

Modelado y análisis en ARENA de una fábrica de automóviles

Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica

Autor: Manuel Moreno Arispón

Tutor: Antonio Javier Gallego Len

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería Electrónica, Robótica, Mecatrónica

Modelado y análisis en Arena de una fábrica de automóviles

Autor:

Manuel Moreno Arispón

Tutor:

Antonio Javier Gallego Len

Profesor

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021

Proyecto Fin de Carrera: Formato de Publicación de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla

Autor: Manuel Moreno Arispón

Tutor: Antonio Javier Gallego Len

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

A mi familia

A mis profesores

A mis amigos y
compañeros

Agradecimientos

Lo primero quería agradecer todo su esfuerzo a Antonio que ha sido un pilar muy grande en este proyecto, no he tenido ningún problema con él y cuando me ha hecho falta ayuda ha estado ahí, no he podido tener un mejor tutor para el TFG.

Lo segundo agradecer a mi familia, mi madre por ser el mayor apoyo que tengo, a mi padre por ser la fuerza en persona y darme un poco de esa fuerza, a mis hermanos por meterme un poco la idea de ser ingeniero, dentro de nada seremos tres ingenieros en la familia.

A todos mis compañeros de carrera, mejor dicho, amigos, darles las gracias que es lo mínimo que podía hacer, intentaré no dejarme a nadie, Marcos, Iván, Víctor, Raúl, Javi, Mediano, Lucía, África, Kevin, Juanfran, Ana, Royo...

Y a mis amigos de siempre por aguantarme todos estos años en los que algunos días no he podido verlos o he estado más insoportable que de costumbre, Jaime, Chiki, Ali, Iván, Montes, Pena, Sandra, Kiki, Ramón y Miguel Ángel.

Índice

Agradecimientos	9
Introducción	14
Software.....	15
Output Analyzer	20
Process Analyzer.....	21
Modelado	22
Caso de estudio “Fábrica de coches”	22
Caso de estudio “Nueva línea de manufacturación”	25
Adaptación del caso de estudio al modelo final.....	31
Análisis de los modelos.....	42
Conceptos básicos de estadística	43
Primer análisis.....	44
Process analyzer y otros análisis.....	54
Capacidades de las diferentes máquinas	54
Aumento de la capacidad por separado	57
Aumento del número de trabajadores	61
Análisis nominal conjunto	63
Conclusiones y problemas	65
Problema principal.....	65
Posibles Mejoras	66
Conclusiones	67
Bibliografía.....	69

Tabla de imágenes

Ilustración 1: Arena Simulation	15
Ilustración 2: Entorno de modelado de Arena	16
Ilustración 3: Modelo básico de Arena.....	19
Ilustración 4: Output Analyzer.....	20
Ilustración 5: Central telefónica	22
Ilustración 6: Esquema general	24
Ilustración 7:Camino de cada entidad.....	26
Ilustración 8: Tabla de subprocessos	27
Ilustración 9: Definición de tiempo para cada proceso.....	28
Ilustración 10: Disposición de trabajadores	29
Ilustración 11: Esquema de "camino" de los trabajadores (línea híbrida).....	30
Ilustración 12: Parámetros de un create	32
Ilustración 13: Módulo Match	32
Ilustración 14: Process en la parte híbrida	34
Ilustración 15: Process en la parte automática	34
Ilustración 16: Tercer Match	35
Ilustración 17:Bloque Dispose de salida.....	35
Ilustración 18:Animación entities "Partes"	35
Ilustración 19: Animación para la entity "Cars"	36
Ilustración 20:Animación W1 Inactivo y Ocupado (híbrido)	36
Ilustración 21: Animación W2 Inactivo y Ocupado (híbrido)	37
Ilustración 22: Animación W3 Inactivo y Ocupado (híbrido)	37
Ilustración 23: Animación W1 Inactivo y Ocupado (automático)	38
Ilustración 24: Animación W2 Inactivo y Ocupado (automático)	38
Ilustración 25: Parámetros del tiempo de simulación	39
Ilustración 26: Estación en Arena	40
Ilustración 27: Esquema de un transporter completo	41
Ilustración 28: Media y varianza.....	43
Ilustración 29:WIP Nominal.....	45
Ilustración 30: Resultados para 30 replicaciones	46
Ilustración 31: Resultados para 21 replicaciones	46
Ilustración 32: Resultados para 26 replicaciones	47
Ilustración 33: Resultados para 40 replicaciones	48
Ilustración 34: Resultados para 55 replicaciones	49
Ilustración 35:WIP Nominal.....	49
Ilustración 36: Resultados para 16 replicaciones	50
Ilustración 37: Resultados para 39 replicaciones	51
Ilustración 38: Resultados para 21 replicaciones	51
Ilustración 39: Resultados para 45 replicaciones	52
Ilustración 40: Resultados para 37 replicaciones	52
Ilustración 41: Aumento de capacidad de producción (automático).....	54

Ilustración 42: Diferentes resultados para el aumento de producción(automático)	55
Ilustración 43:Aumento de capacidad de producción (híbrido)	56
Ilustración 44: Utilización de los trabajadores según la capacidad(híbrido)	56
Ilustración 45: WIP según la capacidad (híbrido)	56
Ilustración 46: Componentes fabricadas según la capacidad(híbrido)	57
Ilustración 47:Aumento de las capacidades por separado (automático)	58
Ilustración 48: WIP según un aumento de las capacidades por separado(automático)	58
Ilustración 49: Utilización según un aumento de las capacidades por separado(automático)	58
Ilustración 50: Componentes creadas según un aumento de las capacidades por separado(automático)	59
Ilustración 51: Aumento de las capacidades por separado(híbrido)	59
Ilustración 52: Componentes creadas según un aumento de las capacidades por separado(híbrido)	60
Ilustración 53: WIP según un aumento de las capacidades por separado(híbrido)	60
Ilustración 54: Utilización de trabajadores según un aumento de las capacidades por separado(híbrido)	60
Ilustración 55: Aumento del número de trabajadores (automático).....	61
Ilustración 56: Utilización de los trabajadores aumentando el número de estos (automático)	62
Ilustración 57: Aumento del número de trabajadores (híbrido).....	62
Ilustración 58: Utilización de los trabajadores aumentando el número de estos (híbrido)	62
Ilustración 59: Análisis nominal de una línea frente a la otra	63
Ilustración 60: WIP y Componentes fabricadas (automático).....	63
Ilustración 61: WIP y Componentes fabricadas (híbrido).....	63
Ilustración 62: Error de las 150 entidades.....	65
Ilustración 63: Opt Quest	66

Introducción

– *“Fuiste vencido pero no retrocedes, ¿por qué no?”* –
Dracule Mihawk

Lo primero que se pregunta uno a la hora de leer un proyecto es de dónde surgió la idea, en este proyecto hay que explicar un par de cosas para entender bien cómo apareció.

Esta idea surgió en el primer cuatrimestre gracias a una asignatura impartida por el tutor de este TFG, Automatización de Sistemas de Producción, esta asignatura me llamó muchísimo la atención ya sin haberla dado ya que el tema que acabó gustándome más en la carrera fue el tema de la automatización. Por esta razón hablé con el profesor encargado de esta asignatura cuando tuve oportunidad, este profesor es el tutor de este TFG, Antonio Javier Gallego Len del que ya he hablado en los agradecimientos de este proyecto.

La segunda razón de que este proyecto haya podido salir adelante es parte por Antonio ya que era la primera vez que se realizaba un TFG en Arena simulation (se dedicará un apartado a explicar el programa) y por esto ha habido muchos problemas y dificultades.

También se puede destacar de este proyecto que es la adaptación de un proyecto de un informe de la página oficial de Arena, este apartado se desarrollará en un apartado posterior a este.

Software

Destacar que en este TFG no hay ninguna parte de hardware porque no se ha trabajado con ningún material físico ni nada externo al computador, si se fuera estricto se podría contar como hardware la fábrica de coches de la cual se ha hecho el estudio, pero no es el caso.

Lo primero y lo más importante si se nombra el software es el programa Arena simulation que ha sido el eje principal en el proyecto.

Arena simulation es un software de simulación y automatización de eventos discretos donde el objetivo es la optimización de eventos más complejos. Ante de seguir con la explicación se debe entender qué es el modelado de eventos discretos, este es el proceso de representar el comportamiento de un sistema complejo como una serie de eventos definidos y ordenados en el tiempo.

Una de las ventajas más claras de arena es que a través de diferentes escenarios podemos buscar diferentes soluciones para un mismo problema, también permite encontrar el mejor escenario minimizando el riesgo de una futura inversión.

El ejemplo más claro de esto es la identificación de cuellos de botella que como se verá más adelante es uno de los principales problemas de la versión estudiante de Arena.



Ilustración 1: Arena Simulation

Las principales características de Arena son las siguientes:

- No es necesario programación ya que el modelado se realiza por unos bloques de construcción que ya están predefinidos.
- La variabilidad del proceso se puede definir de forma casi perfecta ya que se dispone de una amplia gama de opciones de distribuciones estadísticas.
- Animación tanto en 2D como en 3D.
- Métricas de rendimiento, análisis estadístico y generación de informes.

Por otro lado, las ventajas de Arena son:

- Se puede ver de forma rápida cómo cambia un modelo a diferentes cambios.
- Permite localizar los problemas del modelo y además arreglarlos.
- Reducción y eliminación de los cuellos de botella.
- Reducir el riesgo en grandes inversiones

Ahora el siguiente paso es entender un Arena para ello se va a explicar el entorno de modelado de Arena que es lo más básico que debes saber a la hora de usar este software.

Se distinguen tres zonas diferenciadas:

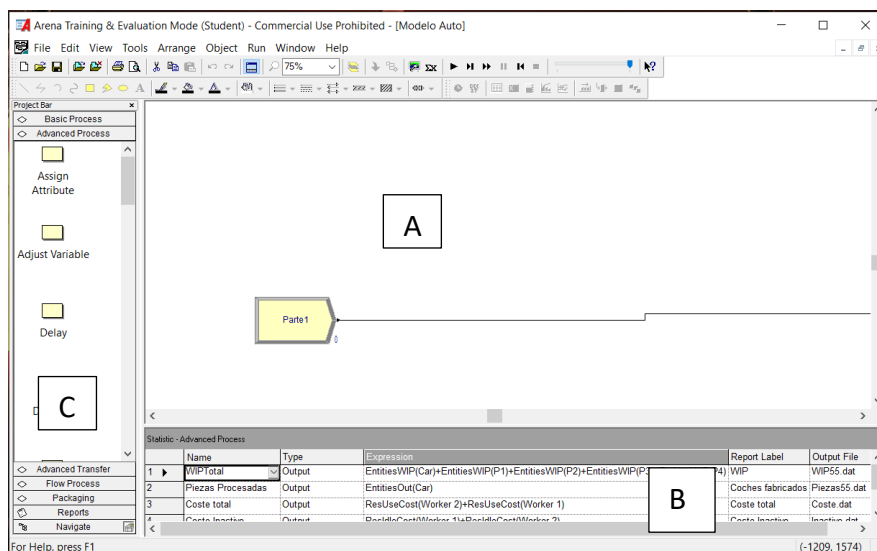


Ilustración 2: Entorno de modelado de Arena

A. Ventana de diagrama de flujo:

Como se ha explicado antes, Arena no usa programación sino bloques que se irán uniendo unos con otros. En esta ventana es dónde se colocarán estos bloques los cuáles al final conformarán el modelo

B. Hoja de cálculo:

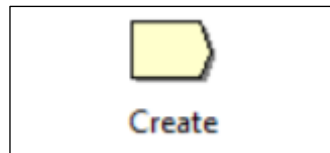
Esta ventana permite cambiar de forma intuitiva los diferentes parámetros correspondientes a los diferentes bloques y entidades del sistema

C. Barra de proyecto

Esta barra permite acceder a los diferentes bloques que permiten crear el modelo. A continuación, se explicarán los diferentes bloques que se han usado a la hora de diseñar el modelo.

Se ha expuesto anteriormente que los modelos de Arena se construyen o se definen mediante bloques, para entender mejor este concepto se explicarán los bloques más comunes de Arena:

- Create



Este módulo crea las entidades del modelo, estas se crean usando una planificación estadística o definiendo el tiempo de llegada entre cada entidad. También se define el tipo de entidad que se quiere crear. Los usos del módulo create son tanto que sería imposible pararse en cada uno de ellos porque este puede representar multitud de cosas. Se pueden poner multitud de ejemplos como son los siguientes:

1. Creación de un nuevo producto si por ejemplo se está creando el modelo de una fábrica
2. Por otra parte, podría representar la llegada de un nuevo cliente si es el caso de que el modelo sea de una tienda, empresa o similar.
3. Otro ejemplo puede ser la llegada de un permiso, es decir si hace falta una firma para la creación de un producto pues se podría crear un create con la entity "Firma1" que estaría vinculada al "Producto1"

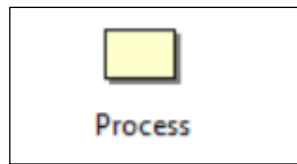
- Dispose



Este módulo significa el fin del camino para una entidad. Su función más importante es que guarda la estadística de la entidad, en líneas generales esto quiere decir que guarda

cuantas entidades llegan, los diferentes tiempos asociados a la entidad por ejemplo wait time o transfer cost...

- Process



El objetivo principal del módulo como dice su nombre es procesar las entidades de acuerdo a diferentes servicios. Dispone de opciones para ocupar y liberar un recurso. Al pasar la entidad por un proceso el tiempo definido en este proceso se le suma a la entidad. Los procesos sirven para definir diferentes usos como pueden ser:

1. Revisión de un producto
2. Espera de un cliente
3. Diversos pasos para la construcción de un producto

Si se habla del process no se puede pasar por el alto a los recursos, un recurso es él que se encarga de realizar el proceso correspondiente, es decir si hay un process que es la revisión de una licencia, se crea un recurso que corresponderá con el trabajador encargado de ver si el producto tiene esta licencia.

Al final el modelo más básico posible en Arena es una unión de los tres bloques citados como se ve a continuación:



Ilustración 3: Modelo básico de Arena

Output Analyzer

Por otro lado, se deben explicar dos extensiones o herramientas de Arena las cuáles han sido imprescindibles para este proyecto.

La primera es Output analyzer, esta herramienta permite analizar y comparar diversas opciones. Por ejemplo, es capaz de comparar las medias de dos experimentos distintos.

El objetivo final de esta herramienta es el análisis estadístico de un modelo a partir de los datos generados por el propio modelo tras su ejecución, el análisis estadístico se realiza gracias a diversas herramientas que nos proporciona el Output Analyzer como pueden ser las siguientes:

1. Histogramas
2. Gráficos de promedio acumulado
3. Intervalos de confianza
4. Correlogramas

Una de las cosas que hay que tener en cuenta con el Output analyzer es que es una herramienta externa a Arena por consiguiente a la hora de abrir este programa, se debe buscar en inicio y luego en la carpeta correspondiente que en este caso es Rockwell Software.

