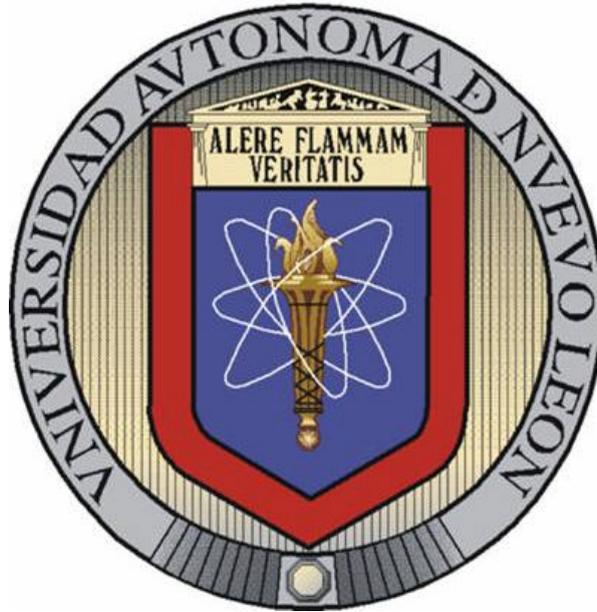


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



“Estudio de un proceso de distribución de metal mediante simulación.”

Por:

HERIZET GUADALUPE GUZMÁN REYES

TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

San Nicolás de los Garza, N. L.

Diciembre del 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



“Estudio de un proceso de distribución de metal mediante simulación.”

Por:

HERIZET GUADALUPE GUZMÁN REYES

TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

San Nicolás de los Garza, N. L.

Diciembre del 2007

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la tesis “**Estudio de un proceso de distribución de metal mediante simulación.**”, realizada por la alumna Herizet Guadalupe Guzmán Reyes, matrícula **1058849**, sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas.

El Comité de Tesis

Dra. Ada Margarita Álvarez Socarrás

Asesora

Dr. Arturo Berrones Santos

Revisor

Dr. Salvador Valtierra Gallardo

Revisor

Dr. Guadalupe Alan Castillo Rodríguez

División de Estudios de Posgrado

San Nicolás de los Garza, N. L., Diciembre del 2007

DEDICATORIA

A mi familia

A mi madre la señora Gloria Reyes Montoya, ya que con su apoyo me impulsó a salir adelante y también porque ha sido una de las principales razones que me han hecho luchar en la vida y no decaer en momentos tan difíciles como los que me han tocado vivir.

A mis hermanos Francisco Javier Guzmán Reyes y Perla Cecilia Guzmán Reyes por su apoyo y por la confianza que siempre han tenido en mí. Por ser ellos junto con mi madre el motor para seguir adelante.

Este trabajo se lo dedico especialmente a mi padre el señor  Francisco Javier Guzmán Vázquez ya que con su confianza, sus ganas de salir adelante y principalmente su apoyo siempre fue mi inspiración para seguir avanzando y crecer cada vez más. Se que donde quiera que estés te sientes contento y orgulloso de que halla terminado mi proyecto. Te quiero mucho papá y siempre vivirás en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por la vida y por permitirme terminar mi proyecto.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT** por el apoyo económico durante mi maestría.

Al **Posgrado en Ingeniería de Sistemas PISIS** por la oportunidad que me brindaron para estudiar la maestría.

A la **Dra. Ada Álvarez Socarrás** por la confianza que depositó en mí para desarrollar este proyecto, por su paciencia y apoyo a lo largo de este trabajo.

Al **Dr. Salvador Valtierra** por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo, y por la disponibilidad que siempre existió de su parte cuando lo necesité.

Al **Dr. Arturo Berrones Santos** por su apoyo, su tiempo, sus comentarios y aportaciones sobre mi trabajo que fueron fundamentales para llevar a fin este proyecto.

Al Dr. **José Talamantes Silva** por su paciencia, su disponibilidad, su tiempo y sobretodo por su apoyo en mi proyecto, así como en situaciones difíciles de mi vida personal.

A mis **maestros y amigos de PISIS** por todas las enseñanzas que me dejaron y por todo su apoyo, principalmente a mis amigas Anel, Karla, Enid y Xochitl con las cuales compartí momentos importantes durante mi maestría.

A todos mis **compañeros de NEMAK** que siempre estuvieron dispuestos a brindarme su ayuda cuando fue necesario, principalmente al **Ing. Alejandro Martínez** quien me apoyó mucho en todo el trabajo de campo.

Y agradezco especialmente a **Rubén López Cárdenas** por estar a mi lado en todo momento, por apoyarme e impulsarme a seguir adelante, por cuidar y querer a mi familia que es el tesoro más grande de mi vida y por ser una persona tan especial para mí.

RESUMEN

Herizet Guadalupe Guzmán Reyes

Candidato para el Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Título del Estudio:

ESTUDIO DE UN PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE METAL MEDIANTE SMULACIÓN.

Número de Páginas: 114

Objetivos y Método de Estudio

En este estudio se analizó el desempeño de un sistema de distribución de metal líquido de una empresa productora de cabezas y monoblock de aluminio para motores de combustión interna, para ello fue necesario realizar una simulación del sistema y después estudiar diferentes alternativas para mejorar o minimizar los tiempos de entrega. La manera en la que se validó la simulación con el sistema real fue representar mediante simulación la distribución de metal de una semana y la distribución de metal de 28 semanas, esto con el fin de representar el sistema tanto para plazos cortos como para plazos largos y comparar los resultados con datos reales.

Una vez que se validó la simulación se realizaron los cambios en parámetros para tener diferentes alternativas y dejar la tarea al tomador de decisiones de la empresa, para saber cual de estas alternativas le conviene más.

El desempeño de cada uno de los cambios que se realizaron se estableció en base a maximizar la cantidad de metal enviado y minimizar el tiempo total de entrega de cada demanda. Se diseñó e implementó un experimento computacional con el objetivo de determinar si la simulación se apegaba al sistema real y saber con cual alternativa se mejoraba el servicio.

Para ello se definieron 2 tipos de simulaciones, las simulaciones largas y las simulaciones pequeñas, asimismo se definieron los cambios que se realizarían en los parámetros. Se buscó determinar qué alternativa conviene más aplicar, con el propósito de poder enunciar resultados que sirvan de apoyo a la empresa.

Contribuciones y Conclusiones

Se planteó un modelo de simulación que reflejara al sistema. Se definieron dos tipos de simulaciones con características que se pueden observar en el sistema real, y fue posible validar para cada una de ellas con datos reales proporcionados por la empresa. Se establecieron diferentes alternativas de reducir el tiempo de entrega de cada demanda y apegarse más al plan de producción.

FIRMA DEL ASESOR: _____

ÍNDICE

RESUMÉN

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación.....	6
1.3 Metodología de solución.....	6
1.4 Objetivo de la tesis.....	7
1.4.1 Objetivos específicos.....	7
1.5 Alcance.....	8
1.6 Contenido de la tesis.....	8

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Proceso.....	11
2.1.1 Gráfica general del proceso.....	14
2.1.2 Diagrama del proceso.....	15
2.1.3 Diagrama de actividades.....	15
2.1.4 Diagrama de flujo del proceso (Flowchart).....	16
2.2 Simulación.....	19
2.2.1 Sistema.....	20
2.2.2 Modelos.....	22
2.2.3 Etapas del proceso de simulación.....	25

CAPÍTULO 3. PROBLEMÁTICA DE LA EMPRESA

3.1	Algunos procesos de la empresa.....	31
3.1.1	Características generales.....	31
3.1.2	Proceso de fundición de metal (chatarra).....	36
3.1.3	Proceso de distribución del metal líquido.....	37
3.2	Diagrama general del proceso.....	40
3.3	Diagrama del proceso (Transportación del metal líquido).....	41
3.4	Grafica de actividades.....	42
3.5	Diagrama de flujo del proceso (Envío de metal).....	43
3.6	Relación del proceso de envío de metal con el sistema de simulación.....	44

CAPÍTULO 4. MODELO DE SIMULACIÓN

4.1	Modelo de simulación.....	47
4.2	Objetivo de la simulación.....	48
4.3	Metodología desarrollada.....	49
4.4	Descripción del modelo.....	50
4.5	Eventos del modelo de simulación.....	51
4.6	Medidas de desempeño del modelo.....	52
4.7	Parámetros de entrada en la simulación.....	53
4.8	Distribuciones de probabilidad utilizadas.....	54
4.8.1	Prueba Kolmogorov-Smirnoff mediante Minitab 14 para el nivel de servicio	55
4.8.2	Prueba Kolmogorov-Smirnoff mediante Minitab 14 para el tamaño de la demanda.....	57
4.8.3	Prueba para la llegada entre demandas al Centro Fusor.....	61

CAPÍTULO 5. EXPERIMENTACIÓN

5.1 Validación del modelo de simulación.....	64
5.2 Intervalo de confianza para las simulaciones largas.....	70
5.3 Intervalo de confianza para las simulaciones pequeñas.....	72
5.4 Cambio en los parámetros para mejorar los tiempos de entrega.....	72
5.5 Cambio en parámetros considerando el peor de los casos.....	74
5.6 Resultados obtenidos de los cambios en parámetros.....	75

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1 Conclusiones.....	78
6.2 Trabajo futuro.....	81

BIBLIOGRAFÍA.....	82
--------------------------	-----------

FICHA AUTOBIOGRÁFICA.....	101
----------------------------------	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Clasificación de las actividades.....	14
2.2	Diagrama de actividades.....	15
2.3	Diagrama de flujo.....	16
2.4	Diagrama de las etapas del proceso de simulación.....	29
3.1	Muestra de la chatarra Tabloid.....	32
3.2	Muestra de la chatarra Tain tabor triturado.....	32
3.3	Muestra de la chatarra Testy.....	33
3.4	Muestra de la chatarra UBC Taldon taldark.....	33
3.5	Horno reverbero.....	34
3.6	Carro <i>Hencon</i> utilizado para la transportación de metal.....	38
3.7	Layout de la empresa.....	40
3.8	Diagrama general del proceso.....	40
3.9	Diagrama del proceso de envío de metal.....	41
3.10	Diagrama de flujo del proceso.....	43
4.1	Algoritmo de la simulación.....	50
4.2	Prueba Kolmogorov-Smirnoff para el tiempo de servicio.....	57
4.3	Prueba Kolmogorov-Smirnoff para el tamaño de la demanda....	58
4.4	Prueba de normalidad para el tamaño de la demanda con datos generados a partir de la distribución uniforme.....	60
4.5	Prueba de normalidad para el tiempo de servicio con datos generados a partir de la distribución uniforme.....	60
5.1	Comparación del programa semanal contra el metal entregado en las simulaciones pequeñas.....	69

5.2	Comparación del programa semanal contra el metal entregado en las simulaciones largas.....	69
5.3	Graficas de los datos reales y los simulados.....	71
6.1	Diagrama del proceso eliminando el tiempo de báscula.....	80
D1	Código de la función principal (main) de la simulación.....	95
D2	Continuación del código del cuerpo del programa.....	96
D3	Función arrive (Función que genera las llegadas de las demandas).....	97
D4	Función star_FUSOR_run, empieza el proceso de la entrega de metal.....	98
D5	Función end_FUSOR_run, en la cual se verifica si la demanda regresa a la cola o sale del sistema.....	99
D6	Función reporte de la simulación.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

3.1	Clasificación de las actividades.....	35
3.2	Gráfica de actividades.....	42
4.1	Modelo de simulación.....	47
4.2	Tiempo de recorrido, obtenidos mediante el monitoreo al carro <i>Hencon</i>	56
4.3	Datos proporcionados por la empresa.....	56
4.4	Tamaños de la demanda.....	58
4.5	Datos generados para el tiempo de servicio, utilizando la dis- tribución uniforme con el ancho de la normal.....	59
4.6	Datos generados para el tamaño de la demanda, utilizando la distribución uniforme con el ancho de la normal.....	59
5.1	Datos proporcionados por la empresa.....	65
5.2	Resultados de las simulaciones largas.....	66
5.3	Datos proporcionados por la empresa para 20 semanas.....	67
5.4	Resultados de las simulaciones pequeñas.....	68
5.5	Resultados de cambios en parámetros.....	75
C1	Resultado de las 20 corridas utilizando un Sangrado constante.....	87
C2	Resultado de las 20 corridas eliminando el tiempo de báscula.....	88
C3	Resultado de las 20 corridas aumentando un carro valle.....	89

C4	Resultado de las 20 corridas utilizando un sangrado constante y eliminando el tiempo de báscula.....	90
C5	Resultado de las 20 corridas utilizando un sangrado constante y aumentando un carro valle.....	91
C6	Resultado de las 20 corridas eliminando el tiempo de báscula y aumentando un carro valle.....	92
C7	Resultado de las 20 corridas utilizando un sangrado constante, eliminando el tiempo de báscula y aumentando un carro valle.....	93
C8	Resultado de las 20 corridas eliminando un carro <i>Hencon</i>	94

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

Introducción

La competencia y la necesidad de satisfacer las expectativas de los clientes adquieren cada vez más importancia e imponen requerimientos cada vez más fuertes sobre las empresas. Más aún, las expectativas de los clientes abarcan no solo el precio y la calidad de los productos o servicios, sino que también la rapidez, confiabilidad y eficiencia en la entrega. Por ello adquiere gran relevancia estudiar los procesos de producción y detectar áreas de oportunidad que permitan eliminar o reducir las actividades que no conduzcan a añadir valor al producto final.

En este capítulo se presenta una breve introducción sobre el problema a estudiar, así como los objetivos, justificación y alcance de la tesis.

La competitividad en el mercado mundial, los altos requerimientos de calidad de los productos, junto con demandas aleatorias en lugar de demandas fijas, son algunos de los factores que han forzado cambios en la industria, como ejemplo se encuentra los cambios de metodologías de planificación de la producción convencionales hacia metodologías basadas en heurísticas, con las cuales se puede hacer frente a la gran cantidad de variables de decisión inherentes a las actuales arquitecturas de producción [1].

1.1 Descripción del problema

Este trabajo de tesis está vinculado a un problema real de la industria, específicamente de una empresa productora de cabezas y monoblocks de aluminio para motores de combustión interna. La empresa cuenta con un Área de Fusión llamada Centro Fusor (CF), la cual dispone de cuatro hornos reverberos para fundir el metal con el que cuenta la empresa. El metal fundido se reparte entre cinco plantas en las cuales se fabrican las cabezas y monoblocks de aluminio. A continuación se describen brevemente los principales elementos del proceso productivo de la empresa:

- *Fusión del metal*

El proceso de producción comienza en el Área de Fusión. Aquí se preparan las cargas y se alimentan los hornos rotatorios y reverberos con material reciclable, cuidadosamente seleccionado, para transformarlo en aluminio líquido.

Una vez que la composición química de la materia prima ha sido exactamente ajustada, el aluminio líquido se desgasifica y se le añaden modificadores que controlan su estructura, formándose la aleación.

El proceso de fundición de metal a partir de chatarra se lleva a cabo en aproximadamente 3 horas. Una vez que está listo alguno de los hornos reverberos (proceso de fundición completo, se extenderá la explicación en el capítulo 3), el metal es enviado a las plantas por medio de los carros *Hencon*, los cuales cuentan con ollas de 5.4 toneladas de capacidad para transportar el metal líquido.

Estas ollas están recubiertas en su interior de ladrillo refractario. Antes de empezar el sangrado del metal (pasar el metal líquido del horno reverbero del Centro Fusor a la olla del carro *Hencon*), es necesario precalentar las ollas de los carros a la temperatura de trabajo, para asegurarse que el metal se mantenga líquido durante su traslado.

- *Fabricación de corazones de arena*

Los corazones de arena se llevan a cabo en las plantas y su elaboración consiste en lo siguiente: la arena (nueva o recuperada) se almacena en silos, desde donde se envía a los molinos, ubicados en la parte superior del área de soploras (máquinas para moldear corazones). En esta sección, conocida como los mezcladores, se preparan las "recetas", combinando los dos tipos de resinas, así como

el aditivo, de acuerdo al producto y sus parámetros preestablecidos, con lo cual se fabrican los corazones.

- *Moldeo*

En este departamento, los corazones de arena son colocados en un molde permanente donde se vacía el metal líquido para moldear las cavidades de la pieza. Cada producto tiene su propia mezcla de corazones. El número de éstos puede variar de 3 hasta 7 corazones en los productos que actualmente se fabrican.

En relación a los blocks, el proceso de producción en general es muy parecido al de cabezas. La principal diferencia radica en que el moldeo de estos se realiza en una caja compuesta por corazones de arena, mientras que el de cabezas se realiza en moldes permanentes y corazones de arena para formar las cavidades.

Para la fabricación de blocks, primero en una sopladora de gran capacidad se fabrican los corazones que son ensamblados para formar el comúnmente llamado paquete, posteriormente, éste se coloca en el transportador que lo llevará hasta la estación del horno de baja presión, donde se le inyectará el aluminio líquido, ocurriendo así el moldeo.

- *Tratamiento térmico y desarenado*

Algunos productos tienen que ser sometidos a tratamiento térmico, según las especificaciones del cliente, con este proceso se logran ciertas propiedades mecánicas en la pieza, además se desarena por completo, gracias a la acción del calor.

- *Desarenado*

Las piezas que no son sometidas al tratamiento térmico tienen que pasar por un proceso de desarenado por impactado/vibrado, antes de entrar a la línea de cubado o maquinado.

- *Maquinado*

En esta área se maquinan las caras de la pieza, según las necesidades de los clientes; también se realizan taladrados de bujías o medias lunas del árbol de levas cuando el cliente así lo solicita.

- *Inspección*

Dependiendo de las especificaciones del producto, se realizan numerosas pruebas de calidad para entregar a los clientes piezas altamente calificadas. Algunas de estas pruebas son: inspección visual, rayos x, líquidos penetrantes, fugas bajo agua.

- *Embarque*

Después de asegurarse que las piezas estén listas, se embalan cuidadosamente y se envían a través del medio que mejor asegure su traslado y su arribo a tiempo en las plantas motores donde serán ensambladas.

Después de haber dado una breve introducción de los elementos principales del proceso productivo de la empresa, continuamos con la descripción del problema con el cual cuenta la empresa.

En el proceso de distribución del metal líquido del centro fusor a las plantas se han detectado algunos problemas de retraso en los pedidos de las plantas que están afectando la entrega final de los productos, lo cual repercute en los costos de producción.

