



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Optimización de un puesto de montaje
aplicando técnicas de Lean Manufacturing**

Autor: D. Diego del Pozo Fraile
Tutor: D. Manuel San Juan Blanco

Valladolid, septiembre, 2018



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Máster en Ingeniería Industrial



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Optimización de un puesto de montaje
aplicando técnicas de Lean Manufacturing**

Autor: D. Diego del Pozo Fraile
Tutor: D. Manuel San Juan Blanco

Valladolid, septiembre, 2018



RESUMEN

OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE FABRICACIÓN

El presente Proyecto de Fin de Máster trata de, mediante la aplicación de distintas herramientas de Lean Manufacturing a un puesto de trabajo "tradicional" dedicado al ensamblaje de ruedas de manutención, implantar progresivamente distintas mejoras hasta conseguir un puesto de la industria actual.

Mediante el estudio de los datos tomados a los diversos voluntarios que participaron en cada fase del proyecto, se consigue finalmente un puesto de trabajo con un sistema de pick-to-light (picking) que sirva al operario de ayuda en la realización de sus funciones.

Con la aplicación de estas herramientas, las mejoras adoptadas consiguen disminuir el tiempo de ensamblaje, disminuir los fallos que provocan que una pieza sea no válida debido a un mal ensamblaje, mejorar la ergonomía del operario en la realización de sus funciones, garantizar la trazabilidad, el embalaje y el layout del producto final.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF MANUFACTURING PROCESSES

This Master's Thesis Project will show that, through the implantation of the different tools of Lean Manufacturing and 5S to a "traditional" workstation dedicated to the assembly of handling wheels, is possible to progressively introduce different improvements to achieve a position in the current industry.

Throughout the study of the data taken from different volunteers that participated in each phase of the project, I will achieve a workstation with a system of pick-to-light (picking) that will help the operator to accomplish his functions.

The application of these tools and the improvements implemented will help to reduce the assembly time, to reduce the failures that makes a piece to have to be discarded because of a bad assembly, to improve the operator's ergonomic in his workstation to maximize the performance of his functions, to ensure traceability and to improve the packaging and layout of the final product.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a la Universidad de Valladolid, a mi tutor D. Manuel San Juan Blanco y al Técnico de Laboratorio D. Julián de Castro de Frutos, con los que tantas horas hemos pasado y tantos quebraderos de cabeza les hemos dado.

A nuestros amigos y familiares que acudieron y actuaron como voluntarios desinteresadamente en aras de nuestra amistad.

A mis padres, familia y amigos por el apoyo y ayuda prestados.



ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Planteamiento del trabajo.....	2
CAPÍTULO II. ESTADO DE LA TÉCNICA	3
2.1 ¿Qué es el lean manufacturing y cuáles son sus objetivos?	3
2.2 Conceptos de mejora continua, despilfarro y valor añadido	3
2.3 Técnicas de Lean Manufacutirng usadas	4
2.4 Ergonomía del puesto de trabajo.....	6
2.4.1 Ergonomía.....	6
2.4.2 Diseño del puesto de trabajo.....	6
2.4.3 El sistema pick-to-light.....	10
CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FASES DE MEJORA	13
3.1 Problema propuesto. Descripción.....	13
3.2 Fases de mejora. Evolución del puesto.....	18
3.2.1 Fase 1: punto de partida.....	18
3.2.2 Resultados fase 1, sujeto 1	20
3.2.3 Resultados fase 1, sujeto 2	21
3.2.4 Fase 2	22
3.2.5 Resultados fase 2, sujeto 3	29
3.2.6 Resultados fase 2, sujeto 4	31
3.2.7 Fase 3	33
3.2.8 Resultados fase 3, sujeto 5	44
3.2.9 Resultados fase 3, sujeto 6	45
3.2.10 Fase 4	47
3.2.11 Resultados fase 4, sujeto 7	52
3.2.11.1 Sujeto 7, sin picking.....	52
3.2.11.2 Sujeto 7, con picking.....	54
3.2.12 Resultados fase 4, sujeto 8	55



CAPÍTULO IV. ANÁLISIS GLOBAL DE RESULTADOS	57
4.1 Descripción del puesto	57
4.2 Análisis de los datos adquiridos	59
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	63
5.1 Conclusiones	63
5.2 Líneas futuras	63
CAPÍTULO VI. PRESUPUESTO	67
CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXO I. Listado referencias disponibles	73
ANEXO II. Gama general de fabricación	74
ANEXO III. Gama de ubicación de los soportes	85
ANEXO IV. Gama de reposición de material	86
ANEXO V. Gama de almacenaje y entrega de producto terminado	88
ANEXO VI. Listado códigos de barras para operaciones	89
ANEXO VII. Listado de referencias en códigos de barras, con cliente	89
ANEXO VIII. Planos	93



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curvas de alcance máximo, de Farley y de Squires para el percentil 5 de la población masculina (mm)	8
Figura 2: Curvas de alcance máximo, de Farley y de Squires para el percentil 5 de la población femenina (mm)	9
Figura 3: Dimensiones antropométricas con el sujeto de pie y planos de referencia	9
Figura 4: Alcances en mm en posición de pie).....	10
Figura 5: Ejemplo real de un sistema de pick-to-light. Fuente: Cisco-Eagle Material Handling Solutions & Conveyor Systems	11
Figura 6: Significado del código de las referencias	17
Figura 7: Diversos ejemplos	17
Figura 8: Puesto de montaje en la fase inicial	19
Figura 9: Llaves fija y de codo del 12-13.....	19
Figura 10: Puesto de montaje en la fase 2.....	22
Figura 11: Medidas de la mesa de trabajo disponible.	23
Figura 12: Dispensadores de grasa de empuje y en spray	24
Figura 13: Layout del puesto de montaje en la fase 2.....	25
Figura 14: Ejemplo estantería metálica modular de carga pesada con aglomerado)	26
Figura 15: Distribución de los elementos.....	26
Figura 16: Cajas simplemente apoyadas y con tope	27
Figura 17: Alturas acotadas de las baldas, sin rodillos.....	28
Figura 18: Ubicación del panel-corchera	29
Figura 19: Llaves plana y de codo con Poka-yoke	31
Figura 20: Ejemplos llave plana fija de una boca y llave de estrella acodada de una boca.....	31
Figura 21: Detalle de la línea de rodillos	34
Figura 22: Vista guías con rodillos y con perfiles cuadrados fijos	34
Figura 23: Alturas acotadas de las baldas, con rodillos.....	35
Figura 24: Detalle calza de 35mm.....	36



Figura 25: Detalles de las guías laterales.....	37
Figura 26: Útil de montaje vacío y con la ubicación de las diversas ruedas.....	38
Figura 27: Detalle de la alineación de los distintos soportes.....	39
Figura 28: Silentblock SB-T 45/150 marca WÜRTH.....	39
Figura 29: Imagen de ambos atornilladores y el vaso	40
Figura 30: Rodillos de entrada.	40
Figura 31: Rodillos de salida con papelera.....	41
Figura 32: Identificadores de la parte trasera. Etiqueta indicadora del tipo de piezas.....	41
Figura 33: Soporte de embalajes y embalaje montado	42
Figura 34: Dispensador de cinta de embalar.....	43
Figura 35: Vista general de la mesa con los identificadores.....	43
Figura 36: Detalles de distintos identificadores de la mesa.....	44
Figura 37: Lector de códigos de barras.....	47
Figura 38 Detalles de los agujeros realizados para pasar los cables, los sujeta bridas adhesivos y la ubicación de la Raspberry Pi y el módulo maestro Arduino	49
Figura 39: Detalle de los cables y las cajas.....	50
Figura 40: Detalles de la ubicación de los módulos de picking en la estructura.....	51
Figura 41: Impresora de etiquetas y Etiqueta colocada en un embalaje	51
Figura 42: Puesto de montaje final, fase 4	52
Figura 43: Evolución de las mejoras implantadas	56
Figura 44: Comparación puestos inicial y final	57
Figura 45: Tiempos totales de ensamblaje, por fases	60
Figura 46: Porcentaje de ensamblajes erróneos, por fases	61
Figura 47: Comparación dimensional	64
Figura 48: Indicador luminoso de disponibilidad del puesto de trabajo	65
Figura 49: Ubicación del lector de código de barras	65



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dimensiones antropométricas en milímetros de la población laboral española, año 2015	7
Tabla 2: Tipos de soportes	13
Tabla 3 (1): Tipos de ruedas (1)	14
Tabla 3 (2): Tipos de ruedas (2)	14
Tabla 4: Cojinete de rodillos	15
Tabla 5: Tipos de cojinetes lisos	15
Tabla 6: Tipos de tornillos	16
Tabla 7: Tuerca	16
Tabla 8: Resumen de todos los materiales y características más reseñables	16
Tabla 9 (1). Resultados Prueba, fase 1, sujeto 1	20
Tabla 9 (2). Resultados lote 1, fase1, sujeto 1	20
Tabla 9 (3). Resultados lote 2, fase1, sujeto 1	20
Tabla 9 (4). Resultados lote 3, fase1, sujeto 1	21
Tabla 10. Resultados Prueba, fase 1, sujeto 2	21
Tabla 11: Ejemplos de las tarjetas Kanban	23
Tabla 12 (1). Resultados prueba, fase 2, sujeto 3	29
Tabla 12 (2). Resultados lote 1, fase 2, sujeto 3	30
Tabla 12 (3). Resultados lote 2, fase 2, sujeto 3	30
Tabla 12 (4). Resultados lote 3, fase 2, sujeto 3	30
Tabla 13 (1). Resultados prueba, fase 2, sujeto 4	31
Tabla 13 (2). Resultados lote 1, fase 2, sujeto 4	32
Tabla 13 (3). Resultados lote 2, fase 2, sujeto 4	32
Tabla 13 (4). Resultados lote 3, fase 2, sujeto 4	32
Tabla 14 (1). Resultados prueba, fase 3, sujeto 5	44
Tabla 14 (2). Resultados lote 1, fase 3, sujeto 5	44



Tabla 14 (3). Resultados lote 2, fase 3, sujeto 5	45
Tabla 14 (4). Resultados lote 3, fase 3, sujeto 5.	45
Tabla 15 (1). Resultados prueba, fase 3, sujeto 6	45
Tabla 15 (2). Resultados lote 1, fase 3, sujeto 6	46
Tabla 15 (3). Resultados lote 2, fase 3, sujeto 6	46
Tabla 15 (4). Resultados lote 3, fase 3, sujeto 6	46
Tabla 16 (1). Resultados prueba, fase 4, sujeto 7 (s.p.).....	53
Tabla 16 (2). Resultados lote 1, fase 4, sujeto 7 (s.p.)	53
Tabla 16 (3). Resultados lote 2, fase 4, sujeto 7 (s.p.)	53
Tabla 16 (4). Resultados lote 3, fase 4, sujeto 7 (s.p.)	54
Tabla 16 (5). Resultados lote de 10 con picking, fase 4, sujeto 7 (c.p.)	54
Tabla 17. Resultados lote 10 con picking, fase 4, sujeto 8.....	55
Tabla 18. Errores de ensamblajes producidos	62
Tabla 19. Presupuesto general	67
Tabla 20. Presupuesto cajas estandarizadas.....	67
Tabla 21. Presupuesto estructuras.....	68
Tabla 22. Presupuesto utillajes y útil de montaje	68
Tabla 23. Presupuesto sistema de pick-to-light.....	69

ÍNDICE ANEXOS

Anexo I. Listado referencias disponibles	73
Anexo II. Gama general de fabricación	74
Anexo III. Gama de ubicación de los soportes	85
Anexo IV. Gama de reposición de material	86
Anexo V. Gama de almacenaje y entrega de producto terminado	88
Anexo VI. Listado códigos de barras para operaciones	89
Anexo VII. Listado de referencias en códigos de barras, con clientes	89
Anexo VIII. Planos.....	93



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Máster en Ingeniería Industrial

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Desde que en la primera década del siglo XX se empezase a desarrollar un modelo de empresa distinto al tradicional, más centrado en el trabajo en cadena y con un sentimiento de inclusión en la empresa por parte de todos y cada uno de los trabajadores, se desarrollaron y evolucionaron una serie de técnicas empresariales orientadas a una mejora de la producción y la productividad de la empresa.

El Lean Manufacturing tiene su origen en el sistema de producción Just in Time (JIT) desarrollado en los años 50 por la empresa automovilística japonesa Toyota, que ya venía desarrollando esta mentalidad desde principios del siglo XX. El sistema de producción Toyota no tuvo un interés notable por parte de las empresas japonesas y americanas hasta la primera crisis del petróleo de 1973, cuando se dieron cuenta de los notorios buenos resultados que Toyota había logrado: aumento de la competitividad de la empresa y una mayor y mejor productividad.

1.2. OBJETIVOS

La realización del presente Trabajo de Fin de Máster se enmarca dentro de su obligatoriedad para la obtención del título de Máster en Ingeniería Industrial. El objetivo de este proyecto es doble:

1º: partiendo de la situación inicial de un puesto de trabajo “tradicional” dedicado al ensamblaje de ruedas de manutención, se analizarán las posibles mejoras que se puedan introducir aplicando herramientas de Lean Manufacturing. Posteriormente las posibles mejoras se implementarán sobre el puesto de trabajo, evolucionando éste hacia un puesto de la industria actual: mayor ergonomía, mayor seguridad laboral, aumento de la producción, disminución o eliminación de fallos, menores tiempos improductivos...

2º: por último, este proyecto pasará a formar parte de las instalaciones del Laboratorio de Tecnología de Fabricación del Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, en su sede Paseo del Cauce. Su finalidad será la de actuar como un módulo educativo para los futuros estudiantes, que éstos puedan ver in situ la aplicación de las técnicas Lean Manufacturing en un puesto de trabajo.

También, se realizará una estandarización de los productos iniciales y finales, un estándar de reposición de material basado en el sistema Just in Time y un sistema de pick-to-light (picking) para la ayuda al operario en la selección de las piezas para el ensamblaje.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

Uno de los pilares del Lean Manufacturing es la mejora continua, por lo que en el presente Trabajo de Fin de Máster se va trabajar aplicando esta pauta.

En este trabajo se aplicarán progresivamente herramientas de Lean Manufacturing a un puesto de ensamblaje de ruedas de manutención “tradicional”, con el objetivo de obtener un puesto de trabajo final basado en un sistema de picking para ayuda del operario en la realización de sus funciones.

Cada una de las mejoras introducidas se han implantado en un total de 4 fases distintas, de tal manera que, en cada una de esas fases, se han realizado pruebas de ensamblaje gracias a la ayuda de distintos voluntarios, ajenos totalmente a este Trabajo de Fin de Máster (en total 5 hombres y 3 mujeres). Estas pruebas tienen como objetivo el de observar, obtener datos e interpretarlos, para seguir introduciendo mejoras.

La memoria del presente Trabajo de Fin de Máster está organizada de la siguiente manera:

Capítulo I. Introducción

Capítulo II. Estado de la técnica

Capítulo III. Planteamiento del problema. Fases de mejora

Capítulo IV. Análisis global de resultados

Capítulo V. Conclusiones y Trabajos futuros

Capítulo VI. Presupuesto

Capítulo VII. Bibliografía

Capítulo VIII. Anexos

CAPÍTULO II. ESTADO DE LA TÉCNICA

2.1 ¿QUÉ ES EL LEAN MANUFACTURING Y CUÁLES SON SUS OBJETIVOS?

De forma resumida puede decirse que el Lean consiste en la aplicación sistemática y habitual de un conjunto de técnicas de fabricación, que buscan la mejora de los procesos productivos a través de la reducción de todo tipo de “desperdicios”, definidos éstos como los procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios. La clave del modelo está en generar una nueva cultura tendente a encontrar la forma de aplicar mejoras en la planta de fabricación, tanto a nivel de puesto de trabajo como de línea de fabricación, y todo ello en contacto directo con los problemas existentes para lo cual se considera fundamental la colaboración y comunicación plena entre directivos, mandos y operarios (Hernández-Matías y Vizán-Idoipe, 2013).

2.2 CONCEPTOS DE MEJORA CONTINUA, DESPILFARRO Y VALOR AÑADIDO

Dos de los primeros autores en plasmar una de las técnicas de Lean Manufacturing fueron, según Iborra-Juan *et al.* (1992), Georges Archier y Hervé Seryex en 1984, creando la teoría de los 5 ceros, en la que se muestran los objetivos principales del Lean Manufacturing:

Ceros defectos: hay que conseguir que la calidad del producto final sea del 100% “haciendo las cosas a la primera” y eliminando cualquier tipo de coste adicional surgido de una mala calidad del producto. Cumpliendo este pretexto, se consigue una mayor producción, lo que conlleva a una mayor productividad al ser los recursos utilizados absolutamente los mismos. Esto se conseguirá si se provee de máquinas adecuadas, programas de mejora de la calidad tanto para clientes como de proveedores, correctos TPM (Total Productive Maintenance o Mantenimiento Productivo Total) y realizando un correcto mantenimiento de la línea de producción y del puesto de trabajo en particular.

Cero averías: una avería provoca un retraso en la producción, es decir, un no cumplimiento de los objetivos marcados; se produce un retraso por fallo. Esto se ha de evitar, o al menos minorar, y se consigue eligiendo un adecuado Layout del producto, con personal polivalente formado y motivado, y con programas permanentes y exigentes de mantenimiento productivo.

Cero stocks: el más perjudicial de los derroches es el stock. De los stocks se ha de prescindir lo máximo que se pueda. Los stocks ocultan problemas como la incertidumbre de entrega de los proveedores, la falta de calidad, paradas de máquinas, ruptura de stocks, demanda incierta, averías, cuellos de botella... y evitan que se luche contra ellos.

Cero plazos: para poder reducir el nivel de stock y conseguir la flexibilidad necesaria para adaptarse a los posibles cambios que se puedan producir en la demanda, se han de reducir los ciclos de fabricación. La manera de solucionarlo consiste en eliminar los tiempos que no sean directamente indispensables tales como tiempos de espera, de preparación y de tránsito.

Cero burocracias: con la minimización de las tareas administrativas y disponiendo de información rápida, precisa y válida del proceso, se reducen los plazos de fabricación y la consecuente entrega a cliente. Hay una constante búsqueda de lo más sencillo, lo más simple.

2.3 TÉCNICAS DE LEAN MANUFACTURING USADAS

El concepto de Lean Manufacturing engloba una gran variedad de técnicas para la correcta gestión de la producción. En ocasiones estas técnicas no están relacionadas entre sí, por lo que su implementación se puede realizar de forma individual o en forma de conjunto, según el proceso productivo en cuestión. Su éxito ha sido ampliamente corroborado en multitud de empresas, en diversos sectores y de distintos tamaños.