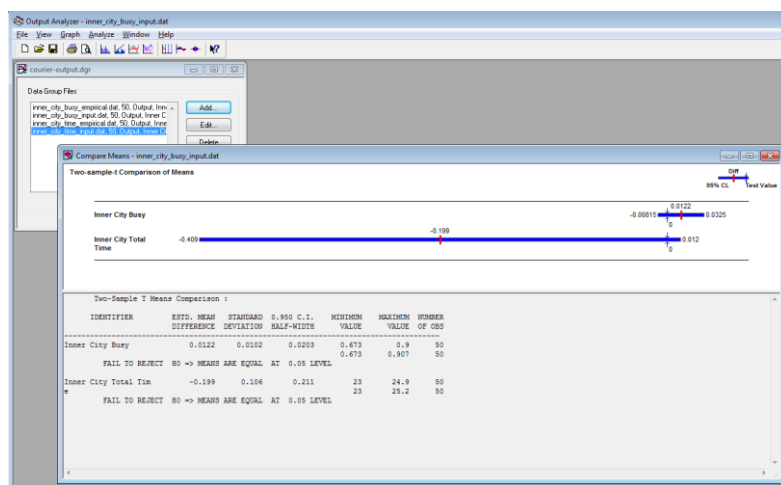


Ilustración 4: Output Analyzer

Process Analyzer

La otra herramienta que merece ser mencionada es el Process Analyzer (PAN) el cual es una de las columnas principales donde se apoya este proyecto.

A diferencia del Output Analyzer, el análisis estadístico en este caso no es lo más importante, PAN lo que ofrece es mucha información sobre diferentes casos a lo que se les llama escenarios y también ofrece rapidez y simpleza para comparar los escenarios. En otras palabras, en apenas dos minutos se pueden comparar al menos 10 escenarios diferentes.

Las técnicas usadas en PAN se basan en un trabajo teórico muy sólido realizado por Barry Nelson, Julie Swann, David Goldsman y Wheyming Song.

En PAN se tienen dos cosas en cuenta:

- Controls
Son las variables que diferencian a un escenario de otro; por ejemplo, si se quiere ver qué ocurre cuando se contrata un trabajador nuevo en una empresa, la variable que actuará como control será el nuevo de trabajadores de la empresa.
- Responses
En este caso los responses son los resultados que se obtienen con los controls ; volviendo al ejemplo de antes se quiere ver si la incorporación del nuevo trabajador es rentable frente a no contratarlo, pues se introducen como responses gastos por la incorporación y beneficios de la empresa por ejemplo.

La combinación de controls y responses es casi infinita ya que podemos introducir un número arbitrario de responses y controls, en mi caso no he tenido ningún problema con PAN debido a las limitaciones de Arena Estudiante; de las limitaciones de Arena Estudiante es algo de lo que se hablará en el apartado de problemas.

Modelado

“Si miramos hacia arriba en lugar de hacia adelante, podríamos perder el equilibrio”. – Keishin Ukai -

Después de introducir varios conceptos se puede entrar en la parte más extensa de este proyecto que es el tema del modelado de la fábrica en este caso.

El modelado consiste en la creación completa del modelo para así poder simularlo, se divide en varias partes que se irán explicando a lo largo de este apartado.

Caso de estudio “Fábrica de coches”

Para este TFG se miraron varios casos de estudio para intentar adaptarlos, no fue una tarea fácil ni mucho menos rápida porque en la página web de Arena hay multitud de casos de estudio interesantes como pueden ser el de una central telefónica, una explotación minera o el de este TFG que es una fábrica de coches.

Ha habido varias razones para decantarse por la fábrica, por ejemplo, en el caso de la central telefónica era un caso demasiado simple y en el caso de la explotación minera era un informe que no contaba con demasiada información para proponer un modelo.

La fábrica de coches sin embargo cuenta con todo lo necesario frente a los otros dos casos que fueron las últimas tres opciones que quedaron después de hablar y debatir con el profesor cuál era la opción más completa, cuenta con complejidad con respecto a la central telefónica y con la información suficiente para construir un modelo fiable en contraposición a la explotación minera.



Animating the model helped leaders understand simulation and see the impacts of experiments.

Ilustración 5: Central telefónica

Lo primero a saber sobre el caso de estudio es que los autores fueron Minh Dang Nguyen él cual es un erudito en el tema de manufacturación ya que ha involucrado en una gran cantidad de proyectos relacionados con este tema, el otro autor fue Soemon Takakuwa que es un profesor de la Universidad de Nagagoya en Japón.

El principal objetivo de este caso es de estudio es el de introducir al lector una nueva perspectiva sobre las líneas de fabricación de automóviles en Japón.

Lo primero que hay que destacar de esta propuesta es que el caso de estudio presenta tres casos:

- Automático
- Híbrido
- Manual

En este proyecto nos olvidaremos del manual ya que no nos interesa en absoluto porque se busca analizar que mejora o empeora en una fábrica totalmente automatizada frente a una fábrica que mezcla automatización y trabajo manual.

El informe del que estamos hablando salió de una idea básica que es “¿Qué nos conviene comprar el producto o fabricarlo?”, en este caso el producto son coches que ya se ha mencionado anteriormente.

Este caso de estudio no se encarga de todo el proceso puesto que este proceso es demasiado largo y sería muy difícil analizarlo en su plenitud. El siguiente esquema es muy importante y por eso se le dedica una página entera, como se ve el caso de estudio se dedica a una pequeña parte de esta gran pregunta.

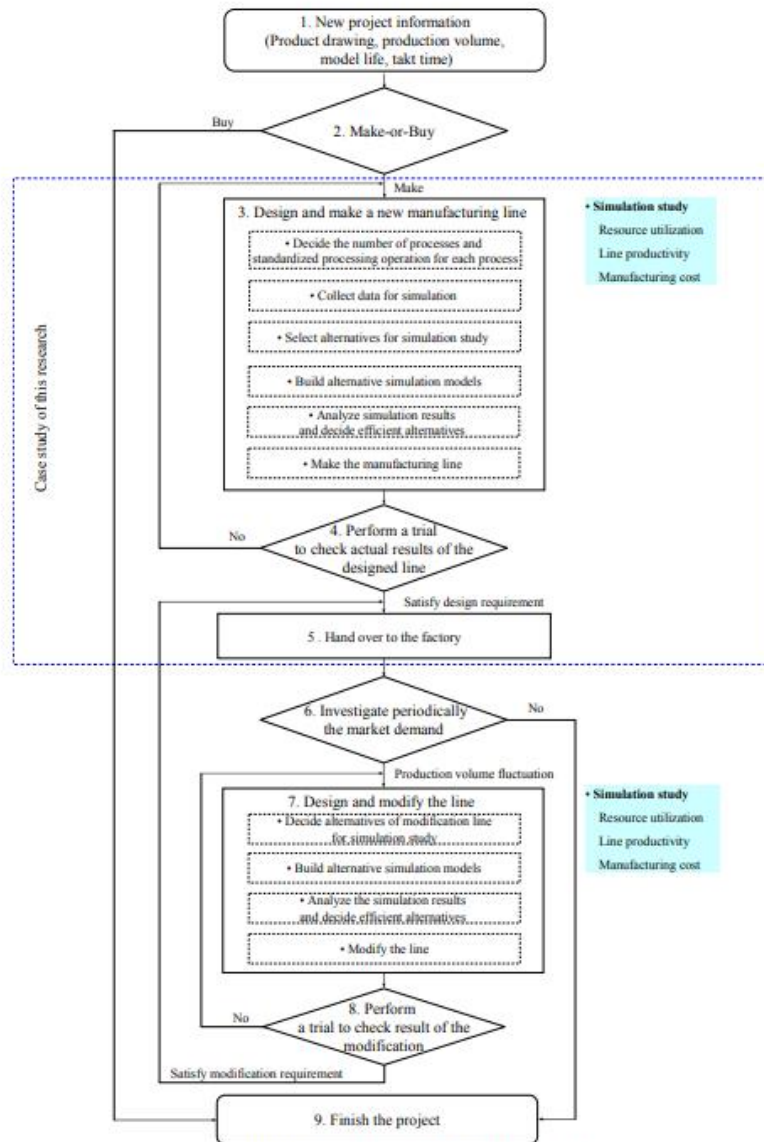


Figure 1: Framework for manufacturing line design

Ilustración 6: Esquema general

Como se puede observar en el esquema, el objetivo de este caso de estudio es comparar las tres opciones que tenemos, en proyecto dos y después de compararlas quedarnos con la que nos ofrezca una mejor propuesta.

¿Y cómo se puede averiguar qué opción es mejor?, pues esta es la razón porque la que se ha llevado a cabo este trabajo, aunque sin embargo esa no es la parte más complicada del proyecto, es en la que estamos ahora en el “modelado”.

Caso de estudio “Nueva línea de manufacturación”

La división de planificación de la empresa nos ofrece un problema que hay que resolver y es el diseño de una nueva línea de fabricación de soldadura celular para producir un componente crucial para los vehículos, a esta componente se le denominará como un coche completo para simplificar.

De este componente deben salir 9200 al mes según lo que se tiene planteado, pero en nuestro caso es imposible ya que estamos limitado por la versión estudiante de Arena y esto hace que podamos sacar un quinto de las 9200 es decir alrededor de 1800 componentes al mes, ya que hay una media de 60 componentes de salida en las dos propuestas.

La primera parte de todo esto es decidir el número de procesos para la fabricación de esta componente. Esto se ha decidido en función de múltiples datos dados por la fábrica como son:

- Secuencia de soldadura
- Longitud de soldadura por arco
- Número de puntos de soldadura por arco
- Tiempo de Tak que es el tiempo de fabricación del componente, que en nuestro caso será un poco diferente debido a las diferentes limitaciones.
- Ecuilización de carga de trabajo de soldadura para cada proceso

Como consecuencia de todas estas decisiones se definen seis procesos diferentes:

1. Nut Weld: Es una clásica de soldadura de tuercas. Solo utiliza la parte 1.
2. Arc Weld: Soldadura de arco que utiliza las soldaduras de la parte 2 con los subconjuntos del proceso 1
3. Spot Weld: Soldadura por puntos que utiliza soldadura de la parte 3 con subconjuntos del proceso 2.
4. Arc Weld 2: Al igual que el proceso 2 es una soldadura de arco que en su caso usa subconjuntos del proceso 3 y los suelda con la parte 3.
5. Spot Weld 2: Es una soldadura por punto adicional a la que ya se tiene.
6. Check and repair: Es el último proceso y se encarga de la verificación y reparación final.

A continuación, se muestra una tabla que muestra perfectamente el camino que realiza cada una de las cuatro partes del componente, estas partes en el modelo se corresponderán con entities como se verá un poco más adelante:

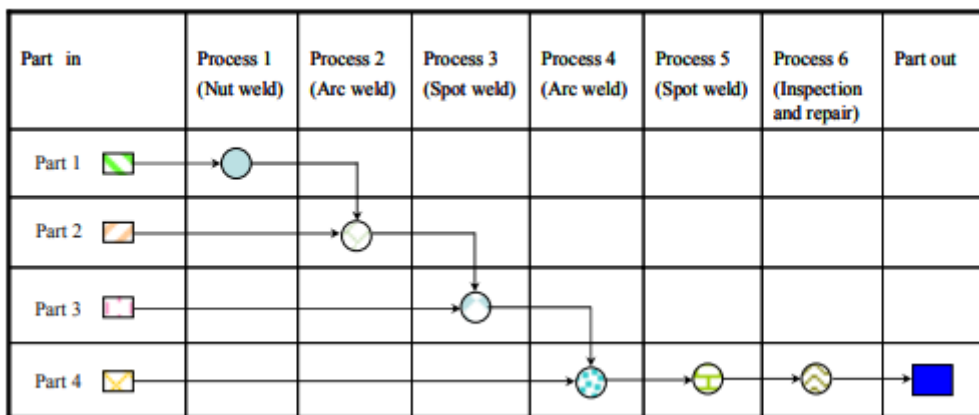


Ilustración 7: Camino de cada entidad

El paso número 2 será definir el horario de la fábrica que será el siguiente:

- 2 turnos de 8 horas de trabajo de producción
- En cada turno el trabajador tendrá una hora para comer y un descanso de 15 minutos para el té (no implementado)
- Se estiman los fallos promedios de la máquina a partir datos sacados de la fábrica.

Antes se ha hablado de los subprocesos, estos son las diferentes partes de los 6 procesos que dispone el modelo, al igual que los procesos son seis y son los siguientes:

1. Load part on jig (by worker): Carga la parte correspondiente en la plantilla, siempre es realizado por un trabajador.
2. Slide finished part to next process (by worker): Se termina la plantilla y se mueve al siguiente proceso también es llevada a cabo por un trabajador.
3. Arc weld (by worker or robot): Corresponde a la soldadura por arco y puede ser realizada por un trabajador o un robot.
4. Spot Weld (by worker or robot): Es el subproceso correspondiente a la soldadura por arcos y puede ser automáticamente o se puede encargar de ella un trabajador.
5. Nut weld (by worker or robot): Subproceso de la soldadura de tuerca, al igual que todas las soldaduras la pueden llevar a cabo tanto un robot como un trabajador.
6. Check and repair part (by worker or robot): Revisar y reparar si hay algún error es de lo que se encarga este subproceso que finaliza la cadena de montaje, robot o trabajador son los encargados de esta tarea.

La siguiente tabla nos muestra en que subprocesos está dividido cada de los seis procesos con los que contamos:

Standardized Processing operation	Process 1	Process 2	Process 3	Process 4	Process 5	Process 6
Load part on jig (by worker)	1	1	1	1	1	1
Slide finished part to next process (by worker)	1	1	1	1	1	1
Arc weld (by worker or robot)		1		1		
Spot weld (by worker or robot)			1		1	
Nut weld (by worker or robot)	1					
Check and repair part (by worker or robot)						1

Ilustración 8: Tabla de subprocesos

La tabla siguiente puede ser la tabla más importante del modelo porque define el tiempo estándar para cada proceso, más adelante en la parte de adaptación del caso de estudio al modelo se interiorizará más en ella, es la siguiente:

Table 2: Standardized processing operation time (seconds)

		Process 1 (Nut weld)	Process 2 (Arc weld)	Process 3 (Spot weld)	Process 4 (Arc weld)	Process 5 (Spot weld)	Process 6 (Inspection and repair)
Alternative 1 (Automated line)	Load part on jig	TRIA(4,5,6)	TRIA(8,9,10)	TRIA(8,9,10)	TRIA(8,9,10)	TRIA(5,6,7)	TRIA(5,6,7)
	Slide finished part to next process	TRIA(3,4,6)	TRIA(5,7,8)	TRIA(5,7,8)	TRIA(5,7,8)	TRIA(5,7,8)	TRIA(5,7,8)
	Automated weld by robot	UNIF(31,33)	UNIF(40,42)	UNIF(33,35)	UNIF(40,42)	UNIF(39,41)	
	Check by robot						UNIF(30,34)
	Repair by robot						UNIF(20,30)
	Worker walk in process	TRIA(20,23,25)			TRIA(20,23,25)		
Alternative 2 (Manual line)	Load part on jig	TRIA(4,5,6)	TRIA(8,9,10)	TRIA(8,9,10)	TRIA(8,9,10)	TRIA(5,6,7)	TRIA(5,6,7)
	Slide finished part to next process	TRIA(3,4,6)	TRIA(5,7,8)	TRIA(5,7,8)	TRIA(5,7,8)	TRIA(5,7,8)	TRIA(5,7,8)
	Manual weld by worker	TRIA(48,50,53)	TRIA(58,60,63)	TRIA(50,51,54)	TRIA(57,59,62)	TRIA(59,61,63)	
	Check by worker						TRIA(36,43,47)
	Repair by worker						TRIA(15,20,35)
	Worker walk in process	TRIA(2,3,4)	TRIA(2,3,4)	TRIA(2,3,4)	TRIA(2,3,4)	TRIA(2,3,4)	TRIA(2,3,4)
Alternative 3 (Hybrid line)	Load part on jig	TRIA(4,5,6)	TRIA(8,9,10)	TRIA(8,9,10)	TRIA(8,9,10)	TRIA(5,6,7)	TRIA(5,6,7)
	Slide finished part to next process	TRIA(3,4,6)	TRIA(5,7,8)	TRIA(5,7,8)	TRIA(5,7,8)	TRIA(5,7,8)	TRIA(5,7,8)
	Hybrid weld by both worker and robot	TRIA(48,50,53)	UNIF(40,42)	TRIA(44,46,48)	UNIF(40,42)	UNIF(39,41)	
	Check by worker						TRIA(36,43,47)
	Repair by worker						TRIA(15,20,35)
	Worker walk in process	TRIA(6,7,8)		TRIA(6,7,8)		TRIA(6,7,8)	
Unplanned break failure	Time to Failure: TRIA(5400,7200,10800); Failure time: TRIA(50,70,90)						

Notation: TRIA=Triangular, UNIF=Uniform

Ilustración 9: Definición de tiempo para cada proceso

Se puede destacar de esta tabla lo siguiente:

- Se definen todos los tiempos de cada proceso (segundos) en distribuciones de probabilidad como pueden ser triangular o uniforme.
- Se muestran los tiempos de fallo, donde tenemos el tiempo que tarda en producirse el fallo y el tiempo que dura el fallo.
- Lo último a destacar es que se puede apreciar cuánto tarda un trabajador en cambiar de un proceso a otro ya que las máquinas están separadas entre sí.