Por ello en nuestro trabajo nos enfocaremos solo al proceso de distribución del CF a las plantas. Por lo cual se estudiará y caracterizará el sistema de distribución de metal con el que cuentan en la actualidad y de ser posible ofrecer un mejor diseño de este proceso.

1.2 Justificación

Se requiere un estudio basado en metodología científica que avale el proceso o que proponga una forma mejor, ya que es importante para la empresa realizar la distribución de envío de metal en forma rápida. Este es el primer estudio que tiene como objetivo mejorar la distribución de metal líquido del Centro Fusor, utilizando las técnicas de la investigación de operaciones.

1.3 Metodología de solución

La solución óptima exacta de un problema de planificación en sistemas de producción, distribución o transporte, es bastante compleja y difícil, y en ocasiones hasta imposible de obtener.

Los modelos de simulación han demostrado ser útiles para evaluar el rendimiento de diferentes configuraciones y/o procedimientos de

operación alternativos para sistemas logísticos complejos y sistemas de producción. Es cada vez más aceptado que la simulación es una poderosa herramienta de apoyo a la toma de decisiones en empresas e industria, que permite mejorar la eficiencia operacional y organizacional [1].

Por ello se ha decidido utilizar esta herramienta en el estudio del problema mencionado.

1.4 Objetivo de la tesis

Caracterizar y crear un modelo de simulación para un proceso de distribución de metal en la empresa. El modelo resultante se utilizará para evaluar cambios propuestos en el proceso, así como para prescribir políticas de operación.

1.4.1 Objetivos específicos

- Estudiar y conocer los procesos de distribución actuales en la empresa.
- Estudiar el problema a considerar.
- Construir un modelo de simulación adecuado al problema y basado en las condiciones que presenta la empresa.
- Resolver el modelo utilizando simulación, escogiendo un software que se adapte al modelo construido.

1.5 Alcance

El desarrollo de modelos de simulación de un sistema real, el cual ayudará a la toma de decisiones relacionadas a la distribución de metal líquido y permitirá obtener posiblemente un rediseño del proceso actual que disminuya los costos y aumente la satisfacción del cliente.

Este modelo permitirá explorar diferentes escenarios y a su vez evaluarlos, para posteriormente realizar los análisis de optimización necesarios.

1.6 Contenido de la tesis

Esta tesis se estructura de la siguiente forma:

En el capítulo uno se describe de manera general el problema de estudio así como su relevancia, se enuncian los objetivos y el alcance de esta tesis.

Los antecedentes históricos, definiciones y conceptos básicos de la teoría de simulación y procesos de negocios se presentan en el capítulo dos.

En el capítulo tres se presenta la situación actual de la empresa, además algunos diagramas de flujo que nos ayudan a entender un poco más el proceso.

En el capítulo cuatro se presenta el modelo de simulación, asimismo una breve descripción de la manera en que se llevó a cabo la implementación computacional. También se explican los parámetros de entrada de la simulación, así como las salidas. La descripción de cada uno de los eventos de la simulación y algunas pruebas estadísticas se presentan en este capítulo.

En el capítulo cinco se describe como se llevo a cabo la experimentación y se explica en que consiste cada uno de los cambios que se realizan en la simulación, además se presentan tablas con los resultados encontrados al llevar a cabo la experimentación.

Finalmente en el capítulo seis se presentan las conclusiones que se deducen de los resultados obtenidos en el capítulo anterior y se hacen recomendaciones acerca del trabajo futuro.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

Introducción

En este capítulo se definirán algunos de los conceptos más usados a lo largo de la tesis. Como se mencionó en el capítulo 1, se estudia un proceso de un sistema real, específicamente el proceso de distribución de metal de un Centro Fusor a cinco plantas en una empresa productora de cabezas y monoblocks de aluminio para motores. En este capítulo se definirán conceptos utilizados en procesos de manufactura, los cuales relacionaremos con el proceso en estudio, el cual será descrito a detalle en el siguiente capítulo. Además, dado que la metodología escogida para estudiar el problema es la simulación, se mencionan conceptos fundamentales.

2.1 Proceso

Según en [2] un proceso es un grupo organizado de actividades relacionadas entre sí y que juntas crean un resultado de valor para el cliente.

Los diferentes tipos de procesos de negocios que existen son procesos individuales, verticales y horizontales, de los cuales a continuación se presenta su definición.

Un proceso individual es el que se realiza por una sola persona dentro de un departamento.

Ahora bien, se suele llamar visión funcional o vertical al enfoque tradicional de una empresa en la cual al conjunto de actividades similares, también llamadas funciones se les organiza de manera jerárquica para así conformar los departamentos (organigrama).

El nombre de la visión funcional o vertical viene de la estructura típica de un organigrama de la empresa con una disposición jerárquica “vertical” desde el Director General hasta los responsables de cada área funcional.

Este modelo de pensar una empresa tiene su origen en el principio de la división del trabajo, introducido por el economista Adam Smith en el siglo XVIII (La riqueza de las naciones, 1776). Smith ilustraba el principio con la historia de la fábrica de agujas: un cierto número de

trabajadores especializados, realizando cada uno un paso de la fabricación de un alfiler, podía hacer muchísimos más alfileres en un día que el mismo número de trabajadores dedicados a hacer todo el alfiler.

En cuanto a la organización horizontal, esta se lleva a cabo como una gestión por procesos, que comenzando por los proveedores termina con el producto en manos del cliente. En todo este proceso son fundamentales los costos vinculados a la logística, la calidad y las productividades internas.

En la medida en que se reducen los costos de transporte, inspección, calidad, movimientos internos, energía, entre otros, se forjan las bases para producir bienes y servicios a un costo menor y con una mayor calidad. Esta visión de los procesos conformando y dando vida a la organización horizontal se relaciona perfectamente con la nueva visión sistémica de la empresa. Los diferentes procesos se interrelacionan, de tal forma que simplificando los productos y servicios, se permite dar lugar a procesos y actividades que resultan ser más simples.

Ahora, para cualquiera que sea el proceso, ya sea individual, vertical u horizontal, los elementos primordiales son los siguientes:

_Las entradas que cumplen los requisitos de aceptación: materiales (materias primas) o inmateriales.

_Los medios " recursos " y determinados requisitos " requerimientos del cliente".

_Una serie de actividades que transforman o agregan valor a las entradas.

_Unas salidas que genera el proceso, y que son entradas del siguiente proceso, o bien el producto entregado o servicio.

_Un sistema de evaluación: donde se mide el funcionamiento del proceso y la satisfacción del cliente mediante " indicadores".

_Límites: Necesidad del cliente (comienzo) y necesidad satisfecha (fin).

Por actividad entenderemos el conjunto de tareas necesarias para la obtención de un resultado. A continuación se presenta una clasificación de las actividades por su valor y costo:

Actividades básicas, críticas o de valor añadido real: son las que generan como resultado el valor que el cliente espera. Dentro de estas actividades están: logística interna, operaciones de producción, logística externa (distribución), el marketing (ventas) y el servicio post venta.

Actividades de apoyo, soporte o de valor añadido a la empresa: dan soporte a actividades primarias, y garantizan el funcionamiento de la empresa; pero no dan valor al cliente. Aquí podemos encontrar: aprovisionamiento, investigación y desarrollo, administración de recursos humanos y la infraestructura de la empresa.

Actividades sin valor añadido: no añaden valor ni satisfacen al cliente, estas actividades deben eliminarse ya que ellas representan desperdicio de tiempo en los procesos y entre estas actividades encontramos: transporte, inspección, demora, almacenaje y retrabajo.

En diseño de procesos se utilizan los modelos para estudiar el comportamiento de un proceso, el cual puede ser modelado simbólicamente, analíticamente o mediante simulación.

Los modelos simbólicos o herramientas gráficas incluyen los diagramas de proceso, las gráficas de las actividades del proceso (process activity chart) y las gráficas de flujo (flowchart). Estos modelos son rápidos, sencillos de desarrollar y fácilmente entendible por otros. Su principal desventaja es que no pueden capturar la dinámica del proceso. Antes de presentar los diagramas mencionados, lo primero que se mostrará es la simbología utilizada en algunas de estas gráficas.

1. Operación		Cualquier paso que agrega valor y lo hace avanzar.
2. Transporte		Cualquier acción que desplaza información, objetos o personas.
3. Inspección		Incluye inspecciones de calidad, revisiones y autorizaciones.
4. Demora		Retraso no programado por eventualidades.
5. Almacenaje		Retraso programado a la espera de materiales, partes y/o productos.
6. Retrabajo		Repeticiones innecesarias.

Figura 2.1 Clasificación de las actividades

2.1.1 Gráfica general del proceso

La gráfica general de proceso resume el proceso actual, el rediseño del proceso y el mejoramiento desde cambios propuestos. Esta gráfica caracteriza el proceso para describir el número de actividades y su categoría, la cantidad de tiempo que requiere cada actividad y su correspondiente porcentaje del proceso total.

2.1.2 Diagrama de proceso

Estos diagramas son más utilizados para layout en las empresas, para establecer las distancias y los tiempos de los flujos entre una actividad y otra en un proceso.

2.1.3 Diagrama de actividades

El diagrama de actividades de un proceso muestra todas aquellas acciones que se deben realizar para llevar a cabo un proceso.

Descripción de actividades						
1- 2- 3- · ·						

Figura 2.2 Diagrama de actividades

La gráfica anterior representa lo siguiente: Se describen cada una de las acciones necesarias para completar un proceso y a cada una de estas acciones le corresponde un símbolo para saber a qué actividad pertenece dicha acción, es decir si es una actividad de operación, transporte, o alguna otra de las que se mencionaron en el cuadro 2.1.

2.1.4 Diagrama de flujo de proceso (Flowcharts)

Mediante los diagramas de flujo se puede comprender rápidamente el proceso en su totalidad, facilitando así su análisis para modificarlo y mejorarlo.

Un diagrama de flujo es una representación gráfica de los pasos que se siguen para realizar un proceso; partiendo de una entrada, y después de realizar una serie de acciones, llegar a una salida. Cada paso se apoya en el anterior y sirve de sustento al siguiente. A continuación se presenta una figura con la representación de un diagrama de flujo.

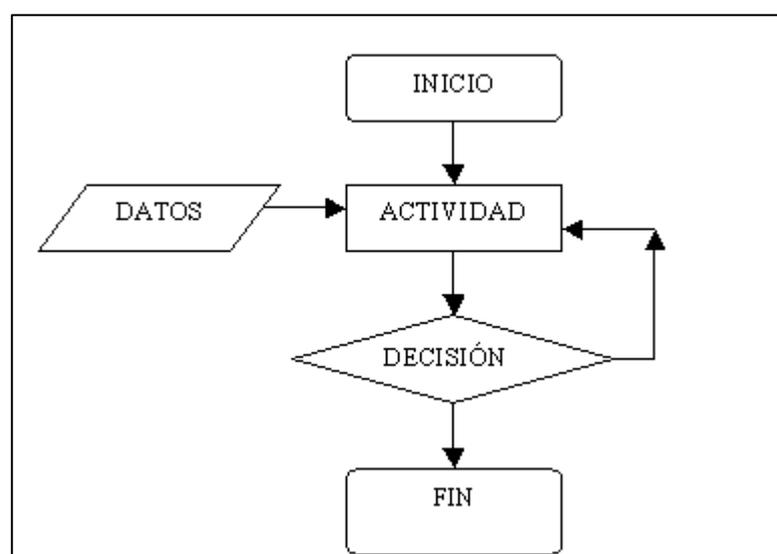


Figura 2.3 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo tiene las siguientes características y ventajas:

_ Es una representación gráfica de las secuencias de un proceso, presenta información clara, ordenada y concisa.

_Permite visualizar las frecuencias y relaciones entre las etapas indicadas.

_Se pueden detectar problemas, desconexiones, pasos de escaso valor añadido etc.

_Compara y contrasta el flujo actual del proceso contra el flujo ideal, para identificar oportunidades de mejora.

_Identifica los lugares y posiciones donde los datos adicionales pueden ser recopilados e investigados.

_Ayuda a entender el proceso completo.

_Permite comprender de forma rápida y amena los procesos.

La diferencia entre el diagrama de flujo del proceso y el diagrama de flujo de las actividades radica en que las actividades del proceso están más detalladas en el diagrama de flujo mientras que en el de actividades se muestran de forma agrupada y resumida. Por otra parte, el diagrama de flujo se utiliza para efectos de análisis y mejoramiento, en tanto que el de actividades se usa para efectos de divulgación, buscando hacer más fácil la lectura y comprensión del proceso. Lo anterior implica que la consulta del diagrama de flujo está dirigida a las personas encargadas de la realización del proceso y no a los clientes o grupos de interés.

Ahora veamos qué pasa con los modelos analíticos. Si las suposiciones subyacentes en los modelos analíticos (deterministas o estocásticos) fueran válidas para el sistema bajo estudio, estos modelos serían una forma conveniente para evaluar cuantitativamente diferentes diseños del proceso. La principal desventaja es que las suposiciones subyacentes son a menudo restrictivas. Por otra parte, como estas herramientas no ofrecen representación gráfica obvia, pudieran parecer abstractas al diseñador del proceso.

Por el contrario, los softwares modernos de simulación combinan en un sentido la fortaleza descriptiva de los modelos simbólicos con la fortaleza cuantitativa de los modelos analíticos. Ofrece representación gráfica del modelo e ilustración gráfica de la dinámica del sistema y al mismo tiempo proporciona estimados de las medidas de desempeño a través de un análisis estadístico de los datos de salida.

Resumiendo, algunos de los atributos que hacen de la simulación una herramienta poderosa son:

- La simulación, al igual que los modelos analíticos, provee una medida cuantitativa de desempeño (por ejemplo, utilización de recurso ó tiempo medio de espera).
- La simulación, a diferencia de los modelos analíticos y simbólicos, puede considerar cualquier tipo de variación e interdependencias estadísticas de un sistema complejo.

- La simulación es capaz de descubrir ineficiencias que usualmente pasarían inadvertidas hasta que el sistema estuviera en operación.

Una vez descritas las diferentes maneras en que se puede modelar un diseño de proceso, pasamos al siguiente punto, la simulación, ya que es la forma en que se va a modelar el proceso bajo estudio.

2.2 Simulación

Con la aparición de la computadora, una de las más importantes herramientas para analizar el diseño y operación de sistemas o procesos complejos es la simulación [3].

Como en este trabajo se desarrolla una simulación, sería conveniente describir algunas de las definiciones más aceptadas y difundidas de la palabra simulación.

“Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos de tiempo”, definición de [4].

En un sentido más estricto en Maisel y Gnugnoli (citados por Coss, 1994) definen simulación de la siguiente manera:

“Simulación es una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos tipos de

modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos o químicos a través de largos periodos de tiempo”.

Otra definición de simulación es la siguiente:

“La simulación es el diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema del mundo real o evaluar varias estrategias con los cuales pueda operar el sistema [5]”.

A continuación definiremos el término sistema, el cual fue utilizado en las definiciones anteriores.

2.2.1 Sistema

Conceptualmente un sistema se define como un conjunto de entidades que interactúan con un propósito común de acuerdo a un conjunto de leyes y políticas. Las entidades pueden ser transientes o residentes. Las entidades transientes son los trabajos que fluyen a través del sistema (clientes) y las entidades residentes son los buffers, estaciones de trabajo y recursos (servidores) que componen la red del proceso [6].

Las leyes no están bajo el control del diseñador del proceso y generalmente se representan por parámetros. El análisis de sensibilidad se basa en la experimentación que se realiza para determinar el efecto de cambios en los valores de los parámetros [6].

Las políticas, por otra parte, están bajo el control del diseñador. Una política se implementa típicamente cambiando los factores de entrada. El diseño es la experimentación que se utiliza para determinar el efecto de cambios en los factores de entrada y la estructura del sistema [6].

Después de haber definido sistema, ahora se presentan algunas de sus clasificaciones.

_ *Sistemas continuos*: son continuos los sistemas en los que los cambios son suaves. En realidad lo que importa es cómo se comportan las variables que miden el estado del sistema en el tiempo, esto es; las variables que determinan su estado pueden variar en cada instante o unidad de tiempo [7].

_ *Sistema discreto*: Los cambios en el sistema son discontinuos. Otra manera de verlo es diciendo que son sistemas cuyos cambios se producen en instantes determinados de tiempo, entre los cuales el sistema permanece sin variaciones [7].

Otra forma de clasificar a los sistemas es por la existencia o no de cambios aleatorios dentro de los mismos:

_ *Sistemas determinísticos*: Los cambios producen sólo un resultado, la conducta del sistema está determinada [7].

_Sistemas estocásticos: Los cambios producen resultados aleatorios más o menos probables [7].

También se clasifican por su estabilidad: existen sistemas que no están quietos pero mantienen un estado de “equilibrio dinámico”.

_Sistemas estables: Si estando el sistema quieto, o en movimiento pero “en régimen”, se le aplica una perturbación momentánea y el sistema luego de cierto tiempo vuelve a su estado original, será estable [7].

_Sistema inestable: Si estando el sistema quieto, en movimiento uniforme, se le aplica una pequeña “molestia” y luego se le elimina, y el sistema sufre cambios que lo alejan cada vez más de su estado original, se dice que es inestable [7].

_De estabilidad crítica: Si estando el sistema quieto, o en movimiento pero “en régimen”, se le aplica una pequeña perturbación momentánea y el sistema sufre cambios que hacen que ni vuelva a su estado original, ni que se aleje cada vez más de él, se dice que tiene estabilidad crítica o límite [7].

Una vez que se conoce el sistema lo que sigue es definir el modelo, el cual es una “imitación” del sistema original.

2.2.2 Modelos

Una vez que están definidos con exactitud los resultados que se esperan obtener del estudio, el siguiente paso es definir y construir el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados.

En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describen en forma completa al modelo.

Al igual que los sistemas existe una clasificación para los modelos, la cual se presenta a continuación:

Algunos modelos son estáticos; otros, dinámicos. Un modelo estático omite ya sea un reconocimiento del tiempo o describe un instante del estado de un sistema en determinado momento. En contraste, un modelo dinámico reconoce explícitamente el transcurso del tiempo. Además de proporcionar una secuencia de instantes del sistema en el transcurso del tiempo, algunos modelos dinámicos especifican relaciones entre los estados de un sistema en diferentes momentos.

Otra distinción es la referente a los *modelos deterministas contra modelos estocásticos*. En los primeros, todas las entidades establecen relaciones matemáticas o lógicas constantes. Como consecuencia, estas relaciones determinan soluciones. En un modelo estocástico, por lo menos una parte de la variación tiene una naturaleza casual. Por tanto, un investigador puede, a lo sumo, obtener soluciones promedio mediante modelos estocásticos para resolver los problemas.