Por ejemplo, para la realización de este Trabajo de Fin de Máster nos basamos en concepto de mejora continua, expresado en el denominado Ciclo PCDA o Ciclo de Deming. Desarrollado como una herramienta de trabajo en la década de 1950. Cada una de estas cuatro letras representa lo siguiente:

P: Plan (Planificar). Evaluar un problema, definir los objetivos y las medidas necesarias para alcanzarlos.

D: Do (Hacer). Poner en práctica lo planificado en el punto anterior. Normalmente no se desarrolla en el conjunto del proceso productivo, sino que se aplica en un puesto piloto, línea piloto o planta piloto, según el alcance y dimensiones que tenga esta acción. Una vez se implantan las mejoras, se realiza la formación del personal afectado con el fin de fomentar su capacitación.

C: Check (Evaluar, Comprobar). Una vez desarrolladas P y D, se ha de analizar y comprobar lo establecido en D con lo pensado en P, verificando la efectividad (o no) de las mejoras.

A: Act (Actuar). Corregir los aspectos negativos obtenidos y ajustarlos, aprendiendo de la experiencia y sacando conclusiones. Una vez realizado este punto se repetiría el ciclo.

Otra de las herramientas básicas a desarrollar es el concepto de HOSHIN o líneas flexibles. Con esta herramienta lo que se trata es de dar las soluciones para eliminar, o al menos reducir lo máximo posible, los desperdicios que puedan producirse. De esta manera se mejora la calidad, el flujo de los materiales, la adaptación del puesto de trabajo a una fluctuación de la demanda, la seguridad... en definitiva, lo que se pretende es mejorar la productividad.

Para que el operario sepa qué tiene que hacer en su puesto de trabajo, es necesario crear un estándar de trabajo que describa detalladamente la mejor manera de realizar las acciones. El objetivo es doble: el operario ha de desempeñar sus funciones sin ningún tipo de dificultad; y con el orden necesario para que sea lo más eficiente posible.

Relacionada con la anterior herramienta se define el SMED (Single Minute Exchange of Die). Es el tiempo medido desde que ha terminado de ser producida una pieza hasta que se termina la siguiente pieza válida. Es un método de trabajo vital en la gestión de la producción que permite reducir los posibles tiempos muertos o improductivos. El secreto de esta técnica del Lean Manufacturing y de la mejora que proporciona está en preparar las herramientas y los materiales necesarios cuando aún está en producción la pieza actual, organizando las operaciones actuales y el orden en que han de realizarse.

El sistema o método KABAN es un sistema de información con el que se identifican, y en consecuencia controlan, en cualquier momento todos los materiales de los que se dispone, no sólo en el puesto de trabajo, sino en el conjunto de la factoría. La forma más sencilla de este método es la de colocar una etiquetas identificativas de cada material en las cajas o estanterías que los contienen. Para ello, es necesario disponer de un almacén tanto de materias primas como final.

Una vez se dispone del entorno de trabajo, los materiales, las herramientas y demás elementos necesarios para que el operario pueda realizar su trabajo, puede ser necesario la instalación de algún poka-yoke para ayuda en la realización de sus funciones. La traducción literal de poka-yoke es a prueba de errores, pero no es más que una técnica de calidad que se aplica con el fin de evitar errores durante la realización de las operaciones. Garantiza la calidad del producto final y la seguridad de la maquinaria ante los trabajadores y los procesos productivos.

Por último, la Teoría de las 5 S. De forma muy resumida podría identificarse mediante la expresión “un lugar para cosa y cada cosa en su lugar”. Con este precepto se racionaliza y optimiza el uso del espacio, máquinas, herramientas y útiles. Las 5S de en las que se basa esta técnica son las siguientes:

Seiri (Eliminar): en esta fase se eliminaron todos los útiles y herramientas innecesarias que no tenían ningún uso durante el ensamblaje. El fin es el de reducir el tiempo de identificación y búsqueda de los artículos a seleccionar. Se retiraron también otros objetos que molestaban dejando únicamente lo esencial.

Seiton (Ordenar): se buscó un posible orden y colocación de los elementos, con ayuda de unas estanterías. Los materiales se colocaron en unas cajas estandarizadas con su correspondiente identificación de lo que contenían, mejorando así la identificación de los mismos y evitando tener que tomar medidas con el calibre constantemente.

Seido (Proceso de limpieza): como se observó en la fase anterior, el proceso de lubricación del eje era una fuente muy grande de suciedad. Por lo tanto, se adquirió un dispensador de grasa para poder mantener tanto al operario como el puesto de trabajo en buenas condiciones.

Seiketsu (Estandarizar): este paso es importante, ya que era necesaria una correspondencia entre las referencias de producto terminado y la identificación de las piezas empleadas en su montaje. Además, se creó una Gama de Fabricación “inicial” habiendo observado a los voluntarios durante los ensamblajes.

Shitsuki (Disciplina): con el estándar ya realizado, la creación de la disciplina implica seguirlo. Si no se cumple este punto sería como dar un paso atrás en el camino del Lean Manufacturing.

2.4 ERGONOMÍA DEL PUESTO DE TRABAJO

2.4.1 ERGONOMÍA

Un diseño inadecuado del puesto de trabajo puede acarrear un peligro para la seguridad y la salud del operario, entre otros riesgos. Por tanto, para realizar un diseño adecuado de un puesto de trabajo se ha de tener en cuenta factores técnicos, económicos, organizativos y humanos, pero siempre asegurando la protección y la salud de los trabajadores.

El diseño de un puesto de trabajo implica la consideración de muchos y muy variados factores, entre los que destacan el espacio, el utillaje, los útiles y las herramientas necesarias para realizar el trabajo, las condiciones ambientales, la caracterización del trabajo y su organización, sin olvidar como elemento fundamental las personas involucradas.

Por último, otro factor a considerar es el denominado "Espacio de Trabajo", que según la norma UNE-EN ISO 6385:2016 "Principios ergonómicos para el diseño de sistemas de trabajo", se define como "el volumen asignado a una o varias personas, así como los medios de trabajo que actúan conjuntamente con él (o ellos), en el sistema de trabajo para cumplir la tarea". Todos estos factores son los indicados por las diversas Notas Técnicas de Prevención del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (NTP-INSHT).

2.4.2 DISEÑO DEL PUESTO DE TRABAJO

El proceso del diseño físico del espacio de trabajo, teniendo en cuenta todos los factores anteriormente mencionados, se basa en adecuar el puesto de trabajo a los requerimientos de movimiento y de las operaciones a realizar por las personas que los ocupan. Por lo tanto, se necesita conocer las propiedades biomecánicas y antropométricas de las personas, del mismo modo que las propiedades físicas del puesto de trabajo, incluyendo máquinas, utillaje, mandos, señales, etc.

Con el fin de diseñar correctamente el espacio de trabajo, no es necesario considerar todas las medidas antropométricas, sino que se pueden tomar teniendo en cuenta la postura de trabajo: de pie, de pie-sentado, o sentado.

Como no es posible desarrollar un puesto de trabajo de forma individualizada, ni tampoco usando la media de las medidas antropométricas, los datos que hemos escogido para desarrollar este trabajo son datos estadísticos de las características antropométricas, considerando los percentiles de la función de probabilidad normal de Gauss. Así, se toman medidas que estén entre el percentil 5 y el percentil 95, no

incluyendo las medidas que queden por debajo y por encima de este intervalo. Para los alcances se tomará el percentil 5 como medida más desfavorable y para los huecos el percentil 95.

En la norma UNE-EN ISO 7250-1:2010 “Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Parte 1: Definiciones de las medidas del cuerpo y referencias (ISO 7250-1:2008)” se pueden encontrar las variables antropométricas más importantes para el diseño tecnológico. Contienen un resumen de los datos antropométricos de la población laboral española y corresponde a la muestra conjunta, es decir, hombres y mujeres en una proporción del 64 y 36 %, aproximadamente, que correspondía a la distribución, entre ambos sexos, de la población ocupada en 2010.

En la Tabla 1 se muestran las dimensiones antropométricas de la población laboral española del año 2015. Los datos de la altura de hombros son los que hemos usado de referencia para hacer un primer diseño de la altura máxima del puesto de trabajo. En nuestro caso las medidas que necesitaremos para nuestro estudio, todas ellas referentes a la posición de pie:

Tabla 1: Dimensiones antropométricas en milímetros de la población laboral española, año 2015.

HOMBRES	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA
Altura de los hombros	1414,62	63,68
Altura de los hombros, sentado	590,36	29,85
Longitud de la pierna	437,99	25,65
Altura del tercer metacarpiano	746,38	40,51
MUJERES	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA
Altura de los hombros	1320,09	57,66
Altura de los hombros, sentado	556,32	29,04
Longitud de la pierna	399,41	26,17
Altura del tercer metacarpiano	706,94	36,61

Las dos características principales que definen al plano de trabajo son la altura y la zona de alcance óptimo.

Plano horizontal de trabajo en posición de pie

Tanto la experiencia como diferentes investigaciones, señalan que la superficie principal de trabajo debe situarse ligeramente por debajo del codo cuando el puesto está diseñado para una postura de pie. Las tareas de precisión que no requieran un esfuerzo muy grande se deberá situar el plano de trabajo entre los 50 y 100 mm por debajo del codo, y las que requieran manipular objetos pesados o realizar un esfuerzo entre los 100 y 200 mm por debajo del codo.

Como regla general que resume todo esto, se podría asumir que la superficie de trabajo debe tener una altura tal que los brazos puedan colgar relajadamente y una posición horizontal o levemente inclinada hacia el trabajador.

Zona de alcance miembros superiores

Una de las características biomecánicas que se debe tener en cuenta es el alcance adecuado de las extremidades superiores. Una disposición correcta de los elementos de trabajo permitirá realizar las funciones del puesto con menos esfuerzo y evitando movimientos innecesarios.

El espacio de alcance conveniente es aquel en el que un objeto puede ser alcanzado de forma fácil, sin tener que efectuar movimientos indebidos. Se entiende por alcance normal cuando, si se efectúan movimientos con los brazos, tomamos como punto fijo la articulación del hombro y como radio la posición de agarre cuando el brazo está extendido.

Se van a definir a continuación las características que debe cumplir tanto el alcance en el plano horizontal como en el plano vertical (también llamado sagital según las NTP del INSHT).

Planos de alcance horizontal

Los primeros estudios de este campo fueron desarrollados por R. R. Farley en 1955. Farley demuestra que el esfuerzo es menor si el trabajo es dentro del área normal, extendiéndose éste a la superficie barrida por el movimiento del brazo completamente extendido, que gira alrededor del hombro entre -90 y +90 grados. Posteriormente, en 1956, Squires comprendió que cuando el brazo se aproxima a los extremos definidos del área descrito por Farley, se producen agarrotamientos y calambres. Debido a esto, limitó el ángulo de trabajo propuesto por Farley y supuso que, aunque el brazo continuaba estando en posición vertical relajada, el codo no se situaría estacionario en la misma posición.

En las Figuras 1 y 2 se pueden observar las curvas de alcance máximo de Squires y de Farley para el percentil 5 de la población masculina y femenina respectivamente, porque, de forma genérica, corresponde al valor que permite al 95% de la población abarcar las zonas de alcance.

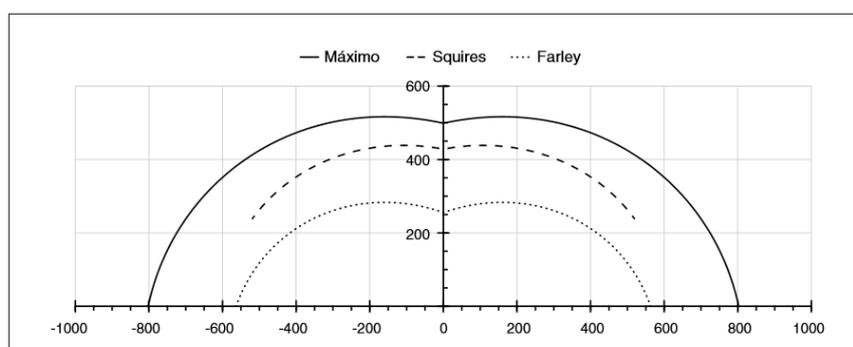


Figura 1: Curvas de alcance máximo, de Farley y de Squires para el percentil 5 de la población masculina (mm).

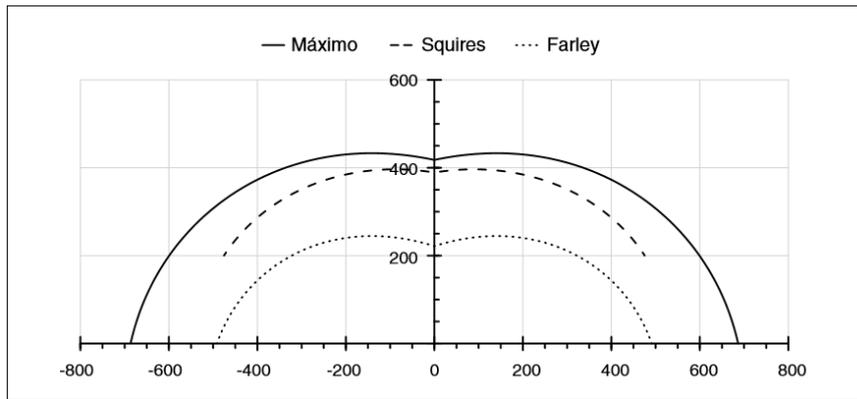


Figura 2: Curvas de alcance máximo, de Farley y de Squires para el percentil 5 de la población femenina (mm).

Planos de alcance vertical (Alcance en el plano sagital)

De acuerdo a lo establecido por el INSHT en 2008, en un diseño ergonómico de un espacio de trabajo, se deben considerar las zonas de alcance, la altura de las superficies de trabajo y el espacio que se necesita para llevar a cabo las tareas, eliminando posturas que comprometan a la seguridad y la salud de las personas.

Para nuestro puesto de trabajo, la postura seleccionada es de pie. Se utilizarán la altura de los hombros (h) y la altura del tercer metacarpiano (m) como características antropométricas para determinar el alcance en el plano sagital, según se representa en la Figura 3. El plano sagital es un plano imaginario que divide al cuerpo en dos partes simétricas, derecha e izquierda como aparece reflejado en la Figura 3.

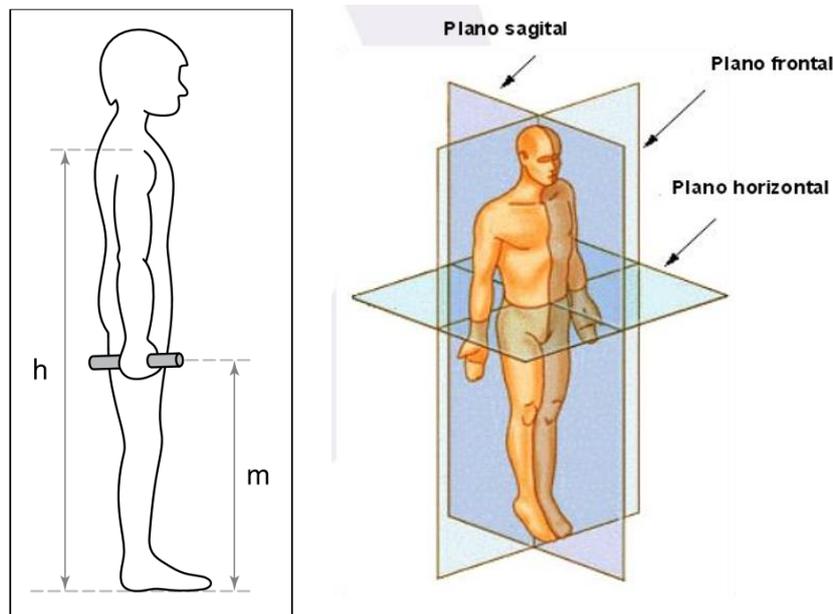


Figura 3: Dimensiones antropométricas con el sujeto de pie y planos de referencia.

Para la población trabajadora española los límites del alcance se definen en la Figura 4:

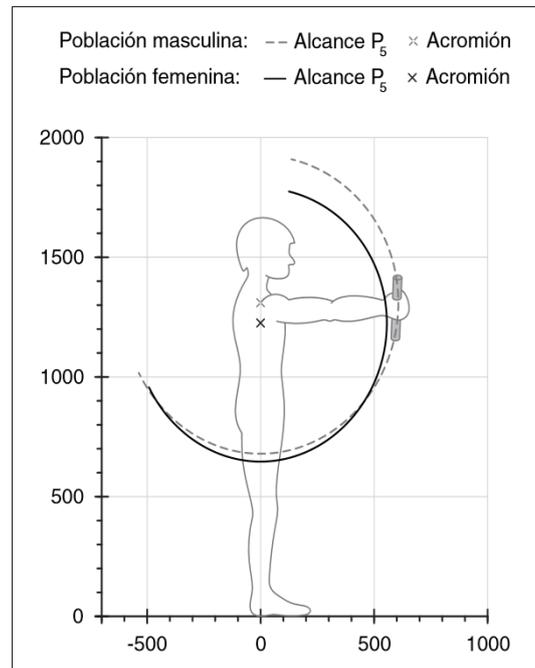


Figura 4: Alcances en mm en posición de pie.

2.4.3 EL SISTEMA PICK-TO-LIGHT

Los sistemas de pick-to-light, o picking, surgen en las grandes compañías como elemento de ayuda al operario en la realización del desempeño habitual de su trabajo. Las empresas que primeramente implantaron este sistema solían operar a una gran velocidad, con gran cantidad de artículos distintos y con grandes y complejos almacenes. Por todos estos factores, las empresas buscaban constantemente nuevas soluciones tecnológicas y procesos que permitiesen incrementar la eficiencia de los almacenes. Al existir cientos de artículos, el personal del almacén tiene que ser lo suficientemente rápido y preciso para que los pedidos de los clientes se lleven a cabo correctamente y se asegure la satisfacción del cliente.

Funcionamiento

Cuando es necesario recoger gran cantidad de artículos distintos del almacén o del puesto de trabajo, situados en distintas localizaciones, es necesario velocidad y precisión. Con el fin de aumentar la eficiencia de esta tarea, se pueden instalar este tipo de sistemas de picking.

Básicamente este sistema está formado por luces, usualmente situadas debajo de cada artículo correspondiente, que indican al trabajador el lugar donde se encuentra cada referencia que tiene que recoger.

