

TREBALL FI DE CARRERA

TRABAJO FINAL DE CARRERA

**Evaluación y optimización de los servicios de un taller de mantenimiento
mediante el software de simulación ARENA®.**

Nombre estudiante: **David Llerena Santana**
Carrera: **Ingeniería de Organización Industrial**
Dirección: **Juli Ordeix i Rigo**

A mi esposa Noelia

INDICE:

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS.....	9
1.1 Introducción	9
1.1.1. Objetivos a conseguir	10
2. METODOLOGÍA DE TRABAJO	11
3. INTRODUCCION A LA SIMULACION.....	12
3.1. Modelo de un sistema.....	13
3.2. Simulación de eventos discretos (SED).....	14
3.4. Lenguajes de simulación.	16
3.5. Programas de Simulación en el mercado.	18
3.6. ARENA® Simulation Software	19
3.6.1. Características del software ARENA®.....	19
3.6.2. Conceptos básicos en Simulación con ARENA®.....	22
3.7. Verificar y Validar sistemas.....	25
3.8. Principales ventajas y desventajas que ofrece la técnica de la simulación:.....	26
4. ESTUDIO DEL SISTEMA REAL A SIMULAR	27
4.1. Descripción del sistema	27
4.2. Formulación del problema	30
4.2.1. Objetivos.....	32
4.2.2. Variables.....	33
4.2.3. Precisión	34
4.3. Modelo Conceptual	35
4.3.1. Método de programación estructurada.....	36
4.4. Análisis y recogida de datos	36
5. DISEÑO DEL MODELO LÓGICO.....	39
5.1. Diseñar submodelos	39
5.1.1. Averías	39
5.1.1.1. Modelo Conceptual.....	40
5.1.1.2. Modelo Lógico	41
5.1.1.2.1. Modelo basado en una distribución Estadística	41
5.1.1.2.2. Modelo basado la lectura de un archivo <i>Excel</i>	50
5.1.1.3. Simular y validar submodelos.....	57

5.1.2. Base de datos	60
5.1.2.1. Modelo Conceptual.....	60
5.1.2.2. Modelo Lógico	61
5.1.2.3. Simular y validar submodelo.....	63
5.1.3. Taller	63
5.1.3.1. Modelo Taller	65
5.1.3.1a. Modelo conceptual	65
5.1.3.1b. Modelo Lógico.....	66
5.1.3.2. Modelo Clock_Taller	71
5.1.3.2a. Modelo Conceptual	71
5.1.3.2b. Modelo Lógico.....	72
5.1.3.3. Modelo Comedor&Relevo.....	75
5.1.3.3a. Modelo Conceptual	75
5.1.3.3b. Modelo Lógico.....	76
5.1.3.4. Simular y validar submodelo.....	81
5.1.4. Gestión de averías	83
5.1.4.1. Modelo Conceptual.....	83
5.1.4.2. Modelo Lógico	84
5.1.5. Desplazamiento.....	87
5.1.5.1. Modelo Conceptual.....	88
5.1.5.2. Modelo Lógico	90
5.1.6. Máquina	94
5.1.6.1. Modelo Máquina	95
5.1.6.1a. Modelo Conceptual	95
5.1.6.1b. Modelo Lógico.....	96
5.1.6.2. Modelo Clock_AV y Clock_RP.....	102
5.1.6.2a. Modelo Conceptual	102
5.1.6.2b. Modelo Lógico.....	103
5.2. Diseñar modelo final	108
5.3. Validar modelo final	110
6. SIMULACIONES.....	113
6.1. Averías Eléctricas	114
6.1.1. Sistema Taller Único. Sistema actual.....	114
6.1.1.1. Simulación con cuatro Operarios.....	115
6.1.1.1a. Variar prioridad máquinas	117
6.1.1.2. Simulación con cinco Operarios	121

6.1.1.3. Simulación con seis Operarios	123
6.1.1.4. Simulación con siete Operarios	125
6.1.1.5. Analizar y comparar resultados	128
6.1.2. Sistema con dos talleres independientes	133
6.1.2.1. Taller centro 1	134
6.1.2.1.1. Simulación con 2 operarios	136
6.1.2.1.1a. Variar prioridad máquinas.....	138
6.1.2.1.2. Simulación con 3 operarios	139
6.1.2.1.3. Simulación con 4 operarios	141
6.1.2.1.4. Simulación con 5 operarios	143
6.1.2.1.5. Analizar y comparar resultados.....	145
6.1.2.2. Taller centro 2.....	148
6.1.2.1.1. Simulación con 1 operarios	150
6.1.2.1.1a. Variar prioridad máquinas.....	152
6.1.2.1.2. Simulación con 2 operarios	153
6.1.2.1.3. Simulación con 3 operarios	154
6.1.2.1.4. Simulación con 4 operarios	155
6.1.2.1.5. Simulación con 5 operarios	156
6.1.2.1.6. Analizar y comparar resultados.....	157
6.1.2.3. Comparar resultados con la simulación Taller Único.....	159
6.1.3. Sistema con dos talleres compartidos.....	162
6.2. Averías Mecánicas.....	164
6.2.1. Sistema Taller Único. Sistema actual.....	164
6.2.1.1. Simulación con uno Operario.....	164
6.2.1.1a. Variar prioridad máquinas	166
6.2.1.2. Simulación con dos Operarios	167
6.2.1.3. Simulación con tres Operarios.....	169
6.2.1.4. Simulación con cuatro Operarios.....	171
6.2.1.5. Analizar y comparar resultados	173
6.2.2. Sistema con dos talleres	178
6.2.2.1. Taller centro 1.....	178
6.2.2.1.1. Simulación con 1 operario.....	178
6.2.2.1.2. Simulación con 2 operarios.....	181
6.2.2.1.3. Simulación con 3 operarios.....	183
6.2.2.1.4. Analizar y comparar resultados.....	185
6.2.2.2. Taller centro 2.....	188
6.2.2.2.1. Simulación con 1 operario.....	188
6.2.2.2.2. Simulación con 2 operarios.....	191

6.2.2.2.3. Simulación con 3 operarios	192
6.2.2.2.4. Simulación con 4 operarios	193
6.2.2.2.5. Analizar y comparar resultados.....	194
6.2.1.5. Comparar resultados con la simulación Taller Único.....	197
6.2.3. Sistema con dos talleres compartidos.....	200
7. ANIMACIONES.....	202
7.1. Crear escenario	202
7.2. Modificar y crear imágenes para las entidades Operario.....	205
7.2.1. Modificar imagen entidad Operario	205
7.2.2. Crear imagen entidad Operario.....	207
7.3. Adaptar submodelos a la animación	210
7.3.1. Adaptar submodelo Taller	210
7.3.2. Adaptar submodelo Máquina	211
7.4. Mostrar datos de interés: variables e histogramas.....	212
7.4.1. Mostrar variables, modo numérico:	213
7.4.2. Mostrar variables, modo <i>Global</i> :.....	214
7.4.3. Mostrar Histogramas:	215
7.5. Mostrar estaciones y rutas.....	216
7.6. Mostrar colas	217
7.7. Mostrar Reloj:	218
7.8. Animación de los modelos	219
7.8.1. Animación Centro Único.....	220
7.8.1.1. Animación al inicio de la simulación	220
7.8.1.2. Animación durante la simulación	221
7.8.2. Animación Centro1.....	222
7.8.2.1. Animación al inicio de la simulación	222
7.8.2.2. Animación durante la simulación	223
7.8.3. Animación Centro2.....	224
7.8.3.1. Animación al inicio de la simulación	224
7.8.3.2. Animación durante la simulación	225
7.8.4. Animación dos talleres compartidos.....	226
7.8.4.1. Animación al inicio de la simulación	226
7.8.4.2. Animación durante la simulación	227
8. CONCLUSIONES	228
9. Fuentes de referencia: Bibliografía y WEB's	230

Resumen del Trabajo Final de Carrera Ingeniería en Organización Industrial

Título:	Evaluación y optimización de los servicios de un taller de mantenimiento mediante el software de simulación ARENA®.
Palabras clave:	Simulación, modelar, validar, verificar, optimizar
Autor:	David Llerena Santana
Dirección:	Juli Ordeix i Rigo
Fecha:	4 de Septiembre de 2013

Resumen

La crisis económica a nivel mundial ha obligado a todas las empresas a agudizar el ingenio con el fin de mejorar el rendimiento y el funcionamiento de las mismas. Para cumplir estos objetivos es necesario tomar decisiones que por desgracia no siempre serán las acertadas. Con el objetivo de reducir la incertidumbre en la toma de decisiones muchas empresas han optado por utilizar herramientas de simulación. Este tipo de herramientas permiten simular y experimentar todo tipo de situaciones reduciendo el tiempo y el coste invertido en obtener la información necesaria que permita valorar la mejor opción sin la necesidad de interactuar con el sistema real.

En el presente proyecto se ha diseñado un modelo que recrea de forma eficiente los servicios que un taller de mantenimiento ofrece a dos factorías. El objetivo de modelar este sistema es poder realizar una serie de experimentos que permitan ver el comportamiento de una variable, el tiempo de espera durante una avería. Se pretende encontrar la opción que reduzca el tiempo que la máquina esta averiada sin ser intervenida, al menor coste. Con el objetivo de demostrar que el tiempo de espera está estrechamente relacionado con el tiempo que los operarios invierten en el desplazamiento entre factorías, se han diseñado dos modelos que simulan la gestión de las averías de cada factoría con un taller independiente.

Una vez se han realizado los diferentes experimentos, con un taller único para las dos factorías y con un taller independiente para cada factoría, se estudian los resultados obtenidos en cada experimento y se analizan tanto los puntos débiles y como los puntos fuertes de los diferentes sistemas.

Todos los experimentos se han realizado con la versión *Standard Edition v14.0* del famoso programa *ARENA® Simulation Software* de *Rockwell Automation*.

Summary of Final Work of Career Engineering in Industrial Organization

Title: Evaluation and optimization of the services of a maintenance workshop using simulation software ARENA®.

Key words: simulation, modeling, validating, verifying, optimize,

Author: David Llerena Santana

Direction: Juli Ordeix i Rigo

Date: September 4, 2013

Summary

The economic crisis worldwide has forced to all the companies to sharpen the ingenuity in order to improve the performance and the functioning of the same ones. To fulfill these aims is necessary to take decisions that unfortunately not always will be the guessed right ones. With the aim to reduce the uncertainty in the capture of decisions, many companies they have chosen to use tools of simulation. This type of tools allow to simulate and to experience all kinds of situations reducing the time and the cost invested in obtaining the necessary information that allows to value the best option without the need to interact with the royal system.

In this project we have designed a model that recreates services efficiently than a maintenance shop offers two factories. The purpose of modeling this system is able to perform a series of experiments to see the behavior of a variable, the waiting time during a failure. It aims to find the option to reduce the time that the machine is faulty without being operated, at the lowest cost. With the objective of demonstrating that the waiting time is closely related to the time that operators spend factories in the displacement between two models are designed to simulate management of each factory breakdowns a separate workshop.

Once the different experiments have been realized, with the only workshop for both factories and with an independent workshop for every factory, there are studied the results obtained in every experiment with the intention of extracting the conclusions on the weak and strong points of the different systems.

All the experiments have realized with the version Standard Edition v14.0 of the famous program Arena® Simulation Software, Rockwell Automation.

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

En este proyecto se pretende modelar y posteriormente simular el servicio que ofrece un taller de mantenimiento en una fábrica ubicada en Vilanova i la Geltrú, Barcelona. El nombre de la empresa permanecerá en el anonimato y la distribución de las máquinas será ligeramente modificada. Este tipo de precauciones han sido necesarias para asegurar la política de privacidad establecida por la empresa.

La empresa dispone de dos líneas de negocio claramente diferenciadas y cada una de ellas se desarrolla en una factoría (a partir de ahora llamaremos Centro 1 y Centro 2). Es decir, se produce una serie de productos que pueden ser clasificados en dos grandes grupos y que cada uno de ellos se fabrica en una factoría diferente. La distancia entre ambas es de unos 70 metros. Sin embargo, el responsable del mantenimiento de las dos factorías es un único taller con sus instalaciones en el Centro 1.

A mediados de 2012 los responsables del taller desarrollaron un plan de mejora continua con el objetivo de, entre otras cosas reducir: el número de averías, la duración de las intervenciones y el tiempo total invertido en averías.

Una vez mejorados los dos primeros puntos, el taller estudia cómo reducir el tiempo total invertido en averías. Concretamente, reducir el tiempo que transcurre desde que se inicia la avería hasta que el operario de mantenimiento empieza a repararla (realiza intervención). Este tiempo de demora se debe básicamente a dos motivos: el tiempo que los operarios invierten en el desplazamiento de un centro a otro y el exceso de carga de faena en momentos puntuales.

Para reducir el tiempo de demora debido al exceso de carga, se realizarán varios experimentos variando la capacidad del taller (número de operarios) para ver cómo afectan estas variaciones al tiempo total de averías.

El centro2 dispone de espacio suficiente para instalar un taller independiente. Así que para reducir la demora causada por el desplazamiento entre factorías, se realizará la división del taller en dos, uno para cada factoría. Este experimento permitirá sopesar si la división del taller es rentable.

Podemos dividir el presente proyecto en tres fases: programación, experimentación y análisis.

La fase de programación será la primera en desarrollarse. En ella se pretende diseñar y crear un modelo informático partiendo del sistema real. Para ello es necesario recopilar toda la información útil del sistema real, realizar un modelo conceptual, programar el modelo informático o lógico y por ultimo verificar y validar el modelo.

Una vez verificado el modelo lógico empieza la segunda fase. En esta fase se realizan todos los experimentos programados, extrayendo y guardando toda la información obtenida con el fin de ser analizada en la siguiente fase.

En la última fase se analizan los resultados obtenidos de los diferentes experimentos con el objetivo valorar la mejor opción de las simuladas.

Aunque la finalidad de este proyecto no es realizar un tutorial sobre el software de simulación ARENA®, podemos decir que si tiene un enfoque docente. Por este motivo no se explicarán todos los bloques que componen el simulador. Sin embargo si se explicarán los bloques y herramientas que se utilicen a la largo del mismo.

1.1. Objetivos a conseguir

Realizar los experimentos necesarios, a través del software de simulación arena®, de todos los casos y situaciones posibles que permitan estudiar el comportamiento e influencia de las variables que influyen en el tiempo de averías de todas las máquinas instaladas en las dos factorías, con la intención de realizar una valoración técnica que permita elegir la mejor opción.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

- 1- Estudiar el sistema real a modelar.
- 2- Construir un modelo conceptual que contenga todos los elementos que se consideran relevantes del sistema.
- 3- Análisis y recogida de datos. Se realiza en paralelo con el apartado anterior.
- 4- Construir un modelo lógico que contenga las relaciones lógicas entre los distintos elementos que componen el sistema.
- 5- Construir el modelo de ordenador (o modelo de simulación) que ejecute la lógica recogida en la fase anterior.
- 6- Verificar y validar el modelo diseñado.
- 7- Realizar las simulaciones planeadas:
 - Simular la situación actual del taller. Esto nos permitirá ver los puntos fuertes y débiles del servicio ofrecido en el presente
 - Realizar varias simulaciones para encontrar la solución óptima del sistema. Esto permitirá mejorar el sistema actual y tener una referencia para la siguiente simulación.
 - Simular las dos factorías por separado. Se buscará la solución que permita dar un servicio óptimo a las dos factorías.
- 8- Por último se realizará una comparativa de los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones, taller único (servicio óptimo) y taller dividido en dos, que nos permita tomar la decisión más viable.

3. INTRODUCCION A LA SIMULACION

“Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con el mismo con la finalidad sea de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o un conjunto de ellos) para entender el funcionamiento del sistema.” Robert Shannon, 1975.

En la actualidad la simulación es una de las herramientas más utilizadas en el proceso de toma de decisiones, ya sea como medio para comprender la realidad y asumir su complejidad o para prever situaciones futuras de sistemas reales o hipotéticos y todo ello sin la necesidad de interactuar con el sistema real, ahorrando tiempo y dinero. No se aspira a encontrar soluciones analíticas y exactas del problema, sino a comprender mejor los sistemas en estudio.

Debido a la evolución de la informática, primero a nivel de hardware y después a nivel de software, ha sido posible desarrollar herramientas de simulación por ordenador muy potentes y rápidas. En el mercado podemos encontrar gran variedad de software tanto para aplicaciones genéricas como especializadas en un sector concreto:

- Diseños y análisis de sistemas de producción.
- Determinación de políticas de inventario.
- Problemas industriales (diseño de sistemas de cola, control de inventarios).
- Análisis de sistemas financieros o económicos (hay software para invertir en bolsa).
- Aplicación militar (sistemas tácticos).
- Diseño de sistemas de comunicación y protocolo.
- Diseño de sistemas de transporte.
- Evaluación de diseño de organizaciones como hospitales, comedores, servicios de correos, etc.
- Ciencia Básica
- Aplicaciones en el deporte (Formula 1).

3.1. Modelo de un sistema

Debido al incontable número de variables que se presentan en la realidad y a la posibilidad de que aparezcan factores imprevistos que alteren su funcionamiento es imposible estudiar un sistema tal y como se presenta en el mundo real. Por este motivo es necesario hacer simplificaciones de la realidad, de modo que un conjunto de ecuaciones puedan representar el funcionamiento de un sistema real. Esto es lo que se denomina modelo de un sistema [1].

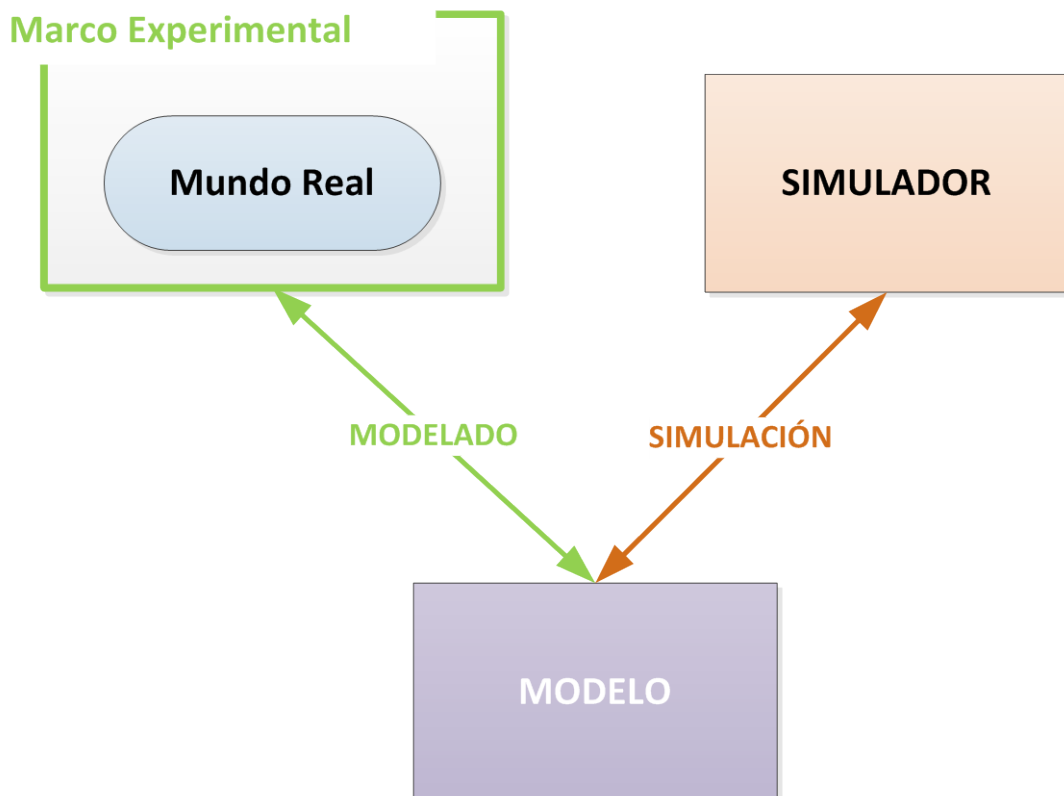


Figura 3.1a: Relación Modelo con Marco Experimental y Simulador

El modelo del sistema describe las características internas que nos interesan de un sistema real. Debe representar aquellas características que son de interés, para el estudio, y ofrecer una representación conceptual de la realidad lo suficientemente sencilla como para facilitar su adaptación. Al proceso de analizar el sistema real y extraer la información necesaria para crear un modelo experimental se le llama modelado.

Atendiendo a las características que debe poseer un buen modelo, así como a los objetivos del estudio de simulación, los modelos de simulación suelen clasificarse de la siguiente manera [1]:

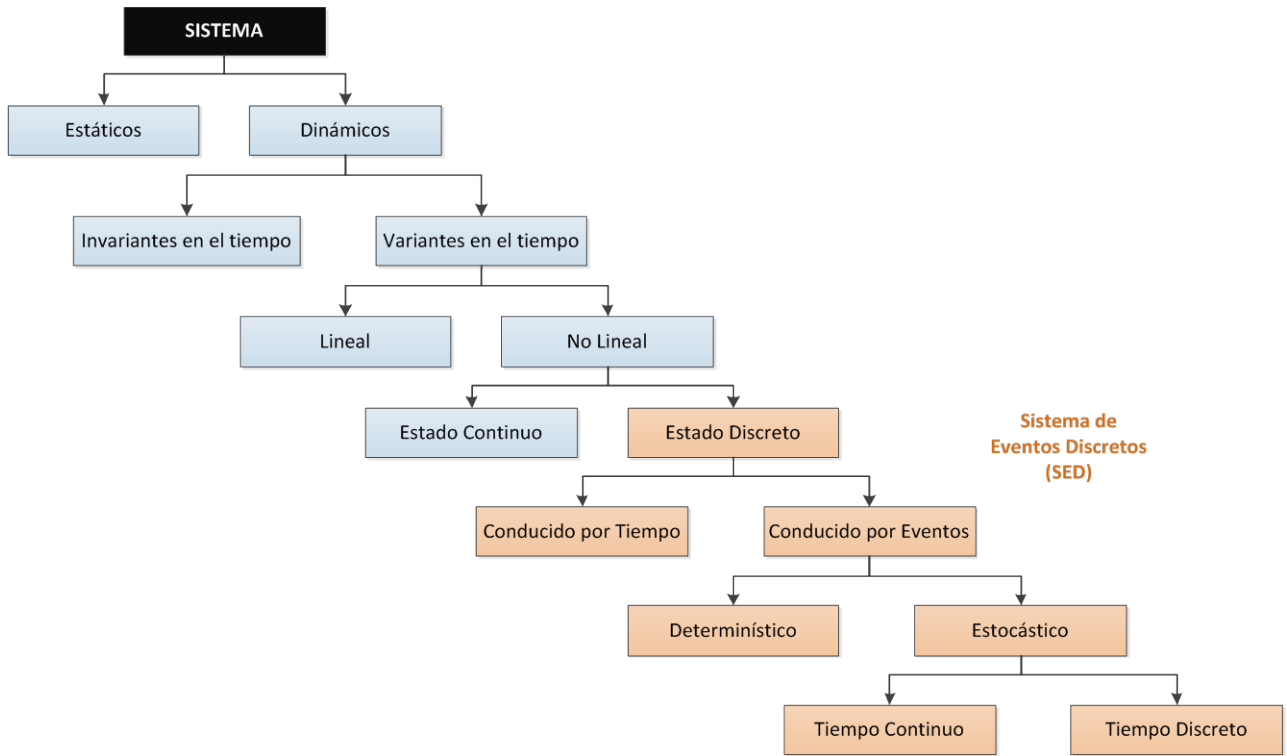


Figura 3.1b: Tipos de modelos de simulación.

3.2. Simulación de eventos discretos (SED).

De los diferentes tipos de sistemas planteados en el apartado anterior, únicamente se explicará el sistema que se va a modelar en este proyecto, es decir, el sistema dinámico de eventos discretos.

Un evento debe ser pensado como algo que ocurre en un instante de tiempo (Θ_i) y provoca transiciones instantáneas desde un valor de estado a otro (X_i), y puede ocurrir por una acción específica o como una ocurrencia espontánea.

La simulación para sistemas dinámicos de eventos discretos asume que el sistema simulado sólo cambia de estado en puntos discretos del periodo simulado. Es decir, que el modelo cambia de estado ante la ocurrencia de un evento.

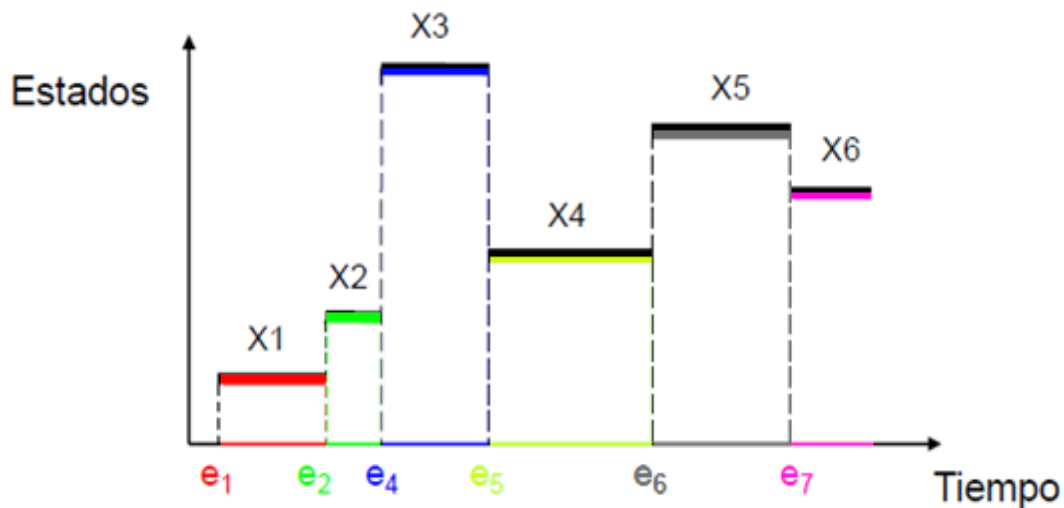


Figura 3.2a: Evolución de un sistema dinámico de eventos discretos.

En la figura 3.2a se representa la evolución de un sistema dinámico de eventos discretos en un instante de tiempo. Se puede ver como el estado del sistema toma los diferentes valores de una variable saliente del sistema, en este caso (X_i). Los cambios de estado se realizan en diferentes instantes de tiempo (e_i).

Cuando se simula un evento por ordenador, es necesario crear una lista de eventos, ordenados por orden de ocurrencia. Es necesario vincular cada evento con el instante de tiempo de su ejecución. La ejecución de un evento puede cambiar el estado de las variables y posiblemente programar otros eventos en la lista.

Una característica fundamental del paradigma de los eventos discretos, es que nada cambia, a menos que ocurra un evento, en cuyo instante ocurre la transición a otro estado. Es decir, ante la ejecución de un evento es posible que cambie el estado, pero todo cambio de estado se produce por un evento. Entre los eventos el estado del sistema se considera constante [1].

Podemos encontrar gran variedad de software de simulación comerciales orientados a eventos discretos. Suelen basarse en la misma filosofía de trabajo, así que son pequeños detalles los que hacen que el usuario se decante por uno u otro.

3.4. Lenguajes de simulación.

Los lenguajes de simulación facilitan enormemente el desarrollo y ejecución de simulaciones de sistemas complejos del mundo real. Un lenguaje de simulación es un lenguaje de programación especialmente preparado para desarrollar aplicaciones relacionadas con la simulación. Suelen venir acompañados de una metodología de programación apoyada por un sistema de símbolos propios para la descripción del modelo, por ejemplo mediante diagramas de flujo (software Arena®) u otras herramientas que simplifican la modelización y facilitan la posterior depuración del modelo.

Características de los lenguajes de simulación:

- Los lenguajes de simulación proporcionan automáticamente las características necesarias para la programación de un modelo de simulación, es decir una reducción significativa del esfuerzo requerido para programar el modelo.
- Los bloques básicos de construcción del lenguaje son mucho más afines a los propósitos de la simulación que los de un lenguaje de tipo general.
- Los modelos de simulación son mucho más fáciles de modificar.
- Facilitan una mejor detección de los errores.
- El aprendizaje lleva cierto tiempo.
- Simuladores de alto nivel.
- Muy fáciles de usar por su interface gráfica.
- Los procedimientos o métodos utilizados para generar las variables aleatorias no-uniforme son más conocidos.
- El análisis estadístico de los resultados de la simulación.
- El formato en que los resultados de la simulación son presentados.
- La forma en que las inconsistencias y errores de lógica es reportada.

La elección de un lenguaje de simulación u otro es importante debido a que si no es el adecuado puede hacer que: el tiempo de ejecución del proyecto sea más extenso, producir estudios incompletos o hacer fracasar el mismo.

Podemos diferenciar los software de simulación en dos grandes grupos: los Lenguajes y los Simuladores:

Un lenguaje de simulación es un software con características especiales para ciertos tipos de aplicaciones. El modelo es desarrollado utilizando las características de un lenguaje de programación. La ventaja de los lenguajes de simulación es su flexibilidad para simular cualquier cosa. Sin embargo, al tratarse de un lenguaje de programación es necesario tener conocimientos avanzados de programación. También se invierte mucho tiempo en escribir código por lo tanto, si se pretende simular un modelo muy complejo, se convierte en un proceso lento y tedioso.

Un simulador es un software que permite simular un sistema contenido en una clase “específica” de sistemas con muy poca o nula programación. El uso de plantillas y bloques estándar facilitados por el simulador reduce el tiempo invertido en programar el modelo. El tiempo invertido en desarrollar el modelo es considerablemente menor que para un lenguaje de simulación.

El uso de plantillas facilita su programación y no es necesario ser un programador experto para desarrollar los modelos a simular. La mayor desventaja de muchos simuladores, es que están limitados a modelar sólo esas configuraciones de sistemas permitidas por sus características estándar.

Los simuladores son, en la actualidad, los más usados para análisis de alto nivel, donde el sistema es modelado en un nivel agregado sin incluir detalles de la lógica de control.

3.5. Programas de Simulación en el mercado.

Actualmente podemos encontrar una gran variedad de programas de simulación para eventos discretos que ofrecen soluciones para la mayoría de industrias, manejando proyectos complejos a gran escala ya sean relacionados con la cadena de suministro, fabricación, procesos, logística, distribución, almacenamiento o sistemas de servicios. Entre los más conocidos podemos encontrar:



El software de simulación ARENA® es el software más famoso del mercado.

Es fácil de programar (montar modelos)

gracias a su sistema basado en diagramas de flujo. Su compatibilidad con la mayoría de los software de *Microsoft*® le permite exportar/importar paquetes estadísticos a *Excel* o acceder a pequeñas bases de datos de *Access* o bases mayores como *Visual Fox Pro* entre otras. Arena® también incorpora un compilador de *Visual Basic*. [5]



En segundo lugar esta ProModel®. A diferencia de Arena®, los parámetros a medir, sus funciones y cálculos son

asignados por medio de programación y deben ser creadas por el usuario. Sin embargo, ProModel® dispone de un entorno visual más logrado. [6]



AnyLogic® es considerada como la herramienta de simulación de última generación. Un software que ofrece un

sistema flexible, orientado a objetos para el desarrollo de la simulación de eventos discretos, continuos y dinámica del sistema y los modelos híbridos de simulación. Los modelos de AnyLogic® se pueden exportar como applets Java o aplicaciones Java autónomas portátiles (versión Professional) sin necesidad de un entorno de desarrollo AnyLogic® en funcionamiento. [7]



Por último hablaremos de FlexSim, que permite analizar diferentes escenarios y condiciones, en un entorno gráfico en tres dimensiones (3D). Gráficas, reportes y estadísticas presentan los resultados del modelo de simulación de una manera clara y precisa. [8]

3.6. ARENA® Simulation Software

De los diferentes software de simulación presentados en el apartado anterior el software elegido para realizar este proyecto es el software de simulación más famoso y utilizado, ARENA® de Rockwell. Los motivos de esta elección han sido básicamente dos:

- Su sistema de programación basado en diagramas de flujo, nos permite realizar el modelo lógico y el modelo computacional al mismo tiempo reduciendo el tiempo considerablemente el tiempo de modelado.
- Es el software de simulación estudiado en el módulo 7, Modelaje y simulación de sistemas de producción, de la asignatura Tecnologías de Automatización Industrial de la carrera Organización Industrial en la universidad de Vic.

La versión utilizada para realizar todos los experimentos va a ser la *Standard Edition V14.0*.

3.6.1. Características del software ARENA®

Arena® es un lenguaje de programación cuya principal característica es la flexibilidad de movimiento por los diferentes niveles de programación en función de las necesidades del programador, incluso dentro de un mismo modelo [2]. Como se ha comentado en el apartado anterior Arena® es compatible con varios programas de la firma *Microsoft®*, *Visual Basic* o *C++*. La combinación de todos estos programas permite la programación de alto nivel con la flexibilidad de un lenguaje de programación general.

Una peculiaridad del software Arena® es el uso de plantillas, organizadas por paneles, intercambiables entre sí que contienen modelos o bloques específicos para el modelado y análisis de simulación gráfica. Estos se pueden combinar para construir una amplia variedad de modelos de simulación. Los módulos de diferentes paneles pueden mezclarse dentro de un mismo diseño.

Esta flexibilidad a la hora de modelar es debida a la estructura completamente jerárquica que tiene ARENA®, ver Figura 3.6.1a.

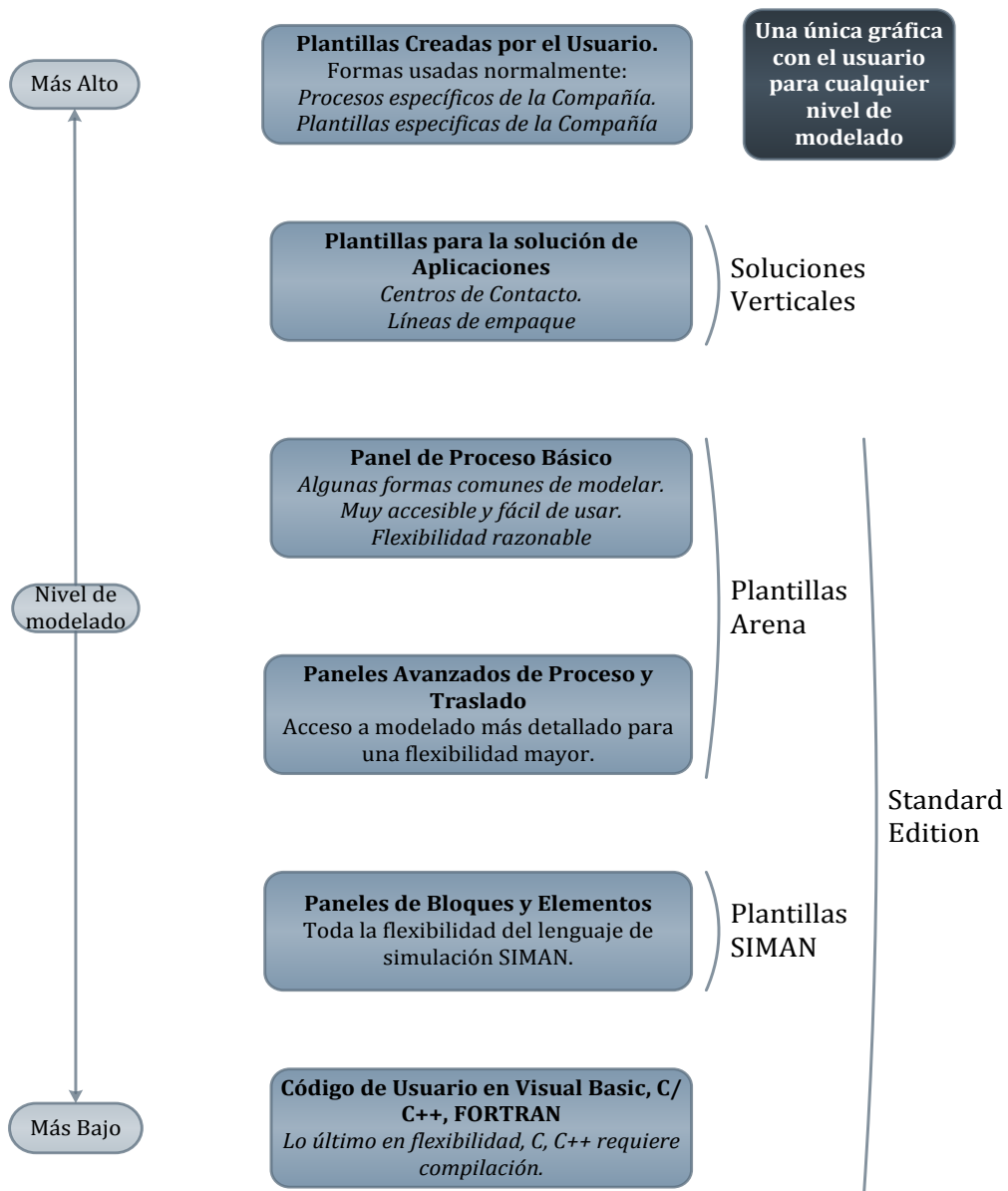


Figura 3.6.1a: Estructura jerárquica del software ARENA®

En cualquier momento, se puede trabajar con módulos de bajo nivel del panel de Bloques y Elementos y obtener acceso a la flexibilidad de un lenguaje de simulación si es necesario, así como mezclar construcciones del SIMAN junto con módulos de alto nivel de otra plantilla (de hecho, los módulos de Arena están formados por componentes SIMAN). Para necesidades especializadas, como algoritmos de decisión complejos o el acceso de datos desde una aplicación externa, se pueden escribir partes del modelo en un lenguaje como Visual Basic o C/C++. Todo esto, sin importar el nivel jerárquico dentro de la estructura, ofreciendo siempre una misma interfaz gráfica para el usuario [2].

ARENA® aporta todos los elementos generales de otros lenguajes de simulación como:

- Distribuciones estadísticas estándar
- Iteraciones independientes en un solo lote
- Periodos de eliminación de los efectos de condiciones iniciales, en los cuales las variables no guardan valores para posteriores análisis estadísticos.

Además, ARENA® permite realizar la simulación en modo Run que permite ver todas las animaciones del modelo o en modo Fast-Forward (modo rápido de ejecución) que realiza la simulación sin realizar animaciones.

La animación ofrece multitud de posibilidades, incluso la importación desde otros programas como AUTOCAD o *Microsoft® VISIO*. Incluye la animación dinámica en el mismo medio de trabajo. También proporciona un soporte integrado, incluyendo gráficos, para algunas cuestiones de diseño estadístico y análisis, dando lugar a un buen estudio de simulación.

También hay que destacar la interfaz con otros programas compatibles de Windows®, como son el paquete de *Microsoft® office (Excel, Word, Access y PowerPoint)* o *Visual Basic*.

3.6.2. Conceptos básicos en Simulación con ARENA®

En este apartado se definirán las distintas partes de un modelo de simulación así como la importancia de cada una de ellas a la hora de modelar y ejecutar:

- **Entidades:** Es el término utilizado para representar personas, objetos, o cualquier otra cosa, reales o imaginarias, que se mueven a través del modelo, pudiendo causar cambios en el estado del sistema o afectar a otras entidades. Son los objetos dinámicos en la simulación, son creadas, pasan a través de una sucesión de procesos y luego desaparecen, en el caso de los modelos de ciclo abierto ya que, no obstante, es posible tener entidades que nunca dejen el sistema sino que permanezcan circulando por él. Sin embargo, todas las entidades han de ser creadas, bien por uno mismo o automáticamente por el software.
- **Atributos:** Para individualizar entidades, se les asignan atributos. Un atributo es una característica común de todas las entidades, pero con un valor específico que permite diferenciar una de otra. Lo más importante con respecto a los atributos es que sus valores están unidos a entidades específicas. El mismo atributo tendrá normalmente valores diferentes para entidades distintas. Así, los atributos son variables locales (local para cada entidad). Arena puede asignar estos atributos automáticamente o ser definidos por uno mismo si es necesario.
- **Variables (Globales):** Una variable es una parte de información que refleja algunas características del sistema, sin importar cuántas o qué tipos de entidades pueda haber. Se pueden tener muchas variables diferentes en un modelo, pero cada una de ellas es Aplicación al caso de contenedores retornables única. Hay dos tipos de variables: *Variables generadas por el propio Arena* (número de entidades en la cola, número de recursos ocupados, tiempo de simulación, etc.) *Variables definidas por el usuario* (número de entidades en el sistema, etc.). Al contrario que los atributos, las variables no están unidas a una entidad específica, sino que pertenecen al sistema en general y son accesibles por todas las entidades.

- **Recursos:** Para que sobre una entidad se realice un proceso determinado será necesaria la presencia de uno o varios recursos que presten ese servicio. Los recursos representan todo aquello necesario para realizar un proceso: personas, máquinas, herramientas, etc. Son elementos estáticos del modelo y en ellos son alojadas las entidades, presentando posibles estados distintos definidos por el usuario: ocupados, libres, en fallo, etc.

- **Colas:** Son espacios de espera para las entidades en su movimiento por el sistema, cuando estas han sido detenidas por causas del fallo del sistema. Por ejemplo, si un determinado recurso está ocupado y la entidad quiere acceder a él, ha de esperar hasta que esté disponible. Son elementos pasivos del modelo, no se pueden crear durante la ejecución del programa.

- **Estaciones:** Arena representa los sistemas dividiéndolos en subsistemas. Estos subsistemas son llamados estaciones. De esta forma, el modelo se hace más manejable y se proporciona una forma fácil de definición del movimiento de entidades entre partes del sistema.

- **Conveyors y transporters:** Una entidad puede ser transferida de una estación a otra de diferentes formas:
 - Una conexión directa: la entidad no ha de esperar a que esté disponible ningún medio de transporte. En el camino se invierte un tiempo fijado por el usuario, pudiendo especificarse como cero.
 - *Conveyors:* funcionan como cintas transportadoras. Una vez que la entidad pide el acceso desde una estación para dirigirse a otra, ha de esperar a que exista sitio en la cinta para comenzar el transporte. Se detallarán más características de este transporte en puntos posteriores del proyecto.
 - *Transporters:* en este caso existe un número de vehículos encargados de realizar el transporte. La entidad tras solicitar un vehículo ha de esperar a que esté disponible para poder realizar el transporte.

- **Acumuladores Estadísticos:** Para conseguir medidas de los resultados o salidas llevados a cabo, hay que hacer uso de varias variables que actúan como acumuladores estadísticos conforme la simulación progresa, como pueden ser: el número de partes producidas, el total de tiempo esperando en una cola, número de entidades que han pasado a través de una cola, el mayor tiempo que se ha permanecido en la cola, el total de tiempo que pasa en el sistema para todas las entidades que van desapareciendo, el área ocupada debajo de la curva de algunas funciones, etc.

- **Eventos:** A la hora de ejecutar el modelo, básicamente todo se centra en los eventos. Un evento es algo que ocurre en un instante de tiempo (simulado) que puede hacer cambiar, atributos, variables o acumuladores estadísticos, como pueden ser: la llegada o la salida del sistema de una entidad, el final de la simulación, etc. Para poder ejecutar, una simulación debe seguir los eventos que se supone que ocurrirán en el futuro (simulado). En Arena, esta información es guardada en un calendario de eventos.

- **Reloj de Simulación:** El tiempo actual en la simulación es guardado en una variable llamada Reloj de Simulación. El transcurso de este tiempo no tiene por qué coincidir con el real, se puede acelerar o retardar. Este reloj marca el transcurso de los eventos del calendario y es una parte muy importante de la simulación dinámica (el reloj es una variable llamada TNOW).

- **Comienzo y Parada:** Una cuestión muy importante en la simulación es cómo empezar y parar. Arena hace muchas cosas automáticamente, pero no es capaz de decidir cuestiones del modelado como el comienzo y la parada. El usuario es quien debe determinar las condiciones apropiadas de comienzo, cuánto debería durar la ejecución y si se debería parar en un instante particular de tiempo o cuando ocurra algún suceso específico. Estas decisiones pueden tener un gran efecto tanto en los resultados como en las cosas más obvias como pueden ser los valores de los parámetros de entrada.

3.7. Verificar y Validar sistemas

Sin duda las fases más críticas a la hora de programar son las fases de verificación y validación. Es en estas fases donde comprobamos si el programa diseñado funciona correctamente. Primero se verifica que el programa funcione correctamente, es decir, que el compilador de nuestro simulador (en nuestro caso Arena®) no encuentra ningún error de código.

El hecho de que un programa esté libre de errores y funcione correctamente no quiere decir que este haga lo que se esperaba de él. Se validará el programa cuando este realice correctamente la función encomendada. Es decir, se comprueba que el programa responde a lo esperado.

A la hora de analizar un sistema se utiliza una técnica similar al círculo de Deming: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar. En este caso sería: diseñar, programar, verificar y Actuar.

El análisis nos permite verificar y validar el sistema. Una vez validado y verificado se seguirá analizando el sistema con el objetivo de comprenderlo mejor y poder optimizarlo. También se podrá simular la evaluación de distintas estrategias ante un mismo problema en el sistema.

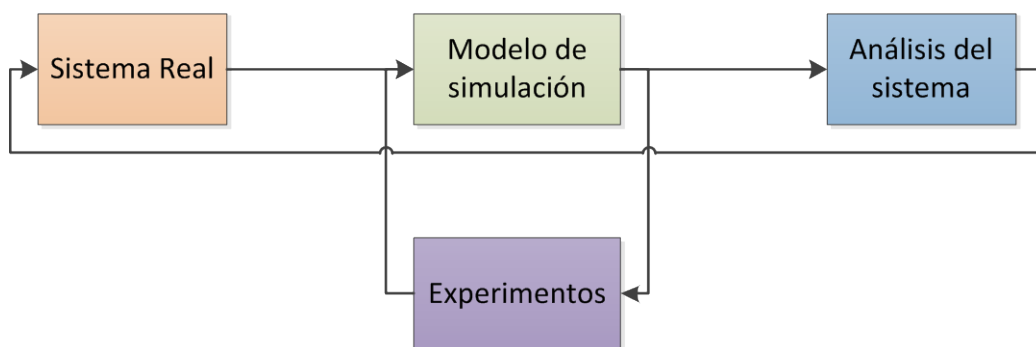


Figura 3.7a: Simulación para el análisis de sistemas reales.

3.8. Principales ventajas y desventajas que ofrece la técnica de la simulación:

Ventajas:

- Simular un sistema conduce a una mejor comprensión del sistema real.
- El espacio temporal se puede comprimir, reduciendo años de experimentación en la realidad a minutos de simulación.
- La simulación no interrumpe las actividades en curso del sistema real.
- La simulación puede utilizarse como un ejercicio para la experiencia de capacitación.
- La simulación provee una duplicación más realista de un sistema que el análisis matemático.
- La simulación puede utilizarse para el estudio de situaciones transitorias mientras que las técnicas matemáticas no pueden hacerlo.
- Comercialmente están distribuidos muchos modelos de paquetes estándar, que cubren una amplia gama de temas.
- La simulación permite responder a las suposiciones de lo que puede llegar a ocurrir en determinadas circunstancias.

Desventajas:

- El tiempo y el esfuerzo requeridos para el desarrollo de un modelo de simulación, no garantiza que se obtengan buenos resultados.
- No existe modo alguno de probar que el modelo de simulación es totalmente fiable. La simulación implica numerosas repeticiones de secuencias que se basan en ocurrencias generadas de manera aleatoria, que en algún momento generen una situación en la que el sistema se vuelva inestable.
- La construcción del modelo de simulación, supone un elevado número de horas de trabajo. Con lo que puede resultar muy costoso.
- La simulación puede ser menos exacta que el análisis matemático, pues se basa en ocurrencias aleatorias.
- El tiempo de computación de modelos complejos, puede llegar a ser muy elevado.
- La técnica de simulación no tiene un enfoque estandarizado. El modelo de simulación diseñado por un analista, puede diferir respecto al de otro.

4. ESTUDIO DEL SISTEMA REAL A SIMULAR

Para construir el modelo de un sistema real, es necesario atravesar una serie de etapas o niveles de modelización. Se comienza haciendo una descripción del sistema real, para ello es necesario realizar un estudio de toda la información disponible. Entre otras cosas, es necesario identificar cuáles serán las entradas y las salidas de nuestro modelo. Una vez identificadas las diferentes partes del sistema real se construye un modelo conceptual que contenga todos los elementos que se consideren relevantes del sistema. Desde este se pasa a un modelo lógico que contiene las relaciones lógicas entre los elementos. Por último se construye el modelo de ordenador (o modelo de simulación) que ejecuta la lógica recogida en la fase anterior.

4.1. Descripción del sistema

A finales de 2012 los responsables del taller comenzaron a tomar una serie de medidas con el objetivo de mejorar los servicios de mantenimiento. La estrategia a seguir afecta a todos los sectores y servicios: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, gestión del almacén de recambios, etc.

Con la intención de mejorar los servicios de mantenimiento correctivo, los responsables del taller tomaron la decisión de cambiar el procedimiento utilizado para realizar los informes de altas y bajas de averías. Hasta la fecha no se disponía de un historial preciso de las averías, solo constaba el tiempo de averías en la hoja que los operarios rellenan diariamente para declarar las horas trabajadas. Estos tiempos eran imprecisos ya que simplemente cuadraban las horas de asistencia con en el número de averías realizadas. Es decir, si un operario trabaja 7'5 horas (más media hora del bocadillo) y había reparado 3 averías en un turno podía poner que la duración de las mismas era 3'5 horas para la primera avería, 3 horas para la segunda y 1 hora para la tercera. Esta forma de proceder no proporcionaba información relevante sobre las averías ya que lo único cierto era la cantidad de averías pero no la duración. Es la duración de las averías quien decide la gravedad de las averías, así que era importante encontrar una solución.

El sistema actual trabaja en red y está conectado a varios ordenadores o terminales distribuidos por diferentes zonas en las dos factorías. Esto permite obtener información en tiempo real del estado de las máquinas: número de máquinas averiadas, tipo de avería (eléctrica o mecánica), zona de la máquina averiada, inicio y fin de la avería y el tiempo que ha tardado el operario de mantenimiento en reparar la máquina (tiempo de intervención). Toda esta información se almacena generando una base de datos muy precisa y siempre actualizada.



Figura 4.1a: Terminal distribuido por zonas

El nuevo sistema nos permite desglosar el tiempo total de avería en dos partes, el tiempo de intervención (tiempo que el operario de manteamiento tarda en reparar la máquina) y un tiempo de demora o espera (tiempo transcurrido desde que el operario de la máquina realiza el parte de avería hasta que el operario de mantenimiento se presenta en la máquina). En este proyecto se va a realizar una serie de experimentos que nos permitan estudiar y reducir al máximo los tiempos de espera.

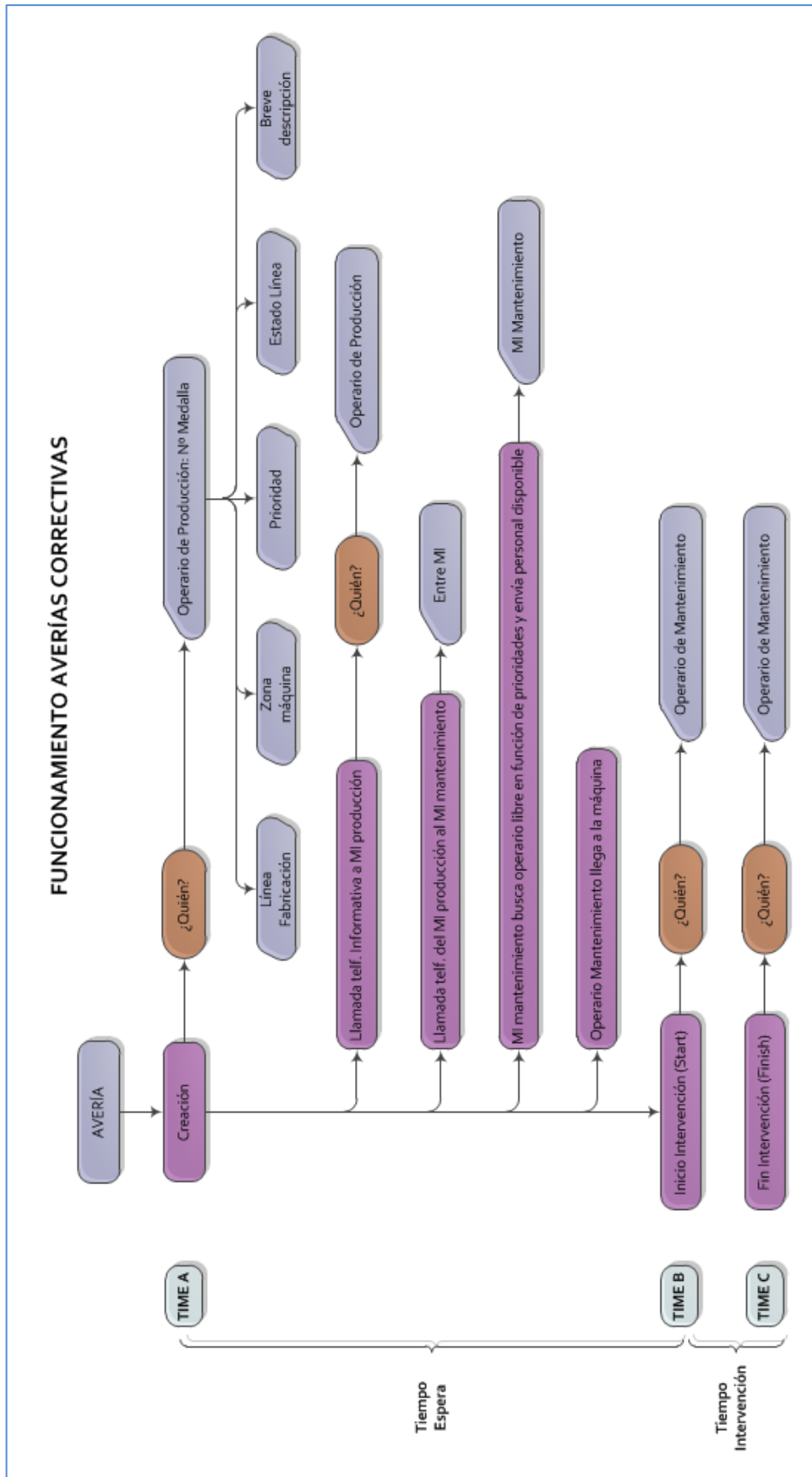


Figura 4.1b: Procedimiento a seguir cuando sucede una avería.

Tiempo Ocioso:

Debido a que no se puede cuantificar el tiempo ocioso real que un operario pasa en el taller, ya que cuando no hay averías a los operarios se les asigna otro tipo de tareas, nos pondremos en la peor situación de las posibles. Es decir, que todo el tiempo que pasa un operario en el taller es ocioso.

Relevo:

El taller actual está formado por 5 eléctricos y 3 mecánicos en cada turno. El taller dispone de 8 bancos de trabajo y es obligatorio que estos estén limpios y ordenados al final de cada jornada de trabajo. Para que esto sea posible los operarios volverán al taller 12 minutos antes de finalizar la jornada laboral con la finalidad de limpiar las herramientas y zona de trabajo (banco de trabajo).

Bocadillo:

Los operarios disponen de media hora para comer el bocadillo.

4.2. Formulación del problema

En este apartado se va a definir de forma detallada los objetivos, las restricciones e hipótesis de trabajo y las variables que se van a utilizar para definir el estado del sistema y el control del mismo.

El modelo a diseñar debe de ser capaz de simular un proceso como el que se muestra en la *figura 4.2a* donde las propiedades de interés del sistema cambian únicamente en una secuencia de instantes de tiempo y permanecen constantes el resto del tiempo.

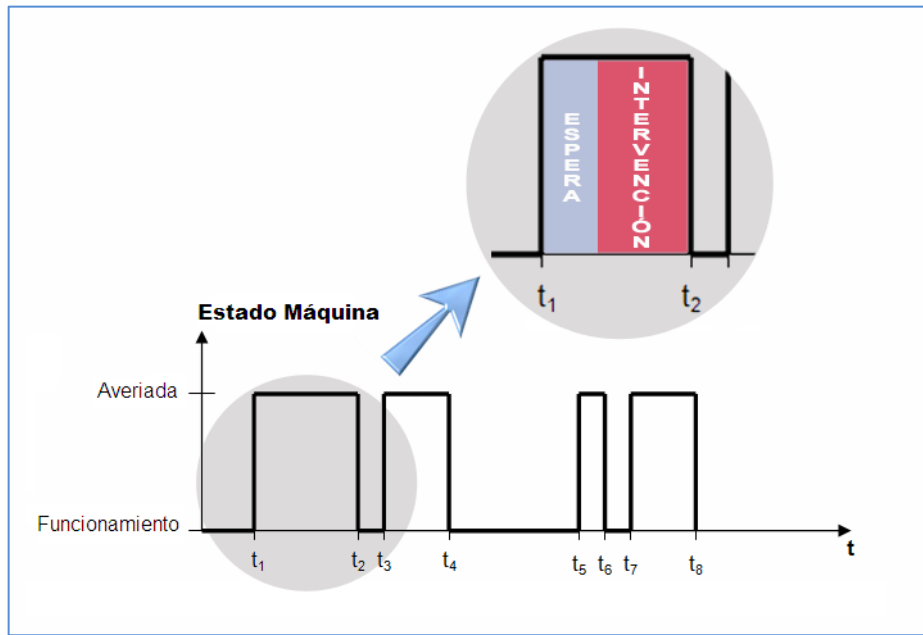


Figura 4.2a: Descomposición del tiempo avería en espera e intervención.

También sabemos que no todo el tiempo que la máquina está averiada, está siendo reparada. Podemos deducir que el tiempo de avería es el tiempo de intervención más el tiempo de espera siendo el tiempo de espera la variable a estudiar en este proyecto. A lo largo de los diferentes experimentos se considerará que el tiempo de intervención no es sensible a las diferentes variables del sistema.

Por otro lado se considerará que las variaciones en el tiempo de espera se deben a dos factores: el tiempo dedicado al desplazamiento de los operarios del taller hasta la máquina a reparar y el tiempo por demora atribuido a la falta de personal.

4.2.1. Objetivos

El objetivo del proyecto es estudiar las fluctuaciones en el tiempo de espera durante una avería. Partiendo de un mismo historial de averías, se van a realizar dos experimentos:

En el primero de ellos se estudiará el tiempo de demora atribuido a la falta de personal. Para ello se variará la capacidad del taller, número de operarios de mantenimiento, hasta encontrar la situación óptima. En la primera simulación se tomará el número de operarios del sistema real, esto nos permitirá validar el modelo diseñado y también nos servirá para tener una referencia del tiempo de espera. El número mínimo de operarios vendrá limitado por el tiempo entre averías para una misma máquina. Cuando el tiempo de inicio de la segunda avería (t_3) sea inferior al tiempo de fin de avería de la primera (t_2) diremos que se ha llegado al límite inferior quedando este valor excluido.

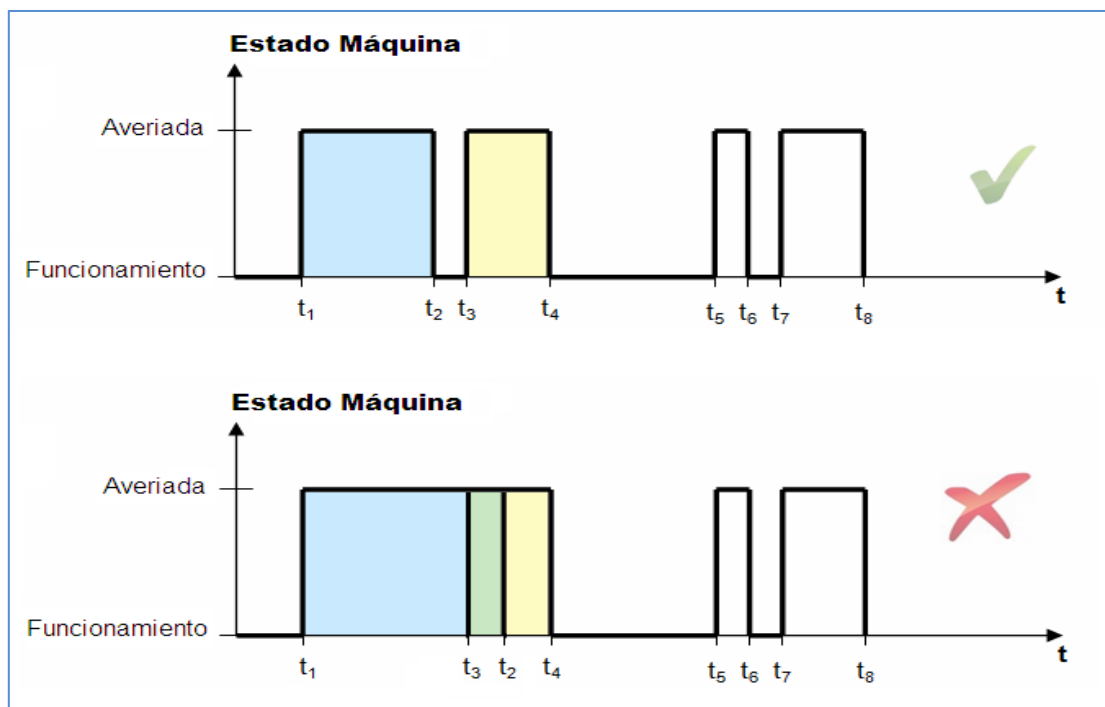


Figura 4.2.1a: Validación de la capacidad del taller en función del tiempo avería.

Es evidente pensar que cuanto más personal, menor será el tiempo de espera, pero hay que tener en cuenta que también aumentará el tiempo ocioso del personal en el taller ya que no siempre habrá trabajo para todos. Para determinar el número máximo de operarios será necesario encontrar el compromiso entre el tiempo de espera y el tiempo ocioso en el taller.

En el segundo experimento se pretende estudiar la influencia del tiempo por desplazamiento, que dedica el personal desde el taller hasta la máquina a reparar, con el tiempo de espera. Para ello se va a separar el taller en dos, uno para cada factoría reduciendo así la distancia entre el taller y las máquinas. Después se realizará el experimento anterior con cada centro para determinar el personal óptimo necesario en cada taller.

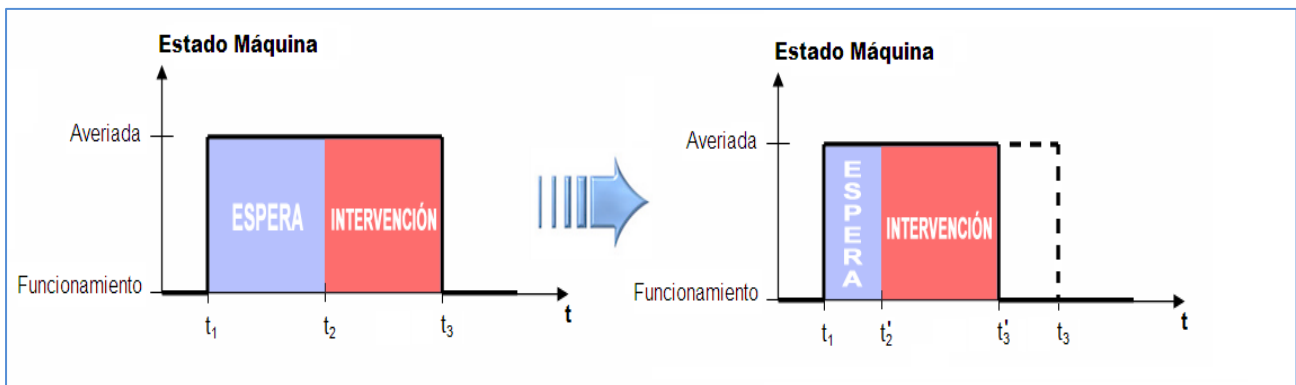


Figura 4.2.1b: Reducción del tiempo avería a través del tiempo de espera.

4.2.2. Variables

Para definir el modelo del sistema es necesario identificar las variables que puedan representar el funcionamiento del sistema real. En el apartado anterior se han descrito los objetivos y las características de interés del sistema. Así que podemos decir que las variables de interés son:

ENTRADAS	
Tiempo inicio avería	Indica cuando se inicia la avería
Tiempo intervención	Tiempo real de la reparación
Nº Operarios	Personal en el taller
SALIDAS	
Tiempo de Avería	Tiempo que la máquina esta averiada.
Tiempo ocioso	Tiempo que el personal pasa en el taller sin realizar ninguna intervención.

Tabla 4.2.2a: Variables del sistema

4.2.3. Precisión

En este apartado vamos a definir el grado de precisión requerido. Para conseguir la mayor precisión posible, se ha considerado que las variables de entrada sean valores reales, obtenidos directamente del historial facilitado por la empresa, y no distribuciones estadísticas. En segundo lugar, el tiempo de desplazamiento entre el taller y las diferentes máquinas es el promedio de diez medidas realizadas a diferentes operarios del taller.

La elaboración del modelo preliminar pondrá de manifiesto de forma más clara y precisa los objetivos del estudio, las variables y parámetros necesarios para el desarrollo del modelo y para el control del mismo.

La base de tiempos de la simulación será en minutos. Se ha elegido esta base de tiempos porque la duración de las intervenciones suele ser inferior a la hora. Será más fácil y cómodo trabajar en minutos que en horas. Trabajar con una base de tiempos en segundos proporcionaría la precisión máxima, pero sin embargo ralentizaría la simulación en exceso.

4.3. Modelo Conceptual

Antes de diseñar el modelo lógico, es necesario diseñar el modelo conceptual. Este modelo permite establecer unas bases de programación y definir la estructura inicial del modelo a diseñar.

Como se puede ver en la *Figura 4.3a* el modelo se puede dividir en seis partes bien definidas: averías, base de datos, gestión de averías, taller, desplazamiento y maquinaria.

El hecho de poder separar el modelo principal en sub-modelos sugiere que el método idóneo de programación sea el Método de programación estructurada. Este método permitirá que la verificación, la detección de errores y las modificaciones de los sub-modelos sean más fáciles.

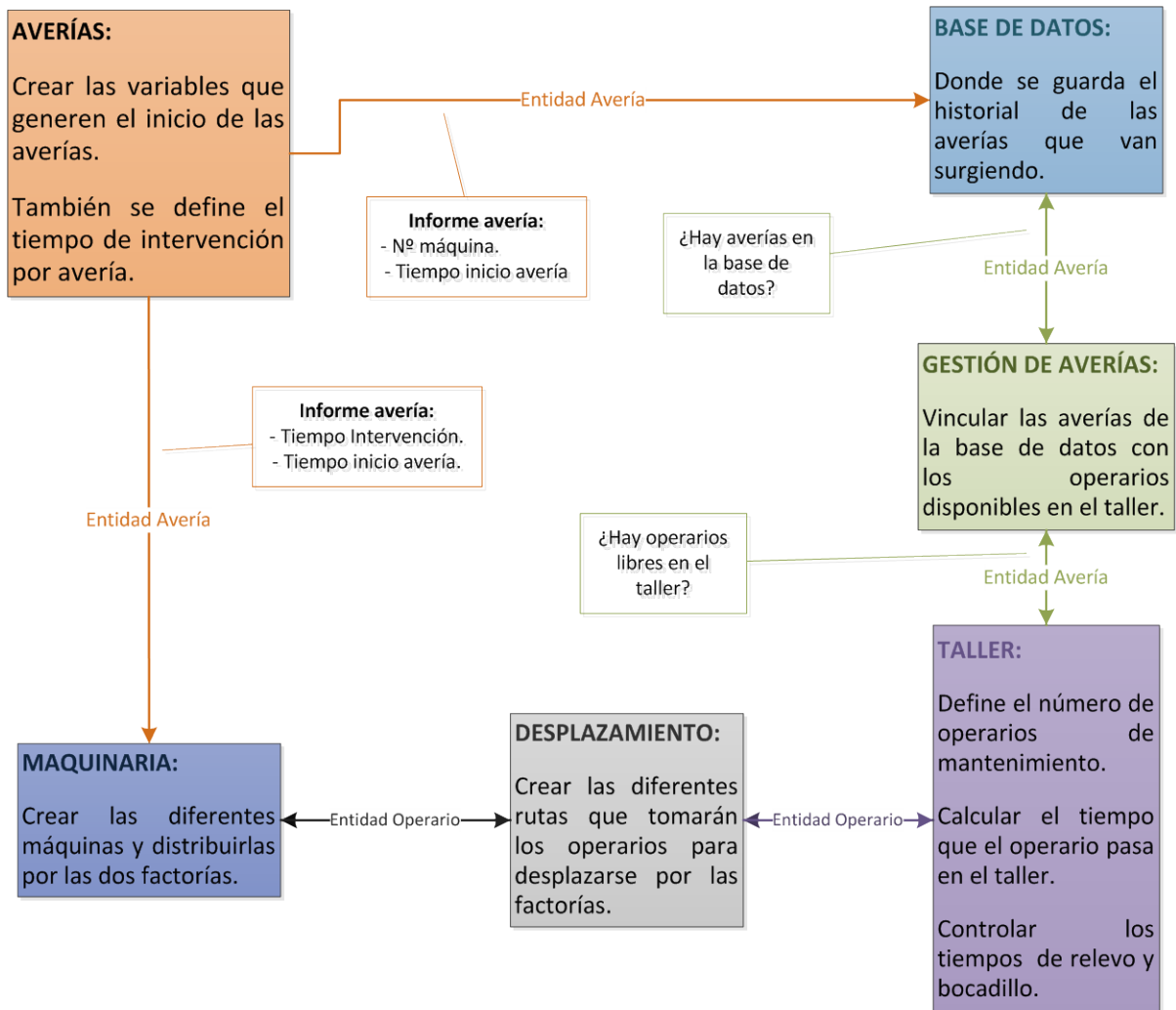


Figura 4.3a: Diagrama conceptual del sistema real

4.3.1. Método de programación estructurada

Los principios de la programación estructurada son los siguientes:

- Diseño descendente: el programa se diseña comenzando por el nivel más alto que se descompone en módulos bien definidos los cuales a su vez se pueden volver a descomponer.
- Modularidad: cada módulo es responsable de una única función.
- Refinamiento por pasos: cada módulo se desarrolla usando un refinamiento paso a paso de la función final que tendrá dicho módulo.
- Módulos compactos: los módulos no tendrán muchas líneas de código.

4.4. Análisis y recogida de datos

Para realizar el presente estudio es necesario recopilar toda la información relacionada con la gestión de las averías. Por este motivo el personal de mantenimiento ha facilitado el historial de todas las máquinas distinguiendo entre averías eléctricas y mecánicas. Dado que el objetivo del estudio es optimizar el sistema actual debemos plantear la situación más extrema de las posibles, que en este caso sería tener un número elevado de averías. Cuanto mayor sea el número de máquinas en funcionamiento, mayor es la probabilidad de tener averías. Por lo tanto se deben de simular las factorías a pleno rendimiento, es decir con todas las máquinas en funcionamiento.

Al tratarse de un sistema reciente, fue implantado en su totalidad en diciembre de 2012, disponemos de la información de un periodo muy corto de tiempo (del 1 enero 2013 hasta hoy, julio de 2013). Durante este periodo solo en el mes de Marzo ha tenido la carga suficiente para que trabajen todas las máquinas. Así pues, tomaremos el mes de Marzo como referencia para realizar los diferentes experimentos.

En la *Tabla 4.4a* podemos ver el historial de averías eléctricas, facilitado por el taller correspondiente al mes de Marzo, de la máquina número 1.

MARZO			AVERIAS ELECTRICAS		
Día	Turno	Nº	Inicio avería	Inicio intervención	Fin avería
1	1	1	6:50:00	7:04:00	8:10:00
1	3	2	4:55:00	5:37:00	6:25:00
4	2	3	23:15:00	23:35:00	1:35:00
8	3	4	23:15:00	23:30:00	0:15:00
9	1	5	11:23:00	11:38:00	12:08:00
13	1	6	7:00:00	8:00:00	10:00:00
19	3	7	3:01:00	3:20:00	4:31:00
24	3	8	3:11:00	3:21:00	4:51:00
28	1	9	11:32:00	11:55:00	12:32:00
29	1	10	11:22:00	11:39:00	12:42:00

Tabla 4.4a: Historial de averías facilitado por el taller.

Adaptar datos a base de tiempo de simulación

El primer paso es adaptar el historial de datos facilitado por el taller al formato necesario para poder realizar la simulación. En el historial, la unidad de tiempo es la hora y no disponemos del tiempo de intervención.

La base de tiempos de la simulación es en minutos, por este motivo es necesario pasar el valor de todas las variables a esta base de tiempos. El valor de la variable *Tiempo inicio avería* se obtiene directamente del historial, sin embargo el valor de la variable *Tiempo de intervención* no es directo. Por definición, el tiempo de intervención es el tiempo transcurrido desde que el operario llega a la máquina (Inicio Intervención) hasta que se repara la máquina (Fin avería). Así pues, para saber cuánto tiempo ha durado la intervención de una avería es necesario restar al tiempo fin de avería el tiempo inicio intervención y pasarlo a minutos.

El resultado es la *Tabla 4.4b* donde podemos ver las variables de interés para la simulación con base de tiempos en minutos.

MARZO			AVERIAS ELECTRICAS			
Día	Turno	Nº	Inicio avería	Inicio intervención	Fin avería	Tiempo intervención
1	1	1	410	424	490	66
1	3	2	1735	1777	1825	48
4	2	3	5715	5735	5855	120
8	3	4	11475	11490	11535	45
9	1	5	12203	12218	12248	30
13	1	6	17700	17760	17880	120
19	3	7	27541	27560	27631	71
24	3	8	34751	34761	34851	90
28	1	9	39572	39595	39632	37
29	1	10	41002	41019	41082	63

Tabla 4.4b: Historial de averías modificado para la simulación.

5. DISEÑO DEL MODELO LÓGICO

Una vez diseñado el modelo conceptual hay que desarrollar el modelo lógico. El modelo lógico representa al sistema por medio de símbolos matemáticos y diagramas de flujos y sirve como puente entre el modelo conceptual y el modelo computacional. Este incorpora los elementos, sucesos y variables incluidas en el modelo conceptual. Puede ocurrir que durante esta etapa se descubran fallos en el modelo conceptual, lo cual implicaría una nueva revisión del modelo. El proceso de comparar el modelo lógico con modelo conceptual implica validación y verificación. El modelo lógico debe ser una representación adecuada de la lógica del modelo conceptual.

El software de simulación Arena® permite saltarnos un paso a la hora de diseñar, ya que el modelo lógico se diseña directamente en el ordenador así pues el pasar el modelo lógico a un diseño por ordenador se realiza en un mismo paso.