Una clasificación más de los modelos es si son *continuos o discretos*, donde en los modelos continuos los cambios que ocurren en el tiempo son suaves, mientras que en los modelos discretos los cambios en el tiempo son predominantemente discontinuos o instantáneos, es decir que la propiedades que describen su comportamiento cambian en momentos determinados de tiempo, y entre esos instantes de tiempo no sucede variación alguna.

Estas son solo algunas de las clasificaciones de los modelos de simulación. En general al establecer un modelo se usa más de una característica de las enumeradas en la clasificación.

Al definir simulación se dijo que escribíamos un modelo y experimentábamos con él, sin embargo otro camino suele ser experimentar directamente sobre el sistema real. Esto sería lo ideal pero tiene varias desventajas serias, como las que se presentan a continuación:

- _ Interrupción de las operaciones.
- _ La gente suele modificar su conducta si se le observa.
- _ Dificultad para mantener las condiciones de operación (repetitividad).
- _ Gran insumo de tiempo y dinero para tomar muestras de igual tamaño.
- _ Algunos tipos de alternativas no pueden explorarse.

Otra alternativa de trabajo (si no es aconsejable la experimentación con el sistema real) es plantear las ecuaciones matemáticas que definen el sistema a tratar y resolverlas analíticamente.

Al simular el modelo se "corre", no se resuelve. La diferencia con la solución analítica es que cuando simulamos no estamos un 100% seguros que se ha alcanzado lo mejor.

Teniendo en cuenta este concepto, podemos considerar que la simulación es una buena técnica para resolver problemas cuando:

Los métodos analíticos:

- _ No están bien desarrollados.
- _ Son muy complejos.
- _ Están fuera del alcance del personal.
- _ Se desea ver la evolución histórica (además de obtener valores de parámetros).

Resumiendo todo lo anterior, a continuación se presentan las etapas en un proceso de simulación.

2.2.3 Etapas del Proceso de simulación

- _ *Formulación del Problema*: identificación precisa del problema.

- _ *Definición del sistema*. Definir las fronteras y el medio ambiente. Se debe establecer exactamente la diferencia entre la situación deseada y la situación actual del sistema.

_ *Simulación*: Decidir que un determinado problema se resuelve por simulación implica antes haber descartado todas las otras posibilidades de resolución por vías menos complejas y más económicas.

_ *Formulación del modelo* (representación en diagrama de flujo o lógico) Implica establecer objetivos, buscar analogías, considerar algún ejemplo numérico, hacer esquemas, describir todos los datos, enriquecer o simplificar.

_ *Preparación de datos* (Cuáles se necesitan y cuáles se tienen). Obtener las entradas y las salidas, relaciones cuantitativas y cualitativas. Los datos deben ser convenientemente tratados para que se puedan realizar predicciones del comportamiento del sistema. Si nos quedamos con los datos como los obtenemos del sistema real, podemos caer en la mera simulación del pasado. Si basados en ellos hallamos una función del comportamiento (por ejemplo distribuciones de probabilidad en sistemas estocásticos), estaremos en condiciones de repetir el comportamiento del sistema en el modelo y poder aplicarlo para realizar estudios sobre el mismo.

_ *Traslación del modelo*. Implica pasarlo a un lenguaje computacional, convenientemente elegido.

_ *Verificación*: control de cómo ha sido implementado el modelo en el lenguaje de simulación elegido.

_ *Validación (expertos)*: Es la comparación de las conclusiones obtenidas con el modelo respecto al sistema real. Lo ideal es que la realicen personas especializadas en trabajar con el sistema. Existen técnicas matemáticas (análisis de la varianza) para decidir si el modelo es una buena aproximación del sistema.

_ *Planeamiento estratégico o estrategia*: Significa decidir qué variables modificar, en cuánto hacerlo, cómo evaluar las salidas, etc. de acuerdo al problema a resolver. No se utilizará la misma técnica si el problema es de optimización, que si es de elección entre varias alternativas o si es de explicación de por qué el sistema se comporta de una manera determinada.

_ *Planificación táctica*: Implica la pregunta: ¿Cómo realizar las corridas necesarias de acuerdo a lo planificado en la estrategia? Debe definirse en este punto qué es una muestra: ¿Una corrida? ¿Varias? ¿Una parte? También debe definirse en qué momento pueden comenzar a tomarse datos: Si el programa de simulación se inicia con todas sus variables en cero y en la realidad no es así ¿Cuánto tiempo de simulación se deja pasar antes de considerar que los datos son válidos?

_ *Experimentación*. Estrategia + Táctica \Rightarrow Diseño de experimentos. Experimentación implica hacer corridas (de simulación) y analizar la sensibilidad del modelo a los cambios de variables. Es aquí donde se notan los defectos que hubiera en todo el proceso diagramado. Si al cambiar muy poco el valor de una variable, los resultados cambian

mucho, entonces puede que haya defectos en los datos relevados para la construcción del modelo o en el modelo mismo.

_ Interpretación de los datos obtenidos con la simulación. Validación de los resultados según el diseño de experimentos realizado.

_ Implantación: uso del simulador.

La figura 2.4 nos presenta las etapas de un modelo de simulación.

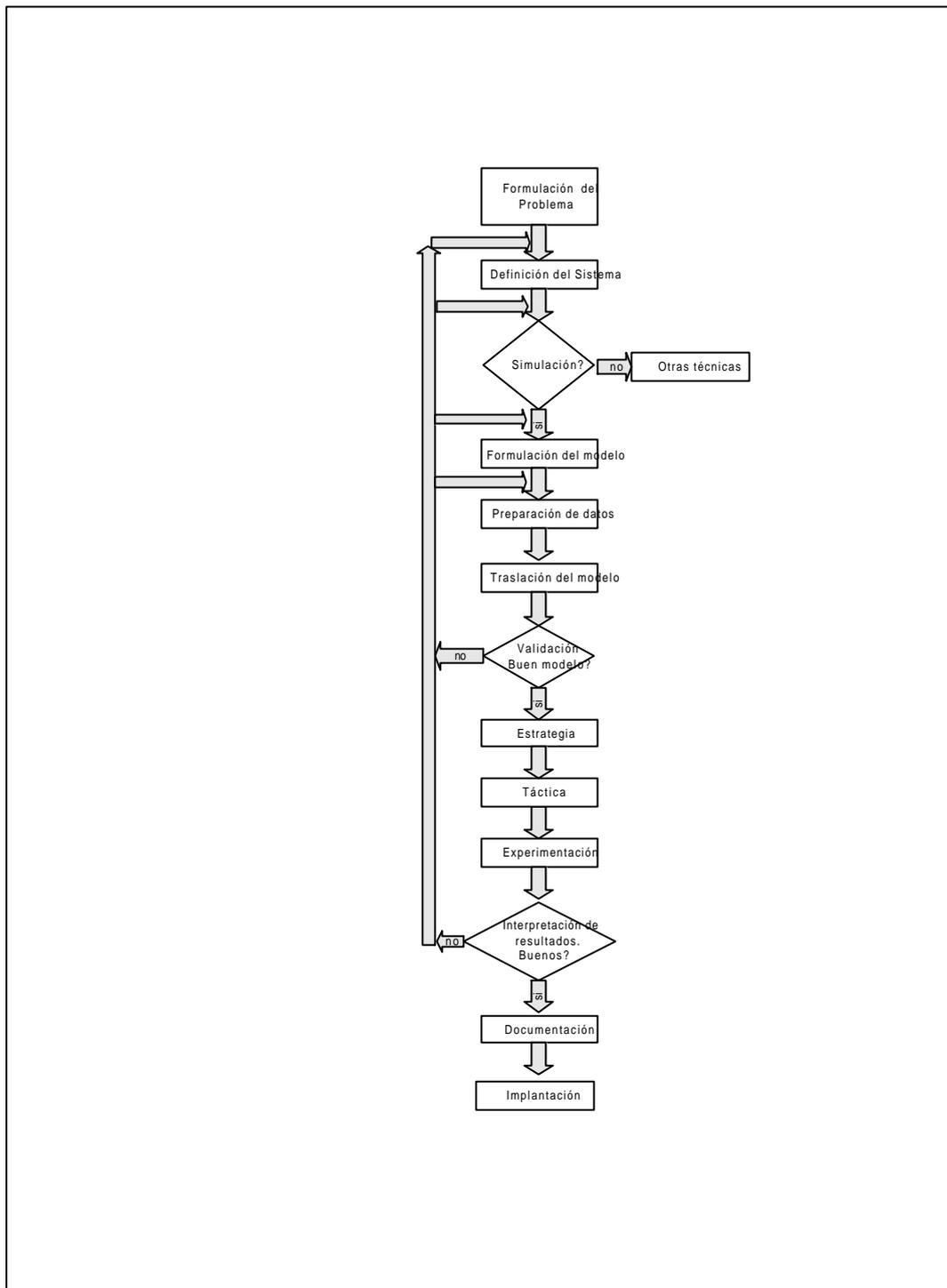


Figura 2.4 Diagrama de las etapas del proceso de simulación.

CAPÍTULO 3

PROBLEMÁTICA DE LA EMPRESA

Introducción

En este capítulo se presenta la problemática que vive la empresa y se describen los procesos de fundición de metal, así como el sistema de distribución de metal líquido. Se presentan algunos diagramas de proceso y de flujo que fue necesario realizar para una mejor comprensión del problema, y se describe la manera en que se relacionó el proceso de distribución de metal con un sistema de simulación.

3.1 Algunos procesos de la empresa

Como se había mencionado en el capítulo 1, la empresa Nematik es una empresa productora de cabezas y monoblocks de aluminio para motores de combustión interna. Así mismo se indicó que el problema que presentan es que en la distribución del metal del Centro Fusor a las plantas se tienen retrasos en los tiempos de entrega. A continuación se describirá el proceso de fundición de metal, ya que entre otros factores, el tiempo de ciclo de este proceso interviene en los posibles retrasos en los tiempos de entrega.

3.1.1 Características generales

Como ya se había indicado en el capítulo 1, dentro del proceso productivo de Nematik, se encuentra la fusión de metal, la cual se realiza en el CF, almacenando aquí toda la chatarra que la empresa adquiere para la fundición. Entre algunos ejemplos de las chatarras que Nematik compra están Tabloid (hojas litográficas limpias de aluminio nuevo), Taint Tabor Triturado (láminas viejas de aluminio aleado, mezcladas, limpias y trituradas), Testy (hojas de aluminio viejo) y UBC Taldon Taldark (bote de aluminio usado para bebidas).

A continuación se muestran imágenes proporcionadas por la empresa en las cuales se ilustran algunas de las chatarras que la empresa utiliza para fabricar sus piezas. En las imágenes se da una breve descripción de la chatarra, mencionando además de qué elementos (considerados como contaminantes) debería estar libre.

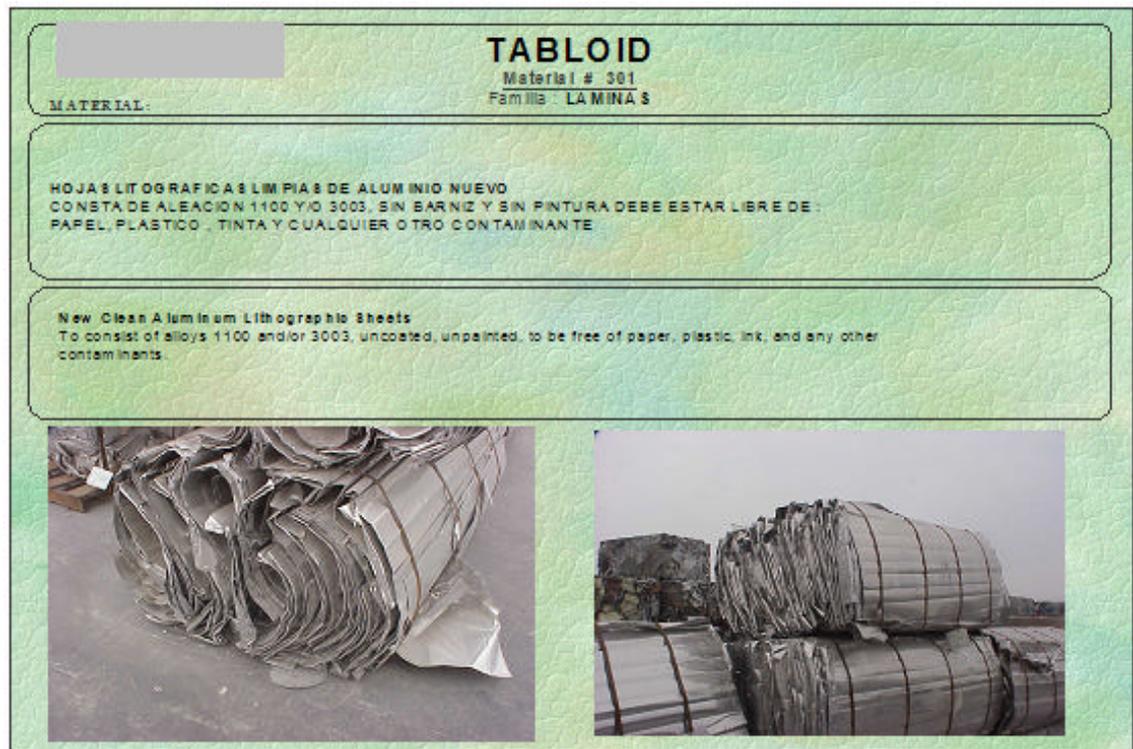


Figura 3.1 Muestra de la chatarra Tabloid



Figura 3.2 Muestra de la chatarra Taintabor triturado

TESTY	
Material # 304 Familia : LAMINAS	
MATERIAL:	
<p>FOIL DE ALUMINIO VIEJO CONSISTE EN LAMINILLA DE ALUMINIO PURO, VIEJO SIN RECUBRIMIENTO, NO ALEADO, DEBE ESTAR LIBRE DE : ALUMINIO ANODIZADO , PAPEL , PLASTICO O CUALQUIER MATERIAL EXTRAÑO</p>	
<p>Old aluminum foil Shall consist of clean, old, pure, uncoated, unalloyed aluminum foil, free from anodized foil, radar foil and chaff, paper, plastics, or any other foreign materials</p>	
	

Figura 3.3 Muestra de la chatarra Testy

UBC TALDON TALDARK	
Material # 317 Familia : BOTE	
MATERIAL:	
<p>BOTE DE ALUMINIO, USADO PARA BEBIDAS CONSISTE EN BOTE USADO, SEPARADO MAGNETICAMENTE , DEBE ESTAR LIBRE DE FIERRO, PLOMO, TAPA DE BOTELLA, PLASTICO, VIDRIO, MADERA, TIERRA, GRASA, BASURA Y OTRAS SUSTANCIAS EXTRAÑAS, CUALQUIER PEDACERIA DE PLOMO ES MOTIVO DE RECHAZO, CUALQUIER TIPO DE ALUMINIO QUE NO SEA DE BOTE DE BEBIDA NO SE ACEPTARA HUMEDAD NO MAYOR AL 2% BASURA NO MAYOR AL 1% EMPAQUE: TRITURADO BRIQUETAS PACAS Ó SUELTO</p>	
<p>Aluminum used beverage can (UBC) Scrap Material must be magnetically separated and free of steel, plastic, glass, dirt and all other foreign substances. Any and all aluminum items, other than UBC are unacceptable. Any free lead is a basis for rejection. Moisture not to exceed 2% Dirt not to exceed 1% Packing :Shredded , brickets, bales or bulk</p>	
	

Figura 3.4 Muestra de la chatarra UBC Taldon Taldark

Después de haber ilustrado algunas de las chatarras que utiliza la empresa para fabricar sus piezas, describiremos cómo se trabaja en el CF, el cual es el encargado de fundir el metal y repartir a las plantas el metal líquido.

El CF cuenta con 4 hornos reverberos para la fundición de metal. Aquí se preparan las cargas que se envían a las 5 plantas con las que cuenta Nemark. Cada uno de los hornos reverberos tiene una capacidad de almacenaje de 80 toneladas. A continuación se presenta una imagen de un horno reverbero.



Figura 3.5 Horno reverbero

Ahora bien, debido a que las plantas fabrican diferentes aleaciones, el CF es el encargado de realizar la base para dichas aleaciones. A continuación explicaremos en qué consiste esto. Como ya se había mencionado, la empresa elabora cabezas y monoblocks de aluminio para motores de combustión interna. Sin embargo, estas cabezas y monoblocks varían en dependencia del cliente específico, lo cual origina

que la empresa elabore diferentes productos, requiriendo para ellos aleaciones específicas. En el CF se funde una base, la cual es transportada a la planta y es ahí donde le agregan lo necesario para completar la aleación específica que se requiera elaborar. A continuación mostraremos una tabla que nos indica la clasificación de las aleaciones que se utilizan en las plantas para fabricar sus productos. En ella se presenta el nombre de la aleación y una pequeña descripción del lugar de fabricación ya sea que se elabore en el CF o en algún reverbero de alguna planta exclusivamente.

NOMBRE DE LA ALEACIÓN	DESCRIPCIÓN	LUGAR DE PREPARACIÓN
A319 alto Ti	Alto Ti	Se elabora en CF con la aleación A319 Ti residual, una vez que se encuentra en las plantas se le agrega el Ti que se requiere para completar la aleación A319 alto Ti.
A319 B Ti	Bajo Ti	Se elabora en CF con la aleación A319 Ti residual, una vez que se encuentra en las plantas se le agrega el Ti que se requiere para completar la aleación A319 alto Ti.
A319	Ti residual	Se elabora en CF y se distribuye entre las plantas.
A356	Chatarra de Aluminio y Aluminio primario	Se elabora en el reverbero 9 de la planta 4, no en el CF.
A319 BFe	Bajo fierro	Se elabora en el CF y se distribuye entre las plantas.
A319UB	Ultra bajo fierro	Se elabora en el reverbero 12 de la planta 5, no se elabora en CF.
A319Bcu	Bajo cobre	Se elabora en el reverbero 10 de la planta 5 y en el reverbero 1 de la planta 1, no se elabora en CF.

Tabla 3.1 Clasificación de las aleaciones

Después de haber explicado cómo interviene el metal elaborado en el CF en la fabricación de los productos en la empresa, pasemos al proceso de fundición del metal que debe ser realizado previo al envío del metal líquido a las plantas.