En el almacén, el empleado escanea un código de barras, situado en el contenedor de recogida, que representa un pedido del cliente. Una vez este código es leído, el sistema de picking indica mediante señales luminosas las referencias que el operario ha de recoger.

Un display indica además el número de artículos que el operario debe recoger. Cuando el operario selecciona la cantidad de artículos que se le indica, presiona el botón situado en las inmediaciones del display. La finalidad de este botón es la de la confirmación, por parte del operario, que ha recogido la cantidad de artículos especificados en el display. Esta acción se repetirá tantas veces sea necesaria hasta que no haya ninguna luz encendida, lo que significará que ése pedido está finalizado.

Este sistema de picking mediante indicadores luminosos es el más ampliamente usado debido a las ventajas que presenta frente a otros indicadores picking, como pueden ser el guiado de voz. La gran variedad de sistemas de picking que existen permiten adaptar este sistema a las necesidades concretas de una empresa: señales acústicas, señales luminosas de distintos colores e incluso con parpadeos, peticiones de reposición o de recogida de elementos, indicación de un fallo, organización del picking por puesto de trabajos individualizados o en conjunto de una línea...



Figura 5: Ejemplo real de un sistema de pick-to-light. Fuente: Cisco-Eagle Material Handling Solutions & Conveyor Systems.

CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FASES DE MEJORA

3.1 PROBLEMA PROPUESTO. DESCRIPCIÓN

El puesto de trabajo a tratar en este Trabajo de Fin de Máster se dedica al ensamblaje de 24 modelos distintos de ruedas de mantenimiento. Para ello, primeramente, hay que identificar cada producto:

Soportes: se cuenta con 4 modelos distintos de soportes, subdivididos en cuanto sus características de tamaño (grande o pequeño) y movilidad (fijo o móvil), según lo especificado en la Tabla 2. Estos soportes constan de una pieza de chapa de acero embutido de hasta 4 mm de espesor con diferentes acabados: 2 fijos fabricados en una pieza entera y 2 móviles cuya base permite el giro y direccionamiento de la rueda. Las alturas de los soportes hasta el eje son de 70 mm para los pequeños y 84 mm para los grandes.

Tabla 2: Tipos de soportes.

Tipos de soportes			
Fijos		Móviles	
Pequeño	Grande	Pequeño	Grande
Altura al eje: 70mm	Altura al eje: 84mm	Altura al eje: 70mm	Altura al eje: 84mm
			

En adelante cada soporte se denominará: fijo pequeño, fijo grande, móvil pequeño y móvil grande.

Ruedas: se cuentan con 6 modelos distintos. Cada una de ellas está fabricada de distintos materiales (nylon de alta resistencia, poliamix o poliuretano) y poseen distintos diámetros de eje (20 mm, 14 mm o 12 mm), según lo especificado en la Tabla 3 (1) y la Tabla 3 (2). La única característica común es que tiene un diámetro de rodadura de 80 mm, permitiendo que cualquiera de estas ruedas se pueda montar en cualquiera de los 4 soportes, obteniendo así las 24 combinaciones posibles.

Tabla 3 (1): Tipos de ruedas (1).

Tipos de ruedas (1)		
Material: nylon de alta resistencia		
Diámetro del eje: 20mm	Diámetro del eje: 14mm	Diámetro del eje: 12mm
		

Tabla 3 (2): Tipos de ruedas (2).

Tipos de ruedas (2)		
Material: poliamix	Material: poliuretano inyectado	
Diámetro del eje: 20mm	Diámetro del eje: 20mm	Diámetro del eje: 12mm
		

En adelante cada rueda se denominará: blanca d20, blanca d14, blanca d12, hueso d20, roja d20 y roja d12.

Cojinete de rodillos: es el elemento de unión entre la pista de rodadura interior de la rueda de diámetro 20 mm y el cojinete liso de diámetro 12 mm. Únicamente se usa en este caso. El cojinete de rodillos permite un mejor deslizamiento entre la rueda y el cojinete liso.

Tabla 4: Cojinete de rodillos.

Cojinete de rodillos	
Diámetro exterior: 20 mm	
Diámetro interior: 12 mm	
	

En adelante, se distinguirá entre 1 o 0 según si la rueda de manutención lleva o no lleva cojinete de rodillos.

Cojinetes lisos: fabricados de acero, hay de dos tipos según su diámetro externo: de 12 mm y 14 mm. La colocación de un modelo u otro dependerá del diámetro del eje de la rueda que se vaya a ensamblar. De tal manera que el cojinete de diámetro 14 mm únicamente se usará para la rueda de 14 mm; pudiéndose ensamblar el cojinete de 12 mm en el resto de ruedas (ya sea directamente o bien mediante el uso del cojinete de rodillos). Hay que indicar que por el interior de ambos cojinetes se introducirá un tornillo de métrica 8, ya que el diámetro interior de ambos cojinetes es de 9 mm.

Tabla 5: Tipos de cojinetes lisos.

Tipos de cojinetes lisos	
Diámetro exterior: 12 mm	Diámetro exterior: 14 mm
	

Tornillos: se cuentan con dos tipos de tornillos según su longitud: M8x60 mm y M8x65 mm. Se tratan de tornillos de cabeza hexagonal M8x65 DIN 931 roscados sólo en parte de su longitud. Servirán de unión entre el soporte y el conjunto rueda. Cada tornillo está indicado para un tipo de soporte, de tal manera que los de M8x60 mm se usarán en los soportes pequeños y los tornillos M8x65 mm se usan en los soportes grandes.

Tabla 6: Tipos de tornillos.

Tipos de tornillos	
M8x60 mm	M8x65 mm
	

Tuerca: únicamente existe un modelo de tuerca ya que la métrica de ambos tornillos es la misma. Es una tuerca auto bloqueante M8 DIN 985 - 316 de acero inoxidable. Es el elemento que dará rigidez a la rueda de manutención, ya que es la encargada de mantener unido el eje.

Tabla 7: Tuerca.

Tuerca
Tuerca auto bloqueante M8


Una vez descritos todos los materiales de los que se compondrá la rueda de manutención, se muestra un resumen de todos los materiales y características más reseñables:

Tabla 8: Resumen de todos los materiales y características más reseñables.

Resumen de todos los materiales y características más reseñables					
Soportes	Ruedas	Cojinete de rodillos	Cojinetes lisos	Tornillos	Tuerca
Fijo pequeño	blanca d20	Sí: 1	12	M8x60	M8
Fijo grande	blanca d14	No: 0	14	M8x65	
Móvil pequeño	blanca d12				
Móvil grande	hueso d20				
	roja d20				
	roja d12				

Para ensamblar las distintas combinaciones existentes, desarrollamos un sencillo sistema de codificación de los componentes. Esta codificación será empleada de manera interna, de tal manera que sea una forma visual y de fácil comprensión para el operario. El código de cada una de las referencias posibles se ha realizado de la siguiente manera (Figura 6):

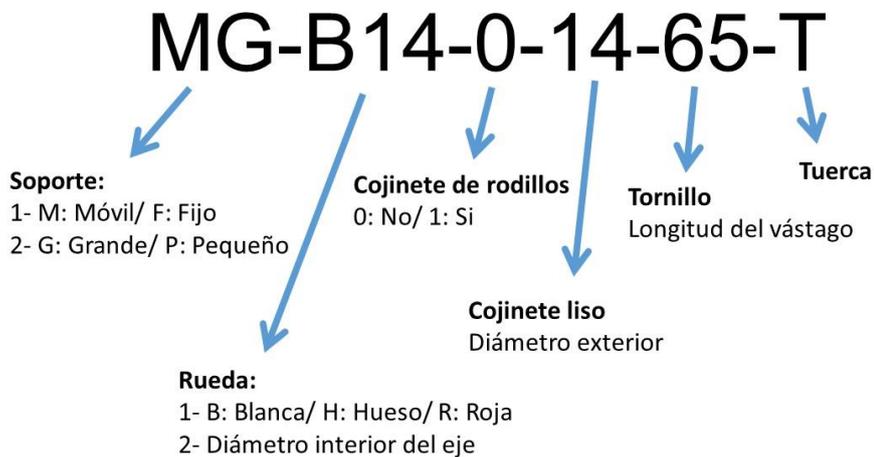


Figura 6: Significado del código de las referencias.

Teniendo en cuenta todas las combinaciones que se pueden dar, el número de conjuntos distintos que se van a poder fabricar son 24, los cuales aparecen detallados en el Anexo I Listado de Referencias Disponibles. A continuación, se procede a mostrar tres ejemplos: montaje de un producto final (1), de un cojinete de rodillos junto con cojinete liso (2) y cojinete liso únicamente (3).



Figura 7: Diversos ejemplos.

3.2 FASES DE MEJORA. EVOLUCIÓN DEL PUESTO

En el diseño de este puesto de trabajo se ha procedido a analizar tanto las tareas que en este puesto se realizan como la interacción de las personas con el mismo. Progresivamente se han ido aplicando mejoras continuas en las distintas fases del proyecto, apoyándonos siempre en las herramientas del Lean Manufacturing.

Se partió de un puesto de trabajo “tradicional” en el que no se tenía implementada ninguna herramienta de apoyo a la fabricación y se pretende terminar con un puesto de trabajo de la industria actual. En resumen, se ha intentado realizar una mejora continua dividida en varias fases de mejora, siguiendo el concepto de Kaizen (cambio, mejora continua).

En cada una de las fases de mejora en que se pretende elaborar este proyecto, se procederá a realizar distintas pruebas, o simulacros, en los que se medirán los tiempos de ensamblaje y observarán posibles fallos y mejoras a implementar. Estas pruebas introducirán siempre una visión realista de lo que puede suceder en un puesto de trabajo cualquiera. El propio hecho de observar a diferentes personas aportará distintas ideas y puntos de vista que posteriormente se valorarán. El objetivo último es el de intentar obtener un puesto estándar y que no tenga mucha variabilidad en los resultados que puedan ofrecer distintas personas.

La forma de actuar para todos los voluntarios ha sido la siguiente: se insta al voluntario a que ensamble una rueda de prueba sin darle ningún tipo de explicación, ni formación previa sobre el puesto de trabajo, los componentes que lleva el conjunto, el orden de ensamblaje... Una vez esta rueda de prueba está ensamblada, se procede a explicar al voluntario las características del puesto, los componentes y otras observaciones y características necesarias para el correcto ensamblaje de la rueda de manutención. Posteriormente, el voluntario procede a montar 9 ruedas, divididas en 3 lotes de 3 ruedas por lote. Mientras el voluntario está ensamblando las ruedas, nosotros nos dedicamos a su observación y a la toma de datos, a fin de buscar posibles fallos en el montaje o mejoras que se puedan introducir. Una vez el voluntario ha acabado de montar cada lote, procedemos a desmontarlo para comprobar si el ensamblaje es 100% correcto, o no lo es y así indicarle cómo subsanar el error.

3.2.1 FASE 1: PUNTO DE PARTIDA

En esta primera fase se partió de un puesto de trabajo “tradicional” (Figura 8), con las siguientes características:

- Los materiales de fabricación están situados en cajas no estandarizadas, distribuidas aleatoriamente y sin ninguna identificación.
- Los materiales no están agrupados, sino que están todos mezclados en el interior de las distintas cajas.
- Las herramientas se encuentran de manera desordenada e incluso hay algunas que no son necesarias para realizar el ensamblaje.

- Se proporciona un calibre, o pie de rey, para poder identificar las medidas características de los materiales a escoger según el producto a fabricar.
- No se proporciona información acerca de la secuencia de montaje.
- La mesa de trabajo no se puede regular en altura, siendo esta altura fija en 80cm.
- La grasa necesaria para lubricar los cojinetes no tiene dispensador, teniendo el operario que engrasar con el dedo desde un bote ubicado en el suelo.
- Se coloca la hoja de referencias a fabricar en el corcho de información, a modo de referencia para el trabajador.
- Se proporciona al trabajador dos llaves del 12-13, una fija y otra de codo, para apretar el conjunto de la rueda de manutención (Figura 9).



Figura 8: Puesto de montaje en la fase inicial.



Figura 9: Llaves fija y de codo del 12-13.

Pese a todos estos inconvenientes, era necesario partir desde este punto, puesto que la observación de varias personas durante el proceso de ensamblaje en un puesto de trabajo de estas características, ofrece muchas ideas como punto de partida a múltiples soluciones, ya que cada individuo realiza los procedimientos de montaje de distintas maneras y reacciona de manera diferente.

3.2.2 RESULTADOS FASE 1, SUJETO 1

Hombre de 29 años y 1,80 m de estatura. Primeramente se le insta a que monte una rueda de prueba, sin darle ningún tipo de explicación ni formación previa. Los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla 9 (1). Resultados Prueba, fase 1, sujeto 1.

1 unidad de MG-R12-0-12-65-T → Prueba		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de MG-R12-0-12-65-T	8'35	8'35"

A continuación procedió a montar los siguientes lotes:

Tabla 9 (2). Resultados Lote 1, fase1, sujeto 1.

Lote 1: 3 unidades de MP-R12-0-12-65-T		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de FG-R12-0-12-65-T	3'27	3'27"
2ª de FG-R12-0-12-65-T	26"	3'53"
3ª de FG-R12-0-12-65-T	32"	4'25"

Observaciones

- En cuanto al procedimiento de montaje, primeramente, recoge todas las unidades de material necesarias para la fabricación y luego realiza el ensamblaje. El apriete definitivo de las 3 ruedas lo realiza al final todas seguidas. De ahí deriva que se tengan esos tiempos tan grandes hasta que finaliza el primer producto.
- Se olvida de lubricar en las tres ruedas.
- El apriete no se realiza al 100%.

Tabla 9 (3). Resultados Lote 2, fase1, sujeto 1.

Lote 2: 3 unidades de FG-B12-0-12-65-T		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de MP-B20-1-12-60-T	8'35"	8'35"
2ª de MP-B20-1-12-60-T	55"	9'30"
3ª de MP-B20-1-12-60-T	26"	9'56"

Observaciones

- Monta correctamente las tres unidades.
- El apriete no se realiza al 100%.

Tabla 9 (4). Resultados Lote 3, fase1, sujeto 1.

Lote 3: 3 unidades de FP-B12-0-12-65-T		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de FP-H20-1-12-60-T	13'30"	13'30"
2ª de MG-R20-1-12-65-T	18"	13'48"
3ª de MP-B14-0-14-60-T	27"	14'15"

Observaciones

- Monta las dos primeras unidades correctamente, pero en la tercera coloca el tornillo que no es.
- El apriete no se realiza al 100%.

3.2.3 RESULTADOS FASE 1, SUJETO 2

Se trata de un hombre de 23 años y 1,75 m de estatura. En esta prueba se analizó simplemente el procedimiento de montaje, siendo muy parecido al realizado en la primera prueba. Primeramente, seleccionó los materiales necesarios y luego procedió a su montaje. El apriete siguió siendo insuficiente y se perdió mucho tiempo en la selección y organización de los materiales.

La única toma de datos que realizamos fue la correspondiente al ensamblaje de prueba:

Tabla 10. Resultados Prueba, fase 1, sujeto 2.

1 unidad de MG-R12-0-12-65-T → Prueba		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de MG-R12-0-12-65-T	13'30"	13'30"

Como observaciones generales de esta fase destacamos las siguientes cosas:

- No se produce un suficiente apriete de la tuerca auto bloqueante, con lo cual se queda con algo de holgura el eje.
- Se produce una gran pérdida de tiempo en buscar y medir cada material ya que no están correctamente ordenados ni tienen una identificación clara.
- Falta un dispensador de grasa para lubricar correctamente el eje sin manchar el puesto o al propio operario.
- Pérdida de tiempo en seleccionar la herramienta adecuada para apretar el tornillo y la tuerca. Se cuenta con 2 llaves con 2 extremos de distintos calibres, con lo cual no hay una rápida elección del extremo correcto.

- Se observaron erratas en la hoja de referencias y combinaciones de producto terminado.
- La ergonomía del puesto de trabajo es mejorable ya que la altura de la mesa es inadecuada, el trabajador realiza posturas incómodas en el montaje y se encuentra encorvado.

3.2.4 FASE 2

Una vez terminada la Fase 1, pasamos a analizar los resultados y las observaciones realizadas. Nos dimos cuenta que existía una falta de organización y que había numerosas carencias.

Lo primero que hicimos fue aplicar la Teoría de las 5S al puesto de trabajo. Es necesario mejorar y mantener unas condiciones de trabajo por medio de un correcto orden y limpieza del mismo. Como es una técnica cuya posibilidad de implementación está abierta a cualquier proceso productivo y es algo básico a la hora de implementar el Lean Manufacturing, se han tenido en consideración en este proyecto como algo fundamental.

Por tanto, las mejoras introducidas se reflejaron en que el puesto de trabajo se transformase al de la Figura 10:



Figura 10: Puesto de montaje en la fase 2.

A continuación, se especifican con mayor profundidad cada una de las mejoras realizadas:

Herramientas a usar

Se han eliminado todas las herramientas que no son necesarias, manteniendo únicamente las dos llaves a usar (una fija del 12-13 y una de codo del 12-13).

Cajas estandarizadas

Una vez ya sabíamos todas las referencias distintas de las que consta el puesto de trabajo (16), se procedió a la compra de cajas estandarizadas de dimensiones 300x200x120 mm y de 200x150x120 mm. En el frontal de cada una de estas cajas se colocó un sencillo identificador (Tarjeta Kanban), con el fin de facilitar al operario la búsqueda de las diferentes piezas. La tarjeta Kanban desarrollada posee unas dimensiones de 64,5x50 mm y tiene el siguiente aspecto:

Tabla 11: Ejemplos de las tarjetas Kanban.

