UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA DETERMINAR LA SECUENCIA DE PRODUCCIÓN (CASO: EMPRESA INVERSIONES SELVA C.A. GRUPO PHOENIX. DIVISIÓN METALMECÁNICA).

Tutor Académico:
Jiménez B. Manuel E.

Autor:
Vierma F. Dahyana C. CI: 18084533

Bárbula, Octubre del 2008.

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA DETERMINAR LA SECUENCIA DE PRODUCCIÓN (CASO: EMPRESA INVERSIONES SELVA C.A. GRUPO PHOENIX. DIVISIÓN METALMECÁNICA).

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para optar por el titulo de Ingeniero Industrial.

Tutor Académico:
Jiménez B. Manuel E.

Autor:
Vierma F. Dahyana C. CI: 18084533

Bárbula, Octubre del 2008.

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Certificado de Aprobación

Nosotros los abajo firmantes, Miembros del Jurado, designados por el Consejo de Escuela para evaluar el Trabajo Especial de Grado titulado "CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA DETERMINAR LA SECUENCIA DE PRODUCCIÓN (CASO: EMPRESA INVERSIONES SELVA C.A. GRUPO PHOENIX. DIVISIÓN METALMECÁNICA)", realizado por la Br. Dahyana Vierma, C.I.:18084533; hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Prof. Manuel Jiménez
Tutor

Prof. María A. Salama
Miembro del Jurado

Prof. Carlos Martínez
Miembro del Jurado

DEDICATORIA

A mis padres por estar conmigo desde el comienzo hasta el fin de este sueño, lo que los hace participes de este logro. A mi mamá especialmente, por enseñarme que la constancia y las ganas de hacer las cosas son el mejor combustible que hay en la tierra. A mi papá por su búsqueda constante de la perfección.

A mis abuelos por su apoyo constante y por esa **fuerza y jovialidad** contagiosa que todavía sigue en ellos sin importar el paso del tiempo.

A mi Tío Vicente por demostrarme que sin importar el tamaño de las metas solo basta con fijárselas y trabajar por ellas para poder alcanzarlas.

A Pedrito por ser mi eterno hermanito y compañero fiel.

Y a Dios y a mi Ángel de la Guarda por siempre mostrarme la salida.

Dahyana Vierma (Dahyi)

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por ponerme en el camino esta oportunidad.

A mi universidad, la UC, por hacerme crecer en el ámbito profesional y personal.

A mi profesor, el Ing. Manuel Jiménez, por su entrega, disposición, paciencia y apoyo como profesor y como tutor.

A la empresa Inversiones Selva, C.A., por darme la oportunidad de aprender y poner a prueba mis conocimientos.

A mi familia, mi papá, mi mamá, mis abuelos, mis tíos, mis primos y mi hermano por su apoyo y todos los momentos de alegría que me han dado.

A mi novio, por llegar en el momento preciso, por su apoyo constante y por estar siempre dispuesto a ayudarme.

A mis amigos, a Patty que más que una amiga es mi hermana, a Mari, Luisito, July, Choti y todos los que siempre han estado para dar una palabra de aliento, y

que con su forma de ser y sus ocurrencias han hecho mucho más fácil el camino.

Dahyana Vierma (Dahyi)

INDICE GENERAL

Pág.

Dedicatoria……. iv

Agradecimientos……. v

Lista de Tablas…….. ix

Lista de Figuras……. xi

RESUMEN……..... xiii

INTRODUCCIÓN…….. 1

CAPITULO I: EL PROBLEMA.

1 EL PROBLEMA……. 4

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA…….. 4

1.1.1 LA EMPRESA……. 4

1.1.2 MISIÓN……. 5

1.1.3 VISIÓN……. 5

1.1.4 POLÍTICAS…….. 5

1.1.4.1 POLÍTICA DE SEGURIDAD, HIGUIENE Y AMBIENTE…….. 5

1.1.4.2 POLÍTICA DE CALIDAD…….. 6

1.1.5 PRODUCTOS……. 6

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA……. 7

1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA……. 7

1.2.2 OBJETIVOS……. 9

1.2.2.1 OBJETIVO GENERAL…….. 9
1.2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS……. 9
1.2.3 JUSTIFICACIÓN ……. 10
1.2.4 ALCANCE ……... 11
1.2.5 LIMITACIONES ……. 11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO.
2 MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO……. 14
2.1 MARCO TEÓRICO……. 14
2.1.1 ANTECEDENTES…….. 14
2.1.2 BASES TEÓRICAS……. 16
2.2 MARCO METODOLÓGICO……. 27
2.2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN……. 27
2.2.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN…….. 27
2.2.3 FASES DE LA INVESTIGACIÓN……. 28
CAPITULO III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA
3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA……. 31
3.1 SISTEMA EN ESTUDIO……. 31
3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS RECURSOS UTILIZADOS……. 31
3.2.1 MAQUINARIA……. 32
3.2.2 JORNADA LABORAL……. 36
3.3 PRODUCTOS ELABORADOS……. 37
3.3.1 PRODUCTOS DE PROCESO DE TERMOFORMADO…….. 37
3.3.2 PRODUCTOS DE PROCESO DE INYECCIÓN……. 38
3.3.3 REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA……. 39
3.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN…… 40
3.4.1 RUTAS DE PRODUCCIÓN……. 40
CAPÍTULO IV: EL MODELO
4 EL MODELO……. 47
4.1 SIMULADOR UTILIZADO……. 47
4.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN……. 48

4.2.1 VARIABLES UTILIZADAS EN EL ESTUDIO…… 48
4.2.1.1TIEMPOS DE FABRICACIÓN…….. 48
4.2.1.2 VARIABLES DE ENTRADA…… 53
4.3 ACTIVIDADES A SIMULAR…….. 59
4.4 SUPUESTOS A CONSIDERARA……. 64
4.5 DIAGRAMA Y EXPLICACIÓN DEL MODELO……. 65
4.5.1 INTRODUCCIÓN DE RUTAS DE PRODUCCIÓN AL MODELO…… 64
4.5.2 ARCHIVOS DE ENTRADA…… 68
4.5.3 LECTURA DE CANTIDAD DE PEDIDOS …… 69
4.5.4 CONDICIONES INICIALES…….. 70
4.5.5 PEDIDOS A SECUENCIAR…….. 74
4.5.6 LA PLANTA……. 76
4.6 VERIFICACIÓN DEL MODELO……. 88
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS
5 ANÁLISIS DE RESULTADOS……. 92
5.1 DETERMINACIÓN DE NÚMEROS DE CORRIDAS Y RESULTADOS DEL MODELO……. 92
5.2 DETERMINACIÓN DEL CRITERIO UTILIZADO PARA DETERMINAR LA SECUENCIA DE PRODUCCIÓN…….. 106
5.3 CALCULO DE LEAD TIME PARA PEDIDOS CRÍTICOS…. 108
5.4 ESTUDIO DE COLAS Y RECURSOS……. 111
5.4.1 RECURSOS……. 111
5.4.2 COLAS……. 112
CONCLUSIONES……. 115
RECOMENDACIONES……. 117
BIBLIOGRAFÍA…….. 120
ANEXOS……. 122

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla Nº 1. Jornadas Laborales…… 36

Tabla Nº 2. Requerimientos de materia prima…… 39

Tabla Nº 3. Tiempos de Mecanizado Productos de Inyección…….. 50

Tabla Nº 4. Tiempos de Mecanizado Productos de Termoformado…. 51

Tabla Nº 5. Tiempos de Puesta a Punto……... 53

Tabla Nº 6. Número de Pedidos…… 54

Tabla Nº 7. Valores de la variable Status…… 54

Tabla Nº 8. Valores de la variable Tipo de Producto…….. 55

Tabla Nº 9. Ejemplo para la variable: Estación donde acaba de salir el pedido…… 56

Tabla Nº 10. Ruta de Cavidad Producto F-19…….. 57

Tabla Nº 11. Características de pedidos que no se han comenzado a realizar…… 58

Tabla Nº 12. Características de Pedidos en Proceso (PP)…… 58

Tabla Nº 13. Ruta correspondiente a cada producto…….. 59

Tabla Nº 14. Secuencia correspondiente a cada ruta…… 60

Tabla Nº 15. Secuencia correspondiente a Ruta 5…… 80

Tabla Nº 16. Resultados de estudio piloto, utilizando Urgencia como 94

regla de decisión……...
Tabla Nº 17. Resultados de estudio piloto, utilizando Menor Fecha de Entrega como regla de decisión……. 96
Tabla Nº 18. Resultados de estudio piloto, utilizando Trabajo más Corto como regla de decisión……. 98
Tabla Nº 19. Holgura por corrida pedido Nº 5 de Trabajo más Corto.. 99
Tabla Nº 20. Resultados al utilizar Trabajo más Corto como regla de decisión…….. 100
Tabla Nº 21. Resultados de estudio piloto, utilizando Menor Tiempo de Holgura como regla de decisión……. 102
Tabla Nº 22. Holgura por corrida pedido Nº 8 de Menor Tiempo de Holgura……... 103
Tabla Nº 23. Resultados al utilizar Menor Tiempo de Holgura como regla de decisión……... 104
Tabla Nº 24. Cuadro Comparativo de resultados obtenidos para las reglas de decisión Urgencia, MFE, TMC y MTH……. 107
Tabla Nº 25. Pedidos Críticos para cálculo de Lead Time……. 109
Tabla Nº 26. Lead Time de Pedidos Críticos……. 110
Tabla Nº 27. Porcentaje de utilización de recursos……. 112
Tabla Nº 28. Cuadro comparativo de tiempos de espera en Centros de Trabajo antes y después de acción tomada (días)……. 113
Tabla Nº 29. Cuadro comparativo de tiempos de holgura antes y después de acción tomada……. 114

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura Nº 1. Ruta de Producción de Cavidad y Fondo Termoformado…….. 41

Figura Nº 2. Ruta de Producción de Punzón y Unión de Punzón Termoformado……. 42

Figura Nº 3. Ruta de Cavidad y Macho Inyección…….. 43

Figura Nº 4. Ruta de Producción de Punta de Macho Inyección…….. 44

Figura Nº 5. Ruta de Producción de Stripper Ring de Inyección…….. 45

Figura Nº 6. Diagrama de Flujo de Actividades a Simular……. 62

Figura Nº 7. Ventana de Ruta 1 (Sequence 1)……. 65

Figura Nº 8. Ventana de Ruta 2 (Sequence 2)……. 66

Figura Nº 9. Ventana de Ruta 3 (Sequence 3)……. 66

Figura Nº 10. Ventana de Ruta 4 (Sequence 4)…….. 67

Figura Nº 11. Ventana de Ruta 5 (Sequence 5)…….. 67

Figura Nº 12. Archivo Texto Cantidad de Pedidos…….. 68

Figura Nº 13. Archivo Texto Características de Pedidos en Proceso.. 69

Figura Nº 14. Archivo Texto Características de Pedidos a Secuenciar…….. 69

Figura Nº 15. Diagrama de Lectura de Cantidad de Pedidos……. 70

Figura Nº 16. Diagrama de Condiciones Iniciales……. 72
Figura Nº 17. Diagrama de Tipo de Producto……. 73
Figura Nº 18. Diagrama de Rama de Condiciones Iniciales…..…… 73
Figura Nº 19. Diagrama de Estación Inicial……. 73
Figura Nº 20. Diagrama de Pedidos a Secuenciar……... 75
Figura Nº 21. Diagrama de La Planta……. 77
Figura Nº 22. Diagrama de Centro de Trabajo General de La Planta... 80
Figura Nº 23. Diagrama de Sub-modelo de Cálculo de atributos para Reglas de Decisión (Submodel 3)……... 82
Figura Nº 24. Diagrama de Emisión de señal de día lunes…….. 84
Figura Nº 25. Diagrama de Sub-modelo Resultados nodos Decide….. 86
Figura Nº 26. Diagrama de Sub-modelo Resultados……. 87
Figura Nº 27. Diagrama de Sub-modelo Resultados nodos Assign y Record……... 88
Figura Nº 28. Diagrama General del Modelo de Simulación……. 90
Figura Nº 29. Informe de Producción General……. 118
Figura Nº 30. Informe de Producción Diario..……. 119

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA DETERMINAR LA SECUENCIA DE PRODUCCIÓN (CASO: EMPRESA INVERSIONES SELVA C.A. GRUPO PHOENIX. DIVISIÓN METALMECÁNICA).

AUTOR: Vierma F. Dahyana C.

TUTOR: Ing. Manuel E. Jiménez B.

AÑO: 2008

RESUMEN

La División Metalmecánica de la Empresa Inversiones Selva C.A., se encarga de la fabricación de matricerías (partes de moldes de las demás plantas de la empresa), el taller trabaja bajo una configuración Job Shop y la planificación de la producción se realiza mediante una regla de prioridad subjetiva llamada urgencia, la cual es determinada por el programador según su experiencia. Esta regla de prioridad es poco eficiente, ya que no permite el cumplimiento de las fechas de entrega, obteniendo de esta manera un nivel de servicio inferior al esperado por los clientes. La simulación de sistemas facilita la toma de decisiones; por lo tanto, el objetivo general de la investigación es el siguiente, “Construir

un modelo de simulación por medio del cual la División Metalmecánica de la empresa Inversiones Selva C.A. pueda determinar la secuencia de producción que proporcione un nivel de servicio satisfactorio", esto se logró haciendo uso del paquete de simulación Arena. Después de observar el sistema, sus partes y funcionamiento y determinar las variables que determinan su comportamiento, se procedió a la realizar la representación del mismo, mediante la construcción del modelo. Luego de realizar la validación del modelo y probar cuatro reglas de decisión distintas, se concluyó que el criterio de decisión para determinar secuencias de producción en el taller, es el de Menor Fecha de Entrega, ya que con esta regla se obtuvo el mayor nivel de servicio 30% y el menor costo total por incumplimiento de fechas de entrega BsF. 14055.00.

PALABRAS CLAVES: Secuencia, Productos, Simulación, Nivel de servicio.

INTRODUCCIÓN

La secuenciación en la planificación a muy corto plazo, es la encargada de determinar el paso de los pedidos a través de los centros de trabajo, con la finalidad de cumplir con las fechas de entrega con la menor cantidad de recursos posibles, influyendo directamente en el nivel de servicio prestado a los clientes.

Dependiendo del tipo de configuración del taller existirá un método para determinar la secuencia de producción en el mismo, la División Metalmecánica presenta una configuración Job Shop, ya que trabaja bajo pedidos, generalmente de lotes pequeños, y fabrica gran variedad de productos que siguen rutas de producción diferentes. En estos casos se utilizan reglas de prioridad para determinar el próximo pedido a realizar en un centro de trabajo, en la actualidad, el taller utiliza como regla de prioridad la urgencia que presenta cada pedido, este es un criterio subjetivo que no permite que los clientes obtengan un nivel de servicio satisfactorio.

La simulación de situaciones facilita la toma de decisiones. En el presente caso de estudio se utiliza como herramienta el simulador Arena, para determinar la regla de prioridad o criterio de decisión que se debe utilizar para determinar la secuencia de producción en la empresa. La regla de decisión que se adecue al sistema será aquella con la cual se obtenga el mayor nivel de servicio y el menor costo por incumplimiento de fechas de entrega.

Para lograr el objetivo de la investigación fue necesario hacer una representación del sistema en estudio, se construyó la planta, la cual esta representada por los diferentes centros de trabajo o estaciones y sus recursos. Por otra parte, se introdujeron en el modelo todas las

características que determinan su funcionamiento, tales como, tiempos de fabricación de cada uno de los productos y las rutas que siguen cada uno de ellos.

Además, por medio del modelo se establecen las condiciones iniciales del sistema, es decir, la situación real de los pedidos en proceso que presenta la empresa al momento de determinar la secuencia de producción, esto trae como consecuencia que la determinación de la secuencia sea la más adecuada para el estado en que se encuentre el sistema.

El presente Trabajo Especial de Grado se encuentra dividido en cinco capítulos: el Capítulo I, presenta el problema, descripción de la empresa, planteamiento del problema, objetivo general y objetivos específicos, justificación y limitaciones y alcances que posee el estudio; el Capítulo II, presenta el marco teórico y metodológico, antecedentes consultados, y tipo, diseño y bases de la investigación; el Capítulo III, presenta la descripción del sistema en estudio, el proceso productivo y las variables que presenta el mismo; el Capítulo IV, presenta el modelo, el simulador utilizado, los supuestos a considerar, las actividades a simular, el diseño del modelo y la determinación del número de corridas; el Capítulo V, presenta el análisis de resultados, la determinación del criterio utilizado para determinar la secuencia de producción, cálculo de lead time para pedidos críticos y el estudio de colas y recursos. Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante la investigación.

CAPÍTULO I
EL PROBLEMA

1. EL PROBLEMA

En esta sección se realiza la descripción de la empresa en donde se realizó el estudio, se describe la problemática existente y se justifica el desarrollo de la investigación; además, se definen los objetivos del estudio junto a las limitaciones y alcances del mismo.

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

1.1.1 LA EMPRESA

PHOENIX PACKAGING GROUP es uno de los más importantes conglomerados de fabricación de empaques en América Latina, dedicado a la creación, diseño y fabricación de empaques plásticos y productos desechables para la industria y para el consumo masivo, con presencia en más de treinta países en América.

El Grupo Phoenix fue constituido en 1999 con la integración de empresas con amplia experiencia y lideres de Colombia (MULTIDIMENSIONALES y PLASDECOL) y Venezuela (INVERSIONES SELVA, VASOS VENEZOLANOS, VENCO y ESTIRENO DEL ZULIA). En el año 2003 se integró al Grupo la empresa ENVASES CUAUTITLAN de México.

Brinda soluciones integrales de empaques plásticos termoformados e inyectados para las industrias de Alimentos, Bebidas, Aguas, Aseo, Cosméticos, Aceites y Margarinas principalmente. Fabrican una amplia gama de productos desechables, incluyendo vasos termoformados e inyectados, impresos o sin impresión, con o sin tapa, en diferentes materiales como poliestireno (PS) y polipropileno (PP).
Inversiones Selva C.A. se encuentra ubicada en la Zona Industrial Campo Alegre, Cagua, Estado Aragua.

La División Metalmecánica es una planta de servicio de Inversiones Selva C.A., y se encarga de diseñar, fabricar y reparar moldes de inyección y termoformado utilizados en las demás plantas de Inversiones Selva C.A. (Planta A, B, C, E e Impresión) y demás empresas del grupo Phoenix.

1.1.2 MISIÓN

"Diseñar, fabricar y comercializar soluciones integrales de empaques primarios para la industria y productos desechables de consumo masivo para el sector alimenticio, que satisfagan las necesidades de nuestros clientes en América Latina y Estados Unidos, garantizando un retorno justo a los inversionistas y un desarrollo integral para nuestros empleados y el entorno".

Fuente: La Empresa

1.1.3 VISIÓN

"Phoenix es una organización competitiva, de clase mundial y la primera opción de los clientes en nuestro mercado".

Fuente: La Empresa

1.1.4 POLÍTICAS

1.1.4.1 POLÍTICA DE SEGURIDAD, HIGIENE Y AMBIENTE

Phoenix es una organización de Clase Mundial, líder en el mercado nacional e internacional comprometida con la prevención, seguridad, integridad física de sus trabajadores y cumplimiento de las leyes a través de los servicios de seguridad, higiene y salud en el trabajo. Provee los

recursos necesarios para garantizar un ambiente de trabajo óptimo, mediante la prevención, el adiestramiento y mejoramiento continuo de los procesos, garantizando así la continuidad operativa y el bienestar de los trabajadores, accionistas, clientes y medio ambiente.

Fuente: La Empresa

1.1.4.2 POLÍTICA DE CALIDAD

El Grupo Phoenix Venezuela tiene como política diseñar, fabricar y comercializar empaques de uso masivo e industrial, que cumplan con los requerimientos de sus clientes garantizando su total satisfacción, a través de un Sistema de Gestión de Calidad optimo enmarcado en su misión, visión y valores, donde figuran como pilares fundamentales el adiestramiento del personal, la mejora continua de los proceso, la innovación y el desarrollo de sus proveedores.

Fuente: La Empresa

1.1.5 PRODUCTOS

Los productos desarrollados en la División Metalmecánica son matricerías completas o repuestos de las mismas. Las matricerías pueden ser de inyección o termoformado, dependiendo del proceso productivo al cual pertenezcan.

Las matricerías pertenecientes al proceso de termoformado, están formadas por cavidad, fondo, punzón y base de punzón; y las pertenecientes al proceso de inyección son cavidad, macho, punta de macho y stripper ring. Posteriormente serán descritas en el Capítulo III en la descripción de productos del sistema y descripción del proceso productivo.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los altos niveles de competencia en los mercados, han llevado a las empresas a la conclusión que para sobrevivir y tener éxito en entornos más agresivos, ya no basta mejorar sus operaciones ni integrar sus funciones internas, sino que se hace necesario ir más allá de las fronteras de la empresa e iniciar relaciones de intercambio de información, materiales y recursos con los proveedores y clientes en una forma mucho más integrada, utilizando enfoques innovadores que beneficien conjuntamente a todos los actores de la cadena de suministros.

Una cadena de suministro es una red de instalaciones y medios de distribución que tiene por función la obtención de materiales, transformación de dichos materiales en productos intermedios y productos terminados y distribución de estos productos terminados a los consumidores. Una cadena de suministro consta de tres partes: el suministro, la fabricación y la distribución.

La fabricación convierte las materias primas en productos terminados y es en este punto donde tiene cabida la Planeación y Control de la Producción. En los talleres metalmecánicos se van produciendo los pedidos que llegan día a día, lo que trae como consecuencia que la planificación y control de la producción se realice a muy corto plazo. La misma, también llamada Gestión de Talleres, contempla todas las actividades encaminadas a programar, controlar y evaluar las operaciones de producción a muy corto plazo, para lograr el cumplimiento del programa maestro con la capacidad disponible y con la mayor eficiencia posible.

La secuenciación determina el orden en que se deben procesar una serie de pedidos, para cumplir con las fechas de entrega con el menor volumen de inventario y recursos posible.

Como la División Metalmecánica produce bajo pedidos de lotes normalmente pequeños y de ítems muy dispares que siguen distintas secuencias de paso entre los centros de trabajo, se está en presencia de un taller de configuración Job Shop.

Es importante resaltar que la producción de las plantas dependen directamente del tiempo de entrega de los moldes, matricerías o piezas solicitadas al taller, tanto así, que una de las plantas de la empresa (Planta B) atribuye el 70 % de sus paradas a la División Metalmecánica, debido al incumplimiento de las fechas de entrega.

Actualmente es utilizada una regla de prioridad subjetiva para la planificación de la producción, ya que ésta es proporcionada por el programador según su experiencia, la misma, no es más que la urgencia que presentan los distintos pedidos solicitados por los clientes, siendo esta poco eficiente, ya que no considera el logro del menor tiempo total de procesamiento de los pedidos; obteniendo de esta manera una secuencia de producción que no satisface los tiempos de entrega, trayendo como consecuencia un nivel de servicio inferior al esperado por los clientes.

La simulación es una herramienta que permite ver el comportamiento de los sistemas bajo condiciones específicas, además, por este ser un sistema complejo, con variables aleatorias y gran variedad de rutas y productos; la simulación seria la herramienta ideal para determinar la secuencia de producción que permita el mejor cumplimiento de las fechas de entrega por medio de la utilización de distintas reglas de prioridad,

dejando a un lado de esta manera la planificación subjetiva de la producción.

Para la División Metalmecánica es de suma importancia cumplir con los tiempos de entrega, ya que la producción de sus clientes se encuentra directamente afectada por esta. Por lo tanto, para solucionar el problema se debe dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿Cuál es la secuencia de producción que debe seguir la División Metalmecánica para obtener un nivel de servicio satisfactorio al producir un lote de pedidos?

1.2.2 OBJETIVOS

1.2.2.1 OBJETIVO GENERAL

Construir un modelo de simulación por medio del cual la División Metalmecánica de la empresa Inversiones Selva C.A. pueda determinar la secuencia de producción que proporcione un nivel de servicio satisfactorio.

1.2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar el sistema de interés para conocer su comportamiento.
2. Estudiar las variables y restricciones asociadas al problema en estudio para determinar las de verdadero interés para el mismo.
3. Construir el modelo de simulación para obtener la representación del sistema actual.
4. Verificar el modelo para determinar la confiabilidad del mismo.
5. Evaluar los resultados arrojados por el modelo antes construido para determinar secuencias de producción que cumplan con las necesidades de los clientes.

1.2.3 JUSTIFICACIÓN

Para la empresa Inversiones Selva es de interés estudiar posibilidades de mejora en la División Metalmecánica que permitan aumentar el nivel de servicio de la misma, ya que de esta manera se estaría incrementado directamente el nivel de servicio de la empresa en general.

La obtención de la secuencia de producción utilizando como herramienta la simulación permite estudiar el comportamiento del sistema en general antes de tomar una decisión, ya que considera la existencia de elementos como condiciones iniciales, variables aleatorias, formación de colas, etc., haciendo que la decisión tomada sea la más indicada al tomar en cuenta la variabilidad existente en el sistema.

Para la División Metalmecánica es de suma importancia proporcionarle un nivel de servicio satisfactorio a sus clientes, esto se logra, al entregar los pedidos a tiempo, es decir, cumpliendo con las fechas de entrega.

Determinando la secuencia de producción de las piezas mediante la simulación, la programación de la producción dejará de ser subjetiva, logrando niveles de servicio mayores a los obtenidos al utilizar como regla de prioridad la urgencia.

Para la Universidad de Carabobo es de suma importancia el hecho de que sus miembros realicen trabajos de investigación, debido a que con estos se realiza una valiosa contribución académica, ya que fortalecen la formación de nuevos investigadores, además, mediante el presente trabajo se realizan aportes importantes en el área de Producción, Simulación de Sistemas y Plantas Industriales.

El presente trabajo de grado representa para su autora la aplicación e integración de los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la formación académica, al ser estos utilizados en la solución de una problemática real en el campo laboral, además, representa el último requisito para la obtención del grado de Ingeniero Industrial.

1.2.4 ALCANCE

El presente trabajo de investigación busca obtener secuencias de producción mediante la utilización de cuatro reglas de prioridad distintas, para determinar el criterio que mejor satisfaga las necesidades de los clientes, haciendo uso eficiente de los recursos que posee la División Metalmecánica de la empresa Inversiones Selva C.A.

El trabajo de grado tiene como finalidad diseñar un modelo de simulación que permita determinar secuencias de producción de pedidos bajo condiciones iniciales específicas, para que la empresa obtenga un nivel de servicio satisfactorio, al lograr el cumplimiento de las fechas de entrega de la mayor cantidad de pedidos.

Es de interés el estudio de las rutas que siguen los productos, ya que estas no están formalmente establecidas y es necesario establecerlas para la elaboración del modelo.