5.1. Diseñar submodelos

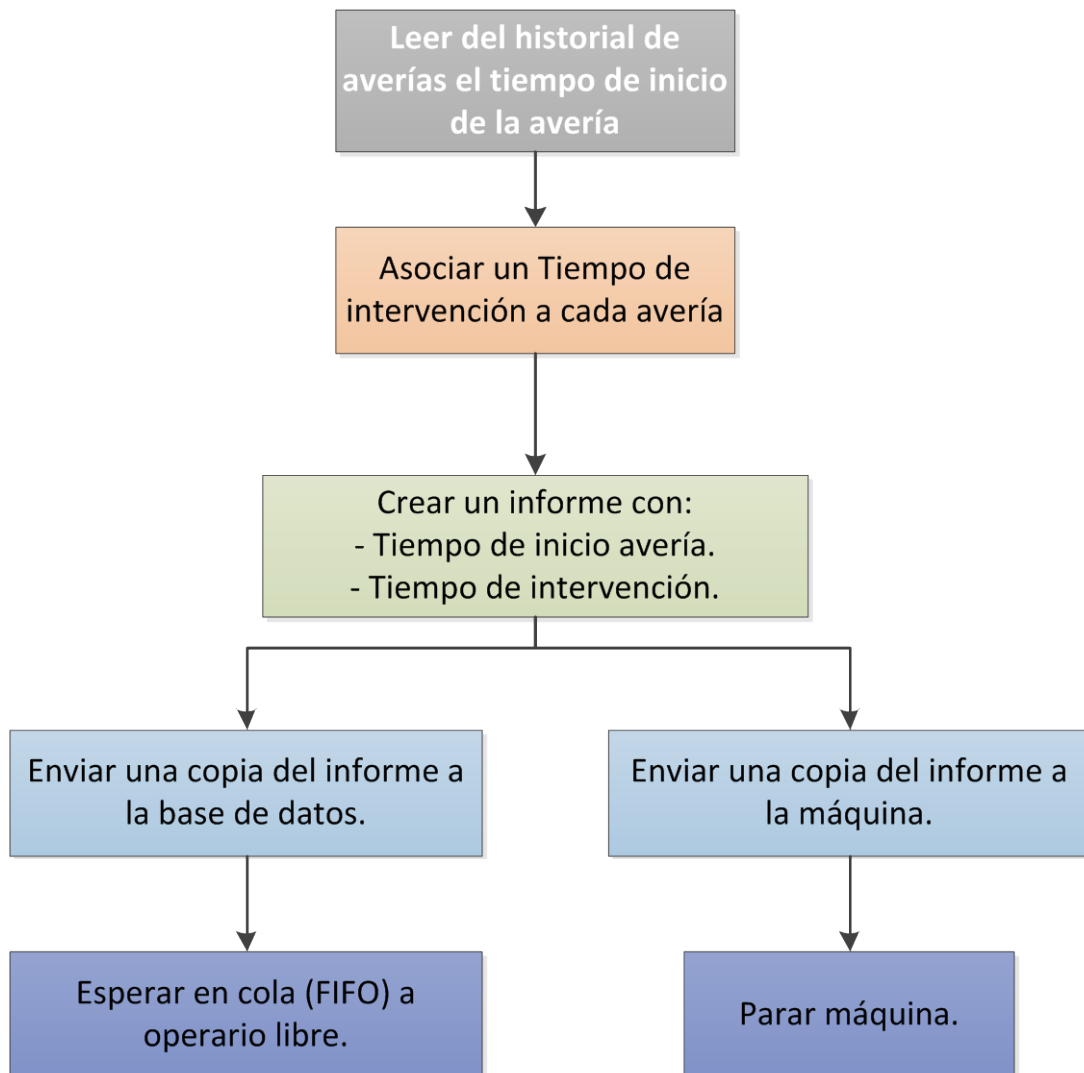
Basándonos en la metodología de programación estructurada, se ha dividido el modelo principal en seis submodelos. Cada submodelo desempeña una función bien diferenciada y se puede diseñar por separado. Esta metodología permitirá validar y verificar cada submodelo por separado facilitando la búsqueda de posibles errores en la programación.

5.1.1. Averías

El primer submodelo que se va a diseñar es el encargado de crear y gestionar las variables *Inicio de las averías* y el *Tiempo de intervención* en cada avería. Este submodelo es sin duda el más importante de la simulación. Es aquí donde se define el valor de las entradas del sistema y es en este submodelo donde se decide si las entradas se ajustan a los datos históricos del sistema real.

5.1.1.1. Modelo Conceptual

Primero de todo se plantea un modelo conceptual, un modelo abstracto que ofrezca una visión del diseño a programar. El modelo que se presenta es el modelo conceptual que define el proceso a seguir para cada máquina:



5.1.1.2. Modelo Lógico

Una vez planteado el modelo conceptual se puede diseñar el modelo lógico. Los dos primeros bloques del modelo conceptual: Leer del historial de averías el tiempo de inicio de la avería y Asociar un Tiempo de intervención a cada avería pueden ser diseñados de dos formas diferentes:

- Generando entradas (entidades) utilizando para ello el bloque *Create* y considerando que el tiempo entre llegadas se comporta como una distribución estadística.
- Leyendo el historial de averías directamente del archivo, utilizando el bloque *ReadWrite*. Esto es posible si el archivo tiene la extensión txt, o cualquier formato de *Microsoft® office* (doc, xls,...)

A priori no sabemos cuál de las dos opciones se adapta mejor al comportamiento del sistema real. Así que se diseñará el submodelo de las dos formas posibles y se elegirá el submodelo que mejor se adapte al modelo real.

5.1.1.2.1. Modelo basado en una distribución Estadística

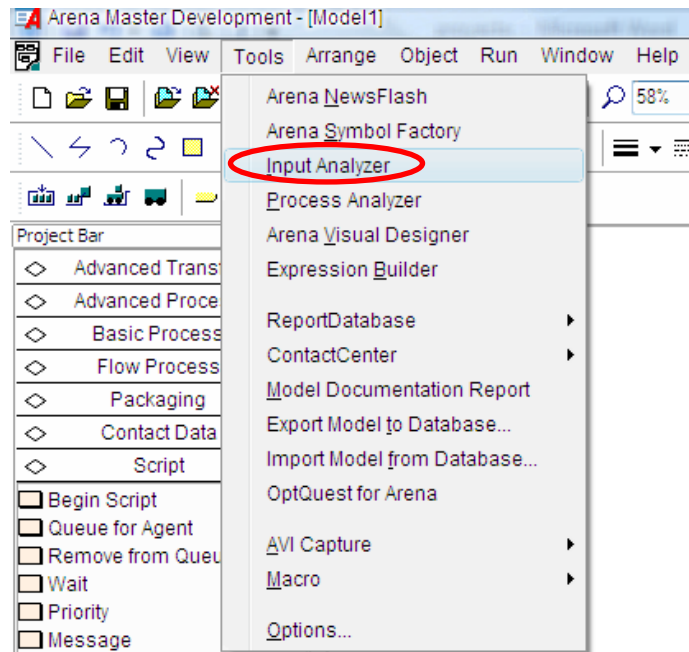
Esta forma de generar entidades es sin duda la más utilizada en simulación. A partir de los datos históricos del sistema real se busca una distribución estadística que sea capaz de describir el proceso en el futuro.

Por otro lado, ajustar los datos históricos a una distribución es sin duda el proceso más crítico de toda la simulación ya que esta decisión ara que la simulación sea fiel a la realidad o no.

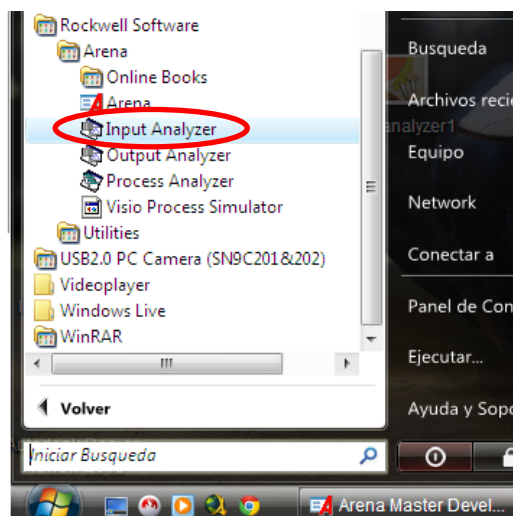
Los creadores del software Arena® son conscientes de ello y por eso han creado un asistente para ayudar a realizar esta tarea tan compleja, el analizador de datos de entrada o *Input Analyzer*.

Se puede acceder al asistente *Input Analyzer* de dos formas:

- Desde la barra de menús del mismo programa, seleccionando Tools > *Input Analyzer*.



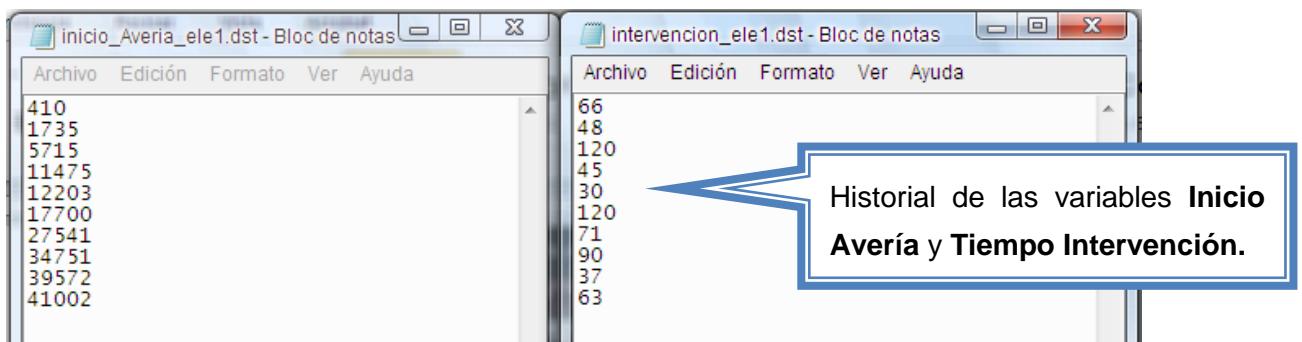
- También desde el menú de Inicio de *Windows®*, buscamos la carpeta donde se ha instalado el programa por defecto *Rockwell Software > Input Analyzer*.



Introducir datos mediante un procesador de texto.

Los requisitos para que *Input Analyzer* reconozca un archivo son: que el archivo sea sólo texto y que su extensión sea dst.

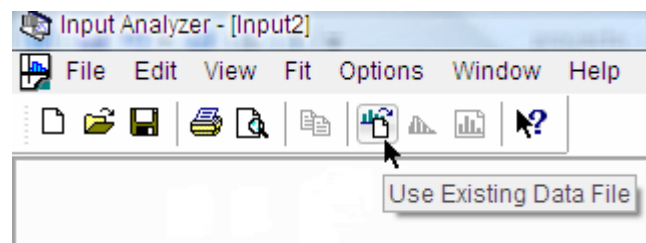
El primer paso será crear dos archivos en un editor de texto (NotePad, Word,...) uno para la variable Tiempo Incido Avería y otro para la variable Tiempo de Intervención.



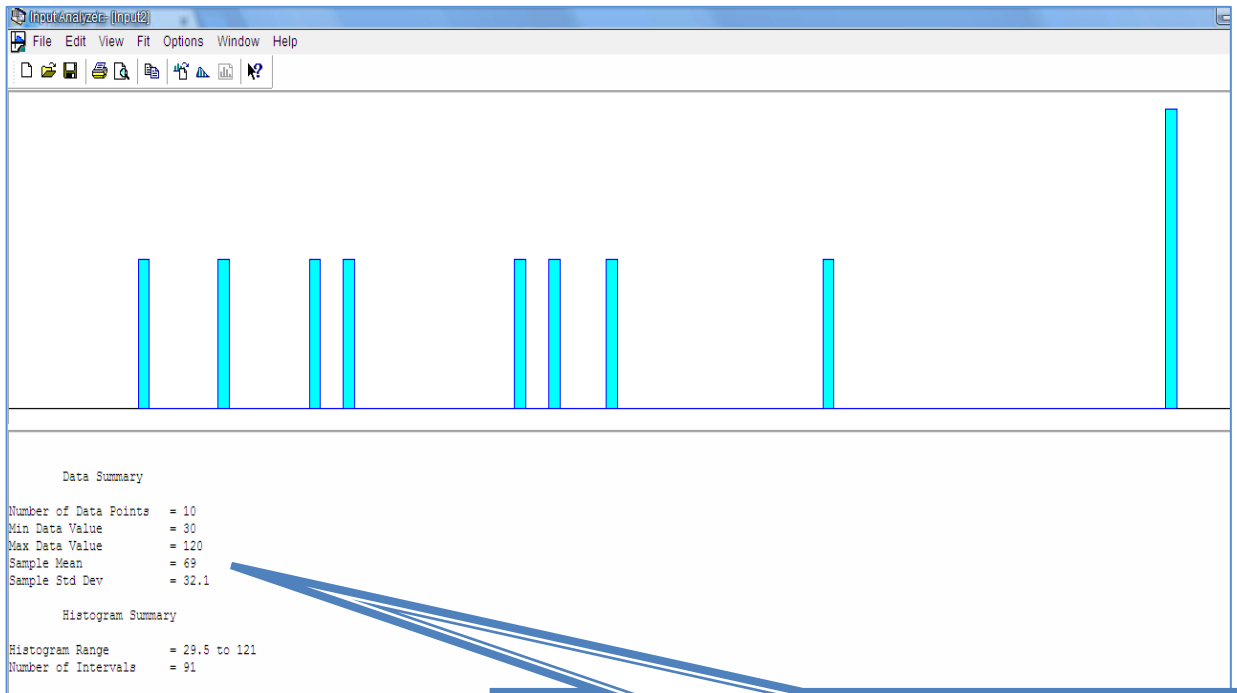
Después se introduce en cada archivo el historial de datos (en este caso la máquina numero 1) de cada una de las variables y se guarda cada archivo en formato solo texto y con la extensión dst.

Creación de un INPUT FILE

Una vez abierto el asistente *Input Analyzer*, seleccionamos en la barra de menús File > New para crear un archivo nuevo. En segundo lugar pulsamos en el icono utilizar el archivo de datos existente



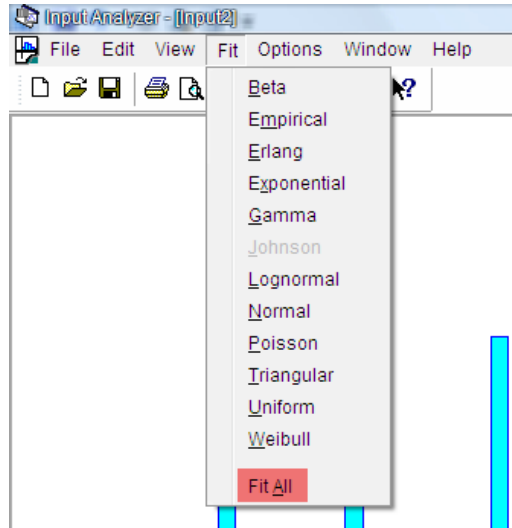
Buscamos y seleccionamos el archivo `intervencion_ele1.dst`, obteniendo el siguiente diagrama.



En el resumen de datos (*Data Summary*) se muestran los datos analizados: el valor mínimo, el valor máximo, media y desviación.

Ajustar una distribución a los datos de entrada

Una vez tenemos el histograma cargado, *Input Analyzer* puede buscar en su base de datos que distribución se ajusta mejor a este. Para realizar esta operación seleccionamos en la barra de menús la opción `Fit` y se abrirá un menú con todas las distribuciones estadísticas disponibles en *Input Analyzer*.

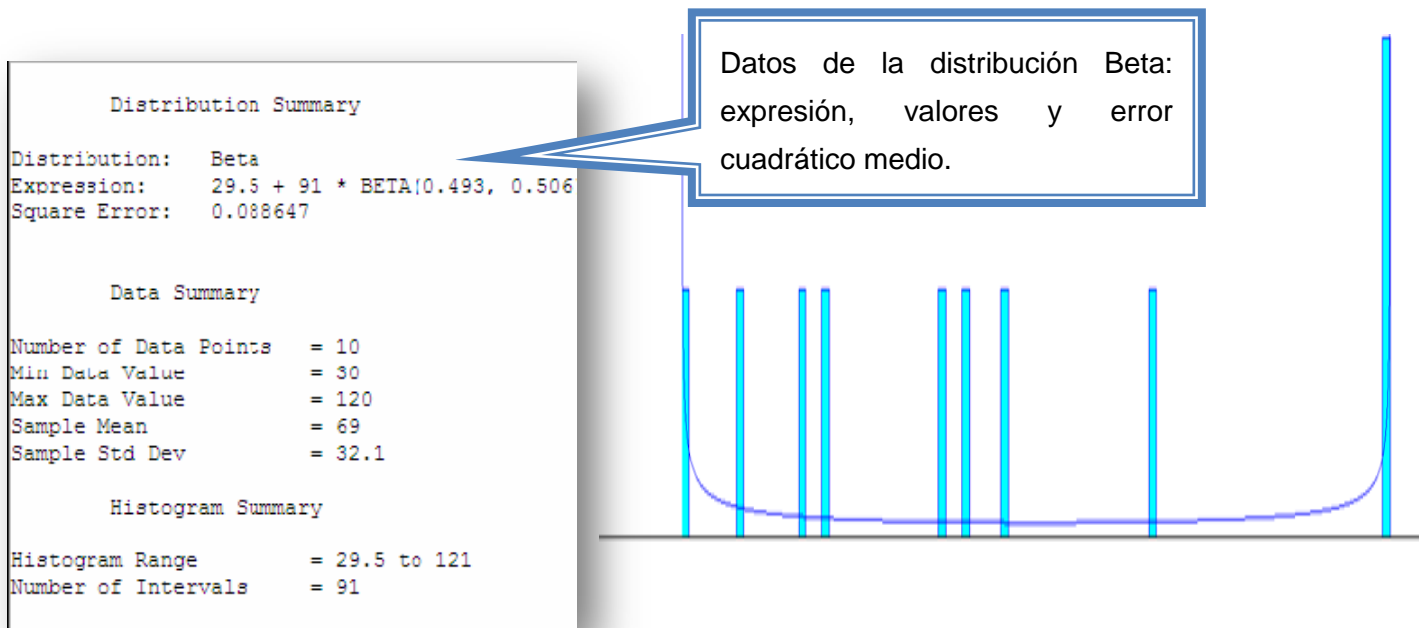


Si se selecciona la última opción *Fit All*, el asistente buscará la distribución que de la base de datos que mejor se adapte al diagrama. Para ello, el asistente calcula todas las distribuciones y posteriormente compara el error cuadrático medio obtenido en cada una de las aproximaciones, dando por válida la distribución estadística con menor error. La distribución de probabilidad que más se aproxima al diagrama actual es la Beta.

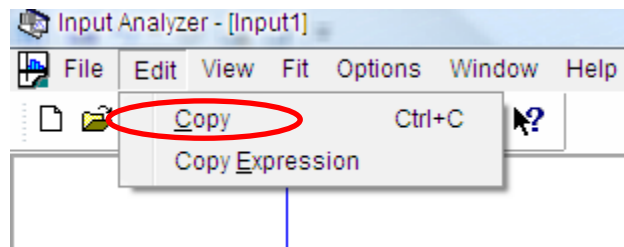
The screenshot shows the 'Input Analyzer - [Input1 - Fit All Summary]' window. It displays a table with the following data:

Function	Sq Error
Beta	0.0886
Erlang	0.109
Exponential	0.109
Gamma	0.109
Uniform	0.109
Weibull	0.109
Normal	0.111
Lognormal	0.114
Triangular	0.118
Poisson	0.127

Una vez hecho el cálculo, *Input Analyzer* muestra la curva y los datos de la distribución elegida, en este caso la distribución Beta.



El último paso es copiar en el portapapeles la expresión obtenida e insertarla en el bloque de arena que deseemos.



Este proceso se tiene que repetir con el historial de todas las máquinas. De esta forma se conseguirá representar las variables Tiempo Inicio avería y Tiempo de intervención, de cada máquina, con la mejor distribución estadística posible.

A continuación se realiza el modelo lógico directamente en el ordenador. ARENA® permite realizar al mismo tiempo el modelo lógico y el modelo por ordenador agilizando mucho el proceso de modelado.

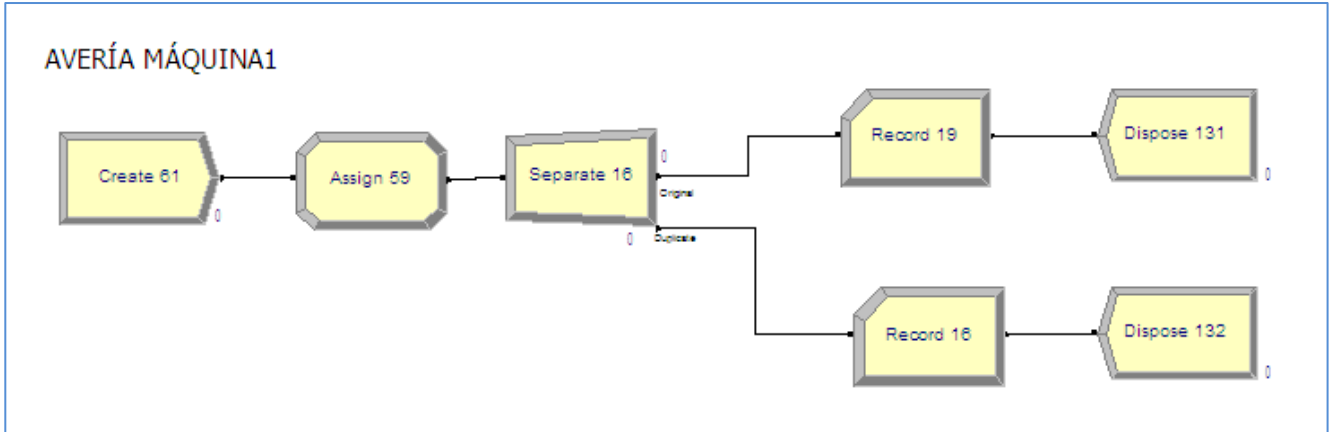
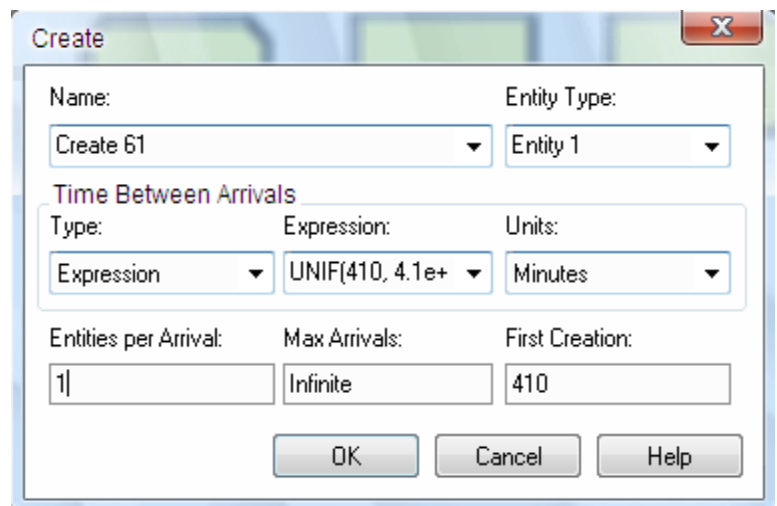


Figura 5.1.1.2.1a: Modelo lógico del submodelo Averías basado en una distribución Estadística.

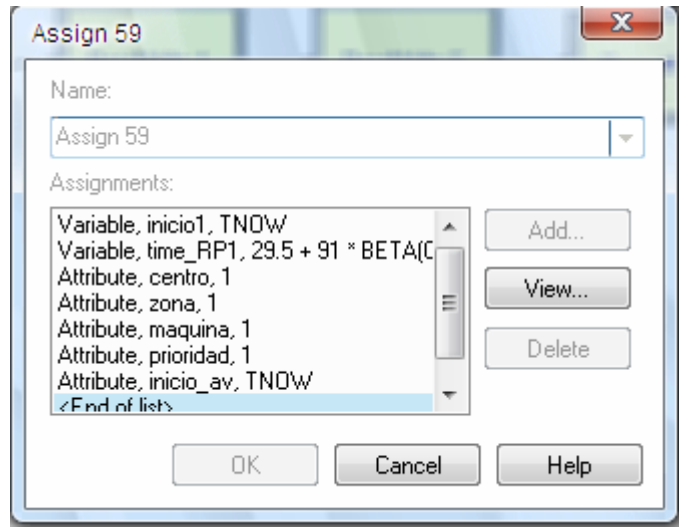
Creación de las entidades.

Según el modelo conceptual las entidades de entrada representan el inicio de las averías. La expresión que define el intervalo de tiempo entre llegadas en el bloque *Create* tiene que ser la misma expresión que define el intervalo de tiempos entre

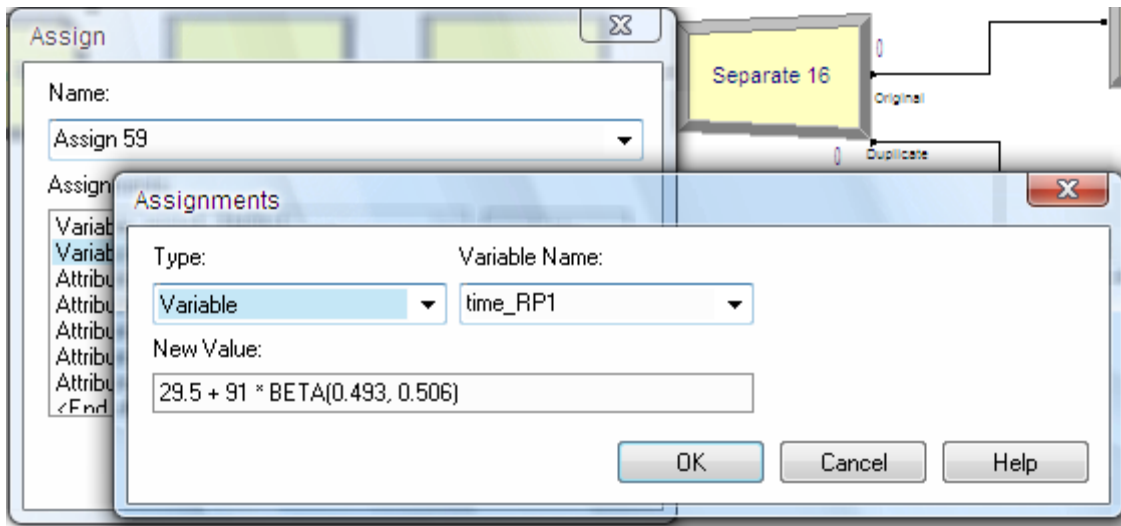


averías del histórico de averías del sistema real. Esta expresión ha sido calculada previamente por el asistente *Input Analyzer*. Es importante definir la base de tiempos (en minutos) y establecer el tiempo de creación de la primera entidad. De poner en *First Creation* un 0, todas las máquinas estarían averiadas al inicio de la simulación y ese comportamiento no corresponde con el sistema real. El tiempo de creación de la primera entidad debe coincidir con el tiempo de la primera avería de cada máquina, para la máquina nº1 será cuando el experimento lleve 410 minutos de simulación.

Definir y asignar atributos y variables. En el bloque *Assign* se definen los atributos de navegación (centro, zona y máquina). Estos atributos indican la posición de la máquina y serán útiles cuando la entidad operario se desplace por el modelo desde el taller a la máquina. También se define el atributo prioridad. En la primera simulación todas las máquinas tendrán la misma prioridad y la gestión de colas en la base de datos será del tipo FIFO.

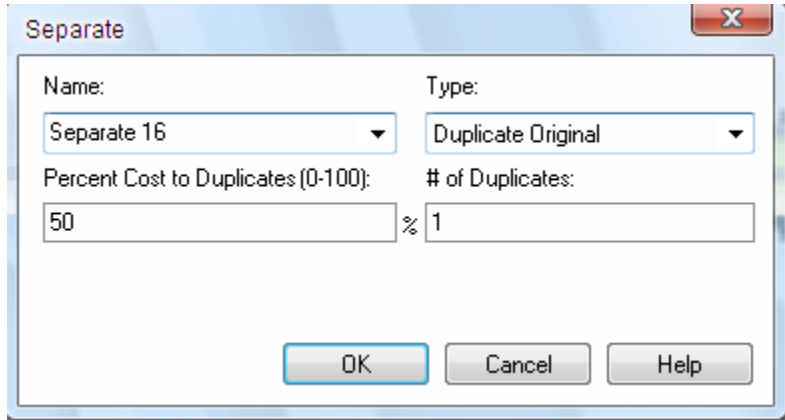


La variable *time_RP1* corresponde al tiempo de intervención de cada avería. Es en este bloque donde se asocia la avería con el tiempo que el operario tardará en repararla. La expresión estadística para esta variable también se ha obtenido con el asistente *Input Analyzer*.



Dividir las entidades.

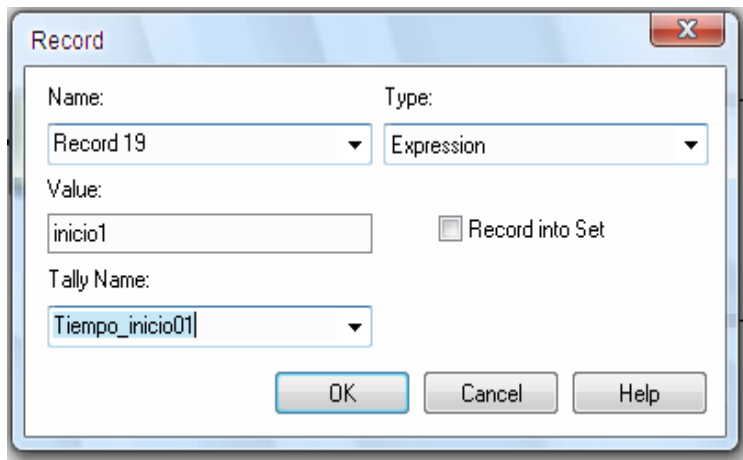
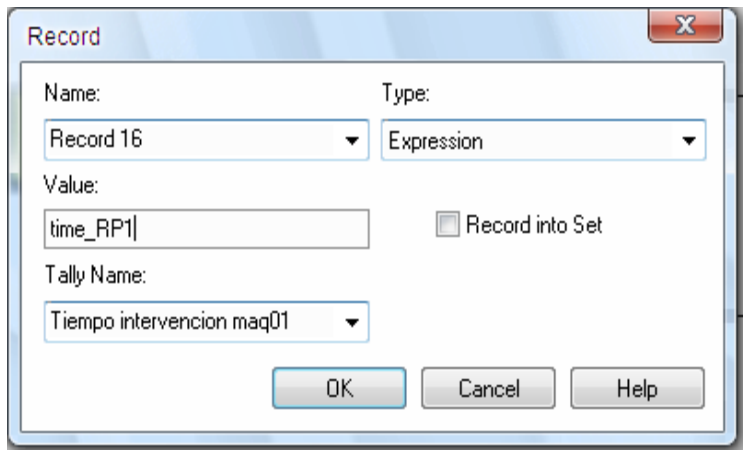
Utilizando el bloque *Separate* se divide la entidad de entrada en dos, proporcionando en la salida dos entidades idénticas a la de entrada (con el mismo valor para



todos los atributos y variables). De esta forma se enviará una entidad al submodelo Máquina y otra al submodelo Base de datos. El valor de costes no afectará a la simulación, así que se puede dejar su valor por defectos que es el 50% para cada entidad.

Recoger la información

que permita verificar y validar este modelo. Para ello se utilizan dos bloques *Record*. Cada uno de ellos guarda los valores de las variables *time_REP1* (tiempo de intervención de la máquina n°1) y *inicio1* (tiempo de inicio de la avería para la máquina n°1). Esto permitirá, una vez realizada la simulación, ver si los resultados obtenidos entran dentro de los valores esperados.



5.1.1.2.2. Modelo basado la lectura de un archivo Excel.

Ya que el informe facilitado por el personal de mantenimiento es un archivo Excel se respetará este formato y el diseño se realizará efectuando la lectura directamente de un archivo con extensión xls.

Preparar el archivo Excel para su uso con ARENA®

El primer paso consiste en crear el archivo Excel y prepararlo de forma que pueda ser leído y/o modificado por el software de simulación ARENA®. ARENA® realizará una consulta al archivo cada vez que una entidad entre en un bloque ReadWrite. Para que este bloque sepa que celdas debe leer o escribir, es necesario definir una serie de rangos de datos en el archivo Excel.

Identificamos un rango de datos para cada variable.

En cada consulta se lee o escribe sólo en una celda del rango definido. Si el rango tiene más de una celda, se empezará por la celda superior del rango.

La variable n_AV define el número de celdas de cada rango. Esto evitará que Arena® de un error de lectura una vez leídas todas las celdas del rango.

Avería Eletrica				
Horas	Minutos de simulación			
Inicio avería	Fin avería	Tiempo intervención	Inicio avería	Fin avería
6:50:00	8:22:06	1:06:00	410	502
4:55:00	6:21:02	0:48:00	1735	1821
23:15:00	1:28:02	2:00:00	5715	5848
23:15:00	0:13:03	0:45:00	11475	11533
11:23:00	12:06:02	0:30:00	12203	12246
7:00:00	9:56:02	2:00:00	17705	17876
3:01:00	4:25:02	1:11:00	27541	27625
3:11:00	4:54:02	1:30:00	34751	34854
11:32:00	12:22:02	0:37:00	39572	39622
11:22:00	12:38:02	1:03:00	41002	41078
Total averías:				10

El segundo paso es vincular el archivo *Excel* creado con el software de simulación ARENA®. Es importante haber guardado el archivo *Excel* como Libro de Excel 97-2003 para que ARENA® no tenga ningún problema a la hora de abrirlo.

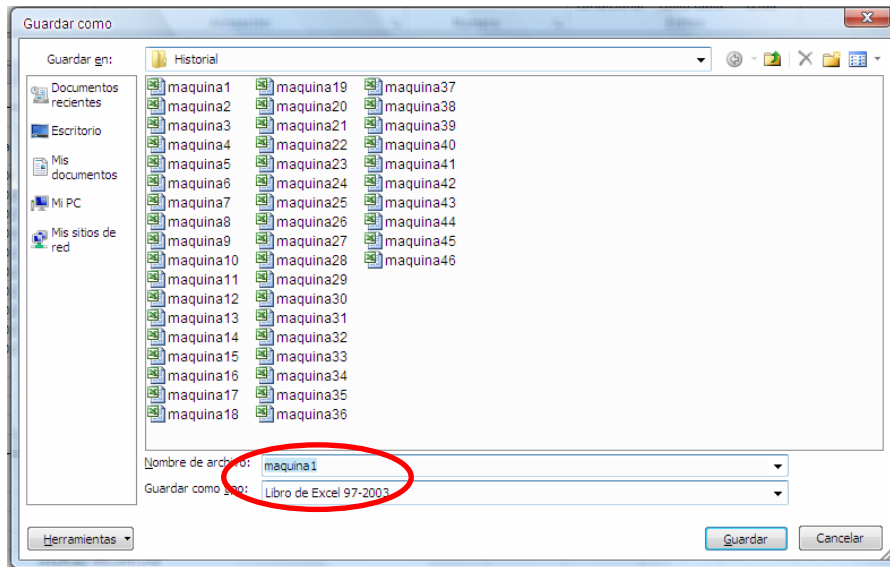
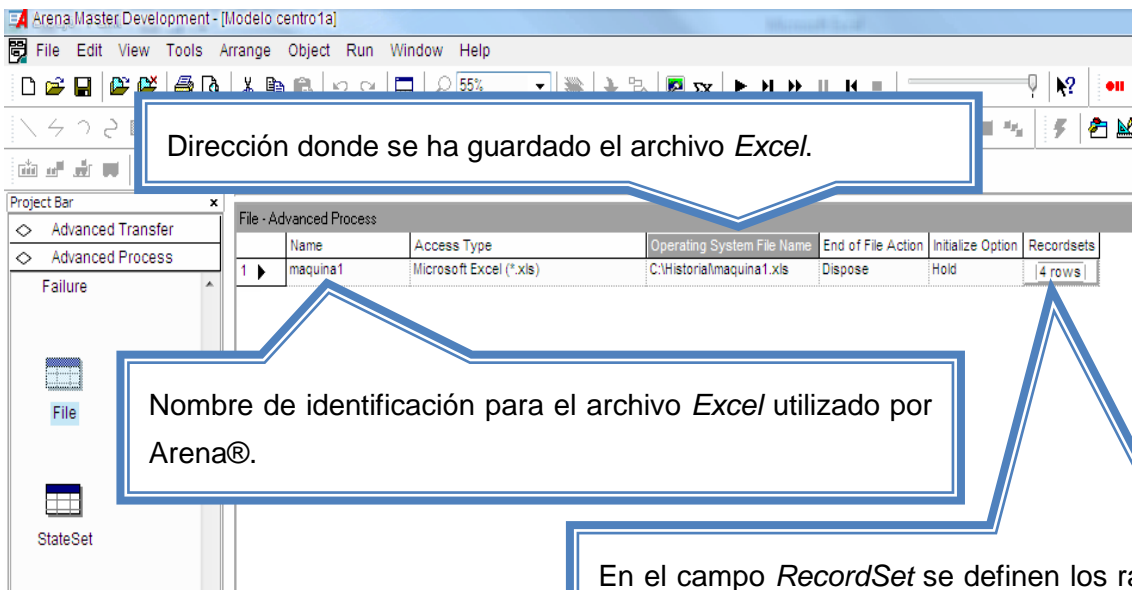


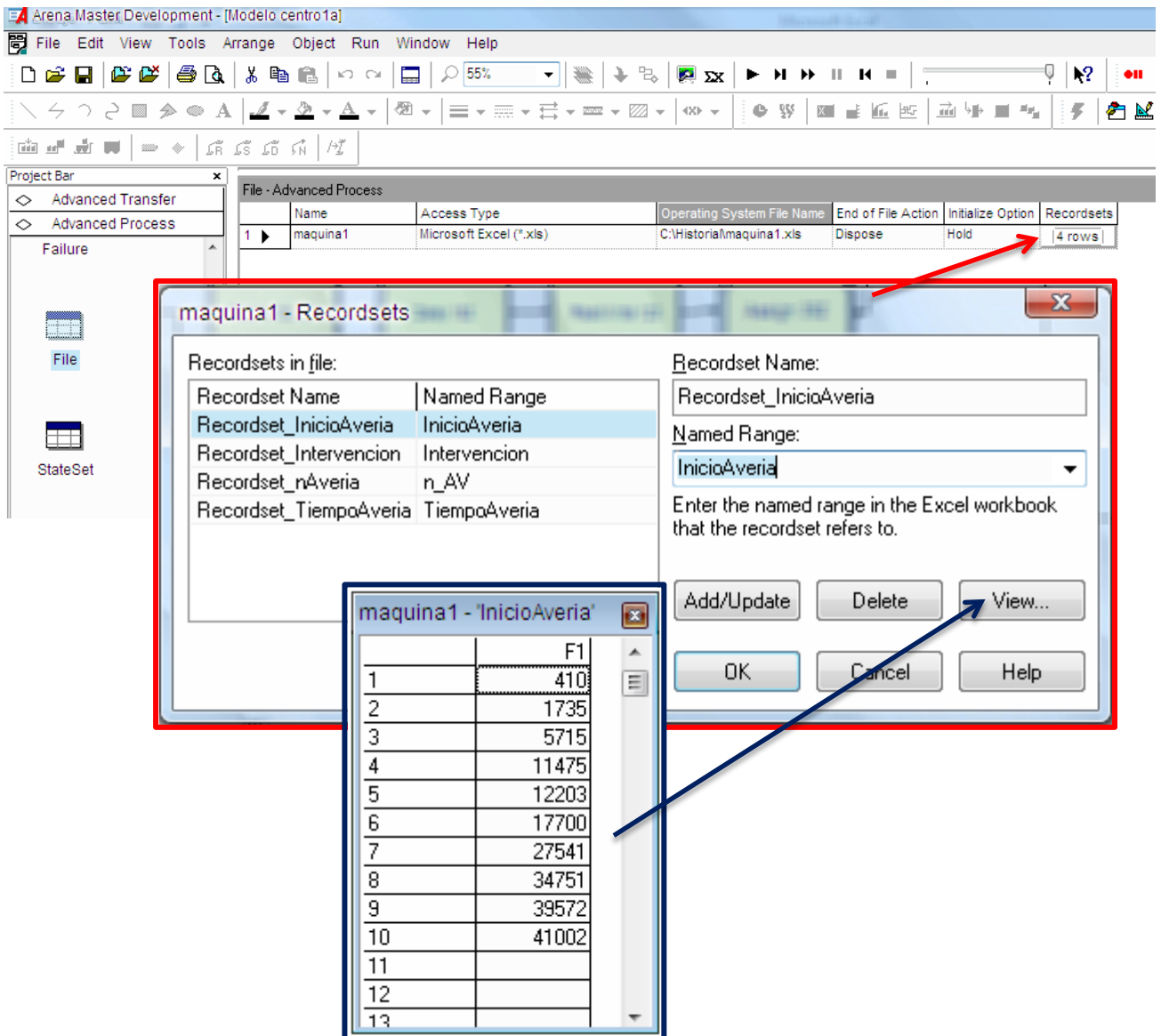
Figura 5.1.1.2.2a: Vincular archivo Excel con Arena®

Vincular el archivo *Excel* con el software ARENA®

Abrimos el bloque *File* del *Advanced Process* y vinculamos el archivo *Excel* con el software ARENA®.

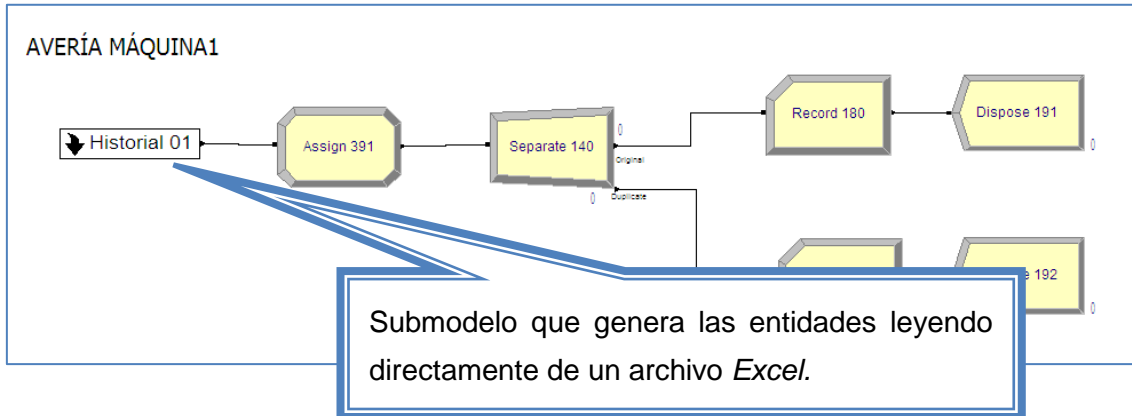


Recordset es una estructura de datos usada en programación que se utiliza para almacenar la información desde la tabla de una base de datos, en este caso un archivo *Excel*. Se usa con frecuencia para obtener conexiones con bases de datos y almacenar el resultado de las posibles consultas que se realicen.



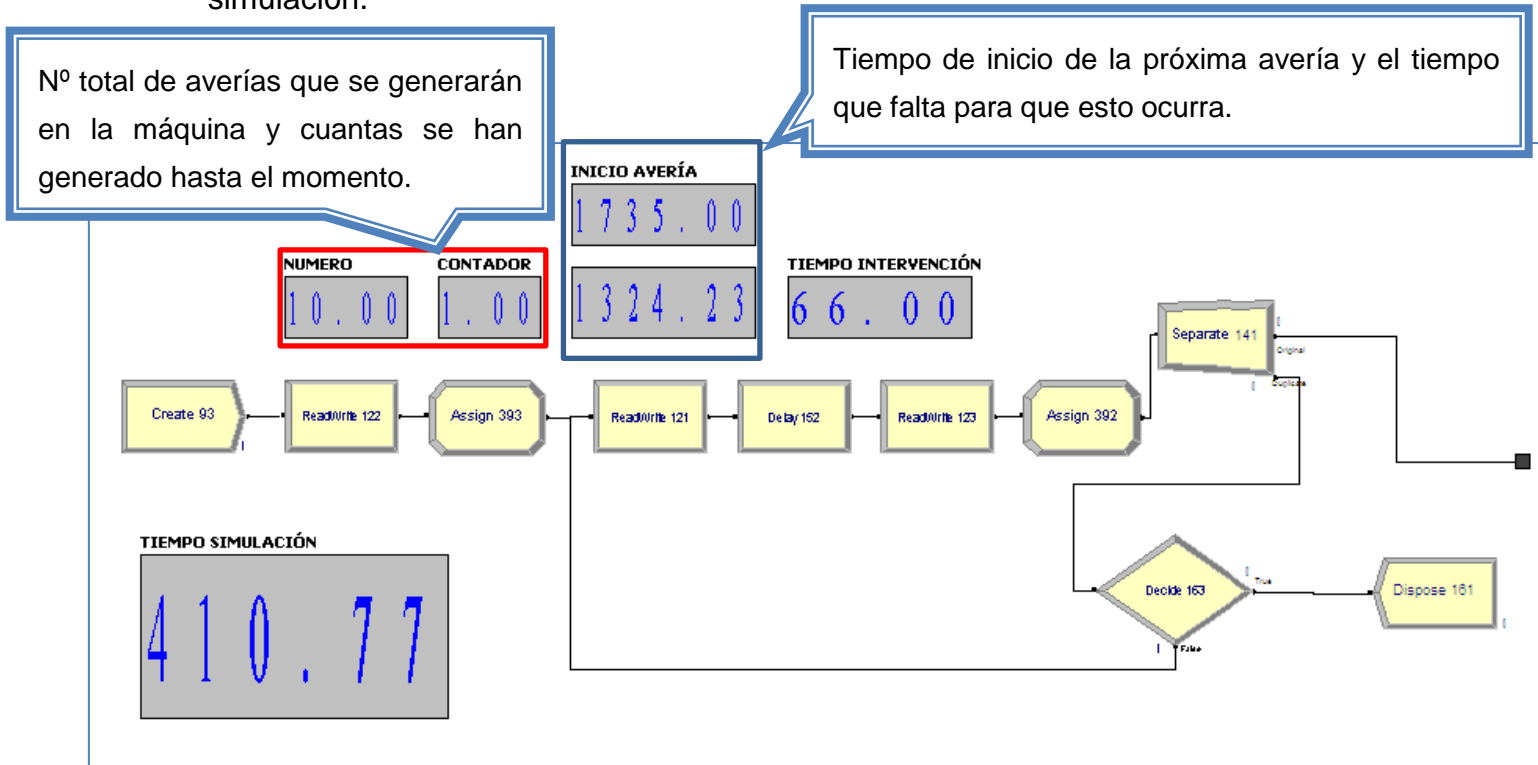
Abriendo el campo *RecordSet*, vinculamos los diferentes rangos de datos de la hoja de *Excel* con un nombre *Recordset* que pueda utilizar ARENA®. En el archivo *Excel* teníamos cuatro rangos, así que ahora tenemos cuatro *RecordSets*, uno para cada rango. Pulsando el botón *View* se puede ver la tabla asociada a cada *RecordSet*.

Una vez vinculado el archivo *Excel* con el software ARENA® procedemos a diseñar el modelo lógico. Básicamente la diferencia entre este modelo y el anterior es la forma de generar las entidades de entrada. En el anterior se utilizaba el bloque *Create* y en este un submodelo llamado Historial 01, el resto del modelo funciona exactamente igual.

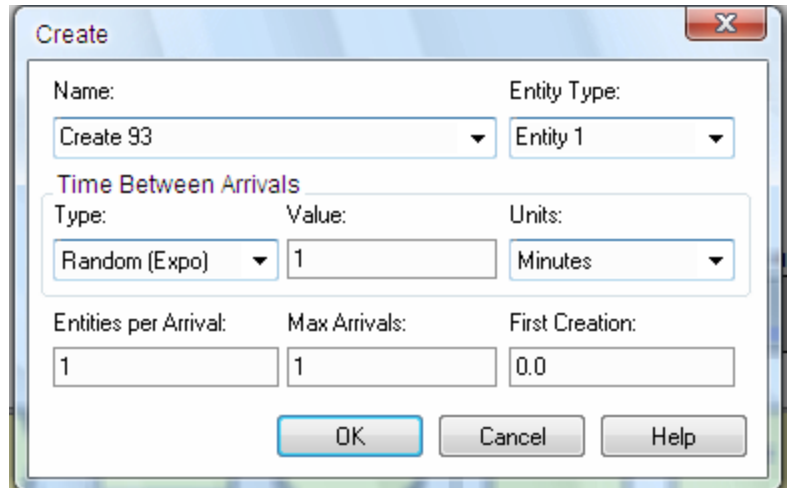


Historial 01

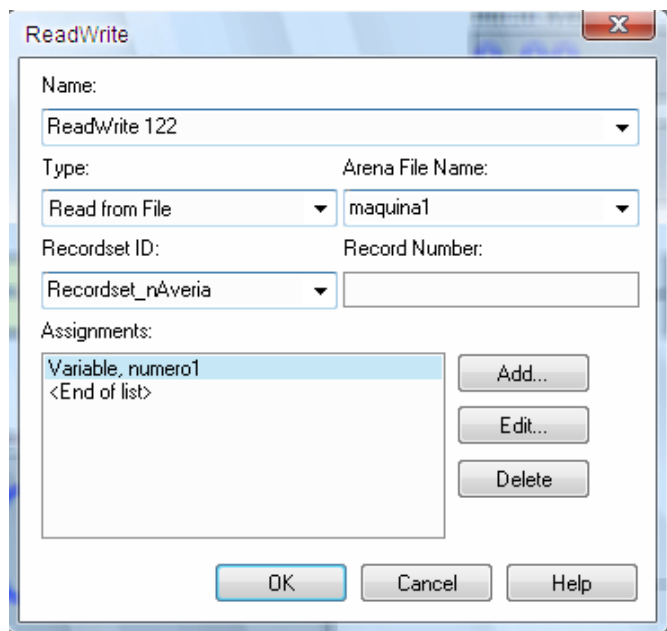
En primer lugar se realizará una pequeña descripción del submodelo. Para facilitar la comprensión del funcionamiento del submodelo se han creado varios displays que muestren la evolución de las diferentes variables a lo largo de la simulación.



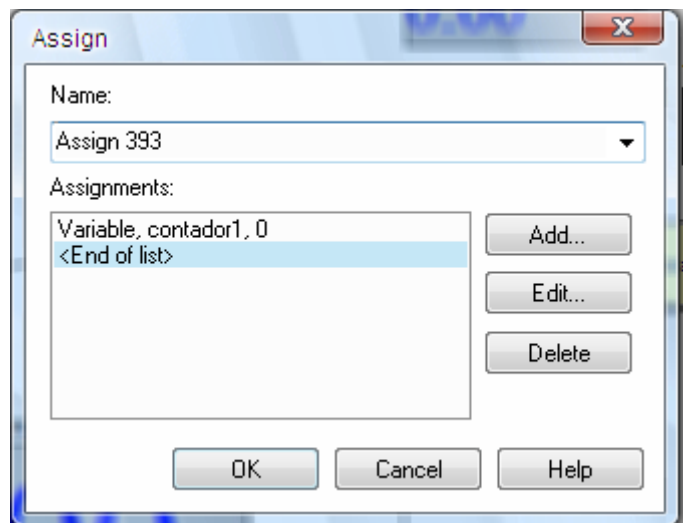
Entidad de Inicio. En el bloque *Create93* creamos la única entidad que circulará por este submodelo. Esta entidad será creada al iniciar la simulación y eliminada del sistema cuando se haya leído todo el historial de averías.



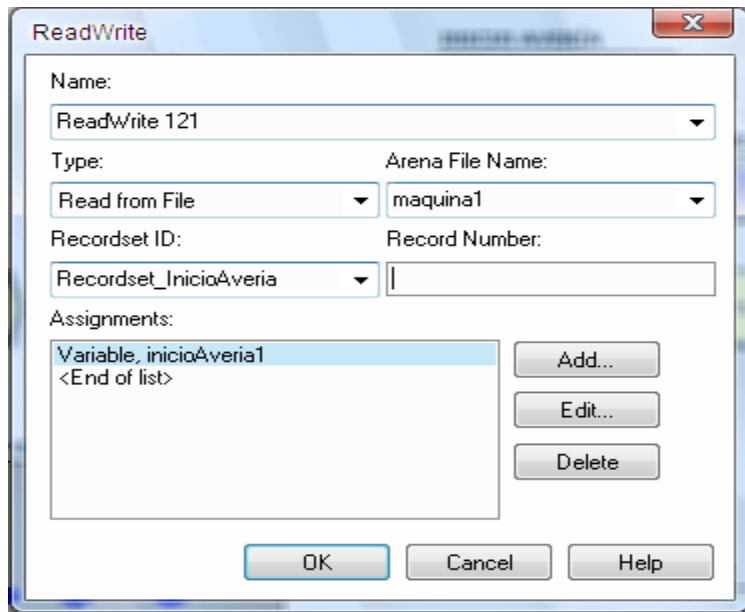
Leer el número de averías. Lo primero que se hace es leer el número de averías que hay en el historial. Esto se realiza para que el modelo no entre en un bucle infinito y de un error de lectura, sobre el archivo *Excel*, durante la simulación. El bloque *readwrite122* lee el rango de datos *nAverias* del archivo *máquina1* y lo guarda en la variable *numero1*.



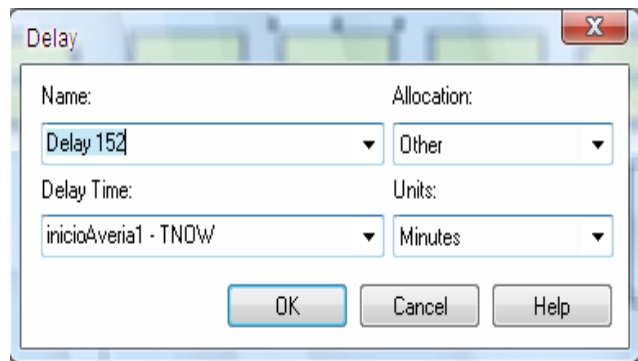
Reset en Contador. El bloque *Assign393* realiza un reseteo en la variable *contador1*. Esta variable irá contando cuantas averías se han iniciado en la máquina durante la simulación. Es por este motivo que es necesario realizar un reset al iniciar cada simulación.



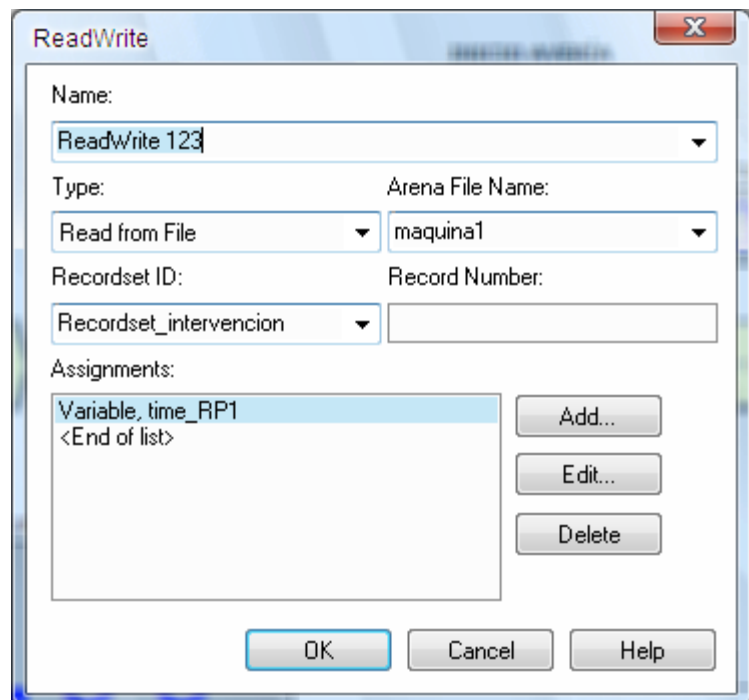
Leer el tiempo de inicio de cada avería. Este bloque *ReadWrite* lee el rango *InicioAveria* del archivo *Excel*. Este rango está compuesto, en este caso, por una tabla con 10 valores. Cada vez que una entidad entre en este bloque se leerá una celda de la tabla y el resultado de la consulta se guardará en la variable *inicioAveria1*.



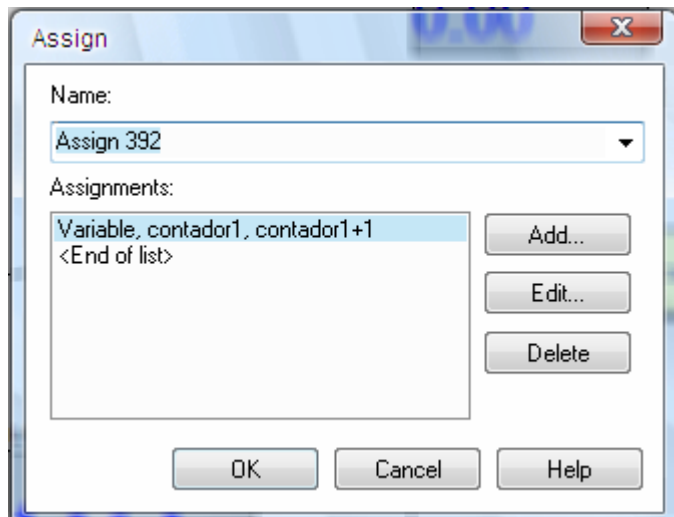
Retener entidad. En este bloque se retiene la entidad hasta que el tiempo de simulación coincida con el tiempo de la primera avería. Hay varias formas de conseguir retener una entidad (un bloque *Hold*, por ejemplo), en este caso se ha utilizado un bloque *Delay*.



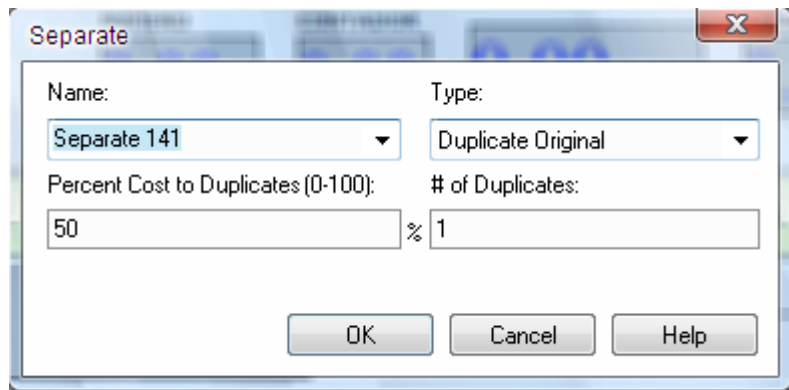
Leer el tiempo de intervención de cada avería. Este bloque *ReadWrite* lee el rango *Intervención* del archivo *Excel*. Igual que el rango *inicioAveria*, está compuesto, por una tabla con 10 valores y cada vez que una entidad entre en este bloque se leerá una celda de la tabla y el resultado de la consulta se guardará en la variable *time_RP1*.



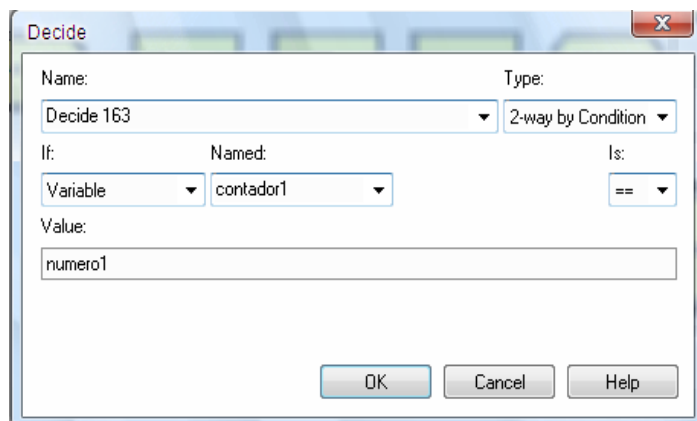
Incrementar el Contador. El bloque *Assign392* incrementa a 1 la variable contador1. El incremento se realiza después de que el tiempo de simulación sea igual al tiempo de la avería y se haya vinculado el tiempo de intervención con la avería.



Dividir entidades. El siguiente paso es dividir la entidad en dos. Una de las entidades se dirige hacia la salida del submodelo (es la entidad generada para el modelo avería) y la otra vuelve al inicio del bucle.

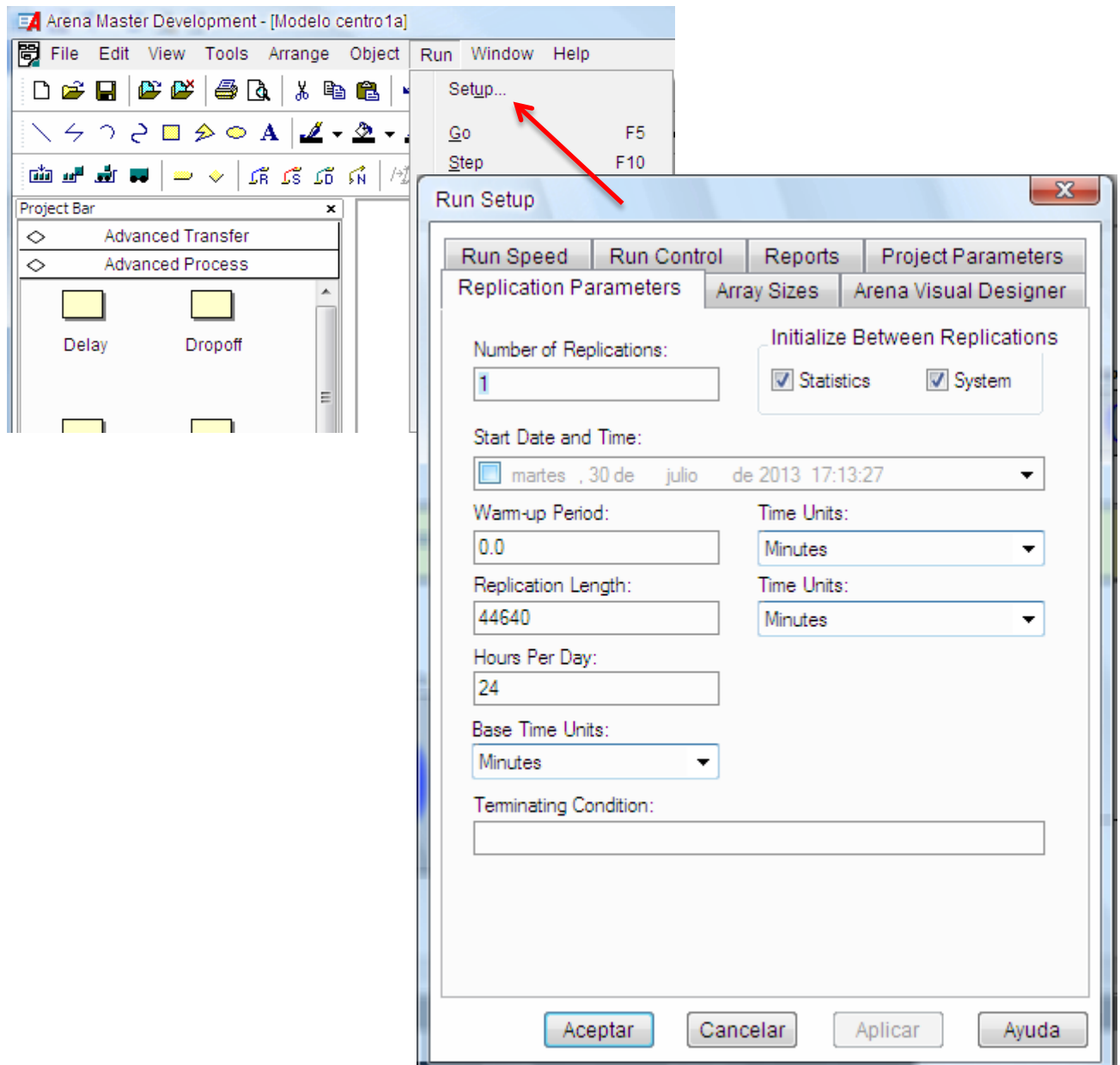


Fin de historial. A continuación comprobamos si la consulta realizada (variable contador1) es la última consulta del historial. Para ello se compara la variable numero1, que contiene el número total de averías, con la variable contador1. Cuando estas sean iguales se considera que se ha leído todo el historial y se da la secuencia por finalizada desalojando la entidad del bucle a través del bloque *Dispose 161*.



5.1.1.3. Simular y validar submodelos.

Después de diseñar y verificar que los dos modelos funcionan como se esperaba y no tienen ningún error de programación, se puede pasar al siguiente paso, el de validación. Para saber cuál de los dos modelos tiene un mejor comportamiento se han realizado dos simulaciones, una para cada modelo. Las dos simulaciones se realizarán con las mismas condiciones. Debido a que la simulación basada en la lectura del archivo *Excel* realiza una simulación con un periodo de 44640 minutos (31 días) será necesario modificar en Run>Setup la casilla Replication Length.



El resultado de las simulaciones se muestra a continuación:

SIMULACIÓN MODELO EXCEL		SIMULACIÓN MODELO DISTRIBUCIÓN	
Inicio avería	Tiempo intervención	Inicio avería	Tiempo intervención
410	66	410	73
1735	48	3190	108
5715	120	41855	117
11475	45	TOTAL	297
12203	30		
17700	120		
27541	71		
34751	90		
39572	37		
41002	63		
TOTAL	690		

Tabla 5.1.1.3a: Resultados obtenidos de las dos formas de generar averías.

La simulación basada en la lectura de un archivo *Excel* se comporta exactamente igual que el modelo real ya que realiza las consultas directamente del historial de averías. Sin embargo la simulación basada en una distribución estadística proporciona unos resultados muy por debajo de los esperados. Se puede apreciar como únicamente genera tres averías reduciendo considerablemente el tiempo de intervención. Es por este motivo que en el modelo completo se utilizará el modelo basado en *Excel* descartando así el modelo basado en la distribución estadística.

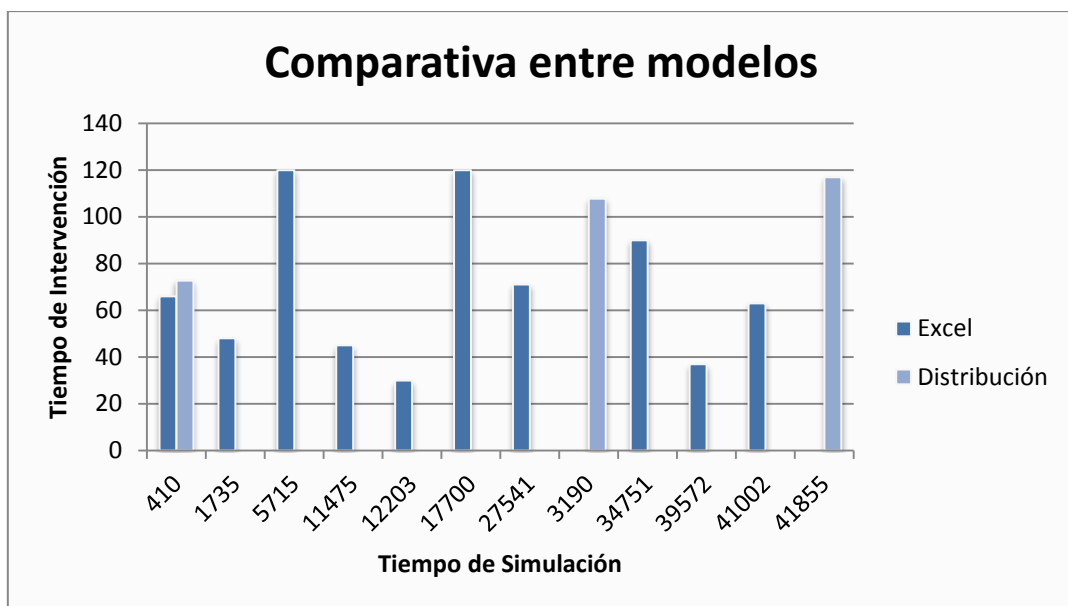
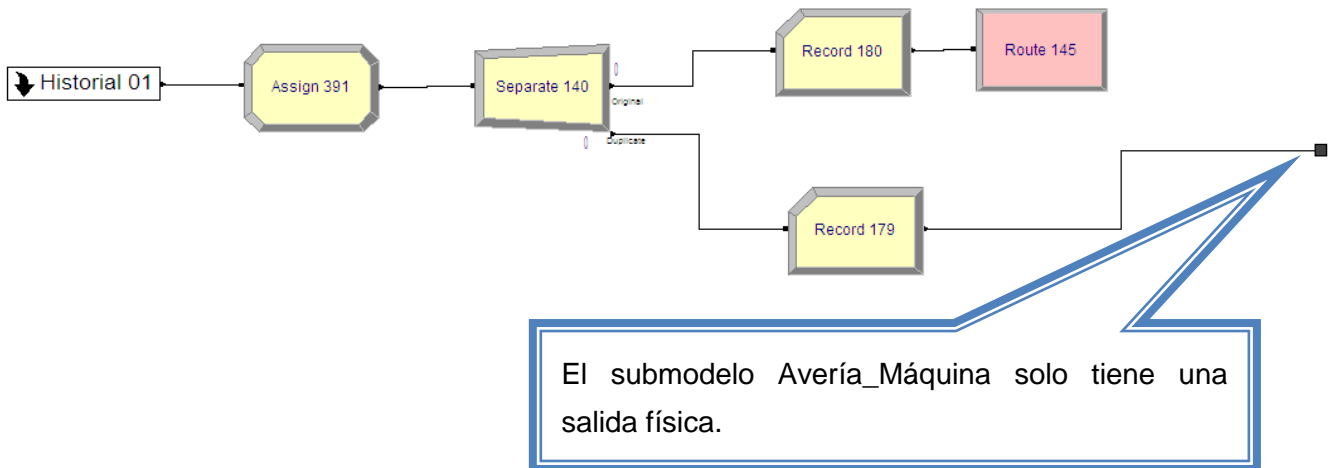


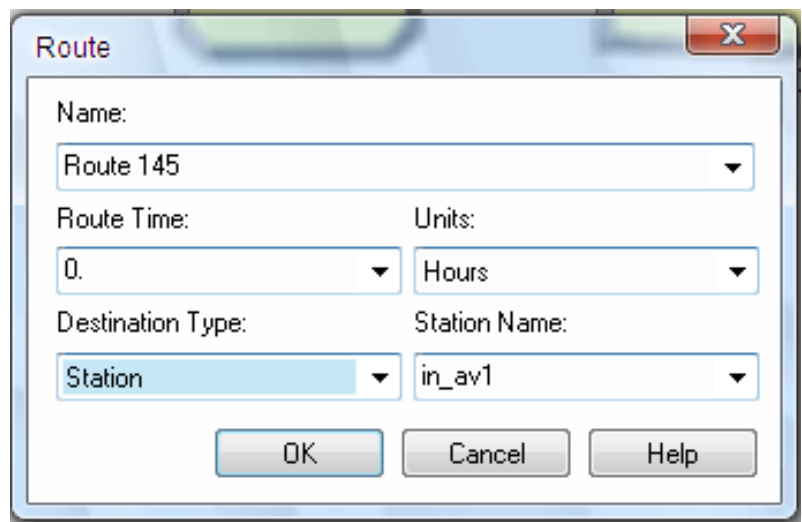
Figura 5.1.1.3a: Representación gráfica de la Tabla 5.1.1.3a

El último paso es adaptar el submodelo elegido al modelo principal. El submodelo Avería_Máquina está relacionado con los submodelos Base de Datos y Máquina.

AVERÍA MÁQUINA1



Conexiones. El submodelo Avería_Máquina01 está vinculado con la estación In_av1 que pertenece a la entrada del submodelo Máquina01 a través del bloque Route 145. La conexión del submodelo Avería_Máquina01 con el submodelo Base de Datos se realiza físicamente a través de la salida del submodelo.

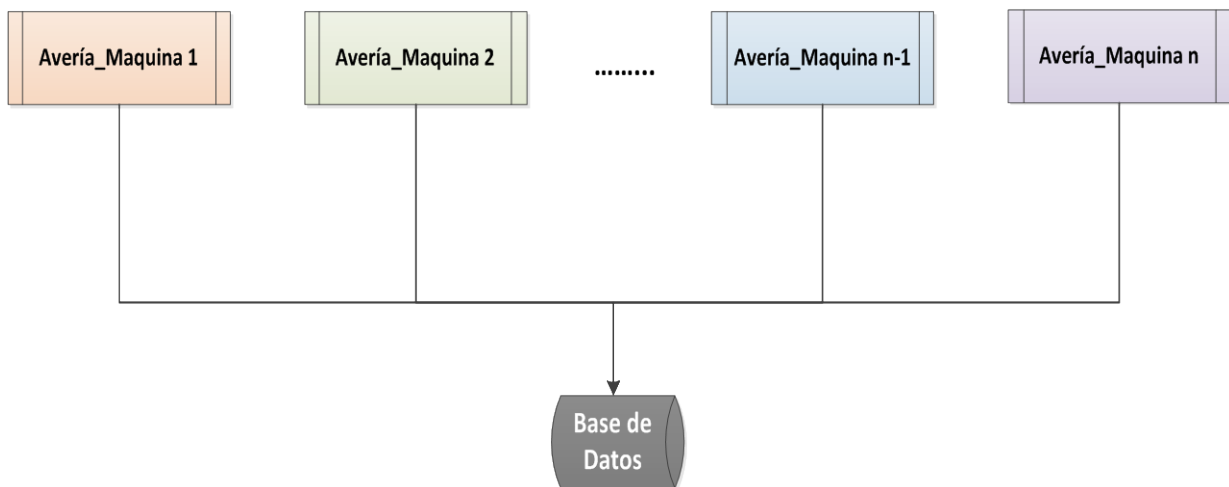


5.1.2. Base de datos

Como su propio nombre indica el submodelo Base de datos es el responsable de almacenar las averías que van surgiendo durante la simulación, gestionando el orden de reparación a partir de la extracción de las entidades de una cola. En un principio la extracción será del tipo FIFO, dando prioridad a las máquinas que se averiaron con anterioridad.

