

Simulación de Eventos Discretos.  
*Informe de Modelo e Implementación.*  
**Simulación de Fallas de Máquinas.**

**María Andrea Cruz Blandón 0831816.**

**Edgar Andres Moncada 0832294.**

**Luis Felipe Vargas Rojas 0836342.**

1 de diciembre de 2012

## **1. Análisis del Sistema y del Problema.**

### **1.1. Descripción del Sistema**

El sistema esta compuesto de un conjunto de máquinas que funcionan en una fábrica, entre las cuales no existe conexión de manera que cada una trabaja independientemente de las otras; estas se mantienen encendidas 8 horas del día, es decir que el rendimiento total semanal se calcula con la fórmula  $8 * 5 * 50$  donde 8 son las horas del día, 5 son los días de la semana, y 50 es el número de máquinas que están laborando.

Dentro de la fábrica se cuenta con un conjunto de máquinas adicionales que son enviadas a trabajar si alguna de las máquinas presenta una falla. También se cuenta con personal de mantenimiento que se encargan de reparar las máquinas que fallen; cada empleado puede reparar una máquina al tiempo, en caso de no tener a algún empleado disponible se debe poner en espera la máquina que falló, y en el momento de que un empleado la repare ésta se convierte en una máquina adicional.

## 1.2. Descripción Gráfica del Sistema

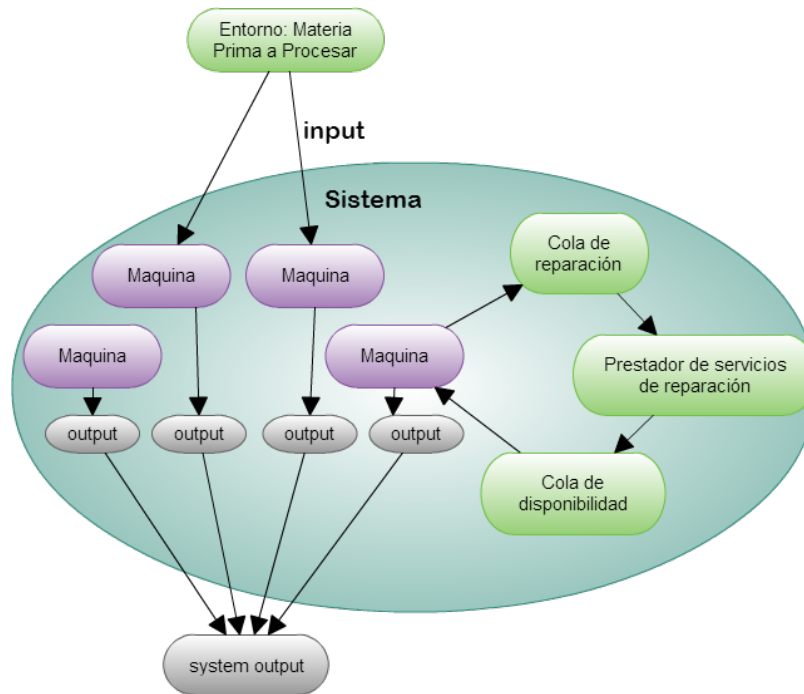


Figura1. *Comportamiento del Sistema*

## 1.3. Descripción del Problema

La fábrica quiere mantener el stock de maquinaria principal en funcionamiento continuo por lo menos en un 96 % o 98 %. El problema que se tiene es que las máquinas son componentes que pueden presentar fallas, y estas afectan de manera general a la producción de la fábrica.

Para solucionar este problema la fábrica ha dispuesto de máquinas adicionales dispuestas a reemplazar las máquinas que se dañen durante el proceso, que tienen a fallar luego de  $160 \pm 30$  horas. También se cuenta con un equipo de mantenimiento que puede reparar, las máquinas que se dañen, en aproximadamente  $8 \pm 3$  horas. Sin embargo no siempre son suficientes las máquinas auxiliares y la cantidad de personal para atender las máquinas que fallan y mantener la utilidad requerida de funcionamiento de las 50 máquinas. Por esta razón la fábrica quiere determinar cuántas máquinas adicionales y cuánto personal es el necesario para cumplir la meta.

## 2. Modelo de Simulación.

### 2.1. Simulación en general

Puntos claves:

- Se debe trabajar con una lista de eventos futuros.
- Cada máquina de la fábrica tiene la probabilidad de fallar en un periodo de  $160 \pm 30$  horas con una distribución uniforme.

- Una vez un reparador inicia la reparación de una máquina esta reparación puede tomarle  $8 \pm 3$  horas con una distribución uniforme.
- La cantidad de reparadores puede variar según los escenarios planteados.
- La cantidad de máquinas adicionales puede variar según los escenarios planteados.
- Es adecuado realizar un tiempo de calentamiento ya que existe formación de colas.
- Una máquina que se esté reparando o esté esperando para ser reparada no puede generar un evento de fallo, pues no está en funcionamiento.