1.2.5 LIMITACIONES

Las principales limitaciones que intervienen en el presente trabajo de investigación son:

Actualmente no se dispone de los tiempos estándar de fabricación de los diferentes productos que se fabrican en el taller de la División Metalmecánica, por lo tanto, se debe recolectar la información necesaria referente a los mismos, para que el modelo se ajuste al comportamiento real del taller.

Utilizar el programa de simulación ARENA, debido a que es con el que cuenta la escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Carabobo.

La licencia del programa de simulación ARENA se encuentra instalada en laboratorio de la escuela de Ingeniería Industrial, por lo tanto, la elaboración del modelo estuvo sujeta a la disponibilidad del mismo.

El tiempo disponible para la elaboración del proyecto por parte de la empresa es de 5 meses aproximadamente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

2. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

En esta sección se expondrán los estudios realizados anteriormente en el área y las bases teóricas utilizadas en el desarrollo de la investigación, que sirven de marco para la realización del estudio. Por otra parte, el marco metodológico contempla el tipo, diseño y fases de la investigación.

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 ANTECEDENTES

FERNÁNDEZ y MARTÍNEZ. **"Determinación del número de unidades de transporte necesarias para satisfacer la demanda de estudiantes en las rutas: Centro-UC y UC-Centro de la Universidad de Carabobo".** (2007). Universidad de Carabobo. El objetivo principal de la investigación fue determinar el número de unidades de transporte necesarias para satisfacer la demanda de estudiantes que utilizan las rutas Centro-Universidad de Carabobo y viceversa como medio de transporte, con el fin de mejorar el funcionamiento del servicio de transporte de esta institución universitaria, al disminuir los tiempos en cola, la cantidad de estudiantes en cola y aumentar el nivel de servicio; por medio de la utilización del paquete de simulación ARENA. De este trabajo se tomo de referencia el marco metodológico para la definición las fases y la metodología para realizar un estudio de simulación.

CASTRO y TORTOLERO. **"Determinación de la mezcla y el tamaño de flotilla de vehículos de una empresa de alimentos de consumo masivo para el transporte de sus productos terminados"**. (2006). Universidad de Carabobo. El trabajo permite generar una propuesta de mejora en la red de transporte primaria de la empresa KRAFT FOODS VENEZUELA, con el propósito de reducir los costos, elevar el

cumplimiento de los tiempos de despacho y reduciendo el tiempo de falta de vehículos para realizar los traslados. Se utiliza el paquete de simulación ARENA para simular las diferentes alternativas que podrían solucionar el problema. Aunque este estudio difiere del presente debido a que el problema a simular es netamente de transporte, el mismo sirve para simular una serie de opciones para escoger la que mejor cumpla con la función objetivo, que es la misma razón para la cual será utilizado el modelo diseñado en el presente estudio.

GÓMEZ. **"Determinación de la mezcla de productos de una empresa manufacturera por medio de la simulación de eventos discretos".** (2008). Universidad de Carabobo. Esta tesis de grado tiene como fin construir un modelo de simulación de eventos discretos por medio del cual se pueda determinar la mezcla de productos de una empresa manufacturera. En esta tesis se muestra la importancia de la determinación de la mezcla de productos en la planificación de la producción de una empresa, siendo el siguiente paso la secuenciación, la cual será el tema de estudio del presente trabajo de investigación, además, sirvió de guía en cuanto a metodología para la aplicación de la simulación en los sistemas productivos y a la utilización del paquete de simulación ARENA como herramienta para simular la producción de bienes.

INGALLS, ROSSETTI, SMITH y PETERS. **"Ideas for Modeling and Simulation of Supply Chains with ARENA".** (2004). El objetivo de esta investigación es desarrollar un sistema de apoyo profesional para las áreas de gerencia y logística para evaluar el desempeño de la cadena de suministros a través de la simulación computarizada. Este trabajo sirvió para esbozar la estructura general de la cadena de suministros con el software de programación ARENA.

2.1.2 BASES TEÓRICAS

Cadena de Suministros

La cadena de suministros es el conjunto de procesos para posicionar e intercambiar materiales, servicios, productos semiterminados, productos terminados, operaciones de posacabado logístico, de postventa y de logística inversa, así como de información, en la logística integrada que va desde la procuración y adquisición de materia prima hasta la entrega y puesta en servicio de productos terminados al consumidor final. La administración de la logística de la cadena de suministro es la ciencia y la práctica de controlar estos intercambios, monitoreados por la información asociada, en este proceso logístico. (Administración de la Cadena de Suministros, 2002)

La integración interna se focaliza en la coordinación de los procesos dentro de la empresa relacionados con la procura de recursos y materias primas, planificación, programación y control de la producción, y distribución física hacia los consumidores finales.

Planificación, programación y control de la producción

El proceso de planificación y control de la producción debe seguir un enfoque jerárquico, en el que se logre una integración vertical entre los objetivos estratégicos, tácticos y operativos y además se establezca su relación horizontal con las otras áreas funcionales de la compañía (Domínguez, 1995).

Básicamente las cinco fases que componen el proceso de planificación y control de la producción son:

1. Planificación estratégica o a largo plazo.
2. Planificación agregada o a medio plazo.
3. Programación maestra.
4. Programación de componentes.
5. Ejecución y control.

Es importante resaltar, que estas fases se deberán llevar a cabo en cualquier empresa manufacturera, independientemente de su tamaño y actividad, aunque la forma como estas se desarrollen dependerá de las características propias de cada sistema productivo.

Ejecución y control de la producción

Es el último paso dentro del proceso jerárquico de planificación y control, lo constituye el programa final de operaciones, el cual le permitirá saber a cada trabajador o a cada responsable de un centro de trabajo lo que debe hacer para cumplir el plan de materiales y con los planes estratégicos de la empresa.

Es importante dentro de esta fase de gestión, tomar en consideración el tipo de configuración productiva que tiene el taller, pues dependiendo de esta, así mismo será la técnica o procedimiento a emplear en su programación y control. Básicamente la configuración de los talleres puede ser:

1. Talleres de configuración continua o en serie: Aquellos en donde las máquinas y centros de trabajo se organizan de acuerdo a la secuencia de fabricación (líneas de ensamblaje), con procesos

estables y especializados en uno o pocos productos y en grandes lotes.

2. Talleres de configuración por lotes: En los que la distribución de máquinas y centros de trabajo, se organizan por funciones o departamentos con la suficiente flexibilidad para procesar diversidad de productos. Estos pueden ser de dos tipos:

   - Configurados en Flow Shop: Donde los distintos productos siguen una misma secuencia de fabricación.
   - Configurados en Job Shop: Aquellos donde los productos siguen secuencias de fabricación distintas.

Programación de Operaciones

La Programación de Operaciones tiene por objeto determinar que operaciones se van a realizar sobre los distintos pedidos, durante cada momento del Horizonte de planificación, en cada centro de trabajo, de forma que, con la capacidad disponible en cada uno de ellos, se cumplan las fechas de entrega planificadas, empleando el menor volumen de recursos e inventario posible. En cuanto al Horizonte de Planificación, este dependerá de las características del proceso productivo y su entorno, pudiendo variar entre unas horas y varias semanas (Vollmann, 2005).
Para obtener el programa de operaciones se deben realizar tres actividades:

1. Asignación de los pedidos a los centros de trabajo.
2. Secuenciación.
3. Programación Detallada, determinación de los momentos de comienzo y fin de las actividades en cada Centro de Trabajo.

Secuenciación

El proceso de secuenciación consiste en el establecimiento de la prioridad de paso de los pedidos en los diferentes Centros de Trabajo para cumplir las fechas de entrega planificadas con la menor cantidad de recursos e inventarios (Vollmann, 2005).

Según Domínguez (1995) la forma en que se desarrolla la secuenciación dependerá del tipo de configuración que se trate:

1. **Fabricación en líneas de grandes lotes:** se trata de la obtención de grandes lotes de pocos ítems homogéneos, los cuales tienen la misma secuencia de paso en los equipos de un cierto Centro de Trabajo, pudiendo encontrar dos situaciones diferentes.

- Secuenciación de una sola máquina o instalación: las unidades van pasando una a una por cada máquina, sin necesidad de esperar a que cada operación se ejecute sobre el lote completo. Las técnicas a utilizar se determinan según la prioridad de procesamiento de los pedidos.

  Cuando la prioridad de fabricación de N pedidos se realiza al hacer mínimo el tiempo de preparación se utiliza el Algoritmo Húngaro o el de Kauffmann, este tipo de técnicas parte de la hipótesis de que es indiferente la fecha de conclusión de cada lote; cuando lo fundamental es el cumplimiento de las fechas de entrega el método más utilizado es el de las Reglas de Prioridad, específicamente la del ROT (Run Out Time) o Tiempo de Agotamiento y la de Relación Crítica, por último, si se está trabajando con Just in Time la planificación y control de los movimientos de ítems en el taller se desarrollará mediante el sistema Kanban.

- Secuenciación en varias máquinas: en este caso influye también el tiempo total necesario para el procesamiento de todos los pedidos, debido a que los tiempos muertos que se generen entre las máquinas como consecuencia de estar esperando los sucesivos pedidos dependen de la secuencia elegida.

  Existen distintas reglas dependiendo de las características de la planta, estas son: la regla de Johnson para N pedidos y dos máquinas, para N pedidos y tres máquinas y el Algoritmo de Campbell para N pedidos y M máquinas, todos estos son métodos heurísticos que pretenden hacer mínimo el tiempo ocioso de las máquinas y cabe destacar, que la complejidad de aplicación de los mismos va aumentando a medida de crece el número de máquinas y pedidos, debido a que el tiempo necesario para resolver el problema también va creciendo notablemente.

  En cuanto a otras técnicas utilizadas para determinar la secuenciación Domínguez (1995) acota lo siguiente… "existen muchos otros modelos para resolver este tipo de problemas, tanto optimizadores como heurísticos o de ***simulación***. Sin embargo, lo cierto es que, como en los que acabamos de exponer, su aplicación práctica se vuelve muy compleja cuando aumenta el número de máquinas y pedidos".

2. **Fabricación en Job-Shop:** se trata de empresas que suelen trabajar *bajo pedidos*, normalmente lotes pequeños de ítems muy dispares, los cuales tienen diferente secuencia de paso por las máquinas o Centros de Trabajo.

Debido a la diversidad en la secuencia de operaciones, no es posible emplear alguna técnica de optimización, por lo cual, la secuencia de operaciones, se establece en función de los objetivos específicos de cada programador, a través del uso de reglas de prioridad.

Reglas de Prioridad: estas permiten seleccionar el próximo trabajo a realizar en un Centro de Trabajo (CT) cuando este está próximo a quedarse libre, la elección de una determinada regla dependerá del caso concreto, siendo seleccionada en base al objetivo prioritario del mercado. Las principales reglas de prioridad son:

1. **Operación más corta (OMC):** de acuerdo a ella, se elige como próximo trabajo a realizar en un CT, aquel cuya operación en dicho centro tarde menos en realizarse. De esta manera, se hace máximo el número de trabajos procesados por período en el CT, pero se ignora las fechas de entrega planificadas.
2. **Operación más larga (OML):** el próximo trabajo a realizar en un CT será aquella cuya operación en dicho centro tarde más en realizarse. La idea que la preside es que, normalmente, los trabajos más largos son los más grandes y más importantes y, por lo tanto, deben ser los primeros en realizarse.
3. **Trabajo más corto (TMC):** el sentido es similar al de la regla OMC, con la diferencia de que aquí se selecciona el trabajo al que le reste el menor tiempo de proceso considerando el conjunto de operaciones.

4. **Trabajo más largo (TML):** es similar a la OML, pero tomando ahora aquel trabajo que tenga mayor tiempo de proceso restante.
5. **Menor tiempo restante (MTR):** con esta regla se ejecutará primero aquel pedido al que le quede menos tiempo hasta su fecha de entrega planificada. Con ello se pretende ejecutar primero el pedido más urgente, intentando así cumplir las fechas de entrega. No obstante, no considera el tiempo de proceso que falte para ser terminado
6. **Menor Relación Crítica (MRC):** definido como (tiempo restante/tiempo de proceso restante). Esta regla intenta corregir el defecto señalado para la anterior, proporcionando una visión comparada del tiempo y la carga que resta para concluir el trabajo.
7. **Menor fecha de entrega (MFE):** se realiza en primer lugar aquel pedido cuya fecha de entrega está más próxima, cualquiera que sea el tiempo de proceso que reste.
8. **Menor tiempo de holgura (MTH):** se trata de realizar primero aquel trabajo con menor tiempo de holgura, siendo ésta la diferencia entre el tiempo que falta hasta la fecha de entrega y el tiempo de proceso restante.
9. **Menor tiempo de holgura por operación restante (MTHOR):** es una variación del anterior, en el que la holgura se relaciona además con el número de operaciones que le restan al pedido para ser terminados.

Sistemas

Un sistema es una sección de la realidad que es el foco primario de un estudio y está compuesto de componentes que interactúan con otros de acuerdo a ciertas reglas dentro de una frontera identificada para el

propósito del estudio. Un sistema puede realizar una función que no es realizable por sus componentes individuales (Tarifa, s/f).

Los objetos o componentes que forman parte del sistema se denominan entidades, estas entidades poseen propiedades denominadas atributos y se relacionan entre sí a través de relaciones o funciones.

Los valores asumidos por los atributos de las entidades en un momento dado determinan el estado del sistema. El estado puede ser estático o estacionario, esto significa que se mantiene constante en el tiempo; o por el contrario, puede ser dinámico o transitorio si evoluciona con el tiempo.

Simulación

Según Shannon (1988), cuando alguien tiene la responsabilidad de conducir un sistema dado, debe tomar continuamente decisiones acerca de las acciones que ejecutará sobre el sistema. Estas decisiones deben ser tales que la conducta resultante del sistema satisfaga de la mejor manera posible los objetivos planteados.

Para poder decidir correctamente es necesario saber cómo responderá el sistema ante una determinada acción. Esto podría hacerse por experimentación con el sistema mismo; pero factores de costos, seguridad y otros hacen que esta opción generalmente no sea viable.

Por lo tanto, simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del sistema.

Ventajas de la simulación

Shannon (1988) enumera una serie de ventajas que poseen los modelos de simulación, las cuales son expuestas a continuación:

- Pueden describir sistemas que sean muy complejos.
- La simulación permite estimar el desempeño de un sistema existente bajo un conjunto proyectado de condiciones de operación.
- A través de la simulación es posible comparar diferentes propuestas de diseños alternativos de sistemas, para determinar cual cumple mejor los requerimientos.
- En la simulación se puede mantener más el control sobre las condiciones experimentales de lo que es posible cuando se experimenta en el sistema mismo.
- La simulación permite el estudio de un sistema por periodos largos.

Aplicación de la Simulación

El estudio de un sistema se va a realizar mediante simulación cuando se dé una o varias de las condiciones siguientes (Shannon, 1988):

- No existe una formulación matemática del problema.
- Existe un modelo matemático, pero no métodos analíticos de resolución del mismo.
- Existen el modelo y los métodos, pero los procedimientos son tediosos, por lo que resulta más sencilla y menos costosa la simulación.
- Se desea observar en el tiempo una historia simulada del sistema.
- Se desea experimentar con un modelo antes de construir el sistema.

- Es imposible experimentar sobre el sistema real.
- Puede experimentarse sobre el sistema, pero motivos éticos lo impiden.
- Se quiere observar un sistema de evolución muy lenta, reduciendo la escala del tiempo.

Etapas para realizar un Estudio de Simulación

Banks (1996) define que en el desarrollo de una simulación se pueden distinguir las siguientes etapas:

- **Formulación del problema:** En este paso debe quedar perfectamente establecido el objeto de la simulación. El cliente y el modelador deben acordar lo más detalladamente posible los siguientes factores: los resultados que se esperan del simulador, el plan de experimentación, el tiempo disponible, las variables de interés, el tipo de perturbaciones a estudiar, el tratamiento estadístico de los resultados, la complejidad de la interfaz del simulador, etc. Se debe establecer si el simulador será operado por el usuario o si el usuario sólo recibirá los resultados.

- **Definición del sistema:** El sistema a simular debe estar perfectamente definido. El cliente y el modelador deben acordar dónde estará la frontera del sistema a estudiar y las interacciones con el medioambiente que serán consideradas.

- **Formulación del modelo**: Esta etapa comienza con el desarrollo de un modelo simple que captura los aspectos relevantes del sistema real. Los aspectos relevantes del sistema real dependen

de la formulación del problema. Este modelo simple se irá enriqueciendo como resultado de varias iteraciones.

- **Colección de datos:** La naturaleza y cantidad de datos necesarios están determinadas por la formulación del problema y del modelo. Los datos pueden ser provistos por registros históricos, experimentos de laboratorios o mediciones realizadas en el sistema real. Los mismos deberán ser procesados adecuadamente para darles el formato exigido por el modelo.

- **Implementación del modelo en la computadora:** El modelo es implementado utilizando algún lenguaje de computación.

- **Verificación:** En esta etapa se comprueba que no se hayan cometidos errores durante la implementación del modelo.

- **Validación:** En esta etapa se comprueba la exactitud del modelo desarrollado. Esto se lleva a cabo comparando las predicciones del modelo con: mediciones realizadas en el sistema real, datos históricos o datos de sistemas similares.

- **Experimentación:** En esta etapa se realizan las simulaciones de acuerdo el diseño previo. Los resultados obtenidos son debidamente recolectados y procesados.
- **Interpretación:** Se analiza la sensibilidad del modelo con respecto a los parámetros que tienen asociados la mayor incertidumbre. Si es necesario, se deberán recolectar datos adicionales para refinar la estimación de los parámetros críticos.

- **Implementación:** Conviene acompañar al cliente en la etapa de implementación para evitar el mal manejo del simulador o el mal empleo de los resultados del mismo.

- **Documentación:** Incluye la elaboración de la documentación técnica y manuales de uso. La documentación técnica debe contar con una descripción detallada del modelo y de los datos; también, se debe incluir la evolución histórica de las distintas etapas del desarrollo. Esta documentación será de utilidad para el posterior perfeccionamiento del simulador.

2.2 MARCO METODOLÓGICO

2.2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio es de tipo descriptivo debido a que posee las características descritas por Tamayo (1997) citadas a continuación "…comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos, trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta".

La investigación es de tipo descriptivo ya que se desean señalar las características, propiedades y variables de interés que interfieren en la secuenciación de los productos de la División Metalmecánica, con el objeto de construir un modelo que simule el comportamiento del sistema.

2.2.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio se considera una investigación experimental, ya que en la misma se manipulan las variables bajo diferentes escenarios para

obtener la validación del sistema y posteriormente poder escoger dentro de los resultados arrojados por los modelos aquella secuencia de producción que proporcione el nivel de servicio satisfactorio.

2.2.3 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

FASE I: Observación y descripción del sistema en estudio.

En esta etapa se recopila toda la información necesaria que permita describir el comportamiento de la División Metalmecánica.

FASE II: Determinación de las variables y restricciones presentes en el problema en estudio.

En la presente fase se realiza un estudio donde se identifican las variables de interés para el desarrollo del modelo, así como las utilizadas en la construcción de la función objetivo a utilizar tomando en cuenta las limitaciones y alcances que posee el estudio. Además, se determinarán las restricciones que serán introducidas en el modelo debido a la naturaleza del sistema.

FASE III: Construcción del modelo mediante la utilización del programa de simulación Arena.

En la presente etapa se construye el modelo, tomando en cuenta todas las variables de interés y restricciones que posee el sistema, de manera que el modelo sea una buena representación del mismo.

FASE IV: Verificación del modelo.

En esta fase se comprueba que no se hayan cometidos errores durante la construcción del modelo.

FASE V: Ejecución del modelo y evaluación de los resultados obtenidos.

Esta etapa consiste en la observación del comportamiento del modelo antes construido y verificado. En la misma, se manipulan las variables que sean necesarias, para la obtención de secuencias de producción factibles para la División Metalmecánica, mediante el cumplimento de la función objetivo.

FASE VI: Documentación del modelo.

La fase documentación del modelo consiste en la elaboración de la documentación técnica. La misma, dará una descripción detallada del modelo y de los valores de entrada y salida del mismo.

CAPÍTULO III
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En el presente capítulo se describe el sistema en estudio, incluyendo el proceso productivo de la empresa, los recursos utilizados, los productos que se desarrollan en ella y las variables y restricciones que afecten el mismo.

3.1 SISTEMA EN ESTUDIO

El sistema en estudio está constituido por una planta de servicio de Inversiones Selva, C.A., la misma se encarga de fabricar matricería, moldes y repuestos utilizados por las máquinas de las demás plantas de la empresa.

La División Metalmecánica trabaja bajo un sistema de pedidos, en donde los clientes hacen sus solicitudes, luego los pedidos son materializados en planos y posteriormente enviados al taller, en donde las piezas solicitadas por los clientes son fabricadas por medio de procesos metalmecánicos.

La presente investigación está dirigida al área de producción, donde se tomaran en cuenta las variables y las restricciones que afectan el proceso productivo.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS RECURSOS UTILIZADOS

El sistema está constituido por máquinas herramienta y operarios cuya función principal es el mecanizado de piezas.

Las máquinas cumplen diferentes funciones y son utilizadas según las rutas de producción de los productos, dichas rutas son determinadas según las características físicas de los mismos.

3.2.1 MAQUINARIA

Las máquinas utilizadas trabajan con procesos de fabricación por arranque de material o arranque de viruta. Cada máquina necesita solo un (1) operador para su funcionamiento.

Los tiempos de maquinado dependen de las características de las piezas que se estén fabricando. Las máquinas utilizadas en el proceso productivo son descritas a continuación.

- **Centros de Mecanizado Verticales de Control Numérico Computarizado (CNC):**

  La empresa cuenta con tres (3) de estos equipos, los cuales son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales, como las que se requieren para el maquinado de complejos moldes y troqueles. En estas máquinas una computadora por medio del programa *MasterCam X* controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo. Una vez programada la máquina, ésta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador intervenga en el proceso. Los equipos son los siguientes:

  - Mori Seiki MV-55, realiza recorridos en el eje *X* de 1050 mm., en el *Y* de 550 mm y en el *Z* de 566 mm y un giro máximo de 5.000 rpm.

- Fadal VMC 4525, realiza recorridos en el eje X de 45'' y en el *Y* y *Z* de 25'', con un giro máximo de 10.000 rpm.
- Fadal VMC 2016L, realiza recorridos en el eje de *X* de 20'' y en el *Y* y *Z* de 16'', con un giro máximo de 7.500 rpm.

- **<u>Tornos de Control Numérico Computarizado (CNC)</u>:**

Los tornos trabajan de igual manera que los centros de mecanizado, utilizando control numérico computarizado mediante el programa *MasterCam X*, pero en este caso, en los tornos CNC solo se obtienen sólidos de revolución, ya que solo realiza movimientos en el eje *X* y *Z*. Se cuenta con tres (3) de estos equipos de marca OKUMA, con las siguientes características:

- OKUMA Heritage ES-L8$_{II}$, realiza recorridos en el eje *X* y *Z* de 250 mm. y una rotación máxima de 3.000 rpm.
- OKUMA LB-15, realiza recorridos en el eje *X* de 500 mm y en el *Z* de 600 mm. y una rotación máxima de 3.000 rpm.
- OKUMA Cadet L1420, realiza recorridos en el eje *X* de 600 mm y en el *Z* de 800 mm. y una rotación máxima de 3.000 rpm.

- **<u>Fresadoras Convencionales</u>:**

La empresa posee cinco (5) fresadoras, y en las mismas el elemento que se desplaza longitudinalmente es la pieza a la que se le va a dar forma, mientras que la herramienta tiene exclusivamente un movimiento de giro. Las fresadoras que posee la empresa son las siguientes:

- TOS-FNGJ 32
- TOS-FNK 2
- TOS-FNK 25-A
- FELCO-Pinnacle
- DIEEKMANN-Nan Tong

Todas con un giro del husillo con un rango de 65 - 4.800 rpm y área útil de la mesa de trabajo entre 1100-1250 mm. en el eje *X*, 250-290 mm. en el eje *Y* y carrera máxima en *Z* de 400 mm., a excepción de la TOS-FNGJ 32 que posee un área útil de la mesa de 510 mm. en el eje *X* y 370 mm. en el *Y*.

- **Tornos Convencionales:**

Se utilizan para la fabricación de piezas de revolución y permiten pequeñas tolerancias y acabados superficiales buenos. En el torneado la herramienta avanza longitudinalmente mientras la pieza que se va a mecanizar gira accionada por el torno. La empresa cuenta con cinco (5) de estas maquinas herramienta:

- 1 COLCHESTER-Mascot 1600
- 1 TOS-SN50 C
- 2 DORIA
- 1 Maximat V13

Los primeros cuatro (4), poseen un largo rotativo o largo de bancada de 2.000 mm. y un rango de rotación de 40-2.000 rpm. El último mencionado posee un largo rotativo de 1.000 mm. y un rango de rotación de 20-2.000 rpm.

- **<u>Rectificadoras</u>:**

  Son máquinas herramienta, utilizadas para conseguir mecanizados de precisión tanto en dimensiones como en acabado superficial.

  - **Rectificadoras Cilíndricas,** son utilizadas para realizar todo tipo de rectificado tanto en diámetros exteriores de ejes como en agujeros. La empresa posee cuatro (4) de estas máquinas:
    - DANOBAT
    - Jarb-Rua 600
    - TOS BU 28
    - MOORE

    Todas con un diámetro admitido de 295 mm y un rango de rotación de 22.4 – 700 rpm.

  - **Rectificadoras Planas,** se utilizan para trabajar superficies planas. Consisten en un cabezal provisto de la muela y un carro longitudinal que se mueve en forma de vaivén, donde va sujeta la pieza que se rectifica. La empresa cuenta con una (1) de estas máquinas:
    - Brown & Sharpe, posee un máximo de longitud rectificable de 1200x1000 mm, una máximo altura de 600 mm y una velocidad de 32 m/min.

- **<u>Taladros Verticales</u>:**

  Se cuenta con dos (2) taladros verticales:

  - MAS 90, el cual trabaja a una rotación máxima de 2.800 rpm.

- IBARMIA 40-CA, que trabaja a una rotación máxima de 1136 rpm.

No poseen operador fijo debido a que su uso es ocasional, en las áreas de ensamble de termoformado e inyección.

En los mismos se realizan agujeros pasantes o ciegos en las piezas. Como herramienta se emplean útiles de uno o varios filos llamados brocas.

3.2.2 JORNADA LABORAL

El taller distribuye su mano de obra en tres jornadas laborales, dependiendo de la actividad que el trabajador desempeñe. Las jornadas de trabajo son mostradas en la siguiente tabla:

Tabla Nº 1. Jornadas Laborales.