	SOPORTE FIJO PEQUEÑO		RUEDA BLANCA Øinterior 12 mm		COJINETE LISO Øexterior 14 mm
--	-------------------------------------	--	--	--	---

Mesa de trabajo

Al retirar el anterior puesto de trabajo hubo que proveerse de una mesa de trabajo. La mesa a utilizar fue un modelo típico de mesa de oficina que había en el Taller. En esta fase la altura de la mesa la fijamos en 80 cm para hacer las pruebas. Las dimensiones de mesa de trabajo son las siguientes:

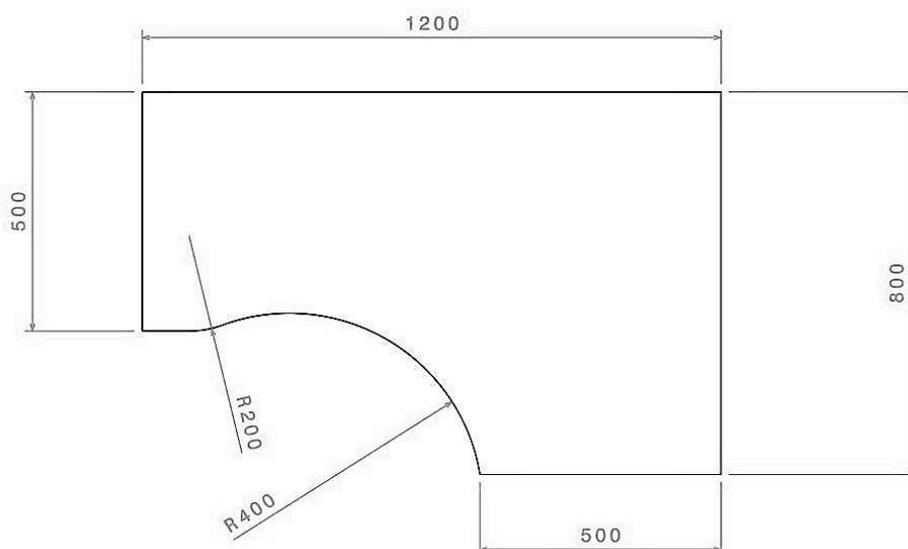


Figura 11: Medidas de la mesa de trabajo disponible.

Dispensadores de grasa

Para proceder a engrasar los cojinetes de las ruedas, se compraron dos dispensadores de grasa. El dispensador de grasa de empuje es el que se usará de forma habitual, reservando el dispensador en spray para cuando se dé el caso que el de empuje se estropee. De esta manera se elimina la necesidad que tenía el operario de tener que agacharse para introducir su dedo en un bote de grasa cada vez que era necesario engrasar.



Figura 12: Dispensadores de grasa de empuje y en spray.

Lista referencias y Gama General de Fabricación

Se procede a subsanar los 4 errores existentes en la Hoja de Referencias facilitadas a los voluntarios en la Fase 1. Una vez hecho esto procedimos a elaborar una Gama de Fabricación del conjunto de la rueda.

En esta primera gama se explicaban los distintos pasos y la secuencia que había que dar para ensamblar la rueda. Posteriormente, esta gama se fue modificando acorde a los cambios o mejoras que se fueron introduciendo, hasta obtener la Gama General de Fabricación final, adjuntada en el Anexo II.

Flujos de movimiento de material: Lay-out

Como en todo puesto de trabajo, se definieron dos flujos de movimiento de materiales: el entrante (la orden de fabricación) y el saliente (el producto terminado). Este Layout se formó con dos cintas de rodillos que también se encontraban en el Taller.

Ambos rodillos se colocaron en los laterales de la mesa, según se puede apreciar en la Figura 13. Los rodillos rojos corresponden al Layout de entrada, mientras que los rodillos azules representan el Layout de salida.



Figura 13: Layout del puesto de montaje en la fase 2.

Estanterías

Este fue el paso más importante que se realizó en esta fase. Nos dimos cuenta que el anterior puesto de trabajo no podía satisfacer de forma correcta nuestras nuevas necesidades, por lo que se optó por realizar una nueva estructura, unas nuevas estanterías.

Necesitábamos unas estanterías que satisficiesen los requerimientos de introducir 18 huecos a tres niveles de alturas distintos. Por ello, recurrimos a dos estanterías modulares de carga pesada metálicas con aglomerado.

16 de los 18 huecos disponibles se usaron para ubicar en ellos las 16 referencias de las que se dispone. En esta fase se decidió crear un hueco específico para ubicar allí las piezas defectuosas o erróneas, en definitiva, un hueco con su respectiva caja denominada calidad, desperdicios, chatarra... El hueco restante es el necesario para que en un futuro se ubique ahí una pantalla, englobada dentro del sistema picking, que sirva de ayuda al operario.



Figura 14: Ejemplo estantería metálica modular de carga pesada con aglomerado.

Una vez se tenían las estanterías y la mesa, pasamos a pensar la distribución de los distintos componentes y la altura a la que iban a estar los mismos. Finalmente, la distribución escogida, que se ha mantenido durante el resto de las fases, fue la siguiente:

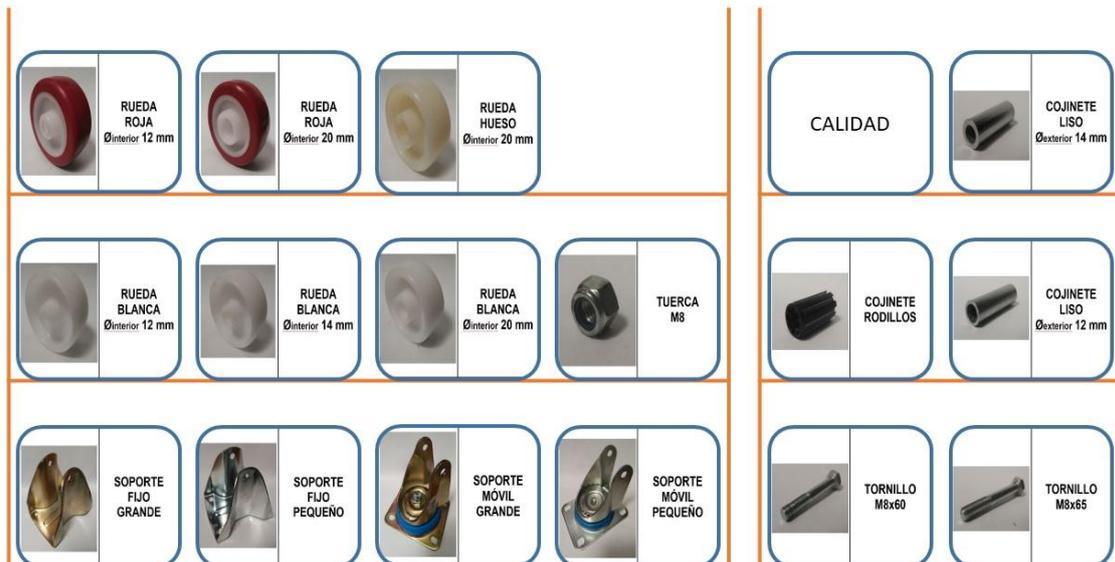


Figura 15: Distribución de los elementos.

Estos elementos ya están separados cada uno en sus cajas normalizadas, debidamente identificadas en el frontal de las mismas mediante las Tarjetas Kanban anteriormente explicadas. Las cajas están simplemente apoyadas en cada una de las baldas de la estantería, aún no se han colocado las líneas de rodillos ni el tope en la parte frontal. No se dispone de ningún método para evitar que las cajas puedan caer por la parte frontal, por lo que en la siguiente fase se colocaron a modo de topes un perfil de 90° de goma, como se muestra a continuación:



Figura 16: Cajas simplemente apoyadas y con tope.

La altura de cada una de las estanterías es distinta según se trate del lado largo o el corto. Esto se debe a que en el lado largo se ubican las piezas de mayor tamaño y peso (soportes y ruedas), mientras que en el lado corto se ubican los elementos de menor tamaño y peso (cojinetes lisos, cojinetes de rodillos y tornillos). En esta fase la balda está completamente horizontal y la distribución a lo largo de la misma de las distintas cajas normalizadas fue uniforme.

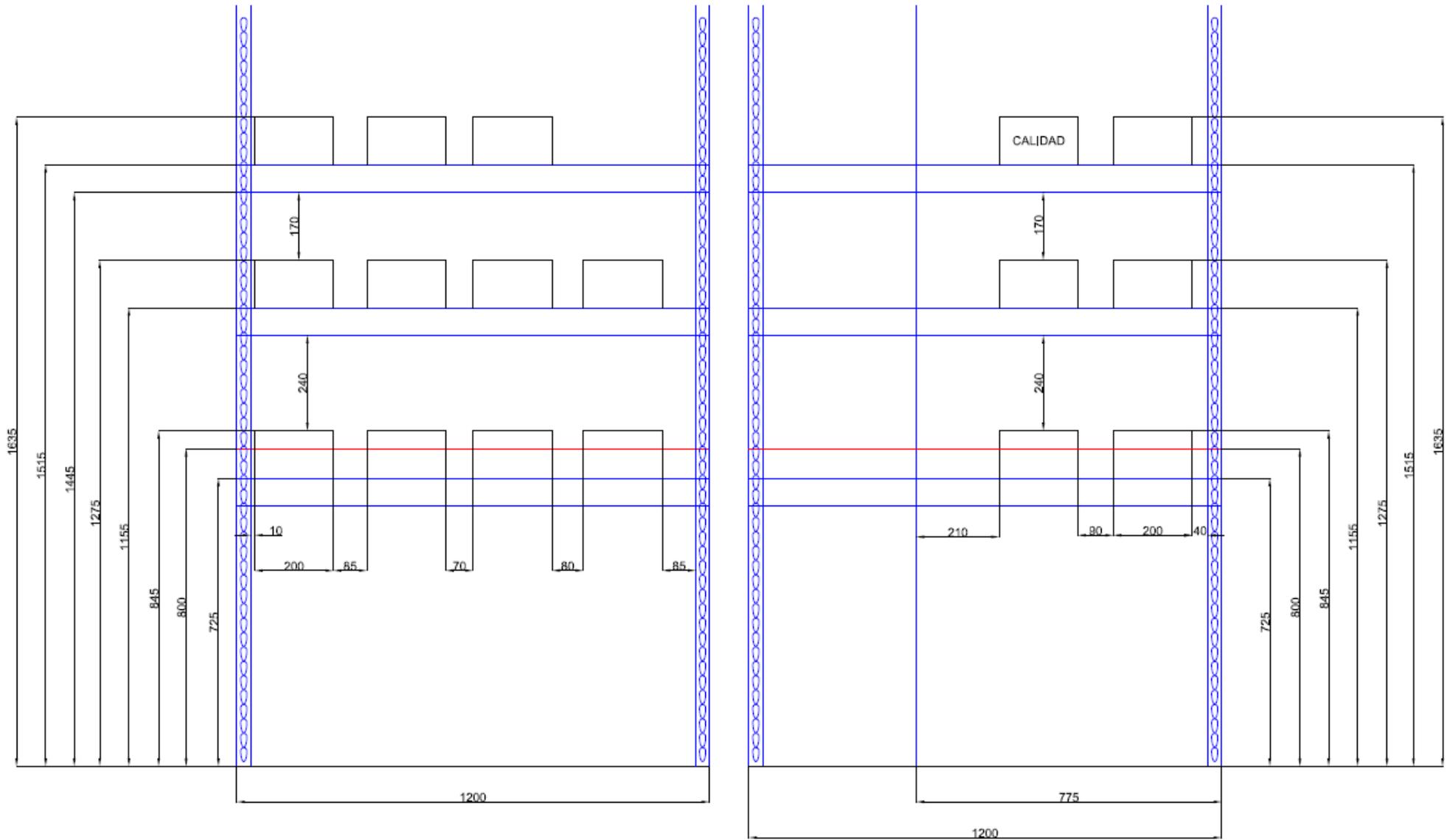


Figura 17: Alturas acotadas de las baldas, sin rodillos.

Panel-corchera

Por último, se coloca un panel-corchera en el lateral de la mesa. En este panel se ubicará la Lista de Referencias Disponibles, para que sirva de ayuda en los primeros montajes al operario.



Figura 18: Ubicación del panel-corchera.

3.2.5 RESULTADOS FASE 2, SUJETO 3

Hombre de 24 años y 1,75 m de estatura. Como en los casos anteriores, primeramente se le insta a que monte una rueda de prueba, sin darle ningún tipo de explicación ni formación previa. Los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla 12 (1). Resultados Prueba, fase 2, sujeto 3.

1 unidad de MG-R12-0-12-65-T → Prueba		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de MG-R12-0-12-65-T	3'11"	3'11"

Observaciones

- No se apreció ningún error en el montaje salvo que no engrasó, pero puesto que no se lo indicamos no tendría que saberlo.

A continuación, se le dijo que ensamblase 3 lotes de las siguientes características:

Tabla 12 (2). Resultados lote 1, fase 2, sujeto 3.

Lote 1: 3 unidades de FG-R12-0-12-65-T		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de FG-R12-0-12-65-T	1'30"	1'30"
2ª de FG-R12-0-12-65-T	1'04"	2'34"
3ª de FG-R12-0-12-65-T	38"	3'12"

Observaciones

- En este lote hasta que no ha terminado de montar una rueda, no pasa a la siguiente.
- Los 2 primeros montajes el apriete se realizó correctamente y en la última fue incorrecto, flojo.
- El engrase se realizó antes de colocar el tornillo y la tuerca, pero de manera incorrecta. Engrasó en el hueco del cojinete liso, en vez de entre el cojinete liso y la rueda. Este paso incorrecto produjo suciedad de nuevo.
- No se confunde en ningún momento al tomar todas las referencias de las cajas y lo hace con relativa rapidez.

Tabla 12 (3). Resultados lote 2, fase 2, sujeto 3.

Lote 2: 3 unidades de MP-B20-1-12-60-T		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de MP-B20-1-12-60-T	3'19"	3'19"
2ª de MP-B20-1-12-60-T	21"	3'40"
3ª de MP-B20-1-12-60-T	20"	4'

Observaciones

- En este lote monta las 3 ruedas sin apretarlas del todo y deja el apriete definitivo para el final.
- Confusión entre los dos tipos de tornillos de 60 y los de 65 mm.
- El engrase es incorrecto ya que lo realiza una vez ensamblada la rueda.

Tabla 12 (4). Resultados lote 3, fase 2, sujeto 3.

Lote 3: 3 referencias distintas		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de FP-H20-1-12-60-T	1'37"	1'37"
2ª de MG-R20-1-12-65-T	1'21"	2'58"
3ª de MP-B14-0-14-60-T	1'22"	4'20"

Observaciones

- En este lote monta las 3 ruedas sin apretarlas del todo y deja el apriete definitivo para el final.
- De nuevo aparece confusión con los tipos de tornillos.

3.2.6 RESULTADOS FASE 2, SUJETO 4

Mujer de 29 años y 1,65 m de estatura. A diferencia del anterior sujeto 3, se coloca un Poka-yoke en las llaves del 12-13, de tal manera que se tapa el extremo de 12 y sólo está disponible el extremo de 13, según se aprecia en la Figura 19:



Figura 19: Llaves plana y de codo con Poka-yoke.

El objetivo de la colocación de este Poka-yoke es el de que el operario no pueda confundirse a la hora de escoger el extremo correcto de la herramienta. Una mejora que podría introducirse a este respecto, sería la de proporcionar llaves de un sólo extremo, como las representadas en la Figura 20:



Figura 20: Ejemplos llave plana fija de una boca y llave de estrella acodada de una boca.

Una vez monta esta rueda de prueba se le explica la distribución del puesto, la secuencia de montaje y cómo engrasar bien.

Tabla 13 (1). Resultados prueba, fase 2, sujeto 4.

1 unidad de MG-R12-0-12-65-T → Prueba		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de MG-R12-0-12-65-T	3'24"	3'24"

Observaciones

- No engrasa. Posteriormente se le explica que hay que engrasar antes de ensamblar con el engrasador de presión.

- No pone el cojinete liso.
- No aprieta del todo el tornillo porque sólo usa una llave para apretar, pese a tener las dos llaves en el puesto de trabajo. Lo deja a medio apretar.

Tabla 13 (2). Resultados lote 1, fase 2, sujeto 4.

Lote 1: 3 de FG-R12-0-12-65-T		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de FG-R12-0-12-65-T	2'12"	2'12"
2ª de FG-R12-0-12-65-T	38"	2'50"
3ª de FG-R12-0-12-65-T	1'5"	3'55"

Observaciones

- En este lote, hasta que no ha acabado de montar una rueda no pasa a la siguiente.
- No engrasa ninguna rueda pese a nuestras explicaciones anteriores.
- En la primera rueda pone la tuerca al revés, por lo que no está apretada del todo. El montaje es incorrecto.

Tabla 13 (3). Resultados lote 2, fase 2, sujeto 4.

Lote 2: 3 de MP-B20-1-12-60-T		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de MP-B20-1-12-60-T	4'20"	4'20"
2ª de MP-B20-1-12-60-T	1'15"	5'35"
3ª de MP-B20-1-12-60-T	45"	6'20"

Observaciones

- En este lote monta las 3 ruedas, pero sin apretarlas del todo. Una vez ensambladas las 3 ruedas las aprieta.
- Pone los tornillos de 65 en vez de los de 60.
- Engrasa la rueda una vez montada, en vez de en la fase del cojinete.

Tabla 13 (4). Resultados lote 3, fase 2, sujeto 4.

Lote 3: 3 ruedas distintas		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª rueda FP-H20-1-12-60-T	1'59"	1'59"
2ª rueda MG-R20-1-12-65-T	1'47"	3'46"
3ª rueda MP-B14-0-14-60-T	1'14"	5'

Observaciones

- En este lote monta las 3 ruedas, pero sin apretarlas del todo. Una vez ensambladas las 3 ruedas las aprieta.
- En la primera rueda coloca el tornillo de 65 en vez del de 60 mm.

Como conclusiones generales de esta fase destacamos las siguientes cosas:

- La mejora ergonómica del puesto fue satisfactoria y se adapta a distintos individuos. Existe un ligero encorvamiento por parte del operario que hay estudiar. La altura de la mesa es insuficiente, hay que aumentar la altura en la siguiente fase.
- Se mejoró notablemente la rapidez en la identificación de los materiales de cada montaje y su orden dentro de la secuencia de montaje.
- En la mayoría de los casos se produjo un apriete incorrecto de la tuerca auto bloqueante, con lo cual es necesaria la revisión de este procedimiento.
- Existe una necesidad de tener un espacio delimitado para cada útil de montaje, ya que en ocasiones están desordenados.
- Es necesaria una implementación de un sistema Kanban para la reposición de piezas, ya que la falta de material no debe suponer una pérdida de tiempo en el proceso.
- Una vez solucionado el problema del apriete es necesario re-definir la Gama General de Fabricación.
- La existencia de las 2 líneas de rodillos del Layout hace más fácil darse cuenta de la dirección que toma el proceso de montaje, puesto que se dispone de un sitio específico para la recepción y otro para el producto terminado.
- La colocación de las cajas se podría modificar para que los elementos afines estén más cerca y los que menos se usen estén más lejos.