3.1.2 Proceso de fundición de metal (chatarra)

Cuando se ha completado el proceso de fundición, el metal se reparte entre las plantas. Ahora bien, se dice que el proceso de fundición está completo después de haber pasado por las siguientes etapas:

- En el patio del Centro Fusor se encuentra toda la chatarra que compra la empresa (como los ejemplos que se ilustraron anteriormente). Dependiendo de qué tipo de chatarra se tiene que fundir, llega el montacargas al patio y por medio de una grapa toma la chatarra.
- La chatarra es depositada en una banda, que es donde comienza el tiempo de ciclo de este proceso. Una vez que la chatarra está en la banda pasa por un área donde hay trituradores, los cuales se utilizan para que la chatarra se deposite en el horno en cantidades pequeñas, ya que entre más grandes sean los tamaños de la chatarra, más energía se gasta en el horno.
- Después de pasar por los trituradores, pasa por un separador magnético, el cual retira todo el fierro que contenga la chatarra.

- Seguidamente pasa por el área de deslacado que es donde se le retira toda la pintura o grasa que pueda contener la chatarra.
- De aquí, por medio de la banda que transporta la chatarra, se pasa a los cubiles. Estos cubiles están separados en dependencia del tipo de chatarra con la que se esté trabajando.
- Una vez que la chatarra está en los cubiles, llega una retroexcavadora y transporta la chatarra hacia el horno reverbero. La chatarra se deposita por medio de un vibrador que hace que se introduzca la chatarra al horno reverbero poco a poco con el objetivo de ahorrar energía.
- Una vez que la chatarra está en el horno comienza el proceso de fundición. Conforme el metal se funde, el analista del CF revisa que el metal líquido se encuentre bajo especificaciones para poderlo distribuir. De no ser así, se le tiene que estar agregando la chatarra necesaria para tenerlo listo. Se dice que está bajo especificaciones cuando el metal cumple con ciertos requerimientos de cada uno de los elementos químicos (en porcentajes) necesarios en la aleación base. Para completar todo este proceso se requieren de alrededor de 3 horas.

3.1.3 Proceso de distribución del metal líquido

Una vez que el proceso de fundición ha sido completado, el metal está listo para repartirse en las plantas. El CF cuenta con tres carros para

distribuir el metal entre las plantas, dos de ellos son llamados carros *Hencon* y el otro carro *Valle*. Los carros *Hencon* cuentan con ollas recubiertas en su interior de ladrillo refractario y tienen una capacidad de 5.4 toneladas, mientras que el carro *Valle* tiene una capacidad de 3.8 toneladas. Antes de empezar el sangrado del metal (pasar el metal del horno reverbero del CF a la olla del carro *Hencon*), es necesario precalentar las ollas de los carros a la temperatura de trabajo con el fin de asegurarse que el metal se mantenga líquido durante su traslado.



Figura 3.6 Carro *Hencon* utilizado para la transportación de metal

El proceso de distribución del metal líquido del Centro Fusor hacia las plantas es el siguiente:

- El supervisor en turno del CF llama a cada una de las plantas para verificar el nivel de cada uno de los hornos reverberos (hornos de fundición) y pedir la demanda de cada una de las plantas.
- Si la carga con la que cuenta el CF no es suficiente para abastecer a todas las plantas, se establecen prioridades, es decir, se le envía

metal líquido a las plantas que cuenten con los niveles más bajos en sus hornos reverberos.

- Los carros ***Hencon*** parten de alguno de los cuatro reverberos que existen en el Centro Fusor, dirigiéndose a la báscula para pesar la carga que llevan.
- De la báscula continúan su recorrido hasta la planta que se les indicó.
- Una vez que llegan a la planta el operador del ***Hencon*** realiza algunas maniobras para estacionar el carro de cierta manera para que al momento de vaciar el metal al horno reverbero de la planta el metal no se derrame.
- Después de que vació todo el metal, el operador se dirige nuevamente a la báscula para pesar lo que le quedo en la olla.
- De la báscula el carro regresa al CF.

La siguiente figura muestra el layout de la empresa, donde CDT es la planta piloto, donde se desarrollan los prototipos de las cabezas y monoblocks de aluminio para los motores de combustión interna.

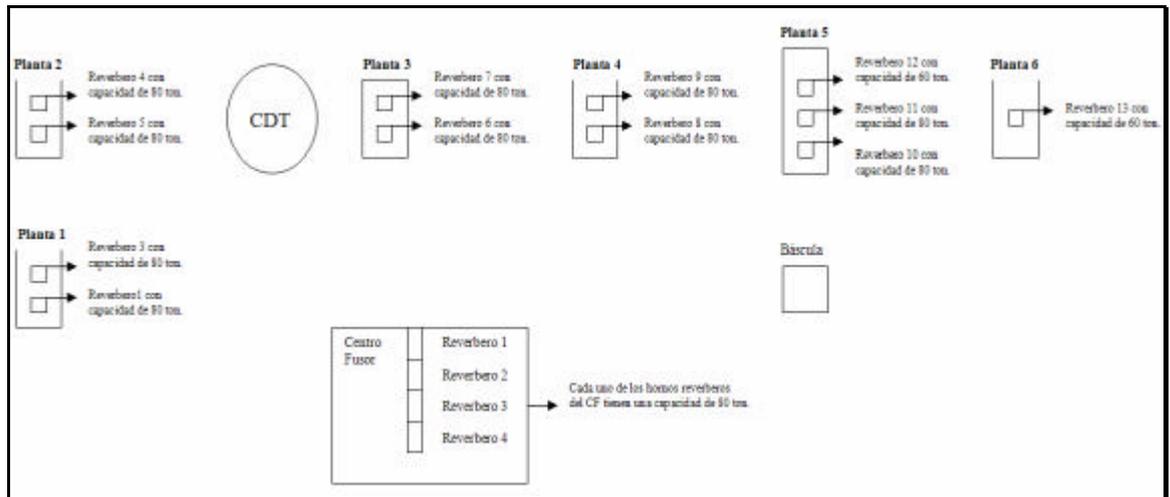


Figura 3.7 Layout de la empresa

A continuación presentamos el diagrama general del proceso de fundición y envío de metal del CF a las plantas.

3.3 Diagrama General del Proceso

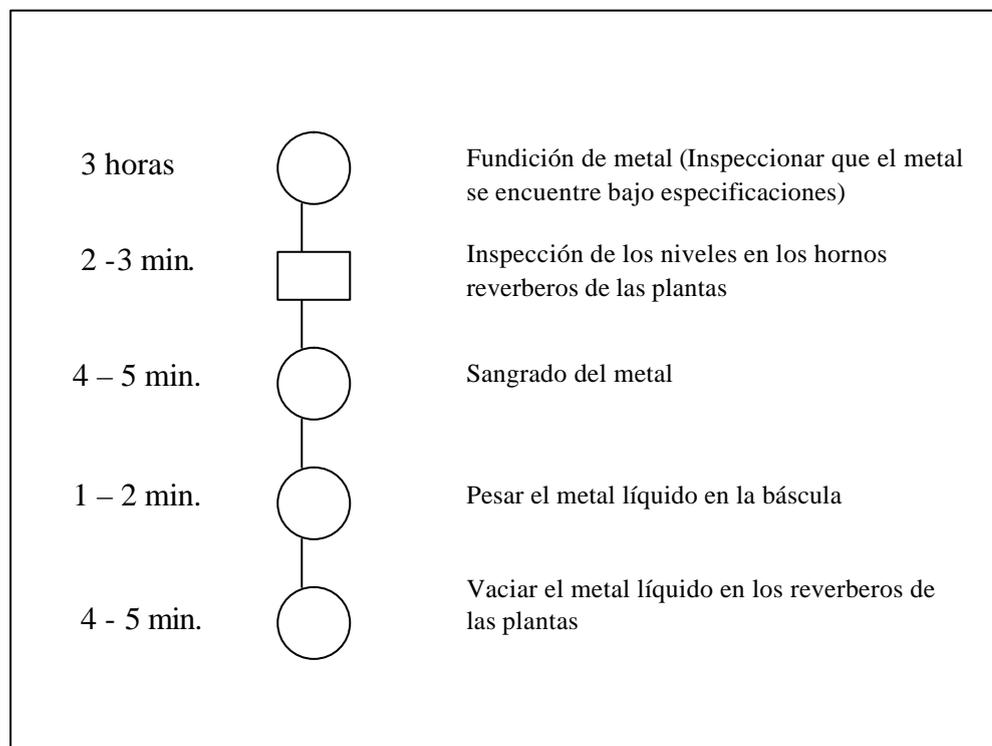


Fig. 3.8 Diagrama general del proceso

En este diagrama se presentan solamente las operaciones e inspecciones que se realizan en el proceso de fundición y envío de metal, así como los tiempos que se requieren para realizar cada una de ellas. Algunos de estos tiempos fueron proporcionados por personal experto de la empresa, como por ejemplo fundición de metal e inspección de los niveles en los hornos de las plantas. Los tiempos de las actividades de sangrado de metal en CF, peso del metal y vaciado de metal en planta fueron medidos directamente en el CF y en las plantas con un cronómetro.

Solo se presentan estas actividades ya que en los diagramas generales de proceso solo se visualizan las actividades clasificadas como operaciones e inspecciones dentro de algún proceso.

3.4 Diagrama del proceso (transportación del metal líquido).

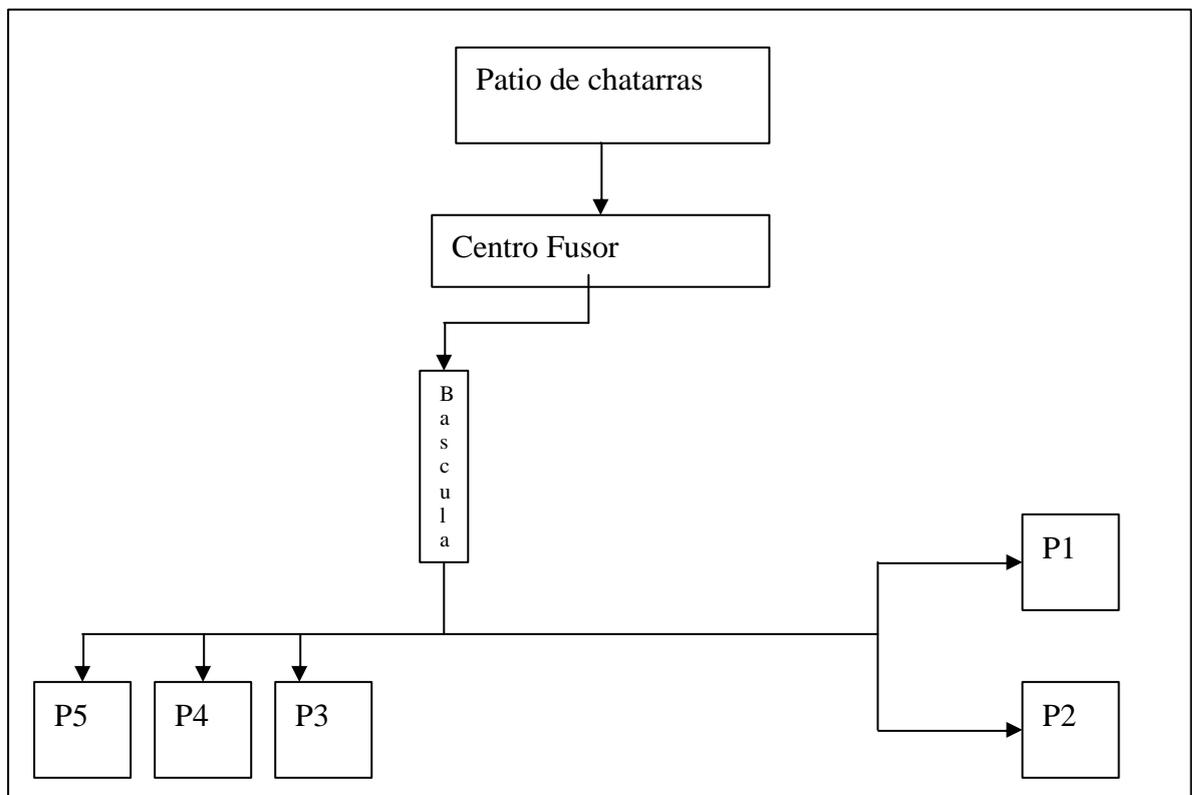


Fig. 3.9 Diagrama del proceso de envío de metal

En esta gráfica se clasifican cada una de las actividades que se llevan a cabo en el proceso de fundición y envío de metal. Aquí se puede observar que cinco de ellas corresponden a operaciones como fundir el metal, estacionarse para sangrar el horno, el sangrado del horno, tapar la olla del carro y el vaciado del metal en la planta. Las actividades que corresponden a inspección es cuando el metal se pesa.

Otra actividad de inspección es cuando se revisa que el metal este bajo especificaciones, pero este se incluye en la actividad de fundición de metal. En las actividades de transporte de metal, se encuentran el recorrido a la báscula y el recorrido a la planta.

3.6 Diagrama de flujo del proceso (Envío de metal)

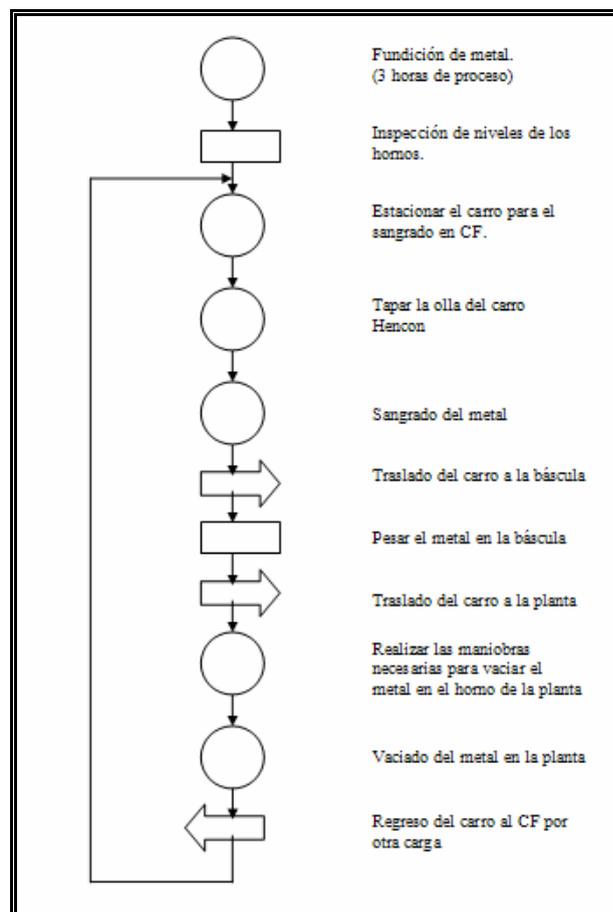


Fig. 3.10 Diagrama de flujo del proceso

En el diagrama anterior se presentan todas las actividades que intervienen en el proceso, actividades de operación, inspección y de transporte. De ellas, las actividades que agregan valor son las operaciones y para nuestro caso las de transporte, ya que el proceso en estudio es la distribución de metal en plantas.

Después de haber presentado los diagramas de flujo del proceso, pasamos a ver de qué manera se relaciona el proceso con un sistema de simulación.

3.7 Relación del proceso de envío de metal con el sistema de simulación.

Recordando los conceptos básicos de simulación que se ofrecieron en el capítulo 2, podemos hacer las siguientes asociaciones.

Las demandas de metal líquido que hacen las plantas al CF son entidades transientes (dado que fluyen a través del sistema), mientras que los hornos reverberos y los carros *Hencon* son entidades residentes recursos que componen la red del proceso. El patrón de llegadas de las demandas es una ley puesto que no está bajo el control del diseñador del proceso. El número de hornos reverberos y carros *Hencon* puede ser controlado, por tanto es considerado una política.

En un modelo de simulación de este proceso, el número de hornos reverberos y carros *Hencon* puede ser expresado como un factor de

entrada, de forma que el analista pueda experimentar con diferentes valores, significando que se puede ejecutar un análisis de sensibilidad y el desempeño del proceso puede ser evaluado (medido por ejemplo por el tiempo del ciclo).

De esta manera es como se relacionó el proceso de envío de metal con el sistema de simulación. Una vez que se definió el sistema de simulación, lo que siguió fue establecer el modelo de simulación que se utilizaría para el proceso, el modelo de simulación se presentara en el siguiente capítulo, así como una pequeña descripción del software que se utilizó para llevar a cabo la simulación.

CAPÍTULO 4

MODELO DE SIMULACIÓN

Introducción

En este capítulo se presentará el modelo empleado para la simulación, así como los parámetros de entrada y las salidas de la simulación. Se explicará la manera en la que se obtuvieron las diferentes distribuciones de probabilidad que se ajustan a los datos reales para las llegadas, para el nivel de servicio y para el tamaño de la demanda.

Asimismo se dará una breve explicación del software empleado para realizar dicha simulación.

4.1 Modelo de simulación

En el capítulo 2 se explicaron separadamente los conceptos de simulación, sistemas discretos, sistemas dinámicos y sistemas estocásticos.

La siguiente definición dada por [8] establece que un modelo de simulación de eventos discretos es un modelo de simulación discreto, dinámico y estocástico.

Es fácil ver que el modelo de simulación que hemos utilizado en este trabajo para estudiar la distribución de metal del centro fusor a las plantas es un modelo de simulación de eventos discretos. En efecto, el sistema bajo estudio evoluciona continuamente a través del tiempo (o sea, es dinámico), en el sistema los hechos suceden al azar, lo cual no es repetitivo (o sea, estocástico) y las variables de estado cambian instantáneamente (es decir, discreto). A continuación se presentan las entidades y atributos que conforman el modelo de simulación.

ENTIDADES	ATRIBUTOS
<i>Demandas (D)</i>	Planta de Origen Tiempo en que se genera la solicitud de la demanda Tamaño de la demanda
<i>Fusor (F)</i>	Nivel del horno Capacidad de los carros
<i>Subdemandas (d)</i>	Demanda de origen D se divide en n subdemandas Cuando n subdemandas completan el servicio de carros se satisface D Los tiempos de envío de los carros dependen de la Planta de origen

Tabla 4.1 Modelo de simulación

El modelo de simulación considera alguna planta de origen, en la cual se genera un tamaño de demanda en algún tiempo específico. Este tamaño de demanda se compara contra la capacidad del carro, si este tiene la capacidad para poder cubrir dicha demanda, esta demanda es enviada a la planta de origen. Si el carro no tiene la capacidad suficiente para cubrir la demanda esta se regresa a la cola del Centro Fusor y se divide en n subdemandas. Cuando se han completado las n subdemandas con el servicio de carros, entonces se considera satisfecha la demanda original.