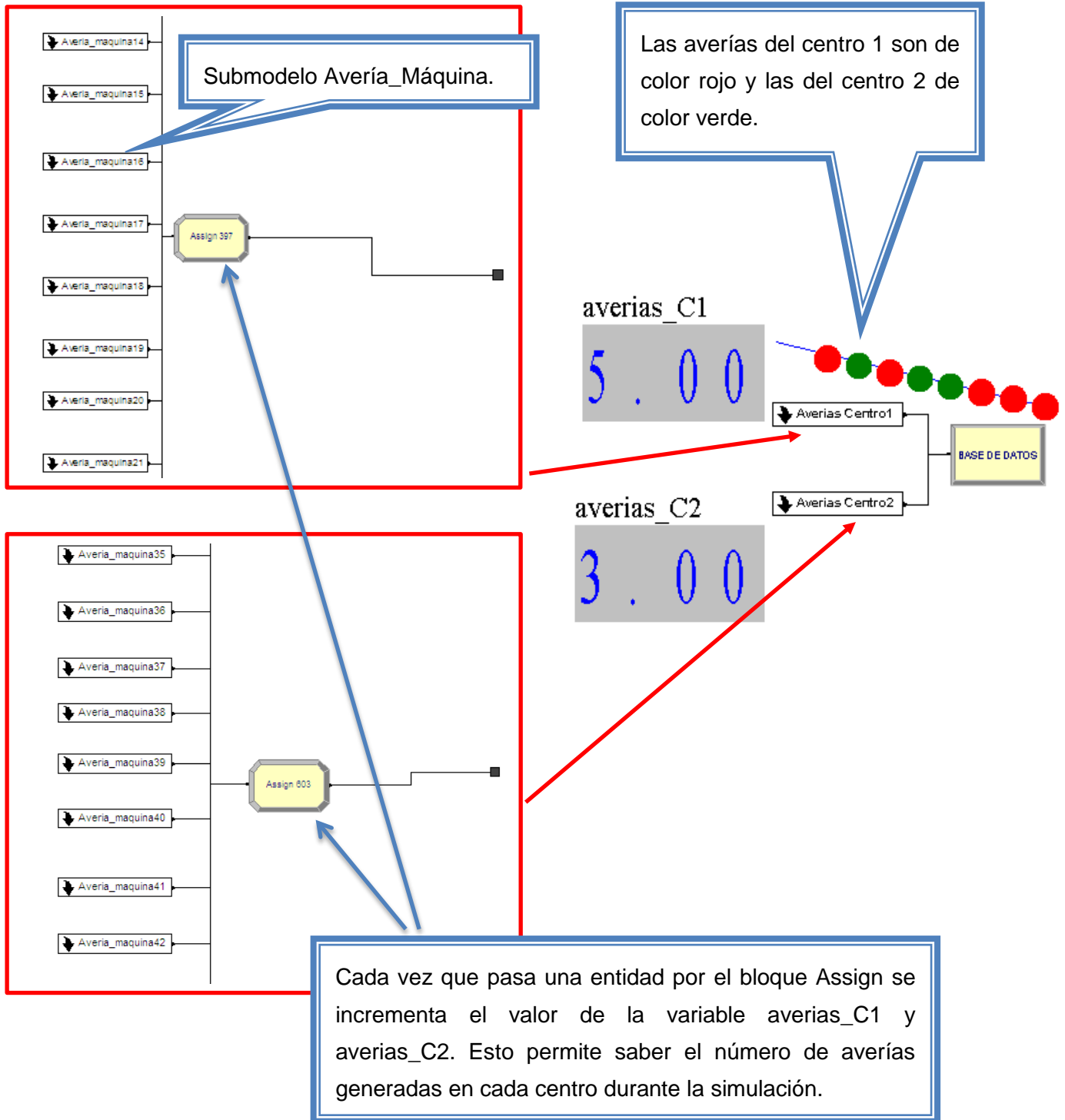
5.1.2.1. Modelo Conceptual

En el modelo conceptual se muestran los submodelos responsables de crear las entidades avería, *Avería_Máquina*. Todos ellos están conectados directamente a la base de datos. A medida que se van generando las averías, van siendo almacenadas en la cola de la base de datos a la espera de ser vinculadas a algún operario. La extracción de las entidades de la base de datos será del tipo FIFO y la realizará el submodelo Gestión de Averías.



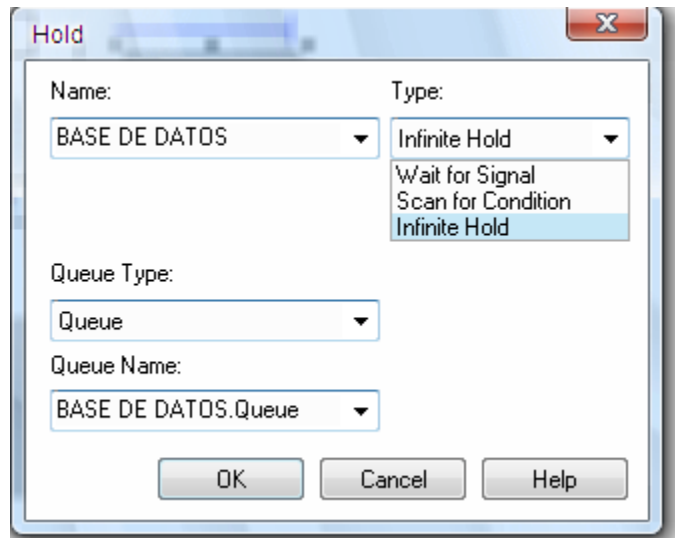
5.1.2.2. Modelo Lógico

El diseño de este submodelo es sin duda el más fácil de todo el sistema. Únicamente se trata de unir los diferentes submodelos Avería_Máquina con el bloque *Hold* llamado Base de Datos.



Con el objetivo de organizar mejor el modelo lógico se ha decidido crear dos submodelos, Averías Centro1 y Averías Centro 2. En cada uno de estos submodelos se repartirán los 46 submodelos Avería_máquina, que pertenecen al número de máquinas del sistema (30 para el centro1 y 16 para el centro2).

Guardar Averías. Como se puede apreciar el bloque *Hold* no tiene salida. Esto se debe a que ha sido programado como Infinite *Hold*, es decir, las entidades se irán acumulando en la cola del bloque. La extracción de las averías se realizará a través del submodelo Gestión de Averías.



Accediendo al bloque Queue de la plantilla Basic Process podemos modificar el orden que ocuparán las entidades entrantes al bloque BASE DE DATOS una vez estén en la cola. En un principio se dejará el establecido por defecto (FIFO).

Queue - Basic Process				
	Name	Type	Shared	Report Statistics
1 ▶	BASE DE DATOS.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

First In First Out
 Last In First Out
 Lowest Attribute Value
 Highest Attribute Value

5.1.2.3. Simular y validar submodelo

Se ha realizado la simulación para poder verificar el correcto funcionamiento del submodelo. El submodelo BASE DE DATOS está vinculado a los submodelos Avería_máquina (diseñado en el apartado anterior) y el submodelo Gestión de Averías (diseñado en apartado 5.1.4). Para validar el correcto funcionamiento del submodelo BASE DE DATOS es necesario haber diseñado los dos submodelos vinculantes. Aunque a estas alturas del diseño aún no se ha explicado el submodelo Gestión de Averías podemos decir que la validación del submodelo BASE DE DATOS se ha realizado con éxito.

5.1.3. Taller

En el submodelo Taller vamos a gestionar todo lo relacionado con los operarios de manteniendo:

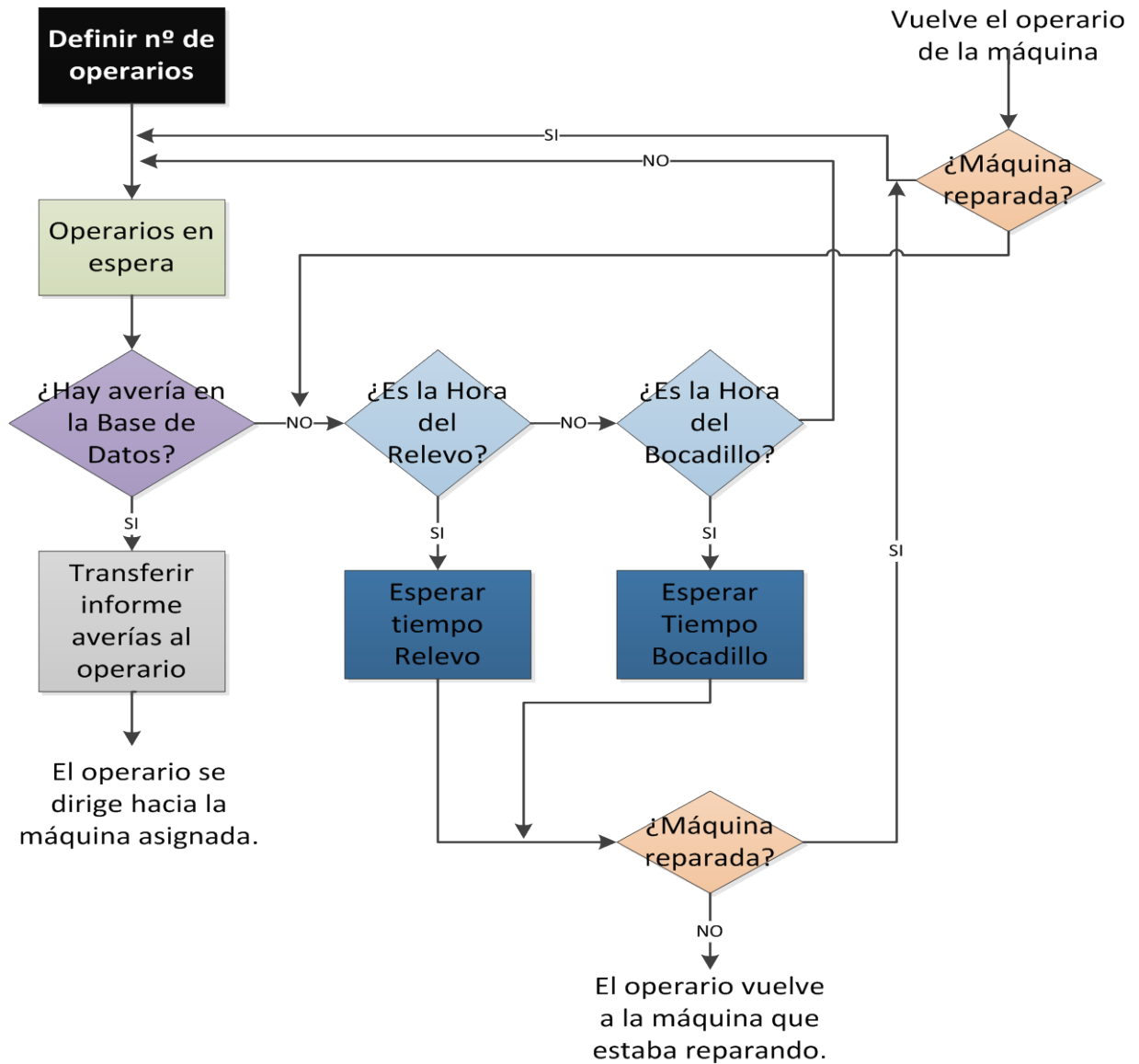
- **Número de personal.** Crear las entidades Operario que representan al personal de mantenimiento.
- **Tiempos de descanso y relevos.** Con el objetivo de realizar un modelo lo más parecido al sistema real se tendrán en cuenta la media hora para comer el bocadillo y los 12 minutos para realizar el relevo. En estos 12 minutos el operario debe dirigirse al taller: limpiar las herramientas y el banco de trabajo; y dar parte a los compañeros del próximo turno si la avería aún no se ha reparado.
- **Tiempo ocioso.** Este tiempo representa el tiempo que el personal de mantenimiento pasa en el taller cuando la carga de faena es inferior a la capacidad del taller. Este tiempo realmente no refleja el tiempo de inactividad de los operarios, ya que el personal que no está realizando una intervención en una máquina tiene asignadas otro tipo de tareas, como pueden ser: mantenimiento predictivo, realizar inventario del almacén del taller, limpiar y ordenar el puesto de trabajo. Es difícil identificar cuanto tiempo del total ha sido dedicado a realizar tareas o realmente el operario esta ocioso. En la simulación se considera tiempo ocioso a todo el tiempo que el operario está en el taller.

Para que el proceso de diseñar sea más fácil, se ha decidido dividir el submodelo TALLER en tres partes:

- **Taller.** donde se define el comportamiento del operario para las diferentes situaciones (reparar avería, realizar descanso y realizar relevo).
- **Clock_Taller.** En este submodelo se va contar el tiempo ocioso total que hay en el taller durante la simulación.
- **Comedor&Relevo.** Este submodelo gestiona los tiempos de relevo y descanso durante la simulación.

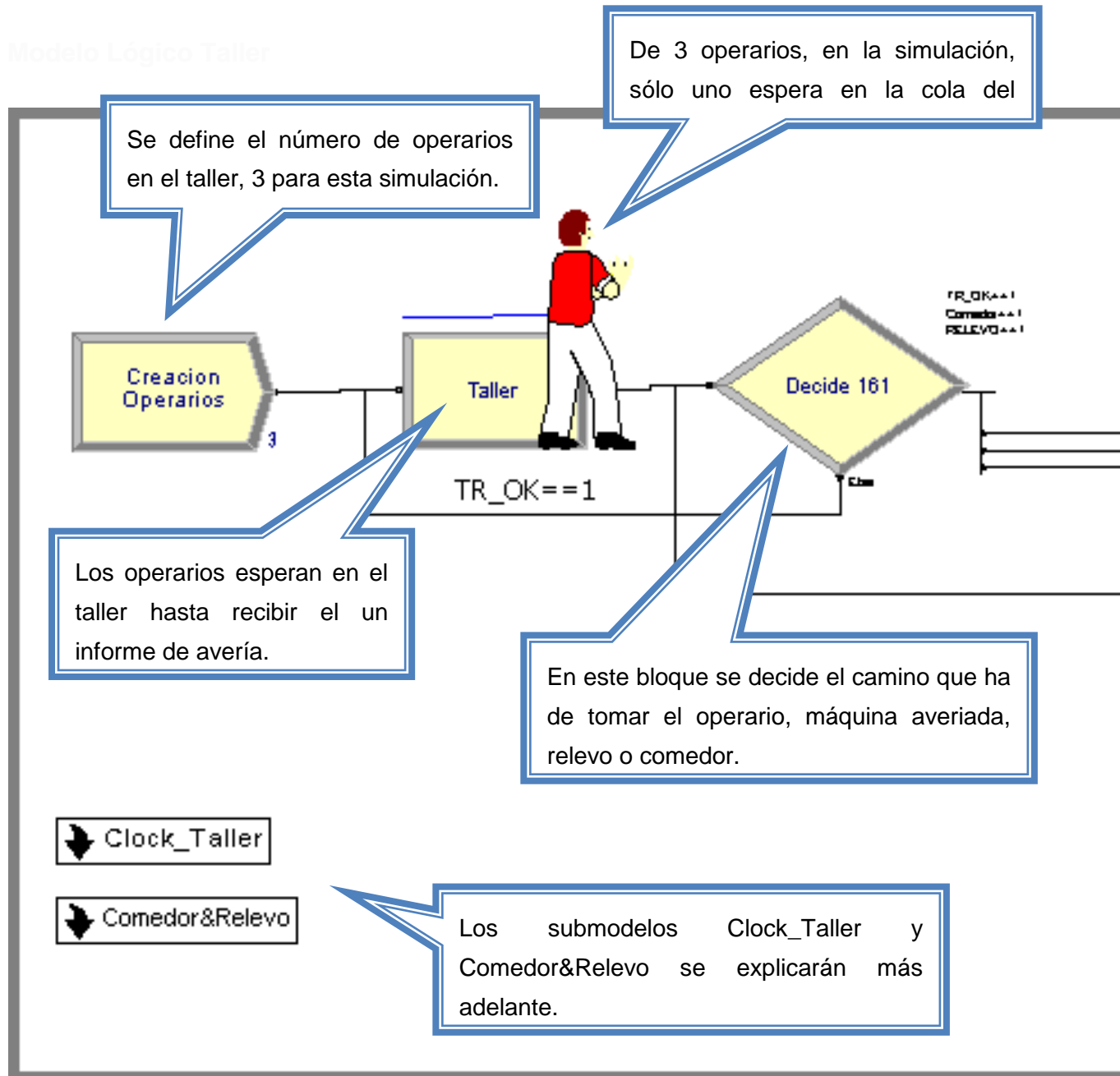
5.1.3.1. Modelo Taller

5.1.3.1a. Modelo conceptual



5.1.3.1b. Modelo Lógico

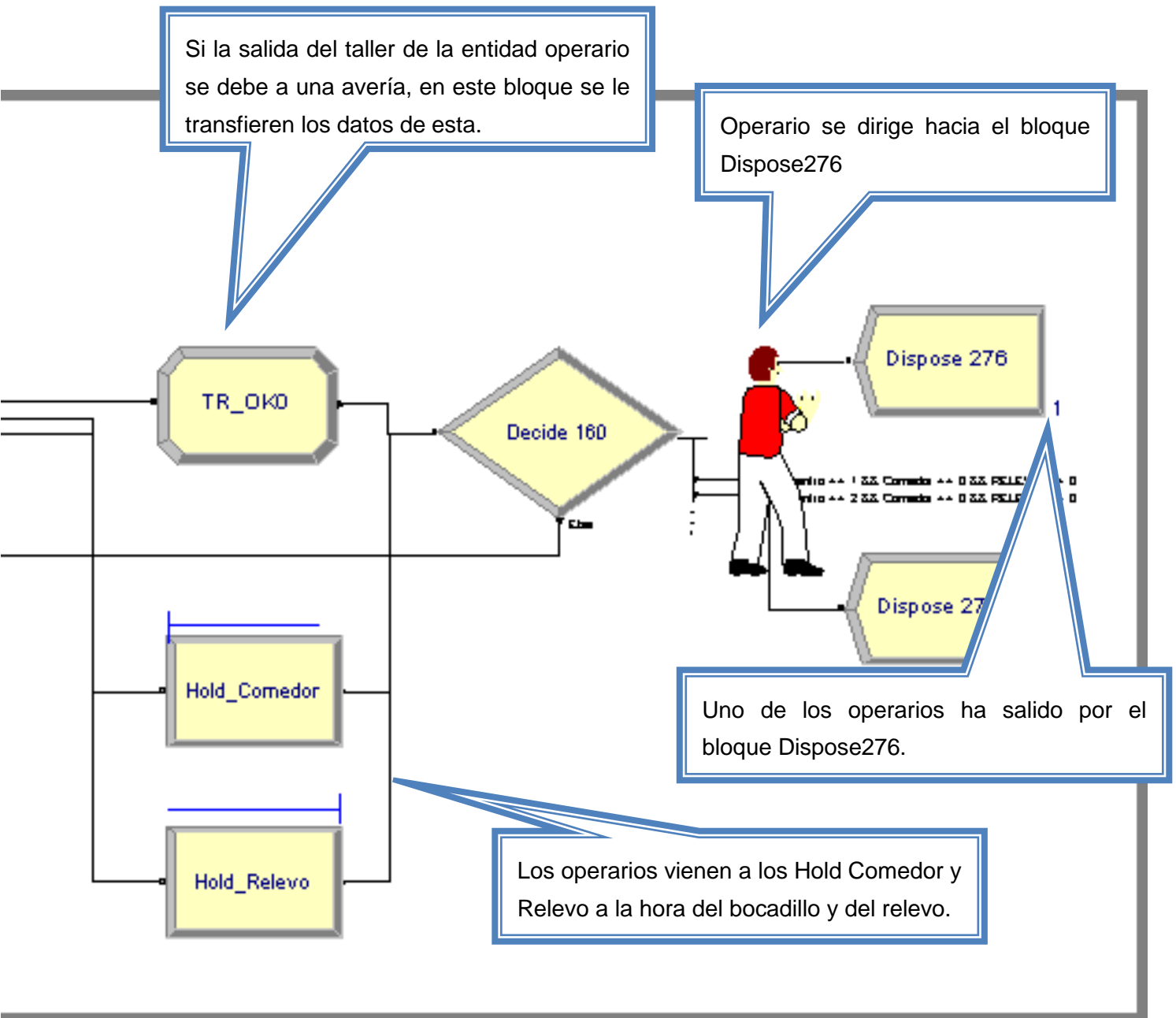
El primer diseño que se plantea es el que se muestra a continuación. A diferencia del modelo conceptual, en este modelo no se representan las llegadas, de los operarios al taller, ya que estas se realizarán a través de otros submodelos que aún no han sido diseñados.



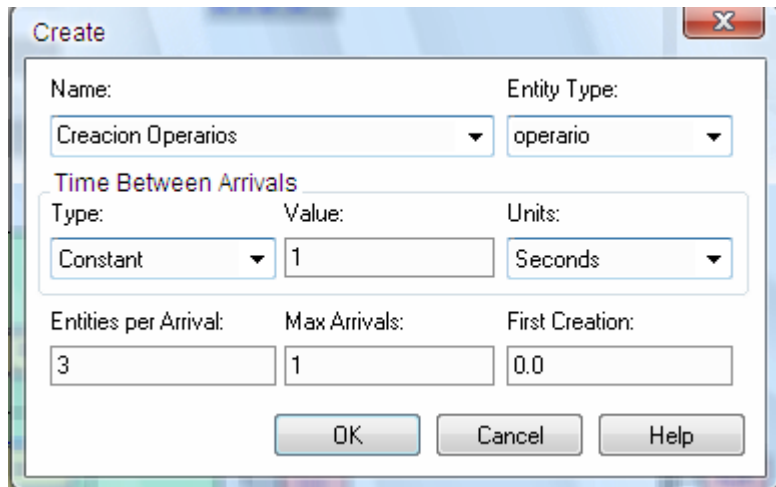
5.1.3.2. Modelo Lógico

Una vez validado y verificado el submodelo se realizarán las modificaciones pertinentes para implantar el submodelo con el resto del modelo.

Datos.

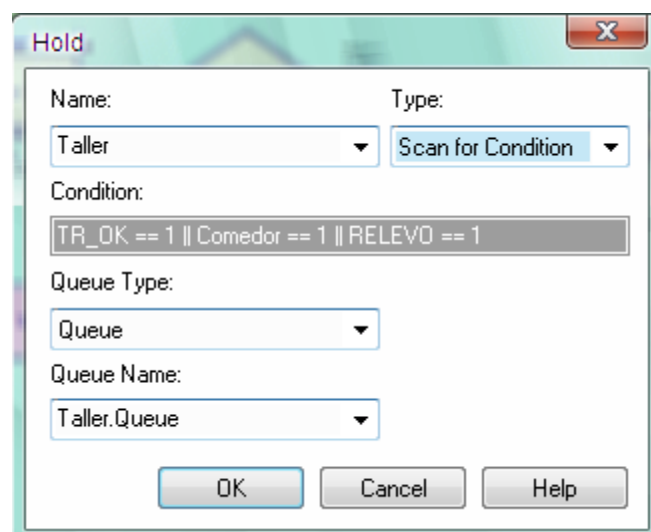


Definir operarios. En el bloque Creación de Operarios se define el número de operarios para cada simulación. En esta simulación se han creado 3 operarios. Estos se crean a la vez y en el instante 0 de la simulación.

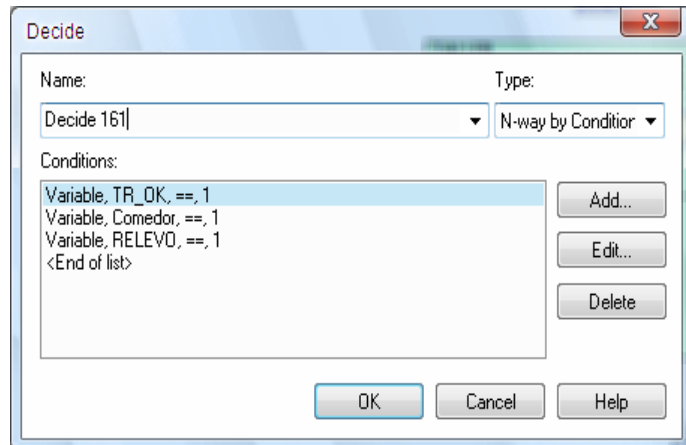


Esperar en el Taller. En el bloque *hold*, con nombre Taller, se retienen los operarios hasta que se cumplan una de las opciones siguientes:

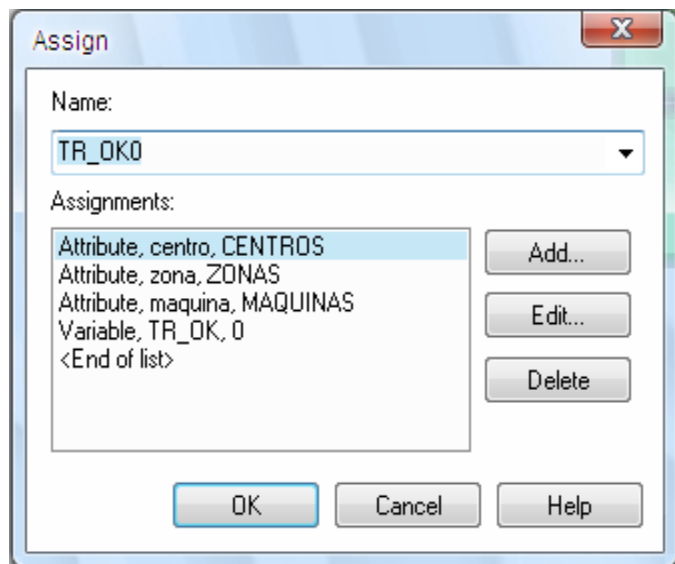
- $TR_OK=1$. Es decir, cuando hay una avería en la base de datos y el sistema puede transferir el informe al operario correctamente.
- $Comedor = 1$. Cuando esta variable está a 1 quiere decir que es la hora de comer el bocadillo, así que el operario saldrá del taller para irse al comedor. Si el operario se quedase en el taller durante el tiempo de descanso o bocadillo este se penalizaría como tiempo ocioso.
- $RELEVO=1$. Lo mismo sucede con la variable RELEVO. Cuando sea el final de turno, los operarios se dirigirán al taller para limpiar las herramientas y hacer los partes pertinentes.



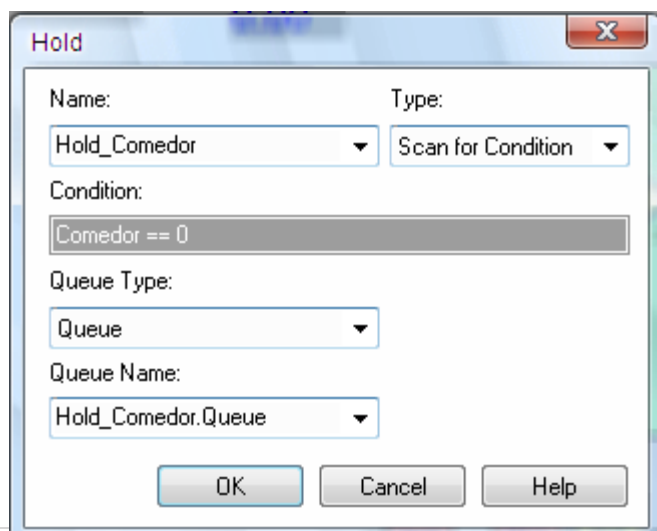
Decidir destino. En este bloque se pretende averiguar el motivo por el cual la entidad ha salido del Taller. Para ello, se consultan las tres variables que permiten esta acción. Únicamente se puede cumplir una a la vez, así que el operario seguirá el camino de la variable con valor a 1.



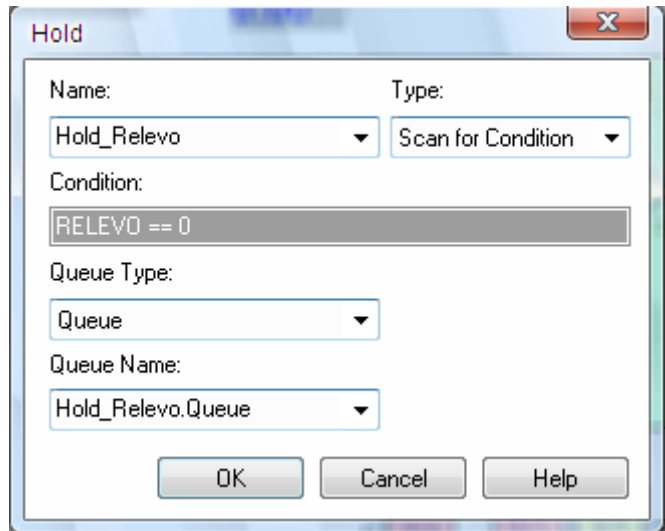
Transferir Datos. Si el operario ha salido del taller porque TR_OK=1 quiere decir que hay una avería en la base de datos y los datos están listos para ser transferidos. Es en este bloque *Assign* donde se realiza esta acción. Se transfieren el valor de las variables, donde se guardan los datos de las averías (nombres en mayúscula) a los atributos del operario (nombres en minúscula)



Esperar en el comedor. Si el operario ha salido del taller porque la variable Comedor es igual a 1, este se dirige hacia el comedor (Hold_Comedor) donde esperará hasta que la variable comedor vuelva a ser 0 (30 minutos).

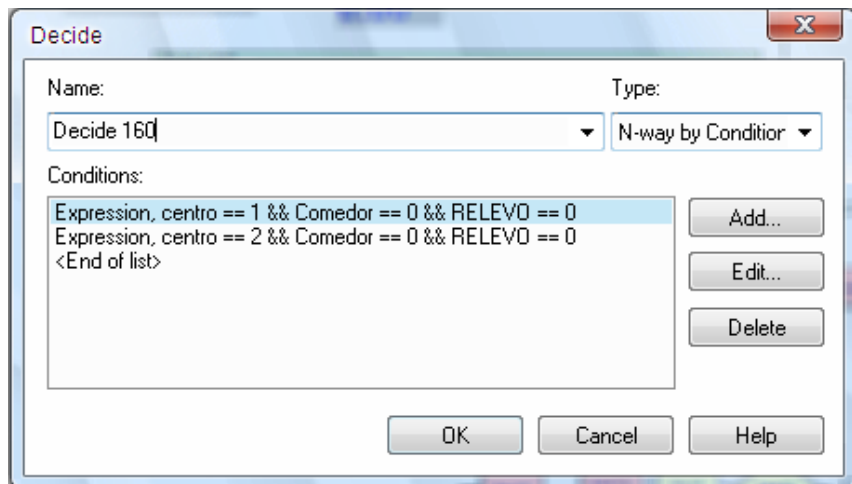


Realizar relevo. Si el operario ha salido del taller porque la variable RELEVO es igual a 1, este se dirigirá hacia (Hold_Relevo) donde esperará hasta que la variable RELEVO vuelva a ser 0 (12 minutos). Es el tiempo medio necesario para realizar el relevo.



Salida del Taller.

Una vez el operario ha recibido el informe de avería, ha realizado el relevo o el descanso del bocado, se dirige a uno de los dos centros para reparar la máquina.

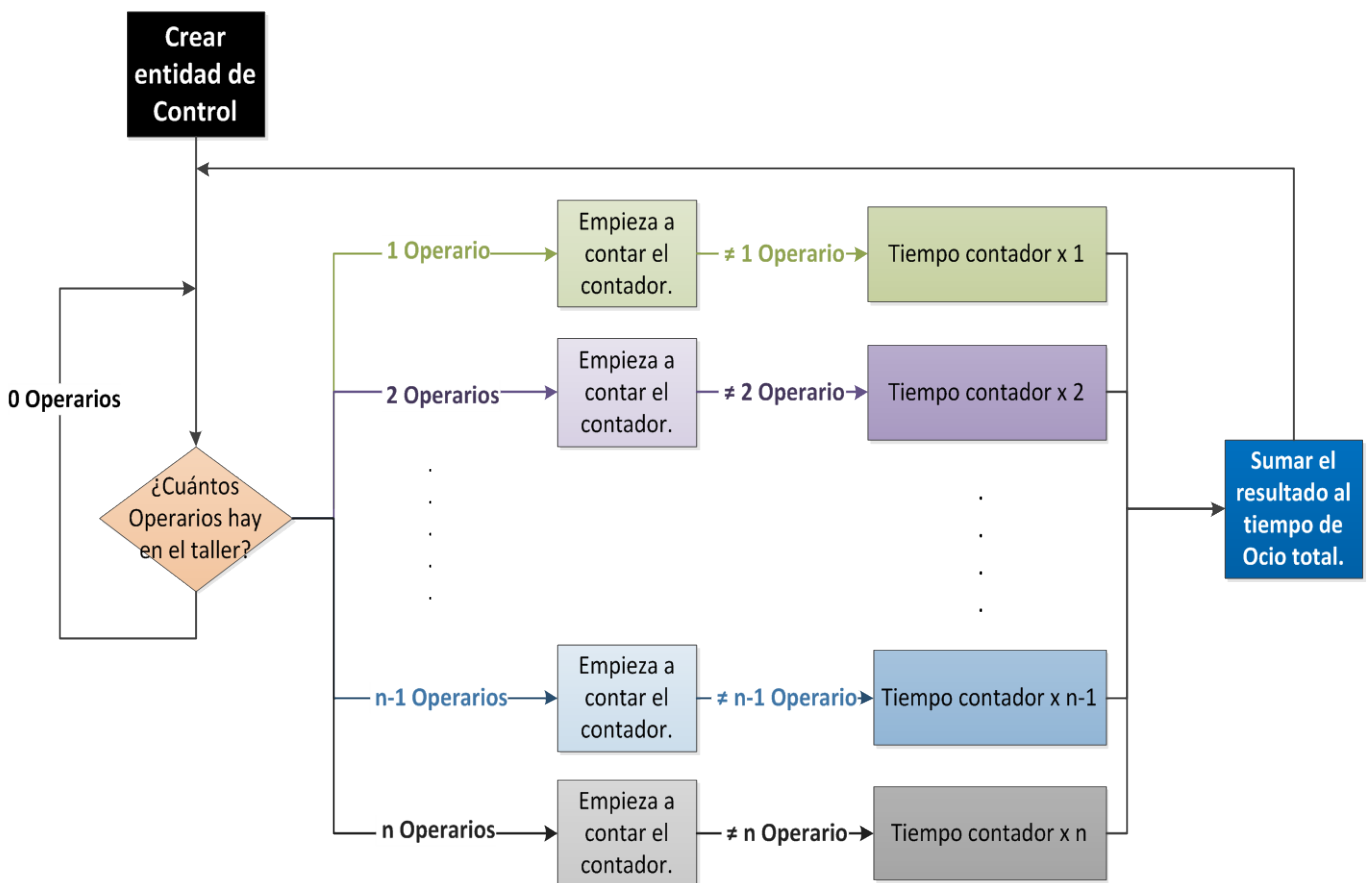


5.1.3.2. Modelo Clock_Taller

Este modelo calcula el tiempo que el personal permanece en el taller. Cuanto mayor sea el número de operarios, menor será el tiempo necesario para reparar las máquinas. Sin embargo aumentará el tiempo ocioso en el taller.

5.1.3.2a. Modelo Conceptual

Para calcular el tiempo de Ocio Total es necesario saber en todo momento el personal que hay esperando en el taller. Al multiplicar ese tiempo por el número de operarios en espera, se obtendrá el tiempo de ocio para cada instante.



5.1.3.2b. Modelo Lógico

El modelo lógico ha sido diseñado para un máximo de siete operarios, la simulación se ha realizado con tres.

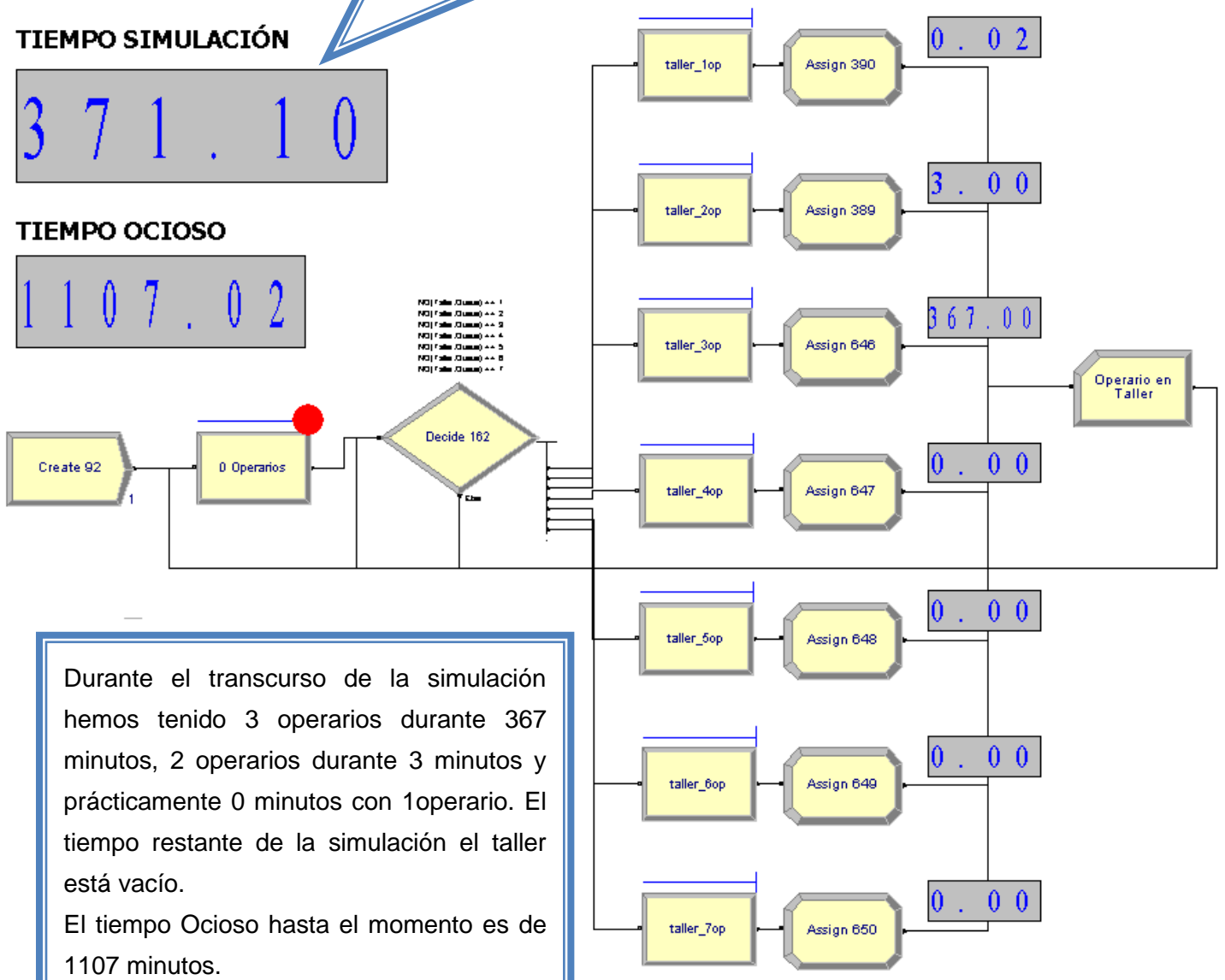
Cuando llevamos 371 minutos de simulación no hay ningún operario en el taller.

TIEMPO SIMULACIÓN

371.10

TIEMPO OCIOSO

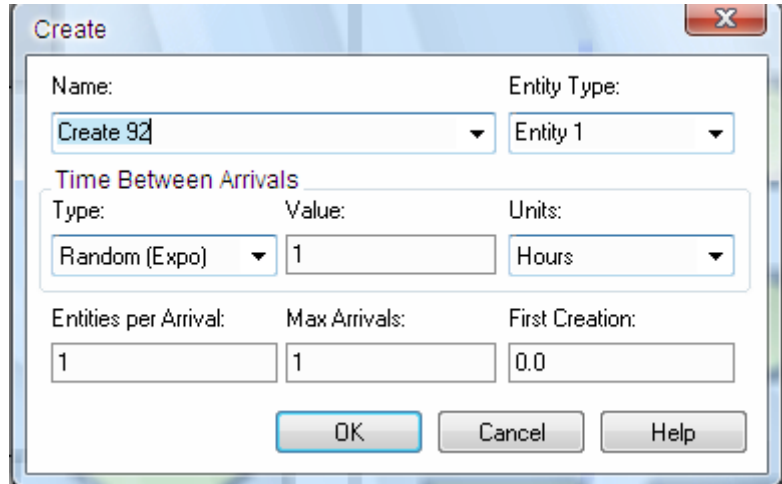
1107.02



Durante el transcurso de la simulación hemos tenido 3 operarios durante 367 minutos, 2 operarios durante 3 minutos y prácticamente 0 minutos con 1operario. El tiempo restante de la simulación el taller está vacío.
 El tiempo Ocioso hasta el momento es de 1107 minutos.

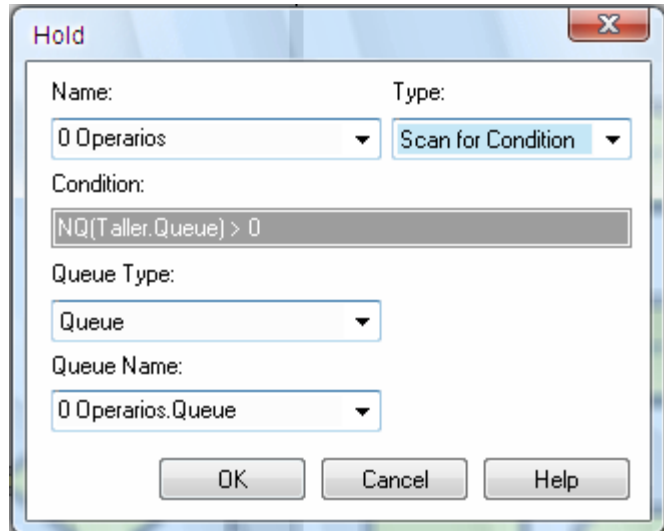
Crear entidad de control.

Primero de todo se crea la entidad de control. Esta entidad es creada en el instante 0 de la simulación. Al crear sólo una entidad la unidad de tiempo es indiferente.



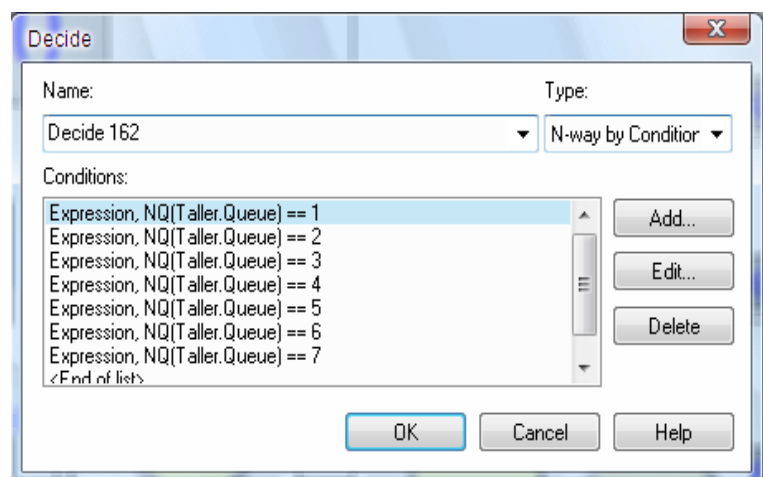
Ningún operario en el taller.

Es necesario retener la entidad de control cuando no hay ningún operario en el taller. El *Hold 0 Operarios* únicamente dejará pasar la entidad cuando la cola del Taller sea mayor que 0.

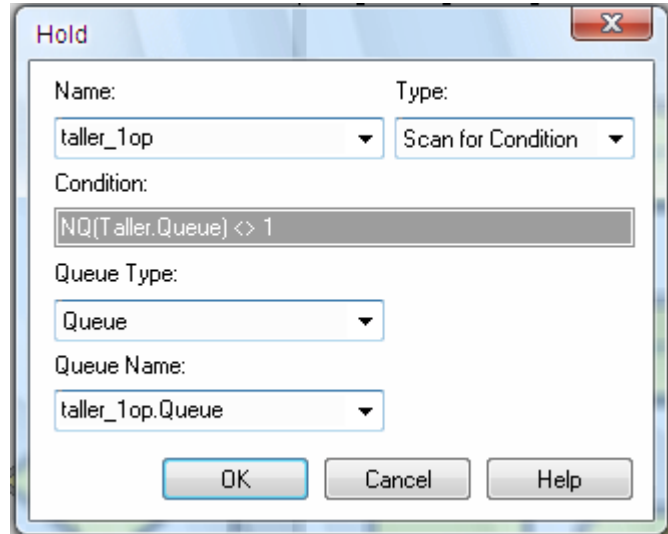


¿Cuántos operarios hay en el taller?

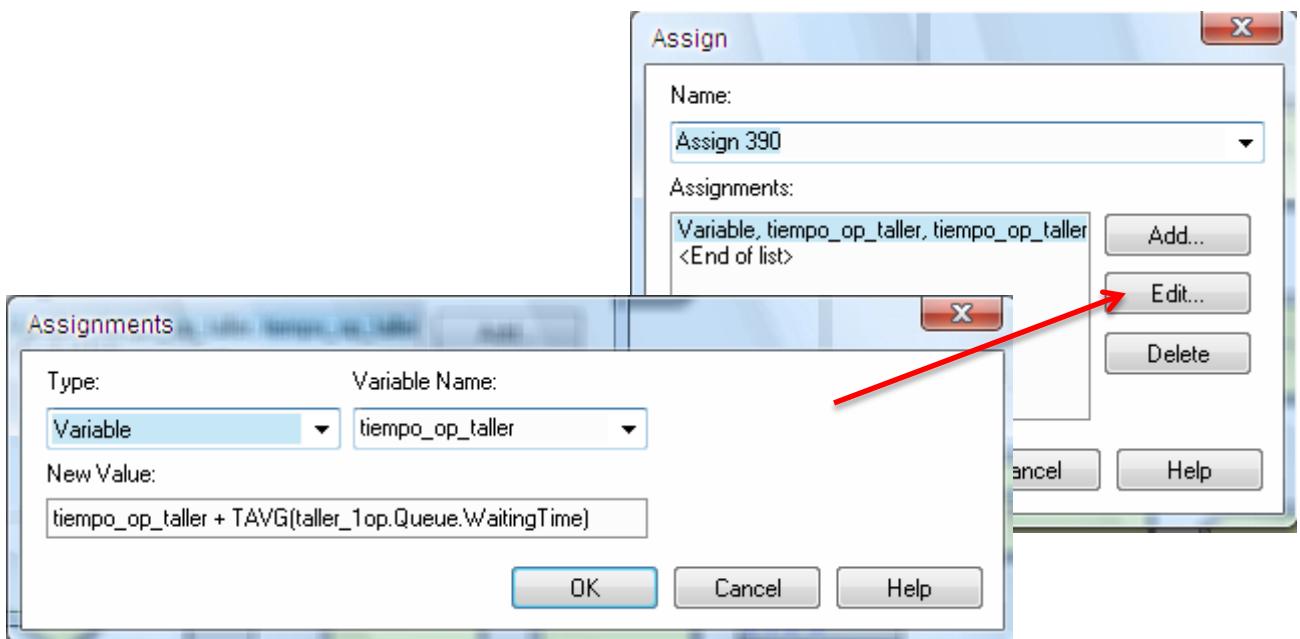
Para responder esta pregunta se coloca un bloque Decide a la salida del *Hold*. *Hold* libera la entidad cuando hay algún operario en el taller pero no sabemos cuántos. La entidad tomará un camino u otro en función del número de operarios en la cola del Taller.



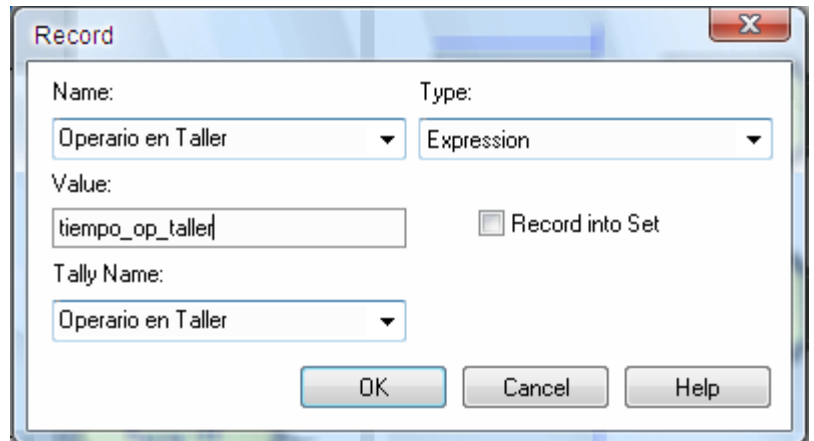
Retener entidad. Si hay 1 operario en el taller, el bloque Decide enviará la entidad de control al *Hold* taller_1op. Esta entidad estará retenida en este *Hold* hasta que se cumpla la condición, $NQ(Taller.Queue) <> 1$. Es decir, cuando la cola del Taller sea diferente a 1.



Determinar Tiempo. Una vez la entidad de control sale del *Hold* calculamos el tiempo ocioso para este intervalo de tiempo. Para ello se multiplica el tiempo que ha permanecido la entidad de control en el *Hold* taller_1op por el número de operarios, en este caso 1. El resultado se suma a la variable tiempo_op_taller proporcionando el tiempo ocioso total.



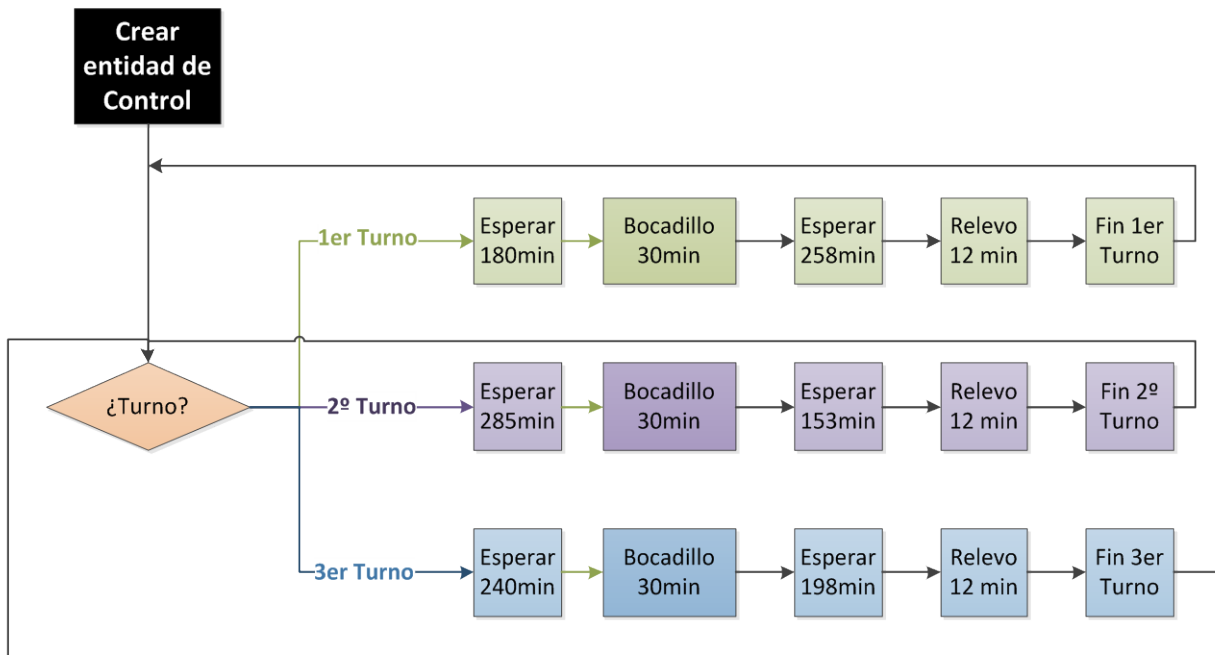
Estadísticos. El último paso es guardar el resultado de la variable tiempo_op_taller, tiempo ocioso Total, de forma que este resultado se muestre en los datos estadísticos al final de la simulación. Para ello se utiliza un Bloque Record.



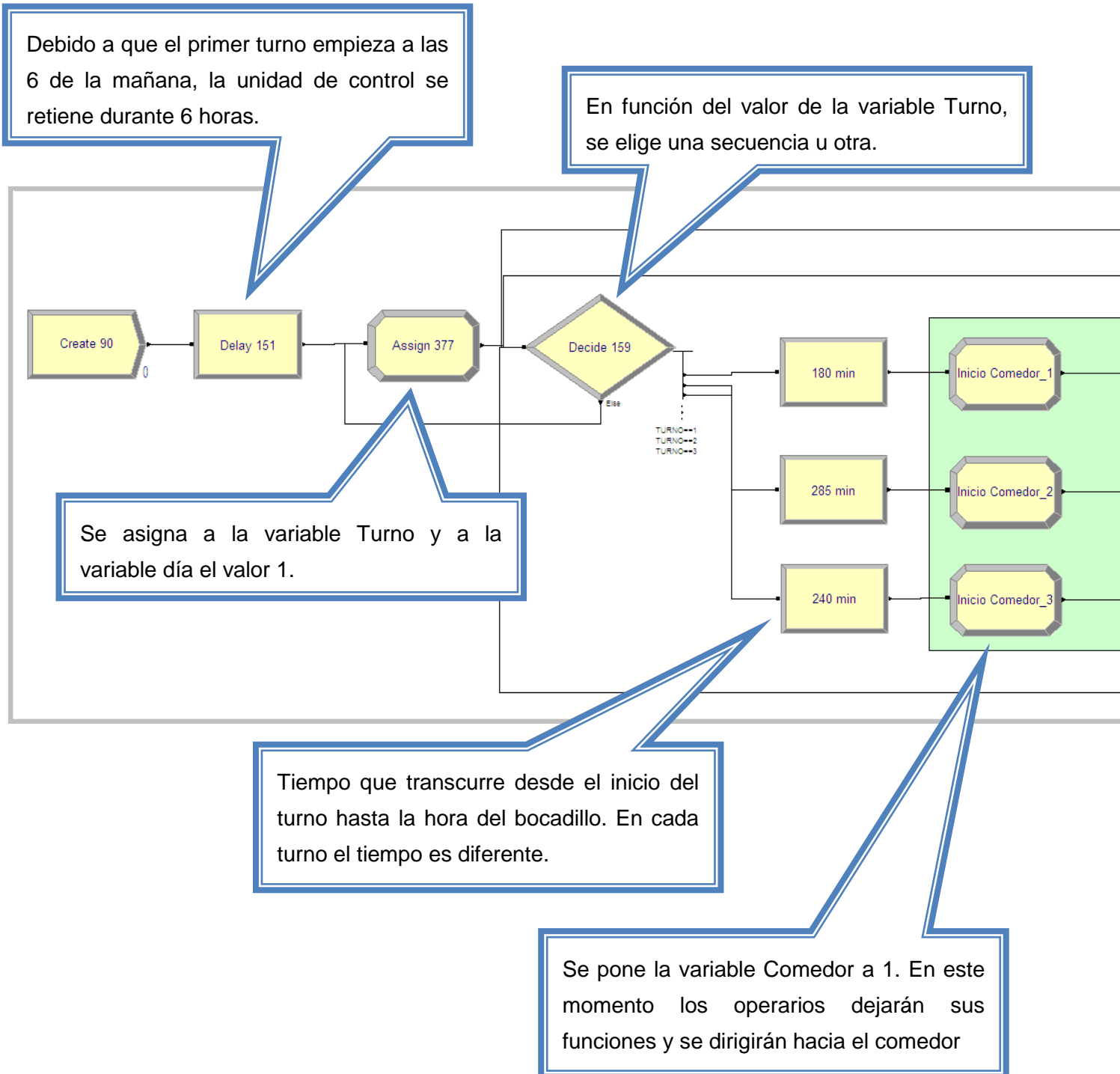
5.1.3.3. Modelo Comedor&Relevo

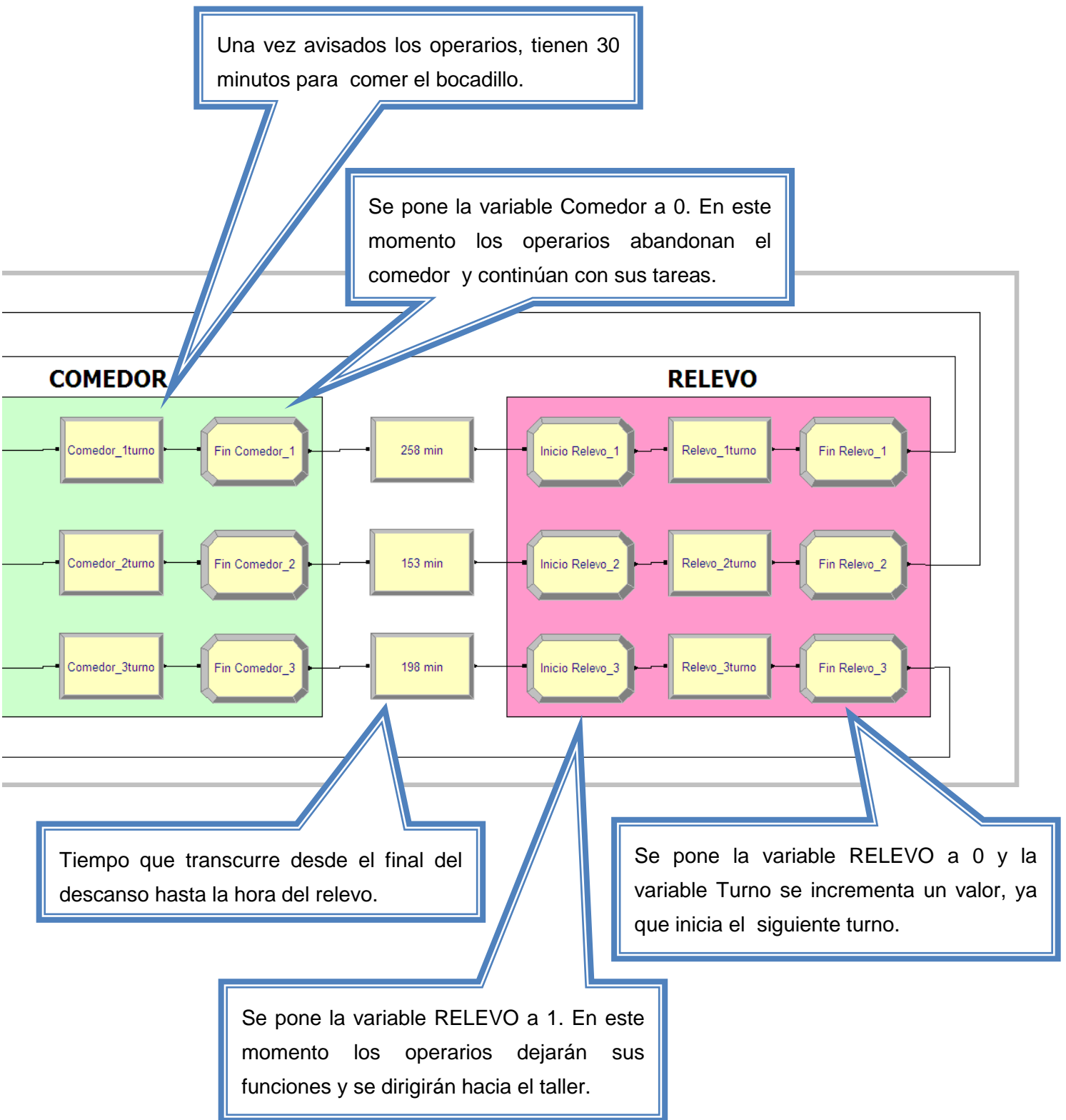
Con el objetivo de realizar un modelo lo más parecido posible al sistema real, se ha creado el modelo Comedor&Relevo. Este modelo gestiona los tiempos que el operario no está trabajando. El modelo avisará a los operarios de cuando tienen que ir al comedor o realizar el relevo.

5.1.3.3a. Modelo Conceptual

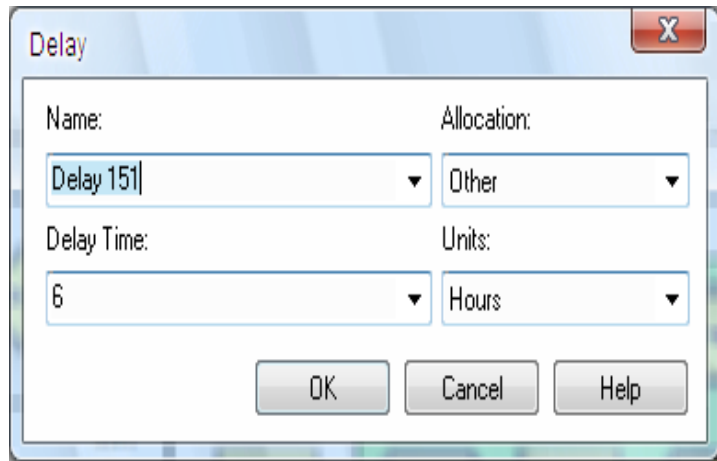


5.1.3.3b. Modelo Lógico

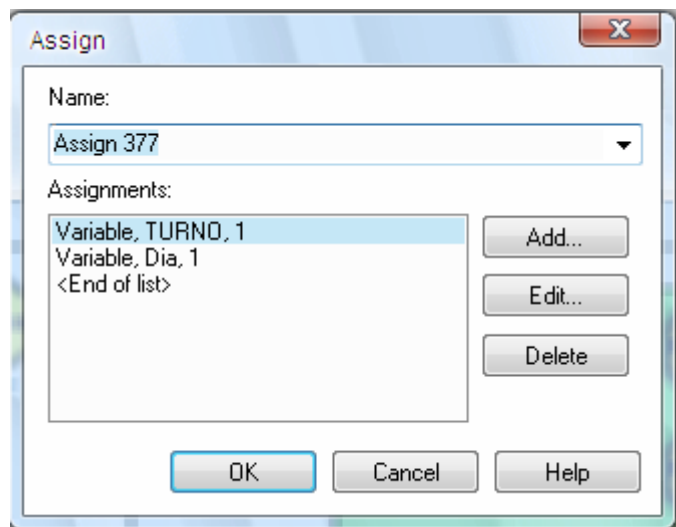




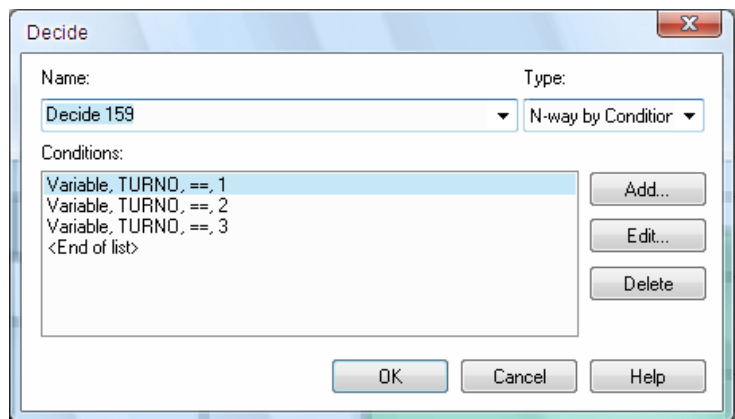
Sincronizar entidad. Dado que el primer turno empieza a las 6 de la mañana es necesario sincronizar el tiempo de simulación. De no retener la entidad durante este tiempo la hora del bocado y relevo quedarían desfasadas 6 horas respecto al resto de la simulación.



Condiciones iniciales. Este paso, si se desea, se puede realizar antes de sincronizar la entidad. El objetivo es poner las variables TURNO y Día a 1 antes de que la entidad entre en el bucle.

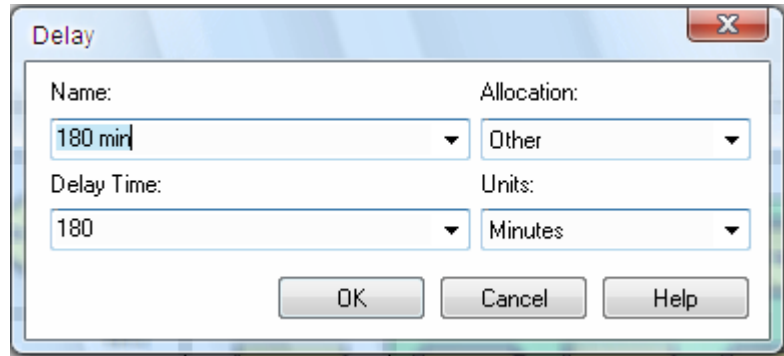


Elegir secuencia de tiempos. Como la secuencia de tiempos es diferente para cada turno, se han diseñado 3 secuencias diferentes. La entidad ejecutará una u otra en función del valor de la variable TURNO.

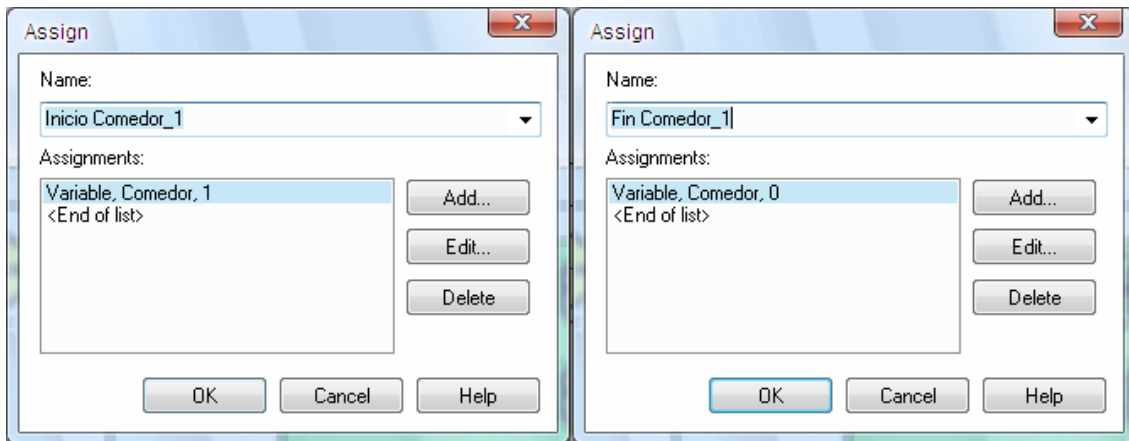


La estructura de las tres secuencias es exactamente la misma, únicamente se cambian el valor de los diferentes delay. La suma total de cada secuencia es 480 minutos, 8 horas laborales.

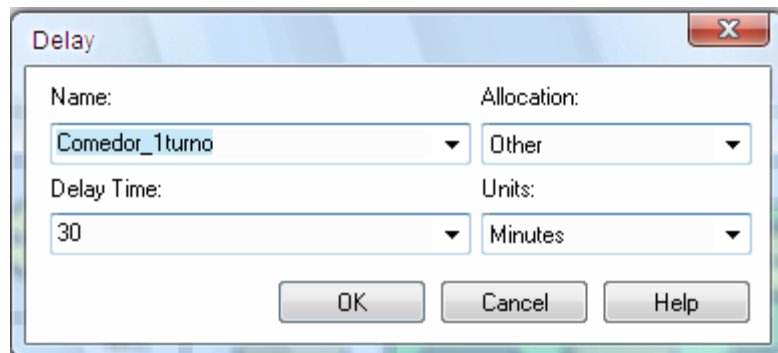
Tiempo hasta la hora del bocadillo. El delay retiene la entidad hasta la hora del bocadillo. En el primer tiempo el retardo es de 180 minutos, en el segundo de 285 y en el tercero de 240.



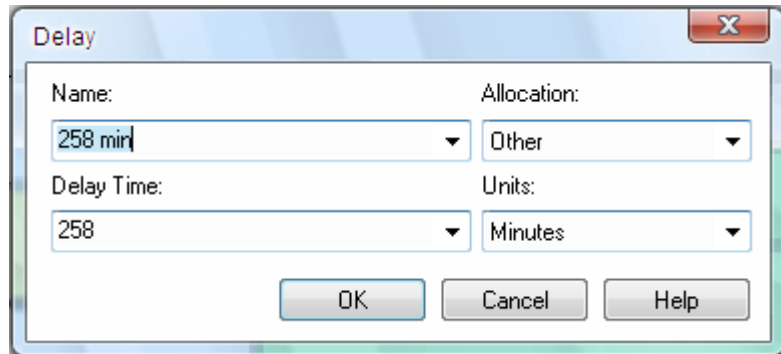
Activar y desactivar Comedor. Los *assign* Inicio Comedor y Fin Comedor son los responsables de avisar a los operarios cuando empieza y acaba el descanso para comer el bocadillo.



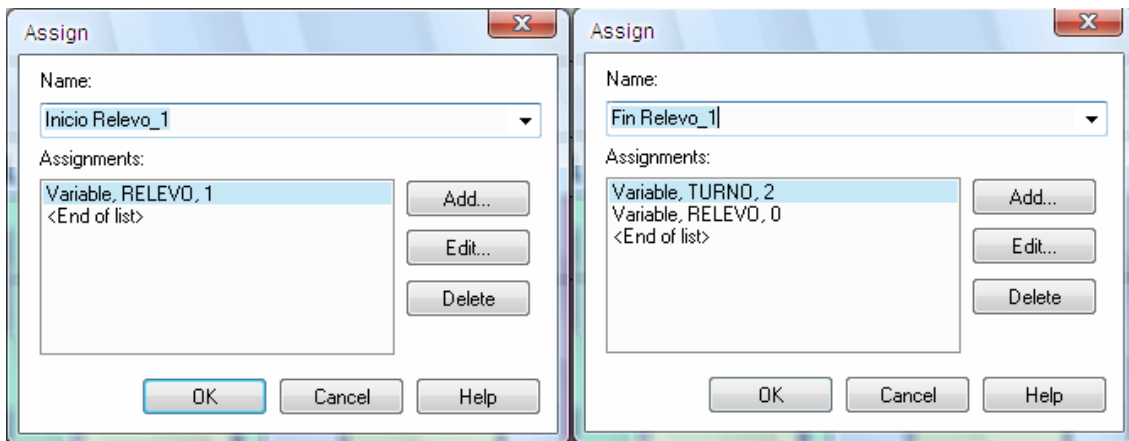
Hora del bocadillo. El tiempo para comer el bocadillo es el mismo en los tres turnos (30 minutos) y se desarrolla en el delay Comedor_turno.



Tiempo hasta la hora del relevo. El delay retiene la entidad hasta la hora del relevo. En el primer tiempo el retardo es de 258 minutos, en el segundo de 153 y en el tercero de 198.

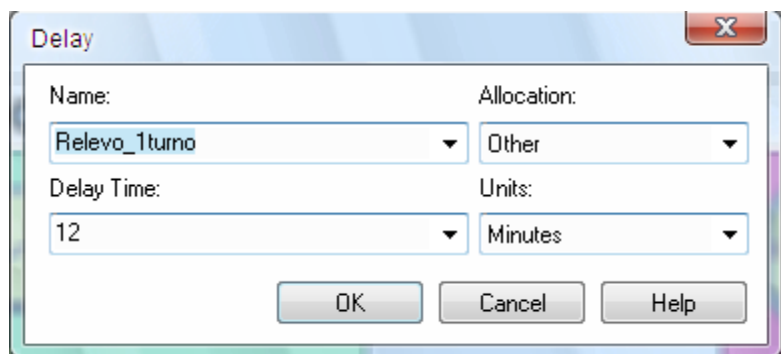


Activar y desactivar RELEVO. Los *assign* Inicio Relevo y Fin Relevo son los responsables de avisar a los operarios cuando empieza y acaba el tiempo reservado para realizar el relevo.



Tiempo para realizar el relevo.

El valor estimado para realizar el relevo es de 12 minutos. Es valor es la media de 17 mediciones.



5.1.3.4. Simular y validar submodelo

Se realiza la simulación del submodelo para verificar su correcto funcionamiento. Para verificar el submodelo es necesario tener diseñados, a parte de los submodelos Clock_Taller y Comedor&Relevo, el submodelo Gestión Averías (diseñado en apartado 5.1.4). Para validar el correcto funcionamiento del submodelo Taller es necesario haber diseñado este submodelos. Aunque a estas alturas del diseño aún no se ha explicado el submodelo Gestión de Averías podemos decir que la validación del submodelo Taller se ha realizado con éxito.

Una vez validado y verificado el submodelo Taller, se adapta el submodelo al modelo principal.

