



Universidad de Valladolid



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Trabajo Fin de Máster en Logística

IMPLEMENTACIÓN VIRTUAL 3D EN LINEAS DE MONTAJE LEAN

Autora:

Martín Bénédit, Raquel

Tutor:

Sánchez Lite, Alberto

Valladolid, Julio 2018



A mis padres, por creer siempre en mí y apoyarme para avanzar. Una vez más, gracias por ayudarme a llegar hasta el final, sin vosotros no sería posible.

A Alberto, por confiar en mí otra vez para tutorarme el proyecto de fin de estudios y ayudarme a sacarlo adelante.

A todos los profesores que me han ayudado de una manera u otra a volcar todos los conocimientos que me han ido enseñando.

Gracias a todos.



IMPLEMENTACIÓN VIRTUAL 3D EN LINEAS DE MONTAJE LEAN

ÍNDICE

INDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
RESUMEN Y PALABRAS CLAVE	9
1. JUSTIFICACIÓN, OBJETIVOS Y ALCANCE	11
1.1. Introducción	11
1.2. Justificación	12
1.3. Objetivos y alcance del proyecto	12
1.4. Estructura del tomo.....	13
2. MARCO DE REFERENCIA.....	14
2.1. LEAN: concepto, aplicaciones y aprendizaje	14
2.2. Excel: qué es y sus aplicaciones	18
2.3. Conceptualización virtual de líneas de montaje: concepto, herramientas y aplicaciones	18
2.4. Evaluación sostenible de líneas de montaje	19
2.5. Ergonomía: concepto y métodos de evaluación	20
3. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN DE ANÁLISIS EXCEL	22
4. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y ANÁLISIS	34
4.1. Situación Actual	34
4.2. Análisis con Aplicación Excel.....	40
5. MODELADO Y EVALUACIÓN	46
5.1. Modelización 3D de la línea de montaje en Catia V5	46
5.2. Modelización 3D de flujos productivos de la línea de montaje.....	49
5.3. Evaluación postural	57
6. ESTUDIO ECONÓMICO	74
6.1. Planificación del proyecto	74



6.2. Recursos.....	76
7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....	81
7.1. Conclusiones al análisis con la hoja Excel.....	81
7.2. Conclusiones al análisis virtual	82
7.3. Líneas futuras	82
8. BIBLIOGRAFÍA	83
9. ANEXOS	86
9.1. ANEXO I: Datos para la realización de la hoja de análisis Excel.....	86
9.2. ANEXO II: Resultados Análisis 1 en Quest.....	88
9.3. ANEXO III: Resultados Análisis 2 en Quest.....	90
9.4. ANEXO IV: Hojas de Proceso y Cálculo de Equilibrado	92
9.5. ANEXO V: Resultados Análisis Equilibrado en Quest	94
9.6. ANEXO VI: Imágenes realistas línea de montaje Escuela Lean.....	96



INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ESQUEMA ÁREAS DE APLICACIÓN LEAN.....	15
FIGURA 2: ESQUEMA DE LA IMPLANTACIÓN LEAN	16
FIGURA 3: CAUSA RAÍZ PARA EL FRACASO DE LAS IMPLEMENTACIONES LEAN [7].....	17
FIGURA 4: EXCEL HOJA 1: INTRODUCCIÓN	25
FIGURA 5: EXCEL HOJA 2: ANÁLISIS	27
FIGURA 6: EXCEL HOJA 2 PARTE 2: ANÁLISIS	28
FIGURA 7: EXCEL HOJA 2 PARTE 3: ANÁLISIS	29
FIGURA 8: EXCEL HOJA 3: RESULTADOS	30
FIGURA 9: EXCEL HOJA 4 PARTE 1: PROPUESTAS DE MEJORA.....	31
FIGURA 10: EXCEL HOJA 4 PARTE 2: PROPUESTAS DE MEJORA.....	32
FIGURA 11: IMAGEN SOLETRÓN.....	35
FIGURA 12: IMAGEN SOLETRÓN (2)	36
FIGURA 13: FOTOGRAFÍA LÍNEA DE MONTAJE EN ESCUELA LEAN	37
FIGURA 14: FOTOGRAFÍA LÍNEA DE MONTAJE EN ESCUELA LEAN (2).....	38
FIGURA 15: FOTOGRAFÍA DETALLE PUESTO DE MONTAJE ESCUELA LEAN.....	40
FIGURA 16: DATOS PARA ANÁLISIS LÍNEA MONTAJE PARTE 1	41
FIGURA 17: DATOS PARA ANÁLISIS LÍNEA MONTAJE PARTE 2	42
FIGURA 18: DATOS PARA ANÁLISIS LÍNEA MONTAJE PARTE 3	43
FIGURA 19: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA LÍNEA DE MONTAJE.....	44
FIGURA 20: CONCLUSIONES 1 DEL ANÁLISIS.....	44
FIGURA 21: CONCLUSIONES 2 DEL ANÁLISIS.....	44
FIGURA 22: MODELADO LÍNEA DE MONTAJE EN CATIA V5.....	46
FIGURA 23: MODELADO LÍNEA DE MONTAJE EN CATIA V5 (2)	47
FIGURA 24: MODELADO LÍNEA DE MONTAJE EN CATIA V5 (3)	47
FIGURA 25: DETALLE PUESTO 1 DEL MODELADO EN CATIA V5.....	48
FIGURA 26: MODELADO REALISTA LÍNEA DE MONTAJE ESCUELA LEAN	48
FIGURA 27: MODELADO REALISTA LÍNEA DE MONTAJE ESCUELA LEAN (2).....	49
FIGURA 28: DISTRIBUCIÓN LÍNEA DE MONTAJE EN DELMIA QUEST	51
FIGURA 29: DISTRIBUCIÓN LÍNEA DE MONTAJE EN DELMIA QUEST (2).....	51
FIGURA 30: SECUENCIA DE FLUJOS EN LÍNEA DE MONTAJE EN DELMIA QUEST.....	52
FIGURA 31: ESQUEMA SATURACIÓN EMPLEADOS EN SIMULACIÓN 1	53
FIGURA 32: ESQUEMA SATURACIÓN EMPLEADOS EN SIMULACIÓN 2	54
FIGURA 33: ESQUEMA SATURACIÓN EMPLEADOS EN SIMULACIÓN EQUILIBRADO	56
FIGURA 34: RESULTADOS DEL ANÁLISIS TRAS EL EQUILIBRADO	57
FIGURA 35: DISTRIBUCIÓN DE LOS PERCENTILES [15]	58
FIGURA 36: EVALUACIÓN POSTURA 1 HOMBRE PERCENTIL 95.....	59
FIGURA 37: VISIÓN DE EVALUACIÓN POSTURA 1 HOMBRE PERCENTIL 95.....	60
FIGURA 38: EVALUACIÓN POSTURA 1 MUJER PERCENTIL 5.....	60
FIGURA 39: VISIÓN DE EVALUACIÓN POSTURA 1 MUJER PERCENTIL 5.....	61
FIGURA 40: EVALUACIÓN POSTURA 2 HOMBRE PERCENTIL 95.....	62
FIGURA 41: VISIÓN DE EVALUACIÓN POSTURA 2 HOMBRE PERCENTIL 95.....	62
FIGURA 42: EVALUACIÓN POSTURA 2 MUJER PERCENTIL 5.....	63
FIGURA 43: VISIÓN DE EVALUACIÓN POSTURA 2 MUJER PERCENTIL 5.....	63
FIGURA 44: EVALUACIÓN POSTURA 3 HOMBRE PERCENTIL 95.....	64
FIGURA 45: VISIÓN DE EVALUACIÓN POSTURA 3 HOMBRE PERCENTIL 95.....	65



FIGURA 46: EVALUACIÓN POSTURA 3 MUJER PERCENTIL 5.....	65
FIGURA 47: VISIÓN DE EVALUACIÓN POSTURA 3 MUJER PERCENTIL 5.....	66
FIGURA 48: EVALUACIÓN POSTURA 4 HOMBRE PERCENTIL 95	67
FIGURA 49: VISIÓN DE EVALUACIÓN POSTURA 4 HOMBRE PERCENTIL 95	67
FIGURA 50: EVALUACIÓN POSTURA 4 MUJER PERCENTIL 5	68
FIGURA 51: VISIÓN DE EVALUACIÓN POSTURA 4 MUJER PERCENTIL 5.....	68
FIGURA 52: EVALUACIÓN POSTURA 5 HOMBRE PERCENTIL 95	69
FIGURA 53: VISIÓN DE EVALUACIÓN POSTURA 5 HOMBRE PERCENTIL 95	69
FIGURA 54: EVALUACIÓN POSTURA 5 MUJER PERCENTIL 5.....	70
FIGURA 55: VISIÓN DE EVALUACIÓN POSTURA 5 MUJER PERCENTIL 5.....	70
FIGURA 56: EVALUACIÓN POSTURAL NIOSH HOMBRE PERCENTIL 95.....	71
FIGURA 57: EVALUACIÓN POSTURAL NIOSH MUJER PERCENTIL 5	72
FIGURA 58: FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL BALANCEO [23]	86
FIGURA 59: ANÁLISIS QUEST 1 PARTE 1.....	88
FIGURA 60: ANÁLISIS QUEST 1 PARTE 2.....	89
FIGURA 61: ANÁLISIS QUEST 2 PARTE 1.....	90
FIGURA 62: ANÁLISIS QUEST 2 PARTE 2.....	91
FIGURA 63: HOJA DE OPERACIÓN ESTÁNDAR PUESTOS 1 Y 3	92
FIGURA 64: HOJA DE OPERACIÓN ESTÁNDAR PUESTOS 2 Y 4	93
FIGURA 65: ANÁLISIS QUEST 3 PARTE 1.....	94
FIGURA 66: ANÁLISIS QUEST 3 PARTE 2.....	95
FIGURA 67: SIMULACIÓN REALISTA LÍNEA MONTAJE ESCUELA LEAN.....	96
FIGURA 68: SIMULACIÓN REALISTA LÍNEA MONTAJE ESCUELA LEAN (2).....	96
FIGURA 69: SIMULACIÓN REALISTA PUESTO 1 LÍNEA MONTAJE ESCUELA LEAN.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PUNTUACIONES DE LA HOJA EXCEL	24
TABLA 2: RESUMEN ANÁLISIS DE FLUJOS	56
TABLA 3: CUADRO RESUMEN ANÁLISIS RULA	72
TABLA 4: CUADRO RESUMEN ANÁLISIS NIOSH	73
TABLA 5: DIAGRAMA DE GANTT	75
TABLA 6: DÍAS EFECTIVOS/AÑO.....	77
TABLA 7: SEMANAS EFECTIVAS/AÑO	77
TABLA 8: COSTES EMPLEADOS	78
TABLA 9: CÁLCULO AMORTIZACIONES.....	78
TABLA 10: COSTE DE MATERIAL CONSUMIBLE	79
TABLA 11: COSTES INDIRECTOS.....	79
TABLA 12: COSTES TOTALES	80



RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo mostrar las mejoras que implica el modelado 3D virtual en la concepción de líneas de montaje, y como aplicar este tipo de modelados a líneas que ya se encuentran en funcionamiento, todo ello, bajo la aplicación de conceptos Lean Manufacturing.

Para ello, se desarrolla una hoja de cálculo Excel para la búsqueda de problemas y se realiza un caso práctico.

Palabras Clave

Simulación, Lean, Línea Lean, Herramientas, Virtual, 3D



Summary

This project aims to show the improvements involved in Virtual 3D modeling in the design of assembly lines, and how to apply this type of modeling to assemblies that are in production, all of it, using Lean Manufacturing concepts.

To do it, an Excel worksheet is developed to help in the search of problems, and a practice case is made.

Key Words

Simulation, Lean, Lean Line, Tools, Virtual, 3D



1. JUSTIFICACIÓN, OBJETIVOS Y ALCANCE

1.1. Introducción

La base del presente proyecto es mostrar que el diseño y modelado de puestos en 3D en la concepción de líneas de montaje aporta numerosas ventajas, relacionándolo con la aplicación de conceptos Lean.

Para llegar a esta conclusión, se parte del diseño y aplicación de una hoja de cálculo Excel que evalúa líneas de montaje que están ya en funcionamiento.

Como punto de partida para la aplicación de estos conceptos, se ha elegido la línea de montaje de solectrones de la Escuela Lean, ya que gracias al máster me he podido familiarizar con ella, y ya le han sido aplicados diversos conceptos Lean (y por lo tanto varias mejoras) que se explicarán a continuación.

Para el desarrollo del proyecto, es necesaria la utilización de varios software con los que realizar análisis y modelar; los elegidos para este trabajo han sido:

- Microsoft Excel: diversidad de aplicaciones logísticas, idóneo para estudios numéricos y relacionar parámetros.
- Catia V5: software idóneo para el modelado y evaluación en 3D, existe la disponibilidad de licencia dentro de la Universidad.
- Delmia Quest: idóneo para la simulación de flujos de una producción, también hay disponibilidad de licencia dentro de la Universidad.
- KeyShot 6: con ayuda de Catia V5, ofrece los resultados más realistas, que podemos ver a lo largo del documento.

Con ayuda de estos programas, se han realizado el análisis y el modelado, y se han extraído una serie de conclusiones que sirven para la mejora de la línea de montaje de la Escuela Lean, y a su vez también sirven para el diseño y desarrollo de futuras líneas.



1.2. Justificación

La idea de este Trabajo Fin de Máster nace de la unión de diferentes propuestas con los conocimientos adquiridos en máster y grado.

Con esta fusión, se busca la implementación del estudio en la Escuela Lean, ya que tiene aspectos Lean que durante el curso en el Máster de Logística no hemos estudiado allí; por otra parte, en ella ya hemos podido aplicar otros conceptos Lean que sirven como referencia y punto de partida para el estudio.

Por estos motivos, se considera que la línea de montaje con la que cuenta esta Escuela es una buena opción para realizar el caso práctico.

Con todos estos datos, se propone un TFM relacionado con la logística en su área interna de distribución en planta en fábrica, y más concretamente con aspectos Lean en líneas de montaje.

1.3. Objetivos y alcance del proyecto

Objetivos generales:

- desarrollo de una hoja de evaluación de líneas de montaje de acuerdo a varios aspectos Lean, con visión a su uso en docencia e incorporación en ámbito industrial.
- como resultado a la hoja de análisis: conceptualización virtual en 3D de líneas de montaje y mostrar las ventajas que aporta este desarrollo de cara a su diseño.

Objetivos específicos generados a partir de los objetivos generales:

- desarrollar una aplicación en Excel que sirva de punto de inicio al análisis de líneas de montaje y nos aporte conclusiones claras y futuras acciones. La aplicación se basa en conceptos Lean y análisis de estos sobre el puesto de trabajo;
- aplicar estas futuras acciones que nos ha generado la hoja Excel para:
 - generar un desarrollo conceptual de forma virtual y en tres dimensiones, puesto a puesto, de líneas de montaje;



- partiendo del desarrollo creado, realizar análisis de los parámetros con mala puntuación que nos indica la hoja Excel:
 - mejora en los flujos productivos y equilibrado
 - otras evaluaciones que estén relacionados con conceptos Lean.

El alcance del proyecto lleva a buscar los objetivos en el desarrollo general de líneas de montaje y la aplicación práctica sobre una línea concreta en la que ya se han aplicado diversas mejoras Lean: la línea de montaje de solectrones de la Escuela Lean.

1.4. Estructura del tomo

El documento se divide en 9 capítulos:

- en este primero se ha realizado una introducción al documento, la justificación y los objetivos;
- el segundo capítulo es una introducción teórica al desarrollo de los objetivos;
- en el tercero se describe el desarrollo de la aplicación de análisis: hoja de análisis en Excel;
- en el cuarto capítulo se explica la situación actual, y se realiza el análisis que se ha descrito en el punto anterior;
- el quinto capítulo, se analizan y resuelven los problemas obtenidos en el capítulo anterior;
- el sexto capítulo desarrolla el estudio económico;
- el séptimo es de conclusiones y líneas futuras;
- en el octavo, encontramos la biografía;
- el último capítulo es el noveno donde se muestran los anexos relacionados con apartados indicados a lo largo del documento.



2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. LEAN: concepto, aplicaciones y aprendizaje

La filosofía Lean nace a principios del siglo XIX y se consolida con el nacimiento del TPS (Sistema de Producción Toyota) en la década de los 70s.

Si buscamos la acepción Lean en un diccionario, obtenemos que su significado es: “delgado/a, flaco/a, magro/a, sin grasa”.

Desde el punto de vista industrial, Lean Manufacturing es “una filosofía que sigue una serie de técnicas con el fin de mejorar la productividad de la empresa, ayudándose de un conjunto de herramientas (5S, la estandarización del trabajo, el equilibrado, Kaizen, SMED, TPM, la gestión visual, etc.)”.

El objetivo de la aplicación Lean es clara: ser más eficiente buscando la satisfacción del cliente al mínimo coste y apoyándonos en el capital humano. Es decir, el beneficio no solo es mínimos desperdicios sino reducir las actividades que no tengan valor añadido.

El autor David W. Hambelton resume el concepto como: “construir lo necesario, cuando es necesario, en la cantidad necesaria y entregarlo cuando es necesario con la calidad necesaria”. [1]

Se basa en cinco principios:

1. Definir el valor: definir por qué está dispuesto a pagar el cliente.
2. Identificar el flujo de valor: identificar que añade valor al producto y que es un despilfarro, para poder eliminar este último.
3. Flujo continuo: fabricar uno → mover uno.
4. Sistema Pull: es la demanda la que tira de la producción.
5. Mejora continua: nunca conformarse y siempre intentar mejorar.

Con despilfarros del Lean, nos referimos a aquellas actividades que están consumiendo recursos, espacio y/o tiempo y no contribuyen a satisfacer las necesidades del cliente. Los siete principales son: stocks, defectos, movimientos, transporte, sobreproducción, esperas y procesos innecesarios o superfluos. Actualmente se están considerando también despilfarros a la deficiente utilización de las personas y la resistencia al cambio por parte de los gerentes.

Para conseguir implantar Lean, se siguen las bases de: filosofía de mejora continua, control total de la calidad, eliminación de los despilfarros, aprovechar el potencial de la cadena de valor y participación y cuidado de los operarios.

Las aplicaciones del Lean son diversas, incluyendo tanto la fabricación como los servicios en todos los ámbitos de estas.

Para conseguir una aplicación completa de la metodología, se deben contemplar varias áreas, como muestra la Figura 1:



Figura 1: Esquema áreas de aplicación Lean

Las relaciones de estas áreas con la aplicación del Lean Manufacturing son:

1. La ingeniería: el Lean se aplica a todo el proceso de ingeniería, ya que se busca la excelencia en la fabricación. La ingeniería debe seguir puntos clave Lean como:
 - diseñar para la fabricación
 - reducción de tiempos
 - optimizar la distribución en planta y la logística del material
 - eliminar la opción de error
 - etc.
2. Las operaciones: con la aplicación Lean conseguimos que las operaciones sean fáciles, de menor variabilidad, sin errores y en el menor tiempo.
3. Los trabajadores son el área más importante para conseguir la excelencia de la fabricación. Es necesario que estén formados para facilitar su compromiso, motivación y polivalencia, y conseguir que cumplan los requisitos para llegar a la cultura Lean. Para ello, además de formación y la información, deben tenerse en cuenta factores que

hagan el trabajo más fácil, como son la seguridad y la ergonomía en el puesto de trabajo, es decir, conseguir salud laboral.

3.1.La seguridad: con el Lean se busca la implicación de los operarios, y establece que en los sistemas de producción, lo primero son las personas; para conseguir esta implicación es necesario la seguridad de todos los trabajadores de la empresa.

3.2.Ergonomía: como se ha indicado en punto 3 de seguridad, “en los sistemas de producción, lo primero son las personas”, y para que estas personas se sientan cómodos durante su jornada laboral y puedan llegar a aplicar todas las pautas que se indican, el puesto de trabajo debe cumplir unos estándares ergonómicos que se adapten a los diferentes percentiles que puedan presentar los operarios.

La implantación del Lean Manufacturing exige el conocimiento de conceptos, técnicas y herramientas. Con este conocimiento se pretende alcanzar tres objetivos: rentabilidad, competitividad y satisfacción de los clientes.

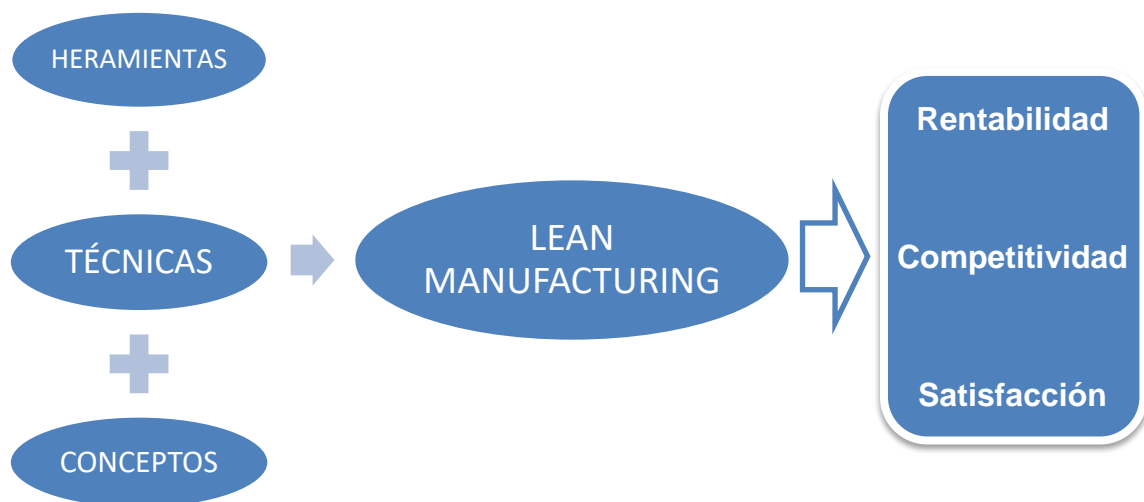


Figura 2: Esquema de la implantación Lean

Para cumplir con los objetivos indicados, el Lean Manufacturing se apoya en tres pilares fundamentales:

1. La filosofía de mejora continua, siguiendo el concepto de *kaizen* (“cambio para mejorar”).



2. El control total de la calidad, asegurándose en todas las actividades de la empresa.
3. JIT (Justo a Tiempo), o lo que es lo mismo, fabricar los productos necesarios en la cantidad necesaria en el instante preciso.

El aprendizaje Lean para un nivel básico lleva una serie de etapas formativas:

- la primera etapa es conocer las herramientas de un modo pedagógico. Entender que es el Lean y sus herramientas, para poder llevarlas a la práctica.
- una vez aprendidas, hay que aplicarlas a un entorno real, ampliando los conocimientos teóricos con competencias técnicas.

Se trata de conseguir esa integración, y mantenerla con el paso del tiempo.

[1 - 7]

Para conseguirlo, es primordial el conocimiento del gerente para ayudar en la implementación. En la Figura 3 podemos observar las principales causas de fracaso en la implementación Lean por parte de los directivos:

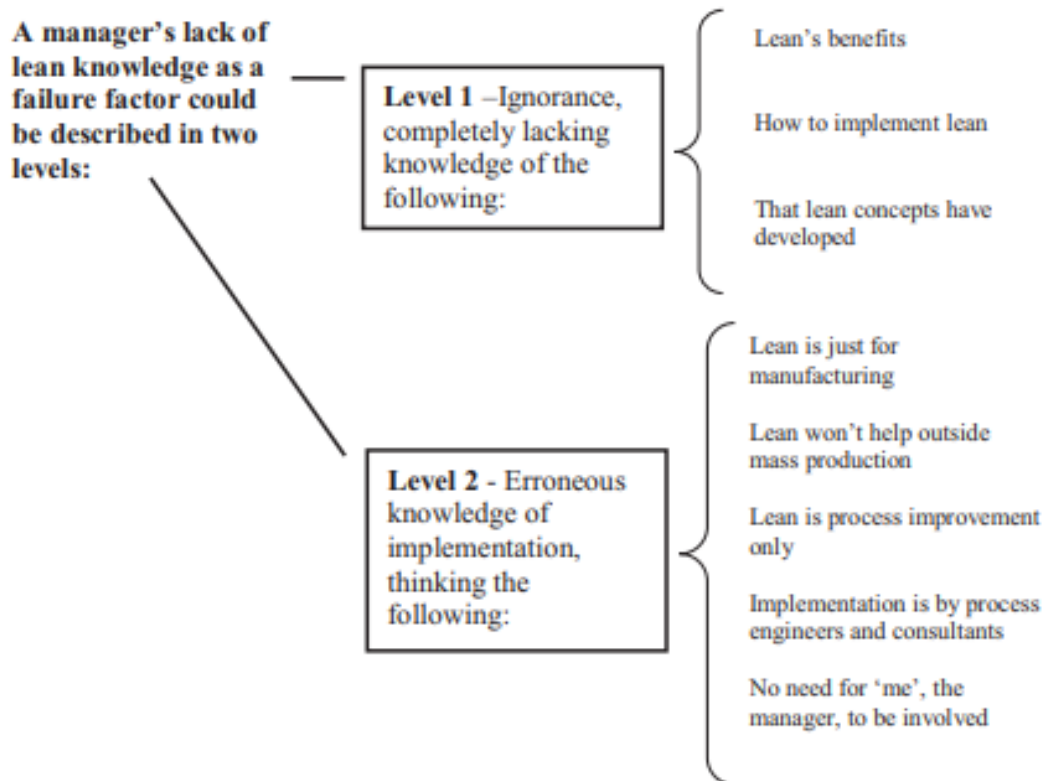


Figura 3: Causa raíz para el fracaso de las implementaciones lean [7]



Si conseguimos la implantación Lean completa, además de todas las ventajas citadas, conseguimos una producción ecológica, ya que los beneficios que aporta se pueden asociar a beneficios ambientales, creando el llamado Lean-Green, que impulsa una industria más verde. [8]

2.2. Excel: qué es y sus aplicaciones

Microsoft Excel es un programa tipo hoja de cálculo que integra Microsoft Office.

Gracias a este software, podemos convertir una serie de datos en información con ayuda de fórmulas modernas. Tanto los datos de partida como los de salida pueden ser de diferentes formas, aportando gran versatilidad a los cálculos.

Posee funciones para procesar textos, analizar valores numéricos y obtener gráficas, entre otros, lo que aporta diversas aplicaciones, como son: cálculos numéricos generales, realización de tablas, facturación, creación de informes, hojas de cálculo, hojas de análisis, etc.

Excel puede utilizarse en diversos ámbitos, como son la administración, la contabilidad o ámbitos de ciencias. [9]

2.3. Conceptualización virtual de líneas de montaje: concepto, herramientas y aplicaciones

La conceptualización virtual de líneas de fabricación busca encontrar una flexibilidad en el diseño de las líneas productivas, ya sea en montaje o cualquier proceso de manufactura, creando una simulación virtual de uso ingenieril, donde poder solucionar problemas o incluso anticiparse a ellos gracias a simulaciones y estudios en 3D.

Para poder llegar a la conceptualización, primero debe procederse al modelado de los puestos en un software de simulación, ya sea con ayuda de planos o con valores de referencia reales. Una vez creado, se procederá a realizar el análisis.

Existen varias herramientas tanto de modelado como de análisis de puestos y flujos productivos. La mejor opción para llevar a cabo un análisis completo es la



combinación del uso de diferentes software, compaginando los módulos más desarrollados de todos ellos.

Esta práctica requiere de conocimientos previos en el programa y tiempo de modelado hasta conseguir que el diseño sea lo más semejante a la realidad posible, pero los resultados son muy realistas y muy útiles en el diseño de las líneas.

Como herramientas de diseño y modelado cabe destacar CATIA, ya que es una de las más conocidas y a su vez cuenta con herramientas de análisis; como contras del programa, su licencia no es gratuita. Otras herramientas similares de uso industrial son: Rhino3D, Solidworks o Inventor, aunque su uso no está tan extendido.