El siguiente punto es la elección entre las diferentes alternativas que en el caso de estudio real son tres que ya hemos mencionado anteriormente, manual, híbrida y automática.

Los principales factores para elegir entre las diferentes opciones que hay son dos:

1. Número de trabajadores
2. Equipamiento usado

En la siguiente tabla se puede observar el número de trabajadores que se utilizan en las tres opciones:

	Resource	Process 1	Process 2	Process 3	Process 4	Process 5	Process 6
Alternative 1	Machine	Automated	Automated	Automated	Automated	Automated	Automated
	Worker	Worker 1			Worker 2		
Alternative 2	Machine	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
	Worker	Worker 1	Worker 2	Worker 3	Worker 4	Worker 5	Worker 6
Alternative 3	Machine	Manual	Automated	Manual	Automated	Automated	Manual
	Worker	Worker 1		Worker 2		Worker 3	

Ilustración 10: Disposición de trabajadores

Se observa claramente en la tabla que en la alternativa 2 se está usando un trabajador diferente para cada proceso, mientras que la automática usa robots en todos los procesos, pero como muestra la tabla se necesitan a dos trabajadores que se encargue del mantenimiento y vigilancia de estos robots. Por último, la línea híbrida refleja una combinación de equipos manuales y automatizados.

Se intuye que usando maquinaria automatizada se podría disminuir los costes de algunos trabajadores, pero también es fácil predecir que esto provocaría un aumento exponencial en el coste de maquinaria. Por lo tanto, se puede afirmar que la decisión sería la línea híbrida que mezcla los dos extremos llegando a un equilibrio de ambos.

El número de trabajadores también ha tenido otro factor importante, el de la ingeniería es decir que también se depende de la complejidad de los procesos, la secuencia de la soldadura, la longitud de la soldadura de arco, el número de puntos de soldadura, calidad del trabajo...

Por último, con respecto al caso de estudio se mostrará un esquema que representa el "camino" que realiza cada trabajador en la línea híbrida para llevar a cabo los diferentes procesos:

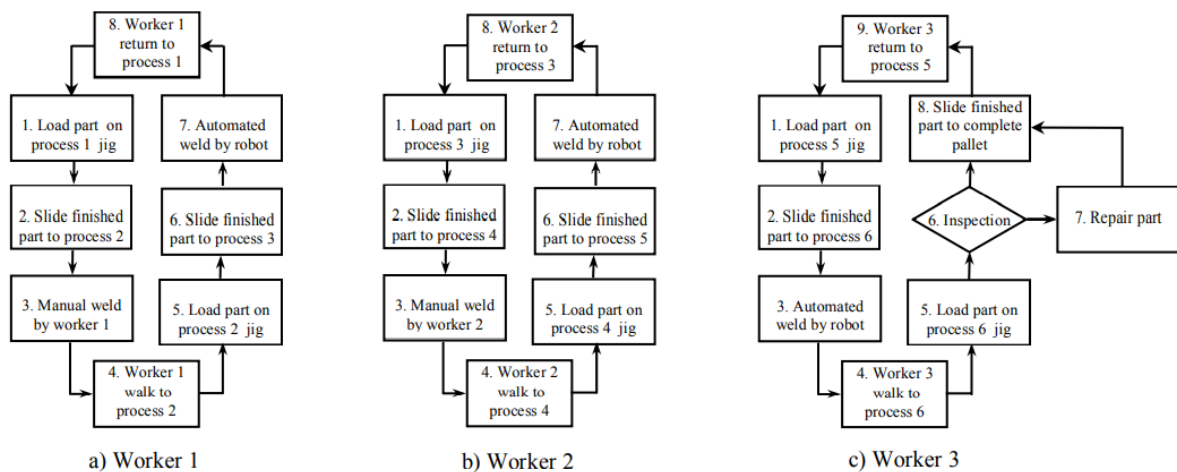


Ilustración 11: Esquema de "camino" de los trabajadores (línea híbrida)

Del análisis del modelo del caso de estudio no se hará mención porque el análisis que se ha realizado para este proyecto es totalmente creado por mí haciendo hincapié en cosas diferentes y teniendo en cuenta otros factores.

Adaptación del caso de estudio al modelo final

El siguiente paso es adaptar este informe a un modelo en Arena, como se ha explicado antes se harán dos de las tres líneas de producción propuestas que son:

- Automática
- Híbrida

Se irán mencionando las diferentes partes de cada modelo dividiéndose en:

1. Entities
2. Process
3. Salidas y animaciones
4. Tiempo de simulación
5. Transporters

- Entities

Para los dos modelos se tienen la misma estructura para los entities, como bien se explicó en su momento el bloque que se encarga de los entities es el bloque create. En nuestro caso se tendrán cuatro creates, estos corresponden a cada uno de las diferentes partes del componente que se quiere fabricar, siendo los cuatros entities de los que se disponen los siguientes:

1. P1 (Parte 1)
2. P2 (Parte 2)
3. P3 (Parte 3)
4. P4 (Parte 4)

El tiempo de creación de cada entity se define en el módulo create, este estará definido por una distribución estadística exponencial donde el tiempo de esta corresponde a una variable diferente que se han sido nombradas como “capacidades”. El valor por defecto para las cuatro variables será de 15 minutos por entidad.

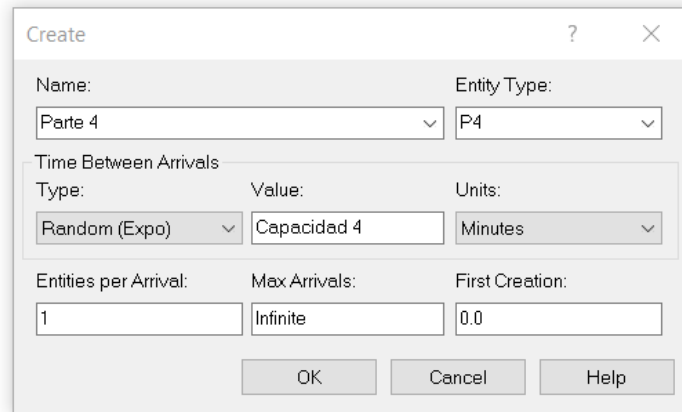


Ilustración 12: Parámetros de un create

Por último, a destacar este apartado es que el entity de salida no es ningún de los cuatro entities de los que disponen los creates, es un entity al que se le ha llamado "Car" y que corresponde con la componente creada del coche.

La forma de definir la entity Car como entity de salida se entiende si conocemos el módulo Match.

Este módulo nos permite agrupar un conjunto de elementos que van llegando a través de sus entradas y se van colocando en las colas definidas, es decir si se define que habrá dos colas hasta que en las colas no estén los elementos correspondientes, no saldrá una entidad por la salida del Match.

A lo que se quiere llegar con esto es que en este bloque se puede fijar que cree una entity que salga del Match y eso es lo que se ha hecho en este proyecto con la creación del entity "Car".

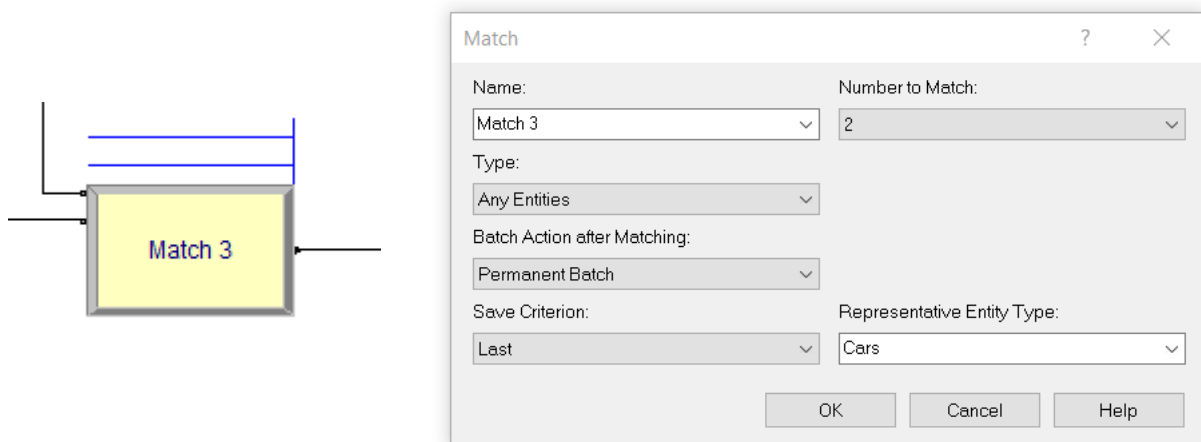


Ilustración 13: Módulo Match

Para finalizar, recalcar que se dispondrán de 3 módulos Match, uno a la entrada del proceso 2, otro a la entrada del proceso 3 y el último a la entrada del proceso 4.

Este apartado es prácticamente igual para los dos modelos de los que disponen por eso no se ha hecho una distinción entre híbrido y automático.

- Process

Esta parte del modelado es la más importante ya que define el tiempo total en el que tarda en salir la componente creada.

Los process se dividen en seis procesos y cada uno de esos seis procesos en tres subprocesos, dependiendo de si es híbrido o automático se tendrán tres o dos trabajadores que se encargarán de los diferentes procesos.

Toda la información con respecto a los process ha sido ya mencionada en las tres tablas siguientes:

- Tabla de subprocesos (26)
- Tabla que define el tiempo para cada subproceso (27)
- Tabla que define los resources de cada proceso (28)

Se puede llegar a la conclusión mediante estas tablas que al final lo que cambia con respecto a las dos líneas de producción de las que disponemos son el número de resources y el tiempo de definición de cada proceso.

Algo muy importante a destacar es que tiempo tiene que ser fijo en otras palabras no se puede cambiar y estará determinando el tiempo total del sistema. Este hecho ha sido muy relevante porque el problema del Arena estudiante es que limita a 150 entidades en el modelo, por lo tanto, en el caso de superar estas 150 entidades había que cambiar algo para que no nos saliera ese error, los tiempos de los process no podían ser por lo tanto se cambiaba la capacidad de creación de los entities bajando de 9200 unidades al mes a unas 1800.

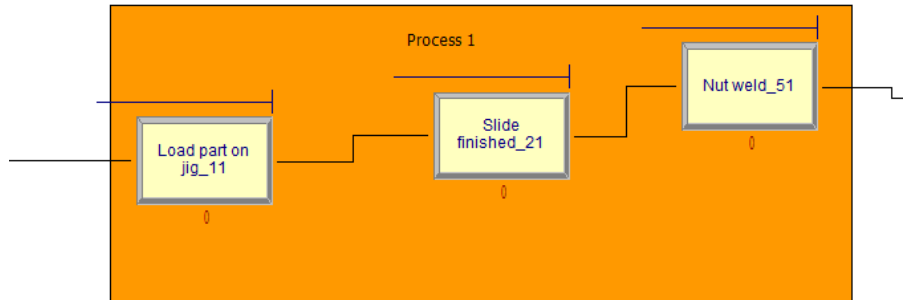


Ilustración 14: Process en la parte híbrida

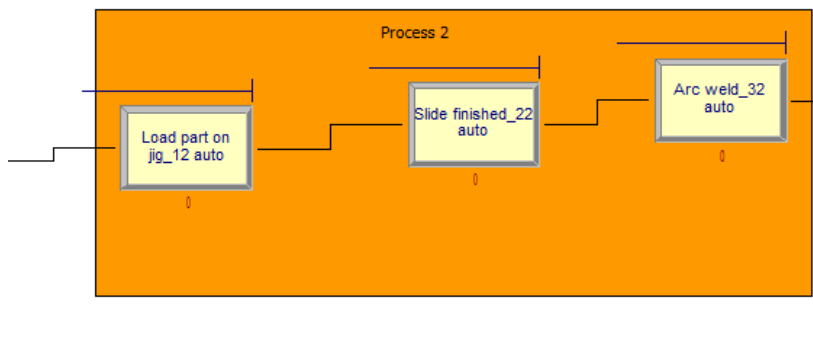


Ilustración 15: Process en la parte automática

Para finalizar hay que tener en cuenta que en el modelo híbrido se cuentan con transporters para imitar el camino que hacen los trabajadores entre las diferentes máquinas, aunque esto se explicará más adelante porque ha dado problema en el modelo automático.

- Salidas y animaciones

En los dos casos el entity de salida se llamará "Car" y sale del tercer Match que es él que está a la entrada del process 4.

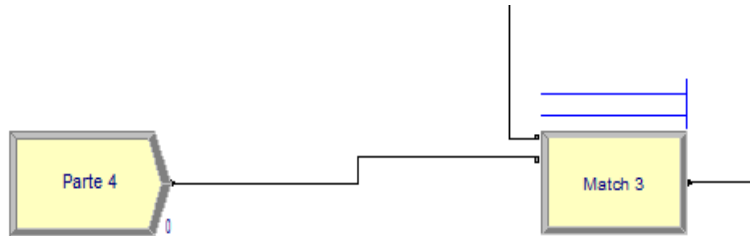


Ilustración 16: Tercer Match



Ilustración 17: Bloque Dispose de salida

De este tampoco se puede explicar mucho más, lo único a destacar sería la definición del bloque Dispose que está en la página 18.

En cuanto a las animaciones para los entities de las diferentes partes del componente del coche se ha usado la misma animación (caja) que es la siguiente:



Ilustración 18: Animación entities "Partes"

En el caso de la entity "Car" de salida cambia la animación ya que se entiende de que la componente está fabricada completamente, por simplicidad la animación es la imagen de un coche:

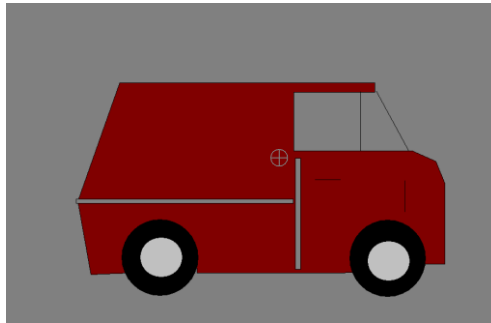


Ilustración 19: Animación para la entity "Cars"

Hasta este punto no hay diferencia alguna pero cuando se habla de las animaciones de los resources es decir los trabajadores la cosa cambia ya que en el modelo automático se disponen de dos trabajadores y en el modelo híbrido se disponen de tres trabajadores.

