



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

# **MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

## **ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

### **UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

## **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Simulación de la línea de ensamblaje de la producción 1 de la Escuela Lean**

Autor: D. Marta Herrero Benito  
Tutor: D. Juan José de Benito Martín

Valladolid, febrero, 2020





Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

# **MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

## **ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

### **UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

## **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Simulación de la línea de ensamblaje de la producción 1 de la Escuela Lean**

Autor: D. Marta Herrero Benito  
Tutor: D. Juan José de Benito Martín

Valladolid, febrero, 2020



**Resumen:**

Hoy en día, el uso de herramientas de simulación en cualquier ámbito industrial es algo esencial para facilitar tareas que implican un alto valor económico. Junto con las áreas de aprendizaje, los modelos computacionales son las herramientas por las que toda empresa apuesta para implementar nuevas ideas con el mínimo porcentaje de riesgo.

En base al pensamiento Lean, se creó un entorno de aprendizaje en la Universidad de Valladolid, la Escuela Lean. Lugar donde se fomenta el aprendizaje del pensamiento Lean a través de la práctica. Para ello, diferentes sistemas productivos han sido diseñados para la práctica en este entorno, entre ellos el montaje del Solectron.

Desarrollando un escenario alternativo al espacio Lean, se podrá analizar el comportamiento del sistema previo a la implementación del proceso en el ámbito real. A partir de un modelo computacional de la línea de ensamblaje del Solectron, se podrá simular el proceso bajo unas condiciones particulares de operación sin suponer ningún riesgo, adquiriendo los resultados del proceso a través de la experimentación.

**Abstract:**

Nowadays, the use of simulation tools in any industrial field is imperative to carry out multitude of tasks that involve high economic value. In addition, any company promotes the application of simulation models complemented by the learning factories, in order to achieve the implementation of new strategies with the minimum risk percentage.

Considering the lean knowledge as its origin, a learning area has been created at University of Valladolid, Lean School. It is a place where the main aim is to learn through practical techniques. To give training in the Lean school, some production systems have been design, including the Solectron assembly.

Performing an alternative interface to Lean School, the system behaviour can be analysed before to implementation the process in the real environment. From the computational model, the Solectron assembly can be simulated under particular operating conditions with no risk involved, getting the system results through the experimentation.



# ÍNDICE DEL DOCUMENTO

---

INTRODUCCIÓN .....	1
ANTECEDENTES .....	3
MOTIVACIÓN .....	4
OBJETIVOS .....	5
CONTENIDO DEL PROYECTO.....	6
CAPÍTULO 1. LEAN MANUFACTURING .....	9
1.1. INTRODUCCIÓN .....	11
1.2. PENSAMIENTO LEAN .....	12
1.3. TPS (Toyota Production System) .....	16
1.3.1. Origen, definición y objetivos.....	16
1.3.2. Elementos JIT.....	17
1.4. IMPLEMENTACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN .....	22
1.5. LA FILOSOFÍA LEAN EN LA INDUSTRIA 4.0.....	24
1.5.1. Industria 4.0.....	24
1.5.2. Relación Lean Manufacturing e Industria 4.0.....	24
CAPÍTULO 2. ESCUELA LEAN .....	27
2.1. LEARNING FACTORIES .....	29
2.1.1. Introducción .....	29
2.1.2. Definición y características.....	30
2.1.3. Tipos .....	31
2.1.4. Relación con la Industria 4.0 .....	32
2.2. ESCUELA LEAN .....	34
2.2.1. Definición, necesidad y descripción .....	34
2.3. PROCESO PRODUCTIVO.....	37
2.3.1. Producto: Solectron.....	37
2.3.2. Producción 1: descripción del proceso productivo .....	38
CAPÍTULO 3. MODELIZADO DEL PROCESO .....	43
3.1. INTRODUCCIÓN .....	45
3.2. SIMULACIÓN.....	46
3.3. CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN .....	48
3.4. SIMULACIÓN PROCESO DE MONTAJE DEL SOLECTRON.....	50
3.4.1. Planificación .....	50
3.4.2. Desarrollo .....	56
3.4.3. Análisis.....	57
3.4.4. Implementación y mejora .....	57
CAPÍTULO 4. ENTORNO DE SIMULACIÓN WITNESS .....	59

4.1.	INTRODUCCIÓN .....	61
4.2.	DEFINICIÓN, CARACTERÍSTICAS Y APLICACIÓN .....	62
4.3.	WITNESS DENTRO DE LA INDUSTRIA 4.0.....	63
4.4.	ENTORNO DE SIMULACIÓN .....	64
4.4.1.	Elementos Físicos .....	66
4.4.2.	Elementos lógicos.....	69
4.4.3.	Reglas, expresiones y acciones sobre los elementos .....	70
4.4.4.	Gráficos y resultados desde Witness.....	71
CAPÍTULO 5. MODELO WITNESS .....		73
5.1.	INTRODUCCIÓN .....	75
5.2.	INICIO DEL PROCESO .....	76
5.2.1.	Suministro de bases.....	77
5.2.2.	Intercambio de cajas .....	78
5.2.3.	Descarga de las bases.....	79
5.2.4.	Salidas de embalajes vacíos.....	81
5.3.	PUESTO DE MONTAJE.....	83
5.3.1.	Suministro puesto .....	84
5.3.2.	Puesto.....	88
5.3.3.	Transferencia entre puestos.....	90
5.3.4.	Operario .....	94
5.4.	GENERACIÓN DE ORDENES .....	97
5.5.	PUESTO 5 .....	99
5.5.1.	Lectura de órdenes.....	100
5.5.2.	Suministro bandejas .....	100
5.5.3.	Puesto5.....	101
5.5.4.	Recepción cliente .....	104
5.6.	MODELO FINAL.....	105
CAPÍTULO 6. AUTOMATIZACIÓN DE ESCENARIOS .....		107
6.1.	INTRODUCCIÓN .....	109
6.2.	PARAMETRIZACIÓN .....	110
6.2.1.	Introducción .....	110
6.2.2.	Proceso de parametrización.....	110
6.2.3.	Parametrización de elementos del modelo Witness .....	112
6.2.4.	Parametrización del tiempo operación .....	115
6.2.5.	Interfaz usuario-Witness .....	117
6.3.	ESTADO DE REFERENCIA.....	123
6.3.1.	Descripción .....	123
6.3.2.	Simulación del estado de referencia: fichero STA.....	125
6.3.3.	Generación archivo STA .....	129



CAPÍTULO 7. ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	131
7.1. INTRODUCCIÓN .....	133
7.1. TIEMPO DE CICLO .....	134
7.2. VALIDACIÓN DEL MODELO .....	135
7.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	137
7.3.1. Simulación 1: Variabilidad en el sistema .....	137
7.3.2. Simulación 2: Nivel de destreza mínimo .....	140
7.3.3. Simulación 3: Equilibrado del nivel de destreza.....	142
7.4. CONCLUSIONES .....	145
CAPÍTULO 8. ESTUDIO ECONÓMICO .....	147
8.1. INTRODUCCIÓN .....	149
8.2. FASES DEL PROYECTO.....	150
8.3. ESTUDIO DE TIEMPOS .....	152
8.4. ESTUDIO ECONÓMICO .....	153
8.4.1. Coste del personal.....	153
8.4.2. Coste de equipos informáticos.....	154
8.4.3. Coste del material tangible .....	154
8.4.4. Costes indirectos .....	155
8.5. COSTE ECONÓMICO DEL PROYECTO .....	156
8.5.1. Coste Fase 1: Presentación inicial .....	156
8.5.2. Coste Fase 2: Planificación .....	156
8.5.3. Coste Fase 3: Estado del arte .....	156
8.5.4. Coste Fase 4: Desarrollo .....	157
8.5.5. Coste Fase 5: Análisis y Experimentación.....	157
8.5.6. Coste Fase 6: Documentación .....	158
8.5.7. Coste Fase 7: Presentación final.....	158
8.5.8. Coste Final .....	159
CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS .....	161
CONCLUSIONES .....	163
LÍNEAS FUTURAS .....	166
BIBLIOGRAFÍA .....	167
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	169
ANEXOS .....	171
ANEXO 1. HOJAS ESTÁNDAR DE TRABAJO .....	173
ANEXO 2. ICONOS DE SIMULACIÓN.....	179
ANEXO 3. ELEMENTOS MODELO DE SIMULACIÓN .....	182
A3.1. Parts del modelo de simulación .....	182
A3.2. Elementos del modelo de simulación .....	184
ANEXO 4. ESTADO DE REFERENCIA LÍNEA .....	191

A4.1.	Fichero STA: ESTADO_INICIAL-PROD1.STA.....	191
A4.2.	Visualización Estado de referencia.....	196
ANEXO 5.	MACROS VBA.....	198
A5.1.	Variable sector.....	198
A5.2.	Selección iconos del Solectron en desarrollo.....	199
A5.3.	Escribir fichero STA.....	201
ANEXO 6.	MATRIZ PARAMETIZACIÓN T_ICONO.....	202
ANEXO 7.	RESULTADOS VALIDACIÓN.....	204
A7.1.	Resultados validación Puesto 1.....	204
A7.2.	Resultados validación Puesto 2.....	206
A7.3.	Resultados validación Puesto 3.....	208
A7.4.	Resultados validación Puesto 4.....	210
A7.5.	Resultados validación Puesto 5.....	212





# INTRODUCCIÓN



# ANTECEDENTES

---

En un espacio destinado a la formación de alumnos y profesionales del mundo de la automoción nace la Escuela Lean, lugar donde el principal objetivo es expandir el pensamiento Lean entre los estudiantes de la Universidad de Valladolid y mejorarlo. A través del método Lean se consigue identificar los elementos que realmente generan valor en el proceso, determinando todos los elementos fundamentales para el desarrollo de la actividad, limitando el trayecto a seguir hacia lo que realmente se desea conseguir.

La mejor manera de detectar los elementos que no generen valor en la cadena de producción es analizar el proceso de estudio a través de la experiencia práctica. Mediante las simulaciones realizadas en la Escuela Lean, los usuarios se familiarizan con el sistema de estudio, y con ayuda del conocimiento teórico de las técnicas Lean identifican fácilmente los mudas del sistema, para después plantear las nuevas estrategias a seguir en el sistema.

Uno de los sistemas productivos diseñados para la Escuela Lean es el proceso de montaje del Solectron, pieza metálica que está formada por piezas muy similares con una cierta complejidad para su ensamblaje. El origen de estudio de este sistema de montaje procede de las prácticas realizadas en la Escuela Lean, incluidas en los contenidos académicos de la asignatura Dirección de la Producción, del máster de Ingeniería Industria (Universidad de Valladolid)-

Durante las experimentaciones realizadas en la Escuela Lean, los alumnos participamos activamente en el sistema de montaje del Solectron, conociendo de primera mano todas las actividades relacionadas con el proceso de estudio. De esa manera, se detectaron rápidamente los problemas existentes en la línea y se plantearon posibles soluciones y mejoras atendiendo a la filosofía Lean.

En las diferentes sesiones realizadas en este entorno educativo se consideraron diferentes fases de producción, cada una de ellas evolucionando un paso más hacia la mejora continua a través de las técnicas Lean. La fase uno de producción del montaje del Solectron es el primer proceso considerado en las prácticas, a partir de una configuración de montaje prefijada se estudia el comportamiento del proceso. Algunas medidas Lean ya habían sido implementadas en dicho proceso, aun así, surgieron muchos problemas durante las simulaciones en la escuela.

A través de las siguientes fases de producción, se plantearon soluciones para eliminar todo elemento que genera desperdicio, mejorando en cada una de ellas los resultados obtenidos en la primera práctica. Siguiendo la metodología del pensamiento, siempre se busca la mejora del proceso hacia la generación del valor con el mínimo número de recursos y en el menor tiempo posible como principales objetivos.

# MOTIVACIÓN

---

Las formaciones en la Escuela Lean son fuente de valor hacia el alumno y los profesionales que realizan sus entrenamientos en este tipo de espacios. En multitud de empresas la implementación de sus exitosas estrategias nace del trabajo realizado en espacios como la Escuela Lean, donde el nivel de riesgo es mínimo ya que se puede predecir realmente el comportamiento del sistema de estudio.

Pero no siempre es posible la implementación de un sistema productivo en un espacio de entrenamiento, ya sea por recursos o por problemas de espacio. En ese punto de inflexión nace la necesidad de trabajar con modelos computacionales, a partir de los cuales se generan en un espacio alternativo combinaciones de elementos que reflejan el mismo comportamiento que el sistema a imitar, invirtiendo principalmente horas computacionales.

Con la nueva industria 4.0, la implementación de un modelo digital que refleje el mismo comportamiento del sistema juega un papel clave en cualquier sistema perteneciente a esta nueva era digital. El cual se conectado directamente al sistema para transferir al modelo la información del proceso, con lo cual se consigue que el propio proceso aprende de los errores cometidos, anticipándose a ellos. Los nuevos sistemas productivos están íntegramente conectados con cada elemento del sistema, lo cual permite trabajar con información del estado de los componentes del sistema. Información que será leída e interpretada por el llamado gemelo digital.

Por todo ello, la creación de modelos computacionales hoy en día es fundamental ante cualquier sistema productivo. Respecto al ámbito de la Escuela Lean, el desarrollo de un modelo computacional basado en la fase uno de la producción del Solectron servirá de herramienta, al igual que es el espacio de aprendizaje, para entender y aplicar el pensamiento Lean, generando un espacio alternativo a la Escuela Lean.

Durante las simulaciones realizadas en la Escuela Lean, los resultados conseguidos están lejos de los valores teóricos establecidos, debido, principalmente, a que la habilidad de los estudiantes en el proceso de montaje es muy diferente a lo estimado. En cambio, mediante el análisis de modelos computacionales se podrá simular valores reales ante cualquier tipo de destreza.

Por otro lado, una de las características de la Escuela Lean es la versatilidad, se puede realizar diferentes distribuciones del sistema fácilmente. Pero el cambio de configuración de montaje implicaría más tiempo que en el modelo computacional.

Otro motivo es el tiempo, la docencia de una asignatura se puede ver muy limitada para realizar largas sesiones prácticas en la Escuela Lean. Considerando el uso de modelos computacionales junto con formaciones en el área de aprendizaje se reduciría el tiempo de las formaciones obteniendo el mismo objetivo en menor tiempo.



# OBJETIVOS

---

El principal objetivo del presente trabajo es la creación de un modelo computacional que refleje el mismo comportamiento que el proceso de montaje del Solectron. Mediante el cual se analizará el comportamiento del sistema, identificando posibles fallos y planteando las mejoras estrategias para conseguirlo.

La creación del modelo de simulación nace en base al conocimiento e implementación de las técnicas Lean, a través de su análisis se podrán plantear posibles soluciones en busca del verdadero valor de la línea de montaje.

El objetivo del desarrollo del modelo de simulación será imitar el mismo comportamiento que la primera fase de producción del Solectron, la cual tiene fijada una configuración de montaje determinada, imponiendo un número exacto de sectores en cada puesto de montaje acorde con la distribución de piezas definidas en el Solectron.

Para llevar a cabo el desarrollo del modelo se ha asignado como herramienta de simulación uno de los software más utilizado en empresas de todo el mundo, y en empresas tan cercadas como Renault y Michelin. WITNESS 13 “Manufacturing Performance Edition” se ha considerado el entorno de simulación para la creación del modelo computacional objeto de estudio.

Con la finalidad de utilizar el modelo desarrollado para otras fases de producción, se ha impuesto como segundo objetivo establecer la posibilidad de simular diferentes configuraciones de montaje con el mismo modelo computacional. Para ello se ha generado una interfaz de conexión entre el usuario y el software Witness, con el fin de transferir las órdenes del usuario al modelo mediante la actualización del estado de determinados parámetros del sistema. A través de un fichero Excel se importarán las características elegidas por el usuario para establecer las condiciones deseadas en el entorno de simulación.

Otro de los requerimientos del modelo es poder considerar la diversidad de factores cambiantes en el sistema, como es el tipo de experiencia de los operarios. Los cuales juegan un papel fundamental en el proceso de montaje del Solectron. En el entorno desarrollado se podrá optar por la elección de diferentes operarios, cada uno con un nivel de capacidad para el desarrollo de las operaciones.

Agrupando todas las características mencionadas, se impone como objetivo principal el desarrollo de un espacio alternativo a la Escuela Lean, a través del cual se podrá analizar el sistema ante unas determinadas condiciones, previamente a la implementación del proceso en el ámbito real. A partir del modelo de simulación se podrá analizar el proceso mediante la experimentación sin implicar ningún riesgo económico y con mayor rapidez.

La utilización del modelo de simulación tendrá un fin académico para la formación de los alumnos en las materias relacionadas con sistemas de producción, y como herramienta complementaria de la Escuela Lean. De esta manera la práctica en las aulas será más accesible para todos los estudiantes.

# CONTENIDO DEL PROYECTO

---

El presente documento contiene toda la información relevante del desarrollo del proyecto. La cual ha sido estructurada en base a la construcción de cualquier modelo computacional, describiendo cada una de las etapas y los elementos implicados en ellas.

En primer lugar, es necesario crear una base teórica relacionado con el objetivo del proyecto. En el caso de estudio, el pensamiento Lean se identifica como la rama principal sobre la que investigar y recopilar información para tener todo el conocimiento posible para poder implementarlo en el análisis de los resultados, y con ello buscar mejoras en el sistema productivo en base a las técnicas Lean.

Por otro lado, la definición y características de las áreas de aprendizaje, desde su creación hasta el día de hoy, ayuda a comprender la necesidad de considerarlas en el ámbito productivo y a identificar posibles puntos débiles, los cuales se pueden solventar con herramientas complementarias como son los modelos computacionales. El origen del presente trabajo nace en la Escuela Lean, la cual es descrita en detalle mencionado sus objetivos y diferentes áreas que la constituyen. Diferentes sistemas productivos han sido diseñados para las formaciones de la Escuela Lean, entre ellos el ensamblaje del Solectron, el cual es descrito en detalle por ser objeto de estudio del presente trabajo.

Desde el punto de vista de la metodología Lean y de la implementación de las áreas de aprendizaje, se ha mencionado levemente su relación con la nueva Industria 4.0. En ambos ámbitos, se debe resaltar la importancia de la generación de los modelos de simulación en la nueva era digital de la industria. Estando íntimamente relacionados con el pensamiento Lean y el desarrollado de las áreas de aprendizaje, las llamadas *learning factories*.

Consolidada la base del conocimiento, el siguiente paso es construir el modelo de simulación, identificando cada una de las etapas y datos necesarios para la construcción de los modelos computacionales. En primer lugar, se describe la planificación del desarrollo del modelo, identificando que elementos son necesarios considerar en el modelo y qué relación tienen con el resto del sistema. Una vez recopilada toda la información necesaria, se plantea en base a qué se va a desarrollar el modelo y cada una de las premisas para su verificación y validación, para continuar con el procedimiento de análisis y experimentación.

Antes de describir el desarrollo del modelo, es necesario conocer la herramienta de simulación que se va a utilizar, Witness 13 "Manufacturing Performance Edition". Software de simulación de sistemas productivo con una alta implementación en empresas e instituciones a lo largo de todo el mundo. La explicación de las capacidades que posee el sistema es descrita en la documentación, con el objetivo de identificar las diferentes combinaciones de elementos que se pueden utilizar para generar modelos computacionales idénticos a los reales.

El siguiente punto, fase clave del proyecto, es la descripción del modelo de simulación de la línea de ensamblaje del Solectron. Se describe detalladamente cada módulo de elementos que simulan cada una de las partes del proceso de montaje, como son: la entrada de las bases, puestos de montaje, suministros de sectores, áreas de transferencia y el puesto de calidad y preparación de pedidos.

Con el fin de gestionar cualquier configuración de montaje se han generado funciones externas a la herramienta de simulación, creando un interfaz de conexión entre el usuario y el modelo de simulación con el objetivo de transmitir las órdenes que desea simular el usuario en el entorno computacional. A partir de un fichero Excel, se han generado diferentes ventanas para que el usuario definida la configuración de montaje, el nivel de destreza de cada operario y los tiempos de ciclo de las operaciones. Con ello, se consigue que el modelo ofrezca variabilidad en el comportamiento del proceso, adquiriendo un mayor alcance de la herramienta computacional.

Ante cualquier simulación es necesario definir un estado de referencia a partir del cual se definirá el inicio del estudio. En la escuela Lean para la fase de estudio, se ha determinado un nivel medio de recursos para el proceso, con el fin de experimentar un comportamiento normal del sistema. En el ámbito de la simulación, se encuentra la posibilidad de definir un determinado estado mediante un fichero externo. Por ello, y utilizando los recursos definidos en el fichero de parametrización, se ha llevado a cabo su generación mediante dicha herramienta, para después ser importado a Witness con el fin de establecer un estado determinado en el entorno digital.

Finalizado el desarrollo del modelo, se procede a la verificación del modelo y su validación comparando los resultados y su comportamiento con datos teóricos procedentes de la Escuela Lean. En el momento que sean coincidentes, se confirmará la utilidad de la herramienta generada para continuar con el análisis y experimentación del modelo.

Variando diferentes aspectos del modelo, se han estudiado diferentes situaciones durante las experimentaciones con el fin de obtener una serie de resultados para identificar posibles problemas en el proceso y plantear posibles soluciones.

Como en todo proyecto, es necesario estimar el coste económico de la implementación de la herramienta generada. Coste que ha sido calculado con los resultados obtenidos del estudio de tiempos, identificando el número de horas invertido en cada una de las fases, y el coste desglosado de cada componente o recurso implicado.

Para finalizar la memoria principal, se expone una serie de conclusiones de todo lo que se ha conseguido con el presente trabajo, así como posibles líneas futuras nacidas del desarrollo del presente proyecto.



# CAPÍTULO I. LEAN MANUFACTURING



# 1.1.INTRODUCCIÓN

---

El método Lean se podría definir como el conjunto de técnicas y medidas para conducir cualquier proceso productivo hacia el verdadero valor del producto, generando un proceso libre de todo que genere desperdicios o despilfarros y siempre utilizando un método de arrastre hacia el cliente (*sistema pull*).

En la filosofía lean se destacan cinco componentes clave, los cuales deben de definirse claramente e implementarlos en el sistema productivo de estudio para conseguir el objetivo de producir lo que realmente necesita el cliente, en el menor tiempo posible y con los recursos estrictamente necesarios.

El objetivo de Taiichi Ohno, el verdadero precursor del pensamiento Lean, es eliminar todo elemento no necesario del sistema. Lo cual se consigue definiendo claramente los cinco conceptos que caracterizan el pensamiento Lean, como son:

- El valor, lo que realmente desea el cliente en su producto final.
- El flujo de valor, identificando todo aspecto que añade valor al producto.
- El flujo, es el camino que hace fluir el valor hacia el producto final.
- Sistema de producción hacia el cliente, fabricando exclusivamente lo que reclame el consumidor.
- Mejora continua, en busca de la perfección del sistema.

Para poder implementar la filosofía Lean, Taiichi Ohno utilizó las denominadas técnicas JIT. La cual propone elementos y técnicas a implantar en el sistema productivo para conseguir un sistema con cero despilfarros. Los elementos del JIT son desarrollados teniendo en cuenta aspectos como el factor humano, el propio proceso productivo y el producto final.

Gracias a la mejora continua, el estancamiento en los sistemas Lean desaparece. La mejora continua fluye de la mano de las nuevas tecnologías, buscando la flexibilidad y dinamismo que todo sistema Lean necesita.

Con la aparición de la nueva era digital, el pensamiento Lean se ha integrado en la nueva dimensión de la Industria, la industria 4.0. En el que todo el sistema está conectando, lo que posibilita la identificación y resolución de errores a otro nivel, incluso anticipándose a la aparición de estos.

A través del flujo del sistema Lean, en la nueva era digital, se almacenan los datos del proceso. Hecho que otorga al sistema a poseer una memoria de las operaciones realizadas, lo que genera un aprendizaje para no cometer los mismos errores y evitar todo gasto no generador de valor al producto.

## 1.2. PENSAMIENTO LEAN

---

Después de la segunda guerra mundial, Taichi Ohno (1912-1990) se convirtió en el verdadero precursor del pensamiento Lean. Ohno tomó como referentes a Frederick Taylor y Henry Ford, prestando atención a las pequeñas muescas dadas por Taylor y Ford en sus ideas de la producción en masa, control de tiempos, reducción de tiempos y alta productividad. A partir de las cuales, Ohno identificó los denominados mudas de cualquier proceso de producción, estableciendo como antídoto para eliminarlos el pensamiento Lean.

La palabra muda, de origen japonés, significa despilfarro. Término que engloba toda actividad que consume recursos sin crear valor. Los cuales pueden estar relacionados con el propio proceso o con actividades secundarias a él. Ohno enumeró una lista de los principales mudas que se pueden encontrar en cualquier proceso de producción [1, pp. 19-20].

1. Defectos en los productos.
2. Sobreproducción de bienes no necesarios.
3. Existencia de productos en espera para su procesamiento o consumo.
4. Procesamiento innecesario.
5. Movimientos de personal no necesario.
6. Transporte de mercancías innecesarias.
7. Esperas en los puestos, por parte de los operarios.

Los elementos no generadores de valor, mudas, se pueden encontrar a cualquier nivel del proceso productivo. Su identificación puede llegar a ser mucho más exhaustiva, identificando un mayor número de mudas, según el grado de experiencia sobre el proceso por parte de los responsables.

Gracias a la implementación del pensamiento Lean en el proceso de estudio, los despilfarros se irán reduciendo, generando el verdadero valor con un menor número de elementos. Tal y como indica Womack, “el pensamiento lean es lean porque proporciona un método de hacer más y más con menos y menos, menos esfuerzo humano, menos equipamiento, menos tiempo y menos espacio, al tiempo que se acerca más y más a ofrecer a los clientes aquellos que quieren exactamente” [2, p.26].

A partir del pensamiento lean se genera un método de trabajo más eficaz, convirtiendo todo desperdicio en valor, consiguiendo el principal objetivo de todo proceso. El valor es el punto clave de este pensamiento, el verdadero valor del producto final lo determina únicamente el consumidor, aunque lo cree el productor.

El valor se determina identificando desde donde estamos hasta donde queremos ir de forma segura, con los mínimos problemas y a un precio razonable. Para ello, tenemos que atender a criterios relacionados con la tecnología, los productos, capacidades, costes y los diálogos con los consumidores “específicos” de un producto determinado.

El pensamiento Lean se inicia con la determinación del valor de una manera precisa, siempre identificando todos los criterios específicos para mantener la idea del verdadero valor. No se debe dejar ningún aspecto sin estudiar, porque si no se determina claramente, la propia definición de valor se convertirá en muda.

Una vez que se ha determinado el verdadero valor, aparece un segundo concepto clave, el flujo de valor. El cual se define como toda aquella actividad involucrada en las etapas de gestión de la información, transformación y resolución de problemas.

Para definir el flujo de valor es necesario examinar la totalidad del desarrollo, tanto en el proceso como en las actividades secundarias relacionadas con él. Para ello, hay que dejar de lado los límites impuestos entre la estructura de la empresa, y aplicar la iniciativa Lean: mantener una continua comunicación de todas las partes interesadas, creando un único canal para todo el flujo de valor. De



esta manera se ven reducidas las pérdidas de cualquier empresa, las denominadas tres M, [3]: Muda, Mura y Muri.

- Muda, actividad que consume recursos sin crear valor para el cliente (Despilfarro).
- Mura, desigualdad en la operación, productividad o calidad (variabilidad, desnivelado en la producción).
- Muri, sobrecarga de los equipos u operarios, al solicitarles que trabajen a un nivel más alto del establecido o permitido.

Con el objetivo de crear un único canal, la transparencia se impone como principal aspecto a respetar, para llevar a cabo el seguimiento de todos los pasos que engloba el flujo de valor. Así, se puede detectar cualquier indisciplina durante el transcurso del proceso.

Definidos los dos conceptos clave del pensamiento Lean, valor y flujo de valor, una parte evidente de los desperdicios puede ser identificada y sanada. Pero es necesario marcar el camino a seguir para mantenerlo, lo cual se precisa mediante la definición del flujo, tercer concepto clave del pensamiento Lean. El cual determina las etapas creadoras de valor, las cuales hacen que el verdadero valor fluya hasta el producto final.

La definición del flujo del proceso conlleva implícitamente la reestructuración de la organización. Hay que dejar de lado la estructuración por departamentos o actividades, todo se organiza en función del producto y sus necesidades, trabajando de forma continua desde la materia prima hasta el producto acabado para la limitación del flujo.

Taiichi Ohno fue el pionero en desestimar todo lo relacionado con la fabricación en lotes, así como los almacenajes previos a la siguiente etapa de fabricación. Las tareas pueden llegar a ser mucho más eficientes y precisas realizándolas de forma continua y centrándose en el producto. Por ello, la nueva estructura surgida de la definición del flujo del sistema conlleva apartar del camino todo lo referenciado con los lotes, almacenajes y colas.

Womack propone tres pasos básicos para conseguir que el proceso fluya hacia el verdadero objetivo del proceso, los cuales deben realizarse conjuntamente para alcanzar la meta [2]. Siendo los tres pasos:

1. Concentrarse en el objeto real.
2. Ignorar los límites y fronteras tradicionales de puestos profesionales, carreras profesionales, funciones y/o departamentos, únicamente se debe atender a la generación de valor.
3. Replantear prácticas y herramientas específicas para eliminar flujos en sentido inverso al proceso, interrupciones y desechos, para favorecer un avance continuo.

Aplicando las tres bases indicadas, surgirá una contribución positiva hacia el desarrollo de valor y a la vez se cubrirán las necesidades de los empleados en cada puesto del flujo, de forma que su interés coincida con el del proceso: que fluya el valor.

El primer efecto visible de la consolidación de los tres conceptos claves en el proceso, es la reducción de forma sorprendente del tiempo de producción. Según indica Womack, “si no se reduce a la mitad el plazo de desarrollo, en un setenta y cinco por ciento el procesamiento de pedidos, y en un noventa por ciento la producción, hay algo incorrecto en el planteamiento lean llevado a cabo” [2, p.39].

Los sistemas lean están diseñados para realizar cualquier producto, o combinación de éste, en cualquier momento, concediendo al sistema a ser cambiante de forma instantánea. Para que ello genere valor, y no desencadene en la generación de un nuevo muda, debe de ser el cliente el que imponga fluidez en el sistema. De esta manera, dejamos que el propio cliente decida sus necesidades (*sistema pull*), y no que sea el sistema productivo el que genere productos en masa hacia los clientes (*sistema push*).

Los sistemas *push* genera, en la mayoría de los casos, productos no deseados por los consumidores y obligan a los fabricantes a generar campañas de bajo coste para dar salida al stock generado. En

cambio, el sistema *pull* únicamente genera lo que desea el cliente, de esta forma lo convierte en un sistema mucho más estable.

El sistema no solo se centra en el cliente, sino en la necesidad de los empleados, lo que mejora la calidad de la mano de obra. Considerando conjuntamente el método *pull* con el flujo desde pensamiento lean, conlleva el aumento de la calidad implícitamente. También, la fluidez del proceso y la transparencia del sistema permite, con una simple inspección visual, detectar posibles fallos.

Sin embargo, para poder hacer frente a un pedido originado en un sistema Lean, hay que diseñar una planificación nivelada acorde a la demanda diaria, porque atender por encima o por debajo de la producción diaria implicaría un sobrecoste traducido en horas extras o retrasos con el cliente. Según entra un pedido en el sistema debería de ser capaz de satisfacerlo debido al diseño del proceso.

Para evitar que se produzcan oscilaciones, Toyota generó un poka-yoke de gestión de pedidos (herramienta que limita el acceso, acorde con unas restricciones impuestas por el propio sistema) para dar acceso al proceso a aquellos pedidos que pasan el filtro de la producción diaria. En el caso de alguno de los pedidos no pase el filtro, se deberá estudiar aisladamente.

Una vez definidos los cuatro conceptos clave del pensamiento Lean, valor, flujo de valor, flujo y el método de arrastre desde el cliente, se identifica una interrelación continua entre ellos, la mejora continua. No se identifica un límite para conseguir un objetivo final, siempre surgirá una nueva reducción de esfuerzos, un límite de tiempo e identificación de nuevos fallos en el sistema, estableciendo un ciclo cerrado como se representa en la Figura 1.1.

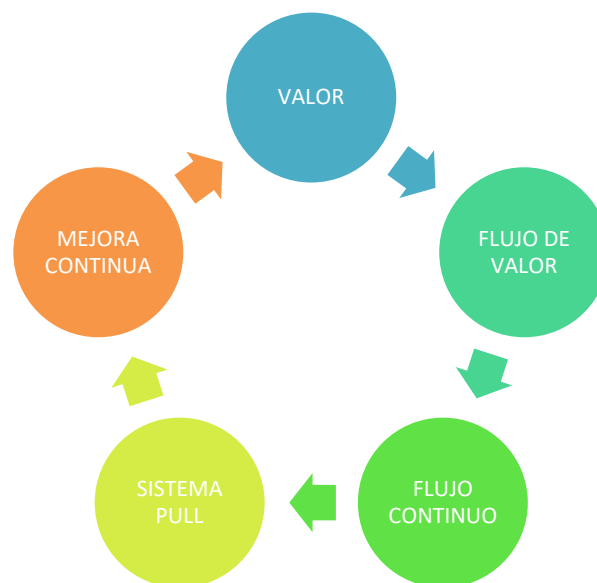


Figura 1.1 Conceptos clave del pensamiento Lean [3]

En todo proceso siempre se busca la perfección, la cual se consigue mediante la mejora continua del sistema, haciendo que el sistema fluya con mayor rapidez. Lo que implica la aparición de nuevas mudas, siendo necesario considerar un nuevo método en el sistema, comenzando nuevamente el ciclo de mejora.

En la mayoría de las ocasiones, nuevas tecnologías son utilizadas para la eliminación de todo elemento no necesario. Lo que implica que cualquier progreso siempre este en un continuo desarrollo, paralelamente a la creación de novedosas tecnologías.

También, la transparencia juega un papel fundamental, al igual que en la determinación del flujo de valor, ya que es el principal estímulo para la búsqueda de la perfección. Cualquier desperdicio o error es identificado y sanado con un rediseño del método para alcanzar la perfección.

Al pensamiento Lean se le define como el antídoto para la eliminación de mudas, pero también es calificado como un antídoto ante el estancamiento. Como se ha remarcado, con la implementación de un sistema lean en cualquier proceso se produce un cambio radical desde el ámbito ingenieril hasta el económico. Siempre se tiende hacia un nuevo enfoque sin perder el verdadero valor, pero eliminando cualquier obstáculo que se presente.

Como resumen final, resaltar que siempre hay que tener claro qué es lo que realmente quiere el consumidor, de esta forma se determina el verdadero valor; el siguiente paso es identificar las actividades que generan valor, determinar el camino que hace que fluya el valor (flujo) según las necesidades del cliente (método *pull*) y siempre hacia una mejora continua.

Para comenzar el camino hacia la filosofía Lean, nacen herramientas y técnicas para determinar e implementar las necesidades del pensamiento Lean. Ohno generó multitud de elementos generadores de valor, incluidos en las técnicas JIT, *Just in Time*.

## 1.3. TPS (Toyota Production System)

---

### 1.3.1. Origen, definición y objetivos

Fue en Japón, en la década de 1950, cuando Taiichi Ohno desarrolló un sistema de producción dedicado exclusivamente a la factoría de coche de Toyota (TPS). La compañía lo instaló al principio de los setenta, y su principal objetivo era eliminar todos los elementos innecesarios en el área de producción, así como en el departamento de recursos humanos o en el de compras. Entre las diferentes técnicas aplicadas cabe destacar las herramientas Just in time, a partir de las cuales se fundaron el pensamiento Lean.

*Just in time* (JIT), traducido al castellano como Justo a tiempo, se le define como una técnica ampliamente utilizada en los sistemas que atienden al pensamiento Lean. La filosofía JIT se basa principalmente en la reducción de gasto y en la mejora y permanencia de la calidad tanto en los productos como en los servicios en los que se aplica.

Ohno define la metodología JIT, como la acción de tener las piezas o componentes que realmente necesitas, en el momento preciso y con la cantidad exacta. El JIT busca un sistema de producción por el cual se obtiene el número y tipo de piezas requeridas para el proceso, en el tiempo previsto y con las cantidades necesarias. Como su propio nombre indica, justo a tiempo.

A través de la filosofía JIT se genera una optimización de los recursos disponibles en cualquier compañía, produciendo la cantidad más pequeña posible de un producto en el menor tiempo posible y consumiendo el mínimo de recursos. De esta manera, se elimina el mayor número de desperdicio durante la fabricación.

Se podría llegar a confundir el pensamiento Lean con el concepto de JIT, ya que a través de este último se consiguen muchos de los objetivos Lean. A través del pensamiento Lean, se consigue una continua mejora que permite a las empresas a reducir costes, mejorar los procesos y eliminar gasto para mejorar la satisfacción del cliente y el margen de beneficio. Esto permitirá mantener la posición en el mercado global, el cual demanda una mayor calidad, entregas más rápidas y a menor precio, lo cual se consigue con las herramientas JIT.

Como conclusión se puede indicar que los objetivos de la filosofía Lean se pueden alcanzar a través de la herramienta JIT. Identificando los objetivos relacionados:

- Reducción del flujo de residuos.
- Reducción de inventarios y área de producción.
- Creación de un sistema de producción más robusto.
- Implantación de sistemas adecuados para la entrada de materia.
- Mejora de los sistemas de producción para mejorar la flexibilidad.

Solamente es necesario el uso de técnicas JIT para alcanzar todos los puntos mencionados anteriormente. Para ello, la filosofía JIT utiliza sus propias herramientas, algunas de las más utilizadas son *Takt Time*, sistemas de arrastre (método *Pull*) mediante la técnica Kanban o aplicar rápidos cambios de herramienta (SMED).

Con ello, los beneficios que se obtienen mediante los elementos JIT son alcanzables por cualquier compañía con su correcta implementación. Consiguiendo alcanzar tras la aplicación de elementos JIT en el sistema de producción [4]:

- Reducción de un cincuenta por ciento del coste de la producción.
- Reducción de inventarios.
- Reducción del Lead time.
- Mejora de la calidad.

- Incrementos de la eficiencia del equipo de trabajo.
- Menor esfuerzo para el desarrollo de las actividades del proceso.
- Reducción de residuos procedentes de la sobreproducción, de los retrasos, transporte, inventarios, movimientos de personal, bajo nivel de calidad y del propio proceso.

Tal es el alcance de esta herramienta, que se ha convertido en uno de los pilares fundamentales del sistema de producción de la marca Toyota, como podemos ver el mapa del sistema de producción de la Figura 1.2.

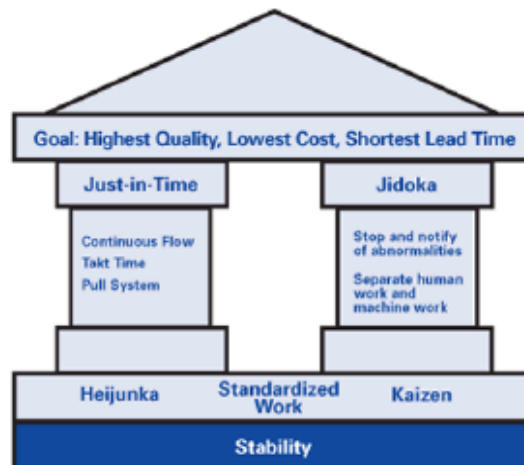


Figura 1.2 Sistema de producción de Toyota [4]

### 1.3.2. Elementos JIT

Para alcanzar el éxito a través de la filosofía JIT, se han recopilados una serie de elementos y factores a aplicar en cualquier sistema de producción para alcanzar el éxito a través de la filosofía Lean. García Alcaraz [4] identifica tres grupos de elementos relacionados con el factor humano, el proceso y el producto final.

#### **Elementos relacionados con el factor humano**

El factor humano es uno de los elementos clave en cualquier sistema productivo, por lo que se convierte en una característica vinculada al JIT al mismo tiempo. Previo a modificar el proceso físicamente, el trabajador tiene que estar concienciado con la nueva filosofía, y su interés tiene que dirigirse hacia la misma dirección que el plan propuesto por el pensamiento Lean.

Para llegar a conseguirlo, se han definido diferentes herramientas y técnicas, para otorgar al operario habilidades como el desarrollo de diferentes tareas, motivación en el desarrollo de su trabajo, prevención de errores por el propio operario y la propia corrección. Todo ello se traduce en un aumento de la calidad, del tiempo y de mejores condiciones para el trabajador.

A continuación, se describen algunos de los elementos más relevantes según García Alcaraz [4], atendiendo al factor humano.

#### **Multifuncionalidad**

Se debe otorgar la oportunidad a todo trabajador a poder desarrollar diferentes puestos, consiguiendo la multifuncionalidad en el desarrollo de su trabajo. De esta manera, el operario se sentirá más desarrollado, no tenderá hacia una monotonía, al poder moverse de puesto, y se podrán salvar posibles ausencias, en caso de sobreproducción, vacaciones u otros motivos no programados. Esto es fácil de conseguir a través de entrenamientos y políticas de formación adecuadas.

## Motivación

Medir la motivación de un trabajador es muy difícil, pero es un elemento crucial para el buen funcionamiento del proceso. Es importante que las empresas hagan que los operarios se sientan orgullosos de su trabajo. Que un empleado no esté motivado por su labor, implicaría una actitud negativa para luchar por los objetivos planteados.

Para conseguirlo, la empresa debe premiar a los empleados para que cumplan o aumenten sus objetivos, con mejores condiciones laborales, un mayor beneficio económico y fomentando el trabajo en equipo.

## Prevención de errores

En toda intervención humana, puede encontrarse un error, ya sea a nivel de proceso como de administración. Muchos de los errores, pueden localizarse a tiempo y ser reparados. Pero otros pueden acabar en la línea de producción con fallos, lo cual conduce a la repetición de toda la cadena de operaciones, o lo que es peor acabar en cliente.

Para ello se proponen entramientos y simulaciones con el operario, para educar al operario a identificar posibles fallos, medir su responsabilidad y mejorar su calidad de trabajo.

Todo ello conduce a la autocorrección, elemento que hace referencia a la capacidad de los trabajadores para corregir sus errores, sin la necesidad de la opinión de su superior. Esto depende de la autoridad que es dada a los operarios por sus responsables, y en gran medida depende de la educación que posee el operario. Normalmente, debe ser un trabajador con una formación de nivel superior para reparar los errores.

## Cortos plazos de entrega y contratos de larga duración

García Alcaraz, menciona otros elementos relacionados con el ámbito temporal, como la consideración de cortos plazos de entrega, lo que se traduce en flujo de entregas constante. Lo que mejora la relación con el cliente, y se estrecha la relación entre ambos.

También menciona contratos de larga duración, este tipo de contratos surge de la confianza entre el productor y el cliente. Ello nace de la experiencia, el cliente conoce la capacidad de reacción del productor, y este último prevé el nivel de demanda del cliente. Este tipo de contratos evita la desconfianza, o el miedo a que no se cumpla el acuerdo por alguna de las partes.

## Comunicación fluida

Actualmente se tiende hacia una expansión global, intentando dar suministro a diferentes empresas a lo largo de todo el mundo. Por ello, es clave que exista una comunicación fluida, y no existan mal entendidos entre ambas partes. Pero también, entre los diferentes departamentos o niveles de la empresa, se debe asegurar que exista una comunicación que haga que fluya tanto las materias primas, el producto en desarrollo, así como la información implicada en el flujo del proceso.

Luego la comunicación es un punto clave, para evitar problemas de información relacionados con los recursos materiales, operaciones del proceso y que las entregas se realicen en el momento previsto, justo a tiempo (*Just In Time*).

### **Elementos JIT relacionados con el proceso de producción**

Uno de los puntos clave de la filosofía lean es el factor humano, como ya hemos descrito. Pero una vez que la materia prima entra en la línea, el segundo punto clave para asegurar el éxito, es prestar atención al proceso productivo para que solo se cree valor y todo fluya por el camino correcto. Las herramientas y características más destacadas por García Alcaraz [4] son:

## Sistema Kanban

Kaban se define como un sistema de información que controla rigurosamente, e indica, lo que debe ser producido o tratado en cada espacio del sistema de producción, desde la entrada de materia prima hasta las piezas que deben ser producidas.

El sistema Kanban suele ser implementando mediante tarjetas físicas que contienen las características del producto implicado. Se puede utilizar para controlar el flujo de recursos dentro de la empresa, así como en el exterior.

Este sistema es una herramienta muy eficiente para asegurar el flujo de materiales, la entrega de información en la propia línea de producción y evitar errores.

## SMED (*Single Minute Echange of Die*): Reducción de los tiempos de preparación

Para mantener el flujo continuo a través del proceso, es necesario que los tiempos debido al fallo de máquina o a la puesta a punta del equipo se reduzca al mínimo. Esto no es una tarea fácil, porque no siempre es predecible.

Como solución surge los programas de control SMED, destinada principalmente al cambio de herramienta en fresadoras, tornos y equipos de desbaste. Su principal misión es analizar los movimientos innecesarios.

Resaltar que, para cumplir con la reducción de tiempos durante estas actividades, es necesario que las personas que desarrollan el trabajo estén altamente cualificadas y preparadas.

## Tamaño de lotes pequeño

Desde el punto de vista del proveedor, es favorable tratar con grandes lotes para realizar el mínimo número de modificaciones en la línea de producción. Pero desde el punto de vista del cliente, se requiere productos más específicos con unas características determinadas, lo que requiere tamaño de lotes pequeños.

Mediante el pensamiento lean, se busca el perfecto encuentro con el valor requerido por el cliente al final de la línea, y mediante los elementos JIT lo conseguimos en el momento preciso. Por ello, trabajar con pequeños lotes, significa una madurez con el cliente y una relación de confianza, suministrándole lo que realmente quiere, cuando lo necesita y en la medida mínima requerida.

## Célula de trabajo

Generar pequeños grupos de trabajo a lo largo de toda la fábrica, agrupando todas las actividades relacionados con una determinada etapa del proceso o producto. De esta manera, la empresa puede hacer frente rápidamente a cambios en el proceso, se reduce recursos (transporte, tiempo, movimientos operarios) y se evitan errores debido al factor humano y al propio proceso.

## Proceso de control

La cadena de suministro está compuesta por el suministro de recursos materiales, el proceso de producción y la distribución de producto acabado. En todas ellas, el control es un punto clave. Ya que la falta de éste implicaría falta de información sobre los recursos disponibles, el estado de la línea o los productos a entregar al cliente. Todo ello demuestra, que sería imposible aplicar la metodología JIT en cualquier proceso sin ningún control.

## Estandarización

Una de las herramientas esenciales dentro de la metodología JIT es la estandarización del proceso, la cual se aplica a todas las partes implicadas en el proceso. Una de ellas engloba los elementos que almacenan los materiales para el montaje, así como los elementos que distribuyen los elementos acabados.

Todo tiene que estar registrado, siguiendo las medidas previamente estudiadas y analizadas por el departamento de procesos.

### Flexibilidad en el proceso

Flexibilidad se la puede definir como la habilidad de la compañía para hacer rápidos cambios sobre el producto. No hay que confundirlo con agilidad, que es la capacidad de responder frente a fluctuaciones en la demanda.

Un proceso flexible engloba maquinaria y recursos mediante los cuales se pueden realizar diferentes operaciones, sin estar especializados en ninguna de ellas. Este tipo de proceso salvan serios problemas ante situaciones críticas, en el caso de que algún elemento quede fuera de servicio y no se encuentre disponible una máquina similar.

Por otro lado, se pierda la alta calidad y velocidad dada por la especialización de determinados recursos a lo largo del proceso.

### Mejora continua o Kaizen

La principal idea de la mejora continua es que nada es perfecto. Por ello, todo proceso siempre puede ser mejorado.

Kaizen, es un sistema de sugerencias procedente de las personas que están en contacto directo con el proceso, los trabajadores. La implantación de Kaizen en el proceso depende principalmente de los operarios, ellos pueden sugerir mejoras y cambios en las maquinas o en las operaciones a realizar, ya que son los responsables, en gran medida, de ello.

De esta manera, los trabajadores se consideran una parte fundamental del sistema y se hacen responsables de las mejoras de cualquier proceso. Con ello, se refuerza la actitud del trabajador para alcanzar el objetivo del proceso productivo.

Tanto la mejora continua, como la técnica de Kaizen, representan el mismo concepto. Ellos han sido ampliamente investigados, convirtiéndose en una filosofía. Muchas compañías han obtenido grandes beneficios económicos gracias a estos conceptos.

## **Elementos JIT relacionados con el producto**

Todos los elementos JIT relacionados con el producto están ligados a la calidad. Muchos de ellos se pueden clasificar como elementos de procesos, ya que la calidad surge durante éste. Pero la calidad es una característica intrínseca en el producto generado. Entre los elementos mencionados por García Alcaraz [4] se destacan:

### Control de calidad total

La calidad es un aspecto inherente del producto y es medible mediante diferentes propiedades, luego todas las propiedades relacionadas deben controlarse a lo largo de todo el proceso de producción. Si un producto pasa a lo largo de toda la línea sin ser identificado, podría llegar al cliente sin cumplir los criterios impuestos.

Por lo tanto, la calidad debe considerarse prioritaria a lo largo de todo el proceso de producción, ya que cada una de las actividades aportan su semilla para la generación de valor y obtener las características necesarias.

### Programa de desarrollo de la calidad

La filosofía JIT forma parte del programa de mejora de la calidad, ya que su objetivo es eliminar la mayor parte del desperdicio, de muda, a lo largo de todo el proceso. Por lo tanto, conseguir este objetivo es en parte del programa de desarrollo de la empresa.



La calidad del producto no solo depende de las instalaciones y herramientas, también de la educación y la formación de los responsables, quienes desarrollan los planes de acción, y de los trabajadores, quienes los ejecutan.

En resumen, los programas de calidad deben estar estrechamente ligados a programas de educación y formación.

### Mejora continua de calidad

Como ya se ha mencionado, la calidad del producto depende de cada actividad incluida en el proceso de producción, pero por encima de todo, de la habilidad y capacidad de los recursos humanos. Por ello, un plan de mejora continua debe incluirse en toda estrategia de calidad.

La mejora continua está incluida en dos conceptos, en las actividades Kaizen y en los círculos de calidad, estos últimos fueron sustituidos por la herramienta dado que su objetivo era el mismo, con una metodología mejorada. Ambos conceptos, tienden a que sean los trabajadores los que resuelvan todos los errores relaciones con la producción.

La mejora de la calidad está vinculada a la cultura de los trabajadores y el conocimiento que tengan sobre las actividades que desarrollan durante el proceso. En otras palabras, la mejora continua se entiendo como un programa de educación impartido a las personas involucradas en la creación de valor.

### Cero defectos

Alcanzar cero defectos es algo imposible, por ello gran parte de las metodologías de hoy en día, como la filosofía *Six Sigma*, están enfocadas a obtener una calidad aceptable en vez de una calidad ideal. Para alcanzar dichos niveles de calidad, los programas de mejora deben enfocarse en la educación de los operarios, así como de la estructura de la organización.

Por supuesto, la calidad debe ser observada a lo largo de todo el proceso con adecuados sistemas de monitorización, para mejorar o mantener los niveles de calidad. La información y comunicación al respecto deber de estar siempre disponible para garantizar el objetivo.

### Visibilidad del control de calidad

Los resultados relacionados con la calidad y todos los índices y medidas que representen la eficiencia de la compañía, deben ser claramente visibles para todos lo empleado, en ese sentido se sentirán familiarizados con ellos y conocerán el estado de la actividad.

Por otro lado, el número de defectos también es recomendable que sea visible para los trabajadores, porque así se pone en su conocimiento su existencia, para que ellos mismos hagan el esfuerzo de identificarlos y reducirlos a la mínima parte posible.

También, el estado de la producción debería ser visible para todos los empleados. Esto mejoraría el flujo de materia a lo largo del sistema de producción y ayudaría a identificar los grandes gastos.

## 1.4. IMPLEMENTACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN

---

Actualmente la filosofía Lean abarca diferentes ámbitos de la producción, empezando desde el estado inicial del ciclo de fabricación hasta el desarrollo, adquisición y distribución del producto final. El pensamiento Lean es implementado como filosofía y como un conjunto de herramientas para alcanzar para alcanzar la máxima calidad posibles, bajo coste y una reducción de tiempos.

Generalmente, el éxito de la implementación va ligado al tipo de organización dispuesta en el área a tratar. No todas las prácticas son aplicables en el mismo sentido en diferentes ámbitos. Previamente, hay que analizar cuál sería el conjunto de prácticas o elementos a implementar en el sistema para eliminar un tipo de desperdicio en concreto, y aplicarlas conjuntamente.

El primer cambio que se debe realizar, siguiendo la filosofía de mejora continua, es la rotación de los puestos de trabajo y fomentar el trabajo en equipo, de esta manera la actitud de los operarios se redirigirá hacia el concepto Lean. En ese sentido, la generación de valor en cada una de las operaciones irá de la mano con el conocimiento Lean impartido entre los trabajadores.

Cada persona debe ser el primero en poseer el conocimiento para ser capaz de transmitirlo al resto de la organización antes de crear el flujo de valor. Después, la estrategia y función Lean debe de ser creada, para dar paso a desarrollar la estrategia global de negocio. Siempre planificando la mejora desde abajo hacia arriba respecto el proceso.

Mrugalska & Wyrwicka [5] destacan dos metodologías de implementación del pensamiento Lean. En primer lugar, se menciona la implementación desarrollada acorde con los cinco conceptos clave del pensamiento Lean.

En la Tabla 1.1, se muestran los siete pasos recomendados por Hobbs [6]. Las cinco últimas medidas tiene asociado uno de los cinco conceptos clave definidos. Pero los dos primeros están incluidos en la planificación previa.

Tabla 1.1 Etapas de la implementación Lean [6]

Medida	Principio Lean
Establecer una visión estratégica	-
Identificar y establecer los equipos	-
Identificar los productos	Valor
Definir el proceso	Flujo de valor
Chequear la distribución de la fábrica (Layout)	Flujo continuo
Elegir apropiadamente la estrategia de arrastre	Método de arrastre: <i>Pull</i>
Mejora continua	Perfección

Otra jerarquía destaca, es la propuesta por Bicheno & Holweg [7], la cual es una metodología definida para aquellos sistemas donde se puedan permitir un largo período de implementación. Para ello, se impone la condición de que cada uno de los pasos definidos deben ser finalizados para continuar con el siguiente. Las medidas propuestas son:

1. Entender los principios Lean: valor, flujo de valor, flujo, método de arrastre hacia el cliente y mejora continua hacia la perfección.
2. Entender al cliente.
3. Conocer el sistema.
4. Definir una estrategia, su planificación y comunicarlo al equipo de trabajo.
5. Reconversión del producto y crear el diseño Lean.
6. Establecer los cimientos de la metodología (Valor).
7. Implementar el ciclo de valor.
8. Crear o fortalecer la cultura Lean.
9. Rediseñar el suministro según la nueva filosofía.
10. Establecer la distribución Lean.
11. Llevar a cabo las medidas y costes, como comprobación de las mejoras implementadas.
12. Según los resultados del paso anterior, etapa de mejora o de continuación.
13. Diseñar sistema de programación lean.
14. Sistema de distribución tipo célula.

Según Sohal & Egglestone [8], una vez que la producción Lean ha sido implementada, acorde con los pasos descritos, el sistema adquiere nuevas características. Las cuales aportan al sistema todo lo necesario para generar el valor necesario y demandado por el cliente.

- Espíritu de trabajo en equipo prevalece en la organización de los operarios, quienes tienen una gran responsabilidad sobre cada tarea a realizar, son flexibles y expertos en cada puesto de la célula (*multi-skill*).
- La identificación de problemas y su resolución se lleva a cabo mediante las técnicas Kaizen y de mejora continua.
- Operaciones lean, donde los problemas son corregidos considerando tamaño pequeño de inventarios, gestión de la calidad, prevención todo tipo de errores, trabajo con pequeños lotes, producción del tipo *Just in Time*.
- Compromiso con las políticas que fortalecen los recursos humanos relacionados con el proceso productivo.
- Estrecha relación con proveedores.
- Desarrollo de equipos multifuncionales.
- Creación de un canal de distribución y venta muy ligado al cliente.

## 1.5. LA FILOSOFÍA LEAN EN LA INDUSTRIA 4.0

---

### 1.5.1. Industria 4.0

Las primeras ideologías sobre la Industria 4.0 aparecieron sobre el año 2011, el gobierno alemán fue pionero en crear un plan estratégico basado en este nuevo concepto. A pesar de la gran acogida alrededor de todo el mundo de la nueva revolución 4.0, no hay una definición formal.

Mrugalska & Wyrwicka [5, p.1] establecen varias definiciones de la Industria 4.0, como:

- Integración de complejos dispositivos y máquinas con una red de sensores y softwares, para la predicción, control y actualización para la mejora del negocio y salidas del sistema.
- Nuevo nivel del valor de la cadena de suministro y gestión a lo largo del ciclo de vida de los productos en desarrollo.
- Término global para las tecnologías y el concepto de valor dentro de la cadena de suministro.

Para alcanzar el objetivo de la Industria 4.0, surge un nuevo concepto en la tecnología de la automatización, los sistemas físicos cibernéticos (CPS, *Cyber Physical Systems*). A partir de estos sistemas se consigue trabajar con autómatas e interactuar con el sistema de producción mediante microcontroladores, sensores e interfaces de comunicación.

El concepto de CPS e Internet de las cosas se proclaman como el inicio del proceso de preparación, diseño, planteamiento, optimización y manejo de las herramientas, y recursos humanos si se da el caso, hacia la nueva revolución industrial 4.0. Ambos conceptos comparten la misma arquitectura, pero a través de los sistemas CPS existe mayor combinación y coordinación entre los sistemas físicos y computacionales.

Para completar la descripción de la Industria 4.0, es necesario mencionar los tres conceptos clave que la engloban: producto inteligente, máquina inteligente y operario "evolucionado".

El producto pasa de ser un elemento pasivo a ser activo, mediante el cual se recoge información de las operaciones y de sus requerimientos a lo largo del proceso. De esta manera convierte al sistema en un elemento con memoria, que enseña al sistema a evitar y prevenir fallos.

Por otro lado, el concepto de máquina inteligente reemplaza a la arquitectura de producción tradicional por una autoorganización descentralizada, la cual es dirigida por los elementos CPS. Las máquinas "inteligentes" son sistemas con una amplia red abierta, que permite la comunicación de cada módulo local y dispositivos de la línea, lo que convierte al proceso productivo en un sistema flexible y modular.

Por último, la imagen del operario ha cambiado hacia un elemento más evolucionado, es el elemento que posee el conocimiento de todo el proceso. Lo que implica que sea más flexible y se pueda adaptar en cualquier parte del sistema de producción. Los operarios son lo que llevan a cabo tareas como la especificación, monitorización y verificación de las estrategias de producción. Al mismo tiempo, es el elemento de interferencia entre el sistema de producción físico y de automatización.

### 1.5.2. Relación Lean Manufacturing e Industria 4.0

El pensamiento Lean está enfocado hacia la flexibilidad en los sistemas de producción y el manejo de complejos productos y cadenas de suministro. Para alcanzarlo, es aconsejable aprovechar el dinamismo y flexibilidad que proporción la nueva Industria 4.0.

Cada elemento integrado en la Industria 4.0 nace a partir de las semillas de la filosofía Lean. En primer lugar, con el mismo objetivo que la técnica Kaizen, el "producto inteligente" recopila información a lo largo de las repeticiones en cada operación a través de los sensores. Con la técnica Kaizen, se obtiene

la información del proceso a través de las reuniones periódicas con el personal implicado en la producción.