Al iniciar la simulación se genera un evento de fallo por cada una de las máquinas de la fábrica. Estos eventos se generan con un espacio de 20 horas. Esto es con el fin de evitar la situación: *Todas las máquinas fallan a la vez*. Una vez se tiene este conjunto de eventos, se realiza el período del calentamiento, este consiste en realizar las acciones según el evento siguiente en la lista de eventos futuros hasta cumplir un tiempo, el cual hemos determinado 30 semanas, durante el calentamiento las variables de desempeño no están activadas, pero si se tiene en cuenta las colas y estados de éstas. Alcanzado este tiempo de calentamiento se activan las variables de desempeño, se usan las colas tal cual quedaron y se realizan las acciones pertinentes según el tipo de evento que se extraiga de la lista de eventos futuros esto se realiza por un tiempo  $t$  que se establezca para análisis del sistema. Al finalizar se debe calcular la función de costo y relacionarla con las variables de desempeño para poder comparar dicha simulación con otros escenarios.

Se determinó un tiempo de 30 semanas desarrollando el siguiente análisis. Las máquinas tienen un evento de fallo que se produce una vez estén activas en una distribución uniforme de  $160 \pm 30$  horas lo que es equivalente a  $4 \pm 0,75$  semanas (tener en cuenta que una semana corresponde al trabajo de  $8 * 5$  horas). Dado los primeros 50 eventos de fallo generados al iniciar la simulación, estos se generaron con un espacio de 20 horas lo que es equivalente a 0,5 semanas. Ahora bien  $50 * 0,5$  siendo 50 la cantidad de eventos y 0,5 el tiempo con el que se generan los eventos (en semanas), nos da 25 semanas para que posiblemente se halla ejecutado el último de los 50 eventos generados al principio, sin embargo para extenderlo y tener seguridad de su ejecución se suman 5 semanas más al tiempo de calentamiento quedando finalmente en 30 semanas, esta extensión de tiempo también da la oportunidad que se hallan creado una cantidad suficientes de eventos tanto de falla como de reparación. Así pues tendremos un sistema estable el cual analizar. A continuación se presentan dos gráficas donde se ve como con el calentamiento el sistema se estabiliza y sus respectivas simulaciones ya con el sistema estable.