En el caso híbrido las imágenes usadas como plantilla para la animación de los trabajadores son las siguientes:

- Worker 1

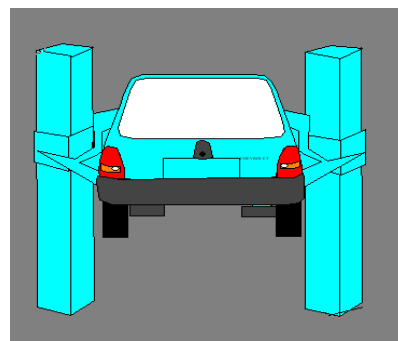
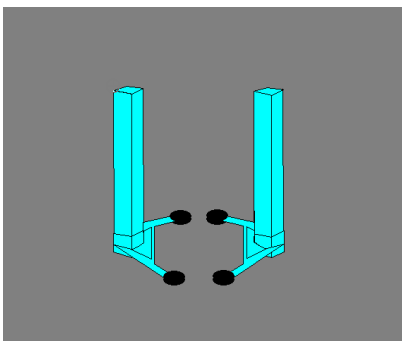


Ilustración 20: Animación W1 Inactivo y Ocupado (híbrido)

Se necesitan dos imágenes para cada resource ya que los resources sino están procesando ninguna entity se dicen que están inactivos (Idle) por lo tanto el resource o el trabajador no está trabajando y la otra posibilidad es que esté ocupado por una entity que en este caso el trabajador si está trabajando y se dice que el resource está ocupado (Busy).

- Worker 2

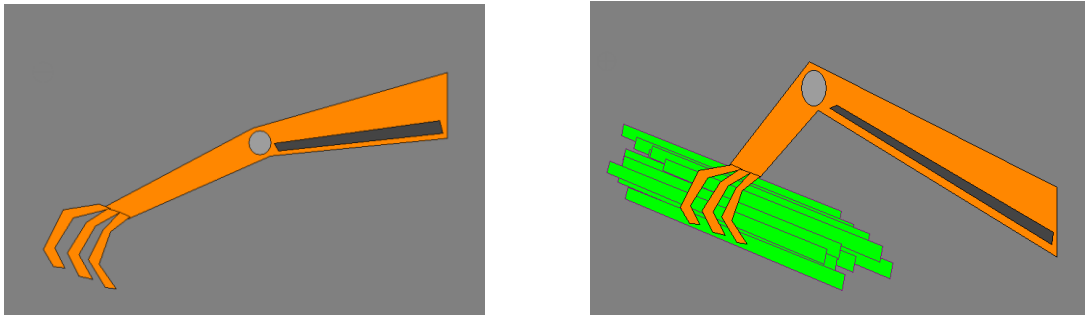


Ilustración 21: Animación W2 Inactivo y Ocupado (híbrido)

- Worker 3

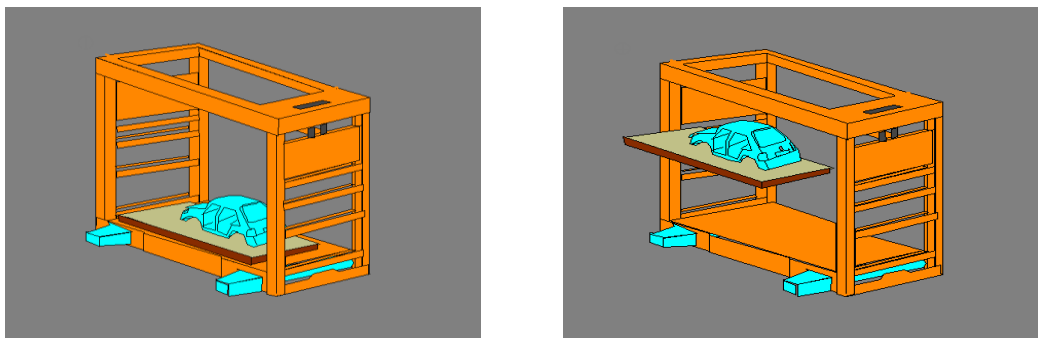


Ilustración 22: Animación W3 Inactivo y Ocupado (híbrido)

Para finalizar en la siguiente página se mostrarán las animaciones del caso automático que son 2 trabajadores en lugar de 3 como en la línea híbrida.

- Worker 1

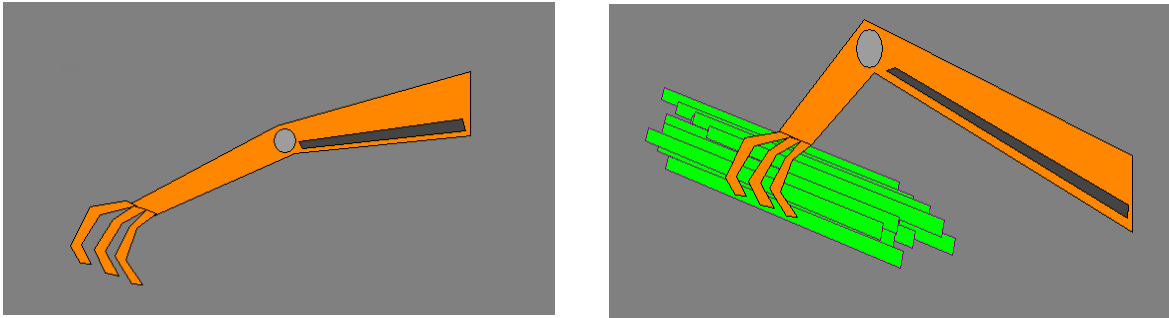


Ilustración 23: Animación W1 Inactivo y Ocupado (automático)

- Worker 2

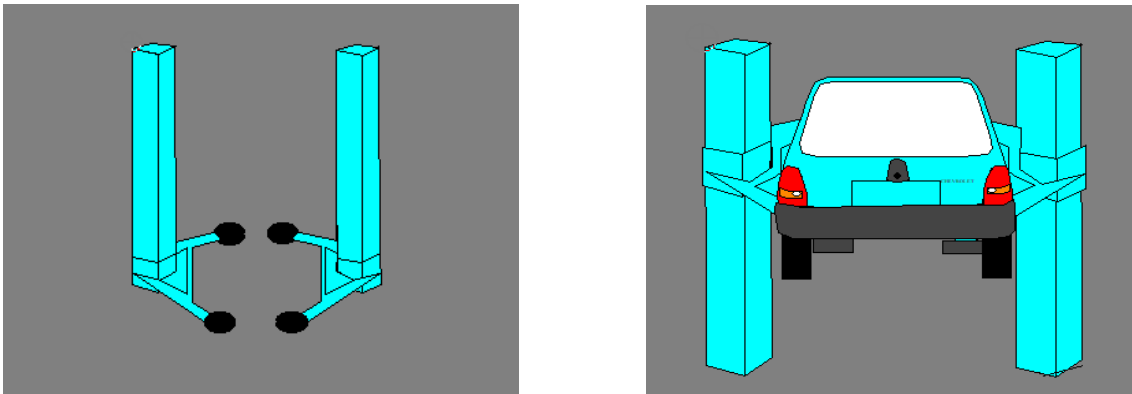


Ilustración 24: Animación W2 Inactivo y Ocupado (automático)

- Tiempo de simulación

En cuanto al tiempo de simulación se han tenido en cuenta los requisitos que se han podido de la fábrica, aunque solo había dos requisitos que son los siguientes:

- 2 turnos de 8 horas de trabajo de producción
- En cada turno el trabajador tendrá una hora para comer y un descanso de 15 minutos para el té (no implementado)

El segundo requisito era muy difícil de implementar en los dos modelos ya que Arena estudiante nos limita para estos casos. Sin embargo, el primer requisito si se ha cumplido ya que es indispensable para el sistema.

Estos dos turnos se tienen en cuenta para los dos modelos como un solo turno de 16 horas puesto que los descansos son muy difíciles de implementar en Arena.

Son 16 horas al día de trabajo, esto es algo irreal ya que esto es prácticamente explotación si fueran los mismos trabajadores el turno completo, así que nos vamos a imaginar que cada 8 horas hay un cambio de trabajadores.

En cuanto a los días que se pueden simular lo máximo que se ha simulado han sido alrededor de 60 días así que imaginamos que el límite hasta que falle Arena está en 60 días de simulación seguidos para los dos modelos.

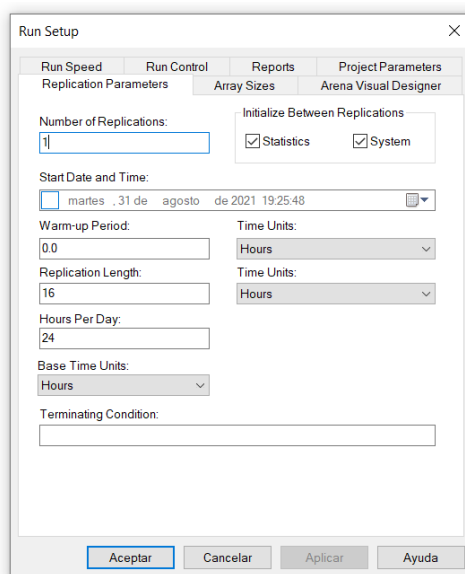


Ilustración 25: Parámetros del tiempo de simulación

- Transporters

En este último apartado solo se puede mencionar la línea híbrida puesto que la línea automática no ha permitido la inclusión de transporters ya que superaban las 150 entidades que aguanta el Arena estudiante.

Antes de todo hay que introducirse un poco en el tema de los transporters ya que no se han mencionado hasta ahora.

Los transporters se pueden decir que se dividen en dos apartados:

1. Estación

Esta se usa para modelar el flujo de una entidad además permite animar movimientos usando markers.

2. Transferencia de entidades

Es el enviar entidades de una estación a otra. Se divide en cuatro opciones diferentes:

- Connect: La conexión es directa.
- Route: En este caso si hay un delay, en otras palabras, existe un tiempo de retraso.
- Transporters: Existe una limitación de entidades y del tiempo.
- Conveyors: Es igual que el transporter pero en una sola dirección.

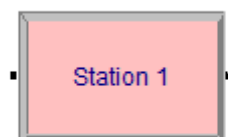


Ilustración 26: Estación en Arena

A continuación, se pasará a explicar el caso específico de este proyecto ya que se ha explicado un poco por encima el concepto de transporter.

En nuestro caso la opción elegida para el proyecto ha sido la opción del transporters y esta representará el camino que tienen que realizar los trabajadores entre máquina y máquina que se puede comprender gracias a la ilustración 11 que está en la página 30.

Para ello serán necesario dos nuevos bloques a los cuáles todavía no se les hecho mención que son:

- Leave

Este bloque se encuentra junto a la estación y su función principal es la de reservar una unidad del transfer además también con este bloque se pueden especificar prioridades y por último se define el tiempo que tarda la entidad en llegar a la nueva estación es decir el enter.

- Enter

Su cometido es el de definir el tiempo descarga además hace la función de estación de llegada.

El tiempo que tarda en llegar la entidad o podríamos decir el trabajador está definido en la tabla de los tiempos de procesos.

Un transporter sirve para transportar entidades, pero aquí se está usando simbólicamente ya que la función de los tres transporters en este caso es representar el retraso que hay debido a que el trabajador está cambiando entre una máquina y otra.

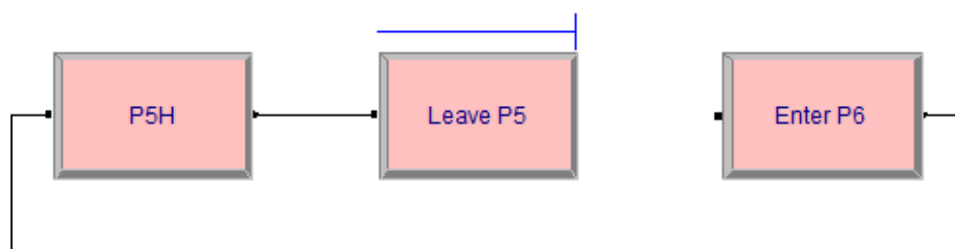


Ilustración 27: Esquema de un transporter completo

Análisis de los modelos

Sin importar cuál sea la elección mas sabia; hasta alcanzar los resultados nadie sabrá con certeza si debió ser tomada o no.

Levi Ackerman

Se ha pasado la parte más laboriosa del proyecto y ahora viene la parte más práctica puesto que ya se podría decir que tenemos el modelo de la fábrica hay que ver que podemos hacer con este y como mejorarlo.

Hay que tener en cuenta que se tienen dos modelos y que los diferentes análisis serán individuales, aunque habrá algunos análisis conjuntos.

¿Qué se busca con estos análisis?

Los análisis que se pueden hacer son muchos y muy diversos, se puede analizar cualquier cosa como se verá en los diferentes apartados de esta parte, por ejemplo, se puede buscar un aumento de la producción, ver si los trabajadores que tenemos son suficientes...

Para estos diferentes análisis se usarán herramientas de Arena que hemos explicado al principio de este proyecto, la primera de estas herramientas será el Output Analyzer.

Lo primero de todo esto es diferenciar los dos modelos como terminating systems, esto significa que tienen unas condiciones específicas de comienzo y fin de simulación. El otro tipo en el cual se pueden diferenciar los modelos es el Steady-state que sería el caso de una replicación muy larga, por ejemplo, un hospital que está prácticamente los 365 días del año en funcionamiento.

Conceptos básicos de estadística

Para adentrarnos en el uso del Output analyzer hay que entender varios conceptos básicos de estadística que son los siguientes:

- Muestra: Subconjunto de datos perteneciente a una población de datos, de forma más simplificada es una secuencia de observaciones independientes.

Al tener un conjunto de diversas muestras se pueden calcular la media y la varianza que son indispensables para esta parte del TFG.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_n}{n} \quad s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

Ilustración 28: Media y varianza

- Intervalo de confianza: describe la variabilidad entre la medida obtenida en un estudio y la medida real de la población (valor real). Corresponde a un rango de valores, cuya distribución es normal y en el que se encuentra, con alta probabilidad, el valor real de una determinada variable.

En este primer análisis se buscará estar en un intervalo de confianza del 95 por ciento para hallar un half width de 6, el half width es el término que nos da Arena para definir el intervalo de confianza. El objetivo de este análisis es intentar hallar que la media del WIP esperada esté en el intervalo con un 95 por ciento de probabilidad, es decir buscamos reducir el half width a un número razonable ya que a mayor half width menos probabilidad hay que se cumpla el intervalo de confianza.

Antes de seguir se debe parar en el concepto de WIP el cual significa Work in progress, es el número de procesos que se están llevando al mismo tiempo. Es un concepto clave en las fábricas porque es el que limita la producción de esta.

Para conseguir el resultado esperado se necesitan un número de replicaciones específica, este número se puede averiguar de dos formas diferentes:

- Teorema central del límite:

En el half width t se sustituye por z y así la desviación típica se mantendrá (teorema central del límite)

$$\text{Half width}(h) = t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad n = z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 * \frac{s^2}{h^2} \quad s \text{ es la desviación típica}$$

De aquí se intuye que al aumentar n debe disminuir el half width.