Con el “producto inteligente” se podría crear el mismo control que con las tarjetas Kanban para la gestión de las entradas, salidas y transcurso de material. Incluso una sinergia entre ambos productos, sincronizándolo con el producto, la información referente a la herramienta Kanban podría ser visualizada mediante la “máquina inteligente” a tiempo real. De esta manera se sustituirían los paneles y tarjetas físicas por completo.

La mejora continua puede ser asegurada y controlada a partir del uso de sensores, actuadores y cámaras de videocontrol. Analizando las medidas recopiladas se podría identificar el error y salvarlo para futuras operaciones, al igual que se consigue con los Poka-Yoke desarrollados físicamente en los sistemas convencionales.

Para la reducción de tiempo y mejora de la calidad, la técnica de SMED puede ser perfectamente implantada en las máquinas de las instalaciones de la Industria 4.0, con ello se conseguirá reducir al mínimo el cambio de herramientas o mantenimientos necesarios.

Por otra parte, el operario de la nueva industria reducirá el tiempo entre el fallo ocurrido y su notificación, a partir de la implementación de luces que indican los fallos en tiempo real, persiguiendo el mismo objetivo que el método Andon.

Por lo tanto, todos los elementos relacionados con el pensamiento Lean son aplicables a la Industria 4.0. Ambos ámbitos persiguen el mismo objetivo de generar el verdadero valor, eliminando todos los recursos innecesarios, resultando una gran flexibilidad y adaptabilidad del proceso dado por características de la nueva era digital.

En el siguiente capítulo se expone la fórmula práctica de aprender en qué consiste el pensamiento Lean y su implementación en un sistema educativo, y a la vez profesional, como son las escuelas de aprendizajes, las llamadas “Learning Factories”.



# CAPÍTULO 2. ESCUELA LEAN





## 2.1. LEARNING FACTORIES

---

### 2.1.1. Introducción

Los cambios en la industria son provocados principalmente por la aparición de nuevas tecnologías y filosofías de gestión. Para que las industrias sobrevivan a los continuos cambios impuestos, deben tener la capacidad de adaptarse rápidamente a las nuevas condiciones de mercados. Lo cual requiere aumentar la habilidad de los empleados para adaptarse a cualquier cambio.

Con el objetivo de crecer al mismo ritmo que el mercado, es necesario considerar nuevas técnicas y herramientas, ya que es imposible conseguirlo con las técnicas tradicionales. Abele *et al.* [9] establecen las siguientes acciones a considerar para sobrevivir a los continuos cambios en la industria:

- Que se permitan entrenamientos en un ámbito productivo real.
- Que se modernice los métodos de aprendizaje y se aproximen lo máximo posible a la práctica industrial.
- Que se aproveche la práctica industrial para implementar nuevos conocimientos y tecnologías de fabricación.
- Que se impulse la competitividad de fabricación mediante el talento desarrollado a través de las nuevas capacidades, obtenidas por la resolución de problemas, creatividad y capacidad de pensamiento didáctico adquirido mediante la práctica.

Agrupando todas las actividades anteriores en un único espacio nacen las llamadas áreas de aprendizaje o *learning factories*, con el objetivo de aprender, experimentar y definir nuevas técnicas.

Desde el ámbito educacional, este cambio es respaldado con el objetivo de identificar nuevos perfiles profesionales y competencias para adaptar y resaltar los conceptos de educación. Especialmente, los modernos ámbitos de aprendizaje son capaces de hacer frente a los cambios mencionados. Cada vez más, la industria demanda este tipo de medidas de entrenamiento que promueven la educación y práctica en áreas de aprendizaje.

Ya en 1994, la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos (NSF, *National Science Foundation*), colaborando con la Universidad del estado de Pensilvania, *Penn State*, desarrollaron un área de aprendizaje imitando un sistema de producción real. Las denominadas "*learning factory*", espacio dedicado a la práctica disciplinaria vinculada a proyectos de ingeniería con madurez.

Dicho proyecto consistía en un espacio de dos mil metros cuadrados equipados con máquinas, materiales, herramientas y todo lo necesario para llevar a cabo proyectos industriales patrocinados por la Universidad desde el año 1995. Pero no fue hasta el año 2006, cuando se reconoció su verdadero valor, recibiendo un premio por la innovación en la educación de la ingeniería, *National Academy Engineering's Gordon Prize*.

Según diversos autores [9] – [12] este fue el primer modelo de aprendizaje, *learning factory*, mediante el cual se implementaron nuevas metodologías de educación, aprendiendo a la resolución de problemas reales de la industria mediante la práctica y rediseñando productos y/o sistemas para alcanzar el objetivo marcado por la industria.

Recientemente, la implementación de industrias de aprendizaje ha aumentado, particularmente en Europa, adoptando diferentes diseños según las sofisticadas formas de fabricación y tamaño. Mediante estas técnicas se alcanza el objetivo de mejorar el aprendizaje mediante la experiencia práctica.

### 2.1.2. Definición y características

El término “*learning factory*” se podría definir como el conjunto de elementos que imitan el comportamiento de un sistema productivo mediante el cual se consigue el aprendizaje o enseñanza utilizando técnicas prácticas. Como insistió el pedagogo Edgar Dale [13], la parte que retiene y sustenta el aprendizaje es la parte práctica. A través de la pirámide del aprendizaje de Dale, se muestra que la práctica es el cien por cien del aprendizaje (Figura 2.1).



Figura 2.1 Pirámide del aprendizaje [13]

Los espacios *learning*, representan un ámbito conforme a la realidad donde un mínimo de errores es posible, para alcanzar el completo entendimiento del sistema. Por lo que, este tipo de espacio no solo deben estar formado por máquinas y herramientas, diferentes relaciones en la cadena de suministros estarán disponibles para el entendimiento de las diferentes fases de la cadena de producción.

Los principales objetivos de las *learning factories* son la innovación, a nivel tecnológico y de organización, desarrollo y mejora de la habilidad de los participantes en el área de aprendizaje. Ya no solo de aptitudes físicas, sino también desde un ámbito psicológico, relacionado con la motivación en el desarrollo de las actividades del sistema.

El concepto de *learning factory* adopta muchas variantes, según el grado de contextualización, la proximidad al sistema real, y la experiencia práctica que se lleve a cabo. Algunos de los espacios son diseñados en base a un concepto diferente.

Las áreas *learning* en un sentido estricto, siguen un modelo muy ceñido a la realidad, donde la experiencia práctica lo es todo, donde los participantes pueden desarrollar, evaluar y juzgar sus propias acciones.

En cambio, los espacios desde un punto de vista “ampliado”, se desarrolla en un nivel más lejano de la realidad y con una experiencia menos práctica para el usuario. Este tipo de espacios implican una serie de ventajas, como son: la independencia de la ubicación, la simulación únicamente de los problemas definidos y la dimensión del sistema a analizar según los recursos disponibles, adoptando la escalabilidad.

Los espacios que no representan fielmente al sistema productivo se desvían del concepto de origen, en al menos una de las siguientes direcciones:

- Representación virtual de la cadena de valor.
- Conexión entre los participantes y el proceso de aprendizaje mediante conexión remota.
- El espacio *learning factory*, se define como un servicio más que como un producto.

Tal como muestra la Figura 2.2, el ámbito de las escuelas según el sentido estricto, *narrow sense*, es muy limitado, limitado al volumen remarcado en rojo, comparado con las escuelas con mayor libertad de funcionamiento. Las cuales pueden crearse a diferentes escalas, real o virtual, y diferentes ubicaciones, volúmenes sombreados en gris en la Figura 2.2.

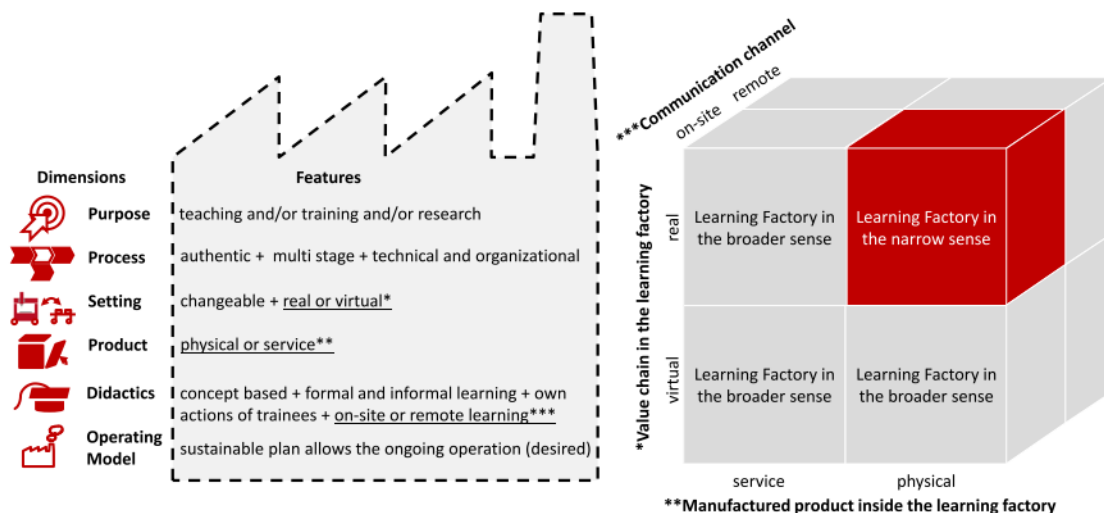


Figura 2.2 Tipos y características de los espacios “learning factories” [9]

Sea cual sea el ámbito en el que se desarrolle este tipo de espacios, el objetivo es crear valor a cualquier nivel, ya sea en el ámbito tecnológico o en el campo de la organización. Con el objetivo de desarrollar y mejorar continuamente, creando el valor ligado a la unidad de negocio.

### 2.1.3. Tipos

Según las características de las áreas *learning*, surgen diferentes tipos de escuelas, fuera del sentido estricto de *learning factory*. Las seis dimensiones características están relacionadas con el proceso productivo, cubriendo en gran parte las necesidades existentes, como son [9]:

- Objetivo de la aplicación, ya sea de enseñanza, aprendizaje o investigación.
- Proceso, según sea de carácter técnico, organizativo, multitarea o único.
- Escenario, donde se desarrolla la misma actividad que la de un sistema real. El cual puede ser real, imitando al real a una escala inferior, o virtual, ofreciendo una experiencia sin límites de tamaño.
- El tipo de producto involucrado en el sistema, el cual puede ser físico o un servicio a prestar.
- Método de aprendizaje, ya sea autoaprendizaje o impartido por un profesional; en un espacio real o en una plataforma virtual; en grupo o individual.
- Tipo de proceso implementado en el área de aprendizaje.

Uno de los sectores con mayor influencia en la expansión de las áreas de aprendizaje, es el sector industrial. En el pasado solo una pequeña parte de compañías industriales incrementaron su valor en relación con el cliente, orientando el proceso y teniendo en cuenta diferentes técnicas lean. Pero no todas las empresas alcanzaron el objetivo, solo algunas alcanzaron el éxito. Aquellas que mejoraron sus aptitudes y otorgaron nuevas competencias a los empleados, en los diferentes niveles de su jerarquía, lo consiguieron.

Un ejemplo de este tipo de áreas relacionado con la industria es descrito por Abele *et al.* [9], el cual define un espacio de quinientos metros cuadrados imitando a un sistema real productivo en el que se han instalado dos máquinas con diferentes herramientas para la creación de dos productos reales. Uno de ellos es un cilindro neumático con diferentes variantes, y un motor reductor con cuatro mil variaciones. En ese sentido, los diferentes requerimientos del entramiento desarrollarán diferentes aptitudes en las personas involucradas.

Los participantes podrán descubrir principios y métodos como la metodología Lean, y aplicarlos directamente a problemas reales en un sistema de producción libre de riesgos y costes provocados por estos.

Las personas que participan en los espacios *learning* pueden pertenecer a un ámbito industrial, como el ejemplo anterior, pero también a la creación de educación desde un nivel práctico. Sihm & Jäger [14] resaltan la creación la escuela de aprendizaje “TU Wien Learning and Innovation Factory” para la integración de la educación a nivel productivo. La cual representa una plataforma educativa que ofrece un curso basado en actividades dando la oportunidad a los alumnos de vivir una experiencia real y entender íntegramente un proceso.

La experiencia práctica engloba diferentes etapas, las cuales consisten en desarrollar la capacidad de analizar, planear, construir y optimizar un producto real y su proceso productivo. Diferentes métodos didácticos son usados, prevaleciendo el autoaprendizaje a través de la plataforma online, de la enseñanza directa y del trabajo en equipo.

Esta iniciativa educacional ha ido creciendo, cooperando con otras entidades, basándose principalmente en una educación avanzada y de nivel superior. En 2013, el proyecto se sumergió en un cambio hacia un nuevo escenario basado en la Industria 4.0, integrando el aspecto humano es un sistema físico con una relación directa al mundo digital.

El clásico perfil profesional en un sistema productivo se ve reconducido hacia un mundo relacionado con las tecnologías de la información y comunicación. El nuevo objetivo en las áreas de aprendizaje es transmitir a los estudiantes la complejidad de la interconexión del mundo virtual, digital y real según mencionan Jäger *et al.* [15].

Con las nuevas tecnologías, y la importancia de la conectividad continua en todos los ámbitos profesionales, surge las áreas de aprendizaje en remoto. Según Mavrikios *et al.* [16], las áreas de enseñanza *Teaching Factory*, se basan en las nociones del triángulo del conocimiento, el cual tiene como pilares fundamentales la educación, investigación e innovación.

El origen está en los modelos de los hospitales de enseñanzas, llamados los colegios médicos, los cuales trabajan en paralelo a los hospitales. Este tipo de espacio han nacido para integrar la parte práctica directamente en las aulas según recogen Chryssolouris *et al.* [17].

La comunicación e interacción remota entre el equipo de trabajadores y estudiantes y/o investigadores está habilitada, trabajando conjuntamente en los problemas reales involucrando tantos a la parte académica como profesional. De esta forma, el canal de comunicación llega a convertirse en bidireccional, transmitiendo información de la fábrica real al aula, y del laboratorio académico al sistema real.

Con este tipo de espacio, se consigue que desde el ámbito real se imparta conocimiento a los estudiantes mediante las actividades, existiendo una práctica paralela al sistema productivo diaria. Y desde el ámbito industrial, los ingenieros introducen un flujo de problemas hacia las escuelas, donde los estudiantes son animados a plantear una solución.

#### 2.1.4. Relación con la Industria 4.0

El incremento de la competitividad a nivel mundial en el sector de la producción implica una mayor necesidad de especialización en el sector y una mejora continua de los productos, del proceso de fabricación y del modelo de negocio. Actualmente, los nuevos avances en estas áreas están estrechamente relacionados con la digitalización. Dichos cambios no solo se aplican a los espacios de trabajo, sino a todo elemento que añade valor a la cadena de producción.

Actualmente la era de los sistemas automatizados, ampliamente conectados, versátiles y auto optimizados desembocan en sistemas de producción ciber físicos (Cyber-Physical-Production System, LVP), que no tienen nada que ver con los tradicionales sistemas. Por lo tanto, surge la necesidad por parte de las compañías en crear espacios de aprendizaje, en los cuales se podrían definir como escuelas hacia la digitalización y la nueva Industria 4.0.

El nuevo concepto de áreas de aprendizaje, tienen el mismo objetivo que las tradicionales, están basadas en los sistemas de producción enfocados a la formación y aprendizaje, pero también deben dar a conocer la implementación de las nuevas tecnologías en los procesos de fabricación. Según *Merkel et al.* [18], se deben incluir sistemas interactivos con los trabajadores, programa inteligente con el sistema en tiempo real y herramientas de simulación relacionadas con el proceso y los recursos materiales involucrados en él.

Pero los espacios de aprendizaje no solo muestran la implementación de las nuevas tecnologías, sino también su impacto en la organización de los sistemas de producción. A través de la asistencia a las sesiones interactivas en estos espacios, los participantes podrán experimentar las ventajas de los sistemas de producción inteligentes.

Schallock *et al.* [19] recomiendan distinguir tres fases en las sesiones de aprendizaje y entrenamientos en las escuelas Lean orientadas a la digitalización. En una primera instancia, se hace énfasis en la automatización y en los flujos de información, los denominados sistemas CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). Teniendo como objetivo familiarizarse con ordenadores a nivel de planta, los cuales manejan diferentes sistemas de información relacionados con el proceso productivo y todo elemento involucrado en la cadena de valor.

La segunda fase estaría relacionada con la filosofía Lean, orientando el sistema, tanto a nivel organizativo como productivo, hacia el verdadero valor en la cadena de producción. El entramado estará guiado hacia nuevos métodos y herramientas de la filosofía Lean, así como a divulgar un comportamiento y pensamiento lean a todas las personas involucradas en la cadena.

Y como última fase, la Industria 4.0, estableciendo como objetivo la digitalización de la industria. A través de plataformas se identifican muchos de los potenciales y cambios procedentes de la nueva era, los cuales están relacionados con los cinco campos de acción: integración horizontal, ingeniería digital, integración vertical, nuevas infraestructuras sociales y los sistemas de producción ciber físicos.

La importancia del factor humano sigue presente en cada uno de los objetivos a llevar a cabo durante el entrenamiento. Lo que justifica, que la industria 4.0 no es solo la implementación de tecnología, el factor humano es igual, o incluso más importante en la nueva era digital.

Por ello, los entrenamientos deben de cubrir la transformación de aptitudes del operario, aprendiendo a adaptarse a los nuevos principios; conseguir nuevas habilidades técnicas, principalmente relacionados con los nuevos sistemas de información; y fomentar aptitudes sociales, como el trabajo en equipo, colaboración y transferencia de información entre los diferentes componentes y la motivación.

La consideración de este tipo de áreas de aprendizaje está en aumento en consecuencia a la nueva era, donde se lleva a cabo el aprendizaje de todos los principios mencionados. Pero también cabe destacar, el aspecto experimental, antes de realizar la implementación en la cadena de producción real es necesario estudiar la reacción del sistema ante las nuevas tecnologías, así como testear estas.

## 2.2. ESCUELA LEAN

---

### 2.2.1. Definición, necesidad y descripción

La escuela Lean es un espacio dedicado al aprendizaje y formación de alumnos, así como de profesionales del método Lean. A la escuela se la puede caracterizar como una herramienta práctica para identificar, solventar y gestionar todo aspecto contrario al pensamiento Lean.

La idea de la creación de la escuela Lean surge de un convenio entre la empresa Renault-Nissan Consulting y la Universidad de Valladolid. La necesidad procede de ambas partes, como una herramienta pedagógica, desde un punto de vista de educativo; y de mejora continua desde el ámbito profesional.

Como ya se ha mencionado anteriormente, la base de todo aprendizaje está en la parte práctica. Las sesiones que realizan los alumnos en la Escuela Lean les sirve para afianzar conocimientos en el ámbito productivo. De esta manera, los alumnos identificarán en cualquier sistema real el camino a seguir y las acciones correctas a ejecutar, y podrán proponer nuevas ideas a implementar en la realidad.

Gracias a las sesiones prácticas, los alumnos se verán más capacitados para la inmersión al sector laboral. Pero también, las empresas se verán beneficiadas por el valor añadido conseguido por los alumnos, el cual ha nacido en la escuela Lean.

Por parte de los profesionales del grupo Renault, se busca mejorar la competitividad en el sector de la automoción. Para ello, nuevas estrategias se ensayan en la escuela Lean para conseguirlo, identificando posibles fallos en el sistema con cero riesgos. También se busca reforzar, transformar y crear nuevas habilidades para que los empleados crezcan al mismo ritmo de la empresa.

Principalmente son tareas de liderazgo y gestión de la producción las que se desarrollan en la escuela Lean. Aptitudes que se consiguen a través de la práctica de dos métodos de producción definidos para la Escuela Lean: producción de coches en escala y de una pieza denominada Solectron (Figura 2.3). Éste último será definido detalladamente ya que es el objeto de estudio del presente trabajo.

Tanto el proceso de montaje de los coches como del Solectron, requiere cierta habilidad para su procesamiento, ya que se tienen que montar piezas complejas, en ocasiones diferentes o muy similares, en un determinado tiempo y con un acabado perfecto.

Durante el desarrollo de las simulaciones, se consideran diferentes fases teniendo en cuenta la implementación de técnicas lean, así como métodos tradicionales. Con ello, se consigue identificar los beneficios de la filosofía lean y evitar las acciones que generan despilfarros en los sistemas simulados.

Desde el espacio Lean, se plantean como principales objetivos a alcanzar durante las sesiones de entrenamiento:

- Aumentar el rendimiento del sistema productivo a través de la mejora de los flujos.
- Identificar los despilfarros y fallos de la producción, analizando los flujos de valor.
- Implementar la metodología Lean en la producción, desde la búsqueda de cero despilfarros hasta un sistema que sea atraído por el cliente (*sistema pull*)



Figura 2.3 Productos de la Escuela Lean (Renault-Nissan Consulting [3])

La escuela esta dividida en diferentes espacios destinados a las actividades que se requieran. Desde un pequeño almacén interno hasta el área de montaje, el cual engloba los puestos de montaje y la zona de logística. En la Figura 2.4, se puede ver un croquis de los espacios que forman la escuela lean, y su disposición. Los cuales son:

- Área de mecanizado, espacio habilitado para la fabricación de las piezas in situ. Algunos componentes procederán de un proveedor o proveedores, y en otros casos, como en la producción de la base del Solectron, se considerará su mecanizado en la propia instalación.
- *Meeting* área, destinado para realizar los talleres *kaizen*, en busca de la mejora continua, identificando errores y su procedencia con la participación de toda persona implicada en el proceso productivo.
- Área de montaje, la cual engloba los puestos de trabajo y la zona de logística.
- Estanterías de expedición, destinada a la recepción del producto final.
- Almacén de origen interno, externo y piezas en curso.
- Material para alumnos, simulación de los vestuarios para los “trabajadores”, alumnos y/o profesionales que participan en la simulación.

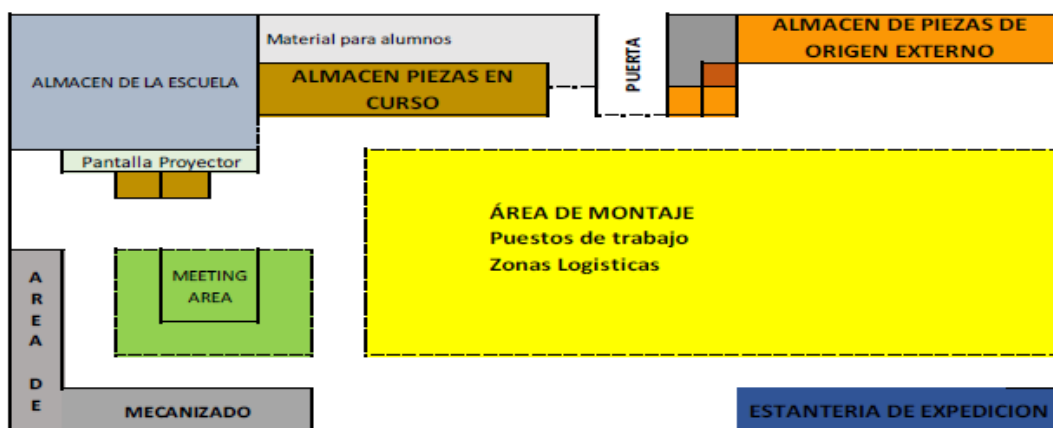


Figura 2.4 Espacio Lean (Renault-Nissan Consulting [3])

Uno de los aspectos más importantes a destacar en el espacio Lean, es la flexibilidad que ofrece para la disposición de los puestos de trabajo y los almacenajes. Ya que tanto las mesas, como las estanterías, están montados sobre ruedas, para facilitar la variabilidad, respecto a la arquitectura de la cadena de montaje en los estudios a realizar. Todas las estanterías y mesas están diseñadas para la agrupación con cualquier elemento estructural de la cadena en cualquier posición lógica. Gracias a esta disposición estructural se facilite la simulación de diferentes tipologías de línea de producción y procesos.

En lo que respecta en la estructura de los puestos de trabajo y almacenaje, mencionar el sistema de estanterías dinámicas, sistemas karakuri. La recepción de las piezas en los puestos se realiza mediante un sistema constituido por rodillos a lo largo de sus ejes. Fijando una pequeña inclinación, las piezas llegan hasta el puesto con la fuerza de la gravedad. Este sistema es ampliamente utilizado, ya que evita lesiones, reduce operaciones y costes. En la siguiente figura, Figura 2.5, se puede ver en detalle de este tipo de estructuras.



Figura 2.5 Sistema de almacenaje dinámico (karakuri)

Finalmente, destacar el uso de la escuela como herramienta Lean, para identificar los posibles mudas que existen en el proceso real, aplicar las mejoras en el sistema para alcanzar y hacer fluir el verdadero valor que se busca en el sistema.



## 2.3. PROCESO PRODUCTIVO

---

El proceso productivo que se ha considerado como objeto de estudio para el presente trabajo es la producción del Solectron, el cual es una pieza metálica. Que su montaje está caracterizado por la intervención de piezas complejas a la vez que similares.

Este proceso lo lleva a cabo la empresa ficticia “*Epsilon Manufacturing*”. Empresa que se dedica a la fabricación y reciclado de piezas mecánicas complejas. Su producto más exitoso es el Solectron, el cual está generando un gran consumo durante su primera fase. Alcanzando la producción de 860 Solectrones/día.

### 2.3.1. Producto: Solectron

El Solectron es una pieza de aluminio, el cual está compuesto por una base y un máximo de dieciséis sectores, según el color del sector tiene la posibilidad de ensamblar en su interior un inserto. Luego, el número total de piezas del Solectron puede variar en función de la fase de montaje del Solectron.

Este tipo de producto ha sido creado para su procesamiento en la escuela Lean porque está compuesto por piezas muy similares con pequeñas diferencias. Su montaje no es sencillo sin un estándar de trabajo, e implica una destreza elevada para llevar a cabo su montaje en un corto tiempo.

Las partes principales que constituyen el Solectron son:

- Base, pieza cilíndrica hueca de aluminio de diferentes alturas y diámetros. La base puede ir montada en dos posiciones diferentes: parte de menor diámetro en la parte superior, como se muestra en la Figura 2.6, o la parte del mayor diámetro en la zona superior, Figura 2.7. Lo que ofrece dos posibilidades en el producto final.



Figura 2.6 Solectron: base montada por arriba (Renault-Nissan Consulting)



Figura 2.7 Solectron: base montada por abajo (Renault-Nissan Consulting)

- Sectores, piezas metálicas con diferentes formas en sus extremos, las cuales encajan con los sectores adyacentes. De esta forma, cuatro sectores cubren la base descrita anteriormente. Cada sector tiene asociado una letra, para su denominación: sector A, sector B, sector C y sector D (en las figuras anteriores, Figura 2.6 y Figura 2.7, se pueden distinguir los distintos tipos). A la vez, cada sector tiene asociado un color: verde, amarillo, azul y rojo. Con lo que resultan dieciséis sectores en un único Solectron.
- Insertos, son piezas de aluminio de diferentes formas geométricas: ovalado, redondo, rectangular y hexagonal, que se acoplan dentro de los sectores de color amarillo y rojo. Los sectores verde y azul no montan insertos. La Figura 2.8 muestra la correspondencia entre los sectores y los insertos que se acoplan en cada uno de ellos.

- Sector A: Inserto circular
- Sector A: Inserto rectangular
- Sector C: Inserto ovalado
- Sector D: Inserto hexagonal

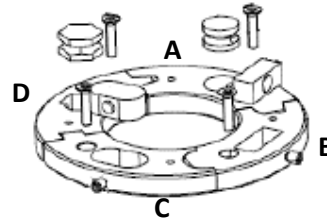


Figura 2.8 Solectron: Insertos (Renault-Nissan Consulting)

En la fase de estudio, producción uno, un total de cuarenta y nueve piezas engloban el producto final, como se muestran en el croquis siguiente, en la Figura 2.9 Solectron: Croquis del montaje. Estableciendo el orden de colores: verde, amarillo, azul y rojo.

- Fila 0: base
- Fila 1: cuatro sectores verdes y cuatro tornillos inoxidables para montar la primera fila a la base.
- Fila 2: cuatro sectores amarillos, cuatro insertos y ocho tornillos asociados para bloquear los insertos en los sectores, y estos en la fila anterior.
- Fila 3: cuatro sectores azules, junto los cuatro tornillos para el montaje.
- Fila 4: cuatro sectores rojos, cuatros insertos y los tornillos para el montaje y ajuste, ocho en total.

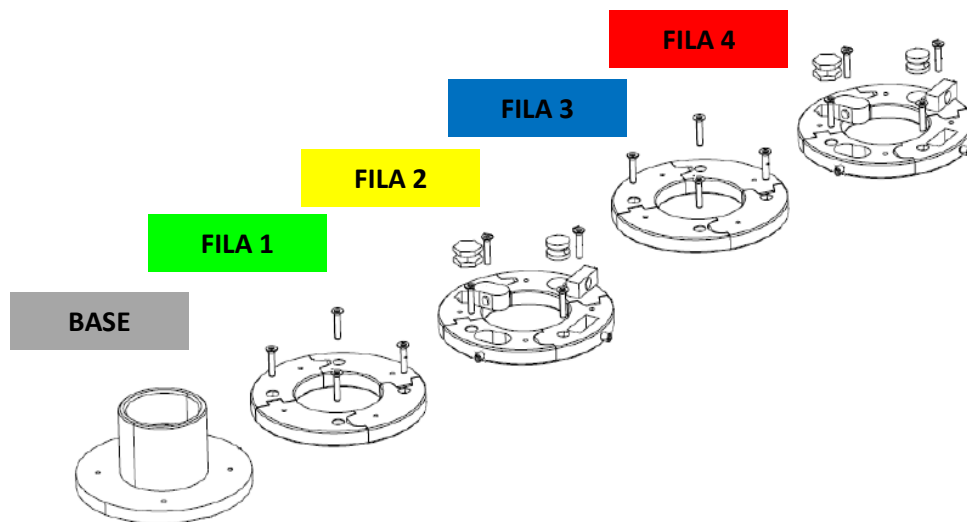


Figura 2.9 Solectron: Croquis del montaje (Renault-Nissan Consulting [3])

La asignación de colores a cada fila pertenece a la llamada “producción 1” del montaje de Solectron, que es la que se va a tratar en el presente proyecto. Pero el orden de montaje de las filas podría variar, se podría montar sin problema sobre la base de aluminio.

### 2.3.2. Producción 1: descripción del proceso productivo

La producción 1 se la denomina a la primera fase de montaje y reciclaje del Solectron. La línea del montaje del Solectron se inicia con la llegada de las bases desde el área de mecanizado (ver Figura 2.15). Las bases son transportadas por el servicio de logística, almacenadas en cajas con capacidad de seis piezas (Figura 2.10), hasta la mesa junto al puesto uno (referencia P1 del montaje, en la Figura 2.15).

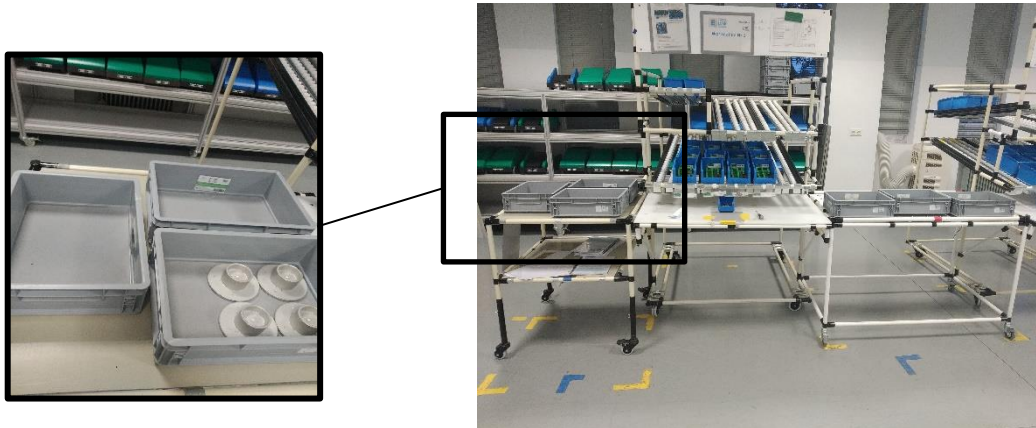


Figura 2.10 Almacenamiento de las bases junto puesto P1

En el puesto P1, la primera fila de sectores verdes es montada en la base, formada por un sector de tipo, A, B, C y D. Los sectores llegan al puesto mediante estanterías dinámicas, contenidos en gavetas con capacidad de seis sectores del mismo tipo cada una (Figura 2.11). Una vez que se vacía la gaveta, hay dos filas vacías de estanterías para el retorno de éstas a logística.

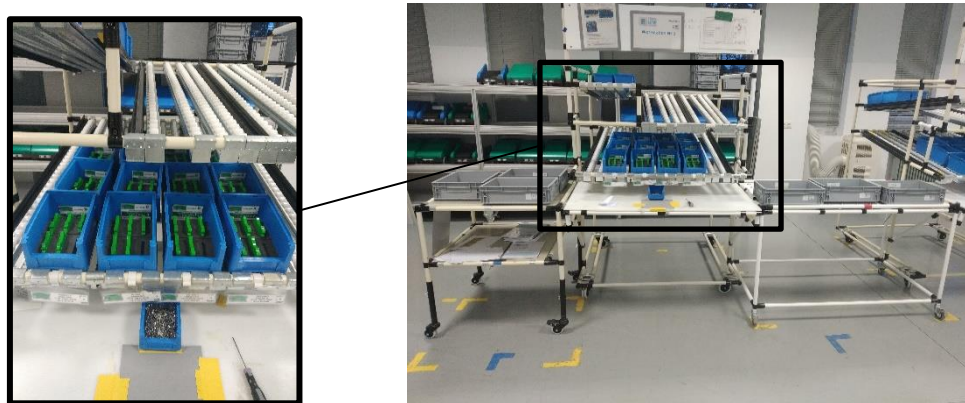


Figura 2.11 Almacenamiento de sectores frente puesto

Las gavetas completas de sectores, así como las vacías, son transportados por los operarios de logística desde los puestos hacia el almacén, y viceversa, con carros habilitados para ello. Así como el suministro de bases, desde el área de mecanizado hacia el puesto P1.

Una vez montada la primera fila, se dispone de una mesa dinámica para realizar la transferencia de Solectrones en desarrollo hacia el siguiente puesto. La mesa cual contiene rodillos para facilitar el deslizamiento entre puestos, con un pequeño empujón por parte del operario la caja se desliza hasta el siguiente puesto.

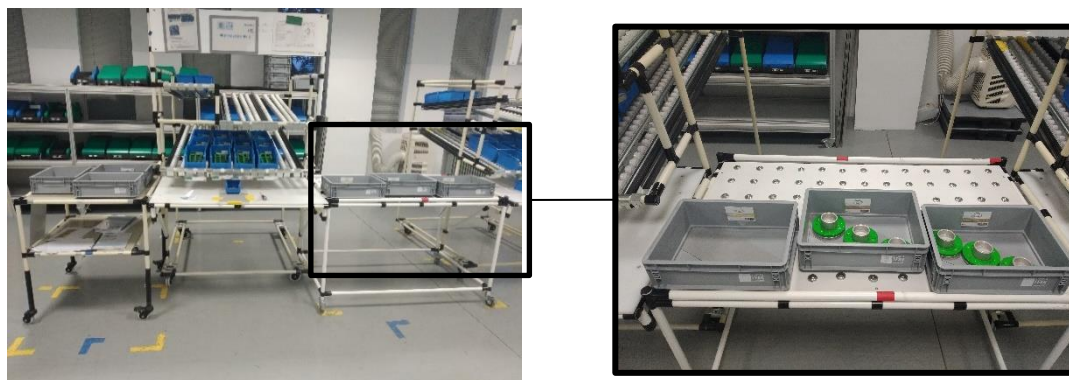
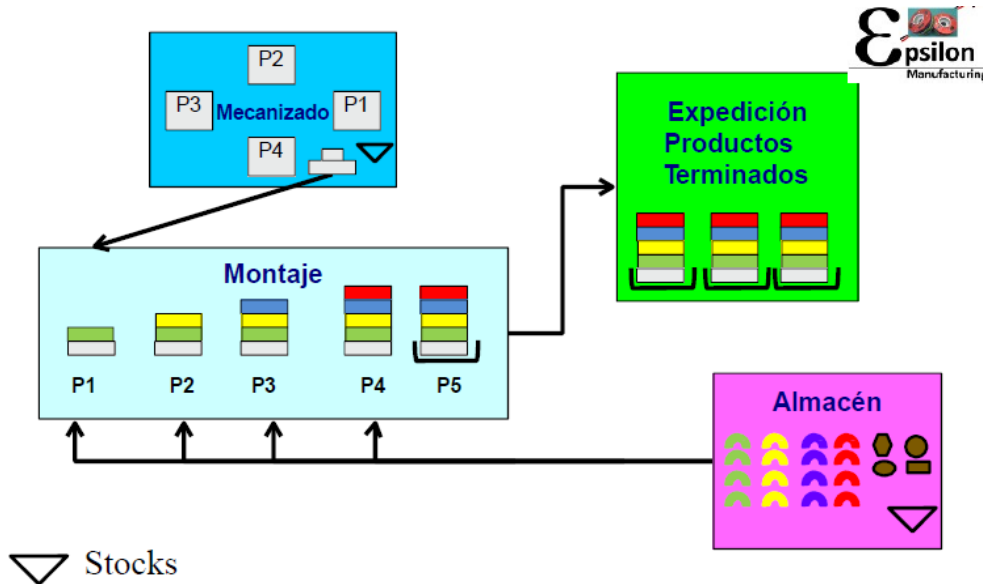


Figura 2.12 Mesa de transferencia entre puestos

En segundo lugar, en el puesto P2, el montaje sería idéntico al montaje del puesto P1, pero se montaría una fila de sectores de color amarillo, junto los insertos correspondientes. A continuación, se montaría la fila de sectores de color azul, en el puesto P3; y la última fila de color amarillo junto sus insertos se monta en el puesto P4. El esquema de la Figura 2.13, muestra la distribución de los componentes del Solectron en los diferentes puestos.



▽ Stocks

Figura 2.13 Producción 1: Proceso de montaje del Solectron (Renault-Nissan Consulting [3])

Por último, en la línea de montaje, se encuentra el puesto P5, el cual engloba las operaciones de calidad, para detectar los posibles defectos procedentes de los puestos anteriores, y la preparación de los lotes de producto terminado. En el caso de que se identifique un defecto por parte del operario, éste procederá a su reparación para la entrega al cliente.

Cada lote está compuesto por una bandeja de dos Solectrones, otra de tres y una de cuatro. Frente al puesto P5, se encuentran las estanterías (Figura 2.14) que contienen bandejas vacías, de los tres tipos necesarios para completar cada lote. Una vez que se ha preparado el lote, es enviado a la expedición de productos terminados, lo que se denomina almacén de piezas en curso en la Figura 2.15, cerrando el flujo de la línea de montaje.



Figura 2.14 Suministro de bandejas vacías frente puesto P5

En paralelo a la línea principal, surgen una segunda línea: la línea de reciclado. Habilidada para el desmontaje de los productos en mal estado procedentes de montaje, para darles una segunda oportunidad.

La línea de reciclado se inicia en el puesto R1, donde se encuentra el Solectron con todos sus componentes en espera para entrar al puesto R2, y finaliza en el puesto R5. En cada puesto se van llenando las gavetas con los sectores, almacenadas en estanterías dinámicas como las descritas en la línea de montaje (Figura 2.11), y a continuación serán dirigidas al lavadero para su reciclaje.

En la siguiente imagen, Figura 2.15, se puede ver la distribución de la escuela Lean para el estudio de la producción 1 del Solectron, ya que para el análisis de cualquier proceso es necesario conocer la distribución de todo el entorno que lo rodea para identificar cualquier muda y solventar los posibles errores.

La línea principal de montaje engloba los puestos P1, P2, P3, P4 y P5; paralela a esta se encuentra la línea de reciclado, desde el puesto R1 hasta el R5; entre ambas circulan los carros de logística, que trasladan las piezas entre departamentos; la zona de lavado; mecanizado; *meeting* área, para exposición y desarrollo de tareas kaizen; el almacén de las piezas en curso, el cual corresponde a la expedición de producto acabado; y otros almacenes.

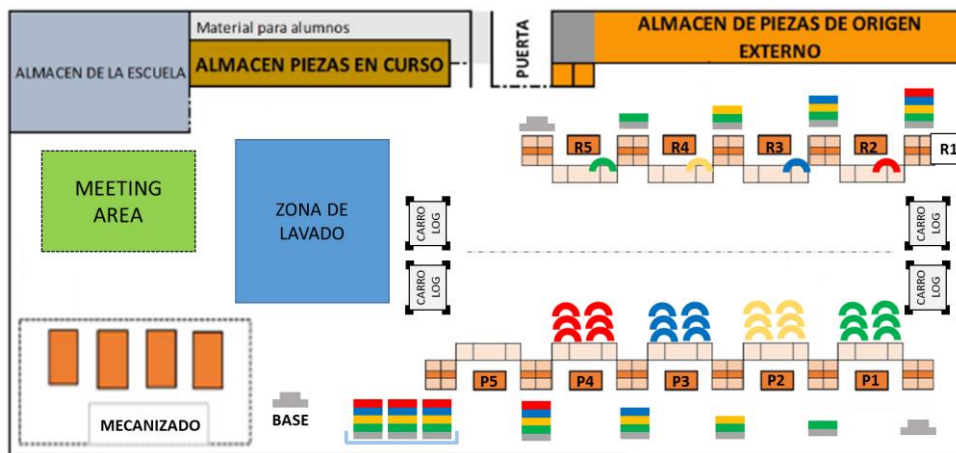


Figura 2.15 Distribución de la Escuela Lean en la Producción 1 (Elaboración propia a partir de [3])

Como soporte a todo lo explicado, se muestra la secuencia del flujo físico entre todas las áreas de la Escuela Lean para completar la producción de un Solectron. De esta manera se puede identificar la relación entre áreas y el flujo de recursos a lo largo de toda la cadena.

Comenzando por el área de mecanizado, llevando las piezas al área de montaje y terminando ese proceso en la expedición de productor terminados. El proceso en paralelo surge de la zona de reciclaje, pasando por las áreas de almacén y lavado, previas a iniciar de nuevo el montaje.

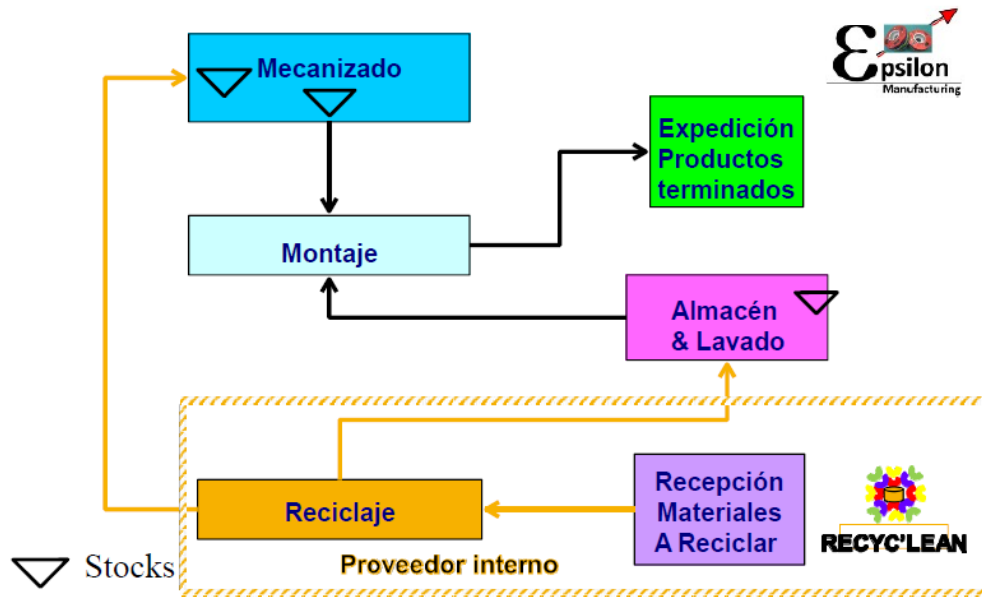


Figura 2.16 Producción 1: Flujo físico (Renault-Nissan Consulting [3])

Hay que destacar, que esta fase de proceso está a mitad camino de la metodología Lean, ya que posee ciertas medidas que se encamina hacia dicho pensamiento, como son:

- Estandarización de cada puesto de trabajo.
- Estanterías dinámicas, aprovechando el efecto de la gravedad y la fuerza del operario para trasladar las piezas sin necesidad de un gasto energético externo. Lo que permite flexibilidad en la disposición de la producción.
- Sistema de tarjetas Kanban, para el suministro de piezas en los puestos de montaje y reciclado.
- Consideración de las 5S en los puestos de trabajo.

Definido el sistema real a estudiar, el siguiente paso es describir el proceso de simulación en un entorno digital. Antes de generar el modelo de simulación, hay que realizar la planificación y recogida de datos del sistema. En el siguiente capítulo se describe las etapas del proceso de simulación, incluyendo todos los elementos y datos en relación con el sistema del montaje del Solectron de la Escuela Lean.

# CAPÍTULO 3.

## MODELIZADO DEL PROCESO





## 3.1. INTRODUCCIÓN

---

Hoy en día las herramientas de simulación están jugando un papel fundamental en el desarrollo e implementación de mejoras en el ámbito productivo y de servicios. Gracias a ellas se puede analizar el comportamiento de sistemas reales en cualquier espacio temporal y fuera de riesgos.

La construcción del modelo de simulación se basa en un proceso de mejora continua, mediante el cual se construye la herramienta que se convertirá en el gemelo del sistema real. Durante su análisis siempre se plantearán nuevas estrategias buscando mejoras en el sistema, con las que se iniciara de nuevo el proceso.

En el presente capítulo se marcan las diferentes etapas que tienen que seguirse para la construcción de cualquier modelo de simulación. En particular, se ha definido el proceso de construcción del modelo de simulación del montaje del Solectron, describiendo toda la información relevante para su desarrollo.

## 3.2. SIMULACIÓN

Según el Guasch *et al.* [20], “La simulación digital es una técnica que permite imitar (o simular) en un ordenador el comportamiento de un sistema real o hipotético según ciertas condiciones particulares de operación. Para analizar, estudiar y mejorar el comportamiento de un sistema mediante las técnicas de simulación digital es necesario primero describir bajo un cierto formalismo el conocimiento que se tiene sobre las dinámicas de interés (modelo conceptual), y luego codificarlo en un entorno de simulación para poder realizar experimentos y analizar resultados”

A través de las herramientas de simulación se analiza el comportamiento de los sistemas reales a partir de elementos computacionales. El proceso se lleva a cabo con modelos de simulación, ya sean lógicos o matemáticos, que representan todo el entorno de estudio (sistemas). A partir de los resultados obtenidos, se contrastarán con la realidad y se realizarán las pruebas oportunas para plantear nuevas estrategias.

Los sistemas representan un conjunto de elementos que mantienen una relación entre ellos, el comportamiento de cada uno de los eslabones del sistema influye directamente en el global. Los sistemas se consideran dinámicos, ante diferentes entradas surgen diferentes salidas, no son predecibles.

Para la definición del sistema se debe restringir su ámbito de estudio imponiendo unos límites, dejando fuera del sistema todo agente externo que no tenga relación con el mismo. Luego, todo elemento que influya o afecte a su comportamiento debe ser incluido en el sistema.

A partir de parámetros representativos del ámbito real, se construirá el modelo de simulación. Elemento simplificado construido a partir del sistema real, y mediante el cual se estudiará el comportamiento de éste. El modelo debe englobar todo aspecto y/o elemento que afecte al sistema, debe ser lo suficientemente detallado para que con la simulación resulten las mismas reacciones.

Como se muestra en la Figura 3.1, en primer lugar, hay que identificar los elementos y precisar las interrelaciones entre todos los posibles ámbitos para dar paso a la definición del modelo de simulación. Durante el desarrollo se debe crear un sistema equivalente al real, pero siempre buscando la simplicidad.

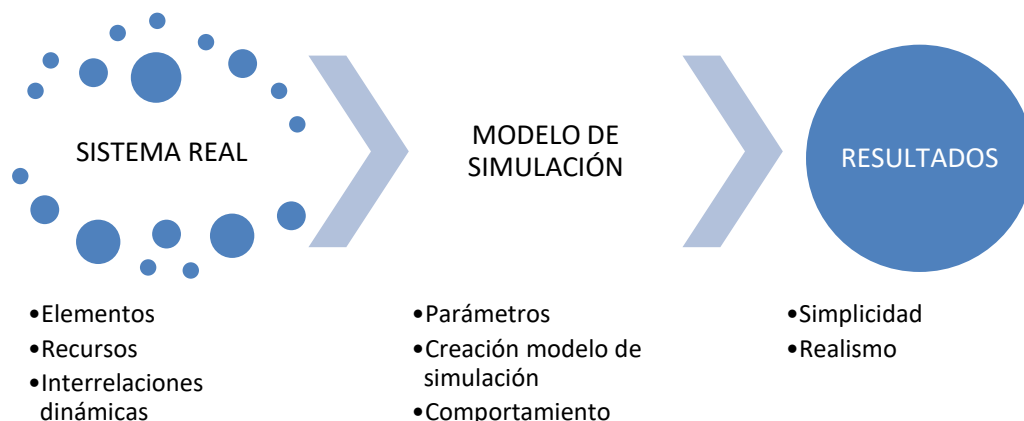


Figura 3.1 Modelo de simulación

Uno de los requisitos en la creación de los modelos de simulación es buscar la simplicidad en el modelo, debe ser lo más sencillo posible, pero buscando cubrir el mínimo nivel de complejidad para alcanzar la totalidad de factores que puedan influir sobre el modelo.

El uso de la simulación de sistemas productivos es de gran utilidad a la hora de identificar problemas, analizar futuras soluciones y su implementación. Entre las ventajas que conlleva el uso de herramientas de simulación computacional se encuentran:

- La generación de modelos con elementos aleatorios es sencilla, y está al alcance de cualquier profesional del ámbito. En oposición con la generación de modelos analíticos, los cuales implican mayor dificultad.
- El uso del modelo no es limitado, se puede utilizar tantas veces como se requiera sin un coste añadido, e incluso se puede reutilizar para el análisis de futuras estrategias con pequeñas modificaciones.
- Permite realizar experimentos en diferentes períodos de tiempo, ya sea en tiempo real, comprimido o expandido.
- La simulación se puede llevar a cabo en diferentes escenarios.
- Se puede utilizar como herramienta de simulación, pero también de aprendizaje.
- Las restricciones son mínimas comparadas con los modelos analíticos.

Pero también, se detectan aspectos negativos respecto al uso de modelos de simulación:

- Requiere un tiempo de aprendizaje para familiarizarse con el software, y así conseguir resultados de calidad.
- Implica tiempo de desarrollo, por lo que puede llegar a ser caro.
- Resulta mucho tiempo computacional.
- Dificultad para alcanzar la exactitud con el sistema real.
- Los resultados pueden llegar a convertirse en un problema, por la dificultad que puede llevar su traducción a la realidad. Y más aún, cuando no se ha realizado la correlación con las medidas reales.

A pesar de las desventajas indicadas, su uso sigue una tendencia exponencial, y su aplicación surge en diversos campos:

- Sistemas de líneas en espera, los cuales son eventos aleatorios difíciles de estudiar analíticamente.
- Sistema de inventarios, con la simulación se pueden definir nuevas metodologías para la gestión de los recursos, ya que los tiempos de entrega, coste y demanda suelen ser de carácter estocástico.
- Sistemas de fabricación, es uno de los sectores en lo que ha sido de gran aceptación su uso, siendo un gran apoyo para la aceptación de nuevas estrategias y su implementación. Entre los sectores a resaltar: automoción, química, logística y alimentaria.
- Industria de servicios, su simulación conlleva mayor complejidad debido al carácter intangible de los agentes implicados, pero su utilización es de gran apoyo para el análisis de centros o sistemas donde existe una gran concurrencia de personas.
- Sistemas de transporte y distribución, el estudio de sistemas de transporte en las diferentes redes existente mediante modelos de simulación resulta de gran utilidad para probar nuevos diseños y estrategias para mejorar la circulación.

Con esto se demuestra, que las líneas de estudio y desarrollo de la simulación computacional es de gran utilidad, y con las nuevas tecnologías y filosofías su aplicación se incrementará exponencialmente.

Con la nueva revolución industrial, la simulación evoluciona a un nivel superior, alcanzando la realidad virtual con la nueva Industria 4.0. Los modelos de simulación adoptan un carácter predictivo a través del flujo continuo y directo de información desde el sistema real. Mediante su análisis, se consigue mejorar el comportamiento, anticipándose a las reacciones negativas del sistema.

### 3.3. CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN

---

Para llevar a cabo el desarrollo de un modelo de simulación, tan sencillo como sea posible y lo suficientemente complejo, se debe ir respetando cada uno de los pasos indicados. Desde la conceptualización, comprendiendo mentalmente el proceso, remarcando cada aspecto relevante para su simulación y recogiendo datos que servirán para la correlación, pasando por el desarrollo del modelo, hasta la fase de análisis y mejora.

La construcción de un modelo de simulación está formada por diferentes fases hasta llegar a conseguir el mejor modelo posibles para plasmar el mismo comportamiento que el sistema real, como se muestra en la Figura 3.2. En primer lugar, se debe plantear cual es el problema por estudiar y realizar un plan para ello, en muchas ocasiones este paso puede convertirse en un plan iterativo hasta definir en concreto el problema a resolver, de la misma manera que la elaboración porque normalmente se realizar teniendo en cuenta las opiniones de diferentes personas en el llamado *kickoff meeting*.

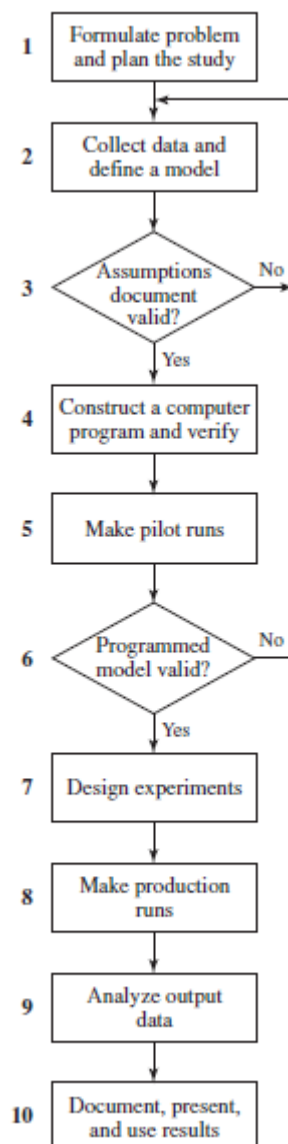


Figura 3.2 Etapas en un estudio de simulación [21]

Definido el tema de estudio, se debe recoger toda la información en relación con el análisis y definir exactamente o que hay que considerar en el modelo computacional. Antes de comenzar con el desarrollo del sistema, se debe confirmación que todas las estimaciones planteadas con válidas y no implicarán errores en la interpretación del comportamiento del sistema.

El siguiente paso será la construcción del modelo en un entorno computacional considerando cada uno de los datos recogidos en el paso anterior, y creando un modelo con el menor número de elementos y con la mínima complejidad posible.

El desarrollo del modelo no se da por finalizado hasta que la lógica del modelo sea verificada, para que no se hayan considerado errores computacionales y se compruebe que el comportamiento del modelo es lógico. Como paso complementario, se realizará la validación del modelo comparando valores teóricos con los valores obtenidos durante la simulación.

Las últimas fases están relacionadas con el análisis del modelo, donde se realizará la experimentación para obtener los resultados del modelo computacional y plantearan las conclusiones correspondientes, finalizando la etapa con la documentación y recopilación de información sobre el análisis.

Asumiendo cada uno de los pasos descritos, se definen cuatro fases que caracterizan el proceso de desarrollo del modelo de simulación, como son:

1. Planificación. Etapa mediante la cual se debe comprender perfectamente el comportamiento del modelo, identificar todos los elementos y recursos implicados y recoger toda la información en relación con cada una de las entidades implicadas en el sistema.
2. Desarrollo. Con los datos resultantes de la planificación se generará un modelo computacional con el mínimo número de elementos y lo sencillo posible que represente fielmente al sistema real, para ello se deberá verificar que su comportamiento sea lógico respecto el sistema real y validar con datos teóricos.
3. Análisis. Se realizará la experimentación con el modelo construido para sacar la información deseada del mismo, jugando con los diferentes factores que pueden variar su comportamiento.
4. Mejora. Después de identificar posibles fallos o simplemente mejoras en el proceso simulado se iniciará el proceso hacia un nuevo modelo modificado

Como muchos de los ciclos de desarrollo de productos y/o servicios, siempre se siguen una secuencia de actividades hacia la mejora continua, tal como representa el ciclo Deming o PDCA, Figura 3.3. Generándose un círculo cerrado donde se diferencia cuatro etapas idénticas a las fases de simulación: planificar (*Plan*), realizar (*Do*), revisar (*Check*) y actuar (*Act*). Una vez que se plantea una mejora, su implementación continuará el mismo proceso que el sistema de referencia, generándose un ciclo continuo.

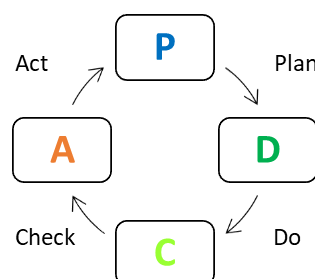


Figura 3.3 Ciclo PDCA o Deming

## 3.4. SIMULACIÓN PROCESO DE MONTAJE DEL SOLECTRON

Durante el desarrollo del modelo de simulación del montaje del Solectron se han seguido las diferentes etapas mencionadas en el apartado 3.3. A continuación, se describen cada una de ellas y todos los recursos implicados en el proceso, los cuales se muestran en la .



Figura 3.4 Fases de simulación

### 3.4.1. Planificación

La planificación es el punto de partida para la construcción del modelo de simulación, es clave para conseguir el objetivo de simulación: obtener un modelo simplificado de la realidad. A partir del cual podremos estudiar su comportamiento a cualquier nivel temporal, y anticiparnos a su reacción.

Durante la planificación es necesario comprender perfectamente el comportamiento del sistema real, para poder descartar todo aspecto que no aporte información y definir el alcance del modelo a desarrollar.

En el caso de estudio, creación del modelo de simulación de la línea de montaje correspondiente a la producción 1, la fase de conceptualización comenzó durante las prácticas realizadas en la Escuela Lean. En las cuales, cada alumno ocupaba un puesto de la producción. De esta manera, se llegó a localizar los puntos de interés claves para el estudio de la línea de montaje.

- Cuatro puestos de montaje y uno, el último, de calidad.
- Zonas de transferencia de piezas entre los puestos P1-P2, P3-P4 y P4-P5.
- Previo al puesto 1, hay una zona de transferencia de recursos, donde se mantienen en espera las bases de los Solectrones.
- Zonas de flujo de material con logística en cada uno de los puestos.

En segundo lugar, es necesario definir el alcance de la información disponible sobre el sistema real en estudio. Para simular lo estrictamente necesario, creando un modelo simplificado con el menor número de elementos.

Para el análisis del módulo de montaje, se desestima el proceso de logística ya que no es objeto de estudio en el presente trabajo, y la simulación en detalle del transporte de materiales fuera de la línea de montaje se puede simular mediante funciones, sin llegar a considerar todos los elementos de transporte englobados en la zona de logística.

Bajo el mismo punto de vista, la zona de mecanizado y la línea de reciclado no aportan información relevante para la caracterización de la línea de montaje. Únicamente flujos de material entre zonas, y su estudio esta fuera del alcance de este trabajo.