Para los estudios del modelo creado, existen diversas herramientas dependiendo del tipo de examen que se quiera realizar, ya sea simulación de flujos en el proceso de fabricación (Quest o Witness), análisis ergonómico (incluido en CATIA), o de tensiones en el elemento diseñado (Inventor), entre otros.

La aplicación principal de todas estas herramientas es la evaluación de la línea productiva en diversos aspectos que nos sean de interés, como puede ser el tamaño, la productividad por hora, el equilibrado, la saturación de los empleados, la ergonomía, etc.

La conceptualización y estudios se pueden realizar antes de implantar la línea o una vez esté funcionando. Se aconseja realizarlo durante el proceso de diseño, así podremos anticiparnos a errores, aunque resulta también útil aplicarla en casos que la línea ya está implantada, ya que surgen muchas mejoras de esta. [10]

2.4. Evaluación sostenible de líneas de montaje

Uno de los principales aspectos que busca el lean es la sostenibilidad del sistema creado, es decir, que lo que se ha conseguido dure en el tiempo para garantizar el éxito.

Esta sostenibilidad también es aplicable a las líneas de producción de las diferentes empresas. Se busca que la evaluación no sea una simple valoración de si el puesto está bien o mal concebido, sino que, además, se mejore y se mantengan estas mejoras en las líneas futuras.



La evaluación sostenible tiene por objetivo comprobar cuáles son el impacto y los resultados obtenidos en las simulaciones creadas con la conceptualización virtual de las líneas de montaje, para así poder analizar los resultados y que estos ayuden a un aprendizaje autónomo para futuros estudios, es decir, que no se quede en un simple análisis y la aplicación de cambios en caso de que fueran necesarios, sino que estos resultados nos sirvan cuando se vayan a diseñar otras líneas de montaje. Todo esto se consigue gracias a:

- el modelo virtual de la línea de montaje (referencia de estudio);
- la evaluación con diferentes programas del modelo referencia;
- los resultados obtenidos, que serán los referenciales para las próximas evaluaciones.

Con estos tres puntos y la aplicación de los conocimientos en Lean se consigue la evaluación sostenible.

Para que esto funcione, deben implicarse todos los trabajadores que tengan relación directa con el puesto de trabajo, ya sea por trabajar en él, por diseñarlo o por construirlo. [11]

2.5. Ergonomía: concepto y métodos de evaluación

El problema de salud más común de los trabajadores en los países más industrializados son los trastornos musculoesqueléticos (TME) con origen laboral, llegando a ser una de las principales causas de bajas.

Para abordar la prevención de estos trastornos, existen unos principios en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, siendo en concreto la ergonomía la disciplina que se especializa en su estudio.

La Asociación Española de Ergonomía define el término ergonomía como: “conjunto de conocimientos con carácter multidisciplinar aplicados para la adecuación de los productos, sistemas y entornos artificiales a las necesidades, limitaciones y características de sus usuarios, optimizando la eficacia, seguridad y bienestar”. [12]

Como objetivo de la ergonomía, podemos decir que se encarga de ajustar las tareas, productos, medios y entorno a las necesidades de todas las personas, de modo que se desarrolle la eficiencia y seguridad. Así, se extraen dos ámbitos principales: los productos y el puesto de trabajo.



En el puesto de trabajo, la ergonomía busca una adecuación entre las aptitudes de los trabajadores y los requerimientos del puesto.

Existen numerosos métodos para realizar evaluaciones ergonómicas en el puesto, su elección depende de los factores de riesgo asociados a las actividades que se desarrollan. A continuación se explican los principales:

- a) Método LEST: busca evaluar de forma general y global, es decir, obtenemos un diagnóstico final que nos indica si es necesario un segundo análisis más específico, pero no nos da resultados individuales de las partes del cuerpo.
- b) Método OCRA: este método evalúa el riesgo en manipulación de elementos de manera repetitiva a alta frecuencia en las extremidades superiores. Su aplicación requiere de una alta formación específica.
- c) Método RULA: evalúa las posturas de los trabajadores que puedan ocasionar factores de riesgo en las extremidades superiores. La evaluación se aplica en posturas concretas.
- d) Método OWAS: este método tiene por objeto el análisis de carga postural, dividiendo las posturas en categorías de riesgo. Dependiendo de la categoría a la que pertenezca la postura se aplica una guía de actuación.
- e) Método NIOSH: con esta metodología se evalúan las tareas que tienen levantamientos de carga, obteniendo como resultado el peso máximo permitido para manipular en dicha tarea. [13]



3. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN DE ANÁLISIS EXCEL

Como ya hemos indicado, para el correcto análisis de la línea se va a desarrollar una hoja Excel que contempla los diferentes criterios Lean y los analiza con el fin de llegar a conclusiones que nos ayuden a la mejora y optimización de la línea de montaje.

Esta hoja de análisis se crea con el fin de uso docente, es decir, que con conocimientos básicos de Lean sea posible completarla, pero si será necesario tener unos conocimientos teóricos antes de su uso.

El punto de inicio para el desarrollo de la hoja en Excel es establecer que criterios vamos a analizar y asignarles una puntuación.

Los criterios elegidos, conforme a parámetros Lean han sido:

1. Criterios de eficiencia:
 - a. Cumplimiento del tiempo de ciclo de cada puesto
 - b. Equilibrado entre puestos
2. Criterios logísticos:
 - a. Búsqueda de cero stock
3. Criterios de factor humano:
 - a. Cumplimiento de requisitos de seguridad
 - b. Ergonomía en el puesto
 - i. Posturas correctas
 - ii. No superar la carga máxima
4. Criterios de calidad:
 - a. Búsqueda de cero defectos
5. Otros criterios:
 - a. 5S
 - b. Estandarización

Se establece que todos los criterios finales en el esquema tienen el mismo peso, es decir, el peso relativo del equilibrado entre puestos es igual al de no superar la carga máxima.



A continuación, se debe introducir una escala en todos los criterios; la escala elegida es de 1 a 3, siendo 1 la puntuación más favorable:

- a. Cumplimiento de tiempo: introducimos el tiempo de ciclo teórico de cada puesto
 - 1 si el tiempo de ciclo está dentro de: $t-5 < t < t+5$.
 - 2 si el tiempo de ciclo está dentro de: $t-10 < t < t-5$ ó $t+5 < t < t+10$.
 - 3 si está fuera de los valores anteriores.

- b. Equilibrado entre puestos: el cálculo se realiza según los datos de los tiempos introducidos anteriormente:
 - 1 si el valor es $>95\%$.
 - 2 si el valor está entre 90 y 95% (inclusive).
 - 3 si el valor es menor de 90%.

- c. Stock: introducimos el valor actual entre puestos:
 - 1 si el valor es 0.
 - 2 si el valor es 1.
 - 3 si el valor es >1 .

- d. Requisitos de seguridad:
 - 1 si se cumplen todos los parámetros.
 - 3 si no se cumple algún parámetro.

- e. Postura de trabajo:
 - 1 si se cumplen las especificaciones.
 - 3 si no se cumplen todas las especificaciones.

- f. Carga máxima: se introduce el valor de la carga:
 - 1 si no se supera la carga máxima.
 - 3 si se supera la carga máxima.

- g. Defectos: se introduce el valor de piezas con defecto en la producción y de las piezas totales producidas:
 - 1 si el valor es $< 2\%$.
 - 2 si el valor es $2\% < v < 3\%$.
 - 3 si el valor es $> 3\%$.

- h. 5S: respondiendo una serie de cuestiones simples se obtiene si se cumplen o no las 5S en el puesto:
 - 1 si cumple todos los parámetros que buscamos.
 - 3 si incumple alguno de los parámetros buscados.



- i. Estandarización: con unas cuestiones se concluye si la línea está o no estandarizada:
 - 1 la línea de montaje si está estandarizada.
 - 3 no se cumplen todos los requisitos para la estandarización.

Con todos estos datos, procedemos al diseño en Excel.

Dado que se busca que la hoja pueda completarse con unos conocimientos Lean básicos, se establecen cuestiones que estén de acuerdo a estas competencias.

Una vez realizado el análisis, se obtiene una puntuación final, siendo 9 la mejor puntuación y 27 la peor. Con estas puntuaciones, establecemos los siguientes tres niveles dentro de los cuales se puede encontrar una línea de montaje, teniendo en cuenta que para que la línea sea Lean ningún parámetro debe tener valor mayor de 3, y si alguno tiene el valor 2 hay posibles mejoras:

<ul style="list-style-type: none">· 9 - 10 línea LEAN· 11 a 13 la línea puede mejorar· 14 a 27 es necesario un análisis más exhaustivo y aplicar mejoras
--

Tabla 1: Puntuaciones de la Hoja Excel

Además, se establece que si alguno de los criterios posee puntuación 3, se debe analizar ese criterio para aplicar mejoras, es decir, que si en la tabla resumen encontramos puntuaciones iguales a 3, esos criterios deben priorizarse en el análisis; en caso de encontrar puntuaciones igual a 2, se aconseja realizar un análisis para mejorar, aunque su prioridad sea secundaria; con puntuaciones iguales a 1, el parámetro sigue la metodología Lean.

Ya hemos especificado los parámetros, ahora deben programarse en Excel para crear la hoja de análisis de líneas de montaje.

Se establece como objetivo para la creación que esta hoja tenga un interfaz sencillo con explicaciones claras para que pueda completarse fácil y sacar conclusiones directas al análisis.

Se han establecido 4 pestañas:

- 1º Introducción
- 2º Análisis
- 3º Resultados
- 4º Propuestas de mejora

En las siguientes Figuras se muestra el interfaz Excel creado y se explica la composición de cada parte.

En la Figura 4 observamos la Hoja 1 donde se encuentra la Introducción.

Dentro de la hoja encontramos primero un cuadro con explicaciones de esta primera hoja y los tipos de puntuación. A continuación podemos ver un esquema donde se han estructurado los diferentes parámetros elegidos ordenados según categorías y sus posibles puntuaciones.

Las tablas que se encuentran debajo de cada parámetro indican de modo resumido las puntuaciones que hemos establecido con anterioridad en los criterios.

Finalmente, encontramos una explicación de las siguientes pestañas del documento Excel y un vínculo a la hoja donde introduciremos los parámetros para iniciar el análisis.

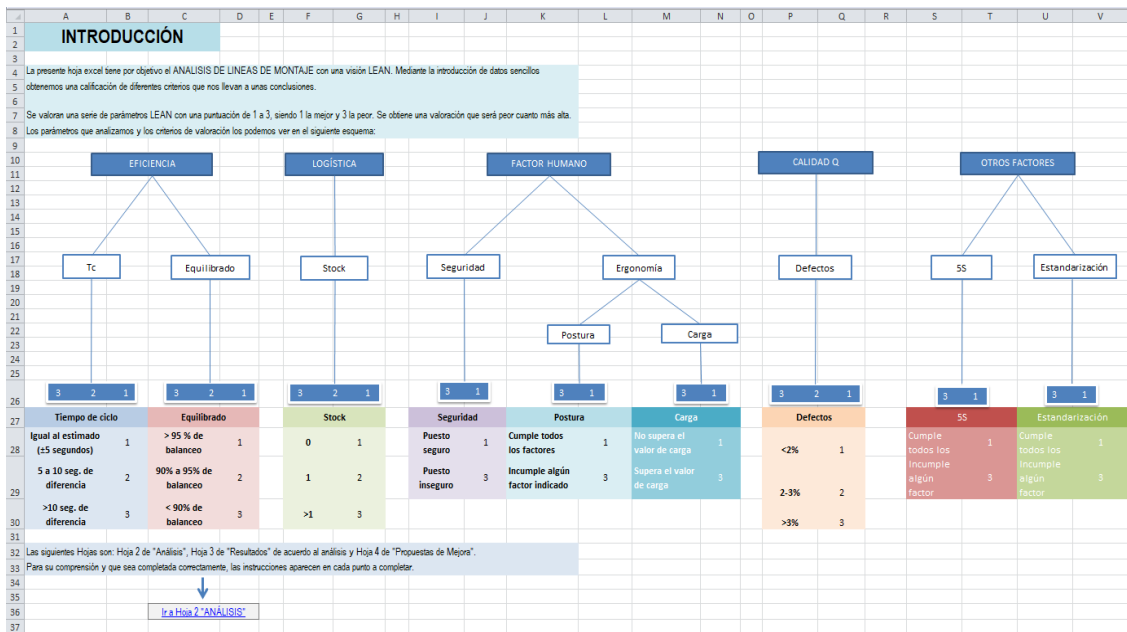


Figura 4: Excel hoja 1: INTRODUCCIÓN



Dentro de esta pestaña número 2, primero encontramos un cuadro con las instrucciones a seguir para completar correctamente todos los datos que se piden.

Después de las instrucciones, se estructuran todos los criterios que se van a analizar, conforme al orden indicado en la Pestaña 1 de “Introducción”.

Se deben completar los cuadros con borde negro y con interior amarillo claro, siguiendo las indicaciones de las explicaciones, ya que en algún cuadro debemos introducir números, y otros son preguntas que se responden con SI o NO.

Una vez completos los datos, cada parámetro obtiene una puntuación individual, que está entre 1 y 3. La suma de estas puntuaciones nos da el valor final que nos indica si la línea es o no Lean según los criterios de la Tabla 1.

Esta suma podemos encontrarla al final de la pestaña de “Análisis”, y la puntuación sólo será real si se completan todos los parámetros. En la Figura 7 podemos observar esta parte y los hipervínculos a las recomendaciones según la puntuación obtenida. Estos hipervínculos nos llevan a las diferentes partes de la pestaña 3 de “Resultados”.

Las Figuras 5, 6 y 7 muestran el interfaz de la pestaña de análisis sin completar y todas las explicaciones indicadas:



1	ANÁLISIS																																					
2																																						
3																																						
4	Instrucciones:																																					
5	1. Las celdas que deben completarse son las indicadas €																																					
6	2. Las celdas de los resultados aparecen en los siguientes colores:																																					
7	a) Favorable																																					
8	b) Hay posibles mejoras																																					
9	c) Necesarias mejoras																																					
10	3. El resto de celdas son informativas																																					
11	4. Al final del análisis se ve una puntuación final que lleva a una serie de conclusi																																					
12																																						
13																																						
14	EFICIENCIA																																					
15																																						
16																																						
17	Número de estaciones:																																					
18	Número de empleados:																																					
19																																						
20	Introduzca los valores de los tiempos de ciclo teóricos de cada estación en segundos:																																					
21	Tc 1	Tc2	Tc 3	Tc 4	Tc 5	Tc 6	Tc 7	Tc 8	Tc 9	Tc 10	Tc 11	Tc 12	Tc 13	Tc 14	TOTAL																							
22															0																							
23																																						
24	Tiempo de Ciclo	Puntuació	1																																			
25																																						
26	Introduzca los valores de los tiempos de ciclo medidos en cada estación en segundos:																																					
27	Tc 1	Tc2	Tc 3	Tc 4	Tc 5	Tc 6	Tc 7	Tc 8	Tc 9	Tc 10	Tc 11	Tc 12	Tc 13	Tc 14																								
28																																						
29																																						
30	Las diferencias (en valor absoluto) de tiempos de ciclo teóricos y reales son:																																					
31	Tc 1	Tc2	Tc 3	Tc 4	Tc 5	Tc 6	Tc 7	Tc 8	Tc 9	Tc 10	Tc 11	Tc 12	Tc 13	Tc 14																								
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																								
34																																						
35	Equilibrado	Puntuació	#DIV/0!																																			
36																																						
37	Ciclo control:	0																																				
38	Tiempo de línea:	0																																				
39	% del balanceo:	#DIV/0!																																				
40	Puntuación:	#DIV/0!																																				
41																																						
42																																						
43	LOGÍSTICA																																					
44																																						
45																																						
46	Stock	Puntuació	1																																			
47																																						
48	Introduzca el valor del número máximo de stock entre puestos:																																					
49	Stock:																																					
50	Puntuaci	1																																				
51																																						
52																																						

Figura 5: Excel hoja 2: ANÁLISIS



52					
53	FACTOR HUMANO				
54					
55					
56	Seguridad	Puntuación:	3		
57					
58	Responda a las siguientes preguntas con SI o NO:				
59	1. ¿Existen riesgos para el factor humano apreciables a simple vista?				1
60	2. ¿Los operarios portan calzados de seguridad?				3
61	3. ¿Los operarios llevan los elementos mínimos de seguridad obligatorios? (guantes,gafas, ...)				3
62	4. ¿Existen señales indicativas en el puesto? (salida, extintor, ...)				3
63	5. ¿Existen medidas protectoras en los puestos con uso de electrónica? (pantallas, botones parada inmediata, ...)				3
64	Puntuación		3		
65					
66	Ergonomía - Postura	Puntuación:	3		
67					
68	Responda a las siguientes preguntas:				
69	1. ¿Cuál es la altura de la zona de trabajo (en mm)?				3
70	2. ¿Cuál es el ancho total de la mesa de trabajo (en mm)?				3
71	3. ¿Cuál es la máxima altura a la que debe llegar el trabajador (en mm)?				1
72	4. ¿Los operarios tienen que agacharse o estirarse en exceso para realizar su trabajo? (SI/NO)				1
73	5. ¿Algún puesto está aisaldolincomunicado? (SI/NO)				1
74	Puntuación		3		
75					
76	Ergonomía - Carga	Puntuación:	1		
77					
78	Introduzca el valor máximo de carga que tiene que mover el operario:				
79	Carga máxima (kg):			1	
80	Introduzca el desplazamiento vertical máximo de la carga anteriormente indicada:				
81	Desplaz. máximo (mm):			1	
82					
83					
84	CALIDAD				
85					
86					
87	Defectos	Puntuación:	#DIV/0!		
88					
89	Analice una produccion completa y responda a las preguntas:				
90	1. ¿Cuántas unidades se han producido?				
91	2. ¿Cuántas unidades producidas han presentado algún tipo de defecto?				
92	% de defectos:			#DIV/0!	
93	Puntuación			#DIV/0!	
94					

Figura 6: Excel hoja 2 parte 2: ANÁLISIS



95					
96	OTROS FACTORES				
97					
98					
99	5S	Puntuación	3		
100					
101	Responda a las siguientes preguntas con SI o NO:				
102	1. ¿Son útiles todos los materiales y/u objetos que se encuentran en el puesto?				3
103	2. ¿Cada objeto tiene su lugar donde colocarlo?				3
104	3. ¿El puesto está limpio?				3
105	4. En caso de que existieran anomalías, ¿se observarían con evidencia?				3
106	5. ¿Los hábitos de 5S se mantienen durante todo el tiempo de trabajo?				3
107	Puntuación	3			
108					
109	Estandarización	Puntuación	3		
110					
111	Responda a las siguientes preguntas con SI o NO:				
112	1. ¿Las operaciones son comunes a todos?				3
113	2. ¿Las operaciones presentan ineficiencias?				1
114	3. ¿El aprendizaje de las operaciones se consigue fácil con entrenamiento y práctica?				3
115	4. ¿Existe una hoja de Operación Estándar y se respeta?				3
116	5. ¿Se busca la mejora continua y las posibles mejoras son escuchadas?				3
117	Puntuación	3			
118					
119					
120	Escoja su margen de puntuación:				
121	PUNTUACIÓN FINAL	#DIV/0!		Puntuación de 9 a 10	
122				Puntuación entre 11 y 13	
123				Puntuación entre 14 y 27	
124					
125					

Figura 7: Excel Hoja 2 parte 3: ANÁLISIS

Una vez completa la pestaña de “Análisis”, hemos obtenido una puntuación final suma de las otras, la cual nos lleva a uno de los tres hipervínculos que se encuentran a la derecha de la puntuación.

Cualquiera de los tres nos lleva a la pestaña 3 de “Resultados”, solo que a diferentes secciones de esta.

En la Figura 8 se muestra esta pestaña completa. Como se puede observar, en esta pestaña hay una explicación de las diferentes puntuaciones y un hipervínculo a “Consultar puntuación por parámetro”, que nos lleva a la parte final de esta hoja 3. Este hipervínculo solo debe utilizarse en casos de que la línea de montaje no sea Lean, por eso aparece solo en la segunda y tercera tabla de resultados.

En esta tabla encontramos un cuadro resumen de cada puntuación. Haciendo click sobre cada puntuación llegaremos a la pestaña 4 de “Propuestas de Mejora”. Estas propuestas sólo son posibles en caso de puntuaciones 2 o 3, ya que la puntuaciones iguales a 1 indican que se cumplen los objetivos Lean.

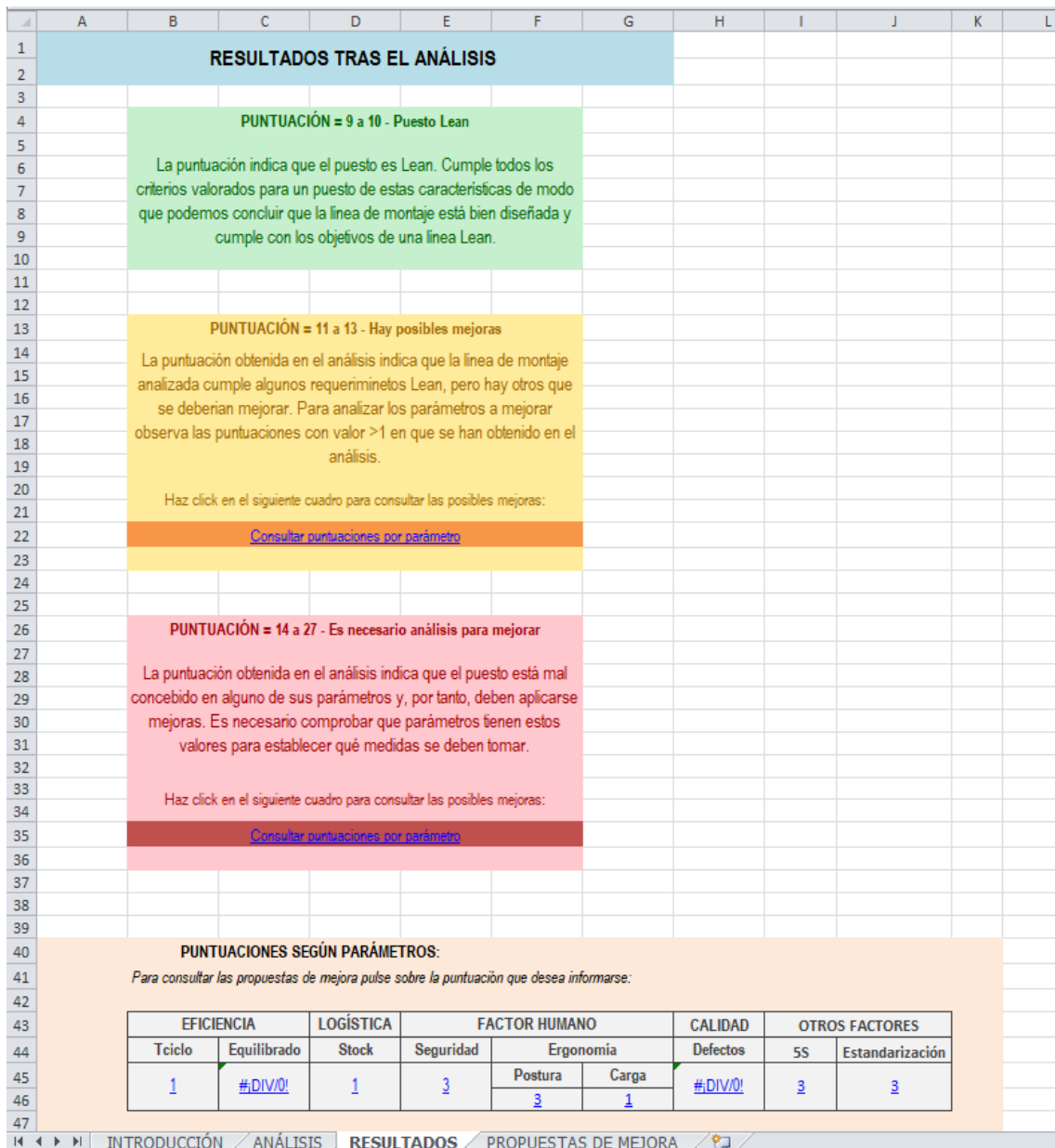


Figura 8: Excel hoja 3: RESULTADOS

La última pestaña de la Hoja de Análisis de puestos de trabajo es la de “Propuestas de mejora”, a la que se accede con los hipervínculos de la tabla “Puntuaciones según parámetros” de la pestaña 3.

En esta parte se especifica de modo resumido las actuaciones que se deben realizar conforme a las puntuaciones obtenidas. En ella encontramos la puntuación y depende de esta un modo de actuación.



En la hoja encontramos un resumen de todas las puntuaciones y todas las actuaciones, pero el hipervínculo nos llevará directamente a aquella que decidamos tener más información.

A mano derecha de las actuaciones, encontramos otro hipervínculo para acceder de nuevo a la tabla resumen de puntuaciones de la pestaña 3, donde podemos ver la información más resumida.

En las Figuras 9 y 10 encontramos el interfaz de esta última pestaña:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	PROPUESTAS DE MEJORA															
2																
3	Si has llegado a este punto, indica que la línea de montaje ha obtenido puntuaciones altas que deben ser analizadas para poder disminuirlas.															
4	A continuación se indican una serie de recomendaciones para la mejora de la línea según los parámetros:															
5																
6	EFICIENCIA															
7																
8	Tiempo de Ciclo		Puntuación:		1											
9																
10	Puntuación = 1 : la línea cumple los tiempos de ciclo técnicos.															
11	Puntuación = 2 : hay desviación entre los tiempos de ciclo técnicos y medidos en un valor pequeño. Se recomienda operarios más formados para la tarea.															
12	Puntuación = 3 : el tiempo de ciclo técnico y el medido tienen una diferencia considerable. Se recomienda revisar la hoja de proceso y formar a los operarios para el puesto.															
13																
14	Equilibrado		Puntuación:		#DIV/0!											
15																
16	Puntuación = 1 : equilibrado correcto entre estaciones.															
17	Puntuación = 2 : pequeño desequilibrio, analizar hoja de proceso para intentar mejorar.															
18	Puntuación = 3 : desequilibrio considerable entre puestos. Se recomienda un análisis más exhaustivo con una simulación para encontrar los problemas.															
19																
20	LOGISTICA															
21																
22	Stock		Puntuación:		1											
23																
24	Puntuación = 1 : cero stock.															
25	Puntuación = 2 : stock = 1, comprobar si es posible disminuirlo a 0, en ocasiones conviene tener algún stock.															
26	Puntuación = 3 : hay stock en exceso. Rediseño de la logística de la línea para disminuirlo o eliminarlo.															
27																
28	FACTOR HUMANO															
29																
30	Seguridad		Puntuación:		3											
31																
32	Puntuación = 1 : se cumplen todos los parámetros de seguridad.															
33	Puntuación = 3 : existen problemas en la seguridad del puesto. Realizar un AST (análisis de seguridad en el trabajo).															
34																

Figura 9: Excel Hoja 4 parte 1: PROPUESTAS DE MEJORA



Figura 10: Excel Hoja 4 parte 2: PROPUESTAS DE MEJORA

A modo resumen podemos indicar que:

1º. Para completar el documento, tenemos:

- las celdas en color amarillo deben completarse por el usuario
- las celdas en color verde/naranja/rojo es la puntuación final del criterio:

-verde: puntuación = 1

-naranja: puntuación = 2

-rojo: puntuación = 3

- las celdas subrayadas y con letra azul son hipervínculos para facilitar el uso de la hoja Excel.

- el resto de celdas son explicativas.

2º. Introduciendo todos los valores que se piden y siguiendo las instrucciones obtenemos una serie de conclusiones y posteriores propuestas de mejora con



las que mejorar la línea de montaje y conseguir hacerla Lean, como hemos visto en las Figuras.