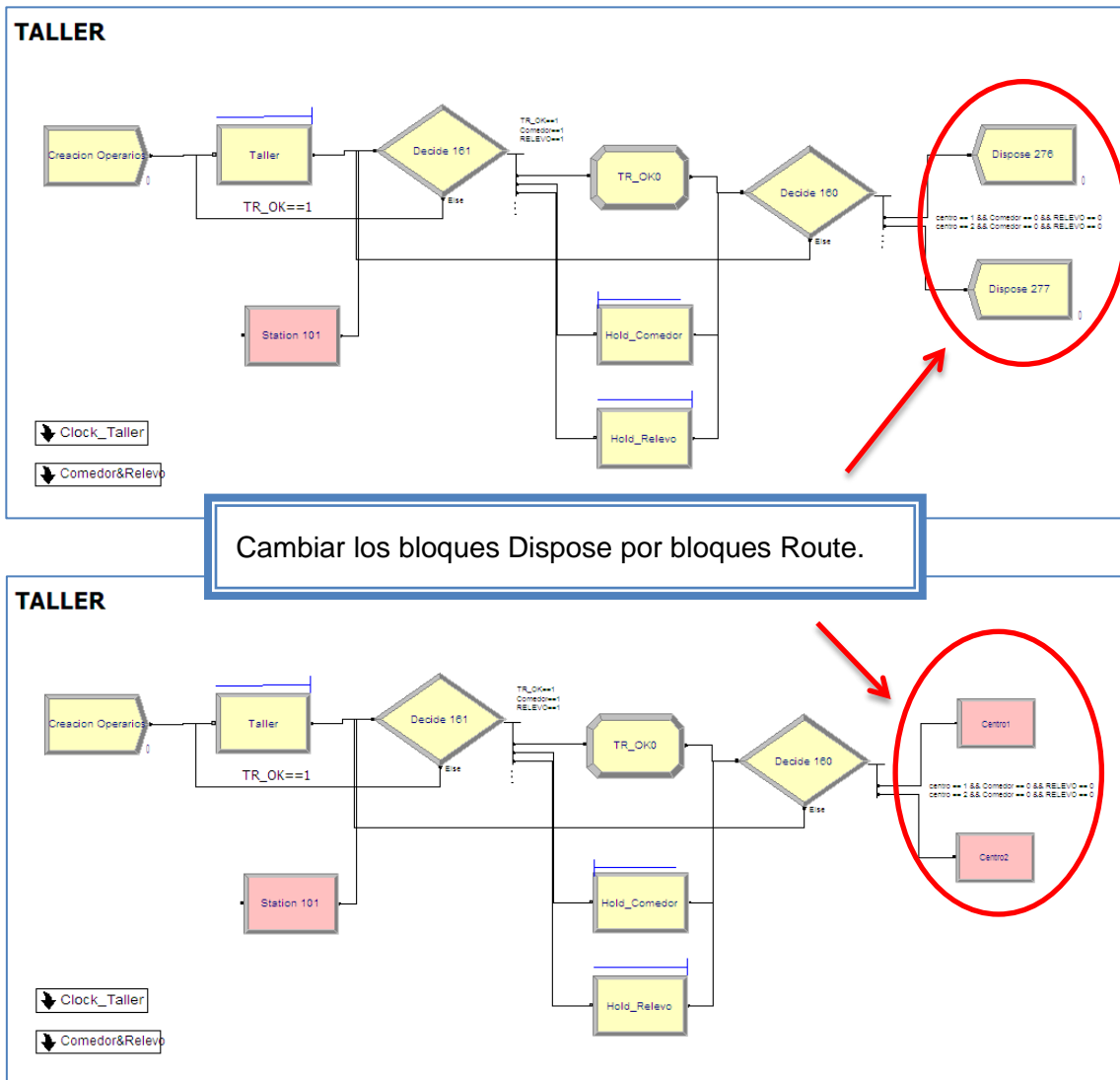
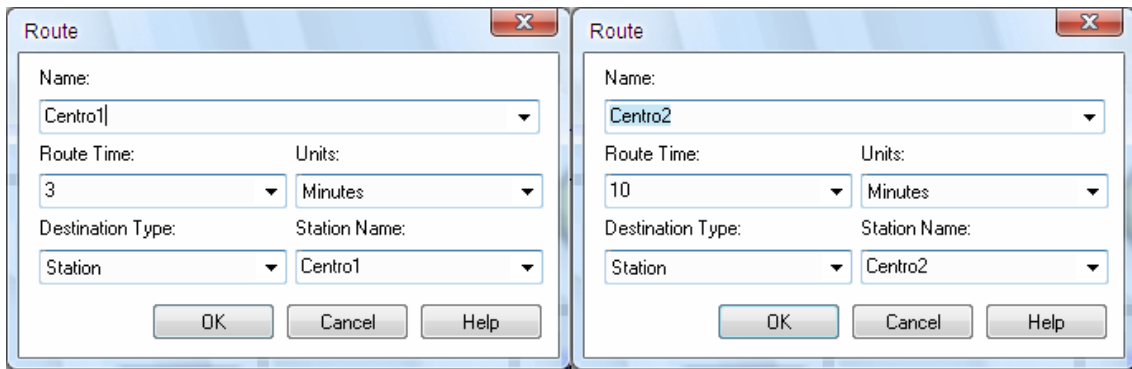


Figura 5.1.3.4a: Modificación del submodelo Taller

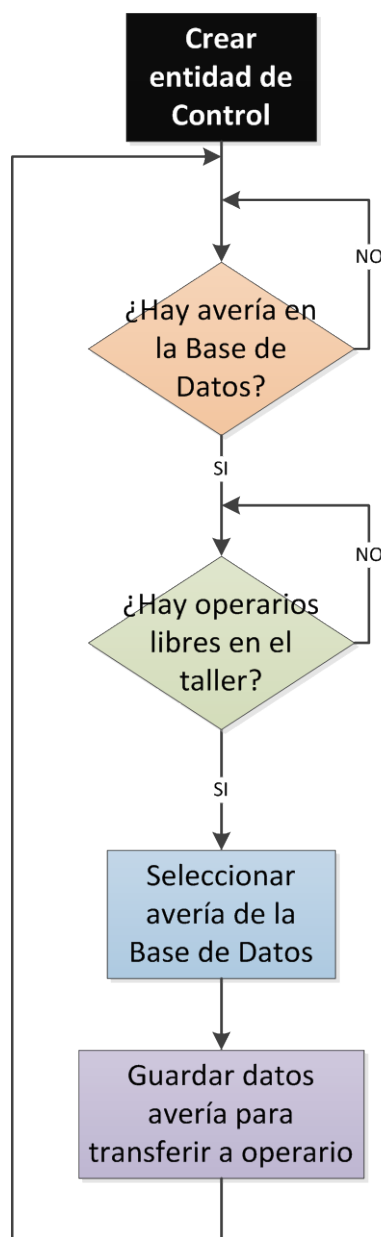
Salidas. Una vez verificado y validado el submodelo Taller se crean las salidas que vincularán este submodelo con el submodelo Desplazamiento. La entidad operario toma un camino en función del atributo Centro, si este tiene valor 1 se dirigirá hacia el bloque Centro1 y si tiene valor 2 se dirigirá hacia el bloque Centro2. Tanto el bloque Centro1 como Centro2 son dos bloques Route que enviarán la entidad operario a una de las dos estaciones destino (Centro1 o Centro2). El tiempo establecido para ir del taller al centro1 es de 3 minutos y para ir al centro 2 es de 10 minutos.



5.1.4. Gestión de averías

Este modelo, como su nombre indica, es el responsable de la gestión de las diferentes averías que va generando el sistema. De haber averías en la base de datos, distribuye las averías entre los operarios disponibles en el taller.

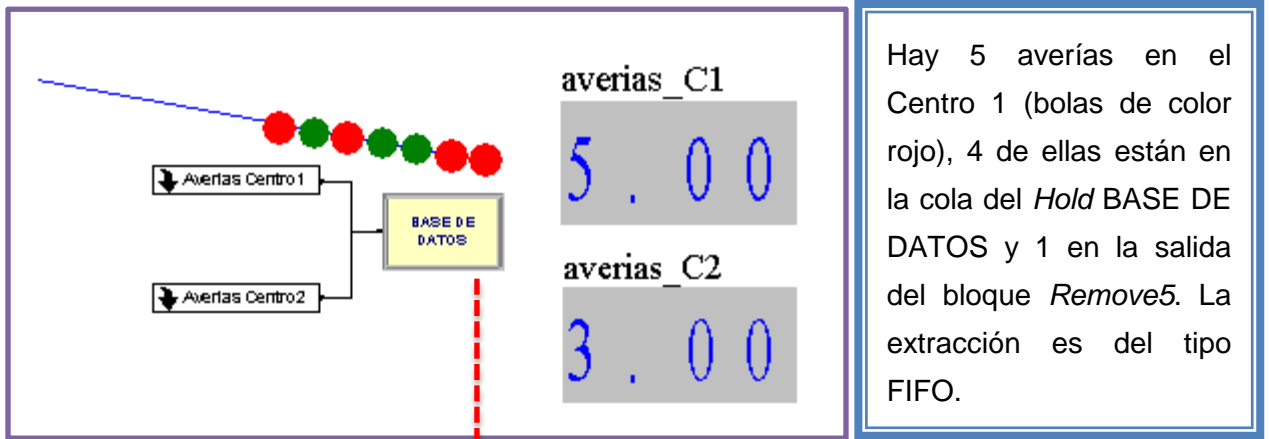
5.1.4.1. Modelo Conceptual



5.1.4.2. Modelo Lógico

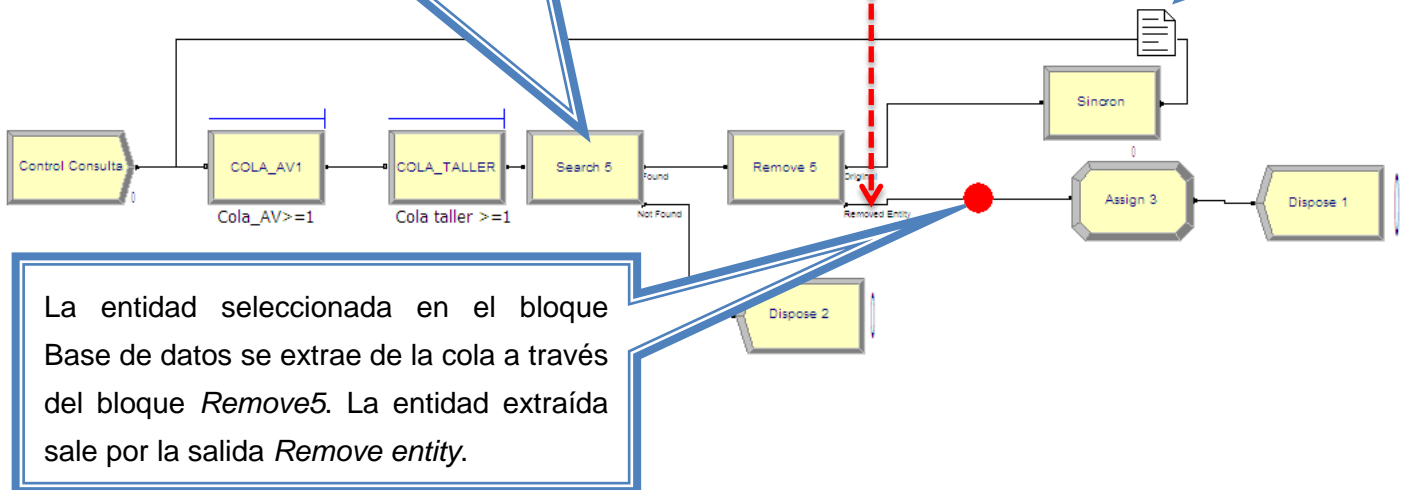
Para realizar este modelo es necesario tener diseñado previamente los submodelos Base de datos (las averías se extraen directamente de este modelo) y Taller (se realiza una consulta para saber si hay operarios disponibles).

Submodelo BASE DE DATOS



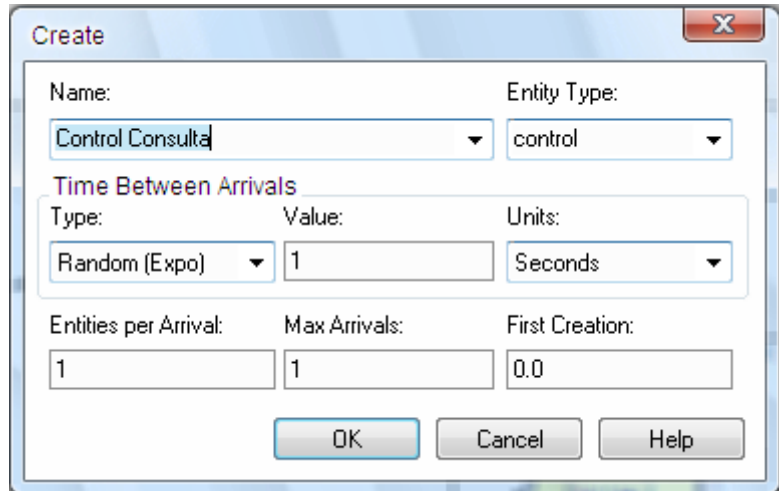
Sabiendo que hay averías en la base de datos y operarios en el taller, se procede a seleccionar una entidad del *Hold* BASE DE DATOS.

La entidad de control sale del bloque *Remove5* por la salida Original.

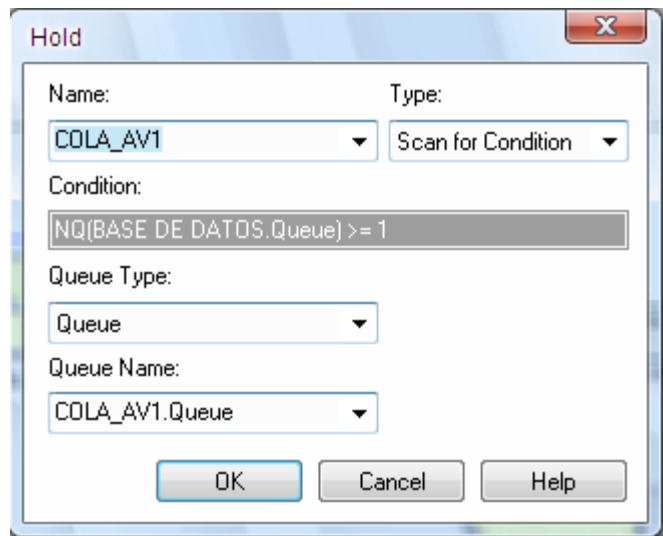


Crear entidad de control.

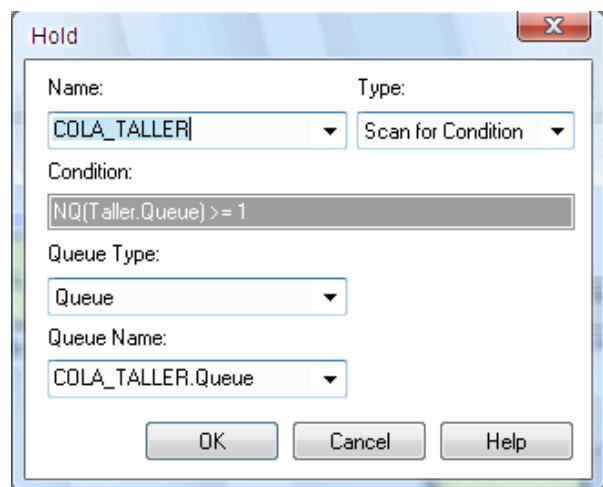
Se crea una entidad de control en el instante 0. Dado que en este modelo circulan dos tipos de entidades diferentes, con el objetivo de diferenciarlas fácilmente se ha decidido cambiar la imagen que representa a la entidad de control por la de un folio.



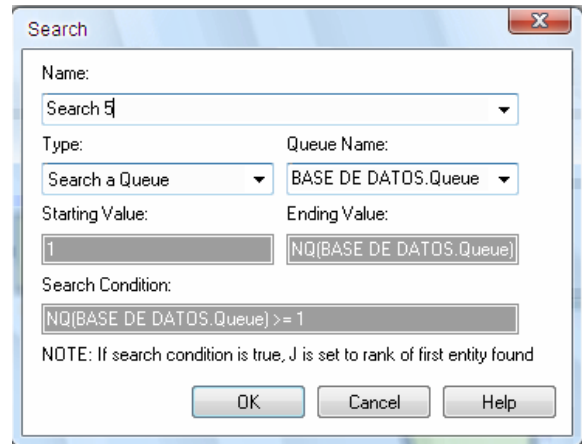
Consultar base de datos. El primer paso a realizar es averiguar si hay averías en la base de datos. Para saberlo se realiza una consulta a la cola de BASE DE DATOS. Si esta tiene un o más elementos en su cola quiere decir que hay averías en el sistema por lo tanto se libera la entidad en busca de operarios libres.



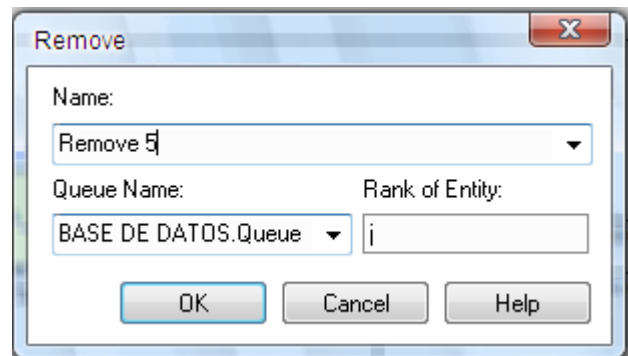
Operarios disponibles. Si la entidad de control llega hasta este bloque es porque hay averías en el sistema. En este punto es necesario consultar al taller si hay operarios libres esperando en la cola. Si la respuesta es positiva se libera la entidad de control.



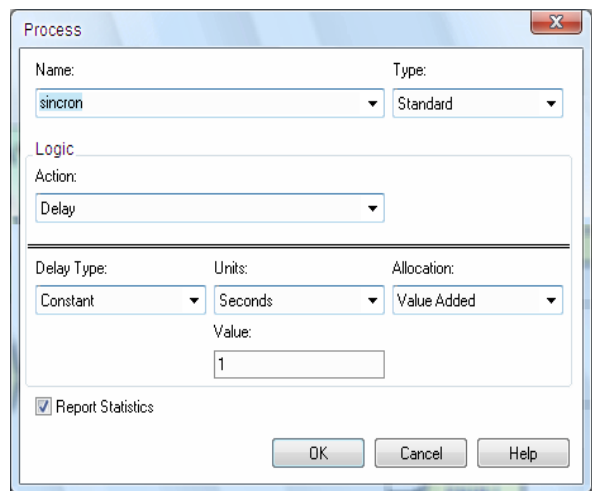
Buscar avería. Llegados a este punto, se tiene que buscar una avería dentro de la cola BASE DE DATOS. Para ello se programa el bloque Search 5 de la siguiente manera: la búsqueda se realizará en una cola llamada BASE DE DATOS. El recorrido de la búsqueda será desde la posición 1 hasta el final de la cola.



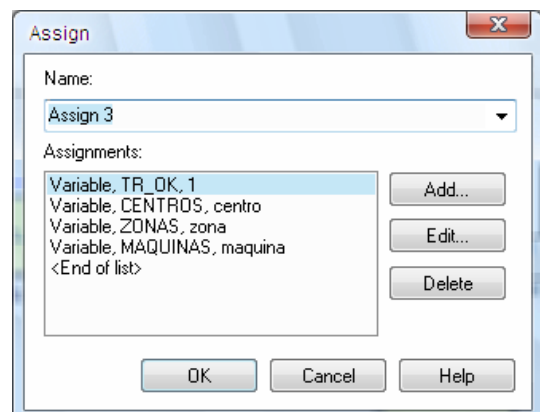
Extracción de la entidad. Se extrae la entidad a través del modelo Remove5. En la variable j se almacena la posición de la primera entidad que cumple las condiciones especificadas en el modelo Search.



Sincronizar. La entidad que sale del bloque Remove por la salida Original tiene prioridad sobre la que sale por la salida Removed Entity. Es decir, hasta que la entidad control no entre en un bloque (*Hold* o *Process*) la entidad encontrada no puede salir por la salida Removed Entity. Para que esto sea inmediato se coloca un bloque process realizando un delay de 1 segundo.



Transferir datos. El último paso es transferir la información de los atributos de la entidad extraída (en minúscula), a las variables del sistema (en mayúscula). Posteriormente se transferirán los datos de las variables del sistema a los atributos de la entidad operario, en el modelo Taller.

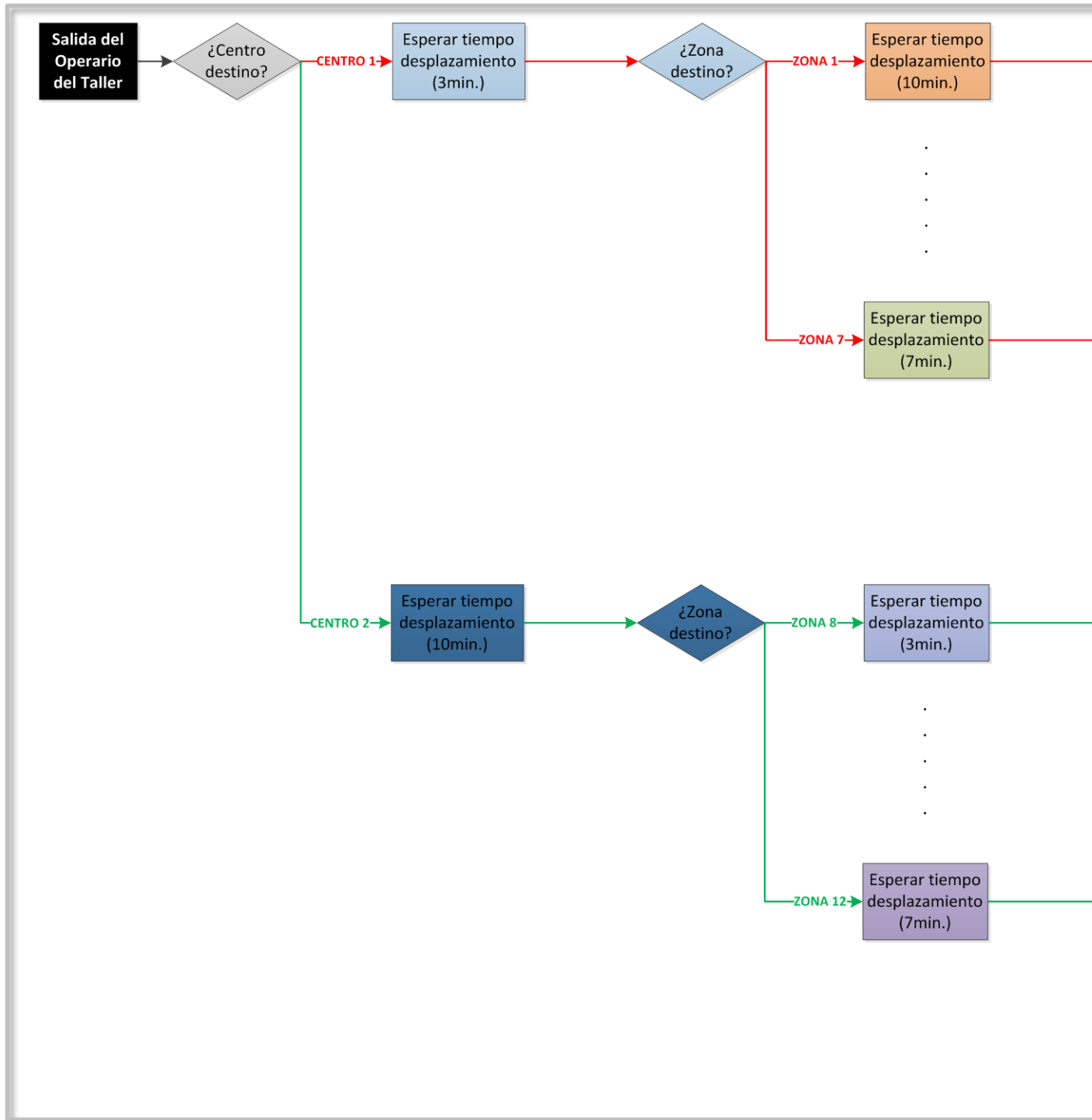


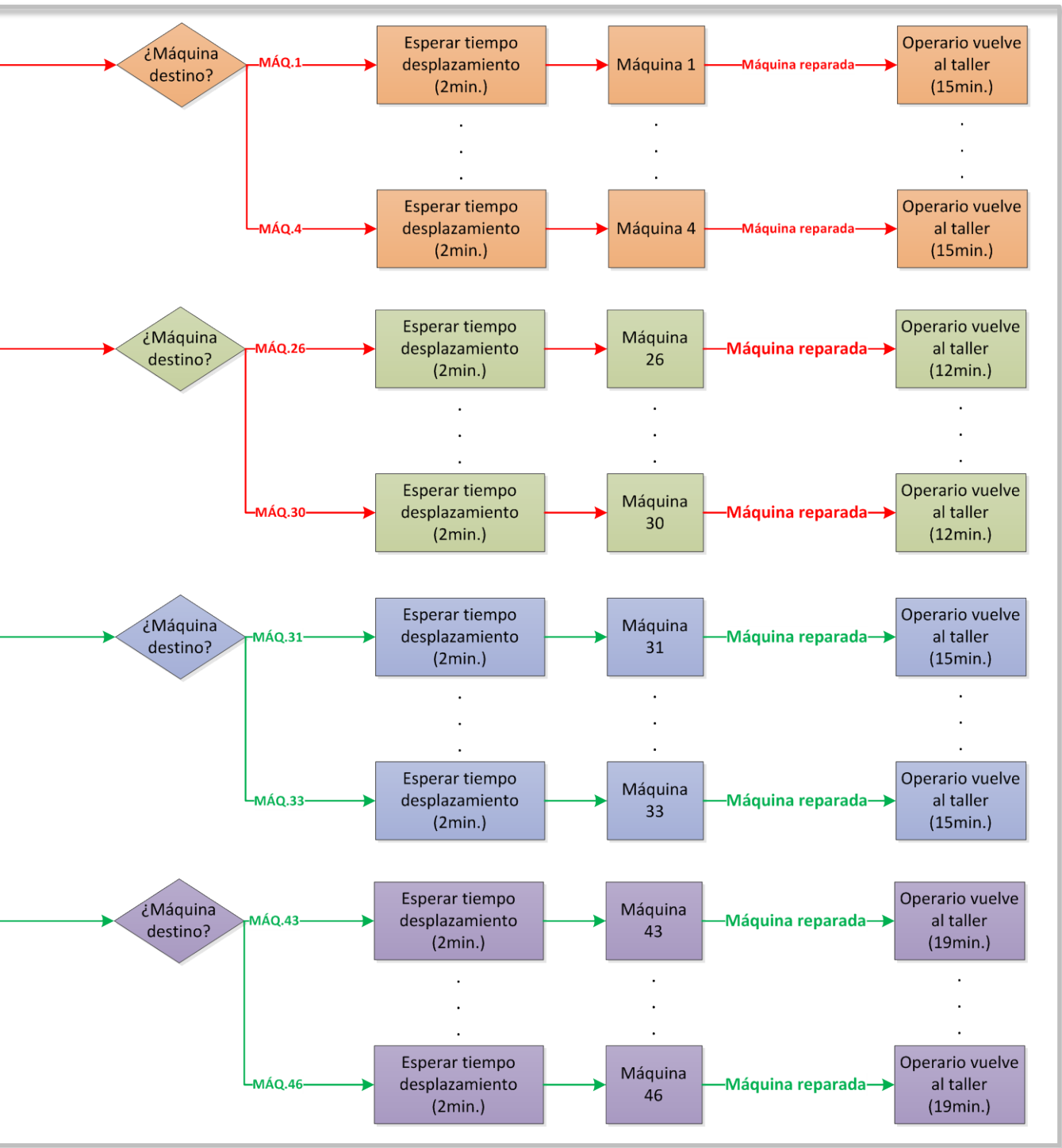
5.1.5. Desplazamiento

El modelo Desplazamiento pretende establecer una red de nodos que comunique al taller con las diferentes máquinas. Las entidades que van a desplazarse por estas conexiones únicamente van a ser las entidades operario. Es en este modelo donde se plantea y estudia la penalización de tiempo por el desplazamiento de los operarios. Para que la simulación sea lo más real posible se han establecido una serie de puntos y se ha cronometrado a diferentes operarios para establecer unos tiempos medios entre puntos.

	Minutos		Minutos		Minutos	
TALLER	3	Centro 1	10	Zona 1	2	Máquina 1 a Máquina 4
			8	Zona 2	2	Máquina 5 a Máquina 8
			8	Zona 3	2	Máquina 9 a Máquina 12
			10	Zona 4	2	Máquina 13 a Máquina 16
			3	Zona 5	2	Máquina 17 a Máquina 20
			4	Zona 6	2	Máquina 21 a Máquina 25
			7	Zona 7	2	Máquina 26 a Máquina 30
TALLER	10	Centro 2	3	Zona 8	2	Máquina 31 a Máquina 33
			6	Zona 9	2	Máquina 34 a Máquina 36
			6	Zona 10	2	Máquina 37 a Máquina 40
			3	Zona 11	2	Máquina 41 a Máquina 42
			7	Zona 12	2	Máquina 43 a Máquina 46

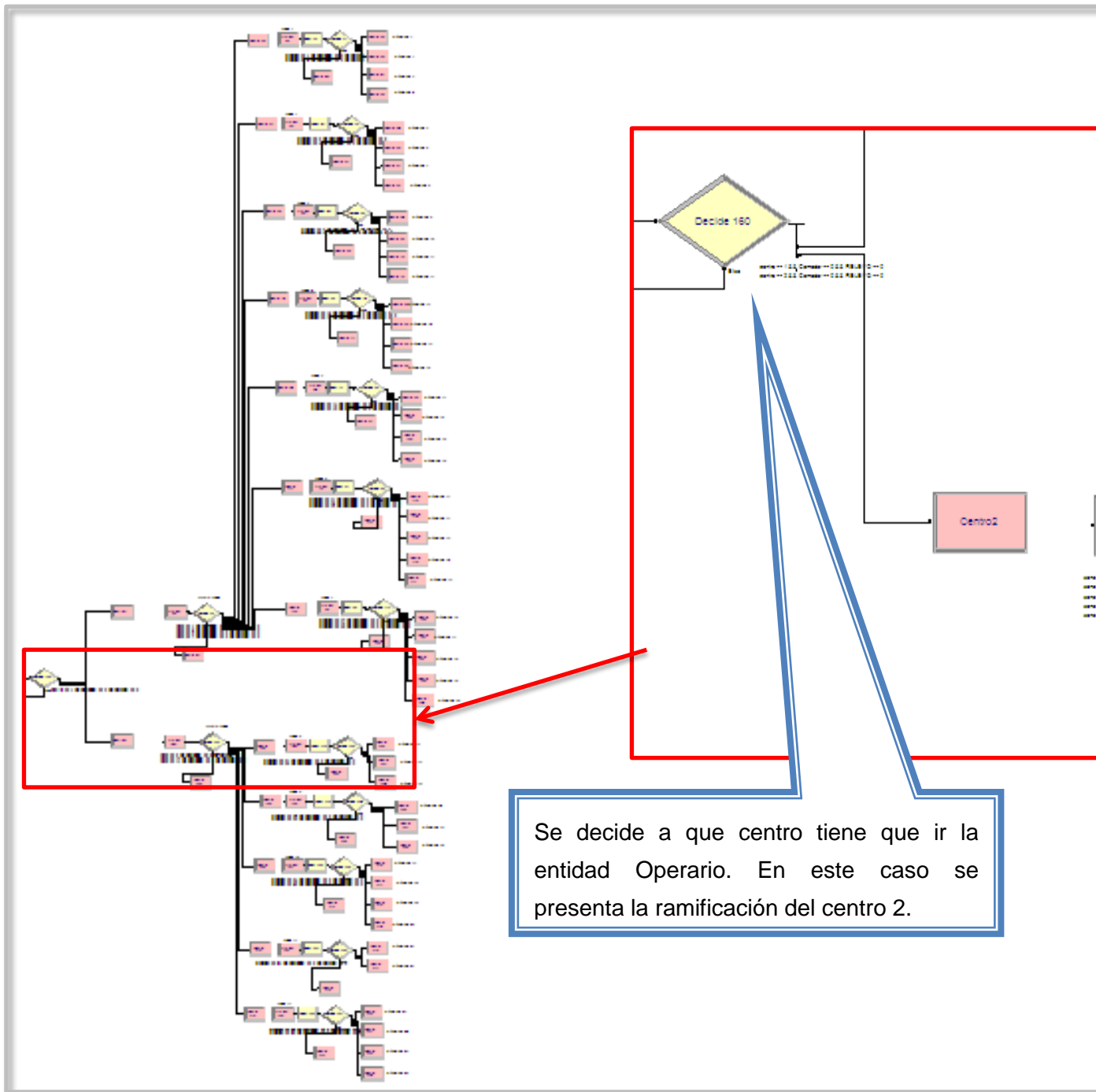
5.1.5.1. Modelo Conceptual





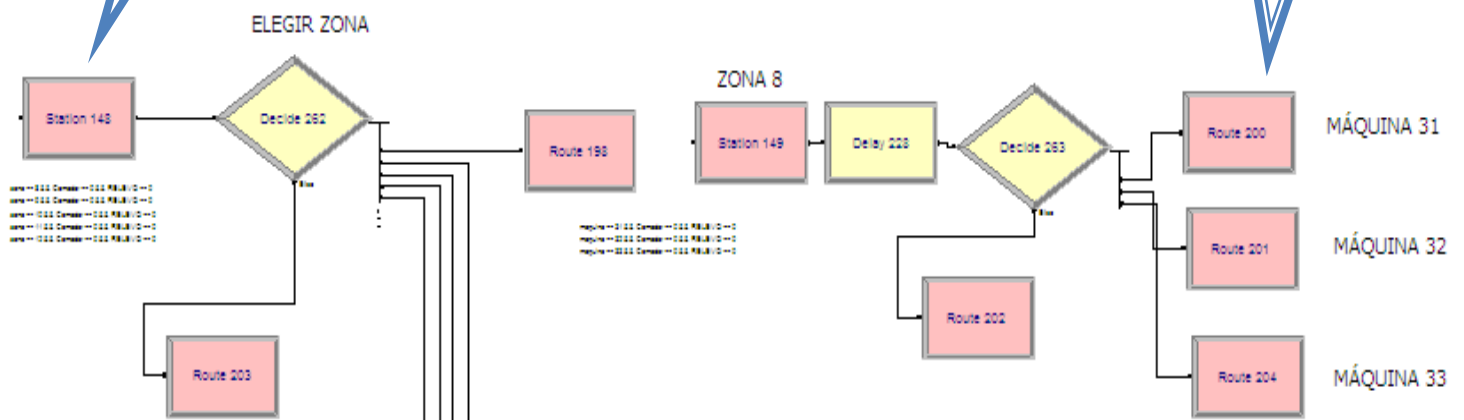
5.1.5.2. Modelo Lógico

El modelo lógico es una red en forma de árbol. Como el árbol es muy grande y todas las ramificaciones son prácticamente iguales, únicamente se explicará una de ellas.

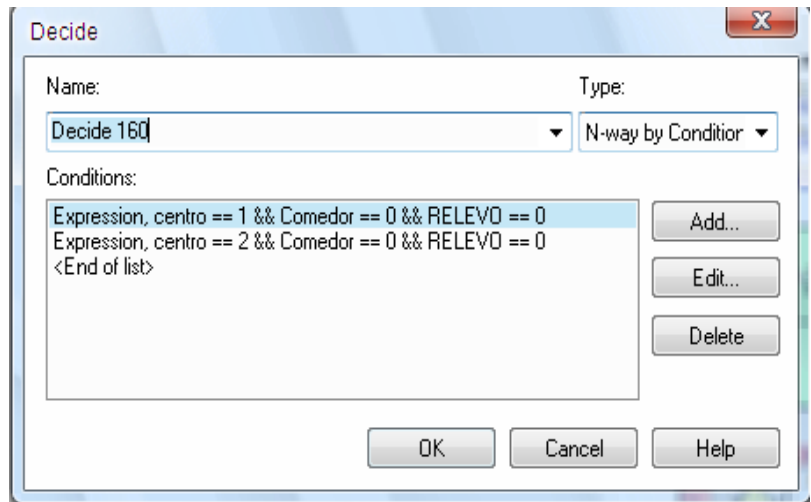


La entidad pasa del bloque Route Centro2 a la estación de centro 2. El tiempo establecido para realizar el recorrido es de 10 minutos.

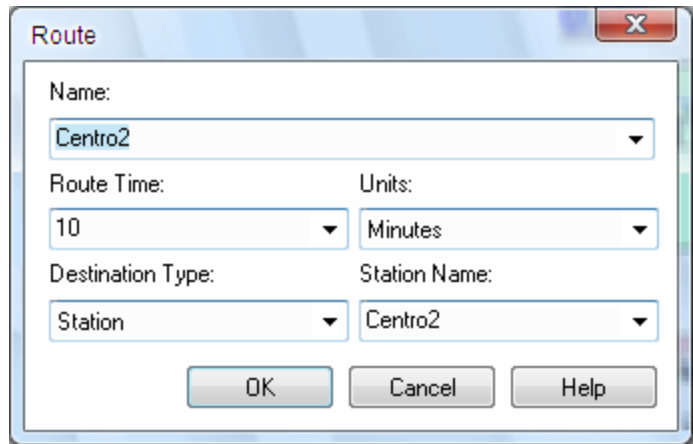
El último paso es enviar la entidad operario a la entrada del modelo Máquina. Este trayecto no tiene penalización de tiempo.



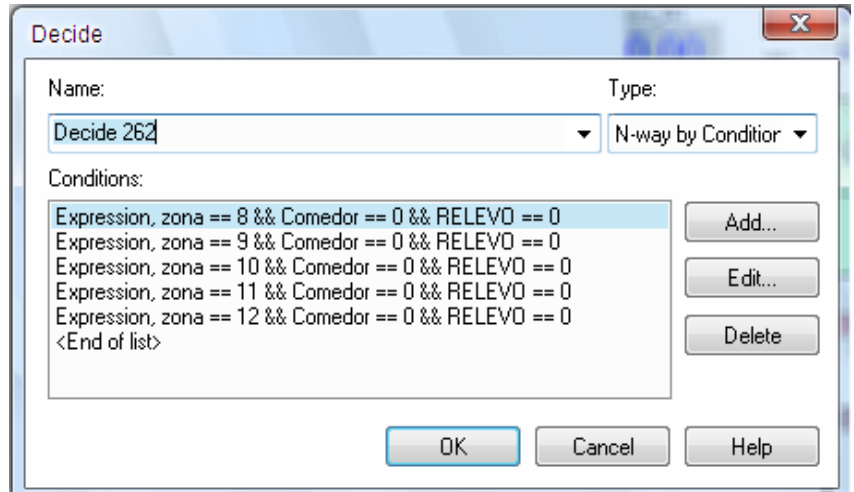
Elegir Centro. El primer paso, cuando sale un operario del taller, es saber hacia qué centro tiene que dirigirse. Es en Decide160 donde se toma esta decisión y dependerá del valor del atributo centro de la entidad. También se tiene que cumplir que no sea la hora del relevo o del bocadillo.



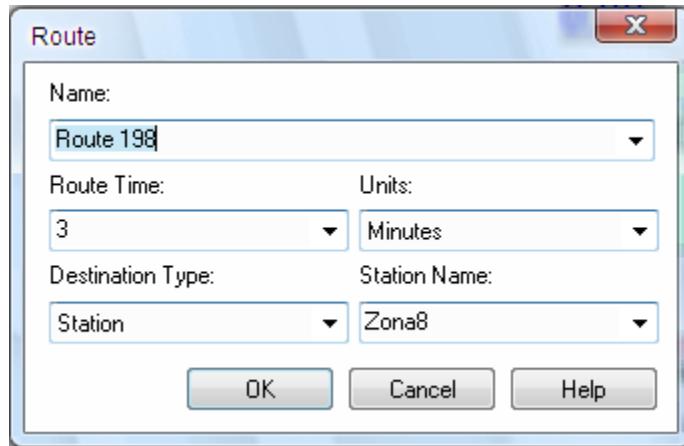
Dirigirse hacia el centro. Una vez se ha decidido el centro, la entidad se dirige hacia un bloque Route, en este caso Centro2. En este bloque se decide el tiempo que la entidad necesita para pasar del punto actual (Route) hasta la estación Centro2, que serán 10 minutos.



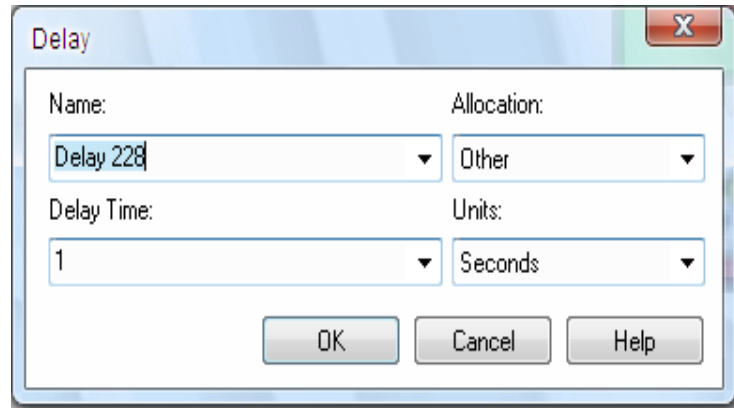
Elegir Zona. Una vez la entidad operario está en el centro 2, tiene que elegir un camino, una zona de destino. Para ello el bloque Decide 262 mira el valor del atributo zona de la entidad operario y en función de su valor tomará una ruta u otra.



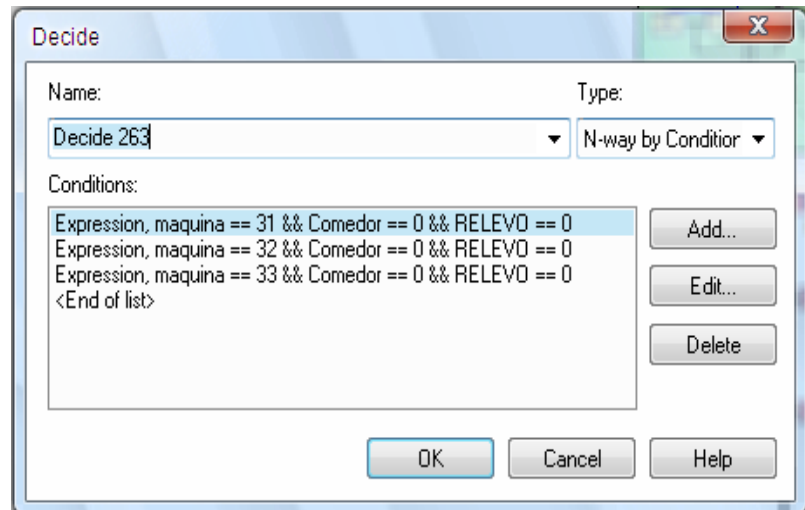
Dirigirse hacia Zona. Igual que en el punto anterior, la entidad va hacia la estación Zona8 a través del bloque Route198. El tiempo necesario para realizar este desplazamiento es de 3 minutos.



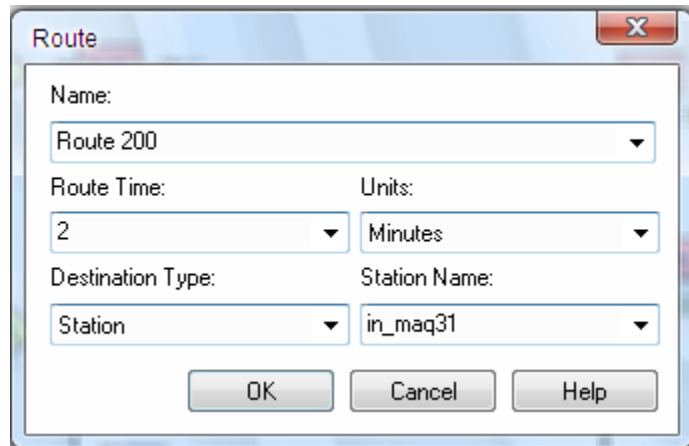
Sincronizar. La función del delay228 es simplemente sincronizar las entidades avería y operario. Es un recurso para corregir aspectos gráficos de la simulación pero no es relevante a nivel de programación.



Elegir máquina. Una vez la entidad operario está en la zona 8, tiene que elegir un camino, una máquina de destino. Para ello el bloque Decide 263 mira el valor del atributo máquina de la entidad operario y en función de su valor tomará una ruta u otra.



Dirigirse hacia una máquina. Igual que en los puntos anteriores, la entidad va hacia la estación in_maq31, entrada de la máquina número 31, a través del bloque Route200. El tiempo necesario para realizar este desplazamiento es de 2 minutos.



5.1.6. Máquina

El modelo máquina es el más complejo de todos los modelos vistos hasta ahora. El modelo no pretende simular la máquina en funcionamiento, sino las diferentes situaciones que suceden en el transcurso de una avería:

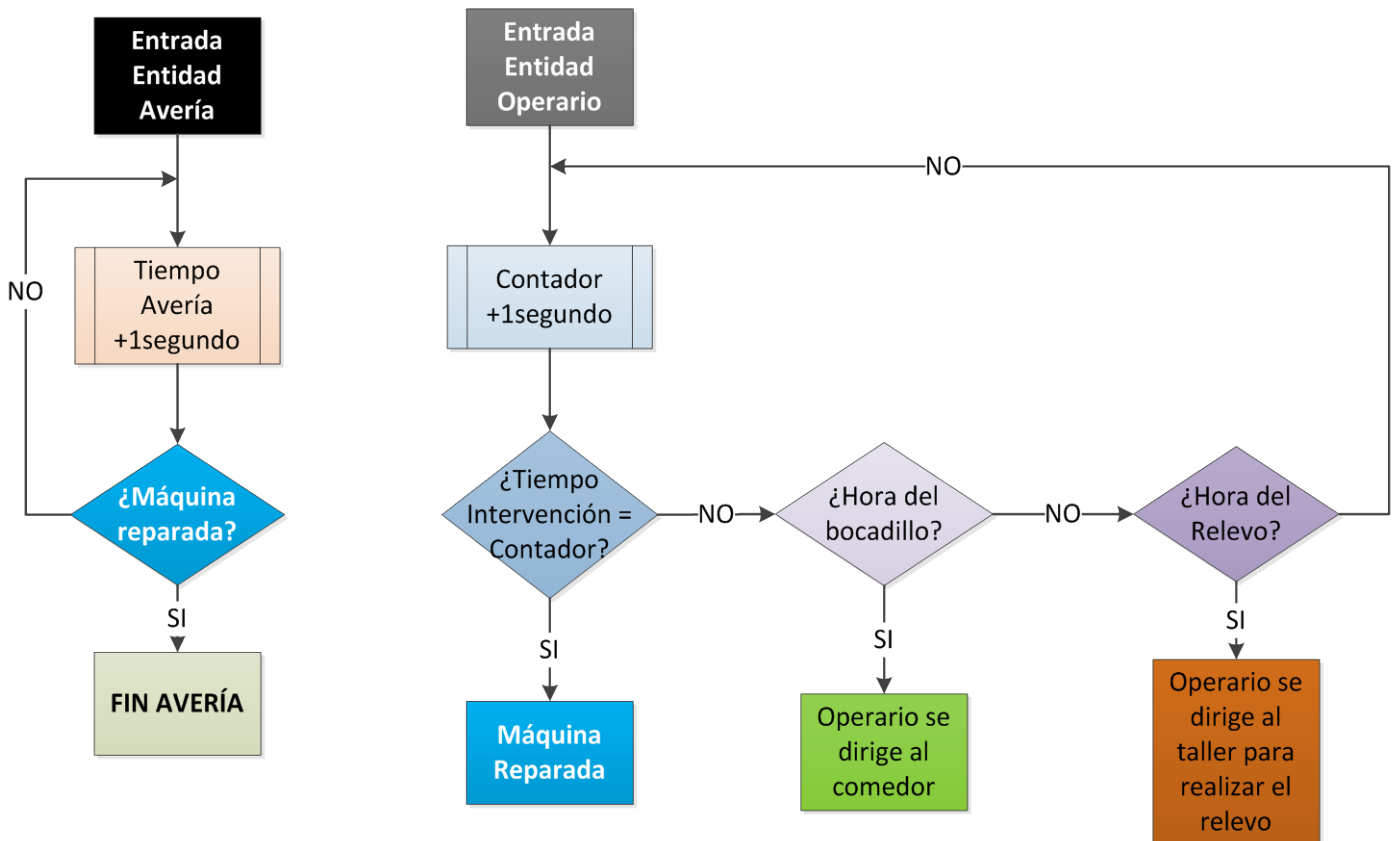
- Tiempo que transcurre con la máquina averiada sin el operario de manteniendo presente en la máquina.
- Tiempo que transcurre con la máquina averiada con el operario de mantenimiento en la máquina.
- Como afectan los cambios de relevo y hora del bocado durante una avería.

En este modelo es necesario implantar dos contadores: uno que cuente el tiempo que la máquina esta averiada y otro para contar el tiempo de intervención de cada avería.

5.1.6.1. Modelo Máquina

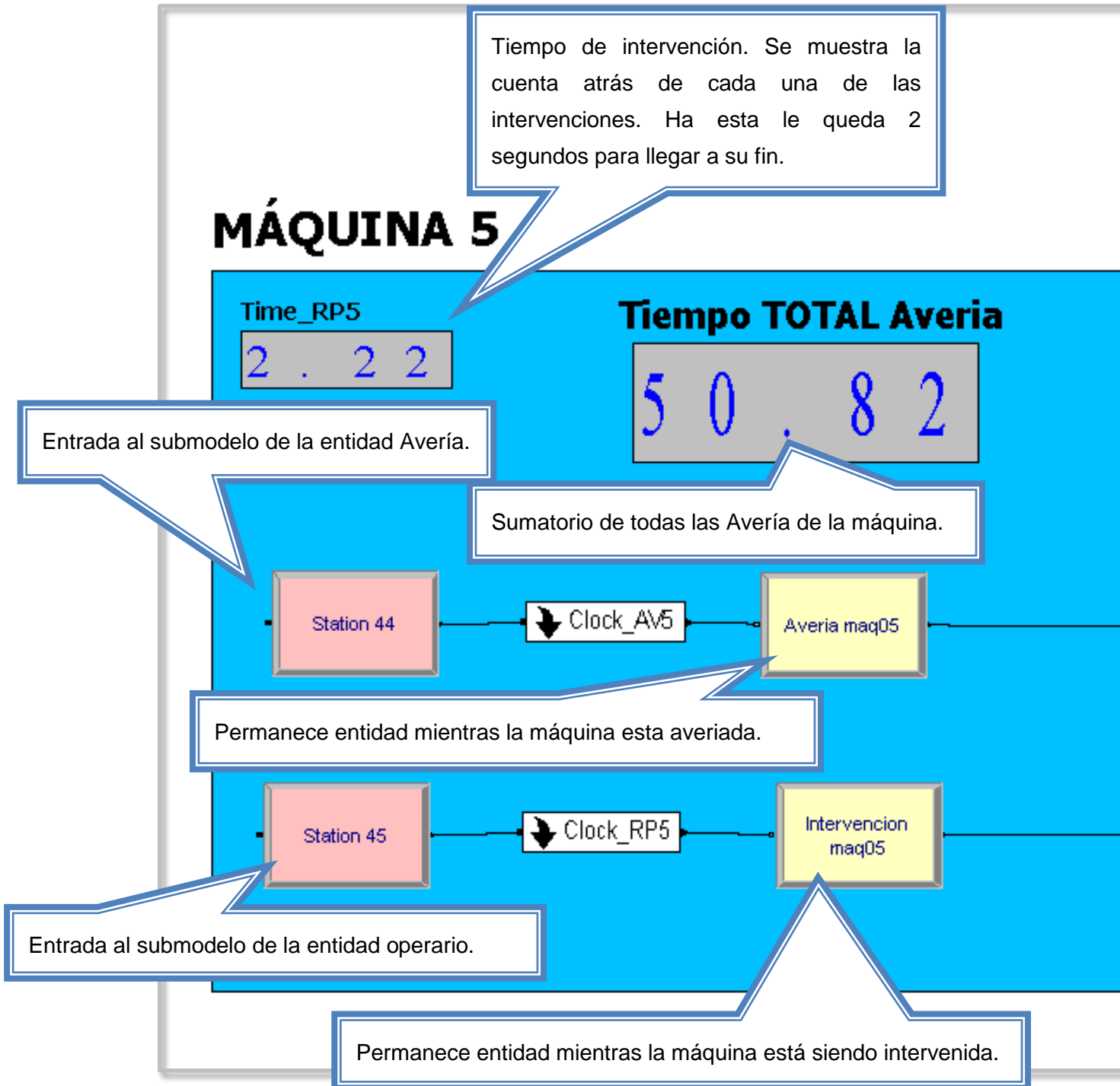
5.1.6.1a. Modelo Conceptual

En este modelo es necesario implantar dos contadores: uno que cuente el tiempo que la máquina esta averiada y otro para contar el tiempo de intervención de cada avería.



5.1.6.1b. Modelo Lógico

Es necesario crear un submodelo Máquina para cada una de las máquinas del sistema. De los 46 submodelos creados, a continuación, se muestra el de la máquina número 5.



Tiempo Simulación

07:00:48

Sumatorio de todas las intervenciones de la máquina.

Tiempo TOTAL intervención

39.78

COMEDOR

0 . 0 0

RELEVO

0 . 0 0

Se escribe el tiempo de avería en un archivo Excel

Record 47

Assign 296

Read/Write 20

Dispose 53

Decide 44

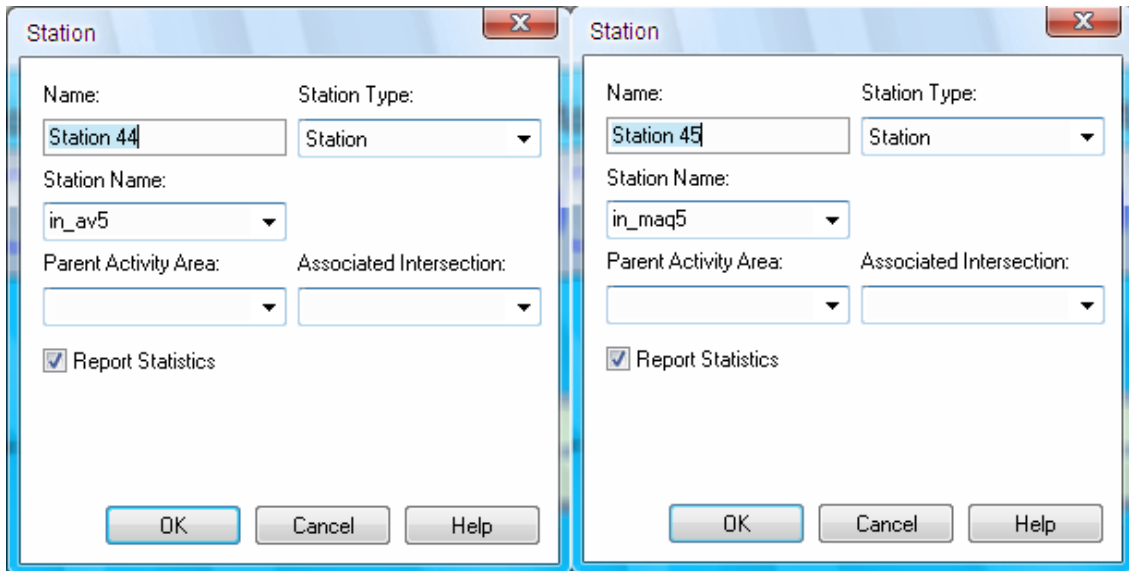
Assign 111

Route 53

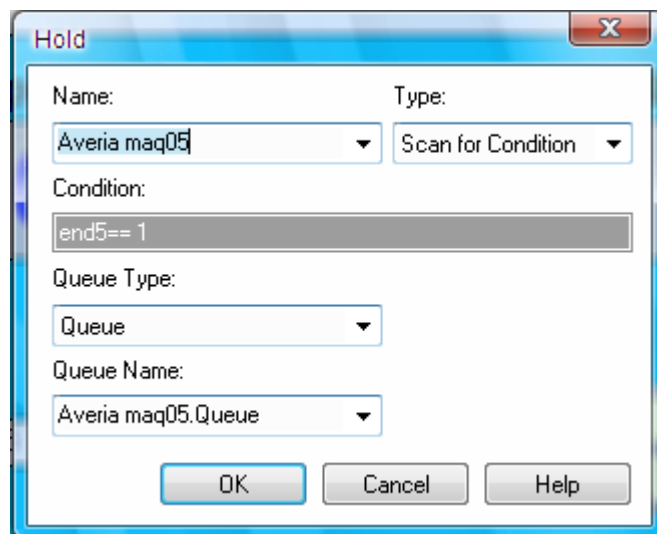
Si la entidad ha sido del Hold Intervención maq5 para hacer el relevo o comer el bocadillo se salta el bloque assign111.

Fin de avería. Al pasar por este bloque se libera la entidad avería del Hold Avería ma05.

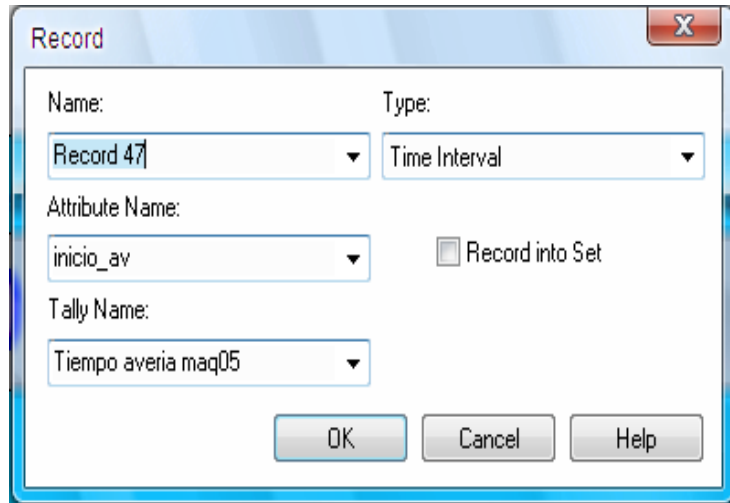
Definir entradas. El acceso al submodelo Máquina está compuesto por dos entradas o estaciones. Por una entran las entidades del tipo avería (in_av5) y por la otra entran las entidades del tipo operario (in_maq5).



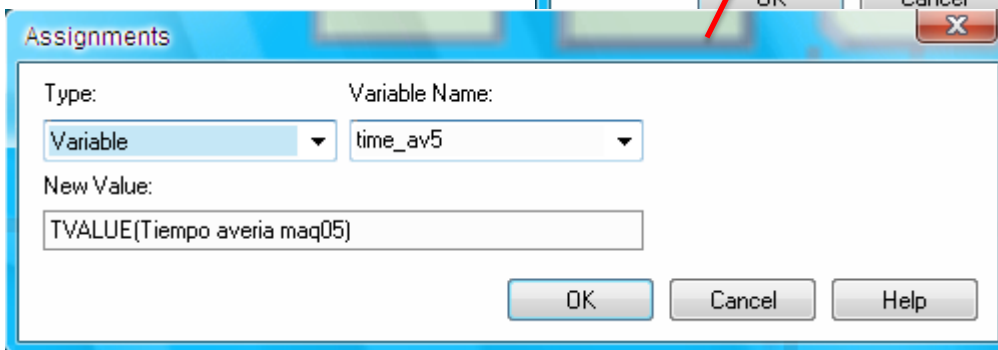
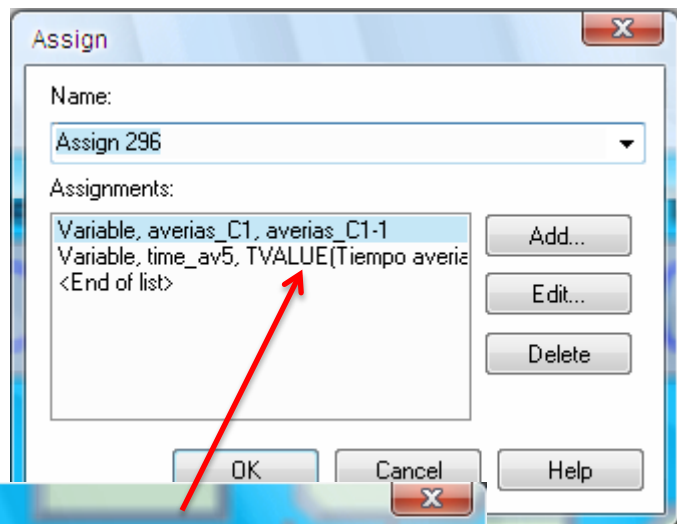
Avería. La entidad avería permanece en el *Hold* Averia maq05 hasta que la avería este reparada. La variable que indica el estado de la avería es end5 (para la máquina nº5), cuando este a 1 querrá decir que se da por finalizada la avería.



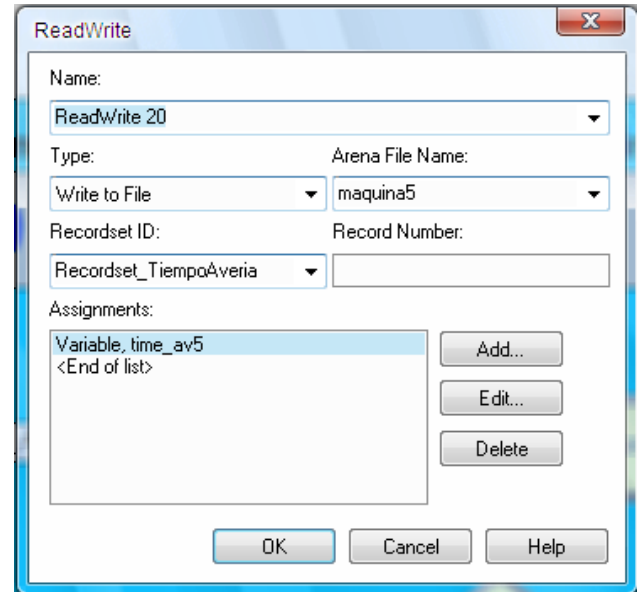
Guarda estadísticos. En el bloque Record47 se guardan los datos relacionados con el tiempo de las averías. Se guardará el intervalo de tiempo desde que se crea la entidad avería hasta que la entidad pasa por este bloque, es decir la duración de la avería.



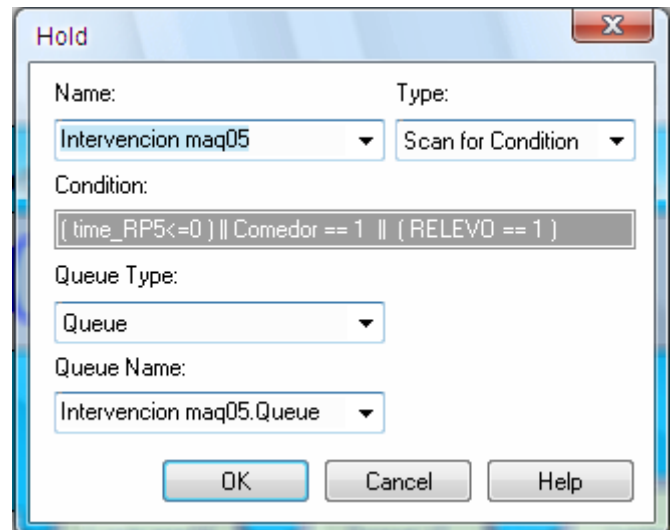
Variables. Assign296 realiza dos funciones: la primera es decrementar el contador de averías del centro 1 (averias_C1) y en segundo lugar prepara los datos para ser enviados al archivo *Excel*, guardando el tiempo de avería en la variable time_av5 (para la máquina nº5).



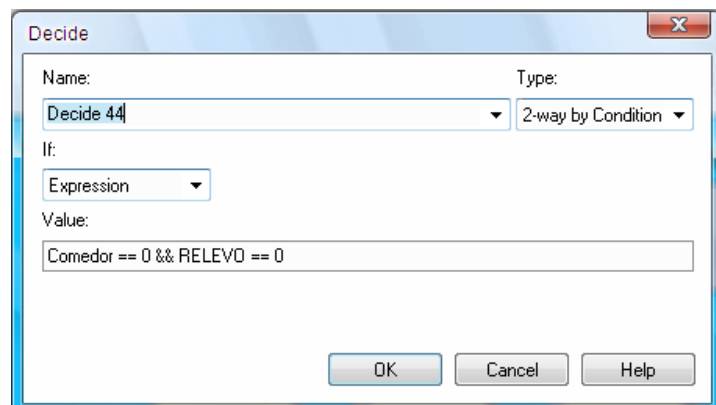
Escribir en archivo Excel. Una vez guardados los datos en la variable *time_av5* podemos enviarlos al archivo *Excel* con nombre *máquina5* (*máquina5.xls*). Los estadísticos nos darán el valor máximo, mínimo, promedio.... Pero no la duración de cada avería. De esta forma guardaremos, durante la simulación, la duración de cada avería para la máquina nº5 en un archivo *Excel*.



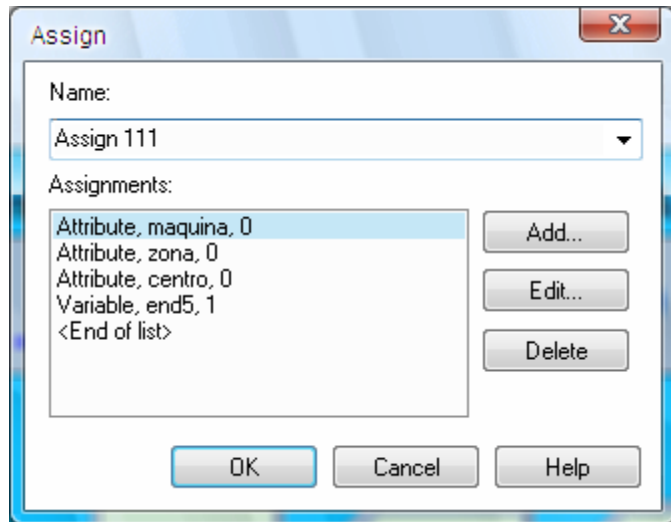
Intervenciones. Durante la intervención, la entidad operario permanece en el *Hold* Intervención *maq05*. Sólo hay 3 opciones para que la entidad salga del *Hold*: que la intervención se haya realizado (*time_RP5=0*), que sea la hora del relevo (*RELEVO=1*) o bien sea la hora del bocadillo (*Comedor=1*).



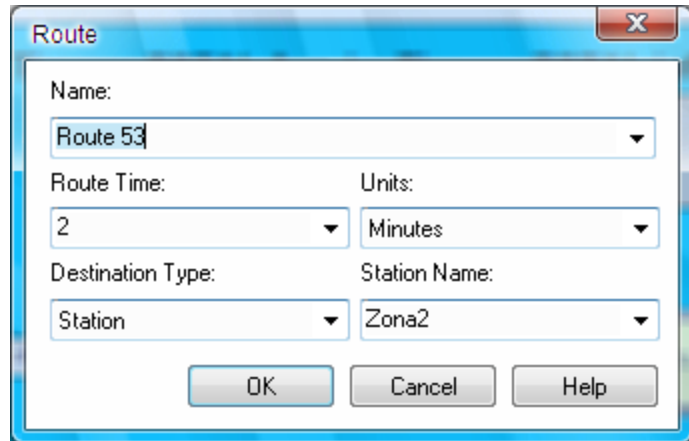
Comedor o Relevo. Si la entidad operario ha salido del bloque *Hold* por fin de intervención pasará por el bloque *Assign111*, en caso contrario saltará el bloque *Assign111*.



Fin avería. Una vez llegados a este bloque se da por finalizada la intervención de la máquina, y por lo tanto la reparación de la máquina. Se realiza un reset de los atributos de la entidad operario, antes de enviarla al taller, y se pone la variable end5 a 1 dando por finalizada la avería.



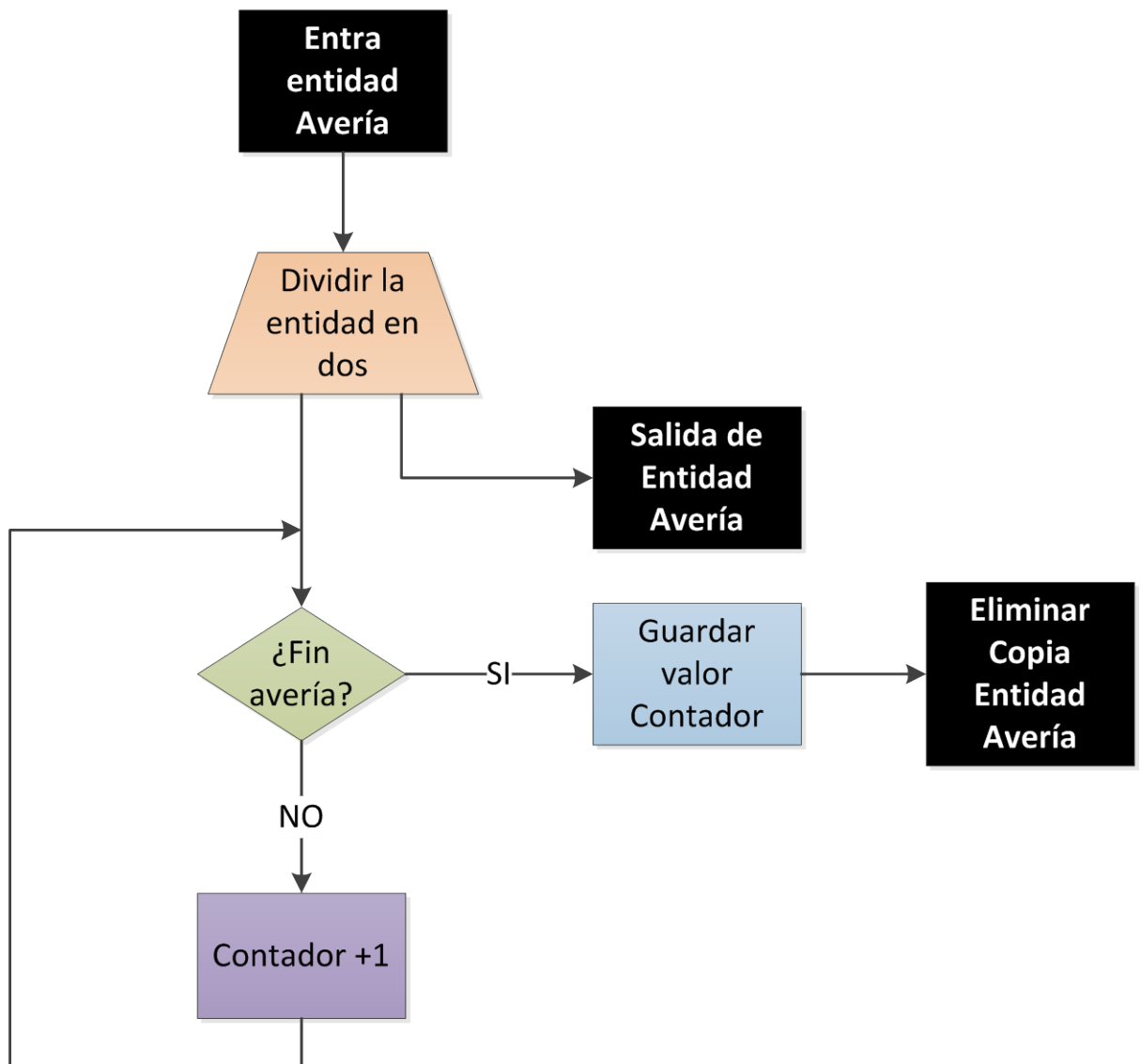
Vuelta al Taller. Una vez reparada la avería la entidad operario es enviada a la estación zona2 (zona donde pertenece la máquina nº5) y desde allí (al haber reseteado los atributos) volverá al taller a través del submodelo Desplazamiento.



5.1.6.2. Modelo Clock_AV y Clock_RP

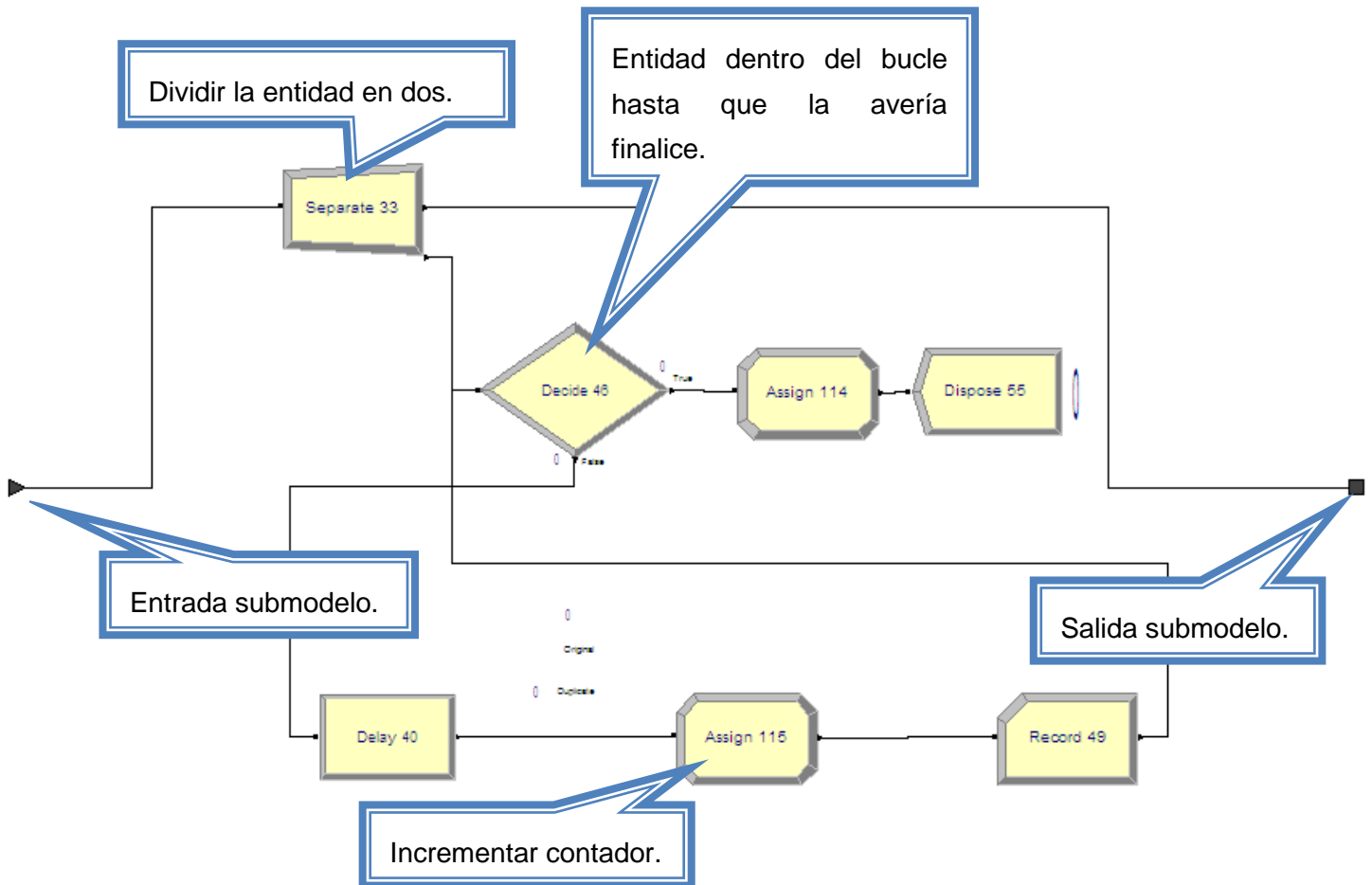
El modelo Clock_AV y el modelo Clock_RP son un cronometro diseñado para medir el tiempo que la entidad avería o Operario estan dentro del modelo Máquina. Clock_AV cromometra a la entidad avería y Clock_RP cronometra a la entidad operario.

5.1.6.2a. Modelo Conceptual



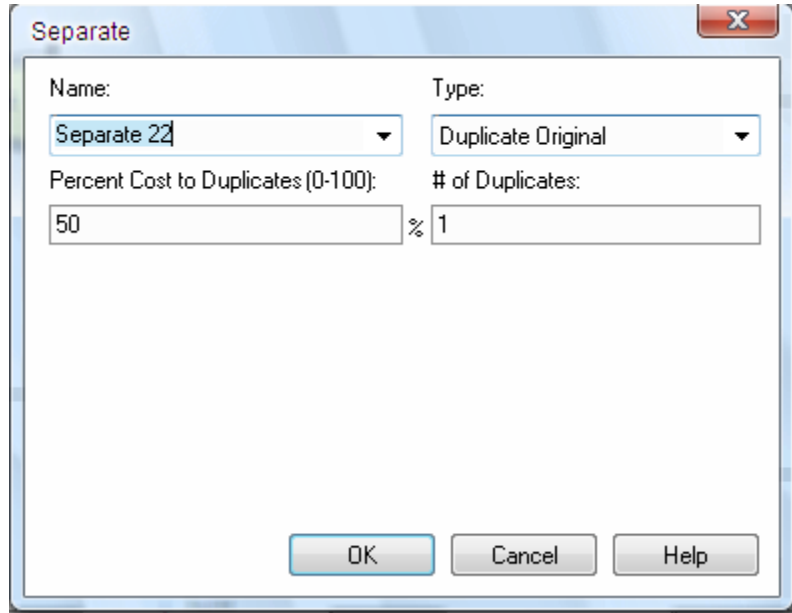
5.1.6.2b. Modelo Lógico

La estructura de los modelos lógicos Clock_AV y Clock_RP son exactamente la misma excepto que en el modelo Clock_RP no hay un bloque *assign* (*assign114*) a la salida del bloque Decide. Las variables que se procesan en cada modelo son diferentes. En Clock_AV se procesan las variables relacionadas con el tiempo avería y en Clock_RP las variables relacionadas con el tiempo de reparación.