Paso a paso se dibuja mentalmente el modelo a construir, de esta manera se van recogiendo toda información necesaria para simular el sistema. Para el estudio de la línea de montaje es muy importante tener clara el número de piezas y la distribución a lo largo de toda la línea. Cada uno de los recursos que se deben incluir en el modelo computacional son:

- Bases, las bases están contenidas en cajas con capacidad de seis elementos, como se muestra en la Figura 3.5. Proceden de la zona de mecanizado, y el número de bases depende de la producción. En la zona de espera, a la entrada de la línea de montaje, se almacenan las bases en un total de tres cajas, para que entre una caja llena de bases tienen que sacar de la zona una vacía.

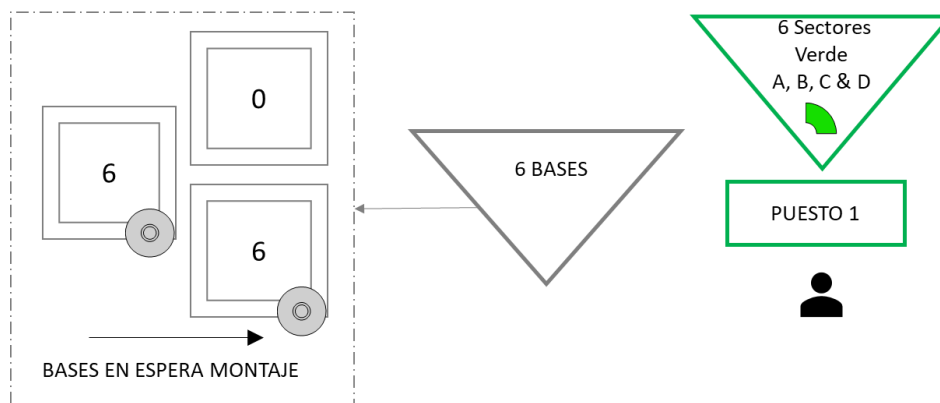


Figura 3.5 Recursos materiales zona previa a puesto P1

- Gavetas, elementos que contienen los sectores a montar sobre las bases del Solectron. Estos elementos están almacenados en seis filas de estanterías dinámicas situadas en frente de cada puesto, con capacidad de 6 gavetas cada una. Las dos primeras filas (de izquierda a derecha frente a puesto) corresponden a las líneas de retorno de gavetas vacías, y el resto alojan a las gavetas con sectores tipo A, B, C y D. El número máximo de gavetas que puede haber en la línea de montaje son noventa y seis, veinticuatro gavetas frente a cada puesto de ensamblado como se muestra en la Figura 3.6.
- Sectores, el número de sectores en la línea pueden presentar tres estados: en espera de ser montados dentro de las gavetas, en proceso de montaje o ensamblados en el Solectron en desarrollo. Cada gaveta contiene seis sectores, y en el Solectron se montan un total de 16 sectores, cuatro de cada color para la fase de estudio.

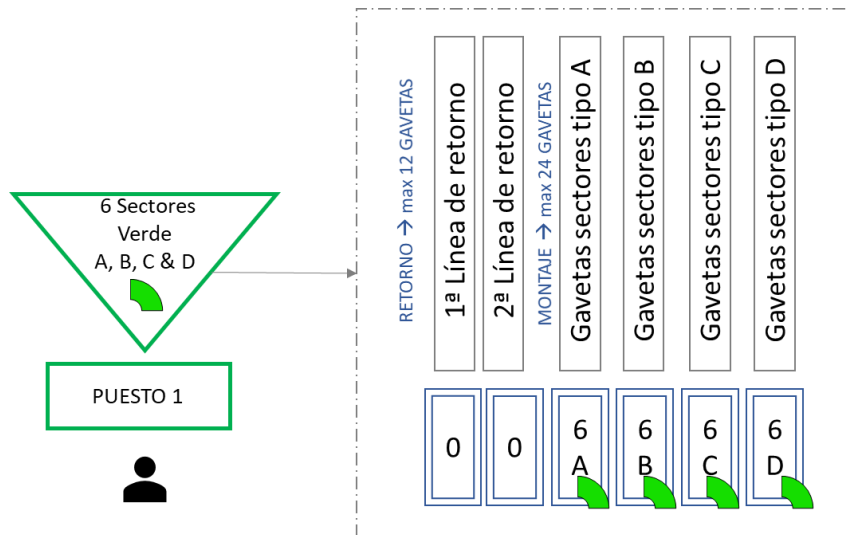


Figura 3.6 Recursos materiales en línea de suministro frente puesto P1

- Insertos, en total ocho insertos son montados en cada Solectron en la producción uno. La identificación del número total de insertos a lo largos de la línea de montaje no es de especial de interés ya que su almacenamiento se hace en pequeñas en el propio puesto. Los puesto P2 y P4 son los que tienen dichas cajas.
- Tornillos, al igual que los insertos la identificación del número de tornillos en cada puesto no es de interés.
- Cajas de transferencia, en las zonas entre puestos hay un área reservada para la transferencia del producto en curso como se muestra en la Figura 3.7. Dichas áreas contienen un total de tres cajas con capacidad con tres Solectrones. La caja se llena en un puesto y se vacía en el siguiente, retornando la caja vacía hacia el puesto anterior.

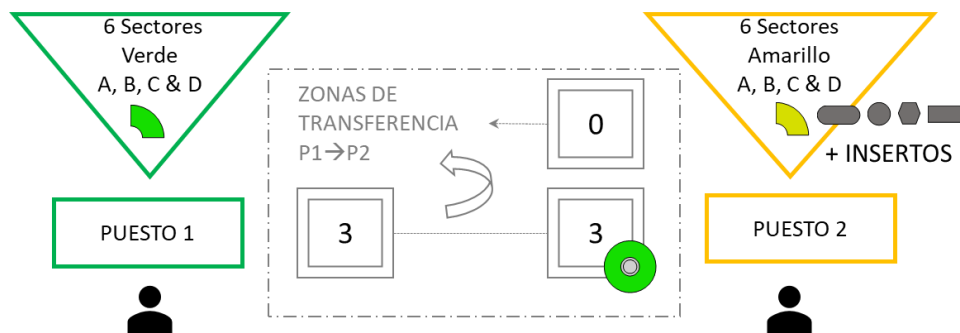


Figura 3.7 Recursos materiales en zona de transferencia entre puestos

- Bandejas, frente al puesto cinco se sitúan un conjunto de estanterías que almacenan bandejas vacías tal como se muestran en la Figura 3.8, con capacidad para cuatro, tres y dos Solectrones. La capacidad de las estanterías es de dos bandejas, independientemente del tipo. El objetivo es llenar tres bandejas de cada tipo, con un total de nueve Solectrones, para formar un pedido y enviarlo al cliente.



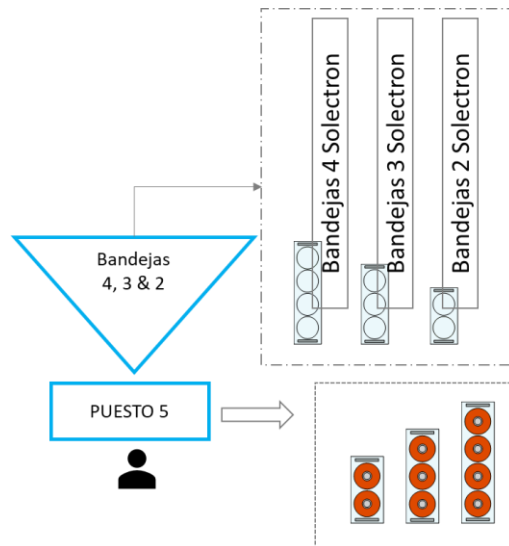


Figura 3.8 Recursos materiales en puesto P5

- Orden, es el objeto que marca el tipo de bandeja a formar, las cuales se irán generando según avanza la producción. Se identificarán tres tipos de órdenes, según el tipo de bandeja.
- Pedido, es la combinación de tres bandejas, una que contiene dos Solectrones, otra de tres y una última de cuatro, en total tres bandejas y nueve Solectrones

Dado que el análisis de tiempos es uno de los objetivos principales del modelo de simulación, el tiempo requerido y el número de operaciones a realizar en cada puesto es fundamental definirlo. En las hojas de operaciones estándar de cada puesto, incluidas en el ANEXO 1, se determina toda operación realizada en cada puesto y tiempo correspondiente. En la siguiente Tabla 3.1 se hace una recopilación de los tiempos considerados en cada operación:

Tabla 3.1 Tiempo en cada operación

OPERACIÓN	TIEMPO (cmin)
Depositar base	5.0
Montaje de un sector	3.8
Montaje de un inserto	2.5
Atornillar sector	12.5
Ajustar inserto	5.0
Intercambiar gavetas llenas y vacías	3.00
Retirar embalajes vacíos	2.00
Depositar Solectron	1.00
Desplazamiento del operario al carro	1.00
Depositar bandeja en el puesto	8.00
Introducir etiqueta	5.00
Operaciones de chequeo	22.0
Dejar un Solectron en la bandeja	5.00
Depositar bandeja en el carro	8.00

Hay operaciones que no se pueden asignar un valor constante como es la reparación del Solectron en caso de que presente fallo en el puesto P5, o la entrada de materia a las líneas de suministro. Para tener en cuenta su relación en el proceso de montaje se han considerado distribuciones estadísticas de tipo normal, teniendo en cuenta un valor mínimo, máximo, medio y desviación. Estimando los valores por la experiencia de las prácticas en la Escuela Lean, los cuales se recogen en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Relación temporal

<b>OPERACIÓN</b>	<b>Tiempo Máximo (cmin)</b>	<b>Tiempo mínimo (cmin)</b>	<b>Tiempo medio (cmin)</b>	<b>Desviación (cmin)</b>
Llegada de las bases en la zona previa al puesto P1	405	295	350	55
Entrada de gavetas en las líneas de suministro de cada puesto	605	495	550	55
Reposición de bandejas vacías en puesto P5	605	495	550	55
Reparación piezas defectuosas en puesto P5	200	10	20	10

Finalmente, se recoge en la Figura 3.9 todas las entidades necesarias definir para el desarrollo del modelo de simulación con el mismo comportamiento que el real.

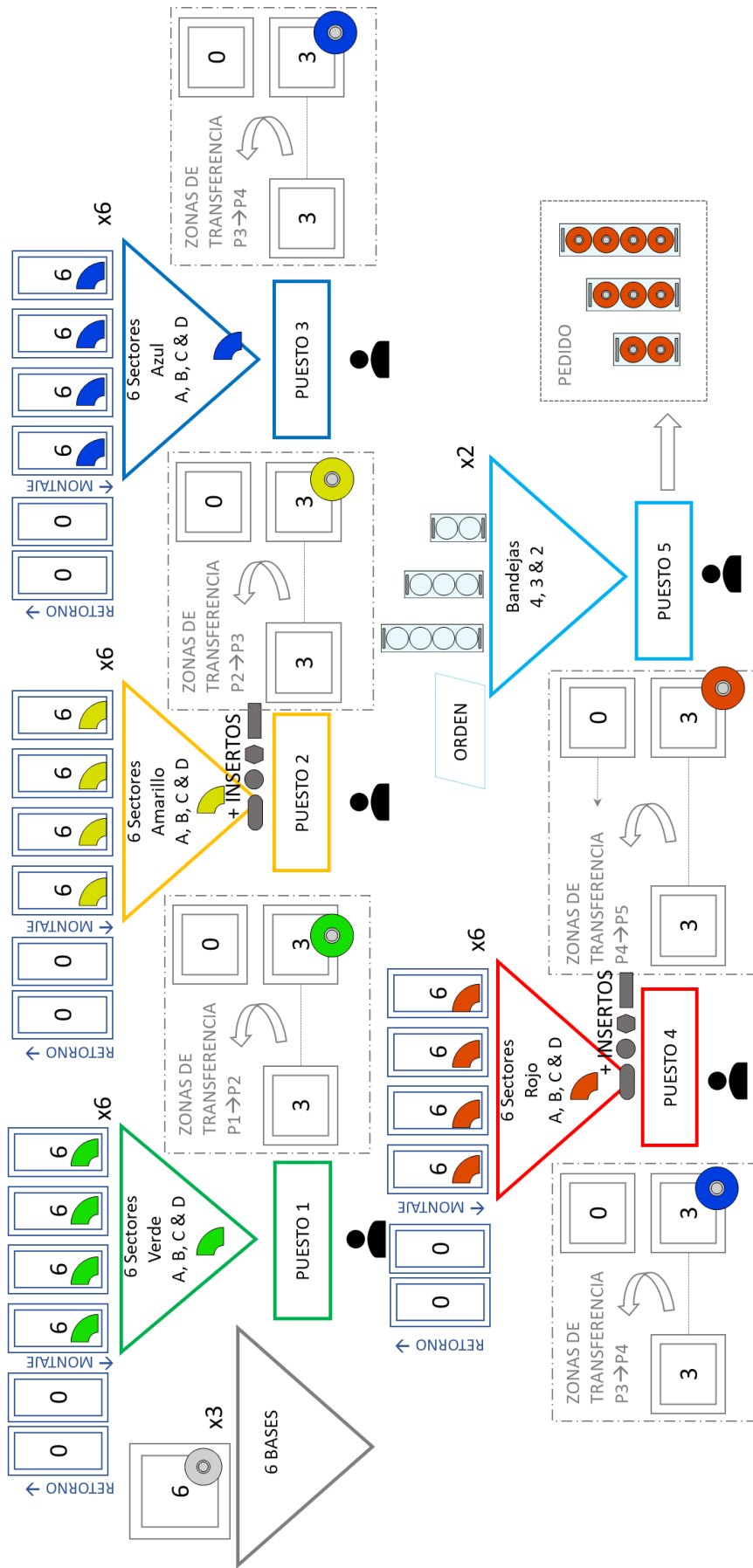


Figura 3.9 Recursos materiales en la línea de montaje

### 3.4.2. Desarrollo

Finalizada la fase de conceptualización, el siguiente paso es la elaboración de un modelo formal, aclarando todas las variables y parámetros necesarios para su construcción. Será preciso establecer todas las funciones y relaciones entre los diferentes elementos que engloban el modelo total. De esta manera el salto al trabajo con el lenguaje de programación será más rápido y optimizado.

En el esquema de la Figura 3.10 se muestra la estructura del modelo de simulación desarrollado para el análisis de la línea de montaje del Solectron. Teniendo en cuenta todos los elementos implicados y la relación entre ellos para el montaje completo de la pieza en estudio.

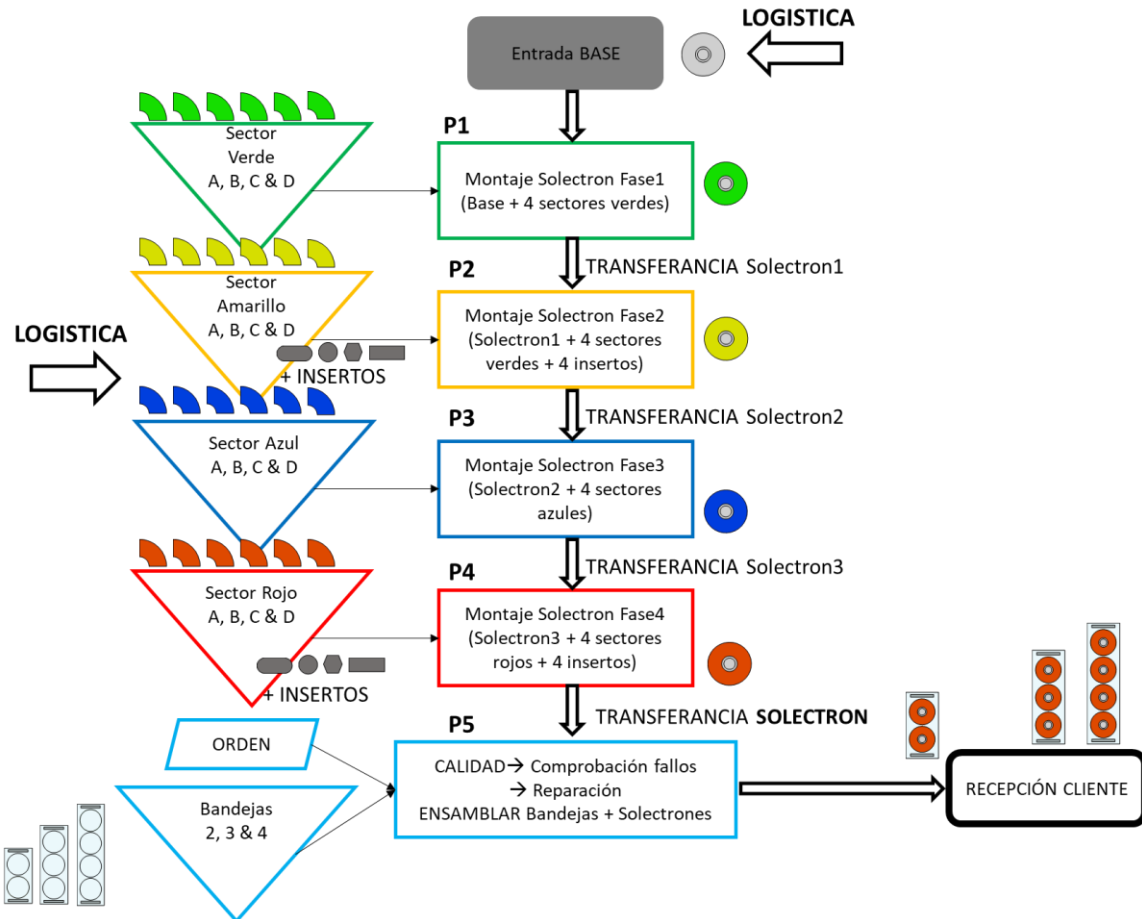


Figura 3.10 Esquema de la línea de montaje

Como se ha mencionado en el apartado anterior, 3.4.1, los elementos de logística, reciclaje y mecanizado se definen en un segundo plano para el estudio del montaje. Por ello, no se realizará la simulación en detalle, y su relación con el módulo de montaje se definirá mediante la entrada de los elementos con una distribución normal, como se ha indicado en la Tabla 3.2.

Otro de los puntos donde se ha partido de una simplificación, es el procesamiento de las piezas con no conformidades en las labores de calidad. El tiempo de procesado depende en qué posición de la etapa de montaje se haya producido el defecto, ya que implicaría el desmontaje para llegar al defecto. Como no es relevante simular esta operación en detalle, se ha estipulado una distribución normal en el tiempo de solución de las faltas cometidas, como se ha definido en la Tabla 3.2.

Definidos toda la estructura, sus elementos y funciones de relación, el último paso es el desarrollo del modelo de simulación. En nuestro caso, se ha utilizado el software de simulación de procesos productivos "WITNESS 13 Manufacturing Performance Edition". A partir del cual resulta un modelo muy visual, en el que se puede estudiar cada operación el comportamiento del modelo fácilmente.

Finalmente, para completar la construcción de cualquier modelo de simulación, es necesario realizar la verificación y validación del modelo. Con la verificación del modelo, comprobamos que el modelo responde ante las funciones que se programaron. A partir del seguimiento de ciertas variables y/o testeando el sentido lógico que debe seguir. Siempre es recomendable que esta tarea la realice una persona distinta al programador.

En el caso del presente trabajo, ha sido el tutor quien ha llevado la verificación del modelo, quien entiende perfectamente el sistema de montaje del Solectron, y conoce el objetivo del trabajo desarrollado.

La última etapa, la validación del modelo, mediante la cual se comprueba que los datos del modelo de simulación son iguales que los medidos en la actividad o comportamiento del sistema real. En nuestro caso, la validación se realizará comparando los tiempos recogidos en las hojas de operaciones estándar de cada puesto. Remarcar, que esta acción puede estar incluida en el análisis, como es nuestro caso. Ya que según se van comparando los resultados del modelo computacional y el experimental, se van obteniendo unos resultados válidos para analizar su comportamiento.

### 3.4.3. Análisis

Validado el modelo, se puede proceder a la experimentación del sistema real. Se asignarán diferentes valores a las variables del sistema, para analizar el sistema desde el ámbito computacional. De esta forma, se estudiará el comportamiento del sistema frente a posibles fluctuaciones.

A través de la experimentación, se obtendrán gráficas, diagramas, comparaciones y los informes finales. Con ello, se establecerán las conclusiones oportunas tras el análisis de toda la información.

### 3.4.4. Implementación y mejora

Tras el análisis de los resultados, se buscarán posibles soluciones para mejorar el sistema llevando a cabo medidas correctoras sobre el modelo de simulación. Una de las ventajas del uso de modelos computacionales, es que se pueden realizar modificaciones sobre el modelo para analizar su comportamiento al aplicar las nuevas medidas o estrategias sobre el sistema.

De esta manera, se reducen las pérdidas económicas que implicaría la implementación de las medidas sobre el modelo real. Trabajar con modelos de simulación, es adelantarse un paso temporal respecto el análisis in situ, ya que prevemos cómo será la reacción del sistema ante una nueva perspectiva o variación.

Definidas las nuevas estrategias y modificaciones a realizar sobre el sistema real, para mejorar el comportamiento o salvar errores durante el proceso en el que se ve implicado, se procederá a su implementación en el sistema real.

En muchas ocasiones, como es el caso de la Escuela Lean, previo a la implementación total. Se llevan a cabo pruebas en un espacio dedicado al entrenamiento y formación relacionados con los sistemas de producción. Donde se instalan las nuevas medidas en un ámbito igual al sistema de estudio, se realizarán las simulaciones necesarias para obtener los resultados positivos y/o negativos de la implementación en el sistema real.

En el caso de estudio, se llevan a cabo la definición de las mejoras que se podrían realizar en el modelo, siendo parte de las líneas futuras del presente trabajo su simulación e implementación.

En el siguiente capítulo se va a definir el entorno de simulación Witness, software de simulación que se utilizará para desarrollar el modelo de simulación del montaje del Solectron. En él se describirán sus características y entidades disponibles en su interfaz para conseguir modelos computacionales equivalentes a cualquier sistema real.



# CAPÍTULO 4. ENTORNO DE SIMULACIÓN WITNESS





## 4.1. INTRODUCCIÓN

---

En el ámbito productivo, uno de los softwares de gran aplicación alrededor del mundo es el software de simulación Witness, del grupo Lanner. A partir del cual se generan combinaciones de elementos, relacionados mediante funciones dinámicas, que plasman el comportamiento del sistema en el ámbito computacional.

Con la nueva revolución industrial, la simulación evoluciona a un nivel superior, alcanzando la realidad virtual con la nueva Industria 4.0. Los modelos de simulación adoptan un carácter predictivo a través del flujo continuo y directo de información desde el sistema real. Mediante su análisis, se consigue mejorar el comportamiento, anticipándose a las reacciones negativas del sistema. El grupo Lanner crece en paralelo al desarrollo industrial, ofreciendo sus herramientas a todas aquellas empresas que estén en la inmersión de la nueva industria.

Witness se ha instalado en muchas empresas e instituciones de diferentes sectores, entre ellas está la Universidad de Valladolid. En asignaturas del ámbito de la producción y gestión se llevan a cabo prácticas con este programa. De esta manera, se aporta a los alumnos formación en uno de los softwares utilizados en empresas como Renault o Michelin.

Por ello, Witness ha sido utilizado para el desarrollo del modelo de simulación del montaje del Solectron, partiendo de la base creada en la asignatura de Dirección de la Producción, se ha creado un modelo muy visual, rápido y flexible, ya que se pueden plantear futuras modificaciones fácilmente para la implementación de nuevas estrategias.

Witness es un software de simulación del grupo Lanner, alcanzando su éxito gracias a la experiencia generada durante décadas en la simulación. Lo que ha llevado a generar un enfoque visual, interactivo e interpretativo sin la necesidad de la compilación.

El grupo Lanner ha expandido su negocio por más de 6000 organizaciones, instalando Witness en empresas de automoción, farmacéuticas, aeroespacial, del ámbito de la electrónica; también en empresas del sector servicios, como bancos, aeropuertos o hospitales. Lo que demuestra el alcance que ha conseguido, sirviendo como proceso de mejora en la organización de muchas empresas [22].

A partir de la simulación con Witness, se permite modelizar, analizar y optimizar cualquier proceso en un ámbito libre de riesgos. Convirtiéndose en una herramienta para la mejora de la productividad, eficiencia y la reducción de costes.

Las principales características del uso e implementación del Witness en cualquier ámbito de aplicación de sistemas productivos son [23].

- Tecnología de simulación rápida, flexible y potente en el mundo de la simulación de sistema productivos o de servicios.
- Permite la creación de modelos con muchas funciones y aplicaciones, consiguiendo resultados muy positivos por la visión dinámica y la simulación libre de riesgos.
- Ayuda a elegir la dirección correcta en el proceso, comparando y optimizando las diferentes opciones planteadas y simuladas en Witness.
- Simulación de elementos discretos y continuos para abarcar la mayor parte de las aplicaciones. Mediante la simulación continua se consigue la representación de sistemas de fluidos a lo largo de tuberías o tanques, llegando hasta interpretar su velocidad en el proceso.
- Posibilidad de trabajar con gráficos en 2D y 3D. Diseñando el propio ámbito de trabajo en 2D, para después desarrollarlo a la visión 3D de amplia calidad llegando a la llamada realidad virtual.
- Conectividad con programas externos, como Microsoft Office, consiguiendo trabajar con una base de datos para la experimentación, estudio o inicialización del modelo.
- No se basa en un sistema complejo de codificación. La lógica del proceso se construye mediante elementos, o pequeños bucles de líneas de comandos. También ofrece la posibilidad de trabajar con otros lenguajes de programación.
- Los resultados se pueden exportar mediante gráficos y diagramas para la correcta comprensión por parte del usuario.

### 4.3. WITNESS DENTRO DE LA INDUSTRIA 4.0

---

Con el cambio que está surgiendo a nivel industrial, el grupo Lanner no se queda atrás, mejorando el software Witness, evolucionando hasta alcanzar una realidad virtual y una conectividad continua entre el mundo real y la simulación.

La tendencia de la industria 4.0 es aumentar la automatización, la inteligencia operativa y la conectividad. Con ello, se alcanzará un mundo digital paralelo a la realidad, mediante el cual podremos anticiparnos al comportamiento del proceso, planificación sin riesgos y alcanzando nuevas experiencias para conseguir un producto mejorado superando la expectativa del cliente.

Curiosamente, el objetivo de la nueva revolución es alcanzado por el software de simulación Witness, en cierta medida. A partir de la simulación conoces la respuesta del sistema anticipadamente, trabajando previamente con información del sistema real, consiguiendo la implementación de nuevas herramientas sin riesgo.

Pero ahora nace un nuevo modelo de simulación, los denominados predictivos, mediante el cual conseguimos un sistema digital idéntico al real, con infinidad de información procedente de éste, con lo que se consigue mayor exactitud de previsión ante variaciones del sistema. De esta manera, se consigue el manejo de sistemas dinámicos complejos, ofreciendo un análisis mejorado y una mayor visualización, alcanzando un mundo virtual.

Witness nos ofrece la inmersión en el mundo virtual con su nueva línea de negocio adaptada a la industria 4.0, ofreciendo al cliente la conexión con el gemelo digital de su sistema productivo. En marzo del 2019, Andrew Aitken jefe de operaciones oficial (COO) de la compañía Lanner, remarcó que la compañía venía trabajando con gemelos digitales mediante la simulación durante más de veinte años, demostrando que la utilización de Witness, junto con otras técnicas de la industria 4.0, pueden aportar mayores beneficios a las organizaciones de las industrias [24].

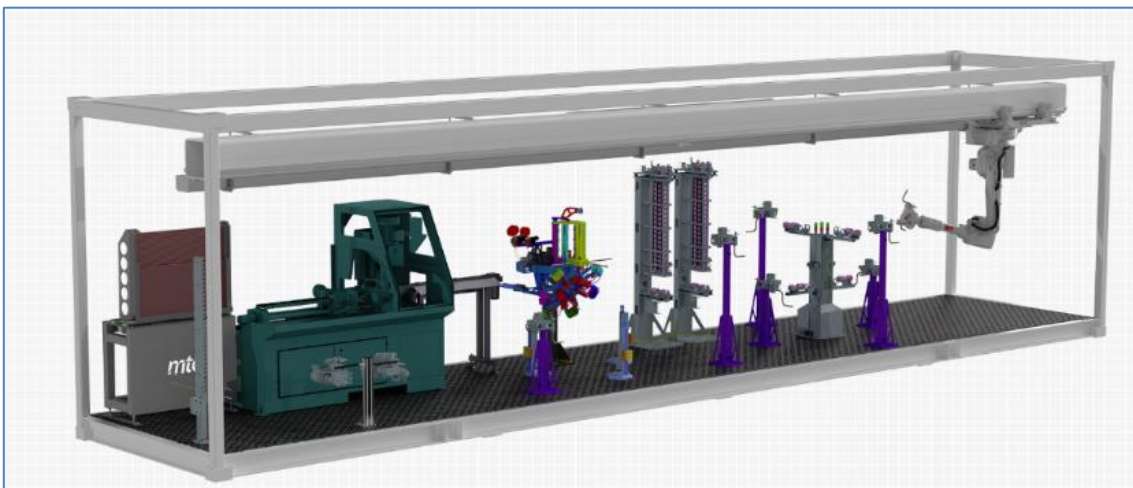


Figura 4.1 Gemelo digital del proyecto FIAB, colaboración del grupo Lanner (propiedad Grupo Lanner)

El grupo Lanner ha trabajado junto con otras compañías creando una fábrica inteligente (SMA, *Smart Model Accelerator*), proyecto denominado FIAB (*Factory in a Box*). Donde se ha probado la conexión real de los sensores del sistema con el modelo digital mediante un sistema de almacenaje digital, utilizándolos para crear un sistema digital idéntico al analizando. Una vez alcanzado un rendimiento específico por parte del gemelo digital, se pueden llegar a construir sistemas de mantenimiento predictivo y optimizar la producción.

## 4.4. ENTORNO DE SIMULACIÓN

La construcción de modelos a partir del software de simulación Witness se base en realizar combinaciones de elementos conectados entre sí por funciones. En la creación, o durante la manipulación de elementos, se les puede asignar diferentes atributos otorgándolos aspectos requeridos para su análisis o relevantes en su comportamiento.

El diseño de la interfaz de Witness es muy intuitivo, y lleva poco tiempo hacerse con el funcionamiento del programa. Su pantalla principal se puede dividir en cuatro bloques principalmente:

- Ventana de simulación (marco amarillo en la Figura 4.2), donde se representarán cada elemento implicado en el proceso, así como valores, textos o diagramas de flujo necesarios para la interpretación visual del sistema real.
- Árbol y asistente del modelo (marco verde en Figura 4.2) elemento que representan los elementos, funciones, atributos y/o gráficos definidos dentro del modelo en el modo de *Element Tree*; y en el modo de asistente, *Model Assistant*, permite la definición de los diferentes eslabones que constituirán el modelo final.
- Ventanas de ejecución y control (marco azul en Figura 4.2) engloba la ventana en la que se imprimen todas las acciones que se realizan en cada instante de tiempo (*Interact Box*), el marcador de tiempo (*Simulation Time*) y el mando de controles para controlar el intervalo de tiempo que requiere la simulación y la velocidad.
- Barra de herramientas (marco en rojo en Figura 4.2) engloba todas la herramientas, funciones y configuraciones de Witness.

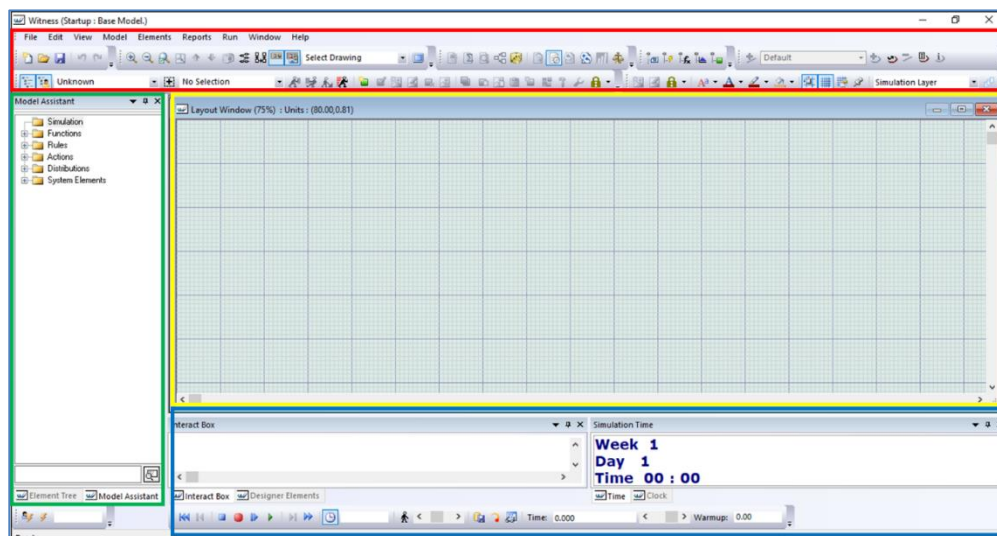


Figura 4.2 Interfaz Witness 13

Antes de generar un modelo en Witness, es necesario conocer el tipo de elementos, funciones, atributos y procesos relevantes dentro de su interfaz, para alcanzar un modelo de simulación eficaz. Para ello, en los siguientes apartados, se definirán los diferentes de elementos físicos y lógicos que presenta Witness (Tabla 4.1, Tabla 4.2 y Figura 4.3), haciendo mayor hincapié en los utilizados para el modelo de simulación, consiguiendo con ello una mejor comprensión de éste.

Tabla 4.1 Elementos físicos de Witness (\*)

ELEMENTOS FÍSICOS	
Elementos discretos	Elementos continuos
<i>Part/Entities</i> (piezas)	<i>Fluids/Items</i> (fluidos)
<i>Buffers/Queues</i> (almacenes)	<i>Tanks/Stores</i> (depósitos)
<i>Machines/Activities</i> (máquinas)	<i>Processors/Process</i> (procesadores)
<i>Conveyors</i> (cintas transportadoras)	<i>Pipes/Stream</i> (tuberías)
<i>Vehicles &amp; Tracks</i> (vehículos y AGVs)	
<i>Power &amp; Free</i> (S.T.Aéreos)	
<i>Labour/Resources</i> (trabajo)	

Tabla 4.2 Elementos lógicos de Witness (\*)

ELEMENTOS LÓGICOS	
<i>Attributes</i> (atributos)	<i>Timeseries</i> (series temporales)
<i>Variables</i> (variables)	<i>Histogram</i> (histograma)
<i>Files</i> (archivos)	<i>Part files</i> (archivos de piezas)
<i>Distributions</i> (distribuciones)	<i>Shifts</i> (turnos)
<i>Functions</i> (funciones)	<i>Pie charts</i> (diagrama de sectores)

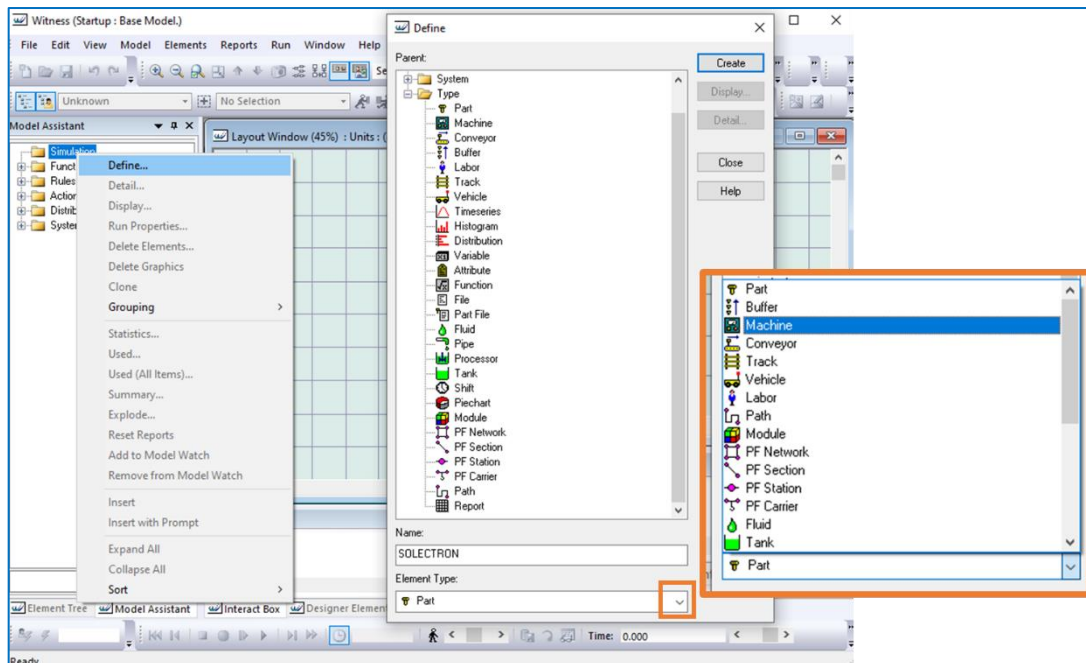


Figura 4.3 Definición elementos de Witness

*(\*) Se adoptará durante el resto de memoria, la aceptación de los nombres de elementos, funciones y otros elementos de Witness como vocabulario general, sin remarcar que es una palabra perteneciente a otro dominio lingüístico.*

#### 4.4.1. Elementos Físicos

##### **Parts**

Son los elementos que recorren el sistema, pueden representar desde un motor hasta una llamada telefónica, o una simple factura. Cada elemento que se simula será un factor de producción, una parte importante para la generación de valor a lo largo del sistema.

Los elementos parts puede visualizarse como un texto descriptivo o mediante un icono. Witness da la facilidad de utilizar cualquiera de su galería, de crearlos o importarlos. La opción de poder utilizar iconos que representan fielmente a la realidad aporta calidad a la simulación. En el caso de estudio, gran parte de los iconos han sido creados e importados al programa asignando un código (número identificativo, ID) a cada uno de ellos, como se adjunta en las tablas ANEXO 3, del apartado “Parts del modelo de simulación”.

Todo elemento definido como part se le puede asignar atributos como peso, dimensión, color o asignarlos un defecto. Así como otorgarles una probabilidad estadística a partir de las distribuciones.

Como ya se ha mencionado, Witness ofrece la posibilidad de simular elementos discretos y continuos, luego en la definición del parts se puede indicar si contiene algún tipo de fluido o si está vacío. Característica de relevancia cuando se trabaja con recursos continuos.

Los elementos parts permiten que sus características se mantengan o que se transformen a lo largo del proceso, se pueden ensamblar junto a otras piezas, dividirse en diferentes componentes o la creación de lotes. También, se pueden definir de carácter pasivo, es necesario la actuación de otros elementos para que circulen por el sistema; o activos, pueden autogenerarse en el sistema y llegar a un elemento determinado.

##### **Buffer**

Los buffers son elementos que almacenan a los parts, los mantienen a la espera de que alguno de los recursos del proceso les llame para continuar el curso de operaciones. Un almacén de materia prima, la cola de espera en una oficina de atención al cliente o un atasco en un sistema de circulación podría simularse mediante un elemento buffer. Las acciones que realizan los elementos Buffer son:

- Los elementos que entran dentro del buffer son organizados con distintos métodos: según el orden de llegada (LIFO, FIFO), por permanencia o prioridad.
- Mantienen a los elementos en espera un determinado tiempo. De esta manera los elementos buffer pueden simularse como hornos, en los que la operación de calentamiento debe mantenerse un intervalo de tiempo determinado.
- También los elementos que salen o entran del buffer pueden mantenerse a la espera, no solamente durante el tiempo de permanencia. Por ejemplo, el producto que sale del horno debe retenerse hasta que su temperatura descienda, con esta opción ambas operaciones pueden realizarse con el elemento tipo buffer.

##### **Machine**

Son elementos de gran importancia en la simulación de cualquier proceso productivo, se ocupan de coger elementos de cualquier parte del sistema, de su procesamiento y el envío a un nuevo destino. Los elementos machines pueden representar desde un puesto en una fábrica hasta una herramienta de mecanizado o un supermercado.

Los elementos machines realizan diferentes acciones sobre los elementos que recorren el modelo, y se pueden tener en cuenta factores como tiempo de ciclo, mantenimiento, fallos, tiempos de

reparación o mantenerse a la espera por diferentes eventos. Existen diferentes tipos, según la acción, etapas durante el procesamiento o número de elementos implicados:

- Máquina tipo *Single*, procesa un único elemento durante un periodo de tiempo.
- Máquina tipo *Batch*, permiten que un número específico de elementos sean tratados en lote. Se puede imponer límites para la entrada de elementos, mediante la entrada "*input batch min*", se especifica el mínimo número de elementos a tratar; y con la opción "*input batch max*", el límite máximo de elementos en el lote.
- Máquina tipo *Assembly*, este tipo de máquinas permiten ensamblar varias piezas, creando una nueva pieza o part, así como unir las a una ya existente.
- Máquina tipo *Production*, máquina que realiza la división del elemento de entrada en diferentes componentes.
- Máquina tipo *General*, procesa un número determinado de partes, resultando el mismo número de partes o diferente. Esto implica, que este tipo de elemento realice las mismas acciones que los elementos machine de tipo *Single*, *Batch*, *Assembly* o *Production*.
- Máquina tipo *Multicycle*, este tipo de máquinas realizan el tratamiento del elemento part en diferentes etapas, en cada una de ellas se completará una determinada operación. Cada ciclo puede tratar con diferentes elementos de entrada y salida, asignando su propio tiempo ejecución y acciones requeridas.
- Máquina tipo *Multistation*, es una máquina que operada con diferentes máquinas unidas entre sí. Este tipo de elementos posee diferentes partes, denominadas "*Stations*", y cada elemento a tratar se puede mover por cada una de las estaciones de las máquinas. Al contrario que las *Multicycle*, no se puede asignar diferentes ciclos en cada "*Station*", pero si un número específico de piezas de entrada y salida en cada una de las partes que forman la máquina.

Se debe resaltar las ventajas que aporta utilizar elementos tipo *Multicycle*.

- Tratamiento de diferentes piezas con destinos diferentes, con este tipo de elemento máquina, en cada ciclo se puede especificar su procedencia y el número de piezas a considerar.
- Ensamblaje de todas las piezas que están en espera, creando una pieza nueva o cambiando el estado de una de las piezas implicadas. Como es el caso de las cajas que transportan los Solectrones, su estado cambia a llena o vacía según el proceso.
- Diferentes tiempos de ciclo según el tipo de pieza a tratar.
- Facilidad de entrada de datos.
- Menor número de elementos que simular, ya que en muchas ocasiones sería equivalente a utilizar tres o cuatro elementos machine.

## **Labor**

Este elemento puede utilizarse para la simulación de seres humano, así como de elementos físicos, máquinas o herramientas, que son requeridos por otros elementos del modelo para realizar una determinada operación de transformación, creación, limpieza, mantenimiento u otras similares.

Controlar este tipo de elementos es muy importante para sincronizar todas las operaciones que en las que debe intervenir. Para su participación en el modelo se utilizan determinados comandos denominados *rules*, y se tiene en cuenta durante su utilización la importancia dada a cada elemento, prioridad, para elegir la secuencia de acciones y disponibilidad del elemento labor.

## **Conveyor**

Elementos que transportan las piezas del modelo desde un punto a otro durante un determinado periodo de tiempo, como por ejemplo una cinta transportadora. Existen dos tipos de conveyors:

- *Fixed conveyor*, respeta la distancia entre los elementos que transporta. Aunque el elemento se pare, la distancia permanece constante.

- *Queuing conveyor*, permite que se acumulen las piezas sin respetar una distancia entre ellos, el estado de bloqueo del conveyor se dará cuando el número de piezas iguale a la capacidad impuesta.

El programa da la posibilidad de definir la capacidad de elementos que puede contener, así como indicar una capacidad máxima, definir una velocidad o generar un retraso.

### **Paths**

Se utiliza para guiar a los elementos parts o labor entre los diferentes recursos del modelo. Se pueden utilizarlos para generar una ruta física, una determinada longitud o distancia entre elementos.

### **Tracks**

Son los caminos que deben seguir los vehículos simulado cuando transportan parts. También, existe la posibilidad de definir puntos donde los vehículos realizarán la carga, descarga o estacionamiento.

### **Vehicles**

Como su nombre indica, simulan los vehículos implicados en el sistema real a simular. Los cuales transportan los elementos entre los diferentes puntos del proceso. Para su definición se pueden tener en cuenta:

- Variedad de destinos y prioridad entre elementos.
- Tiempo para que el vehículo pare al final de una pista, antes de que comience la siguiente.
- Máxima velocidad que puede alcanzar en los elementos tracks.
- Velocidad de carga y descarga.
- Velocidad de aceleración o desaceleración.
- Tiempo empleado en cargar y descargar elementos.

### **Sistemas de transporte**

Existen diferentes elementos para la simulación de sistemas de transporte con una forma y características en concreto, como son:

- *Network*, grupo de sistemas que engloba los elementos *section*, *station* y *carrier*. Se diferencia dos tipos: *Self-powered* y *Section-powered*.
- *Section*, es el camino que debe seguir el operador o *Carrier*, su comportamiento depende del tipo de sección a la que pertenezca.
- *Station*, puntos establecidos al principio o al final de cada elemento *section*, en los cuales se pueden realizar operaciones sobre los transportadores o los elementos que contienen. Hay cuatro tipos según la actividad que se realice sobre el *Carrier*: *Basic station*, *Loading station*, *Unloading station* y *Parking station*.
- *Carrier*, elemento que lleva a cabo el transporte de diferentes entidades a lo largo de los elementos *section* y *station*. Su comportamiento está determinado por el tipo de red, *Network*, al que pertenece. En el caso de redes *Self-powered*, los elementos presentan un carácter activo y se dirigen ellos mismos a las diferentes *sections*. Pero en el caso de redes tipo *Section-powered*, los elementos *carrier* son pasivos, y son impulsados por el sistema.

### **Elementos continuos**

Como se ha mencionado, Witness da la posibilidad de simular procesos con elementos continuos. Para ello se han creado los siguientes elementos:

- *Fluids*, representan los fluidos que recorren el sistema. Witness da la posibilidad de visualizarse en los diferentes bloques, procesadores, tanques y tuberías, con diferentes colores. Y en los mezcladores da la posibilidad de utilizar bandas, en proporción a los fluidos a mezclar.



- Processors, son elementos que realizan algún tipo de operación sobre los fluidos. Este tipo de elemento podría simular un recipiente donde se mezclan y calientan durante un determinado tiempo dos productos.
- Tanks, encargados de almacenar los fluidos durante un determinado tiempo.
- Pipes, elementos a través de los cuales el fluido se transporta desde los diferentes elementos que forman el sistema.

La mayoría de los recursos mencionados tienen características relacionadas con el trabajo de fluidos, como son criterios de limpieza, niveles de llevado y vaciado, entrada y porcentaje de un determinado fluido, así como la salida, mantenimiento y tiempos de reparación.

#### 4.4.2. Elementos lógicos

Los elementos lógicos de Witness representan datos y aspectos informativos sobre el modelo. A partir de estos elementos podemos manejar datos fácilmente, construir lógica complicada para introducir en los modelos y personalizar información.

##### **Attributes**

Este tipo de variables son características de elementos part y labor. Cada atributo puede mantenerse en una variable de tipo entero, real o una cadena de texto. Por ejemplo, en la generación del Solectron se ha asignado el atributo defecto, para aquellas piezas que tengan defecto se le asignara el valor de uno, entonces el tiempo de actividad en el puesto de calidad se verá incrementado.

##### **Variables**

Las variables son valores que influyen en cualquier recurso en el que hayan sido definidas, o pueden verse afectadas por diferentes aspectos del comportamiento del modelo. Por ejemplo, el tiempo de ciclo se puede definir como una variable, la cual cambia dependiendo de las operaciones que tenga que realizarse en un intervalo de tiempo determinado. A partir de la definición de una variable en Witness conseguimos:

- Mantener el valor de un entero, número real, cadena de texto o referencia acorde con la simulación de un determinado elemento.
- Cualquier expresión relacionada con variables, puede igualarse a un valor constante, una distribución de valores u otra variable.
- Su nombre y valor, ya sea constante o variable, puede visualizarse en el entorno de visualización de Witness.

##### **Files**

A partir de los ficheros podemos cargar valores determinados en Witness o exportarlos para utilizarlos en otros programas. Se puede definir un determinado estado en un instante de tiempo determinado, o una simulación en concreto se puede guardar en un fichero externo.

##### **Distributions**

La definición de distribuciones en el modelo permite otorgar variabilidad a los datos que recogen información del mundo real, los cuales no mantienen un valor constante. Las distribuciones pueden ser definidas por el programador con las proporciones deseadas, utilizando un rango de valores reales o enteros, y ser del tipo continuo o discreto.

##### **Functions**

Witness ofrece la posibilidad de utilizar un gran número de funciones que pueden ser utilizadas en la lógica del modelo. Por ejemplo, existen una función, *NPARTS(element\_name)*, que detecta el número de partes que ha entrado en una determinada máquina. Witness también da la posibilidad de crear funciones, incluyendo:

- Funciones de información y de estado, como por ejemplo en el número de elementos que están siendo procesados en un determinado elemento.
- Funciones aleatorias de muestra, por ejemplo, obteniendo un valor de una muestra con una distribución normal.
- Funciones aritméticas y de nombre.

Las funciones, al igual que las variables, pueden ser visualizadas en la interfaz de Witness como una parte del modelo. También pueden ser creadas como elementos y usarse repetidamente en la lógica de la simulación.

### **Part Files**

Son ficheros de datos sobre una lista de elementos, en los que se puede especificar el tamaño de lote, los atributos (color, peso, icono o tamaño) y el tiempo de llegada de los elementos al modelo. Este tipo de fichero puede ser de gran utilidad cuando es necesario gran precisión para definir unas llegadas determinadas.

También está disponible la opción de extraer los elementos part que forman parte del modelo con este tipo de archivos. En ese sentido, pueden utilizarse los mismos elementos en diferentes modelos, ya que la salida de uno se convertirá en la entrada de un segundo modelo. Luego, este tipo de ficheros generan conexiones entre modelos del mismo simulador.

### **Shifts**

Representan los turnos de trabajo, los periodos de trabajo y los de descanso. Estos elementos son asignados a los elementos labor para simular turno de trabajo.

### **Modules**

Un módulo es un conjunto de elementos de Witness, mediante el cual se puede crear un árbol de jerarquía ordenado y clasificado según los criterios del programador. Crear módulos aporta facilidades como la exportación de todo el módulo en un único fichero, con extensión “\*.mod”, protegerlos mediante una contraseña o crear uniones con otros modelos.

## **4.4.3. Reglas, expresiones y acciones sobre los elementos**

### **Rules**

Los elementos creados en el modelo se transfieren entre los diferentes recursos a través de comandos, denominados *rules*. Los tipos de reglas puede ser:

- De entrada (*Input rule*), mediante las cuales se controla el flujo de entrada a los elementos.
- De salida (*Output rule*), incluye la conexión, descarga, vaciado, entrada de vehículos o salida de un buffer.
- Relacionadas con el elemento tipo labor (*Labor rule*), permite especificar el número de trabajadores y qué elementos pueden realizar las tareas en cada uno de los elementos del modelo.

Las reglas son introducidas en el modelo mediante el cuadro de diálogo fácilmente. Pero también pueden ser introducidas en el modelo mediante el editor de reglas.

### **Expressions**

Una de las ventajas de Witness, es la flexibilidad para trabajar con valores introducidos manualmente por el programador. En el momento, que cualquier valor sea requerido a través de una fórmula específica o expresión, Witness da la posibilidad de generarlas.

## Actions

Witness incorpora en su uso la utilización de un lenguaje de programación mediante código, conocido como *Actions*. Es un lenguaje de programación muy similar al lenguaje de programación C, pero incluyendo más lectura de palabras en inglés. Con esta aplicación se genera:

- Interacción entre el modelo y el usuario, por ejemplo, solicitando respuestas específicas en puntos determinados de la simulación.
- Creación de etapas clave en las operaciones de elementos, por ejemplo, visualizar un mensaje cuando el proceso ha acabado.
- Fijar condiciones iniciales.

### 4.4.4. Gráficos y resultados desde Witness

Una de las ventajas del uso de Witness son todos los elementos que se pueden extraer del modelo para poder analizar su comportamiento. Entre ellos podemos destacar:

- Gráficos de sectores, resulta muy práctico en la visualización y comparación de datos como los tiempos de producción frente a los tiempos de descanso, mantenimiento o reparación de las máquinas; las piezas defectuosas frente las entregas a clientes; o el estado de los operarios o cualquier elemento simulado. Witness ofrece diferentes opciones de visualización, para mejorar la apariencia del modelo.
- Histogramas, representan los resultados mediante un diagrama de barras. Permite observar el rango de valores entre los que se encuentra un determinado valor; o al igual que los gráficos de sector para la comparación de información.
- Series de tiempos, permite representar los resultados en un gráfico a lo largo del tiempo, actualizándose según el modelo se está ejecutando. Witness ofrece la opción de simular hasta siete valores simultáneamente, asignado un color diferente a cada parámetro de estudio. Este tipo de elementos son útiles para determinar la tendencia del parámetro de estudio, ya que se determina la media y la desviación a partir del histórico de resultados.
- Informes, incluyen información detallada de cada uno de los recursos que forman parte del modelo, desde el número de elementos en proceso, recursos materiales utilizados, producto final resultante, tiempo operativo o fallos, entre otros parámetros útiles. Por defecto, también se muestra un diagrama de barras de algunos de los funciones o variables del modelo.
- Todos estos elementos son muy fáciles de crear y ayudan a la comprensión y análisis del modelo de simulación. Sin ellos, contabilizar el número de piezas en curso, entrantes o salientes sería más complejo, al tener que crear más variables y expresiones para conseguirlo. Pero como ya se ha mencionado, siempre se buscan un modelo lo más simple posible, simulando el menos número de elementos.



# CAPÍTULO 5. MODELO WITNESS



## 5.1. INTRODUCCIÓN

---

El principal objetivo de este trabajo es el desarrollo del modelo de simulación del montaje del Solectron. A partir del entorno de simulación Witness, se ha generado una combinación mínima de elementos que describe fielmente la línea de montaje del producto. A partir del modelo creado se analizará el desarrollo del producto en cada uno de los puestos de montaje, así como las tareas finales de calidad y de preparación de pedidos para la entrega al cliente.

El modelo de simulación se ha creado en base a la llamada primera producción en la Escuela Lean, en la cual se considera una secuencia de operaciones que conlleva una distribución de colores fija en el Solectron. Secuencia que se define en base a los colores verde, amarillo, azul y rojo.

Para obtener mayores recursos del trabajo realizado, el modelo de estudio se ha generado adoptando diferentes posibilidades mediante la parametrización de ciertos elementos, como, por ejemplo, la parametrización de la configuración de montaje. De esta manera, el modelo tendrá una mayor utilidad y se podrán adoptar otras configuraciones de montaje y alternativas respecto el producto final.

Durante el desarrollo del modelo de simulación se ha buscado la simplicidad, considerando el menor número posible de elementos para representar el modelo real. De esta manera, se evitarán sistemas de elementos complejos que dificulten la definición del modelo, y se reducirán los tiempos de ejecución y análisis del modelo.

El proceso de simulación comienza con la entrada de las bases en una zona habilitada para su almacenaje, al lado del primer puesto de montaje. A continuación, se realizan las operaciones de montaje de los sectores de color verde en el puesto P1, seguido de las piezas asociadas al color amarillo en el puesto P2, a continuando con las azules en el P3 y, por último, las rojas en el P4.

En último lugar, se ha generado el puesto P5 donde, una vez finalizado el montaje del Solectron, se realizarán las tareas de calidad y reparación, para evitar que se entreguen piezas defectuosas al cliente, y la preparación de pedidos.

El modelo de simulación se ha generado adoptando una disposición modular, incluyendo en un mismo módulo todos los elementos en relación con un puesto. De esta manera se facilita el manejo del modelo y su análisis. La estructura del modelo engloba los siguientes módulos:

- INPUT BASE: Entrada de las bases a la línea de montaje.
- PUESTO1: Suministro de sectores, puesto de montaje uno y transferencia entre puesto P1-P2.
- PUESTO2: Suministro de sectores, puesto de montaje dos y transferencia entre puesto P2-P3.
- PUESTO3: Suministro de sectores, puesto de montaje tres y transferencia entre puesto P3-P4.
- PUESTO4: Suministro de sectores, puesto de montaje cuatros y transferencia entre puesto P4-P5.
- GENERACIÓN ÓRDENES: Entrada de las órdenes del cliente hacia el sistema.
- PUESTO5: Suministro de bandeja, puesto de calidad y preparación de pedidos, y entrega al cliente.

A continuación, se describen cada uno de los módulos que forman el modelo de simulación del montaje del Solectron, describiendo los elementos de simulación utilizados, así como la relación con el resto de las entidades simuladas.

También, en las tablas del ANEXO 3, en el apartado “Parts del modelo de simulación”, se recogen todos los elementos *part* que se ven involucrados en el proceso de simulación. Donde se indica el nombre, descripción e icono de visualización de cada elemento. De esta manera, se incluye un pequeño resumen para que el lector reconozca los elementos del modelo, y facilitar la comprensión de este.

## 5.2. INICIO DEL PROCESO

El inicio del proceso de montaje se corresponde con la entrada de las bases del Solectron en una zona previa al puesto P1, área habilitada para su almacenaje. Las bases proceden del área de mecanizado de la Escuela Lean (ver distribución de la Escuela Lean en la Figura 2.15) las cuales llegan en cajas con capacidad de seis bases de aluminio.

El proceso de entrada de las bases al sistema consiste en la importación desde el exterior de cajas llenas con seis bases, a través de las cuales se realiza la transferencia de las bases hasta el puesto uno. Una vez que las cajas están vacías, se mantienen a la espera de que se intercambien por cajas llenas.

En total solo puede haber tres almacenajes en la mesa de entrada, ya sean vacíos o llenos. La caja más próxima al puesto uno, en la parte inferior, será la zona de descarga. Lugar donde se realizará la transferencia de las bases al propio puesto. Las otras dos cajas se mantienen a la espera de ser intercambiadas por cajas llenas o vacías, según el estado en el que se encuentre.

Una vez que las seis bases hayan sido utilizadas en el puesto uno, será el operario de ese puesto el que realice el intercambio de la caja vacía, y acerque una caja llena hasta la posición de descarga, zona morada en la Figura 5.1. El intercambio de las cajas vacías por llenas en las otras dos posiciones, áreas visualizadas en verde en la Figura 5.1, lo realizará el personal de logística, operarios que no han sido incluidos en el modelo de simulación.

En la Figura 5.1 se visualiza la simulación del área de entrada de las bases del Solectron, representando las dos áreas de intercambio de cajas y el área de descarga. El inicio del proceso de simulación se ha simulado mediante el módulo "INPUT\_BASE", el cual agrupa todos los elementos implicados en el proceso de entrada.