Jornadas Laborales			
Días	**Horario**	**Turno**	**Actividad**
LUNES a SÁBADO*	6:00 AM a 2:00 PM *Sábados: 6:00 AM a 12:00 PM	1er Turno	- Operador Sierra Cinta. - Operador Centro de Mecanizado CNC. - Operador de Torno CNC. - Operador de Torno. - Operador de Fresadora. - Operador de Rectificadora Plana. - Operador de Rectificadora Cilíndrica. - Trabajadores Ensamble Inyección. - Trabajadores Ensamble Termoformado.
LUNES a VIERNES	2:00 pm a 10:00 pm	2do Turno	
LUNES a VIERNES	7:00 am a 5:00 pm	Turno Normal	- Inspectores de calidad.

Fuente: La Empresa.

3.3 PRODUCTOS ELABORADOS

Los productos fabricados por la División Metalmecánica son principalmente moldes, matricerias y repuestos para las máquinas utilizadas en las plantas que conforman la empresa.

La organización ofrece a sus clientes productos plásticos desechables para el manejo de alimentos, de consumo masivo e industrial; los mismos son obtenidos por medio de dos procesos distintos, Termoformado e Inyección; trayendo como consecuencia que los moldes y matricería utilizada para la elaboración de los productos tengan diferentes características.

Las piezas fabricadas en mayor parte en el taller de la División Metalmecánica son repuestos de matricería, ya que esto son los que presentan mayor desgaste en el proceso productivo.

A continuación se muestran los productos que se consideran en el estudio, la clasificación se hace según el proceso productivo en el cual serán utilizados.

3.3.1 Productos de Proceso de Termoformado

Los productos en estudio utilizados en el proceso de termoformado y fabricados en el taller son los siguientes (Ver Anexo 1 y 2):

1. **Matricería de Producto Vaso V-2:**

- Cavidad Producto V-2.
- Fondo Producto V-2.

2. **Matricería de Producto Vaso F-19:**

- Cavidad Producto F-19.
- Fondo Producto Vaso F-19.
- Punzón Producto F-19.
- Unión de Punzón Producto F-19.

3.3.2 Productos de Proceso de Inyección

Los piezas de matricería de inyección que poseen mayor demanda son aquellas que poseen gran desgaste por estar en contacto directo con el producto que se esta elaborando, estas son macho, cavidad, punta de macho y stripper ring. A continuación se muestran las piezas en estudio (Ver Anexo 3,4 y 5):

1. **Matricería Producto Tina 8 Oz. TST-8:**

- Cavidad Producto Tina TST-8.
- Macho Producto Tina TST-8.
- Punta de Macho Producto Tina TST-8.

2. **Matricería Producto Tina 16 Oz.:**

- Cavidad Producto Tina TST-16.
- Macho Producto Tina TST-16.
- Punta de Macho Producto Tina TST-16.

3. **Matricería Producto Tina 32 Oz.:**

- Cavidad Producto Tina TST-32.
- Macho Producto Tina TST-32.
- Punta de Macho Producto Tina TST-32.

4. **Matricería Producto Tapa 800 LALA ECSA:**

- Stripper Ring Tapa 800 LALA ECSA.

3.3.3 Requerimientos de Materia Prima

La materia prima a utilizar depende del producto a fabricar.

Ya que los productos son sólidos de revolución, la presentación de la materia prima que mejor se ajusta son barras del material con características específicas.

En el mercado se consiguen una gran gama de materiales con diámetros y longitudes diferentes, la materia prima por unidad, debe tener como mínimo las dimensiones mostradas a continuación en la Tabla Nº 2.

Tabla Nº 2. Requerimientos de materia Prima

Nº	Producto	Material	Dimensiones (mm.)	
			Diámetro	Largo
1	Cavidad Prod. Vaso F-19	ALUMINIO	60	72
2	Fondo Prod. Vaso F-19	ALUMINIO	32	32
3	Punzón Prod. Vaso F-19	AISI 1045	25	53
4	Unión de Punzón Prod. Vaso F-19	HYTAC	41	48
5	Cavidad Prod. Vaso V-2	ALUMINIO	58	59
6	Fondo Prod. Vaso V-2	ALUMINIO	57	41
7	Cavidad Prod. Tina TST-8	AISI H-13	107	52
8	Macho Prod. Tina TST-8	AISI H-13	265	96
9	Punta de Macho Prod. Tina TST-8	Cu/Be	86	50
10	Cavidad Prod. Tina TST-16	AISI H-13	208	130
11	Macho Prod. Tina TST-16	AISI H-13	169	127
12	Punta de Macho Prod. Tina TST-16	Cu/Be	102	45
13	Cavidad Prod. Tina TST-32	AISI H-13	315	207
14	Macho Prod. Tina TST-32	AISI H-13	315	210
15	Punta de Macho Prod. Tina TST-32	Cu/Be	99	50
16	Stripper Ring Prod. Tapa 800 LALA	AISI 420	170	52

Fuente: La Empresa.

3.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Las piezas realizadas en el taller son fabricadas mediante procesos metalmecánicos. Las piezas en general siguen cinco (05) rutas diferentes dependiendo de la pieza que se este fabricando, sin embargo, los tiempos de producción son únicos para cada uno de los productos.

En la presente sección se muestran y describen las rutas de producción de cada producto.

3.4.1 RUTAS DE PRODUCCIÓN

Las rutas de producción indican la secuencia en la cual se realizan los procesos de fabricación para la elaboración de un producto, por lo tanto, se tienen rutas de producción diferentes para cada tipo de producto.

Las rutas definen cual es el movimiento de los productos a través del taller y aunque varios productos sigan la misma ruta, estos poseen distintos tiempos de fabricación, ya que los mismos dependen de las dimensiones y detalles que cada producto presente en su diseño.

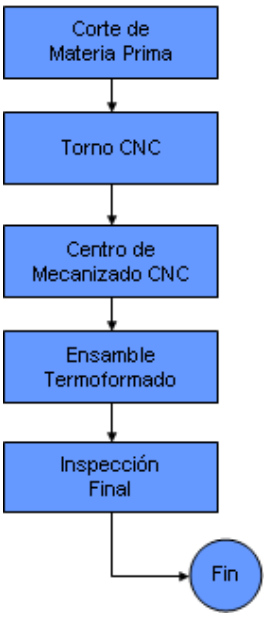
3.4.1.1 Rutas de Producción para Productos de Proceso de Termoformado

- **Cavidad y Fondo:** La fabricación de las cavidades y fondos comienza con el corte de materia prima. El tocho obtenido de este proceso es mecanizado en un Torno CNC hasta obtener las medidas determinadas en planos.

  Posteriormente, se realiza el mecanizado en el Centro de Mecanizado CNC, donde, se realizan las perforaciones, ranuras y guías que posea la pieza.

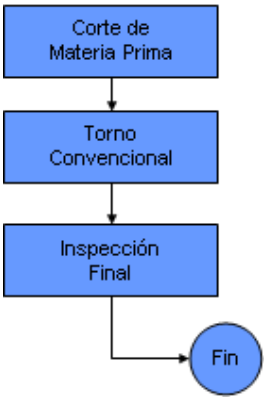
El último proceso de mecanizado es la elaboración de agujeros de formación, esta actividad es realizada manualmente en el Área de Ensamble Termoformado. Para finalizar, se realiza el proceso de inspección final. (Ver figura Nº 1).

Figura Nº 1. Ruta de Producción de Cavidad y Fondo Termoformado.



- **Punzón y Unión de Punzón:** El punzón es fabricado en HYTAC el cual es un material sintético, por su parte la unión del punzón es elaborada en AISI 1045. Sin embargo, el proceso de fabricación de ambos sigue la misma ruta, esta consta de dos procesos con arranque de viruta, el primero, el corte de materia prima, y el segundo, el mecanizado en Torno Convencional, donde se realiza la preforma y luego se ajustan las dimensiones finales, para terminar se realiza el proceso de la inspección final. (Ver Figura Nº 2).

Figura Nº 2. Ruta de Producción de Punzón y Unión de Punzón Termoformado.



3.4.1.2 Rutas de producción para Productos de Proceso de Inyección

- **Cavidad y Macho:** La ruta de estos dos productos es la mas larga, ya que los mismos pasan por todas las estaciones de la planta (excepto ensamble termoformado por ser productos de inyección).

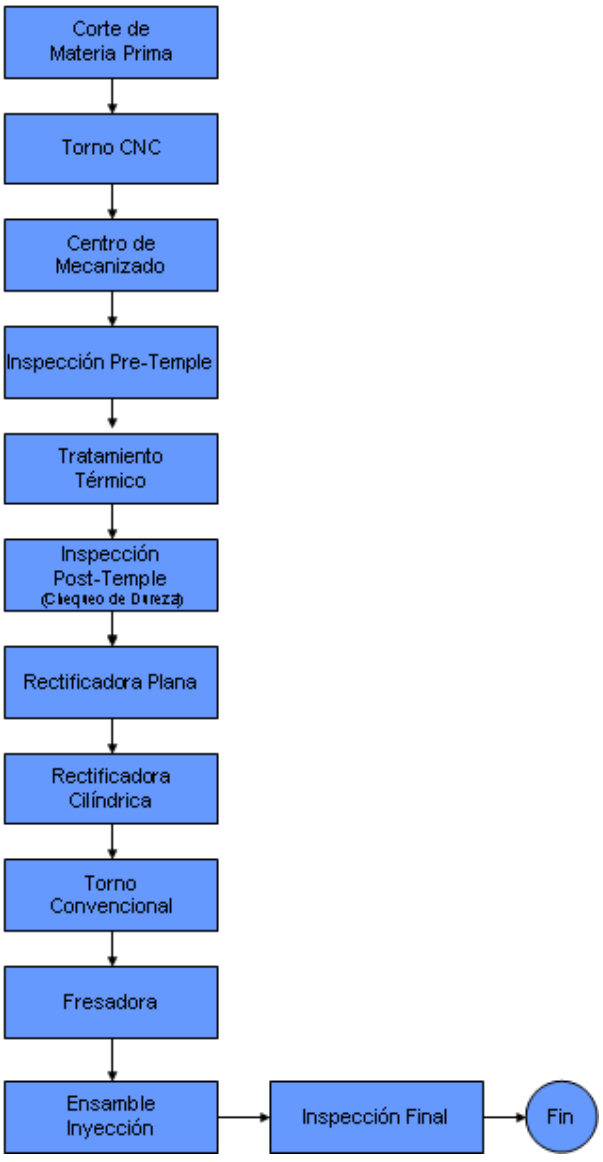
La fabricación de estas unidades comienza con el corte de materia prima, luego el tocho pasa al Torno CNC donde se realiza la preforma, posteriormente es procesado en el Centro de Mecanizado.

El siguiente Proceso es el de Templado, en donde se logra obtener la dureza del material deseada, dicho proceso es realizado en un taller externo, antes de esto, se realiza la Inspección Pre-Temple donde se verifican las dimensiones y después de realizado el tratamiento térmico se realiza el Chequeo de Dureza.

El siguiente proceso con arranque de viruta que se realiza es el de Rectificado Plano y posteriormente el Rectificado Cilíndrico. Para finalizar se realizan los detalles finales en el Torno Convencional y la Fresadora.

El proceso productivo de pieza culmina con la Inspección Final, donde se verifica si la pieza cumple con las dimensiones pre-establecidas. (Ver Figura Nº 3).

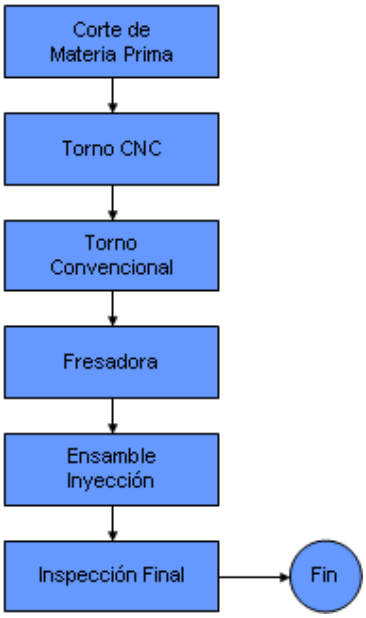
Figura Nº 3. Ruta de Cavidad y Macho Inyección.



- **Punta de Macho:** La fabricación de esta pieza consta de cuatro procesos con arranque de viruta, la primera es el corte de materia prima; seguido por el mecanizado en Torno CNC, donde se realiza la preforma de la pieza.

Luego es trabajada en el Torno Convencional para obtener las dimensiones finales, posteriormente son realizadas las guías, roscas y perforaciones que requiera la pieza en la Fresadora, al finalizar este proceso la pieza es enviada al Área de Ensamble de Inyección donde se realiza el pulido de la pieza y las correcciones que requiera la misma, para finalizar con la Inspección Final del producto (Ver Figura Nº 4).

Figura Nº 4. Ruta de Producción de Punta de Macho Inyección.

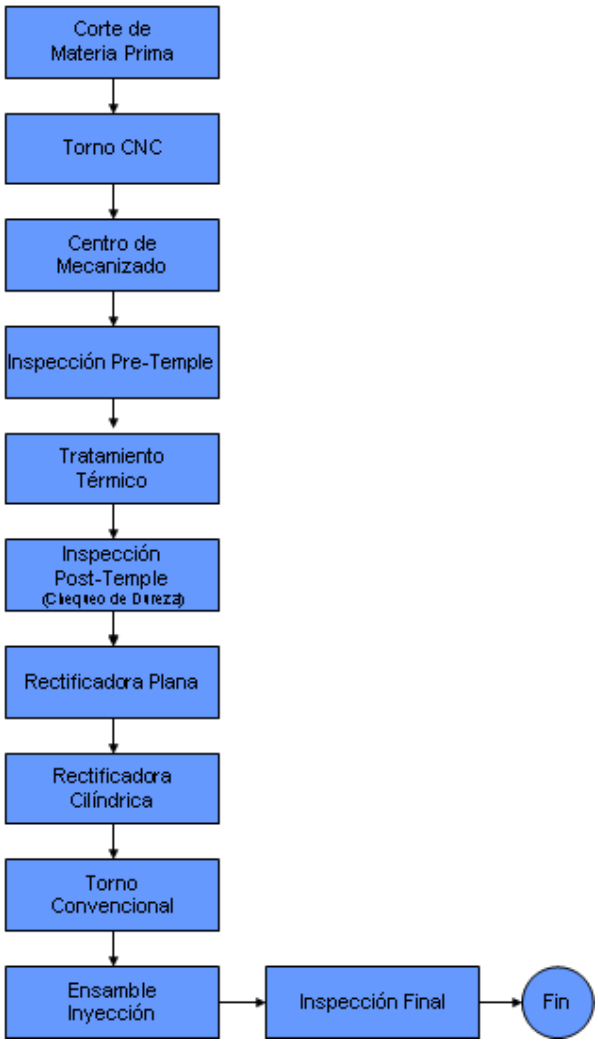


- **Stripper Ring:** Su fabricación comienza con el corte de materia prima, luego el tocho pasa al Torno CNC y Centro de Mecanizado donde se realiza la preforma, posteriormente es enviado al proceso de

Templado, para lo cual se realiza antes una Inspección Pre-Temple donde se verifican las dimensiones y después un Chequeo de Dureza.

El siguiente proceso con arranque de viruta que se realiza es el de Rectificado Plano y posteriormente el Rectificado Cilíndrico. Para finalizar se realizan los detalles finales, en el Torno Convencional. La fabricación de la pieza culmina con la Inspección Final.

Figura Nº 5. Ruta de Producción de Stripper Ring de Inyección.



CAPÍTULO IV
EL MODELO

4 EL MODELO

En esta sección se describen las actividades a simular, las suposiciones realizadas para la elaboración del modelo, además, se explicará a detalle la construcción del modelo de simulación y posteriormente la verificación del mismo.

4.1 SIMULADOR UTILIZADO

El programa de simulación Arena fue el simulador utilizado en el presente estudio. Este programa fue utilizado debido a la facilidad que presenta en cuanto a la construcción de modelos y visualización dinámica de corridas y de resultados. A continuación se nombran algunas ventajas que presenta el programa:

- Permite modelar procesos, documentar e informar.
- Tiene la opción de modificar variables, atributos, parámetros y expresiones antes y después de construido el modelo.
- Simula las respuestas futuras del sistema, con el objeto de poder comprender relaciones complejas e identificar posibilidades de mejora.
- Permite visualizar las operaciones con gráficos dinámicos animados.
- El usuario puede analizar como el sistema funcionará “tal cual” como en la actualidad y bajo un conjunto de posibles alternativas, de manera de poder elegir de forma segura la mejor entre ellas.
- Es el programa de simulación utilizado y a la disposición en la escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Carabobo.

4.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

4.2.1 VARIABLES UTILIZADAS EN EL ESTUDIO

En el estudio se utilizan dos tipos de variables distintas, los tiempos de fabricación y las variables de entrada.

Los tiempos de fabricación son ingresados directamente en los nodos del modelo, estos no sufrirán modificaciones al cambiar la secuencia de producción o las características de los pedidos en proceso o pedidos que no se han comenzado a realizar, ya que son características propias de cada producto. Los tiempos de fabricación son: tiempos de maquinado, tiempo de tratamiento térmico, tiempos de puesta a punto y tiempos de inspección.

Las variables de entrada son ingresadas por el usuario por medio de archivos de texto al modelo, y describen los pedidos en proceso y los pedidos que no se han comenzado a realizar. Las características que poseen los pedidos son ingresadas por medio de las siguientes variables de entrada: estatus del pedido, código, tipo de producto, tamaño de lote, fecha de entrega (fecha tope en días), urgencia y estación donde acaba de salir el pedido.

4.2.1.1 TIEMPOS DE FABRICACIÓN

A continuación se muestran los tiempos de fabricación necesarios para construir el modelo de simulación, junto con sus respectivos valores ajustados a distribuciones de probabilidad.

TIEMPOS DE MAQUINADO

Debido a que no existen estudios de tiempo en la empresa, ni registros históricos que permitan determinar los tiempos de mecanizado de cada producto, se realizó un sondeo entre operadores de máquina, supervisores y jefes de taller con experiencia en el proceso productivo, obteniendo de esta manera los valores más probables y los valores mínimos y máximos que pueden tomar los tiempos de maquinado, de esta manera, se concluyó que dichos tiempos están representados por medio de distribuciones probabilísticas uniformes y triangulares en los distintos centros de trabajo.

Las distribuciones triangulares son utilizadas para el mecanizado en Tornos CNC, Centros de Mecanizado, Tornos Convencionales, Fresadoras, Rectificadoras Cilíndricas y Rectificadora Plana, esto debido a que existe un valor más probable del tiempo de maquinado en estos centros de trabajo, y valores mínimo y máximo del mismo, todos determinados por los expertos en el área.

Las distribuciones uniformes pertenecen a las actividades de corte de materia prima y a las realizadas en el área de ensamble inyección y termoformado, ya que los tiempos de producción varían entre dos valores específicos, pudiendo ajustar los mismos a una distribución uniforme.

Los tiempos de mecanizado se muestran en las Tablas Nº 3 y 4.

Tabla Nº 3. Tiempos de Mecanizado Productos de Inyección.

TIEMPOS DE MECANIZADO (hr./pieza)									
PRODUCTO	CORTE DE MATERIA PRIMA	TORNO CNC	CENTRO MECANIZADO	RECT. PLANA (LOTE MÁX.16)	RECT. CILÍNDRICA	TORNO CONVENCIONAL	FRESADORA	ENSAMBLE	
								PERFORACIONES	PULIDO
PRODUCTO TINA 8 oz.									
CAVIDAD	Uniforme (0.50,0.75)	Triangular (10.96,12.18,14.00)	Triangular (10.710,11.9,13.69)	Triangular (32.57,36.19,41.62)	Triangular (14.04,15.60,17.94)	Triangular (4.33,4.81,5.53)	Triangular (1.91,2.12,2.44)	-	Uniforme (12.00,16.00)
MACHO	Uniforme (0.50,0.75)	Triangular (13.5,15.00,17.25)	Triangular (1.97,2.19,2.52)	Triangular (47.52,52.80,60,72)	Triangular (21.02,23.35,26.85)	Triangular (6.39,7.10,8.17)	Triangular (4.77,5.30,6.10)	Uniforme (1.00,2.00)	Uniforme (6.00,10.00)
PUNTA DE MACHO	Uniforme (0.50,0.75)	Triangular (3.21,3.57,4.10)	-	-	-	Triangular (1.50,1.67,1.92)	Triangular (3.15,3.50,4.03)	-	
PRODUCTO TINA 16 oz.									
CAVIDAD	Uniforme (058,0.83)	Triangular (17.28,19.20,22.08)	Triangular (16.88,18.76,21.57)	Triangular (37.92,42.13,48.45)	Triangular (20.67,22.97,26.42)	Triangular (7.14,7.93,9.12)	Triangular (3.02,3.35,3.85)	-	Uniforme (26,32)
MACHO	Uniforme (0.58,0.83)	Triangular (21.29,23.65,27.20)	Triangular (3.11,3.46,3.98)	Triangular (59.13,65.70,75.56)	Triangular (27.59,30.65,35.5)	Triangular (10.07,11.19,12.87)	Triangular (7.52,8.35,9.60)	Uniforme (1.00,2.00)	Uniforme (7.60,11.60)
PUNTA DE MACHO	Uniforme (0.58,0.83)	Triangular (5.53,6.14,7.06)	-	-	-	Triangular (2.59,2.88,3.31)	Triangular (5.36,5.95,6.84)	-	
PRODUCTO TINA 32 oz.									
CAVIDAD	Uniforme (0.75,1.00)	Triangular (29.93,33.25,38.24)	Triangular (29.23,32.48,37.35)	Triangular (48.60,54.00,62.10)	Triangular (33.93,37.70,43.36)	Triangular (12.75,14.17,16.30)	Triangular (5.22,5.80,6.67)	-	Uniforme (40.00,48.00)
MACHO	Uniforme (0.75,1.00)	Triangular (36.86,40.95,47.09)	Triangular (5.40,6.00,6.90)	Triangular (82.35,91.50,105.23)	triangular (40.73,45.25,52.04)	triangular (17.44,19.38,22.29)	Triangular (13.01,14.46,16.63)	Uniforme (1.00,2.00)	Uniforme (12.00,16.00)
PUNTA DE MACHO	Uniforme (0.75,1.00)	Triangular (10.15,11.28,12.97)	-	-	-	Triangular (4.77,5.30,6.10)	Triangular (9.77,10.86,12.49)	-	
PRODUCTO TAPA 800 LALA ECSA									
STRIPPER RING	Uniforme (0.58,0.83)	Triangular (5.54,6.15,7.07)	Triangular (1.58,1.75,2.01)	Triangular (15.30,17.00,19.55)	Triangular (5.43,6.03,6.93)	Triangular (2.86,3.18,3.66)	-	-	-

Tabla Nº 4. Tiempos de Mecanizado de Productos de Termoformado.

TIEMPOS DE MECANIZADO (hr./pieza)									
PRODUCTO	CORTE DE MATERIA PRIMA	TORNO CNC	CENTRO MECANIZADO	RECT. PLANA (LOTE MÁX.16)	RECT. CILÍNDRICA	TORNO CONVENCIONAL	FRESADORA	ENSAMBLE	
								PERFORACIONES	PULIDO
PRODUCTO V-2									
CAVIDAD	Uniforme (0.10,0.15)	Triangular (0.61,0.68,0.78)	Triangular (2.39,2.66,2.99)	-	-	-	-	Uniforme (0.25,0.50)	-
FONDO	Uniforme (0.10,0.15)	Triangular (0.34,0.38,0.44)	Triangular (0.61,0.68,0.78)	-	-	-	-	Uniforme (0.25,0.50)	-
PRODUCTO F-19									
CAVIDAD	Uniforme (0.15,0.20)	Triangular (1.11,1.23,1.41)	Triangular (1.19,1.32,1.52)	-	-	-	-	Uniforme (0.25,0.50)	-
FONDO	Uniforme (0.15,0.20)	Triangular (2.41,2.68,3.08)	Triangular (1.22,1.36,1.56)	-	-	-	-	Uniforme (0.25,0.50)	-
PUNZÓN	Uniforme (0.05,0.08)	-	-	-	-	Triangular (1.56,1.73,1.99)	-	-	-
UNIÓN PUNZÓN	Uniforme (0.10,0.15)	-	-	-	-	Triangular (0.70,0.78,0.90)	-	-	-

TIEMPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO (TEMPLE)

La cavidad, macho y stripper ring de los productos de inyección necesitan de un tratamiento térmico, específicamente templado, para endurecer las piezas; esta actividad es llevada a cabo fuera del taller de la división metalmecánica, es decir, un taller externo.

La empresa encargada de realizar el tratamiento térmico busca las piezas una vez a la semana (día lunes) y entrega el mismo día las ya tratadas. Por lo tanto, el tiempo de tratamiento térmico es igual a una (1) semana y las piezas deben esperar hasta el día lunes para ser tratadas.

TIEMPOS DE PUESTA A PUNTO

Cada una de las máquinas-herramienta utilizadas en el proceso productivo requieren de un tiempo de preparación o puesta a punto al comenzar a producir un lote de productos nuevo o al cambiar de producto.

Los tiempos de puesta a punto están representados por distribuciones uniformes, esto se obtuvo por medio de sondeos realizados a los operadores de máquina y supervisores con experiencia en el área de mecanizado, donde se llegó a la conclusión de que el tiempo de puesta a punto variaba entre dos valores específicos para cada producto a fabricar.

Además, los tiempos de puesta a punto fueron clasificados en dos grupos, para piezas de inyección y para piezas de termoformado, debido a las características geométricas de los productos.

La clasificación se muestra a continuación en la Tabla Nº 5.

Tabla Nº 5. Tiempos de Puesta a Punto.

TIEMPOS DE PUESTA A PUNTO (hr.)						
PRODUCTO	**CENTRO DE MECANIZADO**	**TORNO CNC**	**FRESADORA**	**TORNO CONVENCIONAL**	**RECT. CILÍNDRICA**	**RECT. PLANA**
TERMOFORMADO	Uniforme (0.25,0.50)	-	Uniforme (0.75,1.00)	Uniforme (0.25,0.50)	-	-
INYECCIÓN	Uniforme (0.50,1.00)	Uniforme (0.50,1.00)	Uniforme (0.33,0.66)	Uniforme (0.25,0.50)	Uniforme (0.33,1.00)	Uniforme (0.17,0.33)

TIEMPOS DE INSPECCIÓN

El proceso de inspección consiste en la verificación de medidas de variables como longitud y dureza. Existen tres tipos de inspección en el taller de la división metalmecánica:

- **Inspección Pre-Temple:** consiste en un chequeo dimensional. Duración 0.5 hr/pieza.
- **Inspección Post-Temple:** consiste en un chequeo de dureza. Duración 0.5 hr/pieza.
- **Inspección Final:** es el último chequeo dimensional que se realiza, donde se verifica que la pieza cumpla con todos los valores dimensionales preestablecidos. Duración 1 hr/pieza.

4.2.1.2 VARIABLES DE ENTRADA

Además de las variables utilizadas en el estudio nombradas anteriormente, existen variables de entrada que son suministradas por el usuario a través de archivos de texto, éstas son descritas a continuación.