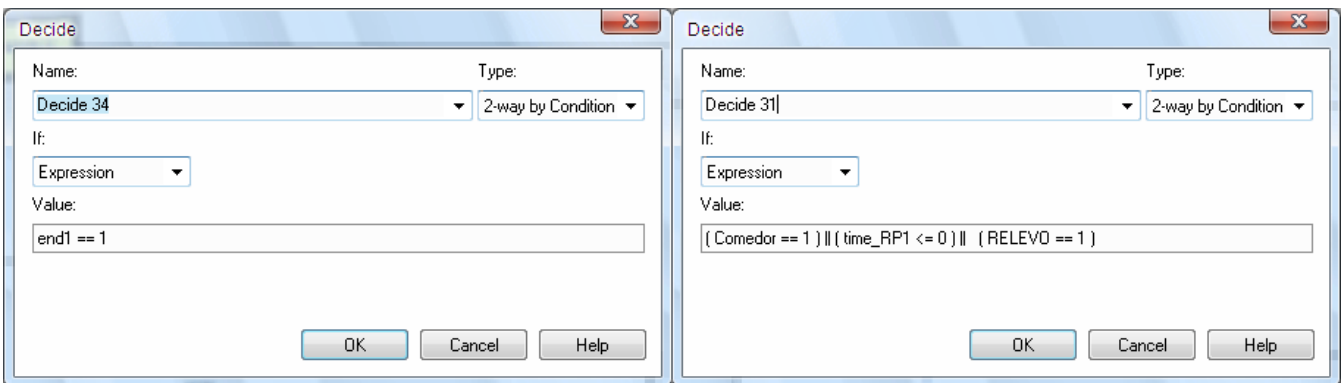


Duplicar las entidades.

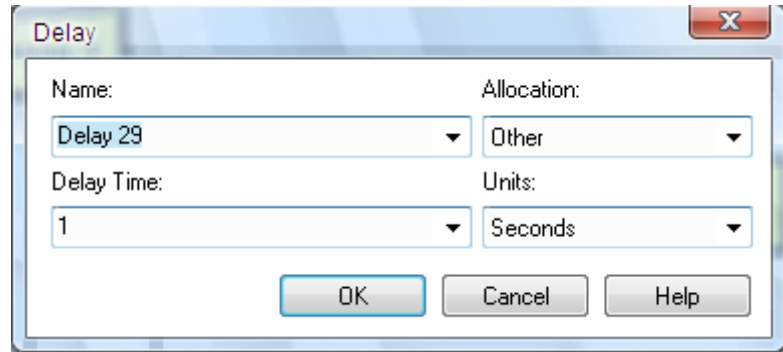
Debido que la misma entidad tiene que estar dentro del bucle y en el *hold* avería máquina o Intervención máquina del modelo máquina, es necesario duplicar la entidad. Una de ellas permanecerá en el bucle y la otra irá al *hold* correspondiente a través de la salida del submodelo.



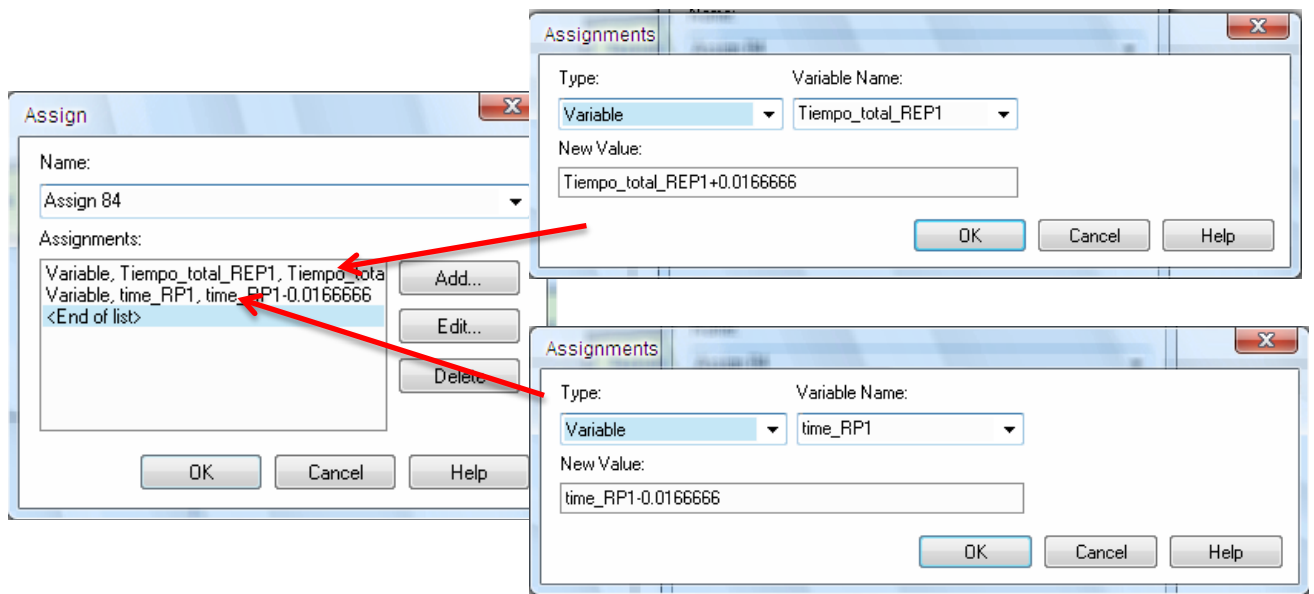
Fin de bucle. El bloque Decide decide cuando se da por finalizado el bucle. Cuando en el decide34 (modelo Clock_AV) la avería llegue a su fin (end1=1, para la máquina nº1) la entidad saldrá del bucle dando por finalizada la cuenta. Lo mismo sucede con decide31 (modelo Clock_RP), cuando termine la intervención de la avería (time_RP1 = 0, para la máquina nº1), sea la hora del bocado (Comedor=1) o la hora del relevo (RELEVO=1) la entidad saldrá del bucle dando por finalizada la cuenta.



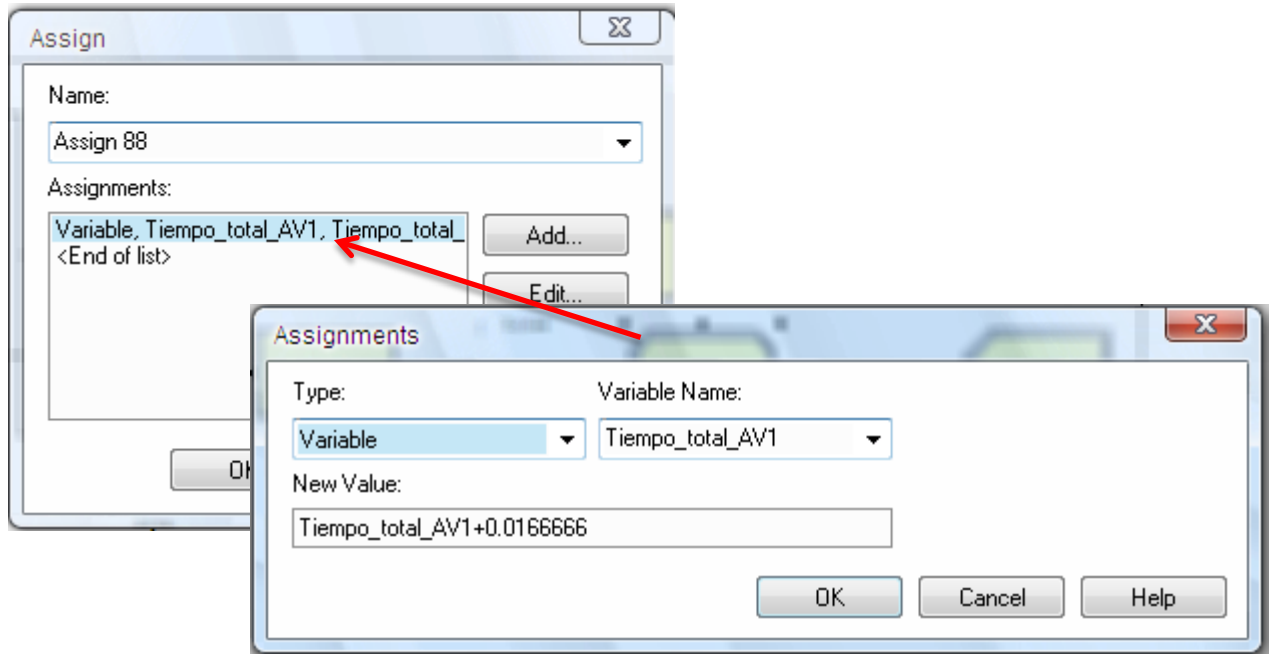
Contar 1 segundo. El Delay retiene la entidad un segundo. Este delay se programa igual en los dos submodelos (Clock_AV y Clock_RP).



Assign Clock_RP. Después de retener la entidad 1 segundo hay que incrementar 1 segundo la variable Tiempo_total_RP1 y decrementar la variable time_RP1. Esta acción se realiza a través del bloque Assign84. Es importante tener en cuenta que la unidad de tiempo de las variables es en minutos y los incrementos son en segundos, la relación será la siguiente 1 segundo es 0.01666 minutos.



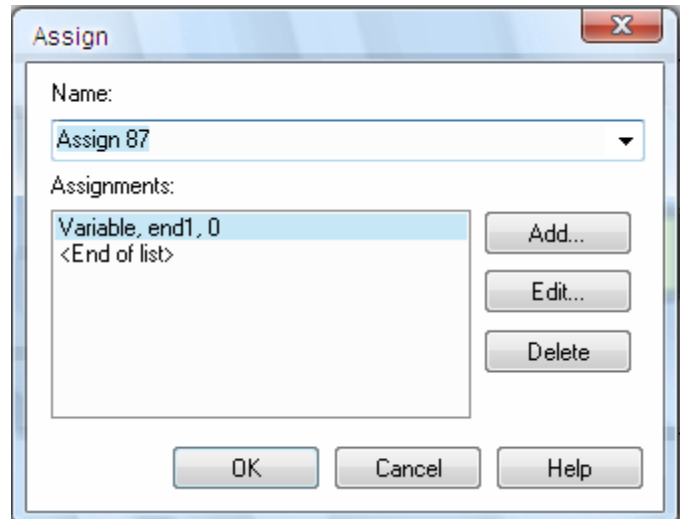
Assign Clock_AV. Después de retener la entidad 1 segundo hay que incrementar 1 segundo la variable Tiempo_total_AV1. Esta acción se realiza a través del bloque *Assign88*.



Guardar estadísticos. En el submodelo Clock_RP1 se guarda el valor de la variable Tiempo_total_REP1 (Record27) y en el submodelo Clock_AV1 se guarda el valor de la variable Tiempo_Total_AV1 (Record31).

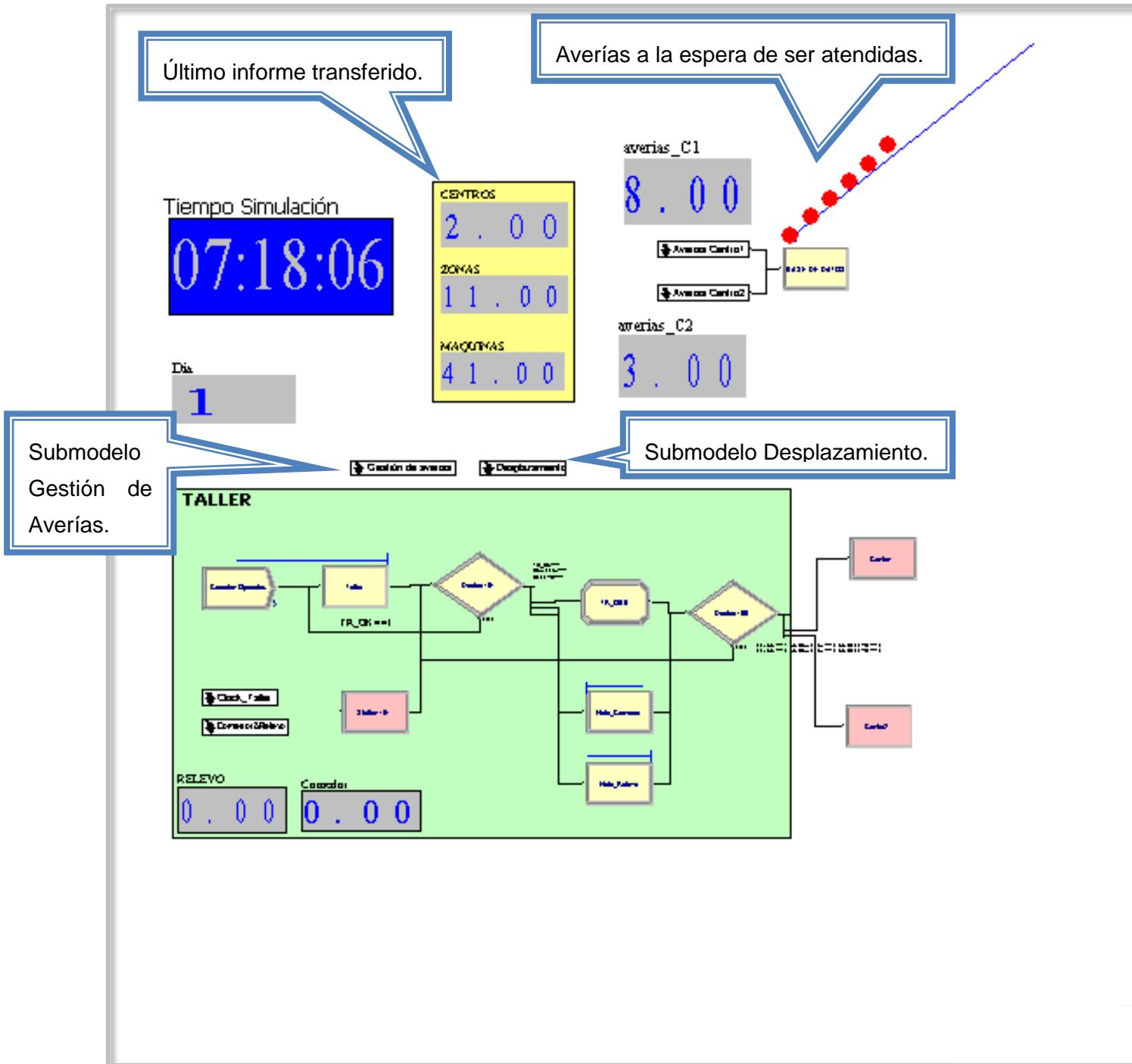


Resetear variables. La condición para salir del bucle, a través del bloque Decide, es que la variable end1 se 1 (variable fin de avería). Una vez fuera del bucle volvemos a poner a 0 esta variable. Esta función sólo se realiza en el submodelo Clock_AV.



5.2. Diseñar modelo final

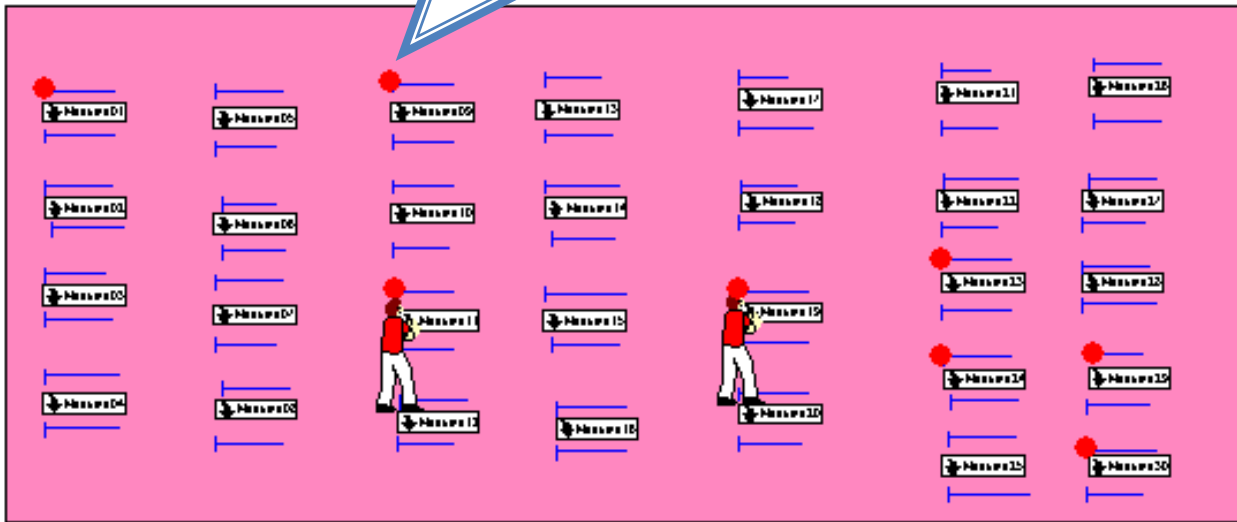
Una vez diseñados, validados y verificados todos los submodelos, por separado, es la hora de unirlos y ver cómo interactúan entre ellos. Posiblemente sea necesario realizar alguna pequeña modificación en alguno de ellos para que el sistema funcione con fluidez.



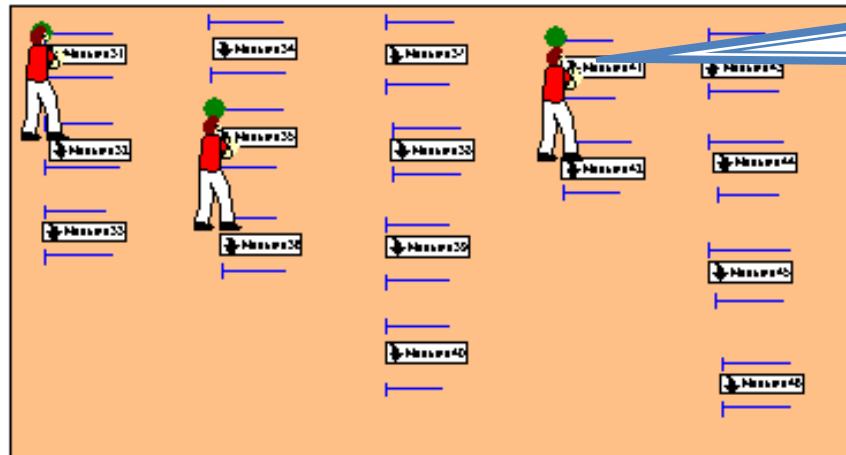
Tenemos 8 averías en el Centro 1 y 3 en el Centro2. Las 3 averías del Centro 2 están siendo atendidas por 3 de los 5 operarios disponibles, los otros dos operarios están reparando dos máquinas del Centro 1. En la cola de la BASE DE DATOS, esperan las 6 averías restantes. La prioridad sobre la elección de las averías está basada en el sistema FIFO.

Máquina averiada a la espera de ser atendidas.

CENTRO 1



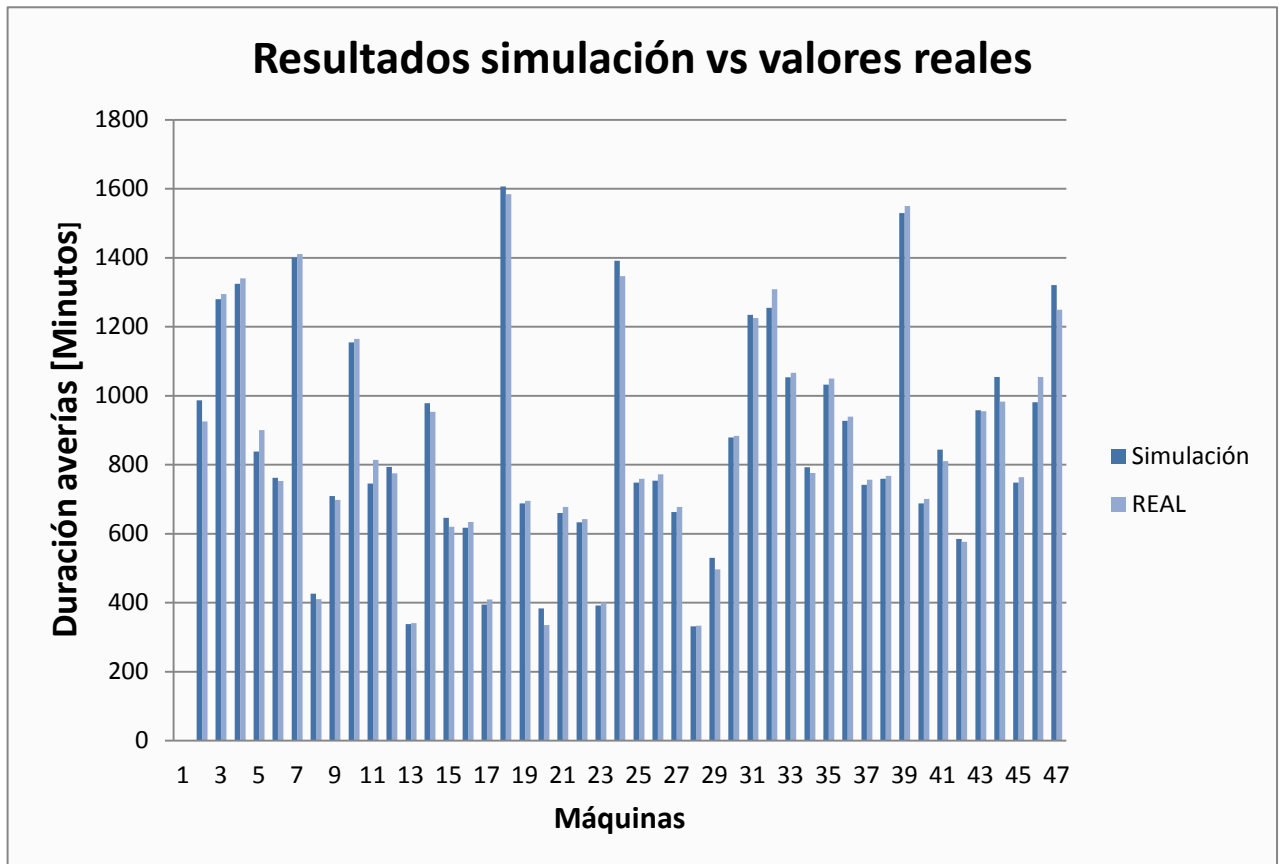
CENTRO 2



Operario reparando una máquina averiada.

5.3. Validar modelo final

Una vez se han vinculado todos los submodelos con éxito damos por verificado el modelo final. El siguiente paso es validar el modelo, para ello es necesario realizar una simulación lo más parecida al sistema real. En el sistema real trabaja un personal compuesto por 5 personas que son responsables de reparar todas las averías eléctricas de los dos centros. Así pues, se realizará una simulación con 5 operarios y los resultados se compararán con los valores reales facilitados por el taller.



CENTRO 1

Máquina	Tiempo Intervención	Simulación con 5 operarios	REAL
1	690	987	925
2	832	1280	1295
3	896	1324	1340
4	528	838	900
5	519	762	753
6	1.061	1401	1411
7	266	426	410
8	470	709	698
9	783	1155	1165
10	536	745	814
11	555	794	775
12	231	338	341
13	694	978	953
14	538	646	620
15	423	617	634
16	280	394	409
17	1.154	1607	1584
18	425	688	695
19	280	383	335
20	379	660	678
21	480	633	642
22	308	392	401
23	1.057	1391	1347
24	592	748	759
25	606	754	772
26	562	663	678
27	256	331	333
28	376	530	497
29	532	879	884
30	868	1234	1225
TOTAL	17.177	24.078	24.055

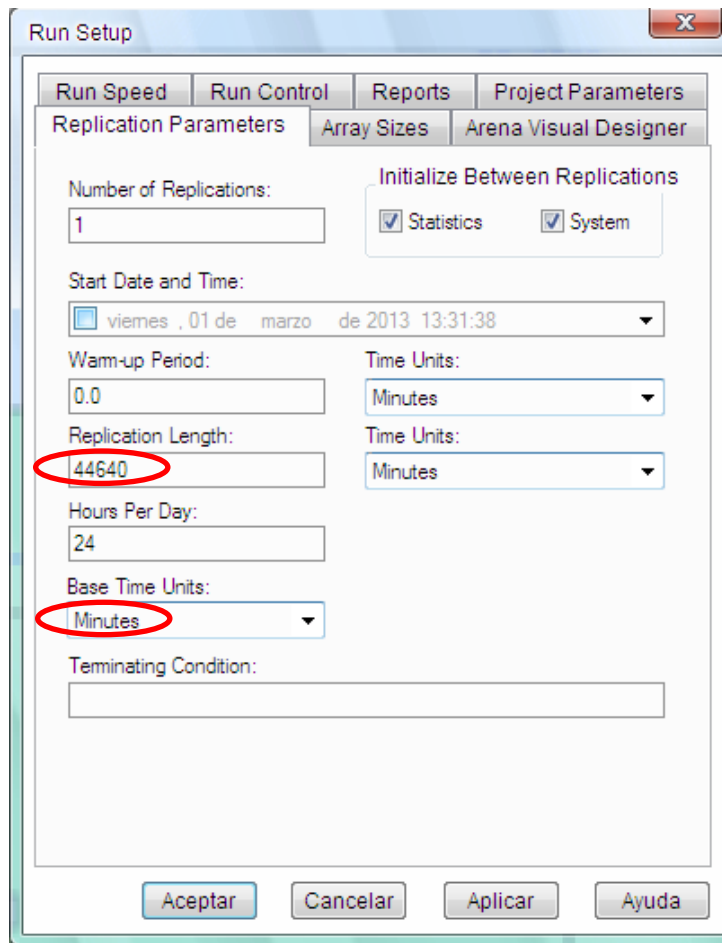
CENTRO 2			
Máquina	Tiempo Intervención	Simulación con 5 operarios	REAL
31	985	1255	1309
32	621	1053	1066
33	501	793	776
34	700	1032	1050
35	560	927	939
36	437	742	756
37	496	759	768
38	1.043	1530	1550
39	391	688	701
40	544	844	810
41	403	585	576
42	719	958	955
43	848	1054	983
44	565	748	764
45	697	981	1054
46	764	1321	1249
TOTAL	10.274	15.271	15.306

El haber leído los valores reales directamente del historial (archivos *Excel*) en el submodelo *Averías* ha provocado que los resultados obtenidos de la simulación sean similares a los datos facilitados por el taller. Por lo tanto podemos validar satisfactoriamente el modelo final. Una vez validado el modelo con el cual se va a experimentar, ya podemos realizar todas las simulaciones planificadas.

6. SIMULACIONES

Verificado y validado el modelo final, es hora de realizar los experimentos planificados, simulando los escenarios y situaciones que nos permitan analizar las diferentes opciones y determinar cuál es la solución óptima. Las variables a estudiar son la duración de las averías y el tiempo ocioso en el taller en función del número de operarios disponibles. Los escenarios planteados van a ser dos: un único taller para los dos centros y un taller para cada centro.

Antes de realizar cualquier simulación es importante ajustar las condiciones de simulación. Para ello vamos a la opción Run>Setup y vamos a la pestaña *Replication Parameters*. Dado que las simulaciones son muy largas pondremos que solo ejecute la simulación una vez (*Number Of Replication*). Programamos la duración de la simulación (*Replication Length*) en 44640 minutos, 31 días. Y por último la base de tiempos que será en minutos.



6.1. Averías Eléctricas

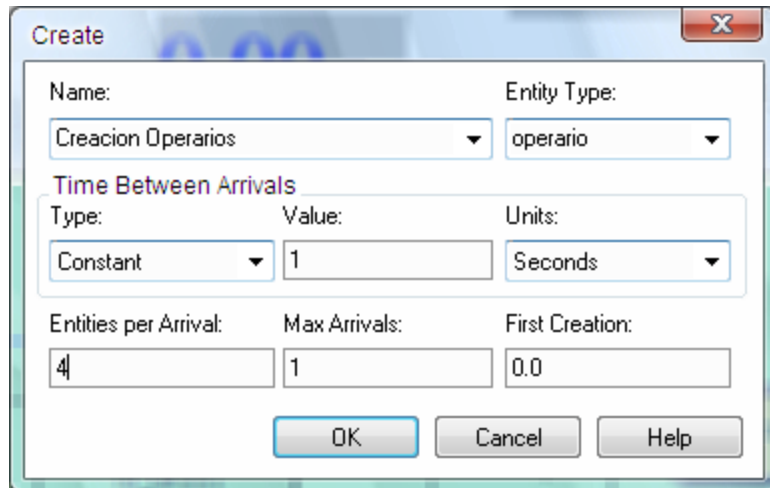
6.1.1. Sistema Taller Único. Sistema actual

Para encontrar la solución óptima del sistema actual se enfocará el problema de dos formas diferentes:

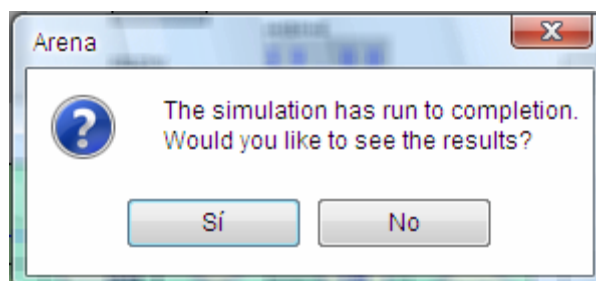
- En la primera se variará la capacidad del taller, aumentando y disminuyendo el número de operarios de mantenimiento para ver cómo afectan estas variaciones a la duración de las averías.
- La segunda opción consistirá en variar la prioridad de las máquinas y ver cómo afectan estas variaciones al tiempo de las diferentes averías.

6.1.1.1. Simulación con cuatro Operarios

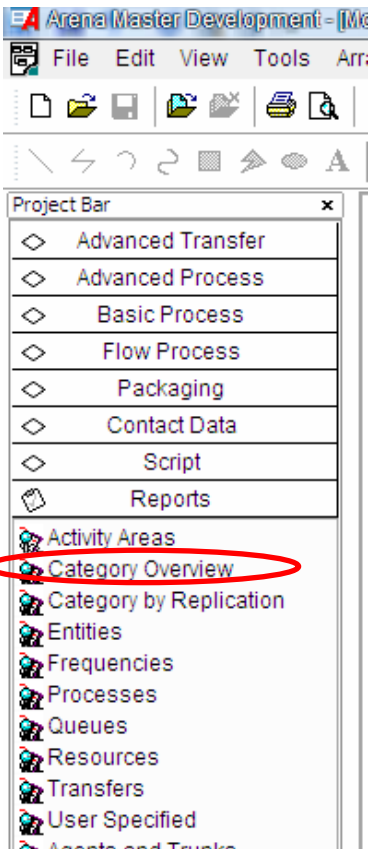
Partiendo de la situación actual donde el taller está formado por cinco eléctricos, se realizará la simulación con un personal de cuatro operarios. Para ello iremos al submodelo Taller y cambiaremos el número de las entidades de llegada del créate 'Creación Operarios' a 4, guardamos y salimos del bloque.



Una vez modificado el RunSetup activamos la simulación a través de botón (▶) de la barra de herramientas, Run> Go del menú o F5. El programa verificará el modelo lógico de forma automática antes de simular y posteriormente arrancará la simulación. Para que la simulación sea más rápida (sin ejecutar las animaciones) podemos pulsar el botón (▶▶) o ir a Run> Fast-Forward. Una vez completada la simulación saldrá el siguiente mensaje, pulsaremos el sí y analizaremos los informes (Reports) generados por ARENA®.



Antes de analizar los tiempos de las averías es necesario saber si la carga o número de averías ha si excesiva para la capacidad programada (4 operarios). Para ello abrimos la pestaña Reports y seleccionamos Category Overview.



Category Overview

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Queue

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Averia maq19.Queue	0.00858498	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq20.Queue	0.00858498	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq21.Queue	0.00858498	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq22.Queue	0.00858498	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq23.Queue	0.00858498	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq24.Queue	0.00858498	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq25.Queue	0.00858498	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq26.Queue	0.01485962	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq27.Queue	0.00741861	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq28.Queue	0.01187836	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq29.Queue	0.02453778	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq30.Queue	0.03267548	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq31.Queue	0.02852897	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq32.Queue	0.02613986	(Insufficient)	0.00	2.0000
Averia maq33.Queue	0.01882579	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq34.Queue	0.02673872	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq35.Queue	0.02389300	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq36.Queue	0.01320736	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq37.Queue	0.01983386	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq38.Queue	0.03645871	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq39.Queue	0.01842705	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq40.Queue	0.01891316	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq41.Queue	0.01512843	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq42.Queue	0.02146655	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq43.Queue	0.02361634	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq44.Queue	0.01676075	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq45.Queue	0.02198178	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq46.Queue	0.03199671	(Insufficient)	0.00	2.0000
SE DE DATOS.Queue	0.1493	(Insufficient)	0.00	11.0000
LA_AV1.Queue	0.9654	(Correlated)	0.00	1.0000

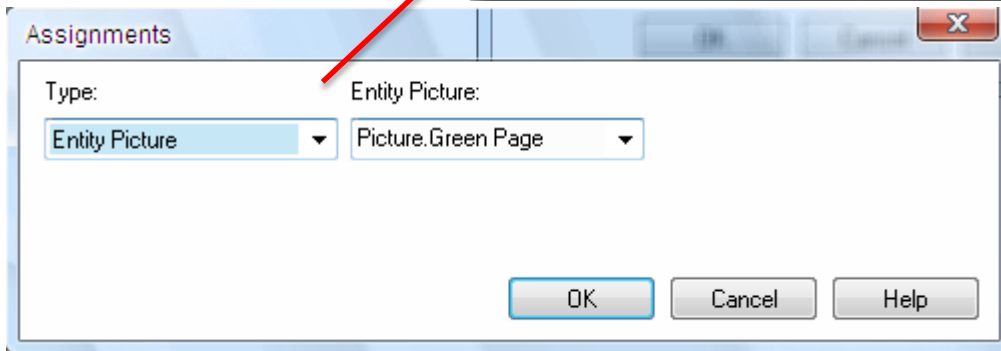
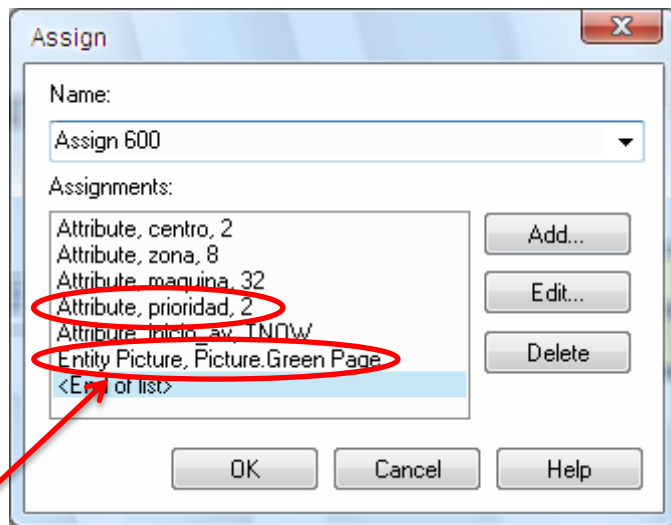
Buscamos el informe que muestra el número de entidades en espera.

Cuando un bloque tiene más de una entidad esperando en la cola es porque durante la simulación ha habido más de una avería a la vez para esa máquina. Es el caso de la máquina 32 y 46. Por lo tanto la capacidad del taller es baja y es necesario aumentarla. La capacidad mínima del taller será de 5 operarios.

6.1.1.1a. Variar prioridad máquinas

Las averías se gestionan según las necesidades de producción. Es lógico pensar que en cada avería el responsable del taller y el responsable de producción han tomado siempre la opción acertada, dando prioridad a las máquinas más relevantes en el momento de la avería. En el historial de averías facilitado por el taller no se hace referencia a la situación productiva en el momento de cada avería, por ese motivo es complicado decidir la prioridad a la hora de reparar las máquinas. Por otro lado sería interesante realizar simulaciones, en un futuro, de otros meses para determinar si sucede lo mismo con las dos máquinas del centro 2 (máquinas 32 y 46), de ser así podríamos estudiar la posibilidad de priorizar la reparación de las averías para estas dos máquinas. Para el mes de Marzo, que es el que se está simulando, podemos decir que considerar prioritaria la reparación de estas máquinas permite trabajar con una capacidad de 4 operarios.

Para variar la prioridad de las máquinas 32 y 36, vamos a los submodelos Avería máquina de cada una de ellas y modificamos el atributo prioridad (poner un 2) de la entidad avería. También se cambiará la imagen de la entidad para diferenciarla del resto de averías.

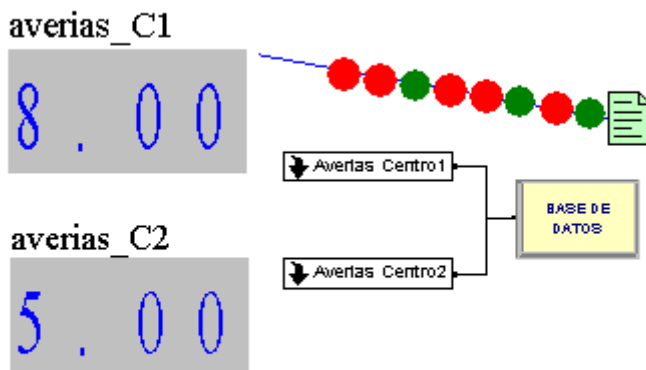


En segundo lugar hay que cambiar el tipo de extracción de la base de datos. Para ello vamos a la Project Bar> Basic Process>Queue, buscamos la cola de del bloque BASE DE DATOS y cambiamos del tipo FIFO al tipo 'atributo con valor más alto'. A partir de ahora el orden de extracción depende del atributo prioridad. Siendo las primeras entidades a extraer las que tengan el valor más alto.

The Project Bar shows the hierarchy: Advanced Transfer > Advanced Process > Basic Process. Under Basic Process, there are icons for Entity, Queue, and Resource. A red arrow points from the Queue icon to the configuration table below.

	Name	Type	Attribute Name	Shared	Report Statistics
1	BASE DE DATOS.Queue	Highest Attribute Value	prioridad		<input checked="" type="checkbox"/>
2	COLA_AV1.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	COLA_TALLER.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Al realizar la simulación vemos como la avería con prioridad (máquina 32) se pone al inicio de la cola y será la próxima en ser atendida.



El color verde representa a las averías del Centro 2. Las bolas representan a las averías sin prioridad y el folio verde a las averías con prioridad.

El resultado de la simulación muestra que no hay máquinas con más de una avería a la vez, por lo tanto la capacidad del taller (4 operarios) es suficiente para cubrir la carga de faena.

AVERÍA ELÉCTRICA			CENTRO 1	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
1	10	690	297	1007
2	14	832	448	1494
3	11	896	428	1330
4	8	528	310	939
5	7	519	243	966
6	9	1.061	340	1488
7	5	266	160	442
8	7	470	239	854
9	11	783	372	1379
10	9	536	209	745
11	9	555	239	807
12	6	231	107	338
13	10	694	284	978
14	5	538	108	646
15	8	423	194	617
16	6	280	114	394
17	10	1.154	453	1767
18	8	425	263	847
19	6	280	103	383
20	7	379	281	950
21	10	480	153	707
22	6	308	84	392
23	11	1.057	334	1448
24	6	592	156	772
25	6	606	148	754
26	10	562	101	663
27	5	256	75	331
28	6	376	154	530
29	8	532	347	1111
30	11	868	366	1478
TOTAL	245	17.177	7.114	26.350

AVERÍA ELÉCTRICA			CENTRO2	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
31	13	985	270	1274
32	10	621	432	924
33	9	501	292	840
34	9	700	332	1226
35	10	560	367	1078
36	8	437	305	861
37	7	496	263	928
38	9	1.043	487	1638
39	8	391	297	848
40	8	544	300	844
41	7	403	182	675
42	7	719	239	958
43	7	848	206	1054
44	6	565	183	748
45	8	697	284	981
46	9	764	557	1123
TOTAL	135	10.274	4.997	15.999
TOTAL	380	27.451	12.111	42.349

A la espera de realizar futuras simulaciones, de otros meses, para determinar si este suceso se repite o es casual, se considera que una capacidad de 4 operarios no es suficiente para cubrir las averías generadas por el sistema. Por lo tanto el número mínimo de operarios de mantenimiento es de 5 operarios.

6.1.1.2. Simulación con cinco Operarios

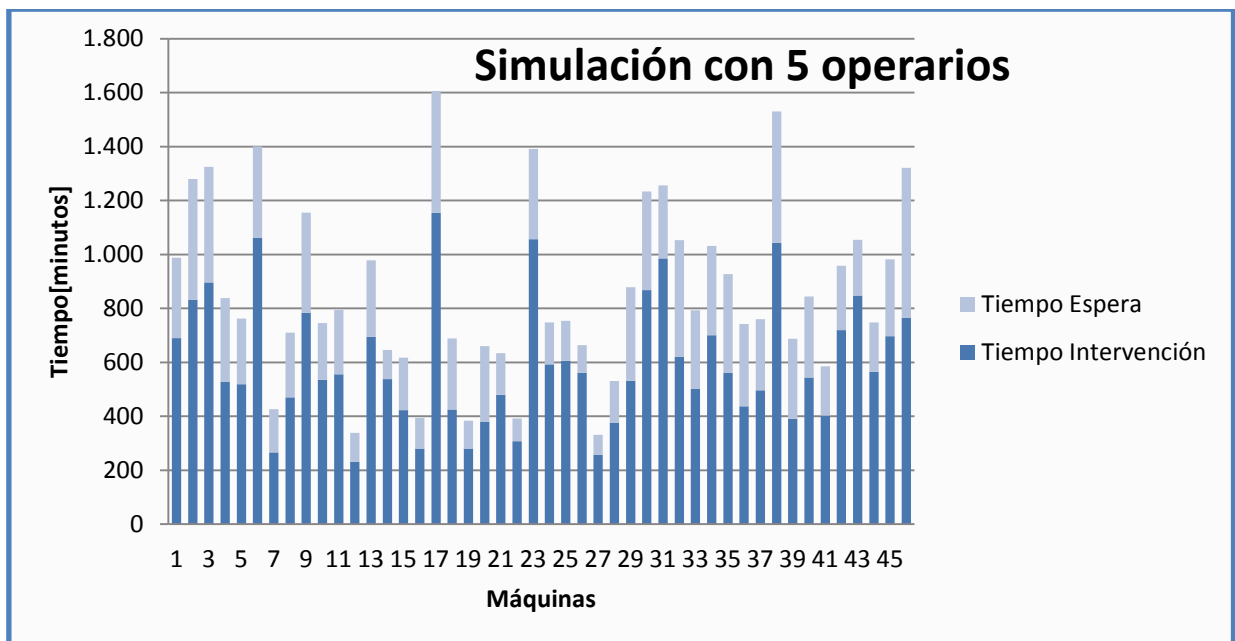
La simulación con 5 operarios representa al sistema actual del taller.

AVERÍA ELÉCTRICA				CENTRO 1
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
1	10	690	297	987
2	14	832	448	1280
3	11	896	428	1324
4	8	528	310	838
5	7	519	243	762
6	9	1.061	340	1401
7	5	266	160	426
8	7	470	239	709
9	11	783	372	1155
10	9	536	209	745
11	9	555	239	794
12	6	231	107	338
13	10	694	284	978
14	5	538	108	646
15	8	423	194	617
16	6	280	114	394
17	10	1.154	453	1607
18	8	425	263	688
19	6	280	103	383
20	7	379	281	660
21	10	480	153	633
22	6	308	84	392
23	11	1.057	334	1391
24	6	592	156	748
25	6	606	148	754
26	10	562	101	663
27	5	256	75	331
28	6	376	154	530
29	8	532	347	879
30	11	868	366	1234
TOTAL	245	17.177	7.114	24.291

AVERÍA ELÉCTRICA

CENTRO2

Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
31	13	985	270	1274
32	10	621	432	924
33	9	501	292	840
34	9	700	332	1226
35	10	560	367	1078
36	8	437	305	861
37	7	496	263	928
38	9	1.043	487	1638
39	8	391	297	848
40	8	544	300	844
41	7	403	182	675
42	7	719	239	958
43	7	848	206	1054
44	6	565	183	748
45	8	697	284	981
46	9	764	557	1123
TOTAL	135	10.274	4.997	15.271
TOTAL	380	27.451	12.111	39.562



6.1.1.3. Simulación con seis Operarios

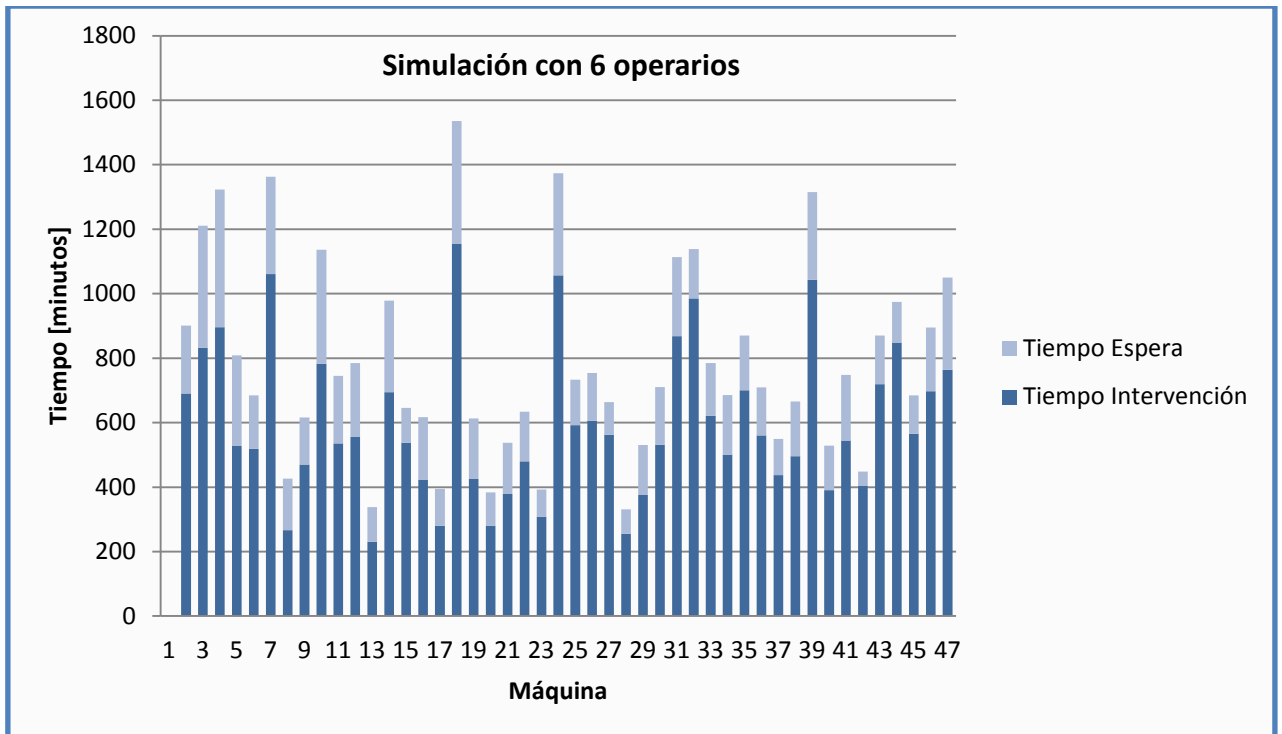
La simulación con 6 operarios da los siguientes resultados:

AVERÍA ELÉCTRICA			CENTRO 1	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
1	10	690	211	901
2	14	832	378	1.210
3	11	896	426	1.322
4	8	528	280	808
5	7	519	166	685
6	9	1.061	301	1.362
7	5	266	160	426
8	7	470	146	616
9	11	783	353	1.136
10	9	536	209	745
11	9	555	229	784
12	6	231	107	338
13	10	694	284	978
14	5	538	108	646
15	8	423	194	617
16	6	280	114	394
17	10	1.154	382	1.536
18	8	425	188	613
19	6	280	103	383
20	7	379	158	537
21	10	480	153	633
22	6	308	84	392
23	11	1.057	316	1.373
24	6	592	141	733
25	6	606	148	754
26	10	562	101	663
27	5	256	75	331
28	6	376	154	530
29	8	532	179	711
30	11	868	245	1.113
TOTAL	245	17.177	6.099	23.276

AVERÍA ELÉCTRICA

CENTRO2

Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
31	13	985	154	1.139
32	10	621	163	784
33	9	501	184	685
34	9	700	170	870
35	10	560	149	709
36	8	437	112	549
37	7	496	169	665
38	9	1.043	272	1.315
39	8	391	137	528
40	8	544	204	748
41	7	403	45	448
42	7	719	151	870
43	7	848	126	974
44	6	565	119	684
45	8	697	198	895
46	9	764	285	1.049
TOTAL	135	10.274	2.641	12.915
TOTAL	380	27.451	8.741	36.192



6.1.1.4. Simulación con siete Operarios

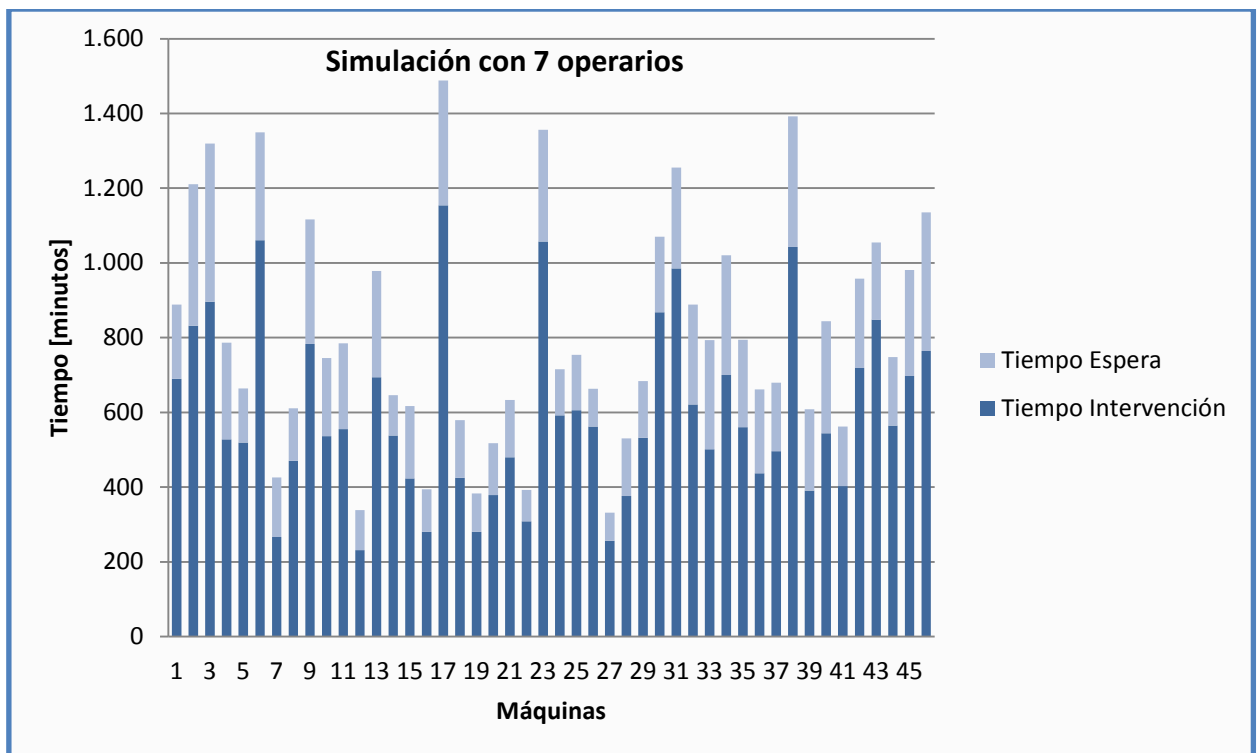
La simulación con 7 operarios da los siguientes resultados:

AVERÍA ELÉCTRICA				CENTRO 1
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
1	10	690	198	888
2	14	832	379	1.211
3	11	896	423	1.319
4	8	528	258	786
5	7	519	145	664
6	9	1.061	288	1.349
7	5	266	160	426
8	7	470	141	611
9	11	783	333	1.116
10	9	536	209	745
11	9	555	229	784
12	6	231	107	338
13	10	694	284	978
14	5	538	108	646
15	8	423	194	617
16	6	280	114	394
17	10	1.154	334	1.488
18	8	425	154	579
19	6	280	103	383
20	7	379	138	517
21	10	480	153	633
22	6	308	84	392
23	11	1.057	299	1.356
24	6	592	123	715
25	6	606	148	754
26	10	562	101	663
27	5	256	75	331
28	6	376	154	530
29	8	532	151	683
30	11	868	202	1.070
TOTAL	245	17.177	5.797	22.974

AVERÍA ELÉCTRICA

CENTRO2

Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
31	13	985	270	1.255
32	10	621	267	888
33	9	501	292	793
34	9	700	320	1.020
35	10	560	234	794
36	8	437	224	661
37	7	496	183	679
38	9	1.043	349	1.392
39	8	391	217	608
40	8	544	300	844
41	7	403	159	562
42	7	719	239	958
43	7	848	206	1.054
44	6	565	183	748
45	8	697	284	981
46	9	764	371	1.135
TOTAL	135	10.274	4.103	14.377
TOTAL	380	27.451	9.900	37.351



Al realizar la simulación con siete operarios nos damos cuenta que el tiempo total de averías es superior al obtenido en la simulación realizada con seis operarios. El valor máximo de la capacidad será de 6 operarios.

6.1.1.5. Analizar y comparar resultados

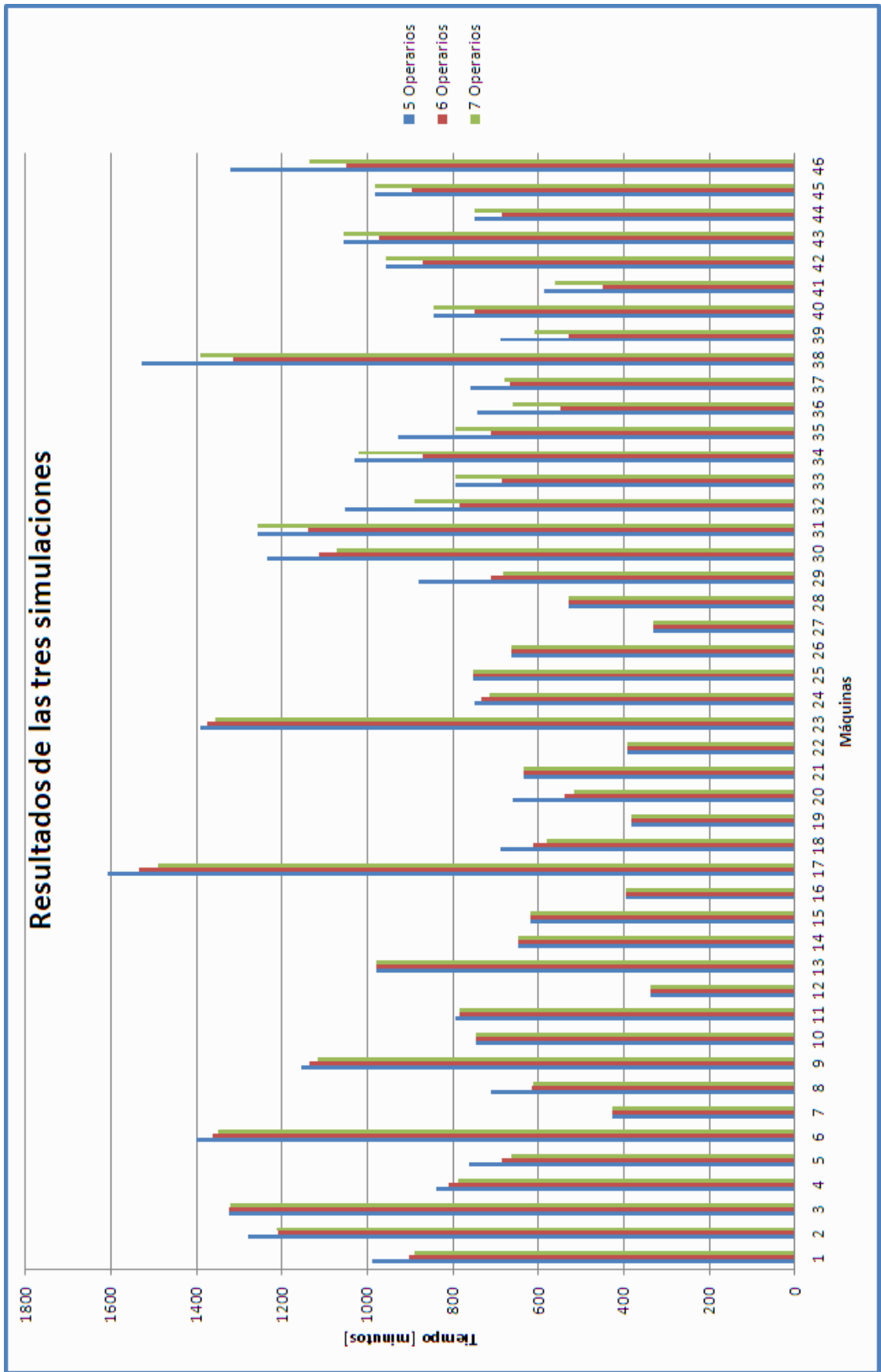
Una vez realizadas todas las simulaciones, es hora de recopilar y analizar toda la información que nos aportan los informes que ha creado ARENA®. Las variables que se van a analizar y comparar van a ser: Tiempo Avería y Tiempo ocioso.

AVERÍA ELÉCTRICA		CENTRO 1		
Máquina	Tiempo Intervención	Tiempo Avería		
		5 Operarios	6 Operarios	7 Operarios
1	690	987	901	888
2	832	1280	1210	1211
3	896	1324	1322	1319
4	528	838	808	786
5	519	762	685	664
6	1.061	1401	1362	1349
7	266	426	426	426
8	470	709	616	611
9	783	1155	1136	1116
10	536	745	745	745
11	555	794	784	784
12	231	338	338	338
13	694	978	978	978
14	538	646	646	646
15	423	617	617	617
16	280	394	394	394
17	1.154	1607	1536	1488
18	425	688	613	579
19	280	383	383	383
20	379	660	537	517
21	480	633	633	633
22	308	392	392	392
23	1.057	1391	1373	1356
24	592	748	733	715
25	606	754	754	754
26	562	663	663	663
27	256	331	331	331
28	376	530	530	530
29	532	879	711	683
30	868	1234	1113	1070
TOTAL	17.177	24.291	23.276	22.974

AVERÍA ELÉCTRICA		CENTRO 2		
Máquina	Tiempo Intervención	Tiempo Avería		
		5 Operarios	6 Operarios	7 Operarios
31	985	1255	1139	1255
32	621	1053	784	888
33	501	793	685	793
34	700	1032	870	1020
35	560	927	709	794
36	437	742	549	661
37	496	759	665	679
38	1.043	1530	1315	1392
39	391	688	528	608
40	544	844	748	844
41	403	585	448	562
42	719	958	870	958
43	848	1054	974	1054
44	565	748	684	748
45	697	981	895	981
46	764	1321	1049	1135
TOTAL	10.274	15.271	12.915	14.377
TOTAL	27.451	39.562	36.191	37.351
TIEMPO OPERARIOS EN TALLER		147.697	191.556	230.442

Como se puede observar el tiempo total de averías en la simulación con capacidad 6 operarios disminuye un 8'5% respecto a la simulación con capacidad de 5 operarios. El tiempo ocioso que el operario pasa en el taller aumenta un 29'69%

Al aumentar la capacidad a 7 operarios se consigue un tiempo total de avería inferior al obtenido en la simulación con capacidad 5 de un 6'2%. Sin embargo el tiempo de avería aumenta respecto a la simulación con 6 operarios un 3'2%. El tiempo ocioso aumenta un 56'02% respecto a la primera simulación (5 operarios) y un 20.30% respecto la segunda (6 operarios).



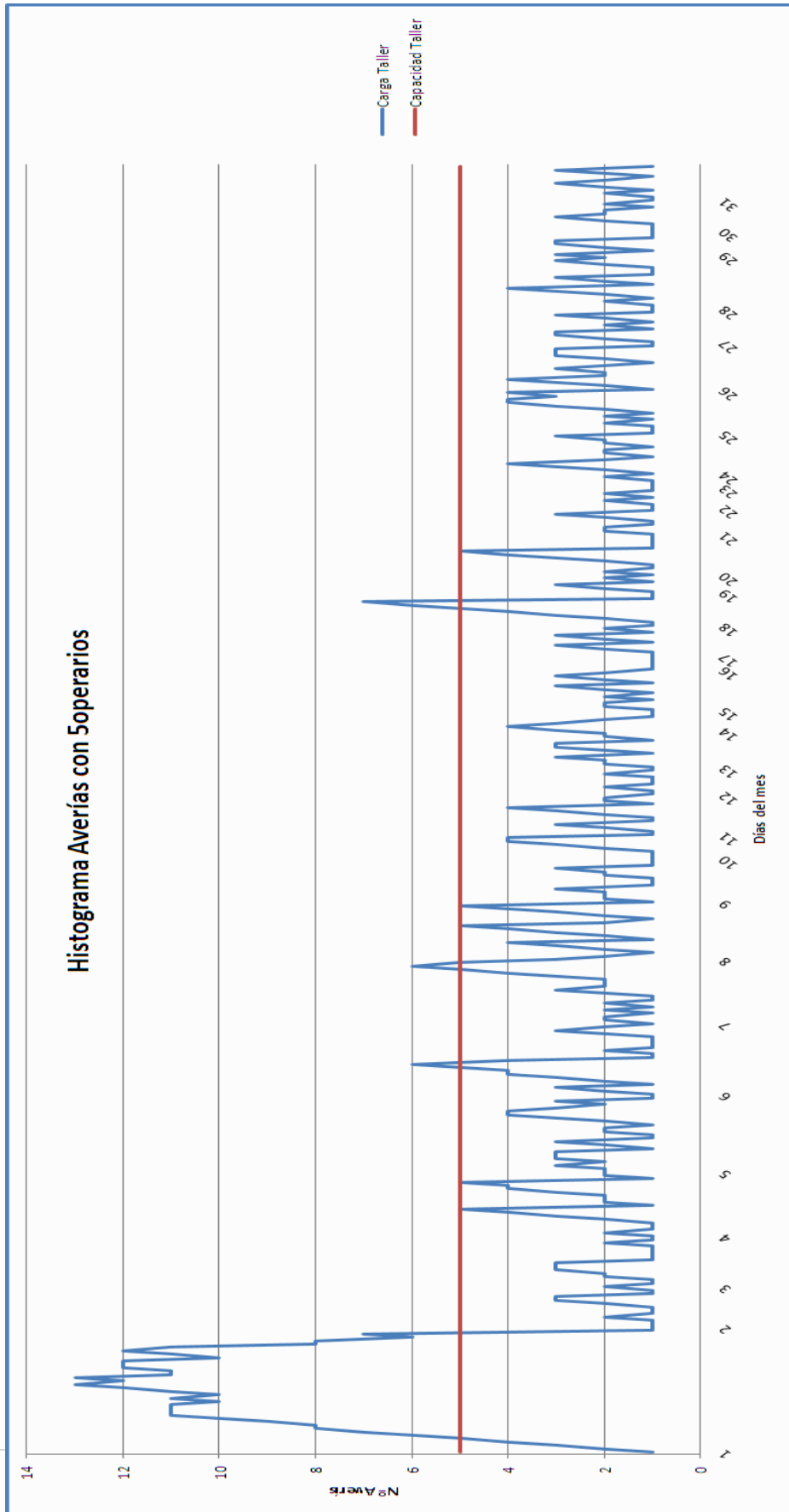
Tiempo Ocioso. Uno de los quebraderos de cabeza de los responsables de un taller de manteniendo es gestionar al personal cuando la carga de faena es baja. En el caso que nos ocupa, el personal que no está realizando una intervención en una máquina tiene asignadas otro tipo de tareas: mantenimiento predictivo, realizar inventario de taller,... Aún y así si la capacidad del taller es muy superior a la carga de faena se corre el riesgo de aumentar la capacidad ociosa del personal.

Según los resultados obtenidos de las simulaciones solo el 27'48% de la capacidad total, para 5 operarios, se invierte realmente en reparar averías. El 72'52% restante se invierte en otras tareas. Es cierto que es muy difícil deducir la carga de faena que tendrá un taller a lo largo de un mes. Sin embargo es necesario hacer estimaciones que nos permita reducir la capacidad ociosa del taller.

	5 operarios	6 operarios	7 operarios
Capacidad total	203.670 minutos	244.404 minutos	285.138 minutos
Operario en el taller	147.697 minutos	191.556 minutos	230.442 minutos
Cap. desaprovecha	72'52%	78'38%	80'82%

Tabla 6.1.1.5c: Relación capacidad total con tiempo ocioso

El histograma muestra la evolución de la carga de faena del taller para el mes de Marzo. Podemos ver como a inicios de mes la carga de faena es muy superior a la capacidad del taller, sin embargo a partir del día 5 la carga es inferior a la capacidad. Sería interesante saber los motivos por los cuales la carga de faena ha sido tan alta a principio de mes. También se debería realizar un seguimiento en los próximos meses que nos permita saber si este suceso ocurre todos los meses.



6.1.2. Sistema con dos talleres independientes

El desplazamiento de los operarios de mantenimiento es uno de los motivos por los cuales aumenta el tiempo de espera cuando una máquina esta avería.

Los experimentos que se muestran a continuación pretenden simular el funcionamiento de cada centro con un taller independiente. El objetivo es aprobar o desestimar la idea de dividir el taller en dos.

Para realizar estos experimentos es necesario modificar varios submodelos del modelo principal:

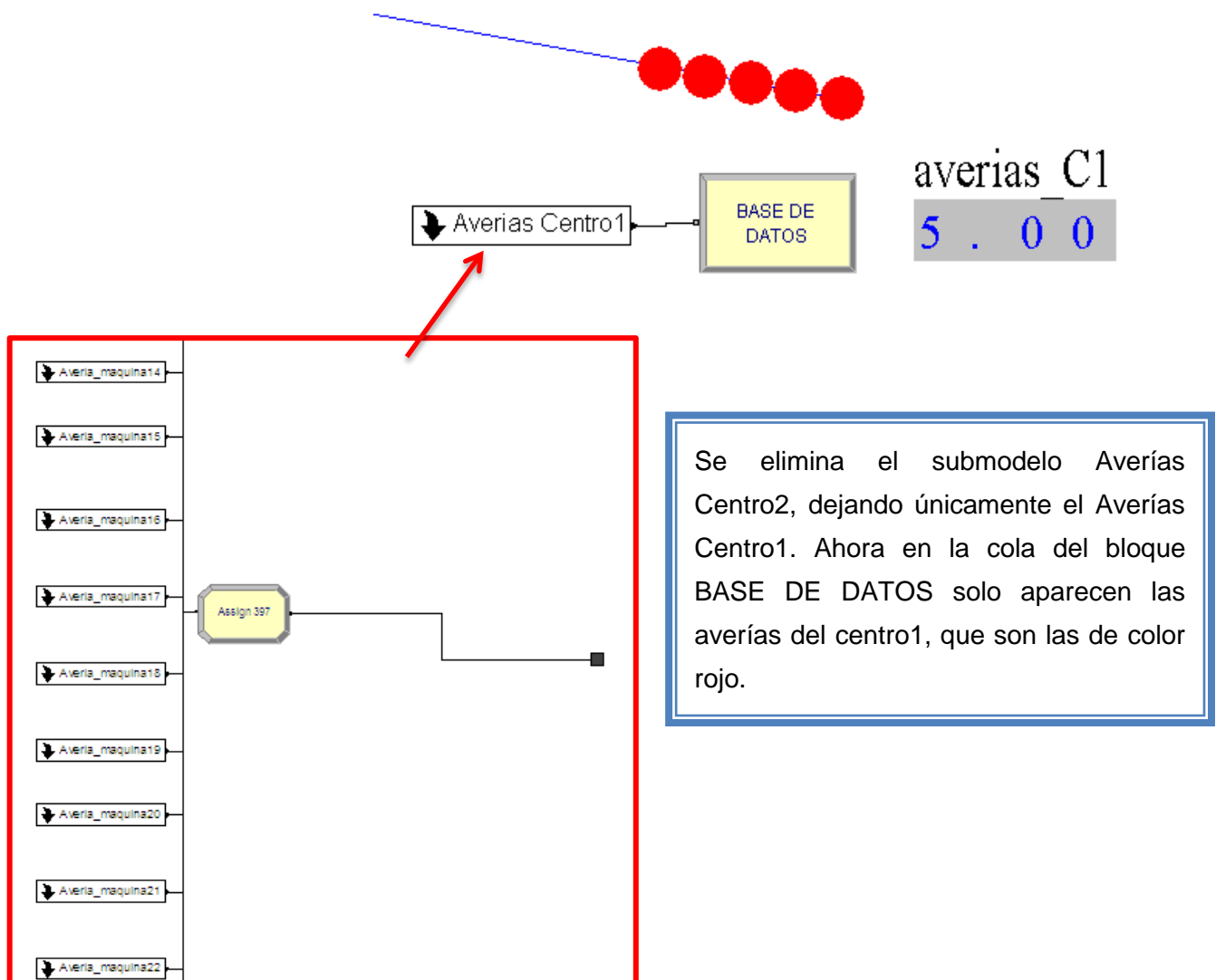
- **Submodelo Desplazamiento.** Se tiene que dividir la red de conexiones en dos partes, una para cada centro. La red responsable de llevar a la entidad operario al centro 1 se aprovechará para las simulaciones con el taller en este centro. Y las conexiones que llevan a la entidad operario al centro 2 se utilizarán para los experimentos con el centro 2.
- **Submodelo Máquinas.** Las máquinas ubicadas en el centro 1, se utilizarán únicamente para las simulaciones relacionadas con este centro. Y las máquinas que pertenecen al centro2 se utilizarán para las simulaciones con el centro 2.
- **Submodelo BASE DE DATOS.** Al dividir las máquinas también es necesario dividir la base de datos del sistema. Siguiendo los ejemplos anteriores, la base de datos relacionada con el Centro 1 se utilizará para las simulaciones relacionadas con el centro1 y la base de datos del Centro 2 únicamente se utilizará para los experimentos relacionados con este centro.

6.1.2.1. Taller centro 1

Antes de hacer las simulaciones para el centro 1, se debe modificar los submodelos BASE DE DATOS y Desplazamiento.

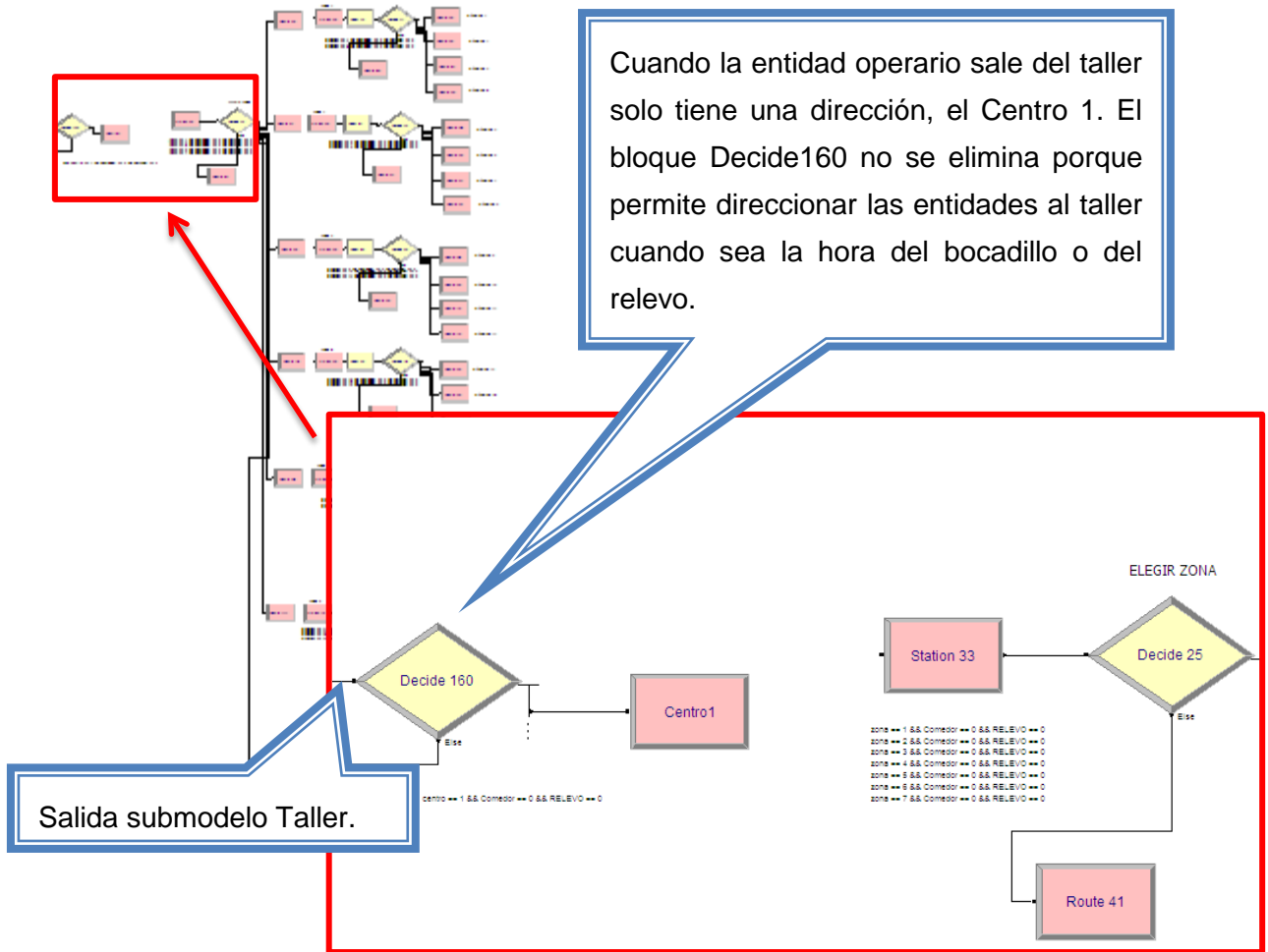
Modificación submodelo BASE DE DATOS

El haber agrupado el submodelo Averías en dos grupos (Averías Centro 1 y Averías Centro 2) cuando se ha diseñado el modelo final para dos centros, ahora podemos separar fácilmente las averías de cada uno de ellos.



Modificación submodelo Desplazamiento

Ahora solo trabajamos con las máquinas del Centro 1, de la 1 a la 30, así que la red de conexiones queda reducida de 46 conexiones a 30.