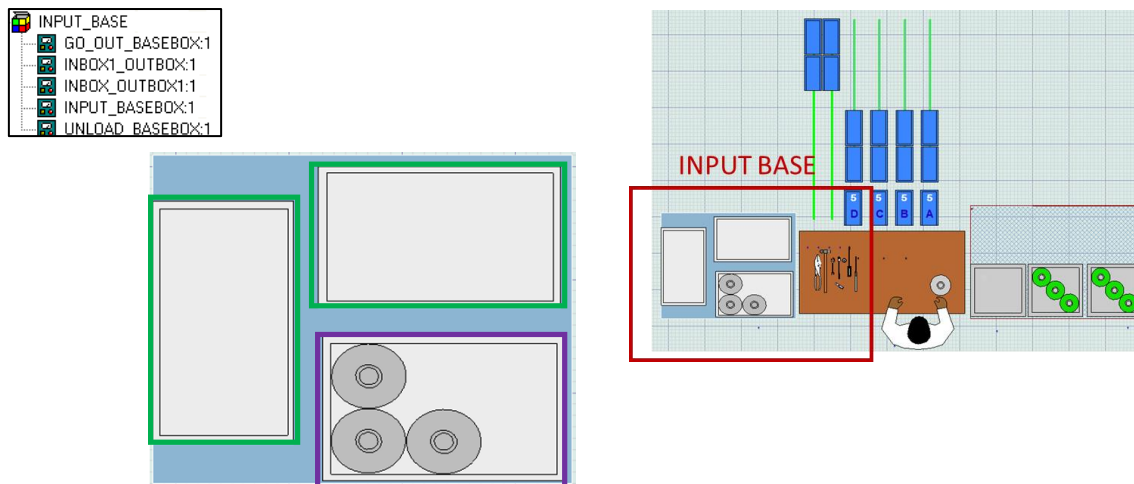


Figura 5.1 Simulación "INPUT\_BASE"

En total, cinco elementos han sido considerados para simular el proceso de entrada de las bases. Como resumen, se ha incluido la Tabla 5.1, la cual incluye una breve descripción de cada elemento, su nombre y tipo de entidad utilizada.



Tabla 5.1 Elementos del módulo "INPUT\_BASE"

NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
INPUT_BASEBOX	Machine, Single	Mantiene en espera las cajas llenas, hasta que las máquinas de intercambio ejecuten la salida de las cajas vacías.
INBOX1_OUTBOX	Machine, Single	Realiza el intercambio de cajas vacías por cajas llenas, o viceversa.
INBOX_OUTBOX1	Machine, Single	Realiza el intercambio de cajas vacías por cajas llenas, o viceversa.
UNLOAD_BASEBOX	Machine, Multicycle	Gestiona la descarga de las bases hacia el puesto.
GO_OUT_BASEBOX	Machine Single	Retiene la caja vacía, hasta que se complete el ciclo de la máquina UNLOAD_BASEBOX.

La relación entre los diferentes elementos se representa en el diagrama de flujo de la Figura 5.2, donde se muestra el proceso que sigue una caja dentro del módulo de inicio. La entrada de las cajas llenas, BASEBOX\_FULL, se realiza por el propio elemento al ser un elemento activo, y mediante el elemento INPUT\_BASEBOX. A continuación, se realiza el intercambio con la caja vacía en cualquiera de las dos máquinas de descarga (INBOX1\_OUTBOX/ INBOX\_OUTBOX1) y se envía la caja llena a la máquina de descarga UNLOAD\_BASEBOX.

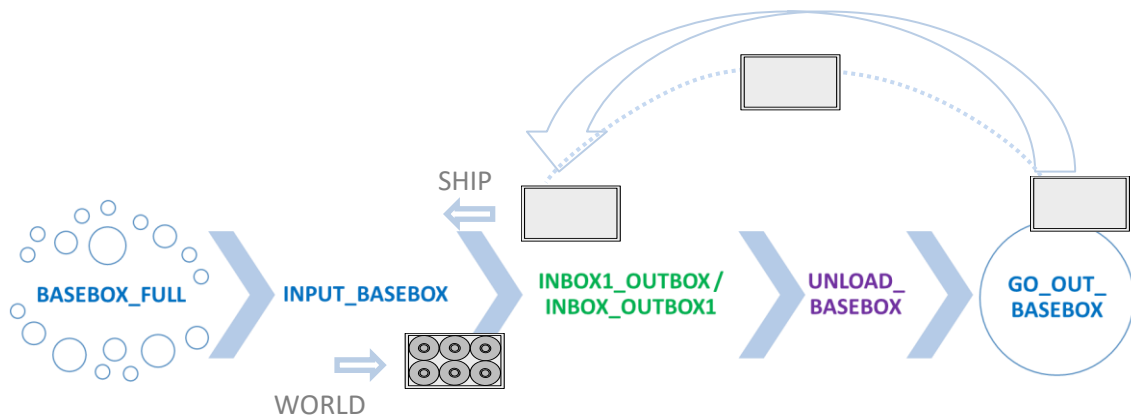


Figura 5.2 Diagrama de flujo: Entrada de la base del Solectron

El elemento GO\_OUT\_BASEBOX enviará la caja vacía a la máquina de intercambio una vez que el ciclo de descarga haya acabado. Elemento que sacará del sistema a la caja vacía para comenzar de nuevo el ciclo.

En los siguientes apartados se describe cada una de las etapas del proceso de entrada de las bases, las cuales son: el suministro de las bases a la línea, el intercambio de las cajas vacías por llenas y la descarga de bases.

### 5.2.1. Suministro de bases

Las cajas llenas de bases, BASEBOX\_FULL, entran en el sistema mediante su propia definición, debido a la asignación de elemento activo. Una vez generadas serán enviadas a la máquina que gestiona su

entrada a las máquinas de intercambio, en el momento que la caja vacía, BASEBOX, abandone el sistema.

En la Figura 5.3 se muestra la definición del elemento BASEBOX\_FULL, así como la regla mediante la cual se gestiona la entrada de la caja en el elemento INPUT\_BASEBOX. En el momento de que una caja vacía se encuentre en espera, en una de las dos máquinas de intercambio, la caja llena será enviada al elemento INPUT\_BASEBOX mediante la acción “PUSH to INPUT\_BASE.INPUT\_BASEBOX”.

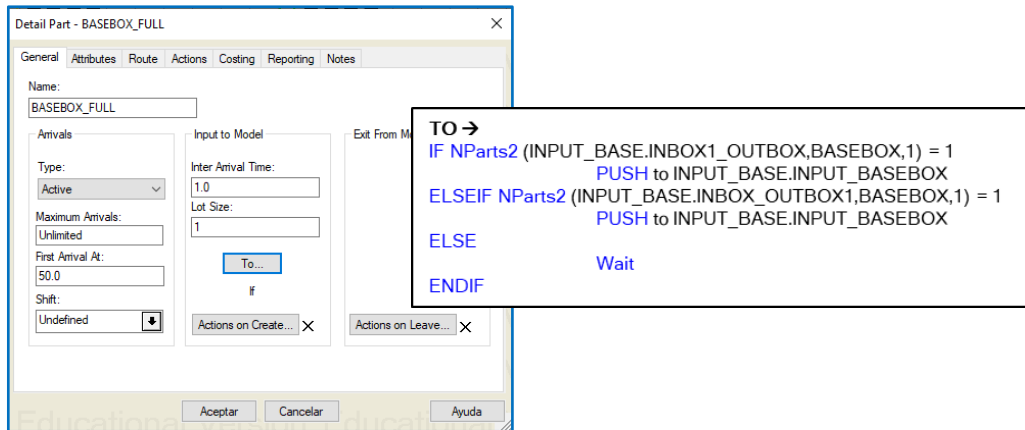


Figura 5.3 Definición BASEBOX\_FULL

A partir de la función **NParts2**, se identifica si en la máquina de intercambio (INBOX1\_OUTBOX o INBOX\_OUTBOX1) contiene una caja vacía (BASEBOX), dando prioridad para recibir cajas llenas al elemento INBOX1\_OUTBOX. Por eso se le menciona en la primera condición del bucle de comandos.

Una vez que la caja BASEBOX\_FULL ha entrada al elemento INPUT\_BASEBOX, se mantiene a la espera de que la caja vacía de una de las máquinas de intercambio salga del sistema para enviarla a la misma máquina. Tal y como se muestra en la Figura 5.4.

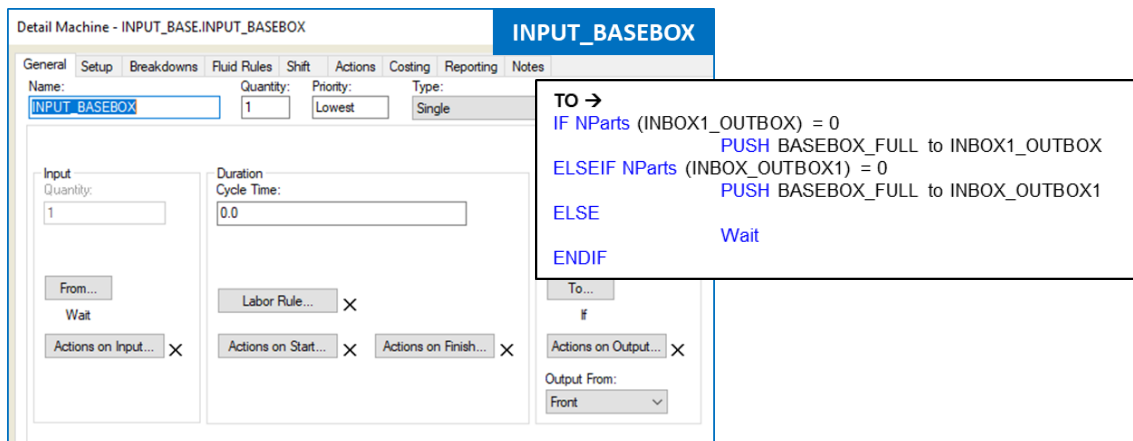


Figura 5.4 Definición INPUT\_BASEBOX

## 5.2.2. Intercambio de cajas

Las dos máquinas de intercambio tienen como función intercambiar las cajas vacías por cajas llenas. Ambas son exactamente iguales, la única diferencia es que a la máquina de intercambio INBOX1\_OUTBOX, se le da mayor prioridad para recibir cajas llenas, y a la máquina INBOX\_OUTBOX1, se le da prioridad ante las cajas vacías.

Para que se realice el intercambio, debe haber una caja vacía en la máquina de intercambio y una caja llena en espera en la máquina INPUT\_BASEBOX. En ese momento se realizará el intercambio de las cajas, enviando la caja vacía fuera del sistema para que entre la caja llena desde el elemento INPUT\_BASE. En la Figura 5.5 se muestra la definición de la máquina de intercambio INBOX1\_OUTBOX.

La definición de la otra máquina de intercambio, INBOX\_OUTBOX1, será exactamente igual, sustituyendo el nombre únicamente.

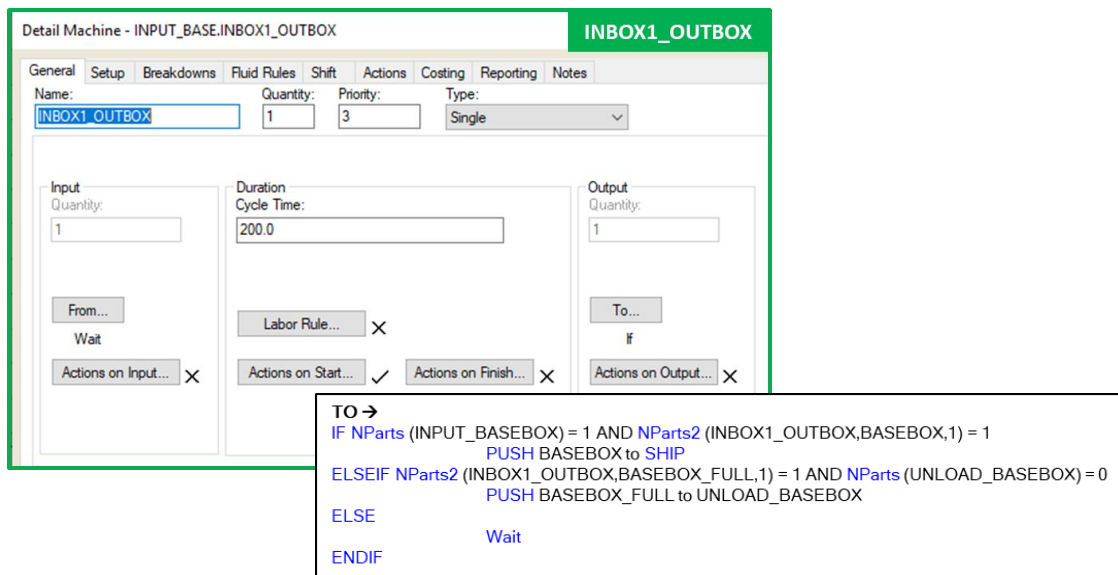


Figura 5.5 Definición INBOX1\_OUTBOX

Una vez que la caja llena ha entrado al elemento se mantiene en espera hasta que la máquina de descarga, UNLOAD\_BASEBOX, no contenga ninguna base, en el momento que haya acabado el ciclo de la máquina de descarga entrará la caja BASEBOX\_FULL.

Mediante la segunda condición de los comandos mostrados en la Figura 5.5, se ejecutará la salida de la caja llena. En primer lugar, la máquina tiene que identificar que contiene una caja llena, y si se cumple dicha condición junto con la de la máquina de descarga, la caja llena será enviada al elemento UNLOAD\_BASEBOX.

### 5.2.3. Descarga de las bases

UNLOAD\_BASEBOX, elemento machine (*multicycle*), el cual realiza siete operaciones en total, siendo el principal objetivo mantener las bases en espera a que sean montadas en el puesto siguiente.

En primer lugar, recibe la caja BASEBOX\_FULL y la transforma en siete componentes, una caja BASEBOX y seis bases. Realiza la misma función que una máquina de tipo *production*, convierte un elemento en diferentes componentes. Por eso la cantidad de elementos al final del primer ciclo es mayor que la cantidad de elementos de entrada, tal y como se muestra en la Figura 5.6, en la celda *Finish of Actions*.

Como acción final del primer ciclo, la caja vacía se envía al elemento GO\_OUT\_BASEBOX, elemento que retiene la caja hasta que el número de elementos en UNLOAD\_BASEBOX es cero. El programa impone la condición de que el primer elemento, el que contiene al resto, sea el primero en salir.

Detail Machine - INPUT\_BASE.UNLOAD\_BASEBOX

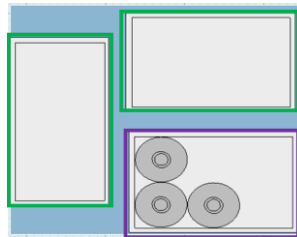
**UNLOAD\_BASEBOX**

General Setup Breakdowns Shift Actions Costing Reporting Notes

Name: UNLOAD\_BASEBOX Quantity: 1 Priority: 3 Type: Multiple Cycle

Inherit Attribute Values

	Cycle name	Input			Duration				Output				
		Quantity	From	Actions on Input	Actions on Start	Labor Rule	Cycle Time	Actions on Finish	Finish Quantity	Output Quantity	To	Actions on Output	Output From
1	PRODUCTION	1	Wait	Y	N	N	1.0	N	7	1	Push	Y	Front
2	UNLOAD1	0	Wait	N	N	Y	0.0	Y	6	1	Wait	Y	Front
3	UNLOAD2	0	Wait	N	N	Y	0.0	N	5	1	Wait	Y	Front
4	UNLOAD3	0	Wait	N	N	Y	0.0	N	4	1	Wait	Y	Front
5	UNLOAD4	0	Wait	N	N	Y	0.0	N	3	1	Wait	Y	Front
6	UNLOAD5	0	Wait	N	N	Y	0.0	N	2	1	Wait	Y	Front
7	UNLOAD6	0	Wait	N	N	Y	0.0	N	1	1	Wait	Y	Front



TO..  
 CYCLE1:PRODUCTION  
 PUSH BASEBOX to GO\_OUT\_BASEBOX

CYCLE2 → CYCLE7  
 WAIT

Figura 5.6 Definición UNLOAD\_BASEBOX

El tiempo de ciclo del primer paso corresponde a la acción de acercar la caja llena de bases al puesto, comprendiendo únicamente una centésima de minuto. Según las hojas estándar de operaciones, el tiempo de intercambiar embalajes llenos y vacío son tres centésimas de minuto, en acercar la caja llena se ha considerada una centésimas y en la retira dos centésimas como se define en el tiempo de ciclo del elemento GO\_OUT\_BASEBOX.

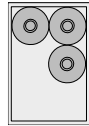
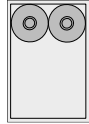
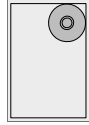

El resto de los ciclos, simplemente, simulan la salida de cada una de las bases, una vez que son retiradas por parte del operario del puesto 1. Las órdenes de salida son interpretadas desde el puesto P1, por eso no se ha considerado el comando *Wait* en cada celda.

El único factor que se modifica en cada ciclo es el número de piezas que salen en cada uno, una base, y los elementos que queda. Con el objetivo de que la visualización de las acciones sea representada correctamente se ha modificado el icono del elemento, el cual se remarca en morada en la Figura 5.6, para que se visualice el número de bases que hay al final de cada ciclo. La siguiente Tabla 5.2 muestra las características de cada ciclo.

Tabla 5.2 UNLOAD\_BASEBOX: Visualización de las operaciones (1/2)

CICLO	Finish Quantity	Output Quantity	Actions on Output	ICONO
1	7	1	SET ICON of UNLOAD_BASEBOX to 267	
2	6	1	ICON = ICONO (16, 1) SET ICON of UNLOAD_BASEBOX to 266	
3	5	1	ICON = ICONO (16, 1) SET ICON of UNLOAD_BASEBOX to 265	

Tabla 5.3 UNLOAD\_BASEBOX: Visualización de las operaciones (2/2)

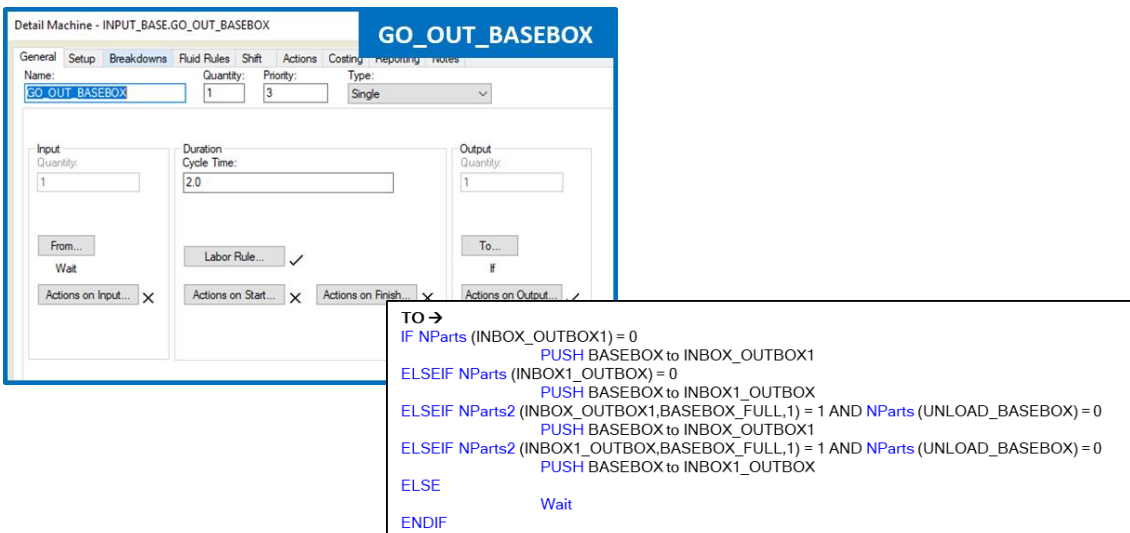
CICLO	Finish Quantity	Output Quantity	Actions on Output	ICONO
4	4	1	ICON = ICONO (16, 1) SET ICON of UNLOAD_BASEBOX to 264	
5	3	1	ICON = ICONO (16, 1) SET ICON of UNLOAD_BASEBOX to 263	
6	2	1	ICON = ICONO (16, 1) SET ICON of UNLOAD_BASEBOX to 262	
7	1	1	ICON = ICONO (16, 1) SET ICON of UNLOAD_BASEBOX to 114	

Una vez que se completan todos los ciclos del elemento UNLOAD\_BASEBOX, el proceso de descarga de las bases hacia el puesto se ha completado. Entrando una nueva caja llena de bases, en el caso de que esté a la espera.

### 5.2.4. Salidas de embalajes vacíos

En el primer ciclo de la máquina UNLOAD\_BASEBOX, la caja BASEBOX sale del elemento para entrar en el elemento GO\_OUT\_BASEBOX. Elemento que retiene la caja hasta que el número de piezas en la máquina de descarga sea cero.

GO\_OUT\_BASEBOX, es un elemento *machine single*, que envía la caja BASEBOX a una de las dos máquinas de intercambio, en el momento que el número de componentes dentro de la máquina de descarga sea cero, regla impuesto en la celda TO (Figura 5.7).



```

TO ->
IF NParts (INBOX_OUTBOX1) = 0
    PUSH BASEBOX to INBOX_OUTBOX1
ELSEIF NParts (INBOX1_OUTBOX) = 0
    PUSH BASEBOX to INBOX1_OUTBOX
ELSEIF NParts2 (INBOX_OUTBOX1,BASEBOX_FULL,1) = 1 AND NParts (UNLOAD_BASEBOX) = 0
    PUSH BASEBOX to INBOX_OUTBOX1
ELSEIF NParts2 (INBOX1_OUTBOX,BASEBOX_FULL,1) = 1 AND NParts (UNLOAD_BASEBOX) = 0
    PUSH BASEBOX to INBOX1_OUTBOX
ELSE
    Wait
ENDIF
    
```

Figura 5.7 Definición GO\_OUT\_BASEBOX

La caja vacía será enviada en el momento que la máquina no contenga ningún elemento, pero también se identifica que en las máquinas de intercambio estén vacías, en primer lugar, o que contengan una caja llena para poder realizarse el intercambio. Dando prioridad a la máquina de descarga INBOX\_OUTBOX2, tal y como se muestra en el bucle de comandos de la Figura 5.7.

El tiempo de ciclo impuesto, es el correspondiente a retirar los embalajes vacíos, tal y como se ha indicado en el apartado anterior, Descarga de las bases. Dos centésimas de segundo que empleará el operario en sacar la caja vacía.

Respecto a la visualización, se ha omitido asignar un icono a este elemento, ya que su misión es retenerlo únicamente. Es algo ficticio, que es necesario considerar por las características de los elementos *machine production*.

Una vez que la caja vacía sale del elemento retenedor, GO\_OUT\_BASEBOX, y entra en una de las dos máquinas de intercambio se inicia nuevamente un nuevo ciclo de intercambio de cajas vacías con llenas, tal y como se ha mostrado en el diagrama de la Figura 5.2.

## 5.3. PUESTO DE MONTAJE

El proceso de montaje implica tres elementos comunes por cada puesto: suministro, puesto y transferencia. Tal y como se indica en la Figura 5.8:

- Suministro al puesto, recepción de los elementos a montar y retirada de embalajes vacío. Elemento de conexión entre las tareas de logística y puesto.
- Puesto, desarrollo de las operaciones propias de montaje del Solectron.
- Transferencia, área donde se realiza la transferencia del Solectron en desarrollo hacia el puesto siguiente.

Los mismos elementos y operaciones son comunes en cada puesto de montaje como se muestra en la Figura 5.8. Por ello, solo se procederá a explicar la simulación del puesto P1, el resto de los puestos tendrán exactamente los mismos componentes.

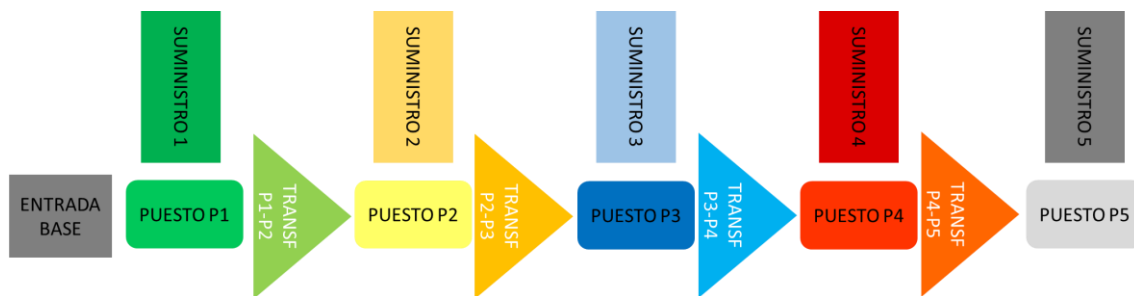


Figura 5.8 Diagrama del modelo de montaje del Solectron

Al puesto P1 le llegan las piezas a montar, los sectores, desde el suministro situado en frente del puesto, y las bases desde la zona previa, donde se almacenan las bases (INPUT\_BASES). A la derecha de cada puesto hay una zona de transferencia, donde se trasfiere el Solectron en desarrollo hasta el siguiente puesto. Tal y como muestra la Figura 5.9.

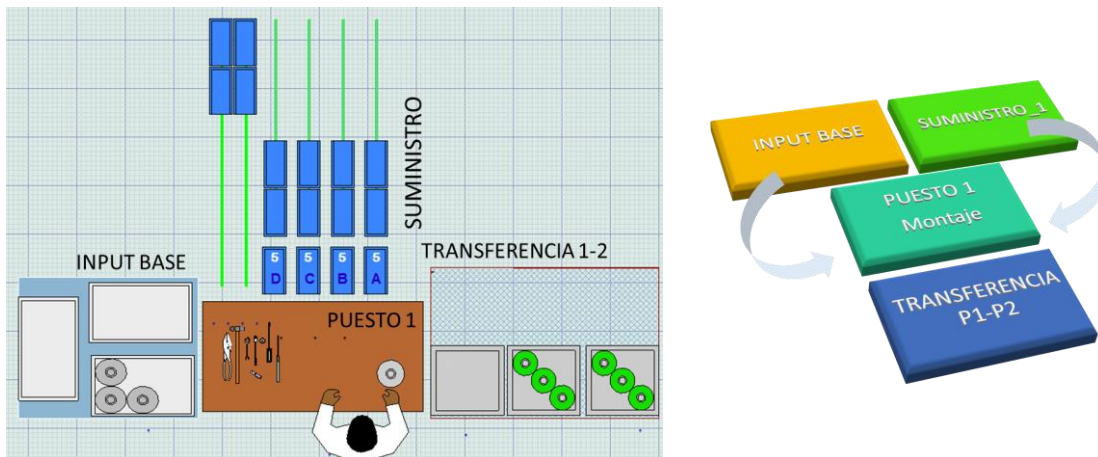


Figura 5.9 Definición Puesto P1

En el caso de los puestos P2, P3 y P4, la zona de transferencia previa al puesto se convierte en la entrada. Es decir, la zona de transferencia P1-P2, es la entrada al puesto P2, y la misma metodología para el resto.

### 5.3.1. Suministro puesto

El suministro de cada puesto tiene la misión del transporte y almacenar las gavetas con los sectores hacia el puesto. A través de las líneas de suministro se simula el flujo de materia desde el área de logística al puesto de montaje, y viceversa.

El tipo de sectores a proporcionar en cada puesto depende de la distribución del montaje del Solectron, en el caso de la primera fase de producción. En el puesto P1, se suministran los sectores verdes; en el puesto P2, los sectores amarillos; en el puesto P3, los azules; y en el puesto P5, los rojos. En todos ellos llegarán los cuatro tipos de sectores (A, B, C & D).

La llamada del tipo de sector en cada puesto está parametrizada a través de la variable "T\_PART", luego en el caso de que se modifique la configuración de montaje se realizará sin problema el suministro con la nueva referencia de las piezas a montar. Modificando únicamente las variables a través del fichero de parametrización, se simulará perfectamente cualquier configuración lógica del proceso.

Todos los elementos considerados para simular el suministro frente al puesto están incluidos en un módulo, llamado SUMINISTRO\_1 para el puesto P1. El cual engloba seis elementos en total, los cuales están mostradas en la Figura 5.10. Su misión es suministrar las piezas necesarias al propio puesto de montaje y sacar del sistema las gavetas vacías.

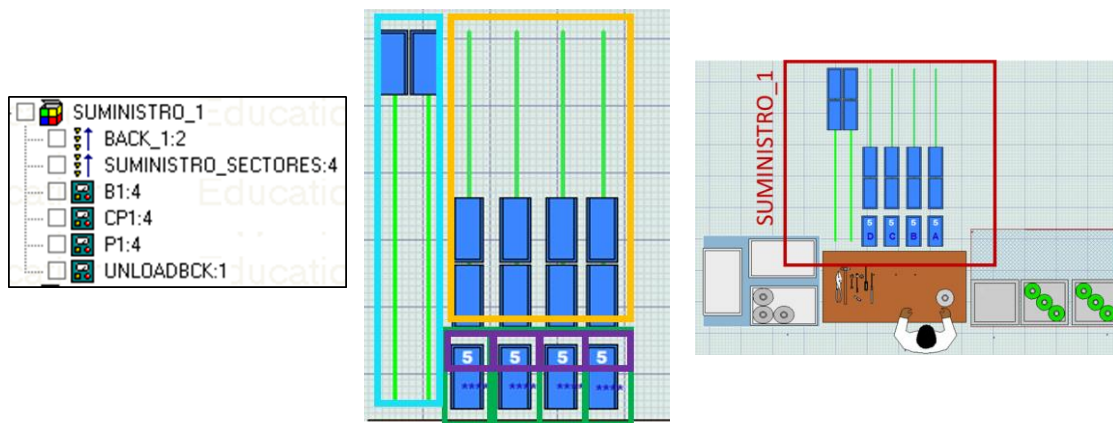


Figura 5.10 Simulación "SUMINISTRO\_1"

El módulo de suministro realiza dos tareas fundamentalmente, proporcionar al puesto de montaje los sectores y/o insertos necesarios a través de los elementos CP1, SUMINISTRO\_SECTORES y P1; y sacar las gavetas vacías, de retorno hacia el exterior mediante los elementos B1, BACK\_1 y UNLOADBCK. El siguiente diagrama, Figura 5.11, muestra el orden de participación en el proceso.

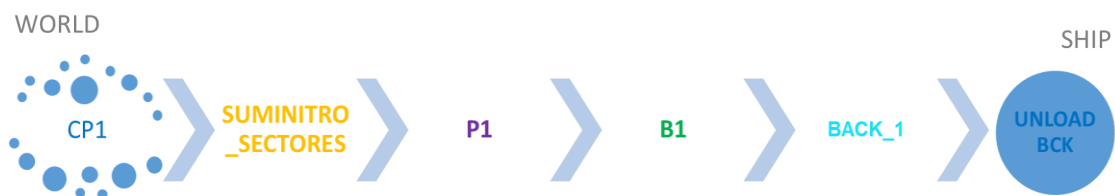


Figura 5.11 SUMINISTRO\_1: Diagrama de flujo

El nombre, la función de cada una de los elementos considerados y el tipo de elemento que es están incluidos en la siguiente Tabla 5.4



Tabla 5.4 Elementos del módulo "SUMINISTRO\_1"

NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
CP1	Machine, Assembly	Máquina que coge una gaveta y la llena de sectores desde el exterior (WORLD).
SUMINISTRO_SECTORES	Buffer	Almacena las gavetas llenas, hasta que seas necesaria en el propio puesto.
P1	Machine, Multicycle	Se mantiene a la espera de que el operario coja los sectores para el montaje.
B1	Machine Single	Máquina que retiene la gaveta vacía, hasta que P1 vacía todos los elementos que contiene.
BACK_1	Buffer	Almacena las gavetas vacías.
UNLOADBCK	Machine, Batch	Selecciona doce gavetas vacías y las expulsa fuera del modelo (SHIP).

### Llegada de materia al puesto

En primer lugar, se precisa de un elemento que coja una gaveta y la llene con seis sectores, elemento CP1. Elemento que se ha simulado mediante una máquina, tipo *Assembly*. El cual selecciona del mundo una gaveta y la asociada con seis sectores.

En total se considerarán un total de cuatro máquinas, una por cada línea de suministro. El flujo de materia requiere cuatro entradas diferentes, una por cada tipo de sector. Por eso, se han considerado cuatro elementos CP1.

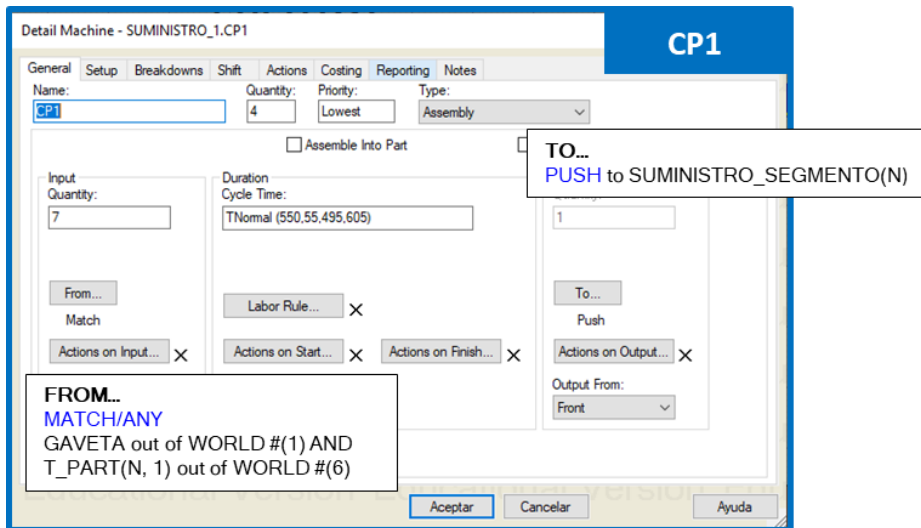


Figura 5.12 Definición CP1

La asociación de las siete piezas se ejecuta mediante la regla **MATCH/ANY** en la celda de la procedencia, Figura 5.12. La particularidad que tiene es que a los sectores se les llama mediante la variable de parametrización **T\_PART(N,1)**. La cual almacena las cuatro primeras filas de la primera columna de la matriz: **SEC\_Av, SEC\_Bv, SEC\_Cv, SEC\_Dv**.

Con la variable **N**, se asociada cada elemento CP1 a una de las cuatro primeras filas de la variable. Es decir, el sector **SEC\_Av**, primera componente de la variable "**T\_PART**", entra en el primer elemento CP1(1).

El tiempo de ciclo de cada elemento CP1 es definido mediante una función de probabilidad normal, la cual ha sido impuesto un tiempo máximo de 605 cmin y un mínimo de 495 cmin. En la Figura 5.12, se puede ver la definición del tiempo de ciclo mediante la distribución normal.

Una vez que la gaveta entra llena de sectores al sistema, es enviada al buffer SUMINISTRO\_SECTORES, a través de la orden de salida, en la celda TO: PUSH to SUMINISTRO\_SECTORES(N). Al igual que las máquinas CP1, el buffer SUMINISTRO\_SEGMENTS tendrá un total de cuatro elementos, uno por cada tipo de sector en el caso de la producción uno.

Para completar el ciclo de llegada de las piezas al puesto de montaje, tiene que entrar la gaveta en la máquina P1, máquina de suministro directo al puesto. La cual mantiene a los sectores a la espera de que sean requeridos para el montaje.

	Cycle name	Input			Duration			Output					
		Quantity	From	Actions on Input	Actions on Start	Labor Rule	Cycle Time	Actions on Finish	Finish Quantity	Output Quantity	To	Actions on Output	Output From
1	Cycle number 1	1	If	N	N	Y	0.0	N	7	1	Push	N	Front
2	New Cycle	0	Wait	N	N	N	0.0	Y	6	1	Wait	N	Front
3	New Cycle	0	Wait	N	N	N	0.0	N	5	1	Wait	N	Front
4	New Cycle	0	Wait	N	N	N	0.0	N	4	1	Wait	N	Front
5	New Cycle	0	Wait	N	N	N	0.0	N	3	1	Wait	N	Front
6	New Cycle	0	Wait	N	N	N	0.0	N	2	1	Wait	N	Front
7	New Cycle	0	Wait	N	N	N	0.0	N	1	1	Wait	N	Front
8	New Cycle	0	Wait	N	N	N	0.0	N	0		Wait	N	Front

Figura 5.13 Definición P1

Si siguiendo la misma metodología que los elementos precedentes, CP1 y SUMINISTRO\_SECTORES, es necesario que el número de elementos P1 sean cuatro. Para gestionar la espera de cada tipo de sector frente al puesto.

En primer lugar, la máquina P1 tiene que gestionar la salida de la gaveta vacía, como condición del software Witness, ya que es el elemento que contiene al resto, . Por ello, el primer ciclo divide la gaveta llena de sectores en siete componentes, la gaveta y los seis sectores. Y al final del primer ciclo, envía la gaveta vacía al elemento B1.

El resto de los ciclos, mantienen a la espera cada sector, modificándose el número total de sectores finales en cada ciclo según abandonan la máquina. La actividad de los elementos P1 finalizará cuando el número de elementos sea nulo.

En la Figura 5.14, se puede ver la visualización de las máquinas P1. Cada elemento ha sido representado con la letra identificativa del tipo de sector que almacena según las expresiones:

- Visualización P1(4): `RightStr (LeftStr (T_PART (4, 1),5),1) → D`
- Visualización P1(3): `RightStr (LeftStr (T_PART (3, 1),5),1) → C`
- Visualización P1(1): `RightStr (LeftStr (T_PART (2, 1),5),1) → B`
- Visualización P1(1): `RightStr (LeftStr (T_PART (1, 1),5),1) → A`

Con la función `LeftStr (T_PART (4, 1),5)` almacena los cinco caracteres empezando desde la izquierda (`LeftStr (T_PART (4, 1),5)=SEC_A`). Y como se desea representar el tipo de Solectron, en el caso de la primera gaveta será "A", se utiliza la expresión `RightStr (LeftStr (T_PART (4, 1),5),1)`. Representado el último carácter desde la derecha de la cadena de texto "SEC\_A".

Para la fase uno, el orden de visualización será de izquierda a derecha: D, C, B & A. Como muestra la siguiente Figura 5.14. También se visualiza el número de sectores que hay disponibles en cada gaveta, en el instante representado en la Figura 5.14 hay un total de cinco sectores disponibles.

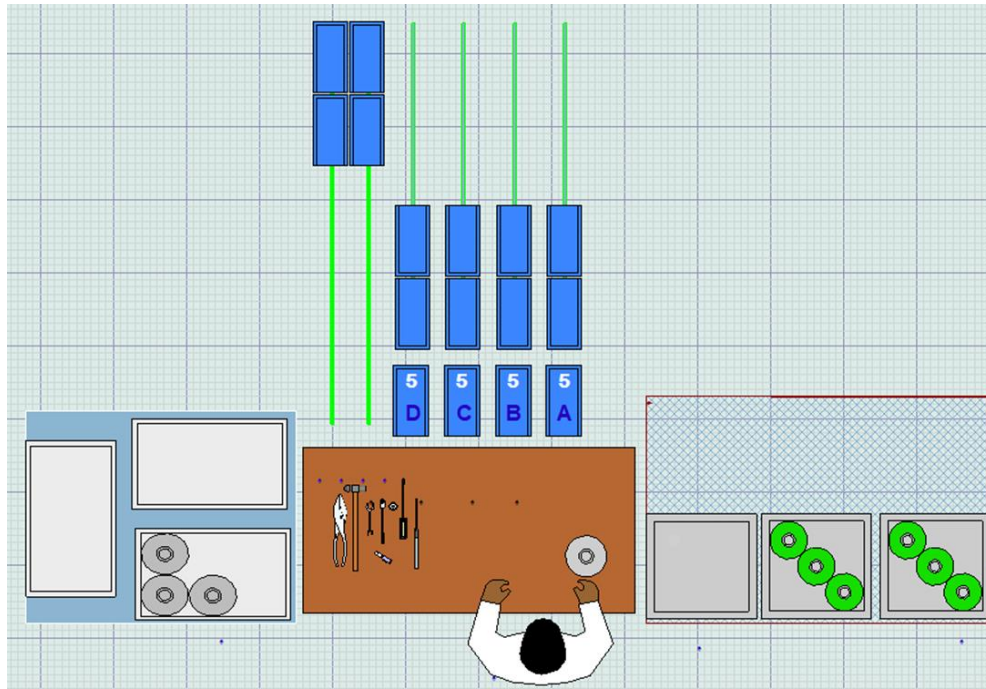


Figura 5.14 Visualización elemento P1

### Salida de gavetas vacías

Las gavetas vacías inician el ciclo de retorno al exterior una vez que entran en el elemento P1, las cuales son enviadas directamente al elemento retenedor B1. El cual mantiene a la espera a la gaveta hasta que todas las operaciones en P1 han finalizado, momento en que la gaveta es liberada y almacenada en el buffer BACK\_1. Finalmente, la máquina UNLOADBCK seleccionada doce gavetas vacías y las elimina del sistema. El siguiente diagrama, Figura 5.15, muestra el recorrido que realizan las gavetas vacías en el modelo desarrollado.



Figura 5.15 SUMINISTRO\_1: Diagrama de flujo

El elemento retenedor B1, tiene el objetivo de alojar a la gaveta vacía hasta que se complete el ciclo de operaciones en P1. Una vez completado, la gaveta es enviada a uno de los dos buffers, BACK\_1, según el número de piezas que tenga cada uno. Para ello se ha impuesto el siguiente bucle de comandos en la celda de salida del buffer, TO:

```

IF NParts (P1(N)) < 1
  IF NParts (BACK_1(1)) < 6 AND NParts (BACK_1(1)) < NParts (BACK_1(2))
    PUSH GAVETA to BACK_1(1)
  ELSEIF NParts (BACK_1(2)) < 6
    PUSH GAVETA to BACK_1(2)
  ENDIF
ELSE
  Wait
ENDIF

```

El tiempo de ciclo impuesto es el total de intercambiar gavetas vacías y llenas, un total de tres centésimas de minuto. Para ejecutar esta acción es requerido mano de obra por parte de un operario.

Siguiendo la misma definición que el resto de los elementos del módulo de suministro de piezas, cuatro elementos B1 deben ser considerados, para almacenar las gavetas de cada línea de suministro.

Las gavetas vacías llegan a los almacenes, BACK\_1, desde el elemento B1. Repartiéndose equitativamente entre los dos elementos buffer que simulan las líneas de retorno de las gavetas hacia logística. En total, un total de seis gavetas pueden ser almacenadas en cada línea.

En el momento que las dos líneas de retorno de las gavetas vacías, BACK\_1, están completas, el elemento UNLOADBCK las agrupará y las expulsará del sistema. Utilizando la regla MATCH/ANY, en la casilla de entrada, FROM:

**MATCH/ANY** GAVETA out of BACK\_1(1) #(6) AND BACK\_1(2) #(6)

Una vez agrupadas, serán expulsadas del sistema mediante la regla **PUSH** to SHIP.

En este punto se completa el ciclo de suministro al puesto, proceso que se inicia automáticamente según la llega de piezas desde la zona de logística, frecuencia definida a partir del tiempo de ciclo de la máquina CP1 (Figura 5.12).

### 5.3.2. Puesto

El puesto de montaje, PUESTO1 señalado en la Figura 5.16, es el elemento que ejecuta cada una de las operaciones definidas por el usuario para llevar a cabo el montaje del Solectron. Como ya se ha mencionado, la definición del ciclo de montaje de un puesto es igual que el resto de puesto, gracias a las variables de parametrización definidas en el modelo, basta con modificar una de las componentes la variable para definir los elementos de entrada en cada puesto.

En primer lugar, se ejecuta la entrada de la base y/o Solectron en el primer ciclo, y, a continuación, llegan los sectores desde las líneas de suministro del puesto. Una vez que lleguen dos elementos a montar se ejecutará el ensamblaje. Todas las acciones realizadas en cada puesto requieren la mano de obra del operario, luego, para el puesto uno se llamará al OPERARIO1 para que realice las operaciones definidas en dicho elemento.

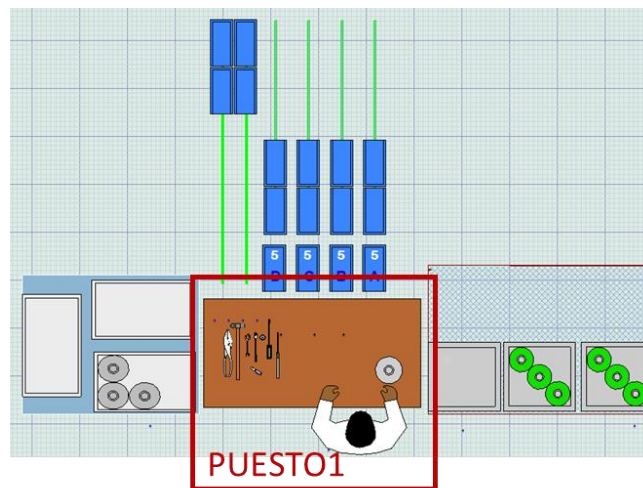


Figura 5.16 Simulación PUESTO1

Para facilitar la simulación del montaje, se han utilizado elementos máquina *multicycle*, definiendo cada operación posible en un ciclo. En total se han definido un total de trece ciclos como se pueden ver en la Figura 5.17. Puede realizarse un total de 9 entradas, y cuatro operaciones de ensamblaje como máximo.

General Setup Breakdowns Shift Actions Costing Reporting Notes														
Name: PUESTO1											<b>PUESTO1</b>			
Quantity: 1											Priority: 2			
Type: Multiple Cycle														
<input checked="" type="checkbox"/> Inherit Attribute Values														
	Cycle name	Input					Duration			Output				
		Quantity	From	Actions on Input	Actions on Start	Labor Rule	Cycle Time	Actions on Finish	Finish Quantity	Output Quantity	To	Actions on Output	Output From	
1	BASE/SOLECTRON	1	Pull	Y	N	Y	T_CICLO(3, 1)	N	1					
2	PART1	N_PART(1, 1)	If	Y	N	Y	T_CICLO(4, 1)	N	1 + N_PART(1, 1)	0	Wait	N	Front	
3	PART2	N_PART(2, 1)	If	Y	N	Y	T_CICLO(5, 1)	N	1 + N_PART(1, 1) + N_PART(2, 1)	0	Wait	N	Front	
4	ASSEMBLED	0	Wait	N	N	Y	T_CICLO(6, 1) * SKILL_VARIABLE(1)	Y	1	0	Wait	N	Front	
5	PART3	N_PART(3, 1)	If	Y	N	Y	T_CICLO(7, 1)	N	1 + N_PART(3, 1)	0	Wait	N	Front	
6	PART4	N_PART(4, 1)	If	Y	N	Y	T_CICLO(8, 1)	N	1 + N_PART(3, 1) + N_PART(4, 1)	0	Wait	N	Front	
7	ASSEMBLED	0	Wait	N	N	Y	T_CICLO(9, 1) * SKILL_VARIABLE(1)	Y	1	0	Wait	N	Front	
8	PART4	N_PART(5, 1)	If	Y	N	Y	T_CICLO(10, 1)	N	1 + N_PART(5, 1)	0	Wait	N	Front	
9	PART6	N_PART(6, 1)	If	Y	N	Y	T_CICLO(11, 1)	N	1 + N_PART(5, 1) + N_PART(6, 1)	0	Wait	N	Front	
10	ASSEMBLED	0	Wait	N	N	Y	T_CICLO(12, 1) * SKILL_VARIABLE(1)	Y	1	0	Wait	N	Front	
11	PART7	N_PART(7, 1)	If	Y	N	Y	T_CICLO(13, 1)	N	1 + N_PART(7, 1)	0	Wait	N	Front	
12	PART8	N_PART(8, 1)	If	Y	N	Y	T_CICLO(14, 1)	N	1 + N_PART(7, 1) + N_PART(8, 1)	0	Wait	N	Front	
13	ASSEMBLED	0	Wait	N	N	Y	T_CICLO(15, 1) * SKILL_VARIABLE(1)	Y	1		If	Y	Front	

Figura 5.17 Definición PUESTO1

En el primer ciclo, se cogerá la base, o Solectron en desarrollo, de la zona de transferencia anterior y lo depositará en el puesto el operario que corresponda, considerando un tiempo de cinco centésimas de minuto. Tiempo empleado por el operario en desplazarse a por la base y depositarla en la mesa de trabajo. Operación que es ejecutada a partir de la entrada *FROM*, mediante la regla:

**PULL** from BASE out of INPUT\_BASE.UNLOAD\_BASEBOX

Las dos operaciones consecutivas consisten en montar las dos piezas, definidas en la variable *T\_PART* (2,1) y *T\_PART* (3,1), sobre la base. Empleando el tiempo de montaje indicado en las componentes *T\_CICLO* (4,1) y *T\_PART* (5,1). Para ejecutar la entrada de las piezas a montar, se ha generado el siguiente bucle de comando en la celda de entrada, *FROM*.

```

IF N_PART (1, 1) = 1
  IF Leftists (T_PART (1, 1),3) = "SEC"
    PULL from SUMINISTRO_1.P1(1)
  ELSE
    PULL from T_PART (1, 1) out of WORLD
  ENDIF
ELSE
  Wait
ENDIF

```

A partir del bucle anterior se indica la procedencia de las piezas a montar, en el caso de que la pieza a montar sea un sector, se trae la pieza desde la línea de suministro uno para el primer sector a montar. En caso contrario, si la pieza a montar es un INSERTO, su procedencia es el mundo, *WORLD*. Ya que no es necesario simular con exactitud el número de insertos disponibles debido a su tamaño principalmente.

Este bucle de comandos se repite en las tarjetas *FROM* para cada ciclo llamado "PARTi", modificando únicamente la posición de la fila (primera componente de las variables *T\_PART* () y *N\_PART* ()). La segunda componente de las variables hace referencia al puesto, la cual se modificará para la definición del resto de puestos.

Una vez montadas las piezas, se ha considerado como cuarto ciclo la operación de atornillar los sectores a la base o ajustar los insertos en los sectores, dependiendo de las piezas montadas en las dos operaciones anteriores. A partir de esta operación se ensamblan las tres piezas en un único elemento, considerando el tiempo de ciclo *T\_PART* (6,1)

Este proceso se repite tres veces, cambiando únicamente las componentes de las variables en las respectivas casillas, hasta completar todos los ciclos. Finalizando el proceso, se genera el Solectron01 (**CHANGE** ALL to PUESTO1.SOLECTRON01) para el caso del puesto uno.

El Solectron01 es un elemento part que representa el conjunto de la base con una fila de sectores. De esta manera, se puede contabilizar el número de sectores en curso, así como el de bases. En el puesto P2, se creará el Solectron02 y en el tercer puesto Solectron03.

Una vez realizadas todas las operaciones definidas en el puesto, el Solectron en desarrollo se depositará en un embalaje, llamado LOAD\_BOX, situado en la zona de transferencia. Para poder sacar el Solectron debe estar la caja disponible. Lo que se traduce en que la caja esté vacía o que el número de piezas sea inferior a cuatro (contado con el embalaje). En el caso de que no se pueda almacenar, su salida se mantendrá a la espera mediante las siguientes reglas:



```

IF      NParts2      (TRANSFERENCIA_1.LOAD_BOX,BOX,1)      =      1      AND      NParts
(TRANSFERENCIA_1.LOAD_BOX) <= 4
      PUSH to TRANSFERENCIA_1.LOAD_BOX
ELSE
      Wait
ENDIF

```

Durante el desarrollo del proceso, se ha jugado con la visualizando del montaje de los sectores en la base, modificando los comandos según la distribución de colores. Por ejemplo, para el caso de la fase uno, se visualizará el montaje de la fila de sectores verdes. En el ciclo cuatro se visualizará la base con dos sectores montados, y en el ciclo siete la fila de sectores verdes completas. Considerando los comandos incluidos en la Tabla 5.5, en la tarjeta de *Actions On Finish*.

Tabla 5.5 PUESTO1: Transformación de iconos

CICLO	COMANDO	ICONO
CICLO 4: ASSEMBLED	ICON = ICONO (9, 1)	
CICLO 7: ASSEMBLED	ICON = ICONO (10, 1)	

También, en la entrada de cada pieza se ha definido el icono a representar a partir de la variable de parametrización T\_ICONO: ICONO=ICONO (i,1). En las acciones de entrada de cada uno de los ciclos *Actions on Input*.

Para aquellos ciclos que no se defina una determina operación, sus celdas quedarán en blanco, tal y como se define en las variables de parametrización, y se omitirá dicho ciclo. En el caso de la primera fase de producción en el puesto uno, desde el ciclo ocho al doce se omiten.

### 5.3.3. Transferencia entre puestos

El proceso de transferencia entre puestos se inicia cuando el operario del puesto precedente deposita el Solectron en desarrollo en la primera caja, máquina que almacenaje las piezas; y, a continuación, transporta la caja al siguiente elemento, donde se descargan las piezas almacenadas en el embalaje. El retorno de la caja vacía finaliza el ciclo de transferencia.

El proceso de transferencia entres puestos es un ciclo cerrado, donde siempre habrá un total de tres cajas, ya sean vacías o llenas. Las cuales recorrerán continuamente el circuito cerrado del proceso de transporte.

El siguiente diagrama, Figura 5.18, representa el ciclo que recorre cada caja BOX dentro del sistema de transferencia. Comenzando el ciclo en el elemento LOAD\_BOX, máquina que ensambla una caja vacía con tres Solectron01 (en la primera transferencia), y terminando el ciclo en el quinto elemento,

buffer\_BOX. Entidad que almacena las cajas vacías y las mantiene a la espera a entrar en la zona de carga (LOAD\_BOX).

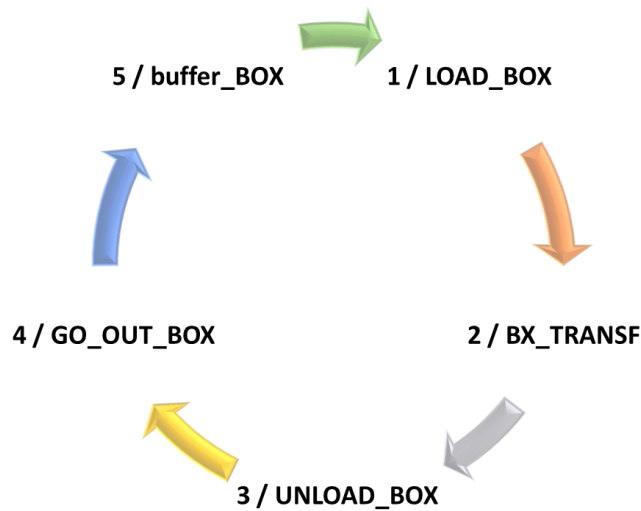


Figura 5.18 Diagrama de flujo de la transferencia entre puestos

En total se han considerado cinco elementos para simular el proceso de transferencia, en el que se distinguen dos procesos principales: el de carga de Solectrones desde el primer puesto y transporte; y el de descarga de Solectrones, en desarrollo, hacia el segundo puesto, y retorno de las cajas vacías al inicio del ciclo. En la Figura 5.19 se muestra la simulación de la zona de transferencia, indicando la ubicación de cada elemento mencionado.

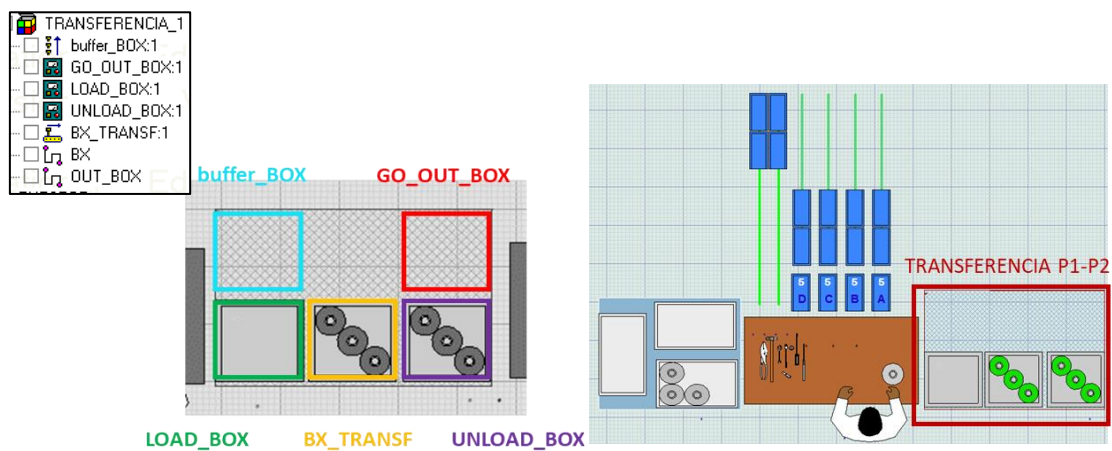


Figura 5.19 Simulación módulo de transferencia

En la siguiente Tabla 5.6, se indican el nombre, tipo y descripción de cada elemento utilizado en este módulo de “TRANSFERENCIA\_1”.

Tabla 5.6 Elementos del módulo “TRANSFERENCIA\_1” (1/2)

NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
LOAD_BOX	Machine, Multicycle	Almacena los Solectrones en un embalaje, el cual será enviado al siguiente puesto.
BX_TRANSF	Conveyor, Indexed Fixed	Transporta la caja llena desde la zona de carga a la de descarga.

Tabla 5.7 Elementos del módulo “TRANSFERENCIA\_1” (2/2)

NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
UNLOAD_BOX	Machine, Multicycle	Se ocupa de mantener los Solectrones en espera hasta que sean necesitados por el puesto siguiente.
GO_OUT_BOX	Machine, Single	Retiene la caja vacía hasta que el número de piezas en el elemento de descarga sea nulo.
buffer_BOX	Buffer	Almacena las cajas vacías hasta que la zona de carga requiera una caja vacía.
BX	Path	Trayectoria que recorre la caja vacía desde el buffer_BOX hasta LOAD_BOX
OUT	Path	Trayectoria que recorre la caja vacía desde el buffer_BOX hasta LOAD_BOX

### Carga y transporte de Solectrones

El proceso de carga comienza en el momento que el operario del puesto anterior deposita el Solectron en el embalaje de transporte. Hasta que no esté lleno el embalaje no se puede transportar el embalaje hacia el siguiente puesto.

Para simular la carga de la caja BOX, se ha considerado un elemento *machine multicycle*, LOAD\_BOX. Para desarrollar cada una de las operaciones es necesaria la intervención del operario del puesto anterior. Cada una de las operaciones se realizan en un ciclo, los cuales son:

- Ciclo 1: posicionar una caja BOX vacía en la posición de carga.
- Ciclo 2: entrada del primer Solectron.
- Ciclo 3: entrada del segundo Solectron.
- Ciclo 4: entrada del tercer Solectron.
- Ciclo 5: envío de la caja llena de Solectrones.

Cycle name	Input			Duration				Output				
	Quantity	From	Actions on Input	Actions on Start	Labor Rule	Cycle Time	Actions on Finish	Finish Quantity	Output Quantity	To	Actions on Output	Output From
1 load box	1	If	N	N	Y	T_CICLO(16, 1)	Y	1	0	Wait	N	Front
2 solectron 1	1	Wait	N	N	Y	T_CICLO(17, 1)	Y	2	0	Wait	N	Front
3 solectron 2	1	Wait	N	N	Y	T_CICLO(17, 1)	Y	3	0	Wait	N	Front
4 solectron 3	1	Wait	N	N	Y	T_CICLO(17, 1)	Y	4	0	Wait	N	Front
5 full box	0	Wait	N	N	Y	T_CICLO(18, 1)	Y	1		If	Y	Front

Figura 5.20 Definición LOAD\_BOX

La entrada de la caja vacía desde el Buffer\_BOX, ciclo uno, se ejecuta siempre que el número de cajas en el buffer sea mayor de uno, en caso contrario se mantendrá a la espera. Acción que se cumple mediante la regla:

```

IF NParts (buffer_BOX) >= 1
    PULL from BOX out of buffer_BOX Using Path
ELSE
    Wait
ENDIF
    
```



La orden de entrada de cada Solectron se realiza desde el puesto de montaje, Figura 5.17. A través de la máquina de carga se hace el recuento de los elementos que se almacenan, y en el momento que se complete la caja, se ensamblan en el elemento BOX\_FULL (*Actions on Output*: CHANGE ALL to BOX\_FULL), y se envía al conveyor BX\_TRANSF. La caja podrá entra a la cinta transportadora, BX\_TRANSF, en el caso de que el número de elementos transportados sea menor de dos (ciclo cinco):

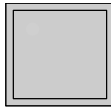
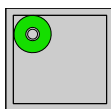
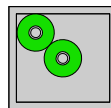
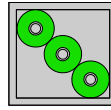
```

IF NParts (BX_TRANSF) < 2
    PUSH to BX_TRANSF at Rear
ELSE
    Wait
ENDIF

```

Al final de la actividad de cada ciclo, se ha modificado la visualización del elemento LOAD\_BOX, para que se represente la actividad de almacenaje de los Solectrones en las cajas. En la Tabla 5.8 se muestra el icono y el comando introducido para su visualización en cada uno de los ciclos.