3.2.7 FASE 3

En esta fase se producen dos cambios muy significativos: la creación de un útil de ayuda en el montaje de las piezas y la mejora en el sistema Kanban de cajas normalizadas.

Rodillos de manutención

Partiendo de la misma distribución que en la fase anterior, se procede a inclinar las baldas, instalar una serie de rodillos debajo de cada caja, unos perfiles a modo de guías en el lateral de las mismas y un tope en el frontal, todo ello según se puede apreciar en la siguiente Figura 21:



Figura 21: Detalle de la línea de rodillos.

Hay que indicar que en 3 elementos del lado corto, no vimos la necesidad de instalar los rodillos, por lo que se optó a instalar dos perfiles cuadrados de 20x20mm para su guiado:



Figura 22: Vista guías con rodillos y con perfiles cuadrados fijos.

Debido a la altura que poseen los rodillos de mantenimiento, hubo que modificar levemente la altura de las baldas de ambos lados, quedando la estructura de la siguiente manera:

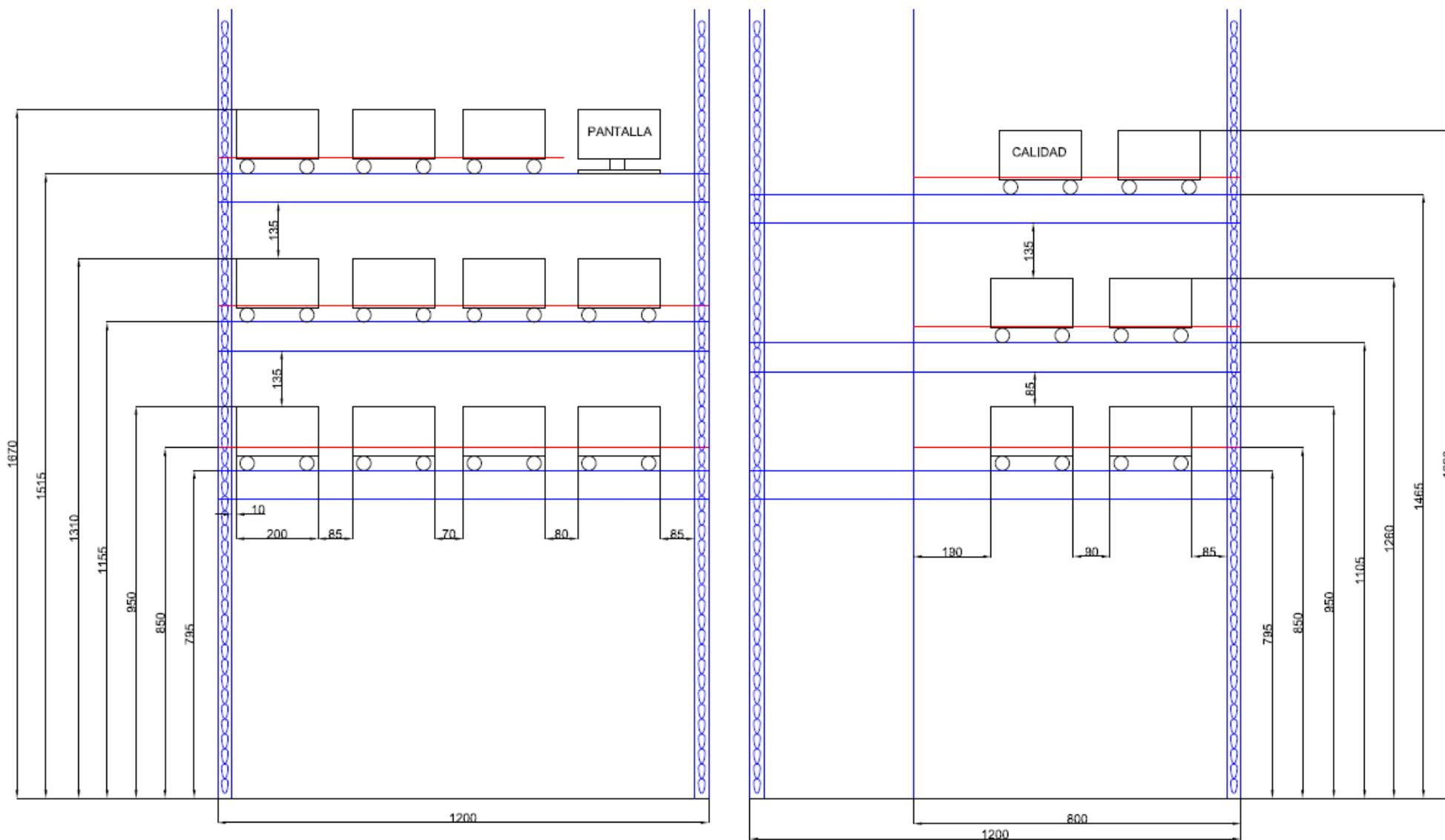


Figura 23: Alturas acotadas de las baldas, con rodillos.

Para producir una inclinación suficiente de tal manera que al retirar una caja vacía la siguiente caiga por su propio peso de forma correcta, se introdujeron en la parte posterior de la balda unos tacos de madera de 35 mm de altura a modo de calzas. Esta diferencia de alturas entre las partes frontal y trasera de la estantería produce un ángulo de 4° , que acorde a lo recomendado por Hytrol Conveyor Company, Inc. (2008), está dentro del rango de inclinaciones adecuado para este tipo de carga, caja y peso:

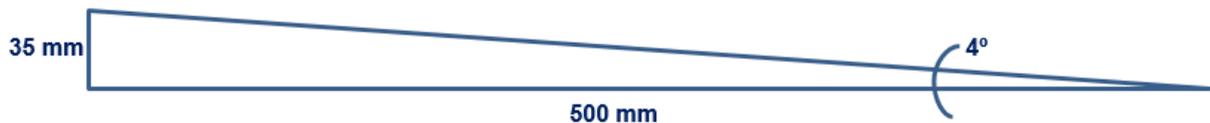


Figura 24: Detalle calza de 35mm.

Para que las cajas con material no se saliesen de los rodillos en su movimiento descendente, hubo que situar a los laterales de los rodillos unos separadores-guías. Estas guías son un perfil a 90° de 40x60 mm de altura que hace que las cajas no se salgan de los rodillos, atajando el problema que esto implica. Estas guías se colocan a 5 mm del lateral de cada caja, según lo especificado en la Figura 25:

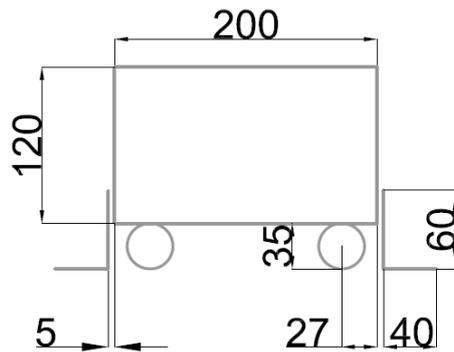


Figura 25: Detalles de las guías laterales.

El tope usado en la parte frontal es un perfil de 90° de plástico negro. Este tope cumple las características de ser ligero, tener poco espesor y poseer la suficiente dureza como para parar las cajas en su caída sin romperse.

Útil de montaje con Poka-yoke y Silentblock

Desde la primera prueba que se realizó se vio la necesidad de contar con un elemento que ayudase en el ensamblaje de la rueda. Por ello, en esta fase se decidió crear un útil de ayuda en el montaje. Tras mucho pensar, debatir diversas opciones y modificar diseños previos, se procedió a la construcción, en aluminio, por parte del Técnico de Laboratorio Julián de Castro de Frutos del siguiente útil de montaje, diseño de Diego del Pozo Fraile.

El útil se divide en dos partes claramente diferenciadas: la izquierda para los soportes pequeños (fijos y móviles) y la parte derecha para los soportes grandes (fijos y móviles). Esta diferenciación se debe a que las alturas de ambos tipos de soportes son distintas. Los soportes pequeños poseen una altura desde su base hasta el eje del tornillo de 70 mm, mientras que en los soportes grandes esa altura es de 84 mm.

Para que la construcción se realizase de una forma más sencilla, se decidió que la altura a la que se situasen ambos ejes fuera la misma, para que mediante un cuadradillo de 1/2-1/2 pulgada se uniesen ambos vasos del 13. Para ello, hubo que suplementar mediante una chapa de aluminio de 14 mm de espesor en el lado izquierdo, el correspondiente a los soportes pequeños.

Una vez definidas las alturas, pasé a resolver el tema de la alineación de los ejes de los tornillos. Los ejes de los soportes móviles y fijos, no están alineados cuando se colocan sus bases en el mismo sitio del útil, por lo que hubo que solventar el problema. Para ello, la forma de proceder es colocar los soportes

móviles en la parte inferior y los fijos en la parte superior, como se indica en el Anexo III Gama de Ubicación de los soportes.

Para ayuda al operario en la ubicación del soporte en el sitio correcto, se instala en el panel-corchera las instrucciones del Anexo III y también se instala un sencillo Poka-yoke en el útil. El Poka-yoke instalado no son más que dos pegatinas con las palabras “PEQUEÑO” y “GRANDE” a cada lado del útil.

Una vez ya se ha ubicado en el sitio correcto la rueda, es importante que se introduzca siempre en el vaso del 13 la cabeza del tornillo, no la tuerca, según se muestra en paso 21 del Anexo II Gama General de Fabricación. Esto ha de hacerse así ya que, introduciendo la tuerca en el vaso, pudimos comprobar que no siempre se realiza una correcta unión entre el tornillo y la tuerca. Por tanto, es necesario que el operario se dé cuenta del lado en que tiene que ir el soporte y la cabeza del tornillo, para que éste se introduzca en el vaso del 13.

El operario primeramente seleccionará todas las piezas de las que consta la rueda a ensamblar y las dejará encima de la mesa. Posteriormente irá ensamblando la rueda sin usar el útil de montaje. Éste se usará únicamente para realizar el apriete final. Todos estos detalles relativos al ensamblaje de la rueda y utilización del útil, se especifican pormenorizadamente en los Anexos II y III (Gama General de Fabricación final y Gama de Ubicación de los soportes, respectivamente).

A continuación se procede a mostrar el útil aislado (sin tener colocado ningún soporte) y ocupado (con los soportes pequeños y grandes colocados, cada uno en sus respectivos lados del útil):

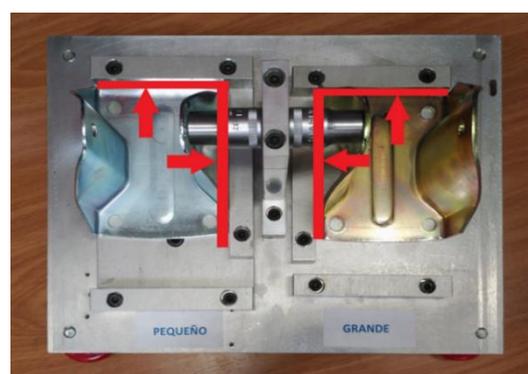


Figura 26: Útil de montaje vacío y con la ubicación de las diversas ruedas.

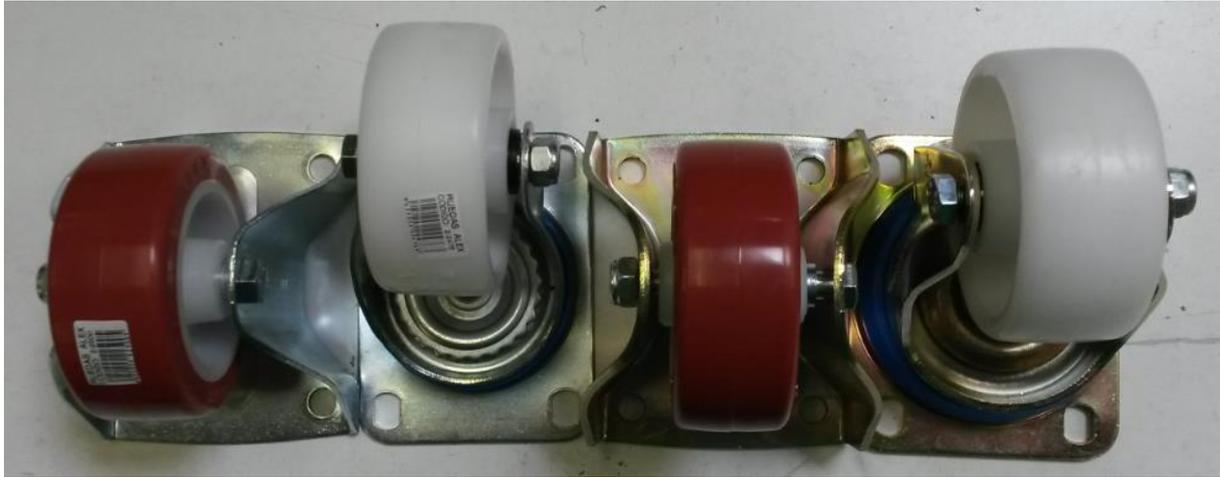


Figura 27: Detalle de la alineación de los distintos soportes.

Por último, se procede a instalar 4 Silentblock, uno en cada esquina del útil. La finalidad de la colocación de este elemento es doble:

- teniendo en cuenta que no todos los trabajadores tendrán la misma estatura, con los cuatro Silentblock en el útil se permite una regulación en altura de 15mm del útil.
- el objetivo básico de los Silentblock es el de absorber las vibraciones y los choques de los distintos elementos que se puedan producir. Absorbiendo choques y vibraciones se aminoran, o incluso eliminan, los tan molestos ruidos para el operario.



Figura 28: Silentblock SB-T 45/150 marca WÜRTH.

Máquinas de atornillar

Para que el ensamblaje en el útil sea de una forma más sencilla, rápida y menos propensa a fallos, se adquirió un atornillador eléctrico y así eliminar la llave fija y la llave de codo. Ambas llaves estarán disponibles por si fuese necesario su uso en el modo degradado.

El atornillador adquirido fue un Black & Decker. Después de la primera prueba, vimos que al carecer este atornillador de par de apriete, se producía un vuelco sobre la muñeca y el útil de montaje cuando el tornillo y la tuerca estaban completamente atornillados. Para solucionar este problema, se adquirió otra máquina, esta vez con par de apriete, marca PARKSIDE.

Una vez se tenían ambas máquinas, se desarrolló una boca hexagonal de apriete del 13 para poder apretar los tornillos con las tuercas:



Figura 29: Imagen de ambos atornilladores y el vaso.

Líneas de rodillos del Lay-out

Se realizan, respecto a los Layout de la anterior fase, ligeras modificaciones. Por la parte derecha se instala la línea de rodillos por donde entrarán las órdenes de fabricación al operario. La parte final de esta línea de rodillos es una parte fija orientada a la siguiente Fase 3. Su fin es el de que el operario sitúe ahí la orden de fabricación mientras la lee con el lector de código de barras.



Figura 30: Rodillos de entrada.

Por la parte izquierda se instala otra línea de rodillos por donde saldrá el producto final, con destino al almacén de productos terminados. Estos rodillos servirán también para enviar al almacén las cajas vacías de material, a fin de que éstas se repongan y se introduzcan de nuevo en la estantería por la parte trasera.

Debajo de estos rodillos se instala una papelera donde el operario tendrá que tirar los papeles de entrada de la orden de fabricación.



Figura 31: Rodillos de salida con papelera.

Además, se añadió en cada cinta de rodillos una identificación de las mismas: “Recepción orden de fabricación” y “Producto terminado/Repuesto almacén”.

Parte trasera de la estantería: identificadores

Este punto surge para poder solucionar el problema que se produce a la hora de reponer el material por la parte trasera. Al no disponer la estructura por la parte trasera de pegatinas de la ubicación de cada producto, hubo que instalar dichas pegatinas y además otras que numeran las estanterías por casillas.

Se dividió la estantería en forma de cuadrícula, de manera que la balda superior se identifica con la letra A, la del medio con la B y la inferior con la C. Cada una de las posiciones de izquierda a derecha están identificadas con números del 1 al 6.



Figura 32: Identificadores de la parte trasera. Etiqueta indicadora del tipo de piezas.

Mesa de trabajo

Debido a las quejas dadas por los voluntarios y a nuestras observaciones con respecto a la baja altura a la que se encuentra la mesa, se aumenta la altura de la mesa a los 85 cm. Este aumento definitivo de la altura de la mesa de trabajo se materializa con la fijación de las patas de la mesa.

De esta manera, la altura final a la que se encuentra el útil es de entre 901 y 887,5 mm (según la regulación en altura que el operario demande), muy superiores a los 800 mm iniciales

Embalajes

Una vez se ha ensamblado correctamente la rueda, ésta se va a introducir en un embalaje, una caja de cartón. Las cajas que usaremos se encuentran en una peana-dispensador con capacidad para 50 cajas sin montar. Cada caja posee unas dimensiones de 140x285x240 mm. Para introducir en estos embalajes el producto final, ésta ha de ser montada y cerrada posteriormente, según lo establecido en la Gama General de Fabricación final del Anexo II.

El dispensador tiene una capacidad de almacenamiento de 50 embalajes plegados. Posee una base de 290 mm de diámetro y unas alturas hasta las zonas inferior y superior del dispensador de 800 y 910 mm respectivamente.



Figura 33: Soporte de embalajes y embalaje montado.

Para cerrar las solapas del embalaje se dispone de una cinta de embalaje, colocada en un dispensador:



Figura 34: Dispensador de cinta de embalar.

Identificadores en la mesa de trabajo: ubicación de los distintos elementos

Continuando con la premisa de las 5S de que cada cosa tiene que tener un lugar y ha de estar en ese lugar, sobre la mesa se distribuyen mediante pegatinas todos los útiles necesarios: atornillador, dispensador de grasa, útil de montaje y dispensador cinta de embalar, según se aprecia en la Figura 35 y la Figura 36:



Figura 35: Vista general de la mesa con los identificadores.



Figura 36: Detalles de distintos identificadores de la mesa.

3.2.8 RESULTADOS FASE 3, SUJETO 5

Mujer de 25 años y 1.60 m de estatura. Como en los casos anteriores, primeramente se le insta a que monte una rueda de prueba, sin darle ningún tipo de explicación ni formación previa. Los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla 14 (1). Resultados prueba, fase 3, sujeto 5.

1 unidad de MG-R12-0-12-65-T → Prueba		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de MG-R12-0-12-65-T	1'59"	1'59"

Observaciones

- Recogió todas las piezas de este montaje, pero no colocó el cojinete liso.
- Pese a que el tiempo de 1:59 min es considerablemente inferior a los 3:24 que se tardó en la anterior fase gracias al empleo del útil y del Poka-yoke instalado, la resultó un poco complejo entender cómo van colocados los soportes en el mismo.
- Después del ensamblaje de esta pieza solicitamos que montase un embalaje, habiéndola explicado el procedimiento de montaje (Anexo I). El tiempo medido fue de 15 segundos.