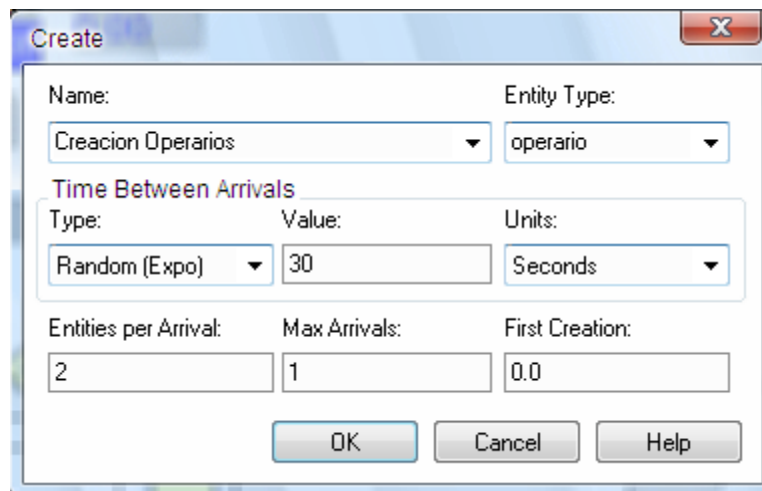
Decide

Name: Type:

Conditions:

6.1.2.1.1. Simulación con 2 operarios

A diferencia del modelo final, el modelo Centro1 no se puede comparar con el sistema real ya que este modelo es totalmente experimental. Por este motivo no disponemos de una capacidad de referencia. Las simulaciones se muestran en función de la capacidad del taller, ordenadas de menor a mayor. Aunque a para establecer el valor de la capacidad mínima se ha partido de una capacidad de 4 operarios y se ha ido decrementando hasta hallar el límite inferior. Para variar la capacidad del taller iremos al submodelo Taller y cambiaremos el número de las entidades de llegada del create 'Creación Operarios' a 2.



No es necesario modificar el RunSetup ya que las condiciones de simulación son las mismas que para las simulaciones anteriores. Activamos la simulación a través de botón (▶) de la barra de herramientas. Una vez finalizada la simulación visualizamos los resultados de la simulación y comprobamos si la carga o número de averías ha si excesiva para la capacidad programada (2 operarios).

Para ello abrimos la pestaña Reports y seleccionamos Category Overview.

Category Overview

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Queue

Other

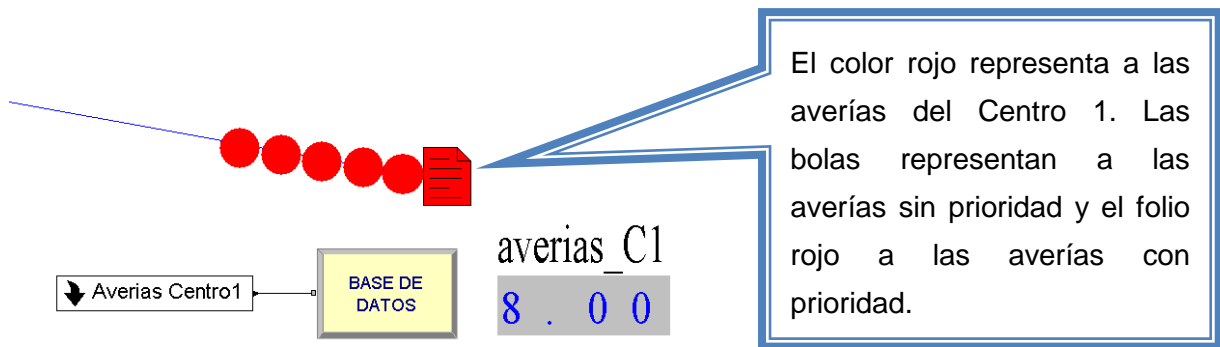
Number Waiting			Maximum Value
Averia maq1.Queue			1,0000
Averia maq10.Queue	0,01613333	(Insufficient)	1,0000
Averia maq11.Queue	0,02420512	(Insufficient)	2,0000
Averia maq12.Queue	0,00870034	(Insufficient)	1,0000
Averia maq13.Queue	0,02508139	(Insufficient)	1,0000
Averia maq14.Queue	0,01447506	(Insufficient)	1,0000
Averia maq15.Queue	0,01580122	(Insufficient)	1,0000
Averia maq16.Queue	0,01125597	(Insufficient)	1,0000
Averia maq17.Queue	0,04692503	(Insufficient)	1,0000
maq18.Queue	0,02322207	(Insufficient)	1,0000
maq19.Queue	0,00955384	(Insufficient)	1,0000
maq2.Queue	0,04085125	(Insufficient)	1,0000
maq20.Queue	0,02864957	(Insufficient)	2,0000
maq21.Queue	0,01705757	(Insufficient)	1,0000

Buscamos el informe que muestra el número de entidades en espera.

Quando un bloque tiene más de una entidad esperando en la cola es porque hay varias averías a la vez para esa máquina. Es el caso de la máquina 11 y 20. Por lo tanto la capacidad del taller es baja y es necesario aumentarla. La capacidad mínima del taller será de 3 operarios.

6.1.2.1.1a. Variar prioridad máquinas

Realizamos el mismo procedimiento que en el apartado 6.1.1.1a. consideraremos prioritarias las máquinas 11 y 20, así podremos estudiar la posibilidad de priorizar la reparación de las averías para estas dos máquinas.



A diferencia del apartado 6.1.1.1a., en este caso, priorizar la intervención de las máquinas 11 y 12 no es suficiente. Seguimos teniendo una carga superior a la capacidad.

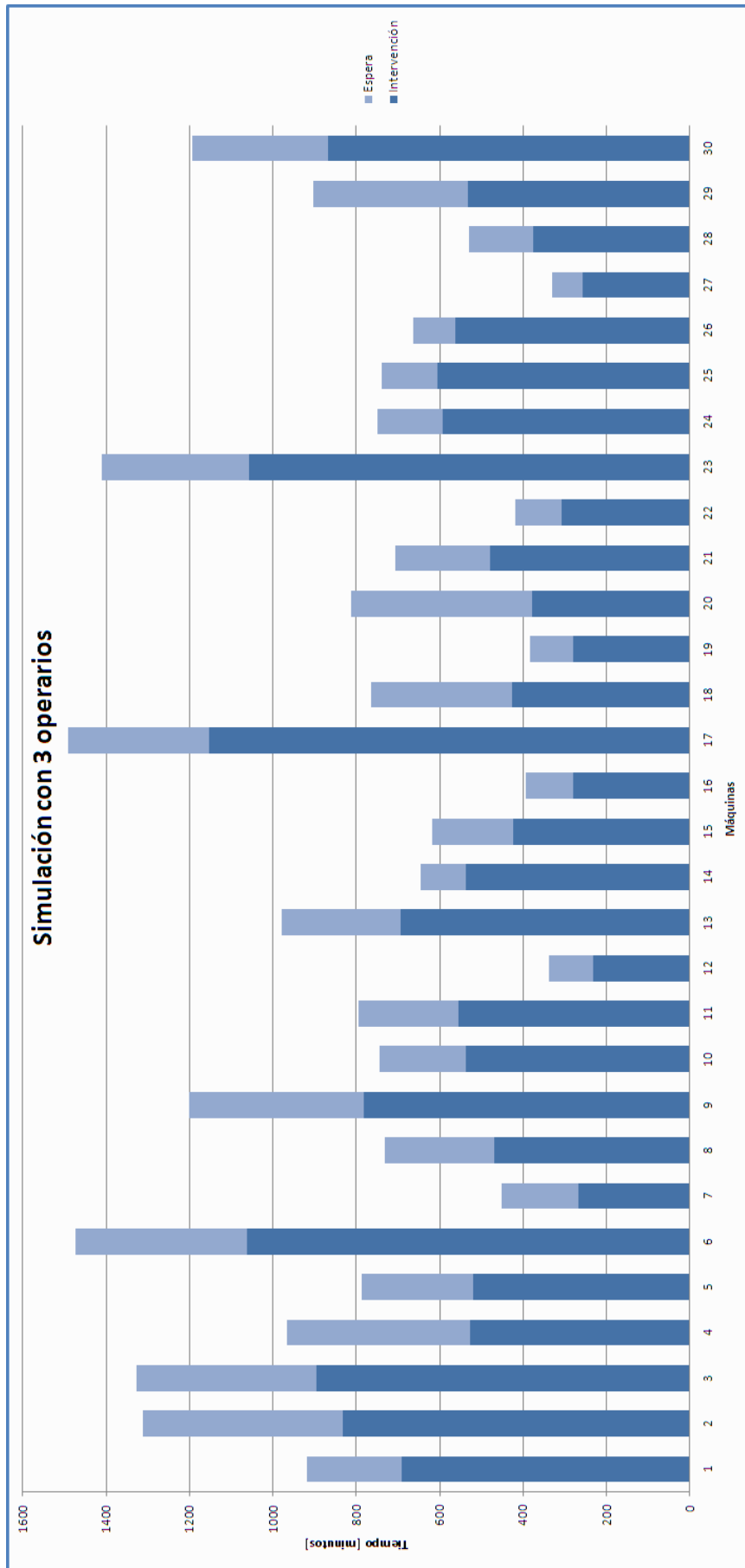
En la máquina 11 seguimos teniendo 2 averías en la cola a la vez. Por lo tanto la capacidad del taller es baja y es necesario aumentarla. La capacidad mínima del taller será de 3 operarios.

Category Overview				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Averia maq1.Queue	0.02523708	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq10.Queue	0.01815599	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq11.Queue	0.02209827	(Insufficient)	0.00	2.0000
Averia maq12.Queue	0.00870034	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq13.Queue	0.02440823	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq14.Queue	0.01447506	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq15.Queue	0.01580122	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq16.Queue	0.01125597	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq17.Queue	0.04748619	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq18.Queue	0.02591136	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq19.Queue	0.00955384	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq2.Queue	0.04090651	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq20.Queue	0.01381646	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq21.Queue	0.01705757	(Insufficient)	0.00	1.0000

6.1.2.1.2. Simulación con 3 operarios

La simulación con 3 operarios da los siguientes resultados:

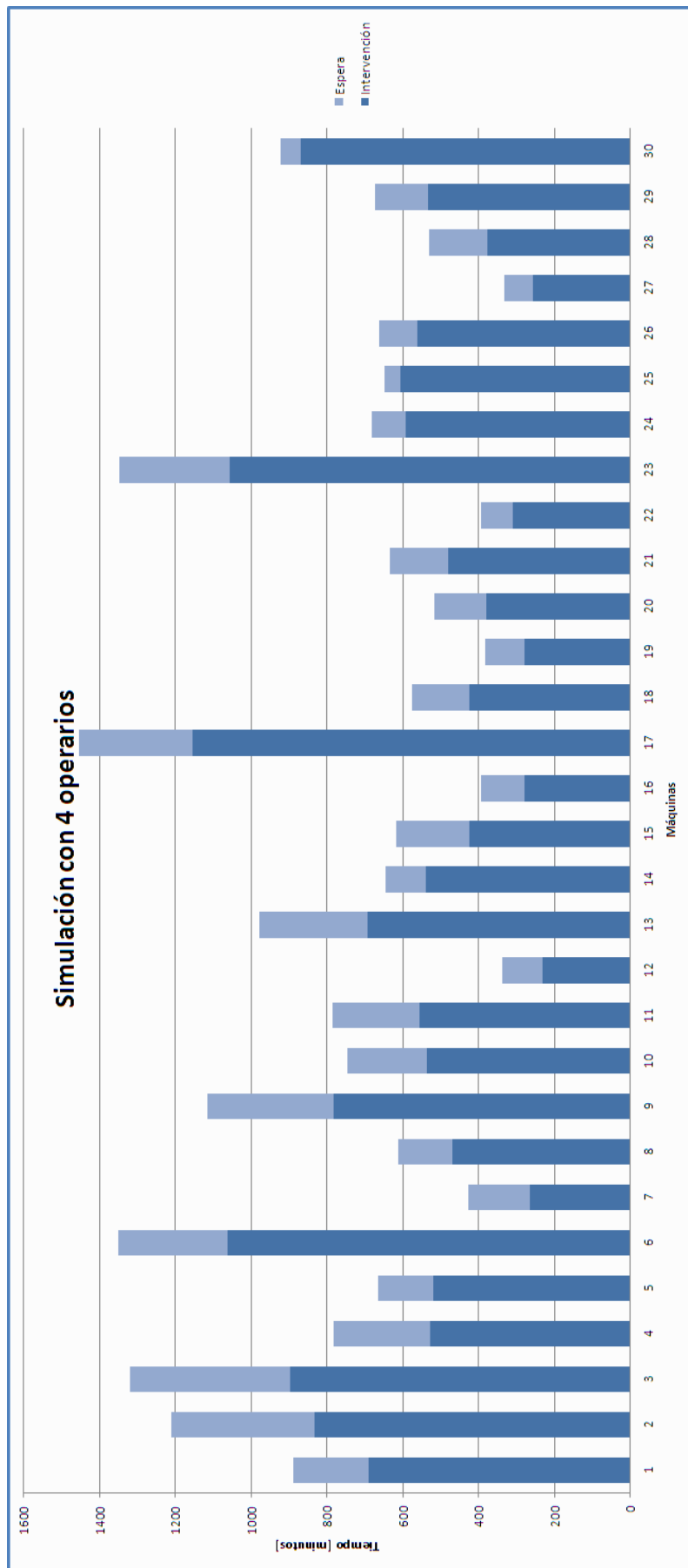
AVERÍA ELÉCTRICA				CENTRO 1
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
1	10	690	229	919
2	14	832	481	1.313
3	11	896	430	1.326
4	8	528	437	965
5	7	519	269	788
6	9	1.061	411	1.472
7	5	266	186	452
8	7	470	260	730
9	11	783	417	1.200
10	9	536	209	745
11	9	555	239	794
12	6	231	107	338
13	10	694	284	978
14	5	538	108	646
15	8	423	194	617
16	6	280	114	394
17	10	1.154	337	1.491
18	8	425	339	764
19	6	280	103	383
20	7	379	434	813
21	10	480	227	707
22	6	308	110	418
23	11	1.057	353	1.410
24	6	592	156	748
25	6	606	133	739
26	10	562	101	663
27	5	256	75	331
28	6	376	154	530
29	8	532	371	903
30	11	868	325	1.193
TOTAL	245	17.177	7.598	24.775



6.1.2.1.3. Simulación con 4 operarios

La simulación con 4 operarios da los siguientes resultados:

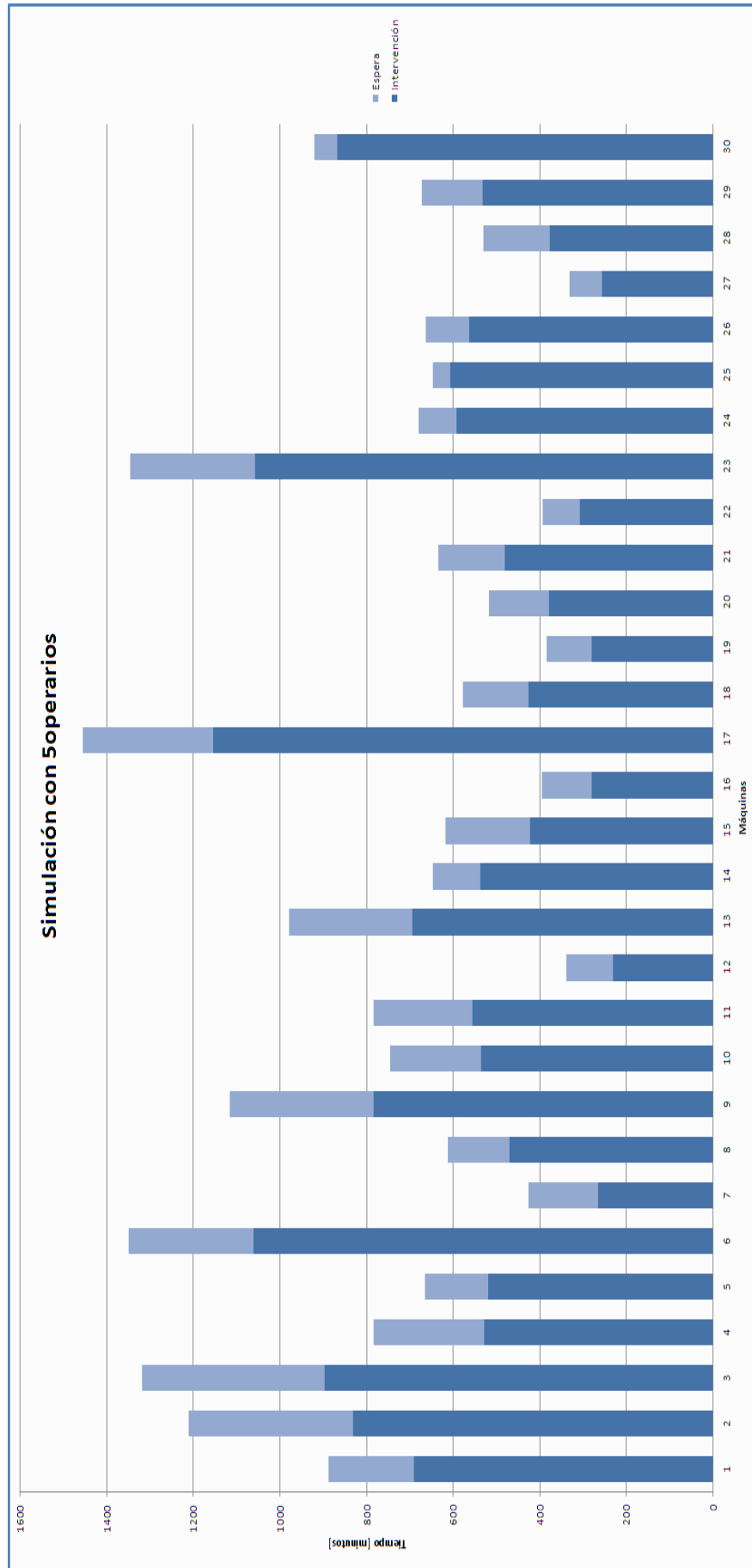
AVERÍA ELÉCTRICA				CENTRO 1
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
1	10	690	198	888
2	14	832	378	1210
3	11	896	426	1322
4	8	528	333	861
5	7	519	164	683
6	9	1.061	300	1361
7	5	266	160	426
8	7	470	144	614
9	11	783	341	1124
10	9	536	209	745
11	9	555	229	784
12	6	231	107	338
13	10	694	284	978
14	5	538	108	646
15	8	423	194	617
16	6	280	114	394
17	10	1.154	312	1.466
18	8	425	230	655
19	6	280	103	383
20	7	379	217	596
21	10	480	153	633
22	6	308	84	392
23	11	1.057	304	1361
24	6	592	123	715
25	6	606	95	701
26	10	562	101	663
27	5	256	75	331
28	6	376	154	530
29	8	532	152	684
30	11	868	56	924
TOTAL	245	17.177	5.855	23.032



6.1.2.1.4. Simulación con 5 operarios

La simulación con 3 operarios da los siguientes resultados:

AVERÍA ELÉCTRICA				CENTRO 1
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
1	10	690	198	888
2	14	832	378	1210
3	11	896	423	1319
4	8	528	255	783
5	7	519	145	664
6	9	1.061	288	1349
7	5	266	160	426
8	7	470	141	611
9	11	783	333	1116
10	9	536	209	745
11	9	555	229	784
12	6	231	107	338
13	10	694	284	978
14	5	538	108	646
15	8	423	194	617
16	6	280	114	394
17	10	1.154	301	1.455
18	8	425	151	576
19	6	280	103	383
20	7	379	138	517
21	10	480	153	633
22	6	308	84	392
23	11	1.057	289	1346
24	6	592	88	680
25	6	606	41	647
26	10	562	101	663
27	5	256	75	331
28	6	376	154	530
29	8	532	140	672
30	11	868	53	921
TOTAL	245	17.177	5.446	22.623



6.1.2.1.5. Analizar y comparar resultados

Una vez realizadas todas las simulaciones, es hora de recopilar y analizar toda la información que nos aportan los informes que ha creado ARENA®. Las variables que se van a analizar y comparar van a ser: Tiempo Avería y Tiempo ocioso.

Máquina	Tiempo Intervención	Tiempo Avería		
		3 Operarios	4 Operarios	5 Operarios
1	690	919	888	888
2	832	1.313	1.210	1.210
3	896	1.326	1.322	1319
4	528	965	861	783
5	519	788	683	664
6	1.061	1.472	1.361	1.349
7	266	452	426	426
8	470	730	614	611
9	783	1.200	1.124	1.116
10	536	745	745	745
11	555	794	784	784
12	231	338	338	338
13	694	978	978	978
14	538	646	646	646
15	423	617	617	617
16	280	394	394	394
17	1.154	1.491	1.466	1.455
18	425	764	655	576
19	280	383	383	383
20	379	813	596	517
21	480	707	633	633
22	308	418	392	392
23	1.057	1.410	1.361	1.346
24	592	748	715	680
25	606	739	701	647
26	562	663	663	663
27	256	331	331	331
28	376	530	530	530
29	532	903	684	672
30	868	1.193	924	921
TOTAL	17.177	24.775	23.032	22.623
TIEMPO OPERARIOS EN TALLER		89.633	125.914	170.184

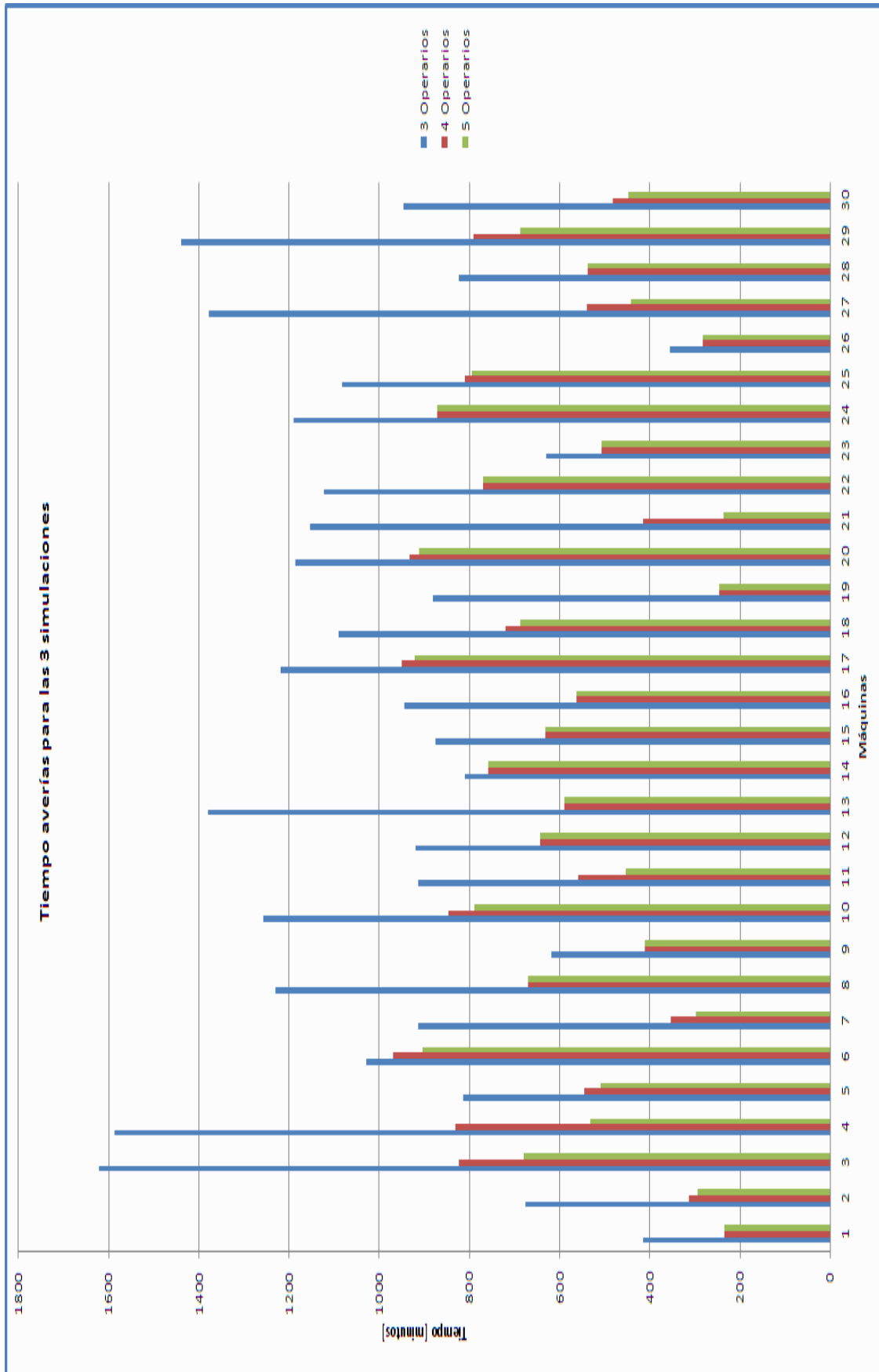
Como se puede observar el tiempo total de averías en la simulación con capacidad de 4 operarios disminuye un 7% respecto a la simulación con capacidad de 3 operarios. El tiempo ocioso que el operario pasa en el taller aumenta un 40%.

Al aumentar la capacidad a 5 operarios se consigue un tiempo total de avería inferior al obtenido en la simulación con capacidad 3 de un 9%. Sin embargo el tiempo de avería respecto a la simulación con 4 operarios es de un 2%. Por otro lado, el tiempo ocioso aumenta un 89'87% respecto a la primera simulación (3 operarios) y un 35'16% respecto la segunda (4 operarios).

	3 operarios	4 operarios	5 operarios
Capacidad total	122.202 minutos	162.936 minutos	203.670 minutos
Operario en el taller	89.633 minutos	125.914 minutos	170.184 minutos
Cap. desaprovecha	73'35%	77'28%	83'56%

Tabla 6.1.2.1.5a: Relación capacidad total con tiempo ocioso

El siguiente histograma muestra gráficamente la diferencia, del tiempo averías, entre las diferentes simulaciones. Podemos ver una mejora en los tiempos avería si comparamos la simulación con 3 operarios con la simulación con 4 operarios. Sin embargo, los resultados obtenidos entre las simulaciones con 4 y 5 operarios son casi idénticos. La diferencia entre estas dos últimas simulaciones es un aumento considerable del tiempo ociosos.

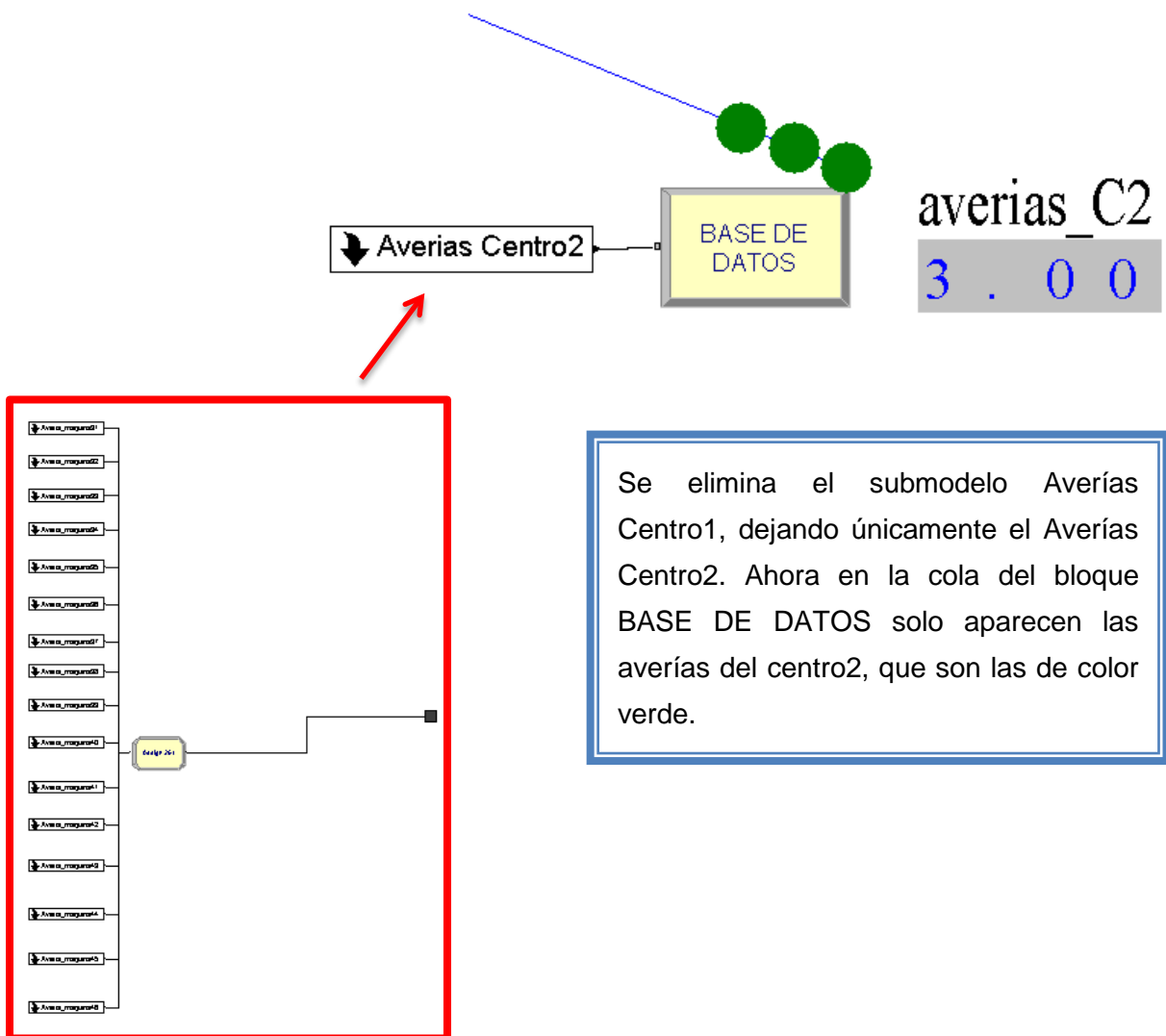


6.1.2.2. Taller centro 2

Antes de hacer las simulaciones para el Centro 2, es necesario modificar los submodelos BASE DE DATOS y Desplazamiento exactamente igual que se hizo para el centro 1. Las modificaciones se realizan sobre el modelo final, no sobre el modelo Centro 1.

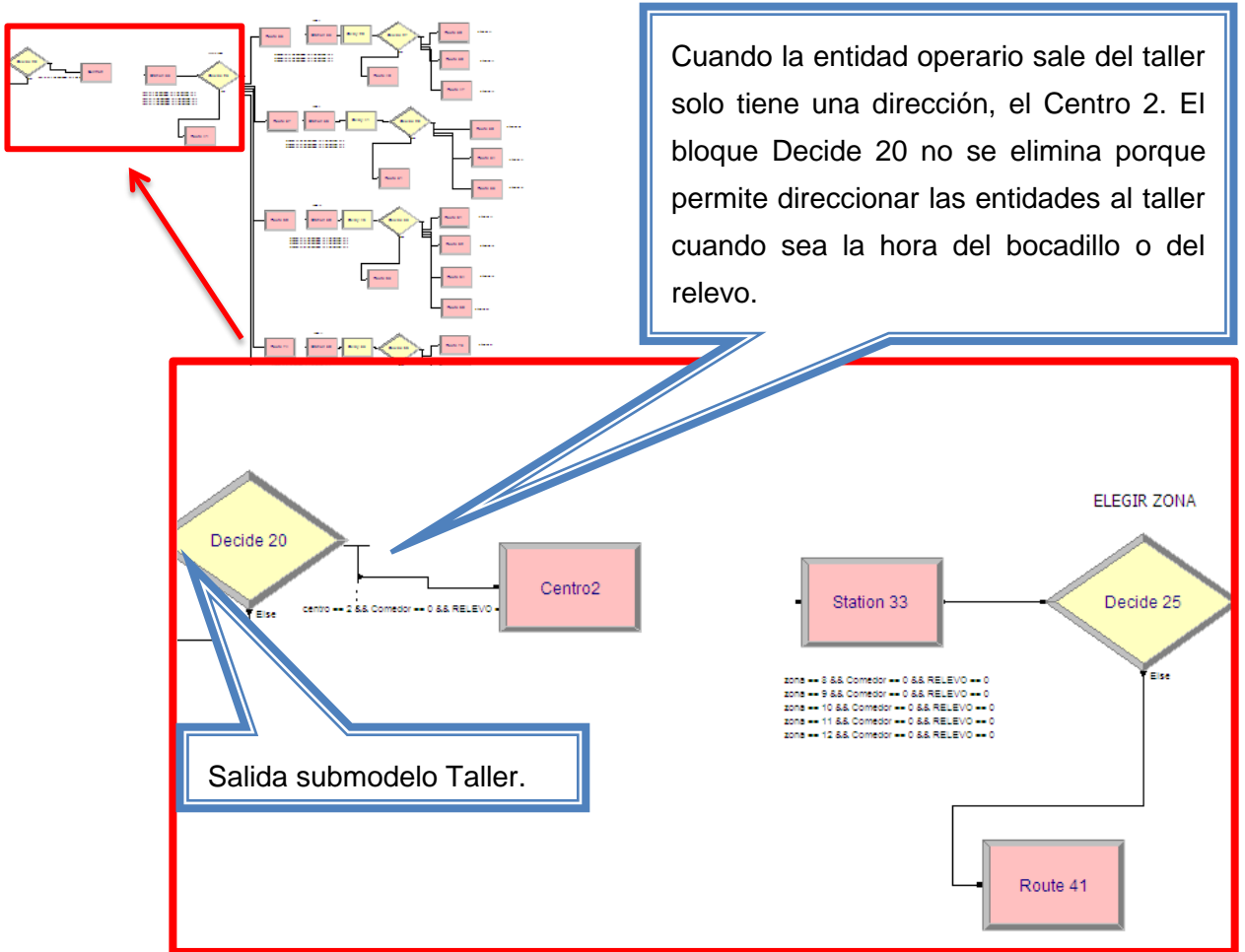
Modificación submodelo BASE DE DATOS

El haber agrupado el submodelo Averías en dos grupos (Averías Centro 1 y Averías Centro 2) cuando se ha diseñado el modelo final para dos centros, ahora podemos separar fácilmente las averías de cada uno de ellos.



Modificación submodelo Desplazamiento

Ahora solo trabajamos con las máquinas del Centro 2, de la 31 a la 46, así que la red de conexiones queda reducida de 46 conexiones a 16.



Decide

Name: Type:

Conditions:

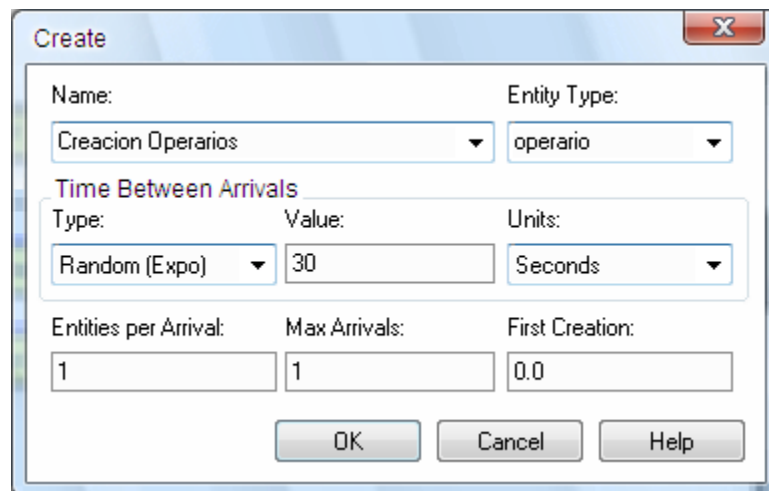
Expression, centro == 2 && Comedor == 0 && RELEVO == 0
 <End of list>

Add... Edit... Delete

OK Cancel Help

6.1.2.1.1. Simulación con 1 operarios

Como sucede con el diseño del modelo Centro 1, el modelo Centro2 no se puede comparar con el sistema real ya que modelo es totalmente experimental. Por este motivo tampoco disponemos de una capacidad de referencia. Las simulaciones se muestran en función de la capacidad del taller, ordenadas de menor a mayor. Aunque a para establecer el valor de la capacidad mínima se ha partido de una capacidad de 2 operarios y se ha ido decrementando hasta hallar el límite inferior. Para variar la capacidad del taller iremos al submodelo Taller y cambiaremos el número de las entidades de llegada del create 'Creación Operarios' a 1.



No es necesario modificar el RunSetup ya que las condiciones de simulación son las mismas que para las simulaciones anteriores. Activamos la simulación a través de botón (▶) de la barra de herramientas. Una vez finalizada la simulación visualizamos los resultados de la simulación y comprobamos si la carga ha sido excesiva para la capacidad programada (1 operarios).

Para ello abrimos la pestaña Reports y seleccionamos Category Overview.

Category Overview

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Queue

Other

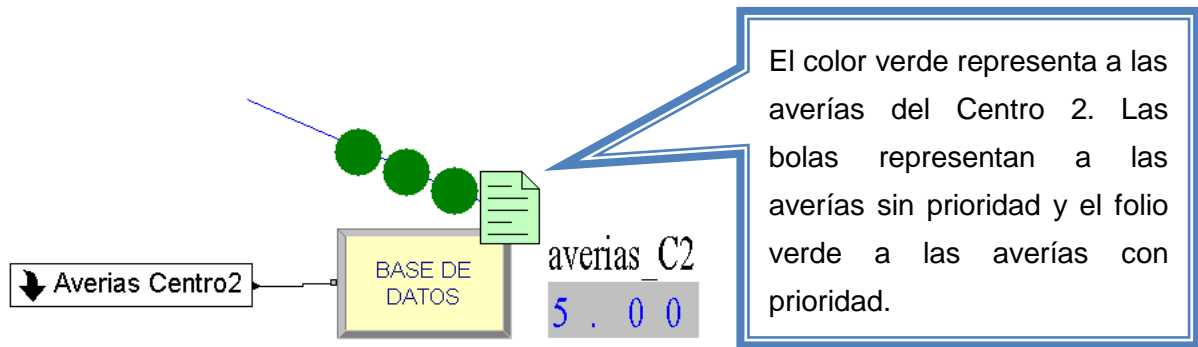
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Averia maq31.Queue	0,05909722	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq32.Queue	0,05939329	(Insufficient)	0,00	2,0000
Averia maq33.Queue	0,04529159	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq34.Queue	0,05291704	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq35.Queue	0,05975246	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq36.Queue	0,03724574	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq37.Queue	0,04544878	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq38.Queue	0,05111858	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq39.Queue	0,03850881	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq40.Queue	0,05623917	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq41.Queue	0,05218974	(Insufficient)	0,00	2,0000
maq42.Queue	0,05918533	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq43.Queue	0,04434924	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq44.Queue	0,03997424	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq45.Queue	0,04602337	(Insufficient)	0,00	2,0000
maq46.Queue	0,04981892	(Insufficient)	0,00	2,0000

Buscamos el informe que muestra el número de entidades en espera.

Quando un bloque tiene más de una entidad esperando en la cola es porque hay varias averías a la vez para esa máquina. Es el caso de las máquinas 32, 41, 45 y 46. Por lo tanto la capacidad del taller es baja y es necesario aumentarla. La capacidad mínima del taller será de 2 operarios.

6.1.2.1.1a. Variar prioridad máquinas

Realizamos el mismo procedimiento que en el apartado 6.1.1.1a. considerando prioritarias las máquinas 32, 41,45 y 46, así podremos estudiar la posibilidad de priorizar la reparación de las averías para estas cuatro máquinas.



A diferencia del apartado 6.1.1.1a., en este caso priorizar la intervención de las máquinas no es suficiente. La máquina numero 11 muestra que seguimos teniendo una carga superior a la capacidad.

En la máquina 11 seguimos teniendo 2 averías en la cola a la vez. Por lo tanto la capacidad del taller es baja y es necesario aumentarla. La capacidad mínima del taller será de 3 operarios.

Category Overview

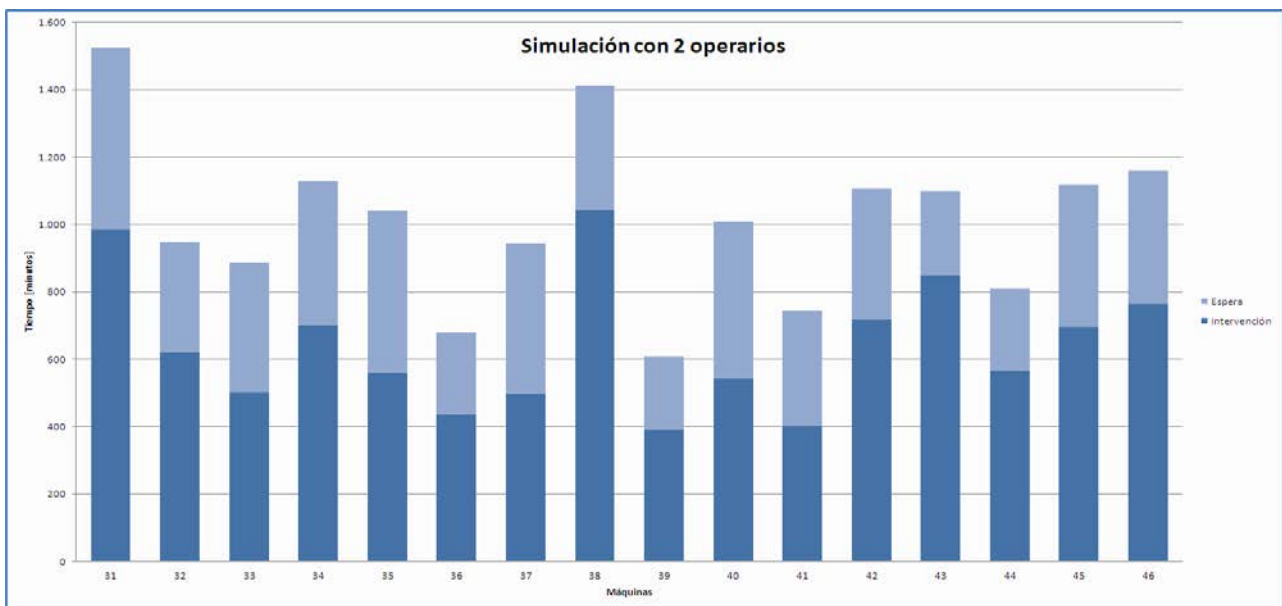
Time Units: Minutes

	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Averia maq1.Queue	0.02523708	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq10.Queue	0.01815599	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq11.Queue	0.02209827	(Insufficient)	0.00	2.0000
Averia maq12.Queue	0.00870034	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq13.Queue	0.02440823	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq14.Queue	0.01447506	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq15.Queue	0.01580122	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq16.Queue	0.01125597	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq17.Queue	0.04748619	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq18.Queue	0.02591136	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq19.Queue	0.00955384	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq2.Queue	0.04090651	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq20.Queue	0.01381646	(Insufficient)	0.00	1.0000
Averia maq21.Queue	0.01705757	(Insufficient)	0.00	1.0000

6.1.2.1.2. Simulación con 2 operarios

La simulación con 2 operarios da los siguientes resultados:

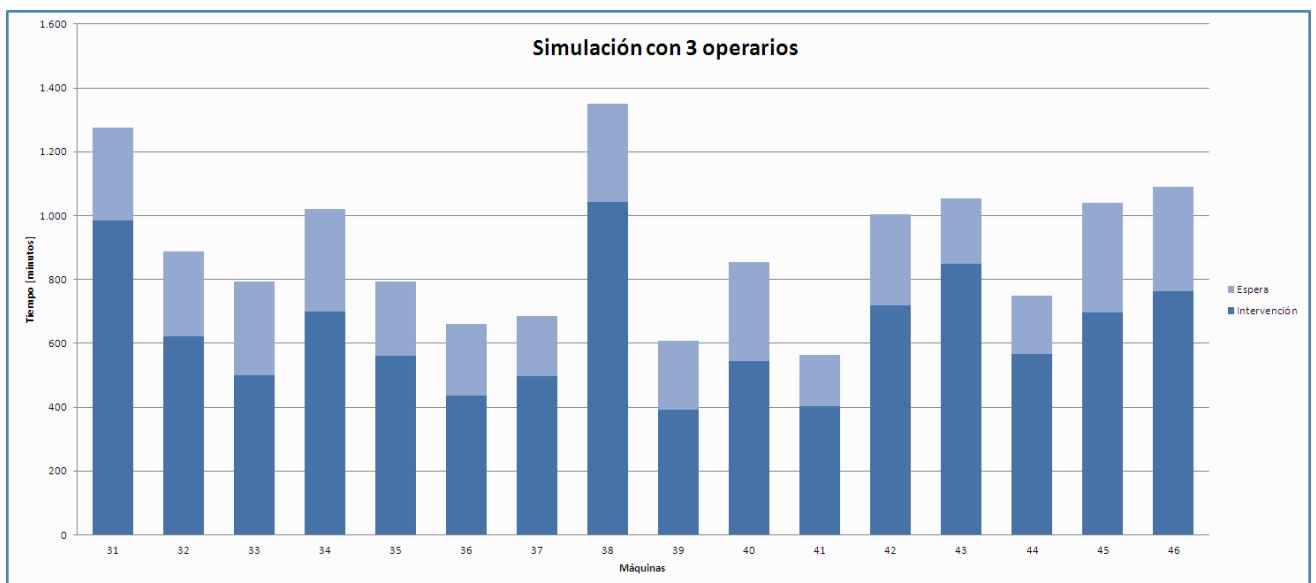
AVERÍA ELÉCTRICA				CENTRO 2	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería	
31	13	985	229	539	
32	10	621	481	327	
33	9	501	430	387	
34	9	700	437	428	
35	10	560	269	481	
36	8	437	411	242	
37	7	496	186	449	
38	9	1.043	260	370	
39	8	391	417	217	
40	8	544	209	466	
41	7	403	239	341	
42	7	719	107	386	
43	7	848	284	250	
44	6	565	108	244	
45	8	697	194	421	
46	9	764	114	395	
TOTAL	135	10.274	5.946	16.220	



6.1.2.1.3. Simulación con 3 operarios

La simulación con 3 operarios da los siguientes resultados:

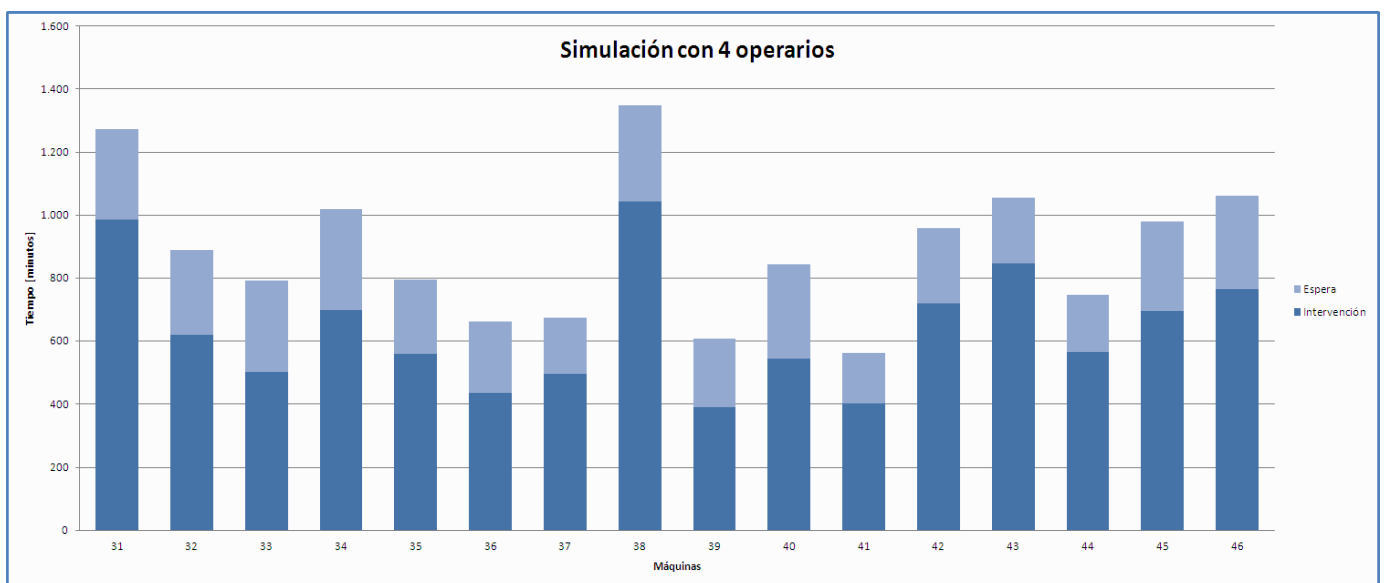
AVERÍA ELÉCTRICA				CENTRO 2	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería	
31	13	985	292	1.277	
32	10	621	267	888	
33	9	501	292	793	
34	9	700	320	1.020	
35	10	560	234	794	
36	8	437	224	661	
37	7	496	188	684	
38	9	1.043	306	1.349	
39	8	391	217	608	
40	8	544	309	853	
41	7	403	159	562	
42	7	719	285	1.004	
43	7	848	206	1.054	
44	6	565	183	748	
45	8	697	343	1.040	
46	9	764	325	1.089	
TOTAL	135	10.274	4.154	14.428	



6.1.2.1.4. Simulación con 4 operarios

La simulación con 4 operarios da los siguientes resultados:

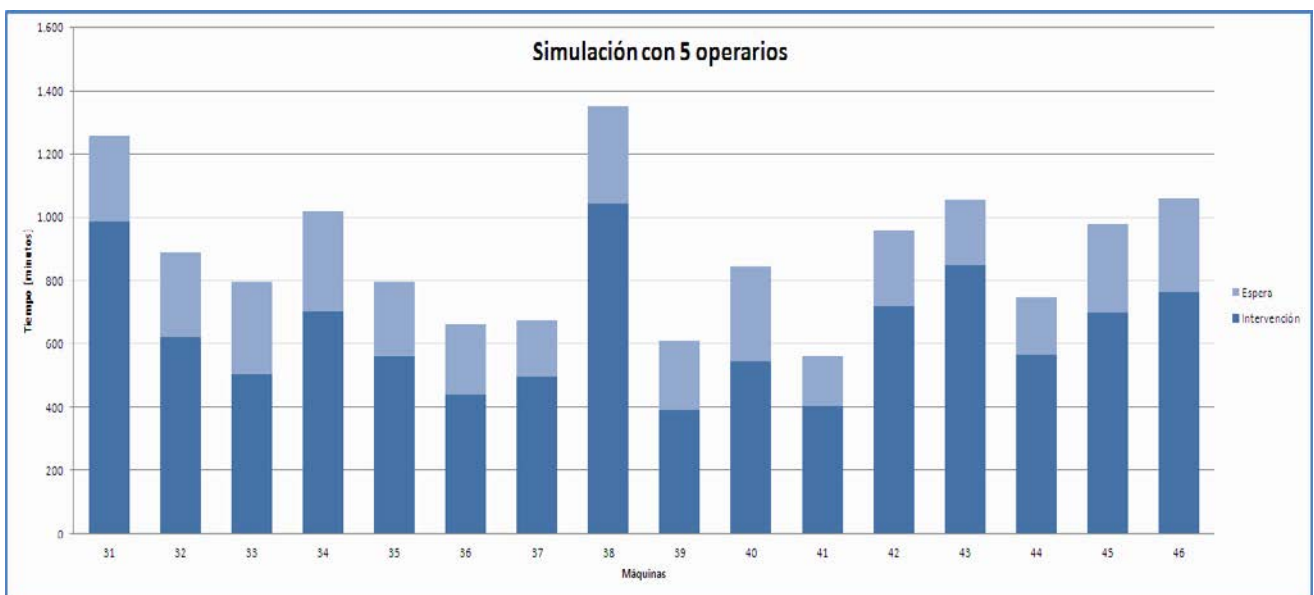
AVERÍA ELÉCTRICA				CENTRO 2	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería	
31	13	985	289	1.274	
32	10	621	267	888	
33	9	501	292	793	
34	9	700	320	1.020	
35	10	560	234	794	
36	8	437	224	661	
37	7	496	178	674	
38	9	1.043	306	1.349	
39	8	391	217	608	
40	8	544	300	844	
41	7	403	159	562	
42	7	719	239	958	
43	7	848	206	1.054	
44	6	565	183	748	
45	8	697	284	981	
46	9	764	297	1.061	
TOTAL	135	10.274	3.999	14.273	



6.1.2.1.5. Simulación con 5 operarios

La simulación con 5 operarios da los siguientes resultados:

AVERÍA ELÉCTRICA				CENTRO 2
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
31	13	985	270	1.255
32	10	621	267	888
33	9	501	292	793
34	9	700	320	1.020
35	10	560	234	794
36	8	437	224	661
37	7	496	178	674
38	9	1.043	306	1.349
39	8	391	217	608
40	8	544	300	844
41	7	403	159	562
42	7	719	239	958
43	7	848	206	1.054
44	6	565	183	748
45	8	697	284	981
46	9	764	297	1.061
TOTAL	135	10.274	3.981	14.255



6.1.2.1.6. Analizar y comparar resultados

Una vez realizadas todas las simulaciones, es hora de recopilar y analizar toda la información que nos aportan los informes que ha creado ARENA®. Las variables que se van a analizar y comparar van a ser: Tiempo Avería y Tiempo ocioso.

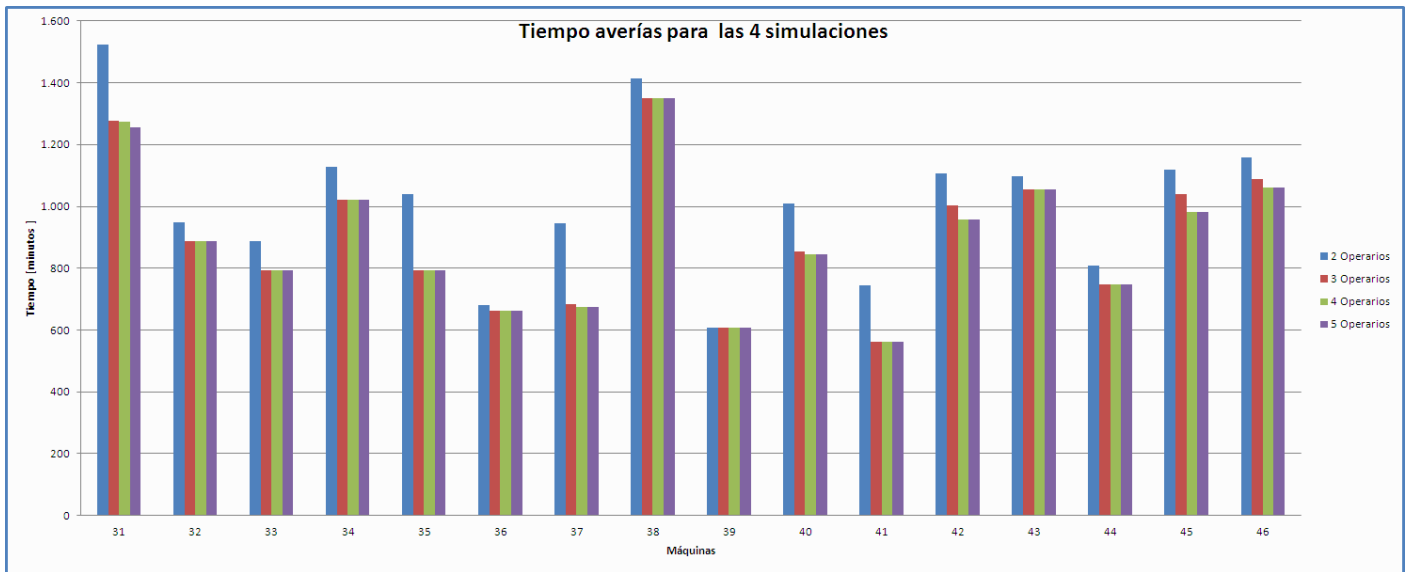
Máquina	Tiempo Intervención	Tiempo Avería			
		2 Operarios	3 Operarios	4 Operarios	5 Operarios
31	985	539	1.277	1.274	1.255
32	621	327	888	888	888
33	501	387	793	793	793
34	700	428	1.020	1.020	1.020
35	560	481	794	794	794
36	437	242	661	661	661
37	496	449	684	674	674
38	1.043	370	1.349	1.349	1.349
39	391	217	608	608	608
40	544	466	853	844	844
41	403	341	562	562	562
42	719	386	1.004	958	958
43	848	250	1.054	1.054	1.054
44	565	244	748	748	748
45	697	421	1.040	981	981
46	764	395	1.089	1.061	1.061
TOTAL	10.274	16.220	14.428	14.273	14.255
TIEMPO OPERARIOS EN TALLER		61.986	100.230	139.743	172.368

Como se puede observar el tiempo total de averías en la simulación con capacidad de 3 operarios disminuye un 11% respecto a la simulación con capacidad de 2 operarios. El tiempo ocioso que el operario pasa en el taller aumenta un 61'69%.

Operarios	2	3	4	5
Cap. total	81.468min.	122.202 min.	162.936 min.	203.670 min.
Op. en el taller	61.986 min.	100.230 min.	139.743 min.	172.368 min.
Cap. Des.	76'09%	82'02%	85'77%	84'63%

Tabla 6.1.2.1.6a: Relación capacidad total con tiempo ocioso

El siguiente histograma muestra gráficamente la diferencia del tiempo averías entre las diferentes simulaciones. Podemos ver una mejora en los tiempos avería si comparamos la simulación con 2 operarios y la simulación con 3 operarios. Sin embargo, los resultados obtenidos entre las simulaciones con 3,4 y 5 operarios son casi idénticos. La diferencia entre estas tres últimas simulaciones está en el aumento considerable del tiempo ociosos.



6.1.2.3. Comparar resultados con la simulación Taller Único

Para saber cuál de las dos opciones es la apropiada, es necesario comparar los resultados de las simulaciones realizadas para el taller único con los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas con los dos talleres independientes.

La tabla 6.1.2.3a se muestra un resumen de todas las simulaciones realizadas hasta el momento. Podemos ver cómo afecta la variación de la capacidad del taller, número de operarios, al tiempo de averías y al tiempo ocioso.

OPERARIOS		2	3	4	5	6	7
TALLER ÚNICO	T. averías	-	-	-	39.562	36.192	37.351
	T. ocioso	-	-	-	147.697	191.556	230.442
CENTRO 1	T. averías	-	24.775	23.032	22.623	-	-
	T. ocioso	-	89.633	125.914	170.184	-	-
CENTRO2	T. averías	16.220	14.428	14.273	14.255	-	-
	T. ocioso	61.986	100.230	139.743	172.368	-	-

Tabla 6.1.2.3a: Resumen de todas las simulaciones realizadas.

De las tres simulaciones que se han realizado con taller único seleccionamos la simulación con capacidad de 5 operarios. Los motivos son los siguientes:

- Es la simulación que mejor representa al sistema real.
- Es la simulación con menor capacidad ociosa.

No es posible comparar directamente las simulaciones del taller único con las simulaciones de los talleres independientes en los centros 1 y 2. Para poder realizar una comparativa entre talleres es necesario igualar la capacidad del taller único con las capacidades de los talleres 1 y 2. A continuación se mostrarán dos tablas, una para el tiempo averías y otra para el tiempo ocioso, mostrando todas las combinaciones posibles.

En la primera tabla vemos como solo hay una combinación para 5 operarios, sin embargo tenemos dos combinaciones para 6 operarios y tres para 7 operarios. Si por ejemplo deseamos que la capacidad conjunta de los dos talleres sea de 7 trabajadores la mejor opción es la de 4 operarios en el centro 1 y 3 operarios en el Centro 2.

TIEMPO AVERÍAS						
CENTRO1						
CENTRO2		OP's	3	4	5	
CENTRO2	2		40.995	39.252	38.843	5 Operarios
	3		39.203	37.460	-	6 operarios
	4		39.047	-	-	7 operarios

Tabla 6.1.2.3b: Tiempo Avería en función de la capacidad de los dos centros.

Lo mismo ocurre con la tabla 6.1.2.3c, solo hay una combinación para 5 operarios, dos combinaciones para 6 operarios y tres para 7 operarios. Si buscamos una combinación donde el tiempo ocioso sea el menor posible cogéramos la única opción con 5 operarios, 3 del Centro1 y 2 del Centro2.

TIEMPO OCIOSO						
CENTRO1						
CENTRO2		OP's	3	4	5	
CENTRO2	2		151.619	187.900	232.170	5 Operarios
	3		189.863	226.144	-	6 operarios
	4		229.376	-	-	7 operarios

Tabla 6.1.2.3c: Tiempo Ocioso en función de la capacidad de los dos centros.

La tabla 6.1.2.3d muestra un resumen de todas las simulaciones realizadas hasta el momento: taller único, Centro 1 y Centro 2 con taller independientes. Podemos ver que la opción con menor tiempo de averías es la de taller único con 5 operarios.

TIEMPO AVERÍAS				
OPERARIOS	TALLER ÚNICO	DOS TALLERES		
		OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
5	39.562	40.995	-	-
6	36.192	39.252	39.203	-
7	37.351	38.843	37.460	39.047

Tabla 6.1.2.3d: Resumen del tiempo avería para todas las simulaciones realizadas.

Sin embargo, la opción con menor tiempo ocioso es la opción 1 con 5 operarios. Como es lógico la opción con mayor tiempo de avería es la que tiene menor tiempo ocioso. Este dato se ha de tener en cuenta a la hora de tomar una opción. El disminuir el tiempo avería penaliza con un aumento del tiempo ociosos.

TIEMPO OCIOSO				
OPERARIOS	TALLER ÚNICO	DOS TALLERES		
		OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
5	147.697	151.619	-	-
6	191.556	187.900	189.863	-
7	230.442	232.170	226.144	229.376

Tabla 6.1.2.3e: Resumen del tiempo ocioso para todas las simulaciones realizadas.

La comparación entre la simulación con taller único y con dos talleres independientes no ha sido la esperada. Era lógico pensar que el tiempo de averías total de los 2 talleres sería ligeramente inferior que el tiempo de averías con un taller único, pero no ha sido así. Por lo tanto se procederá a realizar un tercer modelo, con dos talleres compartidos.

6.1.3. Sistema con dos talleres compartidos

Durante la simulación con dos talleres independientes se ha observado que hay momentos donde la carga de faena es superior en un centro que el otro provocando que los operarios de un centro estén ociosos mientras los del otro centro están saturados. Para solucionar este problema se plantea la opción de dos talleres compartidos. Es decir, a cada taller se le asignan los servicios de mantenimiento de un centro, pero si puntualmente un centro necesita ayuda porque la carga de faena es muy superior a su capacidad, el otro centro (si puede) debería de ayudar y suplir su baja capacidad.

Con el fin de analizar y comparar todas las combinaciones planteadas en el apartado anterior se van a realizar seis simulaciones. El resultado de estas simulaciones se comparará con los resultados obtenidos en la simulación taller único.

TIEMPO AVERÍAS				
OPERARIOS	TALLER ÚNICO	DOS TALLERES		
		OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
5	39.562	40.868	-	-
6	36.192	38.981	38.972	-
7	37.351	38.312	37.259	38.853

Tabla 6.1.3a: Resumen del tiempo avería para todas las simulaciones realizadas.

A disminuido los tiempos de avería respecto a la simulación con talleres independientes (Tabla 6.1.2.3d), pero la opción con menor tiempo de avería sigue siendo la opción de taller único con 5 operarios.

La opción con menor tiempo ocioso es la opción 1 con 5 operarios. Se cumple que la opción con mayor tiempo de avería es la que tiene menor tiempo ocioso. Este dato se ha de tener en cuenta a la hora de tomar una opción. El disminuir el tiempo avería penaliza con un aumento del tiempo ocios.

TIEMPO OCIOSO				
OPERARIOS	TALLER ÚNICO	DOS TALLERES		
		OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
5	147.697	141.792	-	-
6	191.556	177.450	181.003	-
7	230.442	230.015	218.932	224.355

Tabla 6.1.3b: Resumen del tiempo ocioso para todas las simulaciones realizadas.

La comparación entre la simulación con taller único y con dos talleres compartidos no ha sido la esperada. Es cierto que el tanto el tiempo ocioso como el tiempo avería han disminuido, pero los tiempos avería sigue estando por encima del obtenido en la simulación tiempo único. El tiempo ocioso también ha bajado pero menos de lo esperado.

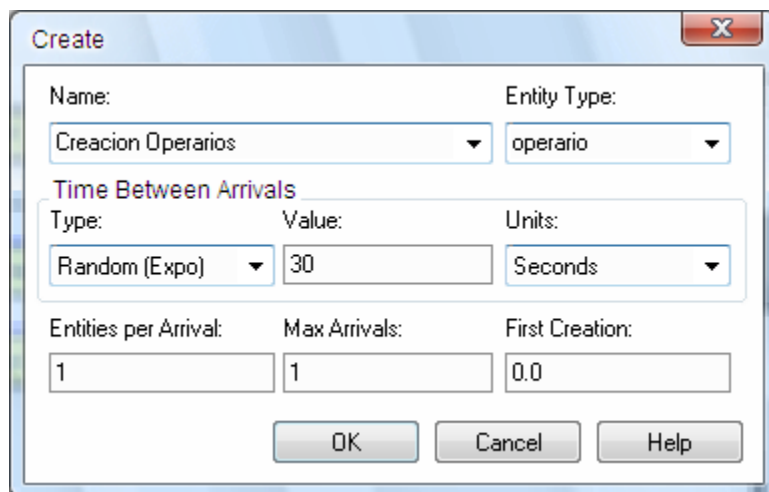
6.2. Averías Mecánicas

Para simular las averías mecánicas únicamente es necesario cambiar el histórico de averías eléctricas por el histórico de averías mecánicas. Es decir, cambiando los archivos *Excel* (averías eléctricas) guardados en C:\Historial\ por los archivos *Excel* que contengan el histórico de averías mecánicas.

6.2.1. Sistema Taller Único. Sistema actual

6.2.1.1. Simulación con uno Operario

Partiendo del sistema real donde el taller está formado por 3 mecánicos, se realizará la simulación con un personal de un operario. El objetivo es encontrar el valor mínimo de personal necesario para cubrir la carga de faena de este mes. Para ello iremos al submodelo Taller y cambiaremos el número de las entidades de llegada del créate 'Creación Operarios' a 1, guardamos y salimos del bloque.



No es necesario modificar el RunSetup ya que las características de la simulación son exactamente las mismas que las utilizadas para las simulaciones con averías eléctricas.

Antes de analizar los tiempos de las diferentes averías es necesario saber si la carga o número de averías ha si excesiva para la capacidad programada (1 operario).

Para ello abrimos la pestaña Reports y seleccionamos Category Overview.

Category Overview

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Minutes

Queue

Other

Buscamos el informe que muestra el número de entidades en espera.

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
0 Operarios.Queue	0,6411	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq01.Queue	0,03552046	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq02.Queue	0,05586880	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq03.Queue	0,06514860	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq04.Queue	0,05410805	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq05.Queue	0,06469235	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq06.Queue	0,06186119	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq07.Queue	0,05468974	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq08.Queue	0,06733311	(Insufficient)	0,00	2,0000
Averia maq09.Queue	0,05088747	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq10.Queue	0,05629555	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq11.Queue	0,04890121	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq12.Queue	0,05106967	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq13.Queue	0,06921259	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq14.Queue	0,05513628	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq15.Queue	0,070903	(Insufficient)	0,00	2,0000
maq16.Queue	0,05684438	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq17.Queue	0,08411514	(Insufficient)	0,00	2,0000
maq18.Queue	0,05575966	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq19.Queue	0,02538792	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq20.Queue	0,04354279	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq21.Queue	0,04033938	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq22.Queue	0,08617122	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq23.Queue	0,03021953	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq24.Queue	0,05583406	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq25.Queue	0,06534312	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq26.Queue	0,02553315	(Insufficient)	0,00	1,0000
maq27.Queue	0,07611783	(Insufficient)	0,00	2,0000
maq28.Queue	0,04071274	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq29.Queue	0,07476927	(Insufficient)	0,00	2,0000
Averia maq30.Queue	0,02492122	(Insufficient)	0,00	1,0000

Observamos que las máquinas 8, 15, 17, 27 y 29 han tenido en algún momento de la simulación 2 averías la vez. Esto nos muestra que el sistema no se comporta como debe cuando solo hay 1 operario.

6.2.1.1a. Variar prioridad máquinas

Vamos a realizar una simulación otorgando prioridad a las máquinas 8, 17, 27 y 29, de esta forma sabremos si bajo estas condiciones el sistema funciona correctamente. El procedimiento es el mismo que el explicado en el apartado 6.1.1.1a. y el resultado es el siguiente:

Category Overview				
Unnamed Project				
Replications: 1		Time Units: Minutes		
Queue				
Other				
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
0 Operarios.Queue	0,6411	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq01.Queue	0,03552046	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq02.Queue	0,05586880	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq03.Queue	0,06514860	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq04.Queue	0,05410805	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq05.Queue	0,06469235	(Insufficient)	0,00	2,0000
Averia maq06.Queue	0,06186119	(Insufficient)	0,00	1,0000
Averia maq07.Queue	0,05468974	(Insufficient)	0,00	1,0000
	0,06733311	(Insufficient)	0,00	1,0000
	0,05088747	(Insufficient)	0,00	2,0000
	0,05629555	(Insufficient)	0,00	1,0000
	0,04890121	(Insufficient)	0,00	1,0000
	0,05106967	(Insufficient)	0,00	1,0000
	0,06921259	(Insufficient)	0,00	1,0000
	0,05513628	(Insufficient)	0,00	2,0000
	0,0903	(Insufficient)	0,00	1,0000
	0,05684438	(Insufficient)	0,00	1,0000

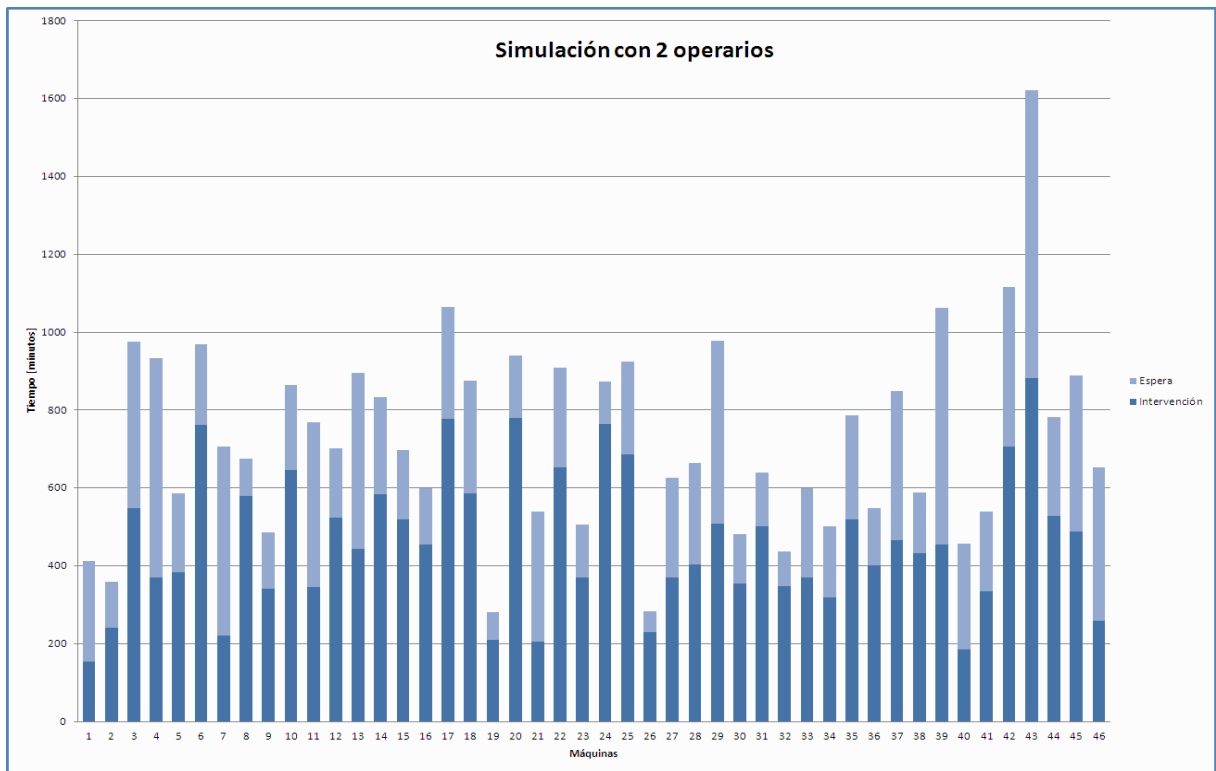
Ahora son las máquinas 5, 9, 14, las que han tenido en algún momento de la simulación 2 averías a la vez. Descartamos la posibilidad de trabajar solo un 1 operario.

6.2.1.2. Simulación con dos Operarios

La simulación con 2 operarios representa al sistema actual del taller.