3º. Para la comprensión del desarrollo y parámetros establecidos en la Hoja de Análisis de Excel se ha creado el Anexo I: Datos para la realización de la hoja de análisis Excel.



4. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y ANÁLISIS

4.1. Situación Actual

Como punto de partida para la aplicación de los conceptos explicados a lo largo del apartado 2, se ha elegido una línea de montaje donde ya han sido aplicadas varias mejoras Lean.

La línea sobre la que se va a realizar los análisis se encuentra en la Escuela Lean.

La Escuela Lean es una escuela formativa, impulsada por la compañía Renault Consulting España, ubicada en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid. En ella se busca presentar los conocimientos y herramientas del Lean con el fin de convertir a sus alumnos en agentes del cambio para las organizaciones. Todo esto lo consigue con diferentes métodos tanto teóricos como prácticos, ya que dentro de la escuela se cuenta con una reproducción de una fábrica convencional, en la que se trabaja realizando producciones reales.

La línea elegida dentro de la fábrica es la que la Escuela Lean tiene para realizar el montaje del producto denominado como “solectrón”.

El solectrón es un producto compuesto por una base y 4 capas, las cuales están a su vez compuestas por 4 piezas; dos de estas capas (la segunda y la cuarta), a su vez, tienen insertos en cada una de sus 4 piezas. Su geometría puede verse en la Figura 11 y la Figura 12:

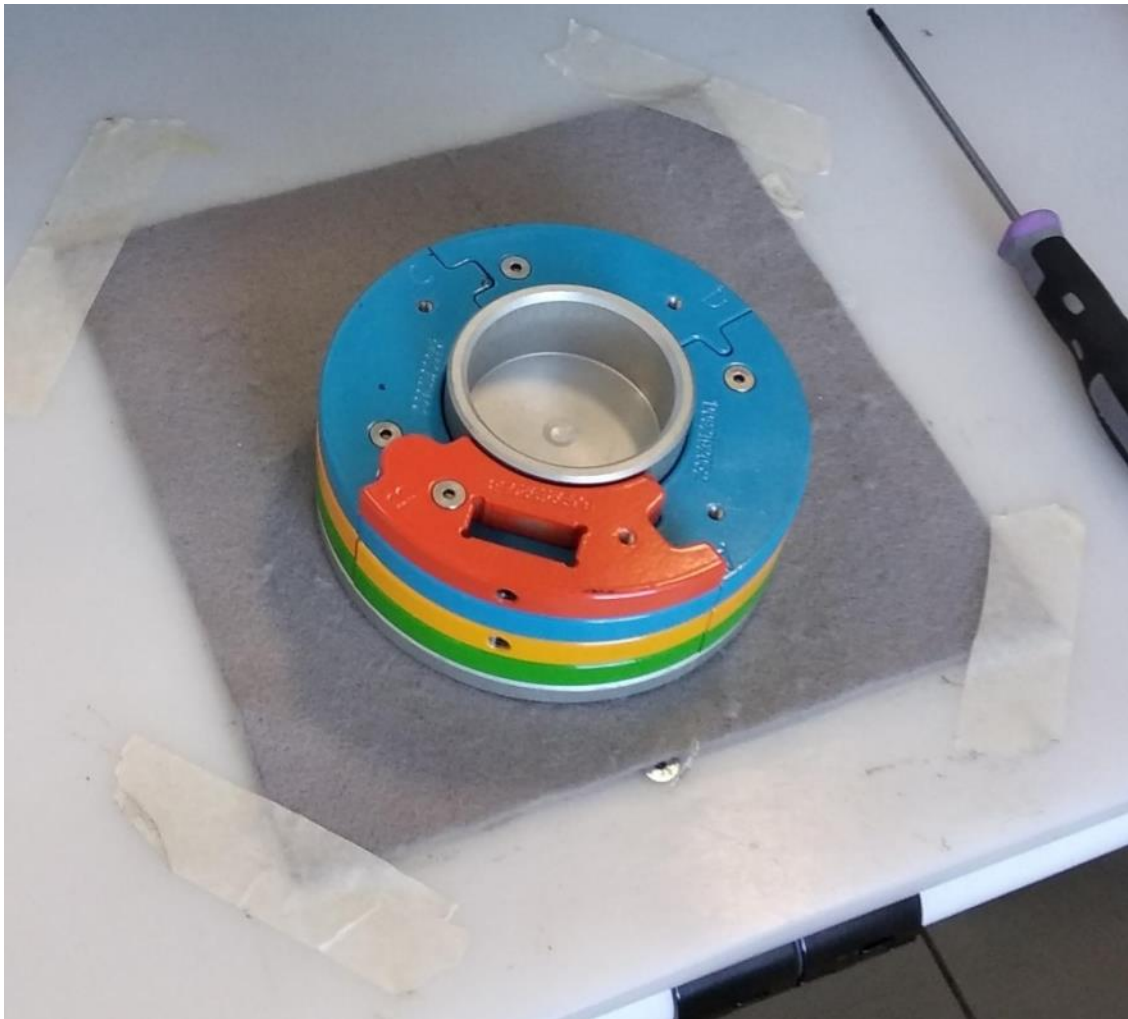


Figura 11: Imagen solectrón



Figura 12: Imagen solectrón (2)

Dentro de la escuela no solo se realiza el montaje, sino también desmontaje y otras operaciones con las piezas libres.

Dado que los puestos de montaje y desmontaje se encuentran ya estandarizados por lo que tienen las mismas medidas, se han elegido las operaciones de montaje para realizar el análisis.



El punto de partida es una línea de cuatro puestos (los cuatro dedicados al montaje), que podemos observar en la Figura 13 y en la Figura 14:



Figura 13: Fotografía línea de montaje en Escuela Lean



Figura 14: Fotografía línea de montaje en Escuela Lean (2)

En ella trabajan cuatro operarios, uno por puesto, montando cada uno una capa completa del solectrón. Los tiempos medios de ciclo de cada puesto, conforme a la hoja de operaciones, son:



- Tc P1: 81 cmin = 48,6 segundos (montaje capa 1)
- Tc P2: 111 cmin = 66,6 segundos (montaje capa 2)
- Tc P3: 81 cmin = 48,6 segundos (montaje capa 3)
- Tc P4: 111 cmin = 66,6 segundos (montaje capa 4)

Las FOS donde podemos encontrar estos datos pueden verse en el Anexo IV.

Esta línea se ha creado tras aplicar varias mejoras Lean: en el primer momento se parte de cinco puestos (el último de control de calidad) y con stock intermedio que debe completarse para pasar al siguiente puesto. Gracias a las modificaciones que ya le han sido aplicadas, han reducido puestos, se ha disminuido el stock intermedio y, por consiguiente, también se ha disminuido el tiempo de entrega al cliente y la superficie ocupada. Las operaciones se estandarizan, de modo que cualquier operario sabe hacer con la misma destreza el trabajo de cualquiera de los puestos de montaje.

Como podemos ver, todas las mejoras Lean que se aplican en la línea que tenemos como situación inicial, han sido desde el punto de vista de la ingeniería y las operaciones.

Con estas mejoras, el operario debe sentirse más cómodo en el puesto de trabajo, pero falta aplicar las mejoras que influyen sobre el operario, como es la ergonomía.

Una mejora que se aplica a posteriori durante el curso del máster es el equilibrado de la línea. Este equilibrado se consigue igualando las operaciones de todos los puestos de modo que el tiempo de ciclo se iguale. Conforme aprendimos en la escuela, una de las mejores opciones es que en todos los puestos se realicen las mismas operaciones, es decir, el montaje de dos piezas de dos capas consecutivas, de modo que se combinan piezas con y sin insertos. Gracias a este equilibrado, podemos analizar la situación de partida y la situación de equilibrado en Quest, realizando una comparativa para encontrar las mejoras.

Desde el punto de vista de la seguridad, los trabajadores en todo momento han seguido las pautas obligatorias, como es el uso de calzado de seguridad y otros elementos de protección.

Con todos estos datos, se completará la hoja de análisis de líneas de montaje, con la que obtendremos si la línea es o no Lean, que parámetros cumple y cuales no y que mejoras y análisis secundarios debemos realizar.



Para completar el estudio correctamente, también deben tomarse medidas a pie de línea de los puntos principales a estudio. Unas de esas medidas principales son las que observamos de en la Figura 15, que son las diferentes alturas a las que debemos trabajar:

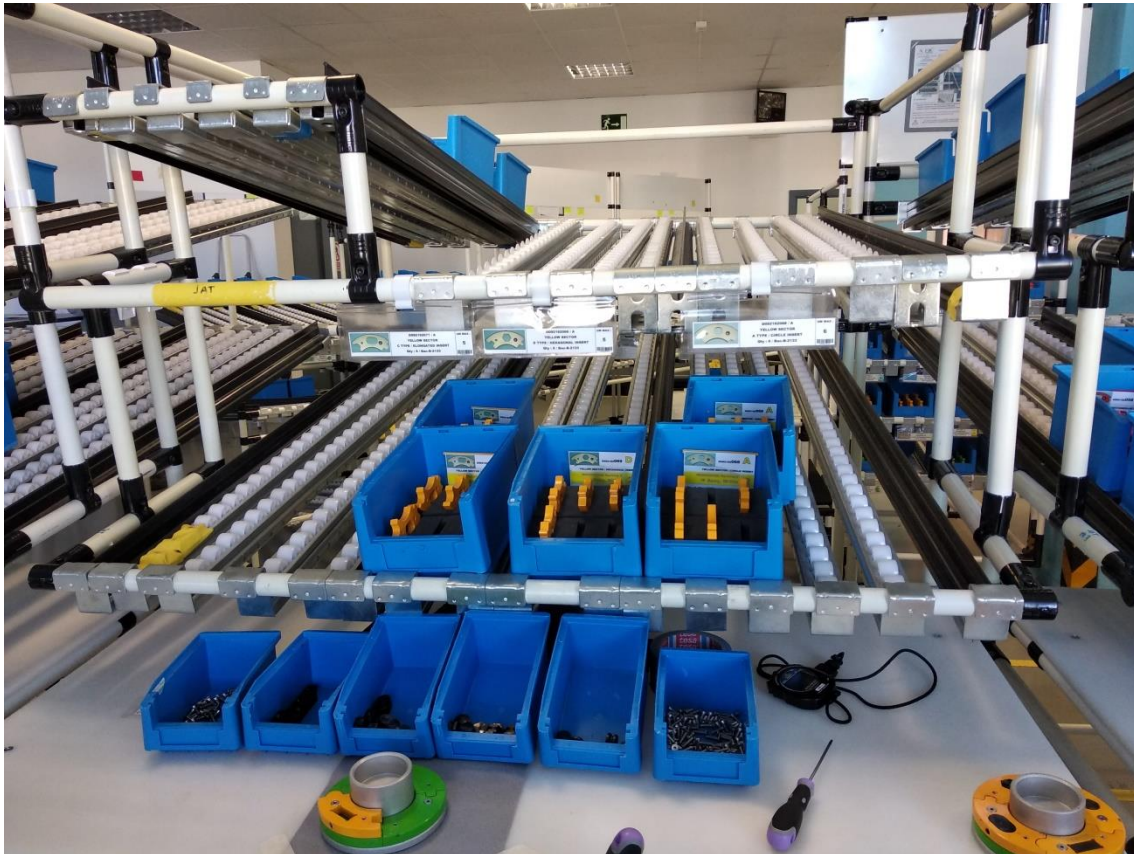


Figura 15: Fotografía detalle puesto de montaje Escuela Lean

4.2. Análisis con Aplicación Excel

En este apartado vamos a aplicar el desarrollo que se ha expuesto en el apartado 3 sobre la línea de montaje de la Escuela Lean.

Como ya hemos indicado, el punto de partida al análisis es completar la hoja Excel y obtener conclusiones de los resultados que nos da esta. Con estas conclusiones continuaremos el estudio para convertir la línea de montaje en Línea Lean en caso de que tuviera alguna puntuación desfavorable.



Para comenzar con el análisis de la línea de montaje, completamos las celdas amarillas de la hoja de evaluación Excel.

Estas celdas se completan principalmente con la toma de datos a pie de línea, con análisis visual y con valores teóricos que podemos obtener de las hojas de procesos de las diferentes estaciones.

Para completar correctamente la hoja, conviene repasar que se han escrito todos los datos, ya que el error o la falta de alguno da resultados irreales.

Los datos introducidos para el análisis de la línea de montaje de la Escuela Lean los podemos observar en las Figuras 16, 17 y 18:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ANÁLISIS															
2																
3																
4	Instrucciones:															
5	1. Las celdas que deben completarse son las indicadas en color amarillo															
6	2. Las celdas de los resultados aparecen en los siguientes colores:															
7	a) Favorable															
8	b) Hay posibles mejoras															
9	c) Necesarias mejoras															
10	3. El resto de celdas son informativas															
11	4. Al final del análisis se ve una puntuación final que lleva a una serie de conclusiones/recomendaciones															
12																
13																
14	EFICIENCIA															
15																
16																
17	Número de estaciones:		4													
18	Número de empleados:		4													
19																
20	Introduzca los valores de los tiempos de ciclo teóricos de cada estación en segundos:															
21	Tc 1	Tc 2	Tc 3	Tc 4	Tc 5	Tc 6	Tc 7	Tc 8	Tc 9	Tc 10	Tc 11	Tc 12	Tc 13	Tc 14	TOTAL	
22	48,6	66,6	48,6	66,6											230,4	
23																
24	Tiempo de Ciclo	Puntuación:	1													
25																
26	Introduzca los valores de los tiempos de ciclo medidos en cada estación en segundos:															
27	Tc 1	Tc 2	Tc 3	Tc 4	Tc 5	Tc 6	Tc 7	Tc 8	Tc 9	Tc 10	Tc 11	Tc 12	Tc 13	Tc 14		
28	47,1	67,36	48,3	65,94												
29																
30	Las diferencias (en valor absoluto) de tiempos de ciclo teóricos y reales son:															
31	Tc 1	Tc 2	Tc 3	Tc 4	Tc 5	Tc 6	Tc 7	Tc 8	Tc 9	Tc 10	Tc 11	Tc 12	Tc 13	Tc 14		
32	1,5	0,76	0,3	0,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
34																
35	Equilibrado	Puntuación:	3													
36																
37	Ciclo control:		66,6													
38	Tiempo de línea:		266,4													
39	% del balanceo:		86,486486													
40	Puntuación:		3													
41																
42																
43	LOGÍSTICA															
44																
45																
46	Stock	Puntuación:	2													
47																
48	Introduzca el valor del número máximo de stock entre puestos:															
49	Stock:		1													
50	Puntuación:		2													
51																

Figura 16: Datos para análisis línea montaje parte 1



52									
53	FACTOR HUMANO								
54									
55									
56	Seguridad	Puntuación:	1						
57									
58	Responda a las siguientes preguntas con SI o NO:								
59	1. ¿Existen riesgos para el factor humano apreciables a simple vista?		NO					1	
60	2. ¿Los operarios portan calzados de seguridad?		SI					1	
61	3. ¿Los operarios llevan los elementos mínimos de seguridad obligatorios? (guantes,gafas, ...)		SI					1	
62	4. ¿Existen señales indicativas en el puesto? (salida, extintor, ...)		SI					1	
63	5. ¿Existen medidas protectoras en los puestos con uso de electrónica? (pantallas, botones parada inmediata, ...)		SI					1	
64	Puntuación:	1							
65									
66	Ergonomía - Postura	Puntuación:	3						
67									
68	Responda a las siguientes preguntas:								
69	1. ¿Cuál es la altura de la zona de trabajo (en mm)?		890					2	
70	2. ¿Cuál es el ancho total de la mesa de trabajo (en mm)?		1190					2	
71	3. ¿Cuál es la máxima altura a la que debe llegar el trabajador (en mm)?		1680					3	
72	4. ¿Los operarios tienen que agacharse o estirarse en exceso para realizar su trabajo? (SI/NO)		NO					1	
73	5. ¿Algún puesto está aislado/incomunicado? (SI/NO)		NO					1	
74	Puntuación:	3							
75									
76	Ergonomía - Carga	Puntuación:	2						
77									
78	Introduzca el valor máximo de carga que tiene que mover el operario:								
79	Carga máxima (kg):	0,6						1	
80	Introduzca el desplazamiento vertical máximo de la carga anteriormente indicada:								
81	Desplaz. máximo (mm):	600						2	
82									
83									
84	CALIDAD								
85									
86									
87	Defectos	Puntuación:	1						
88									
89	Analice una producción completa y responda a las preguntas:								
90	1. ¿Cuántas unidades se han producido?						50		
91	2. ¿Cuántas unidades producidas han presentado algún tipo de defecto?						0		
92	% de defectos:	0							
93	Puntuación:	1							
94									

Figura 17: Datos para análisis línea montaje parte 2



95									
96	OTROS FACTORES								
97									
98									
99	5S	Puntuación:	1						
100									
101	Responda a las siguientes preguntas con SI o NO:								
102	1. ¿Son útiles todos los materiales y/u objetos que se encuentran en el puesto?	SI						1	
103	2. ¿Cada objeto tiene su lugar donde colocarlo?	SI						1	
104	3. ¿El puesto está limpio?	SI						1	
105	4. En caso de que existieran anomalías, ¿se observarían con evidencia?	SI						1	
106	5. ¿Los hábitos de 5S se mantienen durante todo el tiempo de trabajo?	SI						1	
107	Puntuación:	1							
108									
109	Estandarización	Puntuación:	1						
110									
111	Responda a las siguientes preguntas con SI o NO:								
112	1. ¿Las operaciones son comunes a todos?	SI						1	
113	2. ¿Las operaciones presentan ineficiencias?	NO						1	
114	3. ¿El aprendizaje de las operaciones se consigue fácil con entrenamiento y práctica?	SI						1	
115	4. ¿Existe una hoja de Operación Estándar y se respeta?	SI						1	
116	5. ¿Se busca la mejora continua y las posibles mejoras son escuchadas?	SI						1	
117	Puntuación:	1							
118									
119									
120									
121	PUNTUACIÓN FINAL		15						
122									
123									
124									
125									
126									

Figura 18: Datos para análisis línea montaje parte 3

Una vez completos todos los campos, observamos la puntuación final, que en este caso ha sido: 15.

Con el valor de la puntuación debemos seleccionar en el margen de puntuación obtenido, que es el tercero marcado en rojo.

El hipervínculo nos lleva a la siguiente consideración que encontramos en la Figura 19:

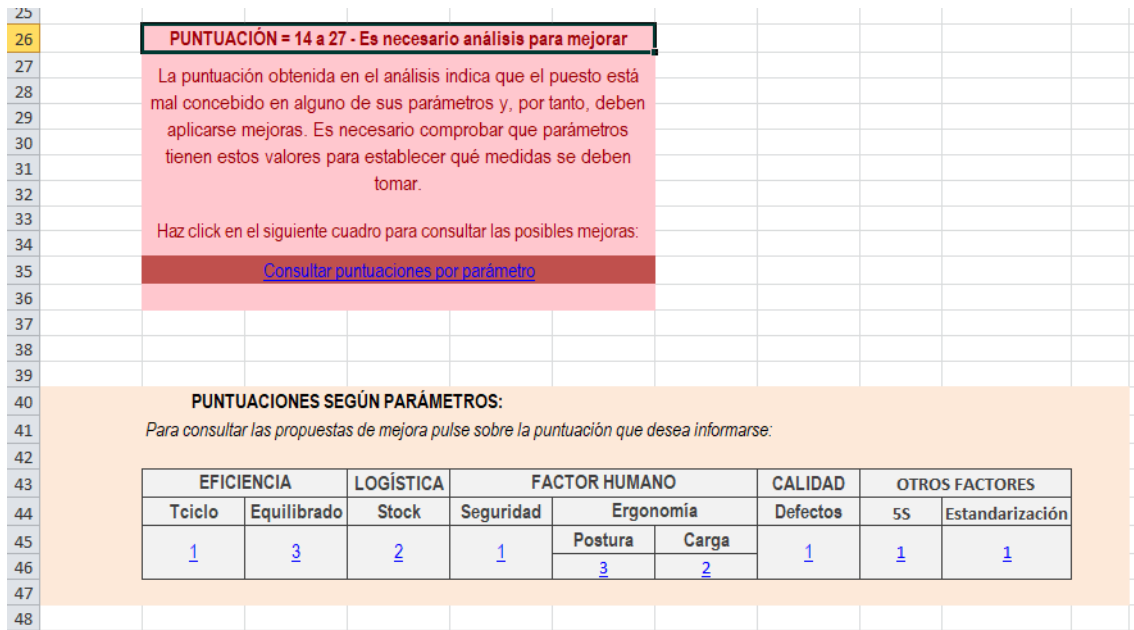


Figura 19: Resultados del análisis de la línea de montaje

La puntuación obtenida nos indica que es necesario un análisis sobre algún parámetro estudiado para aplicar mejoras en este.

Consultando la tabla de puntuaciones encontramos el problema en los parámetros de equilibrado y postura con puntuación = 3, por lo que se debe verificar las mejoras que podemos realizar en esos campos.

Al hacer click sobre equilibrado encontramos las recomendaciones que vemos en la Figura 20:

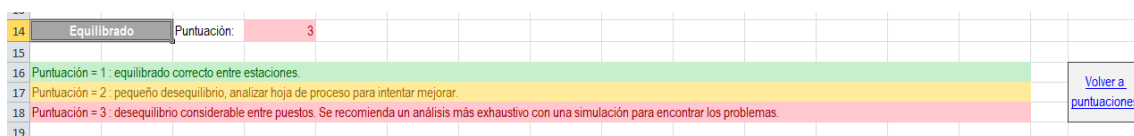


Figura 20: Conclusiones 1 del análisis

Volvemos a las puntuaciones para entrar en las recomendaciones del parámetro postura, que encontramos en la Figura 21:

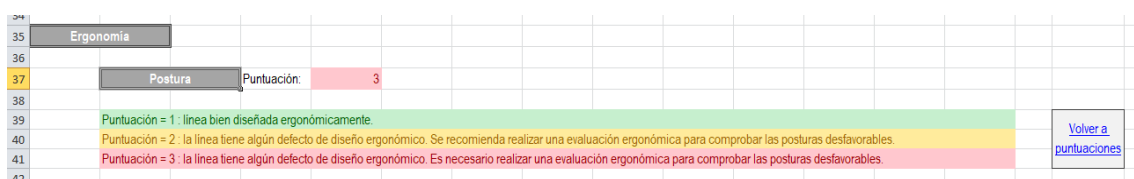


Figura 21: Conclusiones 2 del análisis



Como conclusión al análisis de la línea de montaje con la hoja Excel, podemos establecer que:

1. Es necesaria una mejora del equilibrado de la línea mediante simulaciones: se va a realizar un análisis de flujos productivos con Delmia Quest: se simulará la producción sin equilibrado y una vez equilibrado para poder sacar conclusiones de cada una y la comparativa de ambas.
2. Hay problemas en ergonomía, se debe realizar un análisis ergonómico, que se hará con el módulo de ergonomía de Catia V5: en este análisis se comprueba que el diseño es correcto en cuanto a las medidas y disposición de los elementos para cualquier percentil tanto de hombre como de mujer.

En los siguientes apartados se procede a realizar y validar estos estudios y las mejoras pertinentes.

5. MODELADO Y EVALUACIÓN

5.1. Modelización 3D de la línea de montaje en Catia V5

El primer paso para realizar el análisis secundario es el modelado de la línea en 3D.

Como ya se había indicado en el apartado 2.4., para conseguir una buena evaluación de la línea, se debe realizar la conceptualización virtual, mostrando así una clara ventaja del modelado 3D durante el diseño de líneas de montaje.

En este caso, el software elegido para el modelado 3D es Catia V5, ya que, además de permitirnos crear la línea en 3 dimensiones, nos permite realizar análisis de esta dentro del mismo programa.

Catia es un software con funciones de ingeniería asistida (diseño y fabricación) el cual nos aporta herramientas para la producción y análisis. Se compone de módulos que puedes personalizar según tus necesidades. [14]

Como punto de partida al modelado, se toman unas imágenes de los puestos y sus medidas principales. Con estos datos, se procede al modelado puesto por puesto en Catia V5.