Tabla 14 (2). Resultados lote 1, fase 3, sujeto 5.

Lote 1: 3 de FG-R12-0-12-65-T		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de FG-R12-0-12-65-T	1'22"	1'22"
2ª de FG-R12-0-12-65-T	55"	2'17"
3ª de FG-R12-0-12-65-T	1'5"	3'22"

Observaciones

- Selecciona correctamente todos los componentes.
- El ensamblaje se realizó correctamente.

Tabla 14 (3). Resultados lote 2, fase 3, sujeto 5.

Lote 2: 3 de MP-B20-1-12-60-T		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de MP-B20-1-12-60-T	4'06"	4'06"
2ª de MP-B20-1-12-60-T	1'45"	5'51"
3ª de MP-B20-1-12-60-T	1'4"	7'

Observaciones

- En este lote, el tiempo necesario para identificar la referencia y cada de sus componentes fue muy elevado, explicando los 4'06" de la primera rueda.
- En la primera rueda, en vez de colocar la cabeza del tornillo en el útil, colocó la tuerca, lo cual es incorrecto y provocó un mal apriete.
- Los ensamblajes de las ruedas 2 y 3 se realizaron correctamente.

Tabla 14 (4). Resultados lote 3, fase 3, sujeto 5

Lote 3: 3 ruedas distintas		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª rueda FP-H20-1-12-60-T	1'10"	1'10"
2ª rueda MG-R20-1-12-65-T	1'50"	3'00"
3ª rueda MP-B14-0-14-60-T	1'31"	4'31"

Observaciones

- La segunda referencia la identificó mal en la lista, lo que provocó que los elementos seleccionados no fueran todos los correctos. En consecuencia, la pieza en su conjunto se debe considerar errónea, defectuosa.

3.2.9 RESULTADOS FASE 3, SUJETO 6

Hombre de 25 años y 1,73 m de estatura. Como en los casos anteriores, primeramente se le insta a que monte una rueda de prueba, sin darle ningún tipo de explicación ni formación previa. Los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla 15 (1). Resultados prueba, fase 3, sujeto 6.

1 unidad de MG-R12-0-12-65-T → Prueba		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de MG-R12-0-12-65-T	2'5"	2'5"

Observaciones

- Recogió todas las piezas de este montaje pero de forma tediosa al principio.
- El Poka-yoke pegado en el útil de montaje le resultó muy intuitivo inicialmente, pero no lo utilizó de la manera adecuada. Sólo acertó el lado en que se colocaba este soporte (lado izquierdo), fallando luego al colocarlo en la parte superior en vez de en la inferior. Aun así, en este caso se redujo más de 1 minuto el tiempo de montaje respecto al de la anterior fase.
- Después del ensamblaje de esta pieza solicitamos que montase un embalaje, habiéndole explicado el procedimiento de montaje (Anexo I). El tiempo medido fue de 11 segundos.

Tabla 15 (2). Resultados lote 1, fase 3, sujeto 6.

Lote 1: 3 de FG-R12-0-12-65-T		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de FG-R12-0-12-65-T	1'57"	1'57"
2ª de FG-R12-0-12-65-T	57"	2'53"
3ª de FG-R12-0-12-65-T	36"	3'29"

Observaciones

- Al haberle dado en esta fase formación, se redujo de manera notable en tiempo de identificación.
- El ensamblaje se realizó correctamente.

Tabla 15 (3). Resultados lote 2, fase 3, sujeto 6.

Lote 2: 3 de MP-B20-1-12-60-T		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª de MP-B20-1-12-60-T	1'17"	1'17"
2ª de MP-B20-1-12-60-T	45"	2'3"
3ª de MP-B20-1-12-60-T	33"	2'36"

Observaciones

- Este lote hubo que repetirlo ya que inicialmente identificó mal el soporte, montando otras ruedas totalmente distintas. Los tiempos registrados son del lote requerido, o sea, el correcto.
- El ensamblaje se realizó correctamente.

Tabla 15 (4). Resultados lote 3, fase 3, sujeto 6.

Lote 3: 3 ruedas distintas		
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo total
1ª rueda FP-H20-1-12-60-T	44"	44"
2ª rueda MG-R20-1-12-65-T	1'25"	2'10"
3ª rueda MP-B14-0-14-60-T	56"	3'06"

Observaciones

- En la primera referencia se confunde y coge otra rueda.
- Los ensamblajes se realizaron correctamente.

Como conclusiones generales de esta fase destacamos las siguientes cosas:

- Pese a la estandarización hecha, aún resulta algo complejo al inicio de la prueba identificar la referencia solicitada, produciéndose algunos errores o confusiones que el propio operario subsana en la selección de los materiales. Los errores de montaje se van reduciendo a medida que el operario adquiere experiencia, pero aun así se producen fallos.
- No se comprende bien el uso del útil con el Poka-yoke si no se le explica al operario su funcionamiento lógico. Una vez explicado su uso al operario, éste realiza de forma más rápida el atornillado del conjunto rueda.
- Gracias al útil de montaje, el apriete hasta el final de la tuerca se realiza correctamente, no se deja a medio apretar.
- Cuando se ensambla un soporte de tipo móvil en el útil, es necesario estar atento a introducir en el vaso la cabeza del tornillo en vez de la tuerca.

3.2.10 FASE 4

En esta fase final, las mejoras del puesto de trabajo se centran principalmente en la instalación del sistema de picking.

Lector de código de barras

Se procede a la instalación de un lector de códigos de barras, que leerá las órdenes de fabricación. La codificación usada es de carácter interno, por lo que ésta se compone de dos partes: rueda solicitada y cliente que la solicita.

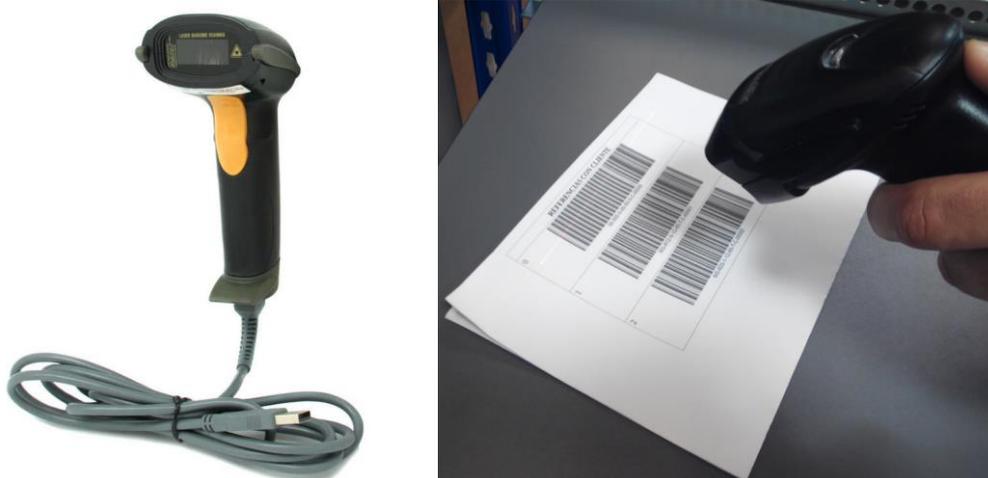


Figura 37: Lector de códigos de barras.

Sistema de picking

En este proyecto, todo este sistema de picking está formado por una Raspberry Pi (que es quien realmente lo controla), un sistema Arduino maestro y 16 sistemas Arduinos esclavos (compuestos por un display de dos dígitos, un diodo LED verde y un botón). También se dispondrá de un Lector de Códigos de Barras para leer las órdenes de fabricación solicitadas, un Monitor donde se mostrarán las piezas a tomar en cada caso y su proceso de montaje y, por último, se dispone de una Impresora de etiquetas, que emite las pegatinas que se colocarán en el exterior del embalaje identificando el producto.

Arduino es una placa que contiene un microcontrolador que facilita la interacción entre ordenadores (en nuestro caso se trata de una Raspberry Pi) y otros dispositivos periféricos. Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. El software controla la ejecución del hardware por medio de un lenguaje de programación propio específico para interactuar con los dispositivos conectados, es parecido a C++, pero utiliza sintaxis de Java. Arduino compila el código en una máquina de código virtual y la CPU lleva a cabo las órdenes del código (Murray, 2016).

Todo este sistema de control basado en Arduinos se ha escogido porque simplifica el proceso de trabajo con microprocesadores y ofrece otras ventajas, como por ejemplo:

Económico: las placas Arduino tienen un precio bajo comparadas con otras plataformas de microcontroladores. La versión más barata es ensamblada a mano, pero los módulos pre-ensamblados de Arduino también son de bajo coste.

Multiplataforma: el software de Arduino puede ejecutarse en diversos sistemas operativos tales como Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux. Esto presenta una gran ventaja ya que la mayoría de los sistemas microcontroladores están limitados a Windows.

Programación clara y simple: el entorno de programación Arduino es sencillo de usar para personas que se inicien en este tipo de programación, pero además es muy flexible para que los usuarios más avanzados puedan aprovecharlo también.

Código abierto y software extensible: al ser Arduino un código abierto, permite que programadores avanzados aumenten su extensión y además permite ampliarse mediante el uso de librerías de C++.

Todo este sistema de picking (desarrollo de la programación, interconexión entre los diversos elementos de los que se compone el sistema, desarrollo de los 3 elementos que hay en cada caja, fabricación en una impresora 3D de las propias cajas...) ha sido desarrollado en el Proyecto de Fin de Grado de Raúl Hurtado Gavilán "Diseño de soluciones Lean Manufacturing basadas en Arduino, Raspberry Pi y Python para la industria 4.0" (2018). (Pendiente de Lectura y Defensa).

Este sistema de picking tendrá una triple función: reducción del tiempo de adquisición de los distintos materiales, reducción de los errores producidos al tomar las piezas equivocadas de otras cajas y minimizar los ensamblajes erróneos aumentando así el grado de calidad.

El sistema de picking instalado consta de 16 cajas, cada una de ellas con un display de dos dígitos, un diodo LED de color verde y un botón. El conjunto de estos 3 elementos está dirigido por un módulo Arduino en su interior (a partir de ahora denominado Arduino esclavo), donde van conectados todos los componentes. Los 16 módulos Arduinos esclavos están interconectados con un módulo Arduino maestro y éste con una Raspberry.

Cuando el operario recepciona la orden de fabricación, toma el lector de código de barras y lee la orden. Se encienden entonces únicamente los LED's de los componentes que son necesarios para ese montaje, a la vez que en el display se indica la cantidad de piezas que ha de coger (en este caso será siempre 1). Ahora el operario ha de tomar un componente de cada caja y pulsar el botón. Esto se realiza para comprobar que el operario confirma que ha cogido una pieza y es la pieza correcta, para que no se realice un montaje incorrecto o defectuoso.

En la pantalla, en el momento en que el lector de código de barras lee la orden de fabricación, aparece la referencia que se va a fabricar y sus componentes. Cuando el operario pulse el último botón, en la pantalla aparece una síntesis de los pasos del proceso de ensamblaje.

Estas cajas esclavos, las cuales han sido fabricadas mediante la impresión 3D que dispone el Departamento, se fijan en el lado derecho de la caja de material que corresponde. La Raspberry Pi se fija debajo de la pantalla y el módulo maestro se fija entre la caja de "CALIDAD" y los altavoces.

Para conectar los diversos elementos, hubo que realizar una serie de taladros en el aglomerado para pasar los cables. El resto de cables que no necesitaron pasar de un nivel a otro se llevaron lo más próximos posible al tope frontal, agrupándolos con sujetas bridas adhesivos.

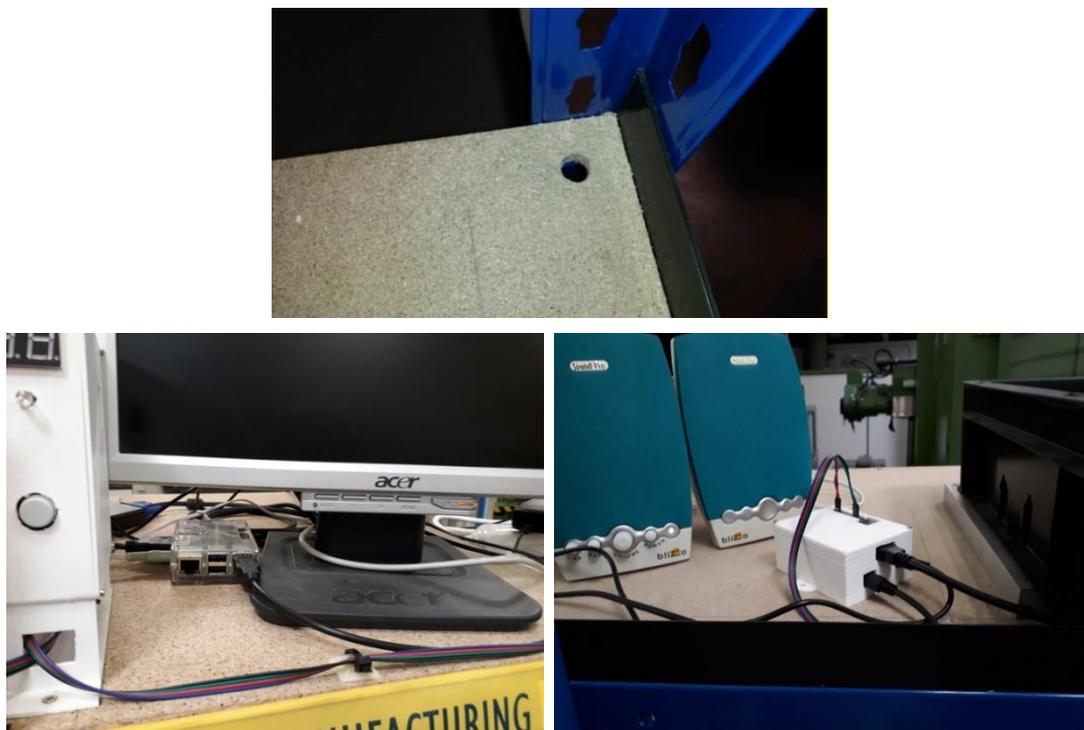


Figura 38: Detalles de los agujeros realizados para pasar los cables, los sujetas bridas adhesivos y la ubicación de la Raspberry Pi y el módulo maestro Arduino.

Como se puede apreciar en la siguiente Figura 40, para que las conexiones en el interior de la caja no se suelten o sufran de algún modo, se colocó una tapadera en las mismas. Esta tapadera posee una apertura para acceder rápidamente al botón de RESET en caso de que fuese necesario su uso. También se colocó en la parte posterior una pegatina indicando el número de esclavo que se trata. También se agruparon todos los cables mediante bridas y ventosas para que éstos no puedan sufrir ningún tipo de fallo:



Figura 39: Detalle de los cables y las cajas.

Las cajas van al lado derecho de cada caja de componentes, tal y como se puede ver en las siguientes imágenes:



Figura 40: Detalles de la ubicación de los módulos de picking en la estructura.

Impresora

Para identificar la rueda que hay dentro del embalaje, la fecha de fabricación, el cliente y el operario que la ha ensamblado, se adquiere una impresora de etiquetas. Estas etiquetas irán colocadas en el lateral del embalaje una vez la rueda de mantenimiento se haya introducido en su interior.



Figura 41: Impresora de etiquetas y Etiqueta colocada en un embalaje.

El puesto, en consecuencia, queda de la siguiente manera:



Figura 42: Puesto de montaje final, fase 4.

3.2.11 RESULTADOS FASE 4, SUJETO 7

Hombre de 25 años y 1,80 m de estatura. A diferencia de los anteriores voluntarios, con éste se va a proceder de distinta manera. Primeramente va a ensamblar manualmente las referencias dadas, para posteriormente montar otras referencias con ayuda del sistema de pick-to-light. Indicar que en ambos casos introduce la rueda ensamblada en el embalaje y coloca la pegatina. Para las conclusiones se usan los tiempos de ensamblaje y de embalaje. En ambos casos se da una formación previa.

3.2.11.1 SUJETO 7, SIN PICKING

Los datos obtenidos sin usar el sistema de pick-to-light son los siguientes:

Tabla 16 (1). Resultados prueba, fase 4, sujeto 7 (s.p.).

1 unidad de MG-R12-0-12-65-T → Prueba			
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo embalar	Tiempo total
1ª de MG-R12-0-12-65-T	3'13"	12"	3'25"

Observaciones

- Introduce el tornillo por el otro lado, de tal manera que al colocarlo en el útil lo que entra en el vaso es la tuerca. Desmonta tuerca-tornillo y lo introduce por el otro extremo.
- Al embalar, no cierra correctamente las solapas.
- Introduce la tuerca al revés.
- En vez de colocar la rueda en el soporte y luego introducir el tornillo, primero mete el tornillo en la rueda. Al no entrar en el soporte, extrae el tornillo para ensamblar correctamente.

Tabla 16 (2). Resultados lote 1, fase 4, sujeto 7 (s.p.).

Lote 1: 3 de FG-R12-0-12-65-T			
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo embalar	Tiempo total
1ª de FG-R12-0-12-65-T	2'28"	12"	2'40"
2ª de FG-R12-0-12-65-T	1'2"	10"	4'20"
3ª de FG-R12-0-12-65-T	1'7"	8"	5'46"

Observaciones

- Los dos primeros embalajes no los realiza correctamente, cierra mal las solapas.
- Los ensamblajes se realizaron correctamente.

Tabla 16 (3). Resultados lote 2, fase 4, sujeto 7 (s.p.).

Lote 2: 3 de MP-B20-1-12-60-T			
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo embalar	Tiempo total
1ª de MP-B20-1-12-60-T	1'46"	8"	1'54"
2ª de MP-B20-1-12-60-T	1'40"	6"	3'40"
3ª de MP-B20-1-12-60-T	1'14"	7"	5'1"

Observaciones

- Para no confundirse a la hora de introducir el tornillo por el lado correcto, apoya el soporte en el útil para ver el lado correcto por el que se introduce. Al estar el soporte apoyado en el útil le resulta más costoso introducir el tornillo por el eje de la rueda y el soporte.
- Para poder atornillar con la mano derecha, gira el útil.
- Selecciona mal todos los tornillos, cogiendo los de M8x65 en vez de los de M8x60.

