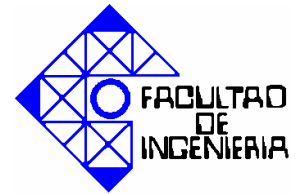


UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA DETERMINAR  
LAS SECUENCIAS DE PRODUCCIÓN QUE PERMITA CUMPLIR CON LAS  
FECHAS DE ENTREGA**

**CASO: INDES C.A.**

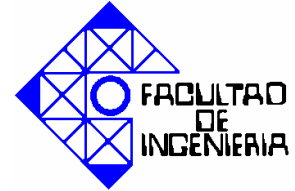
Tutor Académico:  
Ing. Enrique Pérez Pérez

Autores:  
Hernández R. Mauricio E.  
Nessy P. Laura G.

Bárbula, Mayo de 2013



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA DETERMINAR  
LAS SECUENCIAS DE PRODUCCIÓN QUE PERMITA CUMPLIR CON LAS  
FECHAS DE ENTREGA**

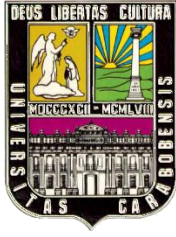
**CASO: INDES C.A.**

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo, para  
optar al Título de Ingeniero Industrial

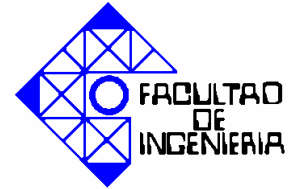
Tutor Académico:  
Ing. Enrique Pérez Pérez

Autores:  
Hernández R. Mauricio E.  
Nessy P. Laura G.

Bárbula, Mayo de 2013



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



## CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, para examinar el Trabajo Especial de Grado titulado **“CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA DETERMINAR LAS SECUENCIAS DE PRODUCCIÓN QUE PERMITA CUMPLIR CON LAS FECHAS DE ENTREGA (CASO: INDES C.A.)”**, el cual está adscrito a la Línea de Investigación DE OPERACIONES del Departamento de INVESTIGACIÓN OPERATIVA, presentado por los Bachilleres MAURICIO HERNÁNDEZ, C.I. 19.001.508 y LAURA NESSY, C.I. 20.181.221 , a los fines de cumplir con el requisito académico exigido para optar al Título de Ingeniero Industrial, dejan constancia de lo siguiente:

1. Leído como fue dicho Trabajo Especial de Grado, por cada uno de los Miembros del Jurado, éste fijó el día miércoles 15 de mayo de 2013, a las 5:00 pm, para que los autores lo defendiera en forma pública, lo que éstos hicieron, en el Salón SDC, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el Jurado, todo ello conforme a lo dispuesto en el Reglamento del Trabajo Especial de Grado de la Universidad de Carabobo y a las Normas de elaboración de Trabajo Especial de Grado de la Facultad de Ingeniería de la misma Universidad.
2. Finalizada la defensa pública del Trabajo Especial de Grado, el Jurado decidió aprobarlo por considerar que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el precitado Reglamento.

En fe de lo cual se levanta la presente acta, a 20 días del mes de Mayo del año 2013, dejándose también constancia de que actuó como Coordinador del Jurado el Tutor, Prof. Enrique Pérez Pérez

Prof. Enrique Pérez Perez  
Presidente del Jurado

Prof. Manuel Jiménez  
Miembro del Jurado

Prof. José Malpica  
Miembro del Jurado

## **AGRADECIMIENTO**

A todos aquellos involucrados en el desarrollo de nuestro trabajo especial de grado y que hicieron esto posible. A nuestras familias y a Dios por estar siempre presentes.

Agradecemos a la empresa INDES C.A. por abrirnos la puerta y brindarnos toda la información y ayuda necesaria.

A los profesores Enrique Pérez y Manuel Jiménez por guiarnos y apoyarnos siempre.

## DEDICATORIA

**A Dios.** *Por tanta salud y bendiciones.*

**A mi familia.** *Que creyeron siempre en mí y apoyaron todo lo que pudieron. En especial a mi mamá por tanta paciencia y amor.*

**A mis profesores.** *Por ser guías en esta aventura.*

**A mis amigos.** *Por el apoyo y buenos deseos.*

**A Mauricio.** *Por soportarme y quererme durante este año.*

*"If you can dream it, you can do it."  
Walt Disney*

*"Intelligence without ambition is a bird without wings."  
Salvador Dalí*

*Laura Nussy.*

## DEDICATORIA

Quisiera dedicar este logro a Dios y mi familia. Siempre han estado presentes apoyándome cada día para cumplir mis metas. En especial a mi madre, quien nunca ha dejado de creer en mí. A mi padre, que a pesar de la distancia, siempre ha estado apoyándome.

A mi segunda familia, Moreira Mangles, gracias Ana y Cesar por tanto apoyo.

A mis amigos y compañeros que saben de los sacrificios realizados para poder llegar hasta aquí.

A ti Laura, porque a pesar de las adversidades lo logramos, por tu cariño y por soportarnos el uno al otro sin volvernos locos.

A Tito 20, que a pesar que te fuiste hace muchos años ya, siempre te recuerdo con mucho cariño. Fuiste y serás siempre un gran ejemplo.

*“You must be the change you wish to see in the world” – Gandhi*

*“Your time is limited, so don't waste it living someone else's life. Don't be trapped by dogma - which is living with the results of other people's thinking. Don't let the noise of others' opinions drown out your own inner voice. And most important, have the courage to follow your heart and intuition”. – Steve Jobs*

Mauricio Hernández

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....                          | <b>3</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....                         | <b>4</b>  |
| <b>RESUMEN</b> .....                                   | <b>6</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                              | <b>7</b>  |
| <b>CAPÍTULO I. EL PROBLEMA</b> .....                   | <b>9</b>  |
| 1. EL PROBLEMA .....                                   | 9         |
| 1.1 <i>DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA</i> .....             | 9         |
| 1.1.1 EMPRESA .....                                    | 9         |
| 1.1.2 MISIÓN.....                                      | 9         |
| 1.1.3 VISIÓN.....                                      | 9         |
| 1.1.4 OBJETIVOS.....                                   | 10        |
| 1.1.5 POLÍTICAS.....                                   | 10        |
| 1.1.6 PRODUCTOS.....                                   | 10        |
| 1.2 <i>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</i> .....              | 11        |
| 1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                  | 11        |
| 1.2.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....              | 13        |
| 1.2.2.1 OBJETIVO GENERAL .....                         | 13        |
| 1.2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                    | 14        |
| 1.2.3 JUSTIFICACIÓN.....                               | 14        |
| 1.2.4 ALCANCE Y LIMITACIONES .....                     | 15        |
| <b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO</b> ..... | <b>17</b> |
| 2. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO.....                   | 17        |
| 2.1 <i>MARCO TEÓRICO</i> .....                         | 17        |
| 2.1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....           | 17        |
| 2.1.2 BASES TEÓRICAS .....                             | 18        |
| 2.2 <i>MARCO METODOLÓGICO</i> .....                    | 27        |
| 2.2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....                      | 27        |
| 2.2.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....                  | 27        |
| 2.2.3 FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....                   | 27        |
| <b>CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA</b> .....     | <b>29</b> |
| 3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....                       | 29        |
| 3.1 <i>SISTEMA EN ESTUDIO</i> .....                    | 29        |
| 3.2 <i>JORNADA LABORAL</i> .....                       | 29        |
| 3.3 <i>DESCRIPCIÓN DE RECURSOS</i> .....               | 30        |
| 3.3.1 MAQUINARIA.....                                  | 30        |
| 3.3.2 MATERIA PRIMA .....                              | 35        |
| 3.4 <i>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</i> .....               | 36        |
| 3.5 <i>PRODUCTOS ELABORADOS</i> .....                  | 38        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO IV. MODELO DE SIMULACIÓN .....</b>                           | <b>44</b> |
| 4. MODELO DE SIMULACIÓN .....  | 44        |
| 4.1 <i>SIMULADOR UTILIZADO</i> .....                                     | 44        |
| 4.2 <i>VARIABLES DE INTERÉS</i> .....                                    | 44        |
| 4.2.1 TIEMPOS DE FABRICACIÓN .....                                       | 45        |
| 4.2.1.1 TIEMPOS DE OPERACIÓN DE PRODUCTO TERMINADO .                     | 46        |
| 4.2.1.2 TIEMPOS DE PUESTA A PUNTO .....                                  | 47        |
| 4.2.2 VARIABLES DEL ARCHIVO DE ENTRADA.....                              | 47        |
| 4.3 <i>ACTIVIDADES A SIMULAR</i> .....                                   | 49        |
| 4.4 <i>SUPUESTOS A CONSIDERAR</i> .....                                  | 50        |
| 4.5 <i>EXPLICACIÓN DEL MODELO</i> .....                                  | 52        |
| 4.5.1 RECEPCIÓN DE ÓRDENES.....  | 52        |
| 4.5.2 ESTACIÓN DE CIZALLADO.....   | 62        |
| 4.5.3 ESTACIÓN DE TREFILADO .....  | 64        |
| 4.5.4 ESTACIÓN DE PRENSADO .....   | 66        |
| 4.5.5 ESTACIÓN DE PRODUCTO TERMINADO.....                                | 72        |
| 4.6 <i>VERIFICACIÓN DEL MODELO</i> .....                                 | 74        |
| <b>CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>                          | <b>77</b> |
| 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....   | 77        |
| 5.1. <i>MEDIDAS DE DESEMPEÑO</i> .....                                   | 77        |
| 5.2. <i>RESULTADOS</i> .....   | 79        |
| 5.3. <i>EVALUACIÓN DE ESCENARIOS CON EL ANALIZADOR DE PROCESOS</i> ..... | 80        |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>  | <b>85</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>   | <b>87</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                  | <b>88</b> |



## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Porcentaje de Ventas por Pieza del último año .....                     | 16 |
| Tabla 2. Características de las prensas .....                                    | 33 |
| Tabla 3. Características de la Cizalla. ....                                     | 34 |
| Tabla 4. Características de la Trefiladora .....                                 | 34 |
| Tabla 5. Características del Devanador .....                                     | 34 |
| Tabla 6. Características del tambor .....  | 35 |
| Tabla 7. Características de la Balanza .....                                     | 35 |
| Tabla 8. Características del Montacargas .....                                   | 35 |
| Tabla 9. Características del Transpaleta .....                                   | 35 |
| Tabla 10. Lista de Productos.....  | 38 |
| Tabla 11. Tiempo de Cizallado y Trefilado (Aro Metálico 319427) .....            | 46 |
| Tabla 12. Tiempo de Prensado (Aro Metálico 319427) .....                         | 46 |
| Tabla 13. Tiempos de Puesta a Punto .....  | 47 |
| Tabla 14. Tamaño de lote de piezas que utilizan devanador .....                  | 48 |
| Tabla 15. Función de atributos para entidades que utilizan devanador .....       | 56 |
| Tabla 16. Función de atributos para entidades que utilizan cizalla y trefiladora | 56 |
| Tabla 17. Resultados por regla de prioridad.....                                 | 79 |
| Tabla 18. Resultados del porcentaje de utilización de las prensas .....          | 83 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Etapas de un Estudio de Simulación .....   | 23 |
| Figura 2. Prensa Excéntrica .....  | 30 |
| Figura 3. Cizalla .....  | 30 |
| Figura 4. Trefiladora .....  | 31 |
| Figura 5. Devanador.....   | 31 |
| Figura 6. Tambor.....  | 32 |
| Figura 7. Balanza .....  | 32 |
| Figura 8. Montacargas.....   | 33 |
| Figura 9. Transpaleta .....  | 33 |
| Figura 10. Diagrama de Bloque 1.....   | 37 |
| Figura 11. Diagrama de Bloque 2.....   | 37 |
| Figura 12. Tapa Final 310010 .....   | 39 |
| Figura 13. Tapa final 381328, 381323 y 309236 .....  | 39 |
| Figura 14. Arandela Metálica 409185 y 404427 .....   | 40 |
| Figura 15. Arandela Metálica 403878 y 401383.....  | 40 |
| Figura 16. Capa Guardapolvo 360024 .....   | 41 |
| Figura 17. Capa Guardapolvo 319558 y 310035.....   | 41 |
| Figura 18. Aro Metálico 311249 .....   | 42 |
| Figura 19. Aro Metálico 319250 .....   | 42 |
| Figura 20. Aro Metálico 319427 y 319450.....   | 43 |
| Figura 21. Flujograma del proceso.....   | 51 |
| Figura 22. Archivo de texto "cantidad de pedidos.txt" .....                                  | 52 |
| Figura 23. Archivo de texto "pedidos.txt" .....  | 53 |
| Figura 24. Diagrama de lectura de cantidad de pedidos .....                                  | 54 |
| Figura 25. Diagrama de lectura de pedido .....   | 54 |
| Figura 26. Diagrama de asignación de atributos por tipo de producto .....                    | 55 |
| Figura 27. Diagrama del cálculo de regla de prioridad .....                                  | 57 |
| Figura 28. Diagrama de rutas de piezas que usan devanador y piezas que van al cizallado..... | 58 |
| Figura 29. Submodelo de lógica para asignar tiempos de puesta a punto .....                  | 59 |
| Figura 30. Diagrama del submodelo 7.....   | 60 |
| Figura 31. Diagrama de Recepción de Órdenes .....  | 61 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 32. Diagrama de simulación de la operación de cizallado.....            | 62 |
| Figura 33. Diagrama de rutas en la estación de cizallado .....                 | 63 |
| Figura 34. Diagrama de estación de cizallado.....                              | 64 |
| Figura 35. Diagrama de simulación de operación de trefilado.....               | 65 |
| Figura 36. Diagrama de rutas en la estación de trefilado .....                 | 65 |
| Figura 37. Diagrama del modelo correspondiente a la estación de trefilado .... | 66 |
| Figura 38. Sub estación "Prensa 63_1" .....                                    | 67 |
| Figura 39. Decisión de cuál paso requiere la entidad.....                      | 67 |
| Figura 40. Operación de prensado en prensa 63_1 .....                          | 68 |
| Figura 41. Diagrama de liberación del devanador.....                           | 69 |
| Figura 42. Diagrama de decisión de segundo paso .....                          | 70 |
| Figura 43. Subestación "Prensa 80_1" .....                                     | 71 |
| Figura 44. Diagrama de estación de prensado.....                               | 72 |
| Figura 45. Diagrama de la estación de producto terminado.....                  | 73 |
| Figura 46. Diagrama del modelo de simulación .....                             | 74 |
| Figura 47. Animación del Modelo de Simulación.....                             | 76 |
| Figura 48. Ventana del analizador de Procesos .....                            | 81 |
| Figura 49. Resultados del Analizador de Procesos (1era corrida) .....          | 82 |
| Figura 50. Resultados del Analizador de Procesos (2da corrida).....            | 82 |



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



## **CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA DETERMINAR LAS SECUENCIAS DE PRODUCCIÓN QUE PERMITA CUMPLIR CON LAS FECHAS DE ENTREGA**

### **CASO: INDES C.A.**

Tutor:  
Ing. Enrique Pérez Pérez

Autores:  
Hernández R. Mauricio E.  
Nessy, P. Laura G.

### **RESUMEN**

Para la empresa INDES C.A. es de gran importancia cumplir con el cliente, es por esto que desean aumentar su nivel de servicio, el cual está situado actualmente en 80%. Debido a que la empresa no cuenta con un método de secuenciación se decidió trabajar en función a cinco reglas de prioridad, las cuales son: FIFO, Holgura, Radio Crítico, Tiempo de Procesamiento más Largo y Tiempo de Procesamiento más Corto. La naturaleza del sistema en estudio ameritó la construcción de un modelo de simulación, que permita experimentar con las secuencias de producción, garantizando facilidad en la elaboración del modelo y en el análisis de los resultados, por lo que se utilizó el Software Arena. La evaluación de las reglas de prioridad se realizó con dos medidas de desempeño, Nivel de Servicio, que mide el porcentaje de pedidos entregados a tiempo, y el Costo Total en el que se incurre al entregar un pedido a tiempo o a destiempo. Al momento de analizar los resultados, se obtuvo que la regla de prioridad que mejor se adapta a los requerimientos de la empresa para uno de los meses más concurridos del año pasado utilizando 43 pedidos es Tiempo de Procesamiento más Corto, ya que generó un nivel de servicio del 98.14% y un Costo Total de 533253.63 Bs. Como un punto adicional se utilizó el analizador de procesos que incluye el Software Arena, donde se observó que el porcentaje de utilización de las prensas se encuentra por debajo del 50%, existiendo ocio en las máquinas de la estación de prensado. Se pudo concluir que el modelo arrojó resultados lógicos y veraces, que pueden ser de gran utilidad para el futuro de la empresa y que la empresa debe considerar la eliminación de 1 prensa para aumentar la utilización de las máquinas.

Palabras Claves: Simulación, Fecha de Entrega, Secuenciación, Nivel de Servicio.

## INTRODUCCIÓN

El entorno cambiante mundial ha generado la necesidad que el hombre desarrolle la capacidad de adaptarse y mejorar constantemente. Esta situación no es distinta para las empresas industriales que para sobrevivir en entornos tan competitivos como los que se viven hoy en día, han desarrollado la necesidad de emprender cambios que en algunos momentos nunca hubieran pensado posible. Todo cambio generado va acorde a las necesidades del consumidor, quien al final, es quién decide si el producto o servicio que se ofrece, es de calidad y posee todos los requerimientos necesarios.

Aunque parezca sencillo, cumplir con el cliente no siempre es una tarea fácil, ni para las empresas más pequeñas como para las grandes. Los gustos y necesidades del medio pueden ser realmente variantes, y es ahí donde está la capacidad de una empresa en saber identificar cuáles son las mejoras que deben realizarse para mantener al consumidor satisfecho con lo que se ofrece.

Para una empresa pequeña de estampados metálicos como lo es INDES C.A. el principal objetivo es la satisfacción del cliente. Este depende en gran parte de que tan buena es su programación de la producción, en donde uno de los principales factores influyentes es la secuenciación de pedidos y de acuerdo a los planes realizados y las necesidades del cliente se establecen las fechas de entrega

Sin embargo, al no contar con una herramienta adecuada para la secuenciación de los productos como lo es este caso, se dificulta el establecimiento de las fechas de entrega, generando posibles brechas entre lo que se acuerda con el cliente y lo que realmente sucede con la entrega de los pedidos.

Para contrarrestar este tipo de problemas, algunas empresas han ido un poco más allá en el campo tecnológico y se han atrevido a experimentar con herramientas de simulación. Estas herramientas permiten representar todo el proceso productivo, tomando en cuenta todos los factores necesarios que se crean son relevantes para la problemática en estudio, permitiendo así poder

identificar mejoras en el área productiva, que se traduce en mejoras en las relaciones con el cliente.

La ventaja de la simulación radica en que es una herramienta completamente computarizada que ofrece numerosas facilidades al momento de recrear la situación actual de la empresa en lo que refiere al proceso productivo. A pesar de tener ciertas restricciones, la simulación cuando es bien implementada puede generar ahorros significativos de dinero.

La finalidad de este Trabajo Especial de Grado es la construcción de un modelo de simulación, que permita aproximar la realidad productiva que se vive en INDES C.A a un modelo computarizado y poder determinar las secuencias de producción que permita cumplir con las fechas de entrega con el cliente.

Esta investigación está estructurada en un primer capítulo en dónde se habla de la empresa y el problema identificado. Un segundo capítulo referente a la metodología y bases teóricas de la investigación. En el tercer capítulo se describe detalladamente todo lo referente al proceso de producción y los recursos que intervienen en el proceso, de manera que se identifique claramente lo que se quiere modelar. Para el cuarto capítulo se explica el modelo de simulación creado. El quinto capítulo habla del análisis de los resultados y finalmente se establecen las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

## **CAPÍTULO I. EL PROBLEMA**

### **1. EL PROBLEMA**

#### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

##### **1.1.1 EMPRESA**

INDES C.A es una empresa que se dedica a la fabricación de partes automotrices, piezas para cocinas y baños con estampado metálico, la cual se encuentra ubicada en Flor Amarillo, Valencia, Estado Carabobo.

Esta empresa nace el 18 de agosto de 1974 satisfaciendo el mercado automotriz nacional e internacional en el área de estampados metálicos, contando con una gama de prensas excéntricas y un taller de matricería en el cuál se ofrece mantenimiento preventivo y correctivo de troqueles.

##### **1.1.2 MISIÓN**

“Es una empresa dedicada a la fabricación de partes automotrices, piezas para cocinas y baños con estampado metálico, capaz de satisfacer las exigencias de nuestros distinguidos clientes del sector automotriz, línea blanca y ferreterías, ofreciéndoles productos elaborados mediante un proceso de alta tecnología, de la mano de un grupo de trabajadores calificados y expertos en el área, capaces de brindar en conjunto un trabajo de excelente calidad, generando a su vez un espacio de oportunidades, aportes éticos y crecimiento laboral en función de ser una empresa socialmente responsable”.

##### **1.1.3 VISIÓN**

“Ser una empresa reconocida en el mercado nacional e internacional por la calidad de sus productos como reflejo del esfuerzo de un trabajo en equipo y el uso de los mejores recursos tecnológicos, maquinarias y materia prima para

dar respuesta oportuna y satisfactoria a las múltiples necesidades de nuestros clientes”.

#### **1.1.4 OBJETIVOS**

- Consolidarse en el mercado de partes automotrices, piezas de línea blanca y baños con estampado metálico en Venezuela.
- Incursionar en otros países de América, mediante alianzas estratégicas con empresas transnacionales del ramo automotriz para crear productos y servicios competitivos.
- Mantener el compromiso con su entorno y la sociedad en general, aportando valores éticos, cooperación y participación cuando ésta lo requiera.

#### **1.1.5 POLÍTICAS**

- Cumplir en un 100% las exigencias requeridas por el cliente al momento de la fabricación del producto.
- Culminar el producto en la fecha estipulada por el cliente.

#### **1.1.6 PRODUCTOS**

Los productos fabricados en la empresa son resultado de una serie de procesos en los que se realizan estampados metálicos y se presentan una variedad de 160 productos distintos, entre los cuales se pueden mencionar arandelas, tapas, capas guardapolvos, brackets, aros, entre otros.



## **1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la planeación y control de la producción existen diferentes aspectos que deben ser tomados en cuenta como la administración de materiales, las máquinas, el personal, los proveedores y los clientes. Sin embargo algunas de estas actividades están sujetas a variaciones debido a la naturaleza cambiante del entorno en el que se desarrolla la empresa y sus estrategias corporativas.

Una cadena de suministros es una red global de organizaciones que cooperan para mejorar el flujo de información y material entre los distintos proveedores y clientes al menor costo y mayor velocidad. El objetivo de una cadena de suministro es la satisfacción del consumidor. (Govil & Proth, 2002, p. 7).

Las decisiones que se toman desde el punto de vista de una cadena de suministro al momento de planear la producción determinarán en gran medida que tan competitiva pueda ser la empresa en el mercado. Además, dichas decisiones deben estar en concordancia con las estrategias y políticas de producción bajo la cual la organización está orientada. Hoy en día las empresas basan sus estrategias de producción en la satisfacción del cliente puesto que es fundamental estar en la capacidad de darle seguridad al consumidor de que su pedido estará listo a tiempo, por lo que la empresa deberá organizarse para ser lo más eficiente posible y aprovechar los recursos al máximo.

Al momento de planificar y programar la producción en un taller de operaciones es necesario desglosar cada orden de producción en actividades por ejecutar con sus respectivas fechas de entrega. Cada una de estas actividades tendrá un orden de paso por las máquinas, lo que se conoce como secuenciación (Scheduling).

Cuando se va a secuenciar en un ambiente de producción conocido como Taller de Trabajo (Job Shop), se debe tomar en cuenta la disponibilidad de las máquinas, ya que es posible que se generen tiempos de espera. Sin embargo,

es importante entender que en un entorno de manufactura real, pueden ocurrir imprevistos como averías en las máquinas o paradas inesperadas, lo que se traduce en el incumplimiento de la programación de la producción.

Actualmente la empresa INDES C.A, no cuenta con una planificación sistematizada de la producción. Cuando se habla de planear de manera sistematizada se refiere a que el método de cálculo de la producción siga ciertos pasos como la determinación de los tiempos de fabricación, capacidad de producción de las máquinas, programación de las órdenes, y que a su vez se tomen en cuenta criterios y procedimientos que permitan alcanzar de manera objetiva y eficaz las metas de la organización. En este caso, dicha planificación es realizada manualmente y se basa en la experiencia de la persona encargada de elaborarla, por lo que queda a su criterio elegir cuáles serán los pedidos que deberán atenderse y el orden en que se fabricarán. Este método presenta un problema, ya que según el ingeniero encargado de la planificación de la producción, se cuenta con un 20% de incumplimiento en las fechas de entrega que genera situaciones de inconformidad por parte del cliente.