El resultado final podemos verlo en las Figuras 22 a 27:

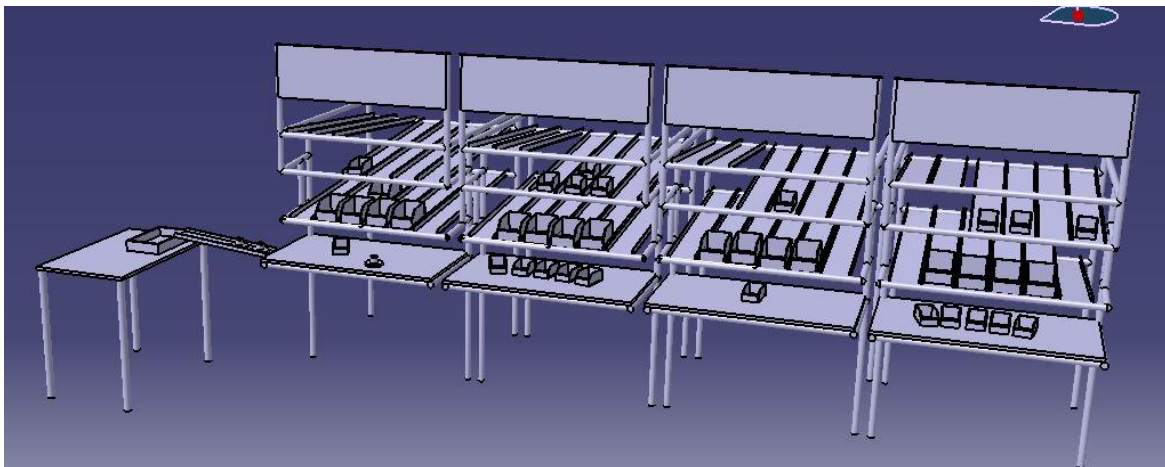


Figura 22: Modelado línea de montaje en Catia V5

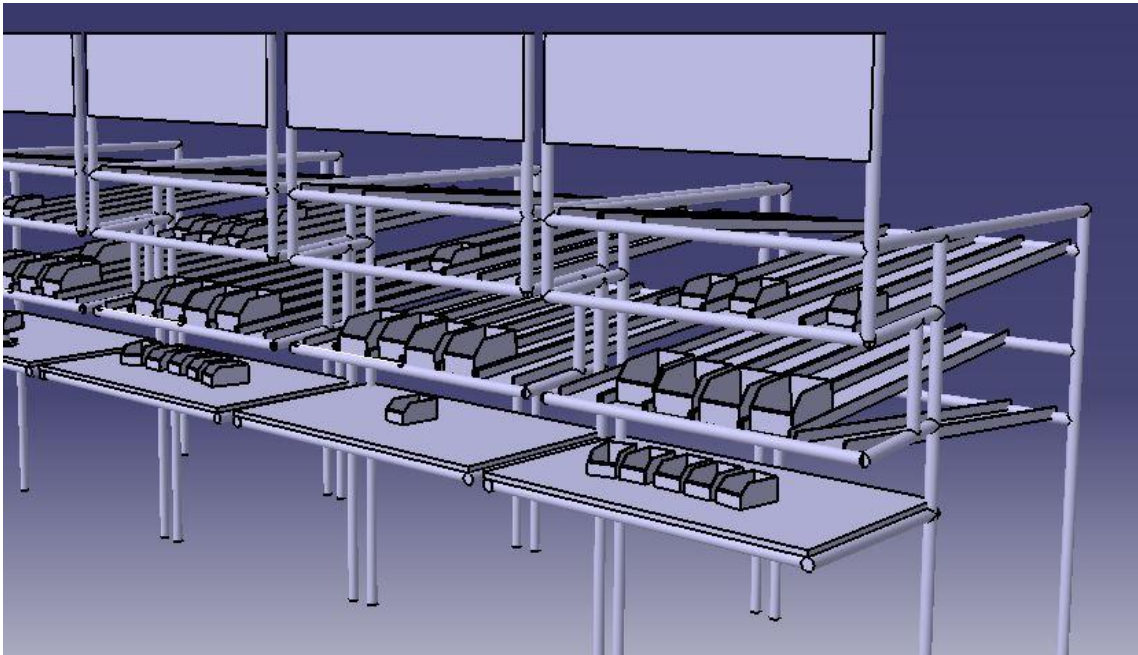


Figura 23: Modelado línea de montaje en Catia V5 (2)

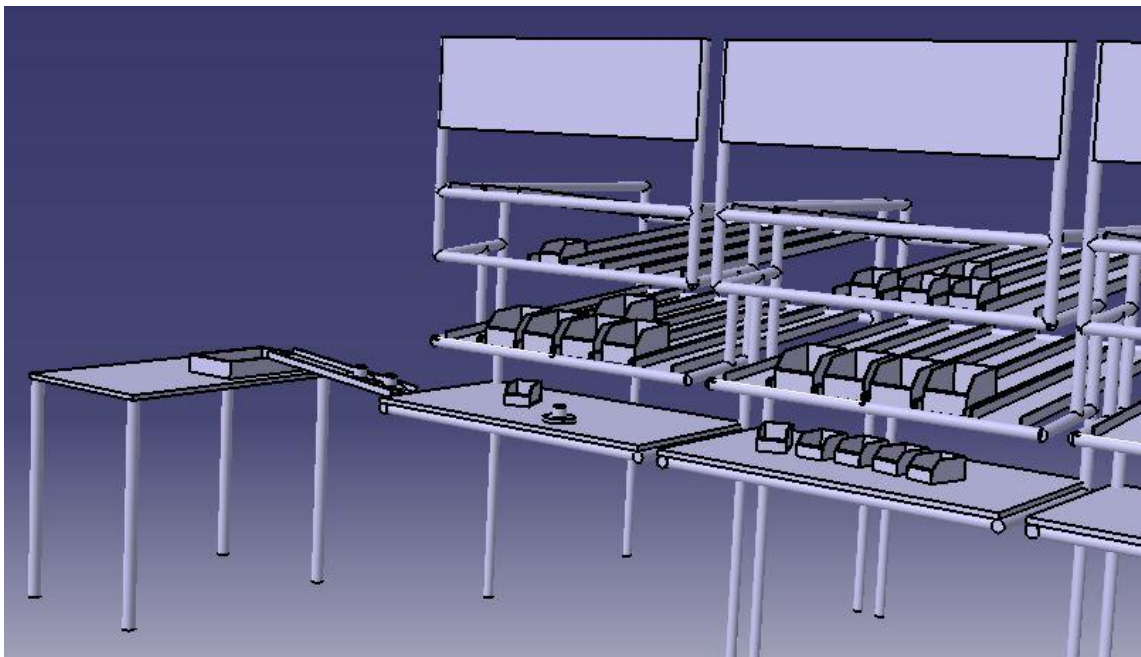


Figura 24: Modelado línea de montaje en Catia V5 (3)

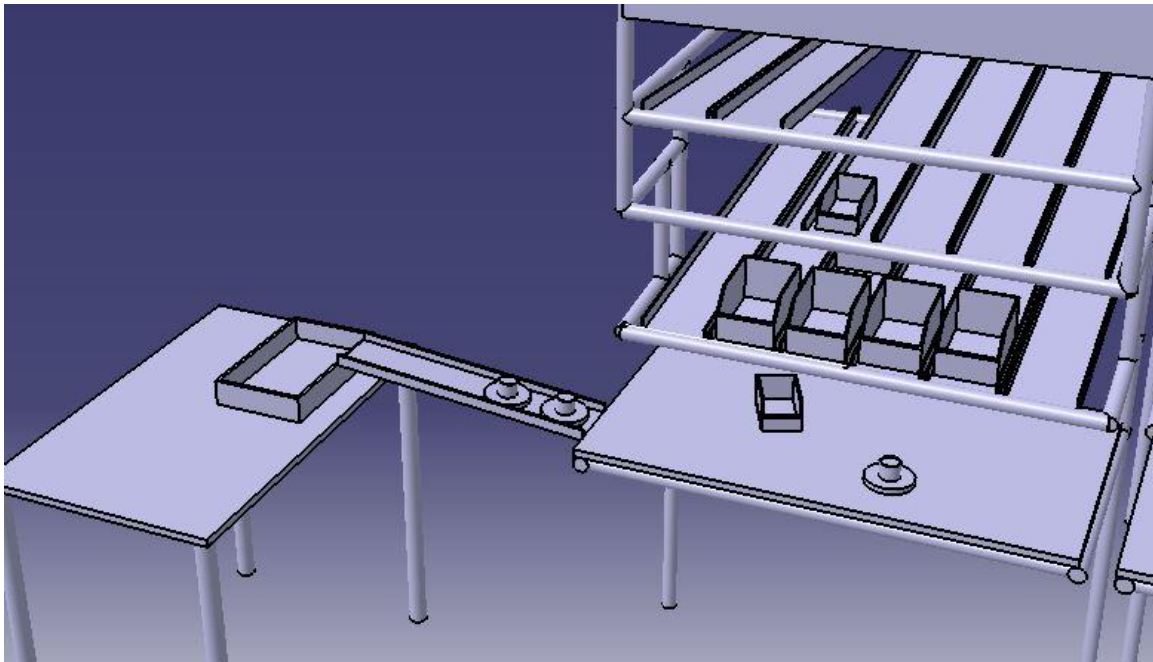


Figura 25: Detalle puesto 1 del modelado en Catia V5

Con el modelado creado, se puede proceder al análisis de flujos y ergonómico.

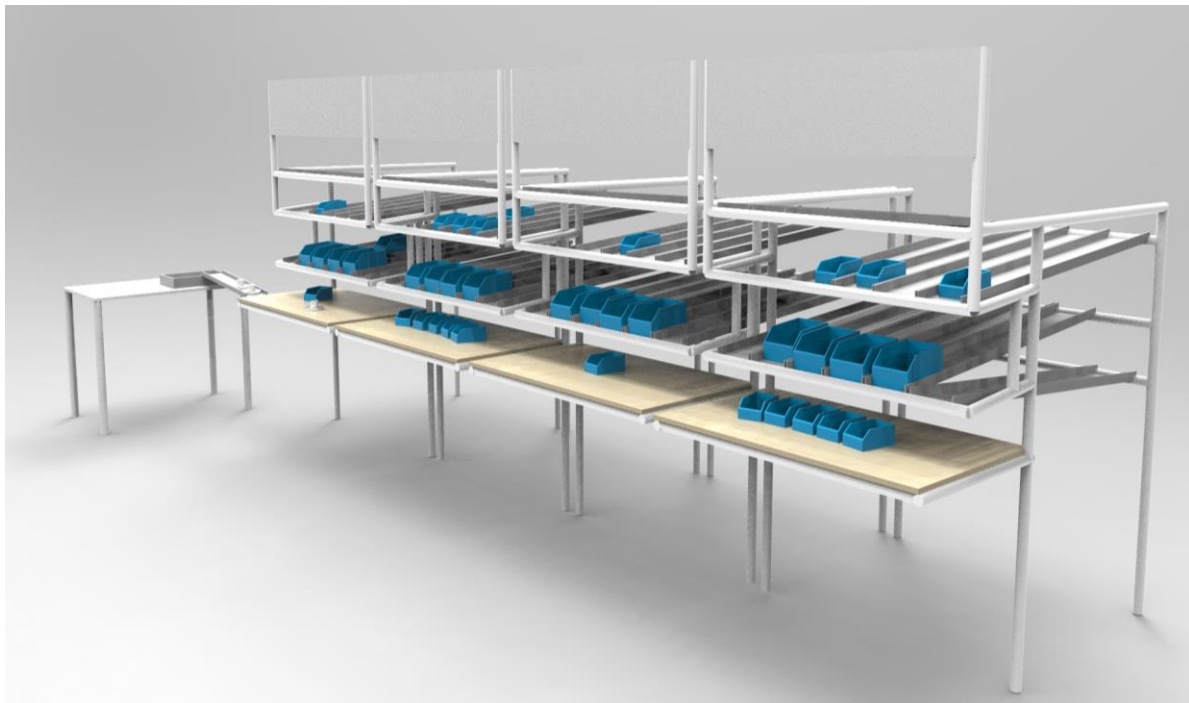


Figura 26: Modelado realista línea de montaje escuela Lean

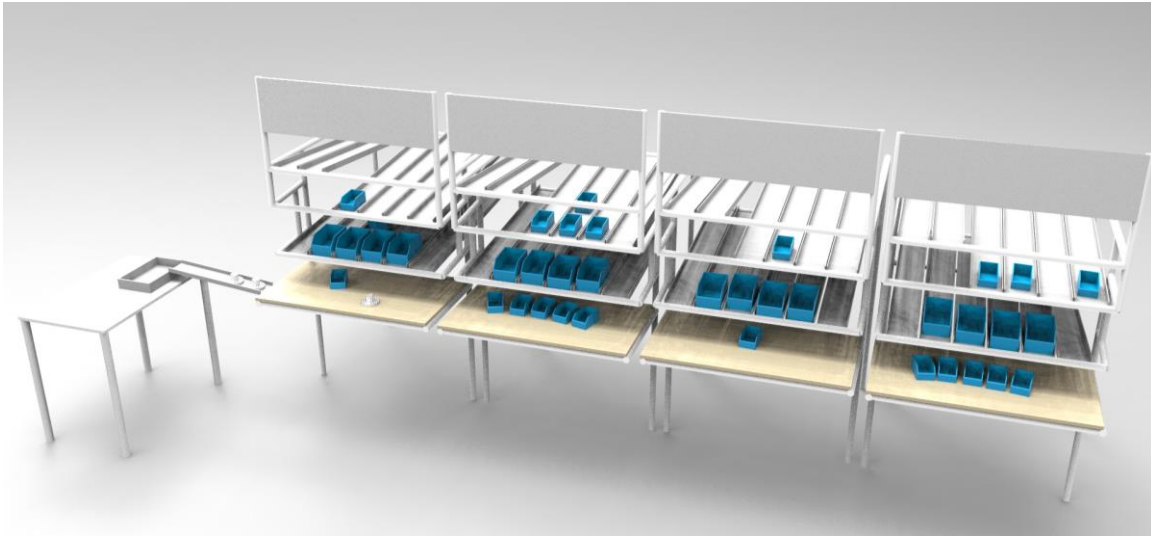


Figura 27: Modelado realista línea de montaje escuela Lean (2)

5.2. Modelización 3D de flujos productivos de la línea de montaje

La puntuación obtenida en el equilibrado de la línea no es favorable, de modo que el primer análisis secundario será la simulación de flujos productivos para conocer la productividad actual y la productividad de una posible opción de equilibrado.

Ya conocemos la situación actual de la línea y su distribución en planta. Además, sabemos los tiempos de fabricación y el número de operarios requeridos. Con todos estos datos, se procede a la modelización en 3D de los flujos productivos, es decir, a la creación de la distribución y las relaciones lógicas de toda la línea de montaje.

Para crear esta modelización, se utiliza el programa Delmia Quest, que nos ofrece unos resultados realistas de la línea.

Delmia es un software de planificación de producción en formato digital. Con su uso, se pueden optimizar los procesos y sistemas de producción. Permite definir, planificar, crear, supervisar y controlar los procesos productivos en cualquier sector de forma virtual en 3D.

Gracias al programa, se puede visualizar en 3D el proceso lógico en su etapa de diseño antes de llevarlo a producción real, y obtener cálculos teóricos para poder comparar con los reales en caso de que la línea productiva ya exista.



Los datos de los que partimos para el primer desarrollo son los siguientes:

- Línea de montaje de 4 puestos con 4 operarios (uno por puesto).
- Tiempos de ciclo de cada puesto:
 - P1: 81 cmin
 - P2: 111 cmin
 - P3: 81 cmin
 - P4: 111 cmin
- Stock intermedio: máximo 1 unidad.
- Llegada de piezas a buffer inicio constantemente (siempre hay stock) y entra en el proceso por unidad.
- El sumidero que se encuentra tras el último puesto nunca se llena, la producción sale de la línea constantemente y por unidad.
- Se establecen cinco tipos de piezas:
 1. base
 2. base + primera capa
 3. base + segunda capa
 4. base + tercera capa
 5. solectrón completoestas piezas se crean con el fin de establecer que sale conjunto de cada puesto.
- La producción comienza de cero, sin stock inicial en ninguno de los puestos ni los puestos de stock intermedios.
- Tiempo produciendo: 7200 segundos, es decir, se calculan los datos para dos horas de producción.

Con estos datos, creamos la distribución en planta en Delmia Quest según se observa en la Figura 28 y en la Figura 29, distribución que no se modifica en ningún momento del análisis.

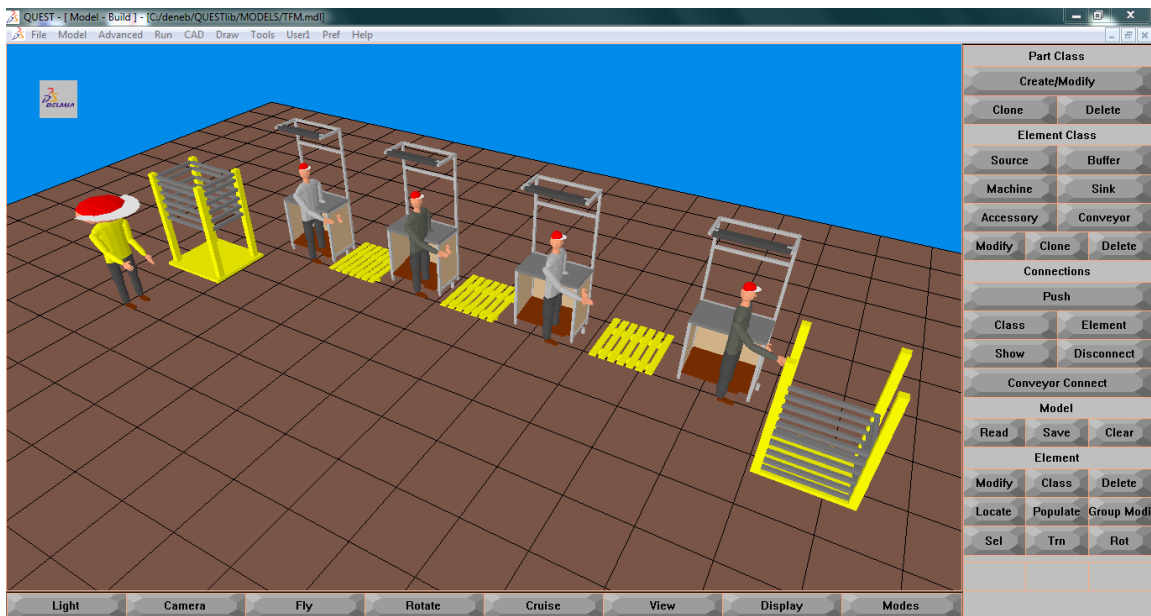


Figura 28: Distribución línea de montaje en Delmia Quest

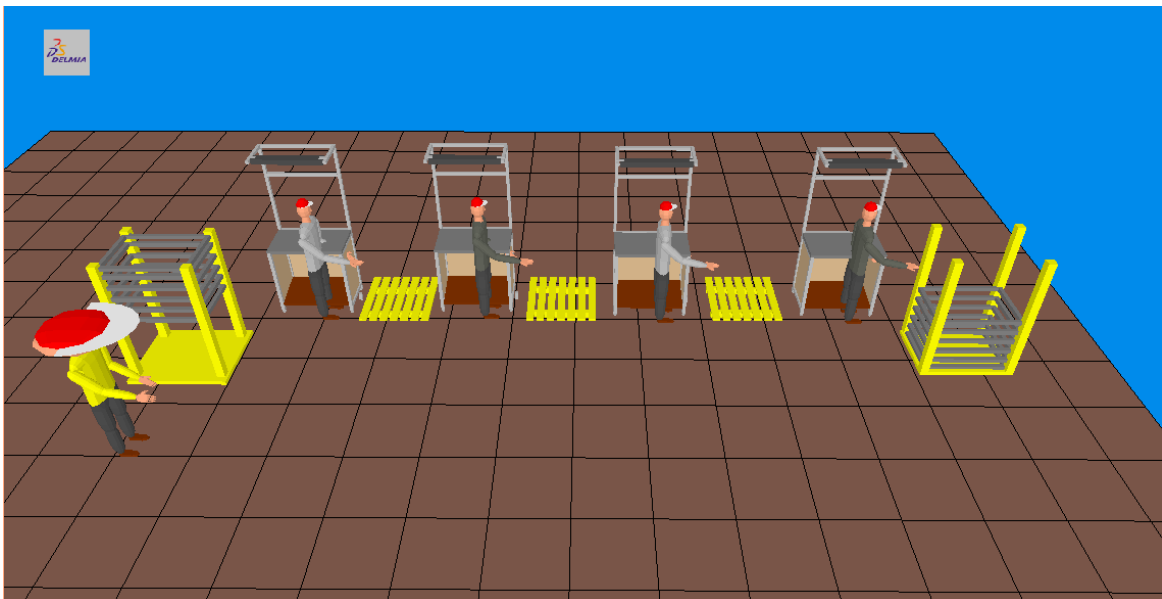


Figura 29: Distribución línea de montaje en Delmia Quest (2)

Y la secuencia de flujos quedaría conforme la Figura 30:

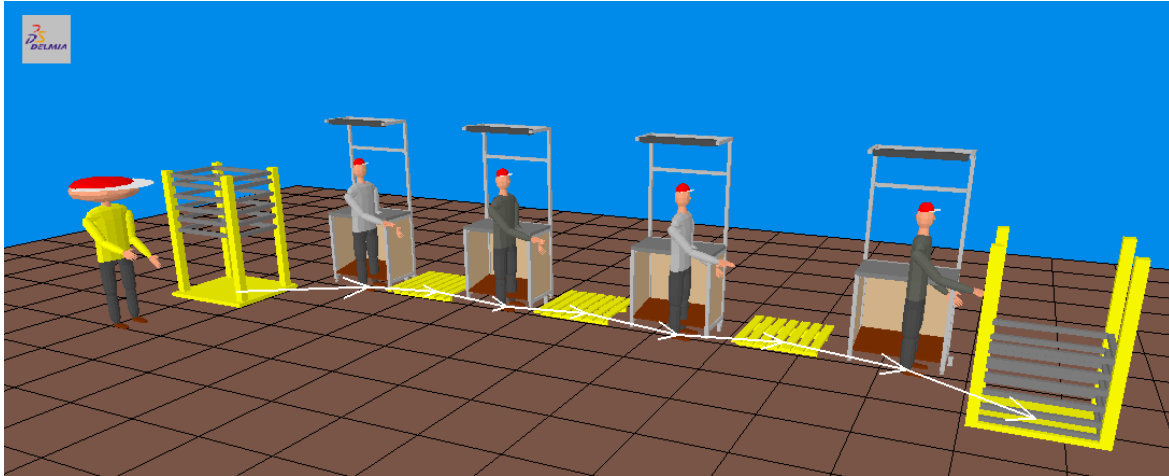


Figura 30: Secuencia de flujos en línea de montaje en Delmia Quest

Para este análisis, se van a realizar dos simulaciones diferentes; una con el tiempo de ciclo fijo, y la siguiente aplicando una distribución uniforme al tiempo de ciclo de cada puesto.

Por último, se realiza una tercera simulación, aplicando un equilibrado que se desarrollará en el apartado 5.3.3. basado en el desarrollo que hemos realizado durante el Master en la Escuela Lean.

5.2.1. Análisis con tiempos de ciclo fijos

En este primer análisis, no se modifican los tiempos de trabajo de cada empleado, sino que se establece un número fijo invariable, siendo este valor el indicado en el inicio del apartado.

Con este valor, se establece la producción media (aunque no real, ya que el trabajo del operario debe llevar una desviación) que se debe sacar con un dato teórico.

Los resultados son los siguientes:

- Total solectrones fabricados: 83 Uds.
- Total bases que entran en línea: 86 Uds.

Se puede ver el detalle de los resultados en el Anexo II.

La saturación de los empleados puede observarse en la Figura 31:

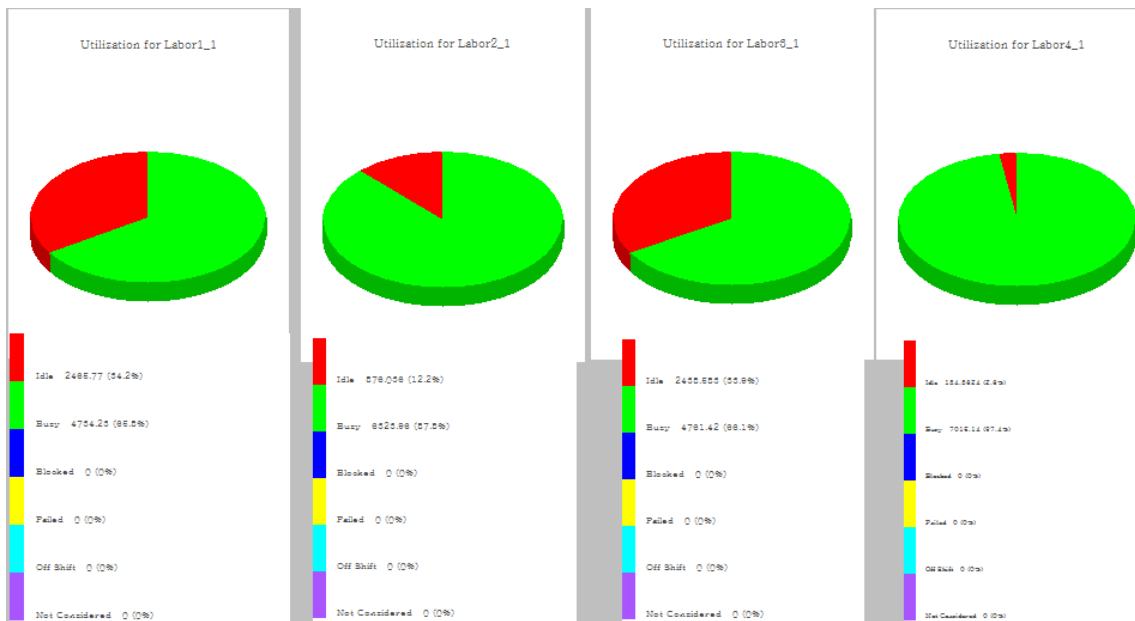


Figura 31: Esquema saturación empleados en simulación 1

Como se puede comprobar en la Figura 31, la saturación de los empleados es muy diferente, de modo que se confirma el desequilibrio en los puestos de trabajo.

Se puede observar los puestos que crean los cuellos de botella (2 y 4) haciendo que los otros operarios no estén ocupados pues no pueden abastecerse o dejar la pieza en el stock siguiente.

Confirmamos así que se necesita un equilibrado de la línea.

5.2.2. Análisis con tiempos de ciclo con distribución normal

Para confirmar estos resultados realizamos una simulación más realista, incluyendo tiempos de ciclo con distribuciones, ya que los operarios no cumplen tiempos de ciclo fijos al realizar su trabajo, sino que son variables.

Se aplica una distribución normal, y los parámetros aplicados son:

- P1: Media = 48,6 seg.; desviación estándar: 5 seg.
- P2: Media = 66,6 seg.; desviación estándar: 5 seg.
- P3: Media = 48,6 seg.; desviación estándar: 5 seg.
- P4: Media = 66,6 seg.; desviación estándar: 5 seg.

Es decir, se aplican los valores de los tiempos de la hoja de operaciones estándar con una desviación de ± 5 segundos en todos los puestos.

Los resultados obtenidos del análisis son los siguientes:

- Total solectrones fabricados: 82 Uds.
- Total bases que entran en línea: 86 Uds.

Se puede ver el detalle de los resultados en el Anexo III.

La saturación de los empleados puede observarse en la Figura 32:

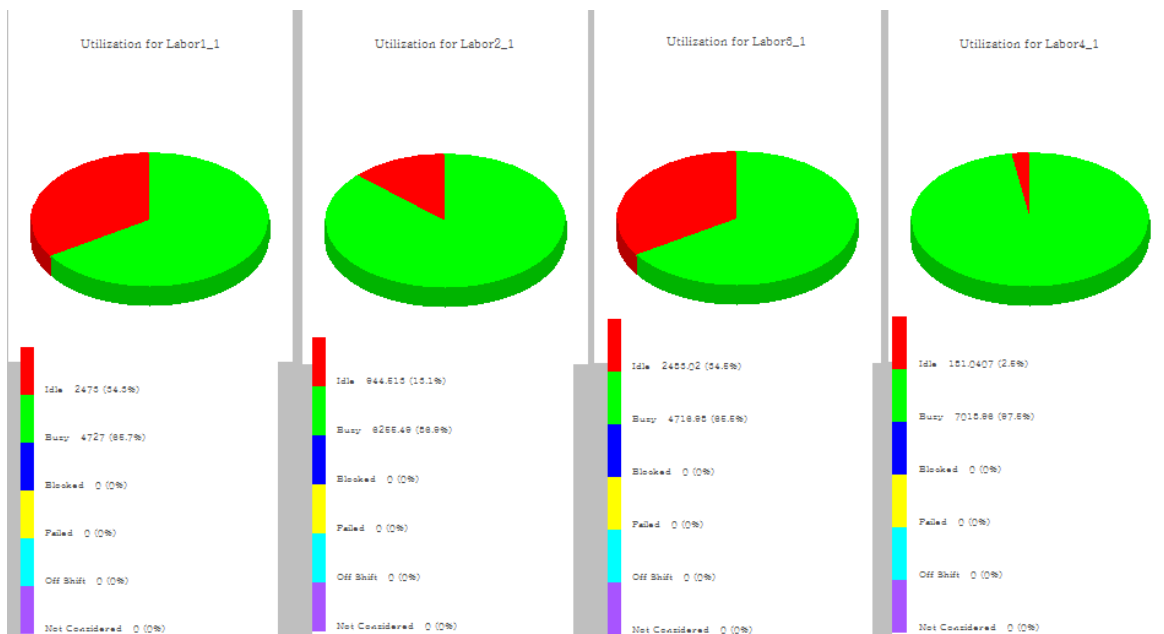


Figura 32: Esquema saturación empleados en simulación 2

Como se puede comprobar en la Figura 32, ocurre igual que en la Figura 31: los puestos que crean los cuellos de botella son 2 y 4 haciendo que los otros operarios no estén ocupados pues no pueden abastecerse o dejar la pieza en el stock siguiente.

Confirmamos también que se necesita un equilibrado de la línea. Por lo que procedemos a calcular y trabajar con uno.



5.2.3. Equilibrado de línea

Analizando las figuras anteriores verificamos el desequilibrio en la línea gracias a la saturación. Dentro del estudio en la Escuela Lean se realizó un equilibrado de los puestos, donde todos realizan las mismas operaciones, de modo que se igualan los tiempos de fabricación.

En este equilibrado se montan dos piezas de la primera capa y dos de la siguiente, con sus respectivos insertos, de modo que los 4 puestos realizan las mismas operaciones (poner dos piezas sin insertos y dos con).

Conforme a las hojas de proceso, agrupamos operaciones y con ello se distribuyen los nuevos tiempos. El nuevo tiempo de cada estación es 96 cmin y es igual en todas las estaciones ya que se igualan operaciones. Podemos observar la explicación al nuevo tiempo en el Anexo IV, donde se incluyen también las hojas de proceso para la justificación.

Con este nuevo valor de tiempo, se realiza otra simulación, con los siguientes parámetros: distribución normal con una media de 57,6 segundos y la desviación estándar es ± 5 segundos.