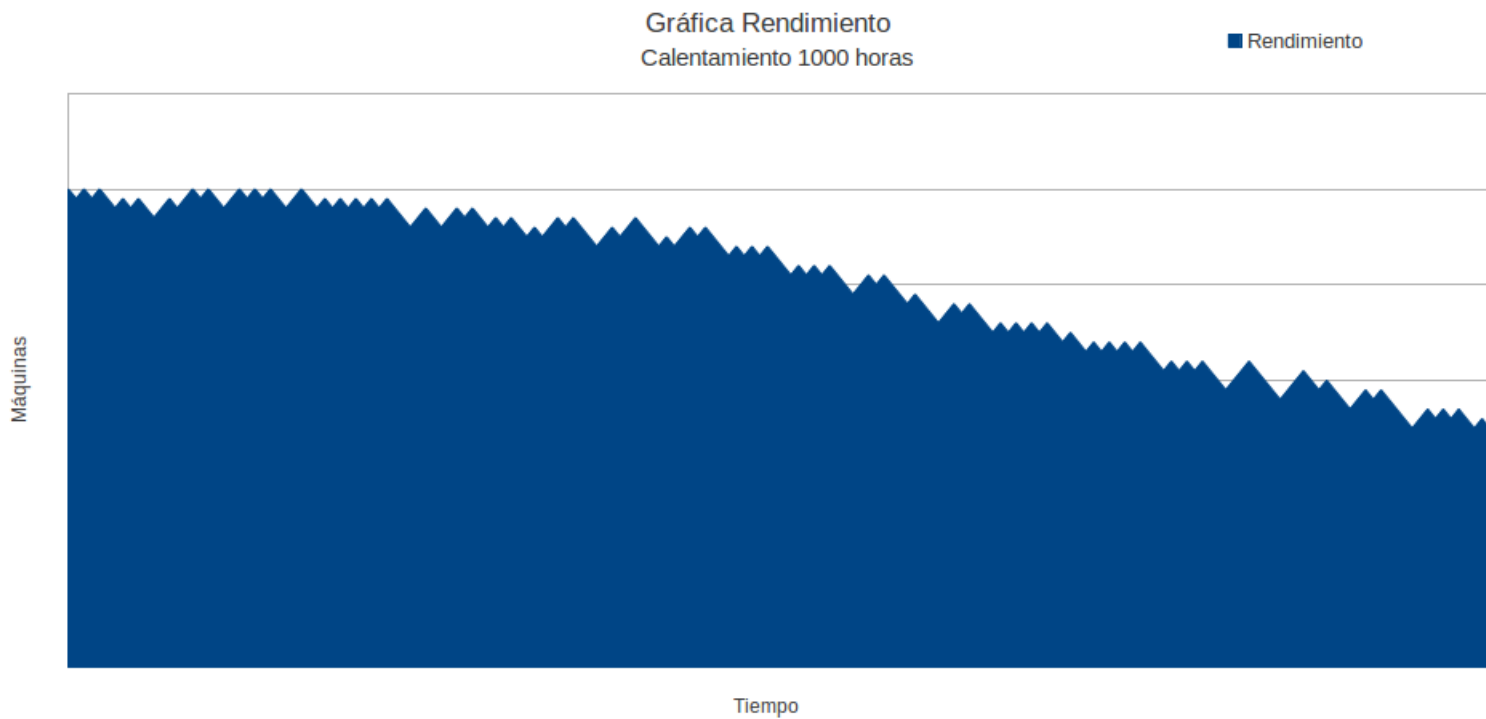


Figura 1: Calentamiento con máximo de tiempo 1000

Con el tiempo de calentamiento lo que se busca es crear un ambiente donde las colas y eventos ya estén más estables para ahí si calcular las variables de desempeño. También se busca eliminar el sesgo que ocasionan las observaciones en tiempo de transición del modelo (Cuando se inicia una simulación sin tiempo de calentamiento).

A continuación se muestra un diagrama de flujo de la simulación en general.