Tabla 5.8 TRANSFERENCIA\_1/LOAD\_BOX: Visualización de las operaciones

CICLO	Finish Quantity	Actions on Finish	ICONO
1	1	SET ICON of LOAD_BOX to 149	
2	2	SET ICON of LOAD_BOX to ICONO (13, 1)	
3	3	SET ICON of LOAD_BOX to ICONO (14, 1)	
4	4	SET ICON of LOAD_BOX to ICONO (15, 1)	

Una vez que la caja llena, BOX\_FULL, entra en el conveyor se transporta hasta el puesto de descarga, la cual podrá acceder a la zona de descarga si el número de piezas en el elemento UNLOAD\_BOX es nulo. En ese momento, el proceso de carga y transporte ha finalizado. Quedándose a la espera de recibir de nuevo una caja vacía para reiniciar un ciclo idéntico al descrito.

### Descarga de Solectrones y retorno de cajas vacías

El principal objetivo del proceso de transferencia es trasladar los Solectrones en desarrollo hasta el siguiente puesto para continuar el proceso de montaje. Con la llegada de la caja llena a la zona de descarga se cumple el objetivo de la transferencia.

El elemento de descarga está definido igual que el de carga, con la diferencia de que las piezas salen de la máquina. El elemento considerado es una máquina *multicycle*, que mantiene los productos en espera a que sean llamados por el siguiente puesto. En la Figura 5.21, se muestra la tarjeta de definición de la máquina de descarga, UNLOAD\_BOX.

UNLOAD_BOX													
Name: UNLOAD_BOX    Quantity: 1    Priority: 3    Type: Multiple Cycle													
<input checked="" type="checkbox"/> Inherit Attribute Values													
	Cycle name	Input			Duration				Output				
		Quantity	From	Actions on Input	Actions on Start	Labor Rule	Cycle Time	Actions on Finish	Finish Quantity	Output Quantity	To	Actions on Output	Output From
1	PRODUCTION	1	Wait	Y	N	Y	T_CICLO(19, 1)	N	4	1	Push	Y	Front
2	UNLOAD1	0	Wait	N	N	Y	T_CICLO(20, 1)	Y	3	1	Wait	Y	Front
3	UNLOAD2	0	Wait	N	N	Y	T_CICLO(20, 1)	N	2	1	Wait	Y	Front
4	UNLOAD3	0	Wait	N	N	Y	T_CICLO(20, 1)	N	1	1	Wait	Y	Front
5	UNLOADBOX	0	Wait	N	N	Y	T_CICLO(21, 1)	N	0		Wait	N	Front

Figura 5.21 Definición UNLOAD\_BOX

La entrada se realiza desde el conveyor BX\_TRANSF en el ciclo uno, en el cual se realizará la separación de la caja llena en una caja BOX y tres Solectrones. La caja será enviada al elemento GO\_OUT\_BOX, elemento que retiene la caja hasta que se completen todos los ciclos de la máquina de descarga.

En el resto de los ciclos, los Solectrones se mantendrán en espera hasta el operario del puesto siguiente lo recoja para continuar el montaje. En cada ciclo de descarga se contabiliza el número restante de elementos contenidos en el embalaje, y se juega con la visualización de iconos, en el sentido contrario que el elemento LOAD\_BOX, tal y como se ha indicado en la Tabla 5.8.

En el momento que la entidad de descarga esté vacía, el elemento retenedor GO\_OUT\_BOX liberará la caja vacía, gestionando su salida hacia el almacén de cajas vacías, buffer\_BOX. Entidad que almacena las cajas vacías hasta que son requeridas para comenzar un nuevo ciclo otra vez.

### 5.3.4. Operario

El operario es un elemento fundamental dentro del puesto de montaje tanto en el sistema real como en el digital, donde se requiere su participación para cada una de las operaciones definidas en las tres fases de montaje descritas en los anteriores apartados.

En cada puesto de la línea de montaje, hay un operario asociado. El cual debe de realizar las tareas del propio puesto, gestionar la entrada y salida de elementos y el intercambio de embalajes vacío y llenos. En total, cinco operarios han sido definidos para la actividad que precisa cada módulo del sistema, los cuales se denominan:

- PUESTO1: OPERARIO1
- PUESTO2: OPERARIO2
- PUESTO3: OPERARIO3
- PUESTO4: OPERARIO4
- PUESTO5: OPERARIO5

Para indicar que las acciones a realizar requieren la mano de obra, y ejecutar la participación del operario en el proceso, basta con indicar su nombre en las celdas llamadas *Labor Rule* del elemento que requiera la participación del operario. Por ejemplo, en la Figura 5.17, en la celda *Labor Rule* se llamará al OPERARIO1.

Puede suceder que el operario tenga que realizar diferentes operaciones al mismo tiempo, para regular el orden de realización de cada una de las acciones, se utiliza la función de prioridad. Propiedad disponible en la tarjeta de definición de cada elemento máquina.

La manera de fijar la prioridad de un elemento es mediante la definición de un número entero en la casilla *priority*, siendo el valor de uno la prioridad más alta, el valor dos la segunda prioridad más alta, y así consecutivamente. En el caso de indicar cero, se determina la prioridad más baja.

Para el caso del OPERARIO1, el cual lleva a cabo todas las operaciones del primer puesto, se ha asignado el siguiente orden de prioridad para todas las acciones que tiene que realizar el operario.

- PRIORIDAD 1: LOAD\_BOX (Figura 5.20)
- PRIORIDAD 1: B1
- PRIORIDAD 2: PUESTO1 (Figura 5.17)
- PRORIDAD 2: P1 (Figura 5.13)
- PRIORIDAD 3: UNLOAD\_BASEBOX (Figura 5.6)

las actividades prioritarias son sacar del sistema los elementos que bloqueen el flujo de recursos hacia el propio puesto, otorgándolos la máxima prioridad. Como por ejemplo, la acción de depositar el Solectron1 en el embalaje para su transporte hasta el siguiente puesto, como se muestra en la parte izquierda de la Figura 5.22, y retirar las gavetas vacías para permitir la entrada de sectores al puesto, como se representada en la derecha de la Figura 5.22.

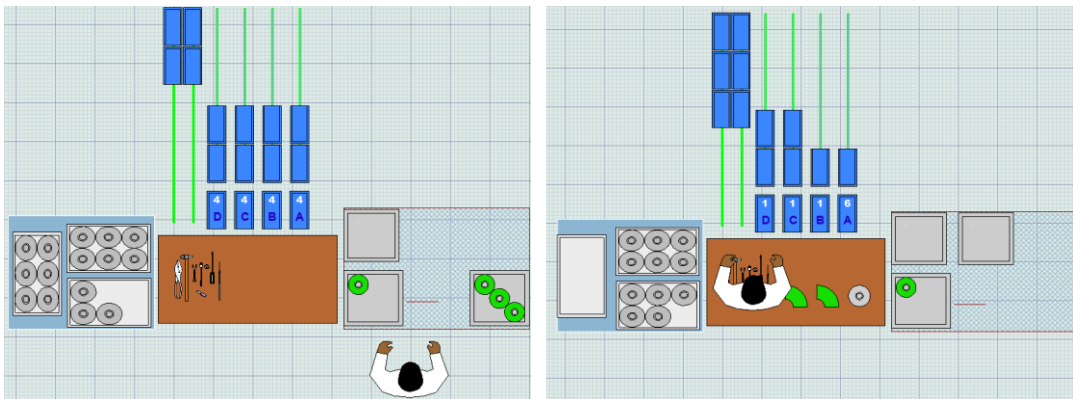


Figura 5.22 Tareas de alta prioridad

Las siguientes operaciones que debe de realizar el operario, definidas como segundo nivel de prioridad, serían las operaciones del propio montaje del Solectron, y acercar una gaveta de sectores llenos al puesto (elemento P1). En la figura Figura 5.23 se muestran ambas acciones ejecutadas por el operario uno.



Figura 5.23 Tareas de segundo nivel de prioridad

La operación de menor prioridad se la asigna a la entrada de las bases hacia el puesto para continuar el ciclo de montaje con el siguiente Solectron, como se muestra en la Figura 5.24. Es la última prioridad, porque para que entren nuevas piezas debe haberse vaciado el puesto y terminar la operación anterior.

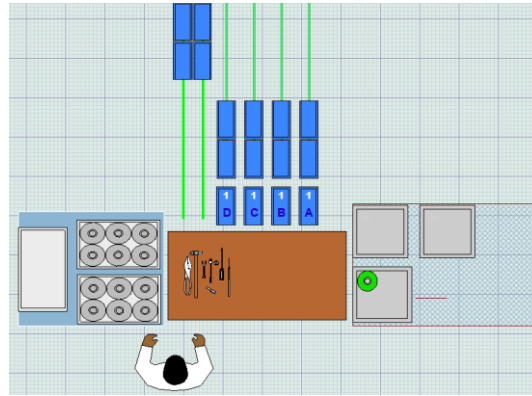


Figura 5.24 Tareas de tercer nivel de prioridad

Como se ha descrito, la actividad del operario en el modelo Witness alcanza el mismo nivel de importancia que en el sistema real. Bloqueando ciertas acciones según las tareas que esté realizando en ese momento y el nivel de actividad que tenga. Gracias a la prioridad de los elementos máquina que requiera la intervención de una entidad labor, se consigue simular el comportamiento real de la intervención humano en un proceso.

## 5.4. GENERACIÓN DE ORDENES

El cliente requiere la entrega de Solectrones almacenos en bandejas de diferentes tamaños, lo cual se gestiona en el sistema mediante la creación de órdenes que indican que tipo de bandeja se debe utilizar para realizar el envío al cliente.

En la fase de producción uno se considera la entrega alternando una bandeja de cada tipo, lo que se resuelve con la participación de tres tipos de ordenes como parámetro a seguir para la preparación del pedido al cliente.

En el puesto cinco, se realizan las tareas de calidad y preparación de pedidos para la posterior entrega. Para ello, se suministra al puesto de bandejas de los tres tipos requeridos por el cliente, las cuales pueden ser de tres tipos: BANDEJA2, con capacidad de dos elementos; BANDEJA3, capacidad de tres; y BANDEJA4, para almacenar cuatro elementos.

El uso de cada tipo para la entrega al cliente está marcado por las órdenes procedentes del mismo. Para ello, se han creado los elementos *part* ORDEN, los cuales tienen asociado un atributo A\_BANDEJA. Mediante el cual se define la cantidad de Solectrones a almacenar en cada bandeja.

Para enviar las órdenes al modelo, se ha asignado un carácter activo en la definición de las propias órdenes. De esta manera, la entrada al sistema se puede gestionar desde su creación en el modelo. En la Figura 5.25 se presenta la carta de comandos de la definición de un elemento activo, donde se especifican:

- *Type*, carácter del elemento part: Activo.
- *First Arrival At*, instante de la creación del primer elemento: 0.0 cmin.
- *Inter Arrival Time*, período de tiempo de su creación: TNormal (100,10,90,110).
- *Actions on create*, asignación del atributo A\_BANDEJA.
- *TO*, incorporación de las bandejas al proceso: envío de las bandejas al buffer.

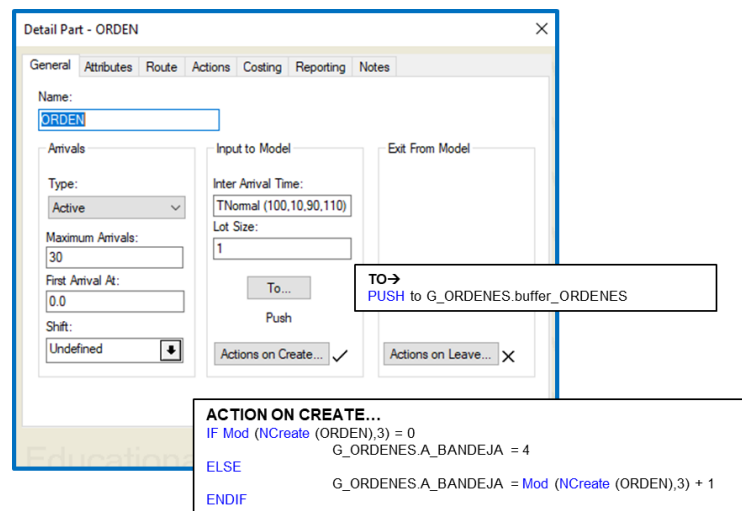


Figura 5.25 Definición ORDEN

Para la asignación del tipo de bandeja a utilizar mediante el atributo A\_BANDEJA, se considera como referencia el número de órdenes que han sido creadas mediante la función `NCreate ()`. La cual retorna el número real de los elementos ORDEN que han sido creados durante la simulación.

Cómo las ordenes pueden ser de tres tipos, asociadas a la BANDEJA2, BANDEJA3 y BANDEJE4, se utiliza el resto resultante de la división de las bandejas creadas entre tres, para generar el mismo orden en el atributo. Para obtener dicho valor se utiliza la función `Mod ()`, la cual divide el número de ordenes creadas entre tres, y devuelve el resto de la operación.

En la Figura 5.25 se muestra la secuencia de comando utilizada para asociar el atributo A\_BANDEJA en el mismo orden de salida de las bandejas del sistema. En el caso de que el resto de la operación sea nulo, se asociará el valor de cuatro. Lo que significa, que si se han creado tres órdenes, su división entre tres genera un resto nulo. Lo que se traduce que la tercera posición se le asociada el atributo A\_BANDEJA=4.

En caso contrario, mediante la expresión “ $\text{Mod}(\text{NCreate}(\text{ORDEN}),3) + 1$ ”, se asocia al atributo A\_BANDEJA un valor de dos para la primera orden generada ( $\text{Mod}=1$ ), asociada al elemento BANDEJA2. Y para la segunda orden creada, el atributo tendrá un valor de tres y se asociará a la BANDEJA3 ( $\text{Mod}=2$ ).

Tras generarse una orden su destino será mantenerse a la espera en el elemento buffer\_ORDENES, el cual unicamente tiene el objetivo de almacenar las ordenes hasta que sean llamadas para integrarse en el modelo de montaje.

Uno de los elementos del puesto cinco es la máquina LECTURA\_ORDENES, la cual determina el tipo de bandeja a considerar para alojar a los Solectrones antes de entrar en el propio puesto. Lugar donde la orden finaliza su trayectoria dentro del model, la cual se ensamblará junto la bandeja. El siguiente diagrama de la Figura 5.26, muestra el proceso que sigue cualquier orden dentro del modelo.



Figura 5.26 Diagrama del flujo de las órdenes en el modelo

## 5.5. PUESTO 5

El puesto cinco es la última etapa del montaje del Solectron, donde se realizan las tareas de calidad, para comprobar que no se ha generado ningún fallo en los puestos anteriores, y la preparación de pedidos de Solectrones para la entrega al cliente.

El pedido consiste en el conjunto de tres bandejas de cada tipo, BANDEJA2, BANDEJA3 y BANDEJA4, con un total de nueve Solectrones. En el momento que las tres bandejas estén completas de Solectrones, se podrá realizar el envío al cliente.

Para llevar a cabo las operaciones indicadas en el puesto cinco, se requieren un conjunto de entradas en un determinado orden para conseguir generar la salida hacia el cliente, las cuales son:

- Orden, primera entrada al puesto mediante la cual se identifica el tipo de bandeja a completar.
- Bandeja, asociada a la orden llegara desde la línea de suministros al puesto una determinada bandeja.
- Solectrones, se gestiona la entrada del número de Solectrones necesarios para completar la bandeja que ya está en el puesto.

A partir de dichas entradas se generará la salida de la bandeja completa hacia la recepción del cliente, donde se retienen las bandejas llenas hasta que se completa el pedido. En la Figura 5.27 se muestra el diagrama de flujo que incluye todos los elementos implicados en la actividad del puesto cinco.



Figura 5.27 Diagrama de flujo de la actividad PUESTO5

En primer lugar, se registra la orden mediante la cual se preparará bandeja requerida por el cliente mediante el elemento LECTURA DE ORDENES, una vez que el puesto se encuentre libre se enviará a éste. La llegada de la bandeja correspondiente a la orden recibida se realizará desde la línea de SUMINISTRO\_BANDEJAS. Ambos elementos se ensamblarán con el número de Solectrones específicos según la bandeja de entrada en el puesto cinco.

En el momento que la bandeja este completa de Solectrones se enviará al elemento RECEPCION\_CLIENTE, donde se mantendrá a la espera hasta completar el pedido. En el momento que haya tres bandejas se enviará al cliente.

Para la simulación del proceso final de la línea de montaje se ha creada una combinación de cinco elementos, los cuales son descritos en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9 Elementos del "PUESTO5"

NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
LECTURA_ORDENES	Machine, Single	Gestiona la entrada de una orden desde el buffer, realiza la lectura y la mantiene a la espera hasta que sea llamada por el PUESTO5.
SUMINISTRO_BANDEJAS	Buffer	Almacena las bandejas vacías.
PUESTO5	Machine, Multicycle	Elemento que realiza las tareas de calidad a cada Solectron de entrada y deposita los Solectrones en la bandeja correspondiente.
RECEPCION_CLIENTE	Buffer	Almacena las bandejas llenas de Solectrones.
CLIENTE	Machine, Assembly	Genera el pedido y realiza el envío al cliente.

En la Figura 5.28 se representa la visualización de cada uno de los elementos necesarios para la preparación de pedidos. Cada una de las fases implicadas en el puesto final de la línea de montaje son descritas en los siguientes apartados.

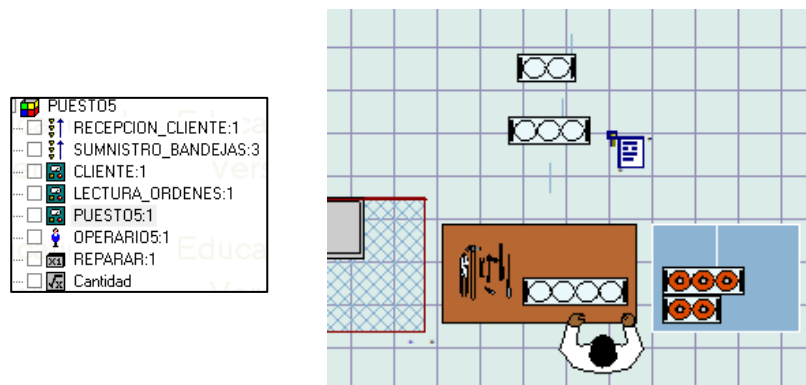


Figura 5.28 Visualización módulo PUESTO5

### 5.5.1. Lectura de órdenes

Antes de comenzar la preparación del pedido, es necesario identificar qué tipo de orden se debe ejecutar. Para ello, la máquina LECTURA\_ORDENES recoge una ORDEN del elemento que las almacena, buffer\_ORDENES, manteniéndola en espera hasta que finalicen las operaciones en el puesto cinco.

En el momento que el puesto cinco no contenga ningún elemento, porque ha finalizado la tarea, se realizará la entrada de la orden en dicho puesto. Con ello se definirá el tipo de bandeja que requiere el puesto en ese momento, así como el número de Solectrones.

### 5.5.2. Suministro bandejas

Los tres tipos de bandejas han sido definidas como elementos activos, lo que permite que se gestione la entrada de bandejas al sistema desde su propia definición. En la Figura 5.29 se muestra la tarjeta de definición de la BANDEJA2, donde se puede apreciar que la entrada de las bandejas al sistema se realiza en el intervalo de tiempo definido por una distribución estadística del tipo normal, considerando un tiempo medio de doscientos cinco centésimas de minuto ( TNormal (250,50,100,300)).



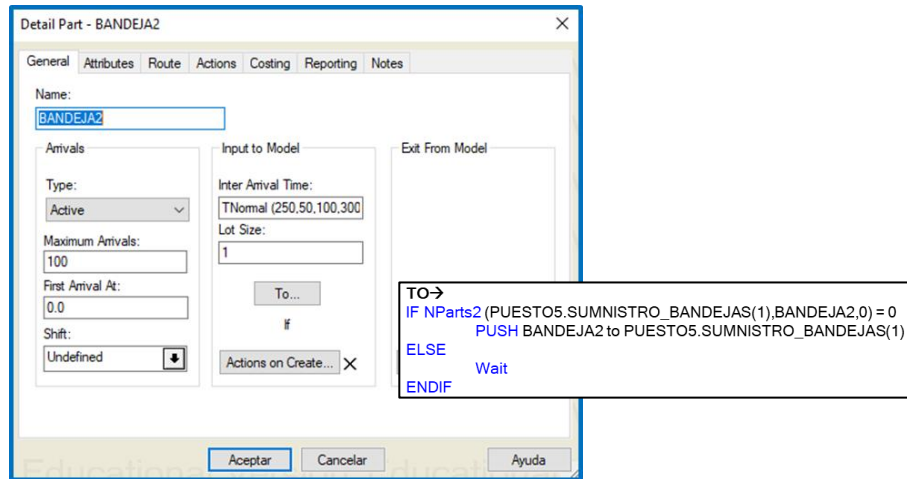


Figura 5.29 Entrada BANDEJA2

Las bandejas se enviarán al buffer que las almacenan, SUMINISTRO\_BANDEJAS, en el momento que alguna de las tres líneas que lo forman este vacía. Cada una de las líneas almacena un tipo de bandeja diferente, con una capacidad de dos bandejas cada una.

La definición de cada tipo de bandeja será exactamente igual, únicamente se distingue el destino al que se las envía tras su creación. Las bandejas tipo BANDEJA2 irán a la primera línea de suministro del buffer, SUMINISTRO\_BANDEJAS (1), las del tipo BANDEJA3 a la segunda línea, SUMINISTRO\_BANDEJAS (2), y las bandejas del tipo BANDEJA4 se almacenarán en la tercera línea, SUMINISTRO\_BANDEJAS (3).

### 5.5.3. Puesto5

El denominado Puesto5 es la entidad que realiza las operaciones de calidad y de ensamblaje de los Solectrones en la bandeja correspondiente. Dado a la diversidad de operaciones y gestión de las entradas, se ha considerado el elemento máquina *multicycle* para simular el puesto. Es la manera más práctica de definir cada una de las operaciones que se deben realizar, así como las características asociadas. En total se realizarán siete operaciones por cada bandeja, como se muestra en la Figura 5.30. Las cuales son:

- Ciclo 1: Lectura de la orden, implícitamente se define la bandeja asociada. Orden recibida desde la máquina LECTURA\_ORDENES (PULL from LECTURA\_ORDENES).
- Ciclo 2: Llegada de la bandeja vacía.
- Ciclo 3: Entrada del primer Solectron, realización de las tareas de calidad correspondientes y almacenaje en la bandeja.
- Ciclo 4: Repetir las mismas operaciones que en el punto anterior para el segundo Solectron.
- Ciclo 5: Idem para el tercer Solectron, para el caso de las BANDEJA3 y BANDEJA4.
- Ciclo 6: Idem para el cuatro Solectron, únicamente para el caso de la BANDEJA4.
- Ciclo 7: Envío de la bandeja llena hacia el buffer RECEPCIÓN\_CLIENTE.

Cycle name	Input			Actions on Start	Labor Rule	Duration	Actions on Finish	Output				
	Quantity	From	Actions on Input					Finish Quantity	Output Quantity	To	Actions on Output	Output From
1 ORDEN LEIDA	1	Pull	Y	N	Y	5.0	N	1	0	Wait	N	Front
2 LLEGADA BANDEJA	1	Pull	Y	N	Y	13.0	Y	1	0	Wait	N	Front
3 SOLECTRON1	1	Wait	Y	N	Y	22 + TNormal (20,10,10,200) * REPARAR + 5.0	Y	1	0	Wait	N	Front
4 SOLECTRON2	1	Wait	Y	N	Y	22 + TNormal (20,10,10,200) * REPARAR + 5.0	Y	1	0	Wait	N	Front
5 SOLECTRON3	Cantidad ()	Wait	Y	N	Y	(22 + TNormal (20,10,10,200) * REPARAR + 5.0) * Cantidad ()	Y	1	0	Wait	N	Front
6 SOLECTRON4	Cantidad ()	Wait	Y	N	Y	(22 + TNormal (20,10,10,200) * REPARAR + 5.0) * Cantidad ()	Y	1	0	Wait	N	Front
7 BANDEJA LLENA	0	Wait	N	N	Y	8.0	Y	1	1	Push	Y	Front

Figura 5.30 Definición PUESTOS5

Algunas de las operaciones indicadas se omitirán, dependiendo del tipo de bandeja a utiliza. Por eso, en la definición del elemento PUESTO5 se han considerado el máximo número de operaciones posibles. En el caso de cubrir la orden de la BANDEJA2, solo se recibirán dos Solectrones, luego las operaciones quinta y sexta no se ejecutarán.

Para identificar el número de Solectrones que debe recibir el puesto, según el tipo de bandeja, se ha creado la función `Cantidad ()`. La cual determinará la cantidad de elementos de entrada en los ciclo quinto y sexto (*Quantity*), ver Figura 5.30.

La función `Cantidad ()` devolverá el valor de uno en el caso de que se active el quinto ciclo de la máquina y el atributo `A_BANDEJA` sea igual a tres o cuatro, y para el ciclo seis y el atributo `A_BANDEJA` igual a cuatro. En caso contrario se igualará la función a cero, y los ciclos cinco y seis se omitirán. En la siguiente Figura 5.31 se muestra la carta de definición de la función `Cantidad ()`.

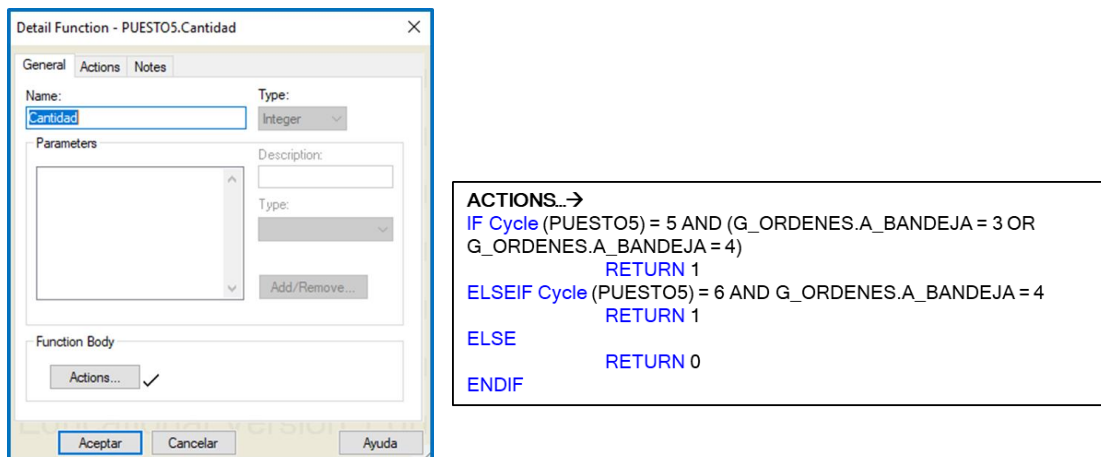


Figura 5.31 Función `Cantidad ()`

Con la entrada de la orden, se identifica el tipo de bandeja a través del atributo `A_BANDEJA`, y también su origen. En el segundo ciclo, se ordena la entrada del tipo de bandeja a través de la variable `T_BANDEJA ()`, cada componente del vector se refiere a un tipo de bandeja, y su procedencia según la posición de la línea de suministro, `SUMINISTRO_BANDEJAS ()`.

**PULL** from `T_BANDEJA (G_ORDENES.A_BANDEJA - 1)` out of `SUMINISTRO_BANDEJAS (G_ORDENES.A_BANDEJA - 1)`

En la siguiente Tabla 5.10, se muestra la correspondencia del atributo `A_BANDEJA` con la variable del tipo de bandejas, `T_BANDEJA`, y la procedencia de la bandeja según su capacidad. De esta manera, la entrada de la bandeja queda definida una vez leída la orden en el ciclo uno, donde se define el valor del atributo `A_BANDEJA`.

Tabla 5.10 Relación `A_BANDEJA` con la variable `T_BANDEJA`

<b>A_BANDEJA</b>	<b>T_BANDEJA</b>	<b>TIPO</b>	<b>SUMINISTRO_BANDEJA</b>
2	<code>T_BANDEJA (1)</code>	BANDEJA2	<code>SUMINISTRO_BANDEJA (1)</code>
3	<code>T_BANDEJA (2)</code>	BANDEJA3	<code>SUMINISTRO_BANDEJA (2)</code>
4	<code>T_BANDEJA (3)</code>	BANDEJA4	<code>SUMINISTRO_BANDEJA (3)</code>

La segunda peculiaridad en la definición del puesto es la determinación de errores, ya que en el caso de que se identifiquen algún error mediante las tareas de calidad, el tiempo de ejecución del ciclo se verá incrementado.

Los Solectrones llevan asociados el atributo DEFECTO, al cual se le ha asignado una probabilidad de error de un cinco por ciento. Lo que significa, que durante el montaje del Solectron, se producirán un cinco por ciento de piezas defectuosas.

La asignación del atributo a los Solectrones se define en la tarjeta de definición del propio elemento, igualando el atributo a la distribución TASA\_DEFECTO en las acciones de creación, como se define en la Figura 5.32. La distribución define el valor uno para el porcentaje de cinco, y cero para el noventa y cinco. Es decir, en caso de que se produzca un error, el atributo retornará el valor uno.

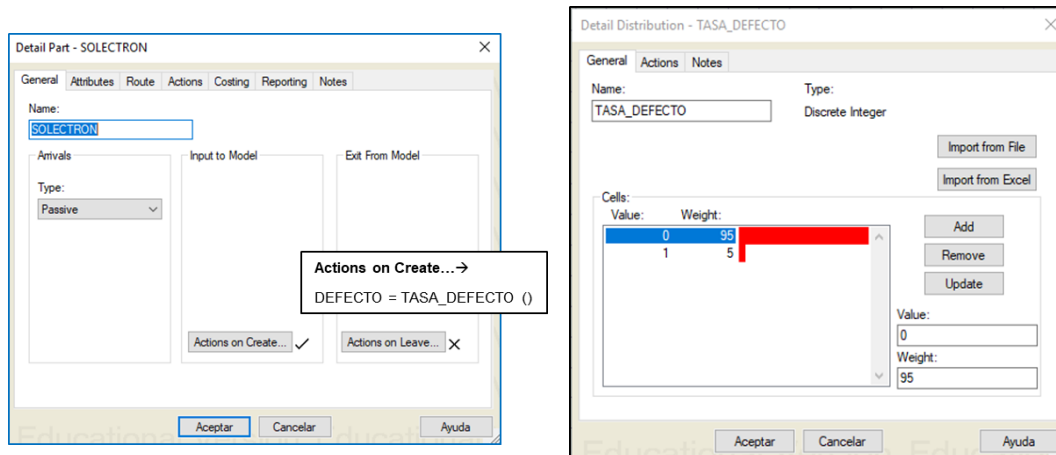


Figura 5.32 Definición TASA\_DEFECTO

La manera de identificar el error en el puesto cinco, y tener en cuenta las consecuencias que implicaría, es a través de la lectura del valor de la variable REPARAR, la cual se iguala al atributo DEFECTO del Solectron en las acciones de entrada de los ciclos asociados a la entrada de cada Solectron. A continuación, se considera la variable en el cómputo del tiempo total de ciclo la variable “REPARAR”, según la expresión:

$$(22+TNormal(20,10,10,200)*REPARAR+5.0)*Cantidad()*SKILL\_VARIABLE(5)$$

Tiempo de ciclo que tiene en cuenta:

- Tareas de calidad: 22cmin
- Tiempo de reparación:  $TNormal(20,10,10,200)*REPARAR$
- Depositar el Solectron en la bandeja: 5cmin

Al tiempo de reparación se le multiplica por la variable REPARAR, en el caso de que exista error la variable se igualará a uno y se sumará el tiempo definido por la distribución. En caso contrario, se le asignará cero. La función Cantidad (), determina tiempo nulo en el caso de que se omitan los ciclos quinto y sexto.

Respecto a la visualización de elementos durante la ejecución de los ciclos del elemento PUESTOS5, se han variado los iconos de la bandeja según el proceso de llenado. En primer lugar, con la entrada de la bandeja en el ciclo dos, se ha identificado el tipo de bandeja para su correcta visualización acorde con el siguiente bucle de comandos. Definiendo el tamaño del icono mediante los comandos LENGTH y WIDTH.


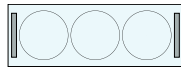

```

IF G_ORDENES.A_BANDEJA = 2
    ICON = 301 !Tabla 5.11
ELSEIF G_ORDENES.A_BANDEJA = 3
    ICON = 302 !Tabla 5.11
ELSEIF G_ORDENES.A_BANDEJA = 4
    ICON = 303 !Tabla 5.11

```

ENDIF  
 LENGTH = 3  
 WIDTH = 12

Tabla 5.11 Visualización bandejas vacías

ID	301	302	303
ICONO			

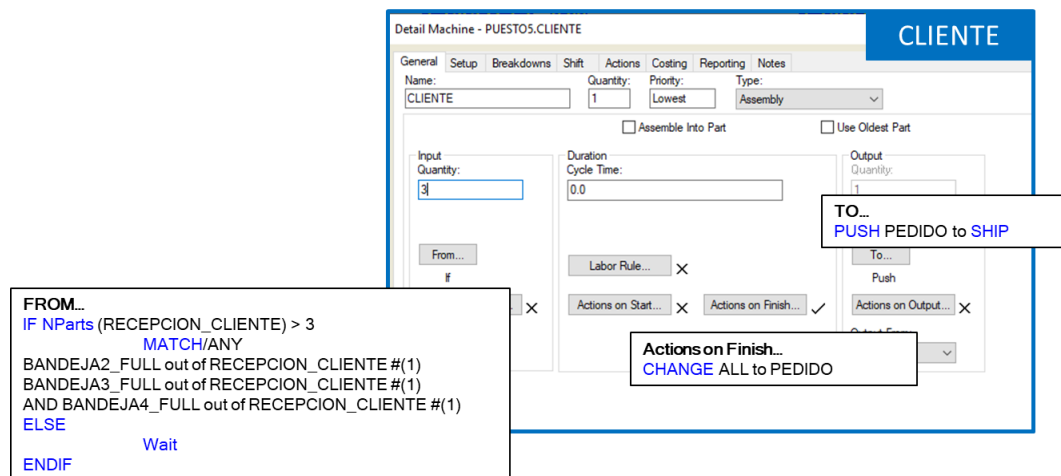
Para la visualización del llenado de las bandejas, se ha considerado en la celda *Actions on Finish* el cambio de icono de la bandeja usando la variable de parametrización T\_ICONO (). Variable que recoge en sus cuatro últimas filas, los iconos de las bandejas.

Una vez que la bandeja se ha llenado de los correspondientes Solectrones, se convierte en el elemento bandeja llena (BANDEJA2\_FULL, BANDEJA3\_FULL o BANDEJA4\_FULL) mediante el comando “CHANGE ALL to”. Y, a continuación, se envía al buffer RECEPCIÓN CLIENTE.

#### 5.5.4. Recepción cliente

Las bandejas llenas de Solectrones son almacenadas en el buffer RECEPCION\_CLIENTE, el cual mantiene a la espera a cada una de las bandejas para entregarlas al cliente en el momento que se complete el pedido.

En el momento que se haya almacenado una bandeja de cada tipo, el elemento CLIENTE cogerá las tres bandejas del buffer, generará el pedido (CHANGE ALL to PEDIDO); y lo sacará del sistema simulando la entrega al cliente (PUSH PEDIDO o SHIP). En la Figura 5.33 se muestra la tarjeta de definición de la entidad CLIENTE.



```

FROM...
IF NParts (RECEPCION_CLIENTE) > 3
    MATCH/ANY
    BANDEJA2_FULL out of RECEPCION_CLIENTE #(1)
    BANDEJA3_FULL out of RECEPCION_CLIENTE #(1)
    AND BANDEJA4_FULL out of RECEPCION_CLIENTE #(1)
ELSE
    Wait
ENDIF
  
```

Actions on Finish...  
CHANGE ALL to PEDIDO

TO...  
PUSH PEDIDO to SHIP

Figura 5.33 Definición CLIENTE

## 5.6. MODELO FINAL

---

Cada uno de los elementos que forman el modelo global están recogidos en el ANEXO 3, en el apartado A3.1 se especifican los elementos part y en el apartado A3.2, el resto de elementos del modelo. Donde se define el nombre, tipo de elemento y breve descripción. Muchos de ellos ya han sido definidos a lo largo de este capítulo, pero es conveniente incluir la totalidad de todos los elementos definidos en el modelo para evitar cualquier duda ante el usuario.

En la Figura 5.34 se muestra el modelo de simulación completo, incluyendo los cuatro puestos de montaje, así como el resto de los módulos descritos en el presente capítulo. Como se puede observar se han incluido dos paneles de presentación de datos, en los cuales se representan los tiempos de ciclo de cada puesto, recuento de los recursos en progreso y los enviados al cliente, y medidas de eficiencia.

Definido todo el modelo de simulación, en el capítulo siguiente se describe la automatización de ciertas funciones utilizadas en el modelo Witness, las cuales son generadas en un entorno diferente. En primer lugar, se describe el proceso de parametrización, el cual se realiza mediante un fichero Excel, de la suite Microsoft Excel, que representa una interfaz de conexión entre el usuario y el entorno Witness.

En segundo lugar, se explica la definición del estado de referencia del modelo de simulación mediante un fichero externo, con extensión \*.STA. El cual se genera a partir de la misma interfaz que la parametrización, ya que el estado de referencia depende directamente a la configuración de montaje.

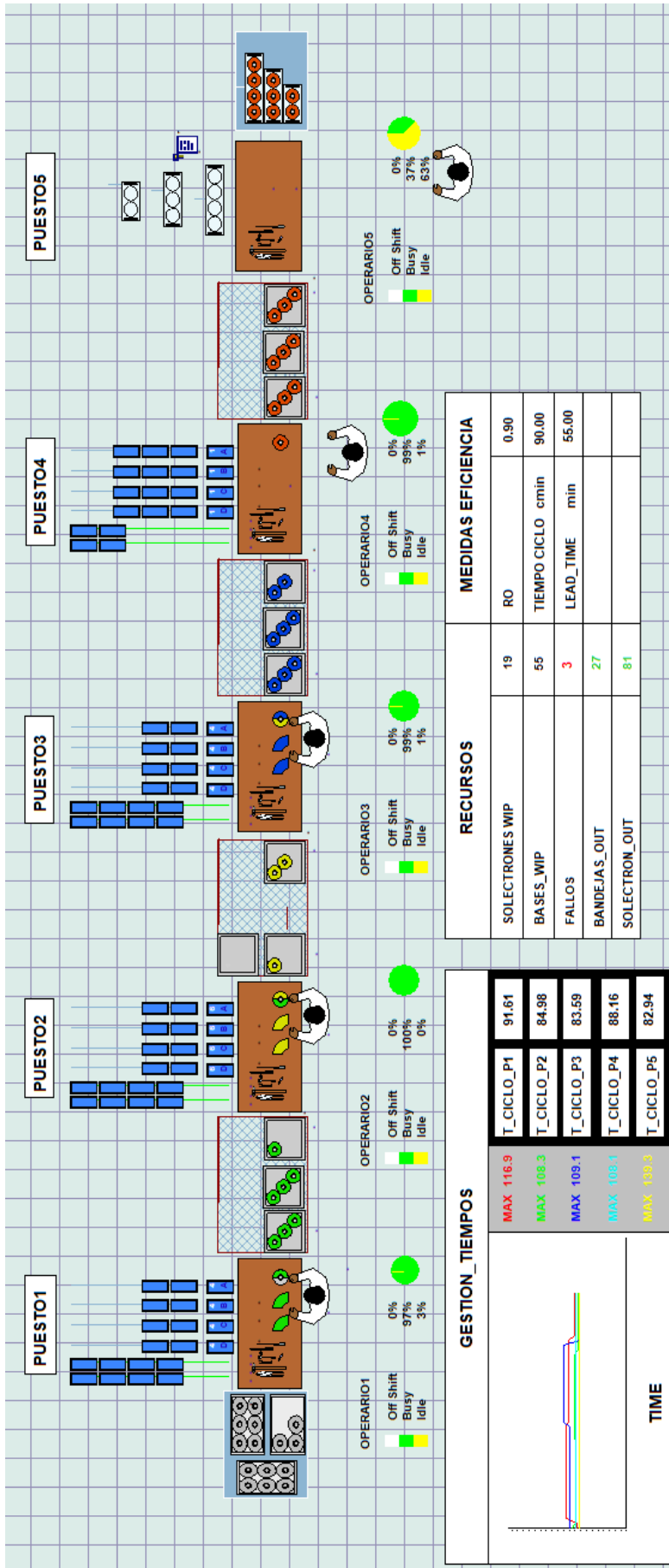


Figura 5.34 Modelo de simulación Montaje Solectron

## CAPÍTULO 6.

# AUTOMATIZACIÓN DE ESCENARIOS





## 6.1. INTRODUCCIÓN

---

Una vez descritos todos los elementos que forma parte del modelo de simulación y la relación entre ellos, es importante describir otras características y funciones importantes utilizadas para conseguir simular el mismo comportamiento que el sistema real.

Durante el desarrollo del modelo de simulación se han identificado todo elemento variable, así como las características asociadas, y se han parametrizado con el objetivo de poder simular otras configuraciones del montaje de Solectron.

La definición de los valores de las matrices de parametrización se ha llevado a cabo mediante un fichero externo al entorno Witness, el cual genera un flujo de datos entre el usuario y Witness. Se ha desarrollado un interfaz donde el usuario define la configuración de montaje deseada estudiar y otras características importantes, como son los tiempos de ciclo de las diferentes operaciones consideradas en el montaje.

Durante las simulaciones del proceso de estudio en la Escuela Lean, se ha estimado un estado de inicio antes de cada práctica, estado que define un nivel de recursos medio en cada área de suministros. Es necesario resaltar la importancia de la determinación de un estado de inicio antes de cada práctica, para poder estudiar el comportamiento real de cualquier sistema.

En el entorno de Witness, se habilita la posibilidad de definir un estado asociado a determinado instante mediante la generación de ficheros externos. Fichero que debe contener un grupo de comandos que definan el estado de cada uno de los elementos del modelo. El fichero de estado puede desarrollarse en un entorno diferente, siempre que se considere como extensión “\*.sta” para que el programa de simulación lo identifique en el momento de la importación.

## 6.2. PARAMETRIZACIÓN

---

### 6.2.1. Introducción

A través de la interfaz Object Link Environment 2 (OLE2) de la suite de Microsoft Office, Witness puede establecer la conexión con otros programas, lo que posibilita la importación o exportación desde ficheros externos con origen en otros programas de Office. También se puede establecer la conexión entre modelos desde el mismo interface de Witness, ya que se puede dar el caso de que los datos de salida de un modelo se utilicen como entrada en otro.

Esta aplicación de Witness ofrece grandes ventajas a la hora de trabajar con características y funciones cambiantes de un elemento de simulación, las cuales son tratadas mediante parámetros. Mediante el uso de un fichero externo se pueden asignar los valores deseados simular, y utilizar la interfaz OLE2 para asignar los nuevos valores a los parámetros predefinidos en el modelo.

La conexión con ficheros externos aporta una gran versatilidad a la hora de realizar modificaciones en los modelos con elementos parametrizables. Aprovechando esta ventaja, y dado que el modelo de estudio presenta elementos parametrizables, se ha utilizado el programa Excel, de la suite Microsoft Office, como interfaz entre el usuario y el software de simulación Witness.

El objetivo del modelo de simulación es el estudio de la fase uno del montaje del Solectron, fase que tiene preestablecido la configuración de montaje en cada puesto. Pero se puede dar el caso, que el usuario desee analizar otras posibles configuraciones. Por este motivo, la configuración de montaje ha sido parametrizado, para que el modelo de simulación pueda analizar otros posibles estados.

Si la configuración de montaje se ve modificada, factores como el tiempo de ciclo en el ensamblado variará, así como el tipo de piezas que recibe cada puesto a montar. Por ese motivo, el tipo de piezas, el número, el icono de visualización y el tiempo de ciclo deben ser parametrizadas, para utilizar el mismo modelo de simulación para futuras configuraciones.

Por otra parte, aspectos como el nivel de destreza del operario debe ser parametrizados. Con ello, se comprobará como afecta al comportamiento del modelo, la habilidad de cada operario para desarrollar las operaciones de cada puesto. Principalmente, en un proceso como el montaje del Solectron, que requiere el cien por cien de mano de obra para su fin.

A partir del fichero "PARAMETRIZACION.xlsm", se han establecido una serie de ventanas en las que el propio usuario definirá las características deseadas simular, y automáticamente las matrices de las variables de parametrización indicadas se actualizarán. Para después, importarlas al Software Witness para su simulación.

Con este tipo de acciones, se consigue mayor rapidez en la simulación de diferentes combinaciones utilizando un único modelo de simulación. En el caso de tener que actualizar datos directamente en el entorno de Witness, implicaría un mayor esfuerzo, lo que se traduce en un aumento del tiempo de procesado y mayor posibilidad de error.

### 6.2.2. Proceso de parametrización

En cualquier modelo de simulación, se puede dar el caso de alguno de los elementos que lo forman adopten características o funciones diferentes debido a algún factor interno o externo. Para su estudio, se procede mediante la asignación de parámetros a las características del elemento que puedan verse modificadas. De esta manera, la parametrización se convierte en una operación ligada al desarrollo de modelos de simulación.

Previamente al desarrollo del modelo de simulación, se deben identificar la totalidad de factores internos y externos que pueden afectar al sistema real, y como se verán modificadas sus características

ante estos cambios. Con ello, se podrán determinar la totalidad de parámetros a utilizar en el modelo de simulación.

El uso de parámetros facilita el manejo de modelos de simulación que requieran la simulación de diferentes configuraciones, como es el modelo de simulación del montaje del Solectron. El cual ha sido creado para la primera fase de producción, la cual ya tiene establecida la configuración de montaje. Pero se pueden llegar a estudiar otras posibles configuraciones en otros estudios. Por ello, la parametrización de los factores cambiantes en el montaje del Solectron otorga mayor versatilidad para otros análisis, reduciendo el tiempo de procesado y evitando, en gran medida, errores en la nueva definición.

Con el objetivo de estudiar otras posibles configuraciones con el modelo de simulación desarrollado, y para analizar factores que afectan directamente al comportamiento del sistema, como es el nivel de destreza de los operarios, se han parametrizado un conjunto de elementos del modelo.

### Parametrización en Witness

El software de simulación Witness incluye elementos lógicos a partir de los cuales les puedes asignar una característica dinámica, las variables. Elementos mediante el cual se puede establecer un recurso cambiante del sistema, el cual varía según el comportamiento del sistema o por la propia definición del usuario.

A las variables se las pueden otorgar diferentes dimensiones, pueden ser una combinación de elementos que formen vectores, matrices o una única componente. Elementos que pueden ser del tipo número real o entero, cadena de texto o una referencia a otro elemento del modelo de simulación. En su definición, todos los componentes de una misma variable deben ser del mismo tipo, no pueden agruparse en una misma variable elementos de diferente tipo.

En la parametrización del modelo del Solectron, se han utilizado diferentes tipos de variables, asignándolas un valor constante definido por el usuario de la simulación en el fichero Excel "PARAMETRIZACION.xlsm". Aprovechando la ventaja de poder conectar Witness con otros programas de Microsoft Office a través del interfaz Object Link Environment 2 (OLE2), se ha utilizado un archivo Excel para definir los valores de las variables utilizadas en la simulación del proceso de montaje.

Antes de realizar la conexión del fichero de parametrización con el interfaz de Witness, es necesario que las variables estén definidas en el modelo con las mismas dimensiones y del mismo tipo que las definidas que en el fichero externo. Una vez generadas, mediante el comando `XLReadArray()`, se conectará el fichero de Excel con el modelo mediante la función *Initialize Actions*.

El modelo de simulación del montaje del Solectron, contiene un total de seis variables de parametrización, tal y como se explica en los siguientes apartados. A partir del siguiente bucle de comandos se realiza su importación al modelo, indicando el nombre del archivo Excel y ubicación del archivo a leer, nombre de la hoja del libro del Excel, rango y nombre de la variable, tal y como se indica a continuación.

```
!!-----T_PART // Tipo de pieza
XLReadArray ("PARAMETRIZACION.xlsm","VARIABLES_WITNESS","B$36:E$43",Str2Name ("T_PART"),1)
!
!!-----N_PART: Numero de pieza por OPERACION/PUESTO
XLReadArray ("PARAMETRIZACION.xlsm","VARIABLES_WITNESS","B$45:E$52",N_PART,1)
!
!!-----ICONO
XLReadArray ("PARAMETRIZACION.xlsm","VARIABLES_WITNESS","B$54:E$73",ICONO,1)
!
!!-----Tiempos de CICLO
XLReadArray ("PARAMETRIZACION.xlsm","VARIABLES_WITNESS","B$80:E$99",T_CICLO,1)
!
!!-----Tipo de BANDEJA
XLReadArray ("PARAMETRIZACION.xlsm","VARIABLES_WITNESS","B$76:D$76",Str2Name ("T_BANDEJA"),1)
!
!!----- SKILL_VARIABLE - Destreza operario
XLReadArray ("PARAMETRIZACION.xlsm","VARIABLES_WITNESS","B$78:F$78",SKILL_VARIABLE,1)
```

### 6.2.3. Parametrización de elementos del modelo Witness

Uno de los objetivos de la parametrización en la definición del modelo de montaje del Solectron, es la posibilidad de generar diferentes combinaciones a la hora de establecer las operaciones a realizar en cada puesto que forman la línea de desarrollo del Solectron.

En primer lugar, la posición de cada pieza en el Solectron afectará a la secuencia de operaciones en cada puesto. Dependiendo principalmente del orden de los colores, en el caso de estudio, fase uno de producción, siempre será la misma distribución: verde, amarillo, azul y rojo.

Definido el color, el segundo aspecto es el número de piezas a montar en cada puesto y qué tipo. El Solectron está constituido por cuarenta y nueve piezas para la configuración de la fase uno, las cuales deben ser ensambladas en cuatro de los cinco puestos que forman la línea de montaje. En el caso de otras configuraciones el número de piezas puede variar, según la distribución de colores elegida para el producto final.

Por lo tanto, resultan cuatro variantes asociadas a la entrada de piezas en el puesto, tal y como se muestra en el esquema representado en la Figura 6.1. Las cuales son: el número de piezas; el tipo de piezas, puede ser un sector o un inserto; el tipo de sector (tipo A, B, C o D) o de inserto (circular, rectangular, elíptico o hexagonal); y el color en el caso de los sectores.

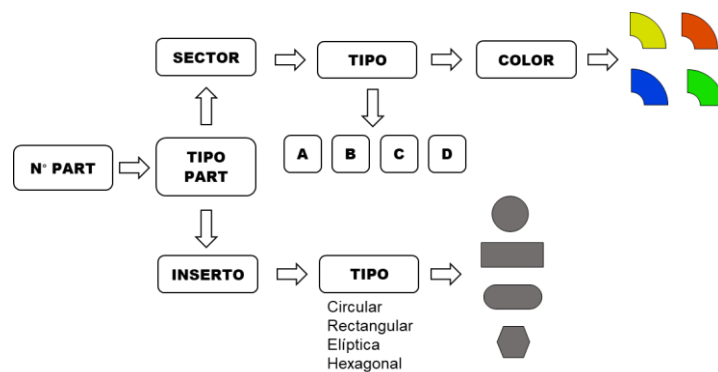


Figura 6.1 Variabilidad en el montaje

A la hora de simular los sectores, se han creado 12 elementos part que representan cada tipo de sector y color. De esta manera, se puede realizar el recuento del tipo de sector que están en curso durante la simulación. En cambio, para la simulación de los insertos, su recuento y suministro no provoca problemas en el desarrollo de la actividad, principalmente por el tamaño. Luego su diferenciación en la simulación no se ha tenido en cuenta, creando un único part llamado "INSERTO".

Para tener en cuenta todos estos aspectos cambiantes en la definición del montaje han sido definidas dos variables, "T\_PART" y "N\_PART". Las cuales son matrices de ocho filas, cada fila está asociada a la entrada de una pieza en cada puesto, y cuatro columnas, cada columna hace referencia a cada puesto de montaje. La primera columna al primer puesto, y la cuarta al cuarto puesto de montaje.

- Matriz "T\_PART", variable de tipo "string". Su función es indicar el tipo de pieza implicado en cada operación de un puesto. En total pueden entrar en el puesto ocho piezas como máximo, de ahí que la matriz contenga ocho filas. Los valores establecidos para la simulación de estudio están recogidos en la Figura 6.2, la cual muestra los valores de las piezas de entrada en cada puesto.

T_PART	SEC_Av	SEC_Aam	SEC_Aaz	SEC_Ar
	SEC_Bv	SEC_Bam	SEC_Baz	SEC_Br
	SEC_Cv	SEC_Cam	SEC_Caz	SEC_Cr
	SEC_Dv	SEC_Dam	SEC_Daz	SEC_Dr
	NONE	INSERTO	NONE	INSERTO
	NONE	INSERTO	NONE	INSERTO
	NONE	INSERTO	NONE	INSERTO
	NONE	INSERTO	NONE	INSERTO

Figura 6.2 Definición variable "T\_PART"

- Matriz "N\_PART", variable de tipo entero, mediante la cual se indicará el número de piezas implicadas en cada operación. En el caso de que no se considere ninguna pieza, o se desee considerar un número de entradas menor que ocho, se considerará nula. Los valores que se asignan para la fase uno de la producción del Solectron se indican en la Figura 6.3.

N_PART	1	1	1	1
	1	1	1	1
	1	1	1	1
	1	1	1	1
	0	1	0	1
	0	1	0	1
	0	1	0	1
	0	1	0	1

Figura 6.3 Definición variable "N\_PART"

La variabilidad en el tipo de sector o inserto a considerar en cada operación lleva implícito la simulación con diferentes iconos, ya sea en la simulación del propio part, como en los elementos que los contienen, como son las cajas transportadoras, bandejas o gavetas. Por esta razón, se ha utilizado una tercera variable, "T\_ICONO", la cual define el número identificativo de los iconos de representación de los elementos de la línea de montaje.

Al igual que las anteriores variables, las columnas representan cada puesto de montaje, excepto para las cuatro últimas filas (17-20), las cuales contienen los iconos relacionados con el almacenaje de los Solectrones en las bandejas. En dichas filas, la columna dos representa los iconos de llenado de la bandeja de dos Solectrones, la columna tres de la bandeja de tres Solectrones y la última la de cuatro.

En la Figura 6.4, se muestra la matriz "T\_ICONO" que contiene los códigos identificativos de los iconos utilizados para la simulación de la fase uno. En total posee veinte filas y ocho columnas con elementos del tipo entero.

T_ICONO					
PART INPUT1	50	51	49	48	1
PART INPUT2	50	51	49	48	2
PART INPUT3	50	51	49	48	3
PART INPUT4	50	51	49	48	4
PART INPUT5	0	57	0	57	5
PART INPUT6	0	58	0	58	6
PART INPUT7	0	60	0	60	7
PART INPUT8	0	56	0	56	8
ASSEMBLED1 SOLECTRON	203	225	210	205	9
ASSEMBLED2 SOLECTRON	54	55	53	52	10
ASSEMBLED3 SOLECTRON	54	55	53	52	11
ASSEMBLED4 SOLECTRON	54	55	53	52	12
BOX-1	145	142	148	139	13
BOX-2	144	141	147	138	14
BOX-3	143	140	146	137	15
INICIO	59	54	55	53	16
BANDEJAstep1	0	308	320	336	17
BANDEJAstep2	0	304	316	332	18
BANDEJAstep3	0	0	312	328	19
BANDEJAstep4	0	0	0	324	20

Figura 6.4 Definición variable "T\_ICONO"

La matriz de icono equivalente se recoge en las figuras del ANEXO 6 (ANEXOS - Figura 7 y ANEXOS - Figura 8), donde se puede ver el icono perteneciente a los códigos identificativos de cada uno de ellos. La visualización de cada uno de ellos se explica en los siguientes puntos, agrupando las filas que representan la misma operación.

- Filas 1-8: Entrada de las piezas a ensamblar en cada puesto. En el caso de la fase uno, las primeras cuatro filas representan los sectores, y las últimas cuatro a los insertos, en caso de que se ajusten al sector correspondiente.
- Filas 9-12: Icono de las piezas una vez ensambladas. En la definición de cada puesto de montaje, se repite ,cada dos operaciones de entrada y montaje de la pieza sobre la base, una operación de ensamblaje. Una vez realiza la operación se visualizará dicho icono. Repitiendo está operación cuatro veces, número máximo de operaciones de ensamblaje en cada puesto.
- Filas 13-15: Iconos de visualización de los almacenajes de los Solectrones. Mostrando el almacenaje con un Solectron (fila 13), con dos piezas (fila 14) y con tres piezas (fila 15).
- Fila 16: representa los iconos a representar en la entrada de la base o Solectron en cada uno de los puestos.
- Fila 17-20: Iconos del llenado de las bandejas de Solectrones, empezando con un Solectron hasta completar la bandeja con mayor capacidad con cuatro Solectrones.

Otra variable de parametrización relacionada con uno de los elementos part simulados, es la variable T\_BANDEJA. En el puesto cinco, se lleva a cabo las tareas de calidad y de preparación de pedidos, almacenando los Solectrones en bandejas. En el caso de estudio, las bandejas son de tres tipos, según su capacidad para alojar dos, tres o cuatro Solectrones.

Para facilitar la entrada de las bandejas en las tres líneas de suministro frente a puesto, asociando el mismo componente de la variable con el de la línea de suministro (N), y la entrada de la bandeja en el puesto cinco, se ha creado la variable "T\_BANDEJA", siendo sus componentes los que se indican en la Figura 6.5.

T_BANDEJA	BANDEJA2	BANDEJA3	BANDEJA4
-----------	----------	----------	----------

Figura 6.5 Definición variable "T\_BANDEJA"

Por otro parte, teniendo en cuenta uno de los factores a analizar mediante la simulación, se ha parametrizado la habilidad de cada operario en desarrollar las diferentes operaciones de cada puesto. Para poder simular la habilidad de los operarios se ha creado una variable llamada “SKILL\_VARIABLE”, de tipo real.

“SKILL\_VARIABLE”, Figura 6.6, es un vector de cinco componentes, cada componente representa la habilidad de cada operario. La columna uno se corresponde con el operario del puesto P1, la de la columna dos la del operario de P2, y así hasta el último puesto P5.

<b>SKILL_VARIABLE</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
-----------------------	------	------	------	------	------

Figura 6.6 Definición variable “SKILL\_VARIABLE”

Dicha variable, factorizará el tiempo de ciclo de cada una de las operaciones que tenga que realizar el operario, y que conlleva un cierto de destreza en realizar la tarea.

Por lo tanto, en el modelo se han definido cuatro variables relacionados con los elementos, consiguiendo la parametrización de los elementos que poseen algún comportamiento o característica cambiante para la presente fase de estudio, como para futuras producciones.

#### 6.2.4. Parametrización del tiempo operación

Uno de los factores más importantes a analizar en cualquier sistema productivo es el tiempo. Medida que nos sirve de referencia para identificar posibles fallos y comprobar la validez de nuevas soluciones planteadas, normalmente, las mejoras se establecen con el objetivo de reducir tiempos de procesado, lo cual se traduce en un ahorro económico.