- Aproximación cuadrática

Se simula un número inicial de replicaciones que será n_0 y este corresponderá con un half width inicial que será h_0 . Después de esto se impone un objetivo para el half width que será elegido por nosotros y con esto se podría calcular el nuevo número de replicaciones. Es un proceso iterativo puesto que si no se llega al objetivo hay que volver a repetir el proceso.

$$n = n_0 * \frac{h_0^2}{h^2}$$

Primer análisis

Posteriormente a explicar los dos métodos posibles nos disponemos a mostrar los resultados obtenidos para intentar alcanzar un half width de 6 en los dos modelos diferentes con los dos métodos anteriores.

- Automático
- Método central del límite

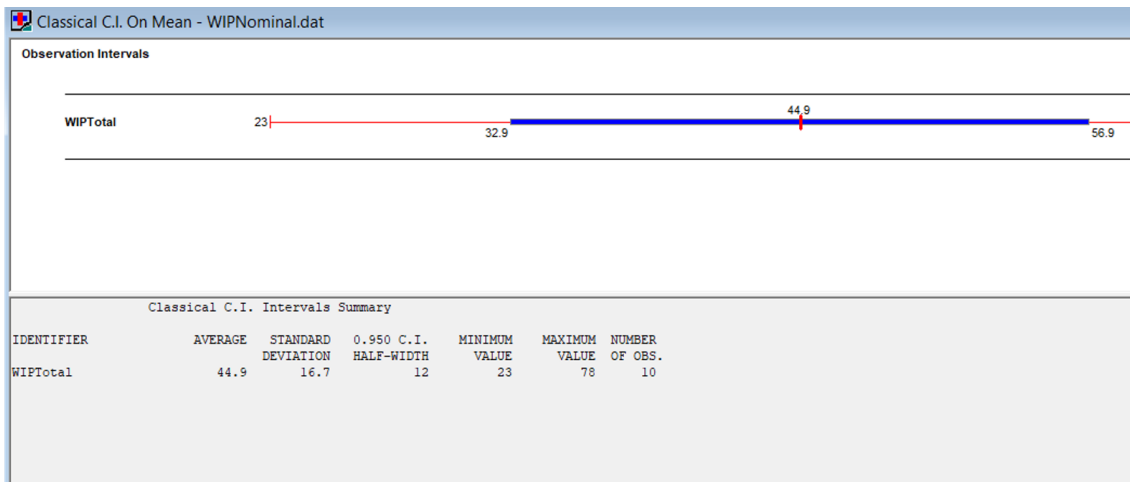


Ilustración 29:WIP Nominal

Se puede observar en este intervalo y valores obtenidos en el Output analyzer que con 10 replicaciones se está muy lejos del objetivo que queremos ya que ahora mismo el half width tiene un valor de 12.

Si se calculan con estos datos y usando el método central del límite, so obtiene el siguiente número de replicaciones:

El 1.96 es el valor que corresponde al 95% de confianza en la tabla de la normal.

$$n = z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 * \frac{s^2}{h^2} \qquad n = 1.96^2 * \frac{16.7^2}{6.2} = 29.76$$

Se obtiene que n es 30 por lo tanto se vuelve a simular con este nuevo número de replicaciones.

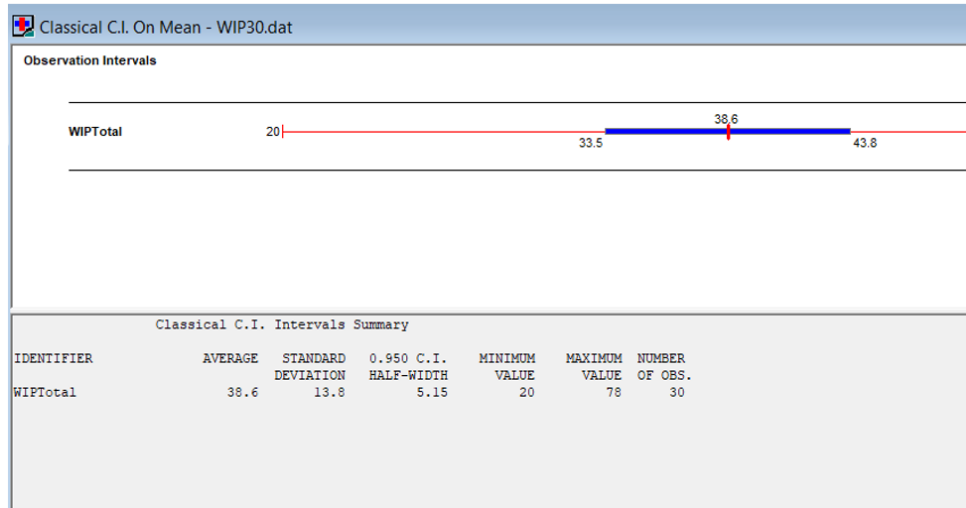


Ilustración 30: Resultados para 30 replicaciones

Se utiliza de nuevo el método central del límite puesto que aún se está lejos del objetivo, aunque también se puede observar que nos hemos acercado bastante estando ahora con un half width de 5.15.

$$n = z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 * \frac{s^2}{h^2} \qquad n = 1.96^2 * \frac{13.8^2}{6.2} = 20.32$$

Se llega a que el nuevo número de replicaciones es 21 y con este nuevo número se vuelve a simular obteniendo lo siguiente:

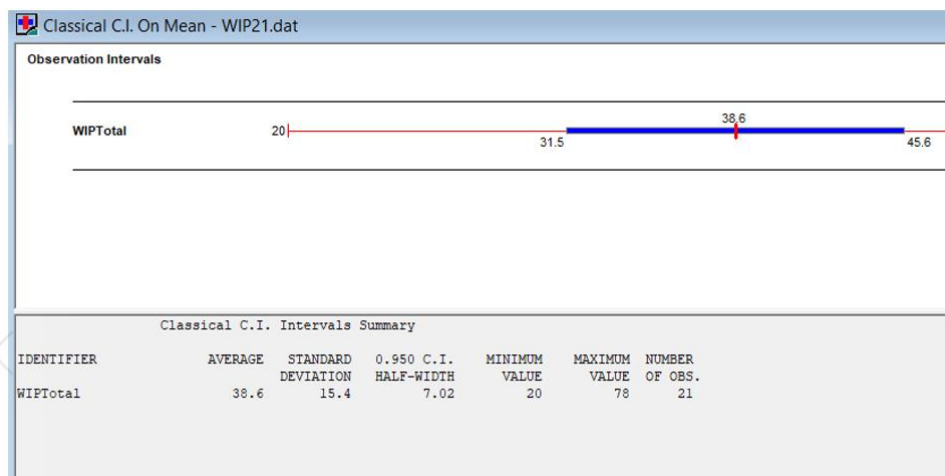


Ilustración 31: Resultados para 21 replicaciones

Analizando estos resultados se puede atisbar que no hemos obtenido los valores esperados ya que aún se está lejos del resultado esperado, por lo tanto, se va a repetir el proceso por última vez a ver si se pueden obtener mejoras.

$$n = z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 * \frac{s^2}{h^2} \qquad n = 1.96^2 * \frac{15.4^2}{6^2} = 25.3$$

Al repetir el proceso se obtiene que n es igual a 26, se simula con este número de repeticiones y se producen los siguientes resultados:

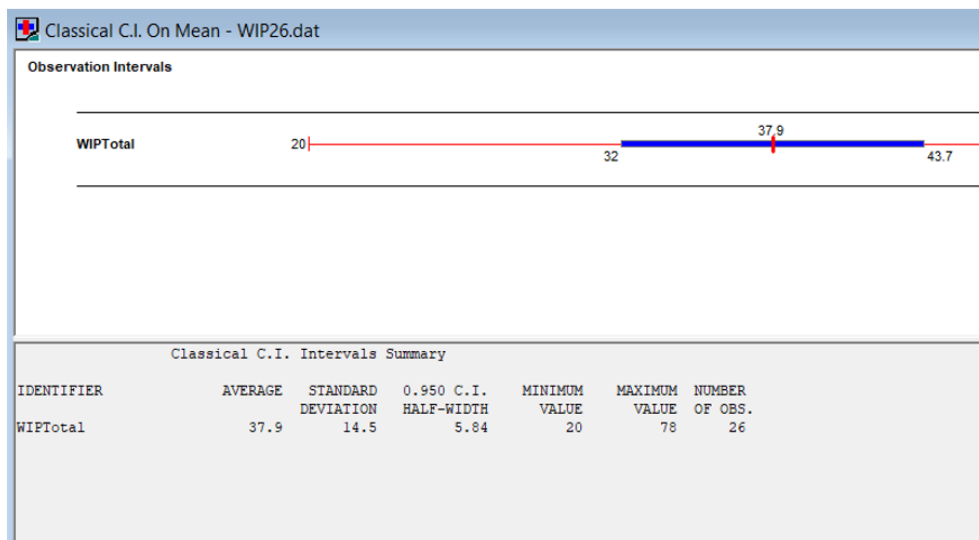


Ilustración 32: Resultados para 26 repeticiones

Por fin se obtiene un valor muy cercano del half width que buscábamos ya que se buscaba un valor de 6 y se ha llegado a 5.84 por lo tanto los resultados obtenidos finalmente son muy buenos.

- Aproximación cuadrática

Es prácticamente el mismo proceso, pero cambiando la fórmula, otra diferencia es que con la aproximación cuadrática el número de replicaciones suele ser mayor.

Se usará como base los parámetros de 10 simulaciones que se han usado en el método anterior y con ello se obtendrá lo siguiente:

$$n = n_0 * \frac{h_0^2}{h^2} \qquad n = 10 * \frac{12^2}{6^2}$$

Se obtiene que n es igual a 40 por consiguiente se realiza la simulación de 40 replicaciones:

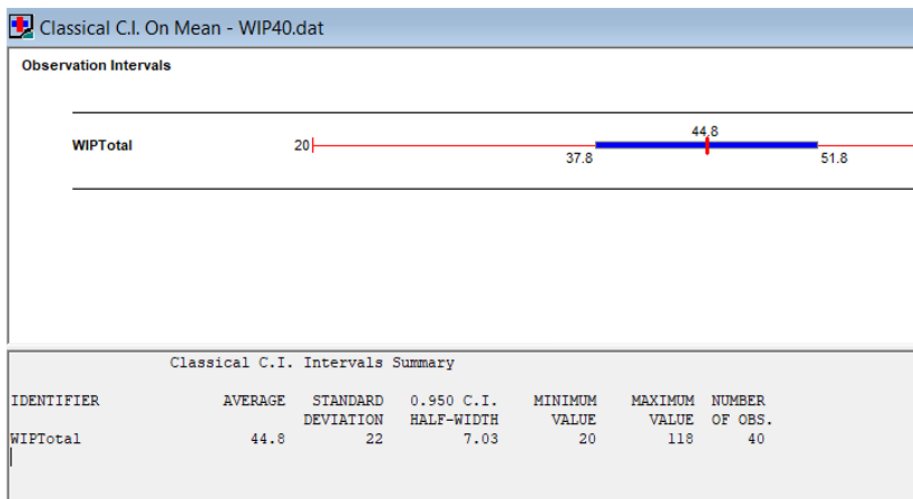


Ilustración 33: Resultados para 40 replicaciones

Como se puede apreciar en la imagen aún estamos lejos del half width deseado como consecuencia de esto se vuelve a repetir el proceso:

$$n = n_0 * \frac{h_0^2}{h^2} \qquad n = 40 * \frac{7.03^2}{6^2}$$

El nuevo resultado que se ha alcanzado es n igual a 55, por última vez se vuelve a simular con este valor.

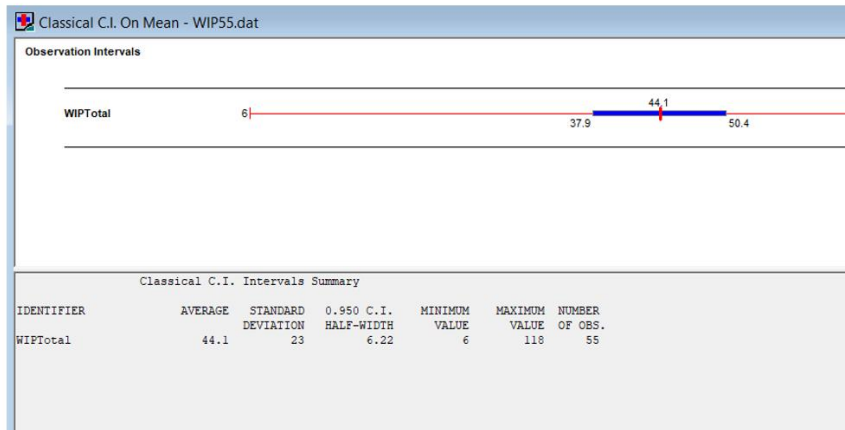


Ilustración 34: Resultados para 55 replicaciones

Se puede apreciar que el resultado obtenido finalmente para el half width es lo suficientemente bueno puesto que está muy cerca del objetivo fijado.

- Híbrido
 - Método central del límite

Es análogo a lo que se ha realizado en la línea automática por lo tanto nos pararemos menos en algunos conceptos.

Se empieza de nuevo simulando 10 replicaciones para empezar con una “base”:

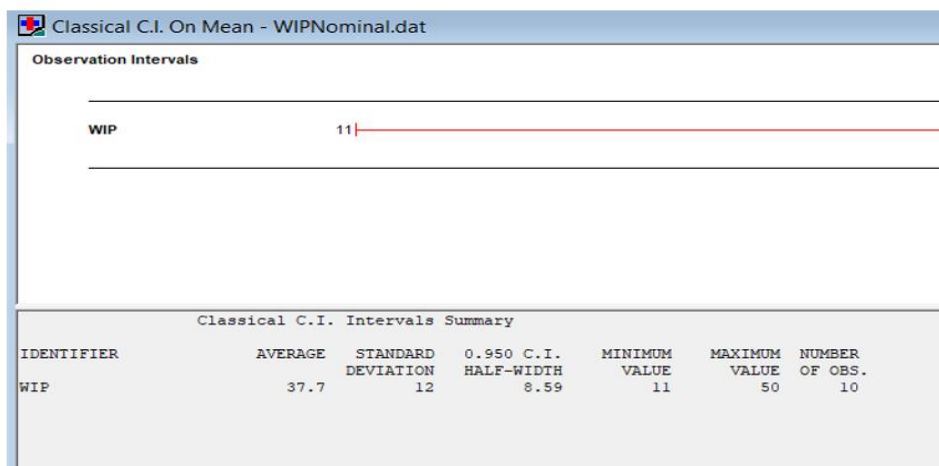


Ilustración 35:WIP Nominal

El siguiente paso es calcular el nuevo número de replicaciones:

$$n = z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 * \frac{s^2}{h^2} \qquad n = 1.96^2 * \frac{12^2}{6.2} = 29.76$$

Se obtiene que el valor de n es igual a 15.36 por lo tanto se redondea y nos quedamos finalmente con n igual a 16. El siguiente paso es simular con este nuevo valor:

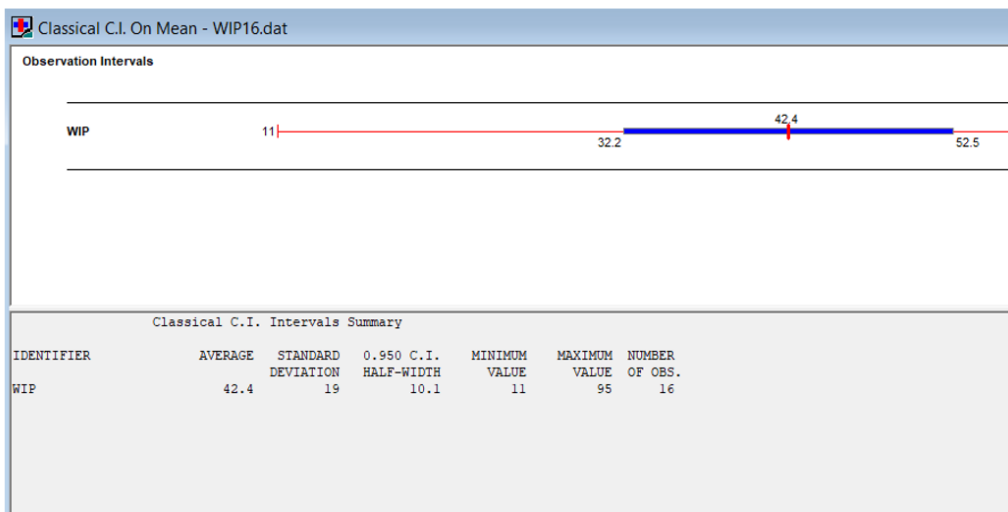


Ilustración 36: Resultados para 16 replicaciones

Se debe repetir de nuevo el proceso ya que el resultado no es el esperado:

$$n = z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 * \frac{s^2}{h^2} \qquad n = 1.96^2 * \frac{10.1^2}{6.2} = 29.76$$

El resultado de n que sale de esta fórmula es n igual a 39. Simulamos por última vez ya que como se comprobará ahora los resultados son óptimos.