En este caso en el modelo se considera que el nivel de los hornos del Centro Fusor es constante, ya que los hornos se están alternando continuamente para no dejar de enviar metal.

4.2 Objetivo de la simulación

El principal objetivo de este estudio es analizar el comportamiento de las líneas de espera de las demandas en el Centro Fusor y los retrasos generados debido al congestionamiento de dichas demandas.

Por ello, se pretende realizar una simulación del proceso que sea lo más parecida posible al sistema real, con la intención de evaluar posteriormente posibles cambios que puedan mejorar el tiempo de entrega de metal del Centro Fusor a las plantas.

4.2 Metodología desarrollada

Para desarrollar el modelo de simulación propuesto se utilizó el lenguaje de *programación C*. La motivación para esta elección estuvo dada en parte porque las características del sistema real dificultaban la utilización de software de simulación *Arena*.

Por otra parte, otra de las razones por las cuales se empleó este lenguaje es que utilizamos la librería *simlib* (librería especial para simulaciones), la cual fue desarrollada en lenguaje C. Esta librería hace más fácil el grabar, remover o manipular un atributo en una lista doblemente encadenada, procesar la lista de eventos, calcular estadísticas de tiempo discreto o continuo en variables de interés, generar variables aleatorias y dar salida a los datos en formatos estándar.

Además, *simlib* provee muchas características importantes encontradas en software de simulación con propósitos específicos. Para mayor información sobre la librería consultar el apéndice A al final del documento.

Una vez que se implemento el modelo de simulación en *lenguaje C*, se corrieron algunas instancias de la simulación, cambiando el comienzo de la semilla aleatoria. Después se comparó con datos reales, para verificar que la simulación reflejara la realidad.

Por último se realizaron cambios en parámetros, para ver con cual de ellos se mejoraba el tiempo de entrega de metal del Centro Fusor a las plantas.

4.4 Descripción del modelo

Como se ha explicado, se tiene un conjunto de plantas las cuales generan demandas, que deben ser satisfechas por el Centro Fusor, por medio de los carros *Hencon*.

En la figura 4.1 se observa el algoritmo que define la manera en la cual opera la simulación. Primeramente, se genera una demanda de alguna planta y a continuación se revisa si la capacidad del carro *Hencon* es la suficiente para satisfacer la demanda o no. Si la capacidad es suficiente, esta demanda (metal líquido) es enviada a la planta que la solicitó, si no, se envía una cantidad igual a la capacidad del carro y el resto de la demanda regresa a la línea de espera del Centro Fusor. Esto se último se repetirá hasta que este pueda cubrir el total de la demanda.

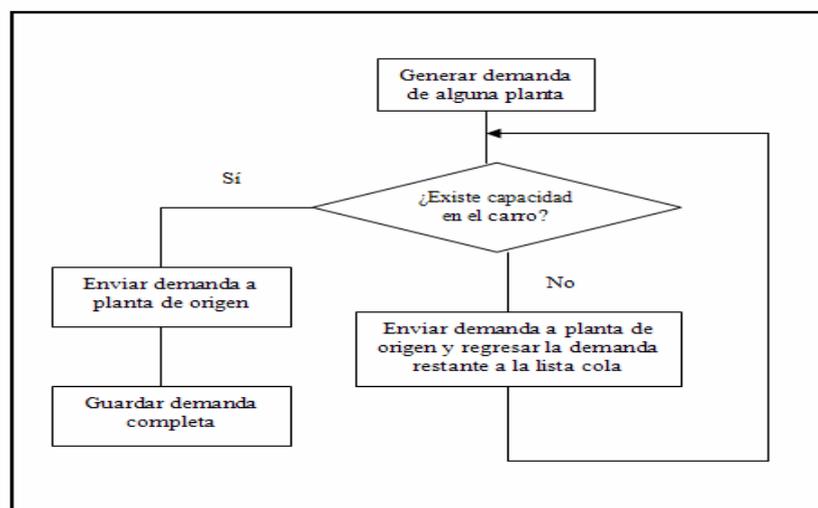


Figura 4.1 Algoritmo de la simulación

4.5 Eventos del modelo de simulación

Como se explicó en el capítulo 2, un modelo de simulación de eventos discretos debe constar de una lista de eventos, los cuales representan el conjunto de acciones que pueden ocurrir en un determinado instante. En el problema que nos ocupa, el modelo de simulación está formado por un total de 3 eventos los cuales son descritos a continuación.

Evento de llegada de una demanda.

Este evento, como su nombre lo indica, genera una llegada de una demanda al Centro Fusor. Así mismo se genera un tamaño para dicha demanda y se compara con la capacidad del carro **Hencon**. Para ello se manda llamar a una función, en la cual se realiza un decremento en la demanda, es decir, si el tamaño de la demanda es menor o igual a la capacidad del carro **Hencon**, esta se envía en su totalidad a la planta y el decremento es negativo, ya que en este decremento se calcula como el tamaño de la demanda menos la capacidad del carro. Ahora bien, si el tamaño de la demanda es mayor a la capacidad del carro, se envía a la planta una cantidad igual a la capacidad del carro y el decremento sería un número positivo. Este signo positivo o negativo en el decremento nos servirá en el siguiente evento, que es el evento salida de una demanda.

Evento de salida de una demanda

En este evento se revisa el signo del decremento. Si el decremento es negativo la demanda sale del sistema, lo cual quiere decir que se completó la demanda de la planta. Si el decremento es positivo, el carro

regresa al Centro Fusor tantas veces sean necesarias hasta completar la demanda de dicha planta.

Evento de fin de simulación

En cualquier modelo de simulación de eventos discretos es indispensable contar con un evento que finalice la evaluación del sistema y representa el instante en el cual la simulación será terminada según el criterio de parada definido. En este caso el criterio de parada definido para nuestro modelo de simulación es simular el tiempo correspondiente a una semana (lo cual representan 6 días en la empresa). Este tiempo esta definido por el usuario dentro de los parámetros de entrada de la simulación.

4.6 Medidas de desempeño del modelo

En un modelo de simulación de eventos discretos existen dos tipos de datos numéricos: los datos de entrada y los datos de salida del modelo. Los datos de entrada son todos aquellos parámetros que el modelo requiere para iniciar el proceso de la simulación, después de esto comienza el proceso de evaluación numérica del modelo hasta que este termina según el criterio de parada establecido.

Una vez que la simulación termina es cuando se muestran los datos de salida del modelo, los cuales son conocidos como medidas de desempeño del modelo de simulación.

Según [8] las medidas de desempeño de un modelo de simulación de eventos discretos son datos de salida relevantes para el entendimiento del sistema que se está evaluando, las cuales son definidas por el administrador.

Como explicamos en el capítulo 1, en la metodología de trabajo lo primero era caracterizar y crear el modelo de simulación que se asemejara lo más posible a la realidad. Una vez que se tiene esto, lo que sigue es verificar que la simulación arroje resultados parecidos a los reales y luego se procede a realizar cambios en parámetros o factores controlables para estudiar cómo afectan el tiempo de servicio. De estos se escogen los que mejoren el tiempo de servicio.

Para evaluar si el modelo de simulación propuesto refleja el sistema real se definieron las siguientes medidas de desempeño:

- Tiempo necesario para completar una demanda, el cual es evaluado en segundos. Esta medida de desempeño se puede comparar con los datos reales con los que cuenta la empresa.
- Cantidad de metal que se envía del Centro Fusor a lo largo de una semana. Al igual que en la medida de desempeño anterior, esta cantidad se puede comparar con los datos reales con los que cuenta la empresa.

4.7 Parámetros de entrada en la simulación

Los datos de entrada son todos aquellos parámetros que el modelo requiere para iniciar el proceso de la simulación. En nuestro caso los parámetros de entrada son:

- *la capacidad del carro **Hencon***
- *el tiempo en segundos equivalente a una semana*
- *la tasa media de servicio y*
- *la tasa media entre llegadas,*

Las dos últimas se explicarán más adelante en la parte de distribuciones de probabilidad.

Estos datos de entrada son los que el administrador puede introducir y cambiar. Por ejemplo, se podría simular más de una semana, se puede cambiar la capacidad del carro **Hencon**, entre otras cosas.

4.8 Distribuciones de probabilidad utilizadas

Otro factor clave dentro del modelo de simulación es el manejo de las distribuciones de probabilidad utilizadas para la generación de variables aleatorias. Estas variables son para la llegada de las demandas al Centro Fusor, el nivel de servicio del Centro Fusor, así como para los tamaños de demanda generados.

Para obtener estas distribuciones de probabilidad fue necesario recolectar una serie de datos en la empresa en un estudio de campo. Este estudio consistió en monitorear los carros **Hencon** y tomar el tiempo que se tardaban desde que se estacionaban frente al horno del Centro Fusor para

sangrar el metal, pasar a la báscula, dirigirse a la planta y regresar al Centro Fusor.

Una vez que se contaba con la información necesaria se recurrió a utilizar el software de *Minitab 14*, en una versión estudiantil de prueba de la página de Minitab, este software es una herramienta informática enfocada al análisis de datos y la identificación y resolución de problemas relativos a procesos.

Para mayor información sobre *Minitab 14* consultar el apéndice B al final del documento.

4.8.2 Prueba Kolmogorov-Smirnoff mediante Minitab para el nivel de servicio

Para el análisis de normalidad de los datos, *Minitab* considera dos hipótesis, las cuales se enuncian a continuación:

H_0 : Los datos siguen una distribución normal

H_1 : Los datos no siguen una distribución normal

Para saber cual hipótesis es verdadera es necesario obtener un valor p generado por *Minitab* en la prueba y compararlo con un valor $\alpha=0.05$. Si el valor $p < \alpha$ entonces rechazamos H_0 .

Antes de presentar los resultados arrojados por *Minitab*, mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnoff, es necesario que se presente una tabla con los datos recolectados en el monitoreo de los carros *Hencon*.

Maniobra de llegada (seg.)	Recorrido a la báscula (seg.)	Tiempo en la báscula (seg.)	Traslado en la planta (seg.)	Vaciado en reverbero (seg.)	Regreso a CF (seg.)	Tiempo en báscula (seg.)	Traslado a CF (seg.)	Tiempo Total (seg.)	Tiempo Total (min.)
50	88	30	157	220	189	36	79	84	14
76	223	20	221	252	255	18	91	1156	19
65	220	25	107	431	132	15	70	1065	18
50	122	15	147	163	184	17	58	756	13
34	132	15	126	308	133	20	86	854	14
21	110	23	207	255	223	17	81	937	16
67	153	20	189	232	191	16	55	923	15
68	170	16	62	314	131	40	65	866	14
43	161	12	252	271	272	34	64	1109	18

Tabla 4.2 Tiempos de recorrido, obtenidos mediante el monitoreo al carro *Hencon*

A continuación se presentan algunos datos proporcionados por la empresa del tiempo total de entrega de metal en minutos.

Tiempo de servicio (min.)						
14	10	16	10	10	7	8
19	12	16	10	15	13	8
18	12	11	10	17	15	11
13	10	15	10	13	8	7
14	8	13	10	14	10	10
16	8	10	15	14	7	10
15	10	10	11	8	9	8
14	17	10	13	8	9	7
18	12	10	13	7	8	
12	14	10	13	6	9	

Tabla 4.3 Datos proporcionados por la empresa

Una vez que se tenían los datos del monitoreo y los datos de la empresa, se procedió a juntar estos datos, con el fin de tener una muestra más grande del tiempo total de servicio. Estos datos se introdujeron al

software *Minitab* para revisar si seguían una distribución normal. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnoff y como se puede observar abajo en la figura 4.2, el valor obtenido de p es $p > 0.150$, el cual es mayor que el valor de $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, aceptamos la hipótesis nula, la cual nos dice que los datos se ajustan a una distribución normal, esto considerando un nivel de confianza del 95%.

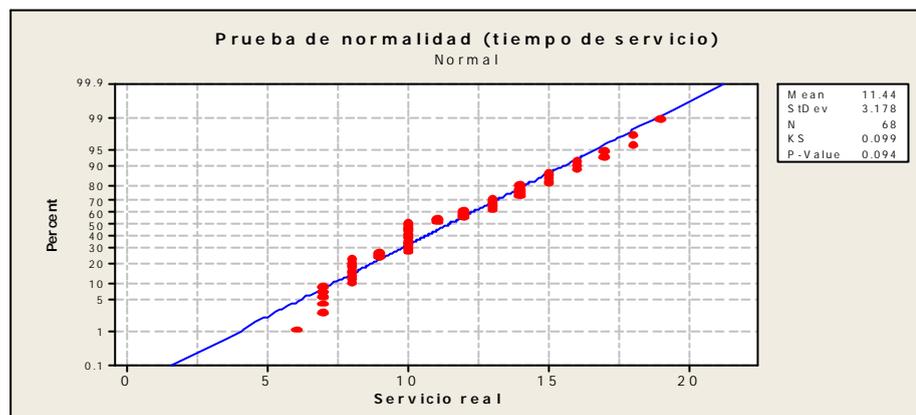


Figura 4.2 Prueba Kolmogorov-Smirnoff para el tiempo de servicio

4.8.3 Prueba Kolmogorov-Smirnoff mediante Minitab para el tamaño de la demanda

De la misma manera que para el nivel de servicio, para el tamaño de la demanda se obtuvieron algunos datos que se presentan a continuación.

Tamaño de demanda (ton.)
20
20
15
20
25
25
20
20
20
20
20
20
25
25
10
20
15
25

Tabla 4.4 Tamaños de demanda

Estos datos se introdujeron al software *Minitab* para revisar si seguían una distribución normal y se presentan a continuación los resultados obtenidos. Al realizar la prueba de Kolmogorov-Smirnoff, como se puede observar en la figura 4.3, el valor obtenido de p es $p > 0.150$ el cual es mayor que el valor de $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, aceptamos la hipótesis nula, la cual nos dice que los datos se ajustan a una distribución normal, esto considerando un nivel de confianza del 95%.

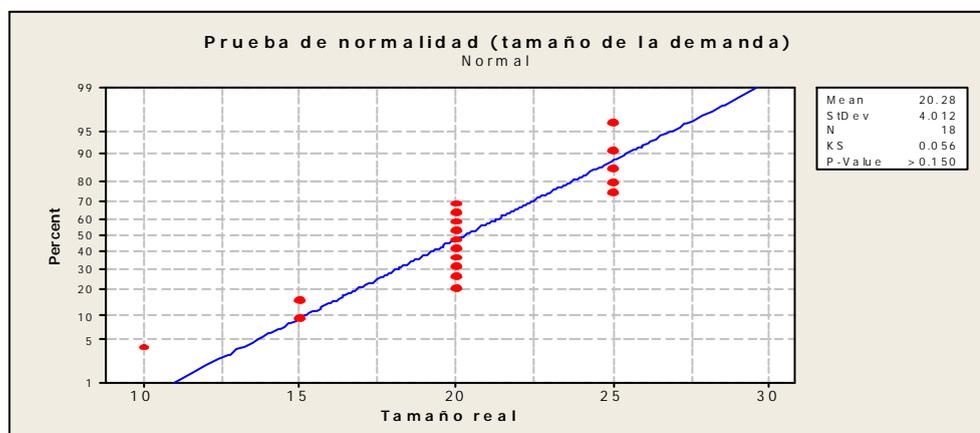


Figura 4.3 Prueba Kolmogorov-Smirnoff para el tamaño de la demanda

En base a los datos reales, mediante *Minitab* se pudo obtener las distribuciones que seguían el tiempo de servicio, así como los tamaños de la demanda, los cuales eran representados por la distribución normal.

Ahora bien, debido a que la librería que se utilizó para implementar el modelo no tenía disponible la distribución normal, se recurrió a utilizar la distribución uniforme con el ancho de 2σ . Una vez que se generaron los valores tanto para las demandas, como para el tiempo de servicio, por medio de la distribución uniforme se procedió a realizarles la prueba de normalidad mediante *Minitab*.

Tiempo de servicio (min.)				
12.94	8.86	12.63	12.32	9.10
13.98	10.07	12.55	12.33	14.36
11.35	8.35	11.80	9.27	11.78
10.00	11.19	14.59	13.59	10.61
10.94	9.07	8.72	9.46	9.12
11.39	13.74	9.73	9.44	12.47
8.92	12.50	10.71	13.97	12.77
9.51	8.67	9.12	12.32	13.91
10.97	11.05	10.92	10.40	10.15
13.48	8.99	14.42	10.28	14.58

Tabla 4.5 Datos generados para el tiempo de servicio, utilizando la distribución uniforme con el ancho de la normal.

Tamaño de la demanda (ton.)				
22.39	17.92	20.26	21.40	21.08
20.13	19.08	22.10	18.27	23.02
20.33	16.37	21.26	16.66	17.24
21.43	21.65	17.42	19.00	22.73
23.21	20.12	21.04	17.67	16.80
24.24	16.62	22.52	22.12	17.93
21.45	23.01	18.97	23.08	23.64
22.77	17.06	21.52	22.43	17.53
22.22	20.69	18.37	22.55	20.06
22.68	20.04	21.54	16.99	20.17

Tabla 4.6 Datos generados para el tamaño de la demanda, utilizando la distribución uniforme con el ancho de la normal.

Mediante los datos de las tablas anteriores se realizó la prueba de normalidad para el tiempo de servicio y para el tamaño de la demanda y los resultados son los siguientes.

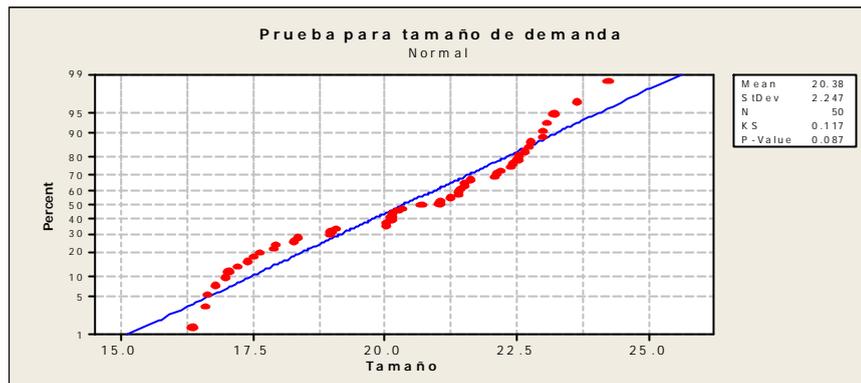


Figura 4.4 Prueba de normalidad para el tamaño de la demanda, con datos generados a partir de la distribución uniforme.