Para facilitar las modificaciones de los tiempos establecidos de cada operación en el montaje del Solectron, se ha considerado una variable de tipo real para su parametrización. La cual engloba los tiempos de ciclo de cada uno de los puestos de la línea, tiempos que puede verse modificados por otros factores, como el nivel de destreza del operario.

Dada la circunstancia de que se pueden considerar diferentes combinaciones de montaje respecto de la fase de estudio, el tiempo de ciclo durante el montaje debe ser parametrizado, como característica intrínseca de las piezas de entrada en cada puesto. El tiempo de montaje engloba el tiempo de montar los sectores o inserto sobre la base o Solectron, y el tiempo de atornillar el sector o ajustar el inserto en el producto en desarrollo.

La variable “T\_CICLO” tiene una dimensión matricial, con cuatro columnas y veintiuna filas, como muestra la Figura 6.7. Las columnas hacen referencia a los tiempos de las operaciones dentro de un mismo puesto, la primera columna corresponde al puesto P1 y la última al puesto P4. En el puesto P5, los tiempos se han definido los propios elementos, ya que las operaciones son totalmente diferentes.

La definición de cada una de las líneas de la matriz depende, en gran medida, de cómo se han definido cada uno de los elementos que forman el modelo de simulación. De esta manera, la matriz contará con tantos elementos como datos necesarios para la definición del tiempo de ciclo de cada una de las operaciones en las que intervienen los diferentes elementos del modelo.

T_CICLO	1	2	3	4	
ACERCAR GV LLENA	1.0	1.0	1.0	1.0	1
RETIRAR GV VACIA	2.0	2.0	2.0	2.0	2
BASE/SOLECTRON	5.0	5.0	5.0	5.0	3
PART1	3.8	3.8	3.8	3.8	4
PART2	3.8	3.8	3.8	3.8	5
ASSEMBLED	25.0	25.0	25.0	25.0	6
PART3	3.8	3.8	3.8	3.8	7
PART4	3.8	3.8	3.8	3.8	8
ASSEMBLED	25.0	25.0	25.0	25.0	9
PART5	0.0	2.5	0.0	2.5	10
PART6	0.0	2.5	0.0	2.5	11
ASSEMBLED	0.0	10.0	0.0	10.0	12
PART7	0.0	2.5	0.0	2.5	13
PART8	0.0	2.5	0.0	2.5	14
ASSEMBLED	5.0	15.0	5.0	15.0	15
CAJA VACIA	2.00	2.00	2.00	2.00	16
BACK JOB	1	1	1	1	17
EMPUJA CAJA	1.00	1.00	1.00	1.00	18
ACERCAR CAJA LLENA	1.0	1.0	1.0	1.0	19
SACAR CAJA VACIA	2.00	2.00	2.00	2.00	20

Figura 6.7 Definición variable “T\_CICLO”

Cada fila representa la misma operación en cada uno de los puestos, siendo la descripción de cada operación la que se detalla a continuación, indicando la correspondencia con las operaciones en referencia a los tiempos del puesto uno para la fase de estudio, primera columna de la Figura 6.7.

- Fila 1: Acercar gaveta llena de sectores al puesto.
- Fila 2: Retirar gaveta vacía hacia la línea de retorno.
- Fila 3: Coger base y dejarlo en la mesa.
- Fila 4: Montar sector A verde en la base.
- Fila 5: Montar sector B verde en la base.
- Fila 6: Atornillar los sectores en la base.
- Fila 7: Montar sector C verde en la pieza en desarrollo.
- Fila 8: Montar sector D verde en la pieza en desarrollo.
- Fila 9: Atornilla los sectores en la base.
- Fila 10-15: No se consideran, porque no se montan más piezas en el puesto uno.
- Fila 16: Acercar caja vacía a la zona de carga.
- Fila 17: Desplazamiento del operario hacia el puesto desde zona de transferencia.
- Fila 18: Empujar caja llena en la zona de carga.
- Fila 19: Acercar la caja llena de Solectrones a la zona de descarga.
- Fila 20: Sacar caja vacía.

Las filas con referencia “PARTx” y “ASSEMBLED”, hacen referencia al montaje y unión de las de los sectores y/o insertos en cada puesto. Por lo que los tiempos establecidos en la Figura 6.7, hacen referencia a la fase uno. Los cuales pueden variar dependiendo de la configuración de montaje elegida.

Todos los tiempos han sido definidos en base a la hoja de operación estándar de los puestos P1 al puesto P4, las cuales están incluidas en el ANEXO 1. Siendo los tiempos definidos para cada operación base los incluidos en la siguiente Tabla 6.1.



Tabla 6.1 Tiempos de cada operación (fase 1)

OPERACIONES COMUNES	T (cmin)
Montaje de un sector	3.8
Montaje de un inserto	2.5
Atornillar un sector	12.5
Ajustar un inserto	5.00
Depositarse base o Solectron	5.00
Intercambiar gavetas vacías y llenas	3.00
Vaciar embalajes	2.00

### 6.2.5. Interfaz usuario-Witness

El fichero de parametrización se ha creado como una ventana de conexión entre las órdenes del usuario con el modelo de simulación, mediante la cual se define la estrategia a seguir en el montaje del Solectron principalmente. Una vez que el usuario ha indicado las condiciones a simular, las matrices serán actualizadas en el fichero de parametrización, y se realizará la importación de los parámetros mediante la interface de Witness OLE2.

Las órdenes son transmitidas al software mediante la reasignación de nuevos valores a las variables de parametrización definidas. El usuario únicamente debe elegir una estrategia de montaje, habilidad de cada operario, y en el caso de que se requiera, los tiempos de desarrollo de cada operación tipo.

Para facilitar la entrada de datos, se ha generado diferentes pestañas dando la opción de los diferentes casos disponibles, permitiendo modificar lo estrictamente necesario para la reasignación de valores. Normalmente las celdas a modificar por el usuario tienen el mismo formato, color gris.

Para la correcta actualización de las matrices es necesario seguir los siguientes pasos en el mismo orden que se indica. A lo largo del presente apartado se explica detalladamente cada uno de ellos.

1. Definición de la configuración de montaje. Previamente se debe definir la secuencia de montaje en una de las hojas finales (PRODUCCION1, PRODUCCION2), donde el usuario podrá modificar la secuencia en base al objetivo establecido.
2. Selección de la producción de estudio. En la ventana de entrada, hoja "INPUT", se selecciona del desplegable la producción a analizar, tal y como se muestra en la Figura 6.11.
3. Nivel de destreza del operario. Definición de la habilidad de cada uno de los operarios de los cinco puestos simulados.
4. Definición de tiempo base. En caso de que se requiera, se puede modificar los tiempos base de las operaciones comunes en cada uno de los puestos.
5. Actualización de las matrices. Definidos los datos de la producción de estudio deseada, se actualizarán las matrices de parametrización a través del botón "REFRESH" de la ventana de entrada, hoja "INPUT". El cual se muestra en la Figura 6.11.

A partir de la anterior metodología, se definirá y actualizará las matrices de parametrización, mediante las cuales se definirá la configuración de estudio en el software de simulación Witness, así como características importantes para el desarrollo del modelo de simulación.

## Definición de la configuración de montaje

Las características del producto final marcan, en gran medida, la secuencia de operaciones de cada uno de los puestos. Según la distribución de colores en el producto final, se distribuirán las piezas en los distintos puestos. En la producción uno, los sectores se deberán de montar y distribuir respetando la distribución verde, amarilla, azul y roja. El Solectron permite su montaje alternando otras posibilidades, pero en este estudio no se estudiará otra distribución.

Por otro lado, en cada puesto se ha estipulado que puede haber un total de ocho entradas, por el motivo de que la fila de sectores puede estar formada, como máximo, por ocho elementos. Como es el caso de las filas de sectores de color amarillo y rojo. Ocho entradas que pueden corresponderse con sectores de cualquier tipo o de insertos, siempre teniendo el orden lógico de su composición.

Que se haya definido un total de ocho entradas, no impide que se pueda considerar un número menor de entradas en cada puesto. La distribución de piezas en cada puesto es decisión del usuario, quien definirá qué piezas se van a montar y en qué orden. Para ello, se han generado una serie de hojas dentro del fichero de parametrización, donde el usuario determinará la configuración de montaje a analizar mediante el modelo de simulación.

Para el presente trabajo, se va a estudiar la primera producción, en la cual está marcada la distribución de operaciones en cada puesto, siguiendo el orden: verde, amarillo, azul y rojo. Montando todos los elementos del mismo color y elementos asociados en un mismo puesto.

En primer lugar, para la definición de la configuración, el usuario tiene que asegurarse de que la producción de estudio está definida según su criterio en las pestañas finales del libro (“PRODUCCION1” o “PRODUCCION2”). Estas hojas contienen las configuraciones de montaje definidas durante las prácticas realizadas en la Escuela Lean. Pero es importante que el usuario conozca la posibilidad de crear nuevas fases de producción, copiando la hoja “PRODUCCION1”, renombrándola como “PRODUCCIONi” y eligiendo la nueva distribución, con ayuda de las listas despegables y los esquemas orientativos del montaje del Solectron, como los mostrados en la Figura 6.8.



Figura 6.8 Esquemas orientativos

En cada una de las tres columnas que definen la secuencia de operaciones en un puesto, se han creado tres despegables en función del tipo de pieza, del tipo de sector o inserto y del color. En la Figura 6.9, se muestran las tres listas definidas.

En primer lugar, se debe de elegir qué tipo de pieza se considera como entrada hacia el puesto, la cual puede ser un sector o un inserto. En cada una de las celdas de la columna “PIEZA” se ha habilitado la misma lista despegable. En el caso de que se quiere omitir la entrada, se elegirá la opción en blanco.

A continuación, se selecciona el tipo de sector o de inserto. En el caso de que sea un sector se seleccionará SEC\_A, SEC\_B, SEC\_C o SEC\_D. Y si la elección es considerar un inserto, se seleccionará la opción circular, rectangular, elíptico o hexagonal, siempre teniendo en cuenta si los sectores montados

pueden alojar el inserto a montar. Para ello, se ha incluido la relación entre los sectores y los insertos, tal y como se muestra en los esquemas de la Figura 6.8.

En último lugar, se debe definir el color en el caso de que la pieza a considerar sea un sector. En las celdas de la columna “COLOR”, se han incluido una lista con la posible elección de los cuatro colores disponibles para el Solectron de estudio: verde, amarillo, azul y rojo. En el caso de que se defina la entrada de un inserto, se seleccionará la opción en blanco de la lista.

Lista→PIEZA

PUESTO 1			
OPERACIÓN	PIEZA	TIPO	COLOR
0	BASE		
1	SECTOR	SEC_A	VERDE
2	SECTOR	SEC_B	VERDE
3	INSERTO	SEC_C	VERDE
4	SECTOR	SEC_D	VERDE
5			
6			
7			
8			

Lista→TIPO

PUESTO 1			
OPERACIÓN	PIEZA	TIPO	COLOR
0	BASE		
1	SECTOR	SEC_A	VERDE
2	SECTOR	SEC_B	VERDE
3	SECTOR	SEC_C	VERDE
4	SECTOR	SEC_D	VERDE
5			
6			
7			
8			

Lista→COLOR

PUESTO 1			
OPERACIÓN	PIEZA	TIPO	COLOR
0	BASE		
1	SECTOR	SEC_A	VERDE
2	SECTOR	SEC_B	ROJO
3	SECTOR	SEC_C	AZUL
4	SECTOR	SEC_D	VERDE
5			
6			
7			
8			

Figura 6.9 Listas según pieza, tipo y color

Finalmente, la producción uno de estudio, tendrá la siguiente distribución. Considerando todos los elementos del mismo color, y elementos asociados, en un mismo puesto, tal y como se muestra en la siguiente Figura 6.10.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
9		PUESTO 1			PUESTO 2			PUESTO 3			PUESTO 4		
10	OPERACIÓN	PIEZA	TIPO	COLOR	PIEZA	TIPO	COLOR	PIEZA	TIPO	COLOR	PIEZA	TIPO	COLOR
11	0	BASE			SOLETRON			SOLETRON			SOLETRON		
12	1	SECTOR	SEC_A	VERDE	SECTOR	SEC_A	AMARILLO	SECTOR	SEC_A	AZUL	SECTOR	SEC_A	ROJO
13	2	SECTOR	SEC_B	VERDE	SECTOR	SEC_B	AMARILLO	SECTOR	SEC_B	AZUL	SECTOR	SEC_B	ROJO
14	3	SECTOR	SEC_C	VERDE	SECTOR	SEC_C	AMARILLO	SECTOR	SEC_C	AZUL	SECTOR	SEC_C	ROJO
15	4	SECTOR	SEC_D	VERDE	SECTOR	SEC_D	AMARILLO	SECTOR	SEC_D	AZUL	SECTOR	SEC_D	ROJO
16	5	0	0	0	INSERTO	CIRCULAR	0	0	0	0	INSERTO	CIRCULAR	0
17	6	0	0	0	INSERTO	RECTANGULAR	0	0	0	0	INSERTO	RECTANGULAR	0
18	7	0	0	0	INSERTO	ELIPTICA	0	0	0	0	INSERTO	ELIPTICA	0
19	8	0	0	0	INSERTO	HEXAGONAL	0	0	0	0	INSERTO	HEXAGONAL	0

Figura 6.10 Distribución Producción1

Una vez definida la secuencia de montaje en la hoja “PRODUCCION”, se seleccionará la configuración de estudio en la ventana de entrada, en la hoja llamada “INPUT”, a partir de una lista despegable como se muestra en la Figura 6.11. En la celda D4 existe una lista, donde se selecciona la producción a

simular. Con ello, la secuencia de operaciones quedará definida tal y como se ha elegido en las hojas de producción.

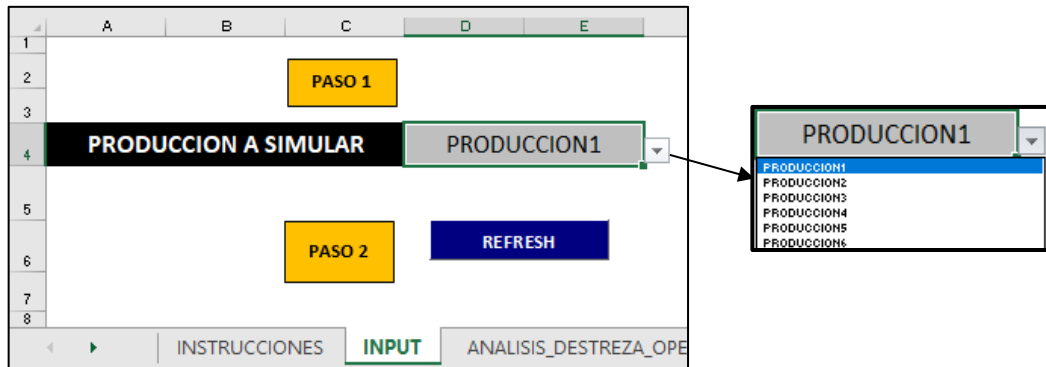


Figura 6.11 Definición producción a simular

A partir de la distribución establecida en la hoja principal, “INPUT”, se asignará el número de pieza, tipo y color por operación y puesto. Automática, a través de fórmulas y bucles de programación en VBA, se reasignarán los nuevos valores a las variables “T\_PART”, “N\_PART” y “T\_ICONO”.

### Definición del nivel de destreza del operario

El nivel de destreza de cada operario influye directamente en el tiempo de ciclo final de la línea de producción. El factor humano es un elemento imprescindible en infinidad de procesos industriales, por lo que su parametrización es necesaria, porque no todos los operarios poseen las mismas aptitudes. Incluso puede haber factores externos a ellos que provoquen una disminución de su ritmo habitual.

En el proceso de estudio, la habilidad del operario en el montaje del Solectron debe ser estudiado, ya que la totalidad del montaje se realiza manualmente. Durante el análisis de resultados del modelo de simulación, se jugará con esta característica con el objetivo de mejorar el proceso, buscando posibles soluciones. Por ello se ha considerado parametrizar dicha opción.

A partir de la variable “SKILL\_VARIABLE”, se modificará el tiempo de ejecución de cada operación manual que requiera destreza por parte del operario, reduciendo o aumentando el tiempo de ciclo.

Para facilitar la definición del nivel de destreza al usuario, se ha generado una ventana de entrada intuitiva y visual para el usuario en la pestaña llamada “ANALISIS\_DESTREZA\_OPERARIO”. Donde el usuario determinará el nivel de destreza del usuario en la fila llamada “SKILL”, la cual se muestra sombreada en gris en la Figura 6.12.

Cada una de las celdas representan la habilidad de los cinco operarios que están involucrados en el proceso de montaje del Solectron. El primer valor pertenece al OPERARIO1 y la última al OPERARIO5, elementos *labor* que pertenecen al modelo de simulación.

NIVEL DE DESTREZA DEL OPERARIO					
OPERARIO	OPERARIO 1	OPERARIO 2	OPERARIO 3	OPERARIO 4	OPERARIO 5
SKILL	1	3	3	3	3
SKILL_VARIABLE	1.2	1	1	1	1
NIVEL DE DESTREZA	MUY ALTO	ALTO	NORMAL	BAJO	MUY BAJO
SKILL / 5 to 1: orden de destreza descendente	5	4	3	2	1

Figura 6.12 Definición habilidad del operario

Cada celda de la fila “SKILL” tiene asignada una lista desplegable con las cinco posibles opciones, según la habilidad de cada operario. La siguiente Tabla 6.2 recoge la relación de la variable SKILL según el nivel de habilidad del operario. Un nivel de destreza muy bueno se corresponde con un valor cinco para la variable SKILL, y para uno muy bajo se le asignará el valor uno.

Tabla 6.2 Nivel de destreza del operario

SKILL	NIVEL DE DESTREZA	SKILL_VARIABLE
5	Muy alto	0.8
4	Alto	0.9
3	Normal	1.0
2	Bajo	1.1
1	Muy Bajo	1.2

Según el valor elegido, a la variable “SKILL\_VARIABLE” se le asignará un valor automáticamente. El cual será un valor muy bajo para un nivel de destreza muy alto, como se indicará en la Tabla 6.2, con el objetivo de reducir los tiempos de operación. Porque el objetivo es factorizar los tiempos de ejecución de los elementos del modelo mediante la variable “SKILL\_VARIABLE”.

### Definición del tiempo de operación

El proceso de montaje del Solectron se realiza a partir de operaciones comunes en cada puesto, ya que el montaje, ajuste y/o fijación de las piezas son las mismas en cada punto de la línea. Por ello, basta con definir los tiempos tipo de cada operación.

En la pestaña “ANALISIS\_TIEMPOS”, se ha habilitado un área para ofrecer la posibilidad de modificar los tiempos de las operaciones comunes en cada punto del sistema. Únicamente es posible modificar el tiempo de las operaciones bases. En la Figura 6.13, se recoge las actividades en común en los distintos puestos de montaje y los tiempos asociados en centésimas de minuto, los cuales han sido definidos a partir de la hoja estándar de operaciones de cada puesto, las cuales están incluidas en el ANEXO 1.

### TIEMPO DE CICLO SEGÚN OPERACIÓN

OPERACIONES COMUNES EN PUESTOS	T (cm)
Montaje de 1 SECTOR	3.8
Montaje de 1 INSERTO	2.5
Atornillar 1 SECTOR	12.5
Ajustar 1 INSERTO	5.00
Depositar base o Solectron	5.00
Intercambiar gavetas vacías y llenas	3.00
Vaciar embalajes	2.00

Figura 6.13 Definición de tiempos

El usuario solo podrá modificar las celdas sombreadas en gris, en caso de que se desee utilizar otros valores a los estimados en las hojas de trabajo de la Escuela Lean. Para facilitar el manejo de la ventana al usuario se ha incluido una lista de instrucciones, la cual se muestra en la Figura 6.14.

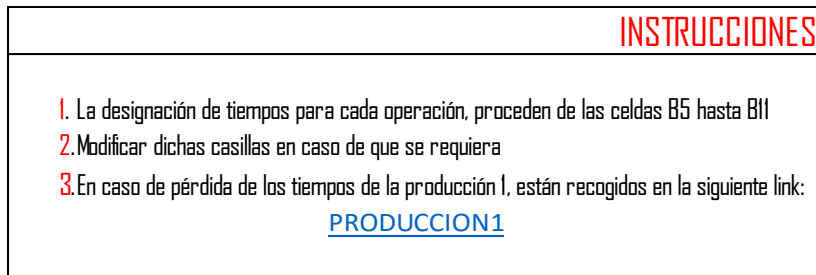


Figura 6.14 Instrucciones de uso “ANALISIS\_TIEMPOS”

A partir de las matrices de parametrización, en las cuales se indica que tipo de pieza se monta y en qué posición, se consideraran los tiempos específicos de cada ciclo mediante imponiendo diferentes relaciones. Teniendo en cuenta los tiempos bases indicados en la Figura 6.13. y la distribución elegida en la pestaña de inicio “INPUT”.

Una vez que las matrices de parametrización han sido definidas, es necesario conocer cada uno de los elementos que forman el modelo de simulación, y la relación entre ellos. La definición de ciertos elementos, como los puestos de montaje, han sido desarrollas en paralelo a la definición de las matrices de parametrización, ya que a partir de ambos elementos se describe por completo el comportamiento del elemento. Por eso es necesario conocer previamente los parámetros utilizados, para entender el desarrollo del modelo.

En el siguiente capítulo, se procede a la explicación en detalle de cada elemento del modelo de simulación y la relación entre ellos. El módulo de la entrada de sectores en la línea, el puesto de montaje, la generación de órdenes, y el puesto de calidad y preparación de pedidos han sido descritos. Cada puesto de montaje conlleva la misma estructura, por lo que únicamente se describirá el puesto uno, tal y como se explica en el siguiente capítulo.

## 6.3. ESTADO DE REFERENCIA

---

### 6.3.1. Descripción

El estado de referencia se denomina a la situación en la que se encuentra cada elemento de la línea de montaje en el inicio del proceso. Situación que ha sido definida con el objetivo de equilibrar las entradas hacia los puestos de montaje, generando una situación óptima para representar un comportamiento real del sistema.

Estimar una saturación de recursos en las zonas previas del sistema no favorece la fluidez del sistema. Al contrario, sería más costoso identificar posibles fallos en el proceso. Y suponer un nivel mínimo de recursos a la hora de suministrar los puestos no reproducirá un comportamiento real del sistema. En ese caso, debería de transcurrir un periodo de transición hasta adoptar un ritmo de trabajo real.

Por ello, se ha definido un nivel intermedio en las áreas de suministro hacia el puesto, así como en las zonas de transferencia, las cuales se definen como entradas en el puesto posterior. A continuación, se define el estado de referencia de cada uno de los elementos de la línea de montaje, los cuales están predefinidos para la fase uno de la producción.

En primer lugar, el área de entrada de las bases de los Solectrones hacia el puesto uno contiene dos cajas vacías, en espera de ser intercambiadas por otras llenas, y una caja en la zona de descarga con cuatro bases, tal y como se muestra en la Figura 6.15.



Figura 6.15 Estado de referencia área de entrada de las bases

La siguiente área de suministro hacia el puesto es el almacén de los sectores, la denominada zona de suministro al puesto. Las cuales poseen cuatro líneas de recepción de sectores, cada línea tendrá dos cajas de sectores llenas de sectores y otra con cinco sectores. Y en las líneas de retorno, se encuentran dos gavetas vacías en cada línea. La Figura 6.16 muestra la situación de las líneas de suministro frente el puesto uno de la Escuela Lean.



Figura 6.16 Estado de referencia área suministro

El área de transferencia entre los puestos almacena dos cajas llenas y una caja vacía en el estado inicial. La caja vacía este se corresponde con el almacenaje para transportar los Solectrones hasta el siguiente puesto, la denomina zona de carga. Y las cajas llenas se encuentran en espera de entrar en el siguiente puesto, para depositar los Solectrones en el puesto posterior. La configuración del estado de referencia se muestra en la Figura 6.17.

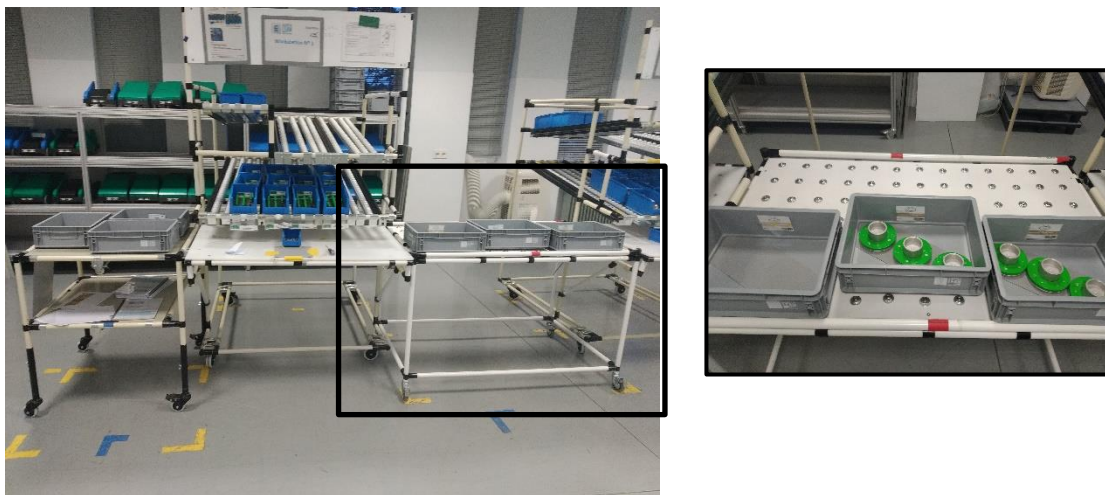


Figura 6.17 Estado de referencia zona de transferencia

Cada uno de los puestos de montaje tendrán el mismo estado de referencia, tanto en las líneas de suministro de los sectores como en las zonas de transferencia. Luego para los puestos dos, tres y cuatro se considera la misma configuración cambiando el tipo de elementos dentro de los embalajes.

Por último, queda por definir el estado en el que se encuentra las líneas de almacenaje de bandejas vacías en el puesto cinco. Las cuales están formadas por tres estanterías con capacidad de dos bandejas. En su estado inicial, se almacenarán dos bandejas con capacidad para dos Solectrones, otras dos para las bandejas de tres y una única bandeja para la de cuatro Solectrones. En la Figura 6.18, se muestra la situación en la que se encuentra las estanterías de las bandejas de la Escuela Lean.





Figura 6.18 Estado de referencia suministro bandejas

Con ello, se ha definido el estado de partida para el montaje del Solectron en la primera fase de producción realiza en la Escuela Lean. De la misma manera, debe de iniciarse la simulación para poder compararse ambos sistemas.

### 6.3.2. Simulación del estado de referencia: fichero STA

A la hora de definir el estado inicial del modelo, se ha optado por una manera rápida y cómoda de inicializar un modelo en un determinado estado, aprovechando una de las características de Witness de poder trabajar con fichero externos. Mediante la importación de un archivo con extensión “.STA” desde la opción de inicialización del modelo, se ha definido el estado de referencia.

A partir de esa función, se puede determinar la posición de cada elemento buffer, machine o conveyor que formen el modelo de simulación, su estado, desde que una máquina esté en funcionamiento (*bussy*) o estropeada (*broken*), y el tiempo restante para abandonar ese estado.

El fichero “.STA” puede generarse fuera del entorno Witness, lo que otorga mayor facilidad para jugar con las distintas variables de parametrización, como es el caso del modelo del montaje del Solectron.

Para llevar a cabo la inicialización del modelo se deben seguir las siguientes pautas para la correcta definición del modelo:

- Se debe definir un instante determinado en la primera línea del archivo, Time=XXX, a partir del cual se asignará un estado de referencia al modelo en ese momento.
- Los elementos part deben ser añadidos a los elementos buffer, machine o conveyor. Cada elemento debe ser añadido en una determinada línea, indicando el elemento al que será añadido y los correspondientes atributos, como el icono.
- Los elementos Labor también pueden ser incluidos, siguiendo la misma metodología que los elementos part.
- Se debe indicar el estado de las máquinas y cintas transportadoras para el instante de tiempo de referencia.

Es muy importante a la hora de definir el estado de cada uno de los elementos, que se tenga un orden lógico y se establezca el mismo proceso establecido en el modelo de simulación. De esta manera, la simulación del estado de inicialización no generará incoherencias con el sistema.

Siguiendo las pautas para la definición del estado de inicialización, se ha generado el estado de referencia para la línea de montaje tal y como se ha definido en el apartado de Descripción. El cual

estará incluido en el fichero llamado ESTADO\_INICIAL-PROD1.STA, fichero que se generará automáticamente mediante la Excel de parametrización.

En primer lugar, se define el instante de tiempo cero como inicio de la simulación, TIME=0.0. Momento en el que, una vez importado el fichero STA mediante el comando [ImportState](#) ("ESTADO\_INICIAL-PROD1.STA"), se procederá la ejecución de la simulación. La definición del estado de inicialización se gestiona desde opciones del modelo, mediante la tarjeta *Initialize Actions*, tal y como se muestra en la Figura 6.19.

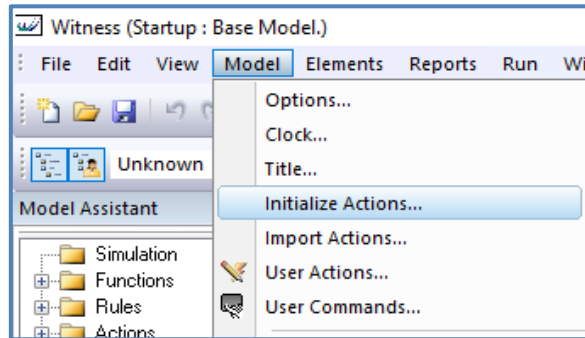


Figura 6.19 Inicialización del modelo

### Estado inicial: Entrada de las bases

En las primeras líneas del fichero se describirá el estado de referencia de la zona de entrada de las bases de los Solectrones. En dicha zona tiene que haber una caja con cuatro bases en espera y dos cajas vacías, tal y como se ha descrito en el apartado de Descripción, representado en la Figura 6.15.

Primero se define los elementos part que estarán en dicha área, en total tres cajas vacías, BASEBOX, y cuatro bases. Una de las cajas vacías está retenida por el elemento GO\_OUT\_BASEBOX, en espera de que la máquina de descarga no contenga ninguna pieza. Y las otras dos cajas en las máquinas de intercambio, INBOX1\_OUTBOX y INBOX\_OUTBOX1.

En segundo lugar, se ha determinado el estado de las cuatro máquinas involucradas en el proceso de entrada de las bases hacia el puesto. Las cuatro se encuentran en funcionamiento, *busy*, y la máquina de descarga, al contener cuatro bases se determina su estado acorde al ciclo cuarto.

```
BASEBOX, INPUT_BASE.INBOX1_OUTBOX, ICON=269
BASEBOX, INPUT_BASE.INBOX_OUTBOX1
BASEBOX, INPUT_BASE.GO_OUT_BASEBOX
BASE, INPUT_BASE.UNLOAD_BASEBOX
BASE, INPUT_BASE.UNLOAD_BASEBOX
BASE, INPUT_BASE.UNLOAD_BASEBOX
BASE, INPUT_BASE.UNLOAD_BASEBOX
INPUT_BASE.INBOX_OUTBOX1, State="Busy/Time=0.0"
INPUT_BASE.INBOX1_OUTBOX, State="Busy/Time=0.0"
INPUT_BASE.GO_OUT_BASEBOX, State="Busy/Time=0.0"
INPUT_BASE.UNLOAD_BASEBOX, State="Busy/Wait/Cycle=4"
```

Figura 6.20 Comandos de Inicialización de la entrada de las bases

### Estado inicial: Suministro sectores

Las líneas de suministro de los cuatro puestos tienen la misma disposición en la configuración del estado de inicialización. Contando con dos gavetas llenas y una con cinco sectores en las cuatro líneas de aprovisionamiento, y dos gavetas en cada una de las líneas de retorno, según se muestra en la Figura 6.16.

A través del estado de referencia se llamarán a ocho gavetas llenas, cuatro gavetas vacías y cinco sectores de cada tipo, como se recogen la secuencia de comandos de la Figura 6.21.

<pre>GAVETA, PUESTO1.SUMINISTRO_1.BACK_1(1), ICON=129 GAVETA, PUESTO1.SUMINISTRO_1.BACK_1(1), ICON=129 GAVETA, PUESTO1.SUMINISTRO_1.BACK_1(2), ICON=129 GAVETA, PUESTO1.SUMINISTRO_1.BACK_1(2), ICON=129</pre>	4 Gavetas vacías	
<pre>GAVETA_FULL, PUESTO1.SUMINISTRO_1.SUMINISTRO_SECTORES(1), ICON=129 GAVETA_FULL, PUESTO1.SUMINISTRO_1.SUMINISTRO_SECTORES(2), ICON=129 GAVETA_FULL, PUESTO1.SUMINISTRO_1.SUMINISTRO_SECTORES(3), ICON=129 GAVETA_FULL, PUESTO1.SUMINISTRO_1.SUMINISTRO_SECTORES(4), ICON=129 GAVETA_FULL, PUESTO1.SUMINISTRO_1.SUMINISTRO_SECTORES(1), ICON=129 GAVETA_FULL, PUESTO1.SUMINISTRO_1.SUMINISTRO_SECTORES(2), ICON=129 GAVETA_FULL, PUESTO1.SUMINISTRO_1.SUMINISTRO_SECTORES(3), ICON=129 GAVETA_FULL, PUESTO1.SUMINISTRO_1.SUMINISTRO_SECTORES(4), ICON=129</pre>	8 Gavetas llenas	
<pre>SEC_Av, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(1) SEC_Av, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(1) SEC_Av, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(1) SEC_Av, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(1) SEC_Av, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(1)</pre>	5 SEC_Av disponibles en P1	
<pre>SEC_Bv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(2) SEC_Bv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(2) SEC_Bv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(2) SEC_Bv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(2) SEC_Bv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(2)</pre>	5 SEC_Bv disponibles en P1	
<pre>SEC_Cv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(3) SEC_Cv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(3) SEC_Cv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(3) SEC_Cv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(3) SEC_Cv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(3)</pre>	5 SEC_Cv disponibles en P1	
<pre>SEC_Dv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(4) SEC_Dv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(4) SEC_Dv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(4) SEC_Dv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(4) SEC_Dv, PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(4)</pre>	5 SEC_Dv disponibles en P1	
<pre>GAVETA, PUESTO1.SUMINISTRO_1.B1(1) GAVETA, PUESTO1.SUMINISTRO_1.B1(2) GAVETA, PUESTO1.SUMINISTRO_1.B1(3) GAVETA, PUESTO1.SUMINISTRO_1.B1(4)</pre>	4 Gavetas retenidas en B1	

Figura 6.21 Comandos de Inicialización suministro sectores (1/2)

Determinados los elementos part involucrados en el estado de referencia, a continuación se define el estado de los elementos que los contienen. Los elementos P1, son máquinas que mantienen en espera a los sectores que van a ser montados. Y por otro parte, las máquinas B1, son entidades que retienen las gavetas vacías hasta que salgan los cinco sectores que contienen los elementos P1 en el estado de referencia. En la Figura 6.22 se muestran los comandos mediante los cuales se definen los estados de las máquinas del proceso de suministro.

```
PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(1), State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"
PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(2), State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"
PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(3), State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"
PUESTO1.SUMINISTRO_1.P1(4), State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"
PUESTO1.SUMINISTRO_1.B1(1), State="Busy/Time=0.0"
PUESTO1.SUMINISTRO_1.B1(2), State="Busy/Time=0.0"
PUESTO1.SUMINISTRO_1.B1(3), State="Busy/Time=0.0"
PUESTO1.SUMINISTRO_1.B1(4), State="Busy/Time=0.0"
```

Figura 6.22 Comandos de Inicialización suministro sectores (2/2)

### Estado inicial: Transferencia entre puestos

Las cuatro zonas de transferencia entre puestos, contienen tres embalajes, dos de ellos llenos de Solectrones, con tres piezas, y un embalaje vacío, el cual está en espera para transportar las piezas hasta el siguiente puesto, tal y como se muestra en la Figura 6.17.

La secuencia de comandos utilizada para definir el estado inicial del área de transferencia entre los puestos uno y dos se muestra en la Figura 6.23. En primer lugar, se llaman a los elementos part a considerar, dos cajas llenas y una vacía. Y a continuación, se define el estado de la máquina de carga y de descarga de Solectrones.

```

BOX, PUESTO1.TRANSFERENCIA_1.LOAD_BOX
BOX_FULL, PUESTO1.TRANSFERENCIA_1.BX_TRANSF, ICON=143
BOX_FULL, PUESTO1.TRANSFERENCIA_1.UNLOAD_BOX
PUESTO1.TRANSFERENCIA_1.LOAD_BOX, State="Busy/Time=0.0/Cycle=1"
PUESTO1.TRANSFERENCIA_1.UNLOAD_BOX, State="Busy/Time=0.0/Cycle=1"

```

Figura 6.23 Comandos de Inicialización transferencia entre puestos

De esta manera se completa la definición del estado inicial de cada uno de los puestos de montaje, ya que la secuencia de comandos para el resto de los puestos será idéntica a la explicada, modificando únicamente los nombres de los elementos implicados. Siendo la disposición completa del puesto uno la que se muestra en la Figura 6.24.

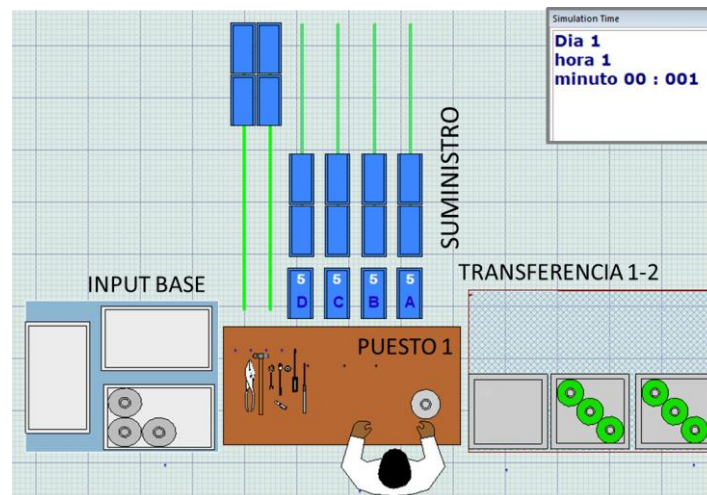


Figura 6.24 Simulación estado de referencia del Puesto 1

### Estado inicial: Suministro bandejas

En último lugar falta por definir el estado inicial de los componentes del último puesto, donde únicamente se debe definir la disposición del suministro de bandejas hacia el puesto. Ya que el resto de los elementos se encuentran a la espera de recibir y procesar componentes del proceso.

En el inicio de la simulación, en total habrá cinco bandejas en espera a entrar al puesto. Dos bandejas con capacidad de dos elementos, otras dos de tres elementos y una bandeja para cuatro Solectrones. Agrupándose las bandejas del mismo tipo en cada estantería del puesto, como se muestra en la Figura 6.18.

Las estanterías de suministro están simuladas mediante elementos buffer, y no contienen ninguna máquina para simular el proceso de suministro al puesto, únicamente se debe definir en el estado de inicialización los elementos y su ubicación, como muestra la siguiente Figura 6.25.

```

BANDEJA2, PUESTO5.SUMNISTRO_BANDEJAS (1) , ICON=301, WIDTH=12, LENGTH=3
BANDEJA2, PUESTO5.SUMNISTRO_BANDEJAS (1) , ICON=301, WIDTH=12, LENGTH=3
BANDEJA3, PUESTO5.SUMNISTRO_BANDEJAS (2) , ICON=302, WIDTH=12, LENGTH=3
BANDEJA3, PUESTO5.SUMNISTRO_BANDEJAS (2) , ICON=302, WIDTH=12, LENGTH=3
BANDEJA4, PUESTO5.SUMNISTRO_BANDEJAS (3) , ICON=303, WIDTH=12, LENGTH=3

```

Figura 6.25 Comandos de Inicialización suministro bandejas

Al igual que el resto de los módulos, las piezas que están ubicadas en elementos buffer se ha definido su icono, y en ocasiones su tamaño. De la misma manera que se definen para cada una de las bandejas. La disposición de la línea de suministro de bandejas hacia el último puesto se representa la Figura 6.26.



Figura 6.26 Disposición suministro de bandejas en el puesto cinco

Unificando todos los comandos definidos descritos y los equivalentes en los puestos dos, tres y cuatro se define el estado inicial de todo el proceso de montaje, incluyendo todo el grupo de comandos en el fichero ESTADO\_INICIAL-PROD1.STA.

### 6.3.3. Generación archivo STA

Aprovechando que los elementos de entrada a cada puesto están parametrizados en el archivo "PARAMETRIZACION.xlsm", se ha implementado la generación automática del fichero de inicialización del estado de referencia de la producción 1 en el mismo fichero de parametrización, en la hoja llamada "STA".

Para generarlo el usuario únicamente tiene que pulsar sobre el botón "REFRESH STA", Figura 6.27, y directamente se actualiza el contenido del fichero ESTADO\_INICIAL-PROD1.STA, el cual se encuentra en la misma ubicación que el fichero PARAMETRIZACION.xlsm. Su actualización se lleva a cabo mediante la programación de una macro desarrollada en el entorno de VBA, la cual se define en el ANEXO 5, en el apartado "Escribir fichero STA".



Figura 6.27 Actualización fichero STA

La actualización de datos del estado de referencia se ha llevado a cabo mediante funciones Excel, la definición de cada línea de comandos se ha implementado concatenando los datos variables de la matriz de parametrización "T\_SEC" con los comandos fijos del fichero STA.

De esta manera, en el momento que se modifique la distribución de entrada de las piezas en cada puesto se actualizará la matriz, y con ello la secuencia de comandos de inicialización. La definición del fichero solo es válida para la producción uno, solo se han considerado las cuatro primeras filas de dicha matriz, acorde con la distribución elegida para la fase de estudio.

A continuación, se explica la definición de los comandos del suministro de sectores del puesto 1. Donde los sectores verdes se han definido como entrada al puesto 1 para su posterior montaje. Luego se ha concatenado la primera celda de la matriz T\_SEC, junto el resto de los comandos necesarios para definir su ubicación en el instante cero.

Para definir la ubicación, se ha fijado la segunda columna de la hoja para la entrada del nombre del módulo y de los elementos. De esta manera, solo bastará con modificar el nombre para gestionar el resto de los módulos de suministro.

En la siguiente Figura 6.28, se muestra la función de Excel utilizada para definir la entrada de un sector tipo SEC\_Av, el cual está incluido en la matriz "T\_PART", Figura 6.2. Dicha función concatena la celda correspondiente de la matriz (N4); la celda B19, correspondiente al módulo principal PUESTO1; la celda B20, el hace referencia al submódulo SUMINISTRO1; y la celda B21 correspondiente al elemento P1. Resultando finalmente la expresión: "SEC\_Av,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(1)". De la misma manera se ha procedido para cada una de las líneas donde está incluida un elemento de entrada variable hacia cada puesto de la línea de montaje.

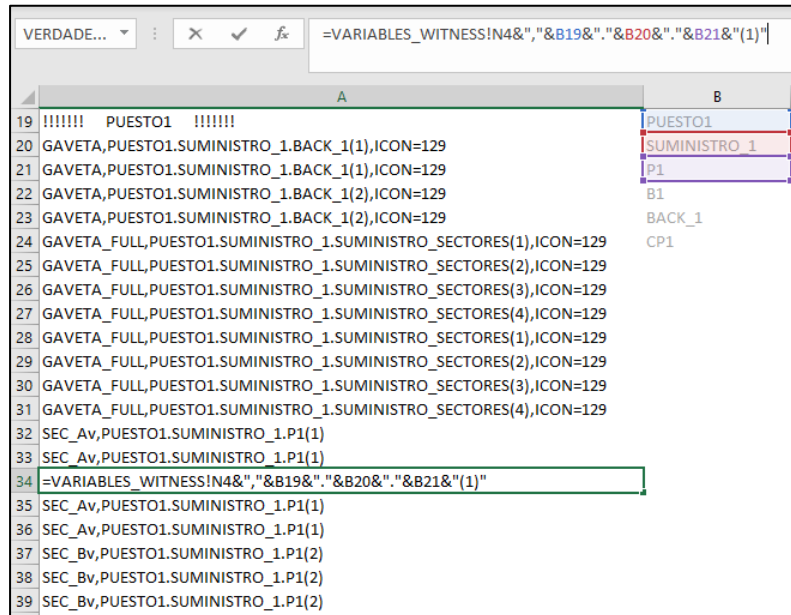


Figura 6.28 Actualización de los comandos del fichero STA

En este punto finaliza la descripción completa del modelo de simulación desarrollado y las funciones consideradas para la representación del comportamiento del sistema de montaje. En el capítulo siguiente comenzados con otra etapa diferente, el análisis y experimentación mediante la simulación del modelo creado.

A partir del análisis no solo analizaremos el modelo, también se compararán los resultados con los datos teóricos indicados en las hojas estándar de cada puesto. Con ello conseguiremos la validación del modelo.

# CAPÍTULO 7. ANÁLISIS Y RESULTADOS





## 7.1. INTRODUCCIÓN

---

Una vez que se ha desarrollado el modelo de simulación, el primer paso que hay que realizar es la validación, la cual se llevará a cabo comparando los tiempos de ciclo de cada puesto con los datos de la hoja estándar del modelo.

A través de dicha comparación se cerciora de que cada puesto que forman la línea del montaje realiza las operaciones demandas en el mismo tiempo que el establecido teóricamente. Pero también, se obtendrán resultados del comportamiento del modelo pudiendo identificar posibles fallos y las mejoras para solventarlos.

Una vez que el modelo se ha validado, se implementará una factorización del tiempo de ciclo mediante una distribución estadística para simular posibles factores externos, como la avería en el carro de logística, o internos como una parada provocada por la rotura de las herramientas de trabajo debido al desgaste.

Por otro lado, se analizará cómo afecta a todo el proceso el nivel de destreza de cada uno de los operarios. Mediante la variable de parametrización, "SKILL\_VARIABLE", se modifica el tiempo que conlleva la realización de toda tarea manual que requiera un nivel de destreza por parte del usuario.

A partir de los resultados se estudiará la eficiencia del proceso, a través de medidas como el RO, rendimiento operativo, Lead Time o la identificación del número de piezas defectuosas que se han generado. Para ello, se ha generado un indicador visual en el propio modelo, para contabilizar todos parámetros durante la simulación.

Analizados todos los resultados deseados, se identificarán todos los fallos de la línea de montaje, determinando todos los elementos que no generen valor en la línea. Con ello, se planteará una nueva estrategia salvando todos los puntos negativos identificados mediante el presente análisis.

En cada una de las simulaciones realizadas se ha puesto como objetivo alcanzar la preparación de treinta órdenes. Cada una de las medidas realizadas son en base al tiempo comprendido para dicho objetivo.

## 7.1. TIEMPO DE CICLO

En cada puesto se calculará el tiempo de ciclo total que conlleva realizar todas las operaciones necesarias para el montaje del Solectron. Con el principal motivo de gestionar el tiempo de montaje y localizar posibles fallos en el sistema.

Para determinar el tiempo de ciclo se ha definido la variable  $T\_CICLO()$ , la cual recogerá en cada una de sus componentes el tiempo de ciclo en relación con el puesto. Para su cálculo se ha incluido la variable  $TP$ , la cual almacenará el tiempo de inicio del ciclo en la primera operación a realizar ( $TP=TIME$ ). Y en la última operación se recoge en la variable el tiempo de ciclo resultante mediante la expresión:  $T\_CICLO(i)=TIME-TP$

La variable  $i$  se refiere a cada componente del vector, asociada cada una de ellas a los cinco puestos de la línea de montaje. Y la variable  $TIME$  está generada por defecto en Witness, y recoge el instante de tiempo en el que se llame a la variable.

El tiempo de ciclo instantáneo de cada área de trabajo se representará visualmente mediante un panel informativo, como se puede ver a la derecha de la Figura 7.1, junto con la función que representada cada valor lo largo del tiempo ( $CYCLE(t)$ ), elemento *Timeseries* del entorno Witness, representada a la izquierda de la Figura 7.1 junto con los valores máximo alcanzados.

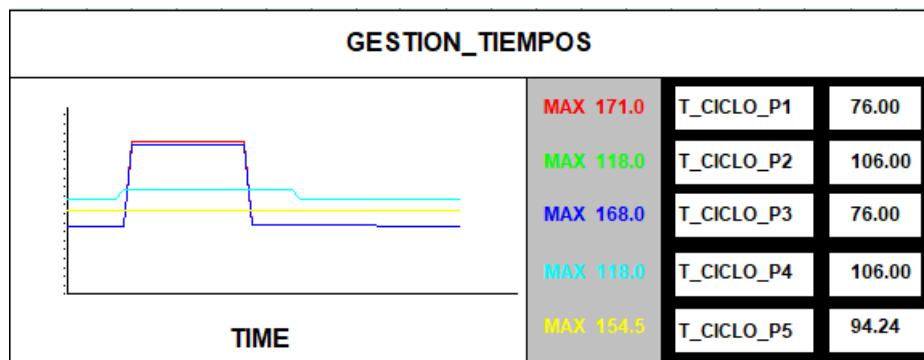


Figura 7.1 Visualización gestión de tiempos

A partir de las estadísticas del elemento  $CYCLE$ , se obtendrán todas las medidas de cada función, así como los valores medios, desviaciones, máximos y mínimos. Con ellos, la experimentación con el modelo desarrollo será mucho más rápida y cómoda para el usuario.

## 7.2. VALIDACIÓN DEL MODELO

El tiempo de ciclo de cada puesto varían en función del estado de los almacenajes implicados en el montaje, es decir, si el operario tiene que retirar las cuatro gavetas vacías y acercar otras llenas para seguir el montaje, su tiempo de ciclo será mayor que si solo tiene que ensamblar y ajustar las piezas.

Acorde con los tiempos definidos en las hojas de trabajo estándar de cada puesto, los tiempos de cada puesto pueden estar comprendidos entre un valor mínimo, el cual implica únicamente las operaciones de montaje y transporte de la pieza de desarrollo, y un valor máximo que engloba los movimientos de los elementos de almacenaje, como son las gavetas de sectores, cajas de transporte de los Solectrones y las cajas que contienen las bases de estos. Por lo tanto, el tiempo de ciclo puede variar acorde con lo indicado en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1 Intervalo de tiempos de ciclo teóricos

Puesto		Tiempo mínimo (cmin)	Tiempo máximo (cmin)
Puesto 1 / Puesto 3		76	89
Puesto 2/ Puesto 4		106	119
Puesto 5	Bandeja 2	83	-
	Bandeja 3	110	-
	Bandeja 4	137	-

Los tiempos máximos en el puesto cinco depende de donde se encuentre el defecto, ya que si se encuentra en las primer filas de sectores implicaría más tiempo su reparación que si se detecta en la capa superior.

En las primeras operaciones del modelo de simulación se ha cumplido el tiempo mínimo de los cuatro puestos de montaje, una vez que el proceso transcurre se van provocando paradas en ciertos puestos y no se cumple lo establecido. Lo cual es debido a fallos en la configuración de montaje, ya que el comportamiento del modelo digital es igual que el sistema real.

Analizando los tiempos recogidos a través de las variables de parametrización "T\_CICLO", los cuales se muestran en la Figura 7.1, se aprecia una diferencia significativa comparando los valores máximos obtenidos con los valores teóricos.

A través de las estadísticas de la función CYCLE, se determina el tiempo de ciclo medio en cada puesto, desviación y otros valores, los cuales se recogen en la Tabla 7.2. Comparando el valor medio con los tiempos teóricos, los tiempos de ciclo de referencia de los puestos dos y cuatro son semejantes a los valores indicados en la Tabla 7.1. En cambio, con los otros puestos hay una diferencia incluso con los tiempos medios.

Tabla 7.2 Validación: Valores medios de la variable T\_CICLO

Name	GESTION_TI	GESTION_TI	GESTION_TI	GESTION_TI	GESTION_TI
Plot	1	2	3	4	5
Mean	104.82	111.28	103.92	111.28	94.242
Standard Deviation	43.327	5.9566	41.952	5.9566	0.0000
Min Value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Min Recorded At	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
Max Value	171.00	118.00	168.00	118.00	154.50
Max Recorded At	4180.0	550.00	4180.0	550.00	730.00

El problema de la desviación con los tiempos teóricos de los otros puestos procede de las esperas de los operarios debido a la saturación en las zonas de transferencia previas a los puestos dos y cuatro. La siguiente Tabla 7.3, muestra la actividad de cada una de las cajas de transporte que se encuentran a la espera de transportar Solectrones al siguiente puesto. Se puede observar que el cincuenta por ciento del tiempo, los elementos se encuentran bloqueados, porque no hay cajas vacías disponibles.

Tabla 7.3 Estado de las zonas de carga de Solectrones

Name	% Busy	% Filling	% Emptying	% Blocked	% Cycle Wait Labor	% Setup	% Setup Wait Labor	% Broken Down	% Repair Wait Labor	No. Of Operations
PUESTO1.TRANSFERENCIA_1.LOAD_BOX	1.84	0.00	0.00	48.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31
PUESTO2.TRANSFERENCIA_2.LOAD_BOX	1.80	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	30
PUESTO3.TRANSFERENCIA_3.LOAD_BOX	1.84	0.00	0.00	47.98	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	31
PUESTO4.TRANSFERENCIA_4.LOAD_BOX	1.80	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	30

Los operarios de los puestos dos y cuatro están la totalidad del tiempo ocupados, realizando las tareas de montaje. En cambio, los puestos de montaje uno y tres se encuentran más del veinte por ciento de la simulación en espera, porque no hay elementos de transporte disponibles como se muestra en la Figura 7.2.

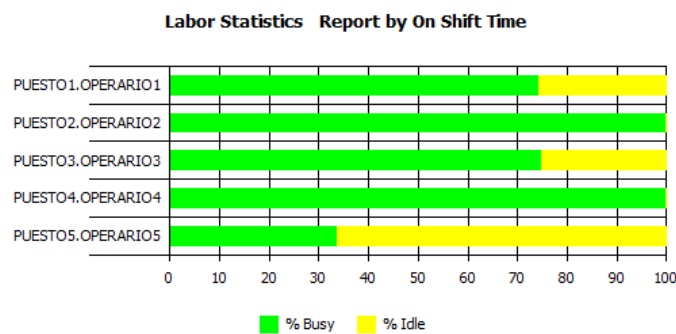


Figura 7.2 Estado de cada operario

Por lo tanto, el problema de la desviación no está asociada a la definición del modelo, el cual tiene el mismo comportamiento que el sistema real. Atendiendo en a los primeros tiempos de ciclo de montaje, recogidos mediante la función TCICLO, se demuestra que el modelo genera tiempos de ciclo coincidentes con los teóricos, tal y como se muestra en las tablas del apartado RESULTADOS VALIDACIÓN. Por lo tanto, el proceso de validación del modelo de montaje del Solectron se da por finalizado tras las comparaciones realizadas.

## 7.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 7.3.1. Simulación 1: Variabilidad en el sistema

Para tener en cuenta en el modelo de simulación factores externos y/o internos que no pueden ser simulados, como cualquier error humano esporádico o que las herramientas de trabajo manual no se encuentren en servicio, se ha factorizado los tiempos de ciclo de cada una de las operaciones de montaje por una distribución estadística con el objetivo de simular variabilidad en el comportamiento del sistema.

Implementando una distribución estadística del tipo normal en cada uno de los ciclos de los puestos de montaje, se han obtenido una diferencia respecto a los tiempos estudiados durante la validación, habiendo una pequeña diferencia entre puestos iguales como se puede ver en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4 Simulación 1: Tiempo de ciclo medio en cada puesto

Name	GESTION_TI	GESTION_TI	GESTION_TI	GESTION_TI	GESTION_TI
Plot	1	2	3	4	5
Mean	102.52	114.67	106.83	109.97	93.548
Standard Deviation	43.738	5.9997	44.591	5.2898	6e-14
Min Value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Min Recorded At	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
Max Value	189.53	121.86	185.99	123.82	154.98
Max Recorded At	8150.0	5160.0	5225.0	3885.0	730.00

Como se ha mencionado en el anterior apartado, en los puestos dos y cuatro se alcanzan tiempos de ciclos que se encuentran dentro del intervalo teórico indicado, con un máximo de 119 cmin. En cambio, las medidas de los puestos de montaje uno y tres tienen una mayor desviación respecto la media, y respecto los valores teóricos.

Analizando la actividad de los operarios, se identifica que, al igual que en el anterior análisis, los operarios de los puestos uno y tres están más del veinte por ciento del tiempo desocupados, como recoge la Figura 7.3. Y el operario cinco se encuentra más del cincuenta por ciento del tiempo simulado libre. Se comprueba una gran diferencia en la actividad de cada operario, ya que los operarios dos y cuatro están la totalidad del tiempo en estado operativo.

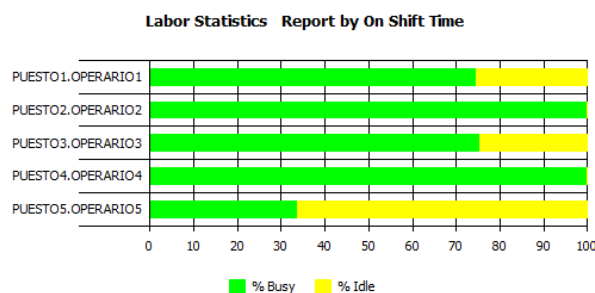


Figura 7.3 Simulación 1: Actividad de los operarios

Si comprobamos el estado de la máquina asociada a cada operario, vemos que los puestos uno y tres se encuentran bloqueados casi un treinta por ciento del tiempo. La gráfica representada en la Figura 7.4, recoge el porcentaje de cada uno de los estados posibles de cada elemento tipo máquina.

Machine Statistics Report by On Shift Time

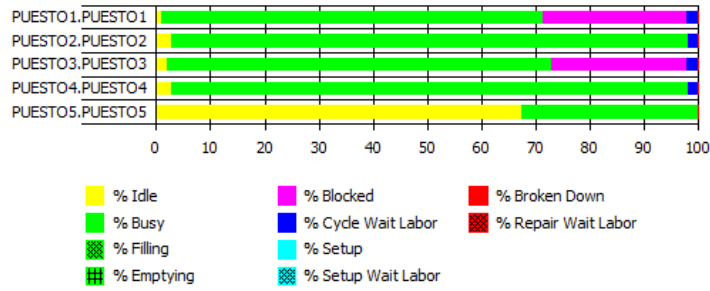


Figura 7.4 Simulación 1: Estado de los puestos

El problema de que el operario esté parado y la máquina bloqueada es debido a la saturación localizada en las áreas de transferencia, Tabla 7.5. La zona de descarga hacia el puesto dos, transferencia uno, y cuatro, transferencia tres, no va al mismo ritmo que el de entrada de piezas, porque en los puestos dos y cuatro el ritmo de montaje es más lento que el resto de los puestos. Lo que se denomina cuello de botella en los sistemas productivos, punto donde el ritmo de la producción se reduce debido a que se trabaja por encima de sus capacidades.

Machine Statistics Report by On Shift Time

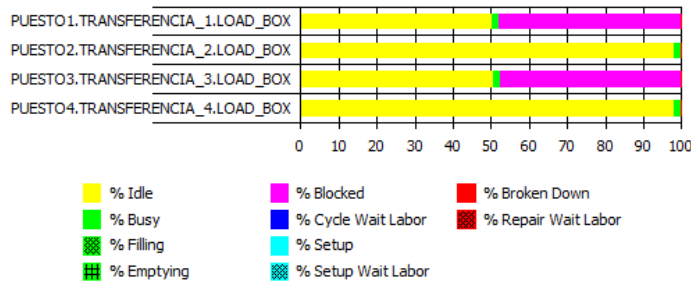


Figura 7.5 Simulación 1: Estado de las zonas de carga

En la Tabla 7.5, se puede ver que el número de operaciones realizadas en las máquinas de carga asociadas a la zona de transferencia uno y tres están un nivel por encima.