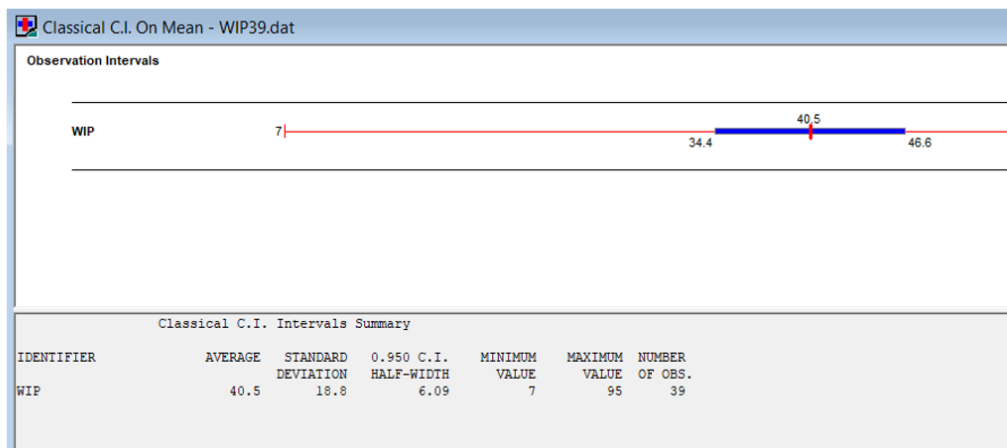


Ilustración 37: Resultados para 39 replicaciones

El resultado es prácticamente perfecto por consiguiente no se vuelve a simular ya que se ha conseguido lo que se había planificado.

- Aproximación cuadrática

Se usará de base al igual que en todos los casos anteriores los resultados obtenidos mediante 10 replicaciones:

$$n = n_0 * \frac{h_0^2}{h^2} \qquad n = 10 * \frac{8.59^2}{6^2}$$

El nuevo resultado son 21 replicaciones por lo tanto simulamos con este número:

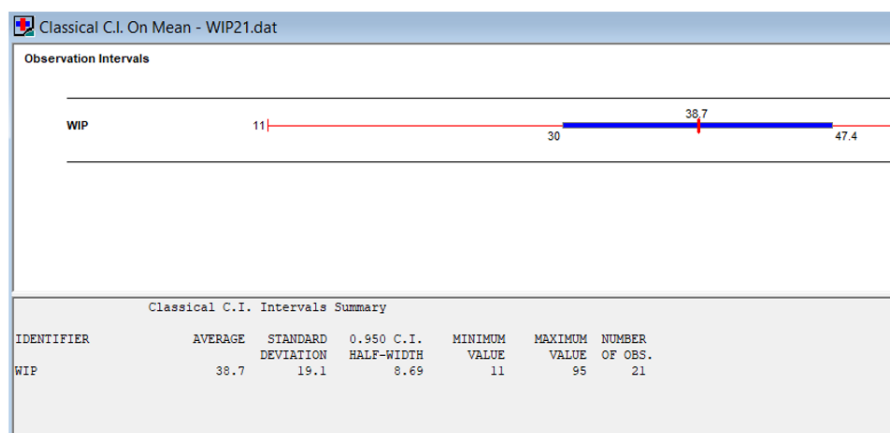


Ilustración 38: Resultados para 21 replicaciones

Se vuelve a calcular el número de replicaciones:

$$n = n_0 * \frac{h_0^2}{h^2} \qquad n = 21 * \frac{8.69^2}{6^2}$$

Se aproxima n a 45 por consiguiente se vuelven a calcular los parámetros para este valor:

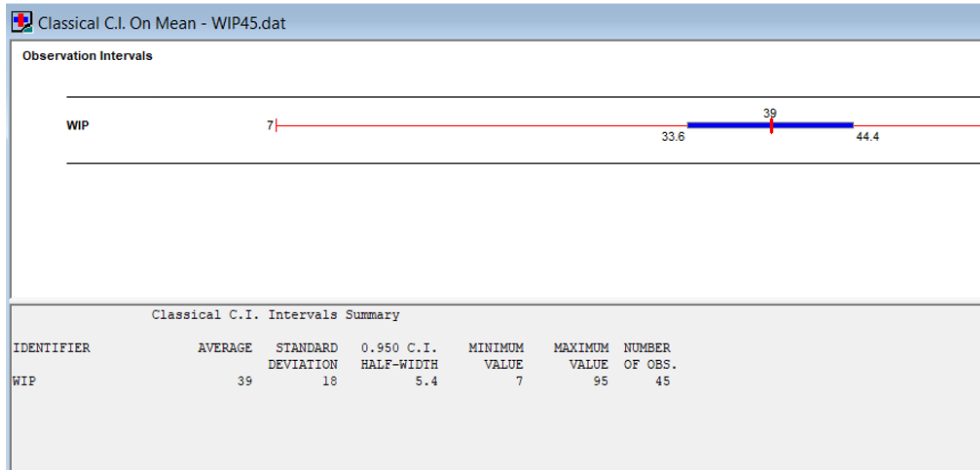


Ilustración 39: Resultados para 45 replicaciones

El resultado es bueno, pero se puede mejorar incluso un poco más como consecuencia se vuelve a calcular n una última vez:

$$n = n_0 * \frac{h_0^2}{h^2} \qquad n = 45 * \frac{5.4^2}{6^2}$$

El último resultado logrado es n igual a 37 por consiguiente se simula una última vez:

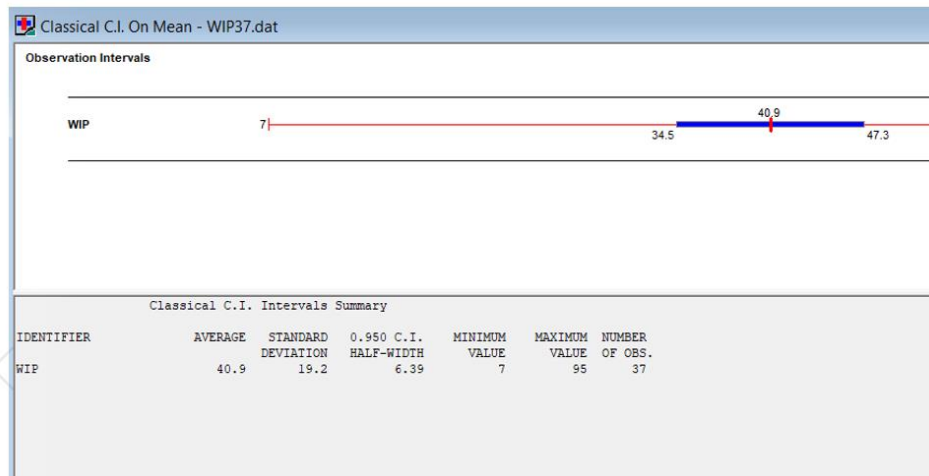


Ilustración 40: Resultados para 37 replicaciones

Se han mejorado un poco los resultados hallados con 45 replicaciones de modo que damos el resultado de 6.39 como resultado final puesto que es un valor aproximado al que nos hemos impuesto al principio de este análisis.

Process analyzer y otros análisis

Posterior al primer análisis propuesto se han realizado otros análisis que se explicarán en este apartado.

Process analyzer como ya se ha explicado nos permite la simulación de múltiples escenarios al mismo tiempo y cambiar parámetros de estos escenarios (variables de control) y ver que ocurre a diversas partes del escenario (variables de respuesta). Pues en esta utilidad es en la que se va profundizar en este apartado.

Capacidades de las diferentes máquinas

Lo primero que se nos viene a la cabeza a la hora de pensar en que queremos mejorar en la empresa, es la capacidad de producción. En este análisis lo que se va a ver es que ocurre al aumentar la capacidad de producción de la empresa y ver si renta a largo plazo.

- Modelo automático

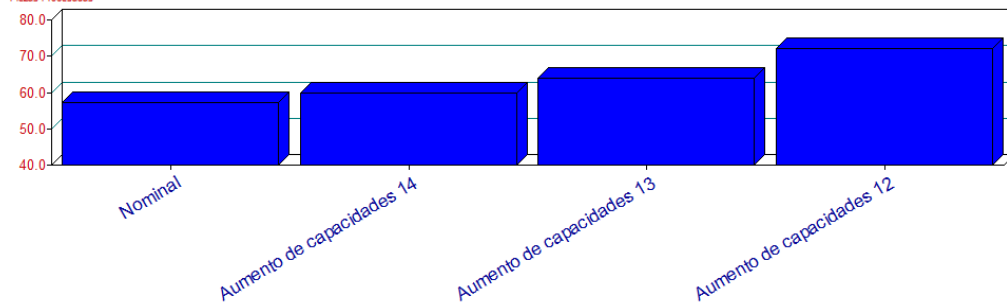
Scenario Properties				Controls					Responses			
S	Name	Program File	Reps	Capacidad 1	Capacidad 2	Capacidad 3	Capacidad 4	Num Reps	WIPTotal	Piezas Procesadas	Worker 1 Utilization	Worker 2 Utilization
1	Nominal	76 : Modelo A	30	15.0000	15.0000	15.0000	15.0000	30	38.633	57.333	0.108	0.237
2	Aumento de capacidades 14	76 : Modelo A	30	14.0000	14.0000	14.0000	14.0000	30	43.267	59.967	0.112	0.248
3	Aumento de capacidades 13	76 : Modelo A	30	13.0000	13.0000	13.0000	13.0000	30	49.367	63.967	0.120	0.266
4	Aumento de capacidades 12	76 : Modelo A	30	12.0000	12.0000	12.0000	12.0000	30	44.867	72.233	0.136	0.300

Ilustración 41: Aumento de capacidad de producción (automático)

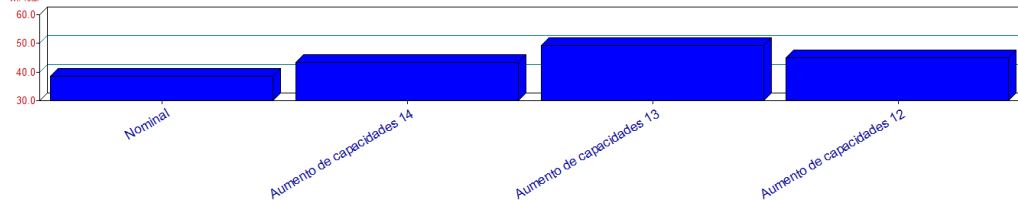
Los análisis se harán para los dos modelos, aunque los resultados serán análogos ya que el tiempo de producción es muy parecido en los dos modelos, en el híbrido un poco menos.

En este primer análisis se han ido aumentando poco la capacidad simultáneamente en las cuatro máquinas de producción de las que disponemos pasando de una pieza o parte cada 15 minutos y acabando en 12.

Piezas Procesadas by Scenario



WIP Total by Scenario



Values by Scenario

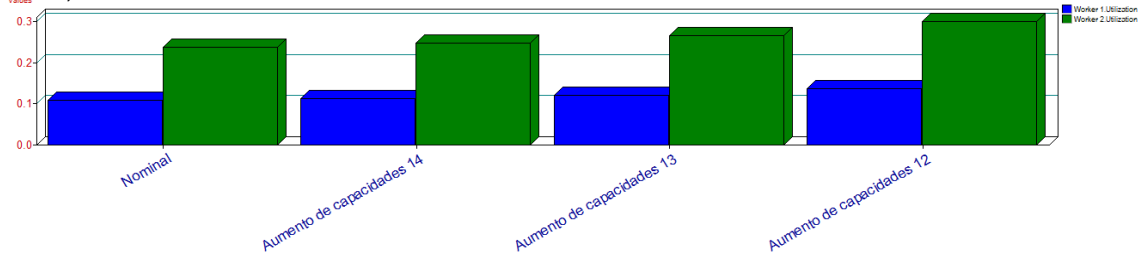


Ilustración 42: Diferentes resultados para el aumento de producción(automático)

Se puede apreciar que suben las componentes que se producen en la fábrica, esto es algo de esperar.

El problema viene cuando se observa el WIP y la utilización de los trabajadores (tiempo en que los process están funcionando) estos dos aumentan drásticamente sobre todo el WIP, esto significa que la fábrica estaría prácticamente al cien por ciento de funcionamiento durante todo momento y esto se puede aguantar un cierto tiempo, no se puede estar así siempre. El simple aumento del WIP en 6 puntos que es lo mínimo que aumenta significa mayor actividad en la empresa y no se sabe si es algo que se puede aguantar a largo plazo.

- Híbrido

Scenariio Properties				Controls					Responses				
S	Name	Program File	Reps	Capacidad 1	Capacidad 2	Capacidad 3	Capacidad 4	Num Reps	WIP	Coches fabricados	Worker 1.Utilization	Worker 2.Utilization	Worker 3.Utilization
1	Nominal	27 : Modelo H.	30	15.0000	15.0000	15.0000	15.0000	30	41.000	56.267	0.125	0.123	0.131
2	Capacidad 14	27 : Modelo H.	30	14.0000	14.0000	14.0000	14.0000	30	44.567	60.867	0.138	0.133	0.141
3	Capacidad 13	27 : Modelo H.	0	13.0000	13.0000	13.0000	13.0000	30	---	---	---	---	---
4	Capacidad 12	27 : Modelo H.	30	12.0000	12.0000	12.0000	12.0000	30	49.367	71.133	0.157	0.156	0.165
5	Capacidad 11	27 : Modelo H.	30	11.0000	11.0000	11.0000	11.0000	30	47.900	79.400	0.176	0.173	0.184
6	Capacidad 10	27 : Modelo H.	30	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	30	47.100	87.667	0.192	0.190	0.204
7	Capacidad 9	27 : Modelo H.	30	9.0000	9.0000	9.0000	9.0000	30	59.300	96.767	0.215	0.211	0.225

Ilustración 43: Aumento de capacidad de producción (híbrido)

En el caso de la línea híbrida se ha podido forzar un poco más la capacidad de producción llegando a una pieza cada nueve minutos. Es destacable que no se ha podido simular la capacidad 13 en otras palabras una pieza cada 13 minutos, no se sabe la razón, pero con esta capacidad en todas las máquinas nos salta el error de que hay 150 entidades en el sistema.