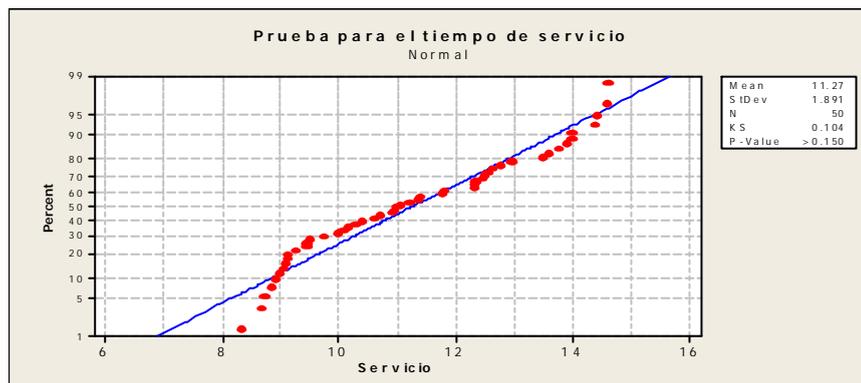


Figura 4.5 Prueba de normalidad para el tiempo de servicio, con datos generados a partir de la distribución uniforme.

Como se puede observar en las figuras anteriores, tanto el tiempo de servicio, como el tamaño de la demanda pasan la prueba de normalidad ya que los valores de p son mayores que el valor de $\alpha=0.05$.

Por lo tanto la distribución uniforme con ancho de 2σ es una buena aproximación a la distribución normal, tanto para el tiempo de servicio, como para el tamaño de la demanda.

4.8.4 Prueba para la llegada entre demandas al Centro Fusor

Para las llegadas de demandas al Centro Fusor no fue posible obtener datos reales de la empresa como en los casos de los tamaños de demanda y nivel de servicio, por lo que no se pudo realizar la prueba de Kolmogorov-Smirnoff.

Por consiguiente, para simular los tiempos entre llegadas de demanda al Centro Fusor se utilizó la distribución exponencial. Se eligió esta distribución por una parte porque en la literatura es reportada como la que mejor representa los tiempos entre llegadas de clientes (en este caso de demandas) y por otra parte porque fue la que mejor se comportó (ajustó) en experimentos que medían otras características generales del sistema.

La tasa media entre llegadas se obtuvo de la siguiente manera: Se sabe que las demandas llegan al Centro Fusor cada 3 horas, ya que es el tiempo necesario para que un horno esté listo para extraerle el metal y enviarlo a las plantas. Como son 6 hornos reverberos a los que el Centro Fusor les envía metal, entonces las demandas llegan a razón de 6 demandas cada 3 horas.

Como λ representa la llegada de clientes para obtener un servicio (en nuestro caso la llegada de demandas), sería igual a 6 cada 3 horas. Es decir $\lambda = 6/3 = 2$ demandas por hora, transformando a segundos obtenemos $\lambda = 2 \times 3600 = 7200$ demandas por segundo.

Entonces, como la tasa media entre llegadas es $1/\lambda$, sería $1/119 = 0.0084$ segundos.

Una vez que se tenían los datos de entrada y el modelo de simulación implementado en lenguaje C, se empezaron a realizar varias corridas de la simulación, esto con el objetivo de validarla, después se realizaron algunos cambios en parámetros. La experimentación se presenta en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 5

EXPERIMENTACIÓN

Introducción

En este capítulo se describirá la experimentación que se llevó a cabo tanto para validar la simulación, como para determinar el efecto de los valores de los parámetros en los tiempos de entrega del metal y en última instancia en la cantidad de metal entregado a las plantas. Además se mostraran los resultados obtenidos de la experimentación.

5.1 Validación del modelo de simulación

Con el objetivo de validar si el modelo de simulación refleja efectivamente el sistema real se definieron 2 tipos de simulaciones, las cuales se denominaron simulaciones largas y simulaciones pequeñas.

- *Las simulaciones largas* consisten en dar un fin de simulación cuando esta simulara la entrega de metal de 28 semanas de la empresa. En estas simulaciones solo se realizaron 7 corridas, ya que el tiempo de cómputo era grande, y se calculó la media y la desviación estándar.

Para comparar con los datos reales se procedió de la siguiente manera: Se solicitaron a la empresa datos sobre la entrega de metal por semana correspondientes a 7 meses (esto es 28 semanas), se realizó la suma del metal entregado en las 28 semanas reales y esta suma se comparó con la media de las 7 corridas las cuales tenían como fin de simulación 28 semanas.

A continuación se muestran los resultados de estas simulaciones: En primera instancia se presenta la siguiente tabla la cual muestra los datos proporcionados por la empresa con relación al plan de entrega de metal y las cantidades enviadas realmente cada semana. Se muestra esta tabla con el fin de comparar estos datos con los resultados de las simulaciones realizadas.

Semanas	Programa semanal (ton.)	Envío real (ton.)
1	1935.00	1705.08
2	2350.00	2414.26
3	2350.00	2221.85
4	2350.00	2160.07
5	2350.00	2351.31
6	2065.00	1765.76
7	2350.00	2459.28
8	2350.00	2315.03
9	2350.00	2418.17
10	2350.00	1964.76
11	2125.00	2282.12
12	2330.00	2014.13
13	1855.00	2264.50
14	2465.00	2012.71
15	2515.00	2195.57
16	2490.00	2399.23
17	2110.00	2177.47
18	2565.00	1674.13
19	2565.00	2198.35
20	2575.00	2294.27
21	2380.00	2173.62
22	2405.00	2484.78
23	2400.00	2283.59
24	2380.00	2449.36
25	2350.00	2532.03
26	2395.00	2340.28
27	2395.00	1633.32
28	2445.00	2050.69
SUMA	65545.00	61235.70

Tabla 5.1 Datos proporcionados por la empresa

Ahora bien, en la tabla 5.2 se muestran los resultados obtenidos para 7 corridas de las simulaciones largas. Los resultados que se muestran son la cantidad de metal enviado en las 28 semanas, así como el tiempo total de entrega de cada demanda. Este tiempo representa el promedio de los tiempos de todas las llegadas de demanda que se generan hasta encontrar el fin de la simulación. También se muestra el promedio y la desviación estándar de las 7 corridas. El promedio se utiliza para compararlo con la suma de los datos de las 28 semanas proporcionadas por la empresa.

Corridas # de corrida	Semillas				Resultados	
	Llegadas	Servicio	Tamaño	Días	Metal enviado (ton.)	Tiempo total (seg.)
1	1	2	3	4	61981.81	4793.42
2	6	4	2	8	61923.61	4817.01
3	34	12	36	89	62386.03	4793.61
4	1	2	3	3	61918.50	4797.79
5	4	4	4	4	62021.36	4802.30
6	1	2	3	1	61925.34	4793.42
7	1	1	1	1	62332.31	4781.72
Promedio					62069.85	4797.04
Desviación					201.71	10.80

Tabla 5.2 Resultados de las simulaciones largas

La tabla 5.1 muestra los datos reales proporcionados por la empresa, en los cuales se considera la suma de 28 semanas de metal entregado esto para las simulaciones largas, como se puede observar en la tabla 5.2 el promedio de metal entregado en 28 semanas simuladas es muy parecido a la suma de metal entregada en 28 semanas de los datos reales, además la desviación estándar de los datos simulados es muy pequeña tanto para la cantidad de metal enviado en 28 semanas, como para el tiempo total de entrega de cada demanda.

- *Las simulaciones pequeñas* consisten en dar un fin de simulación cuando esta simulara la entrega de metal de 1 semana en la empresa. Para estas simulaciones se corrieron 20 semanas de la empresa de las cuales se obtuvo su media y su desviación estándar. Al igual que en el caso anterior estos estadísticos se utilizaron para comparar con la media y la desviación estándar de los datos reales proporcionados por la empresa. A continuación se presentan los datos reales proporcionados por la empresa para 20 semanas.

Semanas	Programa semanal	Envío real
	Cantidad de metal en ton.	Cantidad de metal en ton.
1	1935.00	1705.08
2	2350.00	2414.26
3	2350.00	2221.85
4	2350.00	2160.07
5	2350.00	2351.31
6	2065.00	2173.62
7	2350.00	2459.28
8	2350.00	2315.03
9	2350.00	2418.17
10	2350.00	1964.76
11	2125.00	2282.12
12	2330.00	2014.13
13	1855.00	2264.50
14	2465.00	2012.71
15	2515.00	2195.57
16	2490.00	2399.23
17	2110.00	2177.47
18	2565.00	2484.78
19	2565.00	2198.35
20	2575.00	2294.27
Promedio	2319.75	2225.33

Tabla 5.3 Datos proporcionados por la empresa para 20 semanas

En la tabla 5.4 se muestran los resultados obtenidos en las 20 corridas de las simulaciones pequeñas. Los resultados muestran la cantidad de metal que se envía en 1 semana, así como el tiempo total de entrega de cada demanda. Al igual que en las simulaciones largas, este tiempo representa el promedio de los tiempos de todas las llegadas de demanda que se generan hasta encontrar el fin de la simulación. También se muestra el promedio y la desviación estándar de las 20 semanas simuladas. Este promedio se utiliza para compararlo con el promedio de las 20 semanas de datos reales que se presentan en la tabla 5.3.

Corridos	Semillas				Resultados	
# de corrida	Llegadas	Servicio	Tamaño	Días	Metal enviado (ton.)	Tiempo total (seg)
1	1	2	3	4	2272.76	4839.31
2	2	2	3	4	2207.35	4949.03
3	3	2	3	4	2241.35	4832.09
4	4	2	3	4	2272.76	4839.31
5	6	4	2	8	2296.77	4691.85
6	1	3	3	4	2179.54	4761.36
7	1	4	3	4	2317.18	4761.36
8	1	2	1	4	2221.36	4856.50
9	34	12	36	89	2185.46	4877.90
10	3	6	98	32	2208.56	4828.68
11	1	2	3	1	2272.76	4839.31
12	1	2	3	2	2228.49	4913.85
13	1	2	3	3	2246.59	4854.36
14	1	1	1	1	2256.89	4805.01
15	2	2	2	2	2229.13	4809.63
16	3	3	3	3	2226.00	4737.89
17	4	4	4	4	2204.40	4898.53
18	1	1	1	2	2195.42	4824.02
19	1	1	1	3	2195.42	4824.02
20	1	1	1	4	2195.42	4824.02
				promedio	2232.68	4828.40
				desviación	38.64	59.75

Tabla 5.4 Resultados de las simulaciones pequeñas

Como se puede observar en la tabla 5.4 la media de los datos simulados es muy parecida a la media de los datos reales presentada en la tabla 5.3, en cuanto a la cantidad de metal que se entrega por semana, además la desviación estándar de los datos simulados es muy pequeñas, esta desviación estándar se puede observar en la tabla 5.4.

Por otra parte, como se sabe que la empresa realiza un programa semanal de la cantidad de metal que el Centro Fusor debe enviar, se calculó la diferencia entre la cantidad de metal programado que debe ser enviado del Centro Fusor en total a las plantas que abastece y la cantidad de metal que se envió realmente. De la misma forma se obtuvo la diferencia semanal de la cantidad de metal programado contra la

cantidad de metal enviado para las simulaciones pequeñas y para las simulaciones largas, se obtuvo la diferencia de la cantidad de metal enviado a lo largo de 7 meses y la cantidad de metal que se programó enviar a lo largo de estos 7 meses. A continuación se presentan los resultados de estas comparaciones, empezamos con las simulaciones pequeñas.

RESULTADOS	Real	Simulación
Promedio de la entrega de metal en 1 semana (ton.)	2,225.33	2,232.68
Faltante (ton.)	94.42	87.07

Figura 5.1 Comparación del programa semanal contra el metal entregado en las simulaciones pequeñas.

El faltante de la figura 5.1 se refiere a la cantidad de metal que se programo enviar y no se envió, este faltante se obtiene tanto para el envío real como para el envío simulado. Estos resultados corresponden a las simulaciones pequeñas.

Para las simulaciones largas se procedió de la misma forma que para las pequeñas y los resultados se presentan a continuación:

RESULTADOS	Real	Simulación
Entrega de metal de 28 semanas (ton.)	61235.70	62069.85
Faltante (ton.)	4309.30	3475.15

Figura 5.2 Comparación del programa semanal contra el metal entregado en las simulaciones largas.

Como se puede observar tanto para las simulaciones largas como para las pequeñas la diferencia del metal que se programa contra el que se entrega es muy parecida en cuanto a los datos reales como los simulados, lo cual nos dice que la simulación esta reflejando el sistema real de una manera similar.

Ahora bien, para la realización de las diferentes corridas del experimento se cambió la semilla de las variables aleatorias, tanto para las simulaciones pequeñas como para las largas. Las variables aleatorias consideradas son:

- Llegada de las demandas al C. F.
- El tiempo de servicio de los carros.
- El tamaño de la demanda generada.
- El día de la semana.

Cada una de estas variables se generaba en base a una distribución de probabilidad que se explicó en el capítulo anterior.

5.2 Intervalo de confianza para las simulaciones largas

A continuación se muestra una gráfica con los datos reales y una gráfica con los datos simulados de la cantidad de metal que se envía del CF en toneladas, esto para las simulaciones pequeñas; así como una gráfica con las 2 series de datos para observar sus diferencias. Posteriormente se obtiene un intervalo de confianza para la media de los datos simulados.

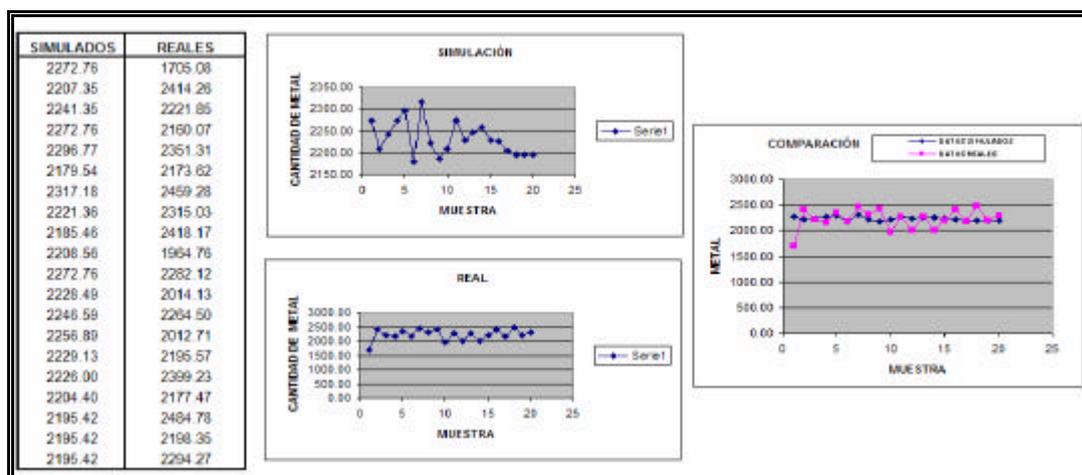


Figura 5.3 Gráficas de los datos reales y los simulados

El intervalo de confianza para la media de los datos simulados se obtiene en base a la distribución de Student:

$$\bar{x} \pm t_{\alpha/2, n-1} S / \sqrt{n}$$

Con lo que el parámetro μ estará contenido en el intervalo dado por la fórmula con una probabilidad $\beta = 1 - \alpha$.

De esta forma, el intervalo de confianza de 95% para la media de los datos obtenidos a partir de la simulación es:

I.C. (2,224.38 ; 2,240.98)

Pudiéndose observar que la media de los datos simulados está contenida en el mismo. El intervalo de confianza se encuentra en toneladas.

5.3 Intervalo de confianza para las simulaciones pequeñas

Se obtuvo un intervalo de confianza para las simulaciones pequeñas de la misma forma que para las simulaciones largas. Este intervalo se muestra a continuación.

I. C.	(61996.53 ; 62143.18)
-------	-----------------------

El intervalo de confianza se encuentra en toneladas.

5.4 Cambio en los parámetros para mejorar los tiempos de entrega.

Como se mencionó en el capítulo anterior, los parámetros de entrada son:

- Capacidad de los carros *Hencon*
- Tiempo de servicio
- Tiempo de sangrado del metal
- Cantidad de carros *Hencon*
- Cantidad de carros *Valle*
- Tiempo de término de la simulación

El objetivo ahora es determinar qué variaciones en los valores actuales de estos parámetros permitirán obtener mejores tiempos de entrega del metal líquido. Para ello se consideraron los posibles siguientes cambios:

- Sangrado constante:

Actualmente el tiempo de sangrado variaría con respecto al tiempo, ya que conforme pasan los días la bomba se ensucia y esto provoca que el tiempo del sangrado de metal sea más largo, este tiempo llega a duplicarse es decir; pasa de 5 hasta a 10 minutos a lo largo de la semana.

Ahora en el experimento consideraremos un tiempo de sangrado constante, manteniéndolo en 300 segundos. Esto implica que la bomba del horno reverbero del C. F. deberá limpiarse un día adicional a mediados de la semana, además de la limpieza que se realiza los domingos.

- Eliminación de la báscula:

Al eliminar la báscula se elimina el tiempo consumido para pesar el metal.

- Agregar un carro valle:

Adquirir un carro valle. Si bien la capacidad de estos carros es menor que la de los carros *Hencon*, su adquisición resultaría mucho más económica.

En el experimento se consideraron estos cambios tanto en forma individual, como en las siguientes combinaciones:

- Tener un sangrado constante y eliminar la báscula:
- Tener un sangrado constante y agregar un carro valle:
- Eliminar la báscula y agregar un carro valle:
- Tener sangrado constante, eliminar la báscula y agregar un carro valle:

Las semillas de las variables aleatorias fueron las mismas para todos los cambios propuestos y para validar la simulación, esto con el fin de poder realizar una comparación más exacta.

5.5 Cambio en parámetros considerando el peor de los casos

El estudio realizado en la sección anterior permitió determinar qué cambios en los parámetros de entrada contribuirían a disminuir los tiempos de entrega del metal a las plantas y por consiguiente acercarse más a los planes de entrega semanales.