Los resultados son los siguientes:

- Total solectrones fabricados: 92 Uds.
- Total bases que entran en línea: 96 Uds.

Se puede ver el detalle de los resultados en el Anexo V.

La saturación de los empleados puede observarse en la Figura 33:

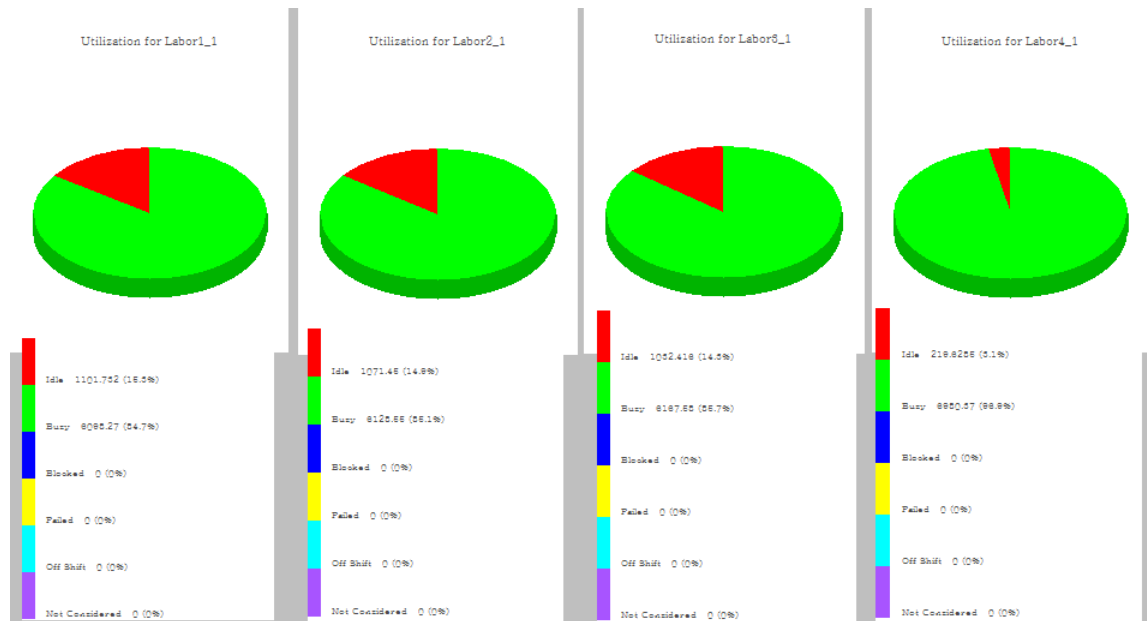


Figura 33: Esquema saturación empleados en simulación equilibrado

5.2.4. Cuadro resumen y conclusiones

	Tiempos de ciclo				Solectrones producidos	Saturación empleados (%)			
	P1	P2	P3	P4		P1	P2	P3	P4
Simulación 1	48,6	66,6	48,6	66,6	83	65,75	87,83	66,13	97,43
Simulación 2	48,6±5	66,6±5	48,6±5	66,6±5	82	65,65	86,88	65,51	97,49
Simulación 3	57,6±5	57,6±5	57,6±5	57,6±5	92	84,70	85,12	85,66	96,95

Tabla 2: Resumen análisis de flujos

En la Tabla 2 podemos observar las ventajas que ha supuesto el equilibrado de la línea:

- la saturación de los operarios se ha igualado (el operario 4 tiene mayor porque se le pone el trabajo de colocar las piezas para salida de línea);
- la producción ha aumentado en 10 unidades;
- los tiempos de ciclo se han igualado de modo que no tenemos cuellos de botella.

Para confirmar los resultados, introducimos los nuevos valores en la hoja de análisis Excel, como podemos observar en la Figura 34:



35	Equilibrado	Puntuación:	1
36			
37	Ciclo control:	57,6	
38	Tiempo de línea:	230,4	
39	% del balanceo:	100,00	
40	Puntuación:	1	
41			

Figura 34: Resultados del análisis tras el equilibrado

La nueva puntuación = 1, de modo que podemos concluir que hemos solucionado el problema del equilibrado.

Como se puede observar, una simulación previa al trabajo directo sobre la línea habría aportado valores que ya nos indican un desequilibrio, por lo que nos ayuda a solucionar los problemas de equilibrado durante el diseño.

5.3. Evaluación postural

La siguiente evaluación es de la postura del operario, ya que gracias a la hoja Excel, hemos observado que la puntuación en el apartado en ergonomía postural es desfavorable.

Con esta evaluación, queremos constatar cuales son los puntos donde la línea de montaje no se encuentra bien diseñada ergonómicamente.

En este punto del análisis, se comprueba que el diseño de los puestos de trabajo es correcto y se adapta a operarios que están en los percentiles extremos, tanto para hombre como para mujer, aplicando así lo que se llama “diseño para los extremos”.

Para realizar la evaluación, se han elegido los percentiles Hombre 95 y Mujer 5, de modo que así se cogen los extremos a los que nos referíamos, englobando entre estos dos percentiles cualquier percentil del resto de la población. En la Figura 35 podemos ver como estos percentiles se encuentran en los límites, incluyendo al resto:

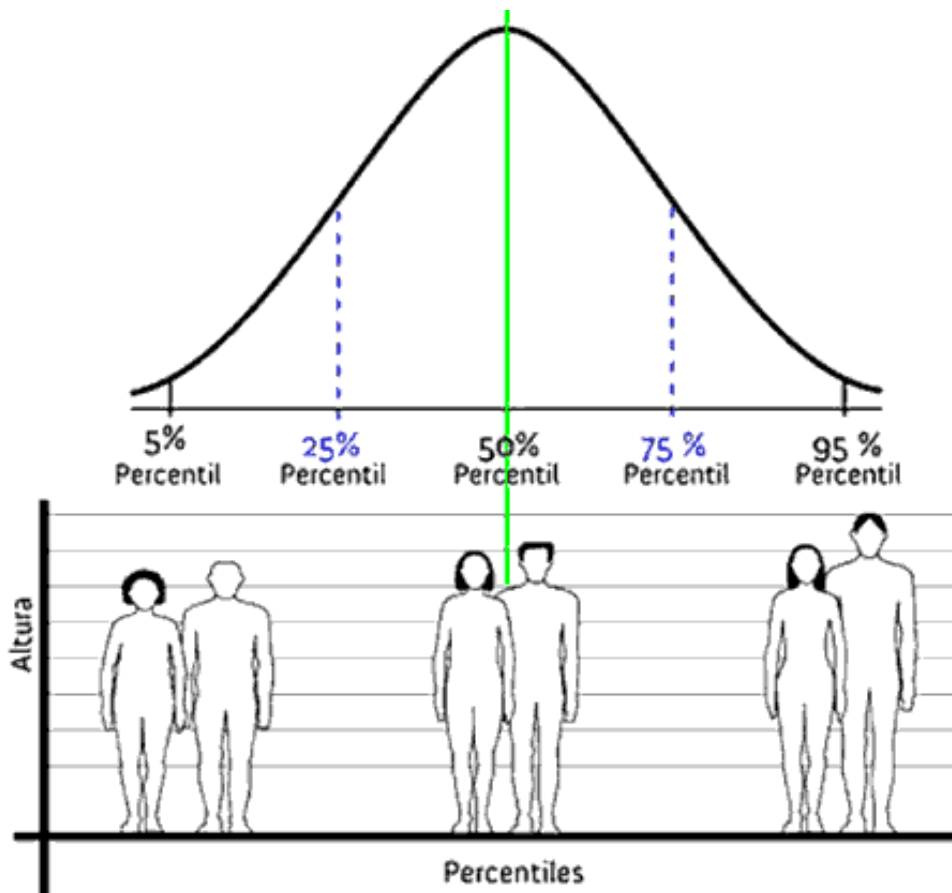


Figura 35: Distribución de los percentiles [15]

La evaluación se va a realizar con el módulo de ergonomía de Catia V5, aplicando análisis RULA en los puestos, y Niosh en el movimiento de coger y dejar las piezas.

El análisis RULA analiza si los trabajadores efectúan posturas inadecuadas de forma continuada o repetitiva, ya que pueden provocar problemas en la salud, es decir, analiza la carga postural.

El análisis se efectúa en los miembros superiores del cuerpo, que son los utilizados en las operaciones de montaje. Se obtiene una puntuación que está directamente relacionada con un nivel de actuación el cual nos indicará si se deben aplicar o no cambios en el puesto. [16]

Con el análisis de Niosh, se evalúan las tareas en las que hay manejo y movimiento de cargas.

Como resultado al análisis, obtenemos el peso máximo recomendado con el que los operarios pueden trabajar. Debemos comparar el peso que hemos obtenido con el real para la extracción de conclusiones. Este estudio varía según la repetitividad del manejo de la carga.

Niosh establece como posición ideal de levantamiento la posición sagital (sin giros de torso ni posturas con asimetría). [17]

Con todos estos datos, se eligen las posturas de mayor interés para efectuar el análisis RULA, que son:

1. Trabajo en mesa principal
2. Acceso a cajas zona 2 (más alta)
3. Evacuación de embalajes vacíos
4. Coger pieza del puesto anterior
5. Pasar la pieza al siguiente puesto

5.3.1. Análisis de postura 1: Trabajo en mesa principal

-Hombre percentil 95:

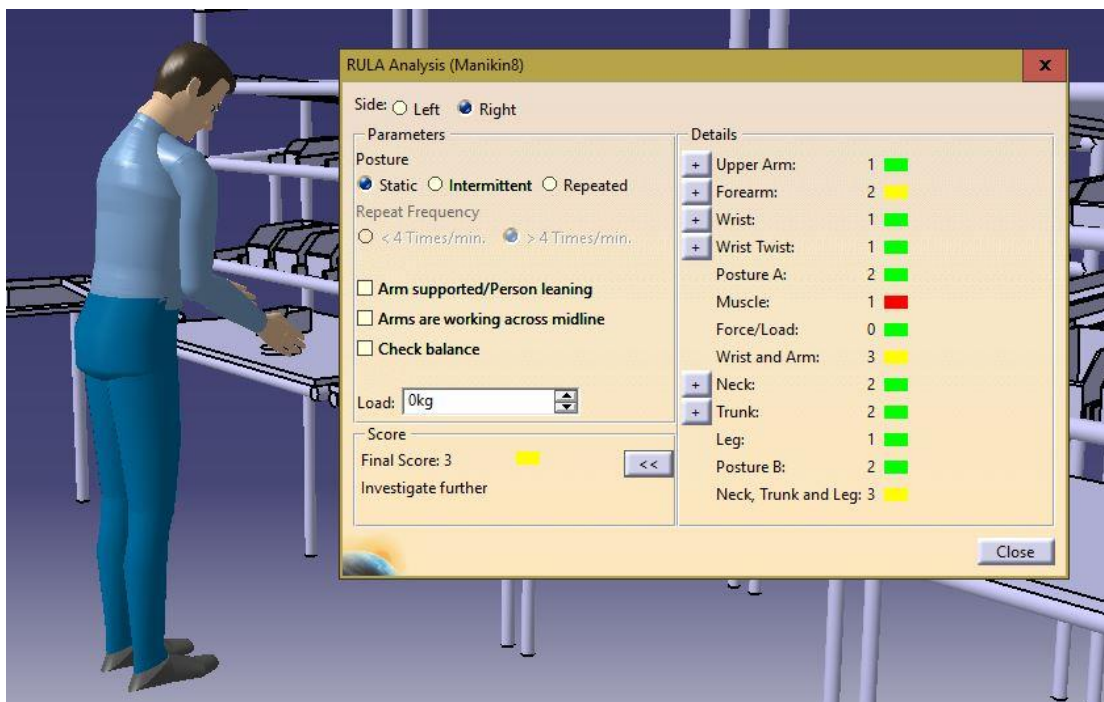


Figura 36: Evaluación postura 1 hombre percentil 95

Se establece que durante el trabajo no sostiene cargas, y se trata de una postura estática, pues no hay movimientos considerables durante el proceso de atornillado.

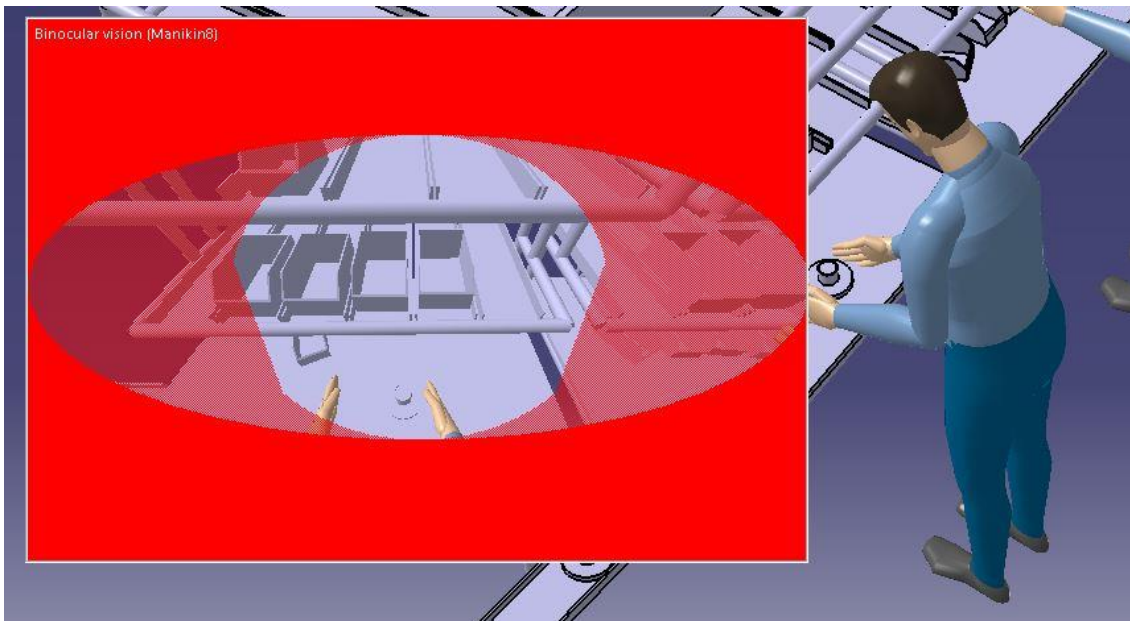


Figura 37: Visión de evaluación postura 1 hombre percentil 95

Puntuación: 3.

Las partes del cuerpo de mayor puntuación son: conjunto de cuello, tronco y piernas, y conjunto muñeca y brazos.

-Mujer percentil 5:

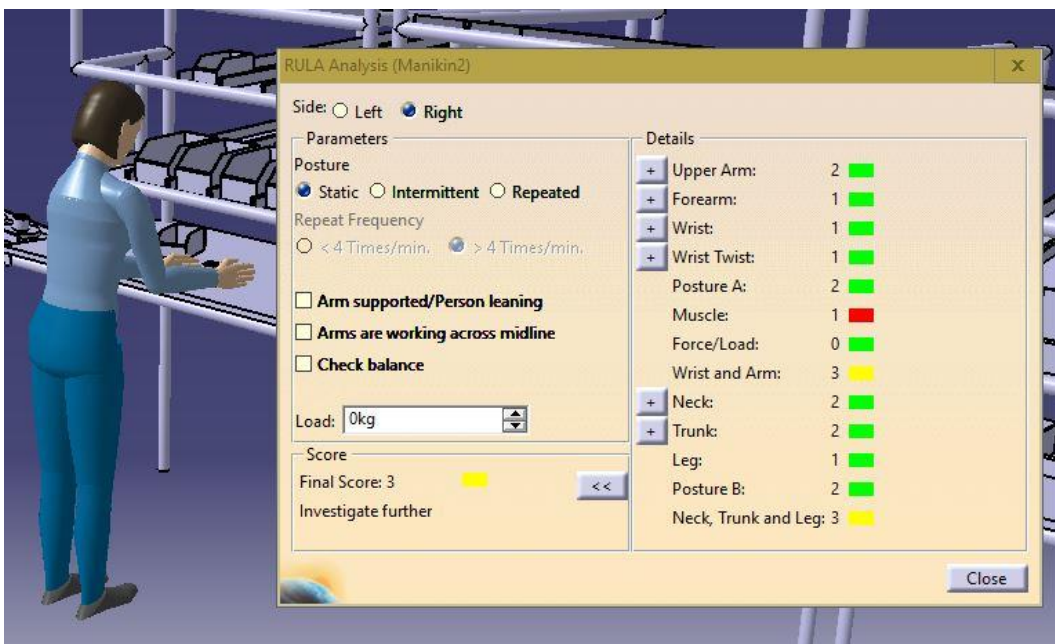


Figura 38: Evaluación postura 1 mujer percentil 5

Para el análisis de esta postura establecemos los mismos datos que para hombre 95: sin carga y postura estática.

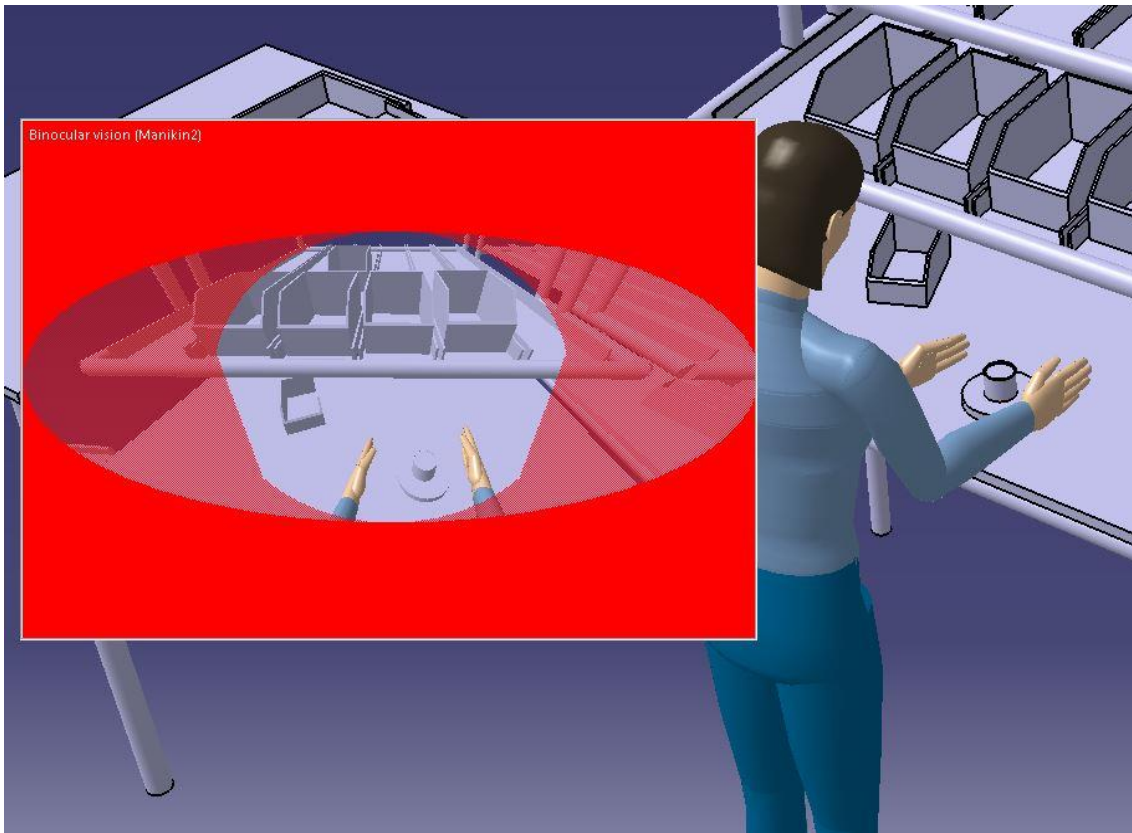


Figura 39: Visión de evaluación postura 1 mujer percentil 5

Puntuación: 3.

Partes del cuerpo de mayor con puntuación: conjunto de cuello, tronco y piernas, y conjunto muñeca y brazos.

5.3.2. Análisis de postura 2: Acceso a cajas zona 2 (más alta)

Para este análisis establecemos que la carga máxima soportada es 0,5 kg y es una postura intermitente.

·Hombre percentil 95:

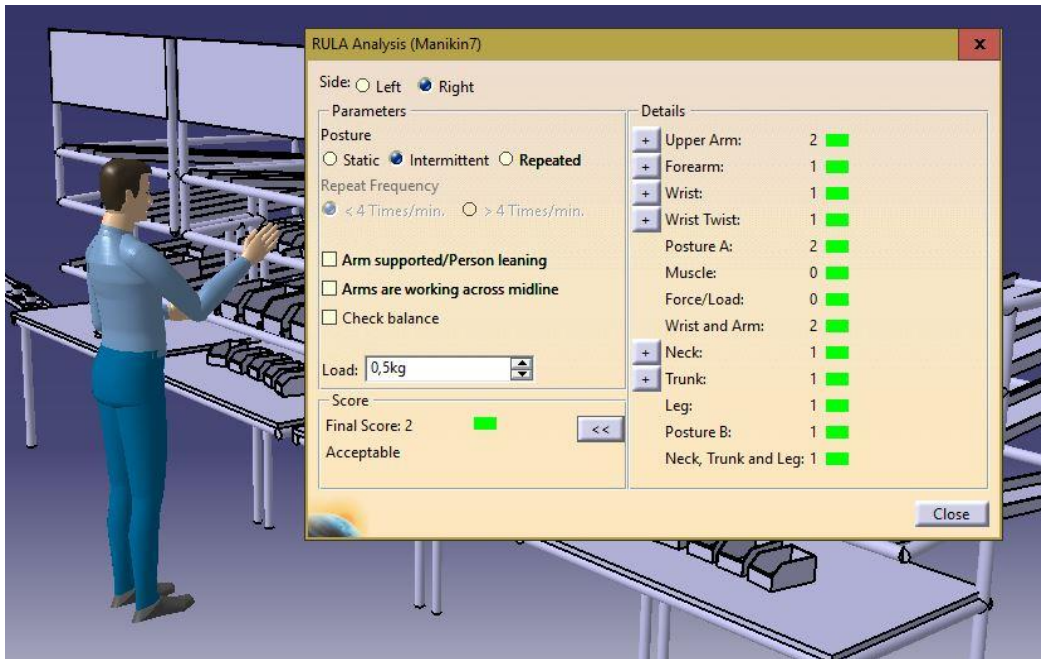


Figura 40: Evaluación postura 2 hombre percentil 95

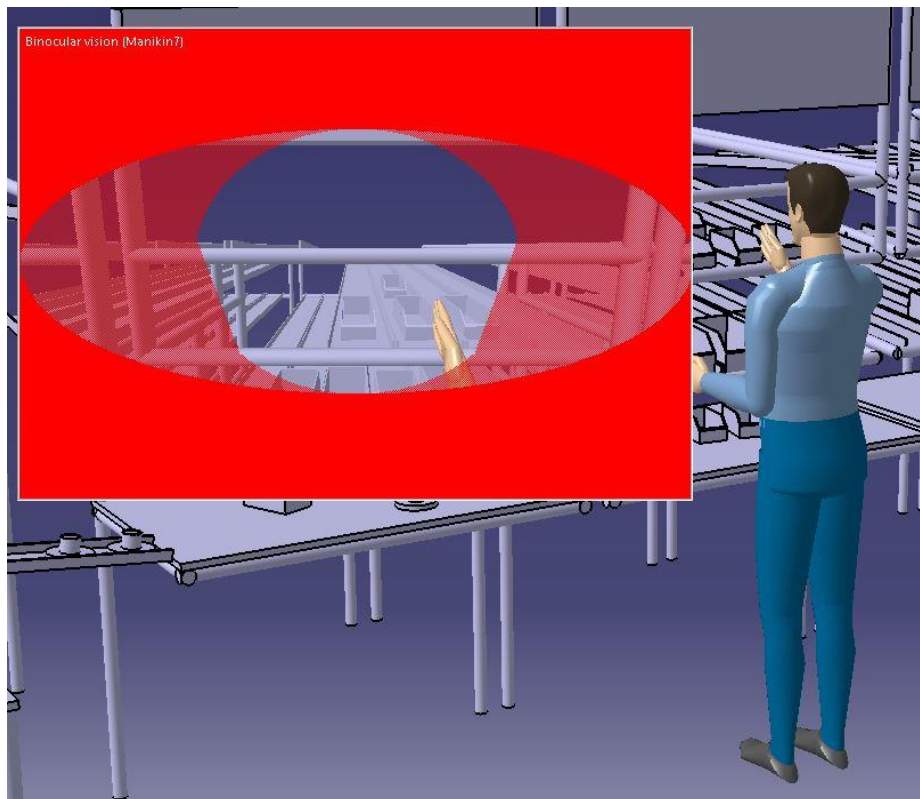


Figura 41: Visión de evaluación postura 2 hombre percentil 95

Puntuación: 2. Valores aceptables.

·Mujer percentil 5:

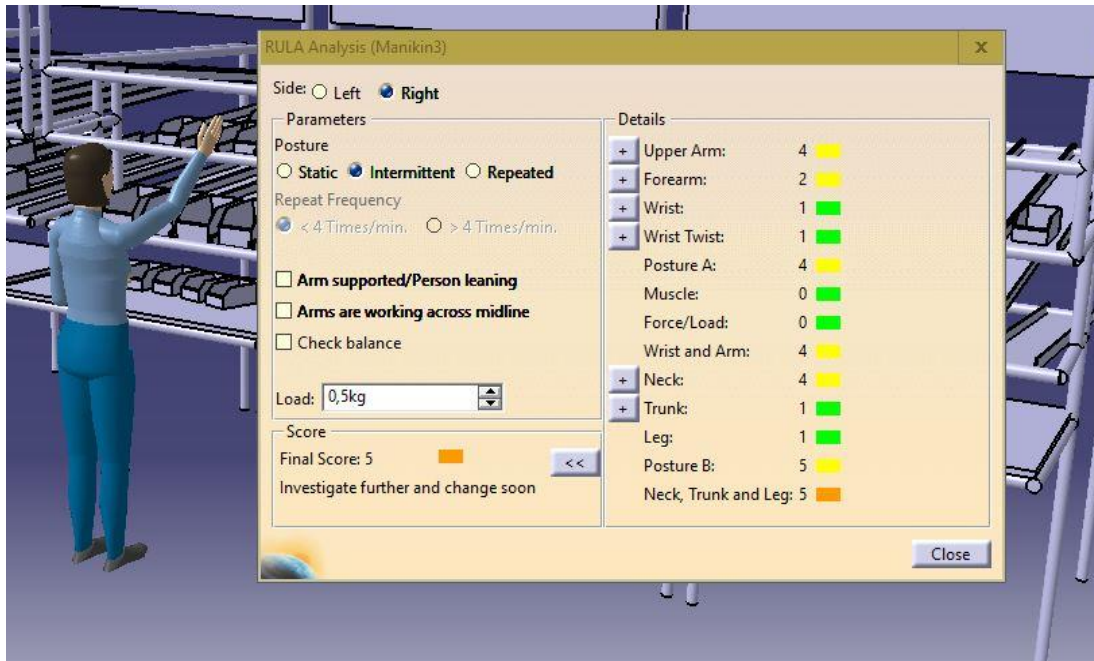


Figura 42: Evaluación postura 2 mujer percentil 5

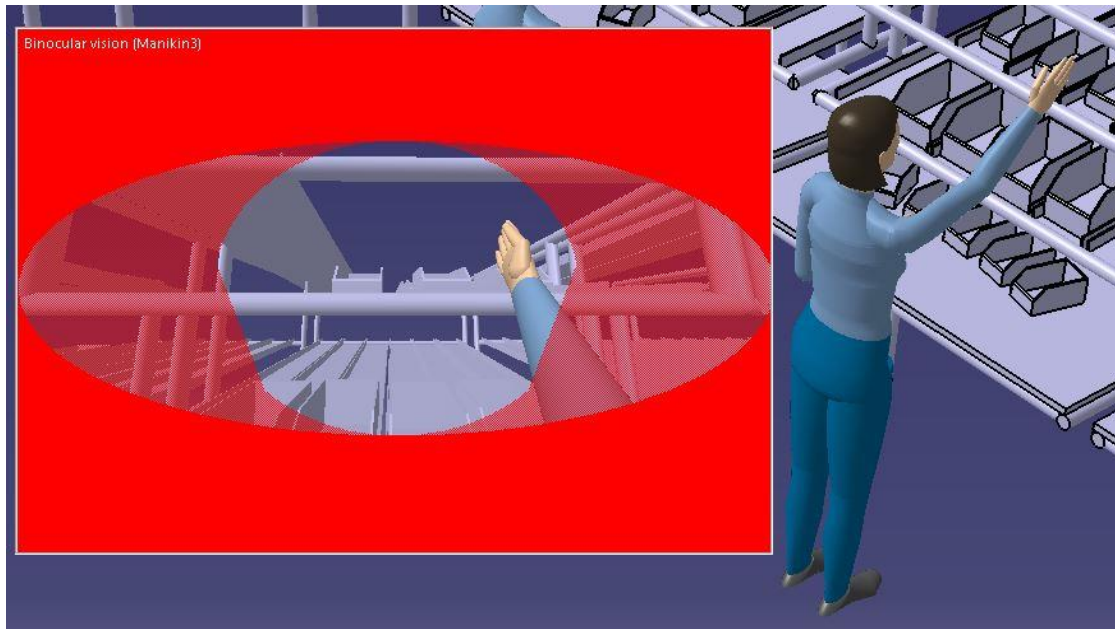


Figura 43: Visión de evaluación postura 2 mujer percentil 5

Puntuación: 5.