Después de la descripción, se muestran los valores de las variables utilizadas para el caso en estudio.

CANTIDAD DE PEDIDOS

Estas variables suministran la información necesaria correspondiente al número de pedidos que se elaboran y programan en el taller.

1. **Cantidad de pedidos en proceso:** indica el número de pedidos que se encuentran en proceso en la planta.
2. **Cantidad de pedidos a secuenciar:** indica el número de pedidos que se encuentran como materia prima y que no se han comenzado a realizar (productos a los que se le determinará la secuencia de producción).

A continuación se indican la cantidad de pedidos que existen en proceso y de pedidos que no se han comenzado a realizar para el caso en estudio.

Tabla Nº 6. Número de Pedidos.

Nº de Pedidos a Evaluar	Nº de Pedidos de Producto en Proceso (PP)
10	21

CARACTERÍSTICAS DE LOS PEDIDOS

Estas variables son utilizadas para determinar las características de los pedidos en proceso y los pedidos que no se han comenzado a realizar.

1. **Status:** indica si el pedido que se esta elaborando pertenece a los que se encuentran en proceso o a los pedidos que no se han comenzado a realizar. (Ver Tabla Nº 7)

Tabla Nº 7. Valores de la variable Status.

Valor de Status	Descripción
1	Pedidos en Proceso (PP).
2	Pedidos que no se han comenzado a realizar.

2. **Código:** es un valor que permite nombrar y diferenciar los pedidos entre sí. Es asignado según el orden en que se agregan los pedidos en el archivo de texto.

3. **Tipo de Producto:** del tipo de producto dependen los tiempos de mecanizado y la ruta que sigue dentro de la planta, he aquí su gran importancia, a continuación en la Tabla Nº 8, se observa el valor de cada producto según su descripción.

Tabla Nº 8. Valores de la variable Tipo de Producto.

Producto	Descripción
1	Macho Producto Tina TST-8.
2	Cavidad Producto Tina TST-8.
3	Punta de Macho Producto Tina TST-8.
4	Macho Producto Tina TST-16.
5	Cavidad Producto Tina TST-16.
6	Punta de Macho Producto Tina TST-16.
7	Macho Producto Tina TST-32.
8	Cavidad Producto Tina TST-32.
9	Punta de Macho Producto Tina TST-32.
10	Stripper Ring Tapa 800 LALA ECSA.
11	Cavidad Producto V-2.
12	Fondo Producto V-2.
13	Cavidad Producto F-19.
14	Fondo Producto Vaso F-19.
15	Punzón Producto F-19.
16	Unión de Punzón Producto F-19

4. **Tamaño de Lote:** indica por pedido la cantidad de unidades que se van a producir de cada producto.

5. **Fecha Tope (días):** indica los días que faltan desde la fecha actual hasta la fecha en que se debe entregar el pedido.

6. **Urgencia:** es la regla de decisión utilizada actualmente en la planta, la misma es determinada por el programador de acuerdo a su experiencia y a las necesidades de los clientes. El valor de la urgencia viene dado de la siguiente manera, mientras más urgente sea el pedido, menor será su valor, por ejemplo, el pedido más urgente, tendrá uno (1) como valor de urgencia.

7. **Estación donde acaba de salir el pedido:** ésta última variable es utilizada solo para los pedidos que se encuentran en proceso, e indica dentro de la ruta, el último paso que culminó el mismo; de esta manera se logra indicar la ubicación del pedido dentro de la planta para las condiciones iniciales.

   Por ejemplo, si tenemos un pedido con las siguientes características.

Tabla Nº 9. Ejemplo para la variable: Estación donde acaba de salir el pedido.

Status	Código	Tipo de Producto	Tamaño de lote (unidades)	Fecha tope (días)	Urgencia	Estación que acaba de salir
2	1	13	28	15	1	2

Se puede observar, que el producto trece (Cavidad Producto F-19) acaba de salir de la estación número dos, dentro de su ruta de producción. (Ver Tabla Nº 10)

Tabla Nº 10. Ruta de Cavidad de Producto F-19 (producto 13).

Paso	Nombre de la Estación
1	Estación Corte de materia prima
2	Estación Torno CNC
3	Estación Centro de Mecanizado
4	Estación Ensamble Termoformado
5	Estación Salida

En otras palabras el número dos (2) indica que el producto acaba de salir de la estación Torno CNC, por lo tanto, el pedido se ubicará en la estación Centro de Mecanizado al comenzar simulación.

Después de describir las variables de entrada, se procede a mostrar los valores utilizados para el caso de estudio, tanto para los pedidos que no se han comenzado a realizar (pedidos a los cuales se les determinará la secuencia de producción), como para los pedidos en proceso (pedidos que se encuentran en el taller y determinan las condiciones iniciales del sistema).

Actualmente, los valores de urgencia son subjetivos y determinados por el programador basándose en experiencia adquirida. Los valores de urgencia ingresados al modelo fueron suministrados por un experto en el área.

A continuación se muestra la descripción de los pedidos que no se han comenzado a realizar y se van a evaluar en el modelo, para determinar la secuencia de producción que proporcione un nivel de servicio satisfactorio.

Tabla Nº 11. Características de Pedidos que no se han comenzado a realizar.

Status	Código	Tipo de Producto	Tamaño de lote (unidades)	Fecha tope (días)	Urgencia
2	1	13	28	15	7
2	2	14	28	18	8
2	3	15	28	10	9
2	4	16	28	8	10
2	5	1	10	64	1
2	6	2	10	69	2
2	7	3	10	26	3
2	8	4	6	60	4
2	9	5	6	65	5
2	10	6	6	14	6

En la siguiente tabla se muestran las características que poseen los pedidos en proceso, es decir, aquellos que no se han culminado y que determinan las condiciones iniciales del sistema.

Tabla Nº 12. Características de Pedidos en Proceso (PP).

Status	Código	Tipo de Producto	Tamaño de lote (unidades)	Fecha tope (días)	Urgencia	Estación que acaba de salir
1	11	13	32	7	7	1
1	12	3	2	17	17	1
1	13	14	32	8	8	1
1	14	11	120	12	12	2
1	15	12	120	13	13	2
1	16	6	4	46	14	3
1	17	9	6	22	6	3
1	18	15	32	12	9	1
1	19	16	32	10	10	1
1	20	2	2	24	18	5
1	21	1	2	25	19	5
1	22	5	4	49	15	4
1	23	4	4	46	16	4
1	24	8	6	97	4	4
1	25	7	6	82	5	4
1	26	10	20	44	11	3
1	27	2	11	73	1	8
1	28	1	11	70	2	7
1	29	3	11	19	3	4
1	30	13	21	12	20	3
1	31	14	21	14	21	3

4.3 ACTIVIDADES A SIMULAR

Las actividades que se simulan a través del modelo son las que se mencionan a continuación (Ver Figura Nº 6):

- Llegada de pedidos, es realizada mediante la interacción directa con el usuario, el usuario ingresa mediante un archivo de texto la descripción de los productos a elaborar en el taller, cantidad de pedidos en proceso (producto en proceso) y cantidad de pedidos a fabricar, estatus del pedido, código, tipo de producto, tamaño de lote, fecha de entrega (fecha tope en días) y urgencia.

- Condiciones iniciales del sistema, estas son suministradas por el usuario, dependiendo de las condiciones en las que se encuentre el taller al momento de hacer uso del programa, estas son: estatus del pedido, código, tipo de producto, tamaño de lote, fecha de entrega, urgencia y estación donde acaba de salir el pedido.

- Asignación de ruta y tiempos de mecanizado según el tipo de producto. Dependiendo del tipo de producto, a cada pedido se le asigna la ruta y el tiempo de mecanizado en cada estación, determinados por medio de distribuciones probabilísticas, las cuales ya fueron mencionadas en los tiempos de fabricación. A continuación se muestra la ruta que corresponde a cada producto.

Tabla Nº 13. Ruta correspondiente a cada producto.

Ruta	Producto
1	1,2,4,5,7 y 8
2	3,6 y 9
3	11,12,13 y 14
4	15 y 16
5	10

- El movimiento de los pedidos a través de taller, siguiendo la secuencia establecida según alguna de las cinco (05) rutas existentes, estas secuencias son determinadas por las estaciones que conforman cada una de las rutas. A continuación se muestra la secuencia que sigue cada ruta.

Tabla Nº 14. Secuencia correspondiente a cada ruta.

Ruta	Estaciones
1	1. Corte de materia prima. 2. Torno CNC. 3. Centro de Mecanizado. 4. Rectificadora Plana. 5. Rectificadora Cilíndrica. 6. Torno Convencional. 7. Fresadora. 8. Ensamble Inyección. 9. Salida.
2	1. Corte de materia prima. 2. Torno CNC. 3. Torno Convencional. 4. Fresadora. 5. Ensamble Inyección. 6. Salida.
3	1. Corte de materia prima. 2. Torno CNC. 3. Centro de Mecanizado. 4. Ensamble Termoformado. 5. Salida.
4	1. Corte de materia prima. 2. Torno Convencional. 3. Salida.
5	1. Corte de materia prima. 2. Torno CNC. 3. Centro de Mecanizado. 4. Rectificadora Plana. 5. Rectificadora Cilíndrica. 6. Torno. 7. Ensamble Inyección. 8. Salida.

- La formación de colas según reglas de prioridad y el proceso de fabricación en las diferentes estaciones:
  - Centros de Mecanizado.
  - Tornos CNC.

- Tornos Convencionales.
- Fresadoras.
- Rectificadora Plana.
- Rectificadoras Cilíndricas.

- Los procesos de inspección que se realizan durante el proceso productivo (inspección pre-temple, inspección post-temple (chequeo de dureza) e inspección final) y la formación de colas según la regla de prioridad utilizada.

- El proceso de mecanizado en el área de ensamble inyección y ensamble termoformado y la formación de sus respectivas colas según la regla de prioridad utilizada.

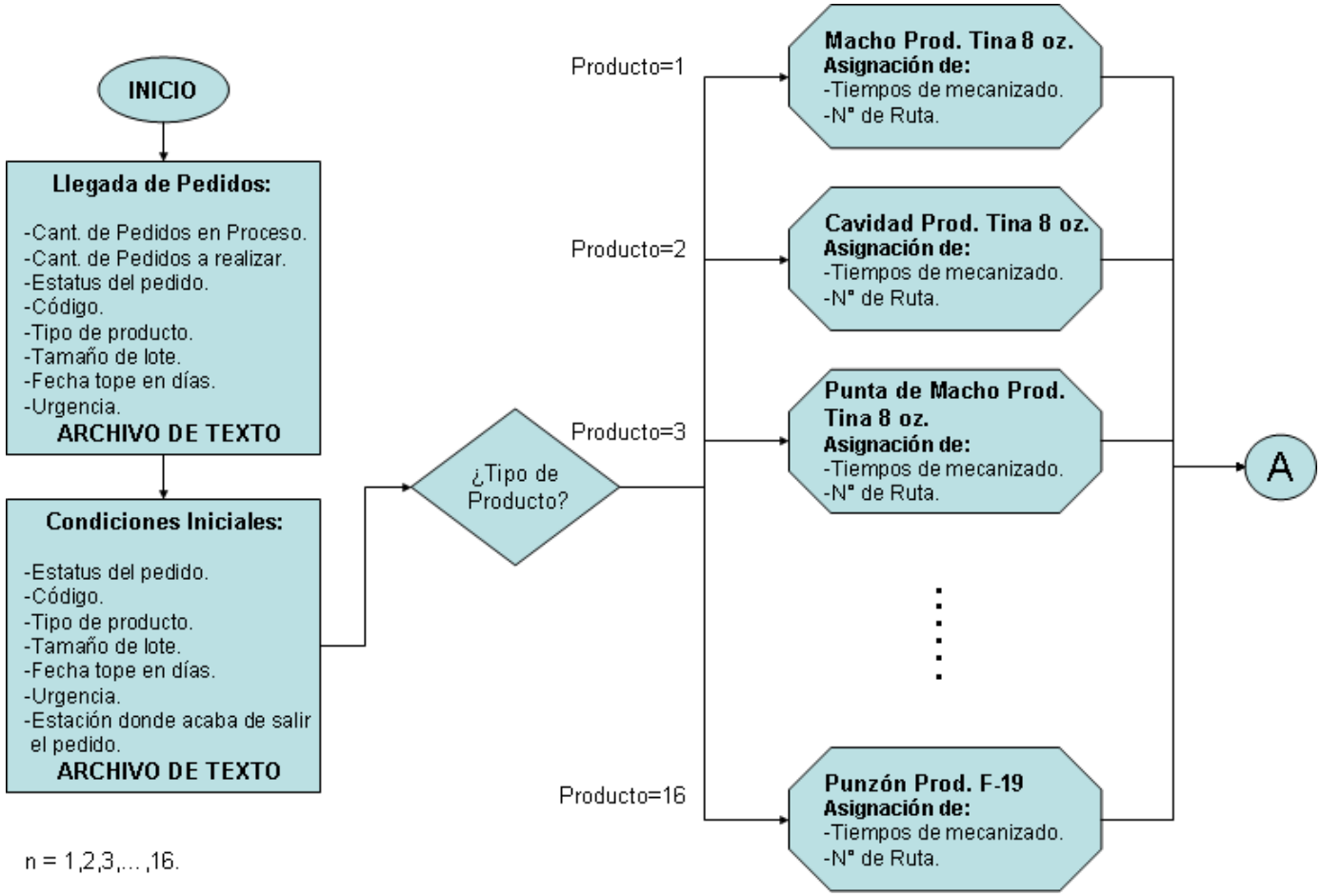
- Evaluación de los pedidos que no se han comenzado a realizar mediante cuatro reglas de prioridad distintas:

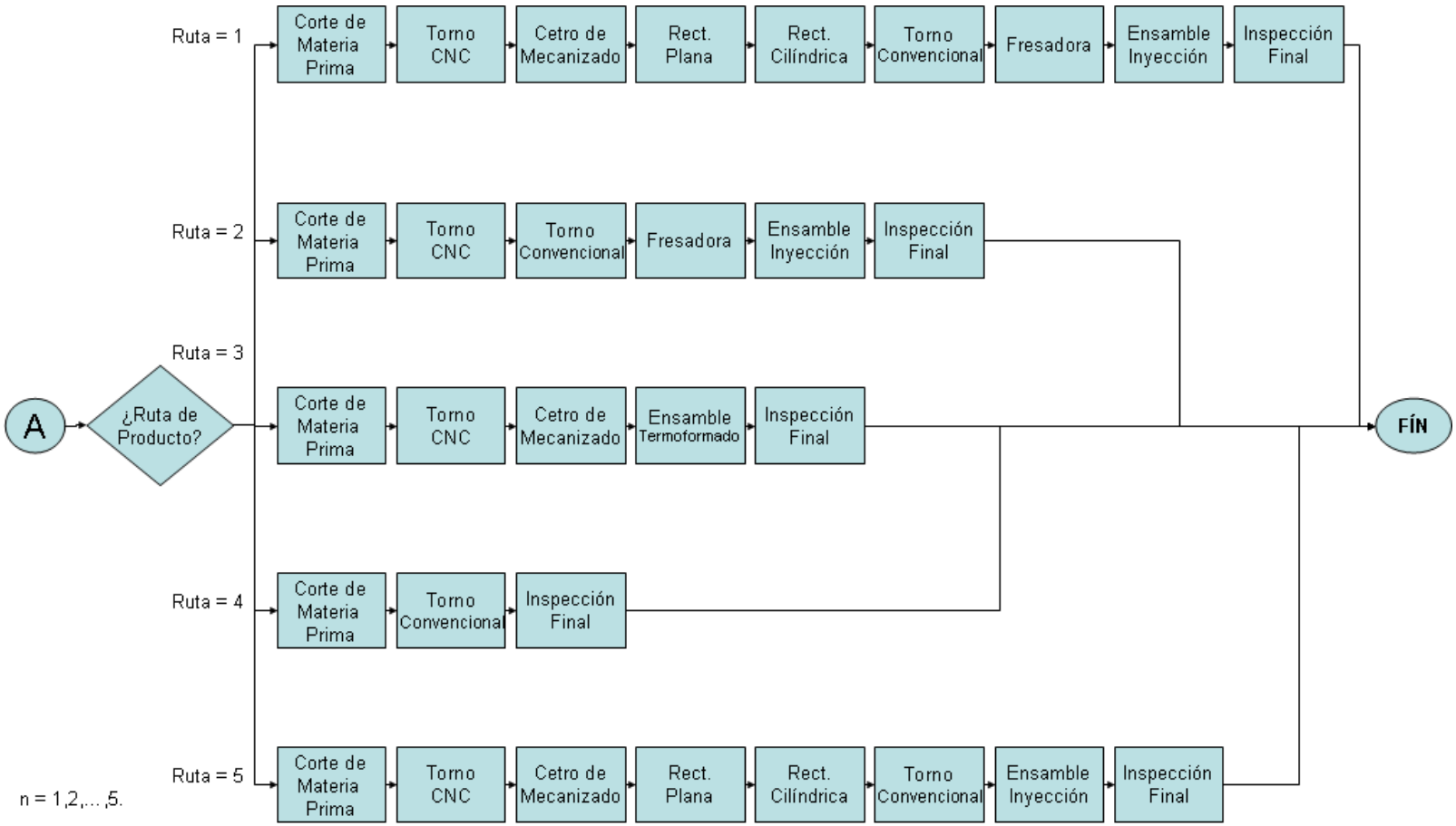
  - Urgencia.
  - Menor fecha de entrega (MFE).
  - Trabajo más corto (TMC).
  - Menor tiempo de holgura (MTH).

  Esto permitirá determinar cual regla de prioridad se ajusta al sistema en estudio, es decir, establecer con cual regla se obtiene mejor nivel de servicio.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de las actividades a simular.

Figura Nº 6. Diagrama de Flujo de Actividades a Simular.




Ruta = 1
Corte de Materia Prima
Torno CNC
Cetro de Mecanizado
Rect. Plana
Rect. Cilíndrica
Torno Convencional
Fresadora
Ensamble Inyección
Inspección Final
Ruta = 2
Corte de Materia Prima
Torno CNC
Torno Convencional
Fresadora
Ensamble Inyección
Inspección Final
Ruta = 3
A
¿Ruta de Producto?
Corte de Materia Prima
Torno CNC
Cetro de Mecanizado
Ensamble Termoformado
Inspección Final
FÍN
Ruta = 4
Corte de Materia Prima
Torno Convencional
Inspección Final
Ruta = 5
Corte de Materia Prima
Torno CNC
Cetro de Mecanizado
Rect. Plana
Rect. Cilíndrica
Torno Convencional
Ensamble Inyección
Inspección Final
n = 1,2,... ,5.

4.4 SUPUESTOS A CONSIDERAR

- Los Centros de Mecanizado, Tornos CNC, Tornos Convencionales, Fresadoras y Rectificadoras Cilíndricas tienen entre sí la misma capacidad de producción.

- Las piezas se mueven en lotes a través de la planta, es decir, un lote completo debe ser terminado en cada estación para pasar a la siguiente. Solo se mueven de manera individual en las áreas de inspección (inspección pre-temple, chequeo de dureza, inspección final).

- Siempre hay existencia de materia prima en el almacén para cumplir con los requerimientos de producción.

4.5 DIAGRAMA Y EXPLICACIÓN DEL MODELO

A continuación se muestra y explica el modelo construido para determinar la secuencia de producción en el taller de la División Metalmecánica. Para ser explicado, este es separado en sus partes, introducción de rutas de producción al modelo, archivos de entrada (interacción con el usuario), lectura de cantidad de pedidos, condiciones iniciales, pedidos a secuenciar y la planta.

4.5.1 Introducción de Rutas de Producción al Modelo

Los productos se mueven a través del sistema según rutas establecidas, estas fueron introducidas al modelo por medio de la Tabla Sequence

(Secuencia) que se encuentra ubicada en los nodos de Advanced Transfer (Transferencia Avanzada), siguiendo las rutas de producción.

Las ventanas mostradas en las Figuras Nº 7, 8, 9, 10 y 11, muestran las tablas utilizadas para la introducción de las rutas de producción, llamadas en el modelo **Sequence 1**, **Sequence 2**, **Sequence 3**, **Sequence 4** y **Sequence 5** respectivamente.

Por ejemplo, para la ruta número 1 como se mostró en la Tabla Nº 14, la secuencia que sigue es la siguiente: Corte de materia prima, Torno CNC, Centro de Mecanizado, Rectificadora Plana, Rectificadora Cilíndrica, Torno Convencional, Fresadora, Ensamble Inyección y Salida. Por lo tanto, la información es ingresada en ese orden y según el nombre de la estación, como se muestra a continuación.

Figuras Nº 7. Ventana de Ruta 1 (Sequence 1)

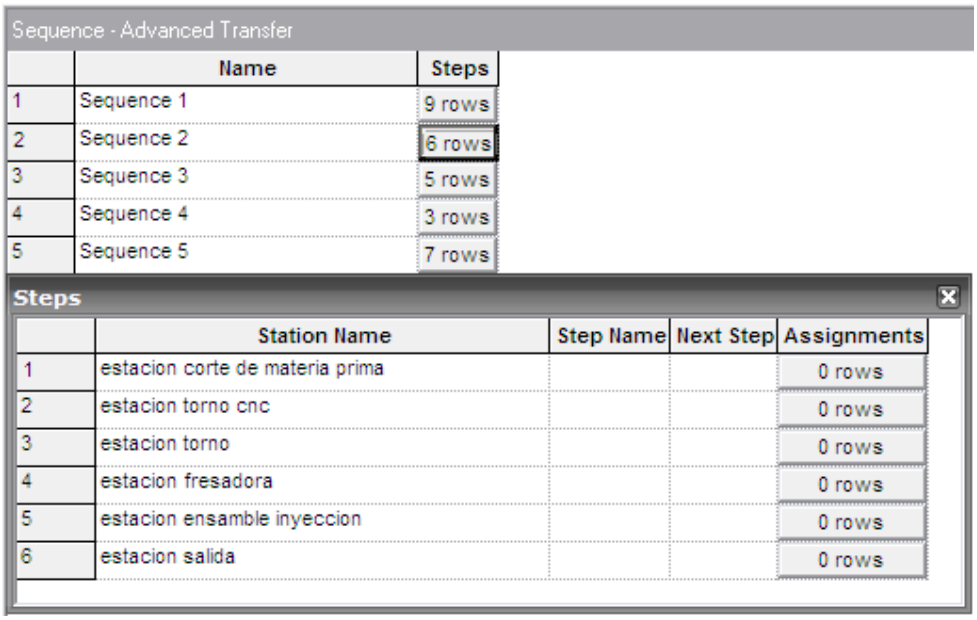
Sequence - Advanced Transfer

	Name	Steps
1	Sequence 1	9 rows
2	Sequence 2	6 rows
3	Sequence 3	5 rows
4	Sequence 4	3 rows
5	Sequence 5	7 rows

Steps

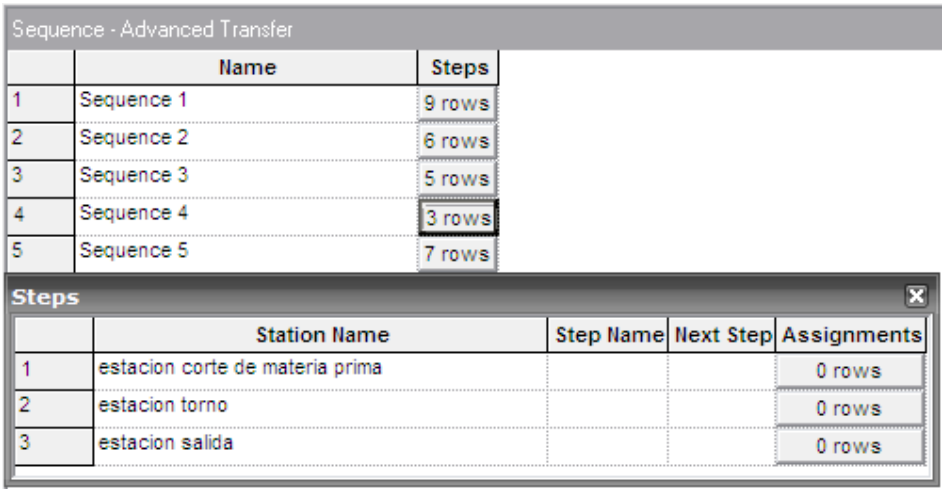
	Station Name	Step Name	Next Step	Assignments
1	estacion corte de materia prima			0 rows
2	estacion torno cnc			0 rows
3	estacion centro de mecanizado			0 rows
4	estacion rectificadora plana			0 rows
5	estacion rectificadora cilindrica			0 rows
6	estacion torno			0 rows
7	estacion fresadora			0 rows
8	estacion ensamble inyeccion			0 rows
9	estacion salida			0 rows

Figuras Nº 8. Ventana de Ruta 2 (Sequence 2)

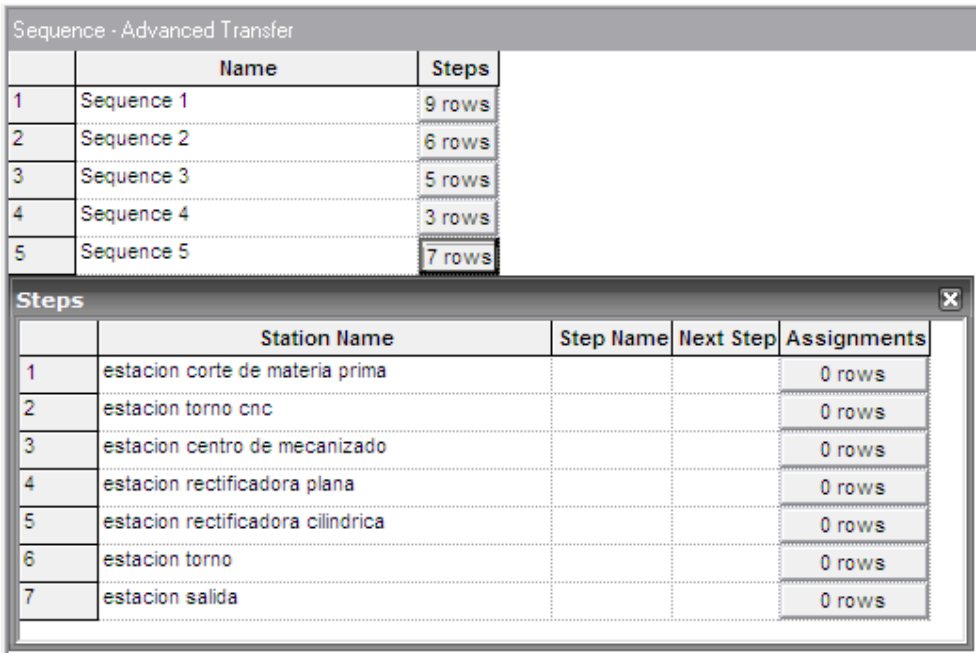


Figuras Nº 9. Ventana de Ruta 3 (Sequence 3)

Figuras Nº 10. Ventana de Ruta 4 (Sequence 4)



Figuras Nº 11. Ventana de Ruta 5 (Sequence 5)



4.5.2 Archivos de Entrada

Las variables de entrada son introducidas en el sistema por el usuario mediante tres (03) archivos de texto distintos:

- Archivo de Texto Cantidad de Pedidos, por medio de este se ingresa al sistema la cantidad de pedidos en proceso y la cantidad de pedidos a secuenciar. (Ver Figura Nº 12)

- Archivo Texto Características de Pedidos en Proceso, mediante este archivo se suministran los siguientes atributos, correspondientes a productos en proceso: status, código, tipo de producto, tamaño de lote, fecha tope en días, urgencia y la última estación donde acaba de salir el pedido. (Ver Figura Nº 13)

- Archivo Texto Características de Pedidos a Secuenciar, en este archivo el usuario ingresa las características de los pedidos a secuenciar mediante los siguientes atributos: status, código, tipo de producto, tamaño de lote, fecha tope en días y urgencia. (Ver Figura Nº 14)

Figura Nº 12. Archivo Texto Cantidad de Pedidos.