La empresa desea tener una herramienta que le permita determinar la mejor secuencia de las máquinas que tienen a su disposición, para poder brindar mayor nivel de servicio al cliente al momento de que éste retire su pedido. De esta manera se ofrecería una proyección estimada de cuál sería la secuencia que maximice el uso de los recursos, que cumpla con las fechas de entrega pautadas con los clientes y que mantenga al mínimo las cantidades en inventario de producto terminado.

Cualquier cambio que se quisiera realizar en la programación de los pedidos en el taller para mejorar el cumplimiento en las fechas de entrega podría generar costos que la empresa no estaría dispuesta a sufragar. Por esta razón se plantea la implementación de la simulación por computadora como solución a la problemática en cuestión, debido a que es una técnica que permite experimentar con el sistema sin generarle costos adicionales a la organización y además ofrece gran flexibilidad en cuanto a la manipulación de sistemas complejos, como es el caso que se presenta en ésta investigación al

contarse con una variedad de 160 productos terminados y una disposición limitada de maquinaria.

Según R.E. Shannon (Citado en Coss Bu, 2003):

*La simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se pueda operar el sistema (p.12)*

Mediante la aplicación de modelos de simulación surge la posibilidad de analizar cambios internos y externos en el sistema en estudio, de manera tal que se pueda observar el comportamiento de dicho sistema en respuesta a ciertas alteraciones.

Las técnicas de simulación no se limitan solo al estudio del sistema actual, sino también sirve como herramienta para experimentar con nuevos escenarios, de los cuales se puede tener mucha o poca información, permitiendo así poder anticiparse a situaciones no previstas.

De esta manera el presente trabajo se enfocará en la creación de un modelo de simulación que permitirá la manipulación de las variables que afectan el proceso de producción para responder la siguiente interrogante: ¿Cuál será la secuencia de producción que garantice el cumplimiento de las fechas de entrega establecidas con los clientes?

## **1.2.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la secuencia de producción que permita mejorar el cumplimiento de las fechas de entrega pautadas con los clientes mediante la construcción de un modelo de simulación.

### **1.2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el sistema que se desea estudiar, para conocer las variables que intervienen en el mismo.
- Identificar y analizar las variables pertinentes para la creación del modelo de simulación.
- Analizar las restricciones presentes en el sistema.
- Diseñar el modelo de simulación que permita establecer la secuencia de producción conveniente en un momento determinado.
- Experimentar con el modelo de simulación las secuencias de producción que mejor se adapten a la problemática.

### **1.2.3 JUSTIFICACIÓN**

Es de gran interés para la empresa INDES C.A. resolver las situaciones de inconformidad por parte del cliente, que se han originado por los incumplimientos en las fechas de entrega. La raíz del problema es la falta de organización al realizar la planificación de la producción, ya que el método con el que se secuencian los distintos pedidos no responde a un basamento científico, al ser este fundamentado en la experiencia de una persona.

Una de las características que presenta el sistema en estudio, es la difícil manipulación del mismo físicamente, ya que al hacer esto se incurrirían en costos adicionales que la empresa no estaría dispuesta a cubrir, así mismo, la gran variedad de productos que se fabrican deben considerarse al momento de efectuar pruebas o cambios en la programación de la producción, por lo que realizar modificaciones sin un sistema computarizado podría tornarse engorroso. De esta manera, la herramienta más adecuada para la resolución de la problemática es la simulación por computadora, ya que permitirá crear una aproximación del sistema real, de manera que se puedan manipular las variables que interactúen en el mismo.

Es primordial recordar que la simulación servirá como herramienta que brinde un abanico de opciones, de las cuales el encargado de la toma de decisiones escogerá la que mejor se adapte a los objetivos de la empresa. El uso de la simulación con una interfaz gráfica proporciona los métodos adecuados para evaluar escenarios en la manufactura y en la planificación y programación de la producción, permitiendo observar directamente el comportamiento del sistema.

La organización está consciente de la ventaja que ofrece la herramienta al entender que no solo puede arrojar resultados en cuanto a la secuencia de producción deseada para mantener un buen nivel de servicio con el cliente, sino también puede proporcionar una gran perspectiva sobre los cambios que puedan hacerse en pro del alcance de los objetivos y estrategias de la empresa.

Con la implementación del modelo de simulación se ha visto una oportunidad por parte de los autores, de poder manipular el sistema de producción a su conveniencia para generar alternativas de solución a la problemática y escoger la que mejor se adapte a las necesidades de la empresa. Además, se desea desarrollar la herramienta de simulación con el propósito de adquirir nuevos conocimientos que complementen la formación académica universitaria, para dar paso a la consecución del título de ingeniero industrial y empezar una nueva etapa como profesionales en el ámbito ingenieril.

#### **1.2.4 ALCANCE Y LIMITACIONES**

El propósito fundamental del siguiente trabajo de grado, es el diseño de un modelo de simulación que determine cuál es la secuencia de producción que permitirá cumplir con las fechas de entrega pautadas previamente con el cliente.

Debido a que el 81,2% de las ventas observadas en el del último año representan un 10% de la gama de productos totales que produce la empresa, se decidió trabajar con dicho porcentaje, el cual se traduce en 15 tipos de piezas como se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Porcentaje de Ventas por Pieza del último año

| Nº | Código | Descripción       | % de Pedido | % Total |
|----|--------|-------------------|-------------|---------|
| 1  | 310010 | Tapa final        | 18,7%       | 18,7%   |
| 2  | 311249 | Aro metálico      | 18,4%       | 37,1%   |
| 3  | 310035 | Capa guardapolvo  | 11,7%       | 48,8%   |
| 4  | 401383 | Arandela metálica | 7,7%        | 56,5%   |
| 5  | 309236 | Tapa final        | 6,8%        | 63,3%   |
| 6  | 319450 | Aro metálico      | 3,8%        | 67,1%   |
| 7  | 360024 | Capa guardapolvo  | 2,8%        | 69,9%   |
| 8  | 319427 | Aro metálico      | 2,8%        | 72,7    |
| 9  | 403878 | Arandela metálica | 2,5%        | 75,1%   |
| 10 | 381323 | Tapa final        | 1,6%        | 76,7%   |
| 11 | 319558 | Capa guardapolvo  | 1,1%        | 77,8%   |
| 12 | 381328 | Tapa final        | 0,9%        | 78,7%   |
| 13 | 409185 | Arandela metálica | 0,9%        | 79,6%   |
| 14 | 319250 | Aro metálico      | 0,9%        | 80,4%   |
| 15 | 404427 | Arandela metálica | 0,8%        | 81,2%   |

Fuente: INDES C.A

En cuanto a las limitantes presentes para el desarrollo del trabajo de grado se presenta la falta de información por parte de la empresa, ya que no se dispone de toda la data requerida para la construcción del modelo, por lo que se realizó una recolección de datos concernientes al plan maestro de producción de los productos con los que se trabajará.

Por otra parte, el software de simulación ARENA solo se encuentra disponible en su forma completa en el laboratorio de computación de la escuela de ingeniería industrial existiendo así una restricción de uso que dependió de los horarios de trabajo y disponibilidad de dicho laboratorio.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

### 2. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

#### 2.1 MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

VIERMA. (2008). **“Construcción de un modelo de simulación para determinar la secuencia de producción (Caso: Empresa Inversiones Selva C.A. Grupo Phoenix. División Metalmecánica)”**. Universidad de Carabobo. La presente investigación se basa en el desarrollo de un modelo de simulación utilizando el Software Arena que permita determinar la secuencia que proporcione un nivel de servicio que la empresa considere satisfactorio. El aporte de este trabajo de grado con el tema en estudio se refiere al tipo de investigación que se desarrolla ya que ambas se basan en la utilización de la herramienta de simulación para crear un modelo que determine la secuencia de producción. Además, su contenido teórico contribuye al respaldo de ésta investigación.

ESPINOZA Y ROJAS. (2009). **“Construcción de un modelo de simulación para estimar el Lead Time de producción en el área de emulsiones de una empresa de fabricación de pintura”**. Universidad de Carabobo. Este trabajo de grado trata de la construcción de un modelo de simulación para estimar el lead time de producción de los productos elaborados en el área de emulsiones de C.A. Venezolana de Pinturas, esperando poder brindar a los clientes una información más precisa en cuánto al tiempo en que estarán listos los pedidos. Éste trabajo sirvió de guía para el desarrollo y estructuración del marco de referencia y metodológico.

## 2.1.2 BASES TEÓRICAS

### Planificación, Programación y Control de la Producción

Según Roy (2005):

La planificación y control de la producción puede ser definida como el proceso de planificar la producción en adelantado, estableciendo la fecha de inicio, final y rutas de cada ítem, dando las órdenes de producción a cada taller y siguiendo el progreso de los productos de acuerdo a las órdenes. (p. 82).

La principal función de toda organización, bien sea grande o pequeña, es la generación, a partir de ciertos procesos, de algún tipo de producto. Para lograr que una empresa sea eficiente en la atención hacia sus clientes, los directivos o personas encargadas deben entender y aplicar ciertos principios de lo que es la planificación para la creación de dicho producto, así como para controlar el proceso. Dicha eficiencia también va de la mano con la optimización de los recursos y la eliminación de desperdicios. Además de planificar, también se deben evaluar los procesos actuales en búsqueda de la mejora continua.

En un ambiente de manufactura las órdenes de producción son traducidas en trabajos específicos con fechas de entrega establecidas previamente con los clientes. Estos trabajos generalmente deben ser procesados en una serie de máquinas bajo una secuencia determinada. Éste procesamiento de trabajos puede verse demorado si existen máquinas que estén ocupadas, al igual que pueden presentarse situaciones en las que se liberan órdenes de trabajos de clientes importantes que obligan a que se modifique la secuencia de pedidos en un momento determinado. A pesar de existir numerosos factores que influyen en el comportamiento del proceso de producción y la manera en que se elige procesar los pedidos, el desarrollo de una programación detallada de las actividades a realizar en cada máquina o centro de trabajo ayuda a mantener la eficiencia y control de las operaciones de manufactura. (Pinedo, 2005, p. 8).



Para una planificación exitosa siempre es necesario planear antes de empezar a trabajar, para aprovechar al máximo los recursos. Es inminente conocer el sistema de producción y sus características para realizar una adecuada planificación. De esta manera deben conocerse detalladamente los trabajos que la cadena de suministro deberá realizar, así como la asignación de las tareas a cada centro de trabajo y el establecimiento de la secuencia adecuada tomando en cuenta las prioridades de cada orden.

## **Plan Maestro de Producción**

Según Chapman (2006):

*Se trata de un proceso que inicia (generalmente) a partir de un pronóstico bastante detallado de los productos, para luego utilizar un conjunto específico de reglas, cuyo propósito es permitir que los pedidos reales de los clientes consuman dicho pronóstico. Este mecanismo posibilita la traducción de los pedidos reales y proyectados de los clientes en órdenes de producción específicas. (p.72)*

El Plan Maestro de producción es elaborado bajo un horizonte de planificación relativamente corto en donde se toma en cuenta los productos finales que serán vendidos, considerando la capacidad de producción de la planta, representando así una parte fundamental en la planificación de la producción ya que actúa como una interfaz entre el sistema de producción y los clientes. Dicho horizonte de planificación dependerá de algunos factores como la naturaleza de la empresa, el número de productos y el proceso de producción, puesto que siempre existirán circunstancias de cambio que obligarán a la organización a estar en capacidad de adaptarse.

El principal objetivo que busca desarrollar el plan maestro de producción es la determinación de las cargas de trabajo que deberán tener las distintas estaciones de producción. Para realizar dicho cálculo es necesario tener información acerca de los tiempos de fabricación de los distintos productos, las secuencias de producción requeridas para poder cumplir con las fechas de entrega pautadas con los clientes y la “lista de materiales”, que representa la estructura de fabricación del producto que se quiere hacer llegar al consumidor.

## Secuenciación (Scheduling)

La secuenciación consiste en establecer el orden de paso de los diferentes pedidos por los centros de trabajo, de forma que se cumplan sus fechas de entrega con el mínimo inventario y el mínimo consumo de recursos. La secuenciación de pedidos es una tarea muy común y necesaria en diferentes configuraciones productivas, existiendo numerosas técnicas para su determinación. (Alfalla, 2008, p. 202).

Es necesario preguntarse en qué orden deben atenderse dichos pedidos, de manera de que se logre atender la mayor cantidad posible en el período de tiempo establecido. Para lograr este objetivo se recurren a métodos de secuenciación o reglas de prioridad, las cuales buscan minimizar el tiempo de fabricación, el número de trabajos en el sistema y el retraso de los pedidos, así como maximizar la utilización de la planta. (Heizer, 2004, p.568)

Entre las reglas de prioridad más conocidas se pueden mencionar:

- PEPS (Primero en entrar primero en servir): El primer pedido que llegue se procesara primero.
- TPC (Tiempo de procesamiento más corto): Los pedidos más breves se procesan y terminan primero. Una de las ventajas radica en que muchas tareas se procesarían rápido, pero no se toma en cuenta la fecha de entrega, por lo que los pedidos más complejos se quedan al final ocasionando incumplimiento con el cliente.
- TPL (Tiempo de procesamiento más largo): Los pedidos más largos y más grandes se procesan y terminan primero.
- Holgura: La holgura representa la sustracción entre el tiempo de fabricación y el tiempo total de entrega, lo que resulta en un margen de tiempo, por lo que se buscará organizar los pedidos comenzando con los que tengan un menor tiempo de holgura, ya que son estos los que están en mayor peligro de no ser entregados a tiempo.

- Razón crítica: Es una proporción sin unidades, que se realiza dividiendo los días restantes hasta la fecha de entrega entre los días restantes para culminar el pedido. Si el resultado es mayor a 1 significa que existe holgura, de lo contrario si el resultado es menor a 1 no hay holgura. Por lo que se ordenan los pedidos de menor a mayor holgura, con el propósito de completar primero los trabajos más críticos.

## **Job Shop**

Un taller configurado como “Job Shop” tiene el propósito general de producir bajos volúmenes de grandes variedades de productos. A menudo el flujo de material por el taller es diferente para cada trabajo o actividad que se quiera realizar. De esta manera los inventarios de producto en proceso son elevados y los tiempos de entrega son largos debido a los trabajos que deben esperar por ser procesados cuando existen máquinas ocupadas.

Este tipo de sistema de producción está diseñado para proveer gran flexibilidad, necesaria para satisfacer la demanda de gran variedad de producto por parte del cliente. (Miltenburg, 2005, p. 329)

## **Modelo**

Cao Abad (2002) define un modelo como un “conjunto de variables junto con ecuaciones matemáticas que las relacionan y restricciones sobre dichas variables” (p. 15).

## **Sistema**

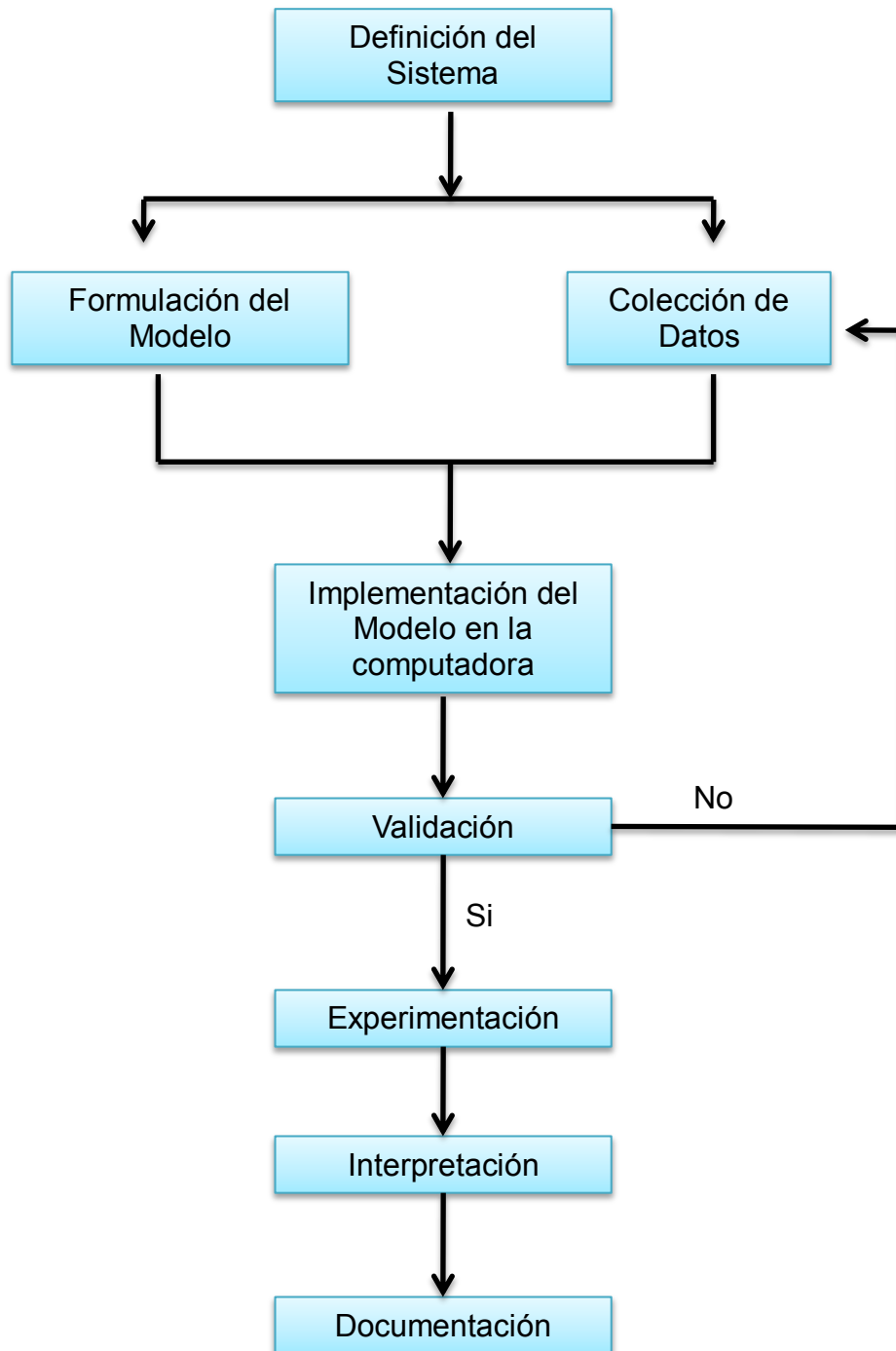
Un sistema es una instalación o un proceso real o planeado, como una planta manufacturera con máquinas, personas, métodos de transporte, bandas transportadoras y espacio de almacenamiento. (Kelton, 2008, p.2).

## **Simulación**

Según Kelton (2008) “La simulación se refiere a un gran conjunto de métodos y aplicaciones que buscan imitar el comportamiento de sistemas reales, generalmente en una computadora con un software apropiado”. (p.1)

Actualmente la simulación es una herramienta utilizada en diversos campos por la facilidad que brinda al permitir el estudio de sistemas sin la necesidad de tener que modificar el proceso real, con el objetivo de tener un mejor entendimiento de su comportamiento y poder experimentar en la búsqueda de mejoras y soluciones a problemáticas que puedan encontrarse, así como también en la manipulación del sistema para la introducción de nuevas variables que intervengan en él. Cuando se está simulando el proceso de producción de una empresa siempre será preferible cometer un error en la computadora que uno en la realidad donde pueden existir repercusiones monetarias o de otra índole.

Al momento de realizar un estudio de simulación Coss Bu (2003) considera ciertas etapas como las señaladas en la figura 1, las cuáles se explican a continuación:



**Figura 1. Etapas de un Estudio de Simulación**

Fuente: Coss Bu, R. (1991). Simulación. Un enfoque práctico. México: Editorial Limusa.

- **Definición del sistema:** Para tener una definición exacta del sistema que se desea simular, es necesario hacer primeramente un análisis preliminar del mismo, con el fin de determinar la interacción del sistema con otros sistemas, las restricciones del sistema, las variables que interactúan dentro del sistema y sus interrelaciones, las medidas de

efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema y los resultados que se esperan obtener del estudio.

- **Formulación del modelo:** En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa el modelo.
- **Colección de datos:** Es muy importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados. Normalmente, la información requerida por un modelo se puede obtener de registros contables, de órdenes de trabajo, de órdenes de compra, de opiniones de expertos y si no hay otro remedio por experimentación.
- **Implementación del modelo en la computadora:** Con el modelo definido, el siguiente paso es decidir si se utiliza un lenguaje como fortran, basic, algol, etc., o se utiliza algún paquete como GPSS, simula, simscript, arena, etc., para procesarlo en la computadora y obtener los resultados deseados.
- **Validación:** A través de esta etapa es posible detallar deficiencias en la formulación del modelo o en los datos alimentados al modelo. Las formas más comunes de validar un modelo son:
  1. La opinión de expertos sobre los resultados de la simulación.
  2. La exactitud con que se predicen datos históricos.
  3. La exactitud en la predicción del futuro.
  4. La comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar el sistema real.
  5. La aceptación y confianza en el modelo de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de simulación.
- **Experimentación:** La experimentación consiste en generar los datos deseados y en realizar análisis de sensibilidad de los índices requeridos.
- **Interpretación:** En esta etapa del estudio se interpretan los resultados que arroja la simulación y en base a esto se toma una decisión. Es obvio que los resultados que se obtienen de un estudio de simulación ayudan a soportar decisiones del tipo semi-estructurado, es decir la computadora en sí no toma la decisión, sino que la información que

proporciona ayuda a tomar mejores decisiones y por consiguiente a sistemáticamente obtener mejores resultados.

- **Documentación:** Dos tipos de documentación son requeridos para hacer un mejor uso del modelo de simulación. La primera se refiere a la documentación de tipo técnico, es decir, a la documentación que el departamento de procesamiento de datos debe tener del modelo. La segunda se refiere al manual del usuario, con el cual se facilita la interacción y el uso del modelo desarrollado a través de una terminal de computadora.

### **Partes relevantes del simulador**

- **Entidades:** en el caso de esta investigación, las entidades se refieren a órdenes que se mueven a través de los procesos, cambian de estatus, afectan y son afectadas por otras entidades e intervienen en las medidas de desempeño de los resultados.
- **Atributos:** es una característica particular que se le asigna a cada entidad.
- **Variables:** es una característica que describe al sistema.
- **Recurso:** son elementos que necesita la entidad para llevar a cabo el recorrido a través del sistema.
- **Cola:** es un lugar donde la entidad debe esperar.
- **Acumulador Estadístico:** son variables que se utilizan para recolectar resultados estadísticos. (Apuntes del Curso de Simulación)

### **Módulos del simulador**

Los elementos básicos utilizados en Arena son llamados módulos y éstos se encargan de describir los procesos dinámicos del modelo del diagrama de flujo. Puede pensarse en este tipo de módulos como nodos o lugares a través

de los cuales fluyen las entidades, se originan o dejan el modelo. Los módulos de diagrama de flujo se encuentran contenidos en un panel de procesos básicos, donde se pueden encontrar el Crear, Eliminar, Procesar, Decidir, Agrupar, Separar, Asignar, Grabar, entre otra serie de módulos como los encontrados en el panel de proceso avanzado, así como también los de transferencia avanzada. (Kelton, 2008, 60).

Por otra parte se encuentran los módulos de datos que definen las características de los elementos del proceso como las entidades, los recursos y las colas. Los módulos de datos del panel de procesos básicos son Entidad, Cola, Recurso, Variable, Programación y Conjunto, igualmente al caso anterior, existen paneles adicionales que contienen otros módulos de datos. (Kelton, 2008, 61).

### **Medidas de desempeño**

Según Eppen (2000), las medidas o indicadores de desempeño “Son variables que permiten medir el grado en el que se han alcanzado las metas”, dichos indicadores pueden ser cualitativos o cuantitativos, dependiendo del sistema en estudio (p.459).

Para la construcción de una medida de desempeño es necesario tener claro cuáles son los objetivos de la organización y lo que se desea medir. Con esta información en mano se procede a construir las fórmulas o algoritmos, para luego analizar los resultados y concluir si los objetivos fueron alcanzados o no.