Tabla 7.5 Simulación 1: Estado LOAD\_BOX

Name	% Idle	% Busy	% Filling	% Emptying	% Blocked	% Cycle Wait Labor	% Setup	% Setup Wait Labor	% Broken Down	% Repair Wait Labor	No. Of Operations
PUESTO1.TRANSFERENCIA_1.LOAD_BOX	50.22	1.84	0.00	0.00	47.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31
PUESTO2.TRANSFERENCIA_2.LOAD_BOX	97.90	1.80	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	30
PUESTO3.TRANSFERENCIA_3.LOAD_BOX	50.43	1.84	0.00	0.00	47.68	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	31
PUESTO4.TRANSFERENCIA_4.LOAD_BOX	97.90	1.80	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	30

Por otra parte, se comprueba que el tiempo de actividad de las máquinas de descarga es inferior al dos por ciento, estando la mayor parte del tiempo en espera, pero esa es su función, esperar a que el operario deposite las piezas en los almacenajes.

### Tiempos de producción y medidas de eficiencia

Para la gestión de tiempos se suelen tener en cuenta medidas como el Tackt Time, es el indicador del ritmo de la producción en base a lo que demanda el cliente. Es uno de los parámetros más importantes a determinar en todo sistema Lean, ya que es el marcapasos del sistema.

La cadencia se define teniendo en cuenta el tiempo requerido diario, tiempo que engloba desde el tiempo útil (tiempo de generación de valor) hasta el tiempo de paradas propias e inducidas, y la cantidad a producir cada día (demanda del cliente).

$$Takt\ Time = \frac{Tiempo\ requerido\ diario}{Cantidad\ a\ producir\ diaria} \quad \text{Ecuación 1}$$

Para la producción uno del Solectron, el Tackt Time tiene un valor de 1 min, teniendo en cuenta los siguientes datos para calcularlo:

- Cantidad diaria por producir: 860 Solectrones/día.
- Número de turnos: dos.
- Horas trabajadas por turno: 8 horas.
- Descansos: 5 x 10 minutos.

$$Takt\ Time = \frac{(2 \times 8 \times 60) - (2 * 50)}{860} = 1.00\ min$$

El *takt time* sirve para controlar el ritmo de producción, pero también para alertar en caso de que se encuentre una situación de sobreproducción o de retraso de la producción.

Otro indicador del comportamiento de la producción es el denominado Lead Time, tiempo que se necesita para que una pieza recorra toda la cadena de valor, de principio a fin. Tiempo que transcurre desde que se realice la primera operación hasta que finaliza la última, teniendo en cuenta todo contratiempo o paso no necesario para la creación de valor.

$$Lead\ Time = \frac{Piezas\ en\ proceso + Stock}{Demanda} \quad \text{Ecuación 2}$$

En muchas ocasiones, los términos *Takt Time* y *Lead Time* son confundidos, destacar que el Lead Time abarca todo el tiempo desde que se lee la orden de pedido hasta que el producto final es entregado al cliente. En cambio, el *Takt Time* marca el tiempo de procesado del producto acorde con la demanda. Por eso, al concepto de Lead Time se le denomina tiempo de entrega o de maduración.

Por otro lado, se ha determinado el tiempo de ciclo, tiempo que transcurre entre la producción de una pieza y la siguiente. El tiempo de ciclo es el tiempo necesario para cubrir la demanda teniendo en cuenta únicamente el tiempo necesario para producir valor:

$$Tiempo\ de\ ciclo = \frac{Tiempo\ requerido\ diario}{Cantidad\ a\ producir\ diaria} \cdot \frac{Tiempo\ útil}{Tiempo\ requerido} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$Tiempo\ de\ ciclo = Takt\ Time \cdot Ro \quad \text{Ecuación 4}$$

El RO es el denominado rendimiento operativo del proceso, el cual se define como la relación entre el tiempo que conlleva la creación de valor eficaz (tiempo útil) respecto el tiempo de fabricación total, considerando paradas, errores, sobresaturación y tiempos de mantenimiento.

$$Ro = \frac{Tiempo\ útil}{Tiempo\ requerido} \quad \text{Ecuación 5}$$

También, se puede obtener el valor del rendimiento a partir de las piezas teóricas que se fabricarían en el tiempo requerido y las que se fabrican realmente.

$$Ro = \frac{Piezas\ buenas\ en\ tiempo\ requerido}{Piezas\ teóricas\ en\ el\ tiempo\ requerido} \quad \text{Ecuación 6}$$

Valores bajos del rendimiento operacional se traduce en resultados negativos, valores próximos a 1.0 describiría el desarrollo de una situación perfecta, acorde a la teórica.

En el modelo de simulación del montaje del Solectron se ha creado un panel de información relacionado con los tiempos de producción y medidas de eficiencia como el rendimiento operativo. En el panel informativo se calculan directamente acorde con los recursos disponibles en cada instante el

Ro, tiempo de producción y Lead Time. En la Tabla 7.6 se muestran las medidas obtenidas en la primera simulación, transcurrido una hora y treinta minutos de simulación.

Tabla 7.6 Simulación 1: Tiempos de producción y medidas de eficiencia ( 1hora 30 min)

RECURSOS		MEDIDAS EFICIENCIA	
SOLETRONES WIP	6	RO	0.90
BASES_WIP	43	TIEMPO CICLO cmin	90.00
FALLOS	2	LEAD_TIME min	43.00
BANDEJAS_OUT	27		
SOLETRON_OUT	81		

El rendimiento es inferior a la producción teórica que tendría que producirse para satisfacer la demanda del cliente, para ese instante de tiempo se deberían haber entregado al cliente 90 Solectrones, y se han enviado un total de 81. Se alcanza un rendimiento negativo

El tiempo que transcurre desde que entra una base hasta que pasa por toda la cadena de producción asciende a un valor de 43 minutos. Tiempo que se contabiliza con las bases que se encuentran en cualquier lugar de la cadena y la demanda del cliente (1Solectron/min).

De las 27 bandejas entregadas, se han resuelto dos fallos, los cuales han sido detectados y solventados por el operario del puesto cinco.

### 7.3.2. Simulación 2: Nivel de destreza mínimo

En las simulaciones realizadas en la Escuela Lean, la mayor parte de los usuarios no tienen experiencia con el proceso de montaje del Solectron. Principalmente, en las sesiones didácticas que se realizan como formación.

Para analizar la situación más crítica se ha considerado en el nivel de destreza más bajo a través de la definición de la variable SKIL\_VARIABLE, asignando a cada operario el peor valor disponible, el cual corresponde con un valor de 1.2 para cada componente de la variable. De esa manera se incrementará un veinte por ciento los tiempos de ciclo de cada puesto.

A través de los valores recogidos mediante la función CICLE, se obtienen los tiempos medios recogidos en la Tabla 7.7. Se puede apreciar que el tiempo medio en cada uno de los puestos ha aumentado considerablemente.

Tabla 7.7 Simulación 2: Tiempo de ciclo medio en cada puesto

Name	GESTION_TI	GESTION_TI	GESTION_TI	GESTION_TI	GESTION_TI
Plot	1	2	3	4	5
Mean	121.17	127.15	116.77	121.16	170.12
Standard Deviation	54.094	5.0780	44.492	7.3265	3e-14
Min Value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Min Recorded At	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
Max Value	207.29	139.25	206.81	140.23	185.32
Max Recorded At	7380.0	7375.0	5190.0	3670.0	5385.0

La actividad de los operarios en cada uno de los puestos es exactamente igual, los operarios de los puestos uno y tres se encuentran más del veinte por ciento del tiempo de simulación en espera para continuar su trabajo debido al problema de saturación en los puestos dos y cuatro.



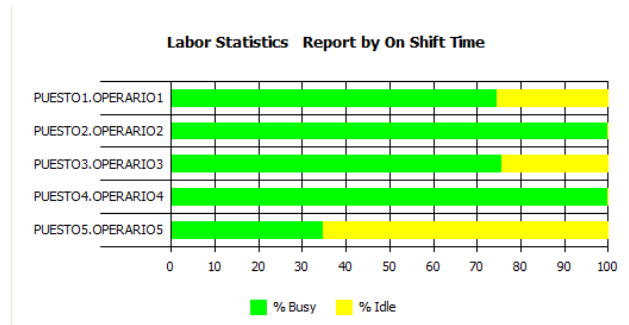


Figura 7.6 Simulación 2: Actividad de los operarios

La actividad de cada uno de los puestos de la línea de montaje es idéntica a la de las simulaciones previas, los puestos uno y tres se encuentran más del veinte por ciento bloqueados porque no pueden sacar los Solectrones en proceso hacia el siguiente puesto, como se muestra en la Figura 7.7.

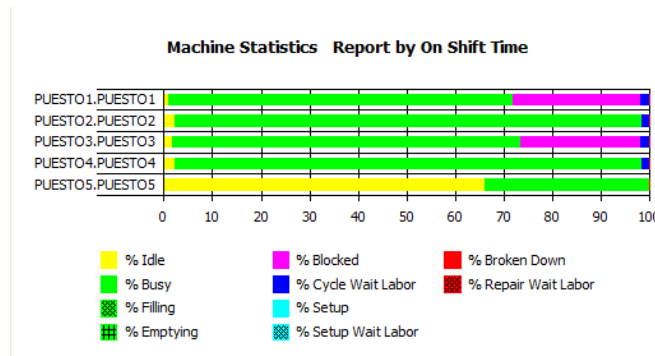


Figura 7.7 Simulación 2: Estado de los puestos

Observando los principales factores que se ven afectados por el nivel de destreza de cada operario, se puede destacar la variación de los tiempos de ciclo. Principalmente los tiempos de ciclo de los puestos uno y tres. En la Figura 7.8, se muestra los tiempos de ciclo en el instante que se ha finalizado la simulación, los tiempos máximos se detectan en los puestos uno y tres, pero son debidos a situaciones de saturación de los puestos siguientes.

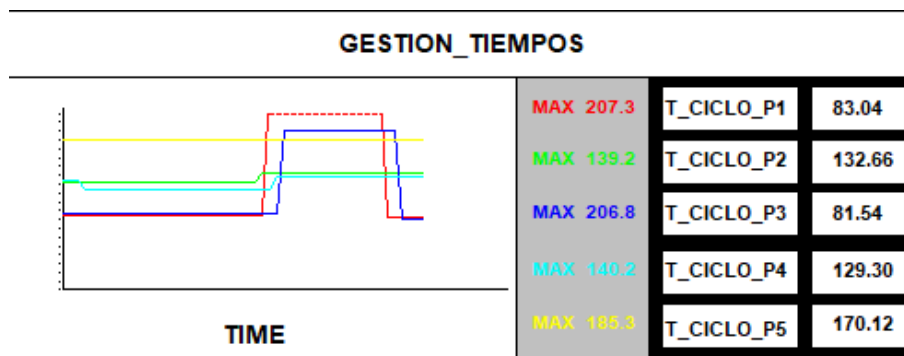


Figura 7.8 Simulación 2: Tiempos de ciclo

En la Tabla 7.8, se muestra los tiempos de producción y las medidas de eficiencia, las cuales muestran que el rendimiento de la línea es inferior a la anterior simulación (ver Tabla 7.6), donde el Ro alcanzaba un valor de 90% para el mismo instante de tiempo.

Tabla 7.8 Simulación 2: Tiempos de producción y medidas de eficiencia ( 1hora 30 min)

RECURSOS		MEDIDAS EFICIENCIA	
SOLETRONES WIP	5	RO	0.80
BASES_WIP	40	TIEMPO CICLO cmin	80.00
FALLOS	1	LEAD_TIME min	40.00
BANDEJAS_OUT	24		
SOLETRON_OUT	72		

El número de Solectrones enviados al cliente ha disminuido en nueve unidades, hecho que disminuye el rendimiento del proceso. Respecto al Lead Time ha disminuido porque el número de piezas en proceso es menor al disminuir el ritmo de la línea.

Por lo tanto, se comprueba que la eficiencia de la línea es menor debido al nivel de destreza de los operarios, resultando el mismo problema de saturación en las áreas de almacenaje, tanto en las zonas de transferencia como en el suministro de sectores, como representa la Figura 7.9.

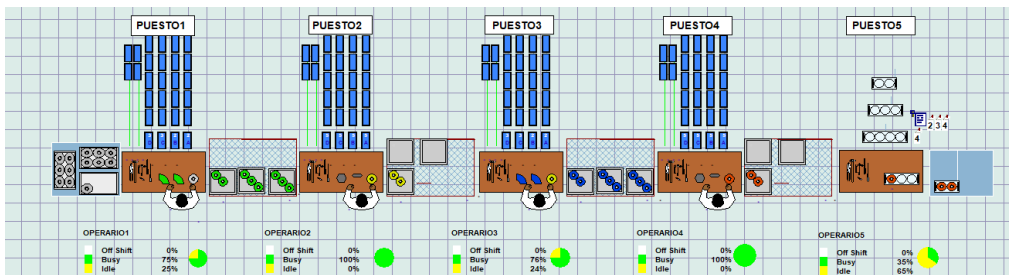


Figura 7.9 Simulación 2: Estado de la línea de montaje

### 7.3.3. Simulación 3: Equilibrado del nivel de destreza

En el caso de que en la línea de montaje participen operarios con distintos niveles de destrezas, ya sea porque alguno de ellos tiene experiencia en el proceso o hayan recibido formación, se asignan a los puestos con mayor carga, puesto dos y cuatro, los operarios con mayor habilidad. Y los operarios con menor habilidad se les encarga ocuparse de los puestos uno y tres, donde el número de operaciones es menor. De esta manera, el comportamiento de la línea se verá equilibrado.

Para simular un nivel de destreza alto se le asigna a la variable "SKILL\_VARIABLE" un valor de 0.8 lo que reduce el tiempo de ciclo de la operación un veinte por ciento, nivel de destreza más alto. Y para simular el nivel de destreza mínimo se le asignará un valor de 1.2 como ya se ha indicado en el apartado anterior, Simulación 2: Nivel de destreza mínimo.

En primer lugar, observando el panel que muestra los tiempos de ciclo máximos e instantáneos, resulta una diferencia menor entre los cuatro puestos de montaje como se muestra en la Figura 7.10.

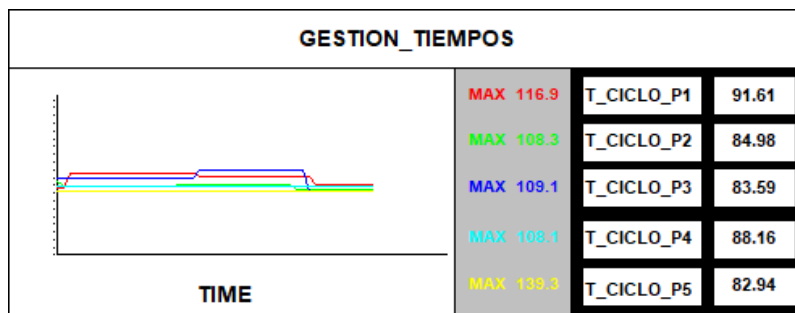


Figura 7.10 Simulación 3: Tiempos de ciclo

Analizando el estado de los operarios de la línea de montaje, se comprueba que ahora los cuatro operarios que realizan tareas de montaje se encuentra prácticamente el cien por ciento del tiempo simulado ocupados realizando las operaciones demandas, como se muestra en la

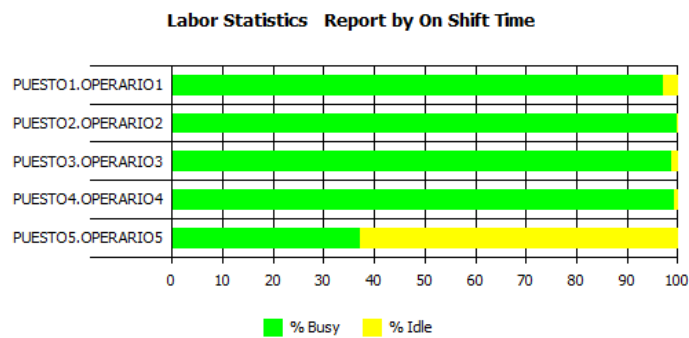


Figura 7.11 Simulación 3: Estado de los operarios

El número de operaciones media que realiza cada operario, en los puestos de montaje, son similares en los cuatro puestos como se muestra en la última columna de la Tabla 7.9.

Tabla 7.9 Simulación 3: Actividad de los operarios

Name	% Busy	% Idle	Quantity	No. Of Jobs Started	No. Of Jobs Ended	No. Of Jobs Now	No. Of Jobs Pre-empted	Avg Job Time
PUESTO1.OPERARIO1	97.27	2.73	1	1670	1669	1	0	5.24
PUESTO2.OPERARIO2	100.00	0.00	1	1671	1670	1	0	5.38
PUESTO3.OPERARIO3	98.72	1.28	1	1704	1703	1	0	5.22
PUESTO4.OPERARIO4	99.28	0.72	1	1654	1654	0	0	5.40
PUESTO5.OPERARIO5	37.29	62.71	1	362	362	0	0	9.27

El operario del puesto cinco solo está activo un tercio del tiempo simulado, en cualquiera de las tres situaciones simuladas. Es un puesto que la mayor parte del tiempo se encuentra parado a diferencia del resto de los puestos de la línea.

La situación de los puestos uno y tres se ha desbloqueado en el mismo sentido que la actividad de los operarios, como es lógico. Ya que el estado de los operarios repercute directamente en la actividad del puesto. En la Figura 7.12 se puede observar como el porcentaje de inactividad del puesto debido a la saturación en el área de transferencia a disminuido.

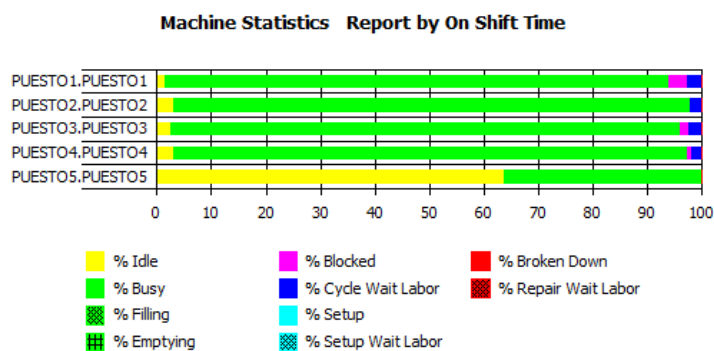


Figura 7.12 Simulación 3: Estado de los puestos

Para el instante final de la simulación, se comprueba que la saturación en las zonas de suministro de sectores ha disminuido, ver en la Figura 7.13, comparado con el estado de la simulación dos (Figura 7.9). Las áreas de transferencia están bloqueadas, pero una de las razones es que para el mismo tiempo de simulación que el resto de las situaciones, se han realizado todas las órdenes establecidas, treinta en total. Es decir, se ha producido más Solectrones en el mismo tiempo.

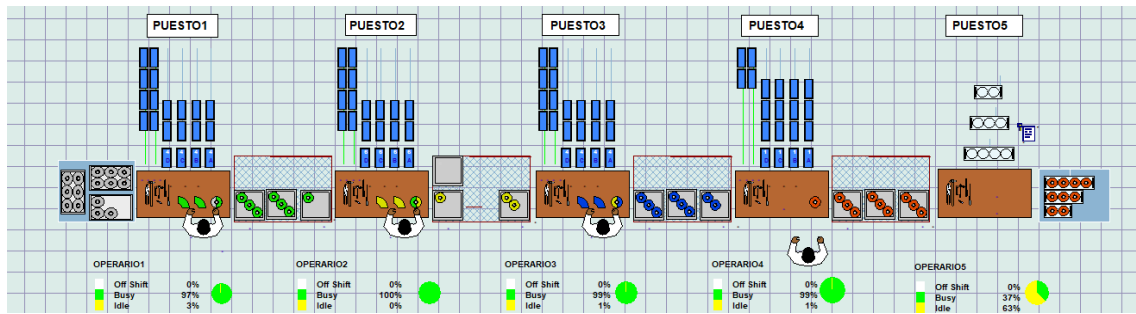


Figura 7.13 Simulación 3: Estado de la línea de montaje

En el panel de medidas de eficiencia se puede observar que el número de Solectrones en proceso es mayor que el resto de las situaciones, el Lead Time se ha visto incrementado en más de 10 minutos.

Tabla 7.10 Simulación 3: Tiempos de producción y medidas de eficiencia ( 1 hora 30 min)

RECURSOS		MEDIDAS EFICIENCIA	
SOLETRONES WIP	19	RO	0.90
BASES_WIP	55	TIEMPO CICLO cmin	90.00
FALLOS	3	LEAD_TIME min	55.00
BANDEJAS_OUT	27		
SOLETRON_OUT	81		

El rendimiento operativo alcanza un noventa por ciento, pero habría que calcular en que instante se ha completado la preparación de las veintisiete bandejas para calcular el rendimiento operativo exacto.

Volviendo a simular la misma situación, considerando una duración de 1 hora y 2107.5 cmin, se consigue la misma situación que el resto de las simulaciones, alcanzando un rendimiento operativo de 99% como se puede observar en la Tabla 7.11.

Tabla 7.11 Simulación 3: Tiempos de producción y medidas de eficiencia ( 1 hora 21 min)

RECURSOS		MEDIDAS EFICIENCIA	
SOLETRONES WIP	10	RO	0.99
BASES_WIP	48	TIEMPO CICLO cmin	99.08
FALLOS	3	LEAD_TIME min	48.00
BANDEJAS_OUT	27		
SOLETRON_OUT	81		

El estado de la línea de producción en el instante indicado se muestra en la Figura 7.14.

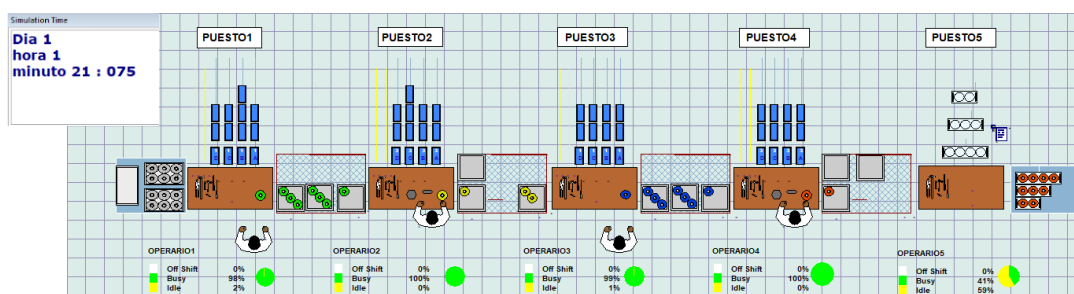


Figura 7.14 Simulación 3: Estado de la línea de montaje (1 hora y 21 min)

## 7.4. CONCLUSIONES

A través de las diferentes simulaciones realizadas con el modelo de simulación creado se han identificados problemas en el comportamiento de la línea de producción, los cuales están relaciones con la configuración de montaje principalmente.

En primer lugar, los operarios de los puestos dos y cuatro tienen asignado la realización de un mayor número de operaciones, comparados con los operarios de los puestos uno y tres. Hecho que genera un cuello de botella en los puestos pares, debido que no pueden seguir el ritmo del resto de puestos.

Con el equilibrado de la destreza de los operarios, asignando los puestos con mayor carga a los operarios con mayor destreza se salva en parte el problema. Pero persiste el problema de la saturación de recursos en las zonas de transferencia previa a los puestos dos y cuatro.

En la siguiente Tabla 7.12, se hace una comparación de la actividad de cada uno de los operarios en las tres simulaciones llevadas cabo. De esta manera se ve reflejado la mejora obtenida con la asignación de los puestos a los operarios según su nivel de habilidad.

Por otro lado, se comprueba que el operario del puesto quinto está más del sesenta por ciento en espera, es decir, que es un puesto que no aporta valor a la cadena de suministro.

Tabla 7.12 Comparativa simulaciones: Estado de los operarios

	SIMULACIÓN 1		SIMULACIÓN 2		SIMULACIÓN 3	
	%BUSY	%IDLE	%BUSY	%IDLE	%BUSY	%IDLE
<b>OPERARIO1</b>	74.76	25.24	74.69	25.31	97.27	2.73
<b>OPERARIO2</b>	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
<b>OPERARIO3</b>	75.80	24.20	75.74	24.26	98.72	0.72
<b>OPERARIO4</b>	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
<b>OPERARIO5</b>	35.80	64.20	34.65	65.35	37.29	62.71

Por otro lado, las medidas de eficiencia y los tiempos de producción para las simulaciones realizadas se puede demostrar el rendimiento operativo máximo alcanza el noventa por ciento, el cual se puede ver incrementando solucionado los problemas detectados. También se comprueba una diferencia del Lead Time, siendo mayor en la tercera simulación, donde se han producido más piezas que en el resto de los estudios realizados, como recoge la Tabla 7.13.

Tabla 7.13 Comparativa simulaciones: Medidas de eficiencia y tiempos

	SIMULACIÓN 1	SIMULACIÓN 2	SIMULACIÓN 3
<b>SOLETRONES WIP</b>	6	5	19
<b>BASES WIP</b>	49	43	55
<b>FALLOS</b>	3	2	3
<b>SOLETRONES OUT</b>	81	81	81
<b>RO</b>	0.81	0.90	0.90
<b>TIEMPO CICLO (cmin)</b>	81	90	90
<b>LEAD TIME (min)</b>	49	43	55

Los valores del Lead Time obtenidos en cada una de las simulaciones son muy parecidos a los obtenidos durante las experimentaciones realizadas en la Escuela Lean, así como los valores correspondientes al rendimiento operacional.

En conclusiones, se han identificado elementos que no generan valor y solucionándolos se reducirían tiempo y mejoraría el comportamiento del sistema. Entre ellos, se deberían tratar:

- Configuración de los puestos de montaje, el número de operaciones en cada puesto no es homogénea entre los puestos, lo que provoca dos cuellos de botella en la línea.
- Puesto cinco no aporta valor a la línea, se encuentra más del sesenta del tiempo inactivo.
- Saturación de recursos en las zonas de transferencia, bloquean el ritmo de trabajo y su consideración en la línea de montaje ocupa mucho espacio en la línea.
- EL nivel de destreza de los operarios es clave para obtener resultados positivos y se debería valorar imponer la formación de estos como medida obligatoria.

# CAPÍTULO 8. ESTUDIO ECONÓMICO





## 8.1. INTRODUCCIÓN

---

En el presente capítulo se lleva a cabo el estudio económico del desarrollo del modelo de simulación del montaje del Solectron. Para ello se ha estimado las horas invertidas en cada una de las fases que engloban el proyecto, así como los recursos materiales utilizados.

Durante la realización del proyecto únicamente se han visto involucradas dos personas, el director del proyecto, que ha realizado el seguimiento de este y verificado el modelo de simulación, y un Ingeniero Industrial, quien ha realizado el resto de las acciones necesarias para el conseguir el objetivo del presente trabajo.

Para llevar a cabo el desarrollo del modelo computacional la mayor parte del gasto procede de las horas del ingeniero, así como de los recursos no tangibles como es el entorno donde se desarrolla el modelo, la herramienta de simulación Witness.

## 8.2. FASES DEL PROYECTO

---

Las fases del proyecto están marcadas principalmente por el proceso de desarrollo del modelo de simulación, principal objetivo del presente proyecto. Siendo las etapas del proceso: planificación, desarrollo, análisis y mejora. En el caso de estudio, la última etapa se va a omitir porque está fuera del alcance del presente proyecto.

Pero también, como en cualquier proyecto, debe haber una fase del arte, en la que es necesaria la búsqueda y recopilación sobre el tema de estudio. Para asentar las bases de conocimiento sobre el que parte el trabajo.

En primer lugar, es muy importante destacar una planificación del proyecto, marcando el alcance de cada etapa para no consumir recursos no necesarios para conseguir el objetivo buscado.

Por lo tanto, las principales etapas que se pueden distinguir en el presente proyecto son las que se mencionan a continuación:

### 1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.

En febrero de 2019, se dio lugar la primera reunión con el director del proyecto, Juan José de Benito Martín, para marcar el objetivo del desarrollo del modelo de montaje del Solectron.

En dicha reunión se fijó con el director del proyecto el alcance del trabajo, y se listaron los recursos necesarios para llevar a cabo el modelo de simulación.

Como la primera toma de contacto con el montaje del Solectron tuvo lugar en enero de 2019, durante las prácticas de la asignatura. Mucha de la información sobre el proyecto y su comprensión ya había sido consolidada durante las actividades realizadas en la Escuela Lean. Por ese motivo, la reunión de presentación incluyó un ligero repaso al proceso.

### 2. PLANIFICACIÓN.

Tras la reunión con el tutor, se hizo una recopilación de la información del proceso de montaje del Solectron. Discretizando aquellos elementos fundamentales para su definición, así como los datos del proceso que no son relevantes para el desarrollo.

Se busco un programa de diseño para la creación de los iconos representativos del proceso, con el objetivo de generar imágenes compatibles con el software de simulación y con calidad óptima. A partir de imágenes con extensión emf (Enhanced Metafile Windows ), se consiguen imágenes vectoriales que permiten descomprimirse a gran calidad.

El programa seleccionado fue Inkscape, editor profesional de vectores gráficos, seleccionado por ser un software libre y de código abierto, y mediante el cual se consiguen imágenes de con extensión emf.

### 3. ESTADO DEL ARTE.

Cómo en todo proyecto, es necesario leer documentación y tener el conocimiento de toda materia implicada en el proceso de estudio. En primer lugar, el pensamiento Lean engloba gran parte de la materia en la que se puede ver reflejada el comportamiento del sistema productivo.

También, las áreas de aprendizaje como la Escuela Lean juegan un papel fundamental en el estudio llevado a cabo. No sólo por ser el lugar donde nace el proceso de estudio, sino porque junto con las herramientas computacionales son dos técnicas complementarias en la mejora de los sistemas productivos, y no sólo desde el pensamiento Lean, también con el nacimiento de la nueva Industria 4.0.

#### 4. DESARROLLO DEL MODELO.

Etapa mediante la cual se crea la combinación de elementos que reflejarán el mismo comportamiento del sistema real en un entorno de simulación. A partir del software de simulación Witness, del grupo Lanner, se ha generado un modelo computacional que reflejará el mismo comportamiento del proceso de montaje de la Escuela Lean, en relación con la fase uno de la producción del Solectron.

Aplicando variabilidad a la simulación del montaje del Solectron, se ha desarrollado el modelo adoptando diferentes configuraciones de montaje mediante la parametrización de los elementos de montaje en cada puesto. De esta manera, el modelo creado se podrá aplicar a otras configuraciones de montaje.

Para ello, se ha generado un interfaz de conexión entre el usuario y el software de simulación, para transferir los requisitos que desea simular el usuario con la mayor versatilidad posible.

#### 5. ANÁLISIS Y EXPERIMENTACIÓN.

Una vez que se ha generado el modelo de simulación, se ha procedido a la validación del modelo comparando los resultados obtenidos mediante la experimentación con los datos teóricos procedentes el proceso de la Escuela Lean.

A continuación, se ha jugado con la variabilidad del proceso y el nivel de destreza del proceso para estudiar el comportamiento del sistema, y de esa manera identificar posibles fallos mediante la experimentación del modelo.

Durante la experimentación, se han tomado como referencia tiempos de producción claves para gestionar los sistemas productivos, así como medidas de eficiencia. Comparándolas entre las diferentes simulaciones llevadas a cabo.

#### 6. DOCUMENTACIÓN.

Desde el desarrollo del contenido teórico recopilado durante la fase del arte, hasta todo el proceso de generación del modelo de simulación irá documentando en la presente memoria. Donde se incluirá toda información relevante del proceso en el capítulo de los anexos. Con ello, el estudio realizado quedará al alcance de cualquier usuario, de esa manera será la base para completarlo mediante las líneas futuras impuestas.

#### 7. PRESENTACIÓN DEL TRABAJO.

Durante la presentación del trabajo se dará a conocer al tribunal el trabajo realizado, explicando el desarrollo del trabajo durante una exposición de treinta minutos mostrando los objetivos conseguidos y la información más relevante sobre el mismo.

### 8.3. ESTUDIO DE TIEMPOS

---

El inicio del proyecto comenzó a finales de febrero de 2019 y su finalización será en febrero de 2020. El desarrollo no se ha llevado a cabo de manera continuo, por eso se ha calculado el número de horas en cada fase, sin tener en cuenta en qué semanas se ha trabajado.

Se han estimado un número de horas por cada una de las fases descritas en el apartado de FASES DEL PROYECTO. En la siguiente Tabla 8.1 se muestra el número de horas totales invertidas en cada una de las fases por parte del director del proyecto y por el ingeniero industrial.

Tabla 8.1 Duración fases del proyecto

<b>FASE</b>	<b>HORAS DIRECTOR PROYECTO</b>	<b>HORAS INGENIERO INDUSTRIAL</b>
PRESENTACIÓN	4	4
PLANIFICACIÓN	4	28
ESTADO DEL ARTE		110
DESARROLLO	20	324
ANÁLISIS Y EXPERIMENTACIÓN		12
DOCUMENTACIÓN FINAL		210
PRESENTACIÓN		20
<b>HORAS TOTALES</b>	<b>28</b>	<b>708</b>

Gran parte de las horas empleadas se han invertido en el desarrollo del modelo, junto herramienta de parametrización. Y en segundo lugar se encuentra la documentación de la memoria final del proyecto.

El director del proyecto ha sido el responsable de la verificación del modelo, quien ha comprobado que el modelo tenga un comportamiento lógico y la programación del modelo no implique ningún error.

## 8.4. ESTUDIO ECONÓMICO

El coste económico del proyecto se presentará desglosado en cada una de las fases implicadas en el desarrollo del modelo de simulación. De esta manera, se puede identificar donde recae el mayor coste y reducir tiempos o costes en alguna de las fases para posibles estudios futuros.

En primer lugar, se ha a calcular el coste por hora de cada uno de los recursos implicados en la realización del modelo de simulación. Entre ellos se enumeran:

- Coste del personal
- Coste del equipo informáticos y otros programas de desarrollo
- Costes de material tangible
- Costes indirectos

### 8.4.1. Coste del personal

Para calcular el coste por hora de cada una de las personas implicadas en el proyecto es necesario previamente calcular el coste por horas de cada sueldo. Para ello, se debe estimar el número de horas útiles en un año. En la Tabla 8.2 se muestra el desglose del cómputo de horas útiles a lo largo de un año.

Tabla 8.2 Horas útiles en un año

Concepto	Días / Horas
Días medios a	365
Sábado y Domingos (52 fines de semana)	-104
Días efectivos de vacaciones	-22
Días festivos reconocidos	-14
Media de días por enfermedad	-12
Formación	-6
Días efectivos estimado al año	207
<b>Horas efectivas totales al año</b>	<b>1656 horas</b>

Para el coste por hora se estimará el sueldo del director de proyecto en 51687€ al año, y para el Ingeniero industrial acorde con la última modificación del convenio de oficinas técnicas, el sueldo total anual para 2019 es de 26065€. Teniendo en cuenta el pago a la seguridad social en base a un trabajador por cuenta ajena, para el tipo de contingencias comunes es del 28.3 por ciento (año 2019) respecto la retribución salarial. En la Tabla 8.3 se muestra el coste del personal.

Tabla 8.3 Coste personal por hora

Concepto	Director del proyecto	Ingeniero Industrial
Sueldo (€/año)	51687	26065
Seguridad social (28.03%) (€/año)	14487.9	7306
Total (€/año)	66174.9	33371
<b>Coste total por hora(€/hora)</b>	<b>40</b>	<b>20.2</b>

### 8.4.2. Coste de equipos informáticos

Dentro del coste de los equipos informáticos se tiene en cuenta el coste del ordenador, el cual tiene un periodo de amortización de nueve años respecto una cuota lineal, ya que es la antigüedad del ordenador utilizado. El cual se ha utilizado tanto para la fase de documentación como de desarrollo del modelo de simulación.

Por otro lado, hay que considerar cada uno de los programas utilizados tanto para el desarrollo del modelo, principalmente el software de simulación Witness y el programa Excel, de la suite Microsoft Office 2016 para la construcción del modelo. Para la documentación y preparación de la presentación se ha usado la Word y Power Point.

Para el cálculo del coste total por hora se tiene en cuenta el número de hora útiles calculado en el apartado anterior, desglosado en la Tabla 8.2.

En la Tabla 8.4 se muestra el coste total por hora de cada uno de los componentes informáticos utilizados durante la ejecución del proyecto, resultando un coste total horario de la suma de todos los elementos citados.

Tabla 8.4 Coste de equipos informáticos

Concepto	Coste (€)	Cantidad	Amortización (Años)	Coste total hora
Notebook Pavilion dm4 Intel Core i5 CPU M450 @2.40GHz	808	1	9	0.05
WITNESS 13 Manufacturing Performance Edition	5000	1	1	3.02
Microsoft Windows 10	135	1	1	0.08
Microsoft Office 2016	149	1	1	0.09
<b>Coste total (€/ hora)</b>				3.25

### 8.4.3. Coste del material tangible

Otros de los recursos a considerar son todo elemento necesario para la entrega de la memoria final, el documento físico se encargará a una empresa dedicada a ello. Luego se estimará el precio del papel impreso y su encuadernación.

Tabla 8.5 Coste del material tangible

Concepto	Coste (€)
Documentación impresa	25
Encuadernación	12
CD/ USB	10
<b>Coste total (€)</b>	47
<b>Coste horario por persona (€/h)</b>	0.01

#### 8.4.4. Costes indirectos

Los costes indirectos son los relacionados con factores externos al proyecto, pero que deben ser considerados porque indirectamente son necesarios para el buen desarrollo del proyecto, como puede ser la climatización o la electricidad.

Tabla 8.6 Costes indirectos

<b>Concepto</b>	<b>Coste (€/proyecto)</b>
Electricidad	120
Climatización	190
Otros	60
<b>Coste total (€)</b>	<b>370</b>
<b>Coste horario por persona (€/h)</b>	<b>0.22</b>

## 8.5. COSTE ECONÓMICO DEL PROYECTO

En cada uno de los siguientes apartados se muestra el coste de las fases del proyecto, teniendo en cuenta el número de horas estimadas para cada una y el coste unitario de cada elemento implicado.

### 8.5.1. Coste Fase 1: Presentación inicial

La primera fase engloba la definición del proyecto y su alcance. Durante la reunión se fijaron los recursos, a grandes rasgos, que se deberían considerar para el desarrollo del modelo de simulación. El coste que alcanza la primera fase de estudio se muestra en la Tabla 8.7.

Tabla 8.7 Coste Fase 1: Presentación inicial

<b>FASE 1: PRESENTACION INICIAL</b>			
	<b>Coste unitario (€/h)</b>	<b>Horas</b>	<b>Coste total (€)</b>
Coste Personal / Director Proyecto	40	4	160
Coste Personal / Ingeniero Industrial	20.2	4	80.8
Coste Equipo Informático	3.25	8	26
Coste material tangible	0.01	8	0.08
Costes indirectos	0.22	8	1.76
<b>COSTE TOTAL (€)</b>			<b>268.64</b>

### 8.5.2. Coste Fase 2: Planificación

Fase mediante la cual se definen con exactitud todo elemento que debe ser considerarse dentro del modelo, así los elementos que no aportan valor al proceso de estudio y no deben incluirse. En la presente fase se incluye la elección de un editor de imágenes para la creación de los iconos a considerar en la construcción del modelo. En la Tabla 8.8 se muestra el coste total al que asciende la segunda fase del proyecto.

Tabla 8.8 Coste Fase 2: Planificación

<b>FASE 2: PLANIFICACIÓN</b>			
	<b>Coste unitario (€/h)</b>	<b>Horas</b>	<b>Coste total (€)</b>
Coste Personal / Director Proyecto	40	4	160
Coste Personal / Ingeniero Industrial	20.2	28	565.6
Coste Equipo Informático	3.25	32	104
Coste material tangible	0.01	32	0.32
Costes indirectos	0.22	32	7.04
<b>COSTE TOTAL (€)</b>			<b>836.96</b>

### 8.5.3. Coste Fase 3: Estado del arte

Etapas mediante la cual se profundiza en todo aspecto teórico relacionado con el proceso de simulación, así como la recopilación de información como base teórica del proyecto. Su coste está incluido en la Tabla 8.9.



Tabla 8.9 Coste Fase 3: Estado del arte

<b>FASE 3:ESTADO DEL ARTE</b>			
	<b>Coste unitario (€/h)</b>	<b>Horas</b>	<b>Coste total (€)</b>
Coste Personal / Director Proyecto	40		0
Coste Personal / Ingeniero Industrial	20.2	110	2222
Coste Equipo Informático	3.25	110	357.5
Coste material tangible	0.01	110	1.1
Costes indirectos	0.22	110	24.2
<b>COSTE TOTAL (€)</b>			<b>2604.8</b>

#### 8.5.4. Coste Fase 4: Desarrollo

Etapa mediante la cual se consigue el objetivo del presente trabajo, la construcción del modelo de simulación del proceso de montaje del Solectron, así como el resto de las funciones necesarias para definir su comportamiento. Es la etapa que conlleva más hora por lo que su coste es de los más elevados según se recoge en la Tabla 8.10.

Tabla 8.10 Coste Fase 4: Desarrollo

<b>FASE 4: DESARROLLO</b>			
	<b>Coste unitario (€/h)</b>	<b>Horas</b>	<b>Coste total (€)</b>
Coste Personal / Director Proyecto	40	20	800
Coste Personal / Ingeniero Industrial	20.2	324	6544.8
Coste Equipo Informático	3.25	344	1118
Coste material tangible	0.01	344	3.44
Costes indirectos	0.22	344	75.68
<b>COSTE TOTAL (€)</b>			<b>8541.92</b>

#### 8.5.5. Coste Fase 5: Análisis y Experimentación

Una vez finalizado el desarrollo del modelo, se continua con la validación del modelo. La cual es incluida en esta fase porque es parte del análisis, a la vez que se comparan los resultados con los datos teóricos, se analiza el comportamiento del modelo.

Se realizará diferentes simulaciones mediante el modelo computacional variando diferentes factores, con el fin de detectar posibles fallos en el sistema. Con ello se podrán indicar posibles soluciones o mejoras en el modelo para futuros estudios.

En la Tabla 8.11 se recogen los costes totales de la fase de experimentación con el modelo creado.

Tabla 8.11 Coste Fase 5: Análisis y experimentación

<b>FASE 5: ANÁLISIS Y EXPERIMENTACIÓN</b>			
	<b>Coste unitario (€/h)</b>	<b>Horas</b>	<b>Coste total (€)</b>
Coste Personal / Director Proyecto	40		0
Coste Personal / Ingeniero Industrial	20.2	12	242.4
Coste Equipo Informático	3.25	12	39
Coste material tangible	0.01	12	0.12
Costes indirectos	0.22	12	2.64
<b>COSTE TOTAL (€)</b>			<b>284.16</b>

### 8.5.6. Coste Fase 6: Documentación

La creación de la memoria final del proyecto incluyendo todo aspecto teórico y práctico desarrollado o considerado será incluida en un único documento. Su coste asciende a la cantidad de 4972 € según se indica en la Tabla 8.12.

Tabla 8.12 Coste Fase 6: Documentación

<b>FASE 6: DOCUMENTACION</b>			
	<b>Coste unitario (€/h)</b>	<b>Horas</b>	<b>Coste total (€)</b>
Coste Personal / Director Proyecto	40		0
Coste Personal / Ingeniero Industrial	20.2	210	4242
Coste Equipo Informático	3.25	210	682.5
Coste material tangible	0.01	210	2.1
Costes indirectos	0.22	210	46.2
<b>COSTE TOTAL (€)</b>			<b>4972.8</b>

### 8.5.7. Coste Fase 7: Presentación final

Con la presentación final del proyecto ante un tribunal se dará por finalizado el proyecto, la última fase incluye la preparación y la presentación pública de la misma. En la Tabla 8.13 se recoge el coste estimado para la fase séptima del proceso.

Tabla 8.13 Coste Fase 7: Presentación final

<b>FASE 7: PRESENTACIÓN FINAL</b>			
	<b>Coste unitario (€/h)</b>	<b>Horas</b>	<b>Coste total (€)</b>
Coste Personal / Director Proyecto	40		0
Coste Personal / Ingeniero Industrial	20.2	20	404
Coste Equipo Informático	3.25	20	65
Coste material tangible	0.01	20	0.2
Costes indirectos	0.22	20	4.4
<b>COSTE TOTAL (€)</b>			<b>473.6</b>

### 8.5.8. Coste Final

Considerando la suma del coste de cada una de las fases del proyecto, el coste final del trabajo realizado asciendo a un total de 17 983 €, como se muestra en la siguiente Tabla 8.14.

Tabla 8.14 Coste totales

FASE	Coste (€)
PRESENTACIÓN INICIAL	268.6
PLANIFICACIÓN	837.0
ESTADO DEL ARTE	2604.8
DESARROLLO	8541.9
ANÁLISIS Y EXPERIMENTACIÓN	284.2
DOCUMENTACIÓN FINAL	4972.8
PRESENTACIÓN FINAL	473.6
<b>COSTE TOTAL (€)</b>	<b>17982.9</b>

Como se aprecia en la Figura 8.1, la fase de desarrollo conlleva prácticamente la mitad del coste total del proyecto, la cual es la etapa clave para conseguir el objetivo principal del presente trabajo.

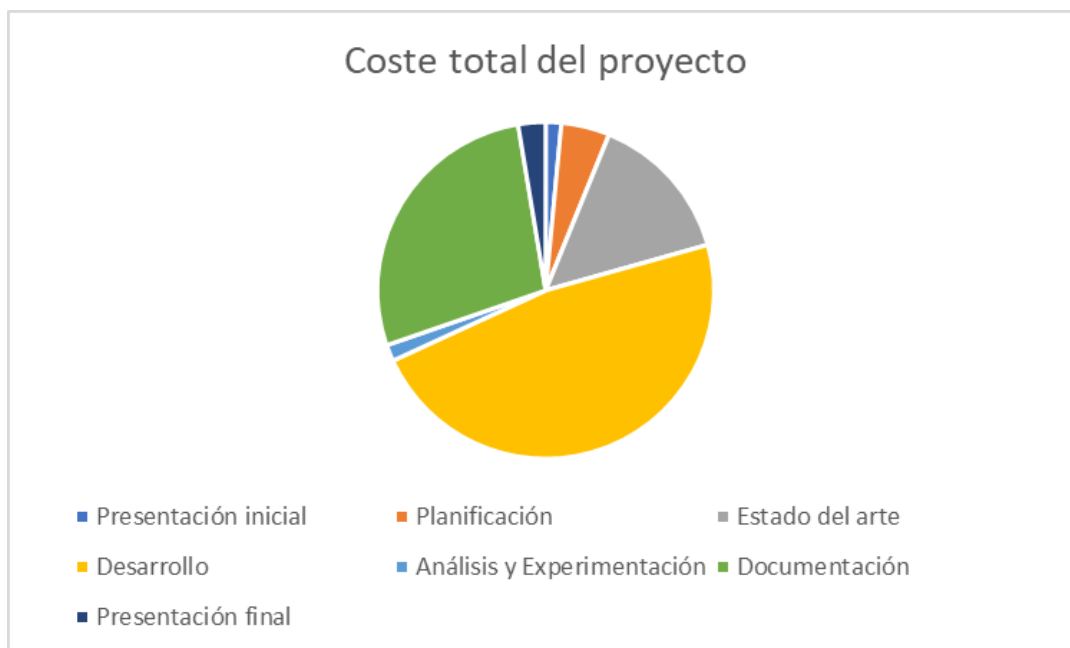


Figura 8.1 Coste total por fases del proyecto



**CONCLUSIONES Y LÍNEAS  
FUTURAS**



# CONCLUSIONES

---

Tal y como se refleja en el presente documento, se ha generado una herramienta de simulación, con el mínimo número de elementos y con la menor complejidad posible, que refleja el comportamiento del montaje del Solectron acorde con la primera fase de producción. Cada una de las partes implicadas en el proceso ha sido simulada considerando el máximo detalle posible, lo que concluye en un modelo muy visual, mediante el cual el análisis del modelo se podrá realizar cómodamente.

El objetivo de generar un modelo de simulación de la línea de montaje es conseguir una herramienta que imite el mismo comportamiento que la línea de montaje de la primera producción salvando todos los inconvenientes de la aplicación real. Pero también, el alcance del proyecto ha abarcado la variabilidad en el tipo de proceso a simular, haciendo viable considerar otras posibles configuraciones de montaje y agentes implicados en el proceso.

Durante las sesiones en la Escuela Lean, se modificó el sistema de montaje en busca de la mejora continua del proceso, lo que dio lugar a la definición a otras producciones. De esta manera, se comprobó en el propio espacio de aprendizaje como se veía afectado el comportamiento del proceso ante la consideración de nuevas técnicas Lean en el proceso.

De la misma manera que se dio la necesidad de considerar otras alternativas sobre el proceso de montaje en la Escuela Lean, sucedería con futuros estudios planteados sobre el mismo sistema computacional. Por ese motivo, se planteó la necesidad de parametrizar todo elemento o característica que sea variable en el proceso para poder estudiar el modelo bajo otras condiciones.

Alcanzando el segundo objetivo del proyecto, dar variabilidad al modelo, se ha construido un modelo que incluye matrices de parametrización que adoptan diferentes atributos según los requerimientos del usuario de la simulación. Para ello, se ha desarrollado un fichero de conexión entre el usuario y la herramienta de simulación Witness.

Mediante la interfaz Object Link Environment 2 (OLE2) de Microsoft Office, Witness adopta la posibilidad de trabajar con otros programas de la suite para desarrollar posibles entradas o salidas en su entorno de simulación. Gracias a esta opción, se ha utilizado el software Excel para generar un fichero que establezca la conexión entre el usuario y la herramienta de simulación con el fin de definir la configuración de montaje del Solectron. A través del fichero de parametrización se importarán los nuevos atributos al modelo de simulación. Con ello, todas las matrices de parametrización se actualizarán según las intenciones del usuario.

Pero no únicamente se ha parametrizado la configuración de montaje, el nivel de destreza de cada operario también. El factor humano es clave en este proceso de montaje, porque el valor generado nace de la participación de cada uno de los operarios que trabajan en la línea de ensamblaje. No todas las personas tenemos las mismas habilidades ante la misma situación, por eso surge la necesidad de introducir en el modelo de simulación diferentes aspectos relacionados con el operario, como es el nivel de destreza para el desarrollo del montaje.

Uno de los factores principales a estudiar en cualquier sistema productivo es el tiempo, el tiempo de ciclo de cada una de las operaciones que se realizan en cualquier proceso industrial está cronometrado al detalle con el fin de ajustar al mínimo el número de recursos para reducirlo.

Los tiempos de ciclo considerados en cada una de las operaciones del modelo de simulación parten de los datos teórico de la Escuela Lean, los cuales están recogidos en las hojas de trabajo estándar de cada uno de los puestos. Pero la estimación de dichos tiempos puede verse modificada en futuros estudios, por este motivo la parametrización del tiempo de ciclo de cada operación ha sido incluida en el interfaz de conexión.

Agrupando todas las características indicadas surge un modelo de simulación que refleja exactamente el comportamiento de la fase de producción uno, pero que bajo otras condiciones de trabajo es igual de válido. La versatilidad es una parte fundamental a la hora de la experimentación con el modelo, porque siguiendo la metodología Lean siempre se buscará una mejora en el sistema, lo que implicará cambios que serán fácilmente desarrollados en el modelo computacional.

En conclusión, se ha desarrollado un espacio alternativo al Espacio Lean mediante el cual se puede analizar el proceso de ensamblaje del Solectron antes de su implementación en el ámbito real. Con el modelo desarrollado se podrá gestionar el estudio de cualquier tipo de configuración de montaje del Solectron a través del interfaz de conexión entre el usuario y el entorno de simulación, sin necesidad de realizar ninguna modificación en el modelo.

Con el modelo desarrollado se ha analizado su comportamiento según la primera fase de producción a través de diferentes experimentaciones realizadas. Para ello, se ha implementado en el modelo el cálculo del tiempo de ciclo en cada uno de los puestos. Mediante un panel de información temporal, se representarán los valores del tiempo de ciclo de cada uno de los puestos, los tiempos máximos y sus valores en función del tiempo, representados en una función temporal.

Otros tiempos de producción y medidas de eficiencia han sido consideradas como herramientas complementarias para el análisis del modelo, visualizando sus valores en otro panel de información junto el número de recursos en progreso y los que han sido enviadas al cliente.

A través de estos pequeños detalles, el análisis del comportamiento de la línea de producción está prácticamente planteando. Únicamente se tienen que comparar los valores mostrados en dichos paneles con los valores teóricos planteados.

Por otra parte, Witness ofrece la posibilidad de generar estadísticas de cada uno de los elementos que forman el modelo. Con ello se identifica el nivel de actividad de cada uno de los elementos, su estado, piezas procesadas y otros factores relevantes que ayudan a analizar en profundidad el modelo de simulación.

En las experimentaciones iniciales se han comparado los tiempos de ciclo de la primera simulación con los valores teóricos, para las primeras operaciones los valores han sido idénticos que los teóricos, con lo que se confirma la utilidad de la herramienta desarrollada.

En cada una de las experimentaciones realizadas se ha detectado un problema en los puestos dos y cuatro, los cuales bloquean al resto de la línea. Problema que ha sido identificado en todas las simulaciones realizadas, debido a que el ritmo al que trabajan los operarios de los puestos dos y cuatro está por encima de la cadencia determinada por la demanda del cliente, el denominado Takt Time. Lo cual se denomina cuellos de botella de la línea, acción que resulta que la línea de montaje aguas arriba se encuentra saturada por la actividad de los puestos dos y cuatro.

Este hecho genera una saturación de recursos en las zonas previas a los puestos identificados como cuellos de botella, ya que no dan salida a los elementos que se encuentran en espera para ser montados en el puesto. Lo que bloquea al resto de puesto de la línea y origina gran volumen de elementos en espera.

Durante las simulaciones realizadas, se ha jugado con el nivel de destreza de los operarios. Primero se ha considerado un nivel muy bajo para cada uno de ellos, imitando el comportamiento del proceso realizado durante las prácticas en las Escuela Lean, ya que los estudiantes al no tener experiencia generan altos tiempos de ciclo. Pero también, modificando la habilidad del operario, se ha intentado buscar una solución para equilibrar el ritmo de la línea.

Adoptando la posibilidad de que puede haber operarios con diferentes niveles, se ha seleccionado un operario con un nivel de destreza alto para los puestos con mayor carga, los cuales realizan mayor número de operaciones, y un nivel de destreza menor para los otros puestos. A partir de esta situación



se ha suavizado la diferencia de tiempos de ciclo entre puestos, y la saturación de recursos en los puestos críticos ha disminuido.

Considerando cada uno de los estudiados realizados se pueden plantear una serie de problemas en el proceso de montaje, como son el desequilibrio de la cadencia entre puestos, debido a que el número de operaciones es muy desigual y provoca cuellos de botella; las zonas de transferencia implican mucho espacio, recursos en espera que se podrían evitar y un aumento del tiempo de ciclo del proceso total; y, por último, el quinto puesto está más del sesenta por ciento del tiempo en espera, frente al resto de puesto de montaje que están el mismo porcentaje activos.

Para solventar la situación y mejorar los tiempos de ciclo, se debe considerar que el número de operaciones de montaje a realizar en cada puesto sea uniforme a lo largo de la línea, y que el tiempo de ciclo sea constante para no provocar saturaciones.

Por otro lado, la situación de que un operario esté inactivo un porcentaje de tiempo tan alto en la línea de producción es una situación irreal e insostenible con el paso del tiempo, como medida se debería plantear la eliminación del último puesto, y que sean el resto de los operarios los que realicen las actividades que se llevaban a cabo en el quinto puesto de la línea de montaje.

Una de las herramientas JIT relacionada con el factor humano es que los operarios deben de recibir una formación de cada uno de los puestos, no se deben ceñir al desarrollo de una única actividad. Asignando diferentes actividades en el mismo puesto disminuye la monotonía de trabajo y aporta mayor confianza en el propio operario.

Por otro lado, el operario que monta los sectores es la persona que más fácilmente puede identificar si la propia pieza presenta un defecto o no. Aprovechando esta cualidad, se debe otorgar a los propios operarios autoridad para que sean ellos mismos los que detecten posibles fallos y decidan la mejor solución. Otorgando responsabilidad al operario sobre su propio puesto aumenta la motivación del trabajador para que el funcionamiento de la línea y la producción mejoren.

Respecto las áreas de transferencia, se podrían definir combinaciones de elementos no generadores de valor, que implican mayor espacio en la línea, mayor número de elementos en progreso y mayores tiempos de entrega. Luego su eliminación se debería llevar a cabo para mejorar el comportamiento del proceso de montaje y generar únicamente el verdadero valor con el mínimo de recursos posibles y en el menor tiempo.

En definitiva, a través de las mejoras planteadas durante el análisis de la herramienta computacional desarrollada se han planteado un conjunto de recomendaciones que mejorarían el comportamiento de la línea de montaje. Como acción inmediata al proyecto desarrollado, se sugiere su implementación en el entorno computacional como se indica en el siguiente apartado.

# LÍNEAS FUTURAS

---

Con la generación del modelo de simulación del montaje del Solectron, nacen otras líneas de estudio que quedan fuera del alcance del proyecto. Las cuales están relacionadas con el propio proceso de montaje del Solectron, con la Escuela Lean y con el propio modelo de simulación.

En primer lugar, resaltar la necesidad de continuar con el análisis del modelo de simulación. A través de la experimentación realizada se han extraído fallos en la línea, planteándose posibles soluciones para solventarlas. Las cuales deben ser implementadas en la herramienta desarrollada para comprobar la mejoría del sistema.

Sería conveniente que se estudie el comportamiento del modelo de simulación considerando otras posibles configuraciones, para conseguir que el ritmo de la línea sea constante sin saturar de recursos ninguna de las áreas. Equilibrando el número de operaciones en cada uno de los puestos de montaje se podría alcanzar una cadencia constante, a pesar de que no sea al mismo ritmo que el Tackt Time impuesto por la demanda del cliente.

Por otro lado, sería interesante realizar las modificaciones planteadas en el capítulo anterior para conseguir reducir el número de mudas en el sistema. Para ello habría que eliminar las áreas de transferencia entre puestos y el último puesto. Este tipo de modificaciones puede llevarse a cabo fácilmente, para anticiparse al comportamiento del sistema salvando estos puntos negros. Con ello se conseguiría un modelo de simulación con menor elementos, en un espacio menor y que realiza la misma función en menor tiempo.

También es recomendable que se analice desde otra perspectiva el comportamiento de la fase uno de la línea de producción, siendo muy probable que otras soluciones puedan ser planteadas para mejorar el proceso de montaje. También, a través de un segundo análisis pueden surgir nuevas soluciones del análisis.

El modelo de simulación del Solectron servirá como herramienta académica para divulgar el pensamiento Lean, a partir de la misma se podrá implementar las técnicas Lean y plantear las mejores soluciones posibles con el menor riesgo posible. Junto con la escuela Lean puede llegar a ser la mejor opción para aprender mediante herramientas prácticas, mas aun cuando los tiempos de docencia de muchas asignaturas están muy limitados por tiempo y espacio para realizar prácticas fuera de las aulas.