En esta sección se analiza la situación contraria, esto es, nos preguntamos qué valor de alguno de los parámetros deterioraría considerablemente los tiempos de entrega del centro fusor a las plantas, comprometiendo por consiguiente los planes de entrega. Específicamente estudiamos la situación en que por alguna razón se contara solamente con un carro *Hencon*. ¿Como se incrementarían los tiempos de entrega en este caso? ¿Cuanto metal se enviaría en el lapso de una semana?

Este caso se estudio debido a que en la empresa solo se cuenta con 2 carros *Hencon* y serviría de mucho darles el debido mantenimiento, para no llegar a pasar por esta situación en la cual los tiempos promedios de entrega se elevan al doble de lo normal.

De forma similar a como se procedió en la sección anterior, se corrió la simulación 20 veces, en las cuales el fin de simulación representaba una semana de la empresa. En este caso se consideró que solo se contaba con un carro *Hencon* para la transportación de metal.

5.6 Resultado obtenidos de los cambios en parámetros

	<i>Tamaño de demanda</i>		<i>Tiempo de entrega</i>	
	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
Sangrado cte.	2455.84	32.77	4335.89	54.48
Sin bascula	2675.28	38.56	4062.96	52.00
Agregando 1 C.V	3533.51	59.19	3046.59	50.44
Sang.- Bascula	3000.39	34.39	3543.75	37.22
Sang.- 1 C. V.	3902.69	53.18	2711.07	41.74
Bascula- 1. C. V.	4233.57	74.75	2554.03	47.89
Sang.- Bas.- 1 C. V	4774.56	55.32	2215.90	29.40
1- carro hencon	1226.93	20.12	8977.26	184.08

Tabla 5.5 Resultado de cambio en parámetros

En la tabla 5.6 tamaño de demanda se refiere a la cantidad de metal entregado en una semana en toneladas y las unidades para el tiempo de entrega de cada demanda esta en segundos.

Como se puede observar en la tabla 5.6 para cualquiera que sea el caso de las siete primeras filas, el tiempo promedio de entrega disminuye y la cantidad de metal que se entrega aumenta.

La última fila corresponde al caso en que se considera la posibilidad de contar solamente con un carro *Hencon* para repartir metal. Como se puede observar, en este caso la cantidad de metal que se envía del CF es muy poca comparada contra los otros casos y comparada con la situación actual, además el tiempo promedio de entrega aumenta demasiado

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Introducción

En este capítulo se presentan las conclusiones que se deducen de los resultados obtenidos en el capítulo anterior y se plantea el trabajo futuro acerca de este estudio.

En este trabajo se planteó la necesidad de estudiar el sistema de distribución de metal en una empresa con la finalidad de avalar de forma científica la forma actual de distribución del metal o en otro caso proponer cambios que conlleven a un mejor desempeño del sistema.

Para ello primeramente se elaboró y validó un modelo de simulación que reflejara el sistema actual y posteriormente se propusieron y evaluaron diversos cambios en los parámetros para analizar cómo variaba en cada caso el tiempo de entrega del metal y por consiguiente la cantidad total de metal entregado a la semana a cada planta.

A continuación se presentan las conclusiones finales del trabajo realizado y se propone lo que a nuestro juicio sería una continuación importante del presente estudio.

6.1 Conclusiones

Los experimentos arrojaron que el modelo de simulación reflejaba efectivamente el sistema real. Los resultados obtenidos fueron muy parecidos al sistema real, tanto para las simulaciones pequeñas las cuales representaban una semana, como para las simulaciones largas que representaban 28 semanas del sistema real.

Teniendo en cuenta que el objetivo de la empresa es reducir, de ser posible, los tiempos de entrega del metal líquido a las plantas y además apegarse más al plan de producción semanal con el que cuenta, se

propusieron diversos cambios en los parámetros de entrada. Los resultados arrojaron para todos los cambios propuestos un aumento en la cantidad de metal entregado con respecto a lo que se entrega actualmente en la empresa, así como una disminución en el tiempo total.

Un aspecto importante que se observó al realizar los experimentos fue que no es necesario realizar todos los cambios, ya que solo con tener un sangrado constante o eliminar el tiempo de báscula la cantidad de metal entregado por semana se apega más al programa semanal que se realiza en la empresa. En cualquiera de estos dos casos el tiempo total de entrega mejora.

Al decir sangrado constante nos referimos a que tal vez sea necesario que la bomba de cada uno de los hornos reverberos del centro fusor se limpie dos veces a la semana en lugar de una, como se hace actualmente. Esto probablemente ocasionaría costos adicionales, pero reduciría los tiempos de entrega.

Por otra parte, eliminar la actividad de pesaje en la báscula es perfectamente factible ya que no es una actividad que agregue valor al proceso. Si se realizara este cambio el diagrama de proceso sería el siguiente.

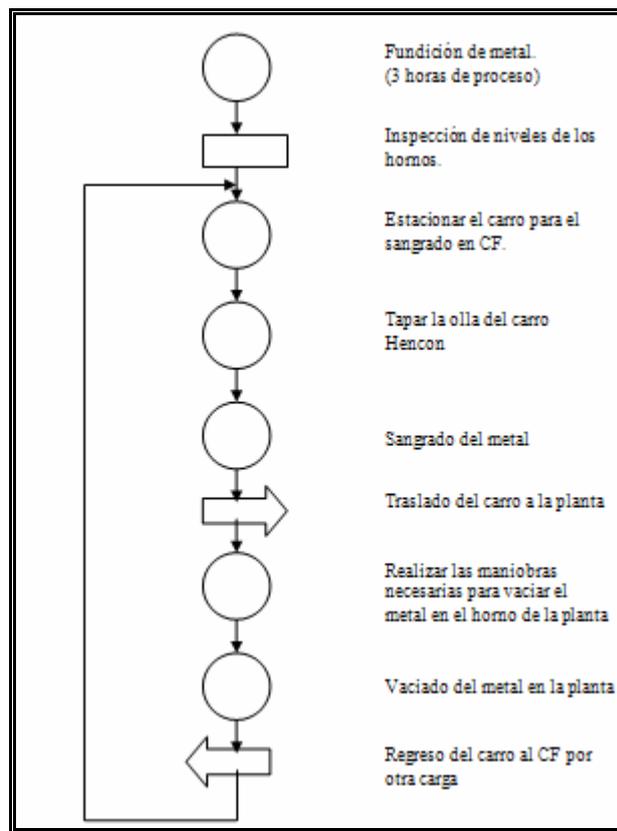


Figura 6.1 Diagrama del proceso eliminando el tiempo de báscula

Sin embargo, si se requiere reducir considerablemente el tiempo total de entrega, y se cuenta con presupuesto para ello, lo más conveniente es realizar tres cambios de manera simultánea, esto es; adquirir otro carro valle, tener un sangrado constante y eliminar el tiempo de báscula.

Por último, aunque no menos importante, los resultados de los experimentos mostraron que si se llegara a trabajar con un solo carro *Hencon*, (por ejemplo por avería de uno de los dos carros con que cuentan actualmente), los tiempos de entrega del metal aumentarían demasiado y comprometerían seriamente las cantidades programadas a entregar a las plantas.

6.2 Trabajo futuro

Consideramos que tomando como base el trabajo realizado, se recomienda realizar un análisis de costos que permita tomar una mejor decisión, en base a maximizar la satisfacción de los clientes internos (plantas) al menor costo posible para la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mercedes E. Narciso Farias, Miquel Angel Piera i Eroles, Antoni Guash Petit (2004). *Optimización de Sistemas logísticos mediante simulación: Una metodología basada en redes de petri coloreadas*, XXV Jornadas de Automática.
2. Michael Hammer, *The Agenda* (2001).
3. Coss Bu Raul. *Simulación: Un enfoque práctico*, Limusa 2005, pp. 11- 14.
4. Naylor, Balintfy, Burdick y Kong Chu, *Técnicas de Simulación en computadoras*, Limusa 1971.
5. Shannon, Robert E. *System Simulation: The Art and Science*, Prentice-Hall, 1975.
6. Manuel Laguna, Johan Marklund, *Business process modeling, simulation and design*, Prentice Hall 2005, pp. 1- 232.
7. Página de Internet www.geocities.com/semilla.geo/simul/simulacion.htm
8. M. Law, W. D. Kelton. *Simulation Modeling and Analysis*, McGrawHill, 1991.

9. Niebel, Freivalds. *Ingeniería Industrial MÉTODOS ESTÁNDARES Y DISEÑO DEL TRABAJO*, Alfaomega 2006, pp. 34-38.

10. Blanco Rodríguez 2007, “*Métodos de Modelación Enfocados en Servicio para Problemas de Cadena de Suministro con Múltiples Modos de Transporte*”. Disponible en Internet en la dirección http://yalma.fime.uanl.mx/~pisis/students/alumni/eloir_blanco.html

APÉNDICE A

Generalidades de *simlib*

Esta librería facilita el almacenamiento de elementos en una lista (el elemento puede ser grabado al inicio de la lista, al final de la lista o de tal manera que la lista pueda ser ordenada en forma creciente o decreciente según un atributo específico), remover algún elemento de la lista (solo el primer o el último elemento de la lista pueden ser removidos), manejar la lista de eventos del modelo de simulación, calcular estadísticas en tiempos discretos de variables de interés (por ejemplo el tiempo de espera promedio en una línea en un sistema de líneas de espera), calcular estadísticas en tiempo continuo de variables de interés (por ejemplo el número de productos promedio por unidad de tiempo en un sistema de inventarios), generar variables aleatorias y mostrar los datos de salida del modelo de simulación en un formato estándar si así se desea.

El corazón de *simlib* es un conjunto de listas doblemente encadenadas, todas diseñadas con asignación de memoria dinámica al momento de agregar o borrar algún elemento de las listas. Hay un máximo de veinticinco listas y los elementos en cada una de las listas pueden contener hasta diez atributos y todos los datos son almacenados como un tipo de flotante. Debido a que *simlib* utiliza asignación de memoria dinámica, el número total de elementos que pueden ser almacenados en las listas es limitado solo por la cantidad de memoria disponible en el computador.

La lista veinticinco esta siempre reservada para la lista de eventos, siendo el atributo 1 el tiempo del evento y el atributo 2 el tipo de evento.

Esta lista esta ordenada en base al atributo1 (tiempo del evento) siendo el primer elemento de la lista el siguiente evento a referir.

Además *simlib* cuenta con diecinueve funciones frecuentemente utilizadas en modelos de simulación de eventos discretos las cuales pueden ser consultadas en [8].

APÉNDICE B

Generalidades de Minitab

Minitab es una herramienta informática enfocada al análisis de datos y la identificación y resolución de problemas relativos a procesos.

Minitab combina un completo conjunto de software estadísticos, herramientas graficas y características de organización de proyectos en un paquete de fácil uso que pone al alcance del usuario soluciones de calidad. Este paquete ofrece todos los métodos estadísticos adecuados para el análisis de datos:

- Estadística básica y avanzada
- Regresión y ANOVA
- SPC
- DOE- Diseño de experimentos
- Gate R&R
- MINITAB Análisis de fiabilidad
- Tamaño de muestra y capacidad
- Series temporales y predicción
- Potente importación, exportación y manipulación de datos
- Lenguaje de macros.

Minitab diseña y analiza todos los tipos de experimentos más populares para determinar que cambios son los que mejoran un producto o servicio.

Las herramientas de Diseño de Experimentos incluyen: diseños factoriales, diseños de superficie de respuesta, diseños mixtos, diseños de Taguchi, optimización de respuesta, análisis de variabilidad entre otros.

APÉNDICE C Tablas con las 20 corridas cambiando los parámetros

En las diferentes tablas que se muestran en este apéndice, la cantidad de metal enviado es en toneladas y el tiempo total de entrega de cada demanda esta en segundos.

La tabla C1 muestra las 20 corridas de la simulación para un sangrado constante, se obtuvo la media de los datos simulados para la cantidad de metal enviado por semana y el tiempo total de entrega de cada demanda, con los siguientes resultados **2455.84** toneladas y **4335.89** segundos respectivamente.

También se obtuvo que **32.77** unidades era la desviación estándar para los datos simulados de la cantidad de metal entregada por semana, a su vez la desviación estándar para el tiempo total de entrega resultó ser de **54.48** unidades por cada demanda completa.

Corridas	Semillas				Sangrado cte.	
# Corrida	Llegadas	Servicio	Tamaño	Días	Metal enviado	Tiempo total (seg)
1	1	2	3	4	2425.40	4408.04
2	2	2	3	4	2445.48	4377.49
3	3	2	3	4	2447.27	4372.27
4	4	2	3	4	2425.40	4408.03
5	6	4	2	8	2515.24	4278.95
6	1	3	3	4	2488.02	4317.98
7	1	4	3	4	2505.50	4265.39
8	1	2	1	4	2407.79	4417.63
9	34	12	36	89	2457.68	4312.52
10	3	6	98	32	2499.22	4311.07
11	1	2	3	1	2425.40	4408.03
12	1	2	3	2	2483.77	4314.36
13	1	2	3	3	2400.45	4420.04
14	1	1	1	1	2487.29	4289.84
15	2	2	2	2	2468.23	4260.21
16	3	3	3	3	2470.32	4263.01
17	4	4	4	4	2430.70	4320.37
18	1	1	1	2	2444.53	4324.19
19	1	1	1	3	2444.53	4324.19
20	1	1	1	4	2444.53	4324.19

Tabla C1 Resultados de las 20 corridas utilizando un sangrado constante.

La tabla C2 muestra las 20 corridas de la simulación eliminando el tiempo de báscula, de la misma forma que en el caso anterior, se obtuvo la media de los datos simulados para la cantidad de metal enviado por semana y el tiempo total de entrega de cada demanda, con los siguientes resultados **2675.28** toneladas y **4062.96** segundos respectivamente.

También se obtuvo que **38.56** unidades era la desviación estándar para los datos simulados de la cantidad de metal entregada por semana y la desviación estándar para el tiempo total de entrega resultó ser de **52.00** unidades por cada demanda completa.

Corridas	Semillas				Sin bascula	
# Corrida	Llegadas	Servicio	Tamaño	Días	Metal enviado	Tiempo total (seg.)
1	1	2	3	4	2687.36	4071.92
2	2	2	3	4	2645.82	4165.64
3	3	2	3	4	2673.85	4059.73
4	4	2	3	4	2687.36	4071.92
5	6	4	2	8	2739.55	3930.35
6	1	3	3	4	2617.79	4127.4
7	1	4	3	4	2741.87	4000.06
8	1	2	1	4	2622.65	4060.54
9	34	12	36	89	2634.56	4089.97
10	3	6	98	32	2658.94	4078.14
11	1	2	3	1	2687.36	4071.92
12	1	2	3	2	2669.36	4135.43
13	1	2	3	3	2685.33	4086.78
14	1	1	1	1	2765.86	4028.88
15	2	2	2	2	2665.62	4033.93
16	3	3	3	3	2685.39	3985.18
17	4	4	4	4	2683.94	4069.73
18	1	1	1	2	2651.02	4063.91
19	1	1	1	3	2651.02	4063.91
20	1	1	1	4	2651.02	4063.91

Tabla C2 Resultados de las 20 corridas eliminando el tiempo de báscula.

La tabla C3 muestra las 20 corridas de la simulación aumentando un carro valle, de igual manera se obtuvo la media de los datos simulados para la cantidad de metal enviado por semana y el tiempo total de entrega de cada demanda, con los siguientes resultados **3533.51** toneladas y **3046.59** segundos respectivamente.

También se obtuvo que **59.19** unidades era la desviación estándar para los datos simulados de la cantidad de metal entregado por semana y la desviación estándar para el tiempo total de entrega resultó ser de **50.44** unidades por cada demanda completa.

Corridas		Semillas			Aumentando a un carro valle	
# Corrida	Llegadas	Servicio	Tamaño	Días	Metal enviado	Tiempo total (seg)
1	1	2	3	4	3546.31	3059
2	2	2	3	4	3528.96	3068.18
3	3	2	3	4	3479.58	3092.41
4	4	2	3	4	3546.31	3059
5	6	4	2	8	3590.64	3036.15
6	1	3	3	4	3520.34	3069.69
7	1	4	3	4	3624.75	2994.21
8	1	2	1	4	3490.74	2994.21
9	34	12	36	89	3558.91	3021.65
10	3	6	98	32	3462.08	3124.44
11	1	2	3	1	3546.31	3059
12	1	2	3	2	3585.19	3025.27
13	1	2	3	3	3551.68	3040.112
14	1	1	1	1	3480.22	3068.75
15	2	2	2	2	3505.83	3029.99
16	3	3	3	3	3635.91	2940.04
17	4	4	4	4	3636.14	2943.41
18	1	1	1	2	3460.09	3102.07
19	1	1	1	3	3460.09	3102.07
20	1	1	1	4	3460.09	3102.07

Tabla C3 Resultados de las 20 corridas aumentando a un carro valle.

La tabla C4 muestra las 20 corridas de la simulación utilizando un sangrado constante y eliminando el tiempo de báscula, de igual manera se obtuvo la media de los datos simulados para la cantidad de metal enviado por semana y el tiempo total de entrega de cada demanda, con los siguientes resultados **3000.39** toneladas y **3543.75** segundos respectivamente.

También se obtuvo que **34.39** unidades era la desviación estándar para los datos simulados de la cantidad de metal entregada por semana y la desviación estándar para el tiempo total de entrega resultó ser de **37.22** unidades por cada demanda completa.

Corridas	Semillas				Sang. cte.	y Sin bascula
# Corrida	Llegadas	Servicio	Tamaño	Días	Metal enviado	Tiempo total (seg)
1	1	2	3	4	2984.76	3592.18
2	2	2	3	4	3002.09	3564.99
3	3	2	3	4	2998.25	3563.95
4	4	2	3	4	2984.76	3592.18
5	6	4	2	8	3062.91	3494.83
6	1	3	3	4	3015.74	3530.00
7	1	4	3	4	3060.07	3502.86
8	1	2	1	4	2955.28	3590.16
9	34	12	36	89	2983.08	3534.79
10	3	6	98	32	3038.33	3536.02
11	1	2	3	1	2984.76	3592.18
12	1	2	3	2	3060.07	3501.64
13	1	2	3	3	2929.68	3601.48
14	1	1	1	1	2997.50	3512.69
15	2	2	2	2	3005.21	3498.98
16	3	3	3	3	3013.76	3482.64
17	4	4	4	4	2969.14	3539.82
18	1	1	1	2	2987.48	3547.87
19	1	1	1	3	2987.48	3547.87
20	1	1	1	4	2987.48	3547.87

Tabla C4 Resultados de las 20 corridas utilizando un sangrado constante y eliminando el tiempo de báscula.