Partes del cuerpo de mayor puntuación: conjunto de cuello, tronco y piernas.
Valores altos también en los brazos.

5.3.3. Análisis de postura 3: Evacuación de embalajes vacíos

Esta postura es elegida por la altura a la que tiene que llegar la mano al efectuarla. Se trata de una postura intermitente y la carga es pequeña ya que los embalajes tienen poco peso, por lo que no la consideramos.

·Hombre percentil 95:

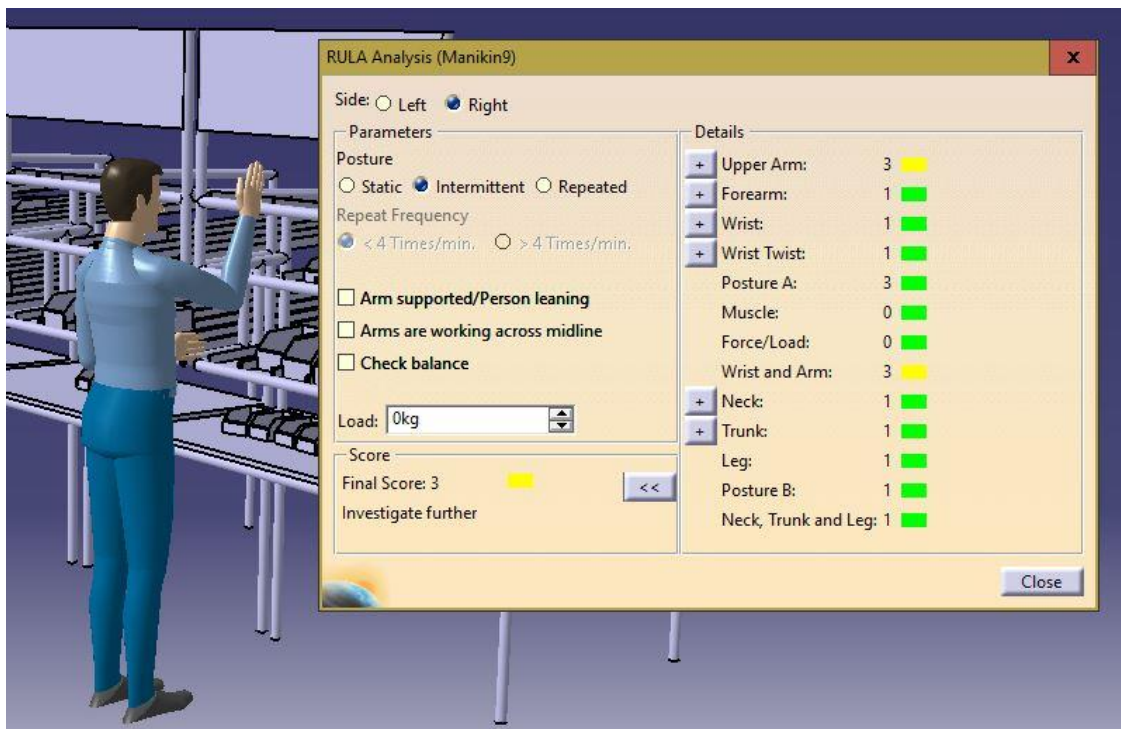


Figura 44: Evaluación postura 3 hombre percentil 95

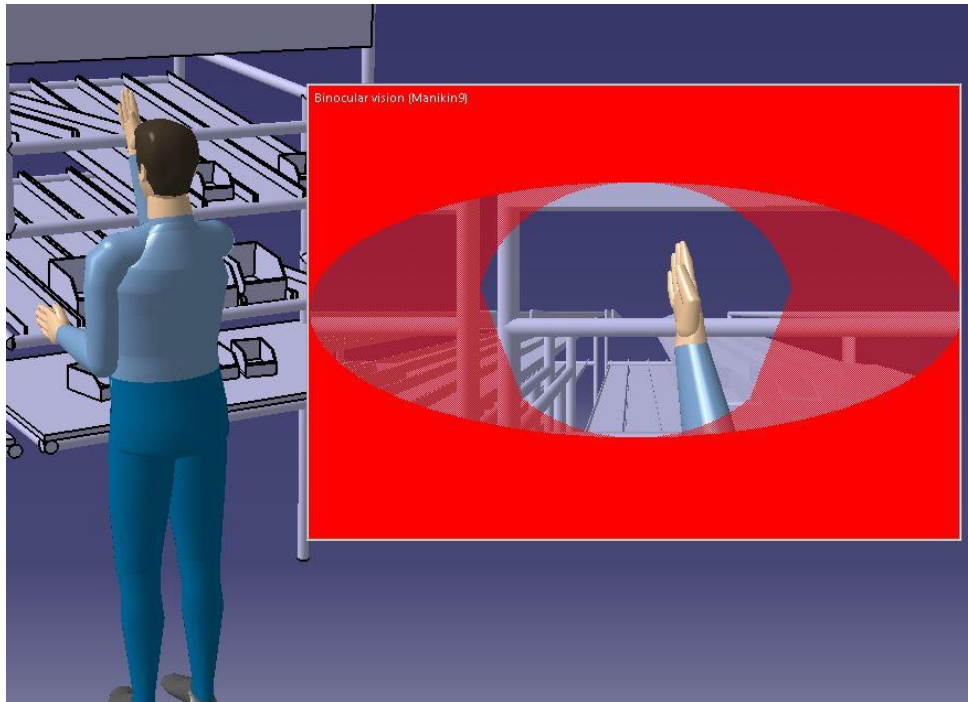


Figura 45: Visión de evaluación postura 3 hombre percentil 95

Puntuación: 3.

Partes del cuerpo de mayor puntuación: conjunto muñeca y brazos, y parte superior del brazo.

-Mujer percentil 5:

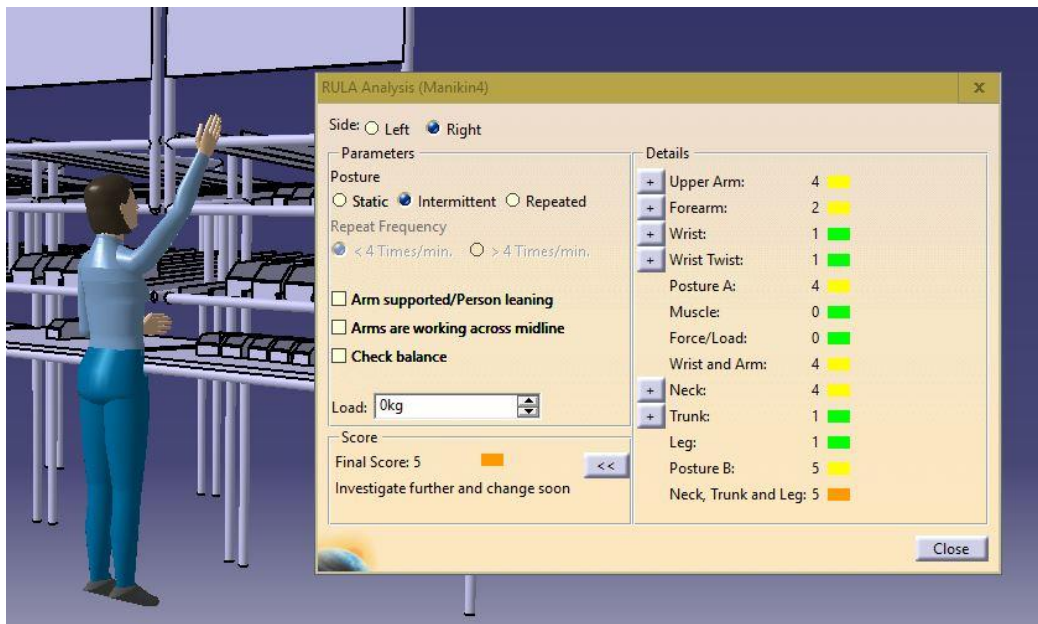


Figura 46: Evaluación postura 3 mujer percentil 5

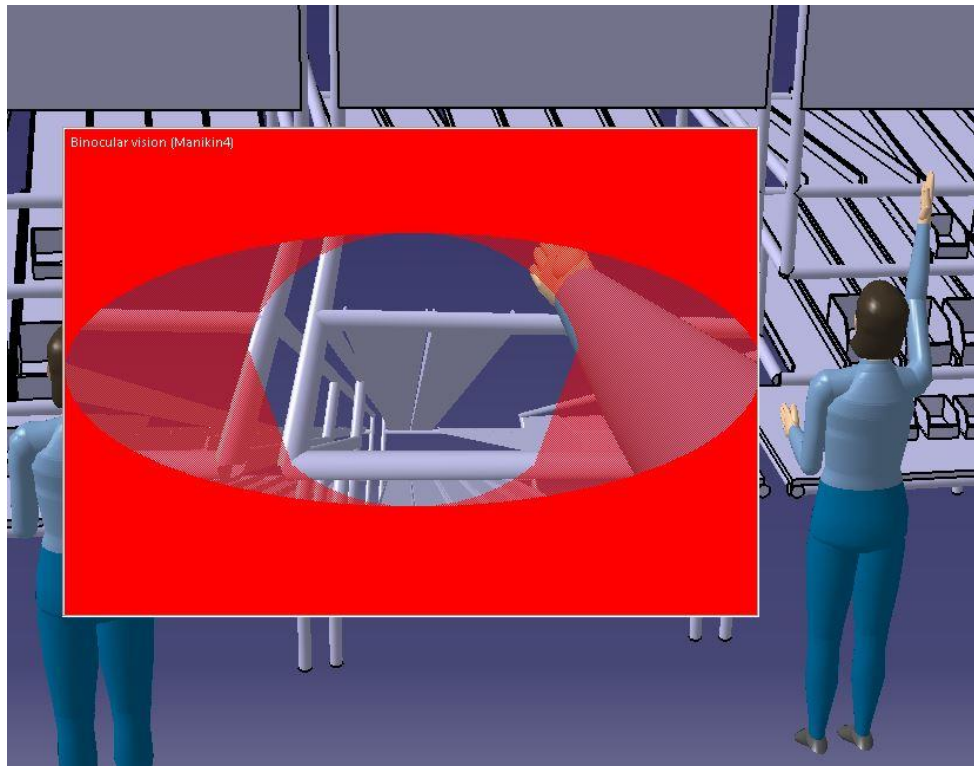


Figura 47: Visión de evaluación postura 3 mujer percentil 5

Puntuación: 5.

Partes del cuerpo de mayor puntuación: conjunto de cuello, tronco y piernas. Valores altos también en los brazos en sus diferentes detalles con puntuación igual a 4.

5.3.4. Análisis de postura 4: Coger pieza del puesto anterior

Se elige la postura que los empleados realizan al abastecerse de piezas del puesto anterior o punto de stock para comprobar si es correcto el espacio que deben estirarse para coger las bases. La carga es pequeña aunque varía entre puestos, y el movimiento es intermitente.

·Hombre percentil 95:

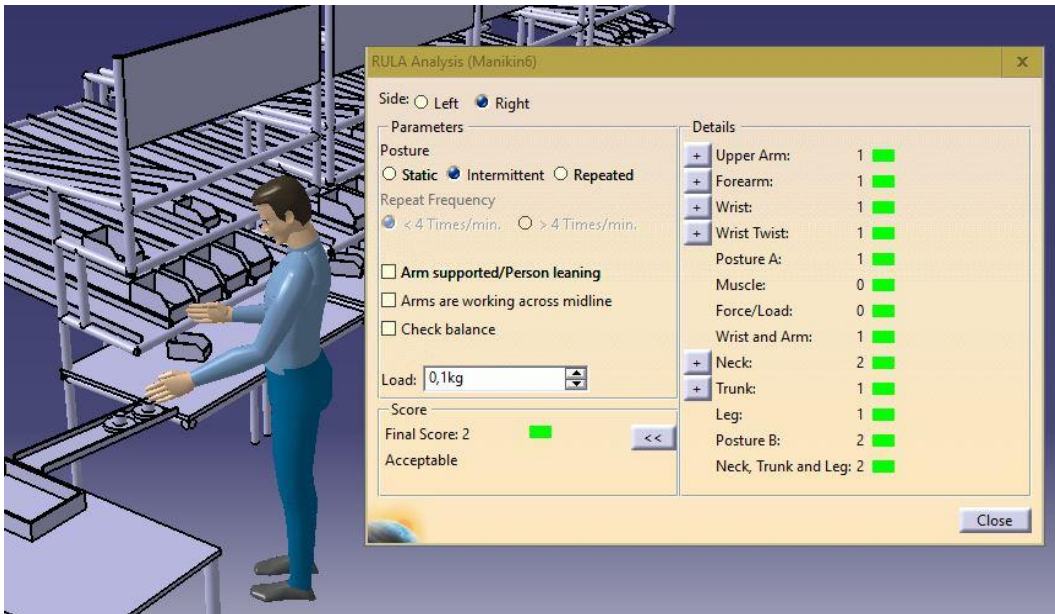


Figura 48: Evaluación postura 4 hombre percentil 95

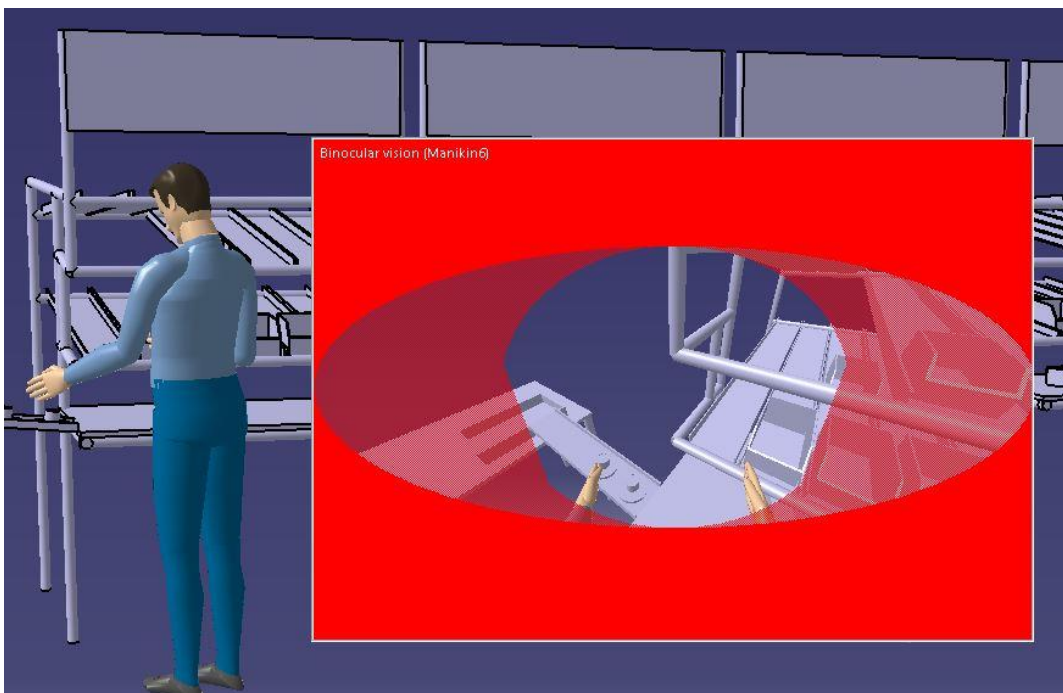


Figura 49: Visión de evaluación postura 4 hombre percentil 95

Puntuación: 2. Valores aceptables.

·Mujer percentil 5:

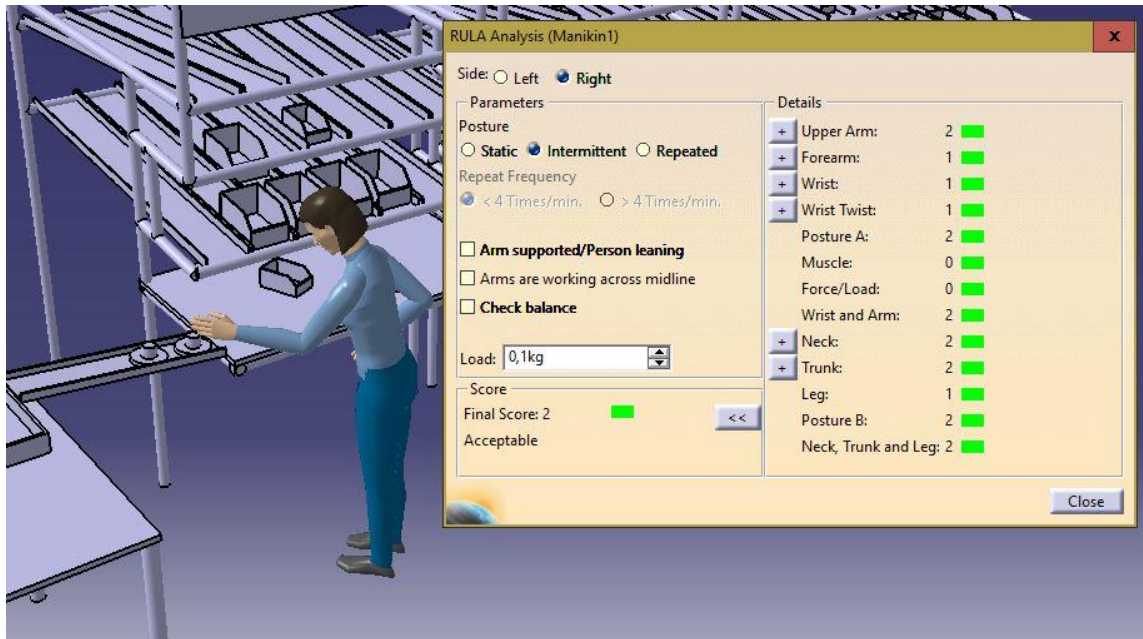


Figura 50: Evaluación postura 4 mujer percentil 5

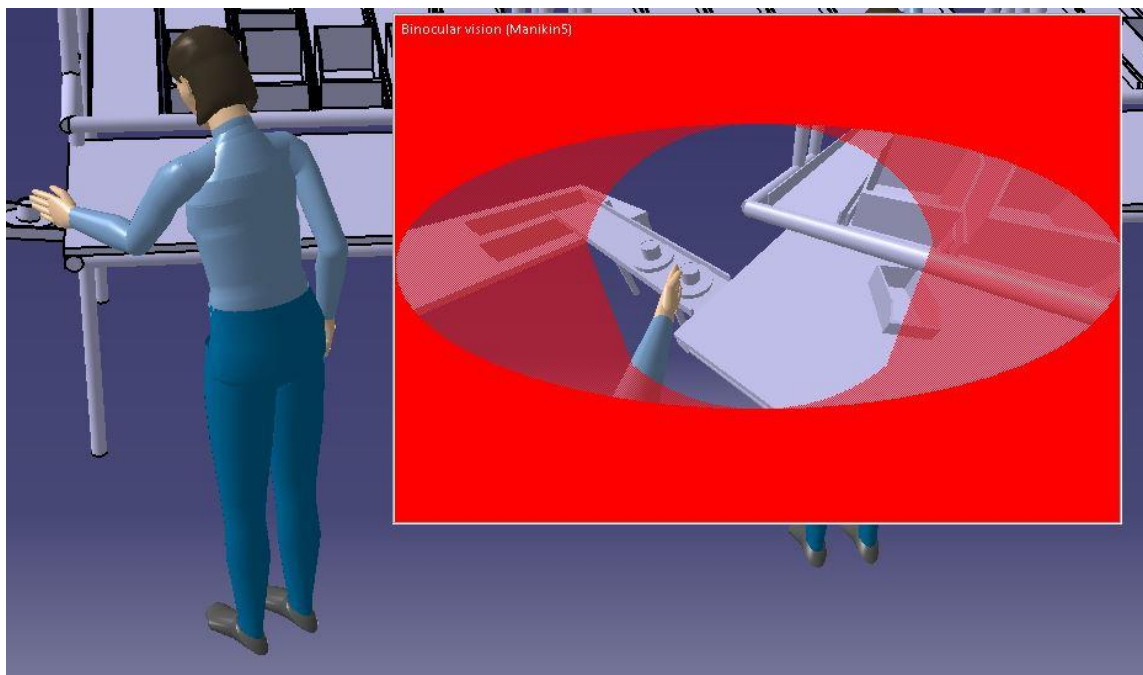


Figura 51: Visión de evaluación postura 4 mujer percentil 5

Puntuación: 2. Valores aceptables.

5.3.5. Análisis de postura 5: Pasar la pieza al siguiente puesto

Se analiza la postura que realiza el operario al pasar la pieza al siguiente puesto. Dado que la pieza lleva más elementos, la carga es mayor que en el análisis anterior. La postura es intermitente.

-Hombre percentil 95:

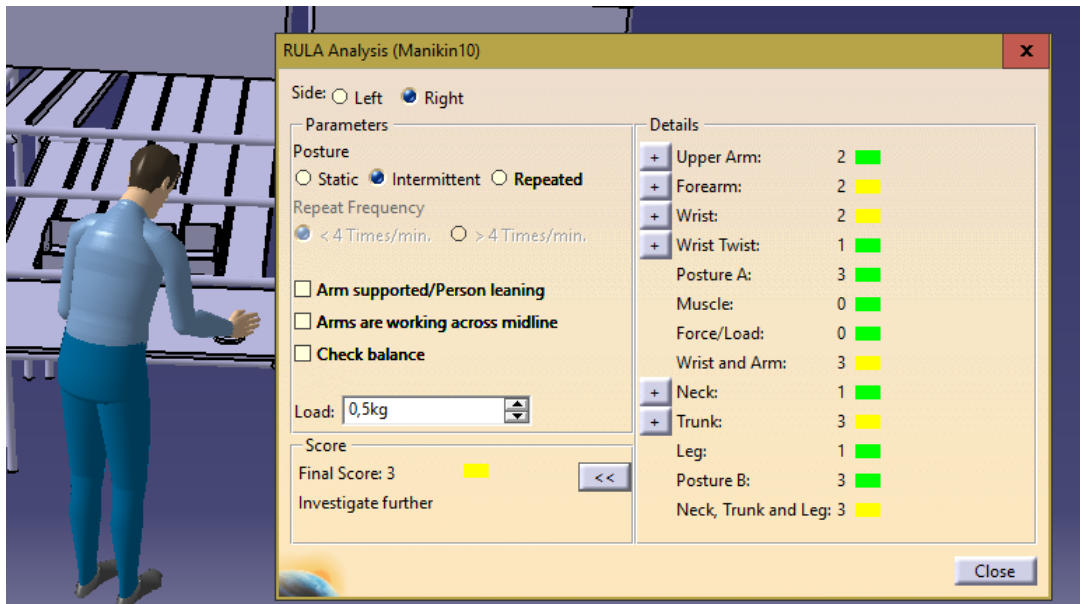


Figura 52: Evaluación postura 5 hombre percentil 95

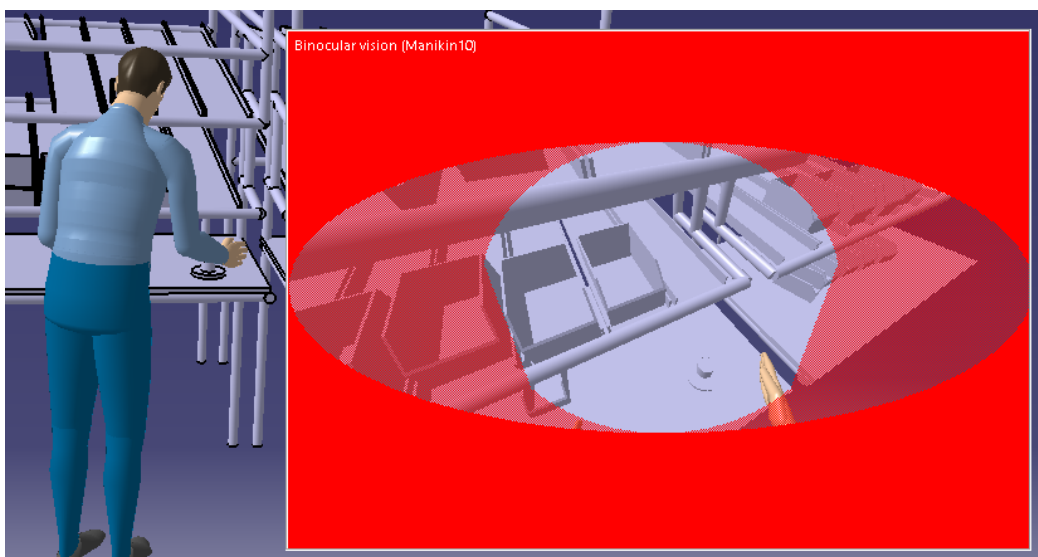


Figura 53: Visión de evaluación postura 5 hombre percentil 95

Puntuación: 3.

Partes del cuerpo de mayor puntuación: conjunto de cuello, tronco y piernas.