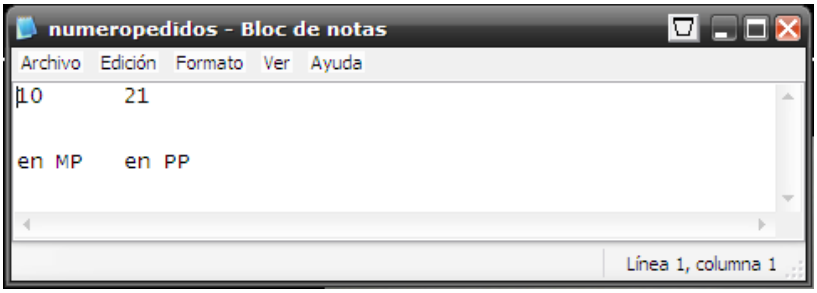


Figura Nº 13. Archivo Texto Características de Pedidos en Proceso.

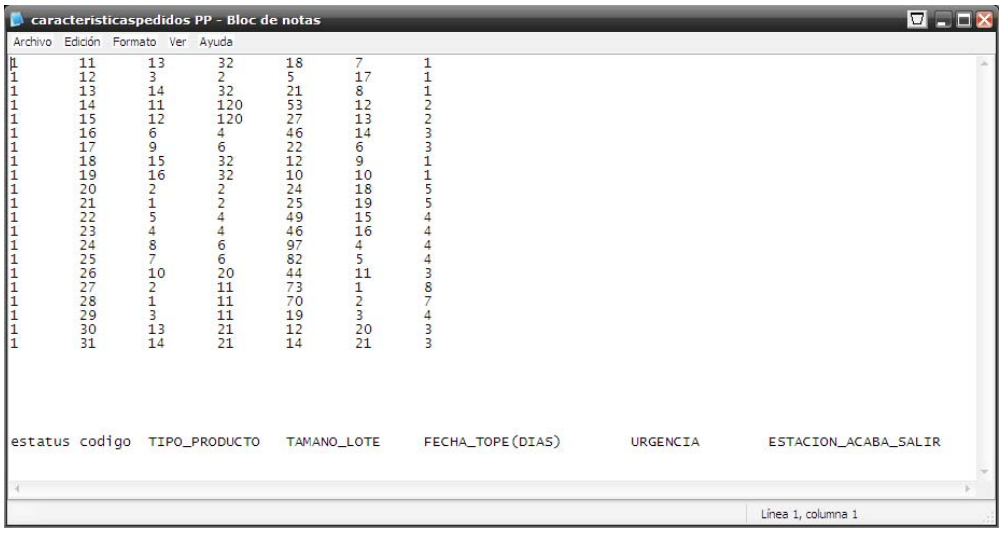
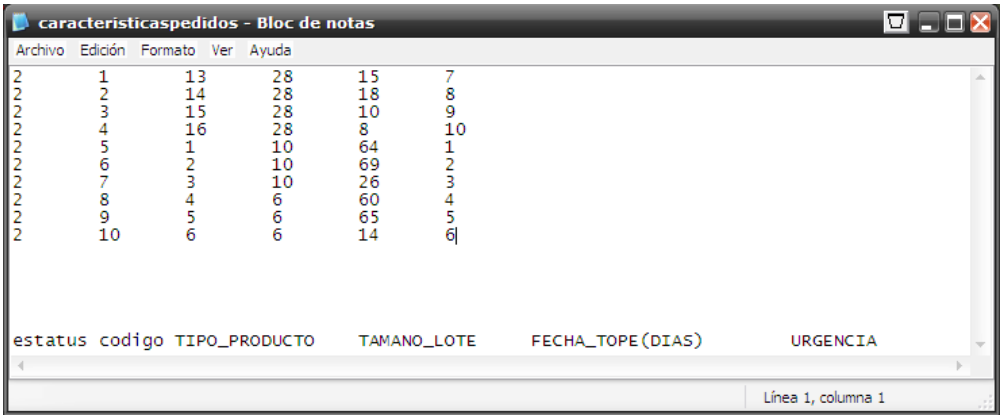


Figura Nº 14. Archivo Texto Características de Pedidos a Secuenciar.

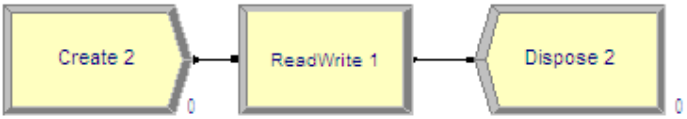


4.5.3 Lectura de Cantidad de Pedidos

El número de pedidos a secuenciar depende de las emisiones de los mismos que hayan hecho los clientes y el número de pedidos en proceso de la cantidad de pedidos que se encuentran en proceso en el taller al momento de realizar la evaluación en el modelo, por lo tanto, como fue explicado anteriormente, estos valores serán ingresados al modelo por el usuario. Para su lectura se genera en un nodo Create **(Create 2)** una

entidad que posteriormente llega a un nodo ReadWrite **(ReadWrite 1)** que lee del archivo “numeropedidos.txt” las variables ***cantidad de pedidos*** y ***pedidos en proceso***. Para finalizar en un nodo Dispose **(Dispose 2)**, donde culmina el uso de dicha entidad. (Ver Figura Nº 15)

Figura Nº 15. Diagrama de Lectura de Cantidad de Pedidos.



4.5.4 Condiciones Iniciales

Las condiciones iniciales son descritas por el usuario y leídas e interpretadas por el modelo de la siguiente manera. Para iniciar de un nodo Create llamado **Create 4** son liberadas tantas entidades como la variable ***pedidos en proceso*** indique, las mismas entran al nodo **ReadWrite 3**, el cual permite leer del archivo “caracteristicaspedidos PP.txt” las características correspondientes a los pedidos en proceso en forma de atributos de la siguiente manera: status ***(status)***, código ***(codigo)***, tipo de producto ***(producto)***, tamaño de lote ***(Q)***, fecha tope en días ***(fechaentrega)***, urgencia ***(urgencia)*** y la última estación donde acaba de salir el pedido ***(Entity.Job.Step)***. (Ver Figura Nº 16)

Posteriormente las entidades pasan por un nodo Decide **(Decide 18)** en el cual se presenta la siguiente interrogante ¿A qué producto pertenece la entidad?, dependiendo del valor que posea el atributo ***producto*** la entidad se moverá por la rama de del diagrama de condiciones iniciales correspondiente, en el modelo existen dieciséis (16) ramas, debido a que se trabaja con dieciséis (16) productos distintos. (Ver Figura Nº 17)

Todas las ramas poseen las mismas características, por lo tanto, se explicará el funcionamiento de las mismas mediante la primera, correspondiente al producto Macho de Prod. Tina 8 oz. (Ver Figura Nº 18)

Inicialmente la entidad entra a un nodo Assign llamado **macho producto tina 8 CI**, en el mismo se asignan los tiempos de puesta a punto de las máquinas por donde pasará la entidad, la secuencia que seguirá el producto dentro de la planta y la figura que lo representará en el modelo. Al salir de este nodo entra al siguiente Assign llamado **tiempos macho producto tina 8 CI**, en el mismo se asignan los tiempos de mecanizado por unidad en cada centro de trabajo por el cual debe pasar el pedido.

El tercer nodo Assign de la rama llamada **Variable 1 CI** corresponde a un contador que se encarga por medio de la variable ***v1CI*** de contar la cantidad veces que la entidad pasa por el mismo. Luego, la entidad entra a un nodo Decide llamado **Decide 19 CI**, el mismo tiene como condición la siguiente expresión ***v1CI = Q***, de esta manera, los tiempos de mecanizado serán cargados tantas veces como piezas indique la variable tamaño de lote. Al finalizar el proceso de asignación de tiempos la entidad entra al último nodo de la rama, este es un Assign llamado **Assign 110**, en el mismo la variable ***v1CI*** es reiniciada, es decir, se le asigna el valor cero (0) nuevamente.

Posteriormente la entidad entra en un nodo Station o Estación llamado **Station 12**, esta es la estación inicial de los productos, luego entra a un nodo Route o Ruta llamado **Route 11**, el cual por secuencia ubica según el valor del atributo ***Entity.Job.Step*** a la entidad, en el paso o estación siguiente dentro de la secuencia. (Ver Figura Nº 19)

Figura Nº 16. Diagrama de Condiciones Iniciales.

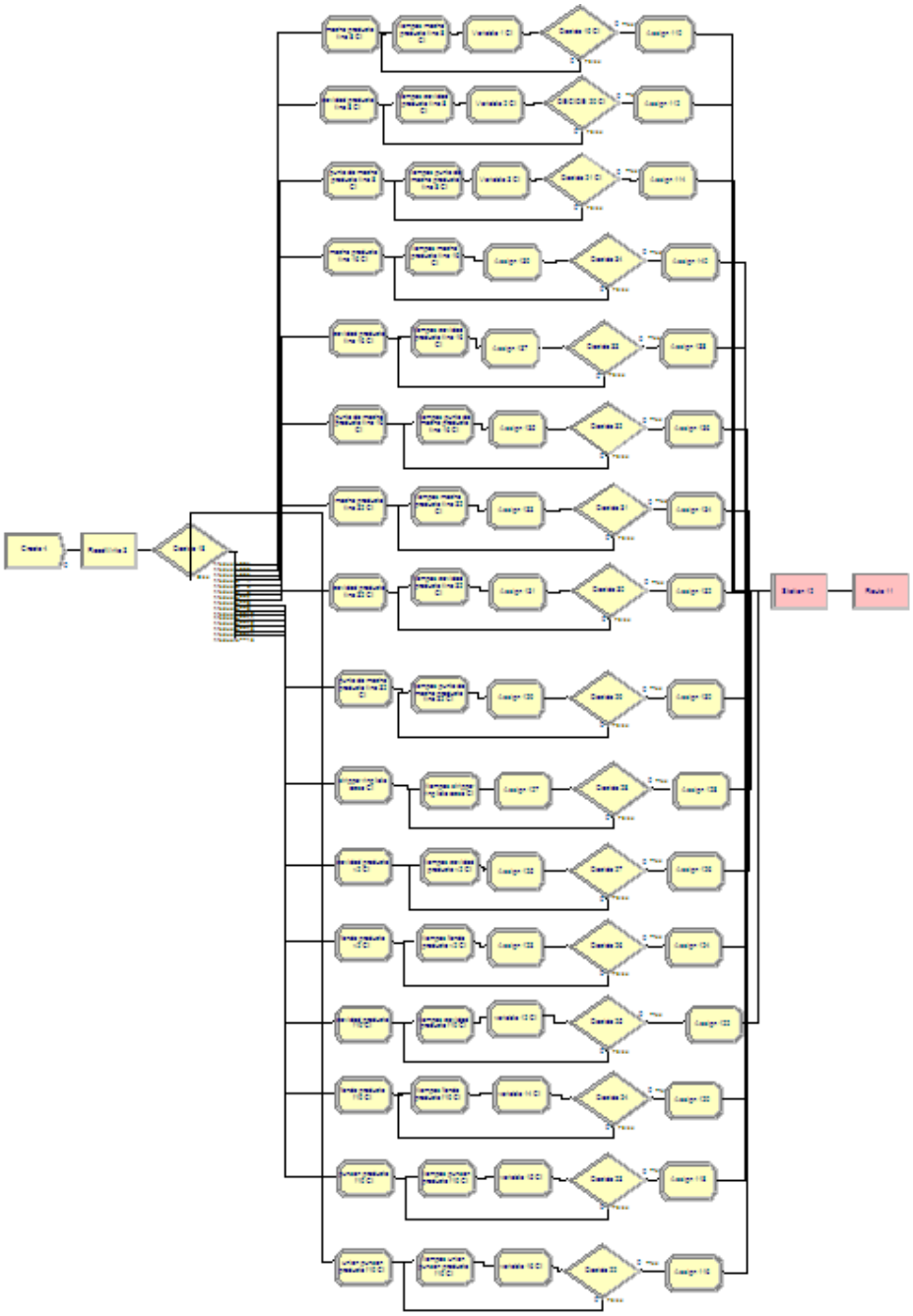


Figura Nº 17. Diagrama de Tipo de Producto.

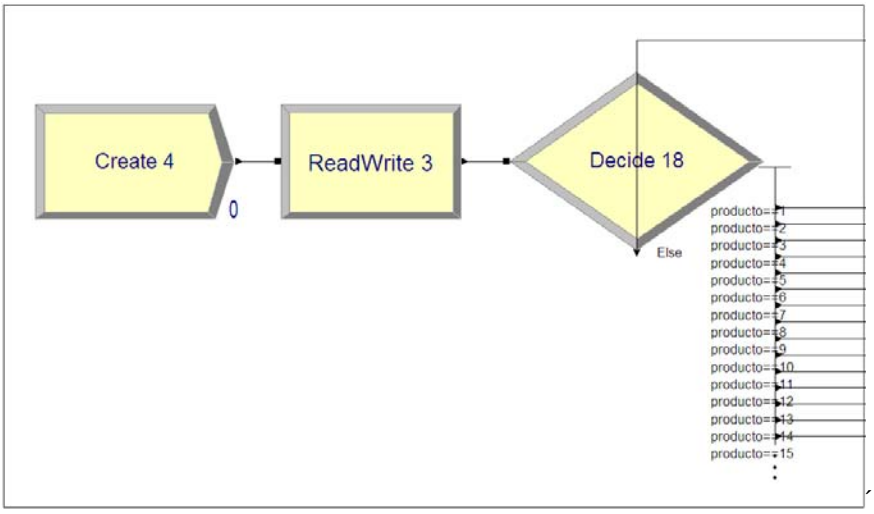


Figura Nº 18. Diagrama de Rama de Condiciones Iniciales.

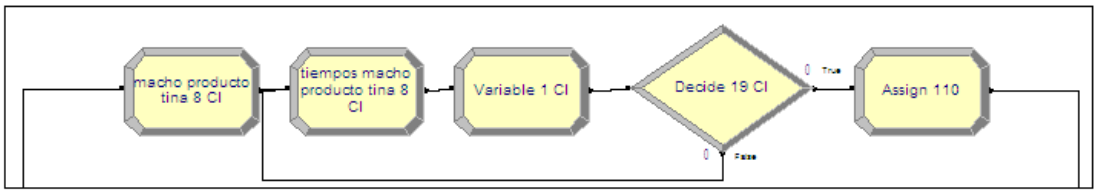
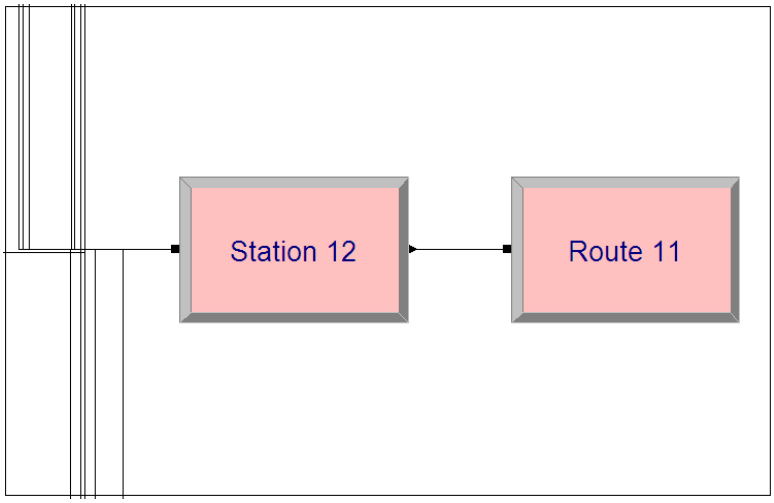


Figura Nº 19. Diagrama de Estación Inicial.



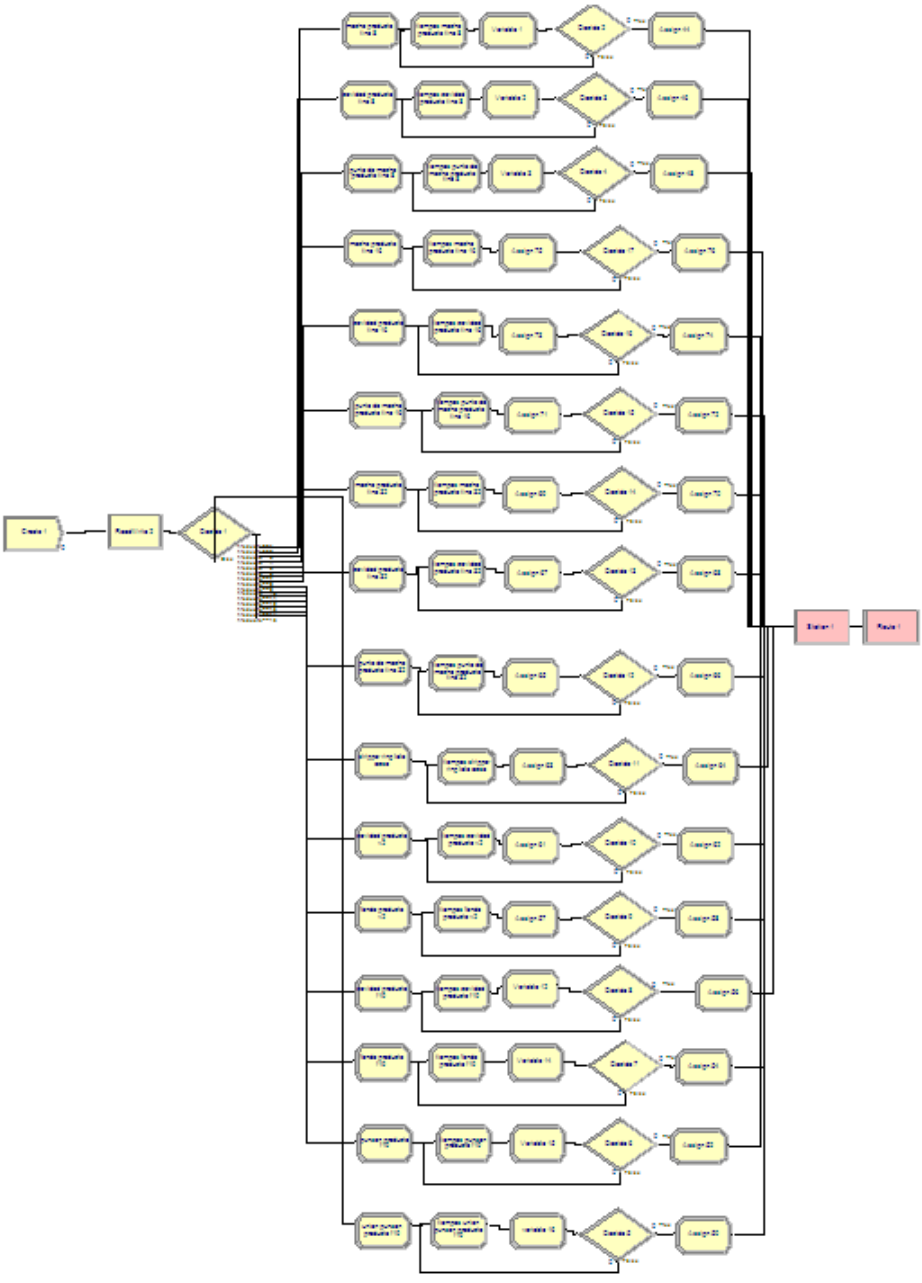
4.5.5 Pedidos a Secuenciar (pedidos que no se han comenzado realizar)

El funcionamiento de la lectura e interpretación de las características de los Pedidos a Secuenciar que son suministradas por el usuario, se realiza de la misma manera que el de las Condiciones Iniciales, solo que existen cambios en el nombre de variables, nodos y archivo de lectura.

Se inicia con un nodo Create llamado **Create 1**, donde son liberadas tantas entidades como la variable ***cantidad de pedidos*** indique, las mismas entran al nodo **ReadWrite 2**, el cual permite leer del archivo "caracteristicaspedidos.txt" las características correspondientes a los pedidos a secuenciar en forma de atributos de la siguiente manera: status ***(status)***, código ***(codigo)***, tipo de producto ***(producto)***, tamaño de lote ***(Q)***, fecha tope en días ***(fechaentrega)*** y urgencia ***(urgencia)***. (Ver Figura Nº 20)

Como se dijo anteriormente esta parte se comporta de igual manera que la de Condiciones Iniciales, a excepción, de que en éste caso, los pedidos al llegar al nodo Route llamado **Route 1** son enviados a la primera estación de la secuencia que les corresponde y no a un paso específico de la secuencia como sucede en los pedidos en proceso, ya que se esta en presencia de pedidos que no se han comenzado a fabricar.

Figura Nº 20. Diagrama de Pedidos a Secuenciar.



4.5.6 La Planta

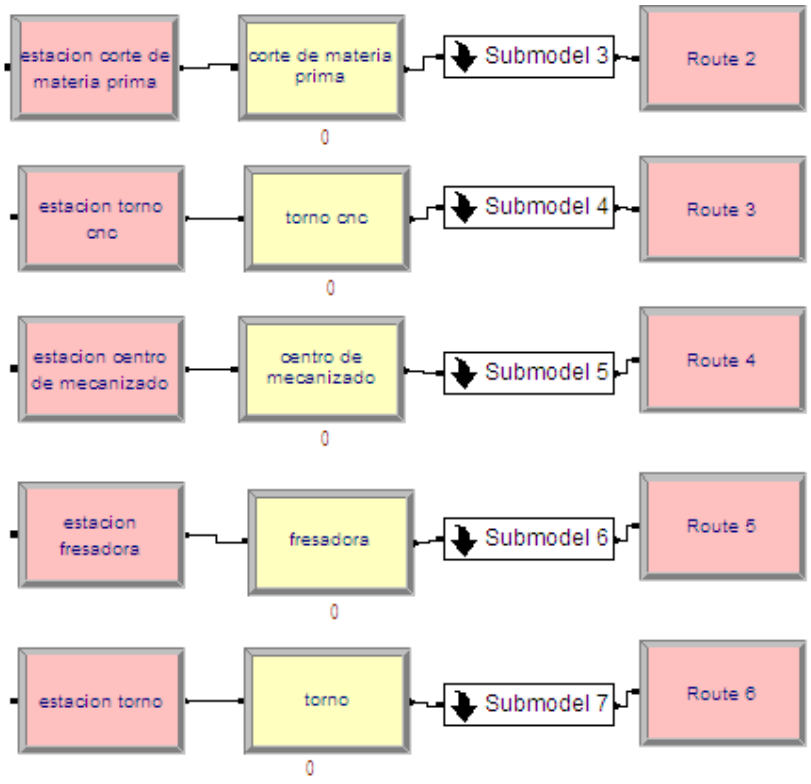
La planta está representada por diez (10) Centros de Trabajo, donde los siguientes: corte de materia prima, torno CNC, centro de mecanizado, fresadora, torno convencional, rectificadora cilíndrica, ensamble inyección y ensamble termoformado, trabajan de la misma manera y la explicación del funcionamiento de los mismos se hará por medio del Centro de Trabajo Corte de Materia Prima. Los Centros de Trabajo Rectificadora Plana e Inspección Final, poseen variaciones, por lo que su funcionamiento será descrito por separado. Los Centros de Trabajo están formados por tres (03) nodos principales, un nodo Station (Estación), un Process (Proceso) y un Route (Ruta) y por un sub-modelo de cálculo de atributos para reglas de decisión. (Ver Figura Nº 21)

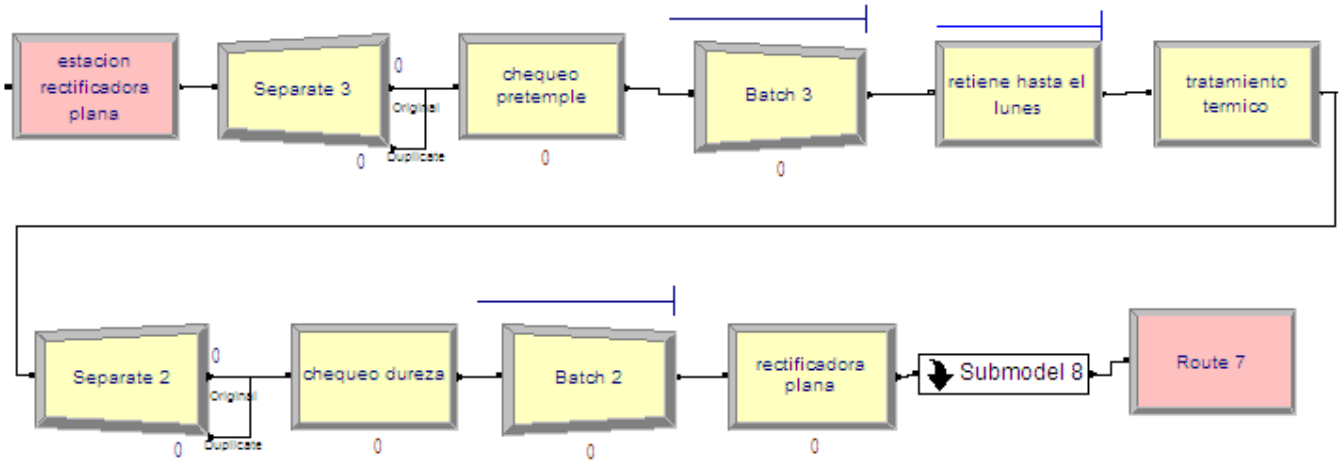
Además, el modelo cuenta con la opción de utilizar cuatro reglas de decisión diferentes: Urgencia, Menor Fecha de Entrega, Trabajo más Corto y Menor Tiempo de Holgura, esto se logra al cambiar la regla de prioridad utilizada para la formación de colas. Por ejemplo, si se desea utilizar urgencia, se dará prioridad a los pedidos más urgentes, mientras si se utiliza menor fecha de entrega, la prioridad la tendrán aquellos pedidos que tengan fecha de entrega más cercana.