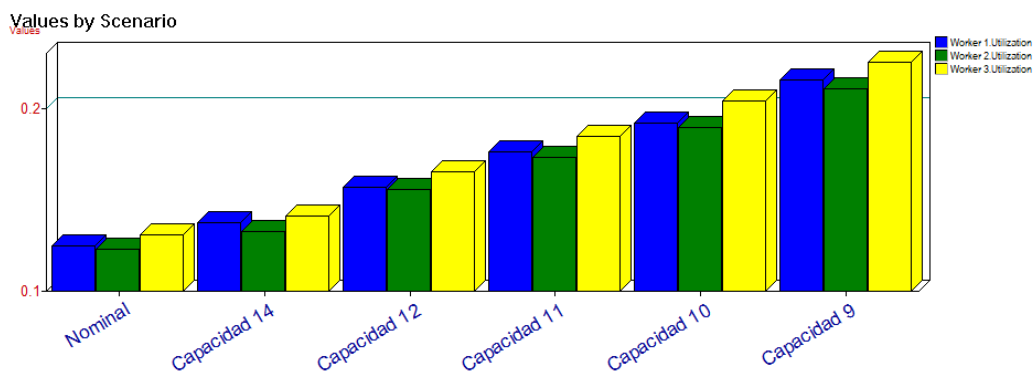


Ilustración 44: Utilización de los trabajadores según la capacidad (híbrido)

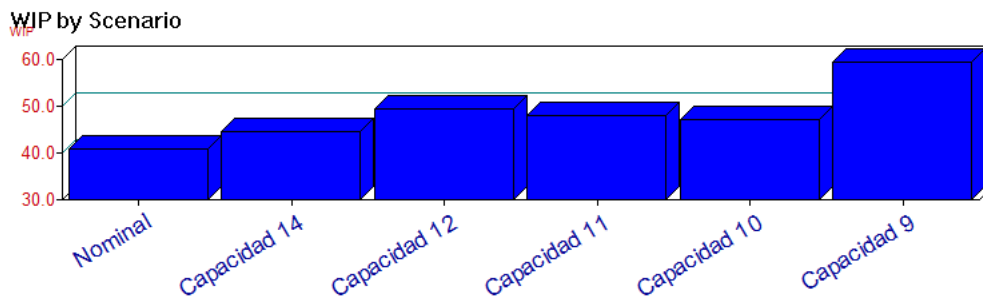


Ilustración 45: WIP según la capacidad (híbrido)

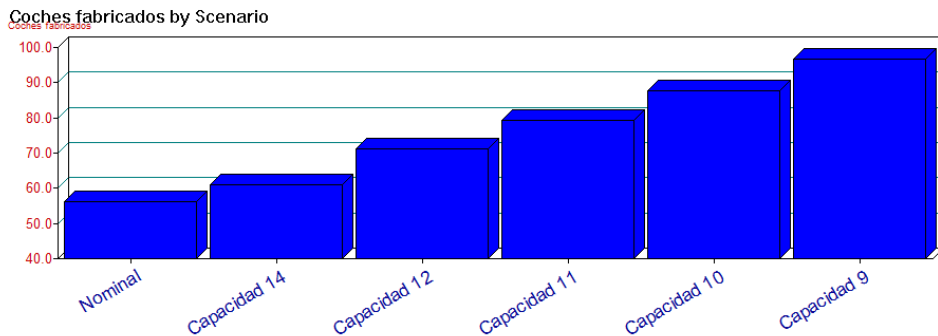


Ilustración 46: Componentes fabricadas según la capacidad(híbrido)

El problema es prácticamente el mismo que en la línea automática, ver si es rentable aumentar el número de componentes fabricadas frente a un trabajo más agotador y mucho más intenso.

En este caso es destacable a diferencia del automático que se ha podido llegar a una capacidad de producción mucho mayor por lo tanto se podría quedar en un término medio entre 15 y 9 que sería 12.

Aumento de la capacidad por separado

En este nuevo escenario veremos que ocurre si no aumentas las capacidades simultáneamente, este escenario se daría en el momento en que la fábrica no tenga suficiente presupuesto para aumentar la capacidad de todas las máquinas y solo pueda aumentar por ejemplo dos de ellas.

Al igual que en el primer análisis de este apartado se abarcarán las dos líneas viendo si hay diferencias entre ellas o si es prácticamente el mismo resultado

- Automático

Scenario Properties				Controls					Responses			
S	Name	Program File	Reps	Capacidad 1	Capacidad 2	Capacidad 3	Capacidad 4	Num Reps	WIPTotal	Piezas Procesadas	Worker 1.Utilization	Worker 2.Utilization
1	Nominal	76 : Modelo A	30	15.0000	15.0000	15.0000	15.0000	30	38.633	57.333	0.108	0.237
2	Aumento de capacidades 14	76 : Modelo A	30	14.0000	14.0000	14.0000	14.0000	30	43.267	59.967	0.112	0.248
3	Aumento de capacidades 2, 3 y 4	76 : Modelo A	30	14.0000	12.0000	12.0000	12.0000	30	52.767	65.167	0.113	0.269
4	Aumento capacidades 1 y 4	76 : Modelo A	30	12.0000	14.0000	14.0000	12.0000	30	50.867	63.767	0.127	0.263
5	Aumento capacidades 1	76 : Modelo A	30	12.0000	14.0000	14.0000	14.0000	30	54.567	60.633	0.124	0.251
6	Aumento de capacidades 12	76 : Modelo A	30	12.0000	12.0000	12.0000	12.0000	30	44.867	72.233	0.136	0.300

Ilustración 47:Aumento de las capacidades por separado (automático)

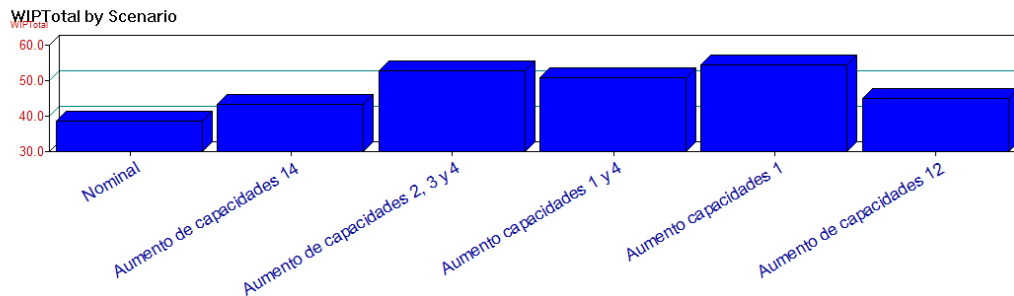


Ilustración 48: WIP según un aumento de las capacidades por separado(automático)

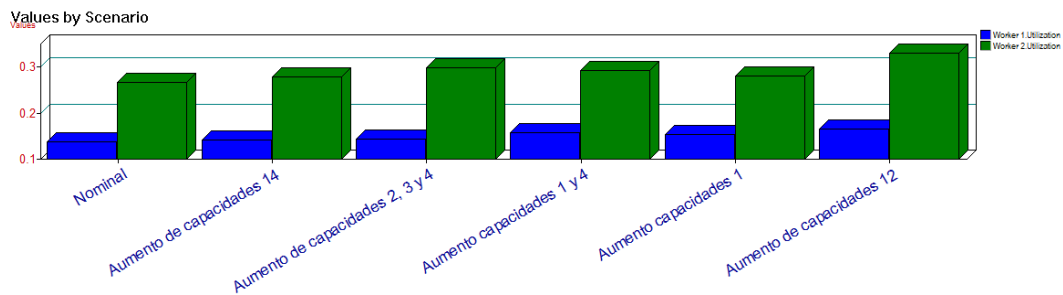


Ilustración 49: Utilización según un aumento de las capacidades por separado(automático)

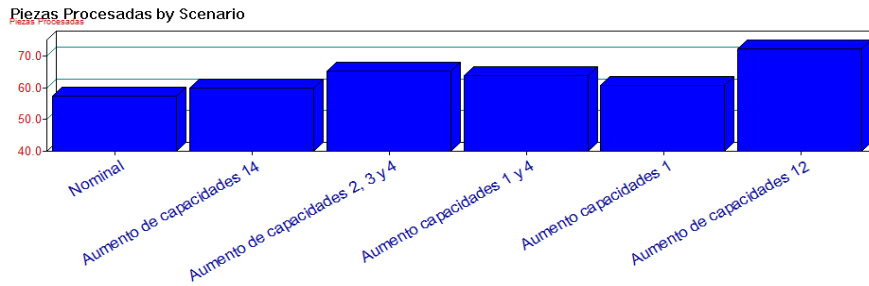


Ilustración 50: Componentes creadas según un aumento de las capacidades por separado(automático)

En cuanto a la utilización se puede apreciar que el cambio no es apreciable sin embargo en el caso del WIP el resultado es todo lo contrario ya que este aumenta de forma muy brusca. También es importante observar que las componentes creadas apenas aumentan por lo tanto no se podría hablar de mejora del rendimiento de la fábrica.

La explicación es la siguiente, imaginemos un caballo en el que se pueden aumentar las velocidades de sus cuatro patas, en el caso óptimo aumentamos la velocidad de las cuatro patas por lo tanto el caballo aumentaría su velocidad. Habría otro caso que sería el de aumentar la velocidad de dos de las cuatro patas, en este caso tenemos diferentes velocidades por lo tanto el caballo cojearía y por mucho que aumentemos las velocidades de las otras dos patas no serviría de nada.

El caso de nuestra fábrica es muy parecido ya que necesitamos juntar las cuatro partes o piezas para crear un componente, no me sirve de nada tener mil piezas de A si tengo 500 piezas de B ya que siempre está limitando la máquina con menor capacidad producción. Por esta razón el WIP aumenta tan bruscamente puesto que nos sobran piezas que están esperando en los respectivos matches a las diferentes partes.

- Híbrido

S	Scenario Properties			Controls					Responses				
	Name	Program File	Reps	Capacidad 1	Capacidad 2	Capacidad 3	Capacidad 4	Num Reps	WIP	Coches fabricados	Worker 1.Utilization	Worker 2.Utilization	Worker 3.Utilization
1	Nominal	27 : Modelo H.	30	15.0000	15.0000	15.0000	15.0000	30	41.000	56.267	0.125	0.123	0.131
2	Capacidad 14	27 : Modelo H.	30	14.0000	14.0000	14.0000	14.0000	30	44.567	60.867	0.138	0.133	0.141
3	Aumento de capacidad 2, 3 y 4	27 : Modelo H.	30	14.0000	10.0000	10.0000	10.0000	30	87.800	68.233	0.139	0.147	0.159
4	Aumento de capacidad 3 y 4	27 : Modelo H.	30	14.0000	14.0000	10.0000	10.0000	30	73.067	65.700	0.139	0.141	0.153
5	Aumento de capacidad 4	27 : Modelo H.	30	14.0000	14.0000	14.0000	10.0000	30	64.700	61.500	0.137	0.132	0.143
6	Capacidad 10	27 : Modelo H.	30	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	30	47.100	87.667	0.192	0.190	0.204

Ilustración 51: Aumento de las capacidades por separado(híbrido)

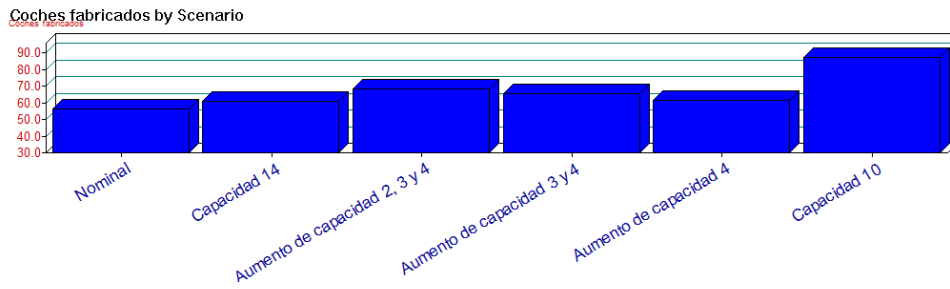


Ilustración 52: Componentes creadas según un aumento de las capacidades por separado(híbrido)

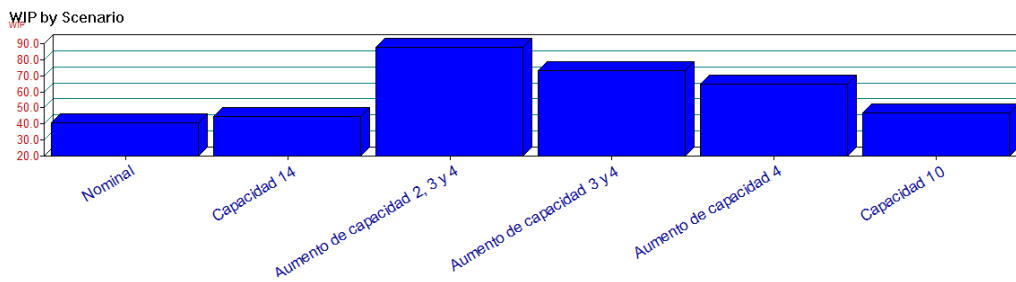


Ilustración 53: WIP según un aumento de las capacidades por separado(híbrido)

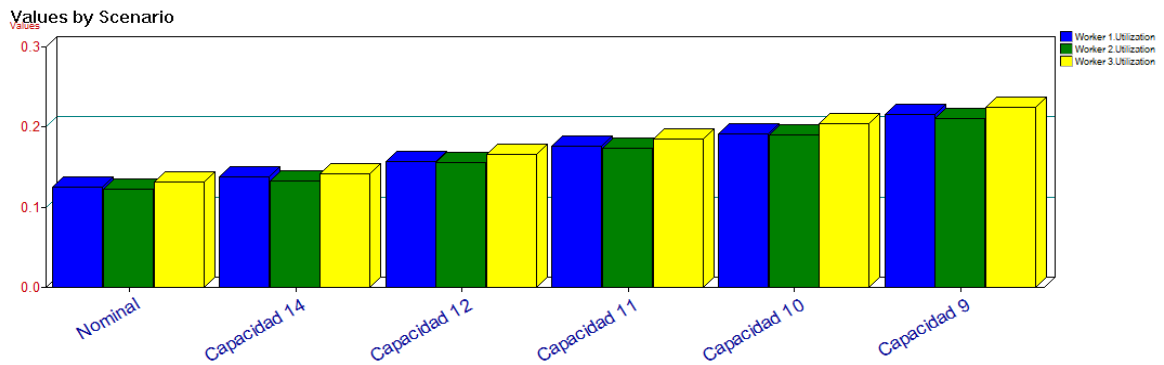


Ilustración 54: Utilización de trabajadores según un aumento de las capacidades por separado(híbrido)

Se puede observar que el resultado es análogo a la línea automática por lo tanto las conclusiones del otro modelo son las mismas que para este.