## **2.2 MARCO METODOLÓGICO**

### **2.2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

De acuerdo con Lerma (2004):

*La investigación descriptiva tiene como objetivos describir el estado, las características, factores y procedimientos presentes en los fenómenos y hechos que ocurren en forma natural, sin explicar las relaciones que se identifiquen. Su alcance no permite la comprobación de hipótesis ni la predicción de resultados. (p.64)*

La presente investigación se considera de tipo descriptiva ya que busca identificar, describir y estudiar aquellas variables que intervienen en el proceso productivo de la empresa INDES C.A, de manera que se logre construir un modelo de simulación de todo el proceso en cuestión para mejorar el cumplimiento de las fechas de entrega pautadas con los clientes.

### **2.2.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

En ésta investigación se pretenden manipular las variables de estudio que afectan el proceso productivo, es por esto que se considera de tipo experimental. Al modificar intencionalmente el estado de alguno de los elementos de estudio se buscará proporcionar una mejora a la problemática.

Para llevar a cabo dicha experimentación es necesario realizar una recolección de información acerca del proceso productivo en estudio, por lo que se implementará un estudio de tiempos, específicamente, el método de cronometrado continuo.

### **2.2.3 FASES DE LA INVESTIGACIÓN**

**Fase I:** Descripción del Sistema.

En la primera etapa de la investigación se analiza el sistema para determinar todas las variables que interactúan en él y así mismo ejecutar la recolección de datos que sea pertinente.

**Fase II:** Determinación de las variables necesarias para la construcción del modelo.

Una vez conocidas todas las variables del sistema, se realiza un análisis para identificar aquellas que sean necesarias para la construcción del modelo de simulación y que sirvan para dar solución a la problemática planteada.

**Fase III:** Identificar las restricciones presentes en el sistema.

En esta etapa de la investigación es necesario identificar las restricciones que presenta el sistema para poder crear el modelo de simulación.

**Fase IV:** Construcción del modelo de simulación.

Tomando en cuenta toda la data recolectada con anterioridad y las variables pertinentes y las restricciones que presenta el sistema, se procede a la construcción del modelo de simulación utilizando el Software Arena. En esta etapa también se debe validar el modelo para cerciorarse de que éste se aproxime al sistema real y se realizó un estudio utilizando una herramienta incorporada en el software de simulación conocida como Analizador de Procesos.

**Fase V:** Experimentación con el modelo.

En la última fase de la investigación se busca dar solución a la problemática planteada, experimentando con el modelo para encontrar las secuencias que permitan cumplir con las fechas pautadas con los clientes en un tiempo determinado.

## **CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

### **3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

#### **3.1 SISTEMA EN ESTUDIO**

El sistema en estudio es la planta manufacturera de estampados metálicos de la empresa INDES C.A. Éste sistema de producción consta de un área de recepción de materia prima, un área de producción, donde se ubica la maquinaria, un área de producto en proceso, el almacén de troqueles, una matricería y el área de producto terminado, en donde se llevan a cabo las actividades de conteo de piezas, tamboreo, secado, embalaje y almacenaje.

Actualmente se trabaja a contra pedido, de manera que dichas órdenes deben ser planificadas en el cronograma de producción, asegurando el cumplimiento de las fechas de entrega de todos los pedidos.

De este proceso productivo, es de interés la recolección de data necesaria para la construcción del modelo y mediante su estudio será posible identificar todas las variables pertinentes.

#### **3.2 JORNADA LABORAL**

La jornada laboral de la empresa INDES C.A comprende un horario de trabajo que comienza a las 7:00 am y culmina a las 4:00 pm. Dentro de éste itinerario, se asigna un descanso de 30 minutos comprendido desde las 12:00 a 12:30 pm para el personal de almacén y mantenimiento y de 12:30 a 1:00pm para los trabajadores del área de producción.

### 3.3 DESCRIPCIÓN DE RECURSOS

#### 3.3.1 MAQUINARIA

Los recursos de la empresa en cuanto a maquinaria se refiere, consta básicamente de una variedad de 13 prensas excéntricas (ver figura 2) que se diferencian en el tonelaje y algunas otras especificaciones.



**Figura 2. Prensa Excéntrica**  
Fuente: Elaboración propia

Además, cuenta con una cizalla (ver figura 3), la cual es utilizada para realizar los diferentes cortes de la materia prima.



**Figura 3. Cizalla**  
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte se tiene una trefiladora (ver figura 4) capaz de realizar una operación de reducción de sección de una varilla.



**Figura 4. Trefiladora**  
Fuente: Elaboración propia

Durante el proceso productivo, se utiliza un devanador (ver figura 5) que alimenta la materia prima recibida en flejes a la prensa, dependiendo del tipo de pieza a fabricar.



**Figura 5. Devanador**  
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se cuenta con un tambor para el proceso de tamboreo en donde las piezas son lavadas y se remueven las rebabas (ver figura 6).



**Figura 6. Tambor**

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se dispone de una balanza (ver figura 7) para realizar el conteo de las piezas.



**Figura 7. Balanza**

Fuente: Elaboración propia

Para las operaciones necesarias en cuanto a manejo de materiales, la empresa posee a su disposición un montacargas (ver figura 8) y un transpaleta (ver figura 9).



**Figura 8. Montacargas**  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 9. Transpaleta**  
Fuente: Elaboración propia

A continuación se especifican con mayor detalle las características de las máquinas anteriormente mencionadas:

- **Prensas.**

Tabla 2. Características de las prensas

| Número de Prensa | Marca         | Tonelaje (Ton) | Golpes por minuto |
|------------------|---------------|----------------|-------------------|
| 63-1             | Smeral Trnava | 63             | 71                |
| 80-1             | Cluana        | 80             | 40                |

|       |           |     |    |
|-------|-----------|-----|----|
| 80-2  | Cluana    | 80  | 53 |
| 100-1 | GOITI     | 100 | 58 |
| 100-2 | GOITI     | 100 | 42 |
| 100-3 | GOITI     | 100 | 42 |
| 160-1 | GOITI     | 160 | 42 |
| 160-2 | GOITI     | 160 | 50 |
| 160-3 | GOITI     | 160 | 42 |
| 160-4 | C.M.-C.M. | 160 | 45 |
| 160-5 | Aitor S.A | 160 | 50 |
| 180-1 | Brevetti  | 180 | 30 |
| 250-1 | GOITI     | 250 | 48 |

- **Cizalla**

Tabla 3. Características de la Cizalla.

| Marca                       | Capacidad       |
|-----------------------------|-----------------|
| Pearson Machine Tool CO LTD | 30.050 x 6.5 mm |

- **Trefiladora**

Tabla 4. Características de la Trefiladora

| Velocidad Lineal | Velocidad de giro |
|------------------|-------------------|
| 6 m/s            | 50 RPM            |

- **Devanador**

Tabla 5. Características del Devanador

| Marca              | Cantidad | Ancho máximo de bobina (m/m) | Espesor Máximo (m/m) | Diámetro máximo de bobina (m/m) | Peso máximo de bobina (kg) | Velocidad máxima de alimentación (m/min) |
|--------------------|----------|------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------|--|
| Líneas Automáticas | 2        | 153                          | 5.2                  | 1200                            | 900                        | 30                                       |



- **Tambor**

Tabla 6. Características del tambor

| Marca                           | Capacidad                       |
|---------------------------------|---------------------------------|
| Elaboración propia de INDES C.A | 500 Kg.<br>63x105 cm.<br>320 L. |

- **Balanza**

Tabla 7. Características de la Balanza

| Marca   | Capacidad |
|---------|-----------|
| BAVENCA | 30 Kg.    |

- **Montacargas**

Tabla 8. Características del Montacargas

| Marca     | Velocidad |
|-----------|-----------|
| Toyota K5 | 15 Km/h   |

- **Transpaleta**

Tabla 9. Características del Transpaleta

| Marca  | Cantidad | Capacidad   |
|--------|----------|-------------|
| Truper | 2        | 2 toneladas |

### 3.3.2 MATERIA PRIMA

Actualmente la empresa trabaja con flejes o láminas de acero ASTM A579, el cual es muy resistente y contiene una aleación especial de níquel y molibdeno que lo hace apto para la forjadura.

### **3.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

El proceso productivo de la empresa se diferencia debido al tipo de pieza que se tenga que procesar, ya que el tipo de materia prima a utilizar es diferente para cada producto.

Existen dos maneras de trabajar con la materia prima, bien sea mediante la recepción de láminas o flejes de acero, lo que obliga a que el proceso de producción deba diferenciarse en ciertas actividades.

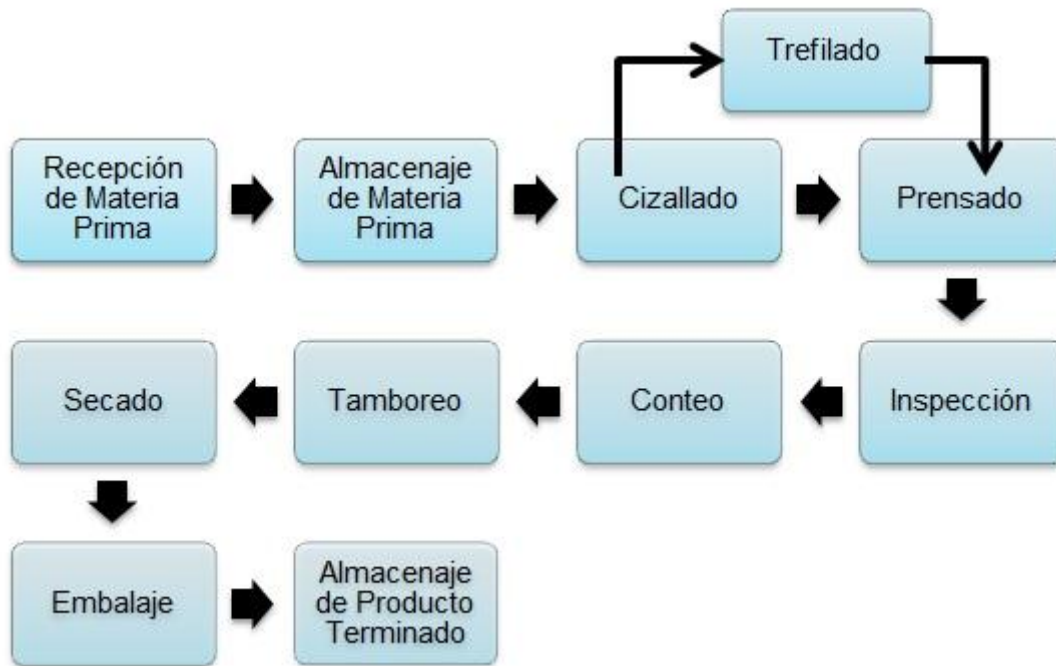
Cuando se trabajan en láminas, cuyas dimensiones son de 2.40x1.20 m, éstas son recibidas y almacenadas. Al momento que son requeridas para comenzar la fabricación de alguno de los productos, pasan por un proceso de cizallado en dónde son cortadas en tiras, cuyas dimensiones dependerán de la pieza a ser elaborada.

Sin embargo, los aros metálicos requieren de un trefilado antes de pasar al proceso de prensado, el cual consiste en un estirado de la tira en frío para mejorar las propiedades mecánicas del material.

Una vez culminados éstos procesos, bien sea que se requiera o no el trefilado, es necesario disponer del transpaleta para el traslado de las tiras a las máquinas donde se realizará el prensado. Esta operación dependerá del tipo de piezas a fabricar, debido a que la tapa final 310010 y las capas guardapolvos 36004, 319558 y 310035 requerirán de un proceso de prensado adicional. Al momento de terminar esta actividad, se realiza una inspección dirigida por el departamento de calidad de la empresa, en donde se verifican que se cumplan con las especificaciones y exigencias del cliente.

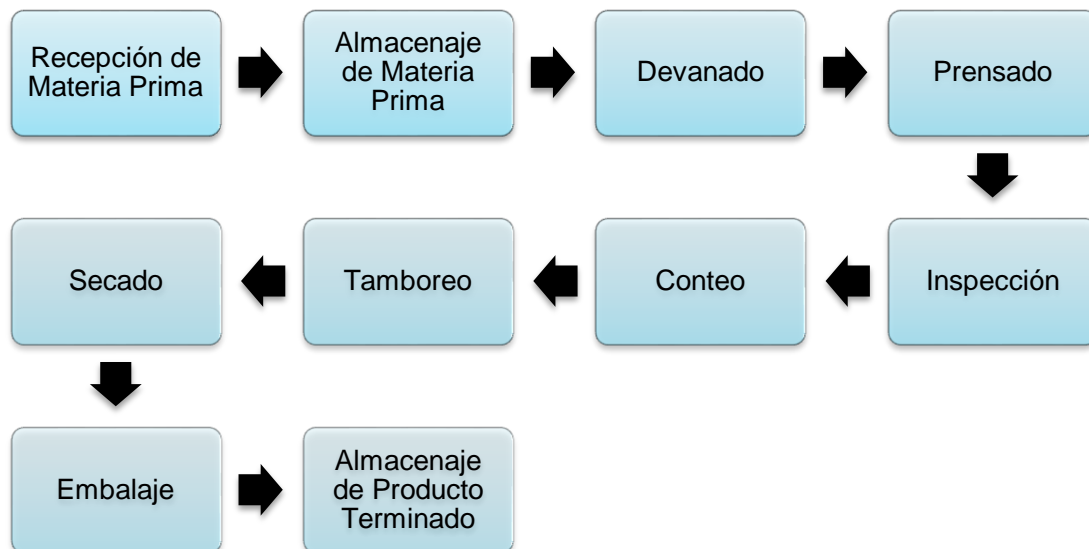
Luego, las piezas aprobadas son contadas. Para llevar a cabo dicho procedimiento se emplea una balanza, la cual determina el total de piezas utilizando una relación entre el peso y la cantidad total que se depositan en la balanza. Una vez contadas, las piezas son llevadas a un proceso de tamboreo en dónde son lavadas y se eliminan cualquier tipo de imperfecciones o rebabas.

Finalmente las piezas son secadas al aire libre para luego ser embaladas y almacenadas en el área de producto terminado. (Ver figura 10)



**Figura 10. Diagrama de Bloque 1**  
Fuente: Elaboración propia

En el caso de la materia prima que es recibida en flejes, el proceso se diferencia en que no hace falta realizar el corte de la lámina, sino que el fleje debe ser colocado en un devanador, el cual se encarga de suministrar la materia prima a la máquina en la cual se realice el prensado. (Ver figura 11).



**Figura 11. Diagrama de Bloque 2**  
Fuente: Elaboración propia

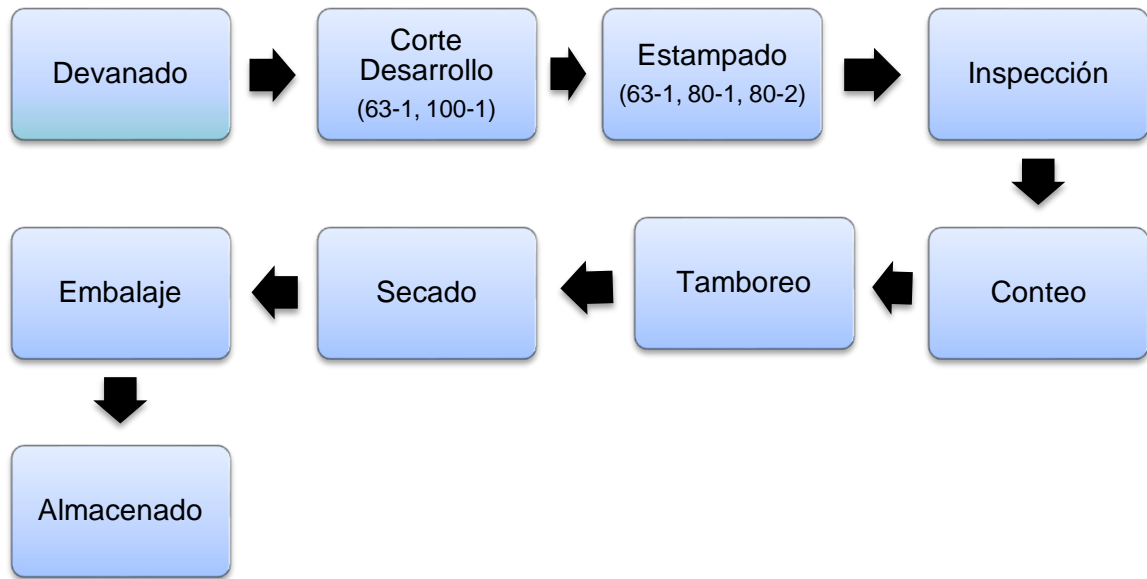
### 3.5 PRODUCTOS ELABORADOS

Tabla 10. Lista de Productos.

| Nº | Código | Descripción       | Espesor | Materia Prima | Peso (gr) |
|----|--------|-------------------|---------|---------------|-----------|
| 1  | 310010 | Tapa final        | 3,0mm   | Fleje         | 36,2      |
| 2  | 311249 | Aro metálico      | 5,0mm   | Lámina        | 93,5      |
| 3  | 310035 | Capa guardapolvo  | 1,5mm   | Fleje         | 45,7      |
| 4  | 401383 | Arandela metálica | 1,9mm   | Fleje         | 16,3      |
| 5  | 309236 | Tapa final        | 3,5mm   | Lámina        | 39,7      |
| 6  | 319450 | Aro metálico      | 5,0mm   | Lámina        | 151,1     |
| 7  | 360024 | Capa guardapolvo  | 1,9mm   | Fleje         | 92,5      |
| 8  | 319427 | Aro metálico      | 5,0mm   | Lámina        | 145,9     |
| 9  | 403878 | Arandela metálica | 1,9mm   | Fleje         | 9,7       |
| 10 | 381323 | Tapa final        | 3,0mm   | Lámina        | 41        |
| 11 | 319558 | Capa guardapolvo  | 1,5mm   | Fleje         | 39,3      |
| 12 | 381328 | Tapa final        | 3,0mm   | Lámina        | 40,4      |
| 13 | 409185 | Arandela metálica | 3,0mm   | Lámina        | 45,2      |
| 14 | 319250 | Aro metálico      | 5,0mm   | Lámina        | 116,3     |
| 15 | 404427 | Arandela metálica | 3,0mm   | Lámina        | 43,3      |

A continuación se presentan los diagramas de bloque correspondiente para la fabricación de cada uno de los productos y se indican las prensas disponibles para la ejecución de dicha actividad:

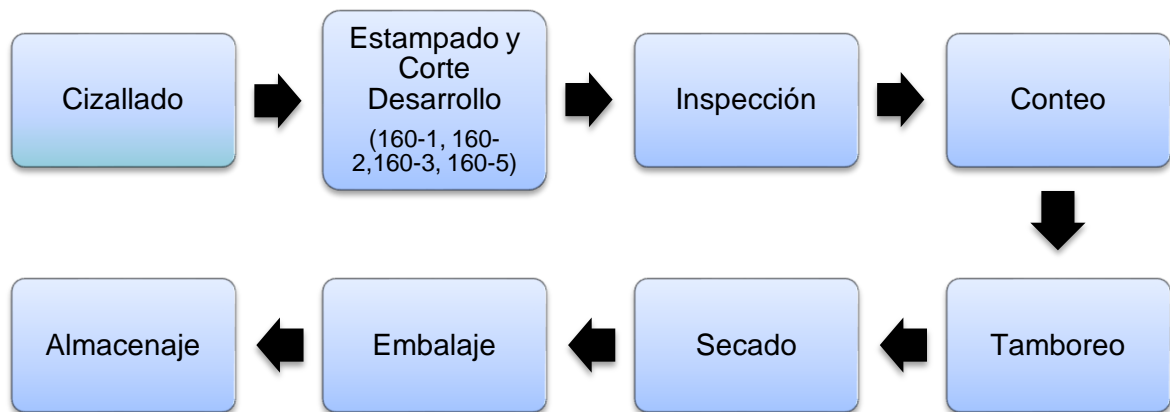
- Tapa final 310010:



**Figura 12. Tapa Final 310010**

Fuente: Elaboración propia

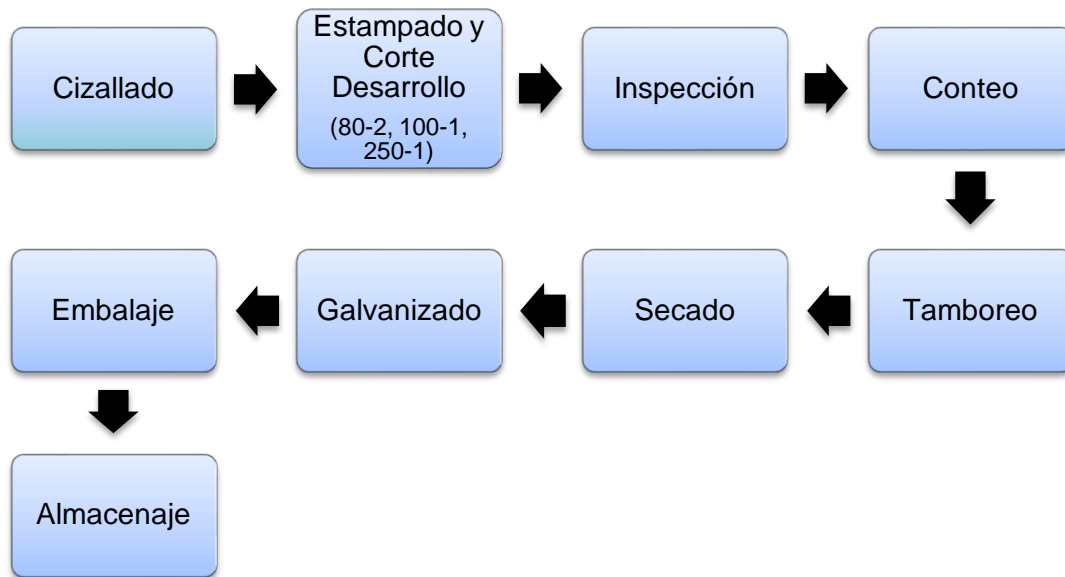
- Tapa final 381328, 381323 y 309236:



**Figura 13. Tapa final 381328, 381323 y 309236**

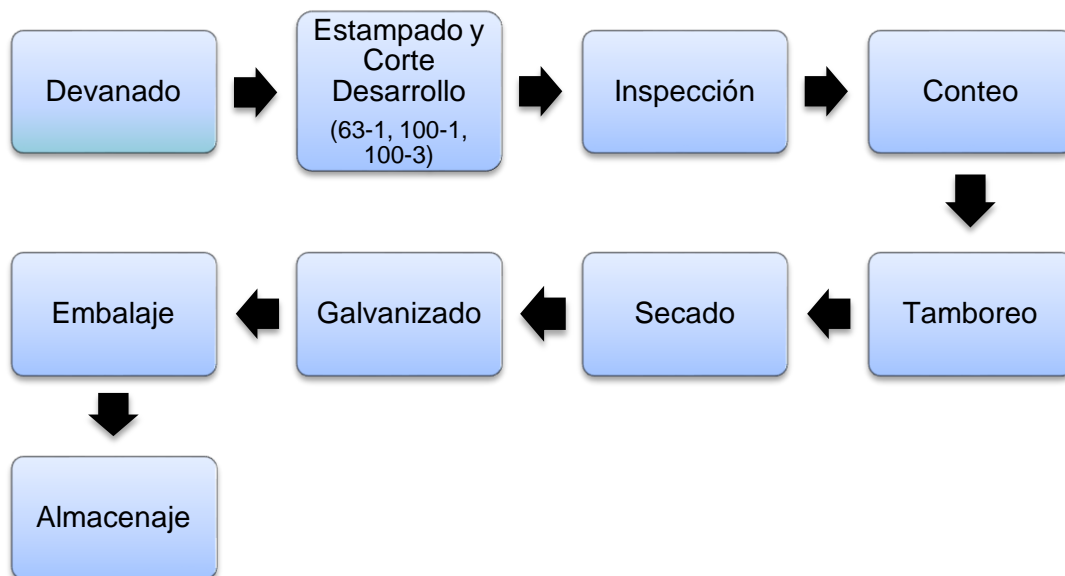
Fuente: Elaboración propia

- **Arandela Metálica 409185 y 404427**



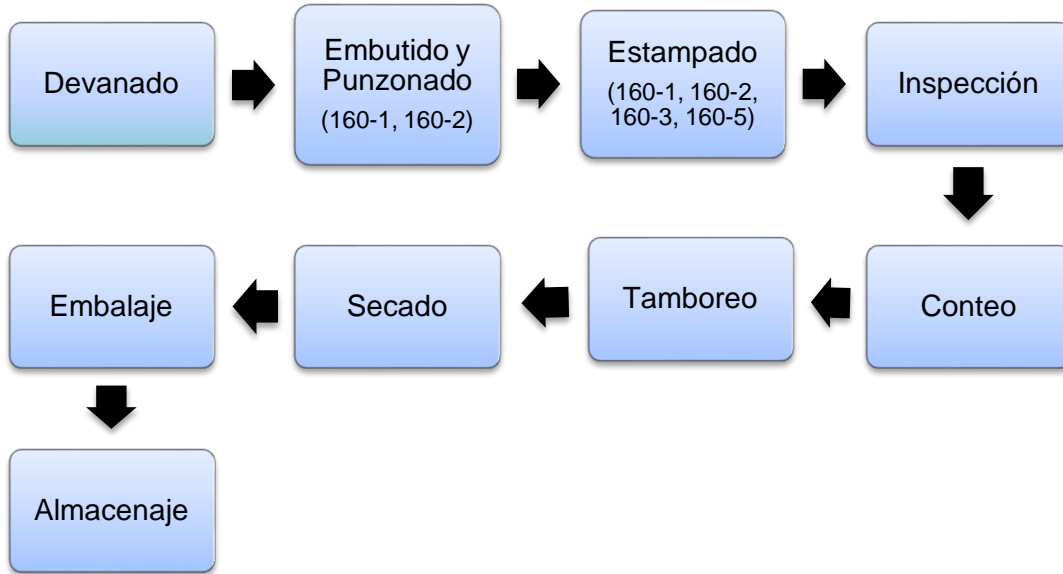
**Figura 14. Arandela Metálica 409185 y 404427**  
Fuente: Elaboración propia