·Mujer percentil 5:

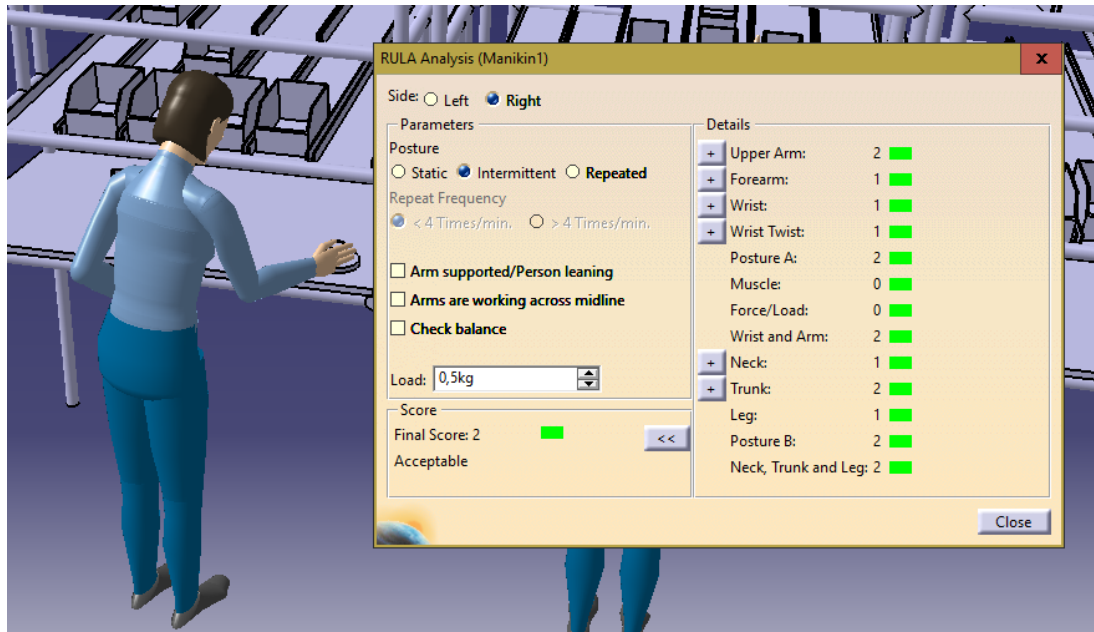


Figura 54: Evaluación postura 5 mujer percentil 5

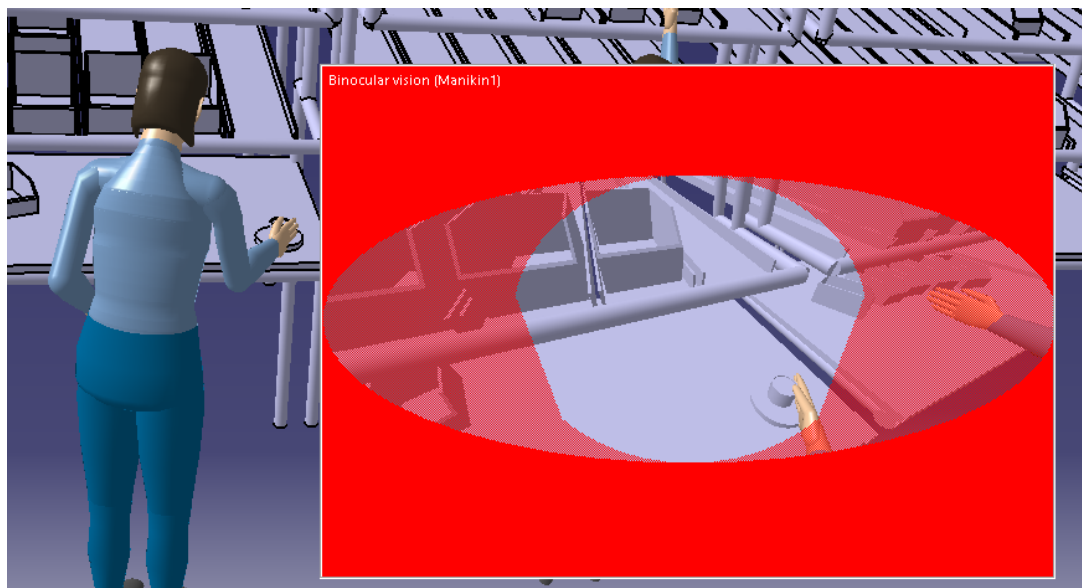


Figura 55: Visión de evaluación postura 5 mujer percentil 5

Puntuación: 2. Favorable.

5.3.6. Análisis Niosh de manipulación de cargas

El análisis Niosh calcula la carga máxima que se debe manipular por el operario en los movimientos.

Para este cálculo, se ha elegido la postura de pasar la pieza al siguiente operario, ya que tiene más peso pues lleva más piezas.

Los percentiles elegidos para el análisis son los mismos que en el análisis Rula.

·Hombre percentil 95:

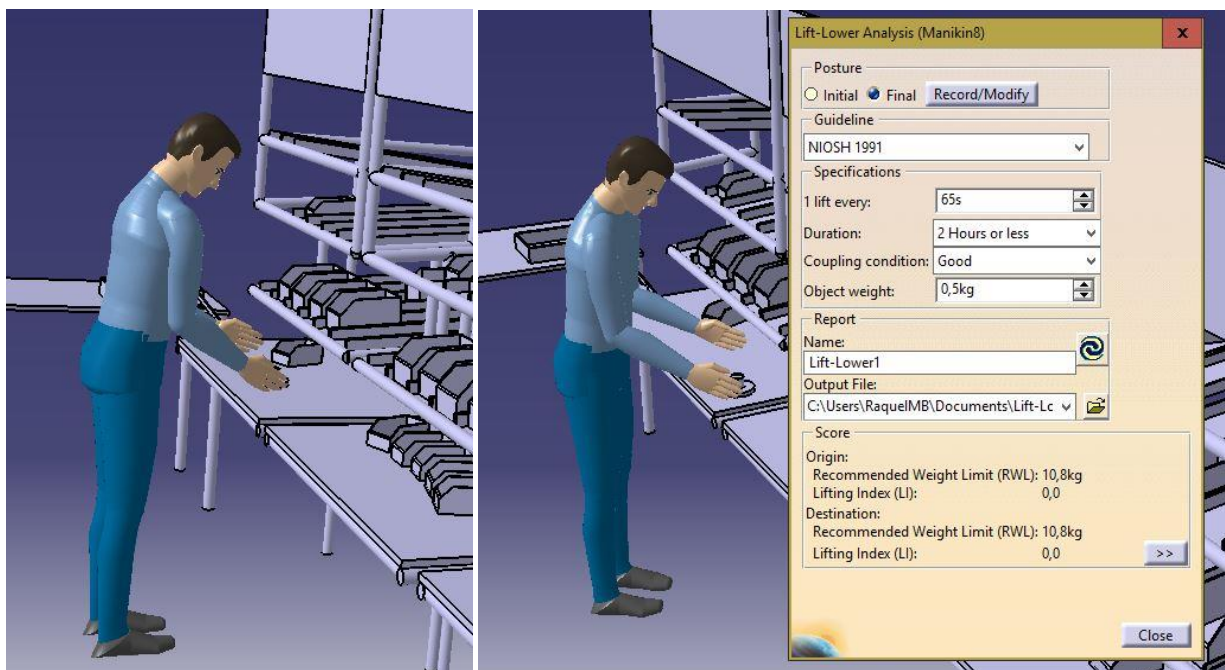


Figura 56: Evaluación postural Niosh hombre percentil 95

La carga máxima autorizada es: 10,8 kg., que podemos observar en detalle en la Figura 56.

·Mujer percentil 5:

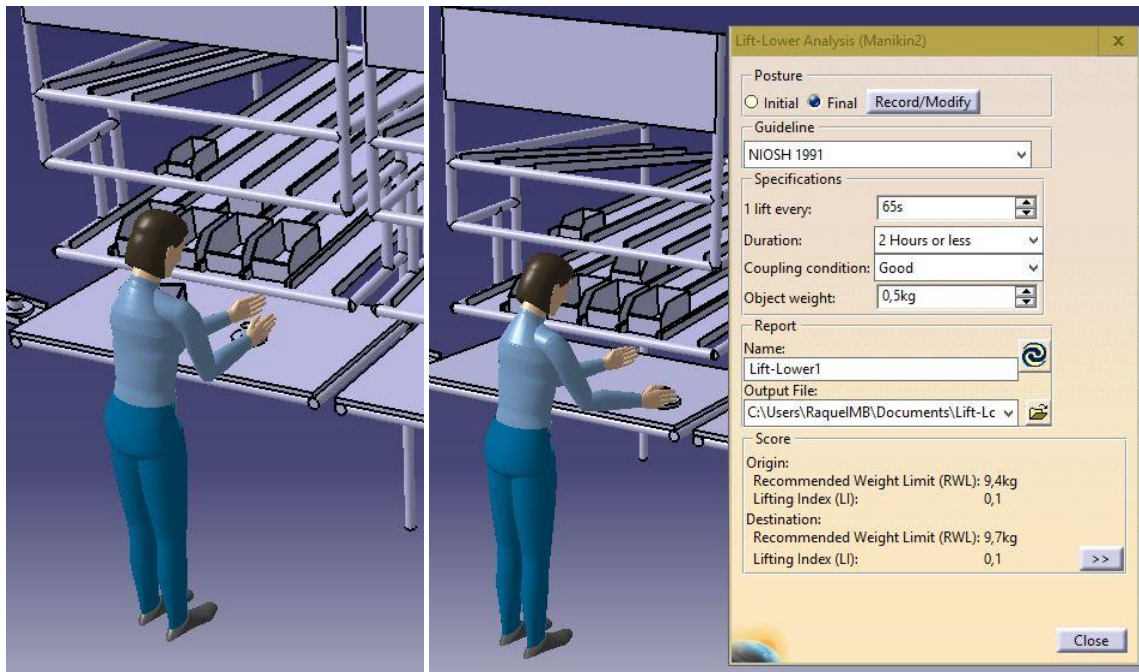


Figura 57: Evaluación postural Niosh mujer percentil 5

La carga máxima autorizada es: 9,4 kg., que podemos observar en detalle en la Figura 57.

5.3.7. Cuadro resumen y conclusiones de los análisis

·Análisis RULA:

	Postura 1	Postura 2	Postura 3	Postura 4	Postura 5
Hombre 95	3	2	3	2	3
Mujer 5	3	5	5	2	2

Tabla 3: Cuadro resumen análisis RULA

Con el análisis RULA sobre las diferentes posturas, hemos obtenido cuales son las posturas críticas:

- acceso a las cajas de la segunda altura,
 - evacuación de los embalajes,
- ambas para el percentil 5 de mujer.



Estas alturas son excesivas para el acceso de personas que están en este percentil; además, podemos observar que para hombre 95 las puntuaciones son bajas, por lo que se pueden modificar esas alturas para que sean aptas en ambos percentiles y conseguir el “diseño para extremos”. Estas alturas deben disminuirse hasta una máxima de 1600 mm. Con ello disminuirán los valores para ambas posturas en Mujer 5 sin afectar a las de hombre.

Dado que hay margen para situar las cajas de piezas, esta altura se puede disminuir con facilidad.

-Análisis NIOSH:

	Kg máximos
Hombre 95	10,8
Mujer 5	9,4

Tabla 4: Cuadro resumen análisis Niosh

Gracias al análisis Niosh de manipulación de cargas, se han calculado los pesos máximos permitidos para la carga que mueva el operario desde la zona de trabajo hasta la zona de stock (que es la misma distancia que tiene desde que recoge el stock hasta que lo deja en la zona de trabajo sobre la mesa).

Sabemos que el conjunto del solectrón completo no supera los 2 kg, por lo que se encuentra muy alejado del peso máximo que estaría permitido para que el trabajador no sufra daños en el trabajo.

Con este análisis concluimos que no tenemos problemas en manipulación de cargas, verificando los datos obtenidos en el análisis, que tiene puntuación 2 por encontrarse en el límite permitido de distancia lateral.



6. ESTUDIO ECONÓMICO

En este punto del proyecto, se va a especificar el estudio económico, tanto de recursos como de horas, que supone el desarrollo del análisis e implementación virtual 3D en líneas de montaje Lean.

6.1. Planificación del proyecto

La primera parte del estudio económico es el estudio del tiempo invertido en el proyecto. Para el proyecto se han destinado 14 semanas, con una media de 40 horas semanales, teniendo un cómputo total de 560 horas.

La semana 1 corresponde a la semana del 19 a 23 de marzo, y la semana 13 es la correspondiente al 18 a 24 de junio.

Para la especificación del tiempo de desarrollo de tareas se ha creado el siguiente diagrama de Gantt:



	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
LABORES PREVIAS														
Definir tema														
Recopilación de información														
Creación del Diagrama de Gantt														
PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO: ALCANCE Y OBJETIVOS														
Desarrollo de la justificación y objetivos														
Búsqueda de información del Marco de Referencia														
Redacción del Marco de Referencia														
DATOS DE LA SITUACIÓN ACTUAL														
Recopilación datos Situación Actual														
Redacción de la Situación Actual														
DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA														
Recopilación de datos para el desarrollo de la Hoja Excel														
Desarrollo de la Hoja Excel														
APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA														
Estudio de la situación actual														
Modelado en Catia V5														
Análisis de Flujos														
Análisis Ergonómico														
Propuestas de mejora y validación														
CONCLUSIONES														
Desarrollo del apartado conclusiones														
DESARROLLO DEL PRESUPUESTO														
Análisis de los recursos utilizados														
Redacción del presupuesto														
ANEXOS														
Recopilación de la información														
Desarrollo de los Anexos														
VALIDACIÓN FINAL														
Validación del documento														
GENERACIÓN DE DOCUMENTACIÓN														

Tabla 5: Diagrama de Gantt



6.2. Recursos

En este apartado vamos a especificar todos los recursos utilizados con un presupuesto asociado a los mismos.

Generalmente, en la realización de este proyecto intervienen personas que podemos clasificar en:

- Director
- Responsable de ingeniería
- Conceptor

El director es responsable de la idea, planificación, coordinación y presupuesto del proyecto.

El responsable define las actuaciones concretas a cumplir en el proyecto. Está en contacto con la dirección y está a cargo del cumplimiento de objetivos.

El conceptor se encarga de efectuar las tareas que indique el responsable, es decir, recopilar información y procesarla para obtener las conclusiones.

También existe un Auxiliar Administrativo para ayudar a confeccionar la memoria.

La contabilidad del proyecto se realiza por actividades, valorando los costes de cada actividad que se realice hasta la obtención de los resultados y conclusiones. El orden en el que se realiza el estudio es:

- 1º. Cálculo de las horas efectivas/año y tasas/hora de salarios
- 2º. Cálculo de las amortizaciones de equipo
- 3º. Coste por hora y persona de consumibles (materiales)
- 4º. Costes indirectos por hora y persona
- 5º. Horas de personal a cada etapa



6.2.1. Horas anuales y tasas horarias de personal

En las siguientes tablas 6 y 7 se realiza una ponderación de los días y semanas efectivos anuales:

Concepto	Días
Año (medio)	365,25
Sábados y domingos	$365 * (2/7) = 104,36$
Días efectivos vacaciones	20
Días festivos oficiales	12
Media días perdidos por enfermedad	15
Formaciones	4
Total días efectivos (estimado)	210

Tabla 6: Días efectivos/año

Total horas/año efectivas (8h/día): 1680 horas

Concepto	Semanas
Semanas/año	52
Vacaciones + festivos	5
Enfermedad	2
Formación	1
Total semanas	44

Tabla 7: Semanas efectivas/año

Para el desarrollo del proyecto consideramos: un ingeniero que actúa como director del proyecto y analista financiero; un ingeniero industrial encargado de gestionar los diferentes apartados del proyecto; un jefe de sección, que colabora en la planificación; y para el desarrollo de documentación se dispone de un Auxiliar Administrativo.

El coste horario y semanal de cada uno de los empleados se indica en la siguiente tabla (Tabla 8):



	Director	Ingeniero	Responsable Dto.	Auxiliar Admin.
Sueldo	51.687€	23.139€	18.632€	11.119€
S.Social (35%)	18.091€	8.099€	6.521€	3.892€
Total	69.778€	31.238€	25.153€	15.011€
Total/hora	41,53€	18,59€	14,97€	8,94€
Total/semana	1585,86€	709,95€	571,66€	341,16€

Tabla 8: Costes empleados

6.2.2. Cálculo de amortizaciones

Para el cálculo de las amortizaciones del equipo informático, consideramos una amortización lineal a 5 años.

En la Tabla 9 podemos observar estos costes:

RECURSO	Uds.	€ / Unidad	Total (€)
Ordenador Portátil HP Pavilion 14-bf106ns	1	799,00 [18]	799,00
Licencia programa Microsoft Office	1	149,00 [19]	149,00
Licencia programa Catia V5	1	11.000,00 [20]	11.000,00
Licencia programa Delmia Quest	1	2.411,16 [21]	2.411,16
Total a amortizar:			14.359,16
	Tipo	Número	Amortización
	Diaria	39,31	7,86 €
	Semanal	275,19	55,04 €
	Horaria	4,91	0,98 €

Tabla 9: Cálculo amortizaciones



6.2.3. Coste de material consumible

Para el cálculo de consumibles se ha realizado una estimación por persona y hora de trabajo, que podemos ver en la siguiente Tabla 10:

Concepto	Coste
Papel + suministro impresora	330€
Almacenamientos ordenador	120 €
Otros	450 €
Total anual/persona	900 €
Total hora/persona	0,31 €

Tabla 10: Coste de material consumible

6.2.4. Otros costes (indirectos)

Con costes indirectos se indican los referentes a consumos eléctricos, teléfono, calefacción, alquiler,... Podemos verlos en la Tabla 11:

Concepto	Coste
Teléfono	90 €
Alquileres	390 €
Electricidad	120 €
Otros	330 €
Coste anual/ persona	930 €
Coste hora/persona	0,32 €

Tabla 11: Costes indirectos

6.2.5. Horas de personal dedicadas al proyecto y costes totales

Mediante el análisis del diagrama de Gantt, obtenemos las horas totales dedicadas al proyecto por cada trabajador. Se realiza el cálculo total de los costes con los datos obtenidos en los apartados anteriores.

El proyecto se divide en las siguientes fases, extraídas del diagrama de Gantt:

- Labores previas (1/2 sem.): director
- Planteamiento del proyecto (1 y 1/2 sem.): alcance de objetivos: ingeniero
- Datos de la situación actual (1 sem.): jefe de sección
- Desarrollo de la herramienta (1 y 1/2 sem.): ingeniero



- e) Aplicación de la herramienta (4 sem.): ingeniero, jefe de sección
- f) Conclusiones (1/2 sem.): director, ingeniero
- g) Desarrollo del presupuesto (1 y 1/2 sem.): ingeniero
- h) Anexos (1/2 sem.): ingeniero
- i) Validación final (3 sem.): director, ingeniero
- j) Generación de documentación (14 sem.): auxiliar administrativo

El resumen de los costes queda indicado en la Tabla 12:

Concepto		Horas	Coste/hora	Coste total
Personal	Director	160	41,53 €	6.644,8 €
	Ingeniero	500	18,59 €	9.295,0 €
	Jefe sección	200	14,97 €	2.994,0 €
	Aux. Admin	560	8,94 €	5.006,4 €
Amortización	Equipos	560	0,98 €	5.488,8 €
Material	Consumibles	1000	0,31 €	310,0 €
Costes indirectos		1000	0,32 €	320,0 €
			COSTE TOTAL:	30.059,0 €

Tabla 12: Costes totales

A estos costes hay que aplicar el Margen Comercial y los Impuestos Indirectos (IVA, recargo de equivalencia, etc.).



7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

La aplicación de metodologías Lean hace que las líneas de montaje sean más eficientes, seguras y cómodas para los empleados y la cadena productiva.

Por lo general, el diseño de las estaciones que componen la cadena de montaje se hace siguiendo unos criterios que la línea cumpla con todos los parámetros que se acaban de indicar.

A pesar de esto, en ocasiones no se detectan ciertos problemas hasta que no comienza a ser utilizada. Un correcto control visual y tener opiniones de los operarios son factores que ayudan a valorar si el diseño del puesto de trabajo es correcto o por el contrario, son necesarios cambios para una configuración óptima.

Los operarios dentro de una cadena productiva suelen ser muy diferentes en características físicas, y es necesario que la zona de trabajo sea confortable para cualquier trabajador.

7.1. Conclusiones al análisis con la hoja Excel

Gracias al análisis con la hoja Excel, podemos confirmar y/o encontrar problemas en la línea. Estos problemas podían haber sido vistos o por el contrario no se habían detectado pero aun así es necesario solucionarlos para que la línea sea más eficiente.

Con las pautas que indica la hoja, se consigue llegar a unas conclusiones y nuevas líneas de trabajo que cumplan el objetivo marcado: conseguir que la línea de montaje sea Lean.

Con la aplicación práctica desarrollada, hemos conseguido definir de manera clara el procedimiento a seguir y obtener conclusiones. Muchas de estas conclusiones habíamos podido solventarlas en la escuela durante el curso que se imparte durante el Master, y otras, como la ergonomía, han sido analizadas por primera vez ayudándonos a continuar con el análisis más exhaustivo.

El uso de la hoja Excel es, por tanto, un buen punto de partida para analizar problemas Lean.



7.2. Conclusiones al análisis virtual

Con ayuda de los análisis virtuales podemos ver de manera gráfica y más visual todos los problemas que tiene la línea de montaje.

Además, gracias a este tipo de análisis se pueden modificar los datos, introduciendo los nuevos calculados sin que ello implique mayor coste, pudiendo verificar si los cambios que se proponen son correctos o no.

Se puede confirmar que si estos análisis virtuales se hubieran realizado antes de la concepción de la línea, los errores futuros se habrían solventado.

En este caso práctico en la escuela Lean, no tiene sentido un análisis virtual previo a la concepción de la línea ya que durante el curso aprendemos a solventar los problemas, por ello el sentido de este análisis está una vez la línea se ha puesto en marcha, pero solo en este ejemplo concreto.

Cabe destacar las ventajas que aporta la conceptualización virtual de la línea de montaje previamente a ser llevada a planta.

Estas ventajas son, por ejemplo: ahorro en costes por cambios de línea, ahorro en tiempo por modificaciones (que afectan también a paradas de la producción), conocimiento de valores de producción (como unidades producidas por hora o saturación de los empleados), etc.

7.3. Líneas futuras

En presente trabajo deja abiertas las siguientes líneas futuras:

- 1º. Validación de la hoja Excel en un entorno académico.
- 2º. Evaluación de la hoja Excel para posible uso industrial.
- 3º. Incorporación de las herramientas de simulación en el proceso de concepción inicial de la línea Lean.
- 4º. Incorporación de la metodología de trabajo planteada en los ciclos de mejora continua de la línea de fabricación.



8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Mateo, M. (2018). Apuntes asignatura *Dirección de Operaciones*, Máster de Logística - Consultado 04/18
- [2] Aclarando Conceptos sobre el Lean Manufacturing (08/01/2015). *Proyecta Innovación*. Alicante. Recuperado de <https://www.proyectainnovacion.com/2015/01/08/aclarando-conceptos-sobre-lean-manufacturing/> - Consultado 04/18
- [3] Solís, R., Madriz, C. E. (2009). Aplicación de Ergo – Lean Manufacturing en el análisis de valor. *Tecnología en Marcha*, Vol. 22, pp. 24-28 - Consultado 04/18
- [4] Escuela Lean (2014). *Renault - Nissan Consulting*. Valladolid. Recuperado de: <http://escuela-lean.es/> - Consultado 05/18
- [5] Hernández, J. C., Vizán, A. (2013). *Lean Manufacturing. Concepto, técnicas e implantación*. Recuperado de: <http://www.eoi.es/savia/documento/eoi-80094/lean-manufacturing-conceptotecnicae-implantacion> - Consultado 04/18
- [6] Rajadell, M., Sánchez, J. L. (2010). *Lean Manufacturing, la evidencia de una necesidad*. Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos. - Consultado 05/18
- [7] Pearce, A., Pons, D., Neitzert, T. (2018). *Implementing lean—Outcomes from SME case studies*. *Operations Research Perspectives*, 594-104. Recuperado de: https://ac.els-cdn.com/S2214716017300076/1-s2.0-S2214716017300076-main.pdf?_tid=a8932e9a-e625-4919-9be4-e55f075dceb9&acdnat=1527748784_c3e9a67e94each18520ed834be1bcee7 – Consultado 05/18
- [8] Abreu, M. F., Alves, A. C., & Moreira, F. (2017). *Lean-Green models for eco-efficient and sustainable production*. *Energy*, Recuperado de: [doi:10.1016/j.energy.2017.04.016](https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.016)<https://reader.elsevier.com/reader/sd/70BA1D376BE45CA9E9E56DA7B29FD6C96184F880077DDA070D314019C734723E3F15B57B158FDA1E8608A5C97F62BA88> – Consultado 05/18
- [9] Ángel A. (13/12/2012). *¿Qué es y para qué sirve Excel?*. WordPress. Recuperado de <http://www.accessyexcel.com/que-es-y-para-que-sirve-excel/> - Consultado 05/18



- [10] Sacco, M. (2015). La Fábrica Virtual. *Perini Journal*, Nº45. Recuperado de <http://www.perinijournal.it/Items/es-ES/Articoli/PJL-45/la-fabrica-virtual> - Consultado 05/18
- [11] Aguilar, J. A. (07/03/2016). *Lean Sustainability?*. Actio-Consulting. Recuperado de <https://www.actio-consulting.es/lean-sustainability/> - Consultado 04/18
- [12] Asociación Española de Ergonomía (2018). *¿Qué es la ergonomía?*. AEE. Recuperado de <http://www.ergonomos.es/ergonomia.php> - Consultado 06/18
- [13] Secretaría de Salud Laboral CCOO de Madrid (11/2016). Métodos de Evaluación Ergonómica. Unigráficas GPS. Recuperado de <http://www.madrid.ccoo.es/54c00d40d3dea466094a35e6b6a867d9000045.pdf> - Consultado 06/18
- [14] Grupo Carman (03/09/2013). *Catía V5*. Grupo Carman. Recuperado de <http://grupocarman.com/blog/catia-v5/> - Consultado 04/18
- [15] Curiosoando (8/09/2013) *¿Qué son los percentiles?*. Curiosoando. Recuperado de <https://curiosoando.com/que-son-los-percentiles> - Consultado 04/18
- [16] McAtamney, L., Corlett, E. N. (1993). *RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders*. *Applied Ergonomics*, 24, pp. 91-99. Recuperado de: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM802/RULA_original%201993.pdf - Consultado 05/18
- [17] Waters, T.R., Putz-Anderson, V., Garg, A, (1994). *Applications manual for the revised Niosh lifting equation*. National Institute for Occupational Safety and Health. Cincinnati. Ohio. Recuperado de <https://www.cdc.gov/niosh/docs/94-110/pdfs/94-110.pdf> - Consultado 05/18
- [18] HP Online Store. (2018). *Página Oficial HP*. Recuperado de http://store.hp.com/SpainStore/Merch/List.aspx?sel=NTB&ctrl=f&fc_form_nb=1 – Consultado 05/18
- [19] Microsoft (2018). *Office para PC*. Recuperado de https://www.microsoft.com/es-es/p/office-hogar-y-estudiantes-2016-para-pc/cfq7ttc0k5fc?ocid=AID695748_SEM_VkeN7wAABATIhLGs%3a20180601172845%3as – Consultado 05/18
- [20] Software CAD/CAE. *Comparativa de Presupuestos*. Recuperado de https://indico.ific.uv.es/event/135/contributions/171/.../110/.../SOFTWARE_CAD.ppt– Consultado 05/18



- [21] Presupuesto de licencia Quest. (2014). IQInnovation Internacional. Recuperado de <http://sipot.ciateq.mx/adquisiciones/ad%20directa%20trimestre%204/IV4000204.pdf> – Consultado 05/18
- [22] Apuntes Oficina Técnica (2017). Planificación de Proyectos, Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto – Consultado 05/18
- [23] Salazar López, B. (2016). *Balanceo de línea*. Ingeniería Industrial on Line. Recuperado de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/balanceo-de-l%C3%ADnea/> - Consultado 05/18
- [24] Universidad de Málaga (03/2016). *Manipulación Manual de Cargas*. Servicio de Prevención de Riesgos Laborales. Recuperado de <https://www.uma.es/publicadores/prevencion/wwwuma/183.pdf> - Consultado 05/18
- [25] Estrada Muñoz, J., Duque, J. (2011). *Método de Análisis de las condiciones de trabajo*. Servicio de condiciones de trabajo de la Red Nacional de Fábricas Renault. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/64839508/12-METODO-RENAULT> – Consultado 05/18
- [26] Steenberger, R. D. J. M., van Gelder, P. H. A. J. M., Miraglia, S., Vrouwenvelder, A. C. W. M. (2014). *Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon*. Boca Ratón, EEUU CRC Press pp. 1668-1670 – Consultado 05/18
- [27] Chavarría Cosar, R., (1982). *NTP 176: Evaluación de las condiciones de trabajo: Método de los perfiles de puestos*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Barcelona. Recuperado de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_176.pdf – Consultado 05/18

9. ANEXOS

9.1. ANEXO I: Datos para la realización de la hoja de análisis Excel

En este Anexo se explican de donde se extraen los datos para la configuración de la hoja de análisis de Excel.