El proceso de ensamblaje del Solectron de la escuela Lean está constituida por la línea de montaje, descrita en el presente trabajo; la línea de reciclaje, en la cual se desmontan todas las piezas para acabar en el lavadero y que se puedan reutilizar; la zona de logísticas, la cual realiza la transferencia de piezas entre las diferentes áreas; y el mecanizado de las bases de aluminio.

Cada uno de los procesos que forman el montaje del Solectron deberían de modelizarse conjuntamente para disponer de un modelo de simulación que refleje el comportamiento global del sistema productivo. En la Escuela Lean se realizan las experimentaciones teniendo en cuenta cada una de las áreas, por lo que alguna de las estimaciones hechas sobre el modelo desarrollado, como la llegada de recursos a la zona la línea de montaje, tendrían mayor precisión si se simula la línea completa del proceso.

Al simular cada una de las entidades que forman el sistema completo, se podrá introducir mayor variabilidad en el sistema. Es decir, en el caso de que se averíe un carro de logísticas, el efecto podría representarse con precisión en el modelo de simulación desarrollo. Simulando todo el conjunto cualquier anomalía de ese tipo podría ser analizada, así como la determinación de parámetros de eficiencia con precisión.

# BIBLIOGRAFÍA



# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

	DESCRIPCIÓN
[1]	T. Ohno, <i>The Toyota Production System: Beyond Large Scale Production</i> . London: Productivity Press; Edición: 1, 1988.
[2]	J. P. Womack, <i>Lean Thinking : cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa</i> . Barcelona: Gestión 2000, 2005.
[3]	Depto. de Organización de Empresas, " <i>Presentación Escuela Lean - documentación inicial.pdf</i> ". Apuntes de la asignatura Dirección de la Producción, curso 2018-2019.
[4]	J. L. García Alcaraz, <i>Just-in-Time Elements and Benefits</i> , 1st ed. 20. Cham: Springer International Publishing, 2016.
[5]	B. Mrugalska and M. K. Wyrwicka, "Towards Lean Production in Industry 4.0," <i>Procedia Eng.</i> , vol. 182, pp. 466–473, Jan. 2017.
[6]	DP Hobbs. <i>Lean manufacturing implementation: a complete execution manual for any size manufacturer</i> . Boca Raton: Ross Publishing; 2004.
[7]	J. Bicheno, M. Holweg. <i>The lean toolbox</i> . Buckingham: PICSIE Books; 2009.
[8]	AS Sohal, A. Egglestone. "Lean production: experience among Australian organisations". <i>International Journal of Operations &amp; Production Management</i> , pp. 35–51. 1994.
[9]	E. Abele <i>et al.</i> , "Learning Factories for Research, Education, and Training," <i>Procedia CIRP</i> , vol. 32, pp. 1–6, Jan. 2015.
[10]	JE Jorgensen, JS Lamancusa, JL Zayas-Castro, J Ratner J. "The Learning Factory". <i>Proc. of the Fourth World Conference on Engineering Education</i> . pp: 1-7. 1995.
[11]	H ElMaraghy, W ElMaraghy. "Learning Factories for Manufacturing Systems". <i>4th C. on Learning Factories</i> , Stockholm. 2014.
[12]	JS Lamancusa , JL Zayas, AL Soyster, L Morell, J Jorgensen. "The Learning Factory: Industry-Partnered Active Learning". <i>Journal of Engineering Education</i> 97(1), pp. 5-11.2008.
[13]	Edgar Dale. <i>Audio-Visual Methods in Teaching</i> . New York, 3rd ed., Holt, Rinehart & Winston, p.108, 1969.
[14]	W Sihn, A Jäger A. "Competitive production in Europe through education and training". <i>2nd Conference on Learning Factories</i> . Eds. 2012.

DESCRIPCIÓN	
[15]	A Jäger, F Ranz, W Sihm, V Hummel. "Implications for Learning Factories from Industry 4.0". <i>Proceedings of the 4th Conference on Learning Factories</i> . Stockholm. pp: 1-35. 2014.
[16]	D Mavrikios, N Papakostas, D Mourtzis, G Chryssolouris. "On industrial learning and training for the factories of the future". <i>J Intell Manuf</i> , 24. pp:473–85.2013.
[17]	G Chryssolouris, D Mavrikios, D Mourtzis. "Manufacturing Systems". <i>Procedia CIRP</i> 7: 17–24. 2013.
[18]	L. Merkel, J. Atug, L. Merhar, C. Schultz, S. Braunreuther, and G. Reinhart, "Teaching Smart Production: An Insight into the Learning Factory for Cyber-Physical Production Systems (LVP)". <i>Procedia Manuf.</i> , vol. 9, pp. 269–274, 2017.
[19]	B. Schallock, C. Rybski, R. Jochem, and H. Kohl, "Learning Factory for Industry 4.0 to provide future skills beyond technical training". <i>Procedia Manuf.</i> , vol. 23, pp. 27–32, Jan. 2018.
[20]	A. Guasch, M.A. Piera, J. Casanovas, J. Figueres. <i>Modelado y simulación</i> . UPC, Barcelona (2002)
[21]	M.L. Averill, W.D. Kelton. <i>Simulation, modeling &amp; analysis</i> (2nd ed.), McGraw-Hill International Editions. Industrial Engineering Series, New York (1991)
[22]	Lanner Group, "Learning WITNESS: Book One Manufacturing Edition". 2013.
[23]	"Witness-simulation-software", Grupo Lanner. Disponible en: <a href="https://www.lanner.com/en-us/technology/witness-simulation-software.html">https://www.lanner.com/en-us/technology/witness-simulation-software.html</a> [Accedido: diciembre 2019]
[24]	"Powering-smart-business-with-predictive-digital-twins", Grupo Lanner. Disponible en: <a href="https://www.lanner.com/en-us/solutions/powering-smart-business-with-predictive-digital-twins.html">https://www.lanner.com/en-us/solutions/powering-smart-business-with-predictive-digital-twins.html</a> [Accedido: diciembre 2019]

ANEXOS





## ANEXO I. HOJAS ESTÁNDAR DE TRABAJO

---

A continuación, se muestra las hojas estándar de trabajo de cada uno de los puestos de montaje de la línea de montaje del Solectron, donde se especifica el tipo de operación, su tiempo de ciclo asociado y otros datos relacionados con el puesto.

- Puesto 1: ver ANEXOS - Figura 1 PUESTO 1: Hoja Estándar de Trabajo
- Puesto 2: ver ANEXOS - Figura 2 PUESTO 2: Hoja Estándar de Trabajo
- Puesto 3: ver ANEXOS - Figura 3 PUESTO 3: Hoja Estándar de Trabajo
- Puesto 4: ver ANEXOS - Figura 4 PUESTO 4: Hoja Estándar de Trabajo

Puesto 5: ver ANEXOS - Figura 5 PUESTO 4: Hoja Estándar de Trabajo








































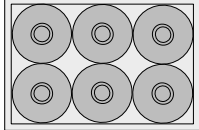
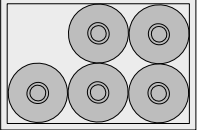
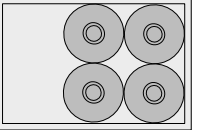
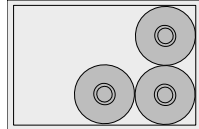
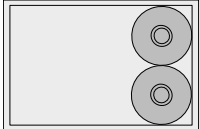
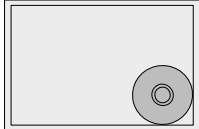
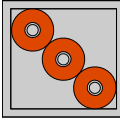
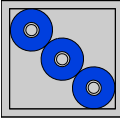
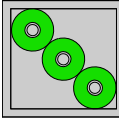
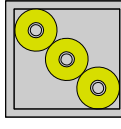
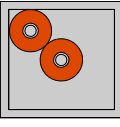
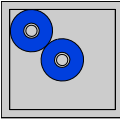
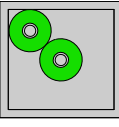
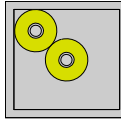
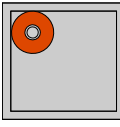
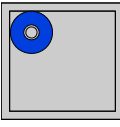
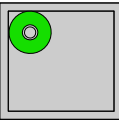
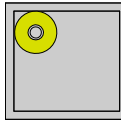






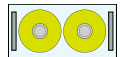


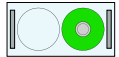
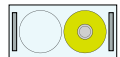
## ANEXO 2. ICONOS DE SIMULACIÓN

Cada uno de los iconos creados para el desarrollo del modelo de simulación se ha generado a partir del editor de gráficos Inkscape, los cuales se muestran en a continuación.

ANEXOS Tabla 1 ICONOS DESARROLLADOS (1/3)

<b>INSERTOS</b>				
<b>TIPO</b>	CIRCULAR	RECTANGULAR	ELIPTICO	HAXAGONAL
<b>ID</b>	57	58	60	56
<b>SECTORES</b>				
<b>COLOR</b>	ROJO	AZUL	VERDE	AMARILLO
<b>ID</b>	48	49	50	51
<b>SOLECTRON EN DESARROLLO</b>				
<b>ID</b>	201	202	203	204
<b>SOLECTRON EN DESARROLLO</b>				
<b>ID</b>	52	208	226	211
<b>SOLECTRON EN DESARROLLO</b>				
<b>ID</b>	205	53	227	212
<b>SOLECTRON EN DESARROLLO</b>				
<b>ID</b>	206	209	54	225
<b>SOLECTRON EN DESARROLLO</b>				
<b>ID</b>	207	210	228	55
<b>BASE</b>				
<b>ID</b>	59			

ANEXOS Tabla 2 ICONOS DESARROLLADOS (2/3)

<b>ALMACENAJE DE BASES</b>				
<b>ID</b>	267	266	265	
<b>ALMACENAJE DE BASES</b>				
<b>ID</b>	264	263	262	
<b>ALMACENAJE SOLECTRONES</b>				
<b>ID</b>	137	146	143	140
<b>ALMACENAJE SOLECTRONES</b>				
<b>ID</b>	138	147	144	141
<b>ALMACENAJE SOLECTRONES</b>				
<b>ID</b>	139	148	145	142
<b>BANDEJAS VACÍAS</b>				
<b>ID</b>	301	302	303	
<b>BANDEJA TIPO 2</b>				
<b>ID</b>	304	305	306	307
<b>BANDEJA TIPO 2</b>				
<b>ID</b>	308	309	310	311



ANEXOS Tabla 3 ICONOS DESARROLLADOS (3/3)


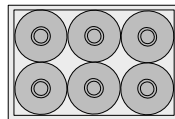


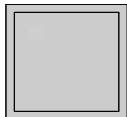
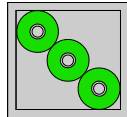



<b>BANDEJA TIPO 3</b>				
<b>ID</b>	312	313	314	315
<b>BANDEJA TIPO 3</b>				
<b>ID</b>	316	317	318	319
<b>BANDEJA TIPO 3</b>				
<b>ID</b>	320	321	322	323
<b>BANDEJA TIPO 4</b>				
<b>ID</b>	324	325	326	327
<b>BANDEJA TIPO 4</b>				
<b>ID</b>	328	329	330	331
<b>BANDEJA TIPO 4</b>				
<b>ID</b>	332	333	334	335
<b>BANDEJA TIPO 4</b>				
<b>ID</b>	336	337	338	339

## ANEXO 3. ELEMENTOS MODELO DE SIMULACIÓN








### A3.1. Parts del modelo de simulación

Cada uno de los elementos part que están incluidos en el modelo de simulación se muestran en las siguientes tablas, ANEXOS Tabla 4 & ANEXOS Tabla 5.

ANEXOS Tabla 4 Elementos part (1/2)

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	ICONO
BASEBOX	Caja vacía con capacidad de seis bases	
BASEBOX_FULL	Caja llena, con seis bases	
GAVETA	Embalaje de sectores vacío, con capacidad de seis	
GAVETA_FULL	Embalaje lleno, con seis sectores	
BOX	Caja vacía, con capacidad de tres Solectrones	
BOX_FULL	Caja llena, con capacidad de tres Solectrones	
BANDEJA2	Bandeja vacía con capacidad para dos Solectrones	
BANDEJA3	Bandeja vacía con capacidad para tres Solectrones	
BANDEJA4	Bandeja vacía con capacidad para cuatro Solectrones	

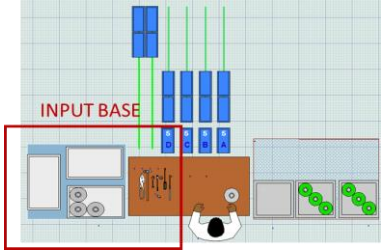
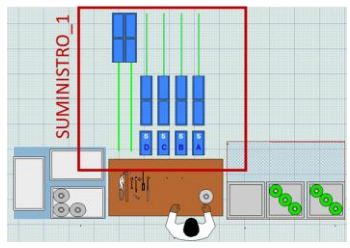
ANEXOS Tabla 5 Elementos part (2/2)

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	ICONO
BANDEJA2_FULL	Bandeja llena con capacidad para dos Solectrones	
BANDEJA3_FULL	Bandeja llena con capacidad para tres Solectrones	
BANDEJA4_FULL	Bandeja llena con capacidad para cuatro Solectrones	
BASE	Base de aluminio del Solectron	
SOLECTRON	Solectron	
SOLECTRON1	Solectron en desarrollo, con una fila montada sobre la base	
SOLECTRON2	Solectron en desarrollo, con dos filas montadas sobre la base	
SOLECTRON3	Solectron en desarrollo, con tres filas montadas sobre la base	
SEC_Ar, SEC_Br, SEC_Cr, SEC_Dr	Sectores de color rojo	
SEC_Aaz, SEC_Baz, SEC_Caz, SEC_Daz	Sectores de color azul	
SEC_Aam, SEC_Bam, SEC_Cam, SEC_Dam	Sectores de color amarillo	
SEC_Av, SEC_Bv, SEC_Cv, SEC_Dv	Sectores de color verde	
INSERTO	Inserto rectangular, hexagonal, elíptico o circular	
ORDEN	Orden, que se representará junto el valor del atributo A_BANDEJA	

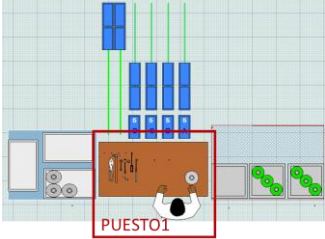
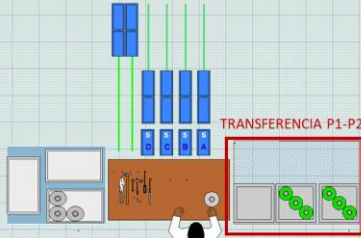
### A3.2. Elementos del modelo de simulación

A continuación, se describen cada uno de los elementos del modelo computacional:

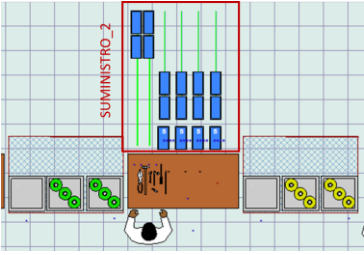
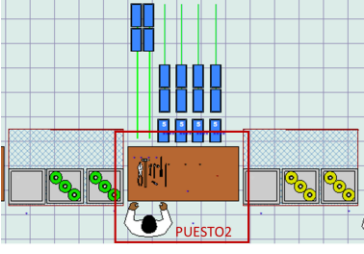
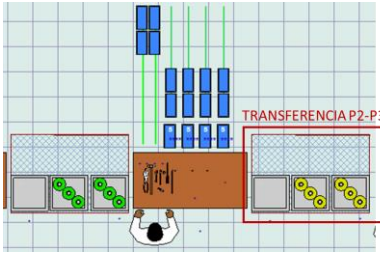
ANEXOS Tabla 6 Elementos del modelo de simulación (1/7)

<b>MODULO: INPUT BASE</b>		
<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
INPUT_BASEBOX	Machine, Single	Mantiene en espera las cajas llenas, hasta que las máquinas de intercambio ejecuten la salida de las cajas vacías.
INBOX1_OUTBOX	Machine, Single	Realiza el intercambio de cajas vacías por cajas llenas, o viceversa.
INBOX_OUTBOX1	Machine, Single	Realiza el intercambio de cajas vacías por cajas llenas, o viceversa.
UNLOAD_BASEBOX	Machine, Multicycle	Gestiona la descarga de las bases hacia el puesto.
GO_OUT_BASEBOX	Machine Single	Retiene la caja vacía, hasta que se complete el ciclo de la máquina UNLOAD_BASEBOX.
<b>MODULO: PUESTO 1 SUMINISTRO PUESTO</b>		
<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
CP1	Machine, Assembly	Máquina que coge una gaveta y la llena de sectores desde el exterior (WORLD).
SUMINISTRO_SECTORES	Buffer	Almacena las gavetas llenas, hasta que seas necesaria en el propio puesto.
P1	Machine, Multicycle	Se mantiene a la espera de que el operario coja los sectores para el montaje.
B1	Machine Single	Máquina que retiene la gaveta vacía, hasta que P1 vacía todos los elementos que contiene.
BACK_1	Buffer	Almacena las gavetas vacías.
UNLOADBCK	Machine, Batch	Selecciona doce gavetas vacías y las expulsa fuera del modelo (SHIP).

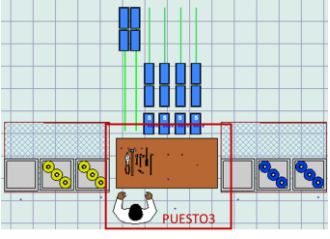
ANEXOS Tabla 7 Elementos del modelo de simulación (2/7)

<b>MODULO: PUESTO 1 PUESTO</b>		
NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
PUESTO 1	Machine, Multicycle	Máquina que gestiona las operaciones asignadas al puesto
<b>MODULO: PUESTO 1 TRANSFERENCIA P1-P2</b>		
NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
LOAD_BOX	Machine, Multicycle	Almacena los Solectrones en un embalaje, el cual será enviado al siguiente puesto.
BX_TRANSF	Conveyor, Indexed Fixed	Transporta la caja llena desde la zona de carga a la de descarga.
UNLOAD_BOX	Machine, Multicycle	Se ocupa de mantener los Solectrones en espera hasta que sean necesitados por el puesto siguiente.
GO_OUT_BOX	Machine, Single	Retiene la caja vacía hasta que el número de piezas en el elemento de descarga sea nulo.
buffer_BOX	Buffer	Almacena las cajas vacías hasta que la zona de carga requiera una caja vacía.
BX	Path	Trayectoria que recorre la caja vacía desde el buffer_BOX hasta LOAD_BOX
OUT	Path	Trayectoria que recorre la caja vacía desde el buffer_BOX hasta LOAD_BOX

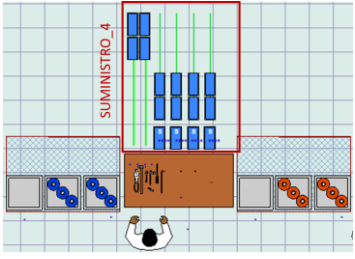
ANEXOS Tabla 8 Elementos del modelo de simulación (3/7)

<b>MODULO: PUESTO 2 SUMINISTRO PUESTO</b>		
<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
CP2	Machine, Assembly	Máquina que coge una gaveta y la llena de sectores desde el exterior (WORLD).
SUMINISTRO_SECTORES	Buffer	Almacena las gavetas llenas, hasta que seas necesaria en el propio puesto.
P2	Machine, Multicycle	Se mantiene a la espera de que el operario coja los sectores para el montaje.
B2	Machine Single	Máquina que retiene la gaveta vacía, hasta que P2 vacía todos los elementos que contiene.
BACK_2	Buffer	Almacena las gavetas vacías.
UNLOADBCK	Machine, Batch	Selecciona doce gavetas vacías y las expulsa fuera del modelo (SHIP).
<b>MODULO: PUESTO 2 PUESTO</b>		
<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
PUESTO 2	Machine, Multicycle	Máquina que gestiona las operaciones asignadas al puesto
<b>MODULO: PUESTO 2 TRANSFERENCIA P2-P3</b>		
<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
LOAD_BOX	Machine, Multicycle	Almacena los Solectrones en un embalaje, el cual será enviado al siguiente puesto.
BX_TRANSF	Conveyor, Indexed Fixed	Transporta la caja llena desde la zona de carga a la de descarga.

ANEXOS Tabla 9 Elementos del modelo de simulación (4/7)

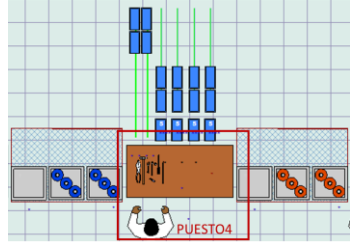
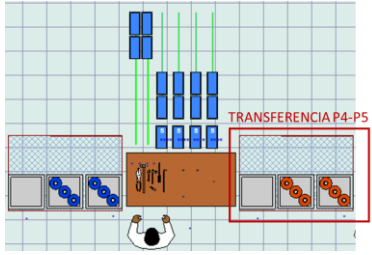
NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
UNLOAD_BOX	Machine, Multicycle	Se ocupa de mantener los Solectrones en espera hasta que sean necesitados por el puesto siguiente.
GO_OUT_BOX	Machine, Single	Retiene la caja vacía hasta que el número de piezas en el elemento de descarga sea nulo.
buffer_BOX	Buffer	Almacena las cajas vacías hasta que la zona de carga requiera una caja vacía.
BX	Path	Trayectoria que recorre la caja vacía desde el buffer_BOX hasta LOAD_BOX
OUT	Path	Trayectoria que recorre la caja vacía desde el buffer_BOX hasta LOAD_BOX
<b>MODULO: PUESTO 3 SUMINISTRO PUESTO</b>		
NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
CP3	Machine, Assembly	Máquina que coge una gaveta y la llena de sectores desde el exterior (WORLD).
SUMINISTRO_SECTORES	Buffer	Almacena las gavetas llenas, hasta que seas necesaria en el propio puesto.
P3	Machine, Multicycle	Se mantiene a la espera de que el operario coja los sectores para el montaje.
B3	Machine Single	Máquina que retiene la gaveta vacía, hasta que P3 vacía todos los elementos que contiene.
BACK_3	Buffer	Almacena las gavetas vacías.
UNLOADBCK	Machine, Batch	Selecciona doce gavetas vacías y las expulsa fuera del modelo (SHIP).
<b>MODULO: PUESTO 3 PUESTO</b>		
NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
PUESTO 3	Machine, Multicycle	Máquina que gestiona las operaciones asignadas al puesto

ANEXOS Tabla 10 Elementos del modelo de simulación (5/7)

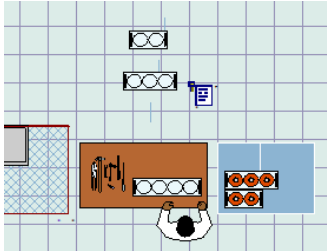
<b>MODULO: PUESTO 3 TRANSFERENCIA P3-P4</b>		
<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
LOAD_BOX	Machine, Multicycle	Almacena los Solectrones en un embalaje, el cual será enviado al siguiente puesto.
BX_TRANSF	Conveyor, Indexed Fixed	Transporta la caja llena desde la zona de carga a la de descarga.
UNLOAD_BOX	Machine, Multicycle	Se ocupa de mantener los Solectrones en espera hasta que sean necesitados por el puesto siguiente.
GO_OUT_BOX	Machine, Single	Retiene la caja vacía hasta que el número de piezas en el elemento de descarga sea nulo.
buffer_BOX	Buffer	Almacena las cajas vacías hasta que la zona de carga requiera una caja vacía.
BX	Path	Trayectoria que recorre la caja vacía desde el buffer_BOX hasta LOAD_BOX
OUT	Path	Trayectoria que recorre la caja vacía desde el buffer_BOX hasta LOAD_BOX
<b>MODULO: PUESTO 4 SUMINISTRO PUESTO</b>		
<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
CP4	Machine, Assembly	Máquina que coge una gaveta y la llena de sectores desde el exterior (WORLD).
SUMINISTRO_SECTORES	Buffer	Almacena las gavetas llenas, hasta que seas necesaria en el propio puesto.
P4	Machine, Multicycle	Se mantiene a la espera de que el operario coja los sectores para el montaje.
B4	Machine Single	Máquina que retiene la gaveta vacía, hasta que P4 vacía todos los elementos que contiene.
BACK_4	Buffer	Almacena las gavetas vacías.



ANEXOS Tabla 11 Elementos del modelo de simulación (6/7)

NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
UNLOADBCK	Machine, Batch	Selecciona doce gavetas vacías y las expulsa fuera del modelo (SHIP).
<b>MODULO: PUESTO 4 PUESTO</b>		
NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
PUESTO 4	Machine, Multicycle	Máquina que gestiona las operaciones asignadas al puesto
<b>MODULO: PUESTO 4 TRANSFERENCIA P4-P5</b>		
NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN
LOAD_BOX	Machine, Multicycle	Almacena los Solectrones en un embalaje, el cual será enviado al siguiente puesto.
BX_TRANSF	Conveyor, Indexed Fixed	Transporta la caja llena desde la zona de carga a la de descarga.
UNLOAD_BOX	Machine, Multicycle	Se ocupa de mantener los Solectrones en espera hasta que sean necesitados por el puesto siguiente.
GO_OUT_BOX	Machine, Single	Retiene la caja vacía hasta que el número de piezas en el elemento de descarga sea nulo.
buffer_BOX	Buffer	Almacena las cajas vacías hasta que la zona de carga requiera una caja vacía.
BX	Path	Trayectoria que recorre la caja vacía desde el buffer_BOX hasta LOAD_BOX
OUT	Path	Trayectoria que recorre la caja vacía desde el buffer_BOX hasta LOAD_BOX

ANEXOS Tabla 12 Elementos del modelo de simulación (7/7)

<b>GENERACIÓN DE ORDENES</b>		
Buffer_ORDENES	Buffer	Almacena las ordenes hasta que se gestiona su entrada en el puesto P5 por el elemento LECTURA_ORDENES
<b>PUESTO 5</b>		
<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
LECTURA_ORDENES	Machine, Single	Gestiona la entrada de una orden desde el buffer, realiza la lectura y la mantiene a la espera hasta que sea llamada por el PUESTO5.
SUMINISTRO_BANDEJAS	Buffer	Almacena las bandejas vacías.
PUESTO5	Machine, Multicycle	Elemento que realiza las tareas de calidad a cada Solectron de entrada y deposita los Solectrones en la bandeja correspondiente.
RECEPCION_CLIENTE	Buffer	Almacena las bandejas llenas de Solectrones.
CLIENTE	Machine, Assembly	Genera el pedido y realiza el envío al cliente.

# ANEXO 4. ESTADO DE REFERENCIA LÍNEA

---

## A4.1. Fichero STA: ESTADO\_INICIAL-PROD1.STA

Time=0.0

!!!!!! PUESTO 5 !!!!!

BANDEJA2,PUESTO5.SUMNISTRO\_BANDEJAS(1),ICON=301,WIDTH=12,LENGTH=3

BANDEJA2,PUESTO5.SUMNISTRO\_BANDEJAS(1),ICON=301,WIDTH=12,LENGTH=3

BANDEJA3,PUESTO5.SUMNISTRO\_BANDEJAS(2),ICON=302,WIDTH=12,LENGTH=3

BANDEJA3,PUESTO5.SUMNISTRO\_BANDEJAS(2),ICON=302,WIDTH=12,LENGTH=3

BANDEJA4,PUESTO5.SUMNISTRO\_BANDEJAS(3),ICON=303,WIDTH=12,LENGTH=3

!!!!!! INPUT BASE !!!!!

BASEBOX,INPUT\_BASE.INBOX1\_OUTBOX,ICON=269

BASEBOX,INPUT\_BASE.INBOX\_OUTBOX1

BASEBOX,INPUT\_BASE.GO\_OUT\_BASEBOX

BASE,INPUT\_BASE.UNLOAD\_BASEBOX

BASE,INPUT\_BASE.UNLOAD\_BASEBOX

BASE,INPUT\_BASE.UNLOAD\_BASEBOX

BASE,INPUT\_BASE.UNLOAD\_BASEBOX

INPUT\_BASE.INBOX\_OUTBOX1,State="Busy/Time=0.0"

INPUT\_BASE.INBOX1\_OUTBOX,State="Busy/Time=0.0"

INPUT\_BASE.UNLOAD\_BASEBOX,State="Busy/Wait/Cycle=4"

!!!!!! PUESTO1 !!!!!

GAVETA,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.BACK\_1(1),ICON=129

GAVETA,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.BACK\_1(1),ICON=129

GAVETA,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.BACK\_1(2),ICON=129

GAVETA,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.BACK\_1(2),ICON=129

GAVETA\_FULL,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.SUMINISTRO\_SECTORES(1),ICON=129

GAVETA\_FULL,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.SUMINISTRO\_SECTORES(2),ICON=129

GAVETA\_FULL,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.SUMINISTRO\_SECTORES(3),ICON=129

GAVETA\_FULL,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.SUMINISTRO\_SECTORES(4),ICON=129

SEC\_Av,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(1)

SEC\_Av,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(1)

SEC\_Av,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(1)

SEC\_Av,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(1)

SEC\_Av,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(1)

SEC\_Bv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(2)

SEC\_Bv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(2)

SEC\_Bv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(2)

SEC\_Bv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(2)

SEC\_Bv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(2)

SEC\_Cv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(3)

SEC\_Cv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(3)

SEC\_Cv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(3)  
 SEC\_Cv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(3)  
 SEC\_Cv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(3)  
 SEC\_Dv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(4)  
 SEC\_Dv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(4)  
 SEC\_Dv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(4)  
 SEC\_Dv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(4)  
 SEC\_Dv,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(4)  
 PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(1),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
 PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(2),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
 PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(3),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
 PUESTO1.SUMINISTRO\_1.P1(4),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
 GAVETA,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.B1(1)  
 GAVETA,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.B1(2)  
 GAVETA,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.B1(3)  
 GAVETA,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.B1(4)  
 PUESTO1.SUMINISTRO\_1.B1(1),State="Busy/Time=0.0"  
 PUESTO1.SUMINISTRO\_1.B1(2),State="Busy/Time=0.0"  
 PUESTO1.SUMINISTRO\_1.B1(3),State="Busy/Time=0.0"  
 PUESTO1.SUMINISTRO\_1.B1(4),State="Busy/Time=0.0"  
 GAVETA\_FULL,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.SUMINISTRO\_SECTORES(1),ICON=129  
 GAVETA\_FULL,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.SUMINISTRO\_SECTORES(2),ICON=129  
 GAVETA\_FULL,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.SUMINISTRO\_SECTORES(3),ICON=129  
 GAVETA\_FULL,PUESTO1.SUMINISTRO\_1.SUMINISTRO\_SECTORES(4),ICON=129  
 !!!!! TRANSFERENCIA\_1 !!!!!  
 BOX,PUESTO1.TRANSFERENCIA\_1.LOAD\_BOX  
 BOX\_FULL,PUESTO1.TRANSFERENCIA\_1.BX\_TRANSF,ICON=143  
 BOX\_FULL,PUESTO1.TRANSFERENCIA\_1.UNLOAD\_BOX  
 PUESTO1.TRANSFERENCIA\_1.LOAD\_BOX,State="Busy/Time=0.0/Cycle=1"  
 PUESTO1.TRANSFERENCIA\_1.UNLOAD\_BOX,State="Busy/Time=0.0/Cycle=1"  
 !!!!! PUESTO2 !!!!!  
 GAVETA,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.BACK\_2(1),ICON=129  
 GAVETA,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.BACK\_2(1),ICON=129  
 GAVETA,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.BACK\_2(2),ICON=129  
 GAVETA,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.BACK\_2(2),ICON=129  
 GAVETA\_FULL,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.SUMINISTRO\_SECTORES(1),ICON=129  
 GAVETA\_FULL,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.SUMINISTRO\_SECTORES(2),ICON=129  
 GAVETA\_FULL,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.SUMINISTRO\_SECTORES(3),ICON=129  
 GAVETA\_FULL,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.SUMINISTRO\_SECTORES(4),ICON=129  
 SEC\_Aam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(1)  
 SEC\_Aam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(1)  
 SEC\_Aam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(1)

SEC\_Aam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(1)  
 SEC\_Aam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(1)  
 SEC\_Bam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(2)  
 SEC\_Bam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(2)  
 SEC\_Bam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(2)  
 SEC\_Bam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(2)  
 SEC\_Bam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(2)  
 SEC\_Bam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(2)  
 SEC\_Cam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(3)  
 SEC\_Cam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(3)  
 SEC\_Cam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(3)  
 SEC\_Cam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(3)  
 SEC\_Cam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(3)  
 SEC\_Dam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(4)  
 SEC\_Dam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(4)  
 SEC\_Dam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(4)  
 SEC\_Dam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(4)  
 SEC\_Dam,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(4)  
 PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(1),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
 PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(2),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
 PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(3),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
 PUESTO2.SUMINISTRO\_2.P2(4),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
 GAVETA,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.B2(1)  
 GAVETA,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.B2(2)  
 GAVETA,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.B2(3)  
 GAVETA,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.B2(4)  
 PUESTO2.SUMINISTRO\_2.B2(1),State="Busy/Time=0.0"  
 PUESTO2.SUMINISTRO\_2.B2(2),State="Busy/Time=0.0"  
 PUESTO2.SUMINISTRO\_2.B2(3),State="Busy/Time=0.0"  
 PUESTO2.SUMINISTRO\_2.B2(4),State="Busy/Time=0.0"  
 GAVETA\_FULL,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.SUMINISTRO\_SECTORES(1),ICON=129  
 GAVETA\_FULL,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.SUMINISTRO\_SECTORES(2),ICON=129  
 GAVETA\_FULL,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.SUMINISTRO\_SECTORES(3),ICON=129  
 GAVETA\_FULL,PUESTO2.SUMINISTRO\_2.SUMINISTRO\_SECTORES(4),ICON=129  
 !!!!! TRANSFERENCIA\_2 !!!!!  
 BOX,PUESTO2.TRANSFERENCIA\_2.LOAD\_BOX  
 BOX\_FULL,PUESTO2.TRANSFERENCIA\_2.BX\_TRANSF,ICON=140  
 BOX\_FULL,PUESTO2.TRANSFERENCIA\_2.UNLOAD\_BOX  
 PUESTO2.TRANSFERENCIA\_2.LOAD\_BOX,State="Busy/Time=0.0/Cycle=1"  
 PUESTO2.TRANSFERENCIA\_2.UNLOAD\_BOX,State="Busy/Time=0.0/Cycle=1"  
 !!!!! PUESTO3 !!!!!  
 GAVETA,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.BACK\_3(1),ICON=129  
 GAVETA,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.BACK\_3(1),ICON=129

GAVETA,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.BACK\_3(2),ICON=129  
GAVETA,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.BACK\_3(2),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.SUMINISTRO\_SECTORES(1),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.SUMINISTRO\_SECTORES(2),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.SUMINISTRO\_SECTORES(3),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.SUMINISTRO\_SECTORES(4),ICON=129  
SEC\_Aaz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(1)  
SEC\_Aaz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(1)  
SEC\_Aaz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(1)  
SEC\_Aaz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(1)  
SEC\_Aaz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(1)  
SEC\_Baz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(2)  
SEC\_Baz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(2)  
SEC\_Baz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(2)  
SEC\_Baz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(2)  
SEC\_Caz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(3)  
SEC\_Caz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(3)  
SEC\_Caz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(3)  
SEC\_Caz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(3)  
SEC\_Caz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(3)  
SEC\_Daz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(4)  
SEC\_Daz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(4)  
SEC\_Daz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(4)  
SEC\_Daz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(4)  
SEC\_Daz,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(4)  
PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(1),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(2),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(3),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
PUESTO3.SUMINISTRO\_3.P3(4),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
GAVETA,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.B3(1)  
GAVETA,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.B3(2)  
GAVETA,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.B3(3)  
GAVETA,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.B3(4)  
PUESTO3.SUMINISTRO\_3.B3(1),State="Busy/Time=0.0"  
PUESTO3.SUMINISTRO\_3.B3(2),State="Busy/Time=0.0"  
PUESTO3.SUMINISTRO\_3.B3(3),State="Busy/Time=0.0"  
PUESTO3.SUMINISTRO\_3.B3(4),State="Busy/Time=0.0"  
GAVETA\_FULL,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.SUMINISTRO\_SECTORES(1),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.SUMINISTRO\_SECTORES(2),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.SUMINISTRO\_SECTORES(3),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO3.SUMINISTRO\_3.SUMINISTRO\_SECTORES(4),ICON=129

!!!!!! TRANSFERENCIA\_3 !!!!!

BOX,PUESTO3.TRANSFERENCIA\_3.LOAD\_BOX  
BOX\_FULL,PUESTO3.TRANSFERENCIA\_3.BX\_TRANSF,ICON=146  
BOX\_FULL,PUESTO3.TRANSFERENCIA\_3.UNLOAD\_BOX  
PUESTO3.TRANSFERENCIA\_3.LOAD\_BOX,State="Busy/Time=0.0/Cycle=1"  
PUESTO3.TRANSFERENCIA\_3.UNLOAD\_BOX,State="Busy/Time=0.0/Cycle=1"

!!!!!! PUESTO4 !!!!!

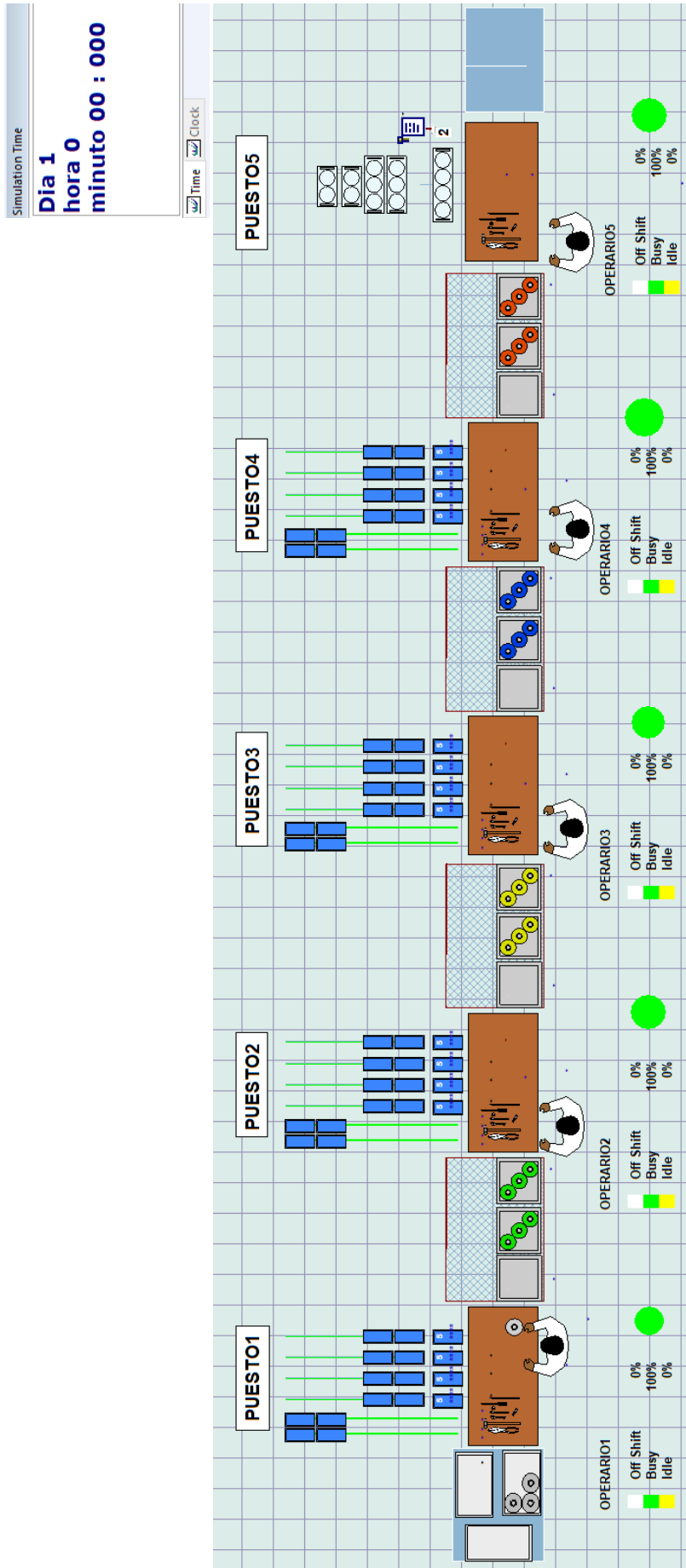
GAVETA,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.BACK\_4(1),ICON=129  
GAVETA,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.BACK\_4(1),ICON=129  
GAVETA,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.BACK\_4(2),ICON=129  
GAVETA,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.BACK\_4(2),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.SUMINISTRO\_SECTORES(1),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.SUMINISTRO\_SECTORES(2),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.SUMINISTRO\_SECTORES(3),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.SUMINISTRO\_SECTORES(4),ICON=129  
SEC\_Ar,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(1)  
SEC\_Ar,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(1)  
SEC\_Ar,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(1)  
SEC\_Ar,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(1)  
SEC\_Ar,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(1)  
SEC\_Br,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(2)  
SEC\_Br,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(2)  
SEC\_Br,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(2)  
SEC\_Br,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(2)  
SEC\_Br,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(2)  
SEC\_Cr,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(3)  
SEC\_Cr,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(3)  
SEC\_Cr,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(3)  
SEC\_Cr,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(3)  
SEC\_Cr,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(3)  
SEC\_Dr,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(4)  
SEC\_Dr,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(4)  
SEC\_Dr,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(4)  
SEC\_Dr,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(4)  
SEC\_Dr,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(4)  
PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(1),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(2),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(3),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
PUESTO4.SUMINISTRO\_4.P4(4),State="Busy/Time=0.0/Cycle=3"  
GAVETA,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.B4(1)  
GAVETA,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.B4(2)  
GAVETA,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.B4(3)

GAVETA,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.B4(4)  
PUESTO4.SUMINISTRO\_4.B4(1),State="Busy/Time=0.0"  
PUESTO4.SUMINISTRO\_4.B4(2),State="Busy/Time=0.0"  
PUESTO4.SUMINISTRO\_4.B4(3),State="Busy/Time=0.0"  
PUESTO4.SUMINISTRO\_4.B4(4),State="Busy/Time=0.0"  
GAVETA\_FULL,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.SUMINISTRO\_SECTORES(1),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.SUMINISTRO\_SECTORES(2),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.SUMINISTRO\_SECTORES(3),ICON=129  
GAVETA\_FULL,PUESTO4.SUMINISTRO\_4.SUMINISTRO\_SECTORES(4),ICON=129  
!!!!!! TRANSFERENCIA\_4 !!!!!!  
BOX,PUESTO4.TRANSFERENCIA\_4.LOAD\_BOX  
BOX\_FULL,PUESTO4.TRANSFERENCIA\_4.BX\_TRANSF,ICON=137  
BOX\_FULL,PUESTO4.TRANSFERENCIA\_4.UNLOAD\_BOX  
PUESTO4.TRANSFERENCIA\_4.LOAD\_BOX,State="Busy/Time=0.0/Cycle=1"  
PUESTO4.TRANSFERENCIA\_4.UNLOAD\_BOX,State="Busy/Time=0.0/Cycle=1"

## A4.2. Visualización Estado de referencia

En la ANEXOS - Figura 6 se muestra el estado de referencia de la línea de ensamblaje completa del Solectron.





ANEXOS - Figura 6 Estado de referencia línea de ensamble de Solectron

## ANEXO 5. MACROS VBA

---

### A5.1. Variable sector

A partir del siguiente bucle de comando se realiza el concatenado del tipo de sector y color, para formar el nombre de cada uno de los sectores a considerar en el configuración de montaje.

#### **Sub variable\_sectorpart()**

```
Dim i As Integer
```

```
Dim j As Integer
```

```
Dim sector As String
```

```
Dim color As String
```

```
Dim colormin As String
```

```
Dim part As String
```

```
Sheets("ID_ICONOS").Select
```

```
' ROJO AZUL VERDE AMARILLO
```

```
Set myRangecolor = Worksheets("ID_ICONOS").Range("C2:C5")
```

```
Sheets("INPUT").Select
```

```
' TIPOS DE SEGMENTO/COLOR
```

```
Set myPuestoparts = Worksheets("VARIABLES_WITNESS").Range("F4:I11")
```

```
Set myPuestopartscolor = Worksheets("VARIABLES_WITNESS").Range("J4:M11")
```

```
' DEFINIR PUESTO - Columna
```

```
For j = 1 To 4
```

```
' DEFINIR PIEZA EN PUESTO - Fila
```

```
For i = 1 To 8
```

```
'Sector a montar
```

```
sector = myPuestoparts(i, j)
```

```
'Color del sector
```

```
color = myPuestopartscolor(i, j)
```

```
'Devuelve el string color en minisculas
```

```
colormin = LCase(color)
```

```
'Composicion variable T_SEC según tipo de segmento y color
```

```
part = IIf(color = "ROJO" Or color = "VERDE", sector & Left(colormin, 1), sector & Left(colormin, 2))
```

```
Worksheets("VARIABLES_WITNESS").Cells(3 + i, j + 13) = part
```

```
Next i
```

```
Next j
```

```
End Sub
```

## A5.2. Selección iconos del Solectron en desarrollo

Mediante esta macro se identifica que icono se debe visualizar durante el montaje del Solectron en cada uno de los puesto, teniendo en cuenta la configuración de montaje definida por el usuario.

### Sub iconopieza05()

' Probado para la PRODUCCION 1

' Determinacion del icono del solectron que le corresponde durante el montaje

Dim i As Integer

Dim j As Integer

Dim k As Integer

Dim l As Integer

Dim count As Integer

Dim ref0 As Integer

Dim ref1 As Integer

Dim ref2 As Integer

Dim Iconobase As Variant

Dim Iconoslectron As Variant

' ICONO BASE - BASE GRIS + COLOR

' Identificacion del icono 05solectron

Iconobase = Array(201, 202, 203, 204)

' ICONO SOLECTRON

' Identificacion del icono solectron

Iconoslectron = Array(52, 53, 54, 55)

' Colores segmentos

Sheets("ID\_ICONOS").Select

' ROJO AZUL VERDE AMARILLO

Set myRangeColor = Worksheets("ID\_ICONOS").Range("C2:C5")

Sheets("VARIABLES\_WITNESS").Select

' PUESTO P1

' Posicionamiento de las dos primeras operaciones/filas consecutivas que monta sector

' OPERACION

For i = 1 To 7

    If Cells(4, 10) <> 0 And Cells(4 + i, 10) <> 0 And Cells(4, 10) = Cells(4 + i, 10) Then

' Identificacion del color asignado a los dos primeros segmentos a montar

    ' COLOR

        For j = 1 To 4

```

If Cells(4, 10) = myRangecolor(j) Then
    Cells(24, 6) = Iconobase(j - 1)
' Contar el numero de sectores del mismo color a montar
    If Application.CountIf(Sheets("VARIABLES_WITNESS").Range("J4:J11"), myRangecolor(j)) = 4
Then
    Cells(25, 6) = Iconosolectron(j - 1)
Else
    For k = 1 To 4
        ' En caso de que no sean todos iguales, identificar color siguiente
        If Cells(5 + i, 10) = myRangecolor(k) Or Cells(6 + i, 10) = myRangecolor(k) Then
            Cells(25, 6) = Iconobase(k - 1)
        End If
    Next k
End If
End If
Next j
End If
Next i

' RESTO DE PUESTOS (P2,P3,P4)
' ID ICONOS

Set myRangeicono = Worksheets("ID_ICONOS").Range("I2:L5")
Sheets("VARIABLES_WITNESS").Select

' PUESTO
For i = 1 To 3
' OPERACION
    For j = 1 To 7
' COLOR
        For k = 1 To 4
' IDENTIFICACION COLOR PUESTO i+1 primeras filas
            If Cells(4, 10 + i) <> 0 And Cells(4 + j, 10 + i) <> 0 And Cells(4, 10 + i) = Cells(4 + j, 10 + i) Then
                If Cells(4, 10 + i) = myRangecolor(k) Then
                    ' Fila en la matriz de iconos
                    ref1 = k
                End If
            End If
' IDENTIFICACION COLOR PUESTO i-1
            If Cells(25, 1 + i) = myRangecolor(k) Then
                ' Columna en la matriz de iconos

```

```

    ref0 = k
End If

' IDENTIFICACION NUMERO DE SECTORES DEL MISMO COLOR
If Cells(4, 10 + i) = myRangeColor(k) And Application.CountIf(Range(Cells(4, 10 + i), Cells(12, 10 + i)),
myRangeColor(k)) < 4 Then
    count = 1
' COLOR
For l = 1 To 4
    If Cells(4 + j, 10 + i) = myRangeColor(l) Or Cells(5 + j, 10 + i) = myRangeColor(l) Then
        ref2 = l
    End If
Next l
End If
Next k
Next j
' Identificación celda con ID del icono a partir de las referencias
Cells(24, 6 + i) = myRangeIcono(ref1, ref0)
Cells(25, 6 + i) = IIf(count = 0, IconoSolectron(ref1 - 1), myRangeIcono(ref2, ref0))
Next i
End Sub

```

### A5.3. Escribir fichero STA

Programación desarrollada para copiar cada una de las líneas de comandos, desde el fichero de parametrización, para la definición del estado de referencia mediante el fichero STA.

#### **Sub EscribirArchivoSTA()**

```









































Dim i As Integer
Dim ref As Integer
Open ActiveWorkbook.path & "\ESTADO_INICIAL-PROD1.STA" For Output As #1
Sheets("STA").Select
' Determinar el numero de lineas a copiar en el fichero
ref = ActiveSheet.Range("A1", ActiveSheet.Range("A1").End(xlDown)).Rows.count
For i = 1 To ref
    ' Copiar las lineas en el fichero
    Print #1, ActiveSheet.Cells(i, 1).Value
Next i
Close #1
End Sub

```

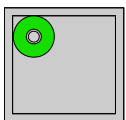
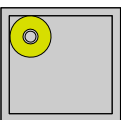
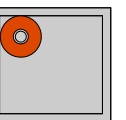
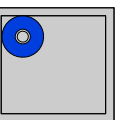
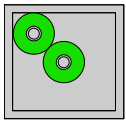
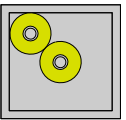
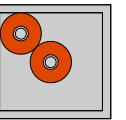
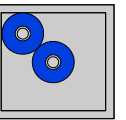
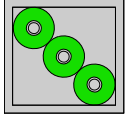
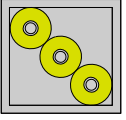
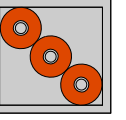
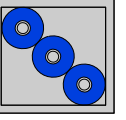




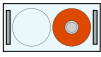
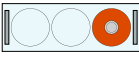
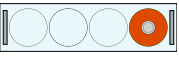






## ANEXO 6. MATRIZ PARAMETIZACIÓN T\_ICONO

Las siguientes figuras muestran los iconos equivalentes a cada uno de los códigos que contiene la matriz de parametrización T\_ICONO.

ANEXOS - Figura 7 Iconos equivalentes a la variable "T\_ICONO" (1/2)

<b>T_ICONO</b>	 50	 51	 49	 48
	 50	 51	 49	 48
	 50	 51	 49	 48
	 50	 51	 49	 48
	0	 57	0	 57
	0	 58	0	 58
	0	 60	0	 60
	0	 56	0	 56
	 203	 225	 210	 205
	 54	 55	 53	 52
	 54	 55	 53	 52
	 54	 55	 53	 52

ANEXOS - Figura 8 Iconos equivalentes a la variable "T\_ICONO" (2/2)

<b>T_ICONO</b>	 145	 142	 148	 139
	 144	 141	 147	 138
	 143	 140	 146	 137
	 59	 54	 55	 53
	0	 308	 320	 336
	0	 304	 316	 332
	0	0	 312	 328
	0	0	0	 324

# ANEXO 7. RESULTADOS VALIDACIÓN

## A7.1. Resultados validación Puesto 1

ANEXOS Tabla 13 Tiempos de ciclo Puesto 1 (1/2)

T_CICLO – COMP 1								
MEAN VALUE	DESV.	MIN VALUE	MIN RECORD	MAX VALUE	MAX RECORD	OBSERV.	OBSERV.	OBSERV.
80.56	4.9926	0.0	5	88	400.0	1	78	355
						2	78	360
						3	78	365
						4	78	370
						5	78	375
						6	78	380
						7	78	385
						8	78	390
						9	78	395
						10	88	400
						11	88	405
						12	88	410
						13	88	415
						14	88	420
						15	88	425
						16	88	430
						17	88	435
						18	88	440
						19	88	445
						20	88	450
						21	88	455
						22	88	460
						23	88	465
						24	88	470
						25	76	475
						26	76	480
						27	76	485
						28	76	490

ANEXOS Tabla 14 Tiempos de ciclo Puesto 1 (2/2)



T_CICLO – COMP 1								
MEAN VALUE	DESV.	MIN VALUE	MIN RECORD	MAX VALUE	MAX RECORD	OBSERV.	OBSERV.	OBSERV.
80.56	4.9926	0.0	5	88	400.0	29	76	495
						30	76	500
						31	76	505
						32	76	510
						33	76	515
						34	76	520
						35	76	525
						36	76	530
						37	76	535
						38	76	540
						39	76	545
						40	76	550
						41	79	555
						42	79	560
						43	79	565
						44	79	570
						45	79	575
						46	79	580
						47	79	585
						48	79	590
						49	79	595
						50	79	600

## A7.2. Resultados validación Puesto 2

ANEXOS Tabla 15 Tiempos de ciclo Puesto 2 (1/2)

T_CICLO – COMP 2								
MEAN VALUE	DESV.	MIN VALUE	MIN RECORD	MAX VALUE	MAX RECORD	OBSERV.	OBSERV.	OBSERV.
108.64	4.971	0.0	5	118	550.0	1	106	355
						2	106	360
						3	106	365
						4	106	370
						5	106	375
						6	106	380
						7	106	385
						8	106	390
						9	106	395
						10	106	400
						11	106	405
						12	106	410
						13	106	415
						14	106	420
						15	106	425
						16	106	430
						17	106	435
						18	106	440
						19	106	445
						20	106	450
						21	106	455
						22	106	460
						23	106	465
						24	106	470
						25	106	475
						26	106	480
						27	106	485
						28	106	490
						29	106	495

ANEXOS Tabla 16 Tiempos de ciclo Puesto 2 (2/2)

T_CICLO – COMP 2								
MEAN VALUE	DESV.	MIN VALUE	MIN RECORD	MAX VALUE	MAX RECORD	OBSERV.	OBSERV.	OBSERV.
108.64	4.971	0.0	5	118	550.0	30	106	500
						31	106	505
						32	106	510
						33	106	515
						34	106	520
						35	106	525
						36	106	530
						37	106	535
						38	106	540
						39	106	545
						40	118	550
						41	118	555
						42	118	560
						43	118	565
						44	118	570
						45	118	575
						46	118	580
						47	118	585
						48	118	590
						49	118	595
						50	118	600

### A7.3. Resultados validación Puesto 3

ANEXOS Tabla 17 Tiempos de ciclo Puesto 3 (1/2)

T_CICLO – COMP 3								
MEAN VALUE	DESV.	MIN VALUE	MIN RECORD	MAX VALUE	MAX RECORD	OBSERV.	OBSERV.	OBSERV.
80.2	5.4	0.0	5	88	400.0	1	76	355
						2	76	360
						3	76	365
						4	76	370
						5	76	375
						6	76	380
						7	76	385
						8	76	390
						9	76	395
						10	88	400
						11	88	405
						12	88	410
						13	88	415
						14	88	420
						15	88	425
						16	88	430
						17	88	435
						18	88	440
						19	88	445
						20	88	450
						21	88	455
						22	88	460
						23	88	465
						24	88	470
						25	88	475
						26	76	480
						27	76	485
						28	76	490
						29	76	495

ANEXOS Tabla 18 Tiempos de ciclo Puesto 3 (2/2)

T_CICLO – COMP 3								
MEAN VALUE	DESV.	MIN VALUE	MIN RECORD	MAX VALUE	MAX RECORD	OBSERV.	OBSERV.	OBSERV.
80.2	5.4	0.0	5	88	400.0	30	76	500
						31	76	505
						32	76	510
						33	76	515
						34	76	520
						35	76	525
						36	76	530
						37	76	535
						38	76	540
						39	76	545
						40	76	550
						41	76	555
						42	78	560
						43	78	565
						44	78	570
						45	78	575
						46	78	580
						47	78	585
						48	78	590
						49	78	595
						50	78	600

## A7.4. Resultados validación Puesto 4

ANEXOS Tabla 19 Tiempos de ciclo Puesto 4 (1/2)

T_CICLO – COMP 4								
MEAN VALUE	DESV.	MIN VALUE	MIN RECORD	MAX VALUE	MAX RECORD	OBSERV.	OBSERV.	OBSERV.
108.64	4.971	0.0	5	118	550.0	1	106	355
						2	106	360
						3	106	365
						4	106	370
						5	106	375
						6	106	380
						7	106	385
						8	106	390
						9	106	395
						10	106	400
						11	106	405
						12	106	410
						13	106	415
						14	106	420
						15	106	425
						16	106	430
						17	106	435
						18	106	440
						19	106	445
						20	106	450
						21	106	455
						22	106	460
						23	106	465
						24	106	470
						25	106	475
						26	106	480
						27	106	485
						28	106	490
						29	106	495

ANEXOS Tabla 20 Tiempos de ciclo Puesto 4 (2/2)

T_CICLO – COMP 4								
MEAN VALUE	DESV.	MIN VALUE	MIN RECORD	MAX VALUE	MAX RECORD	OBSERV.	OBSERV.	OBSERV.
108.64	4.971	0.0	5	118	550.0	30	106	500
						31	106	505
						32	106	510
						33	106	515
						34	106	520
						35	106	525
						36	106	530
						37	106	535
						38	106	540
						39	106	545
						40	118	550
						41	118	555
						42	118	560
						43	118	565
						44	118	570
						45	118	575
						46	118	580
						47	118	585
						48	118	590
						49	118	595
						50	118	600

## A7.5. Resultados validación Puesto 5

ANEXOS Tabla 21 Tiempos de ciclo Puesto 5 (1/2)

T_CICLO – COMP 5								
MEAN VALUE	DESV.	MIN VALUE	MIN RECORD	MAX VALUE	MAX RECORD	OBSERV.	OBSERV.	OBSERV.
47.52	6.4336	0.0	5	51.334	420.0	1	36.667	355
						2	36.667	360
						3	36.667	365
						4	36.667	370
						5	36.667	375
						6	36.667	380
						7	36.667	385
						8	36.667	390
						9	36.667	395
						10	36.667	400
						11	36.667	405
						12	36.667	410
						13	36.667	415
						14	51.334	420
						15	51.334	425
						16	51.334	430
						17	51.334	435
						18	51.334	440
						19	51.334	445
						20	51.334	450
						21	51.334	455
						22	51.334	460
						23	51.334	465
						24	51.334	470
						25	51.334	475
						26	51.334	480
						27	51.334	485
						28	51.334	490
						29	51.334	495



ANEXOS Tabla 22 Tiempos de ciclo Puesto 5 (2/2)

T_CICLO – COMP 5								
MEAN VALUE	DESV.	MIN VALUE	MIN RECORD	MAX VALUE	MAX RECORD	OBSERV.	OBSERV.	OBSERV.
47.52	6.4336	0.0	5	51.334	420.0	30	51.334	500
						31	51.334	505
						32	51.334	510
						33	51.334	515
						34	51.334	520
						35	51.334	525
						36	51.334	530
						37	51.334	535
						38	51.334	540
						39	51.334	545
						40	51.334	550
						41	51.334	555
						42	51.334	560
						43	51.334	565
						44	51.334	570
						45	51.334	575
						46	51.334	580
						47	51.334	585
						48	51.334	590
						49	51.334	595
						50	51.334	600