AVERÍA MECÁNICA				CENTRO 1
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
1	10	153	259	412
2	14	241	118	359
3	11	549	428	977
4	8	369	563	932
5	7	383	203	586
6	9	761	207	968
7	5	221	485	706
8	7	579	95	674
9	11	341	144	485
10	9	646	217	863
11	9	346	421	767
12	6	523	179	702
13	10	443	451	894
14	5	584	249	833
15	8	518	179	697
16	6	455	143	598
17	10	777	287	1064
18	8	585	291	876
19	6	210	71	281
20	7	779	161	940
21	10	204	334	538
22	6	652	256	908
23	11	370	136	506
24	6	765	107	872
25	6	686	238	924
26	10	230	52	282
27	5	369	256	625
28	6	404	260	664
29	8	507	472	979
30	11	355	126	481
TOTAL	245	14.005	7.394	21.399

AVERÍA MECÁNICA			CENTRO 2	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
31	13	501	138	639
32	10	347	89	436
33	9	370	230	600
34	9	319	183	502
35	10	520	266	786
36	8	401	146	547
37	7	466	383	849
38	9	433	155	588
39	8	454	609	1063
40	8	185	271	456
41	7	334	205	539
42	7	706	410	1116
43	7	881	740	1621
44	6	527	255	782
45	8	488	401	889
46	9	258	394	652
TOTAL	135	7.190	4.878	12.068
TOTAL	380	21.195	12.273	33.468

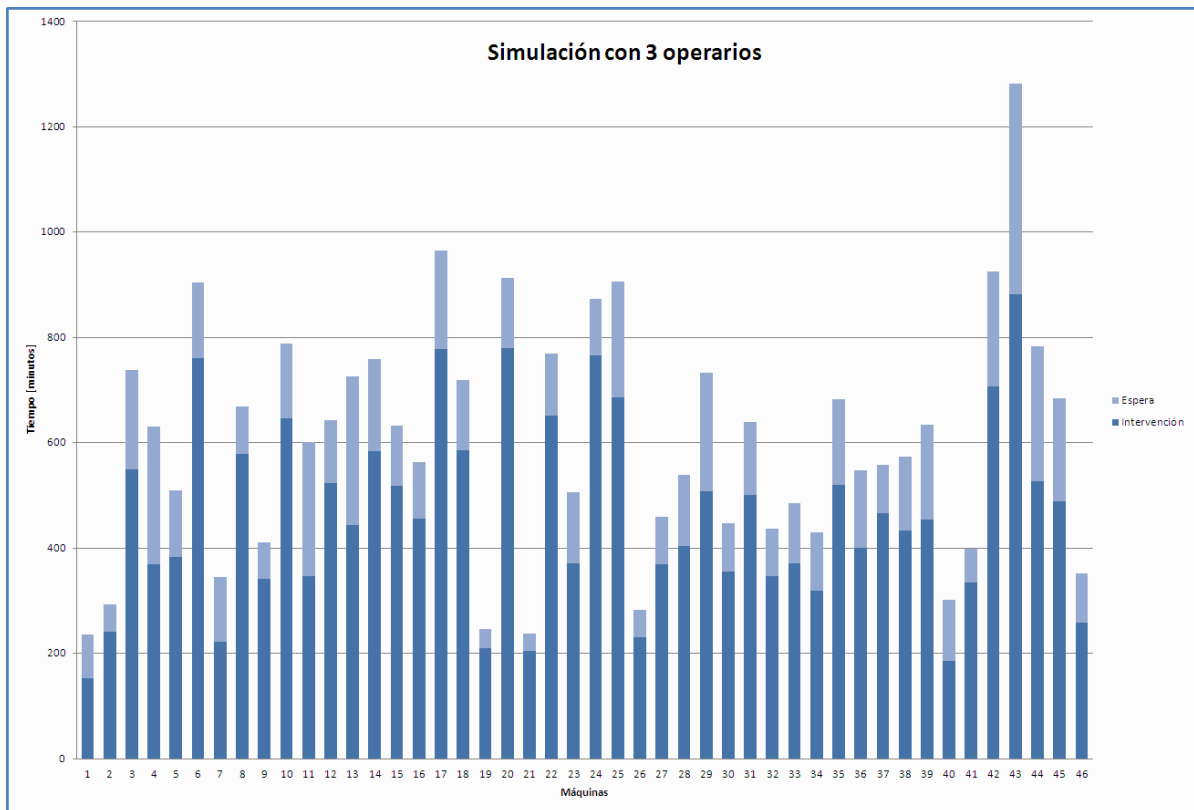


6.2.1.3. Simulación con tres Operarios

La simulación con 3 operarios da los siguientes resultados:

AVERÍA MECÁNICA			CENTRO 1	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
1	10	153	82	235
2	14	241	52	293
3	11	549	189	738
4	8	369	262	631
5	7	383	126	509
6	9	761	143	904
7	5	221	124	345
8	7	579	90	669
9	11	341	69	410
10	9	646	142	788
11	9	346	254	600
12	6	523	119	642
13	10	443	282	725
14	5	584	174	758
15	8	518	114	632
16	6	455	107	562
17	10	777	188	965
18	8	585	134	719
19	6	210	36	246
20	7	779	133	912
21	10	204	33	237
22	6	652	117	769
23	11	370	136	506
24	6	765	107	872
25	6	686	219	905
26	10	230	52	282
27	5	369	90	459
28	6	404	134	538
29	8	507	225	732
30	11	355	92	447
TOTAL	245	14.005	4.031	18.036

AVERÍA MECÁNICA			CENTRO 2	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
31	13	501	138	639
32	10	347	89	436
33	9	370	115	485
34	9	319	110	429
35	10	520	162	682
36	8	401	146	547
37	7	466	92	558
38	9	433	141	574
39	8	454	180	634
40	8	185	117	302
41	7	334	64	398
42	7	706	219	925
43	7	881	401	1282
44	6	527	255	782
45	8	488	196	684
46	9	258	94	352
TOTAL	135	7.190	2.522	9.712
TOTAL	380	21.195	6.553	27.748

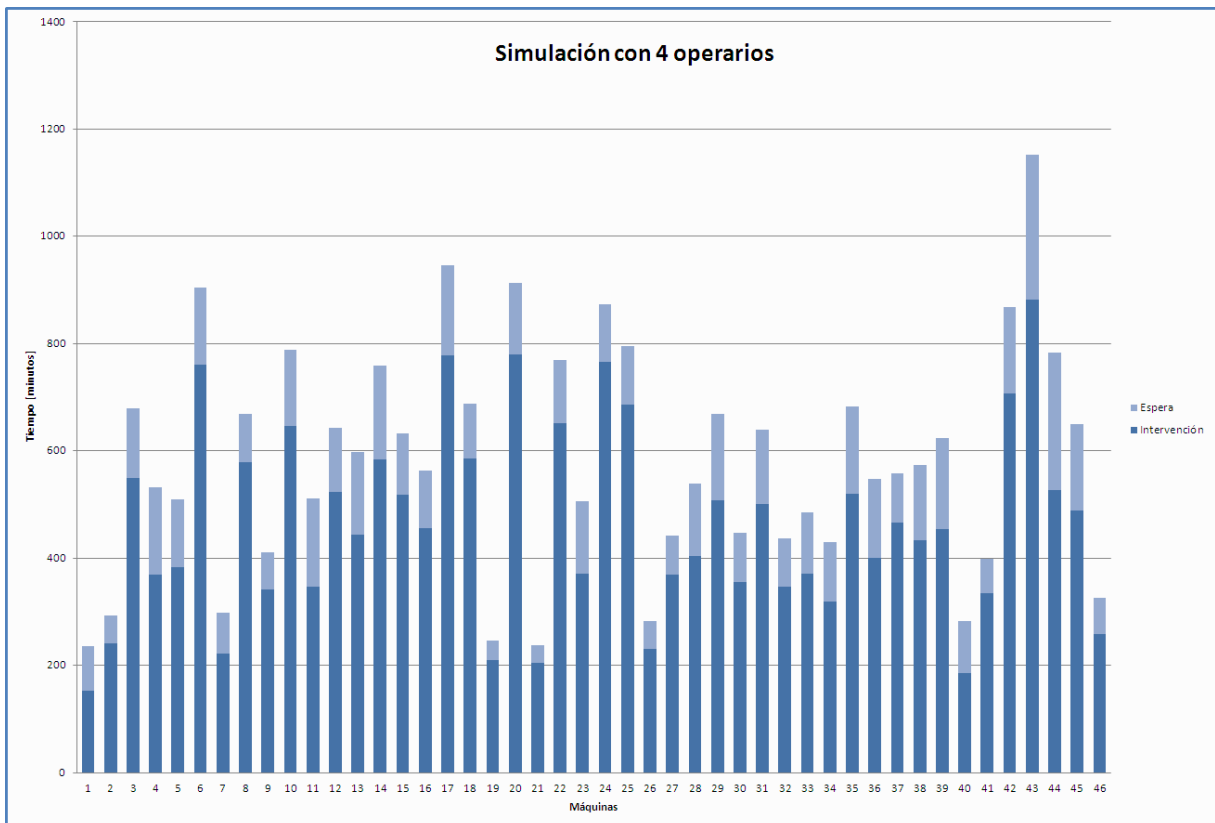


6.2.1.4. Simulación con cuatro Operarios

La simulación con 4 operarios da los siguientes resultados:

AVERÍA MECÁNICA			CENTRO 1	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
1	10	690	82	235
2	14	832	52	293
3	11	896	130	679
4	8	528	163	532
5	7	519	126	509
6	9	1.061	143	904
7	5	266	76	297
8	7	470	90	669
9	11	783	69	410
10	9	536	142	788
11	9	555	164	510
12	6	231	119	642
13	10	694	154	597
14	5	538	174	758
15	8	423	114	632
16	6	280	107	562
17	10	1.154	169	946
18	8	425	102	687
19	6	280	36	246
20	7	379	133	912
21	10	480	33	237
22	6	308	117	769
23	11	1.057	136	506
24	6	592	107	872
25	6	606	109	795
26	10	562	52	282
27	5	256	72	441
28	6	376	134	538
29	8	532	162	669
30	11	868	92	447
TOTAL	245	17.177	3.364	17.369

AVERÍA MECÁNICA			CENTRO 2	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
31	13	985	138	639
32	10	621	89	436
33	9	501	115	485
34	9	700	110	429
35	10	560	162	682
36	8	437	146	547
37	7	496	92	558
38	9	1.043	141	574
39	8	391	170	624
40	8	544	98	283
41	7	403	64	398
42	7	719	161	867
43	7	848	270	1151
44	6	565	255	782
45	8	697	161	649
46	9	764	68	326
TOTAL	135	10.274	2.243	9.433
TOTAL	380	27.451	5.607	26.802



6.2.1.5. Analizar y comparar resultados

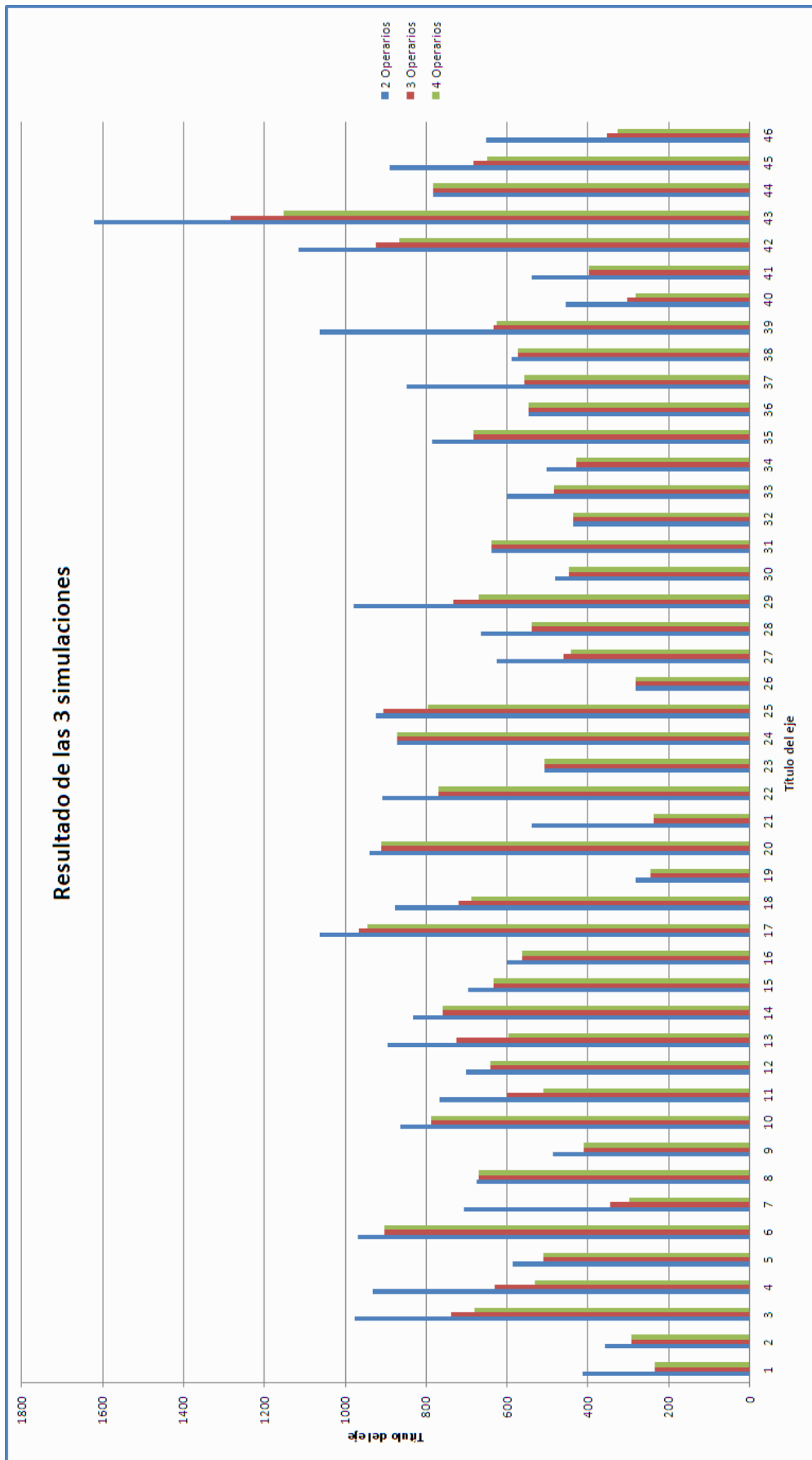
Una vez realizadas todas las simulaciones, es hora de analizar toda la información que nos aportan los informes que ha creado ARENA®. Las variables que se van a analizar y comparar van a ser: Tiempo Avería y Tiempo ocioso.

AVERÍA MECÁNICA		CENTRO 1		
Máquina	Tiempo Intervención	Tiempo Avería		
		2 Operarios	3 Operarios	4 Operarios
1	690	412	235	235
2	832	359	293	293
3	896	977	738	679
4	528	932	631	532
5	519	586	509	509
6	1.061	968	904	904
7	266	706	345	297
8	470	674	669	669
9	783	485	410	410
10	536	863	788	788
11	555	767	600	510
12	231	702	642	642
13	694	894	725	597
14	538	833	758	758
15	423	697	632	632
16	280	598	562	562
17	1.154	1064	965	946
18	425	876	719	687
19	280	281	246	246
20	379	940	912	912
21	480	538	237	237
22	308	908	769	769
23	1.057	506	506	506
24	592	872	872	872
25	606	924	905	795
26	562	282	282	282
27	256	625	459	441
28	376	664	538	538
29	532	979	732	669
30	868	481	447	447
TOTAL	17.177	21.399	18.036	17.369

AVERÍA MECÁNICA		CENTRO 2		
Máquina	Tiempo Intervención	Tiempo Avería		
		2 Operarios	3 Operarios	4 Operarios
31	985	639	639	639
32	621	436	436	436
33	501	600	485	485
34	700	502	429	429
35	560	786	682	682
36	437	547	547	547
37	496	849	558	558
38	1.043	588	574	574
39	391	1063	634	624
40	544	456	302	283
41	403	539	398	398
42	719	1116	925	867
43	848	1621	1282	1151
44	565	782	782	782
45	697	889	684	649
46	764	652	352	326
TOTAL	10.274	12.068	9.712	9.433
TOTAL	27.451	33.468	27.748	26.802
TIEMPO OPERARIOS EN TALLER		46.560	88.787	122.521

Como se puede observar el tiempo total de averías en la simulación con capacidad 3 operarios disminuye un 17% respecto a la simulación con capacidad de 2 operarios. El tiempo ocioso que el operario pasa en el taller es un 90'69% superior respecto a simulación anterior.

Al aumentar la capacidad a 4 operarios el tiempo total averías disminuye un 20% respecto a la simulación con 2 operarios, pero solo un 3'4% respecto a la simulación con 3 operarios. El tiempo ocioso aumenta un 163% respecto al resultado obtenido con una capacidad de 2 operarios.



Tiempo Ocioso. Según los resultados obtenidos de las simulaciones solo el 22'1% de la capacidad total, para 3 operarios, se invierte realmente en reparar averías. El 77'9% se debería de invertir en otras tareas.

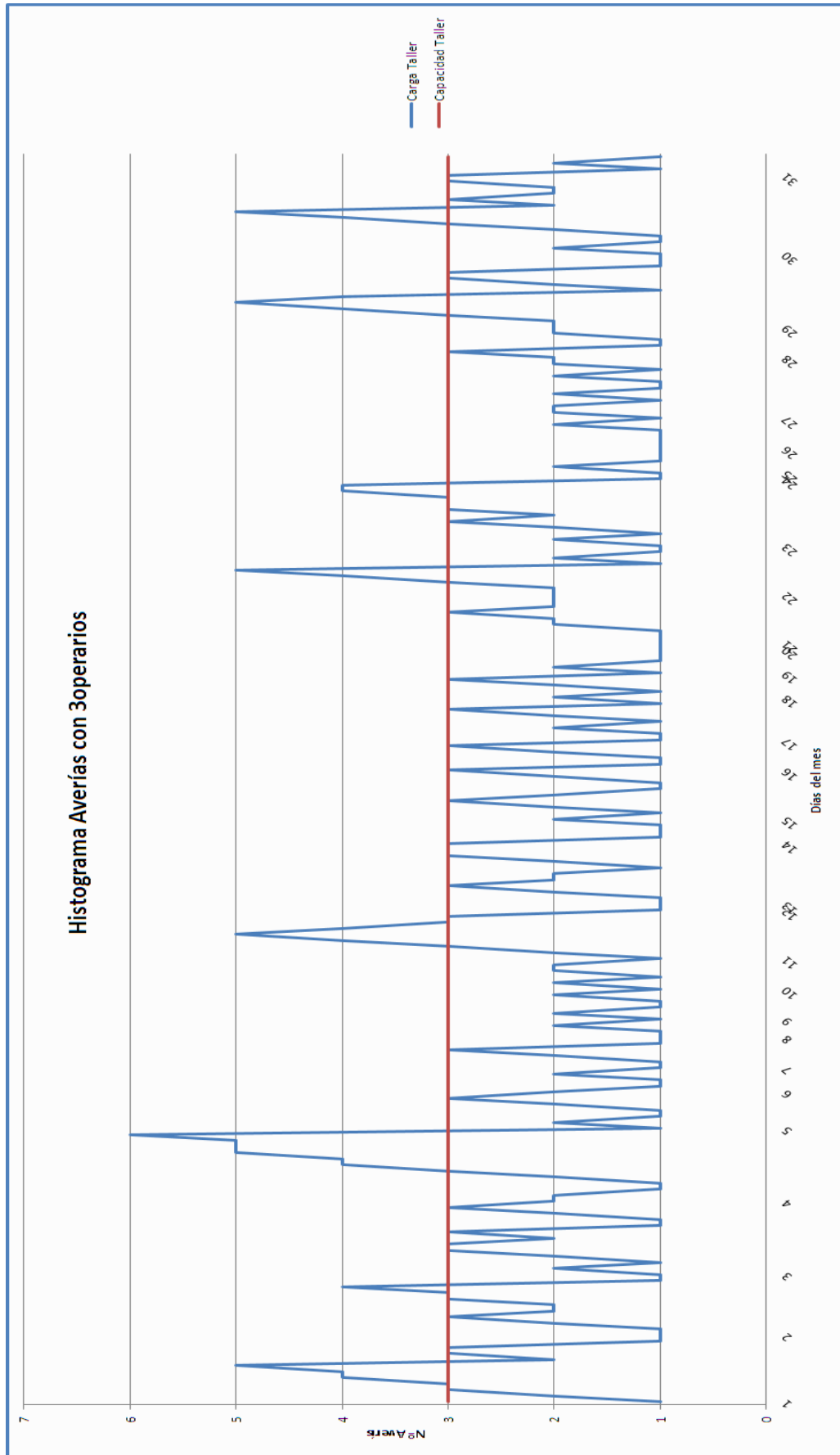
	2 operarios	3 operarios	4 operarios
Capacidad total	81.468 minutos	122.202 minutos	162.936 minutos
Tiempo Averías Total	33.468 minutos	27.748 minutos	26.802 minutos
Cap. aprovechada	41'08%	22'71%	16'45%

Tabla 6.2.1.5a: Relación capacidad total con tiempo averías

	2 operarios	3 operarios	4 operarios
Capacidad total	81.468 minutos	122.202 minutos	162.936 minutos
Operario en el taller	46.560 minutos	88.787 minutos	122.521 minutos
Cap. desaprovecha	57'15%	72'66%	75'20%

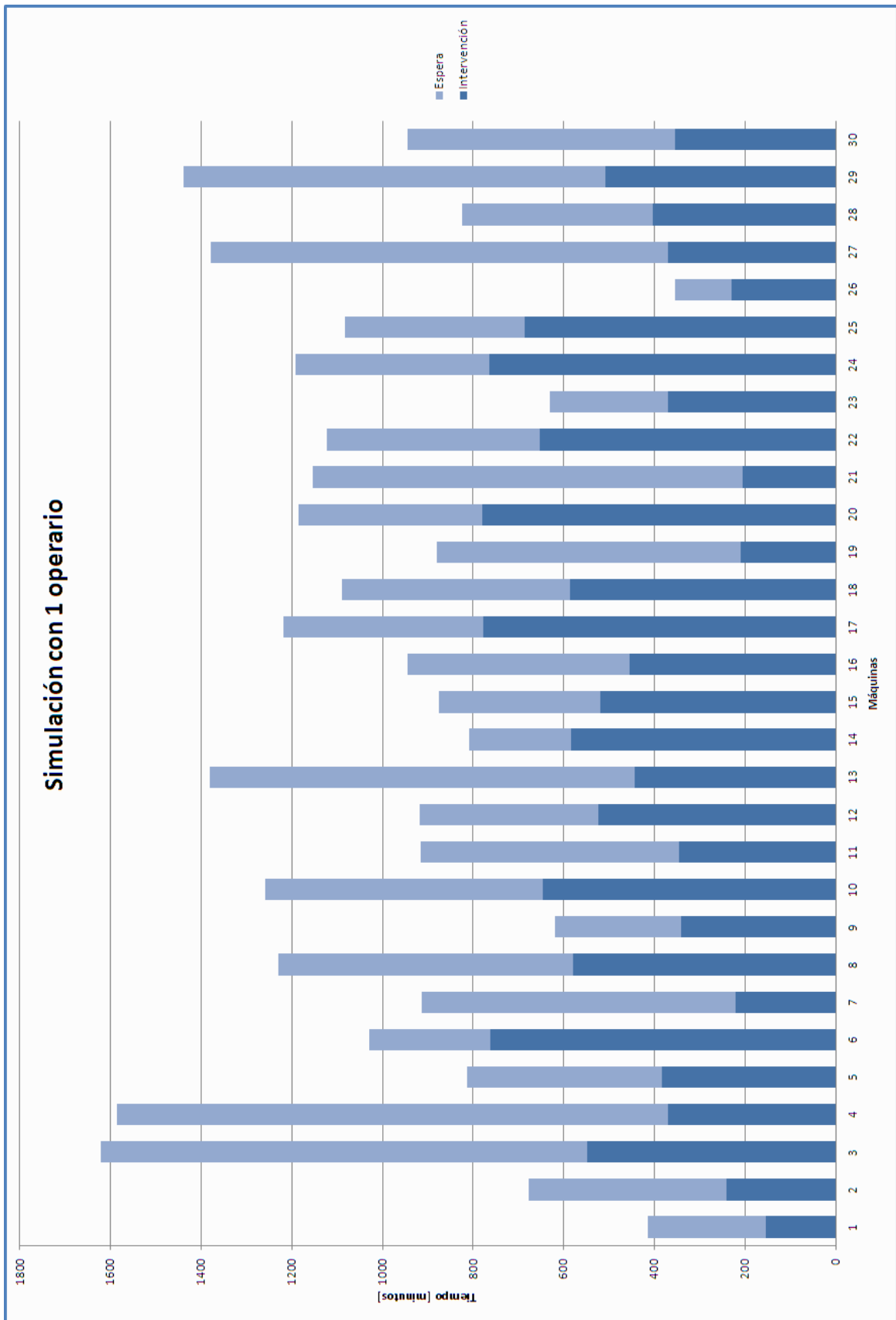
Tabla 6.2.1.5b: Relación capacidad total con tiempo ocioso

A diferencia del histograma de averías eléctricas, el de averías mecánicas no se muestra tan descompensado, no tenemos una zona definida donde la carga supere a la capacidad. Se muestran picos de faena donde el taller queda desbordado pero podemos considerar que la capacidad es la idónea para la carga presentada.



La simulación con 1 operario da los siguientes resultados:

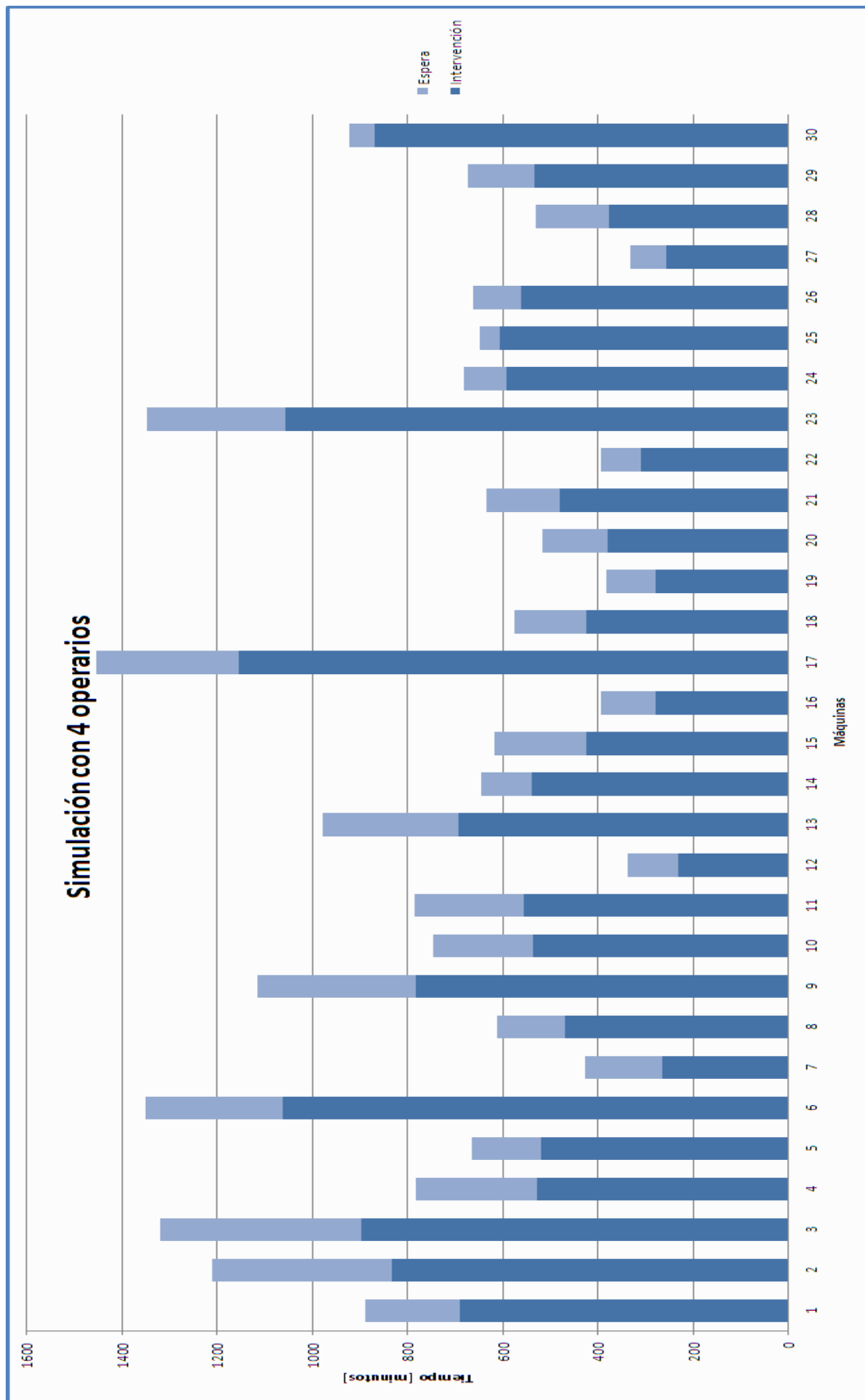
AVERÍA MECÁNICA			CENTRO 1	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
1	3	153	262	415
2	4	241	435	676
3	4	549	1.073	1622
4	4	369	1.218	1587
5	4	383	431	814
6	5	761	267	1028
7	3	221	692	913
8	4	579	651	1230
9	4	341	277	618
10	5	646	611	1257
11	4	346	568	914
12	5	523	396	919
13	6	443	937	1380
14	5	584	225	809
15	5	518	357	875
16	5	455	490	945
17	6	777	442	1219
18	5	585	504	1089
19	5	210	671	881
20	6	779	406	1185
21	4	204	950	1154
22	6	652	471	1123
23	5	370	259	629
24	6	765	426	1191
25	5	686	395	1081
26	3	230	125	355
27	5	369	1.009	1378
28	5	404	419	823
29	5	507	932	1439
30	3	355	590	945
TOTAL	139	14.005	16.492	30.497



6.2.2.1.2. Simulación con 2 operarios

La simulación con 2 operarios da los siguientes resultados:

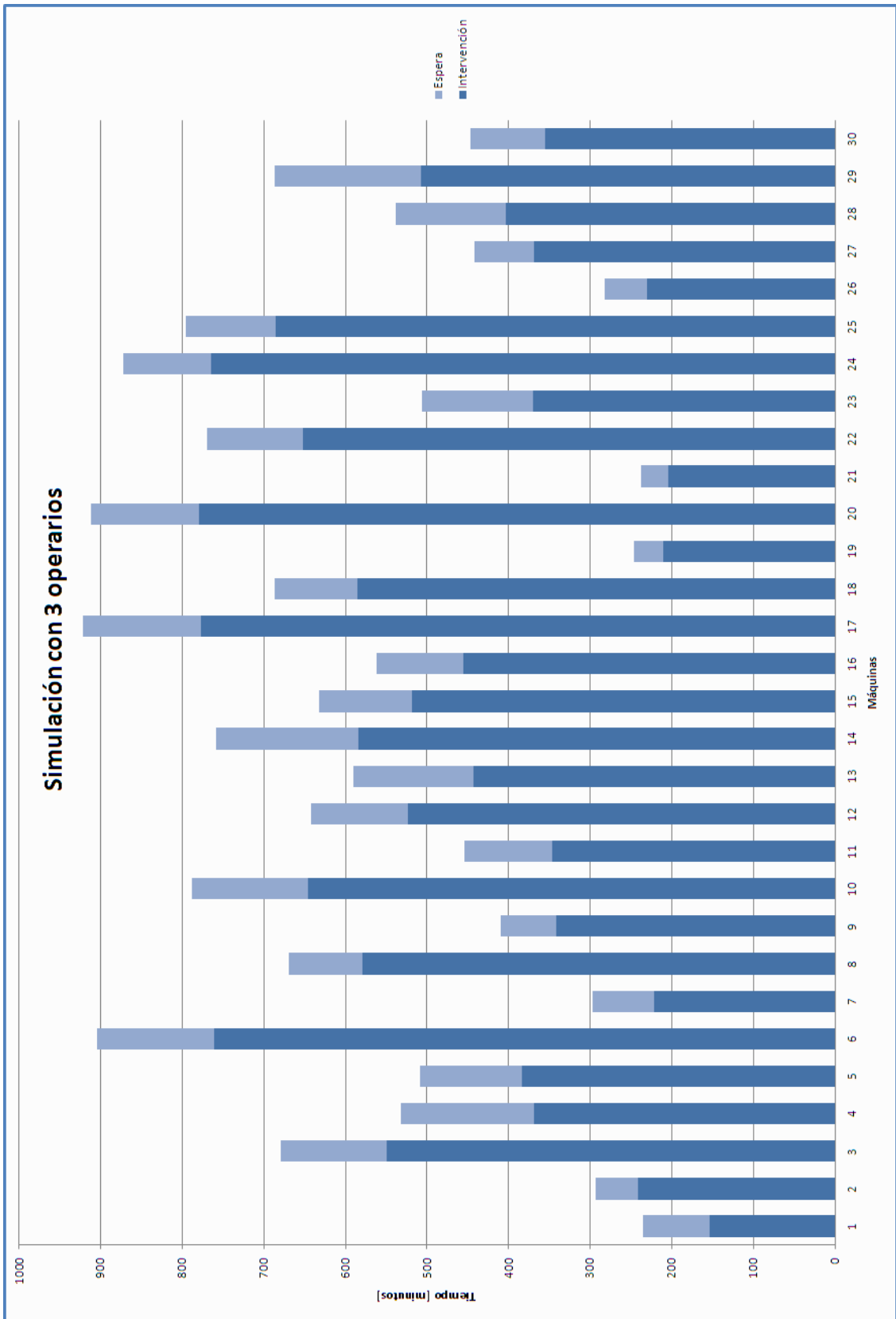
AVERÍA MECÁNICA				CENTRO 1
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
1	3	153	82	235
2	4	241	72	313
3	4	549	274	823
4	4	369	461	830
5	4	383	163	546
6	5	761	207	968
7	3	221	132	353
8	4	579	90	669
9	4	341	69	410
10	5	646	201	847
11	4	346	212	558
12	5	523	119	642
13	6	443	147	590
14	5	584	174	758
15	5	518	114	632
16	5	455	107	562
17	6	777	172	949
18	5	585	134	719
19	5	210	36	246
20	6	779	154	933
21	4	204	211	415
22	6	652	117	769
23	5	370	136	506
24	6	765	107	872
25	5	686	123	809
26	3	230	52	282
27	5	369	171	540
28	5	404	134	538
29	5	507	283	790
30	3	355	126	481
TOTAL	139	14.005	4.587	18.592



6.2.2.1.3. Simulación con 3 operarios

La simulación con 3 operarios da los siguientes resultados:

AVERÍA MECÁNICA				CENTRO 1	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería	
1	3	153	82	235	
2	4	241	52	293	
3	4	549	130	679	
4	4	369	163	532	
5	4	383	126	509	
6	5	761	143	904	
7	3	221	76	297	
8	4	579	90	669	
9	4	341	69	410	
10	5	646	142	788	
11	4	346	108	454	
12	5	523	119	642	
13	6	443	147	590	
14	5	584	174	758	
15	5	518	114	632	
16	5	455	107	562	
17	6	777	144	921	
18	5	585	102	687	
19	5	210	36	246	
20	6	779	133	912	
21	4	204	33	237	
22	6	652	117	769	
23	5	370	136	506	
24	6	765	107	872	
25	5	686	109	795	
26	3	230	52	282	
27	5	369	72	441	
28	5	404	134	538	
29	5	507	180	687	
30	3	355	92	447	
TOTAL	139	14.005	3.294	17.299	



6.2.2.1.4. Analizar y comparar resultados

Una vez realizadas todas las simulaciones, es hora de recopilar y analizar toda la información que nos aportan los informes que ha creado ARENA®. Las variables que se van a analizar y comparar van a ser: Tiempo Avería y Tiempo ocioso.

Máquina	Tiempo Intervención	Tiempo Avería		
		1 Operarios	2 Operarios	3 Operarios
1	153	415	235	235
2	241	676	313	293
3	549	1622	823	679
4	369	1587	830	532
5	383	814	546	509
6	761	1028	968	904
7	221	913	353	297
8	579	1230	669	669
9	341	618	410	410
10	646	1257	847	788
11	346	914	558	454
12	523	919	642	642
13	443	1380	590	590
14	584	809	758	758
15	518	875	632	632
16	455	945	562	562
17	777	1219	949	921
18	585	1089	719	687
19	210	881	246	246
20	779	1185	933	912
21	204	1154	415	237
22	652	1123	769	769
23	370	629	506	506
24	765	1191	872	872
25	686	1081	809	795
26	230	355	282	282
27	369	1378	540	441
28	404	823	538	538
29	507	1439	790	687
30	355	945	481	447
TOTAL	14.005	30.497	18.592	17.299
TIEMPO OPERARIOS EN TALLER		10.237	62.876	104.903

Como se puede observar el tiempo total de averías en la simulación con capacidad de 2 operarios disminuye un 39% respecto a la simulación con capacidad de 1 operarios. El tiempo ocioso que el operario pasa en el taller es más quintuplica el valor anterior.

Al aumentar la capacidad a 3 operarios se consigue un tiempo total de avería inferior al obtenido en la simulación con capacidad 1 de un 43%. Sin embargo el tiempo de avería respecto a la simulación con 2 operarios es de un 7%.

El tiempo ocioso es 10 veces superior al de la primera simulación (1 operarios) y un 77% respecto la segunda (2 operarios).

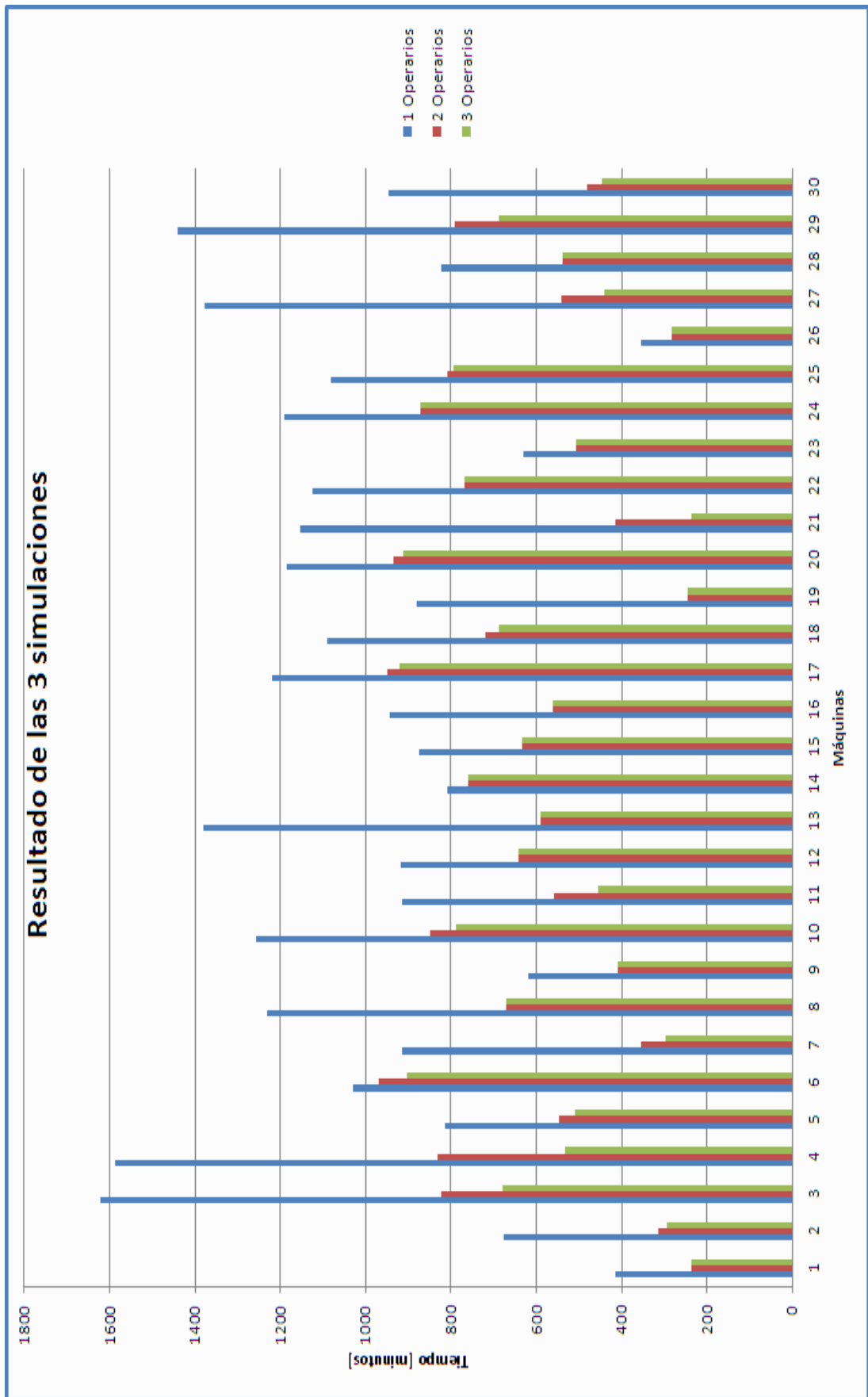
	1 operarios	2 operarios	3 operarios
Capacidad total	40.734 minutos	81.468 minutos	122.202 minutos
Tiempo Averías Total	30.497 minutos	18.592 minutos	17.299 minutos
Cap. aprovechada	74'87%	22'82%	14'16%

Tabla 6.2.2.4a: Relación capacidad total con tiempo averías

	1 operarios	2 operarios	3 operarios
Capacidad total	40.734 minutos	81.468 minutos	122.202 minutos
Operario en el taller	10.237 minutos	62.876 minutos	101.756 minutos
Cap. desaprovecha	23'62%	22'82%	14'16%

Tabla 6.2.2.4b: Relación capacidad total con tiempo Ocioso

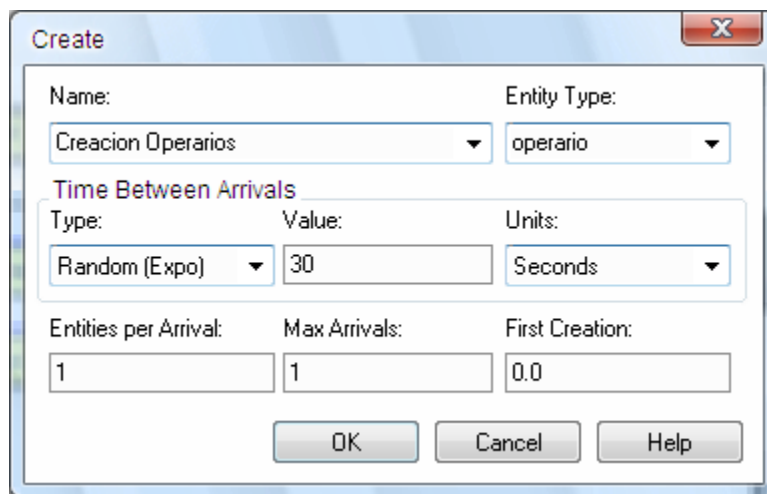
El siguiente histograma muestra gráficamente la diferencia, del tiempo averías mecánicas, entre las diferentes simulaciones. Podemos ver una mejora en los tiempos avería si comparamos la simulación con 1 operarios con la simulación con 2 operarios. Sin embargo, los resultados obtenidos entre las simulaciones con 2 y 3 operarios son casi idénticos. Sin embargo el tiempo ocios entre las dos últimas simulaciones es un aumento considerable del tiempo ocios.



6.2.2.2. Taller centro 2

6.2.2.2.1. Simulación con 1 operario

Para establecer el valor de la capacidad mínima se ha partimos de una capacidad de 1 operario. Vamos al submodelo Taller y cambiamos el número de las entidades de llegada del créate 'Creación Operarios' a 1.



Name:	Entity Type:	
Creacion Operarios	operario	
Time Between Arrivals		
Type:	Value:	Units:
Random (Expo)	30	Seconds
Entities per Arrival:	Max Arrivals:	First Creation:
1	1	0.0

No es necesario modificar el RunSetup ya que las condiciones de simulación son las mismas que para las simulaciones anteriores. Activamos la simulación a través de botón (▶) de la barra de herramientas. Una vez finalizada la simulación visualizamos los resultados de la simulación y comprobamos si la carga o número de averías ha sido excesivo para la capacidad programada (1 operarios).

Para ello abrimos la pestaña Reports y seleccionamos Category Overview.

Category Overview

Unnamed Project

Replications: 1

Queue

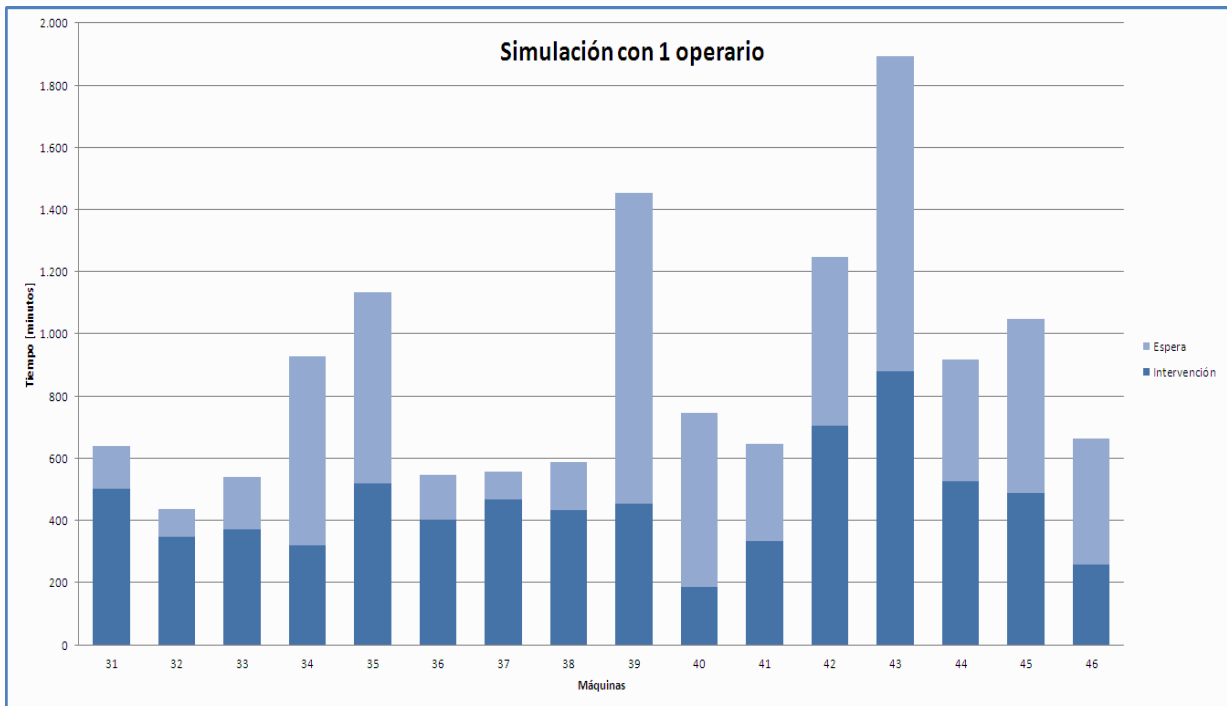
Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Averia maq31.Queue	0,01431788	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq32.Queue	0,00976927	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq33.Queue	0,01212328	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq34.Queue	0,02079973	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq35.Queue	0,02536701	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq36.Queue	0,01225582	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq37.Queue	0,01250299	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq38.Queue	0,01317727	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq39.Queue	0,03257878	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq40.Queue	0,01667488	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq41.Queue	0,01445378	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq42.Queue	0,02792152	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq43.Queue	0,04241599	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq44.Queue	0,02052419	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq45.Queue	0,02350806	(Insuficiente)	0,00	1,0000
Averia maq46.Queue	0,01483498	(Insuficiente)	0,00	1,0000

Para la simulación con 1operario no hay ninguna cola con más de una avería en espera a la vez. Por lo tanto, podemos decir que no hay sobrecarga en el sistema.

La simulación con 1 operario da los siguientes resultados:

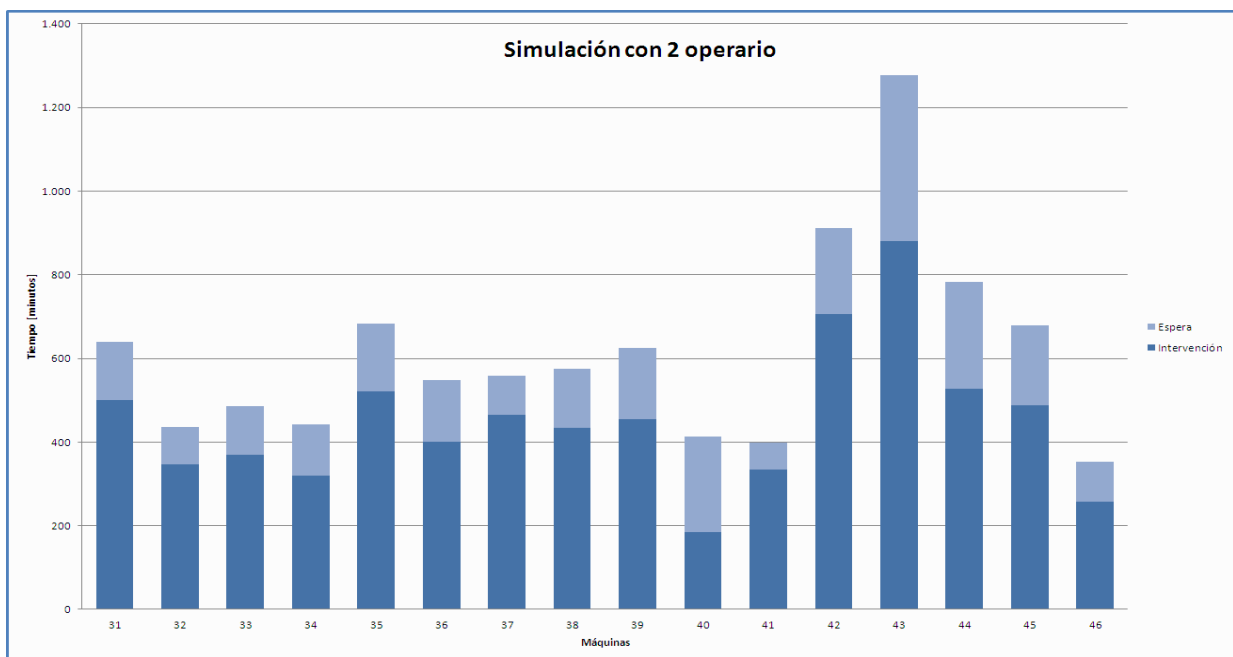
AVERÍA MECÁNICA			CENTRO 2	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
31	4	501	138	639
32	3	347	89	436
33	4	370	171	541
34	4	319	609	929
35	5	520	614	1.134
36	3	401	146	547
37	4	466	92	558
38	5	433	155	588
39	5	454	1.000	1.454
40	4	185	559	744
41	3	334	311	645
42	5	706	540	1.246
43	5	881	1.012	1.893
44	4	527	389	916
45	5	488	561	1.049
46	4	258	404	662
TOTAL	67	7.191	6.794	13.985



6.2.2.2. Simulación con 2 operarios

La simulación con 2 operarios da los siguientes resultados:

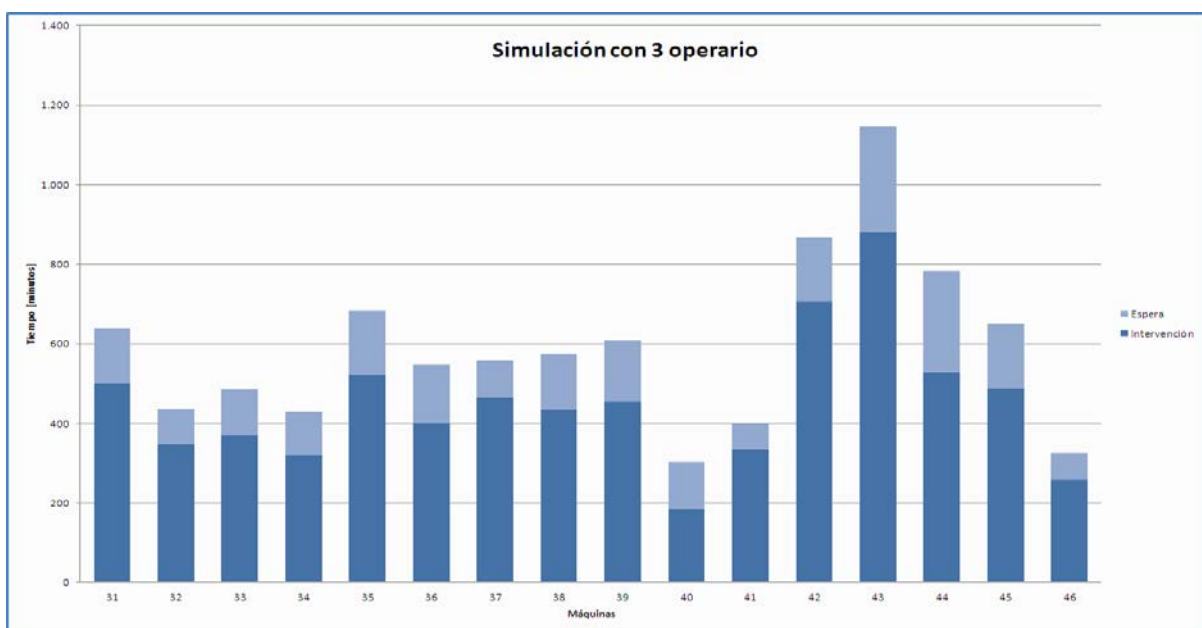
AVERÍA MECÁNICA				CENTRO 2
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
31	4	501	138	639
32	3	347	89	436
33	4	370	115	485
34	4	319	123	442
35	5	520	162	682
36	3	401	146	547
37	4	466	92	558
38	5	433	141	574
39	5	454	170	624
40	4	185	228	413
41	3	334	64	398
42	5	706	206	912
43	5	881	396	1.277
44	4	527	255	782
45	5	488	190	678
46	4	258	94	352
TOTAL	67	7.191	2.611	9.802



6.2.2.2.3. Simulación con 3 operarios

La simulación con 3 operarios da los siguientes resultados:

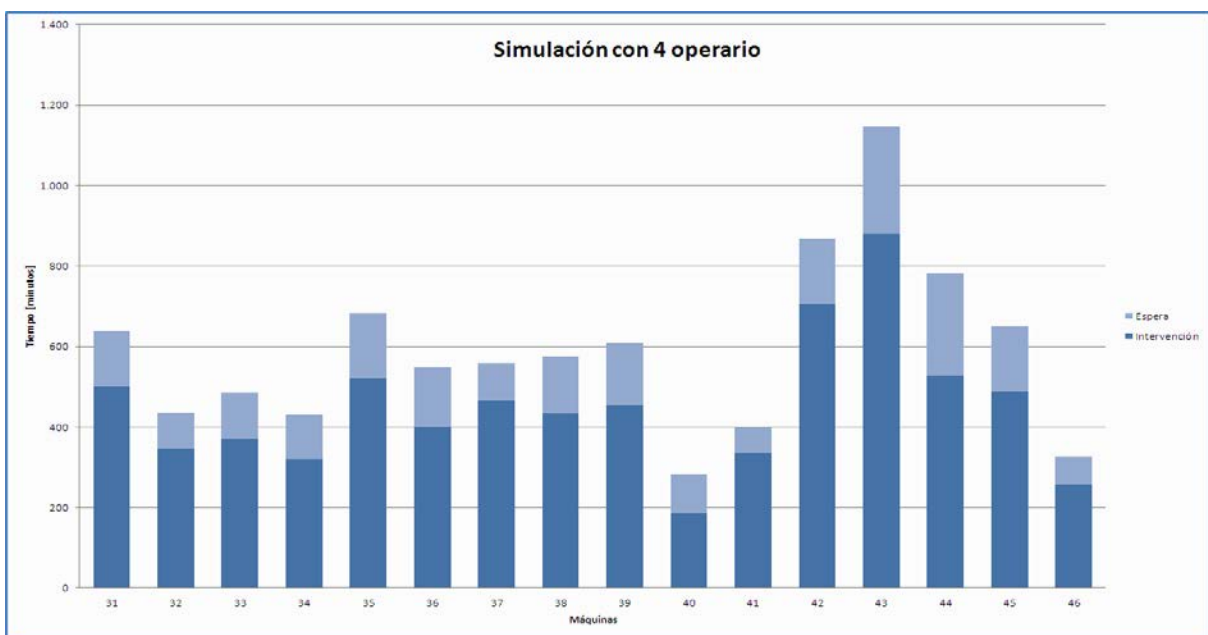
AVERÍA MECÁNICA				CENTRO 2
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería
31	4	501	138	639
32	3	347	89	436
33	4	370	115	485
34	4	319	110	429
35	5	520	162	682
36	3	401	146	547
37	4	466	92	558
38	5	433	141	574
39	5	454	154	608
40	4	185	117	302
41	3	334	64	398
42	5	706	161	867
43	5	881	266	1.147
44	4	527	255	782
45	5	488	161	649
46	4	258	68	326
TOTAL	67	7.191	2.241	9.432



6.2.2.2.4. Simulación con 4 operarios

La simulación con 4 operarios da los siguientes resultados:

AVERÍA MECÁNICA				CENTRO 2	
Máquina	Nº averías	Tiempo Intervención	Máquina en espera	Tiempo Avería	
31	4	501	138	639	
32	3	347	89	436	
33	4	370	115	485	
34	4	319	110	429	
35	5	520	162	682	
36	3	401	146	547	
37	4	466	92	558	
38	5	433	141	574	
39	5	454	154	608	
40	4	185	98	283	
41	3	334	64	398	
42	5	706	161	867	
43	5	881	266	1.147	
44	4	527	255	782	
45	5	488	161	649	
46	4	258	68	326	
TOTAL	67	7.191	2.222	9.413	



6.2.2.2.5. Analizar y comparar resultados

Una vez realizadas todas las simulaciones, es hora de recopilar y analizar toda la información que nos aportan los informes que ha creado ARENA®. Las variables que se van a analizar y comparar van a ser: Tiempo Avería y Tiempo ocioso.

Máquina	Tiempo Intervención	Tiempo Avería			
		1 Operarios	2 Operarios	3 Operarios	4 Operarios
31	501	639	639	639	639
32	347	436	436	436	436
33	370	541	485	485	485
34	319	929	442	429	429
35	520	1.134	682	682	682
36	401	547	547	547	547
37	466	558	558	558	558
38	433	588	574	574	574
39	454	1.454	624	608	608
40	185	744	413	302	283
41	334	645	398	398	398
42	706	1.246	912	867	867
43	881	1.893	1.277	1.147	1.147
44	527	916	782	782	782
45	488	1.049	678	649	649
46	258	662	352	326	326
TOTAL	7.191	13.985	9.802	9.432	9.413
TIEMPO OPERARIOS EN TALLER		25.144	65.216	109.387	142.776

Como se puede observar el tiempo total de averías en la simulación con capacidad de 2 operarios disminuye un 30% respecto a la simulación con capacidad de 1 operarios. El tiempo ocioso que el operario pasa en el taller tiene un incremento del aumenta un 62%.

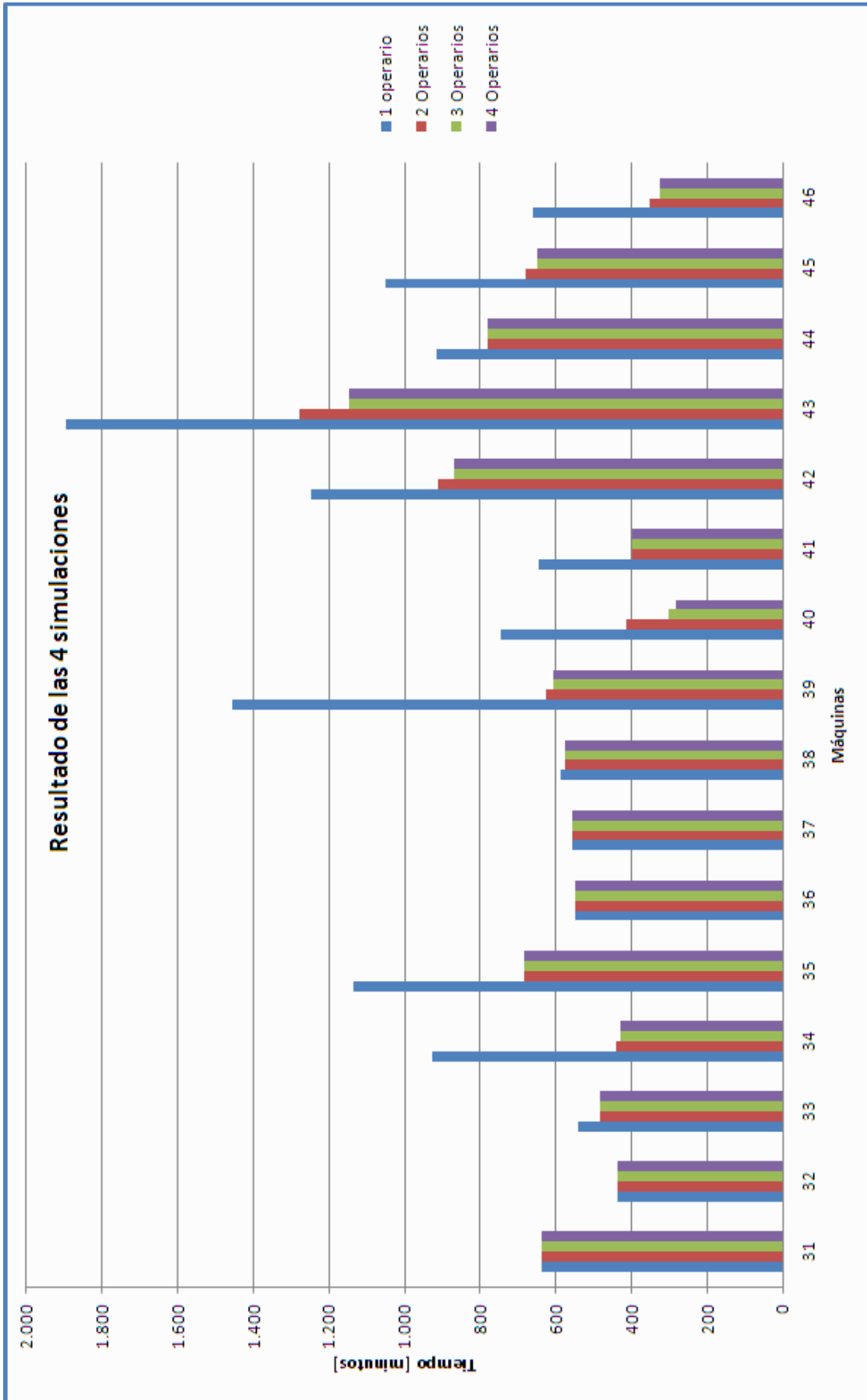
El siguiente histograma muestra gráficamente la diferencia, del tiempo averías mecánicas, entre las diferentes simulaciones. Podemos ver una mejora en los tiempos avería entre la simulación con 1 operarios y la simulación con 2 operarios. Sin embargo, los resultados obtenidos entre las simulaciones con 2, 3 y 4 operarios son casi idénticos. La diferencia entre estas tres últimas simulaciones es en el aumento considerable del tiempo ocios.

	1 operarios	2 operarios	3 operarios	4 operarios
Capacidad total	40.734 min.	81.468 min.	122.202 min.	162.936 min.
T. Averías Total	13.985 min.	9.802 min.	9.432 min.	9.413 min.
Cap. Aprove.	34'33%	12'03%	7'72%	5'78%

Tabla 6.2.2.5a: Relación capacidad total con tiempo averías

	1 operarios	2 operarios	3 operarios	4 operarios
Capacidad total	40.734 min.	81.468 min.	122.202 min.	162.936 min.
Op. en el taller	25.144 min.	65.216 min.	109.387 min.	142.776 min.
Cap. Desapro.	61'73%	80'05%	89'51%	87'63%

Tabla 6.2.2.5b: Relación capacidad total con tiempo averías



6.2.1.5. Comparar resultados con la simulación Taller Único

Para saber cuál de las dos opciones es la apropiada, es necesario comparar los resultados de las simulaciones realizadas para un único taller con los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas con los dos talleres independientes.

La tabla 6.2.1.5a muestra un resumen de todas las simulaciones realizadas hasta el momento. Podemos ver cómo afecta la variación de la capacidad del taller, número de operarios, al tiempo de averías y al tiempo ocioso.

OPERARIOS		1	2	3	4
TALLER ÚNICO	T. averías	-	33.468	27.748	26.802
	T. ocioso	-	46.560	88.787	122.521
CENTRO 1	T. averías	30.497	18.592	17.299	-
	T. ocioso	10.237	62.876	104.903	-
CENTRO2	T. averías	13.985	9.802	9.432	9.413
	T. ocioso	25.144	65.216	109.387	142.776

Tabla 6.2.1.5a: Resumen de todas las simulaciones

De las tres simulaciones que se han realizado con un único taller seleccionamos la simulación con capacidad de 3 operarios ya que es la simulación que mejor representa al sistema real.

No es posible comparar directamente las simulaciones del taller único con las simulaciones de los talleres independientes en los centros 1 y 2. Para poder realizar una comparativa entre talleres es necesario igualar la capacidad del taller único con las capacidades de los talleres 1 y 2. A continuación se mostrarán dos tablas, una para el tiempo averías y otra para el tiempo ocioso, mostrando todas las combinaciones posibles.

Dado que las simulaciones para un único taller se han realizado para 2, 3 y 4 operarios, las combinaciones que se van a realizar entre los centros independientes serán las que estén dentro de estos valores.

TIEMPO AVERÍAS					
		CENTRO1			
	OP's	1	2	3	
CENTRO2	1	44.481	32.577	31.284	2 Operarios
	2	40.299	28.394	-	3 operarios
	3	39.929	-	-	4 operarios

Tabla 6.2.1.5b: Tiempo Avería en función de la capacidad de los dos centros.

Tanto en la primera como en la segunda tabla, solo hay una combinación para 2 operarios, dos combinaciones para 3 operarios y tres para 4 operarios. Si buscamos una combinación donde el tiempo ocioso sea el menor posible cogeríamos la única opción con 2 operarios, uno de cada centro.

TIEMPO OCIOSO					
		CENTRO1			
	OP's	1	2	3	
CENTRO2	1	35.381	88.020	130.047	2 Operarios
	2	75.453	128.092	-	3 operarios
	3	119.624	-	-	4 operarios

Tabla 6.2.1.5c: Tiempo Ocioso en función de la capacidad de los dos centros.

La tabla 6.2.1.5d muestra un resumen de todas las simulaciones realizadas hasta el momento, para las averías mecánicas con un único taller y Centro 1 y Centro 2 con taller independientes.

Podemos ver que la opción con menor tiempo de averías es la de taller único con 2 operarios.

TIEMPO AVERÍAS				
OPERARIOS	TALLER ÚNICO	DOS TALLERES		
		OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
2	33.468	44.481	-	-
3	27.748	32.577	40.299	-
4	26.802	31.284	28.394	39.929

Tabla 6.2.1.5d: Resumen del tiempo avería para todas las simulaciones realizadas.

Sin embargo, la opción con menor tiempo ocioso es la opción 1 con 2 operarios. Como es lógico la opción con mayor tiempo de avería es la que tiene menor tiempo ocioso. Este dato se ha de tener en cuenta a la hora de tomar una opción. El disminuir el tiempo de las averías se penaliza con un aumento del tiempo ociosos.

TIEMPO OCIOSO				
OPERARIOS	TALLER ÚNICO	DOS TALLERES		
		OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
2	46.560	35.381	-	-
3	88.787	88.020	75.453	-
4	122.521	130.047	128.092	119.624

Tabla 6.2.1.5e: Resumen del tiempo ocioso para todas las simulaciones realizadas.

6.2.3. Sistema con dos talleres compartidos

Durante la simulación con dos talleres independientes se ha observado que hay momentos donde la carga de faena es superior en un centro que el otro provocando que los operarios de un centro estén ociosos mientras los del otro centro están saturados. Para solucionar este problema se plantea la opción de dos talleres compartidos. Es decir, a cada taller se le asignan los servicios de mantenimiento de un centro, pero si puntualmente un centro necesita ayuda porque la carga de faena es muy superior a su capacidad, el otro centro (si puede) debería de ayudar y suplir su baja capacidad.

Con el fin de analizar y comparar todas las combinaciones planteadas en el apartado anterior se van a realizar seis simulaciones. El resultado de estas simulaciones se comparará con los resultados obtenidos en la simulación taller único.

TIEMPO AVERÍAS				
OPERARIOS	TALLER ÚNICO	DOS TALLERES		
		OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
5	33.468	44.426	-	-
6	27.748	32.533	40.252	-
7	26.802	31.209	28.356	39.874

Tabla 6.2.3a: Resumen del tiempo avería para todas las simulaciones realizadas.

A disminuido los tiempos de avería respecto a la simulación con talleres independientes (Tabla 6.1.2.3d), pero la opción con menor tiempo de avería sigue siendo la opción de taller único con 5 operarios.

La opción con menor tiempo ocioso es la opción 1 con 5 operarios. Se cumple que la opción con mayor tiempo de avería es la que tiene menor tiempo ocioso. Este dato se ha de tener en cuenta a la hora de tomar una opción. El disminuir el tiempo avería penaliza con un aumento del tiempo ocios.

TIEMPO OCIOSO				
OPERARIOS	TALLER ÚNICO	DOS TALLERES		
		OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
5	46.560	53.332	-	-
6	88.787	98.827	92.620	-
7	122.521	144.000	139.140	133.182

Tabla 6.2.3b: Resumen del tiempo ocioso para todas las simulaciones realizadas.

La comparación entre la simulación con taller único y con dos talleres compartidos no ha sido la esperada. Es cierto que el tanto el tiempo ocioso como el tiempo avería han disminuido, pero los tiempos avería sigue estando por encima del obtenido en la simulación tiempo único. El tiempo ocioso también ha bajado pero menos de lo esperado.

7. ANIMACIONES

Llegados a este punto, podemos dar por finalizadas las tareas de programación y análisis. Podemos decir que se han realizado todos los experimentos programados y se ha obtenido toda la información necesaria para sacar las conclusiones pertinentes.

El presente apartado pretende mejorar las animaciones del modelo. El objetivo es poder presentar al cliente una simulación con animaciones de mayor calidad y precisión, ofreciendo un entorno más agradable que muestre los datos más importantes. Mejorar y simplificar la comprensión de la simulación con una animación lo más pareja al modelo real. Con este fin se extraen todos los datos relevantes, como pueden ser los diagramas de flujo.

7.1. Crear escenario

Primero de todo se ha diseñado el escenario donde se va a plantear la simulación. Partiendo de un plano de la fábrica, se han realizado una serie de modificaciones relacionadas con la distribución y forma de las máquinas. Utilizando el editor de imágenes Photoshop® se han realizado un escenario, en perspectiva en planta, para cada simulación.

El primer escenario, Figura 7.1a, corresponde a la simulación con un único taller. Podemos ver la distribución de las diferentes máquinas y del taller. En la parte superior del escenario se ha diseñado un encabezado para poder mostrar las diferentes variables de interés.

En la Figura 7.1b, se muestra el segundo escenario. Es similar al primero, la única diferencia es que en el centro 2 se ha sustituido el almacén por un segundo taller. Este escenario se utilizará para representar la animación con dos talleres compartidos.



Figura 7.1a: Escenario para la simulación con único taller.

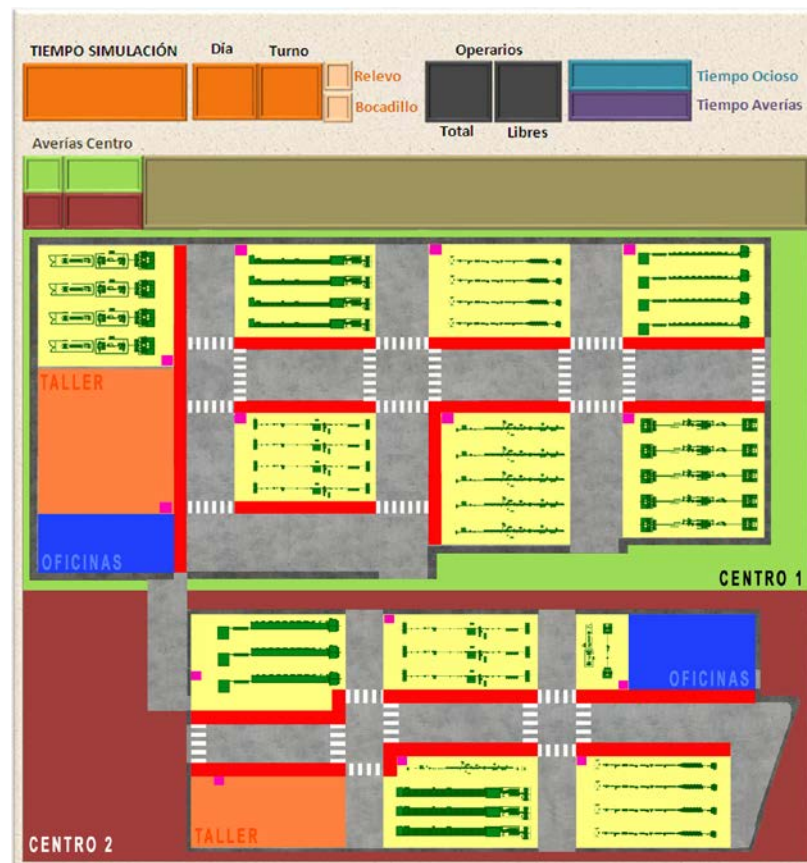


Figura 7.1b: Escenario para la simulación con dos talleres compartidos.

El tercer escenario pertenece al centro 1. Partiendo del escenario anterior se ha diseñado un escenario con un entorno similar.

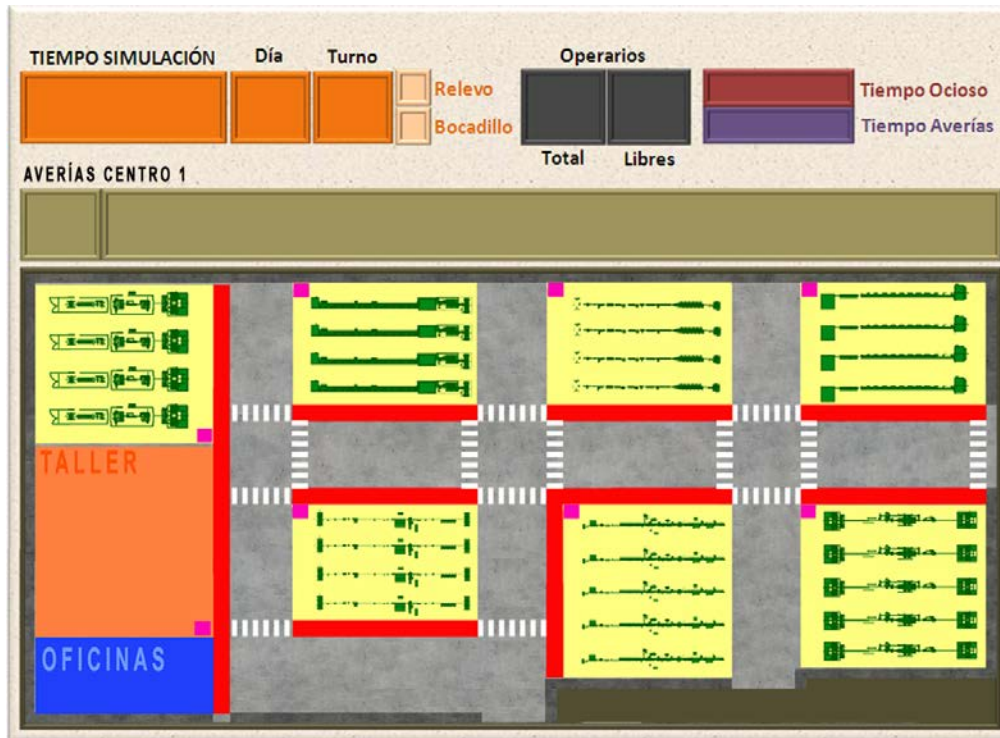


Figura 7.1c: Escenario para la simulación Centro1.

Por ultimo diseñamos el escenario para las simulaciones relacionadas con el Centro2.