Los valores para las puntuaciones del tiempo de ciclo, el stock, la calidad, las 5S y la Estandarización se establecen de conocimientos Lean adquiridos en el Máster de Logística, contrastados con datos de las asignaturas. [1]

El método de Balanceo de línea se obtiene conforme a la Figura 58:

Minuto Total del Operario	$\sum_{i=1} (\min x Op)$	Sumatoria del producto entre el tiempo de cada operación y la cantidad de operarios que la realizan.
Ciclo de Control	$\min >$	Es el tiempo mayor entre los tiempos de cada operación.
Nº de Operarios	$\sum Op$	Sumatoria de los operarios que ejecutan las operaciones.
Total Minutos por Línea	$Ciclo\ de\ Control\ x\ N^\circ\ de\ Op$	Tiempo que toma la línea en relación a su ciclo de control.
% de Balance	$\frac{Minuto\ Total\ del\ Operario}{Total\ del\ minutos\ por\ línea} \times 100$	% del Balance de la línea. Este es mayor a medida que los tiempos de las distintas operaciones se aproximan.
Ciclo de Control Ajustado	$\frac{Ciclo\ de\ Control}{Desempeño\ de\ la\ línea} \times 100$	Ciclo de control ajustado según el desempeño de la línea
Unidades / Hora	$\frac{60\ minutos}{Ciclo\ de\ Control\ Ajustado}$	Cantidad de unidades por cada hora de trabajo.
Unidades / Turno	$(Unidades\ /\ Hora) \times (Horas\ /\ Turno)$	Cantidad de Unidades por cada turno de trabajo.
Costo x Unidad	$\frac{(N^\circ\ de\ Op) \times (Salario\ diario)}{Unidades/Turno}$	Costo de mano de obra por cada unidad producida
Desempeño de la línea	$1 - \left(\frac{Tolerancias\ Hombre}{Tiempo\ por\ turno} \right) + \left(\frac{Tolerancias\ Máquina}{Tiempo\ por\ turno} \right)$	

Figura 58: Fórmulas para el cálculo del balanceo [23]

Con estas fórmulas calculamos el % de Balanceo.

Las cargas máximas autorizadas para manejar por los operarios se obtienen de manuales de manipulación de carga. Como indicación general, 25 kg es el peso máximo recomendado en condiciones ideales.



Si se busca proteger a la mayoría de la población, es recomendable que la carga no supere los 15 kg. [24]

El resto de valores, se establecen conforme a la filosofía Lean y parámetros que establece el Método Renault de ergonomía. [25] [26] [27]



9.2. ANEXO II: Resultados Análisis 1 en Quest

En este Anexo encontramos los resultados Quest de la primera simulación realizada.

QUEST Current Run Summary Report

```

Model      : TPM.tiempfijos.mdl
Model Dir  : C:/deneb/QUESTlib/MODELS/
User       : User1
Date       : Sunday 13 May 2018
Time       : 7:47 PM

Length Units : cm
Time Units   : sec

Simulation Time : 7200.00000
Warmup Time    : 0.00000
Statistics Collection Time : 7200.00000
    
```

Model Summary			
Title	Name	Value	
Stat Collection Time	-	7200.000	
Min Util Element	Puesto3_1	56.788	
Max Util Element	Labor4_1	97.432	
Max Repairs	-	0.000	
Max Failure Time	-	0.000	
Max Part Created	Base	7200.000	
Max Part Consumed	Base	86.000	
Max Residence Time	Base	7034.441	
Max Part Source	FuenteDePiezas_1	7200.000	
Total Parts Created	-	7538.000	
Total Parts Consumed	-	421.000	

Source

Name	State Times		Created Parts	Creation Rate
	Blocked - Unload Block	Blocked - Wait Block		
FuenteDePiezas_1	254.975	6945.025	7200	1.000

Sink

Name	State Times		Finished Parts
	Idle		
Sumidero_1	7200.000		83

Buffer

Name	State Times			Max. Buffer Length	Avg. Buffer Length	Avg. Part Residence Time	No. of Entries	Max. Wait Time	Min. Wait Time	Zero Wait Entries	Final Content
	Idle	Blocked - Unload Block	Blocked - Wait Block								
Stock1_1	6378.426	0.000	821.574	1	0.114	9.553	86	10.591	0.000	8	0
Stock2_1	4976.205	0.000	2223.795	1	0.309	26.162	85	27.964	0.000	4	0
Stock3_1	6427.263	580.068	192.670	1	0.107	9.231	84	9.343	0.000	1	1

Machine

Name	State Times			Utilization (%)	Avg. Process Time	Parts Added	Parts Rejected	No. of Products	Avg. Cycle Time	Avg. Reqmt Time	Production Rate	Avg. Part Residence Time	Final Content
	Idle	Busy - Processing	Blocked - Unload Block										
Puesto1_1	509.950	4224.281	2465.769	58.671	54.461	87	0	86	48.600	5.861	0.012	38.636	1
Puesto2_1	242.437	5697.279	1260.284	79.129	69.428	86	0	85	66.600	2.819	0.012	40.713	1
Puesto3_1	368.421	4088.736	2742.842	56.788	52.959	85	0	84	48.600	4.334	0.012	40.626	1
Puesto4_1	963.813	5527.800	708.387	76.775	78.161	83	0	83	66.600	11.561	0.012	37.567	0

Labor

Name	State Times					Utilization (%)	Avg. Part Residence Time	No. of Parts Added	Avg. Contents	Distance Travelled	Final Content
	Idle	Idle - Parked	Busy - Processing	Busy - Loaded Travel	Busy - Empty Travel						
Labor1_1	2465.769	0.000	4224.281	254.975	254.975	65.753	2.931	87	0.035	31086.566	0
Labor2_1	54.461	821.574	5697.279	315.754	310.930	87.833	1.836	172	0.044	38202.703	0
Labor3_1	214.788	2223.795	4088.736	339.444	333.237	66.131	1.997	170	0.047	41006.613	0
Labor4_1	184.862	0.000	5527.800	558.748	928.590	97.432	2.235	250	0.078	90668.102	0

Part Classes

Name	Max. Residence	Min. Residence	Avg. Residence	Created Parts	Destroyed Parts	Parts in System
Base	7034.441	54.461	3492.874	7200	86	7114
Capa1	110.879	73.887	108.468	86	85	1
Capa2	96.421	56.514	93.549	85	84	1
Capa3	113.895	75.135	112.792	84	83	1
Solectron	10.922	10.922	10.922	83	83	0

Figura 59: Análisis Quest 1 parte 1



Cycle Process

Name	Element	Exec. Count	Avg. Cycle Time	Avg. Proc. Time	Avg. Reqmt. Time	Avg. Part Reqmt. Time	Avg. Labor Reqmt. Time	Avg. AGV Reqmt. Time	Avg. SR Reqmt. Time	Abort Count	Rejection Count	Pause Count	Avg. Pause Time
Process_1	Puesto1_1	86	48.600	54.461	5.861	5.861	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0.000
Process_2	Puesto2_1	85	66.600	69.428	2.819	2.819	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0.000
Process_3	Puesto3_1	84	48.600	52.959	4.334	4.334	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0.000
Process_4	Puesto4_1	83	66.600	78.161	11.561	11.561	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0.000

Figura 60: Análisis Quest 1 parte 2



9.3. ANEXO III: Resultados Análisis 2 en Quest

En este Anexo encontramos los resultados Quest de la segunda simulación realizada con tiempos variables.

QUEST Current Run Summary Report

```

Model      : TM1.mdl
Model Dir  : C:/deneb/QUESTlib/MODELS/
User      : User1
Date      : Sunday 13 May 2018
Time      : 7:52 PM

Length Units : cm
Time Units   : sec

Simulation Time      : 7200.00000
Warmup Time         : 0.00000
Statistics Collection Time : 7200.00000
  
```

Title	Name	Value
Stat Collection Time	-	7200.000
Min Util Element	Puesto3_1	56.202
Max Util Element	Labor4_1	97.486
Max Repairs	-	0.000
Max Failure Time	-	0.000
Max Part Created	Base	7200.000
Max Part Consumed	Base	86.000
Max Residence Time	Base	7036.312
Max Part Source	FuenteDePiezas_1	7200.000
Total Parts Created	-	7537.000
Total Parts Consumed	-	419.000

Source

Name	State Times		Created Parts	Creation Rate
	Blocked - Unload Block	Blocked - Wait Block		
FuenteDePiezas_1	254.973	6945.025	7200	1.000

Sink

Name	State Times		Finished Parts
	Idle		
Sumidero_1	7200.000		82

Buffer

Name	State Times			Max. Buffer Length	Avg. Buffer Length	Avg. Part Residence Time	No. of Entries	Max. Wait Time	Min. Wait Time	Zero Wait Entries	Final Content
	Idle	Blocked - Unload Block	Blocked - Wait Block								
Stock1_1	6309.565	0.000	890.435	1	0.124	10.354	86	37.002	0.000	21	0
Stock2_1	5017.012	0.000	2182.989	1	0.303	25.784	85	47.378	0.000	4	1
Stock3_1	6433.847	575.805	190.348	1	0.106	9.231	83	9.343	0.000	1	0

Figura 61: Análisis Quest 2 parte 1



Machine

Name	State Times			Utilization (%)	Avg. Process Time	Parts Added	Parts Rejected	No. of Products	Avg. Cycle Time	Avg. Reqmt Time	Production Rate	Avg. Part Residence Time	Final Content
	Idle	Busy - Processing	Blocked - Unload Block										
Puesto1_1	509.950	4217.049	2473.000	58.570	54.696	87	0	86	48.834	5.861	0.012	38.795	1
Puesto2_1	256.103	5628.803	1315.095	78.178	69.012	86	0	85	66.022	2.978	0.012	40.747	1
Puesto3_1	371.931	4046.546	2781.523	56.202	52.601	84	0	84	48.173	4.428	0.012	40.750	1
Puesto4_1	955.729	5544.419	699.852	77.006	78.397	83	0	82	66.855	11.515	0.011	37.695	1

Labor

Name	State Times					Utilization (%)	Avg. Part Residence Time	No. of Parts Added	Avg. Contents	Distance Travelled	Final Content
	Idle	Idle - Parked	Busy - Processing	Busy - Loaded Travel	Busy - Empty Travel						
Labor1_1	2473.000	0.000	4217.049	254.975	254.975	65.653	2.931	87	0.035	31086.566	0
Labor2_1	54.078	890.435	5628.803	315.754	310.930	86.882	1.836	172	0.044	38202.703	0
Labor3_1	300.032	2182.989	4046.546	337.197	333.237	65.514	1.995	169	0.047	40869.621	0
Labor4_1	181.041	0.000	5544.419	554.361	920.179	97.486	2.235	248	0.077	89887.953	0

Part Classes

Name	Max. Residence	Min. Residence	Avg. Residence	Created Parts	Destroyed Parts	Parts in System
Base	7036.312	53.980	3511.423	7200	86	7114
Capa1	143.204	74.255	108.580	86	85	1
Capa2	118.718	50.534	95.513	85	84	1
Capa3	134.257	77.899	113.726	84	82	2
Solectron	10.922	10.922	10.922	82	82	0

Cycle Process

Name	Element	Exec. Count	Avg. Cycle Time	Avg. Proc. Time	Avg. Reqmt. Time	Avg. Part Reqmt. Time	Avg. Labor Reqmt. Time	Avg. AGV Reqmt. Time	Avg. SR Reqmt. Time	Abort Count	Rejection Count	Pause Count	Avg. Pause Time
Process_1	Puesto1_1	86	48.834	54.696	5.861	5.861	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0.000
Process_2	Puesto2_1	85	66.022	69.012	2.978	2.978	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0.000
Process_3	Puesto3_1	84	48.173	52.601	4.428	4.428	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0.000
Process_4	Puesto4_1	82	66.855	78.397	11.515	11.515	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0.000

Figura 62: Análisis Quest 2 parte 2

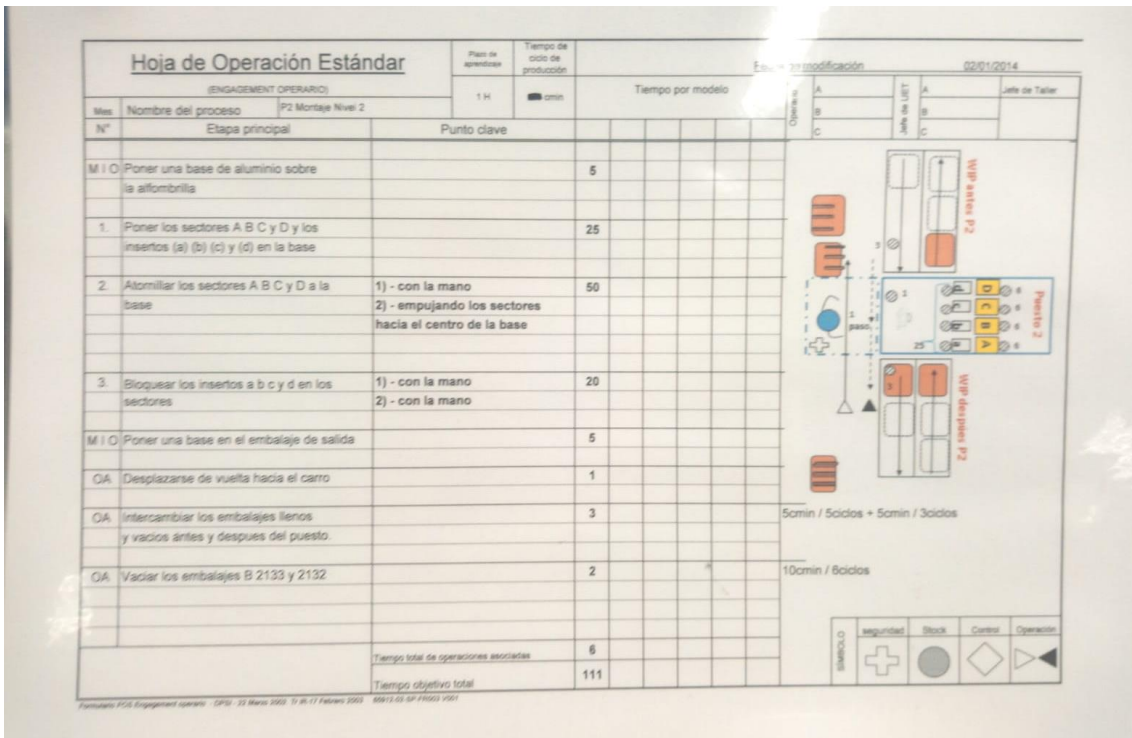


Figura 64: Hoja de Operación Estándar puestos 2 y 4

Para el cálculo del nuevo equilibrado, agrupamos las operaciones que se deben combinar, que son 1 y 2 en la Figura 63 y 1, 2 y 3 en la Figura 64.

Con esta agrupación, obtenemos un tiempo total por proceso de 96 cmin, que equivalen a 57,6 segundos, los cuales utilizamos para el nuevo cálculo.



9.5. ANEXO V: Resultados Análisis Equilibrado en Quest

En este Anexo encontramos los resultados Quest de la tercera simulación realizada con el nuevo tiempo calculado del equilibrado.

QUEST Current Run Summary Report

```

Model      : TFM_equil.mdl
Model Dir  : C:/Genieb/QUESTlib/MODELS/
User      : User1
Date      : Sunday, 13 May 2018
Time      : 9:56 PM

Length Units : cm
Time Units   : sec

Simulation Time      : 7200.00000
Warmup Time         : 0.00000
Statistics Collection Time : 7200.00000
  
```

Model Summary			
Title	Name	Value	
Stat Collection Time	-	7200.000	
Min Util Element	Puesto4_1	74.521	
Max Util Element	Labor4_1	96.950	
Max Repairs	-	0.000	
Max Failure Time	-	0.000	
Max Part Created	Base	7200.000	
Max Part Consumed	Base	96.000	
Max Residence Time	Base	7103.455	
Max Part Source	FuenteDePiezas_1	7200.000	
Total Parts Created	-	7577.000	
Total Parts Consumed	-	469.000	

Source

Name	State Times		Created Parts	Creation Rate
	Blocked - Unload Block	Blocked - Wait Block		
FuenteDePiezas_1	281.352	6918.648	7200	1.000

Sink

Name	State Times		Finished Parts
	Idle		
Sumidero_1	7200.000		92

Buffer

Name	State Times			Max. Buffer Length	Avg. Buffer Length	Avg. Part Residence Time	No. of Entries	Max. Wait Time	Min. Wait Time	Zero Wait Entries	Final Content
	Idle	Blocked - Unload Block	Blocked - Wait Block								
Stock1_1	6369.064	0.000	830.936	1	0.115	8.747	95	32.239	0.000	21	0
Stock2_1	6352.797	0.000	847.203	1	0.118	9.013	94	29.378	0.000	8	0
Stock3_1	6415.160	589.849	194.991	1	0.109	8.439	93	9.343	0.000	9	0

Figura 65: Análisis Quest 3 parte 1



Machine

Name	State Times			Utilization (%)	Avg. Process Time	Parts Added	Parts Rejected	No. of Products	Avg. Cycle Time	Avg. Reqmt Time	Production Rate	Avg. Part Residence Time	Final Content
	Idle	Busy - Processing	Blocked - Unload Block										
Puesto1_1	562.704	5335.564	1101.732	76.883	63.524	96	0	96	57.662	5.861	0.013	34.742	1
Puesto2_1	319.366	5434.737	1445.896	75.482	60.570	95	0	95	57.208	3.362	0.013	36.397	1
Puesto3_1	370.809	5423.044	1406.147	75.320	61.637	94	0	94	57.692	3.945	0.013	36.516	1
Puesto4_1	1117.576	5365.502	716.922	74.521	69.926	93	0	92	57.880	12.017	0.013	32.836	1

Labor

Name	State Times					Utilization (%)	Avg. Part Residence Time	No. of Parts Added	Avg. Contents	Distance Travelled	Final Content
	Idle	Idle - Parked	Busy - Processing	Busy - Loaded Travel	Busy - Empty Travel						
Labor1_1	1101.732	0.000	5335.564	281.352	281.352	84.698	2.931	96	0.039	34302.418	0
Labor2_1	240.513	830.936	5434.737	348.799	345.015	85.119	1.836	190	0.048	42294.871	0
Labor3_1	185.213	847.203	5423.044	375.385	369.155	85.661	1.997	188	0.052	45387.160	0
Labor4_1	199.426	20.203	5365.502	621.440	993.430	96.950	2.235	278	0.086	98442.438	0

Part Classes

Name	Max. Residence	Min. Residence	Avg. Residence	Created Parts	Destroyed Parts	Parts in System
Base	7103.455	62.980	3556.657	7200	96	7104
Capa1	116.204	58.907	81.207	96	95	1
Capa2	109.718	59.266	86.063	95	94	1
Capa3	107.257	62.237	85.790	94	92	2
Soletron	10.922	2.387	10.180	92	92	0

Cycle Process

Name	Element	Exec. Count	Avg. Cycle Time	Avg. Proc. Time	Avg. Reqmt. Time	Avg. Part Reqmt. Time	Avg. Labor Reqmt. Time	Avg. AGV Reqmt. Time	Avg. SR Reqmt. Time	Abort Count	Rejection Count	Pause Count	Avg. Pause Time
Process_1	Puesto1_1	96	57.662	63.524	5.861	5.861	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0.000
Process_2	Puesto2_1	95	57.208	60.570	3.362	3.362	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0.000
Process_3	Puesto3_1	94	57.692	61.637	3.945	3.945	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0.000
Process_4	Puesto4_1	92	57.880	69.926	12.017	12.017	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0.000

Figura 66: Análisis Quest 3 parte 2

9.6. ANEXO VI: Imágenes realistas línea de montaje Escuela Lean

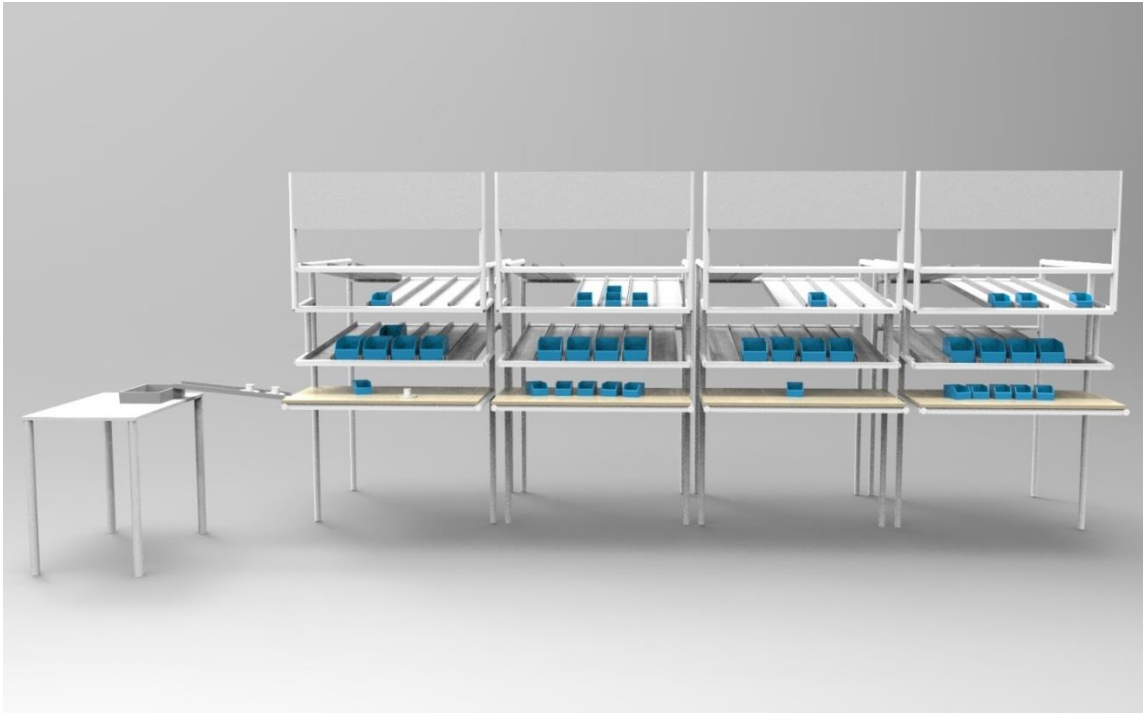


Figura 67: Simulación realista línea montaje Escuela Lean

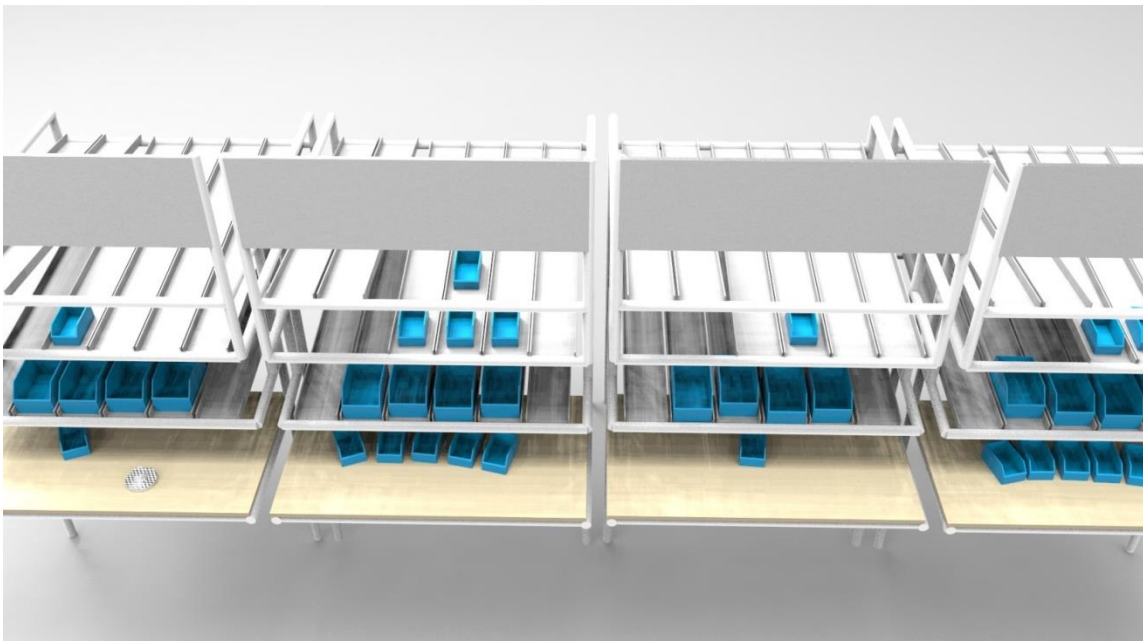


Figura 68: Simulación realista línea montaje Escuela Lean (2)

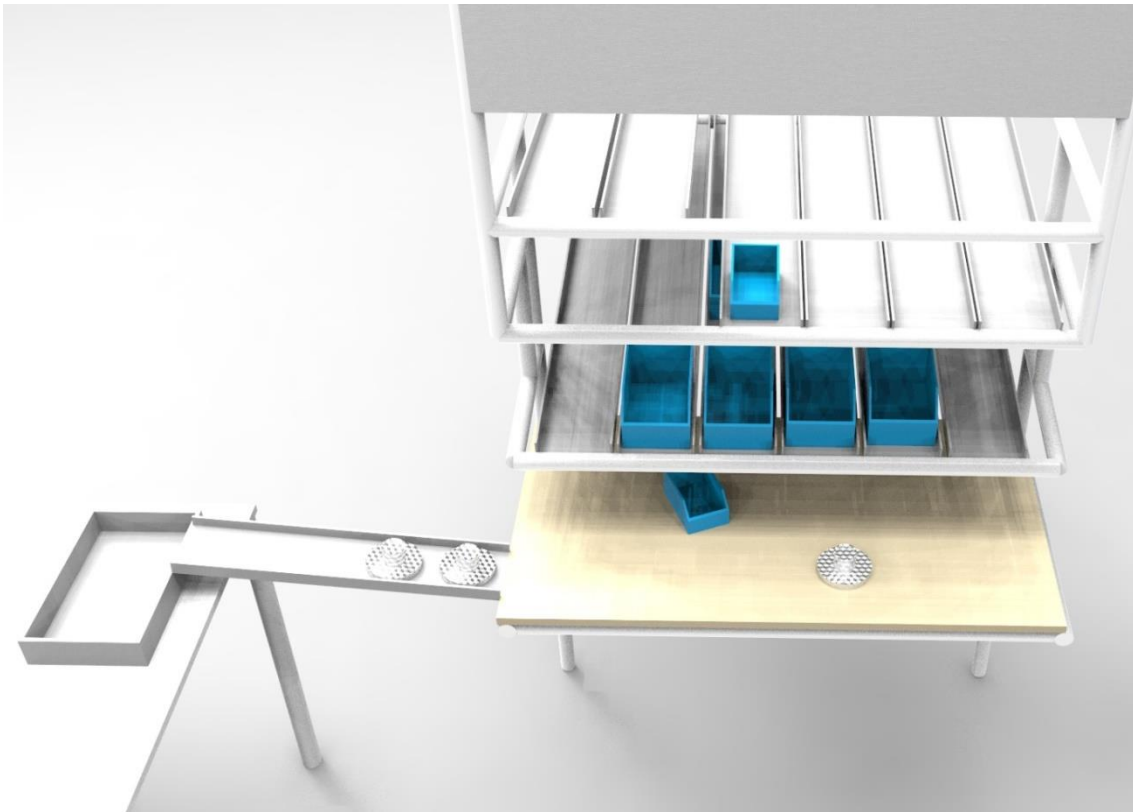


Figura 69: Simulación realista Puesto 1 línea montaje Escuela Lean