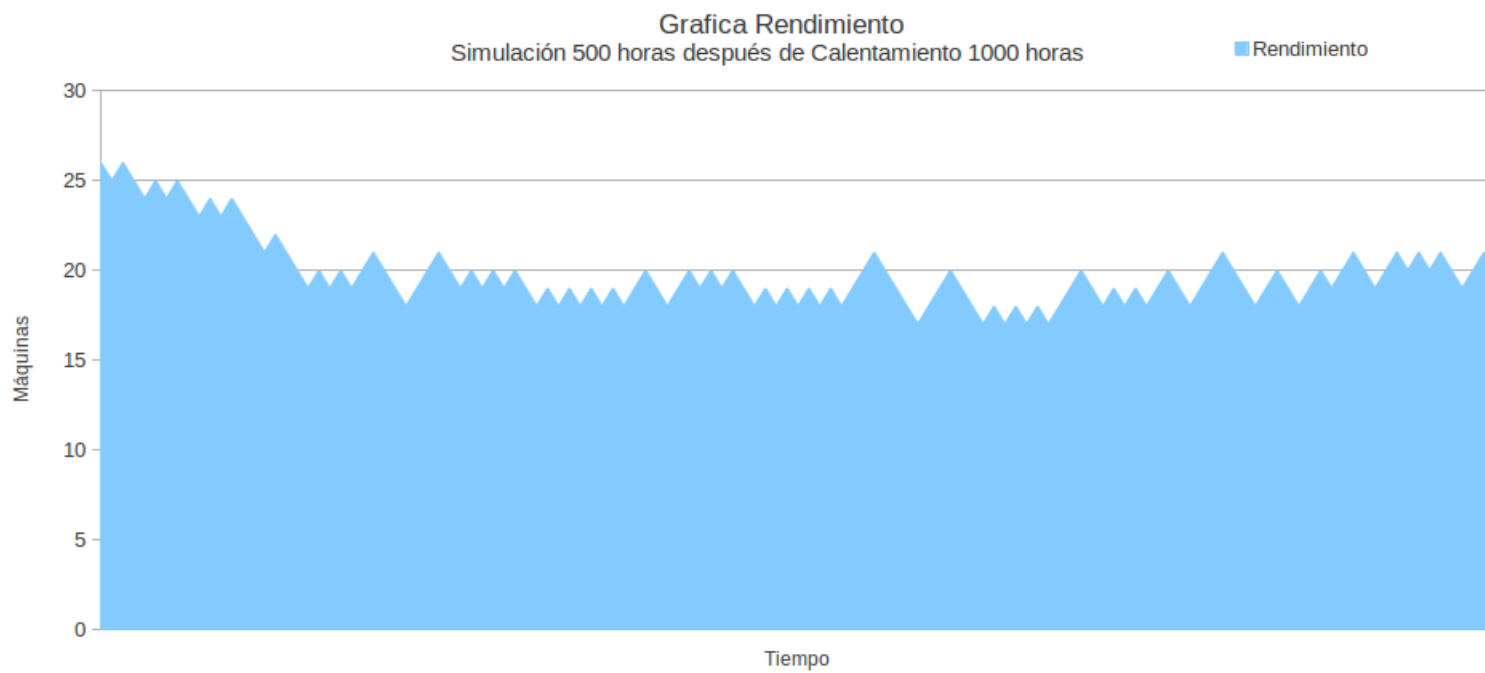


Figura 2: Simulación después del calentamiento de 2000 horas de tiempo 500

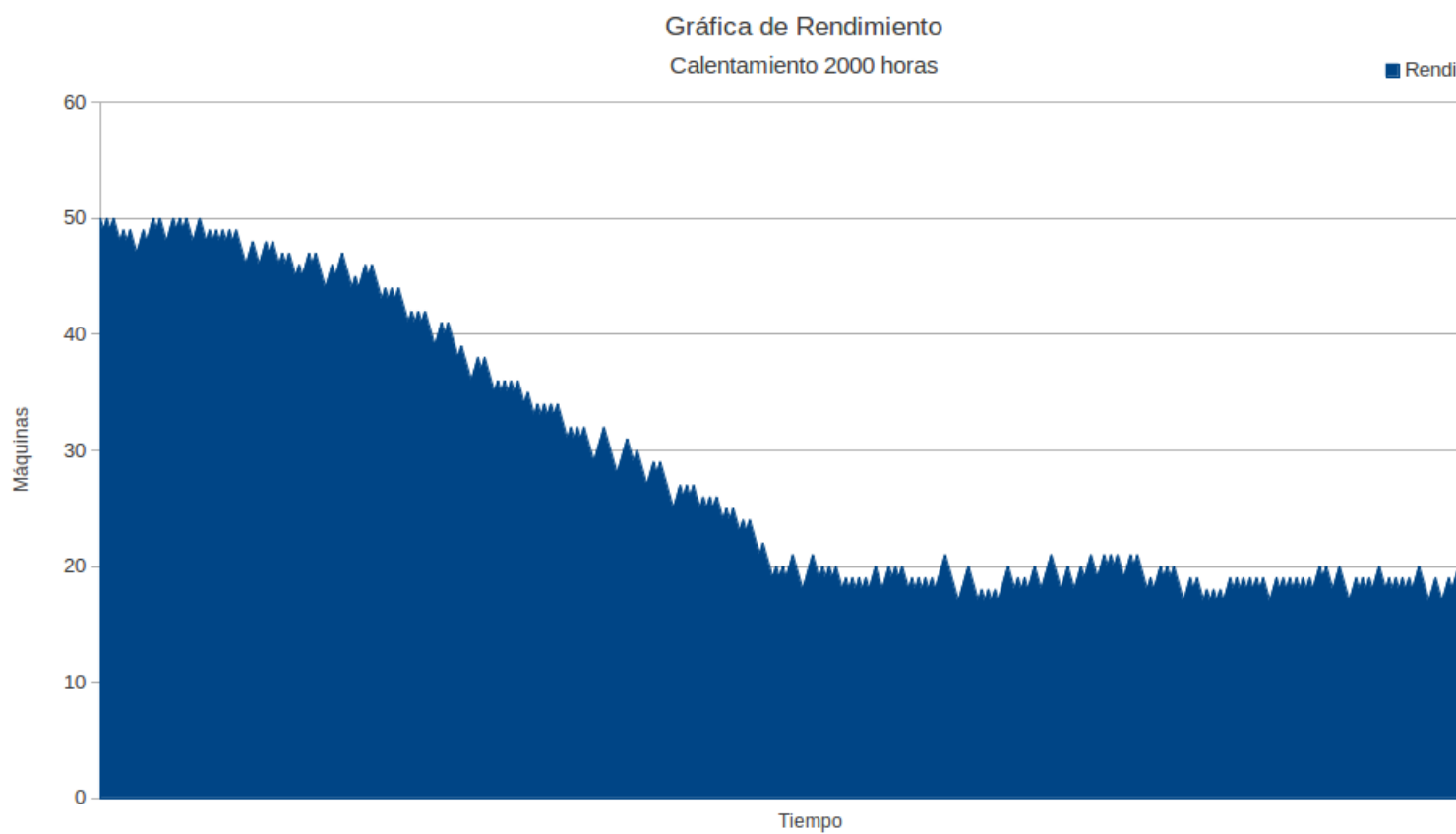


Figura 3: Calentamiento con máximo de tiempo 2000

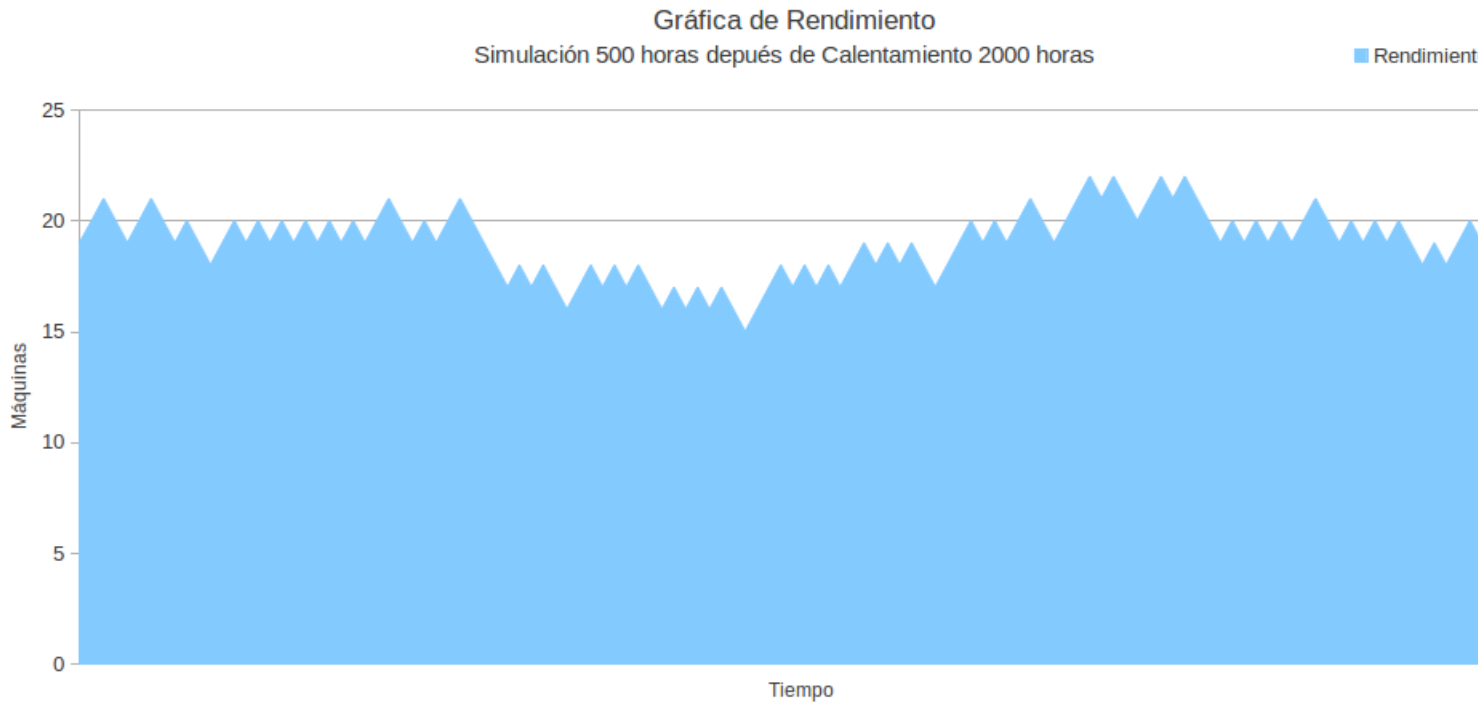


Figura 4: Simulación después del calentamiento de 2000 horas de tiempo 500

## 2.2. Eventos.

Según la descripción de la simulación en general, se identificaron dos eventos estos son:

### 1. Fallo de una máquina.

Cuándo una máquina falla se debe verificar si existe máquina adicional que la reemplace para no perdudicar el rendimiento de la fábrica, si existe tal máquina que la pueda reemplazar entonces el número de máquinas adicionales disminuye en uno y se genera un evento de fallo para la máquina que asumió el puesto, esta acción también afecta la variable de desempeño de la cola promedio de máquinas adicionales; sino es así se disminuye en uno la cantidad de máquinas que están trabajando en la fábrica esto afecta la variable de desempeño de rendimiento de la fábrica.

Lo siguiente es verificar si hay disponible un reparador para iniciar la reparación, si es así el reparador inicia la repación y se genera el evento de repación correspondiente a dicha máquina, también se debe disminuir el número de reparadores disponibles, esta acción afecta la variable de desempeño relacionada con el promedio de ocupación de los reparadores. Si no había reparadores disponibles, la máquina debe pasar a la cola de reparación y esperar hasta poder ser reparada, la cola de repación aumenta en una unidad además esta acción afecta la variable de desempeño relacionada con la cola de reparación promedio.