- **Arandela Metálica 403878 y 401383**



**Figura 15. Arandela Metálica 403878 y 401383**  
Fuente: Elaboración propia

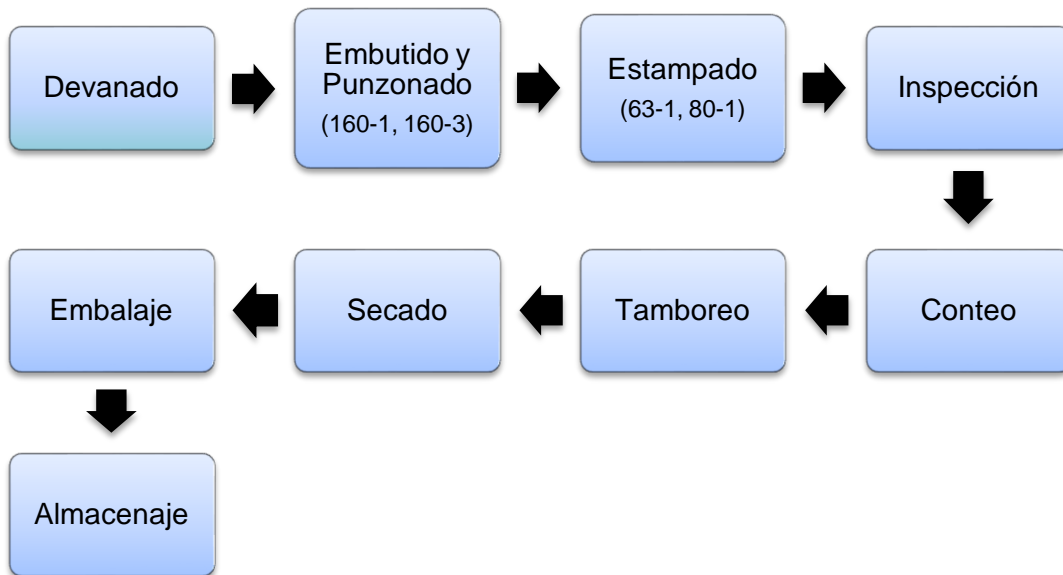
• **Capa Guardapolvo 360024**



**Figura 16. Capa Guardapolvo 360024**

Fuente: Elaboración propia

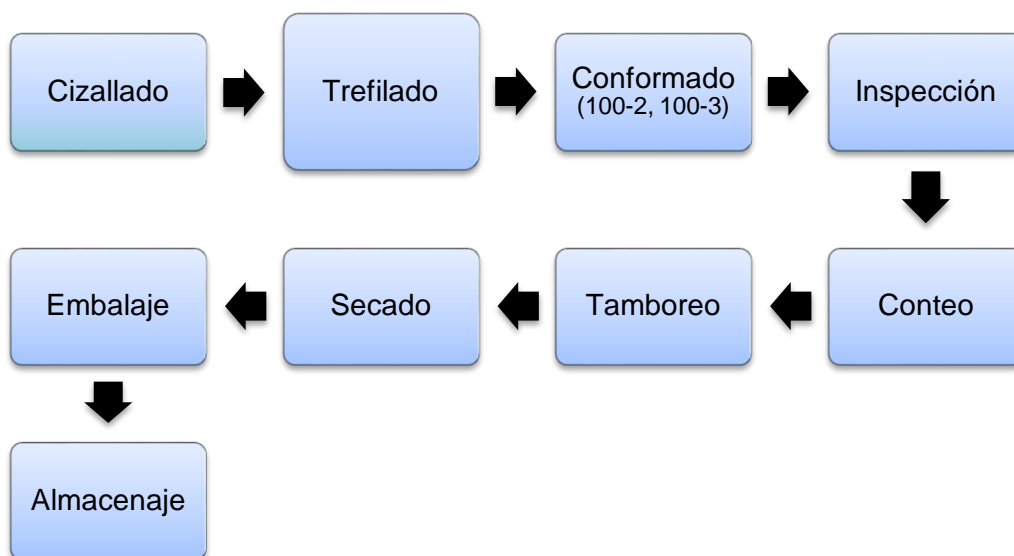
• **Capa Guardapolvo 319558 y 310035**



**Figura 17. Capa Guardapolvo 319558 y 310035**

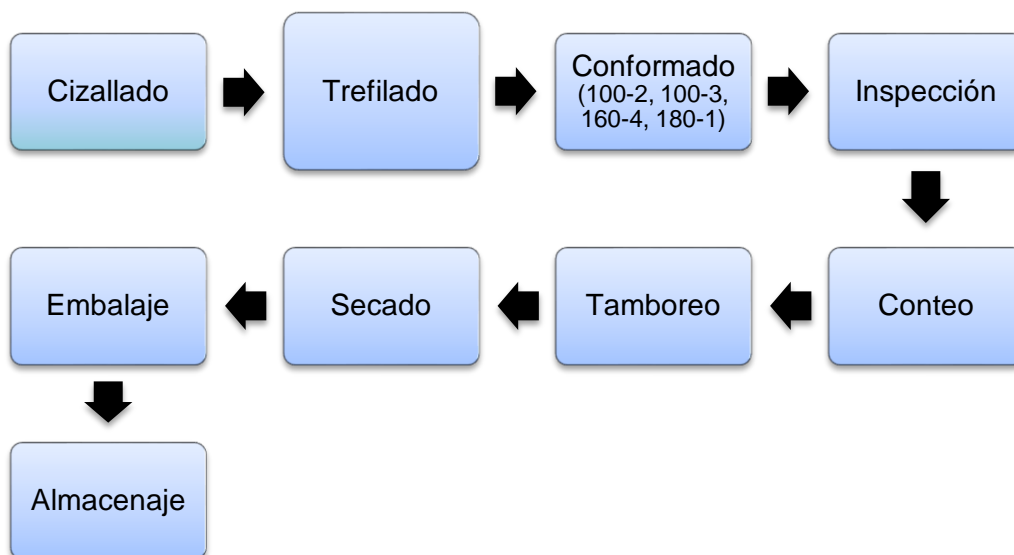
Fuente: Elaboración propia

- **Aro Metálico 311249**



**Figura 18. Aro Metálico 311249**  
Fuente: Elaboración propia

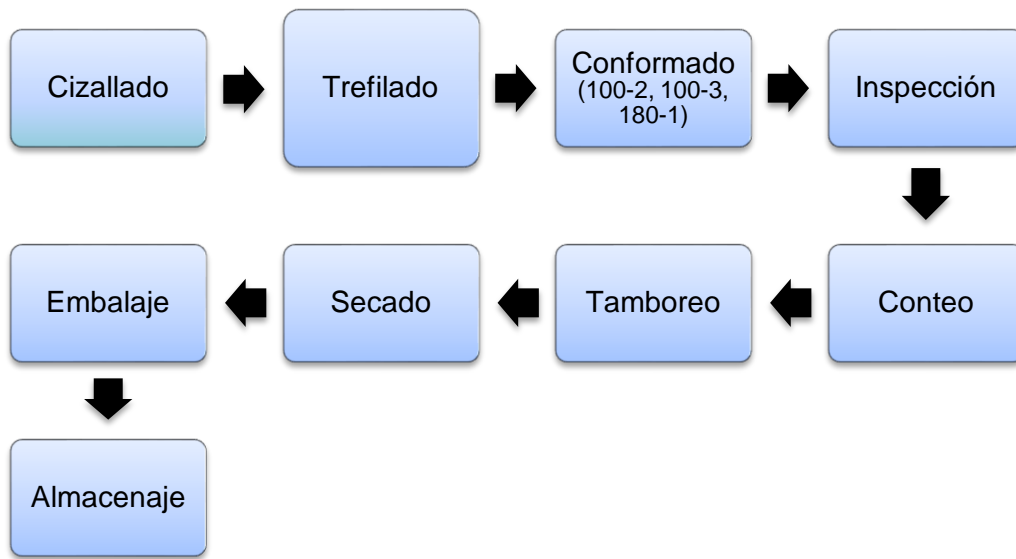
- **Aro Metálico 319250**



**Figura 19. Aro Metálico 319250**  
Fuente: Elaboración propia



- **Aro Metálico 319427 y 319450**



**Figura 20. Aro Metálico 319427 y 319450**  
Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV. MODELO DE SIMULACIÓN**

### **4. MODELO DE SIMULACIÓN**

#### **4.1 SIMULADOR UTILIZADO**

El software de simulación Arena desarrollado por Rockwell Automation, Inc. fue elegido para ésta investigación ya que ayuda a demostrar, predecir y medir que tan efectivo puede ser el desempeño de un sistema. Además, permite analizar nuevas ideas y estrategias antes de ser implementadas en la vida real.

Con este simulador, el usuario construye un modelo de experimento que consta de módulos representados por formas geométricas que brindan una interfaz gráfica amena para representar el proceso que se quiere simular.

Un aspecto relevante para la utilización de éste software es su capacidad para recolectar información estadística del sistema en cuestión y que dicha data pueda ser analizada posteriormente.

#### **4.2 VARIABLES DE INTERÉS**

Para la construcción del modelo de simulación se utilizaron variables para los tiempos de fabricación y variables de entrada suministradas a través de un archivo de texto.

Las variables que corresponden a los tiempos de fabricación de los productos vienen definidas por los tiempos de operación de cizallado, trefilado, prensados y de operaciones de producto terminado, mientras que las variables de entrada del modelo son definidas por el usuario, las cuáles están comprendidas por el tipo de producto a elaborar representado por un código, las cantidades a producir y la fecha de entrega (en días) estipulada previamente con el cliente.

#### 4.2.1 TIEMPOS DE FABRICACIÓN

Para la determinación de los tiempos de fabricación de una unidad de producto se llevó a cabo un estudio de tiempos en la empresa. Dicho estudio abarcó las operaciones de cizallado, trefilado y procesamiento en las prensas.

Una vez obtenidos los resultados, se observó que los tiempos de fabricación no seguían una distribución de probabilidades en particular. Dado que la naturaleza del proceso productivo de la empresa es trabajar con grandes lotes de piezas, se requirió alimentar al modelo los tiempos de procesamientos por lotes de piezas. Para lograr esto, se aplicó el teorema del límite central, ya que en condiciones generales la suma de  $n$  variables aleatorias pueden ser aproximadas a una distribución normal, concluyendo así que los tiempos de procesamiento por lotes serán aproximados a una distribución normal. (Mendenhall, 2010, p.370).

Para determinar los parámetros de la normal, fue necesario estimar la media y la varianza de las variables de los tiempos de fabricación, las cuales cambiarán dependiendo del tipo de operación y del tipo de pieza. En el caso de las operaciones de cizallado y trefilado los parámetros obtenidos representan el tiempo de procesamiento por tira de lámina cortada, mientras que en las actividades de prensado los parámetros estimados representan el tiempo de procesamiento por unidad, surgiendo de esta manera la necesidad de transformar dichos parámetros para ser trabajados en tiempos de procesamiento por lotes.

Para el caso de las actividades de cizallado y trefilado se requiere determinar la cantidad  $Q$  a procesar correspondiente al tamaño de lote, que se sabe es variable. Una vez conocido el tamaño de lote se procede a utilizar un factor de relación que determine cuantas unidades de producto resultan de una tira de lámina cortada ( $N$ ) para poder así determinar la media y la varianza que pertenece a ese tamaño de lote. De tal manera la expresión de la distribución normal quedaría reflejada en la ecuación 1.

$$Normal \sim \left( \frac{Q}{N} \cdot \mu; \frac{Q}{N} \cdot \sigma^2 \right) \quad (1)$$

Así, tomando como ejemplo el aro metálico de código 319427 donde N=8 y se le da un valor Q de 10000 unidades, se expresan en la tabla 11 los tiempos de cizallado y trefilado.

**Tabla 11.** Tiempo de Cizallado y Trefilado (Aro Metálico 319427)

| Tiempo de Cizallado |        |                |                     |                                  |                            |
|---------------------|--------|----------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Producto            | Código | $\mu$ (s/tira) | $\sigma^2$ (s/tira) | $\frac{Q(u)}{N(\frac{u}{tira})}$ | Distribución (s)           |
| Aro Metálico        | 319427 | 7.6857         | 0.4441              | $\frac{10.000}{8} = 1250$        | Normal<br>(9607.12;555.12) |
| Tiempo de Trefilado |        |                |                     |                                  |                            |
| Producto            | Código | $\mu$ (s/tira) | $\sigma^2$ (s/tira) | $\frac{Q(u)}{N(\frac{u}{tira})}$ | Distribución (s)           |
| Aro Metálico        | 319427 | 4.3889         | 0.4599              | $\frac{10.000}{8} = 1250$        | Normal<br>(5486.12;574.87) |

Manteniendo el mismo enfoque, los parámetros de los tiempos de procesamiento de prensado reflejados unitariamente requieren ser multiplicados por la cantidad Q de piezas por lotes para así obtener los parámetros que determinen los tiempos de procesamientos por lotes, como se puede observar en la tabla 12 para el ejemplo antes mencionado.

**Tabla 12.** Tiempo de Prensado (Aro Metálico 319427)

| Tiempo de Prensado |        |                |                     |       |                         |
|--------------------|--------|----------------|---------------------|-------|-------------------------|
| Producto           | Código | $\mu$ (s/tira) | $\sigma^2$ (s/tira) | Q(u)  | Distribución (s)        |
| Aro Metálico       | 319427 | 3.8250         | 1.6944              | 10000 | Normal<br>(38250;16944) |

#### 4.2.1.1 TIEMPOS DE OPERACIÓN DE PRODUCTO TERMINADO

Para la obtención de los tiempos de operación de la estación de producto terminado se determinó que estos se dividen en dos ramas de acuerdo a la naturaleza de las piezas, por existir algunas que debía pasar por un proceso de

galvanizado. Según el encargado del área y el personal obrero, se estimó que para las piezas que requiriesen del proceso de galvanizado se tendría una duración total de 6 días, por tratarse de una operación realizada fuera de la empresa.

De no ser el caso de una pieza de este tipo, las operaciones de producto terminado, entre éstas, la inspección, conteo, tamboreo, secado, embalado y almacenado, se estimó que tendrían una duración aproximada de un día.

#### 4.2.1.2 TIEMPOS DE PUESTA A PUNTO

En los distintos procesos de fabricación, es necesario determinar los tiempos de puesta a punto que requiere cada actividad. Durante el proceso productivo de la empresa, se identifican tiempos de puesta a punto en las actividades de cizallado, trefilado y procesos de prensado. Al igual que en el caso anterior, para la estimación de estos tiempos se habló con el supervisor del área de producción de la empresa y con los operarios encargados de la maquinaria, estableciendo así los tiempos de puesta punto como se muestra en la tabla 13.

**Tabla 13.** Tiempos de Puesta a Punto

| Tiempos de Puesta a Punto |                      |
|---------------------------|----------------------|
| Maquinaria                | Distribución (s)     |
| Cizalla                   | Uniforme [600,1200]  |
| Trefiladora               | Uniforme [600,1200]  |
| Prensas                   | Uniforme [1200,2400] |
| Devanador                 | Uniforme [1200,2400] |

#### 4.2.2 VARIABLES DEL ARCHIVO DE ENTRADA

Las variables del archivo de entrada del modelo vienen definidas específicamente por el usuario. Éstas corresponden a los datos de entrada con los que el modelo realizará la simulación y son los siguientes:

- Tipo de producto: Viene representado por un número específico con el que la empresa identifica cada tipo de pieza.

- Tamaño de lote (Q): Es la cantidad de unidades a fabricar por cada tipo de pieza.
- Fecha de Entrega (FE): Indica los días hábiles establecidos con el cliente para la entrega del pedido.
- Capacidad de Almacenaje (caja): Representa la cantidad de unidades de cada producto que pueden ser almacenados en cajas cuyas medidas son 90x90x70 cm.

Es necesario recalcar que el tamaño de lote para las piezas que utilizan devanador será fijo, debido a que el material utilizado son flejes de acero y de cada uno de éstos resulta una cantidad determinada de piezas, por lo que una orden que supere este número tendrá que ser dividida en órdenes más pequeñas que coincidan con el tamaño de lote preestablecido por fleje. De igual manera, aquella orden cuyo tamaño de lote sea menor al establecido, tendrá que aproximarse al tamaño de lote del fleje.

Para determinar el número de piezas que se fabrican de un fleje, se buscó el peso de dicho fleje (kg) y el peso de una pieza (g), posteriormente se decidió llevar el peso por unidad a kilogramos para trabajar en las mismas unidades, luego dividiendo estas dos cifras se obtiene como resultado el número de piezas por fleje o el tamaño de lote. Todas las piezas que caen en esta categoría junto con los respectivos tamaños de lote se encuentran en la tabla 14.

**Tabla 14.** Tamaño de lote de piezas que utilizan devanador

| Pieza         | Peso del fleje (kg) | Peso por unidad (g) | Peso por unidad (kg) | Número de piezas/fleje |
|---------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------------|
| <b>310035</b> | 322,5               | 66,23               | 0,06623              | 4869                   |
| <b>319558</b> | 322,5               | 66,23               | 0,06623              | 4869                   |
| <b>360024</b> | 417                 | 140,34              | 0,14034              | 2971                   |
| <b>401383</b> | 193,5               | 30,2                | 0,0302               | 6407                   |
| <b>403878</b> | 159,1               | 20,42               | 0,02042              | 7791                   |
| <b>310010</b> | 204,7               | 53,36               | 0,05336              | 3836                   |

### **4.3 ACTIVIDADES A SIMULAR**

Para la realización del modelo de simulación, se construyó un diagrama de flujo donde se contemplan todas las operaciones que son necesarias para la producción de una pieza. Dicho diagrama puede ser observado en la figura 21.

El proceso productivo inicia con la alimentación de la información de los pedidos a procesar en el modelo mediante la utilización de archivos de texto, donde el usuario introducirá información referente a: tipo de producto, tamaño de lote, fecha de entrega y capacidad de almacenaje.

En el momento en el que se han separado los productos por tipo, se procede a la asignación de atributos a cada uno de estos, lo que comprende tiempos de puesta a punto y tiempos de procesamiento, que se dividen en tiempos de cizallado, trefilado, prensado y tiempos asociados a la estación de producto terminado.

Actualmente existen 6 productos, los cuales son la tapa final 310010, las arandelas metálicas 403878 y 401383 y las capas guardapolvos 360024, 319558 y 310035, cuya materia prima es recibida en flejes y suministrada a las prensas con el uso de devanadores. Dichos productos son separados del resto, ya que no requieren pasar por las estaciones de cizallado y trefilado, por lo que van directamente a la estación de prensado a realizar el primer paso, y segundo paso de ser necesario. Finalmente éstos 6 tipos de productos van a la estación de producto terminado, donde termina el proceso de producción.

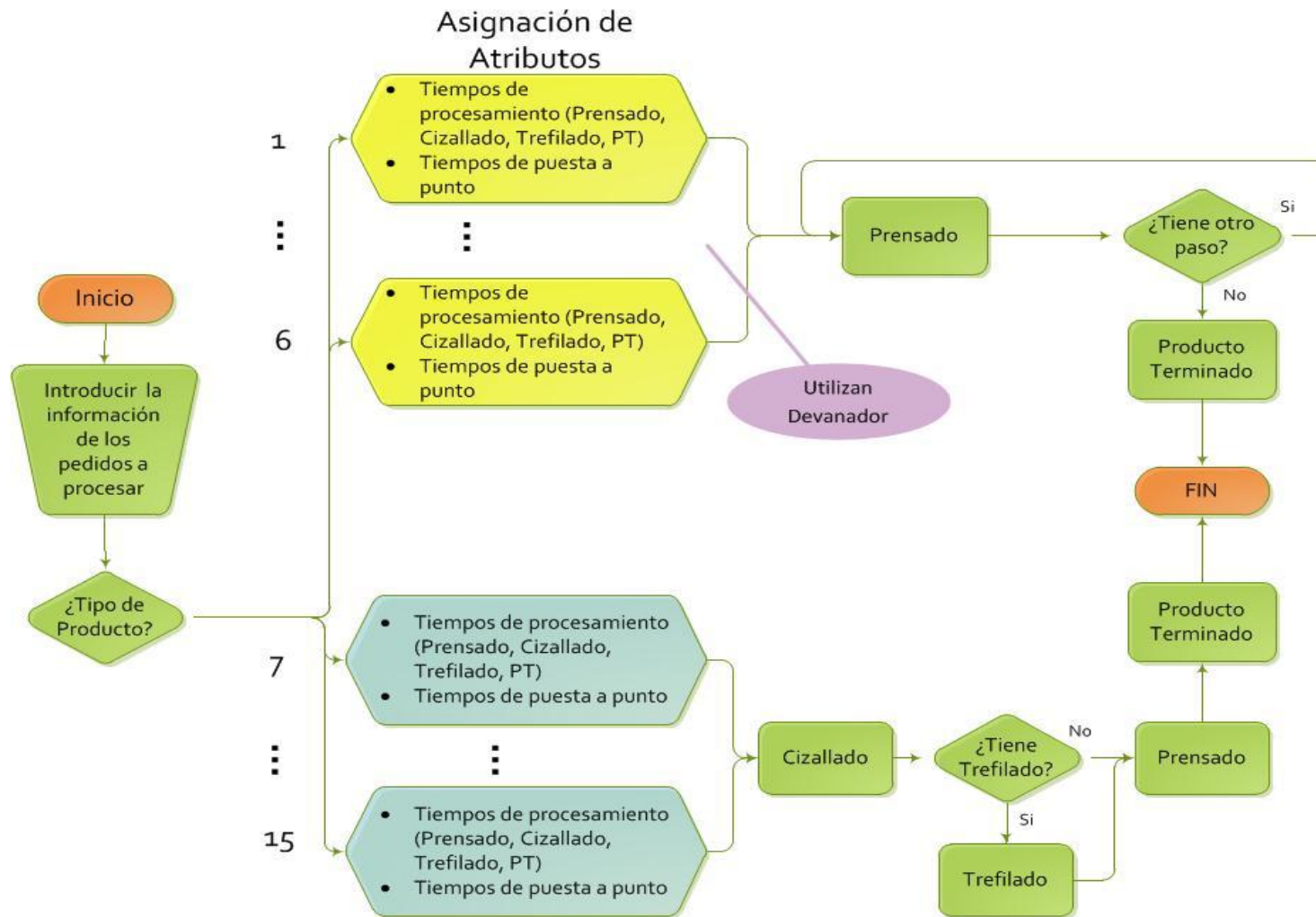
El resto de las piezas pasan a la estación de cizallado, y de requerirse pasará por la estación de trefilado, de lo contrario irán directamente a la estación de prensado donde se realizará el primer paso. Por último las piezas pasarán a la estación de producto terminado.