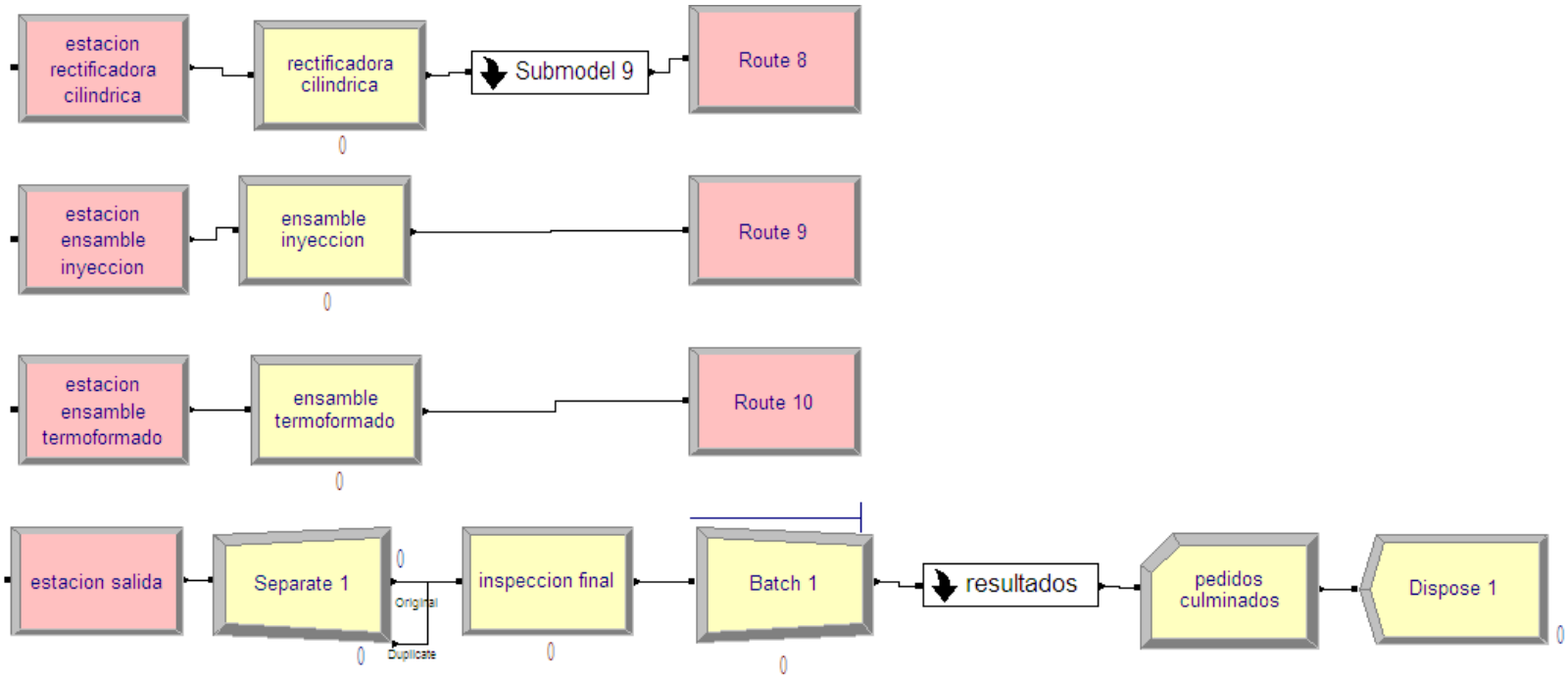
- **Centro de Trabajo Corte de Materia Prima**

  Inicialmente se encuentra un nodo Station llamado **estación corte de materia prima**, el mismo sirve para dar una ubicación lógica del centro de trabajo, luego la entidad entra al nodo Process llamado **corte de materia prima**, en el mismo se simula el proceso de mecanizado, utilizando el tiempo de fabricación según el atributo ***tiempo sierra cinta***.

Figura Nº 21. Diagrama de La Planta




estacion rectificadora plana
Separate 3
0
Original
Duplicate
0
chequeo pretemple
0
Batch 3
0
retiene hasta el lunes
tratamiento termico
Separate 2
0
Original
Duplicate
0
chequeo dureza
0
Batch 2
0
rectificadora plana
0
Submodel 8
Route 7


estacion rectificadora cilindrica
rectificadora cilindrica
Submodel 9
Route 8
estacion ensamble inyeccion
ensamble inyeccion
Route 9
estacion ensamble termoformado
ensamble termoformado
Route 10
estacion salida
Separate 1
Original
Duplicate
inspeccion final
Batch 1
resultados
pedidos culminados
Dispose 1

La cola en el Centro de Trabajo se formará según la regla de decisión elegida.

Después de realizado el proceso de mecanizado la entidad llega al **Sub-modelo 3** que será explicado posteriormente, al salir de éste entra al nodo Route llamado **Route 2**, el cual transfiere la entidad a la siguiente estación de la secuencia que le corresponde según el tipo de producto (Ver Figura Nº 22.

Figura Nº 22 Diagrama de Centro de Trabajo General de La Planta.

Por ejemplo, si estamos en presencia de un pedido de producto número 15 (Punzón Producto F-19), el cual posee la ruta número 5, al salir de la estación corte de materia prima el pedido se transfiere a la estación Torno CNC. (Ver Tabla Nº 15).

Tabla Nº 15. Secuencia correspondiente a Ruta 5.

Ruta	Estación
5	1. Corte de materia prima. **2. Torno CNC.** 3. Centro de Mecanizado. 4. Rectificadora Plana. 5. Rectificadora Cilíndrica. 6. Torno. 7. Ensamble Inyección. 8. Salida.

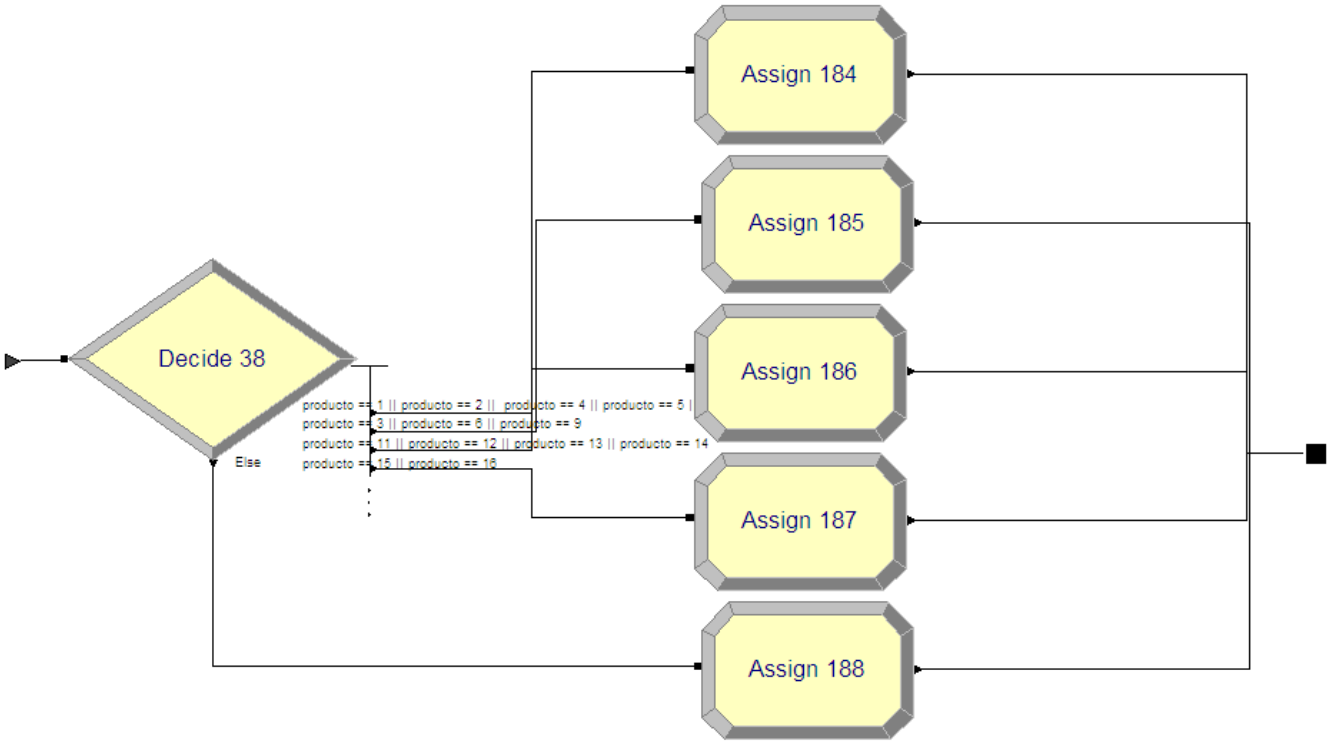
- **Sub-modelo de Cálculo de atributos para Reglas de Decisión**

En el Centro de Trabajo Corte de Materia Prima se encuentra el sub-modelo de cálculo de atributos para reglas de decisión llamado **Submodel 3**. Este sub-modelo tiene la función de calcular según sea la regla de decisión utilizada los valores que permitirán que el sistema siga las condiciones que determina la misma.

Al entrar al sub-modelo se encuentra un nodo Decide llamado **Decide 38**, el mismo sirve para determinar a cual nodo Assign se dirige la entidad según el atributo ***producto***, en cada Assign se calcula el atributo que determina la regla de decisión de la siguiente manera (Ver Figura Nº 23):

- **Para Urgencia:** no es necesario el sub-modelo, ya que la cola da prioridad a la entidad con atributo ***urgencia*** de menor valor.
- **Para Menor Fecha de Entrega:** tampoco es necesario el sub-modelo, ya que la cola da prioridad a la entidad con atributo ***fecha de entrega*** de menor valor.
- **Para Trabajo más Corto:** se calcula el atributo ***trabajo restante***, el mismo no es más que la suma, de los tiempos de proceso que faltan por realizar, y la cola da prioridad a la entidad con atributo ***trabajo restante*** de menor valor, es decir, da prioridad a los pedidos que les falte la menor cantidad de trabajo para ser terminados.

Figura Nº 23 Diagrama de Sub-modelo de Cálculo de atributos para Reglas de Decisión (Submodel 3).



- **Para Menor Tiempo de Holgura:** se realiza el cálculo del atributo ***holgura***, el mismo es la diferencia entre los atributos ***fecha de entrega*** y ***trabajo restante***, y la cola da prioridad a la entidad con atributo ***holgura*** de menor valor. En este caso, la prioridad se le da, a los pedidos con menor tiempo para ser terminados, en relación al trabajo que les falta por realizar y la fecha de entrega.

- **Centro de Trabajo de Rectificadora Plana**

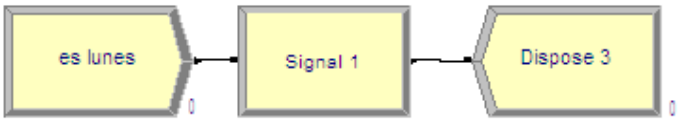
La función principal de este Centro de Trabajo esta sujeta a la realización de tres pasos adicionales, inspección pre-temple, tratamiento térmico (temple) e inspección post-temple (chequeo de dureza), por lo tanto, además de poseer los nodos descritos anteriormente, Station, Process y Route, y el sub-modelo de cálculo de atributos para reglas de decisión, incluye otros nodos explicados a continuación.

El Centro de Trabajo comienza con un nodo Station llamado **estación rectificadora plana**, que cumple la misma función descrita anteriormente, está seguida de un nodo Separate llamado **Separate 3**, que separa el lote en piezas, según el atributo ***Q*** (tamaño de lote), para poder realizar la inspección individual de las piezas en el Process llamado **chequeo pre-temple**, luego por medio de un nodo Batch llamado **Batch 3**, las piezas son agrupadas de nuevo en lotes según el atributo ***codigo***. (Ver Figura Nº 21)

Para realizar el tratamiento térmico es necesario esperar hasta el día lunes, ya que solo ese día se realiza la operación, por lo tanto, los pedidos esperan mediante un nodo Hold llamado **retiene hasta el**

lunes. El Hold espera una señal emitida por el nodo **Signal 1**, a su vez, esta cumple su función debido a que el nodo Create llamado **es lunes** que la precede, libera una entidad cada seis (06) días. (Ver Figura Nº 24). El tratamiento térmico tiene una duración de una semana, el cual es simulado mediante un nodo Delay llamado **tratamiento térmico**.

Figura Nº 24. Diagrama de Emisión de Señal de día lunes.



Después que las piezas llegan del tratamiento térmico es necesaria una inspección post-temple, esta se realiza mediante la utilización de los nodos llamados **Separate 2**, **chequeo de dureza y Batch 2**, estos nodos funcionan de igual manera que en el proceso de inspección pre-temple.

Finalmente, se encuentra el nodo Process llamado **rectificadora plana**, la cual mediante el atributo ***tiempo rectificadora plana*** simula el proceso de mecanizado, luego, el sub-modelo llamado **Submodel 8** realiza el cálculo de atributos necesarios para aplicar las reglas de decisión de igual manera que el **Submodel 3** y el nodo Route llamado **Route 7** se encarga de transferir el pedido a la siguiente estación.

- **Centro de Trabajo Inspección Final**

Es el último Centro de Trabajo de la planta, de igual manera que los demás centros comienza con un nodo Station llamado **estación**

salida, el cual sirve para dar ubicación lógica del mismo**.** (Ver Figura Nº 21)

Por ser un proceso de inspección esta seguido de un nodo Separate llamado **Separate 1**, un Process llamado **Inspección Final** y un Batch llamado **Batch 1,** y funciona de igual manera que el proceso de inspección pre-temple, explicado anteriormente en el Centro de Trabajo Rectificadora Plana. Luego la entidad entra al sub-modelo **resultados**, que será explicado posteriormente.

Con un nodo Record llamado **pedidos culminados** se registra el número de entidades que pasan por el mismo, es decir, se cuentan los pedidos que terminaron su proceso productivo. Como se esta en presencia de un sistema con terminación, es decir, un sistema que se detiene con la ocurrencia de un evento, el mismo se detendrá en el momento en el que el valor del contador **pedidos culminados** sea igual a la suma de las variables ***cantidad de pedidos*** y ***pedidos en proceso***, en otras palabras, se detendrá en el momento en que se hayan culminado todos los pedidos en proceso y todos los pedidos que no se habían comenzado a realizar al inicio de la simulación.

Para finalizar el centro de trabajo con un nodo Dispose de nombre **Dispose 1**.

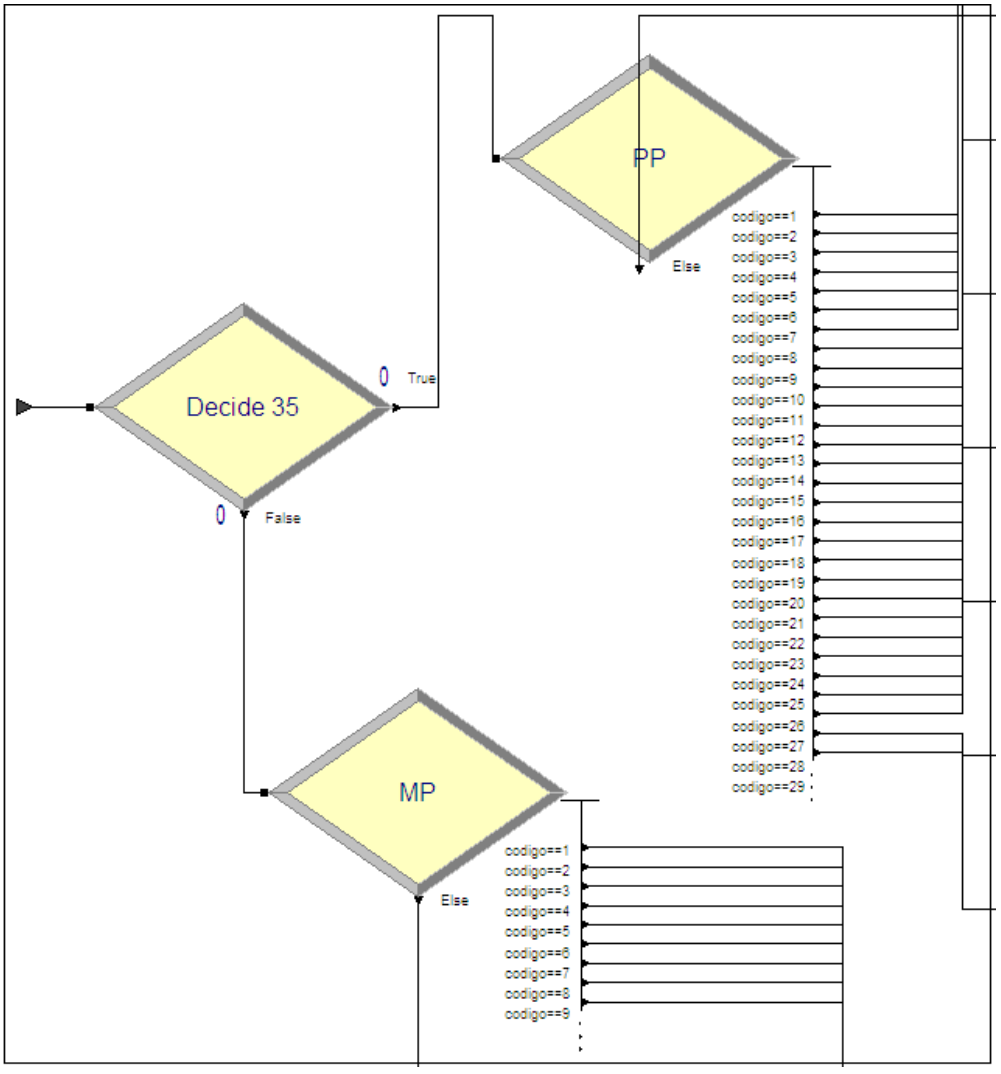
- **Sub-modelo Resultados**

Este sub-modelo permite hacer un registro de la holgura existente al culminar cada pedido. La holgura obtenida puede ser un valor positivo, negativo o igual a cero (0), si es un valor mayor a cero indica que el pedido fue culminado antes de la fecha de entrega, si es menor a cero

indica que el pedido fue culminado después de la fecha de entrega y se es igual a cero (0) indica que se cumplió con la fecha de entrega.

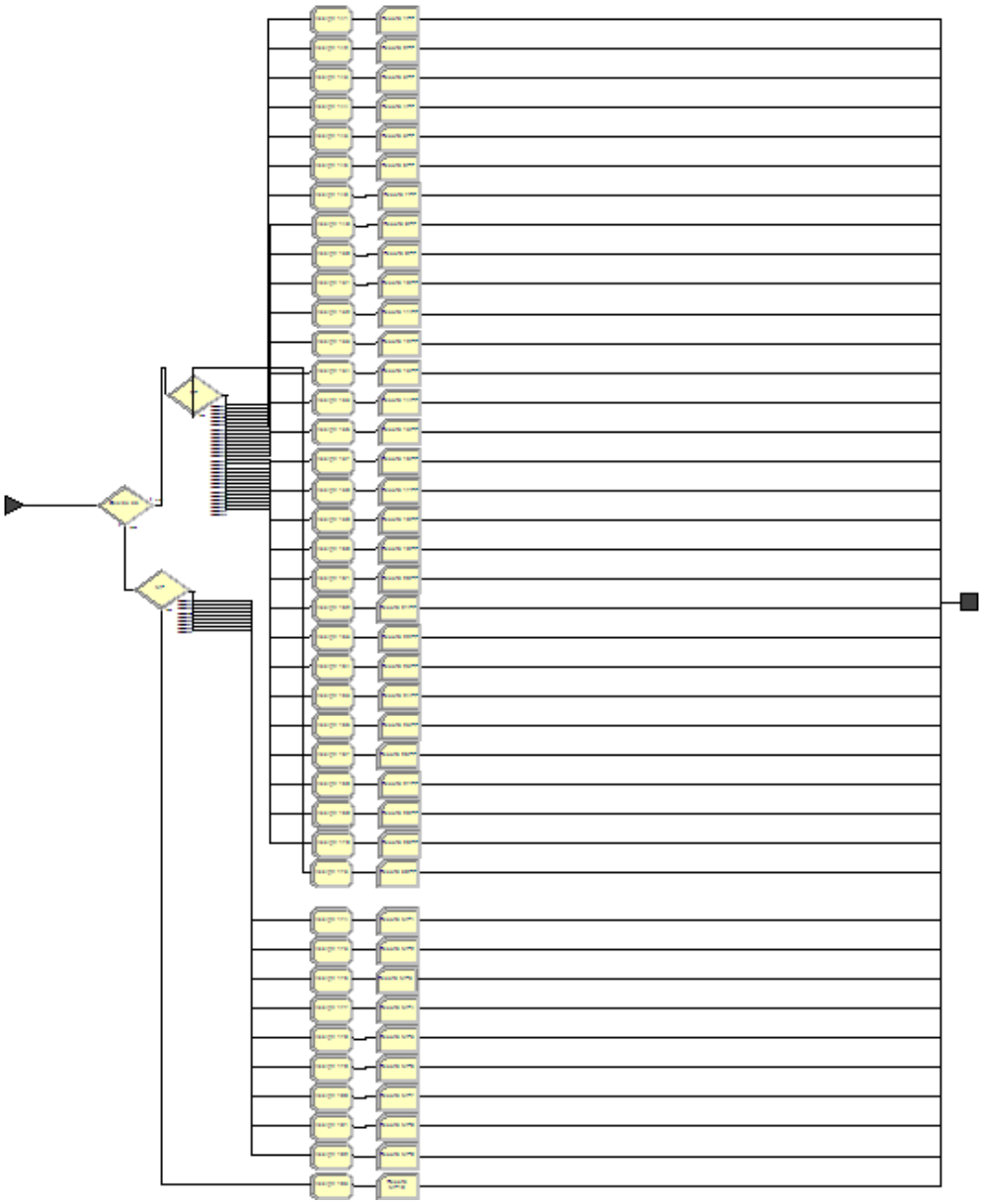
El primer nodo que posee es un Decide llamado **Decide 35**, el mismo según el atributo ***estatus*** envía las entidades hacia otros dos (02) Decide, uno de productos en proceso llamado **PP** y otro de productos a secuenciar llamado **MP.** (Ver Figura Nº 25)

Figura Nº 25. Diagrama de Sub-modelo Resultados nodos Decide.



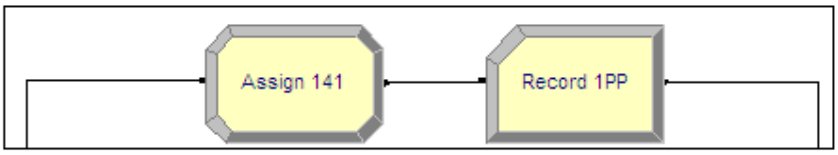
El nodo Decide **PP** ordena hasta treinta (30) pedidos mediante el atributo ***codigo*** y el nodo Decide **MP** ordena hasta diez (10) pedidos mediante el mismo atributo. (Ver Figura Nº 26)

Figura Nº 26. Diagrama de Sub-modelo Resultados.



Luego, cada uno de los pedidos pasan por un nodo Assign, donde se le asigna a un atributo el valor de la holgura, determinado como la diferencia entre la fecha de entrega y el tiempo actual (tnow), luego entra a un nodo record llamado para el primer caso **Record 1PP,** para el segundo **Record 2PP,** y así sucesivamente, donde se guarda la información referente al atributo calculado anteriormente en el Assign. (Ver Figura Nº 27)

Figura Nº 27. Diagrama de Sub-modelo Resultados nodos Assign y Record.



El nodo Decide **MP** funciona de igual manera que el **PP**. Y el primer Record es llamado **Record 1MP,** el segundo **Record 2MP,** y así sucesivamente.

4.6 VERIFICACIÓN DEL MODELO

En esta sección se hizo uso de herramientas que posee el paquete de simulación Arena para realizar la verificación del modelo. Para la misma, se realizó el seguimiento de las entidades a través del mismo, esto se realiza con la finalidad de comprobar que el modelo sigue el comportamiento real del sistema. A continuación se mencionan las herramientas utilizadas:

- **Entity Picture:** fueron asignadas diferentes imagines a cada uno de los productos que se fabrican en la planta, esto permitió seguir el recorrido de las mismas a través del sistema.

- **Animación:** por medio de la animación se pudo observar la ocupación de las máquinas-herramienta y las colas en cada Centro de Trabajo.

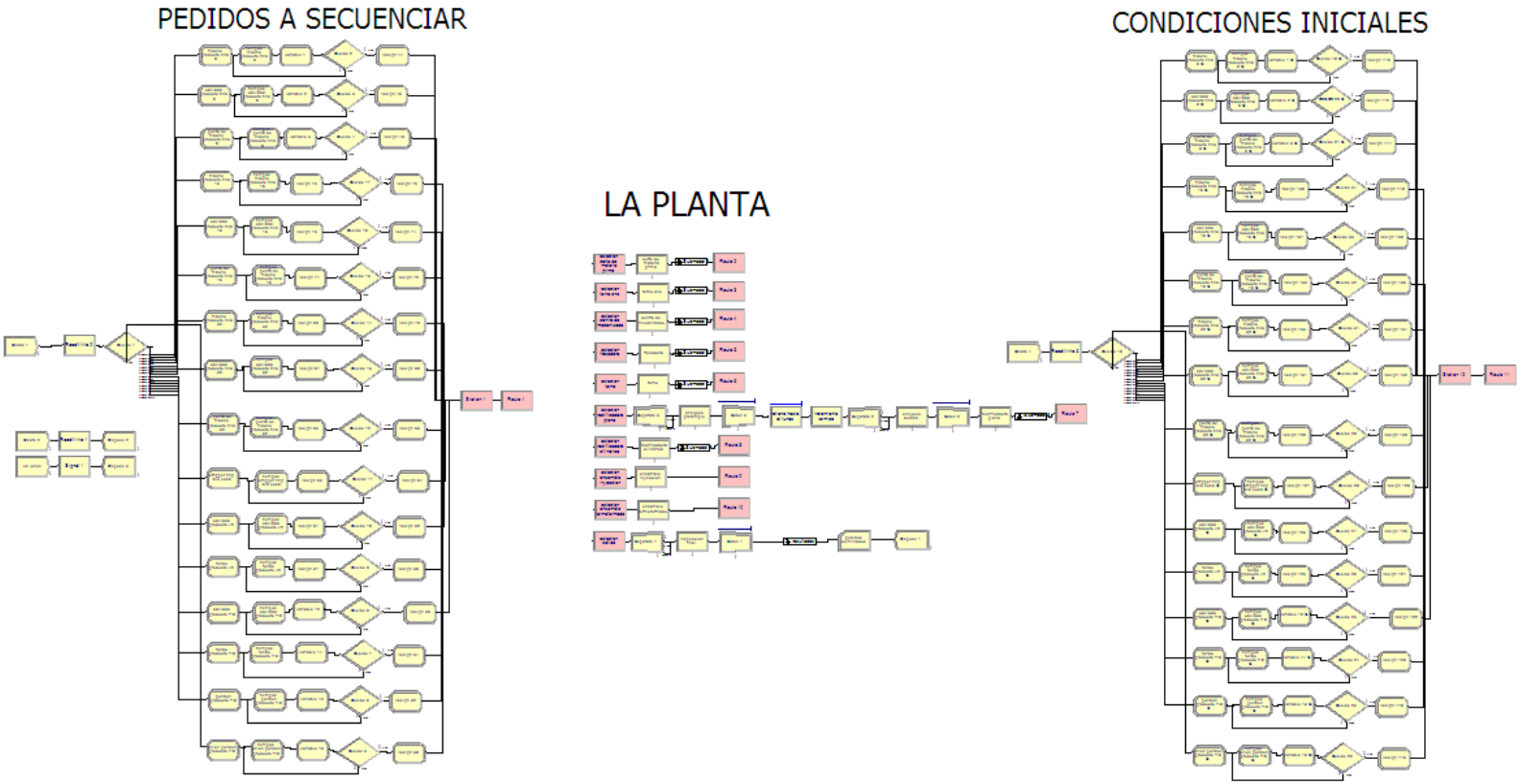
- **Variable:** por medio de uso de variables como ***pedidos culminados*** se pudo comparar valores conocidos con los arrojados por el modelo.