Tabla 16 (4). Resultados lote 3, fase 4, sujeto 7 (s.p.).

Lote 3: 3 ruedas distintas			
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo embalar	Tiempo total
1ª rueda FP-H20-1-12-60-T	1'59"	7"	2'6"
2ª rueda MG-R20-1-12-65-T	1'57"	7"	4'10"
3ª rueda MP-B14-0-14-60-T	1'44"	9"	6'3"

Observaciones

- Gira de nuevo el útil para atornillar con la mano derecha.
- En los dos primeros ensamblajes, repite la acción de apoyar el soporte en el útil para ver el lado correcto por el que se introduce. Al estar el soporte apoyado en el útil le resulta más costoso introducir el tornillo por el eje de la rueda y el soporte.

3.2.11.2 SUJETO 7, CON PICKING

Ahora pasamos a repetir de nuevo la prueba, pero esta vez con el sistema de pick-to-light. Para intentar hacerlo más realista. En vez de darle por lotes las ruedas a ensamblar, se hicieron las 10 ruedas seguidas. Los tiempos obtenidos son los siguientes:

Tabla 16 (5). Resultados lote de 10 con picking, fase 4, sujeto 7 (c.p.).

Lote de 10 ruedas distintas			
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo embalar	Tiempo total
MG-R12-0-12-65-T	1'30"	10"	1'40"
1ª de MP-B20-1-12-60-T	1'8"	13"	3'3"
2ª de MP-B20-1-12-60-T	1'21"	11"	4'35"
3ª de MP-B20-1-12-60-T	1'	12"	5'47"
1ª de FG-R12-0-12-65-T	1'23"	12"	7'22"
2ª de FG-R12-0-12-65-T	1'10"	11"	8'43"
3ª de FG-R12-0-12-65-T	1'26"	10"	10'19"
FP-H20-1-12-60-T	1'31"	10"	12'
MG-R20-1-12-65-T	1'52"	9"	14'3"
MP-B14-0-14-60-T	1'36"	11"	15'50"
Leer "Medición terminada"	4"		15'54"

Observaciones

- Gira el útil constantemente, cuantas veces le hace falta.
- El último ensamblaje no lo aprieta del todo.
- En un ensamblaje se le puso una caja vacía para ver cómo reaccionaba frente a esa situación. No retiró la caja, fuimos nosotros quienes le dijimos lo que tenía que hacer.

Los ensamblajes se realizaron correctamente

3.2.12 RESULTADOS FASE 4, SUJETO 8

Mujer de 39 años y 1,69 m de estatura. Al igual que al anterior voluntario se le da una formación previa, pero ahora procedemos a realizar la prueba directamente con el sistema de picking. Indicar que en ambos casos introduce la rueda ensamblada en el embalaje y coloca la pegatina. Para las conclusiones se usan los tiempos de ensamblaje y de embalaje. Los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla 17. Resultados lote 10 con picking, fase 4, sujeto 8.

Lote de 10 ruedas distintas			
Número de rueda	Tiempo unitario	Tiempo embalar	Tiempo total
MG-R12-0-12-65-T	1'18"	9"	1'27"
1ª de MP-B20-1-12-60-T	1'5"	10"	2'42"
2ª de MP-B20-1-12-60-T	2'29"	9"	4'20"
3ª de MP-B20-1-12-60-T	58"	9"	5'27"
1ª de FG-R12-0-12-65-T	1'7"	11"	6'45"
2ª de FG-R12-0-12-65-T	1'34"	9"	8'28"
3ª de FG-R12-0-12-65-T	57"	9"	9'34"
FP-H20-1-12-60-T	1'	6"	10'40"
MG-R20-1-12-65-T	50"	10"	11'40"
MP-B14-0-14-60-T	1'27"	9"	13'16"
Leer "Medición terminada"	5"		13'21"

Observaciones

- En tres referencias no aprieta del todo la tuerca (referencia 4ª, 5ª y última).
- En un ensamblaje se le puso una caja vacía para ver cómo reaccionaba frente a esa situación. No retiró la caja, fuimos nosotros quienes le dijimos lo que tenía que hacer.
- En la 5ª referencia introduce el tornillo por el otro lado, de tal manera que al colocarlo en el útil lo que entra en el vaso es la tuerca. Desmonta tuerca-tornillo y lo introduce por el otro extremo.
- En los montajes móviles tiene algo de dificultad en saber el lado correcto donde tiene que ir la cabeza del tornillo.
- Los ensamblajes se realizaron correctamente.

Como conclusiones generales de esta fase destacamos las siguientes cosas:

- Gracias al sistema de pick-to-light ya no se producen errores, confusiones, a la hora de tomar cualquier material de la estantería.
- Pese a que los tiempos son ligeramente superiores a los de la anterior fase, en esta fase se introducen las acciones de colocar la pegatina y embalar la rueda, por lo que se traduce en una disminución del tiempo.
- El operario tiene que tener cierta destreza a la hora de manejar el lector de códigos de barras, pues podría ocasionar un cierto retraso en la producción.

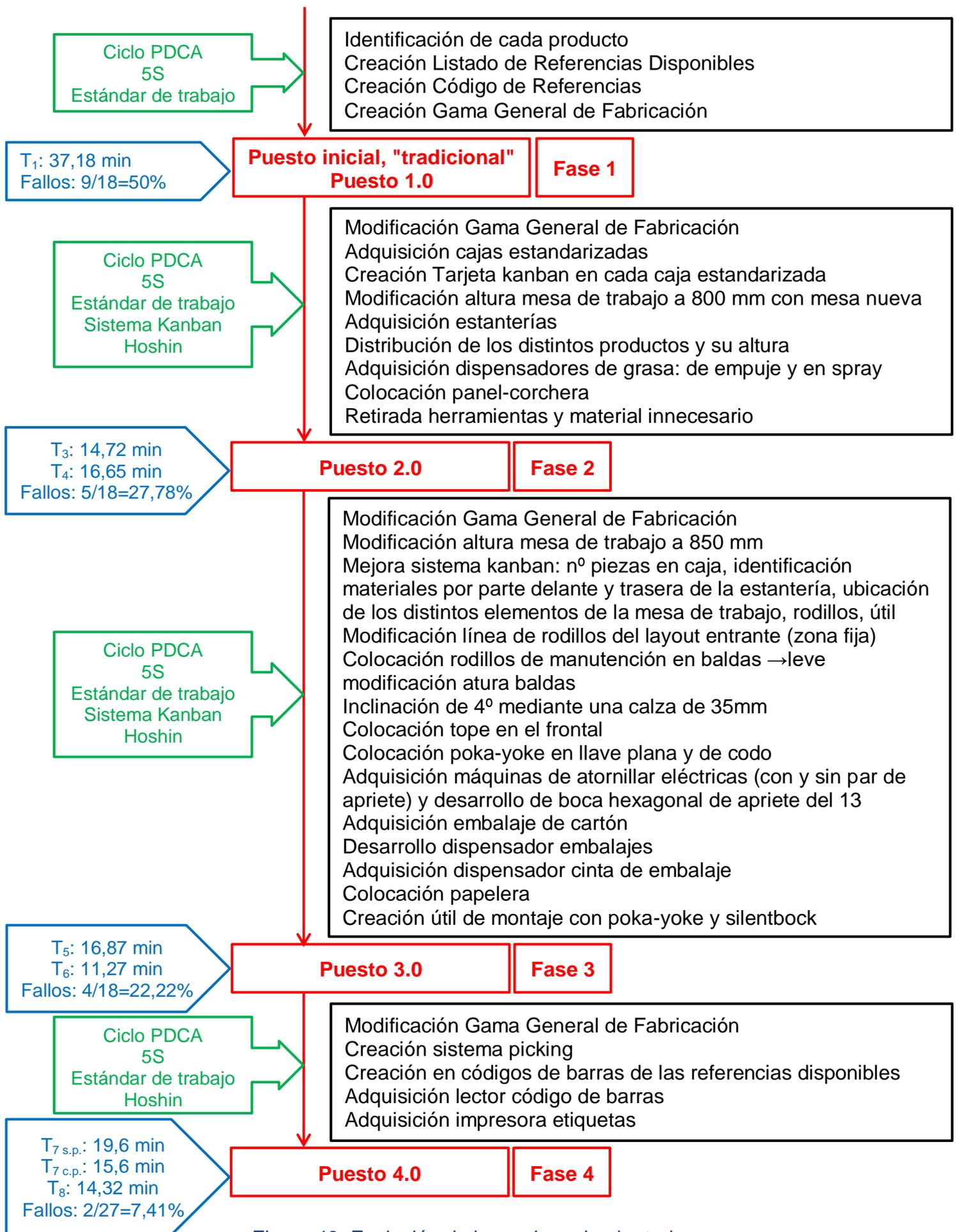


Figura 43: Evolución de las mejoras implantadas.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS GLOBAL DE RESULTADOS

En este capítulo se van a presentar las características finales del puesto de ensamblaje y posterior embalaje de ruedas de manutención del que consta el presente Trabajo de Fin de Máster.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PUESTO

A lo largo de las distintas fases de mejora en que se ha dividido el presente Trabajo, se han aplicado siempre técnicas de Lean Manufacturing, siendo la más usada el Kaizen (mejora continua).

Indicar que, para el diseño del puesto de trabajo final, se han tenido en cuenta la secuencia de ensamblaje y también la ergonomía del trabajador, quedando de la siguiente manera:





Figura 44: Comparación puestos inicial y final.

La solución a la que finalmente hemos llegado, se compone de los siguientes elementos:

Estanterías: ubicadas en la parte frontal y lateral derecha, albergan la totalidad de los artículos necesarios para poder realizar cualquiera de los ensamblajes posibles. También dispone de una caja denominada CALIDAD para introducir las posibles piezas defectuosas o que deban ser revisadas y de un espacio donde va ubicada la pantalla del sistema Pick-to-light. De cada artículo se dispone de dos cajas (estandarizadas) de material, que van sobre unos rodillos. Los rodillos hacen que al retirar la caja que no posee más materiales, la caja posterior se deslice hasta el frontal de la estantería de forma controlada. Cada caja posee una etiqueta identificativa del material que ha de haber en su interior, al igual que en las partes frontal y trasera de cada una de las posiciones de las que dispone la estantería. Esto se ha realizado para que el proceso de reposición de piezas, que se realiza por la parte trasera de la estantería, se realice de forma correcta. La distribución de los 16 elementos se ha realizado según los factores de peso, de la frecuencia de uso y de la afinidad entre artículos.

Mesa de trabajo: al realizarse sobre ella el proceso de ensamblaje, se dispone del útil de montaje y de las distintas herramientas necesarias para el ensamblaje de las ruedas de manutención y su posterior embalaje (dispensador de grasa de empuje, atornilladora eléctrica y cinta de embalar). El plano de trabajo se adopta a la mayor parte de la población trabajadora española, pero también permite una

pequeña regulación en altura. Por último, en la mesa se dispone de distintos identificadores que muestran la ubicación de cada herramienta después de su uso.

Flujo de material, Layout: situadas en los laterales de la mesa, se dispone de dos líneas de rodillos, que fijan la zona de entrada de la orden de trabajo (rodillos de la parte derecha) y la zona de salida del material ensamblado y embalado (zona izquierda). Ambas poseen sendos identificadores, siendo el sentido del flujo del proceso de derecha a izquierda. Bajo los rodillos de material saliente se ubica una papelera donde tirar las órdenes de fabricación, una vez han sido realizadas, y los papeles sobrantes de la pegatina identificadora del embalaje.

Panel-corchera: en el lateral derecho, tras los rodillos de flujo de material entrante, se dispone en este panel-corchera de tres documentos relativos al puesto que pudiese necesitar consultar el operario: el Listado Referencia Disponibles (Anexo I), la Gama General de Fabricación final (Anexo II) y la Gama de Ubicación de los soportes (Anexo III).

Dispensador de embalajes: ubicado en la zona izquierda del puesto, entre los rodillos de salida de material y la posición del operario, se dispone del dispensador de los embalajes de cartón donde se introducen las ruedas de manutención una vez ya han sido ensambladas.

Sistema de Pick-to-light: colgado del lateral derecho de la estantería, encima de los rodillos entrantes, se dispone del lector de etiquetas (órdenes de fabricación). En los laterales de las cajas de material se dispone de un display de dos dígitos, un diodo LED verde y un botón. Finalmente, en la estantería derecha se ubica la impresora de etiquetas identificadoras de los embalajes.

4.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS ADQUIRIDOS

Durante las distintas fases de mejora en que se ha dividido este Trabajo, se han realizado la toma de los tiempos empleados en realizar por completo el ensamblaje de los distintos modelos, y se han analizado las diferentes observaciones que hemos visto. Exceptuando la Fase 1 con una sola prueba, en el resto de fases se han realizado dos pruebas, todas ellas con distintos voluntarios, que aportan diferentes puntos de vista muy apreciados para nosotros.

A continuación se muestra gráficamente la evolución de los tiempos de cada prueba y fase.

Tiempos totales de ensamblajes, por fases,

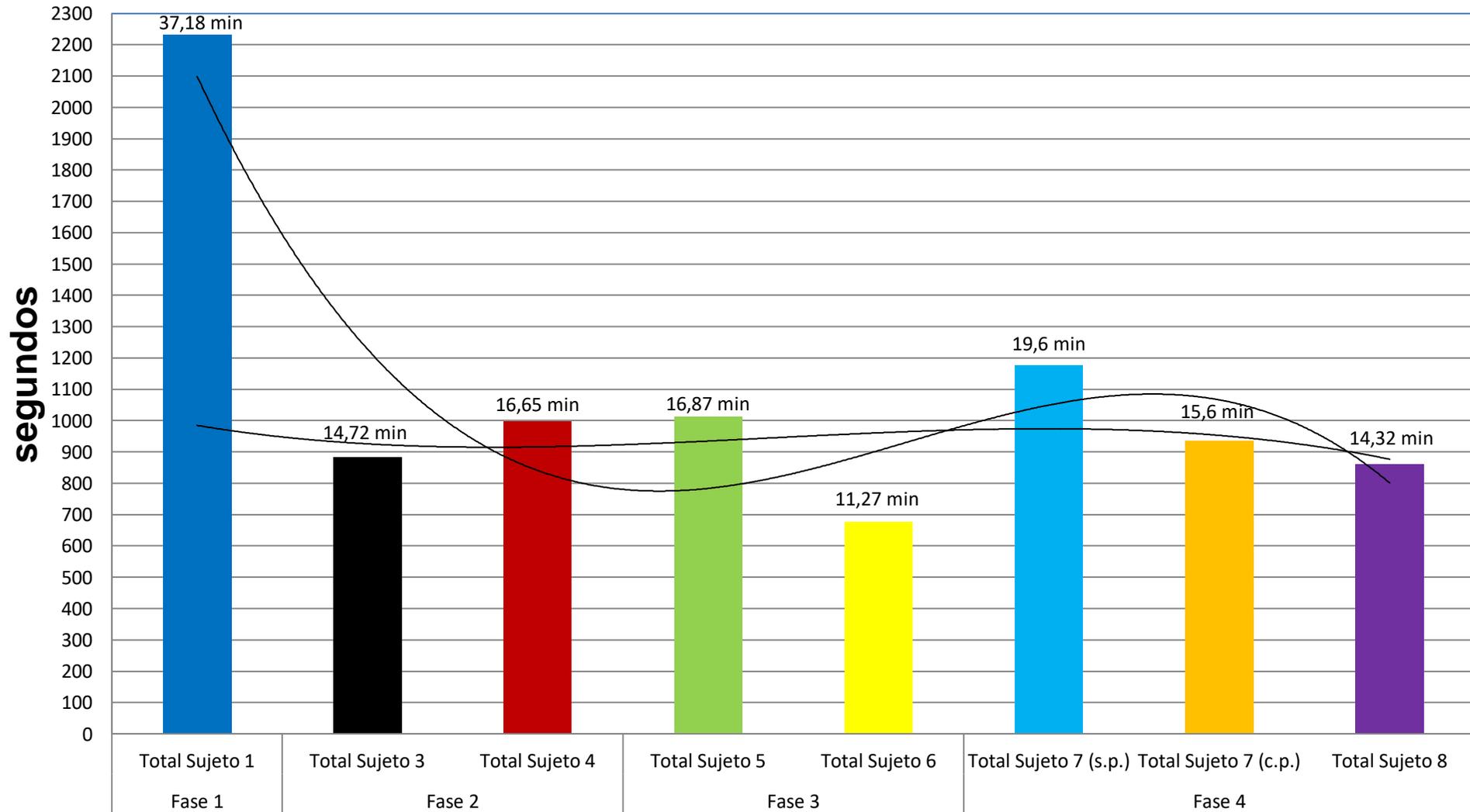


Figura 45: Tiempos totales de ensamblaje, por fases.