#### **4.4 SUPUESTOS A CONSIDERAR**

Para facilitar la realización y comprensión del modelo se establecieron ciertos supuestos, que no afectan de manera significativa su veracidad:

- Se asume que siempre habrá materia prima en el almacén para la realización de los productos.
- Cada entidad representa un lote de piezas, por lo que el movimiento que se realiza entre estaciones debe ser por lote. Es decir, para que una pieza avance al siguiente proceso productivo debe haberse culminado antes la actividad anterior de todo el lote.
- No se toman en cuenta los recorridos realizados por el montacargas entre estaciones de trabajo.





**Figura 21. Flujograma del proceso**  
Fuente: Elaboración propia.

## 4.5 EXPLICACIÓN DEL MODELO

En esta sección del capítulo se llevará a cabo todo lo referente a la explicación del modelo en el software Arena. Una vez construido el modelo, se procede a explicar con detalle los diagramas que representan toda la estructura que simula el proceso de producción de piezas metálicas en la empresa.

La explicación es seccionada en partes para su mayor comprensión. Primero se explicará el proceso de recepción de las órdenes de producción, para luego explicar cada una de las estaciones de producción, como lo son la estación de cizallado, trefilado, prensado y producto terminado.

### 4.5.1 RECEPCIÓN DE ÓRDENES

La introducción de las órdenes de producción al modelo se realiza mediante la utilización de dos archivos de texto, correspondientes a la cantidad de pedidos a secuenciar y a la información de cada orden que se procesará. Para efectos de esta explicación se trabajaron con los pedidos del mes más concurrido del año 2012.

- Archivo de texto “cantidad de pedidos”: se utiliza para ingresar al modelo el número de órdenes que se van a procesar. (Ver figura 22).



**Figura 22.** Archivo de texto "cantidad de pedidos.txt"

Fuente: Elaboración propia.

- Archivo de texto “pedidos”: representa las características específicas que posee cada una de las órdenes. Dichas características son definidas por los atributos “tipo de producto”, “tamaño de lote”, “fecha de entrega” y “capacidad de almacenaje” (Ver figura 23).

| Tipo de producto | Tamaño de Lote | Fecha de Entrega | Capacidad de Almacenaje |
|------------------|----------------|------------------|-------------------------|
| 310035           | 4869           | 20               | 9992                    |
| 310035           | 4869           | 20               | 9992                    |
| 310035           | 4869           | 20               | 9992                    |
| 310035           | 4869           | 20               | 9992                    |
| 310035           | 4869           | 20               | 9992                    |
| 310035           | 4869           | 20               | 9992                    |
| 310035           | 4869           | 20               | 9992                    |
| 310035           | 4869           | 20               | 9992                    |
| 310035           | 4869           | 20               | 9992                    |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 310010           | 3836           | 20               | 41632                   |
| 360024           | 2971           | 20               | 4996                    |
| 360024           | 2971           | 20               | 4996                    |
| 360024           | 2971           | 20               | 4996                    |
| 360024           | 2971           | 20               | 4996                    |
| 360024           | 2971           | 20               | 4996                    |
| 401383           | 6407           | 20               | 53206                   |
| 401383           | 6407           | 20               | 53206                   |
| 401383           | 6407           | 20               | 53206                   |
| 401383           | 6407           | 20               | 53206                   |
| 311249           | 50000          | 20               | 9992                    |
| 319427           | 15000          | 20               | 7269                    |
| 319450           | 11000          | 20               | 68740                   |
| 309236           | 20000          | 20               | 41632                   |
| 381323           | 6000           | 20               | 43298                   |
| 381328           | 3000           | 20               | 43298                   |
| 319558           | 4869           | 20               | 9992                    |
| 319558           | 4869           | 20               | 9992                    |
| 403878           | 7791           | 20               | 190320                  |
| 409185           | 10000          | 20               | 44408                   |
| 404427           | 4000           | 20               | 26645                   |
| 319250           | 15000          | 20               | 10626                   |

**Figura 23. Archivo de texto "pedidos.txt"**  
 Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de pedidos definidos en el archivo de texto con este mismo nombre, deben coincidir con el número de filas del archivo de texto "pedidos".

Una vez definidas las variables de entrada, el modelo inicia con la creación de una entidad utilizando el módulo "Create 2", la cual al pasar por el módulo "ReadWrite 2" leerá el archivo "cantidad de pedidos.txt" y guardará esta información en una variable llamada "cantidad de pedidos". Esta entidad es creada para un único uso al inicio del modelo, por lo que con el módulo "Dispose 7" se destruye (Ver figura 24).

Lectura de cantidad de pedidos

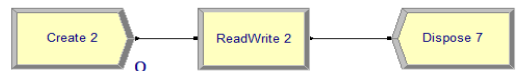


Figura 24. Diagrama de lectura de cantidad de pedidos

Fuente: Elaboración propia.

Al concluir este evento, el módulo “Create1” generará tantas entidades como tipos de productos haya, las cuales al pasar por el “ReadWrite 1” leerán el archivo “pedidos.txt” y se asignará a los atributos “tipo de producto” el código que identifica a una pieza, “Q” el tamaño de lote, “FE” los días hábiles restantes hasta la fecha de entrega estipulada con el cliente y “caja” la capacidad de almacenaje por tipo de producto en cajas.

Luego de que el modelo ha generado todas las entidades que pasarán a representar cada orden o pedido, éstas son separados por tipo de producto utilizando el modulo “Decide 1” (Ver figura 25).

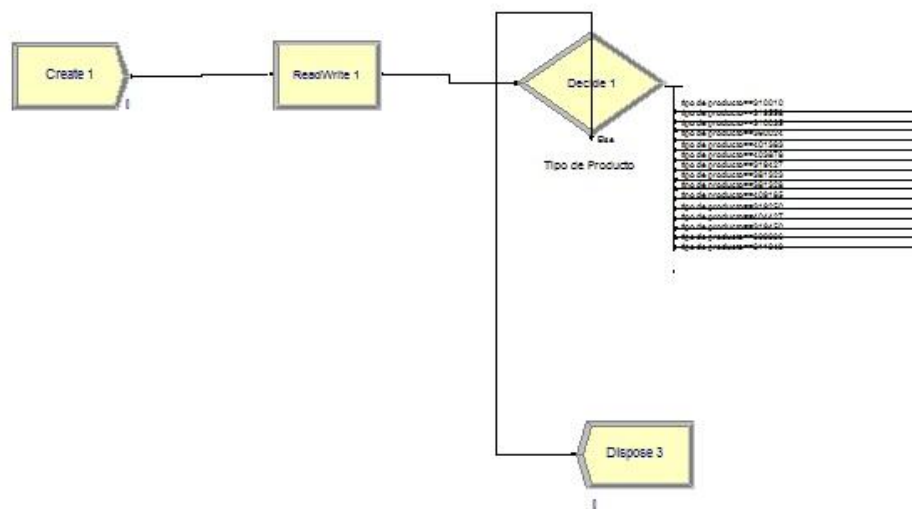


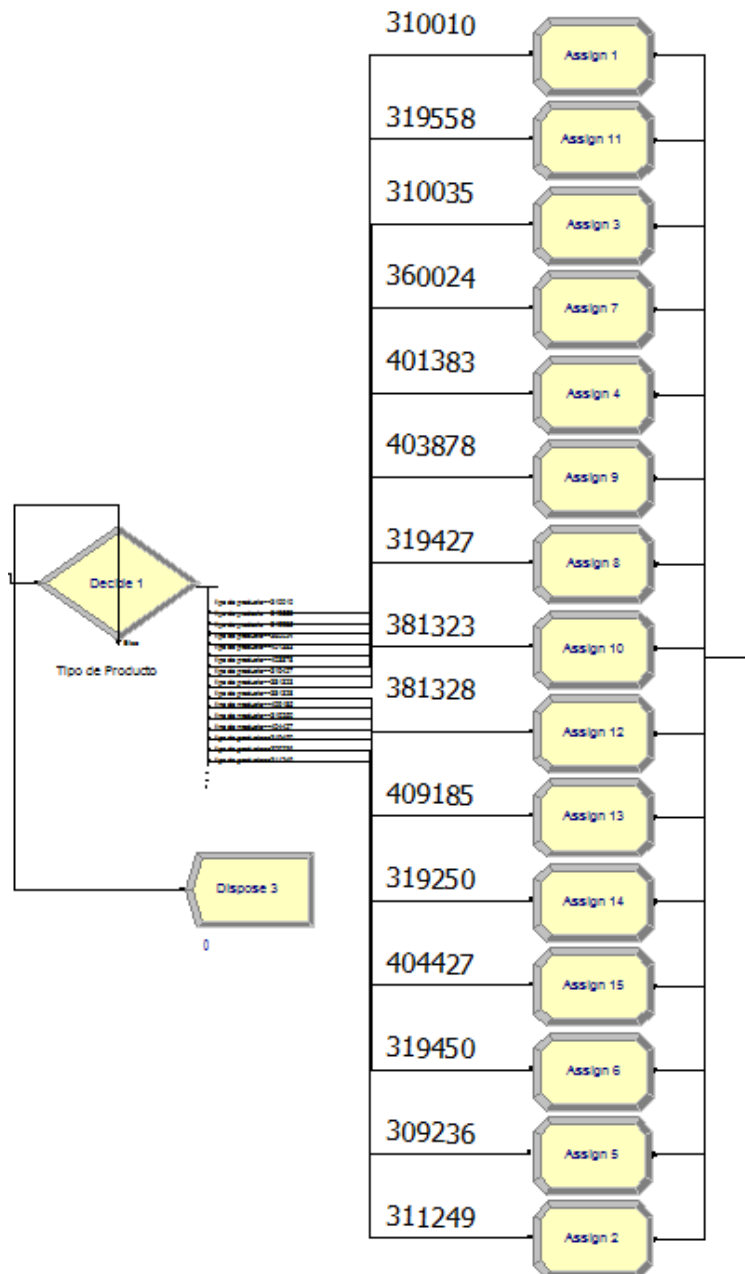
Figura 25. Diagrama de lectura de pedido

Fuente: Elaboración propia.

Cuando a la entidad se le especifica el camino que debe seguir en el “Decide 1”, la misma se dirige a alguno de los 15 módulos Assign que existen en esta etapa del modelo, los cuales representan cada uno de los 15 productos

distintos. El módulo Assign al que ingrese la entidad dependerá estrictamente del tipo de producto que sea.

Esta etapa del modelo es de gran importancia debido a que en dichos módulos ocurre la asignación de atributos que permitirán simular los procesos. (Ver figura 26).



**Figura 26. Diagrama de asignación de atributos por tipo de producto**  
Fuente: Elaboración propia.

Los seis primeros módulos representan las piezas que utilizan devanador, por lo que las entidades que fluyan a través de ellos adquirirán atributos en función a esta característica. En la tabla 15, se explica detalladamente el uso de cada atributo que adquiere una entidad que utilice devanador.

**Tabla 15.** Función de atributos para entidades que utilizan devanador

| Atributo              | Función  |
|-----------------------|--|
| <b>Entity Picture</b> | Figura que representa una orden  |
| <b>A1</b>             | Representa el valor de la media correspondiente a su tiempo de procesamiento en el primer prensado     |
| <b>A2</b>             | Representa el valor de la media correspondiente a su tiempo de procesamiento en el segundo prensado    |
| <b>B1</b>             | Representa el valor de la varianza correspondiente a su tiempo de procesamiento en el primer prensado  |
| <b>B2</b>             | Representa el valor de la varianza correspondiente a su tiempo de procesamiento en el segundo prensado |
| <b>2 pasos</b>        | Indica si la entidad tiene 2 procesos de prensado o uno solo   |
| <b>Usa Devanador</b>  | Indica si la entidad requiere del uso del devanador  |
| <b>Paso actual</b>    | Indica si a la entidad le toca pasar por el primer o segundo prensado                                  |
| <b>Tpp dev</b>        | Tiempo de puesta a punto del devanador   |

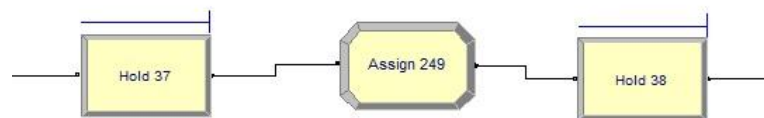
Las 9 piezas restantes, a diferencia de las anteriores, pasarán por la estación de cizallado y de trefilado si se requiere, ya que la materia prima utilizada es recibida láminas. Los atributos respectivos se describen en la tabla 16.

**Tabla 16.** Función de atributos para entidades que utilizan cizalla y trefiladora

| Atributo              | Función  |
|-----------------------|--|
| <b>Entity Picture</b> | Figura que representa una orden  |
| <b>A1</b>             | Representa el valor de la media correspondiente a su tiempo de procesamiento en el primer prensado       |
| <b>B1</b>             | Representa el valor de la varianza correspondiente a su tiempo de procesamiento en el primer prensado    |
| <b>C1</b>             | Representa el valor de la media correspondiente a su tiempo de procesamiento en la estación de cizallado |
| <b>C2</b>             | Representa el valor de la varianza correspondiente a su tiempo de procesamiento en la estación de        |

|                        |   |
|------------------------|---|
|                        | cizallado   |
| <b>T1</b>              | Representa el valor de la media correspondiente a su tiempo de procesamiento en la estación de trefilado    |
| <b>T2</b>              | Representa el valor de la varianza correspondiente a su tiempo de procesamiento en la estación de trefilado |
| <b>2 pasos</b>         | Indica si la entidad tiene 2 procesos de prensado o uno solo.   |
| <b>Paso actual</b>     | Indica si a la entidad le toca pasar por el primer o segundo prensado                                       |
| <b>Tpp cizalla</b>     | Tiempo de puesta a punto de la cizalla  |
| <b>Tpp trefiladora</b> | Tiempo de puesta a punto de la trefiladora  |

Luego de la asignación de atributos, es necesario ordenar los pedidos de acuerdo a la regla de prioridad con la que se quiera trabajar. Para ordenar los pedidos se hace uso del módulo “Hold 37” al cuál llegan todas las órdenes y son retenidas hasta que llegue la última. Una vez que ha llegado la última orden, éstas son liberadas para pasar por el “Assign 249” en donde se realiza el cálculo de la regla de prioridad a utilizar. Para fines de esta explicación se trabajará con holgura, la cual representa la diferencia entre los días hasta la fecha de entrega y el tiempo restante de procesamiento. A continuación, el módulo “Hold 38” ordenará los pedidos de modo creciente en base a la holgura. Una vez que todos los pedidos se han ordenado se da una señal de liberación y las entidades seguirán por sus respectivas rutas. (Ver figura 27).



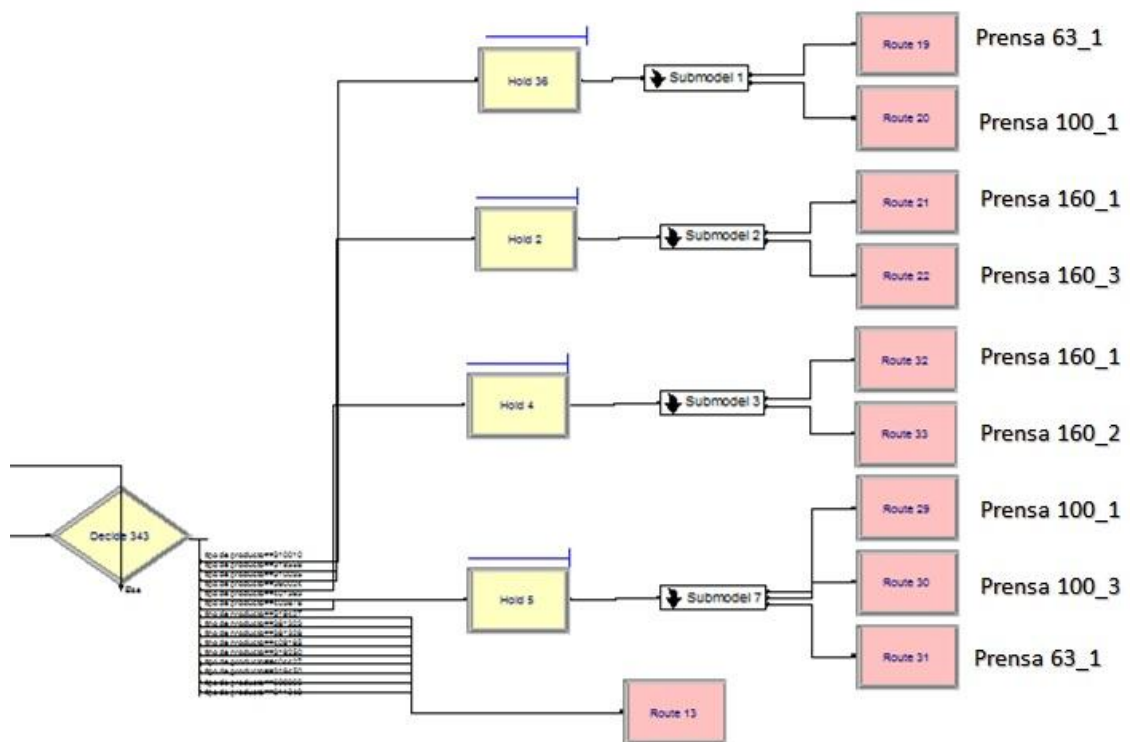
**Figura 27. Diagrama del cálculo de regla de prioridad**

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo de la holgura, o de otras reglas de prioridad, se realizará cada vez que finalice algún proceso de producción, de manera de que se le dé prioridad

a aquellas órdenes que se encuentren más críticas en procesos futuros dentro del razonamiento que se utilice.

Una vez que se ha calculado la regla de prioridad seleccionada, se separan las entidades dependiendo de la ruta a seguir mediante el uso del módulo “Decide 343”. En esta sección del modelo existen 5 rutas principales por la cual puede fluir una entidad. Las primeras 4 rutas están representadas por los módulos “Hold 36, 2, 4 y 5” cuya función es verificar si las prensas destino están disponibles, al igual que alguno de los 2 devanadores que existen, de lo contrario, la entidad debe esperar en cola en dicho módulo. La 5ta ruta, es utilizada por las entidades destinadas a la estación de cizallado. (Ver figura 28)



**Figura 28. Diagrama de rutas de piezas que usan devanador y piezas que van al cizallado**  
Fuente: Elaboración propia.

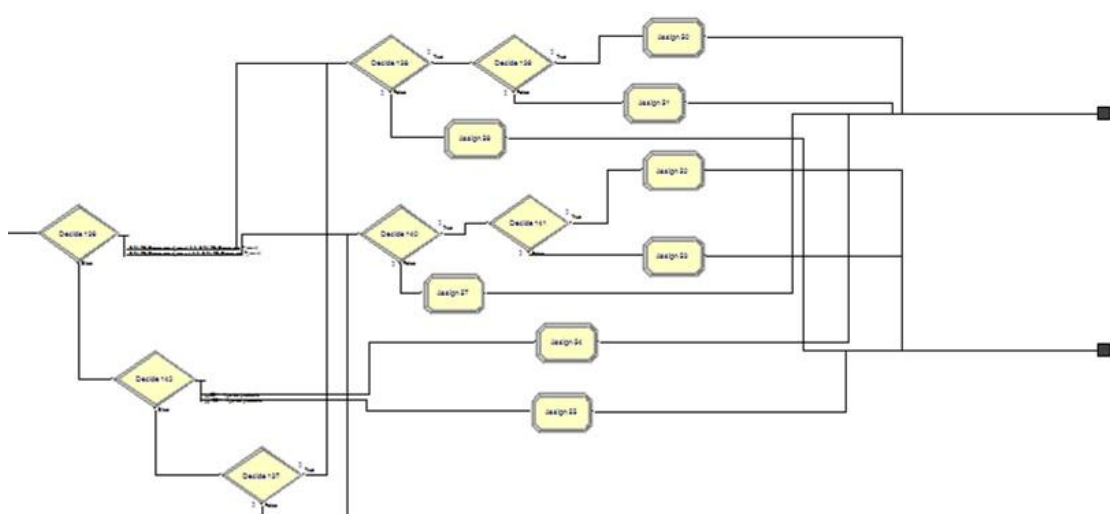
Cada una de las primeras 4 rutas mencionadas anteriormente, posee distintas estaciones destino, debido a que cada tipo de pieza puede procesarse en prensas diferentes. Es por esto, que cada ruta al final posee varios módulos llamados “Route”, que permiten transportar la entidad a la estación deseada.



Cuando se decide procesar una orden en una prensa, lo más conveniente es verificar si hay alguna que esté disponible y además tomar en cuenta si el troquel que se encuentra en esa prensa es el mismo que se necesita, de lo contrario, se genera un tiempo de puesta a punto correspondiente al cambio de troquel.

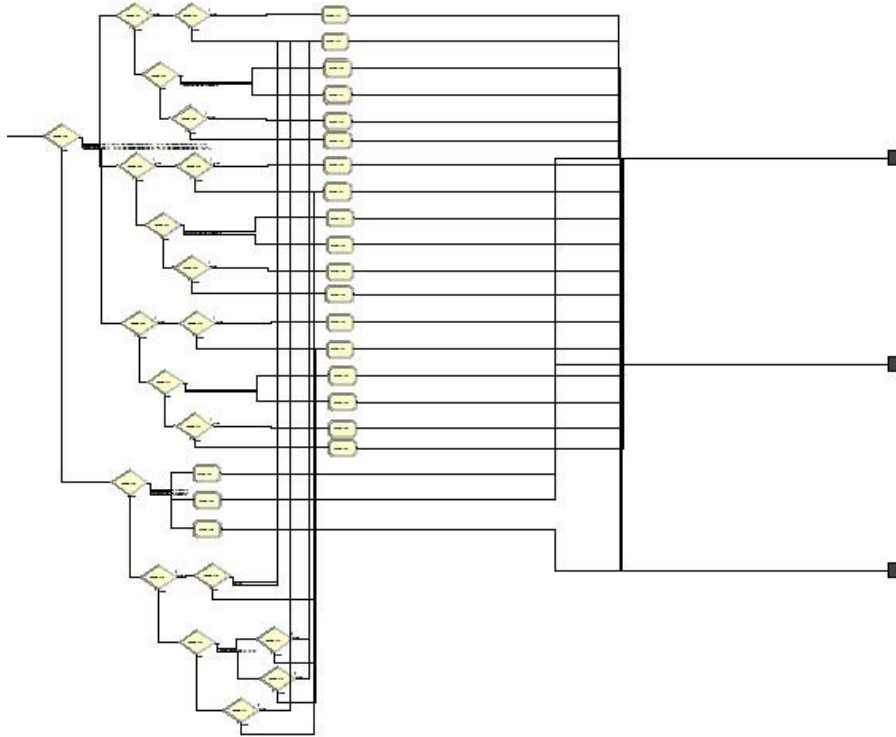
Para verificar esto se creó una lógica que dependerá de las prensas que estén libres en ese momento para cada producto y si el troquel de dicha pieza, el cual es único por cada producto, se encuentra montado en una prensa, si esto es así no es necesario el tiempo de puesta a punto, de lo contrario este se le adicionará como un atributo a la entidad y cuando llegue el momento de trabajar en el área de prensado se aplicará dicho tiempo.

La lógica que contempla este análisis, se creó en los submodelos 1,2 ,3 y 7. Los submodelos 1,2 y 3 son representados en la figura 29 y consisten en que el modelo analiza la posibilidad de que se encuentre una prensa libre y otra ocupada o de que ambas estén desocupadas. Adicionalmente se estudia la posibilidad de que el troquel que corresponde a la pieza a elaborar se encuentre en una de las prensas a donde el producto pueda ir. En el caso que ocurra esto, no es necesario asignar un tiempo de puesta a punto, de lo contrario se asigna la expresión del tiempo de puesta a punto en un atributo que posee la entidad.



**Figura 29. Submodelo de lógica para asignar tiempos de puesta a punto**  
Fuente: Elaboración propia.

El submodelo 7 (ver figura 30) se diferencia en que posee 3 distintas rutas posibles, por lo que la lógica dentro éste debe considerar la tercera opción, bajo los mismo principios de los submodelos anteriores.