Aumento del número de trabajadores

El siguiente caso es ver si es beneficioso para la fábrica un aumento del número de trabajadores, en este caso se tendrán en cuenta que para la línea automática habrá dos puestos diferentes y un trabajador para cada puesto y en la línea híbrida tres puestos y un trabajador para cada puesto.

Lo que se aumentará en este análisis será el número de trabajadores por puesto.

- Automático

S	Scenario Properties			Controls			Responses			
	Name	Program File	Reps	Worker 1	Worker 2	Num Reps	Worker 1 Utilization	Worker 2 Utilization	Piezas Procesadas	WIPTotal
1	Nominal	54 : Modelo A	30	1.0000	1.0000	30	0.108	0.235	56.567	43.733
2	W1	54 : Modelo A	30	2.0000	1.0000	30	0.053	0.235	56.800	40.800
3	W2	59 : Modelo A	30	1.0000	2.0000	30	0.106	0.118	57.000	39.533
4	All workers	54 : Modelo A	30	2.0000	2.0000	30	0.053	0.116	56.067	45.400

Ilustración 55: Aumento del número de trabajadores (automático)

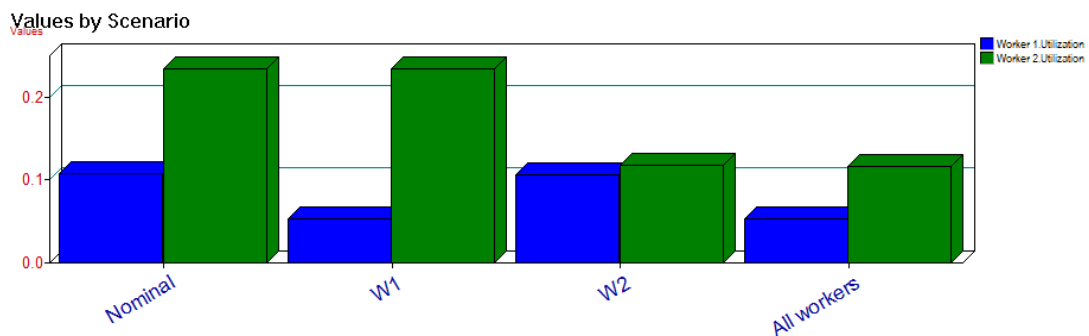


Ilustración 56: Utilización de los trabajadores aumentando el número de estos (automático)

Lo que se puede deducir de este análisis es que el ingreso de nuevos trabajadores no es rentable ya que ni aumenta el número de piezas que se pueden fabricar ni el WIP baja de forma significativa es más contratando 2 trabajadores nuevos el WIP aumenta.

Otro dato significativo es que la utilización de los trabajadores baja ya que se tienen dos trabajadores para el mismo puesto, por lo tanto, del análisis aclara que el contratar nuevos trabajadores no es beneficioso para la fábrica puesto que se aumentarían los costes sin beneficio ninguno.

- Híbrido

S	Scenario Properties			Controls				Responses				
	Name	Program File	Reps	Worker 1	Worker 2	Worker 3	Num Reps	Worker 1.Utilization	Worker 2.Utilization	Worker 3.Utilization	Coches fabricados	WIP
1	Nominal	27 : Modelo H.	30	1.0000	1.0000	1.0000	30	0.125	0.123	0.131	56.267	41.000
2	W1	27 : Modelo H.	30	2.0000	1.0000	1.0000	30	0.063	0.124	0.133	57.067	37.467
3	W2	27 : Modelo H.	30	1.0000	2.0000	1.0000	30	0.125	0.062	0.132	56.767	35.867
4	W3	27 : Modelo H.	30	1.0000	1.0000	2.0000	30	0.126	0.122	0.065	56.133	41.400
5	W1 and W2	27 : Modelo H.	30	2.0000	2.0000	1.0000	30	0.061	0.061	0.130	55.933	36.667
6	W2 and W3	27 : Modelo H.	30	1.0000	2.0000	2.0000	30	0.126	0.062	0.066	57.100	36.033
7	W1 and W3	27 : Modelo H.	30	2.0000	1.0000	2.0000	30	0.061	0.123	0.066	57.067	33.233
8	All Workers	27 : Modelo H.	30	2.0000	2.0000	2.0000	30	0.062	0.061	0.065	56.033	39.133

Ilustración 57: Aumento del número de trabajadores (híbrido)

El análisis en la línea híbrida es completamente similar a la línea automática menos por el WIP porque en este caso se puede observar que aumentando el número de trabajadores en el puesto 1 y 3 si desciende el WIP de forma significativa. Tendría que estudiarse si es rentable para la fábrica este caso puesto que, aunque el WIP descienda, el número de piezas fabricadas es el mismo por lo tanto sería menos esfuerzo para los trabajadores, pero el beneficio seguiría siendo el mismo.

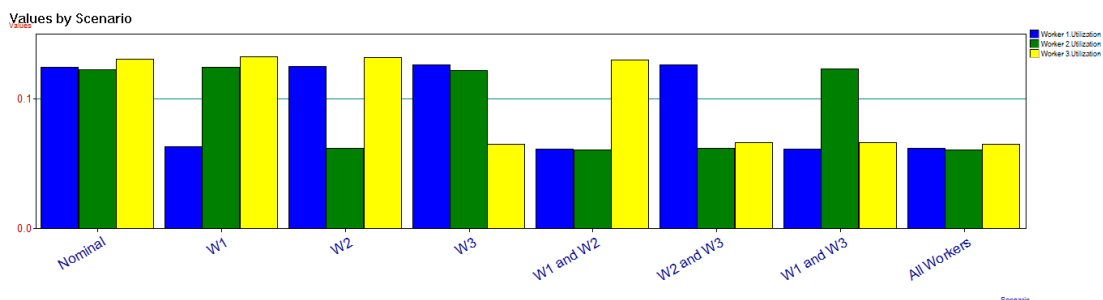


Ilustración 58: Utilización de los trabajadores aumentando el número de estos (híbrido)

Análisis nominal conjunto

Para finalizar se muestra el análisis más simple de todos y a la vez uno de los más importantes, el análisis nominal de una línea frente a la otra y cuál de las dos es “mejor” para la fábrica.

	Scenario Properties			Control	Responses		
	S	Name	Program File	Reps	Num Reps	WIP	Coches fabricados
1	⚙️	Nominal Auto	96 : Modelo A	30	30	38.633	57.333
2	⚙️	Nominal Híbrid	38 : Modelo H	30	30	41.600	57.100

Ilustración 59: Análisis nominal de una línea frente a la otra

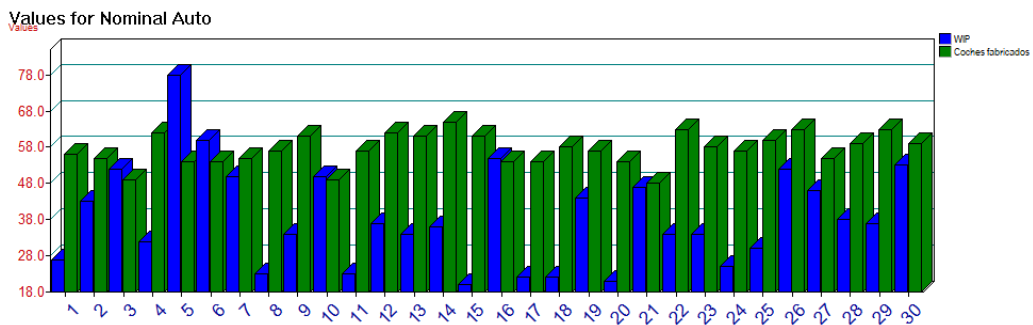


Ilustración 60: WIP y Componentes fabricadas (automático)

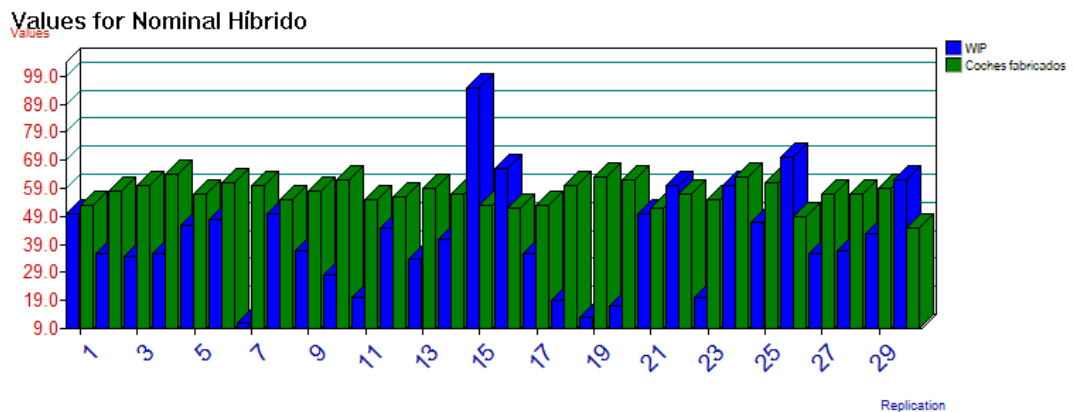


Ilustración 61: WIP y Componentes fabricadas (híbrido)

Las conclusiones que se pueden deducir de este análisis y de las gráficas correspondientes a este es que los beneficios y el WIP son similares ya que no hay diferencia apreciable entre ambos, por lo tanto, la pregunta sería ¿qué diferencia a las dos líneas?

Lo primero que debe responderse a esta pregunta es el número de trabajadores ya que la línea híbrida cuenta con un trabajador más eso es más coste para la empresa, pero a su favor se podría decir que los costes de maquinaria en la línea automática son muchísimo mayores y estos son más difíciles de amortizar. También la línea híbrida es más rápida debido a que si no fuera por los transporters esta sería capaz de fabricar más piezas, estos no pueden quitarse ya que si los eliminamos estaríamos alejándonos un poco más del modelo real al que queremos imitar.

Conclusiones y problemas

*“—¿Y la caída? —pregunté. —Si te caes, te caes —dijo Elodin encogiendo los hombros—. A veces, caer también nos enseña cosas. En los sueños, muchas veces caes antes de despertar.”
Patrick Rothfuss*

Problema principal

En cuanto a las dificultades y percances de este proyecto la más destacable es la limitación de número de entidades en Arena Estudiante que limita las entidades a 150.

Esto hace que sea imposible caracterizar algunos modelos como es nuestro caso

ya que como se comentó al principio del proyecto no se pueden sacar las 9200 piezas

que fabrica la empresa en el modelo real y se ha reducido esta producción a 1800

piezas al mes que es una reducción muy drástica.

```
ERROR:
17114:GGTAEC
A runtime error was detected at time 4.7204919 at the following block:
* 46 351$          GROUP,,Permanent:2,Last,Pl:NEXT(6$);
Maximum of 150 entities exceeded.
```

Ilustración 62: Error de las 150 entidades

Este problema se ha arrastrado durante todo el TFG puesto que ha sido determinante en muchas fases de este, el ejemplo más claro es el de los transporters que solo se han podido instalar en la línea híbrida puesto que en la línea automática nos salta el error mencionado.

Posibles Mejoras

Una de las mejoras que se podría haber incluido en el proyecto es la utilización del programa Opt Quest.

Este programa ofrece un motor de optimización de simulación capaz de identificar los mejores resultados posibles para los diferentes análisis que se han llevado a cabo en este proyecto. Otra ventaja que ofrece este programa es la automatización de todo del proceso ya que este es capaz de ejecutar el conjunto más eficiente de escenarios para los diferentes análisis.

Este programa no se ha podido implementar debido a la COVID-19 ya que aun a pesar de tenerlo disponible en el Centro de Cálculo no se ha podido acceder a este por las medidas implementadas en la escuela. Este además es de acceso Premium, es decir hay que pagar una cantidad considerable de dinero para usarlo por eso no se ha llegado a pagar para realizar el proyecto.

Otra posible mejora que se podría haber incluido es la introducción de más análisis, por ejemplo, introducir un sueldo a los empleados y una ganancia por cada componente creada y con esto poder sacar los diferentes beneficios y costes de la empresa, pero debido a que el modelado era la parte principal del TFG, estos análisis no se han llegado a incluir.

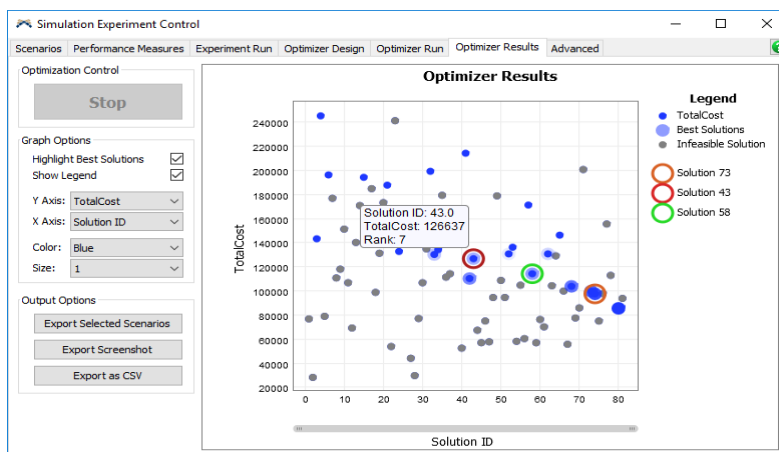


Ilustración 63: Opt Quest

Conclusiones

Como conclusión final después de todos estos análisis la opción es clara, lo mejor para la fábrica es quedarse con la línea híbrida frente a la línea automática debido a todo lo que se ha comentado en el punto anterior:

- Menor coste a corto plazo
- Mayor rapidez y por lo tanto mayor número de piezas procesadas en las mismas condiciones
- Más equilibrada debido a que es una unión de la manual y la automática

También se puede deducir que se puede aumentar la capacidad de las máquinas en ambas líneas sin embargo esta decisión pondría a la fábrica en su límite de esfuerzo y no se sabe si esto a largo plazo es tolerable.

Otra de las decisiones que se pueden tomar para el futuro es no producir ningún cambio en el número de trabajadores ya que este cambio no produce beneficios es más produce costes para la empresa.

Uno de los factores a destacar en estos análisis es que no se han mencionado los fallos de las máquinas ya que al ser los mismos para las dos líneas, estos no son determinantes a la hora de elegir una línea frente a la otra.

En cuanto a las conclusiones finales, en este proyecto he desarrollado todo lo que he aprendido en clase y mucho más. También me he dado cuenta de que Arena es un programa muy versátil y que permite hacer multitud de cosas. Además, es muy útil para las empresas ya que se puede modelar prácticamente cualquier situación de una empresa o fábrica.

Levántate y camina hacia adelante, tienes las piernas para hacerlo. (Edward Elric)

Bibliografía

- Rockwell Automation*. (s.f.). *What is Simulation?* Obtenido de <https://www.rockwellautomation.com/es-es/products/software/arena-simulation.html> Último acceso 16/08/2021.
- Clarcats*. (s.f.). *¿Qué es ARENA Simulation?* Obtenido de <https://www.clarcats.com/arena/> Último acceso 23/08/2021.
- Minh Dang Nguyen, S. T. (2008). *EMERGENCE OF SIMULATIONS FOR MANUFACTURING LINE DESIGNS*. Winter Simulation Conference.
- Opttek*. (s.f.). *Optquest: The world's leading simulation optimization engine*. Obtenido de <https://www.opttek.com/products/optquest/> Último acceso 03/09/2021.