La tabla C5 muestra las 20 corridas de la simulación utilizando un sangrado constante y aumentando un carro valle, de igual manera se obtuvo la media de los datos simulados para la cantidad de metal enviado por semana y el tiempo total de entrega de cada demanda, con los siguientes resultados **3902.69** toneladas y **2711.07** segundos respectivamente.

También se obtuvo que **53.18** unidades era la desviación estándar para los datos simulados de la cantidad de metal entregada por semana y la desviación estándar para el tiempo total de entrega resultó ser de **41.74** unidades por cada demanda completa.

Corridas	Semillas				Sang. Cte. Y	1 carro valle
	# Corrida	Llegadas	Servicio	Tamaño	Días	Metal enviado
1	1	2	3	4	3930.51	2691.298
2	2	2	3	4	3948.67	2679.939
3	3	2	3	4	3879.37	2736.029
4	4	2	3	4	3930.51	2691.298
5	6	4	2	8	3950.21	2680.568
6	1	3	3	4	3879.37	2733.152
7	1	4	3	4	3989.11	2650.783
8	1	2	1	4	3874.55	2751.129
9	34	12	36	89	3902.32	2691.331
10	3	6	98	32	3801.77	2804.387
11	1	2	3	1	3930.51	2691.298
12	1	2	3	2	3989.11	2653.497
13	1	2	3	3	3931.43	2700.39
14	1	1	1	1	3876.71	2711.403
15	2	2	2	2	3913.2	2679.875
16	3	3	3	3	3915.96	2692.071
17	4	4	4	4	3931.17	2684.344
18	1	1	1	2	3826.43	2766.174
19	1	1	1	3	3826.43	2766.174
20	1	1	1	4	3826.43	2766.174

Tabla C5 Resultados de las 20 corridas utilizando un sangrado constante y aumentando 1 carro valle.

La tabla C6 muestra las 20 corridas de la simulación eliminando el tiempo de báscula y aumentando un carro valle, de igual manera se obtuvo la media de los datos simulados para la cantidad de metal enviado por semana y el tiempo total de entrega de cada demanda, con los siguientes resultados **4233.57** toneladas y **2554.03** segundos respectivamente.

También se obtuvo que **74.75** unidades era la desviación estándar para los datos simulados de la cantidad de metal entregada por semana y la desviación estándar para el tiempo total de entrega resultó ser de **47.89** unidades por cada demanda completa.

Corridas	Semillas				Sin bascula y 1 C. V.	
	# Corrida	Llegadas	Servicio	Tamaño	Días	Metal enviado
1	1	2	3	4	4223.54	2561.2
2	2	2	3	4	4247.22	2556.22
3	3	2	3	4	4164.01	2612.91
4	4	2	3	4	4223.54	2561.2
5	6	4	2	8	4280.35	2556.36
6	1	3	3	4	4225.33	2565.48
7	1	4	3	4	4371.56	2488.04
8	1	2	1	4	4168.55	2577.24
9	34	12	36	89	4258.76	2528.06
10	3	6	98	32	4188.77	2604.802
11	1	2	3	1	4223.54	2561.2
12	1	2	3	2	4333.39	2505.11
13	1	2	3	3	4248.31	2537.8
14	1	1	1	1	4219.17	2564.96
15	2	2	2	2	4216.79	2536.71
16	3	3	3	3	4349.59	2450.79
17	4	4	4	4	4351	2469.92
18	1	1	1	2	4125.96	2614.21
19	1	1	1	3	4125.96	2614.21
20	1	1	1	4	4125.96	2614.21

Tabla C6 Resultados de las 20 corridas eliminando el tiempo de báscula y agregando un carro valle.

La tabla C7 muestra las 20 corridas de la simulación utilizando un sangrado constante, simultáneamente eliminando el tiempo de báscula y aumentando un carro valle, de igual manera se obtuvo la media de los datos simulados para la cantidad de metal enviado por semana y el tiempo total de entrega de cada demanda, con los siguientes resultados **4774.56** toneladas y **2215.90** segundos respectivamente.

También se obtuvo que **55.32** unidades era la desviación estándar para los datos simulados de la cantidad de metal entregada por semana y la desviación estándar para el tiempo total de entrega resultó ser de **29.40** unidades por cada demanda completa.

Corridas	Semillas				Sin báscula , 1 C. V. y Sang. Cte.	
# Corrida	Llegadas	Servicio	Tamaño	Días	Metal enviado	Tiempo total (seg)
1	1	2	3	4	4803.56	2208.408
2	2	2	3	4	4803.56	2206.784
3	3	2	3	4	4734.06	2235.132
4	4	2	3	4	4803.56	2208.408
5	6	4	2	8	4812.68	2188.848
6	1	3	3	4	4776.8	2225.232
7	1	4	3	4	4865.86	2181.945
8	1	2	1	4	4745.53	2239.081
9	34	12	36	89	4750.1	2215.474
10	3	6	98	32	4662.82	2286.321
11	1	2	3	1	4803.56	2208.408
12	1	2	3	2	4865.86	2188.761
13	1	2	3	3	4827.05	2181.256
14	1	1	1	1	4744.83	2211.696
15	2	2	2	2	4788.04	2189.215
16	3	3	3	3	4809.23	2178.757
17	4	4	4	4	4788.45	2204.851
18	1	1	1	2	4701.85	2253.163
19	1	1	1	3	4701.85	2253.163
20	1	1	1	4	4701.85	2253.163

Tabla C7 Resultados de las 20 corridas utilizando un sangrado constante, eliminando el tiempo de báscula y agregando 1 carro valle.

La tabla C8 muestra las 20 corridas de la simulación en las cuales se realizó el experimento de simular lo que pasaría si solo existiera un carro *Hencon*, al igual que en los casos anteriores se obtuvo la media de los datos simulados para la cantidad de metal enviado por semana y el tiempo total de entrega de cada demanda, con los siguientes resultados **1226.93** toneladas y **8977.26** segundos respectivamente.

También se obtuvo que **20.12** unidades era la desviación estándar para los datos simulados de la cantidad de metal entregada por semana y la desviación estándar para el tiempo total de entrega resultó ser de **184.08** unidades por cada demanda completa.

Corridas	Semillas				Quitando un carro	
# Corrida	Llegadas	Servicio	Tamaño	Días	Metal enviado	Tiempo total (seg.)
1	1	2	3	4	1233.20	9034.82
2	2	2	3	4	1233.20	9075.52
3	3	2	3	4	1215.55	8993.19
4	4	2	3	4	1233.20	9034.82
5	6	4	2	8	1272.21	8561.02
6	1	3	3	4	1193.19	9245.83
7	1	4	3	4	1254.62	8946.93
8	1	2	1	4	1213.01	9054.87
9	34	12	36	89	1196.81	9246.23
10	3	6	98	32	1217.32	8909.15
11	1	2	3	1	1233.20	9034.82
12	1	2	3	2	1233.20	9136.27
13	1	2	3	3	1225.46	9001.89
14	1	1	1	1	1255.06	8634.18
15	2	2	2	2	1206.63	9219.06
16	3	3	3	3	1251.66	8715.60
17	4	4	4	4	1224.65	9025.27
18	1	1	1	2	1215.49	8891.92
19	1	1	1	3	1215.49	8891.92
20	1	1	1	4	1215.49	8891.92

Tabla C8 Resultados de las 20 corridas eliminando un carro *Hencon*.

APÉNDICE D Código de la simulación en Dev C++

```
#include "simlib.h"          /* Librería simlib. */

#define EVENT_ARRIVAL      1 /* Evento llegada de demandas al FUSOR */
#define EVENT_END_FUSOR_RUN 2 /* Evento salida de demandas del FUSOR */
#define EVENT_END_SIMULATION 3 /* Evento fin de simulación */
#define LIST_QUEUE        1 /* Lista para la cola en el FUSOR */
#define LIST_FUSOR        2 /* Lista para el FUSOR (OCUPADO O DESOCUPADO)*/
#define SAMPST_RESPONSE_TIMES 1 /* sampst variable para el tiempo de respuesta*/
#define SAMPST_PROCESSED_DEMANDA 2 /* Número de demandas procesadas*/
#define SAMPST_DEMANDA_ARRIVE 3 /* Número de llegada de demandas*/
#define STREAM_LLEGADA     1 /* Número aleatorio para el tiempo de llegada de demandas. */
#define STREAM_SERVICE     1 /* Número aleatorio para el tiempo de servicio */
#define STREAM_TAMANO      1 /* Número aleatorio para el tamaño de la demanda*/
#define STREAM_RETARDO     2 /* Número aleatorio para el retardo en el sangrado*/

/* Declaración de variables globales no incluidas en la librería simlib */

int  min_planta, max_planta, incr_planta, num_planta, num_responses,
    num_responses_required, plan, num_pasada, lleg, trans_3, semana;

float mean_llegada, mean_service, capacidad, tiempo_envio, transfer1, transfer2, transfer3,
    transfer4, run_time, tiempo_fijo, transfer_3, contamano, Tiempo_promedio, tamaño_demanda,
    tiempo;

FILE *infile, *outfile;

/* Declaración de funciones no incluidas en la librería simlib */

void arrive(void);
void start_FUSOR_run(void);
void end_FUSOR_run(void);
void report(void);
//void acumulador(void);

main() /* Función main */
{
    /* Abrir archivos de entrada y salida. */

    infile = fopen("nombredelarchivo.in", "r"); //Archivo que contiene los parametros
    outfile = fopen("nombredelarchivo.out", "w"); // Archivo de salida

    /* Leer parametros de entrada. */

    fscanf(infile, "%d %d %d %d %f %f %f %d",
        &min_planta, &max_planta, &incr_planta, &num_responses_required,
        &mean_llegada, &mean_service, &capacidad, &semana);

        /* Write report heading and input parameters. */

        fprintf(outfile, "Tiempo de entrega del Fusor\n\n");
        fprintf(outfile, "Número de planta%9d a%4d de %4d\n\n",
            min_planta, max_planta, incr_planta);
        fprintf(outfile, "Tiempo medio de llegadas  %11.3f segundos\n\n", mean_llegada);
        fprintf(outfile, "Tiempo medio de servicio  %11.3f segundos\n\n", mean_service);
        fprintf(outfile, "Capacidad  %11.3f toneladas\n\n", capacidad);
        fprintf(outfile, "Número de demandas procesadas %12d\n\n",
            num_responses_required);

    /* Correr la simulación variando el número de plantas*/

    for (num_planta= min_planta; num_planta<= max_planta;
        num_planta += incr_planta) {

        printf("\n\nNumero de planta      %d", num_planta);
        getch();
    }
}
```

Figura D1 Código función principal (main) de la simulación.

```

/* Inicializar simlib */
{init_simlib();
contamano=0;

maxatr=4; /* Nunca el conjunto maxatr debe ser menor que 4 */

/* Inicializar el contador estadístico no incluido en simlib */

num_responses = 0;
tiempo = sim_time;
getch();

/* Asignar la primera llegada al FUSOR desde cada planta */
for (plan = 1; plan<= num_planta; ++plan)
event_schedule(expon(mean_llegada, STREAM_LLEGADA), EVENT_ARRIVAL);
{
do {

/* Determinar el siguiente evento */

timing();

/* Invocar la función del evento apropiado */

switch (next_event_type) {
case EVENT_ARRIVAL:
arrive();
break;
case EVENT_END_FUSOR_RUN:
end_FUSOR_run();
break;
case EVENT_END_SIMULATION:
report();
break;
}

/* Si el evento ejecutado no fue el de fin de la simulación,
continuar la simulación. De otro caso, terminar la simulación*/
} while (next_event_type != EVENT_END_SIMULATION);
}
}

fclose(infile);
fclose(outfile);

return 0;
}

```

Figura D2 Continuación del código del cuerpo del programa.

```

void arrive(void) /* Función de evento de llegada de una demanda al fusor */
{
    printf("\n\n\n\n\n\n+++++LLEGADA DE UNA DEMANDA AL FUSOR+++++");

    num_pasada=1;
    transfer[1] = sim_time;
    transfer[2] = uniform(495.78, 877.16 , STREAM_SERVICE);
    transfer[3] = uniform(16.27, 24.29,STREAM_TAMANO); // Capacidad para el tamaño
    transfer[4] = uniform(1,6, STREAM_RETARDO); // Días de la semana
    transfer1 = transfer[1];
    transfer2 = transfer[2];
    transfer3 = transfer[3];
    transfer4 = transfer[4];

    contamano += transfer3;

    printf("\n\n\nReloj de la simulacion:          %f", transfer[1]);
    printf("\n\nTiempo medio de servicio :          %f", transfer[2]);
    printf("\n\nTamaño de la demanda :                %f", transfer[3]);
    printf("\n\nDia de la semana :                    %f", transfer[4]);
    getch();

    ++lleg;
    sampst(lleg, SAMPST_DEMANDA_ARRIVE);

    list_file(LAST, LIST_QUEUE);

    if (list_size[LIST_FUSOR] == 0) // Estado desocupado, list_size representa la fila FUSOR
        start_FUSOR_run();
}

```

Figura D3 Función arrive (función que genera las llegadas de las demanda)

```

void start_FUSOR_run(void)
{
    float run_time; //variable auxiliar, para determinar el tiempo total de entrega
    int tiempo_sangrado;

    if(transfer4<=3)
        {tiempo_sangrado = 540; /* Si transfer[4]<= 3, entonces el tiempo de sangrado
            corresponde a los tres primeros días, los cuales en promedio
            se tardan 5 minutos de sangrado*/

            printf( "\n\nTiempo pequeno lunes,martes o miercoles:  %5f", transfer4);
            getch(); }

    else{
        tiempo_sangrado = 540; /* De lo contrario se consideran los siguientes tres días
            los cuales el tiempo de sangrado es en promedio de 9 minutos*/

            printf( "\n\nTiempo grande jueves,viernes o sabado:  %5f", transfer4); }

    /* Remover la primera demanda desde la cola*/
    printf("\n\nTiempo de sangrado obt.:  %5d", tiempo_sangrado);

    list_remove(FIRST, LIST_QUEUE); //Quitar el primero de la lista cola

    if (capacidad < transfer[3]) // Si la capacidad es menor que el tamaño aleatorio de la demanda
        { tamano_demanda = capacidad; // Hacer la variable tamaño_demanda igual al parametro capacidad
            printf("\n\nVAR. igual a la capacidad:  %5f", tamano_demanda);
            getch();}

    else

        {tamano_demanda = transfer[3];
            printf("\n\nVAR. igual al tamaño obt.:  %5f", tamano_demanda);
            getch(); }

        transfer[3] -= capacidad; //Transfer[3] es negativo el trabajo sale
        printf("\n\nDecremento:  %5f", transfer[3]);
        getch();

    run_time = transfer[2] + tiempo_sangrado;
    printf("\n\nTiempo total:  %5f", run_time);
    getch();

    transfer_3 = transfer[3];

    list_file(FIRST, LIST_FUSOR);

        printf("\n\nReloj de la simulacion en cada vuelta  %5f", sim_time);
        getch();

        event_schedule(sim_time + run_time, EVENT_END_FUSOR_RUN);
}

```

Figura D4 Función star_FUSOR_run, empieza el proceso de la entrega de metal.

```

void end_FUSOR_run(void)
{
    list_remove(FIRST, LIST_FUSOR);
    if (transfer[3] > 0.0) //Si transfer[3]>0, el trabajo requiere más tiempo para terminar su proceso
    {
        ++num_pasada;

        fprintf(outfile2, "\n\nRegreso del trabajo a la cola:      %5d", num_pasada);
        printf("\n\nDemanda regresa a la cola:      %5d", num_pasada);

        getch();

        list_file(LAST, LIST_QUEUE);
        start_FUSOR_run();
    }
    else {

        printf("\n\nAcumulando el tamaño:      %5f", contamano);
        printf("\n\nReloj de la simulacion + tiempo total      %5f", sim_time);
        getch();

        sampst(sim_time - transfer[1], SAMPST_RESPONSE_TIMES);

        Tiempo_promedio = sim_time - transfer[1];
        printf("\n\nTiempo promedio      %f", Tiempo_promedio);
        getch();

        ++num_responses;
        sampst(num_responses, SAMPST_PROCESSED_DEMANDA);

        event_schedule(sim_time + expon(mean_llegada, STREAM_LLEGADA),
            EVENT_ARRIVAL);

        getch(); /* // Considera bien el reloj de la simulacion
        printf("\n\nTiempo por semana (seg)      %d", semana);
        getch();

        if (sim_time >= semana)
        {
            event_schedule(sim_time, EVENT_END_SIMULATION);

            printf("\n\n\n..... FIN DE SIMULACION.....\n\n");
            getch();}

        else

            if (list_size[LIST_QUEUE] > 0)
                start_FUSOR_run();
    }
}

```

Figura D5 Función end_FUSOR_run, en la cual se verifica si la demanda regresa a la cola o sale del sistema.

```

void report(void) /* Función del reporte de estadísticos. */
{
    fprintf(outfile, "Número de Tiempo prom. Número prom.");
    fprintf(outfile, " Utilización\n");
    fprintf(outfile, "planta de respuesta en la cola del FUSOR");

    fprintf(outfile, "\n\n%5d%16.3f%16.3f%16.3f", num_planta,
        sampst(0.0, -SAMPST_RESPONSE_TIMES), filest(LIST_QUEUE), filest(LIST_FUSOR));
    sampst(0.0, -SAMPST_DEMANDA_ARRIVE);
    fprintf(outfile, "\n\nLlegadas a la cola\t%16.3f", transfer[2]);
    sampst(0.0, -SAMPST_PROCESSED_DEMANDA);
    fprintf(outfile, "\n\nDemandas procesadas \t%16.3f", transfer[2]);
    fprintf(outfile, "\n\n*****\n\n");
}

```

Figura D6 Función reporte de la simulación

Ficha autobiográfica

Herizet Guadalupe Guzmán Reyes

Candidato para el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

ESTUDIO DE UN PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE METAL MEDIANTE SIMULACIÓN

Nací en Torreón Coahuila, siendo mis padres el Sr. Francisco Javier Guzmán Vázquez y la Sra. Gloria Reyes Montoya. Del año 2000 al 2005 estudié la licenciatura en matemáticas en la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Autónoma de Nuevo León y del año 2005 al 2007 comencé mis estudios de maestría en Ingeniería de Sistemas en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León. En Diciembre del 2006 ingrese como practicante a la empresa NEMAK, en la cual desarrollé mi proyecto de tesis de maestría.