**Figura 30. Diagrama del submodelo 7**

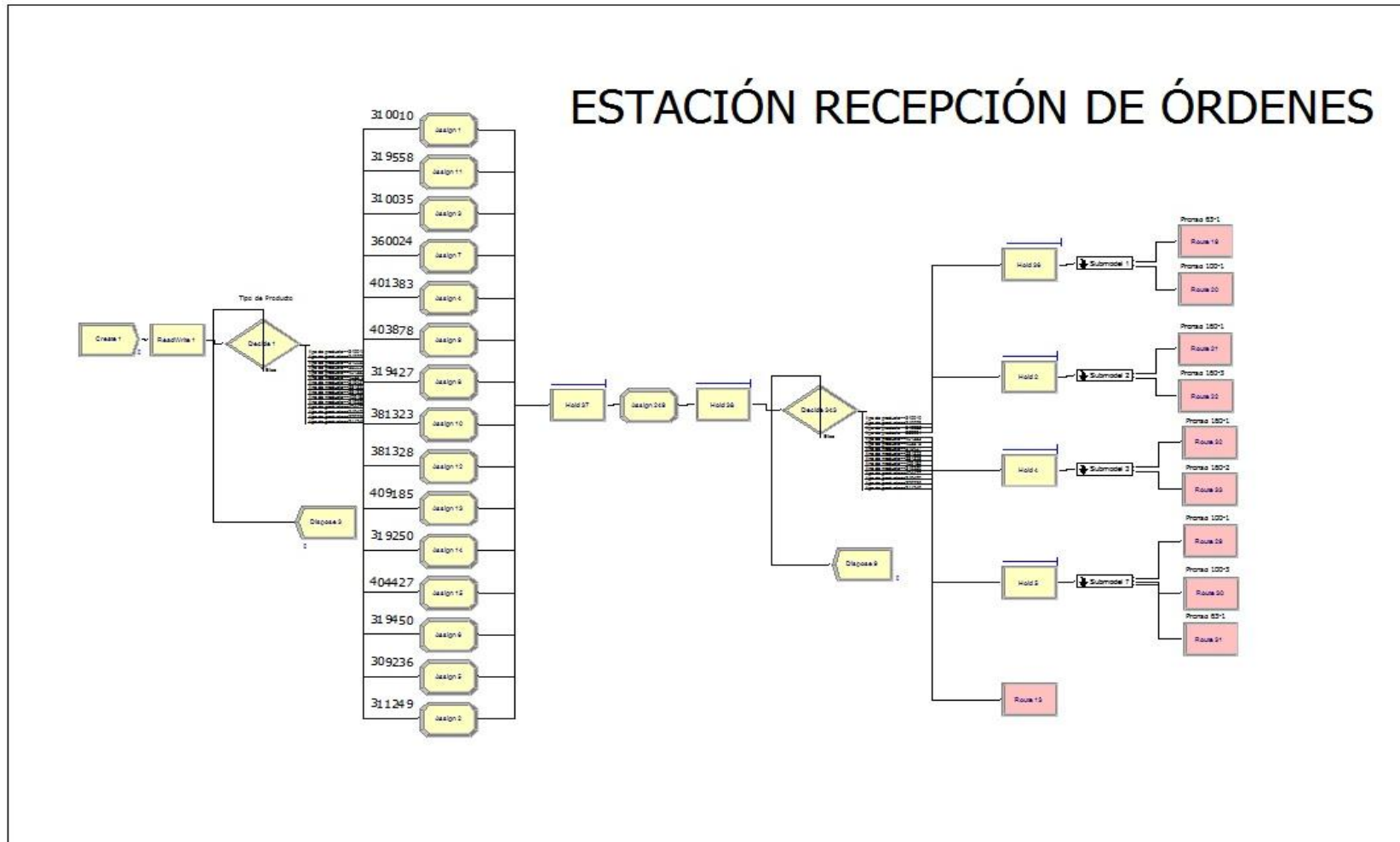
Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo la pieza 310010, la cual puede ser procesada en las prensas 63-1 o 100-1, preguntará primero si su troquel se encuentra en una de estas, si es así para ahorrar el tiempo de puesta a punto la orden será mandada directamente. Si el troquel no se encuentra en las prensas, la orden se mandará a la prensa que este libre y se aplicará el tiempo de puesta a punto correspondiente.

El resto de las piezas que no utilizan devanador son mandadas por el módulo “Route 13” a la estación de cizallado.

En la figura 31 se representa el diagrama completo correspondiente a la recepción de las órdenes del modelo.

# ESTACIÓN RECEPCIÓN DE ÓRDENES

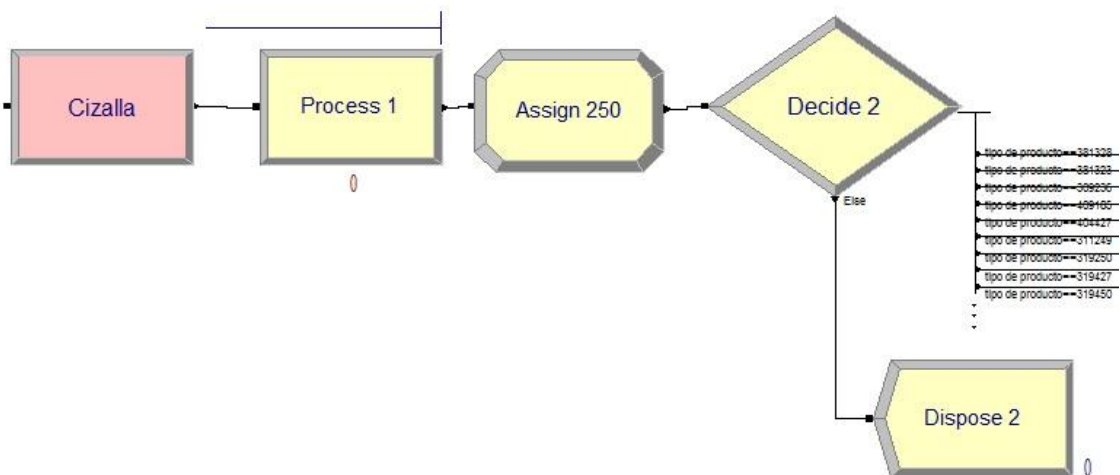


**Figura 31. Diagrama de Recepción de Órdenes**  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.2 ESTACIÓN DE CIZALLADO

La estación de cizallado recibe las tapas finales 381328, 381323 y 309236, las arandelas metálicas 409185 y 404427, y los aros metálicos 311249, 319250, 319427 y 319450 que utilizan láminas como materia prima. La entidad llega a la estación a través del módulo “Cizalla” el cual es un complemento de los módulos “Route” cuya función es simplemente recibir la entidad que viene de una ruta específica y procede a simular el corte de dichas láminas usando el “Process 1”, en el cual se toman en cuenta los tiempos de corte, tiempos de puesta a punto y el número de piezas que resultan de una lámina.

Luego se recalcula la holgura en el “Assign 250” y con la ayuda del “Decide 2” se separan las órdenes por producto para seguir las respectivas rutas. Cada entidad poseerá una ruta específica a seguir. (Ver figura 32)



**Figura 32. Diagrama de simulación de la operación de cizallado**

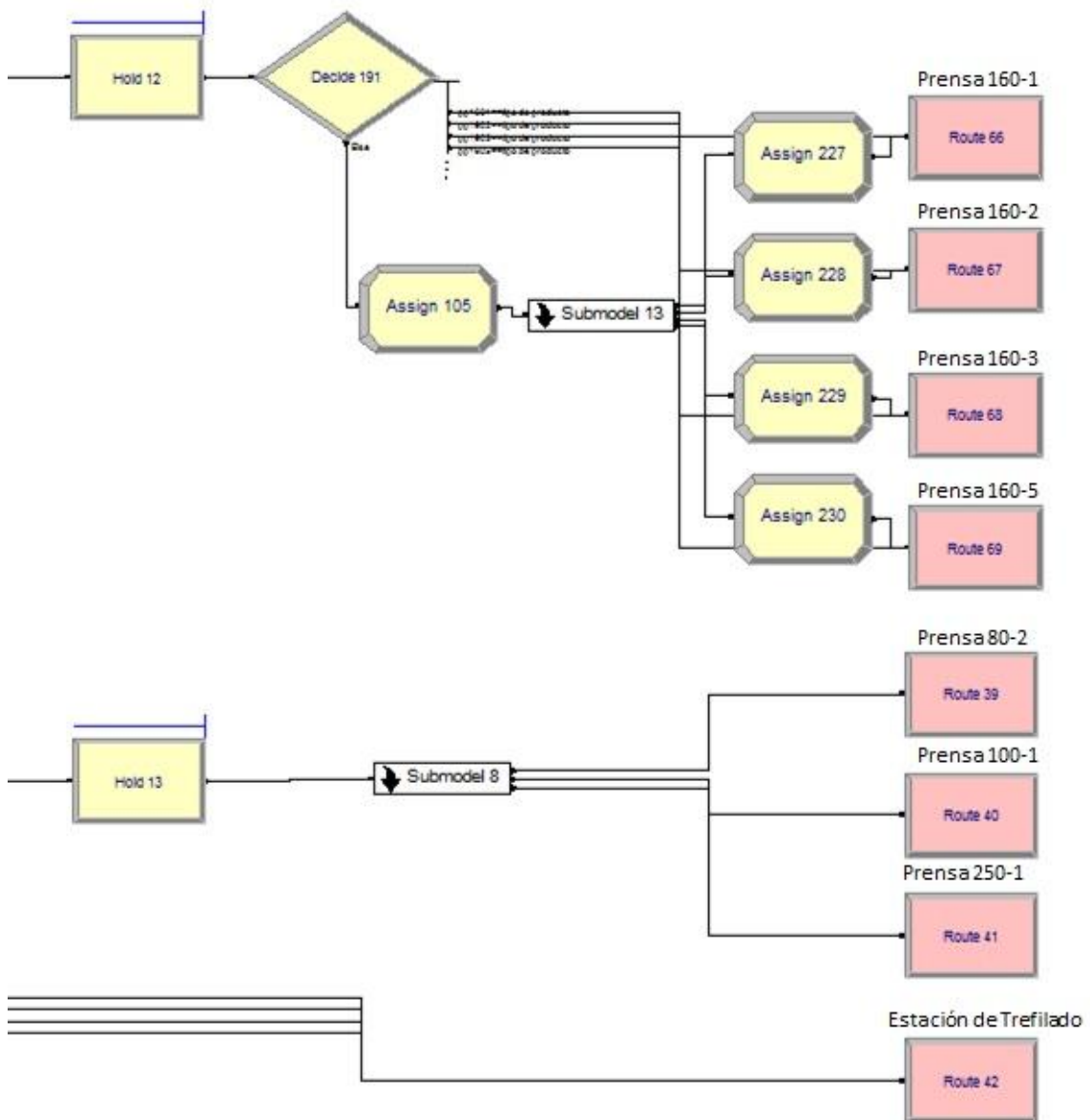
Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de las rutas anteriormente explicadas en la recepción de órdenes del modelo, en el caso de la estación de cizallado, cuando la entidad llega al “Hold 12 o 13”, simplemente se preguntará por la disponibilidad de prensa para que la entidad pueda continuar.

En el caso de la ruta superior, en el “Decide 191” se verifica si el troquel de dicha orden se encuentra en una de las prensas, si esto es así, la orden se mandará directamente por medio de las rutas, de lo contrario pasan por el

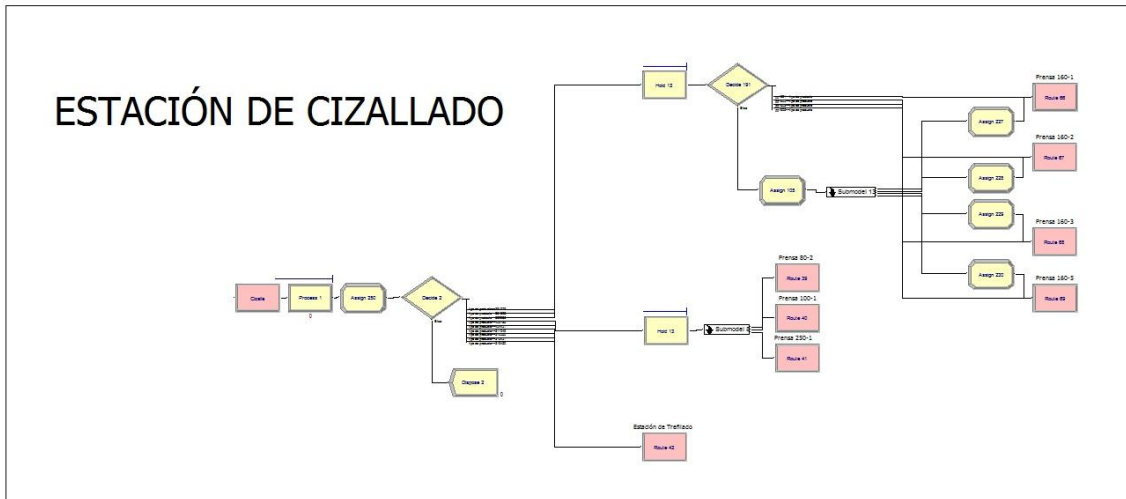
“submodelo 13” donde se analiza el requerimiento del tiempo de puesta a punto en función de las máquinas libres.

Las órdenes que necesitan la operación de trefilado, seguirán por el módulo “Route 42” a dicha estación. (Ver figura 33).



**Figura 33. Diagrama de rutas en la estación de cizallado**  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 34 se representa el diagrama completo del modelo correspondiente a la estación de cizallado.

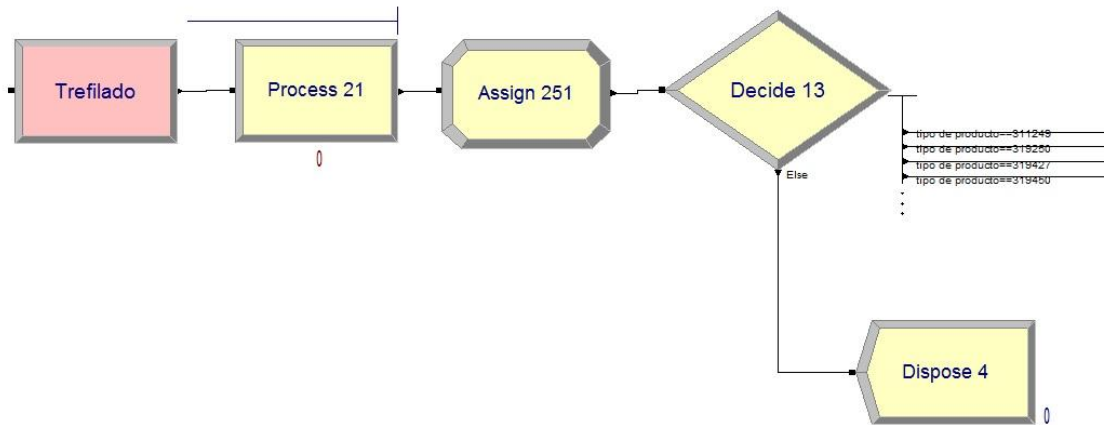


**Figura 34. Diagrama de estación de cizallado**  
 Fuente: Elaboración propia.

### 4.5.3 ESTACIÓN DE TREFILADO

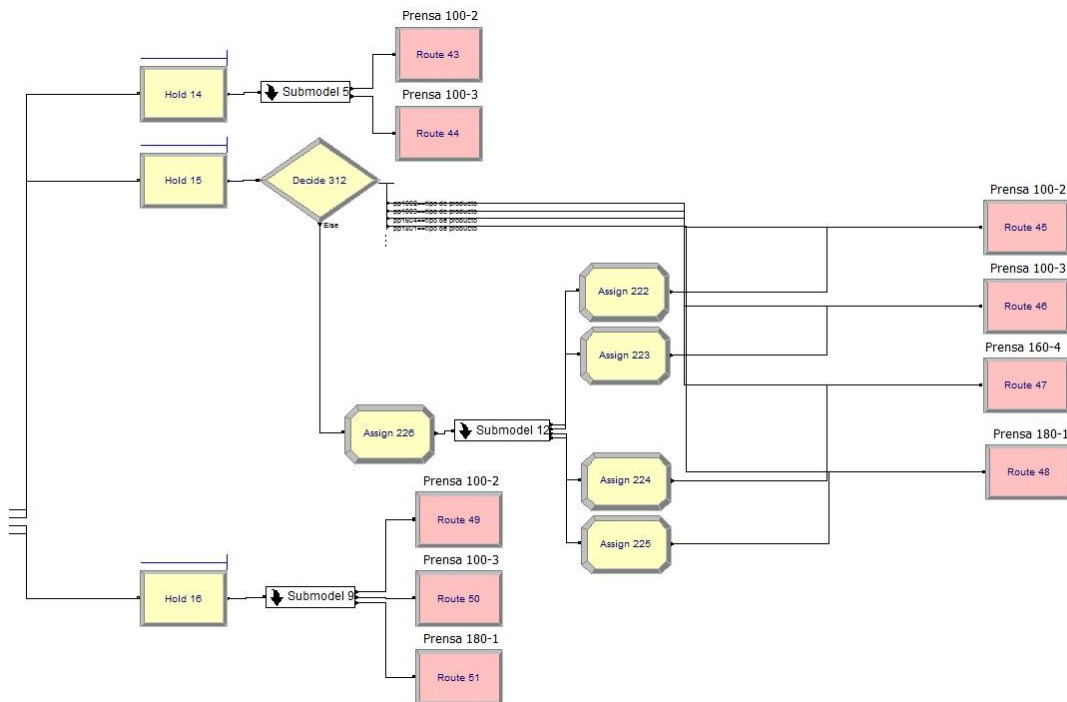
En la estación de trefilado se trabaja con tiras de material previamente cortado en la cizalla. Como anteriormente se ha explicado, las entidades que pasan por esta estación tienen atributos específicos en donde se guarda la información de los tiempos de puesta a punto y tiempos de operación de esta actividad.

La entidad llega a la estación a través del módulo “trefilado”, seguidamente se simula el proceso de trefilado en el “Process 21” para luego realizar nuevamente el cálculo de la holgura en el “Assign 251”. Luego, la entidad pasa por el “Decide 13” en donde escoge una ruta, que dependerá del atributo de tipo de producto que posea la entidad. (Ver figura 35).



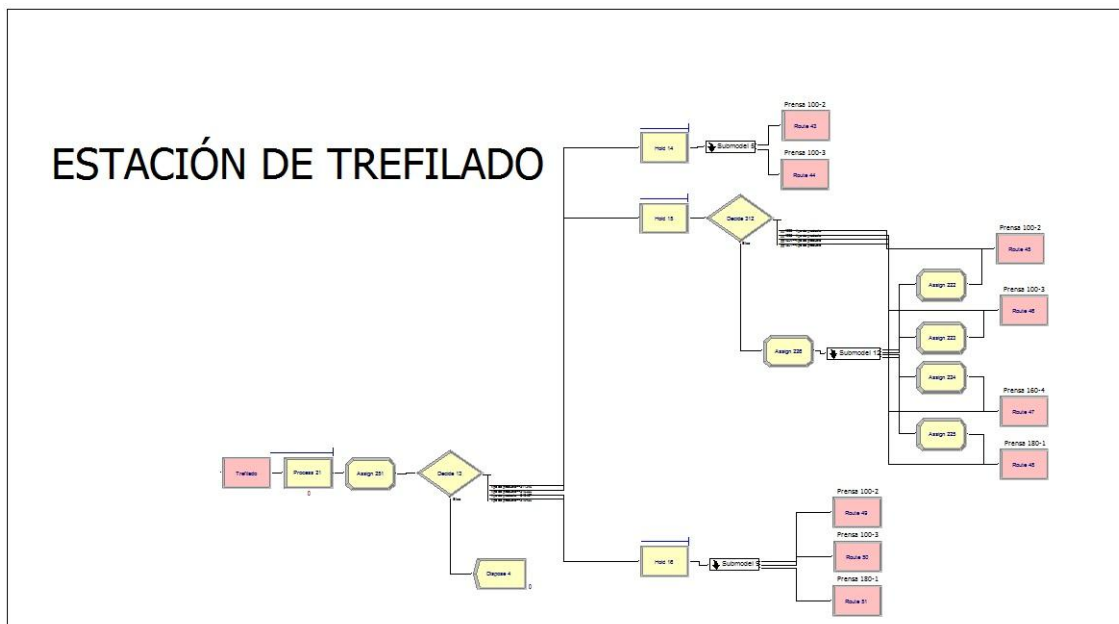
**Figura 35. Diagrama de simulación de operación de trefilado**  
 Fuente: Elaboración propia.

Esta estación presenta 3 rutas distintas en donde la entidad será retenida en los “Hold 14, 15 y 16” de ser necesario, al tener que esperar por la disponibilidad de alguna de las prensas. De igual manera se determina si se requiere o no aplicar el tiempo de puesta a punto, estudiando la existencia del troquel en alguna de las prensas requeridas por el producto. (Ver figura 36).



**Figura 36. Diagrama de rutas en la estación de trefilado**  
 Fuente: Elaboración propia.

En la figura 37 se representa el diagrama del modelo correspondiente a la estación de trefilado.



**Figura 37. Diagrama del modelo correspondiente a la estación de trefilado**  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.4 ESTACIÓN DE PRENSADO

Para la construcción de la estación de prensado se crearon sub estaciones por cada tipo de prensa. Existen 13 sub estaciones que representan cada prensa en la que se pueden realizar las distintas operaciones requeridas por cada tipo de pieza.

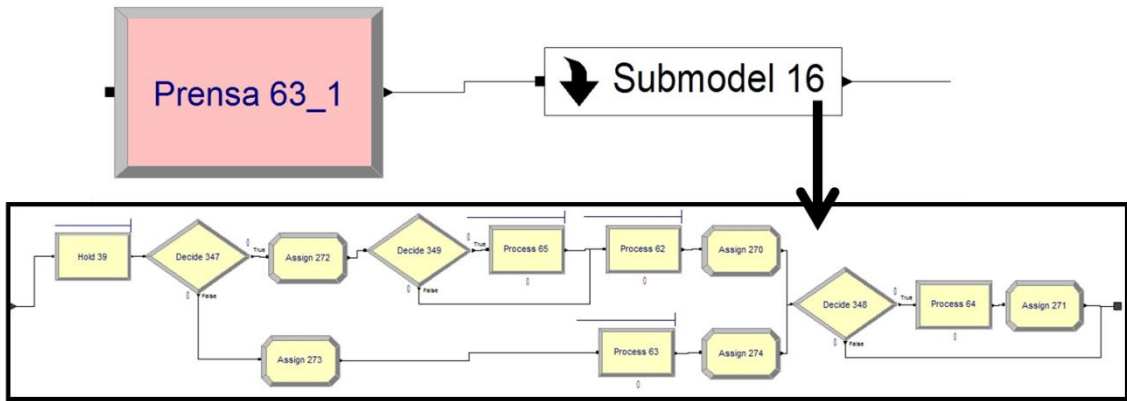
Es importante recordar que la tapa final 310010 y las capas guardapolvos 360024, 319558 y 310035 requieren de un segundo paso por alguna prensa, por lo que en esta sección del modelo se encuentra un diagrama que permite simular dicha situación.

Debido a que la lógica que se maneja en cada prensa es similar, se procederá a explicar el recorrido de la pieza 310010. En este caso, al tratarse de una pieza que utiliza devanador, la entidad proviene de la sección de recepción de órdenes en donde se especifican las rutas de todas aquellas



piezas que utilizan devanador. Sin embargo, la entidad puede provenir de alguna de las otras estaciones, bien sea de cizallado o trefilado.

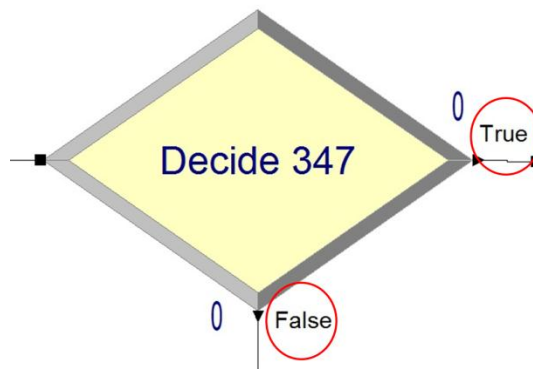
La orden es recibida en la sub estación “Prensa 63\_1” que se observa en la figura 38.



**Figura 38. Sub estación "Prensa 63\_1"**

Fuente: Elaboración propia.

Las entidades que llegan a esta sub estación pueden requerir del uso del devanador o no, por lo que el módulo “Hold 39” retendrá las órdenes hasta que la prensa, y en caso de ser necesario, el devanador esté libre. Una vez que la entidad es liberada, el módulo “Decide 347” preguntará a la entidad cual paso es va a realizarse. Si la respuesta es que requiere realizar el primer paso, entonces la entidad seguirá por el “true” que representa el camino superior, de lo contrario, si requiere un segundo paso, la entidad seguirá por el “false”, es decir, el camino inferior. (Ver figura 39).