Luego de hacer el seguimiento de cada uno de los productos por separado y de probar con diferentes secuencias de producción, se pudo verificar que el modelo se comporta según lo esperado. Lo que permite concluir que el modelo no posee errores de programación y se puede continuar con el estudio.

Para finalizar este capítulo, se puede observar la estructura general del modelo de simulación. (Figura Nº 28)

El cual esta constituido por tres partes principales, condiciones iniciales, pedidos a secuenciar y la planta, explicados con detenimiento anteriormente.

Figura Nº 28. Diagrama General del Modelo de Simulación.



CAPÍTULO V
ANÁLISIS DE RESULTADOS

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran el cálculo del número de corridas, los resultados arrojados por el modelo mediante la utilización de las cuatro (04) reglas de decisión utilizadas en el estudio, y se realiza el análisis de los mismos. Además, se analizan otros elementos del sistema, como Lead Time, colas y recursos.

5.1 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CORRIDAS Y RESULTADOS DEL MODELO.

Después de diseñar y verificar el modelo, se realizó la determinación de la cantidad de corridas a realizar en el mismo para cada una de las reglas de decisión utilizadas en el estudio. Para luego obtener los resultados y realizar un análisis comparativo que permita determinar cual es la regla de decisión más indicada para cumplir con un nivel de servicio satisfactorio.

Los resultados arrojados por el modelo son valores de holgura, es decir, del rango existente entre la fecha de entrega estimada para el pedido y el tiempo real de realización del mismo.

El modelo fue diseñado para trabajar con una precisión de ± 1 día de holgura y un nivel de confianza de 95%. A continuación se muestran los estudios pilotos realizados con diez (10) corridas utilizando las cuatro (04) reglas de decisión usadas en el estudio.

Además, para comparar los resultados arrojados al utilizar las reglas de decisión, no basta con observar la cantidad de pedidos que cumplen y no cumplen con las fechas de entrega y maximizar el nivel de servicio, ya

que para la empresa también es de su suma importancia el minimizar costos.

Existe un costo total por incumplimiento de Fechas de Entrega (CT_{IFE}), que esta formando por un costo de almacenamiento, que se genera al ocupar espacio físico y personal para almacenar pedidos en el taller, y por un costo de atraso, que es producto de las perdidas generadas en las plantas al no tener las piezas en el tiempo estipulado. El costo total por incumplimiento de las fechas de entrega se encuentra desglosado de la siguiente manera:

$$CT_{IFE} = CDAl*DAl + CDAt*DAt \qquad \textbf{Ecuación 1}$$

donde:

CDAl = Costo por día de almacenamiento = 50 BsF.

CDAt = Costo por día de atraso = 300 BsF.

DAl = Días almacenados.

DAt = Días de atraso.

Por lo tanto, es de interés calcular el costo total por incumplimiento de las fechas de entrega y el nivel de servicio obtenido con cada una de las reglas de decisión utilizadas, para su posterior comparación y análisis.

- **Determinación de número de corridas y obtención de resultados utilizando Urgencia como regla de decisión**

  El programa Arena arroja el promedio de los valores de holgura obtenidos en las diez (10) corridas realizadas, especificando el número de pedido, el promedio y Half Width, que no es más que un intervalo de confianza, donde se interpreta que en el 95% de las corridas se obtendrán dentro de una medida que estará en el intervalo de la media obtenida ± el valor indicado. (Ver Tabla Nº 16)

Tabla Nº 16. Resultados de estudio piloto, utilizando Urgencia como regla de decisión.

Pedidos que no se han comenzado a realizar	Holgura promedio (días)
Pedido Nº 1	-11 ± 0.04
Pedido Nº 2	-9 ± 0.04
Pedido Nº 3	-5 ± 0.01
Pedido Nº 4	-9 ± 0.00
Pedido Nº 5	-10 ± 0.05
Pedido Nº 6	-1 ± 0.24
Pedido Nº 7	3 ± 0.36
Pedido Nº 8	-15 ± 0.43
Pedido Nº 9	-14 ± 0.99
Pedido Nº 10	-11 ± 0.05

Fuente: Salida del Arena

Se puede observar que todos los valores de holgura obtenidos poseen una precisión menor a ± 1 día, por lo tanto, el estudio piloto cumple con el valor de precisión requerido, por lo tanto, el número de observaciones necesarias es de **n = 10** observaciones.

De los resultados obtenidos, se obtiene la siguiente información:

- La cantidad de pedidos culminados antes de la fecha de entrega es solo uno (01), generando 3 días de almacenamiento en el taller.
- Ningún pedido cumple con la fecha de entrega estimada.
- La cantidad de pedidos culminados después de la fecha de entrega son nueve (09), que en total generan 85 días de atraso.

Nivel de Servicio

El nivel de servicio obtenido al utilizar urgencia como regla de decisión es de 10%, ya que solo uno de los diez pedidos evaluados no posee atraso en la fecha de entrega.

Costo por Incumplimiento de Fechas de Entrega

Utilizando la Ecuación 1, se determina el costo por incumplimiento de fechas de entrega.

$\mathbf{CT_{IFE_{urg}}}$ = 300*(11+9+5+9+10+1+15+14+11) + 50*(3)
$\mathbf{CT_{IFE_{urg}}}$ = 300*(85) + 50*(3)
$\mathbf{CT_{IFE_{urg}}}$ = 25500.00 + 150.00 = **25650.00 BsF.**

Con la regla de decisión Urgencia se genera un costo de 25650.00 BsF.

- **Determinación de número de corridas y obtención de resultados utilizando Menor Fecha de Entrega (MFE) como regla de decisión.**

Después de realizar las diez (10) corridas necesarias para realizar el estudio piloto, se obtuvieron los siguientes resultados para esta regla de decisión.

Tabla Nº 17. Resultados de estudio piloto, utilizando Menor Fecha de Entrega como regla de decisión.

Pedidos que no se han comenzado a realizar	Holgura promedio (días)
Pedido Nº 1	-1 ± 0.01
Pedido Nº 2	-2 ± 0.01
Pedido Nº 3	1.53 ± 0.01
Pedido Nº 4	3.56 ± 0.02
Pedido Nº 5	-18 ± 0.36
Pedido Nº 6	-13 ± 0.26
Pedido Nº 7	0.82 ± 0.01
Pedido Nº 8	-5 ± 0.30
Pedido Nº 9	-15 ± 0.05
Pedido Nº 10	-1 ± 0.28

Fuente: Salida del Arena

De igual manera que en el estudio piloto hecho anteriormente para el modelo que utiliza Urgencia como regla de decisión, la precisión de todos los valores de holgura obtenidos son menores a ± 1 día, por lo tanto, el estudio piloto cumple con los valores de precisión y nivel de confianza requeridos, de esta manera, el número de observaciones necesarias es de **n = 10** observaciones.

De los resultados obtenidos, se obtiene la siguiente información:

- La cantidad de pedidos culminados antes de la fecha de entrega son dos (02), generando 5.10 días de almacenamiento en el taller.
- Solo un (01) pedido cumple con la fecha de entrega estimada, en este caso no se genera ningún costo.

- La cantidad de pedidos culminados después de la fecha de entrega son siete (07), que en total generan 46 días de atraso.

Nivel de Servicio

El nivel de servicio obtenido al utilizar Menor Fecha de Entrega como regla de decisión es de 30%, ya que solo un pedido se termina en la fecha de entrega estimada y otros dos (02) pedidos no poseen atraso con respecto a la fecha de entrega.

Costo por Incumplimiento de Fechas de Entrega

Utilizando la Ecuación 1, se determina el costo por incumplimiento de fechas de entrega.

$CT_{IFE_{MFE}}$= 300*(1+2+19+13+5+15+1) + 50*(1.53+3.57)
$CT_{IFE_{MFE}}$ = 300*(46.00) + 50*(5.1)
$CT_{IFE_{MFE}}$ = 13800.00 + 255.00 = **14055.00 BsF.**

Con la regla de decisión Menor Fecha de Entrega se genera un costo por incumplimiento de fechas de entrega de 14055.00 BsF.

- **Determinación de número de corridas y obtención de resultados utilizando Trabajo más Corto (TMC) como regla de decisión.**

Los valores promedio de las diez (10) corridas de holgura para los pedidos a secuenciar son mostrados a continuación.

Tabla Nº 18. Resultados de estudio piloto, utilizando Trabajo más Corto como regla de decisión.

Pedidos que no se han comenzado a realizar	Holgura promedio (días)
Pedido Nº 1	2.25 ± 0.34
Pedido Nº 2	1.14 ± 0.03
Pedido Nº 3	-31 ± 0.16
Pedido Nº 4	-13 ± 0.11
Pedido Nº 5	-27 ± 4.59
Pedido Nº 6	-14 ± 0.24
Pedido Nº 7	-19 ± 0.19
Pedido Nº 8	-1 ± 1.84
Pedido Nº 9	-22 ± 0.35
Pedido Nº 10	-28 ± 0.20

Fuente: Salida del Arena

Se observa que en el pedido Nº 5, 4.59 > 1, por lo tanto, no cumple con la precisión determinada para el estudio.

Los valores de holgura del pedido Nº 5 corrida por corrida son mostrados en la Tabla Nº 18.

Luego, utilizando como herramienta el paquete estadístico Statgraphics, se realizó un análisis unidimensional de los datos, donde se obtuvieron los valores de frecuencia, media, varianza, desviación típica, mínimo, máximo y rango.

Tabla Nº 19. Holgura por corrida pedido Nº 5 de Trabajo más Corto.

Nº de corrida	Holgura
1	- 31.28
2	- 31.31
3	- 31.24
4	- 17.37
5	- 18.16
6	- 18.34
7	- 31.31
8	- 30.36
9	- 30.52
10	- 32.29

Fuente: Salida del Arena

Resultados arrojados por el paquete estadístico Statgraphics:

Resumen Estadístico para MP5

Frecuencia = 10

Media = -26,043

Varianza = 44,2899

Desviación típica = 6,65507

Mínimo = -32,29

Máximo = -17,37

Rango = 14,92

Posteriormente, se determinó la cantidad de replicas necesarias para alcanzar la precisión de ± 1 día, con valor de Media = -26.04 y Desviación típica = 6.65.

Determinación del Tamaño de la Muestra

Parámetro a estimar: media normal

Tolerancia deseada: +- 1,0

Nivel de confianza: 95,0%

Sigma asumida: 6,65

El tamaño de la muestra requerido es de **n=173** observaciones.

Se determinó que el número de observaciones necesarias para cumplir con una precisión de ± 1 día es de **n = 173** observaciones. Los resultados obtenidos con 173 corridas son los siguientes.

Tabla Nº 20. Resultados al utilizar Trabajo más Corto como regla de decisión.

Pedidos que no se han comenzado a realizar	Holgura promedio (días)
Pedido Nº 1	2.38 ± 0.02
Pedido Nº 2	1.13 ± 0.01
Pedido Nº 3	-31 ± 0.03
Pedido Nº 4	-13 ± 0.02
Pedido Nº 5	-26 ± 0.97
Pedido Nº 6	-14 ± 0.06
Pedido Nº 7	-19 ± 0.04
Pedido Nº 8	0 ± 0.40
Pedido Nº 9	-21 ± 0.05
Pedido Nº 10	-28 ± 0.04

Fuente: Salida del Arena

Como se puede observar, el pedido Nº 5 y todos demás pedidos cumplen con la precisión y el nivel de confianza establecidos para el estudio.

De los resultados obtenidos, se obtiene la siguiente información:

- La cantidad de pedidos culminados antes de la fecha de entrega es solo uno (01), generando 3.51 días de almacenamiento en el taller.
- Dos (02) pedidos cumple con la fecha de entrega estimada, por lo tanto, ninguno de los pedidos generan costos.
- La cantidad de pedidos culminados después de la fecha de entrega son siete (07), que en total generan 152 días de atraso.

Nivel de Servicio

El nivel de servicio obtenido al utilizar Trabajo más Corto como regla de decisión es de 30%, ya que dos (02) pedidos se terminan en la fecha de entrega estimada y un (01) pedido no poseen atraso con respecto a la fecha de entrega, al culminarse antes de la misma.

Costo por Incumplimiento de Fechas de Entrega

Haciendo uso de la Ecuación 1, se determina el costo por incumplimiento de fechas de entrega.

$\mathbf{CT_{IFE_{TMC}}}$ = 300*(31+13+26+14+19+21+28) + 50*(2.38+1.13)
$\mathbf{CT_{IFE_{TMC}}}$ = 300*(152.00) + 50*(3.51)
$\mathbf{CT_{IFE_{TMC}}}$ = 45600.00 + 175.50 = **45775.50 BsF.**

Con la regla de decisión Trabajo más Corto se genera un costo por incumplimiento de fechas de entrega de 45775.50 BsF.

- **Determinación de número de corridas y obtención de resultados utilizando Menor Tiempo de Holgura (MTH) como regla de decisión**

A continuación se muestran los datos de promedio de holgura obtenidos de las diez (10) corridas del estudio piloto.

Tabla Nº 21. Resultados de estudio piloto, utilizando Menor Tiempo de Holgura como regla de decisión.

Pedidos que no se han comenzado a realizar	Promedio de Holgura
Pedido Nº 1	-14 ± 0.09
Pedido Nº 2	-22 ± 4.10
Pedido Nº 3	1.37 ± 0.02
Pedido Nº 4	-12 ± 0.09
Pedido Nº 5	-1 ± 4.09
Pedido Nº 6	-7 ± 2.45
Pedido Nº 7	0 ± 0.07
Pedido Nº 8	-4 ± 5.19
Pedido Nº 9	-7 ± 3.12
Pedido Nº 10	-12 ± 0.47

Fuente: Salida del Arena.

Se observa que en el pedido Nº 8, 5.19 > 1, por lo tanto, no cumple con la precisión determinada para el estudio, por lo tanto, se procede a calcular el número de corridas necesarias para obtener resultados confiables.

Los valores de holgura del pedido Nº 8 corrida por corrida son los siguientes.

Tabla Nº 22. Holgura por corrida pedido Nº 8 de Menor Tiempo de Holgura.

Nº de corrida	Holgura
1	-12.38
2	0.44
3	-0.47
4	-15.40
5	-2.50
6	0.80
7	0.66
8	0.03
9	-16.56
10	0.72

Fuente: Salida del Arena

Utilizando como herramienta el paquete estadístico Statgraphics, se realizó un análisis unidimensional de los datos, obteniendo los siguientes resultados.

Resumen Estadístico para MP8

Frecuencia = 10
Media = -4,466
Varianza = 52,6073
Desviación típica = 7,25309
Mínimo = -16,56
Máximo = 0,8
Rango = 17,36

Luego, con valor de Media = -4.46 y Desviación típica = 7.25, se procede a determinar el tamaño de muestra para alcanzar la precisión de ± 1 día.

Determinación del Tamaño de la Muestra

Parámetro a estimar: media normal

Tolerancia deseada: +- 1,0

Nivel de confianza: 95,0%

Sigma asumida: 7,25309

El tamaño de la muestra requerido es de **n=205** observaciones.

Se determinó que el número de observaciones necesarias para cumplir con una precisión de ± 1 día y un nivel de confianza del 95% es de **n = 205** observaciones. Los resultados obtenidos al realizar las 205 corridas son los siguientes.

Tabla Nº 23. Resultados al utilizar Menor Tiempo de Holgura como regla de decisión.

Pedidos que no se han comenzado a realizar	Promedio de Holgura
Pedido Nº 1	-14 ± 0.03
Pedido Nº 2	-20 ± 0.67
Pedido Nº 3	1.36 ± 0.00
Pedido Nº 4	-12 ± 0.03
Pedido Nº 5	-1 ± 0.71
Pedido Nº 6	-6 ± 0.39
Pedido Nº 7	0 ± 0.03
Pedido Nº 8	-3 ± 0.76
Pedido Nº 9	-6 ± 0.45
Pedido Nº 10	-12 ± 0.07

Fuente: Salida del Arena.

Como se puede observar tanto para el pedido Nº 8, como para los demás pedidos la precisión obtenida es menor a ± 1 día, por lo tanto, los resultados cumplen con la precisión que exige el estudio.

De los resultados obtenidos, se obtiene la siguiente información:

- La cantidad de pedidos culminados antes de la fecha de entrega es solo uno (01), generando 1.36 días de almacenamiento en el taller.
- Solo un (01) pedido cumple con la fecha de entrega estimada, en este caso no se genera ningún costo.
- La cantidad de pedidos culminados después de la fecha de entrega son ocho (08), que en total generan 74 días de atraso.

Nivel de Servicio

El nivel de servicio obtenido al utilizar Menor Tiempo de Holgura como regla de decisión es de 20%, ya que un (01) pedido se termina en la fecha de entrega estimada y solo un (01) pedido no posee atraso con respecto a la fecha de entrega.

Costo por Incumplimiento de Fechas de Entrega

Utilizando la Ecuación 1, se determina el costo por incumplimiento de fechas de entrega.

$\mathbf{CT_{IFE_{MTH}}}$ = 300*(14+20+12+1+6+3+6+12) + 50*(1.36)
$\mathbf{CT_{IFE_{MTH}}}$ = 300*(74) + 50*(1.36)
$\mathbf{CT_{IFE_{MTH}}}$ = 22200.00 + 68.00 = **22268.00 BsF.**

Con la regla de decisión Menor Tiempo de Holgura se genera un costo por incumplimiento de fechas de entrega de 22268.00 BsF.

5.2. DETERMINACIÓN DEL CRITERIO UTILIZADO PARA DETERMINAR LA SECUENCIA DE PRODUCCIÓN.

Para determinar el criterio a utilizar como regla de decisión para la determinación de la secuencia de producción en la División Metalmecánica, se procedió a realizar un análisis comparativo de los resultados arrojados por el modelo, al utilizar las cuatro (04) reglas de decisión en estudio para los mismos pedidos.

Al evaluar los resultados obtenidos mediante el modelo, la mejor regla de decisión será aquella que arroje el mayor nivel de servicio y el menor costo por incumplimiento de fechas de entrega.

En la Tabla Nº 23 se realiza un análisis comparativo de los resultados arrojados por las cuatro reglas de decisión en estudio:

- Urgencia.
- Menor Fecha de Entrega (MFE).
- Trabajo más Corto (TMC).
- Menor Tiempo de Holgura (MTH).

Como se puede observar, el nivel de servicio obtenido con las cuatro reglas de decisión utilizadas no es satisfactorio en ninguno de los casos; el mayor nivel de servicio obtenido es de apenas un 30%.

Se puede observar que las reglas de decisión Trabajo más Corto y Menor Fecha de Entrega comparten el mayor nivel de servicio (30%) dentro de los cuatro criterios utilizados. Sin embargo, en el caso del criterio de Trabajo más Corto se incurre en un costo por incumplimiento de fechas de entrega de BsF. 45775.50, siendo este el más alto entre las cuatro reglas de decisión e indicando que los pedidos se atrasan gran cantidad

Tabla Nº 24. Cuadro Comparativo de resultados obtenidos para las reglas de decisión Urgencia, MFE, TMC y MTH.

Resultados	Urgencia	MFE	TMC	MTH
Pedidos culminados antes de la Fecha de Entrega.	1	2	1	1
Pedidos que se culminan el día de la Fecha de Entrega.	0	1	2	1
Pedidos culminados después de la Fecha de Entrega.	9	7	7	8
Nivel de Servicio (%)	10	30	30	20
CTIFE (BsF.)	25650.00	14055.00	45775.50	22268.00

Fuente: Salida del Arena.

de días, como en el caso del pedido Nº 3, que sufre un atraso de 31 días. Debido a lo expuesto anteriormente, el criterio de secuenciación Trabajo más Corto no se ajusta al sistema.

Utilizando como criterio de decisión la Urgencia podemos observar que se obtiene el menor nivel de servicio (10%), ya que solo un pedido logra culminarse antes de la fecha de entrega, además, junto a las dos opciones restantes (MFE y MTH) es la que posee mayor costo por incumplimiento de fechas de entrega. Debido a lo mencionado anteriormente, esta regla no es la indica para determinar secuencias de producción en el taller. Es importante resaltar que este es el criterio utilizado actualmente en el taller, lo que corrobora la problemática existente.

Entre las reglas de decisión MFE y MTH, la primera presenta un nivel de servicio de 30% y un costo por incumplimiento de fechas de entrega de BsF. 14055.00, mientras que MTH genera un nivel de servicio del 20% y un costo por incumplimiento de BsF. 22268.00, por poseer menor rango de días de atraso y mayor cantidad de pedidos entregados a tiempo, por lo tanto, la regla de decisión que más se adecua a sistema es la de Menor Fecha de Entrega.

Por las razones descritas anteriormente, el mejor criterio de decisión para determinar la secuencia de producción en el taller de la División Metalmecánica es la de Menor Fecha de Entrega.

5.3 CALCULO DE LEAD TIME PARA PEDIDOS CRÍTICOS

Después de utilizar cuatro reglas de decisión distintas para determinar la secuencia de producción y observar que el nivel de servicio en el mejor de los casos es de apenas un 30%, se presenta la hipótesis de que puede

existir una subestimación en las fechas de entrega suministradas por los expertos. Debido a esto, se decidió realizar un estudio de Lead Time a pedidos críticos, es decir, a pedidos que posean mayor cantidad de días de retraso con respecto a las fechas de entrega.

La simulación se realizo siguiendo el criterio de Menor Fecha de Entrega, por ser la regla de decisión con la que se obtiene el nivel de servicio más satisfactorio.

Para la estimación del Lead Time se procedió a simular con condiciones iniciales un solo pedido. De esta manera se obtiene un estimado del Lead Time, o tiempo necesario desde que se realiza un pedido hasta que se obtiene el producto.

Los pedidos elegidos para la estimación de lead time son aquellos que posee mayor cantidad de días de retraso, estos son mostrados a continuación.

Tabla Nº 25. Pedidos Críticos para cálculo de Lead Time.

Pedidos que no se han comenzado a realizar	Holgura promedio (días)
Pedido Nº 5	-18 ± 0.36
Pedido Nº 9	-15 ± 0.05

Fuente: Salida del Arena.

Se simuló la fabricación del pedido Nº 5 junto a las condiciones iniciales, y luego la fabricación del pedido Nº 9 por separado y bajo las mismas condiciones, mediante el uso de los archivos de texto; y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla Nº 26. Lead Time de Pedidos Críticos.

Pedidos que no se han comenzado a realizar	Holgura promedio (días)
Pedido Nº 5	-8.00 ± 0.84
Pedido Nº 9	0.51 ± 0.65

Fuente: Salida del Arena.

Para el pedido Nº 5 correspondiente al producto Macho Tina TST-8, formado por un lote de 10 unidades le fue estimada una fecha de entrega de 64 días por parte del experto. Después de simular la producción de solo este pedido y obtener un retraso de ocho (08) días, se evidencia el uso de fechas de entrega que no pueden ser logradas en el taller, debido a los tiempos de fabricación del producto o a tiempos que pasa el pedido en cola, en este caso la fecha de entrega no debería ser 64 días, sino de un **mínimo** de 72 días, de esta manera se le daría al cliente una fecha de entrega ajustada a la realidad y el taller incrementaría su nivel de servicio y reduciría costos por incumplimiento de fechas de entrega.

En el caso del pedido Nº 9, correspondiente al producto Cavidad Tina TST-16, el tiempo estimado coincide con la fecha de entrega establecida de 65 días. Sin embargo, es importante resaltar que como se esta produciendo solo el pedido en estudio, no se toman en cuenta las demoras ocurridas debido a colas que se formarían bajo la presencia de otros pedidos, por lo tanto, la fecha **mínima** es de 65 días. De esta manera se mejoría el nivel de servicio y los costos disminuirían.

Debido a los resultados obtenidos se concluye que las fechas de entrega determinadas por el programador no son las indicadas y se recomienda realizar un estudio de Lead Time para los productos.

5.4 ESTUDIO DE COLAS Y RECURSOS

5.4.1 RECURSOS

Por medio del simulador Arena se puede observar el uso de los recursos en el sistema, en la Tabla Nº 26 se observa el porcentaje de utilización en cada uno de los mismos.

El recurso que presenta mayor utilización dentro del sistema es control de calidad y el menor es la sierra cinta.

La sierra cinta presenta el menor porcentaje de utilización ya que los tiempos de mecanizado en la misma son muy bajos y solo es utilizado al inicio de la fabricación de las piezas.

Control de calidad es el centro de trabajo que posee mayor porcentaje de utilización, esto debido a que solo dos (02) trabajadores laboran en esta área, y la misma consta de tres (03) centros de inspección por donde todas las piezas pasan al menos por uno de ellos.

En el caso de los tornos convencionales y las fresadoras, actualmente el uso de estas máquinas ha sido suplantado por la utilización de los tornos CNC y los centros de mecanizado respectivamente, por esta razón su porcentaje de utilización es mucho menor a estos.

Tabla Nº 27. Porcentaje de utilización de recursos.

Recurso	%
Centros de mecanizado	23.46
Control de calidad	65.46
Fresadoras	8.38
Rectificadoras Cilíndricas	32.35
Rectificadora plana	17.90
Sierra cinta	3.85
Tornos CNC	23.60
Tornos Convencionales	13.36
Trabajadores ensamble inyección	24.21
Trabajadores ensamble termoformado	4.11

Fuente: Salida del Arena.

5.4.2 COLAS

Las colas son una de las principales causas de retraso en la fabricación de pedidos, mediante el estudio de las mismas y evaluación de supuestos en el modelo se puede evaluar la repercusión que una acción puede tener sobre el sistema.

