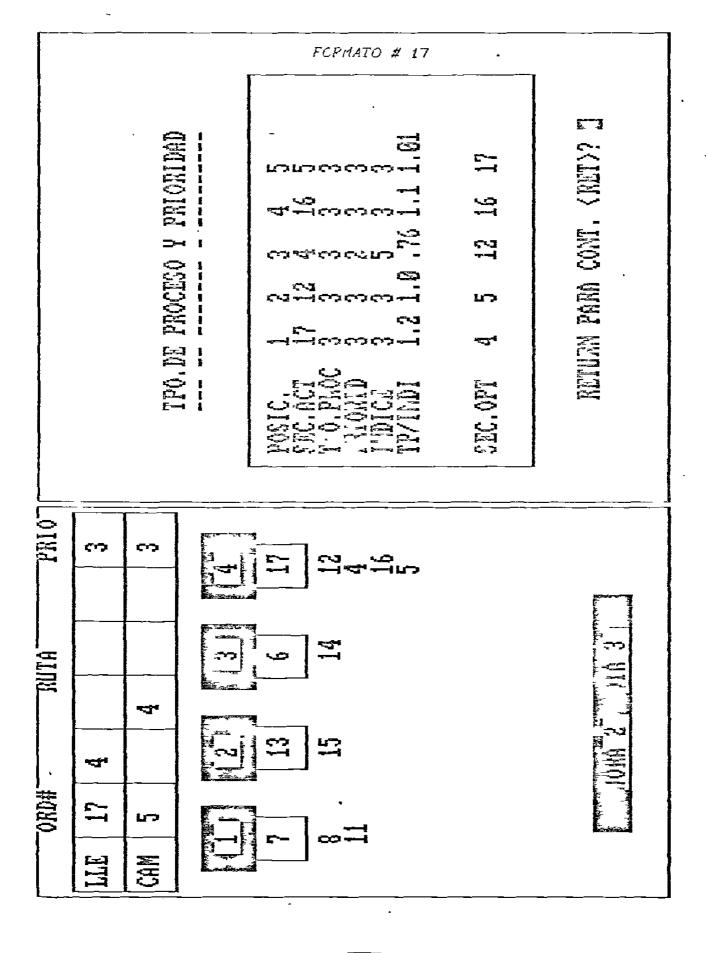
## FIN DE LA SIMULACION.

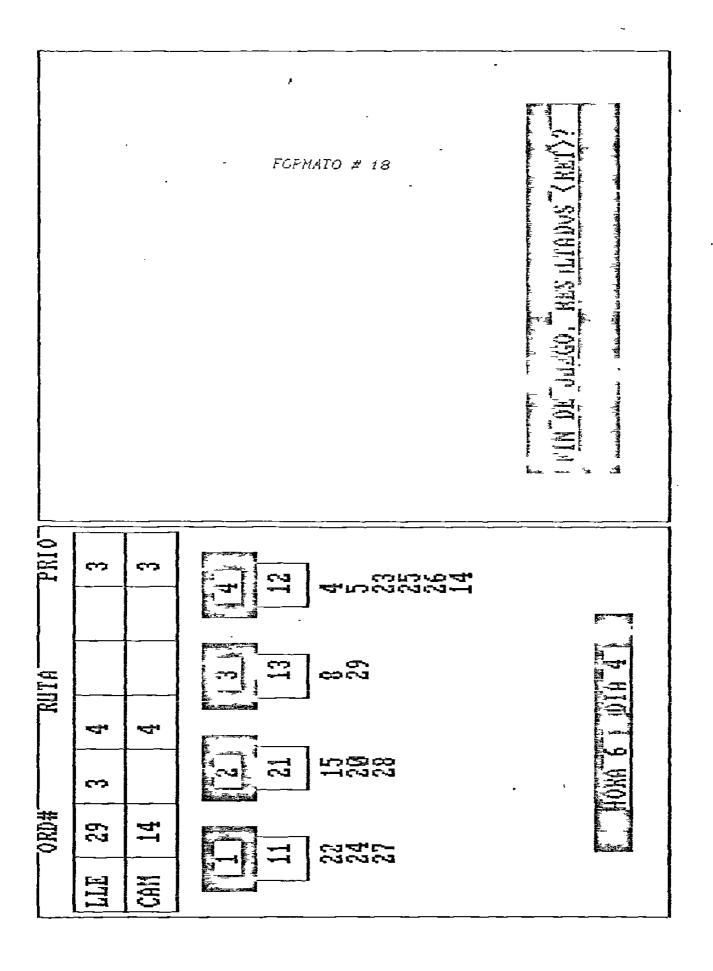
Al alcanzarce el objetivo del simulador como "juego", el cual es terminar determinado número de trabajos, el sistema enviará un mensaje de "fin de juego" como se observa en el formato número 18, dando lugar a un nuevo formato en el cual se indica el orden en que se fueron terminando los trabajos de acuerdo a las decisiones tomadas por el jugador bajo el encabezado " Producto terminado-producción programada", acompañada de los resultados finales generados.

Inmediatamente el sistema generará una secuencia de productos terminados no programados, cuyos resultados finales serán comparados con los anteriores para medir asi la actuación del jugador. En el formato número 19, puede observarse lo anteriormente mencionado con mayor detalle.









( <del></del>		rerr	TAIO#	19		<del></del>	<del></del>
RET LIGHOS FIREL S PROD. INCGR.	COSTO DE UENTAS 524	UTILIDADES CENERADAS 467	RESELTADOS FINALES PROD NO PAOGR.	UEHTAS 931 COSTO DE UENTAS 524	UTILIDADES CENERARS 407	AHORNO= 6	T S'NE NIENO S'NE
P.T. PROD, PROGR.	2 3 1 9 10 7 12 6 4 15 16		P.T. PROD, NO PROGR.	2 3 1 9 10 7 12 6 4 15 16		,	

NOMBRET TOSK CALILED		Formato # 20				
P.T. PROD. PROGR.	2 3 1 9 10 7 17 6 16 18 19	P.T. PROD, NO PROGR.	2 3 1 9 18 7 12 6 4 15 16 4 15			

Dependiendo del balance de los resultados, existe la opción de ingresar a un registro de los mejores jugadores, siempre y cuando se rebase el limite inferior de los actuales registros y se halla ejecutado la opción de juego con variables constantes.

Si los resultados asi lo indican, el simulador le enviara un mensaje pidiendo alimentar su nombre. Formato número 20.

Independientemente de se entra o nó al registro de nejores jugadores, existe la opción de comenzar otro juego o utandonar el sistema.