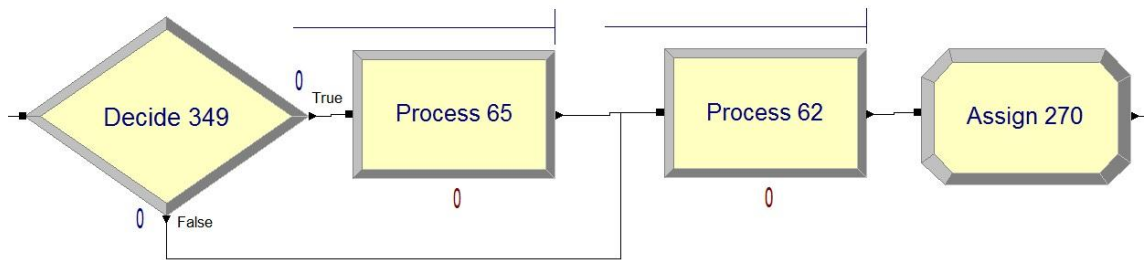


**Figura 39. Decisión de cuál paso requiere la entidad**

Fuente: Elaboración propia.

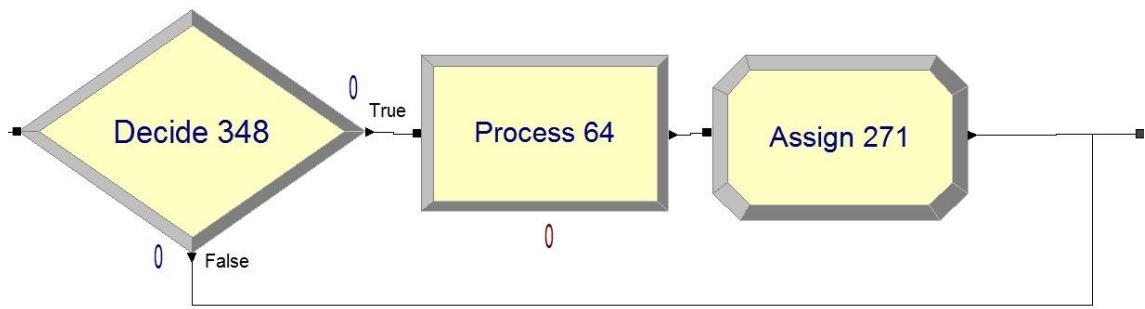
En este caso, la pieza 310010 requiere de un primer paso por lo que sigue hacia el módulo “Assign 272” en el cual se actualiza la variable empleada para determinar cuál troquel está siendo utilizado en la prensa. Seguidamente, la entidad entra en el módulo “Decide 349” en donde se le pregunta si utiliza devanador. De ser cierto, la entidad debe entrar al módulo “Process 65” en donde se simula la toma del devanador. Esto permitirá al modelo saber si los devanadores están ocupados y determinar si la entidad debe esperar en el Hold o no. Luego, en el módulo “Process 62” se simula el proceso de primer prensado con los atributos respectivos en cuanto a tiempos de procesamiento se refiere.

Una vez que se ha simulado la operación de prensado, se recalcula la holgura y se actualiza el atributo “Paso actual” para indicar que la entidad ya realizó el primer prensado, en el módulo “Assign 270”. (Ver figura 40)



**Figura 40. Operación de prensado en prensa 63\_1**  
Fuente: Elaboración propia.

Cuando la simulación del proceso de prensado ha culminado, es necesario preguntar si la pieza que se procesó estaba utilizando el devanador, para poder liberarlo. Esto ocurre en el módulo “Decide 348”, en donde se hace la pregunta, y si resulta afirmativa la respuesta, se procede a liberar el devanador en el módulo “Process 64”, para luego actualizar el atributo del devanador en el “Assign 271”, de manera de asegurarse que la entidad no volverá a utilizar el devanador. (Ver figura 41).



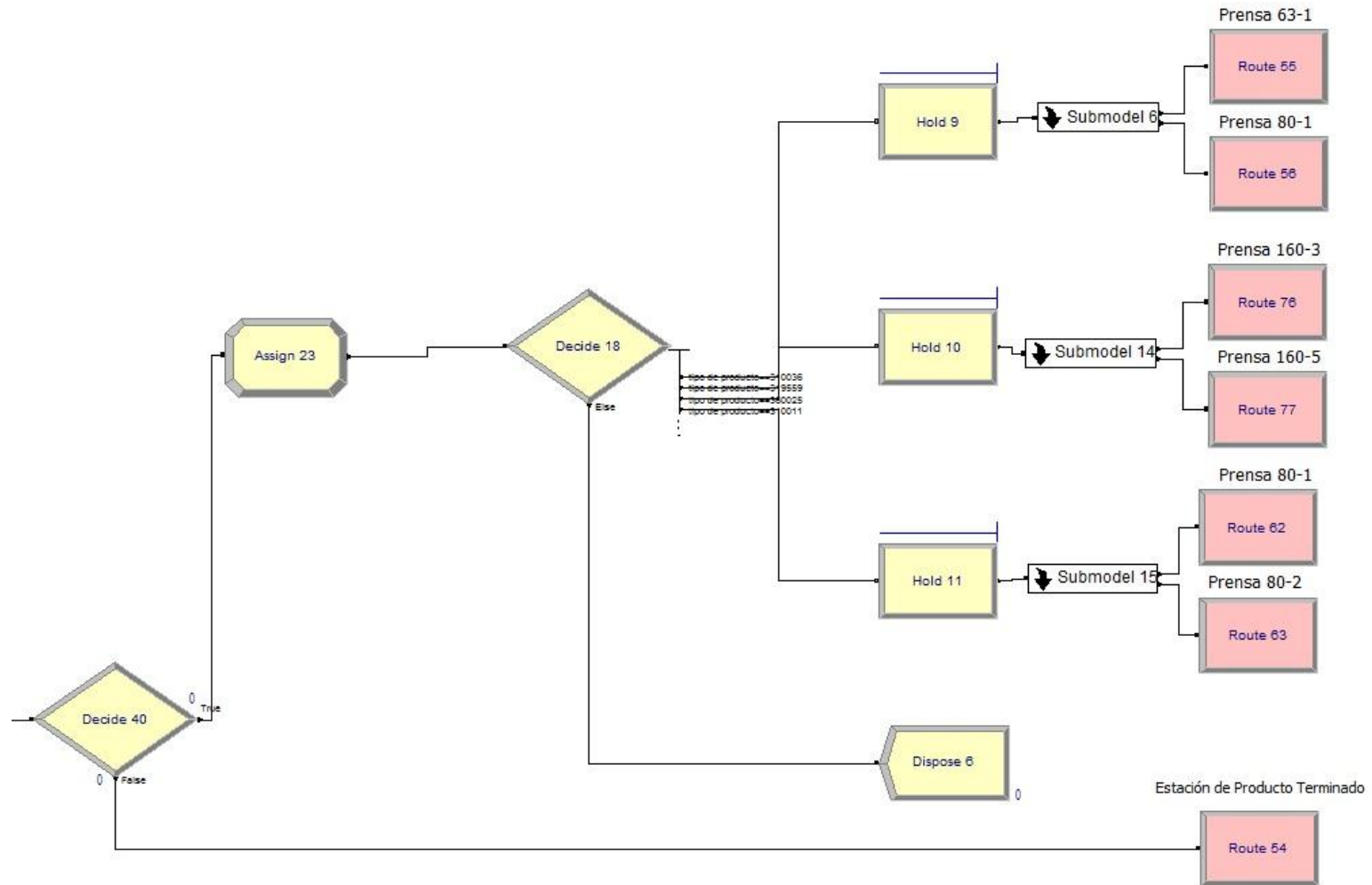
**Figura 41. Diagrama de liberación del devanador**

Fuente: Elaboración propia.

En este momento, la entidad ha culminado el proceso de prensado, por lo que se dirige al módulo “Decide 40” en el que se decide si la entidad requiere un segundo paso por la estación de prensado o si ya puede dirigirse a la estación de producto terminado.

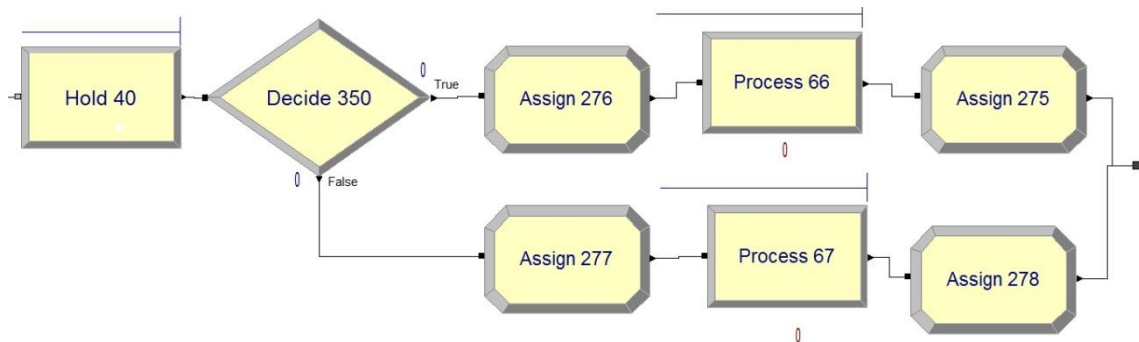
Si la entidad posee un segundo paso, seguirá al módulo “Assign 23” en donde se actualiza el atributo que indica si tiene un segundo paso, para asegurarse de que la entidad luego de ser procesada en la prensa no regrese por esta ruta.

Las entidades tienen rutas específicas para ser procesadas en el segundo paso, las cuales se escogen con la misma lógica anteriormente explicada en las estaciones de procesamiento. (Ver figura 42).



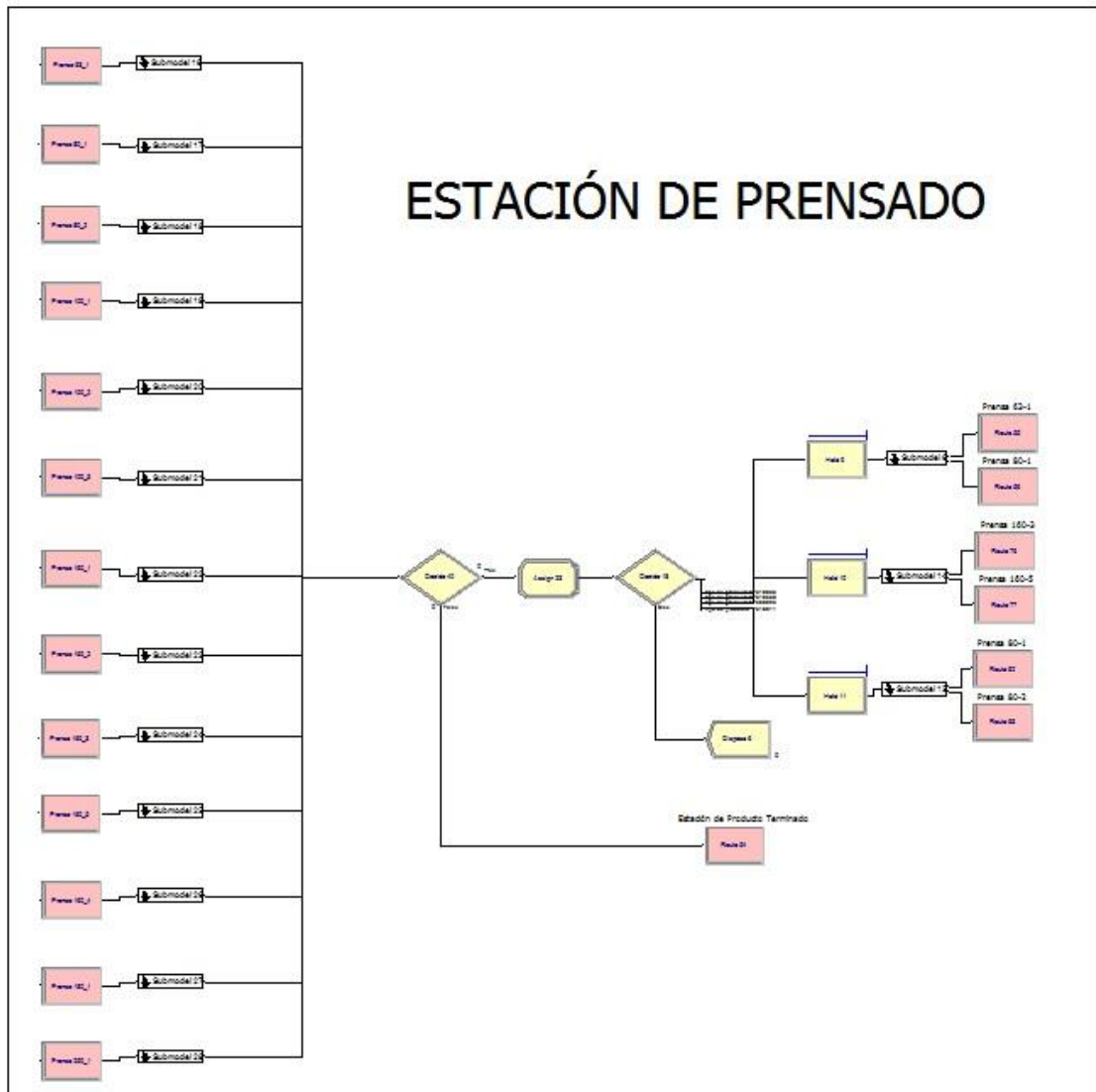
**Figura 42. Diagrama de decisión de segundo paso**  
 Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo el ejemplo planteado de la pieza 310010, resulta que la entidad podría seguir por el módulo “Route 62” hacia la sub estación “Prensa 80\_1”, donde se mantiene el mismo análisis planteado anteriormente, con la diferencia que el módulo “Decide 350”, cuando se pregunta por el paso a realizar, la entidad seguirá por el “false”, indicando que se simulará el segundo prensado y se actualizará la variable encargada de identificar cual troquel está siendo utilizado. Al finalizar este procedimiento se recalcula la holgura y como no se utiliza devanador en los segundos pasos, la orden pasará directamente al “Decide 40” en donde se mandará a la estación de producto terminado. (Ver figura 43)



**Figura 43. Subestación “Prensa 80\_1”**  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 44 se representa el diagrama del modelo correspondiente a la estación de prensado.



**Figura 44. Diagrama de estación de prensado**  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.5 ESTACIÓN DE PRODUCTO TERMINADO

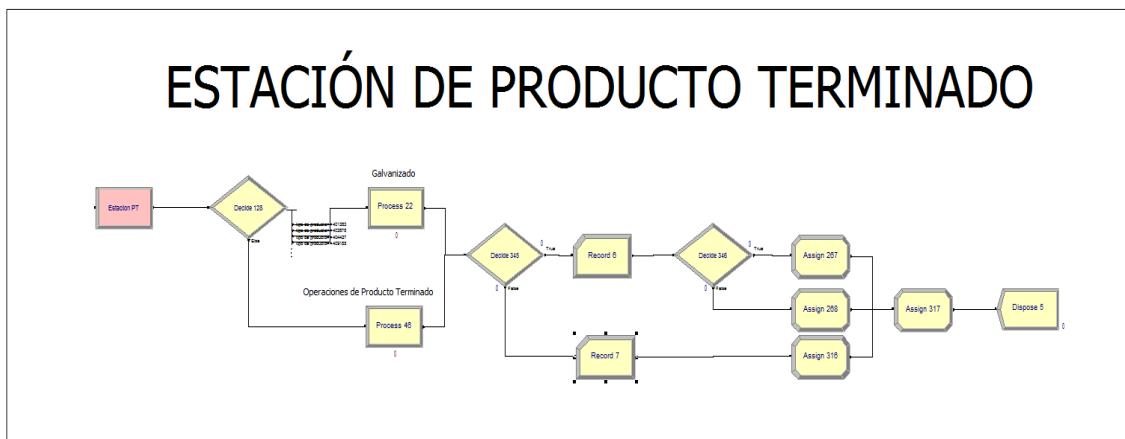
Al llegar las órdenes a la estación de producto terminado estas son separadas utilizando el "Decide 128", ya que las arandelas metálicas 409185, 404427, 403878 y 401383 requieren un proceso de galvanizado adicional a las actividades de producto terminado. De ser así, las piezas son mandadas a una empresa outsourcing la cual realiza se encarga de llevar a cabo el galvanizado, dicho proceso se simula en el "Process 22". El resto de las órdenes realizan las operaciones de producto terminado en el "Process 46", entre las actividades

que se ejecutaran se encuentran la inspección, conteo, tamboreo, secado, embalaje y almacenaje.

El “Decide 345” se encarga de separar los pedidos, entre los que son culminados antes de la fecha de entrega y los que son culminados después de la fecha de entrega. Los que son culminados antes de la fecha de entrega son contados en el “Record 6” y posteriormente pasan a una lógica donde se determina el espacio en metros cuadrados que ocupan en el almacén, dicho dato sirve para el cálculo del costo asociado a la culminación de pedidos antes de la fecha de entrega.

Las órdenes que son terminadas pasada ya la fecha de entrega son contadas en el “Record 7” y luego en el “Assign 319” se procede a hacer el cálculo del costo asociado a la entrega de órdenes a destiempo. En el “Assign 317” se realiza el cálculo del nivel de servicio y la suma de los dos costos anteriormente expuestos.

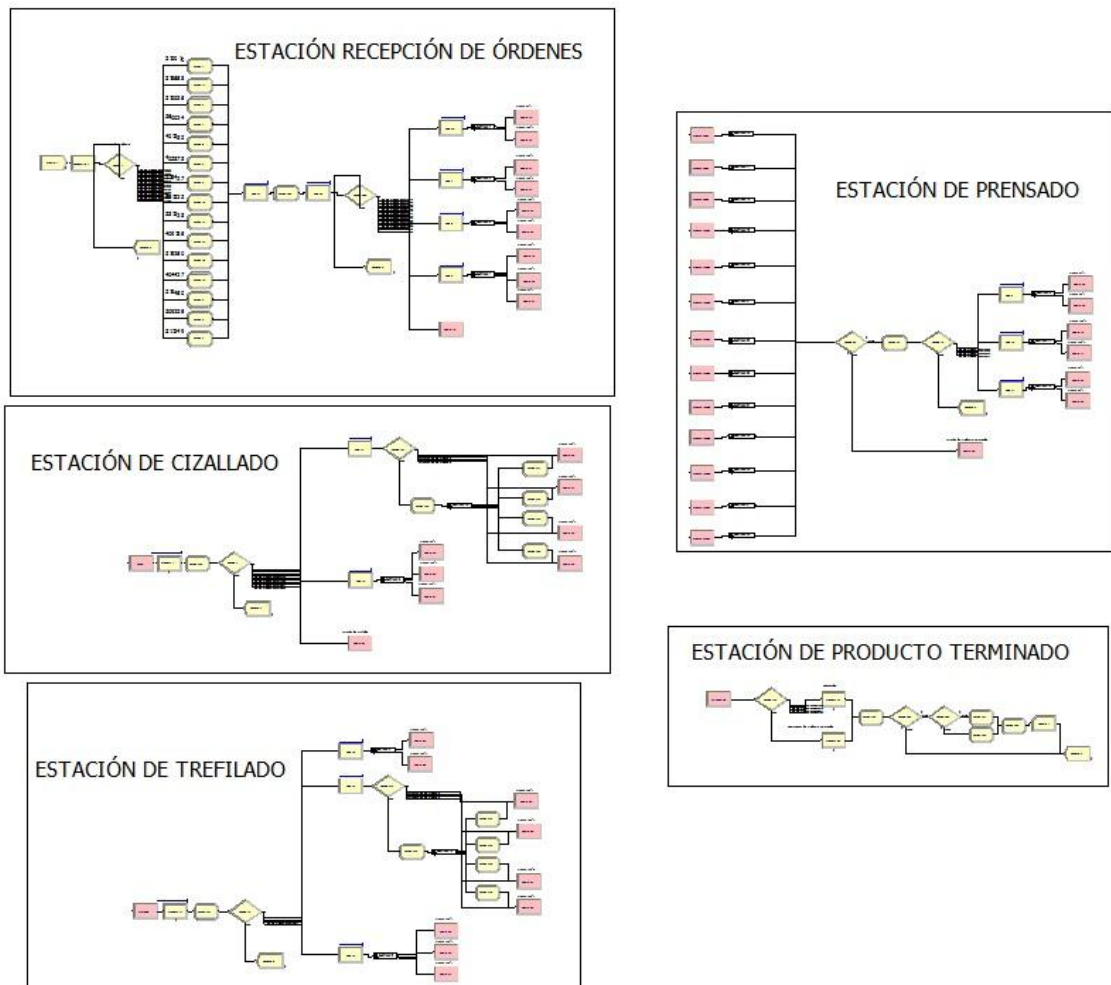
Finalmente las entidades son destruidas en el “Dispose 5” con lo que se le da fin a la simulación. En la figura 45 se puede observar el diagrama de la estación de producto terminado.



**Figura 45. Diagrama de la estación de producto terminado.**

Fuente: Elaboración propia

En último lugar, la figura 46 representa todas las estaciones que conforman la planta de la empresa INDES C.A.



**Figura 46. Diagrama del modelo de simulación**  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.6 VERIFICACIÓN DEL MODELO

La verificación del modelo se refiere a que éste represente la realidad del sistema en estudio sin perder sus propiedades. Para asegurar esto se observó y analizó con detalle cada módulo dentro del sistema en busca de errores, además se llevó un registro que detalla cada versión nueva del modelo donde se pudo controlar cada cambio realizado previniendo la pérdida de data por la ocurrencia de un error de transcripción.

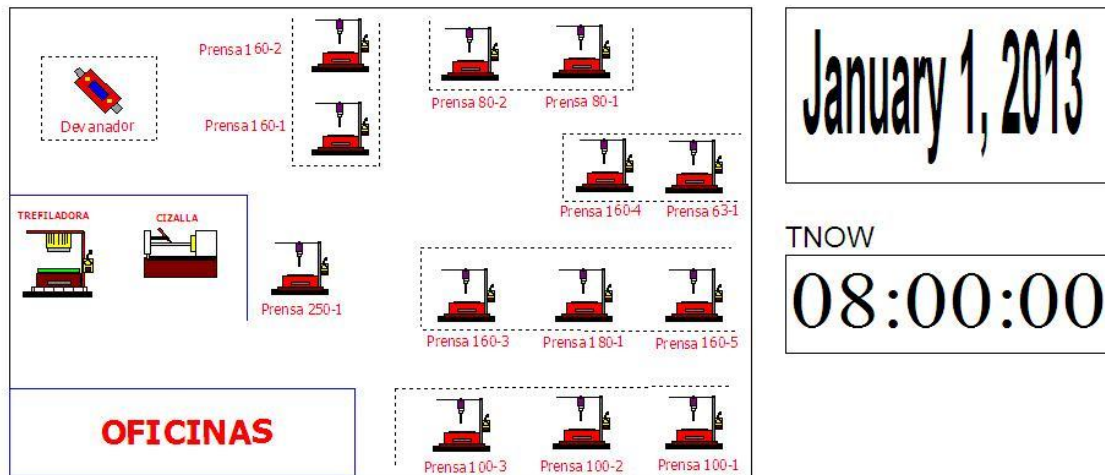
Parte de la verificación consistió en el seguimiento de cada producto por el modelo utilizando como ayuda visual el atributo “Entity Picture”, el cual es distinto por cada pieza. En esta etapa, se siguió a cada entidad por separado y luego se alimentaron varias órdenes y se repitió el proceso, de manera que se



pueda garantizar el correcto funcionamiento del modelo con una o varias órdenes. Además se procedió a cambiar las fechas de entrega y la cantidad de pedidos a procesar, de manera que se pueda observar si el modelo emite algún error por la sobrecarga de pedidos, que exista correlación entre estos resultados y los anteriores o alguna discrepancia en general. Adicionalmente se verificó con detenimiento la lógica construida para la asignación de los tiempos de puesta a punto cuando correspondiese, por lo que se evaluó dicha lógica para cada una de las posibles rutas a seguir por cada entidad a través del modelo para asegurar que no se estuviesen asignando tiempos de puesta a punto incorrectamente.