### 2. Reparación de una máquina.

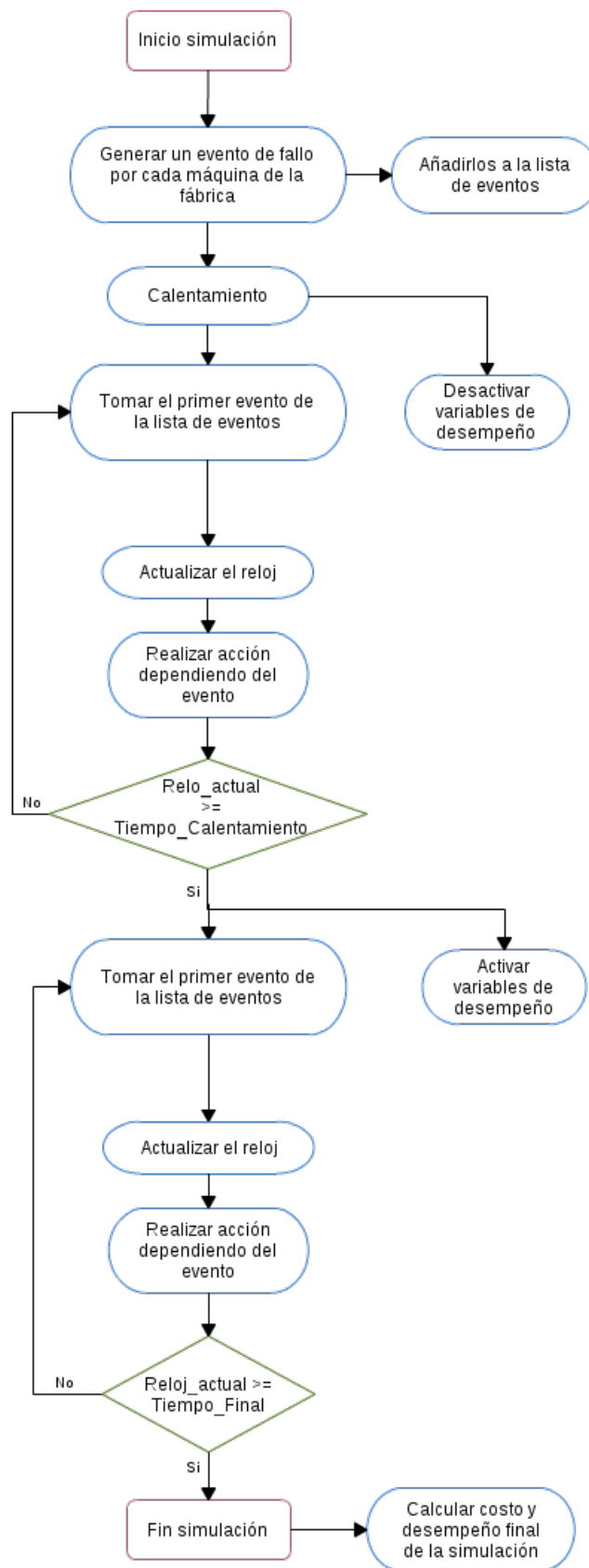


Figura 5: Diagrama de flujo de la simulación en general.

Cuando una máquina ha sido reparada se debe verificar si hay una estación para reemplazar en la fábrica, si es así esta máquina reasume y se genera su correspondiente evento de fallo, se aumenta en uno la cantidad de máquinas que están funcionando, además esto afecta la variable de desempeño relacionada con el desempeño de la fábrica; sino había una estación que reasumir, la máquina pasa a la cola de máquinas adicionales y ésta acción afecta la variable de desempeño relacionada con la cola promedio de la cola de máquinas adicionales.

Lo siguiente a verificar es si existen más máquinas para ser reparadas, si es así se inicia la reparación con la máquina que sigue en ser reparada y se genera un evento de reparación relacionado con dicha máquina, esta acción afecta la variable de desempeño relacionada con la cola promedio de reparación. Sino había más máquinas para ser reparadas se aumenta en uno la cantidad de reparadores disponibles y se afecta la variable de desempeño relacionada con el promedio de ocupación de reparadores.

Diagramas de flujo de los eventos:



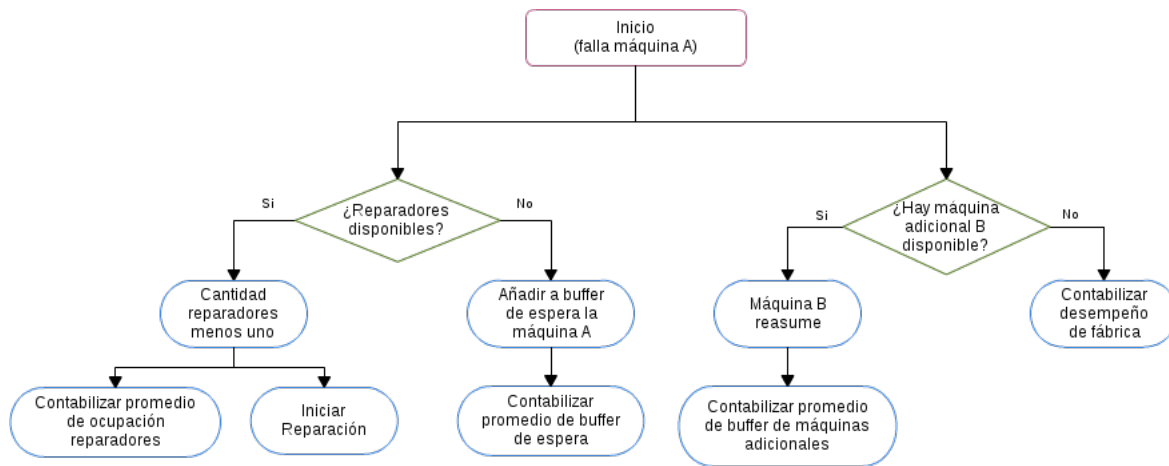


Figura 6: Evento: Se presenta una falla en una de las máquina.

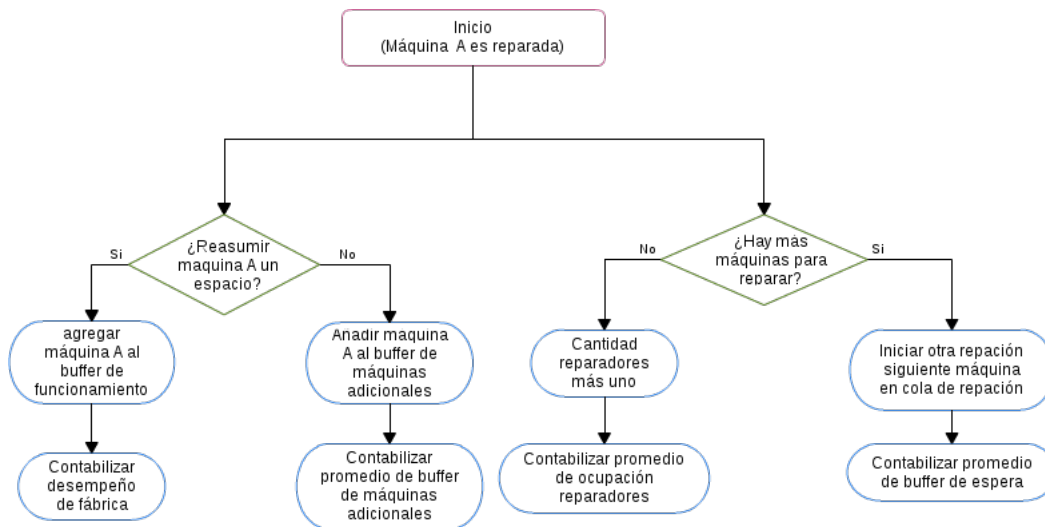


Figura 7: Evento: Se realiza la reparación de una de las máquinas dañadas.

## 2.3. Reloj de La Simulación

La unidad de tiempo que se va a emplear es la hora. El reloj va a avanzar de acuerdo al modelo de simulación LEF, donde se almacenan los tiempos de los eventos futuros y se ordenan cronológicamente, así el cambio de estado del reloj se va a dar por el tiempo del evento más próximo en cada iteración.

La simulación termina cuando:

1. El reloj del sistema a llegado a un valor indicado (tiempo final).
2. No hay mas eventos futuros en la lista de eventos.

## 2.4. Comportamiento de los Datos.

- **Tiempo entre los fallos de una máquina**

El tiempo en que ocurre un evento de falla sigue una distribución uniforme  $160 \pm 30$  horas, es decir,  $U(130, 190)$ .

- **Tiempo duración reparación de una máquina**

El tiempo que dura una reparación sigue una distribución uniforme  $8 \pm 3$  horas, es decir,  $U(5, 11)$ .

## 3. Diseño y Analisis de Escenarios.

### 3.1. Escenario: Básico

Para este escenario se utiliza un solo reparador y ninguna máquina adicional. Se realiza con un tiempo de calentamiento de 1200 horas y el tiempo tomado en cuenta en la simulación es de 500. Se realiza 1000 simulaciones donde se varia la semilla para luego sacar un promedio en el desempeño del funcionamiento de la fábrica.

### 3.2. Escenario: Análisis máquinas adicionales

Para este escenario se utiliza un solo reparador y las máquinas adicionales empiezan a añadirse. Se realiza con un tiempo de calentamiento de 1200 horas y el tiempo tomado en cuenta en la simulación es de 500. Se realiza 1000 simulaciones donde se varia la semilla para luego sacar un promedio en el desempeño del funcionamiento de la fábrica. Se repiten en total  $n \times 1000$  simulaciones donde  $n$  es la cantidad de máquinas adicionales que se van a añadir.