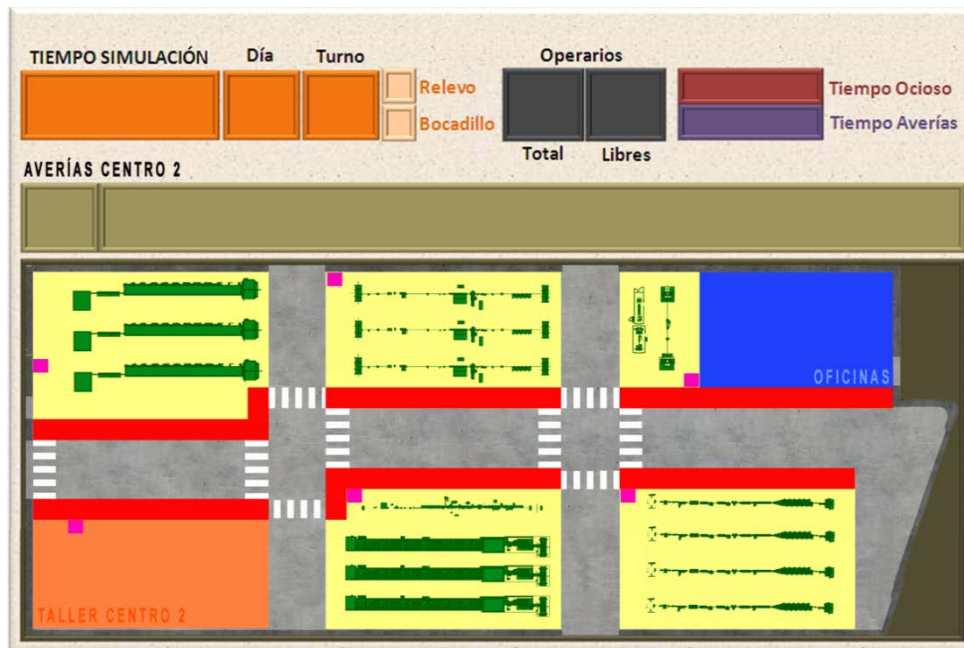


Figura 7.1d: Escenario para la simulación Centro2.

7.2. Modificar y crear imágenes para las entidades Operario

El escenario proporciona una vista en planta de las dos factorías. Así pues, para conseguir mayor realismo en la animación se ha optado por cambiar las entidades Operario utilizadas hasta ahora. El objetivo es diseñar una imagen en planta para esta entidad.

7.2.1. Modificar imagen entidad Operario

La imagen de la entidad Operario actual se utilizará para animar a los operarios en su estancia en el taller, comedor y cuando efectúen el relevo. Esta imagen por defecto que facilita Arena® tiene la camisa rojo y los operarios de mantenimiento van vestidos de color azul, por lo tanto el primer paso será cambiar el color de la ropa de la entidad Operario:

1 Vamos a la barra de menús>Edit y seleccionamos el editor de imágenes.

2 Buscar la imagen utilizada para representar al operario (picture.man).

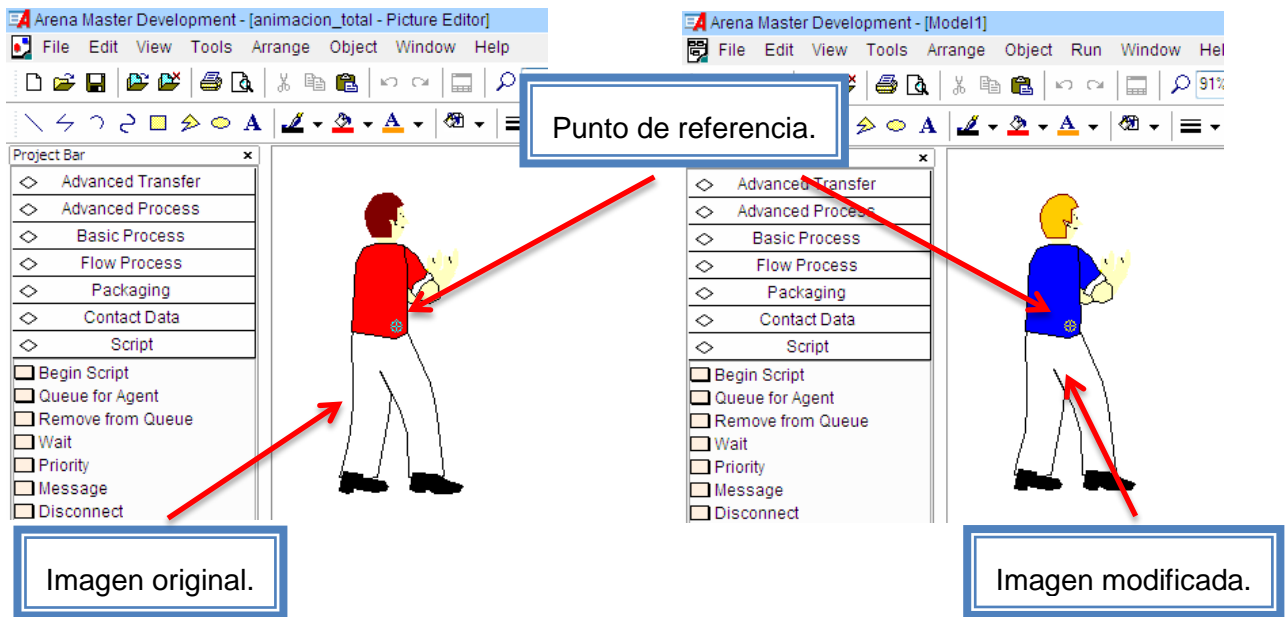
3 Copiar la imagen. Ahora tenemos dos Picture.Man.

4 Hacer doble Click para editar la imagen.

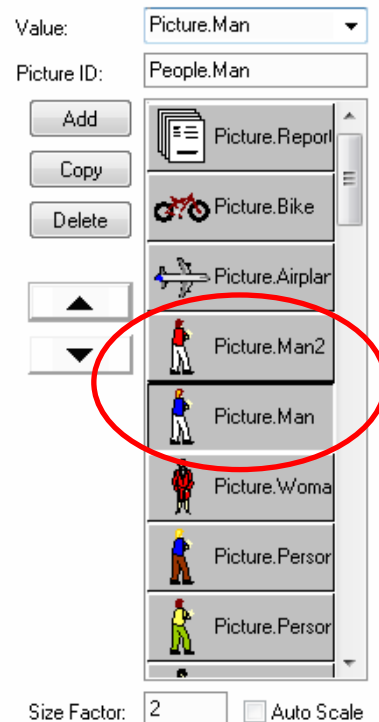
Value: Picture.Man
 Picture ID: People.Man
 Add
 Copy
 Delete
 Picture.Airplar
 Picture.Man
 Picture.Man
 Picture.Woma
 Picture.Person

Entity Pictures...
 OK Cancel Help

Al hacer doble click sobre la imagen a editar, entramos en el editor de imágenes (Picture Editor) de Arena®. El entorno de trabajo es similar a *Paint*, editor de imágenes que Windows tiene instalado por defecto. Es un editor con herramientas muy básicas, con muchas limitaciones, que únicamente deja hacer imágenes o dibujos sencillos.



Una vez editada la imagen cerramos la ventana del editor de imágenes. Volveremos al menú del editor de entidades. Ahora es necesario cambiar el nombre a una de las dos imágenes. En este caso se ha optado por *Picture.Man* para la imagen modificada y *Picture.Man2* para la imagen original. De no cambiar el nombre de la imagen, veríamos como al generar entidades de este tipo Arena® iría alternando entre las dos imágenes.



7.2.2. Crear imagen entidad Operario

En este apartado crearemos dos imágenes nuevas, partiendo de cero, una para animar a los operarios cuando estos estén desplazándose del taller a la máquina y otra que representara al operario realizando una intervención.

El procedimiento a seguir es similar al anterior:

1 Vamos a la barra de menús>Edit y seleccionamos el editor de imágenes.

2 Agregamos una nueva imagen. Aparecerá un espacio en blanco.

3 Hacer doble Click en el espacio creado para entrar en el editor de imágenes y crear la imagen.

Current Library: basicprocess.plb

Value:

Picture ID:

Add Copy Delete

Picture.Airpian

Picture.Man2

Picture.Woma

Picture.Person

Picture.Person

Size Factor: 2 Auto Scale

OK Cancel Help

Dentro del editor de imágenes (Picture Editor) empezamos a crear nuestras imágenes. El procedimiento es el mismo que cuando editamos una imagen en *Paint*. Únicamente hay que tener en cuenta donde pondremos el Punto de Posicionamiento ya que este punto es la referencia que tiene Arena® para posicionar la imagen durante la animación ya sea sobre la cola de algún bloque, una ruta, etc.

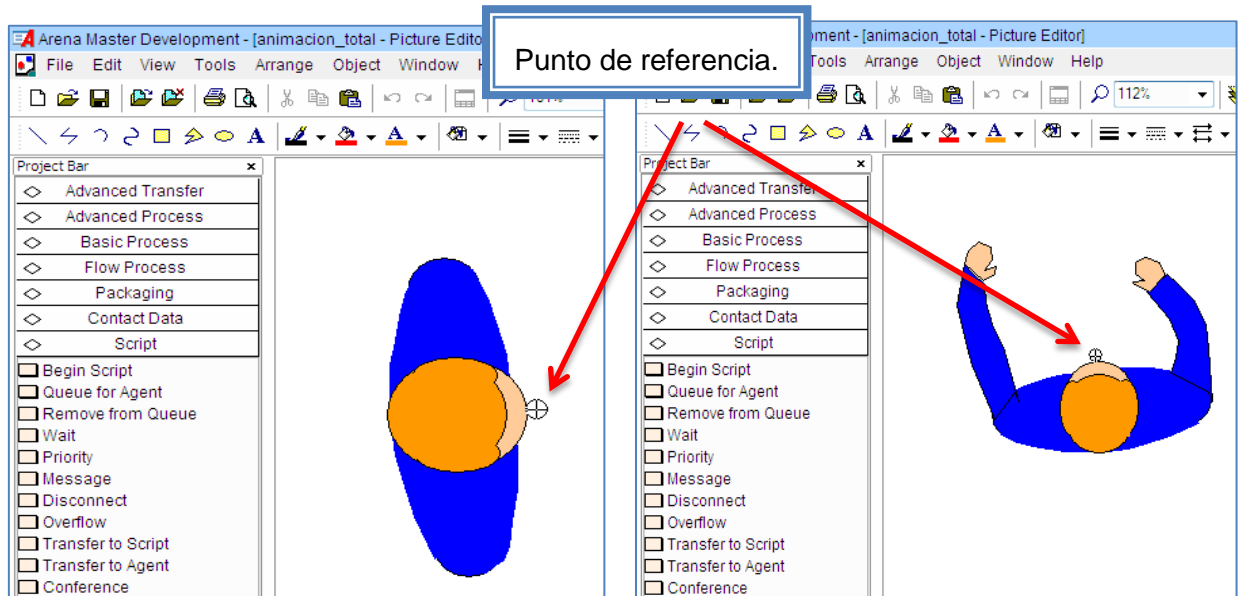
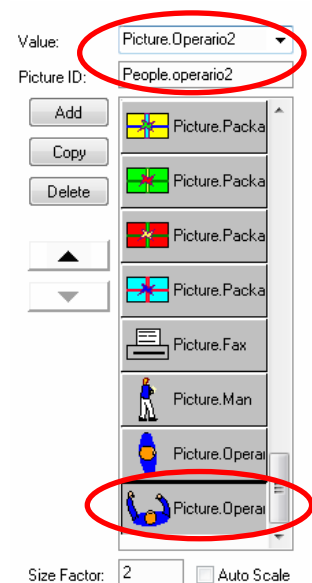







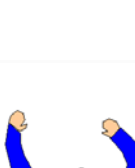
Imagen que representa a la entidad operario cuando este realice un desplazamiento.

Imagen que representa a la entidad operario cuando este realice una intervención.

Una vez creadas las imágenes cerramos la ventana del editor de imágenes. De esta forma volveremos al menú del editor de entidades. El siguiente paso es poner un nombre a cada una de las imágenes. A la imagen que representa al operario desplazándose le llamaremos *Picture.Operario* y a la entidad que representa al operario realizando una intervención le llamaremos *Picture.Operario2*.



Para la simulación con dos talleres compartidos, con el fin de distinguir a que centro pertenece cada operario, se ha modificado el color de las camisas. En la Tabla 7.2.2a se puede ver un resumen de las diferentes imágenes que se han creado y modificado.

Entity Picture		
IMAGEN	NOMBRE	ANIMACIÓN
	Picture.man	Esta imagen anima al operario cuando este esté en la cola del taller. En la animación de talleres compartidos animará a los operarios del taller que presta sus servicios al centro 2.
	Picture.man2	Esta imagen se utiliza únicamente para la animación de dos talleres compartidos. Representando a los operarios, en espera, del taller que presta sus servicios al centro 1.
	Picture.operario3	La imagen Picture.operario3 anima al operario del centro1, en la animación dos talleres compartidos, desplazándose del taller a la máquina averiada.
	Picture.operario	Animación del operario despasándose del taller a la máquina averiada. Se utiliza en todas las simulaciones. En la animación de dos talleres compartidos representa a los operarios del centro 2.
	Picture.operario4	Esta imagen se utiliza únicamente para la animación de dos talleres compartidos. Representando a los operarios del taller del centro 1 cuando están realizando una intervención.
	Picture.operario2	Animación del operario reparando una máquina averiada. Se utiliza en todas las simulaciones. En la animación de dos talleres compartidos representa a los operarios del centro 2.

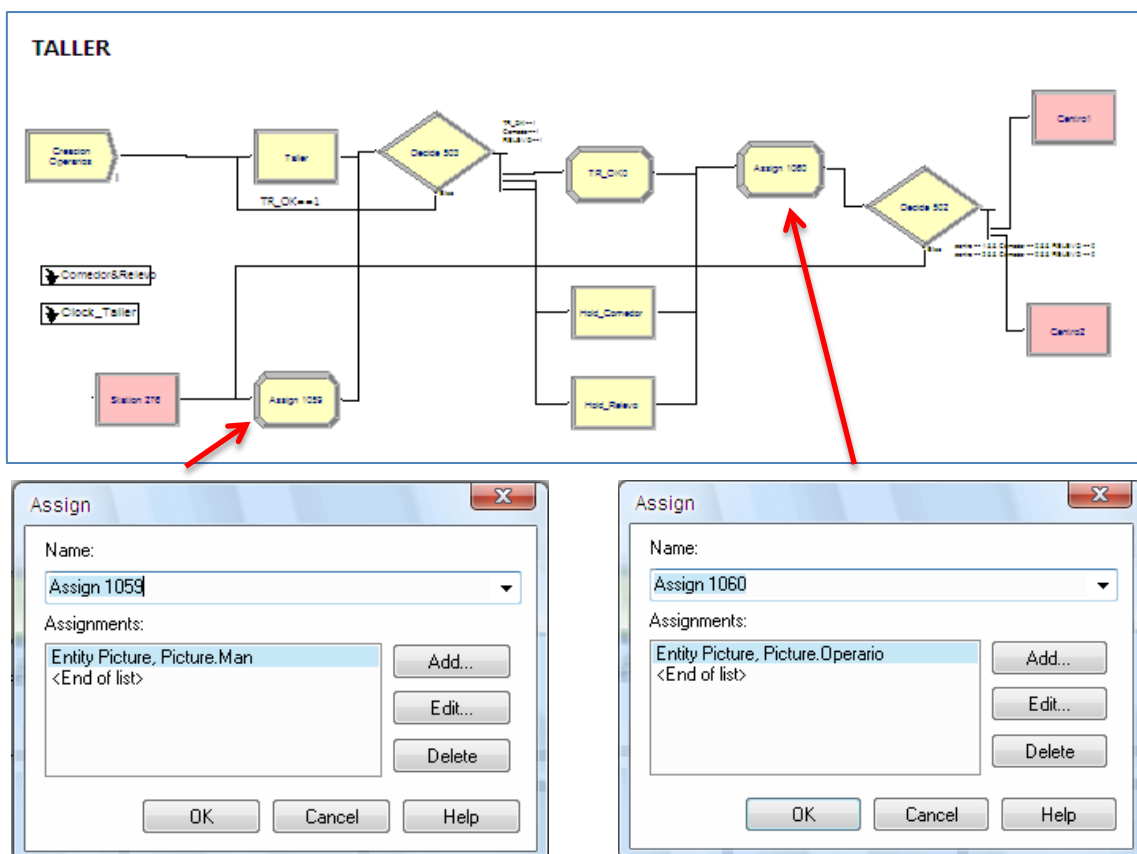
7.3. Adaptar submodelos a la animación

En el apartado anterior se han creado dos entidades nuevas para enriquecer las animaciones del sistema. Para poder realizar los diferentes cambio de imágenes en la entidad operario, a lo largo de la simulación, es necesario modificar algunos submodelos del modelo principal. Concretamente modificaremos los submodelos Taller y Máquina.

7.3.1. Adaptar submodelo Taller

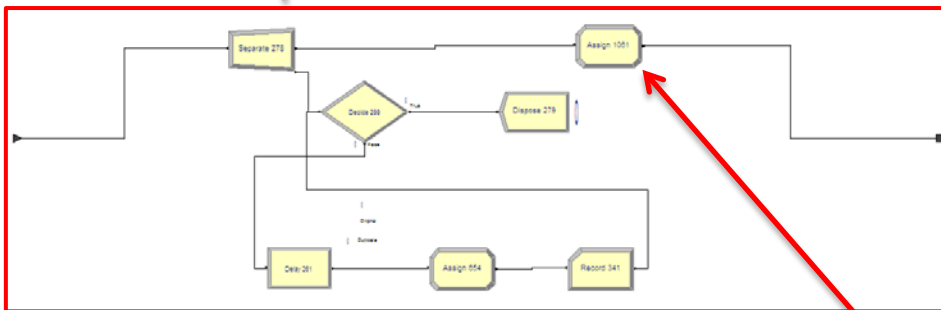
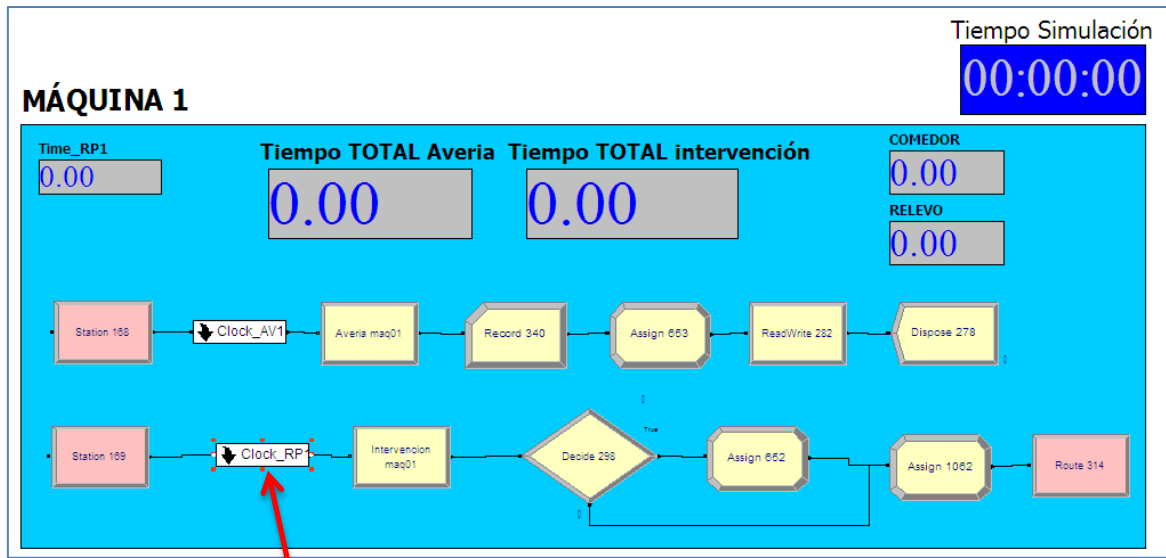
Cuando el operario este en el taller, realizando el relevo o en el comedor se representará con la imagen Picture.man. Por eso, cada vez que la entidad operario entre en el submodelo Taller, a través del bloque Station276, cambiaremos la Entity Picture por Picture.man con el bloque Assign1059.

Cuando el operario salga del taller, se desplace hacia alguna máquina, se representará con la entidad Picture.Operario. el cambio de imagen se realizará cuando la entidad operario salga del submodelo Taller, a través del Assign1060.

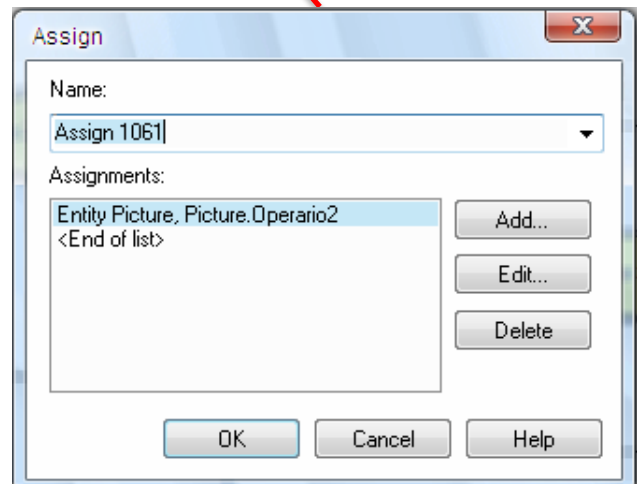


7.3.2. Adaptar submodelo Máquina

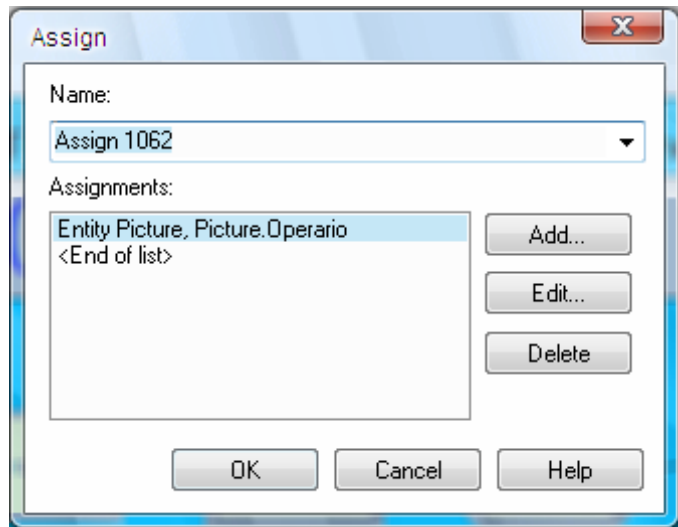
Para representar al operario cuando está realizando una intervención o reparación de la máquina, utilizaremos la Entity Picture llamada Picture.Operario2. Esta imagen se mostrará cuando el operario este dentro del submodelo Máquina. El procedimiento que se explica a continuación se tiene que realizar en todos los submodelos Máquina, es decir en 56 veces.



Modificamos la imagen de la entidad cuando esta entra en el submodelo Máquina por la estación Station169. El cambio de imagen se realiza, en el submodelo Clock_RP1, una vez la entidad ha sido duplicada a través del *Assign1061*.



La entidad operario solo tiene que mostrar la imagen Picture.Operario cuando está dentro de este submodelo, por lo tanto es necesario cambiarla de nuevo cuando esta entidad salga del submodelo Máquina. Este cambio lo realizamos a través del Assign1062, antes de que la entidad salga del submodelo por el bloque Route314.



7.4. Mostar datos de interés: variables e histogramas

Toda simulación debe mostrar los datos relevantes con el objetivo de transmitir la información de forma fácil y sencilla. Los datos más importantes de los experimentos realizados son: el tiempo de averías, el tiempo ocioso, el número de averías, número de operarios ociosos, capacidad del taller... Toda esta información debe quedar reflejada durante la simulación.

Para que toda la información quede localizada y bien ordenada se ha creado, como parte del escenario de la simulación, un casillero donde podemos encontrar todas las variables e histogramas de interés.



Figura 7.4a: Casillero con todas las variables de interés.

Las variables tiempo de intervención o estado de la máquina (en marcha o averiada) se representan al lado de cada una de las máquinas.

7.4.1. Mostrar variables, modo numérico:

Todas las variables que se muestran en el casillero en modo numérico, representadas por su estado inicial 0, son definidas de la siguiente manera:

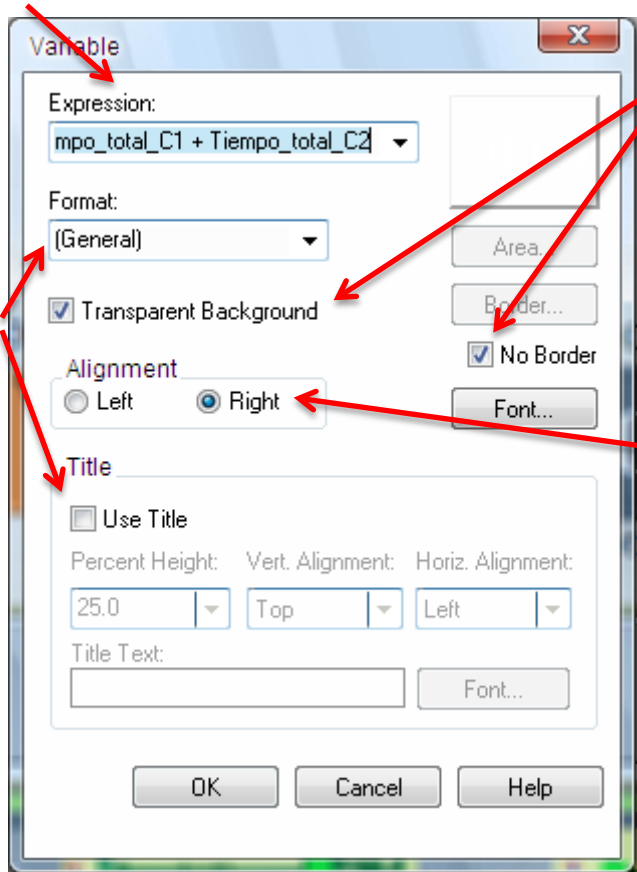


2 Elegimos la variable o expresión que deseamos mostrar. En nuestro caso es el Tiempo Averías que se obtiene sumando las averías del centro 1 y las averías del centro 2.

1 Pulsamos en la barra de herramientas al icono de variables.

3 Tildamos la opción sin bordes y que el fondo sea transparente.

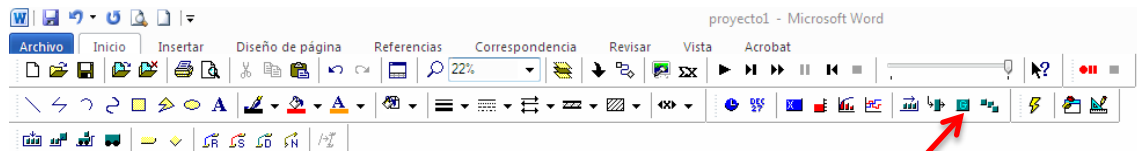
5 Dejamos el formato general y quitamos el título ya que previamente lo hemos puesto nosotros.



4 Tildamos Right, para que los números se muestren a la derecha.

7.4.2. Mostrar variables, modo *Global*:

Arena® nos permite mostrar las variables a través de un código de colores, asignado un color a un valor concreto de dicha variables. Esta opción nos será útil para representar el estado de la máquina (en marcha o averiada) y para saber cuándo es la hora del bocadillo u hora del relevo.



1 Pulsamos en la barra de herramientas al icono Global.

2 Elegimos la variable o expresión que deseamos mostrar. En nuestro caso es el estado de la máquina nº9 que está definido por la cola Avería maq09.

Si el valor de la cola Avería maq09 es 0 quiere decir que la máquina está en marcha, si por lo contrario está en rojo quiere decir que la máquina está averiada.

3 Asignamos un color a cada uno de los 2 valores que puede tomar la expresión. Cuando esta valga 0 se mostrará la imagen verde y cuando tome el valor 1 mostrará la imagen roja.

Expression: NQ(Averia maq09.Qu) Current Library: basicprocess.plb

Trigger Value: 1.0

Picture ID:

Add	0.0
Copy	
Delete	1.0

Size Factor: 2 Auto Scale

Effects

When multiple pictures are defined for the same trigger value, use this simulation timing to animate a series of pictures:

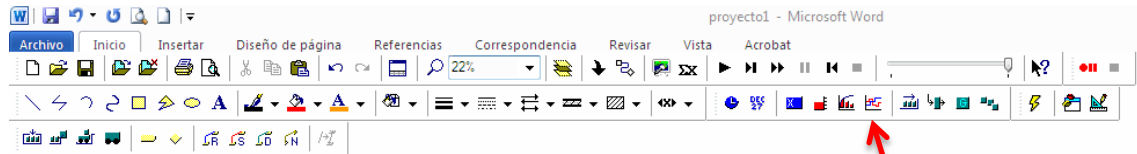
Hours per picture

Rotate By Expression:

OK Cancel Help

7.4.3. Mostrar Histogramas:

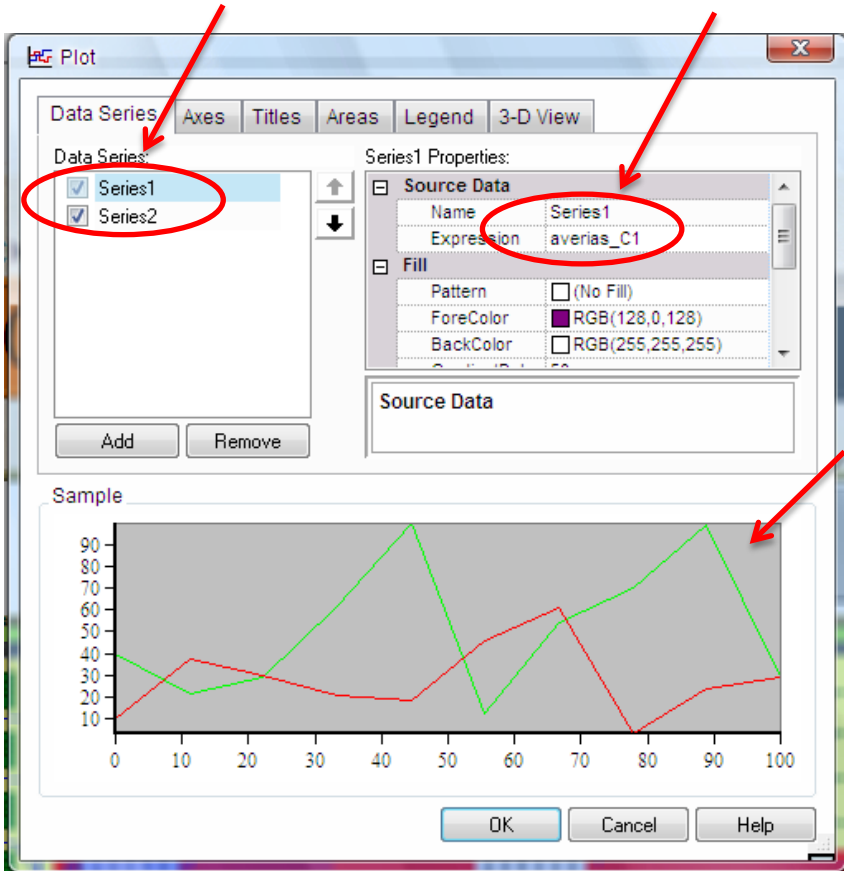
En el casillero mostraremos la evolución de las averías en los dos centros de trabajo a través de un histograma:



1 Pulsamos en la barra de herramientas al icono Plot.

2 Creamos las dos series que deseamos mostrar, una para representar las averías del centro 1 y otra para las averías del centro 2.

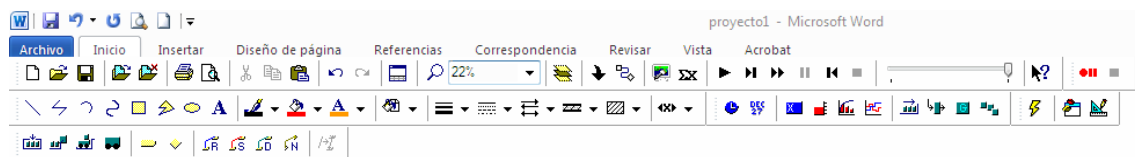
3 Asignamos cada serie a una de las variables.



4 Arena® automáticamente asigna un color a cada serie. Nosotros cambiamos el color respetando el código de colores que hemos aplicado hasta el momento, color verde para las averías del centro 1 y color rojo para las averías del centro2

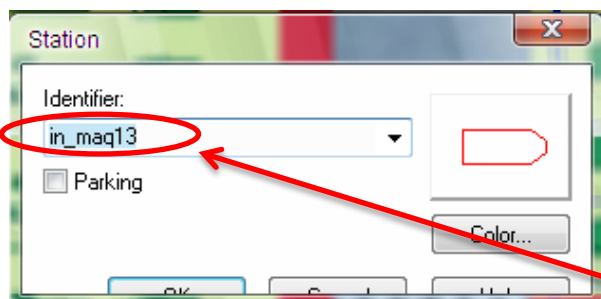
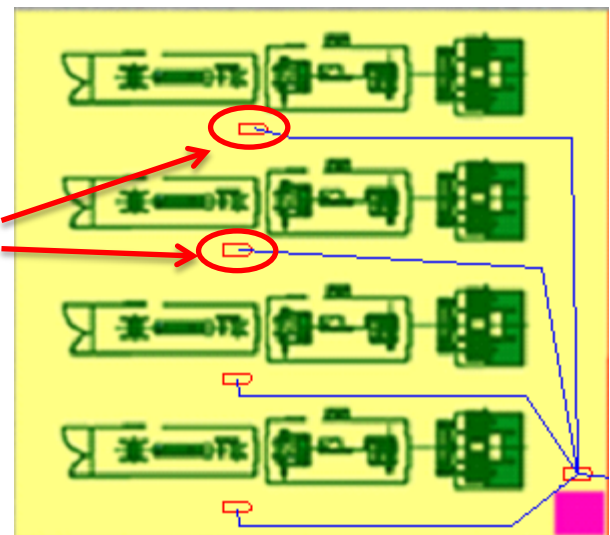
7.5. Mostrar estaciones y rutas

Para representar al operario desplazándose por las diferentes máquinas se creó en el modelo principal el submodelo Desplazamiento. En este modelo se asignó una estación y ruta para cada camino posible que pudiera realizar el operario. En este apartado vamos a visualizar esas rutas y estaciones para ver como la entidad operario se mueve por la red de nodos diseñada.

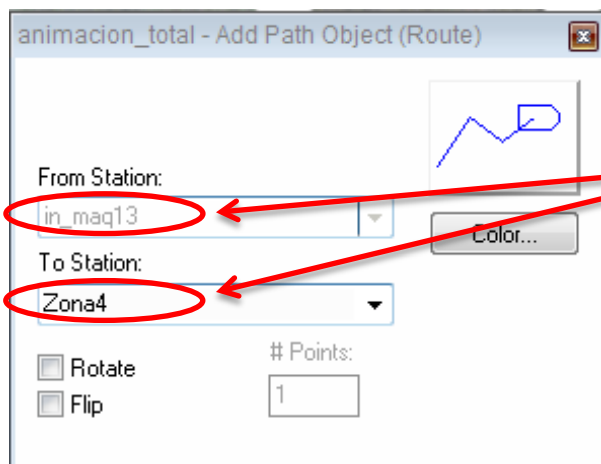



1 Pulsamos en la barra de herramientas al icono Station.

2 Creamos y vamos distribuyendo las diferentes estaciones.



3 Asignamos el nombre a cada una de las estaciones.

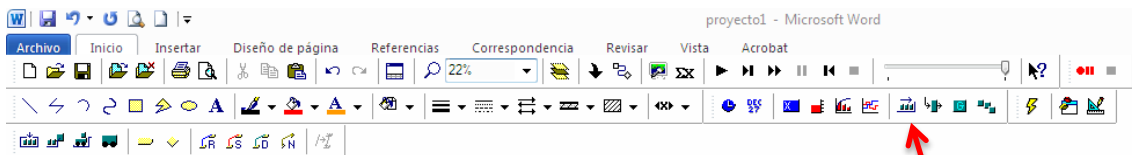


4 Pulsando el botón () de la barra de herramientas y realizamos la conexión entre estaciones.

7.6. Mostrar colas

Únicamente se va a mostrar la cola del bloque Intervencion Maq (pertenece al submodelo Máquina) de las diferentes máquinas, este bloque muestra cuando el operario está en la máquina realizando una intervención por lo tanto es de nuestro interés que se visualice durante la simulación.

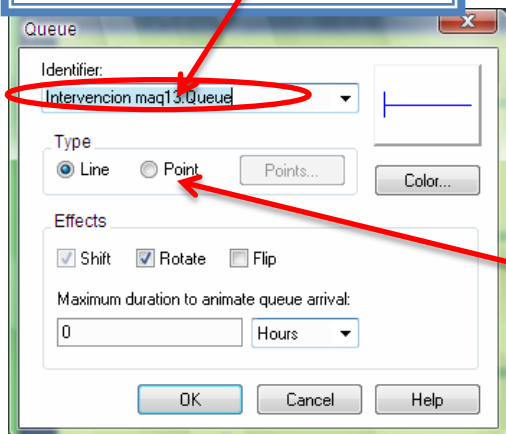
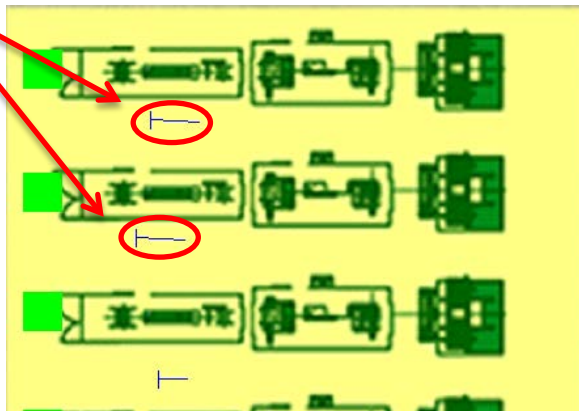
Arena® no permite animar la misma cola en dos sitios a la vez, por lo tanto lo primero que haremos es eliminar la cola Intervencion Maq de todos los 56 submodelos Máquina. Una vez eliminamos procedemos a crear y distribuir cada cola con su máquina.



1 Pulsamos en la barra de herramientas al icono Queue.


2 Creamos y vamos distribuyendo las diferentes estaciones.

3 Asignamos un nombre a cada cola.



4 Seleccionamos el efecto Rotate en función de la orientación que se le quiera dar a la imagen. En este caso queremos que mire hacia arriba y es necesario rotarla.

7.7. Mostrar Reloj:

Toda animación necesita visualizar el tiempo de simulación. Arena® muestra el reloj de forma muy sencilla. Si pulsamos en la barra de herramientas el botón () aparece la ventana que se muestra en la Figura 7.4.4a. en esta ventana podemos seleccionar el tipo de reloj (analógico o digital), formato (12 o 24 horas), si deseamos el fondo transparente, etc.

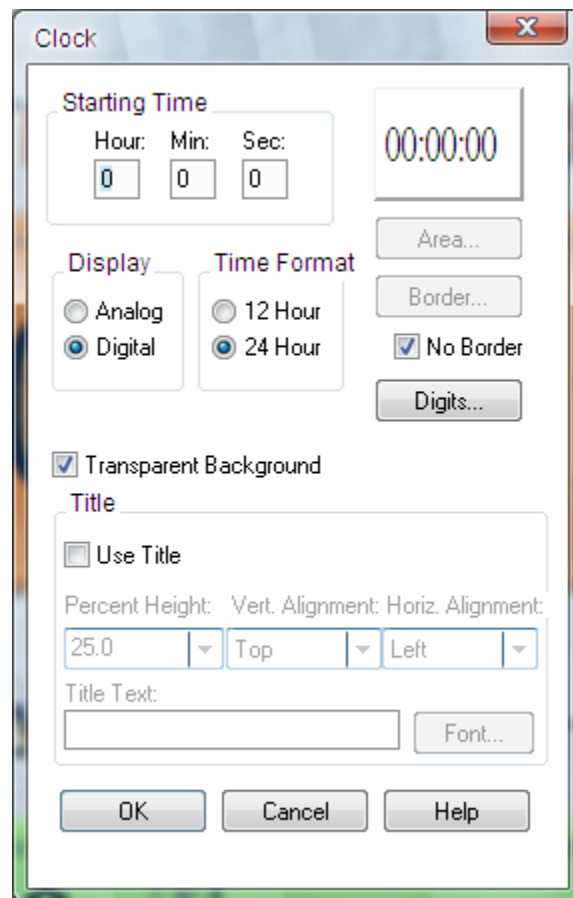


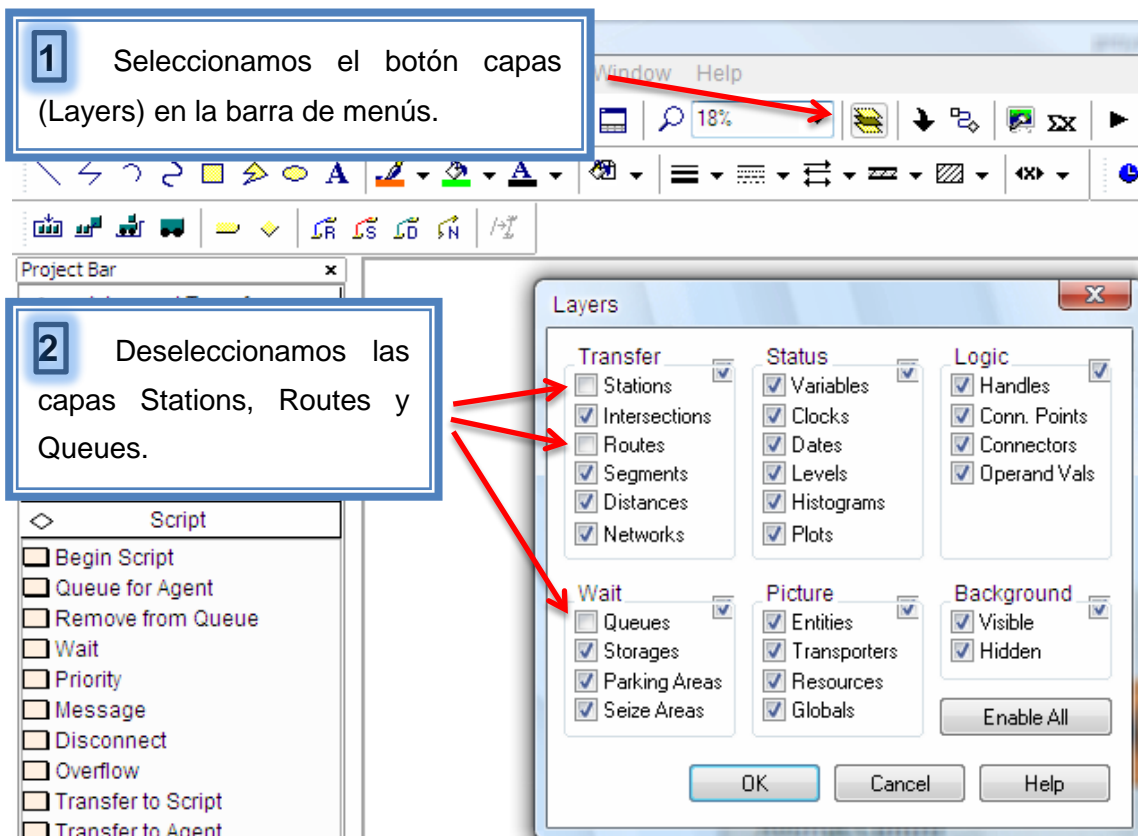
Figura 7.4.4a. Reloj simulación.

7.8. Animación de los modelos

Una vez explicado las diferentes formas disponibles en Arena® para mostrar las variables del sistema, procederemos a ubicarlas por los escenarios que hemos creado anteriormente. El objetivo es dar un movilidad lo más realista posible a las entidades operario y mostrar toda la información relacionada con cada centro o factoría.

Primero se mostrará el estado inicial de cada animación. En ella se muestran todas las rutas, estaciones, colas,... también se muestran todas las variables con valor inicial cero.

Durante la animación se seleccionan las capas que deseamos visualizar. Se ha decidido mostrar todas las capas menos la de rutas, estaciones y colas. Las capas mencionadas anteriormente dificultan la visión de la animación. Para deseleccionar estas capas aremos lo siguiente:



7.8.1. Animación Centro Único

Las animaciones que se mostrarán a continuación pertenecen a la simulación de las averías mecánicas con 3 operarios.

7.8.1.1. Animación al inicio de la simulación



7.8.1.2. Animación durante la simulación

Variables Relevo y Bocado. Se pone en verde cuando las variables tomen valor 1.

La simulación se realiza con 3 operarios de los cuales ninguno está libre o en el taller.

TIEMPO SIMULACIÓN	Día	Turno			Operarios		
11:24:49	1	1	<input type="checkbox"/> Relevo	<input type="checkbox"/> Bocado	3	0	
					Total	Libres	
					3 2 5	. 0 5	Tiempo Ocioso
					7 1 1	. 8 8	Tiempo Averías

Averías Centro		
2	4 0 0 . 4 2	
2	3 1 1 . 4 7	

Histogramas de Averías. La línea verde representa a las averías del Centro1 y la roja a las del Centro2.

Zoom para ver con detalle al operario realizando una intervención. Tiempo restante de intervención 127 minutos.

Operario dirigiéndose a la máquina averiada.

Estado máquina. En verde, la máquina está en marcha, en rojo la máquina esta averiada.

7.8.2. Animación Centro1

Se realizará el mismo procedimiento que en el apartado 7.8.1: Primero se mostrará el estado inicial de cada animación y en segundo lugar se mostrará una imagen de la simulación.

La animación que se va a representar pertenece a las averías mecánicas con dos operarios.

7.8.2.1. Animación al inicio de la simulación

Al inicio de la animación todas las variables están a cero. Al no haber empezado la simulación no hay entidades dentro del sistema, por lo tanto ninguna cola tiene entidades.

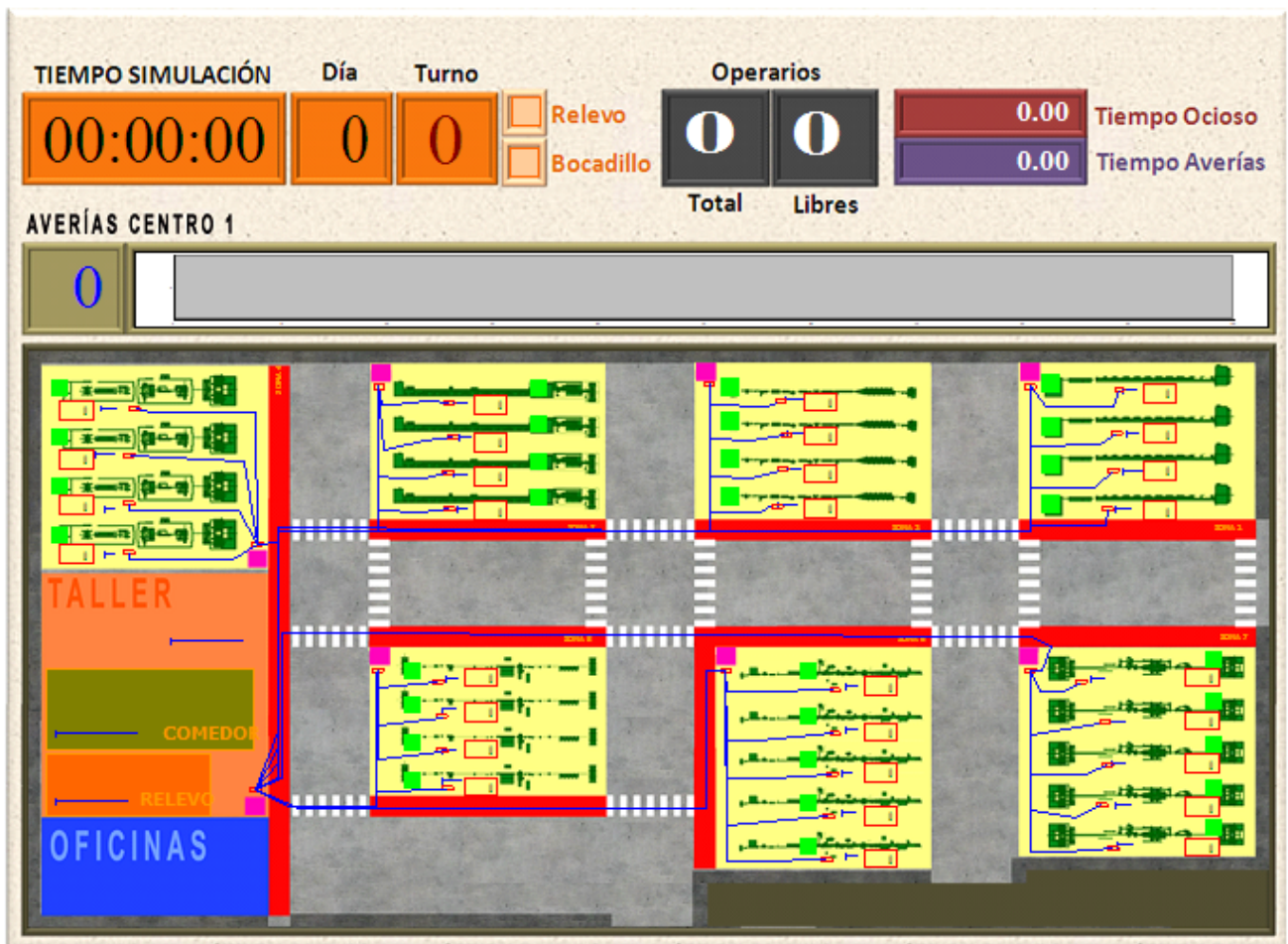


Figura 7.8.2.1a: Animación en condiciones iniciales.

7.8.2.2. Animación durante la simulación

La Figura 7.8.2.2a es una instantánea de la animación del Centro1 con dos operarios. Hemos captado el instante que muestra a los dos operarios dirigiéndose hacia el comedor, ya que de 9 a 9:30 es la hora del bocadillo para el turno de la mañana (primer turno). A las 9:30 los operarios continuarán con la intervención donde la habían dejado. El histograma se representa con un fondo solido ya que solo hay que representar una variable, Averías_C2.

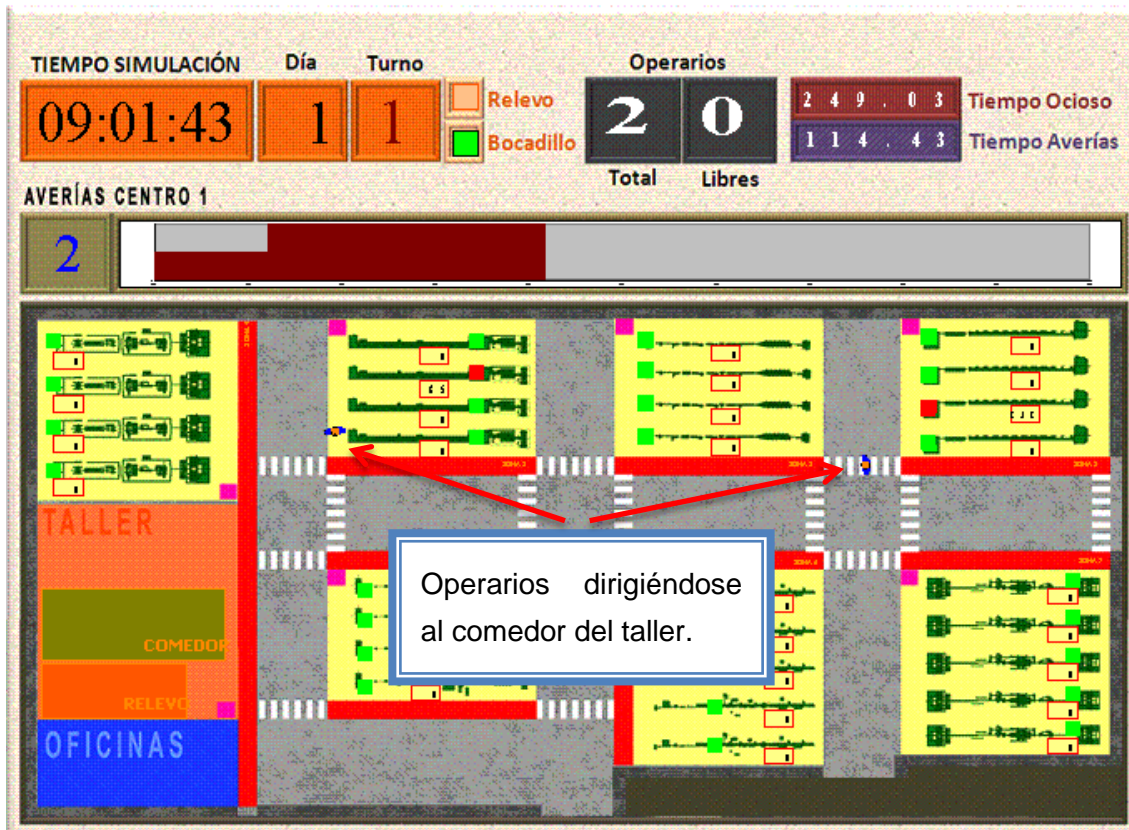


Figura 7.8.2.2a: Instante en que los operarios se dirigen al comedor.

7.8.3. Animación Centro2

Primero se mostrará el estado inicial de la animación para poder visualizar todas las rutas, estaciones y variables en condiciones iniciales. En segundo lugar se mostrará una imagen de la simulación animada.

La simulación pertenece a las averías mecánicas del centro 2 con dos operarios.

7.8.3.1. Animación al inicio de la simulación

Al inicio de la animación todas las variables están a cero. Al no haber empezado la simulación no hay entidades dentro del sistema, por lo tanto ninguna cola tiene entidades.

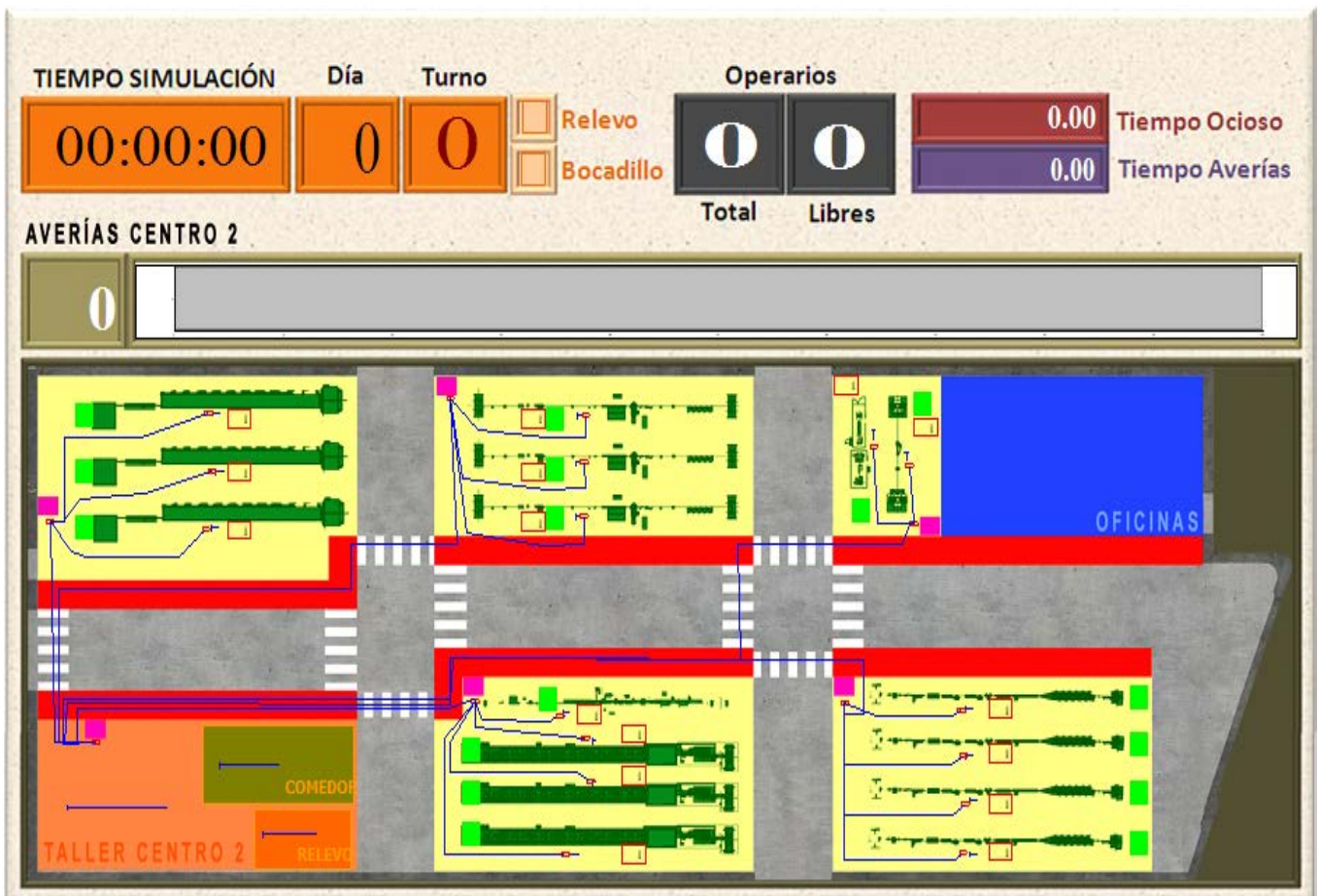


Figura 7.8.3.1a: Animación en condiciones iniciales.

7.8.3.2. Animación durante la simulación

Durante la animación se ha realizado una instantánea que muestre el momento del relevo cuando se realiza el cambio de turno. Vemos en la Figura 7.8.3.2a como en este periodo de tiempo un de los dos operarios ya está en el taller limpiando y ordenando el puesto de trabajo para el turno siguiente. El otro operario deja de reparar la máquina y se dirige hacia el taller. Los operarios del segundo turno serán los encargados de continuar con la reparación de la máquina averiada.

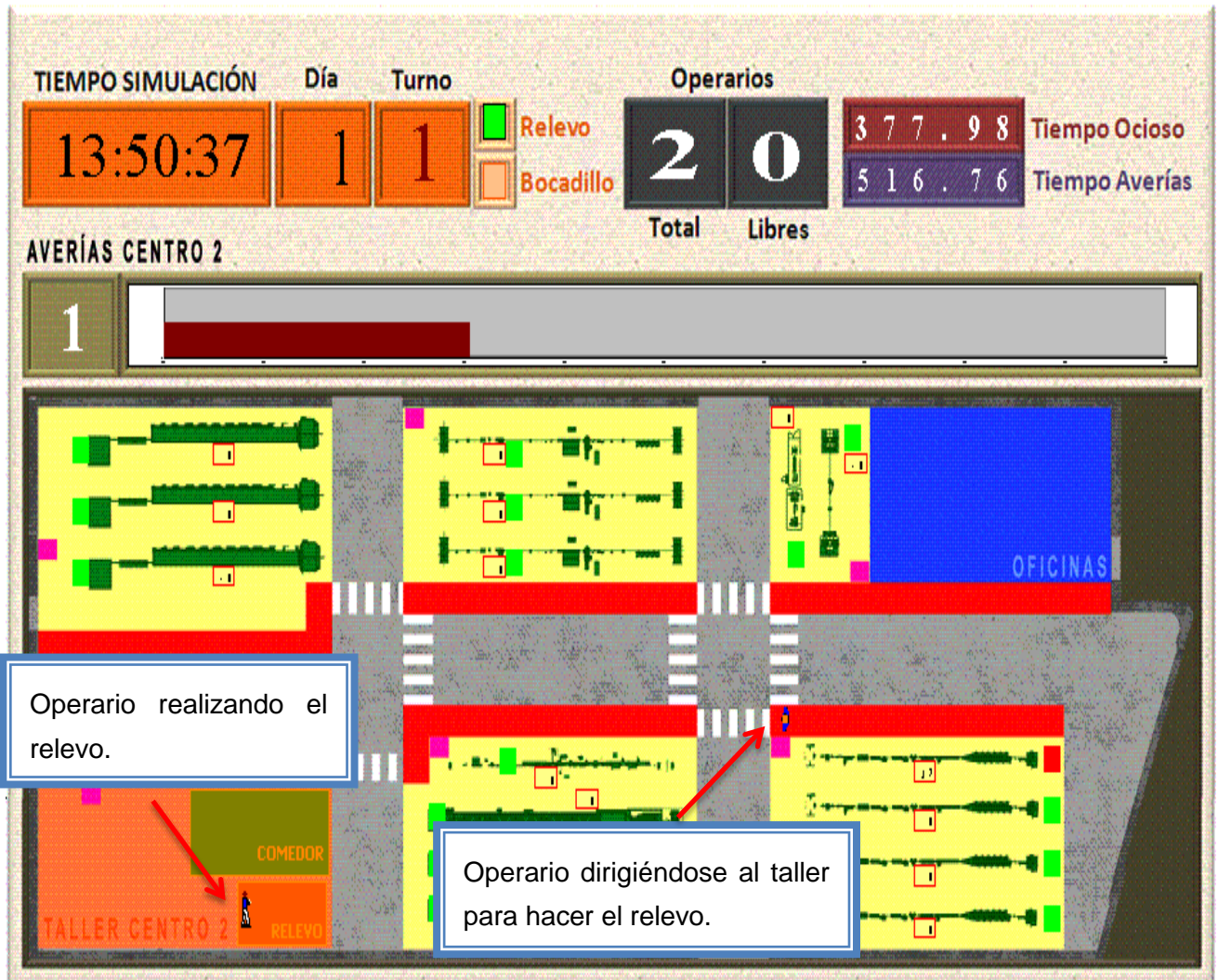


Figura 7.8.3.2a: Instante en que los operarios realizan el relevo.

7.8.4. Animación dos talleres compartidos

Las animaciones que se mostrarán a continuación pertenecen a la simulación de las averías mecánicas con 4 operarios, dos para cada centro.

7.8.4.1. Animación al inicio de la simulación

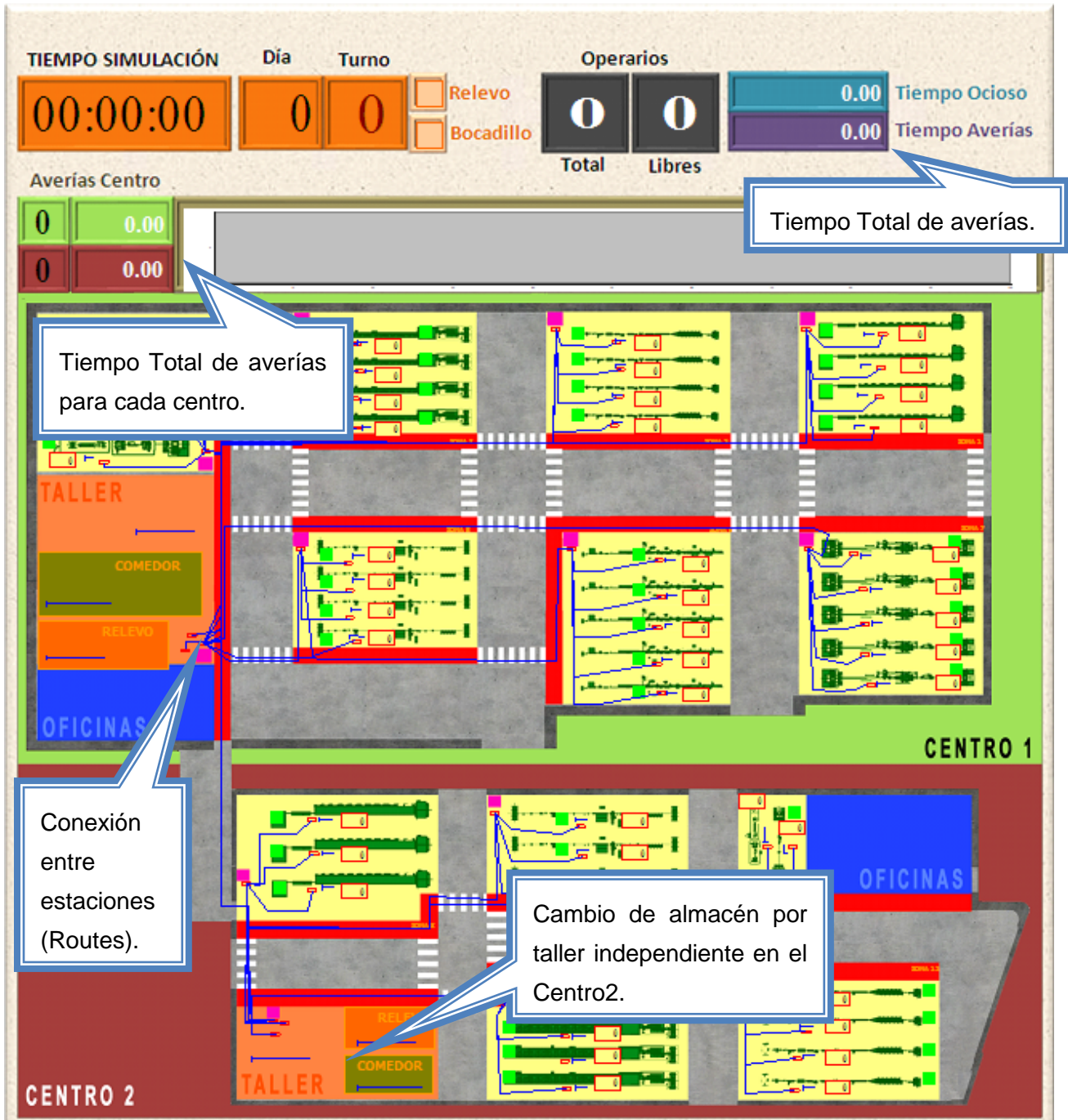


Figura 7.8.4.1a: Animación en condiciones iniciales.

7.8.4.2. Animación durante la simulación

Durante la animación se ha realizado una captura de pantalla que muestra el instante donde un operario del centro 2 va a ayudar al taller del centro 1. Esto ocurre cuando un taller tiene una demanda que supera su capacidad, taller centro 1, y el otro taller tiene operarios ociosos, caso del centro2.

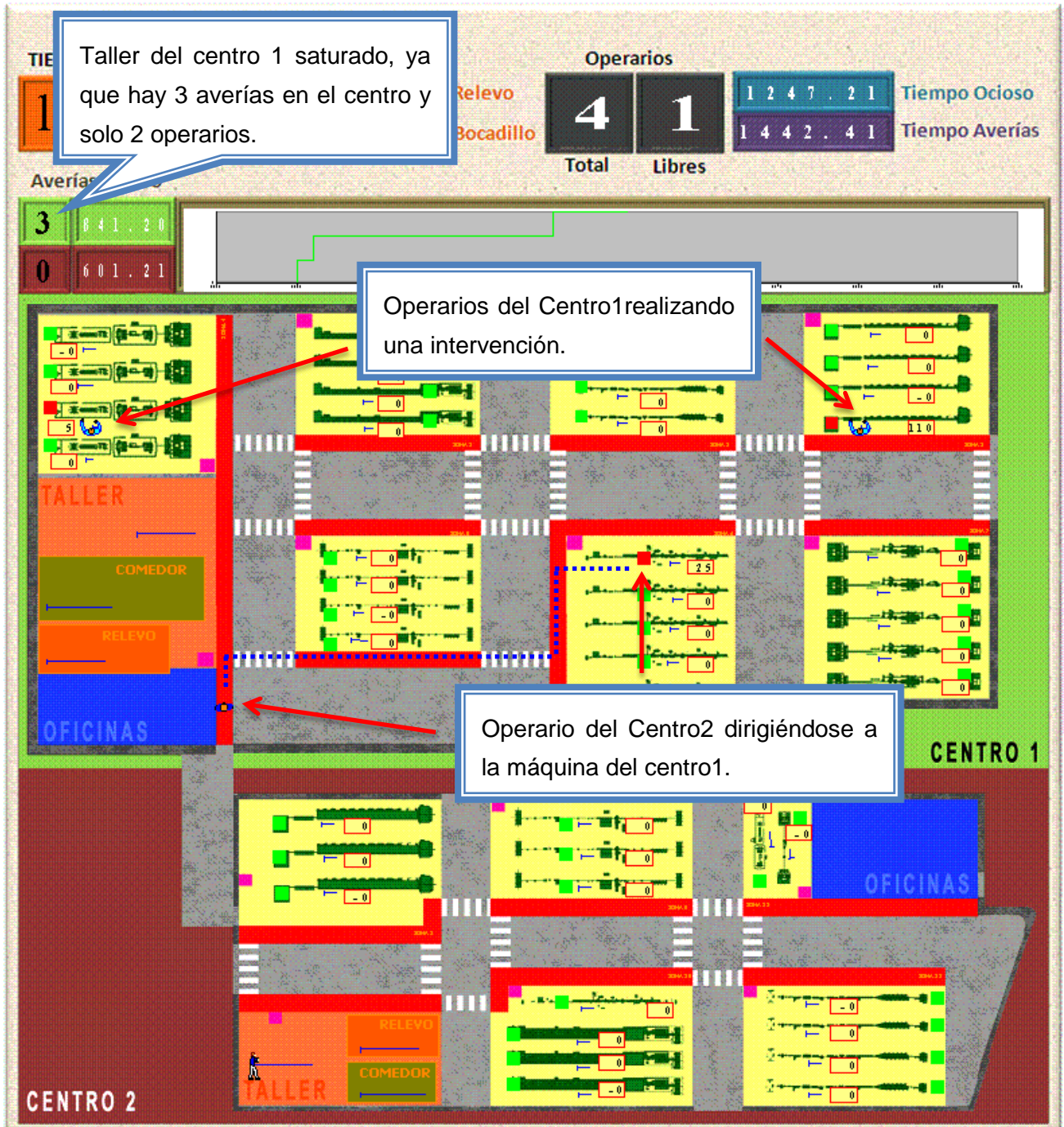


Figura 7.8.4.2a: Animación en condiciones iniciales.

8. CONCLUSIONES

Considerando que el proyecto se puede dividir en dos partes: el estudio de la herramienta Arena® Simulation Software y la optimización de un sistema real, desarrollaré mis conclusiones siguiendo la misma línea:

Arena® Simulation Software

Llevo años programando a varios niveles (autómatas, microcontroladores, webs, aplicaciones para móviles) pero, aunque era consciente de la existencia de simuladores para procesos industriales, nunca había trabajado con este tipo de simuladores. Fue en la asignatura Tecnologías de Automatización Industrial donde empecé a interesarme por el modelaje y simulación de procesos. Creo una herramienta que permite analizar cualquier idea de negocio o estrategia sin necesidad de modificar el sistema real es muy útil y en las manos de un buen analista puede ser una herramienta muy potente.

El proceso de aprendizaje del software Arena® ha sido más complicado de lo esperado. Es cierto que en la web del software hay muchos ejemplos, pero siempre son ejemplos sencillos. Si deseas simular un modelo complejo, como los desarrollados en este proyecto, necesitas información más detallada. Es por este motivo que aprovecho para felicitar y agradecer a Montse Carbonell y Josep Aranda por el trabajo realizado sobre modelaje y simulación con Arena® (ver bibliografía) ya que me ha servido de gran ayuda.

Es cierto que no puedo comparar el software Arena® con otros simuladores porque solo he trabajado con este simulador, pero creo que es uno de los más potentes del mercado. El trabajar con diagramas de flujo nos permite programar a la vez el modelo lógico y el modelo computerizado ahorrando mucho tiempo en el modelado.

En contra creo Arena® debería de mejorar sus librerías gráficas para proporcionar una animación de calidad. Es cierto que hay versiones que incorporan Arena Visual Designer, una aplicación para crear animaciones en 3D, pero creo que los simuladores orientados a objetos presentes en el mercado (por ejemplo Promodel®) tiene esta área mejor diseñada.

Optimización de un sistema real

La segunda parte del proyecto va relacionada con la simulación y el análisis de un sistema real. Para llevar a cabo esta parte del proyecto ha sido necesario realizar varios trabajos relacionados con Métodos y Tiempos: determinar el tiempo de desplazamiento de los operarios del taller a la máquina, determinar el nº de operarios necesarios...

El objetivo de las simulaciones era reducir el tiempo de desplazamiento del taller a las diferentes máquinas. Para ello, se pretendía aprovechar un almacén en desuso de una de las factorías, centro2, para instalar un segundo taller. De esta forma tendríamos un taller para cada centro de trabajo. La lógica daba a pensar, a priori, que esto sería factible. Sin embargo las simulaciones nos han mostrado todo lo contrario. El tiempo invertido en averías de los dos talleres por separado es superior al tiempo invertido por un único taller. Arena® nos ha permitido simular un sistema hipotético y compararlo con un sistema real (el actual) dándonos la información necesaria para descartar una estrategia y todo ello sin la necesidad de realizar pruebas en el sistema real.

Posiblemente no sea rentable establecer un taller en cada centro, pero sería interesante habilitar un almacén para los recambios y las herramientas más comunes y utilizadas en las averías del Centro2. Lo único que se debería hacer es habilitar el almacén en desuso. De esta forma se reduciría el tiempo que invierten los operarios (sobre todo los mecánicos) para desplazarse de un centro a otro, no solo al inicio de la avería sino también durante la intervención de la máquina.

El hándicap de las simulaciones realizadas es que únicamente se ha simulado un mes. La interrupción de pedidos por la crisis provoca una bajada de la carga productiva, generando que muchas máquinas estén paradas. El objetivo era simular el servicio que ofrece el taller con la mayor carga de faena, es decir, con todas las máquinas en funcionamiento.

La parte positiva es que el personal del taller ha mostrado interés por el simulador Arena®. Son conscientes del potencial que este tiene y por ello actualmente se recopila más información sobre las averías y se estudia el tiempo que realmente es ocios en el taller con el objetivo de realizar simulaciones más precisas.

9. Fuentes de referencia: Bibliografía y WEB's

Bibliografía:

[1] JIMENEZ LUENGO Elisa Isabel. *Análisis de los sistemas de control de la producción Kanban y Conwip bajo escenarios de reprocesado*. Universidad de Sevilla. Proyecto final de carrera, 2010.

[2] GOMEZ ROJO Borja. *Sistemas con Logística de Retorno: Aplicación al caso de contenedores retornables*. Universidad de Sevilla. Proyecto final de carrera, 2006.

[3] ARANDA ARJONA Josep. *Projectes de modelatge i simulació avançada de sistemes mitjançant l'entorn ARENA™*. Universidad de Vic. Projecte final de carrera, 2011.

[4] CARBONELL Montse. *Estudi i guia docent per a modelatge i simulació de sistemes mitjançant l'entorn ARENA*. Universidad de Vic: Projecte final de carrera, 2008.

WEB's:

[5] Página oficial de Arena® Simulation Software
http://www.arenasimulation.com/Arena_Home.aspx

[6] Página oficial de Promodel®
<http://www.promodel.com/>

[7] Página oficial Anylogic®
<http://www.anylogic.com/>

[8] Pagina oficial Flexsim
<http://www.flexsim.com.mx/>

De FREITAS ALMEIDA João Flávio. #19-Arena: Entrada de datos em Excel
<http://www.youtube.com/watch?v=R4SaHYUTVDk>

Arena Rockwell. *Entities and Attributes*
<http://www.youtube.com/watch?v=StRBwpi2Flk>