Actualmente, se observa que el valor crítico entre los tiempos de espera es en el centro de inspección final, el estudio del mismo también afecta el comportamiento de los centros de inspección pre-temple y post-temple (chequeo de dureza), ya que estos utilizan los mismos recursos. (Ver Tabla Nº 27)

Como acción a tomar se decidió adicionar otro trabajador al área de control de calidad, para no contratar más personal, el mismo fue retirado de un centro de trabajo con poca utilización (fresadora).

Se realizó la simulación del sistema y los resultados obtenidos son mostrados a continuación.

Tabla Nº 28. Cuadro comparativo de tiempos de espera en Centros de Trabajo antes y después de acción tomada (días).

Cola	Cola Promedio (días)	
	Antes	Después
centro de mecanizado.Queue	0.13 ± 0.02	0.13 ± 0.02
chequeo de dureza.Queue	4.20 ± 0.14	1.38 ± 0.04
chequeo pretemple.Queue	4.34 ± 0.07	1.24 ± 0.23
corte de materia prima.Queue	1.08 ± 0.01	1.08 ± 0.01
ensamble inyeccion.Queue	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.01
ensamble termoformado.Queue	0.05 ± 0.00	0.05 ± 0.00
fresadora.Queue	0.02 ± 0.02	0.01 ± 0.01
inspeccion final.Queue	10.63 ± 0.03	3.66 ± 0.03
rectificadora cilindrica.Queue	0.00 ± 0.01	0.00 ± 0.01
rectificadora plana	1.90 ± 0.05	1.26 ± 0.51
torno cnc.Queue	3.54 ± 0.02	3.53 ± 0.02
torno.Queue	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.01

Fuente: Salida del Arena.

Se obtuvo una disminución de 65.56% en la cola de inspección final, disminuyendo también los tiempos de espera en los demás centros de inspección. También se obtuvo una disminución de 33.68% en la cola de rectificadora plana, ya que esta se encuentra precedida por dos centros de inspección (inspección pre-temple y post-temple).

Este cambio en los tiempos de espera tiene repercusión en los tiempos de entrega, dichos cambios son mostrados a continuación por medio de los valores de holgura.

Tabla Nº 29. Cuadro comparativo de tiempos de holgura antes y después de acción tomada.

Pedidos que no se han comenzado a realizar	Holgura Promedio (días)	
	Antes	Después
Pedido Nº 1	-1 ± 0.01	1.53 ± 0.55
Pedido Nº 2	-2 ± 0.01	1.49 ± 0.06
Pedido Nº 3	1.53 ± 0.01	3.46 ± 0.01
Pedido Nº 4	3.56 ± 0.02	4.27 ± 0.10
Pedido Nº 5	-18 ± 0.36	-9.00 ± 0.23
Pedido Nº 6	-13 ± 0.26	-4.00 ± 0.55
Pedido Nº 7	0.82 ± 0.01	5.67 ± 0.20
Pedido Nº 8	-5 ± 0.30	4.02 ± 0.28
Pedido Nº 9	-15 ± 0.05	-6.00 ± 0.65
Pedido Nº 10	-1 ± 0.28	-1 ± 0.17

Fuente: Salida del Arena.

Como se puede observar el pedidos Nº 1, 2 y 8 se culminaron antes de la fecha de entrega, aumentando de esta manera el nivel de servicio de 30% a 60% y en los demás pedidos que presentaban retraso (pedidos Nº 5, 6, 9 y 10), aunque no logran cumplir con la fecha de entrega, dos de ellos si disminuyen los días de retraso, logrando que el costo por incumplimiento de las fechas de entrega descienda de BsF. 14055.00 a BsF. 7022.00, lo que representa una disminución del 50.03% del valor actual.

Después de realizado el estudio se concluye, que la regla de decisión para determinar la secuencia de producción en la División Metalmecánica es la de Menor Fecha de Entrega, y que haciendo cambios estratégicos en el taller se pueden producir cambios significativos en el nivel de servicio.

CONCLUSIONES

- La secuencia de producción puede ser determinada por medio de la simulación de eventos discretos, ya que se puede representar el comportamiento del sistema y evaluar diferentes pedidos.

- Para resolver el modelo son necesarias las variables llamadas tiempos de fabricación, estas determinan la duración de las actividades en cada centro de trabajo, dichas variables son: tiempos de maquinado, tiempo de tratamiento térmico, tiempos de puesta a punto y tiempos de inspección.

- Para alimentar las condiciones iniciales y las características de los pedidos que no se han comenzado a realizar al modelo, se utilizan las variables mencionadas a continuación: status, código de pedido, tipo de producto, tamaño de lote, fecha tope en días (fecha de entrega), urgencia y la última estación donde acaba de salir el pedido, esta última, solo para las condiciones iniciales.

- Para determinar el criterio de decisión a utilizar para obtener las secuencias de producción en el taller de la División Metalmecánica, se procedió a simular cuatro reglas de prioridad distintas, urgencia, menor fecha de entrega, trabajo más corto y menor tiempo de holgura, para luego realizar un análisis comparativo entre ellas y determinar cual se adecua mejor al sistema.

- Los criterios utilizados para evaluar las distintas reglas de prioridad fueron nivel de servicio y costo total por incumplimiento de fechas de entrega.

- El criterio de decisión para determinar secuencias de producción en el taller de la División Metalmecánica es la de Menor Fecha de Entrega, ya que con esta regla se obtuvo el mayor nivel de servicio 30% y el menor costo total por incumplimiento de fechas de entrega BsF. 14055.00.

- Aumentando la cantidad de recursos de control de calidad con un (01) trabajador más, se logra aumentar el nivel de servicio de 30% a 60% y disminuir un 50.03% el costo por incumplimiento de la fechas de entrega, haciendo que este valor descienda de BsF. 14055.00 a BsF. 7022.00.

- Con la presente investigación se demuestra la importancia del uso de la simulación de eventos discretos para la toma de decisiones en los procesos productivos, ya que con la misma puede reducirse el tiempo de estudio y las decisiones pueden chequearse artificialmente antes de tomar la decisión.

RECOMENDACIONES

- Para obtener resultados ajustados a la realidad de debería realizar un estudio de tiempos, de esta manera por medio de la simulación se podrá observar el comportamiento real del sistema y la estimación indicada de las fechas de entrega.

- Utilizar el modelo de simulación para la toma de decisiones en el proceso productivo, debido a que se pueden probar artificialmente las decisiones antes de ejecutarlas.

- Desde el punto de vista del investigador, utilizar la simulación como herramienta académica para recrear situaciones reales, permitiendo que el alumno interactúe directamente con problemas que se podrá encontrar posteriormente en el campo laboral.

- Utilizar como herramienta para el control de la producción Informes de Producción como los mostrados a continuación (se utilizó para la ilustración de los mismos el Producto Cavidad V-2 que sigue la Ruta 3). En el informe diario de cada pedido se registrará por turno los datos del operario, centro de trabajo, comienzo y fin de la operación, tiempo total, fecha y demoras que se puedan suscitar, mientras que con el informe de producción general se podrán comparar las tiempos planificados con los reales registrados en el informe anterior, llevando de esta manera el control de la producción.

Figura Nº 29. Informe de Producción General.

INVERSIONES SELVA

DIVISIÓN METALMECÁNICA
PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

INFORME DE PRODUCCIÓN RUTA 3 CAVIDAD PRODUCTO V-2

PROCESO:
CANTIDAD:
Nº DE PLANO:

Tiempo de Mecanizado (hr/unid.)		0.155					0.68					2.66					0.375				
Tiempo de Mecanizado Total (hr.)																					
Actividades	**Tipo**	**FI**	**HI**	**TT**	**FF**	**HF**	**FI**	**HI**	**TT**	**FF**	**HF**	**FI**	**HI**	**TT**	**FF**	**HF**	**FI**	**HI**	**TT**	**FF**	**HF**
Corte de Materia Prima	Planificada (o)																				
	Real																				
Torno CNC	Planificada (o)																				
	Real																				
Centro de Mecanizado	Planificada (o)																				
	Real																				
Ensamble Termoformado	Planificada (o)																				
	Real																				

FI: FECHA INICIO
FF: FECHA DE FINALIZACIÓN
HI: HORA DE INICIO
HF: HORA FINALIZACIÓN
TT: TIEMPO TOTAL (hr.)

Figura Nº 30. Informe de Producción Diario.

INVERSIONES SELVA

DIVISIÓN METALMECÁNICA

Planificación y Control de la Producción

INFORME DE PRODUCCIÓN DIARIO RUTA 3 CAVIDAD PRODUCTO V-2

PROCESO	PRODUCTO	CANTIDAD	N° DE PLANO	FECHA	
				Comienzo	Finalización

FLUJO DE OPERACIONES												
SECUENCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
OPERACIÓN												
OPERARIO												
C.T.												
HORA Comienzo												
HORA Finalización												
TOTAL (hr.)												
FECHA												

FLUJO DE OPERACIONES												
SECUENCIA	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
OPERACIÓN												
OPERARIO												
C.T.												
HORA Comienzo												
HORA Finalización												
TOTAL (hr.)												
FECHA												

Demoras	FI	HI	FF	HF	Total (hr)	Observaciones
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

BIBLIOGRAFÍA

- ***"Administración de la Cadena de Suministros"*** [página en Internet]; [actualizada 12 de noviembre 2002; citada 28 de abril 2008]. Disponible en: http://segmento.itam.mx

- BANKS, J; CARSON J.S y NELSON B.L. `` (1996) ***"Discrete-Event System Simulation Edition"***, Prentice-Hall, New Jersey.

- CASTRO, S. y TORTOLERO, J. (2006), "***Determinación de la Mezcla y del Tamaño de la Flotilla de Vehículos de una Empresa de Alimentos de Consumo Masivo para el Transporte de sus Productos Terminados****",* Universidad de Carabobo.

- DOMÍNGUEZ, Machuca (1995), **"*Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*"**, Editorial Mc Graw Hill, Madrid.

- FERNÁNDEZ, H y MARTÍNEZ, C. (2007), "***Determinación del Número de Unidades de Transporte Necesarias para Satisfacer la Demanda de Estudiantes en las rutas: Centro-UC y UC-Centro de la Universidad de Carabobo****",* Universidad de Carabobo.

- GARCÍA, Eduardo; GARCÍA, Heriberto y CÁRDENAS, Leopoldo (2006), ***"Simulación y análisis de sistemas con Promodel"***, Pearson Prentice Hill. 1ra edición.

- GÓMEZ, Jesús (2008), ***"Determinación de la mezcla de productos de una empresa manufacturera por medio de la simulación de Eventos discretos",*** Universidad de Carabobo.

- INGALLS R.G., ROSSETTI M.D., SMITH J.S. y PETERS B.A. (2004), ***"Ideas for Modeling and Simulation of Supply Chains with ARENA"***.

- JOINES, J.A.; BARTON R.R., KANG K. y FISHWICK P.A. (2000), ***"Product-Mix Analysis with Discrete Event Simulation"***.

- KELTON, David; SADOWSKI, Randall; SADOWSKI Deborah. (2002), ***"Simulation with ARENA"***, Mc Graw Hill, 2º Edición.

- LAW Averill; KELTON David (1991), ***"Simulation modeling and analysis",*** Mc Graw Hill, 2da Edición.

- SHANNON R.E. (1988), ***"Simulación de Sistemas. Diseño, desarrollo e implementación"***, Trillas, México.

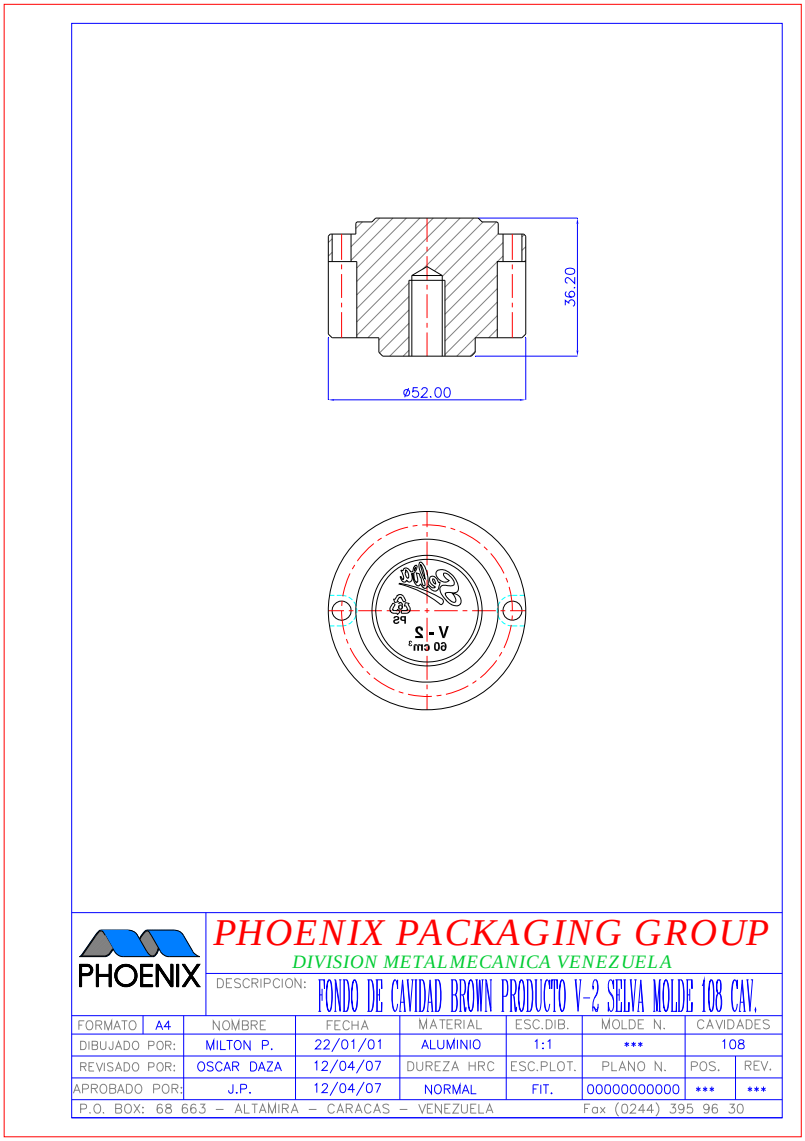
- TAMAYO y TAMATO, Mario (1997), ***"El Proceso de la Investigación Científica"***, Editorial: LIMUSA.

- TARIFA, Enrique E., ***"Teoría de Modelos y Simulación"***, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.

- VOLLMANN Thomas E.; BERRY William; WHYBARK D. Clay; JACOBS F. Robert (2005), ***"Planeación y Control de la Producción. Administración de la Cadena de Suministros"***, 5ta Edición.

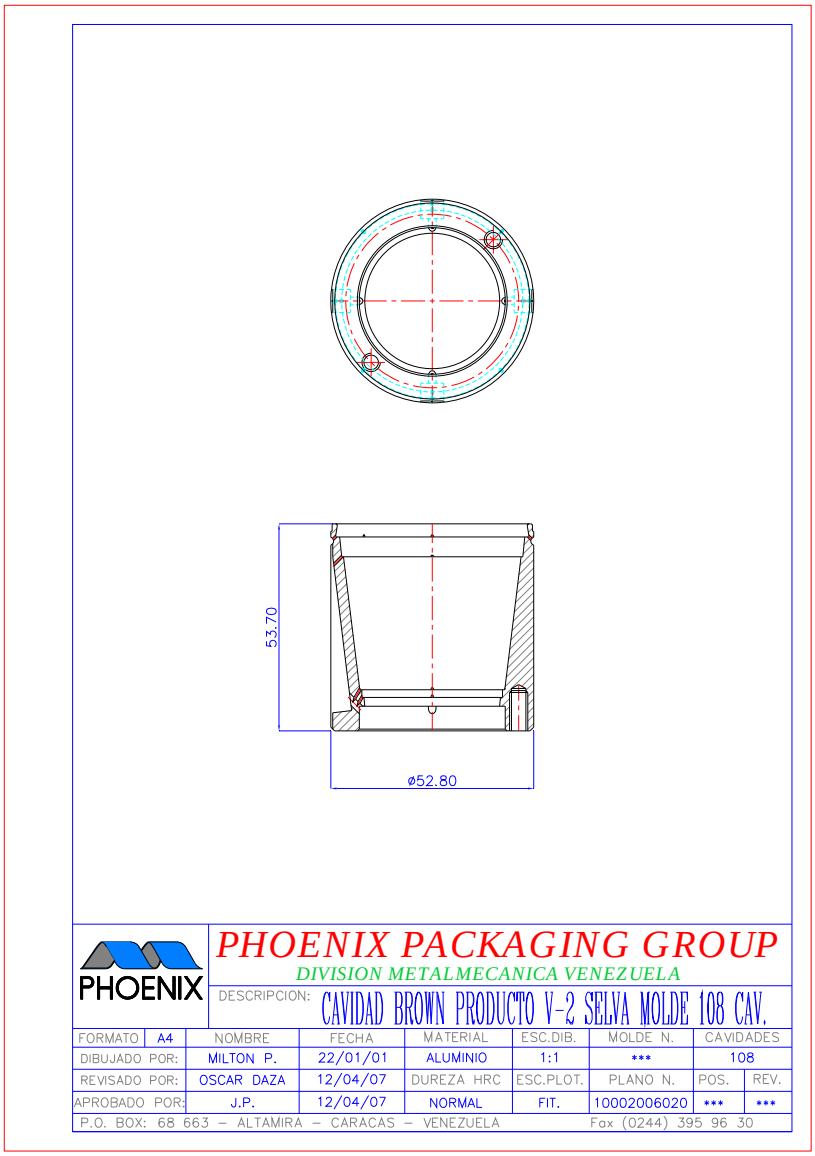
ANEXOS

ANEXO Nº 1. Fondo Cavidad Producto V-2



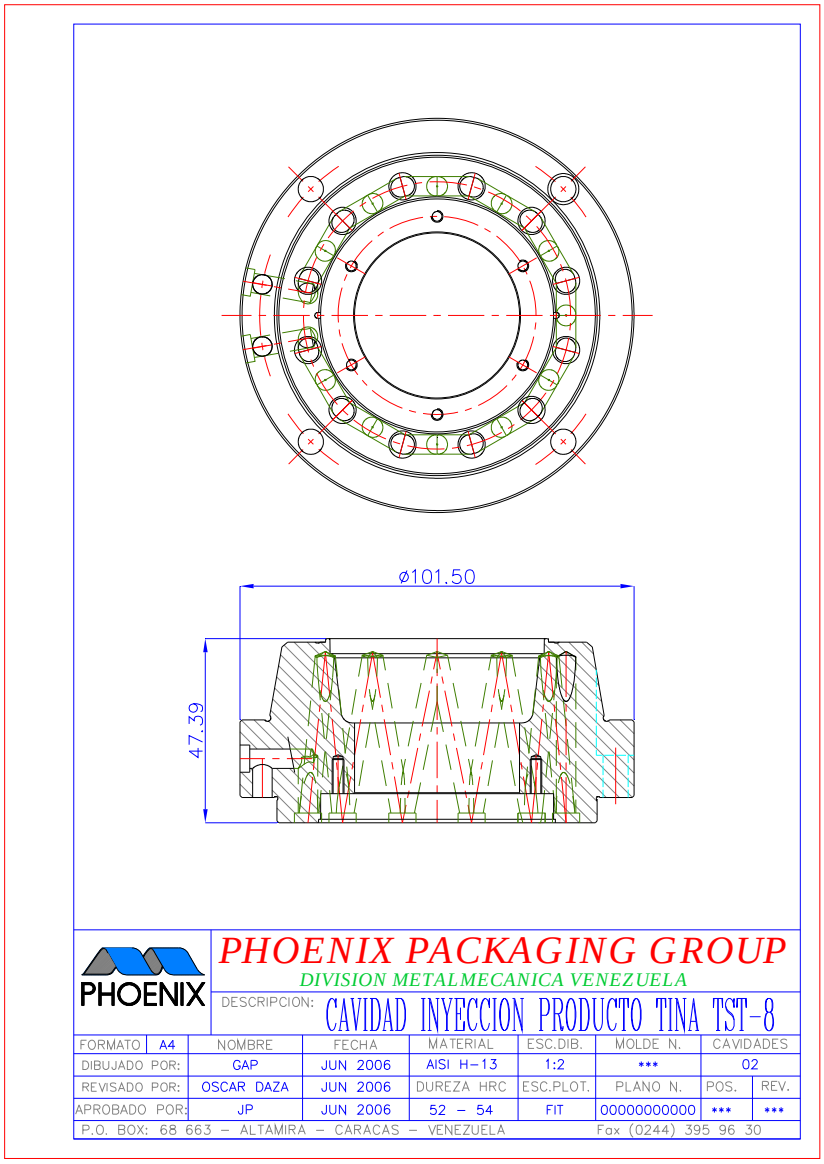
Fuente: La Empresa.

ANEXO Nº 2. Cavidad Producto V-2.



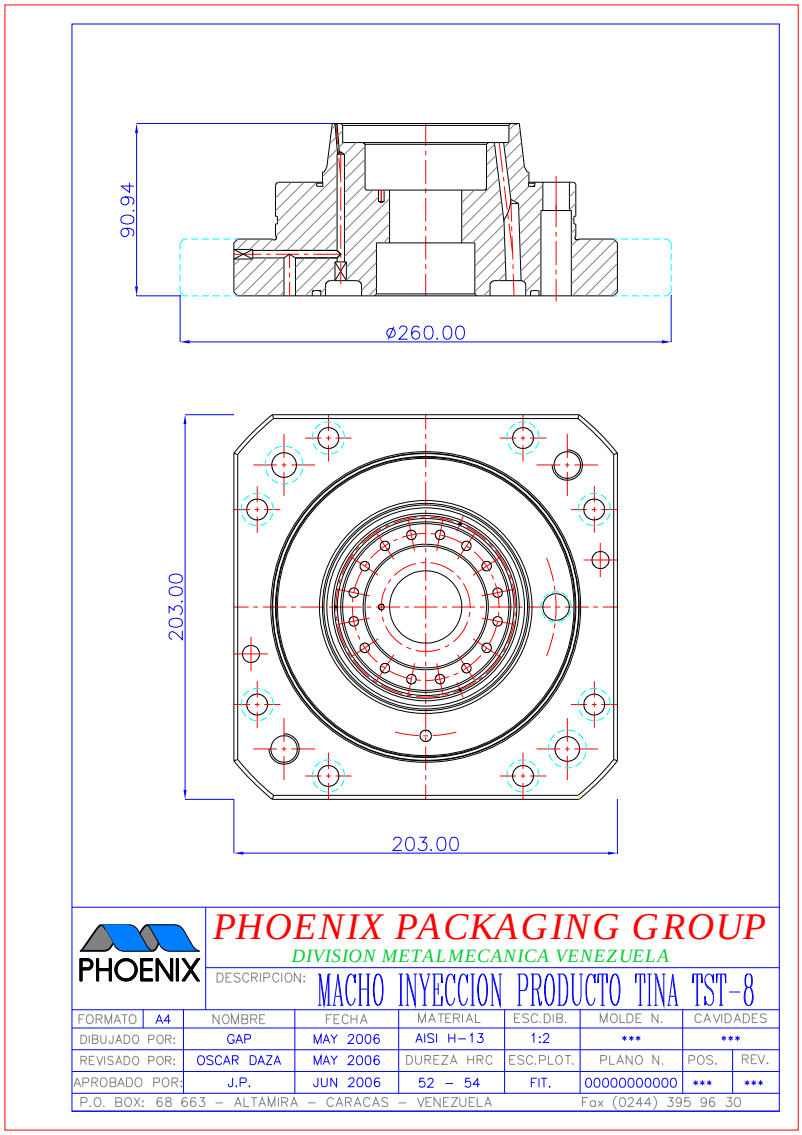
Fuente: La Empresa.

ANEXO Nº 3. Cavidad Producto TST-8.



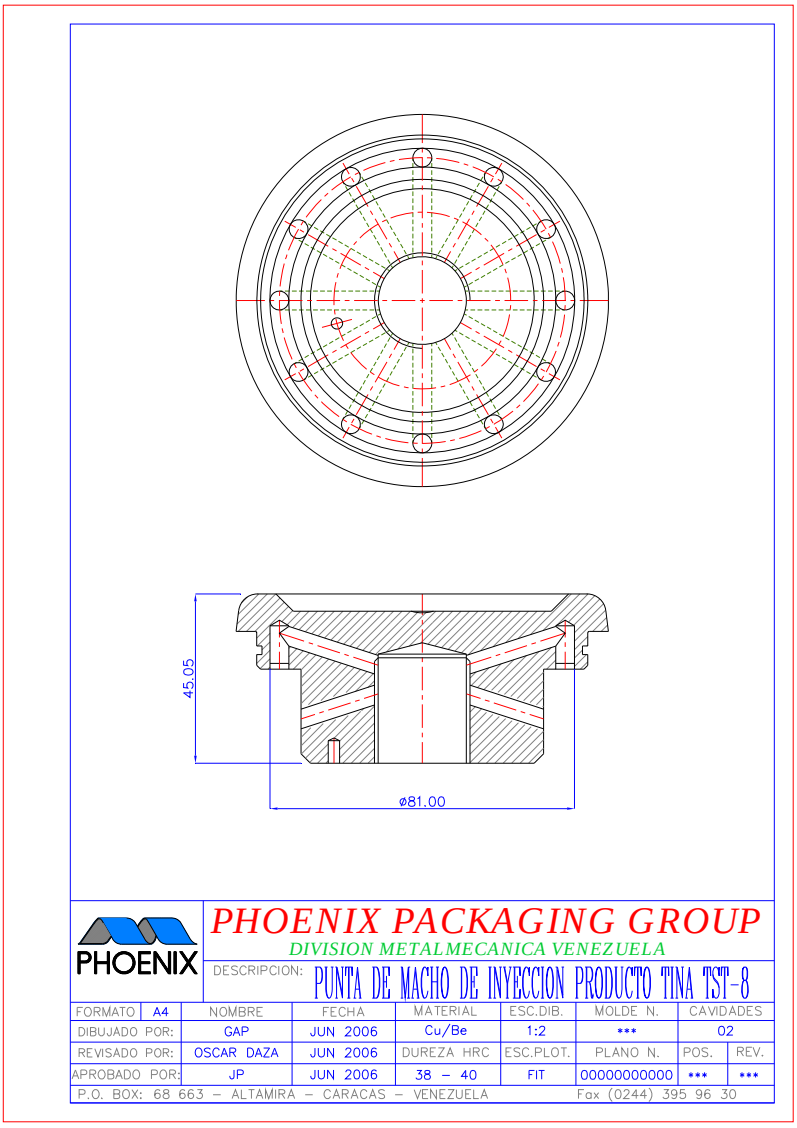
Fuente: La Empresa.

ANEXO Nº 4. Macho Producto TST-8.



Fuente: La Empresa.

ANEXO Nº 5. Punta de Macho Producto TST-8.



Fuente: La Empresa.