### 3.3. Escenario: Análisis cantidad reparadores

Para este escenario se varia la cantidad de reparadores y con una u otro valor fijo de máquinas adicionales. Se realiza con un tiempo de calentamiento de 1200 horas y el tiempo tomado en cuenta en la simulación es de 500. Se realiza 1000 simulaciones donde se varia la semilla para luego sacar un promedio en el desempeño del funcionamiento de la fábrica. Se repiten en total  $n \times 1000$  simulaciones donde  $n$  es la cantidad de reparadores que se van a añadir.

### 3.4. Escenario: Análisis combinatoria máquinas adicionales y cantidad reparadores

Para este escenario se varia la cantidad de reparadores y máquinas adicionales. Se realiza con un tiempo de calentamiento de 1200 horas y el tiempo tomado en cuenta en la simulación es de 500. Se realiza 1000 simulaciones donde se varia la semilla para luego sacar un promedio en el desempeño del funcionamiento de la fábrica. Se repiten en total  $m \times n \times 1000$  simulaciones donde  $n$  es la cantidad de reparadores que se van a añadir y  $m$  es la cantidad de maquinas adicionales que se vana ir añadiendo.

## 4. Implementación del Modelo.

### 4.1. Estructura de datos

- **Eventos**

Para los eventos se uso un template

Evento<Tiempo, Tipo, Maquina>

Con esta estructura de evento se tiene información necesaria para realizarle el seguimiento a la máquina, recordemos que todas las máquinas tienen las mismas probabilidades de fallar pero estas son posibles en la medida que la máquina esté funcionando.

- **Lista de eventos futuros**

Para la lista de eventos futuros se utilizó la estructura *Priority Queue* de java, a la cual se le debió implementar la interfaz de comparación. Pues como se sabe los eventos no eran estructuras básicas de java. La comparación era dado dos eventos se determinaba cual era el menor usando el tiempo de cada evento y comparando cual era el menor, este era el factor de organización.

- **Colas**

- **Cola máquinas adicionales** Para llevar el conteo cada paso del reloj, se usó un entero que era afectado según el evento y estado del sistema.

Para saber que máquina reasumia cuando se requeria se creó una estructura *FIFO Queue* de java, en la cual las máquinas cuando eran reparadas ingresaban y cuando eran necesarias se sacaban para que entraran a reemplazar siguiendo la regla *primeras en entrar primeras en salir*.

- **Cola espera para reparación** En este caso también se usó un entero para contabilizar como cambiaba la cola de espera para reparación.

Para saber que máquina seguía para ser reparada se usó una estructura *FIFO Queue* de java, lo que se buscaba con esta estructura era que las máquinas no esperaran tanto para ser reparadas y que todas sean reeparadas.

- **Variables de desempeño**

Para estas variables se usaron doubles y se iban actualizando de acuerdo a lo planteado en la descripción de eventos. Usamos para calcular el promedio el área bajo la curva.

En el ejemplo de la Figura 6 consiste en hallar el área de cada cuadrado y sumarlos luego se divide por el 100 % este puede ser, por ejemplo en el desempeño de la fábrica  $50 * \text{Reloj\_Final}$ .

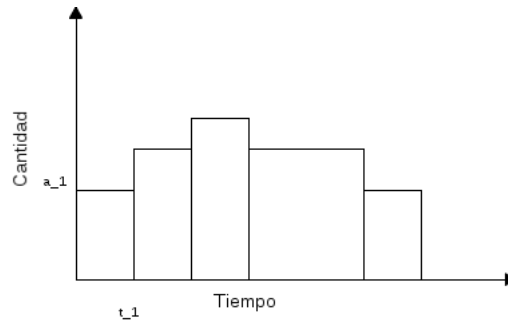


Figura 8: Calculo promedio, área bajo la curva.

## 5. Conclusiones.

En el problema de las fallas de las máquinas se puede ver como el sistema en un largo periodo de tiempo llega a estabilizarse o a tomar valores muy parecidos o a descender muy lentamente; esto en el caso de que la fábrica solo tenga inicialmente un reparador, esto se debe al largo tiempo que puede tener una maquina antes de fallar comparado con el tiempo de reparación.

Viendo el comportamiento del sistema, se puede ver que aumentando la cantidad de reparadores, el rendimiento de la fábrica mejora considerablemente, al contrario del aumento de máquinas adicionales que solo afectan muy poco el rendimiento.

Las máquinas adicionales no afectan fuertemente pues ellas también fallan con la misma distribución uniforme que las máquinas de la fábrica. Si estas tuvieran un tiempo posible de fallo mucho más grande que las máquina de la fábrica tal vez representarían una mejora en el rendimiento. La máquinas adicionales también se encolan esperando para ser atendidas por los reparadores.