Mediante los módulos “Dispose” que se encuentran conectados con los módulos “Decide” en cada estación del modelo, se verifica que cada pieza siga el recorrido que le corresponde, ya que si una de estas termina en alguno de éstos módulos se podría concluir que ocurrió un error en la asignación de rutas. Finalmente se dispone de un “Dispose” en la estación de producto terminado el cual representa el último destino del recorrido de cada pieza por el modelo. Al saber la cantidad de pedidos, se asegura que esa misma cantidad terminen en dicho módulo.

Para verificar que los recursos asociados a los módulos “Process” de las estaciones de trabajo estén funcionando en el momento correcto, se utilizaron las herramientas de animación que trae el programa de manera de que se pueda observar cuando uno de estos recursos este ocupado. (Ver figura 47)



**Figura 47. Animación del Modelo de Simulación**

Fuente: Elaboración propia

Utilizando todas las medidas anteriormente mencionadas de manera rigurosa, se comprueba que el modelo de simulación funciona correctamente y que los resultados emitidos son veraces.

## CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de los resultados se trabajó con los pedidos del mes más concurrido del año 2012, donde se analizó y comparó por cada regla de prioridad seleccionada el nivel de servicio, el costo asociado al incumplimiento de la fecha de entrega pactada con el cliente y el costo que genera almacenar una orden hasta la entrega de la misma.

#### 5.1. MEDIDAS DE DESEMPEÑO

Para la elección de la regla de prioridad que satisfaga los objetivos de esta investigación se contará con dos medidas de desempeño. Nivel de servicio, el cual será el medidor principal y los costos asociados a la entrega a tiempo o a destiempo de las órdenes.

##### **Nivel de servicio**

El nivel de servicio representa el porcentaje de pedidos que cumplieron con la fecha de entrega establecida con el cliente.

##### **Costos asociados**

Existen dos casos importantes que engloban los costos asociados con la entrega de órdenes.

- Costo por incumplimiento de la fecha de entrega (C1): Este costo ocurre cuando no se logra entregar los pedidos en la fecha establecida, lo que no solo afecta la imagen de la empresa si no la liquidez, por lo que el valor de los pedidos que se quedan atrás son afectados por las tasas de interés y la tasa de riesgo que tiene el país, lo que genera una pérdida para la empresa al momento de hacer la venta. (Ver ecuación 2)

$$C1 = T_a * D * Q * PU \quad (2)$$

Dónde:

Ta: Tasa activa de interés, que comprende el interés activo al 31/01/2013 expedido por el Banco Central de Venezuela de 29% y la tasa de riesgo al 31/01/2013 expedida por el Banco Central de Venezuela de 14.50%, lo que resulta en una tasa activa de 43.50%.

D: Es la diferencia anual entre la fecha de entrega y la fecha de culminación del pedido. (Año)

Q: Tamaño de lote (u)

Pu: Precio unitario (BsF/u)

- Costo de almacenaje (C2): Este costo ocurre cuando las órdenes son terminadas antes de la fecha de entrega, por lo que se genera un costo de almacenaje que afecta el flujo de caja de la empresa al tener esas órdenes en almacén y no poder cobrar al cliente. Para el cálculo de dicho costo se toma en cuenta el precio de alquiler del m<sup>2</sup> de almacén del sector en donde se encuentra la empresa, como referencia para la estimación del costo (Ver ecuación 3)

$$C2= C * M2 * t \quad (3)$$

Dónde:

t: Tiempo que representa la diferencia entre el día en que fue culminado el pedido y la fecha de entrega. (Meses)

C: Precio de alquiler del m<sup>2</sup> en el sector Flor Amarillo cotizado por MI CASA INTERNACIONAL C.A. en 60BsF/m<sup>2</sup>.mes al 18/03/2013.

M2: Representa los metros cuadrados que ocupa la orden (m<sup>2</sup>)

El costo total viene representado por la ecuación 4.

$$\text{Costo Total}= C1+C2 \quad (4)$$

## 5.2. RESULTADOS

Para la obtención de resultados se trabajó con una precisión para el nivel de servicio de 4% y para el costo total de 30.000 Bs.

A continuación se muestran los resultados expedidos por el programa Rockwell Arena para 15 réplicas por cada regla de decisión y un nivel de confianza del 95%. (Ver tabla 17)

**Tabla 17.** Resultados por regla de prioridad

| Regla de Prioridad   | Número de réplicas | Nivel de Servicio | Costo Total (Bs)       |
|----------------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| <b>FIFO</b>          | 15                 | 0.9829 ± 0.01     | 558.029,32 ± 28.566,27 |
| <b>Holgura</b>       | 15                 | 0.9876 ± 0.01     | 555.642,40 ± 26.521,06 |
| <b>Radio Critico</b> | 15                 | 0.9876 ± 0.01     | 561.814,01 ± 24.634,62 |
| <b>TPC</b>           | 15                 | 0.9814 ± 0.01     | 533.253,63 ± 24.857,08 |
| <b>TPL</b>           | 15                 | 0.9860 ± 0.01     | 555.601,75 ± 24.651,33 |

Como se pudo observar, para 15 réplicas del modelo, todas las reglas de prioridad cumplen con la precisión requerida, por lo que se procede a la elección de la regla de prioridad que mejor se adapte a los objetivos de la empresa.

Debido a que la empresa está sumamente comprometida a mejorar las relaciones con el cliente en materia de cumplimiento con las fechas de entrega, el principal indicador a utilizar será el nivel de servicio, ya que este muestra el porcentaje de pedidos que son terminados y entregados a tiempo. Otro indicador que toma un papel determinante es el costo, ya sea por la entrega a tiempo o destiempo de los pedidos. En el caso de que el nivel de servicio no permita tomar una decisión, se procederá a utilizar el costo como una medida de desempeño adicional que permita concluir cual regla de prioridad se implementará para secuenciar los pedidos.

Tomando en cuenta lo anteriormente explicado, se procede a comparar el nivel de servicio entre las reglas de prioridad. Como resultado se observó que Holgura y Radio Critico obtuvieron el nivel de servicio más alto con 0.9876,

seguido por Tiempo de Procesamiento más Largo con 0.9860, FIFO con 0.9829 y Tiempo de Procesamiento más Corto con 0.9814. Sin embargo todos los modelos dieron un resultado que se considera aceptable, ya que cumplen con el objetivo de aumentar el porcentaje de cumplimiento con el cliente. De esta manera se utilizará el Costo Total para la conclusión final, eligiendo aquella regla de decisión que genere un menor costo. Tomando en cuenta dicha medida de desempeño se observó que el menor costo total fue de 533.253,63 BsF perteneciente al Tiempo de Procesamiento más Corto, seguido de Tiempo de Procesamiento más largo con 555.601,75 BsF, Holgura con 555.642,40 BsF, FIFO con 558.029,32 BsF y finalmente Radio Critico con 561.814,01 BsF.

Es por esto que la regla de prioridad adecuada para satisfacer las necesidades de la empresa en el escenario evaluado correspondiente a los 43 pedidos ingresados al modelo y los objetivos establecidos en esta investigación es la del Tiempo de Procesamiento más Corto.

### **5.3. EVALUACIÓN DE ESCENARIOS CON EL ANALIZADOR DE PROCESOS**

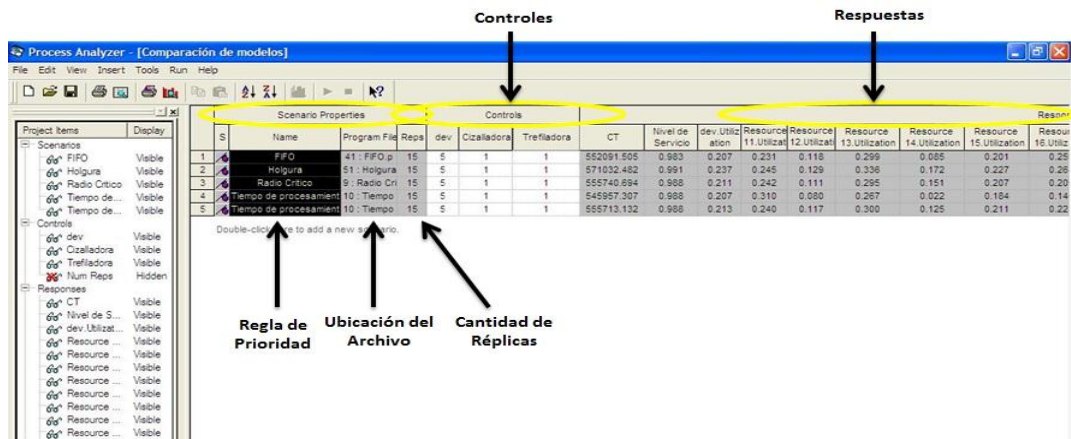
Con el fin de alcanzar la mayor utilidad del modelo de simulación ya construido, se decidió implementar una aplicación del Arena conocida como “Process Analyzer” (Analizador de Procesos). Esta herramienta permite evaluar los resultados de los distintos escenarios que plantea cada regla de prioridad y ver qué tan significativa es la variación entre uno y otro en cuanto a las medidas de desempeño establecidas. (Kelton, 2008, p. 277)

El funcionamiento del analizador de procesos en esta investigación consta básicamente de tres aspectos a considerar. El primero se conoce como “Propiedades de los escenarios” y comprende: las 5 reglas de prioridad, la ubicación de cada archivo de arena y la cantidad de réplicas con las que se simulará cada uno de los mismos.

El segundo aspecto se refiere a los “controles”. Los controles permiten al usuario modificar sus valores para observar el comportamiento de cada uno de los escenarios en simultáneo. Por último, el tercer aspecto son las

“respuestas”. Las respuestas son determinadas igualmente por el usuario y permiten observar el desempeño de cada uno de los escenarios en función de cada una de las respuestas establecidas.

La figura 48 muestra la ventana del analizador de procesos y se indican los tres aspectos anteriormente mencionados.



**Figura 48. Ventana del analizador de Procesos**  
Fuente: Elaboración propia.

Con el uso de esta herramienta se estableció el recurso del devanador como el controlador de las respuestas de cada escenario. Para las respuestas se utilizaron las medidas de desempeño anteriormente explicadas (Nivel de servicio y Costo Total) así como los recursos disponibles en la estación de prensado que correspondería a las 13 prensas que dispone la empresa.

En la primera corrida de esta herramienta se trabajó con las 5 reglas de prioridad como los escenarios a comparar y con el recurso del devanador como controlador de las respuestas. En un inicio la cantidad de devanadores se mantuvo en 2 para cada escenario y se obtuvieron los resultados. (Ver figura 49)

| Scenario Properties |             |      |     | Responses  |                   |                 |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                        |                        |
|---------------------|-------------|------|-----|------------|-------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| S                   | Name        | Reps | dev | CT         | Nivel de Servicio | dev Utilization | Resource 11.Utilizati | Resource 12.Utilizati | Resource 13.Utilizati | Resource 14.Utilizati | Resource 15.Utilizati | Resource 16.Utilizati | Resource 17.Utilizati | Resource 4.Utilizati | Resource 5.Utilizati | Resource 6.Utilizati | Resource 7.Utilizati | Resource 8.Utilizati | Resource 9.Utilizati | Cizallado ra.Utilizati | Trefilador a.Utilizati |
| 1                   | FIFO        | 15   | 2   | 58029.317  | 0.983             | 0.510           | 0.280                 | 0.146                 | 0.267                 | 0.137                 | 0.154                 | 0.142                 | 0.037                 | 0.320                | 0.307                | 0.338                | 0.347                | 0.323                | 0.518                | 0.346                  | 0.178                  |
| 2                   | Holgura     | 15   | 2   | 55642.403  | 0.988             | 0.538           | 0.238                 | 0.113                 | 0.303                 | 0.162                 | 0.231                 | 0.193                 | 0.040                 | 0.407                | 0.322                | 0.401                | 0.342                | 0.315                | 0.478                | 0.374                  | 0.190                  |
| 3                   | Radio Criti | 15   | 2   | 61814.012  | 0.988             | 0.538           | 0.281                 | 0.109                 | 0.290                 | 0.194                 | 0.215                 | 0.205                 | 0.043                 | 0.438                | 0.297                | 0.412                | 0.307                | 0.368                | 0.348                | 0.368                  | 0.194                  |
| 4                   | Tiempo de   | 15   | 2   | 533253.634 | 0.981             | 0.462           | 0.273                 | 0.079                 | 0.256                 | 0.052                 | 0.158                 | 0.150                 | 0.031                 | 0.306                | 0.278                | 0.279                | 0.339                | 0.483                | 0.301                | 0.322                  | 0.165                  |
| 5                   | Tiempo de   | 15   | 2   | 555601.755 | 0.986             | 0.525           | 0.285                 | 0.110                 | 0.283                 | 0.131                 | 0.209                 | 0.202                 | 0.043                 | 0.440                | 0.295                | 0.404                | 0.308                | 0.409                | 0.340                | 0.366                  | 0.192                  |

**Figura 49. Resultados del Analizador de Procesos (1era corrida)**

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de estos resultados se observó que más del 90% de las prensas presentaron un porcentaje de utilización menor al 50%. Esto indica que hay un ocio presente en la estación de prensado.

Sin embargo, para ser más concretos con este análisis, se realizó otra corrida de la herramienta, en la que se duplicó la cantidad de pedidos para observar el ocio de las prensas. (Ver figura 50).

| Scenario Properties |         |                  | Control | Responses         |            |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
|---------------------|---------|------------------|---------|-------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| S                   | Name    | Program File     | dev     | Nivel de Servicio | CT         | Resource 11.Utilization | Resource 12.Utilization | Resource 13.Utilization | Resource 14.Utilization | Resource 15.Utilization | Resource 16.Utilization | Resource 17.Utilization | Resource 4.Utilization | Resource 5.Utilization | Resource 6.Utilization | Resource 7.Utilization | Resource 8.Utilization | Resource 9.Utilization |
| 1                   | FIFO    | 1 : FIFO.p       | 2       | 0.709             | 902144.849 | 0.35                    | 0.18                    | 0.37                    | 0.11                    | 0.21                    | 0.24                    | 0.06                    | 0.41                   | 0.41                   | 0.46                   | 0.48                   | 0.47                   | 0.49                   |
| 2                   | Holgura | 1 : Holgura.p    | 2       | 0.705             | 691594.372 | 0.30                    | 0.17                    | 0.27                    | 0.15                    | 0.23                    | 0.25                    | 0.04                    | 0.39                   | 0.33                   | 0.40                   | 0.46                   | 0.62                   | 0.38                   |
| 3                   | RC      | 1 : Radio Critic | 2       | 0.724             | 702256.263 | 0.29                    | 0.14                    | 0.28                    | 0.19                    | 0.23                    | 0.25                    | 0.05                    | 0.34                   | 0.33                   | 0.39                   | 0.42                   | 0.52                   | 0.48                   |
| 4                   | TPC     | 1 : Tiempo de    | 2       | 0.704             | 842776.724 | 0.35                    | 0.13                    | 0.31                    | 0.08                    | 0.20                    | 0.21                    | 0.05                    | 0.42                   | 0.37                   | 0.37                   | 0.40                   | 0.52                   | 0.46                   |
| 5                   | TPL     | 1 : Tiempo de    | 2       | 0.712             | 690208.572 | 0.32                    | 0.15                    | 0.30                    | 0.16                    | 0.21                    | 0.27                    | 0.05                    | 0.38                   | 0.35                   | 0.42                   | 0.44                   | 0.50                   | 0.51                   |

**Figura 50. Resultados del Analizador de Procesos (2da corrida)**

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos determinaron que a pesar de tener una mayor cantidad de pedidos, el porcentaje de utilización de las prensas aumentó pero no de manera significativa, indicando que tendría que existir una cantidad de pedidos aún mayor para que no existiese tanto ocio en la estación de



prensado. Por otro lado se observó que el nivel de servicio disminuyó por debajo del 80% en todas las reglas de prioridad, lo cual verifica el potencial no aprovechado de la estación de prensado en cuanto a producción.

Los resultados arrojados por la herramienta de análisis de procesos indica claramente la posibilidad de eliminar alguna de las prensas en la estación de prensado, debido al porcentaje de utilización de las mismas, lo que indica que existe ocio, generándose un desaprovechamiento de los recursos.

Al analizar el promedio del porcentaje de utilización resultante de todas las reglas de prioridad utilizadas, se puede observar que el recurso con menor porcentaje de utilización es el Recurso17, correspondiente a la Prensa 250-1. Debido a que las piezas que se realizan en esta prensa pueden ser elaboradas en otras y no representa un gran cambio en el sistema, se le recomienda a la empresa el estudio de la posibilidad de eliminar la Prensa 250-1, ya que un 0.05% de utilización no es significativo y se pueden estar generando más costos que beneficios por esta razón. (Ver tabla 18)

Tabla 18. Resultados del porcentaje de utilización de las prensas

| Recurso     | Prensa | FIFO | Holgura | RC   | TPC  | TPL  | Promedio |
|-------------|--------|------|---------|------|------|------|----------|
| Resource 4  | 63-1   | 0,41 | 0,39    | 0,34 | 0,42 | 0,38 | 0,388    |
| Resource 5  | 80-1   | 0,41 | 0,33    | 0,33 | 0,37 | 0,35 | 0,358    |
| Resource 6  | 80-2   | 0,46 | 0,4     | 0,39 | 0,37 | 0,42 | 0,408    |
| Resource 7  | 100-1  | 0,48 | 0,46    | 0,42 | 0,4  | 0,44 | 0,44     |
| Resource 8  | 100-2  | 0,47 | 0,62    | 0,52 | 0,52 | 0,5  | 0,526    |
| Resource 9  | 100-3  | 0,49 | 0,38    | 0,48 | 0,46 | 0,51 | 0,464    |
| Resource 11 | 160-1  | 0,35 | 0,3     | 0,29 | 0,35 | 0,32 | 0,322    |
| Resource 12 | 160-2  | 0,18 | 0,17    | 0,14 | 0,13 | 0,15 | 0,154    |
| Resource 13 | 160-3  | 0,37 | 0,27    | 0,28 | 0,31 | 0,3  | 0,306    |
| Resource 14 | 160-4  | 0,11 | 0,15    | 0,19 | 0,08 | 0,16 | 0,138    |
| Resource 15 | 160-5  | 0,21 | 0,23    | 0,23 | 0,2  | 0,21 | 0,216    |

|                |       |      |      |      |      |      |       |
|----------------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| Resource<br>16 | 180-1 | 0,24 | 0,25 | 0,25 | 0,21 | 0,27 | 0,244 |
| Resource<br>17 | 250-1 | 0,06 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05  |

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

1. Se decidió optar por la construcción de un modelo de simulación, debido a que garantiza simplicidad en su elaboración y en el análisis de los resultados, además que permite la libre experimentación sin que repercuta negativamente en la empresa. Se utilizaron módulos que representan las diversas máquinas con las cuales se cuenta en la empresa, además de atributos y variables que permitan recrear la planta lo más real posible.
2. La recolección de información para la elaboración del modelo de simulación fue una parte fundamental en la representación del sistema para que fuese lo más próximo a la realidad posible.
3. Para determinar las secuencias de producción se trabajó con cinco reglas de prioridad, las cuales son: FIFO, Holgura, Radio Critico, Tiempo de Procesamiento más Largo y Tiempo de Procesamiento más Corto.
4. La evaluación de las reglas de prioridad se realizó con dos medidas de desempeño, Nivel de Servicio, quien mide el porcentaje de pedidos entregados a tiempo y el Costo Total en el que se incurre al entregar un pedido a tiempo o a destiempo.
5. Al momento del analizar los resultados, se obtuvo que la regla de prioridad que mejor se adapta a los requerimientos de la empresa para el procesamiento de los 43 pedidos con los que se evaluó el modelo es la del Tiempo de Procesamiento más Corto, ya que generó un nivel de servicio del 98.14% y un Costo Total de 533253.63 BsF.
6. El modelo de simulación creado se establece como una herramienta para la secuenciación de pedidos en escenarios determinados por la empresa.

7. La elección de una regla de prioridad u otra para la secuenciación de los pedidos dependerá del escenario evaluado, por lo que no necesariamente la empresa deberá secuenciar sus pedidos con la regla de prioridad del tiempo de procesamiento más corto.
8. Para la secuenciación de las órdenes del mes, será necesario que la empresa introduzca la información del mes al modelo para poder determinar la regla de prioridad con la que deberá secuenciar.
9. Mediante la utilización del analizador de procesos que incluye el Software Arena, se observó que el porcentaje de utilización de las prensas es muy bajo, existiendo ocio en las máquinas de la estación de prensado, en especial la prensa 250-1, lo que sugiere la posibilidad de eliminación de la misma y así evitar el desaprovechamiento de los recursos.
10. El modelo arrojó resultados lógicos y veraces, que pueden ser de gran utilidad a futuro para la empresa. Así mismo, se comprueba la versatilidad del uso de la simulación, que en el caso de esta investigación permitió identificar una oportunidad de mejora en cuanto al ocio generado en la estación de prensado, lo que sería un punto importante a tomar en cuenta por parte de la empresa.

## RECOMENDACIONES

- Al momento de trabajar con una herramienta de simulación, es necesario establecer claramente el problema en estudio para construir correctamente el modelo, tomando en cuenta todas las variables pertinentes para el estudio.
- Durante el proceso de construcción del modelo es recomendable ir de lo macro a lo micro, en cuanto a la complejidad de lo que se quiere representar. Esto se refiere a que en un principio se debe establecer una idea general del sistema, y a medida que se van incluyendo variables y restricciones al modelo, éste empezará a aproximarse más al sistema real.
- Se recomienda que la empresa de uso al modelo, introduciendo la información de las órdenes que se quieren procesar en un mes específico para observar cuál será la regla de prioridad con la que deberán secuenciar los pedidos.
- El porcentaje de ocio identificado en la estación de prensado es un tema de estudio que debería considerar la empresa, debido a que es posible que existan prensas que puedan no ser necesarias lo que podría generar una reducción de costos significativos para la empresa.
- Se recomienda utilizar otras medidas de desempeño, como el porcentaje de ocio en las prensas, cizalladora, trefiladora y devanadores, que permitan profundizar más en el tema.
- Revisar a fondo las bondades del Analizador de Procesos del Software Arena, ya que existen más aplicaciones de utilidad que las mencionadas, que podrían ser aplicadas para situaciones de estudio futuras.
- Se debe evaluar la posibilidad de establecer fechas de entregas distintas para cada orden de productos, de manera que se pueda analizar si hay algún cambio significativo que sea favorable para la empresa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfalla, R., García, M., Garrido, P., González, M., y Sacristán, M. (2008). *Introducción a la dirección de operaciones táctico-operativa. Un enfoque práctico*. Madrid: Delta Publicaciones.
- Cao Abad, R. (2002). *Introducción a la simulación y teoría de colas*. A Coruña: Netbiblo, S.L.
- Chapman, S. (2006). *Planificación y control de la producción*. México: Pearson Educación
- Coss Bu, R. (1991). *Simulación. Un enfoque práctico*. México: Editorial Limusa.
- Espinoza, A. y Rojas, A. (2009). *Construcción de un modelo de simulación para estimar el lead time de producción en el área de emulsiones de una empresa de fabricación de pinturas*. Universidad de Carabobo. Bárbula.
- Eppen, G. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*. México: Prentice-Hall.
- Govil, M. & Proth, J. (2002). *Supply chain design and management*. United States of America: Academic Press.
- Haizer, J. & Render, B. (2004). *Principios de administración de operaciones*. México: Pearson Educación.
- Jimenez, Manuel. (2012). *Curso de Simulación con Arena*. Apuntes del Curso de Simulación con Arena. No publicados.
- Kelton, D., Sadowski, R. y Sturrock, D. (2008). *Simulación con Software Arena*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Lerma, H. (2004). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Mendenhall, W., Scheaffer, R. & Wackerly, D. (2010). *Estadística Matemática con aplicaciones*. México: Cengage Learning Editores, S.A.
- Miltenburg, J. (2005). *Manufacturing strategy: how to formulate and implement a winning plan*. New York: Productivity Press.
- Pinedo, M. (2005). *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. New York: Springer Science and Business Media, Inc.

- Roy, R. (2005). *A modern approach to Operations Management*. New Delhi: New Age International Publishers.
- Vierma, D. (2008). *Construcción de un modelo de simulación para determinar la secuencia de producción (Caso: Empresa Inversiones Selva C.A. Grupo Phoenix. División Metalmecánica)*. Universidad de Carabobo. Bárbula.
- Vollmann, T., Berry, W., Whybark, D. y Jacobs, F. (2005). *Planeación y control de la producción. Administración de la cadena de suministros*. México: McGraw-Hill Interamericana.