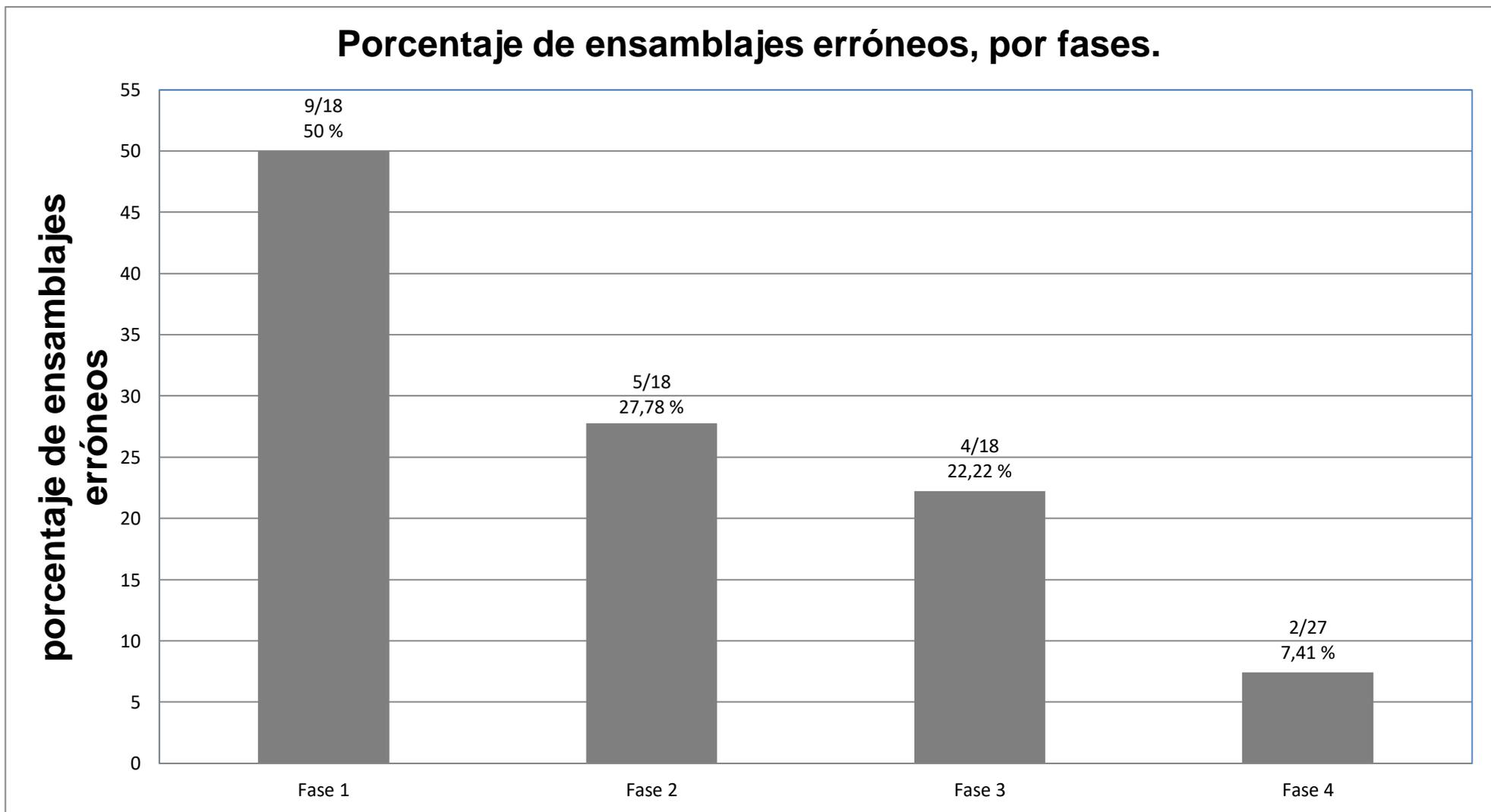


Figura 46: Porcentaje de ensamblajes erróneos, por fases.

Como se puede apreciar en el conjunto de las Figuras 45 a 46, se ha conseguido disminuir progresivamente los tiempos de ensamblaje y los errores producidos. La mayor reducción se da entre las Fases 1 y 2, ya que fue cuando se produjo el mayor de los cambios llevados a cabo: aplicación de las 5S con la organización del puesto, estandarización de las referencias y colocación de las tarjetas Kanban.

La reducción de los tiempos entre las Fases 2 y 3 no es tan significativa como entre las Fases 1 y 2, ya que en esta fase únicamente se hizo una estandarización más avanzada: ubicación definitiva de cada pieza en la estructura, creación de un útil de ayuda al ensamblaje para el operario y desarrollo de distintas Gamas.

Entre las Fases 3 y 4 lo más significativo es la gran reducción de los fallos (malos montajes) producidos. Gracias al sistema de pick-to-light los sujetos no pierden tiempo en comprender la rueda a ensamblar y en la localización en la estructura de todas las piezas que son necesarias tomar. Se produce un incremento medio de unos 20 segundos en todas las tomas de datos, debido a que en la última fase se incluyen las acciones de tomar una etiqueta y pegarla en el embalaje e introducir la rueda en el embalaje y embalar.

El ejemplo más significativo es la reducción de los tiempos del primer ensamblaje, sin ningún tipo de aprendizaje previo, el de prueba, entre la primera fase y la última. De un valor de 810 segundos hasta los 87 segundos, reduciendo el tiempo en un 89,26%. Con esto se evidencia que el puesto final es mucho más intuitivo que el inicial. Este decremento del tiempo necesario es también significativo en el lote 3, pasando en la Fase 1 de 855 segundos hasta los 224 finales, reduciendo el tiempo en un 73,8%

Aunque existe en la serie de datos algún dato atípico, esto se debe a que no ha sido siempre la misma persona quien ha realizado todos los montajes a lo largo de las 4 fases, sino que han sido un total de 8 personas. Son pruebas individualizadas pero de distintos individuos.

Por último, se analiza la disminución de errores-fallos, que se producen. En la Tabla 16 se puede observar la enorme disminución de piezas defectuosas que se producen:

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Ruedas incorrectas/ Ensamblajes realizados	9/18	5/18	4/18	2/27
Porcentaje de ensamblajes erróneos	50%	27,78%	22,22%	7,41%

Tabla 18. Errores de ensamblajes producidos.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1 CONCLUSIONES

- Se ha producido una mayor inclusión en el campo del Lean Manufacturing y de las diferentes técnicas desarrolladas a lo largo de este trabajo.
- La metodología llevada a cabo para poder desarrollar las distintas pruebas de ensamblaje, así como las posteriores soluciones adoptadas a los problemas presentados, ha sido correcta ya que nos ha permitido evolucionar a lo largo de este trabajo.
- El objetivo de diseñar y desarrollar un puesto de trabajo operativo, en el que el operario pudiese desarrollar su trabajo perfectamente, cumpliendo los criterios de ergonomía y seguridad y salud en el trabajo, se ha cumplido.
- Analizando e interpretando los diferentes datos tomados, se aprecia que gracias a las herramientas de Lean Manufacturing desarrolladas y al sistema de pick-to-light, se ha reducido el tiempo total necesario para realizar los ensamblajes y fundamentalmente se ha reducido el porcentaje de errores producidos (aproximadamente un 61,5 y un 85,18% respectivamente).
- Aunque el porcentaje de ruedas erróneas se ha reducido en un 85,18 %, todavía se montan un 7,41 % de las ruedas mal. Esto es debido a causas propias al trabajador, es decir, que inserte la tuerca al revés, que no apriete del todo o que directamente tome mal la pieza por un despiste.

5.2 LÍNEAS FUTURAS

- Una de las líneas futuras más inmediatas sería, siguiendo la tendencia del mundo actual, adecuar este puesto de trabajo a personas que presenten algún tipo de discapacidad, tanto física como mental.
- Intentar mejorar el útil de montaje. Considerando que algunos voluntarios giraban el útil, éste se puede modificar para que sea de un uso más fácil y/o intuitivo.
- Otra posibilidad puede ser la de modificar el sistema de picking, el útil y la secuencia de montaje, de tal manera que sólo se encendiese un elemento y fuese en la secuencia requerida para su montaje, así se va progresivamente montando la rueda.
- Una mayor regulación en altura del conjunto de todo el puesto de trabajo, ya que personas con muy distintas alturas puedan trabajar en él.

Comprobador dimensional

A fin de poder garantizar que todos los elementos que se vayan a usar en los ensamblajes cumplan con las características dimensionales, se desarrolló el siguiente comprobador dimensional.

Sobre una placa de aluminio se realizaron dos acanaladuras de diámetro 8 mm y longitudes 65 y 70 mm para comprobar las longitudes de los tornillos. Se realizaron dos agujeros ciegos de diámetros 12 y 14 mm para poder comprobar los cojinetes lisos. Por último, se pusieron cuatro tetones para el control dimensional de los 4 tipos de soportes, ya que todos poseen en sus esquinas agujeros equidistantes. Para una mejor sujeción de los soportes durante su comprobación, se colocó también un gato rápido.



Figura 47: Comprobador dimensional.

Indicador luminoso de disponibilidad del puesto de trabajo

Usando una caja de electricidad y un andón se desarrolló un sencillo sistema luminoso que indica la disponibilidad del puesto de trabajo.

En la caja de electricidad se instaló una toma schuko (10-16 A y 220-240 V) para poder cargar las baterías de las máquinas de atornillar y una llave selectora. La llave selectora posee tres posiciones:

izquierda: atención incidencia. Color rojo del andón

central: neutro, sin producción. Color blanco del andón

derecha: producción en curso. Color verde del andón

Todo ello gobernado por un pulsador de emergencia (seta de emergencia) que al activarla para todo el puesto y hace que se active la luz roja del andón y un timbre.



Figura 48: Indicador luminoso de disponibilidad del puesto de trabajo.

Ubicación del lector de código de barras

Un elemento que ocasionalmente podía molestar en la mesa de trabajo debido a que no se encontraba en un sitio concreto, era el lector de código de barras. Para ello, se colocó una gaveta roja estandarizada para ubicarlo. Para evitar que el lector se rompiese cada vez que se colocase, se colocó una serie de espumas a fin de evitar los golpes y posibles roturas.



Figura 49: Ubicación del lector de código de barras.

CAPÍTULO VI. PRESUPUESTO

En este capítulo se van a mostrar los distintos elementos usados para desarrollar todo el nuevo sistema, el nuevo puesto de trabajo. No se incluye el coste de los soportes, ruedas, tornillos, tuercas y los distintos cojinetes ya que son propios del proceso productivo y formarían parte de Gastos Ordinarios de la empresa.

El aspecto a destacar dentro de este Capítulo es que mediante el uso de elementos cotidianos, sin prácticamente ningún grado de especialización para el entorno industrial, el sistema obtenido cumple más que de sobra con los requerimientos solicitados. Especial mención ha de tener el sistema de pick-to-light, del que se obtiene un alto rendimiento mediante el uso de elementos de bajo coste y con sistemas de programación en código abierto.

PRESUPUESTO GENERAL			
Partidas presupuestarias	Importe total	I.V.A. (21%)	Importe total con I.V.A.
Cajas estandarizadas	139,44	29,28	168,72
Estructura	108,45	22,77	131,22
Utillajes y Útil de montaje	150,87	31,68	182,55
Sistema de Pick-to-light	474,94	99,74	574,68
SUBTOTAL	873,70 €	183,48 €	
TOTAL			1.057,18 €

Tabla 19. Presupuesto general.

CAJAS ESTANDARIZADAS					
Descripción	Cantidad	Precio unidad	Importe total	I.V.A. (21%)	Importe total con I.V.A.
Caja estandarizada de 300x200x120 mm. Gris	10	4,89	48,90	21	59,17
Caja estandarizada de 300x200x120 mm. Rojo	10	4,89	48,90	21	59,17
Caja estandarizada de 200x150x120 mm. Gris	12	3,47	41,64	21	50,38
SUBTOTAL			139,44	29,28	
TOTAL					168,72 €

Tabla 20. Presupuesto cajas estandarizadas.

ESTRUCTURA					
Descripción	Cantidad	Precio unidad	Importe total	I.V.A. (21%)	Importe total con I.V.A.
Estantería metálica modular de carga pesada con aglomerado	2	37,35	74,70	21	90,39
Pista de rodillos de 2,5 metros	5	6,75	33,75	21	40,84
SUBTOTAL			108,45	22,77	
TOTAL					131,22 €

Tabla 21. Presupuesto estructura.

UTILLAJES Y ÚTIL DE MONTAJE					
Descripción	Cantidad	Precio unidad	Importe total	I.V.A. (21%)	Importe total con I.V.A.
Bomba de engrase de empuje. Acabado metálico (opaco). 21-41	1	12,75	12,75	21	15,43
Bomba de engrase de empuje. Acabado plástico (transparente). 20-C	1	7,65	7,65	21	9,26
Dispensador de grasa en spray. SPRAY CRC SYNTHETIC GREASE 500ML	1	13,69	13,69	21	16,56
Atornilladora eléctrica, marca Black & Decker (sin par de apriete)	1	51,15	51,15	21	61,89
Atornilladora eléctrica, marca PARKSIDE (con par de apriete)	1	24,79	24,79	21	30,00
Dispensador estándar de cinta de embalar (rodillo de 50 mm)	1	6,90	6,90	21	8,35
Silentblock	4	1,54	6,16	21	7,45
Cuadrado de 1/2 - 1/2 pulgadas	1	13,88	13,88	21	16,79
Llave de vaso 1/2 6C 13MM STAHLWILLE	2	6,95	13,90	21	16,82
SUBTOTAL			150,87	31,68	
TOTAL					182,55 €

Tabla 22. Presupuesto utilajes y útil de montaje.

SISTEMA DE PICK-TO-LIGHT					
Descripción	Cantidad	Precio unidad	Importe total	I.V.A. (21%)	Importe total con I.V.A.
Impresora de etiquetas, marca Brother QL-570	1	48,69	48,69	21	58,91
Lector de códigos de barras	1	17,50	17,50	21	21,18
Display 2 bits	18	1,40	25,20	21	30,49
Botón para Arduino	15	1,75	26,25	21	31,76
Shield nano 3.0	18	1,80	32,40	21	39,20
LED RGB para Arduino	15	1,40	21,00	21	25,41
Nano 3.0 AT mega 168P	18	3,55	63,90	21	77,32
Alimentador DC 7,5V 2A	8	8,20	65,60	21	79,38
UNO Atmega 328P	1	6,50	6,50	21	7,87
Shield 2.0 usb host	1	12,75	12,75	21	15,43
Kit Raspberry Pi 3	1	55,40	55,40	21	67,03
Tarjeta micro SD	1	9,20	9,20	21	11,13
Adaptador VGA-HDMI	1	5,50	5,50	21	6,66
Cable micro usb datos	2	2,20	4,40	21	5,32
Cable 4 hilos 20m	1	16,30	16,30	21	19,72
Cable puente 20cm	18	0,30	5,40	21	6,53
Pack 80 u cable hembra 10cm	1	25,80	25,80	21	31,22
Pack 100 u Fundas dobles Dupont	1	5,75	5,75	21	6,96
Pack 200 unidades Jumper hembra Dupont	1	10,80	10,80	21	13,07
Pinzas crimpadoras Dupont	1	16,60	16,60	21	20,09
SUBTOTAL			451,03	94,72	
TOTAL					545,75 €

Tabla 23. Presupuesto sistema de pick-to-light.

CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez A. 2015. "Alcance máximo en el plano sagital". Publicación número 1050. Notas Técnicas de Prevención. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Gobierno de España. 4 pp.

Álvarez A. 2017. "Alcance máximo y normal en el plano horizontal". Publicación número 1088. Notas Técnicas de Prevención. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Gobierno de España. 6 pp.

Stone S. Cisco-Eagle Handling Solutions & Conveyor Systems. 2017. "Light directed picking is the fastest operator-based order picking system - here are ways to implement it in your operation". 10 Tips: Pick-to-Light Systems for Order Fulfillment. Disponible en Internet: <http://www.cisco-eagle.com/blog/2017/03/16/10-tips-pick-to-light-systems-for-order-fulfillment/>. Último acceso (29-8-2017).

Dong N. Mazel B. Viola S. 2014. "Smart Pick Bins for Reinforcement Steel Installation in Silver Line". New Jersey Governor's School of Engineering and Technology. 13 pp.

Hernández Matías J.C. Vizán Idoipe A. 2013. "Lean Manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación". Escuela de Organización Industrial, Ministerio de Medio Ambiente, Industria, Energía y Turismo, Gobierno de España. 174 pp.

Hurtado Gavilán R. 2018. "Diseño de soluciones Lean Manufacturing basadas en Arduino, Raspberry Pi y Python para la industria 4.0". Trabajo de Fin de Grado Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales. (Pendiente de Lectura y Defensa).

Hytrol Conveyor Company, Inc. 2008. "Manual básico de entrenamiento. Número 1. Formas de implementar y reconocer soluciones para problemas potenciales en aplicaciones con transportadores". Boletín 609. 36 pp.

Iborra Juan M.C. et ál. 2006. "Fundamentos de dirección de empresas: Conceptos y habilidades directivas". Paraninfo. 565 pp.

Íñiguez Lobeto C. Gayoso Rodríguez MJ. 2017. "Guía teórico-práctica para elaborar tus publicaciones científicas. (Artículos, Revisiones, Tesis Doctorales, Paneles, Comunicaciones, etc.)". Ediciones Universidad de Valladolid. 236pp.

Liker J.K. 2004. "El modo Toyota: 14 principios directivos del mejor fabricante del mundo". McGraw-Hill. 480 pp.

Martínez L.J. 2016. "Cómo buscar y usar información científica. Guía para estudiantes universitarios 2016". Biblioteca, Universidad de Cantabria. 208 pp.

Murray M. The balance. 2016. "Pick To Light Warehouse Systems. The basics of light-directed systems and their advantages". Disponible en Internet: <https://www.thebalance.com/pick-to-light-warehouse-systems-2221456>. Último acceso (15-9-2017).

Revilla de Lozar J. 2017. "Aplicación de técnicas LEAN en un puesto de montaje industrial". Trabajo de Fin de Máster. Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales. 99 pp.

UNE 157001:2014. 2014. "Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico". 16 pp.

UNE-EN ISO 80000-1:2014. 2014. "Magnitudes y unidades. Parte 1: Generalidades. (ISO 80000-1:2009 + Cor 1:2011)". 54 pp.

UNE-EN ISO 6385:2016. 2016. "Principios ergonómicos para el diseño de sistemas de trabajo. (ISO 6385:2016)". 24 pp.

UNE-EN ISO 7250-1:2010. 2010. "Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Parte 1: Definiciones de las medidas del cuerpo y referencias (ISO 7250-1:2008)". 32 pp.

Valero E. "Antropometría". Centro Nacional de Nuevas Tecnologías. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo en Inmigración. Gobierno de España. 21 pp.

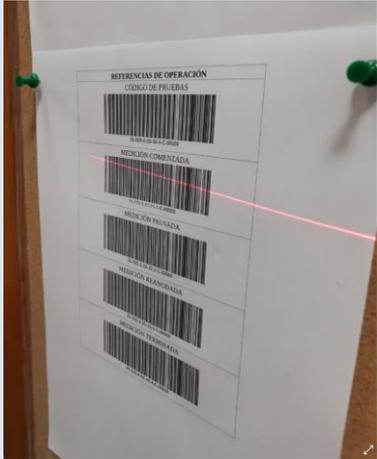
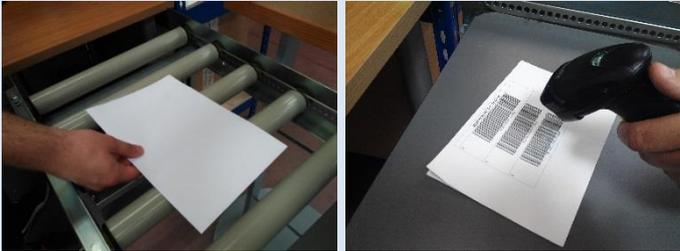
Vorne. 2016. "Top 25 Lean Manufacturing Tools". Lean Production. Disponible en Internet: <http://www.leanproduction.com/top-25-lean-tools.html>. Último acceso (29-8-2017).

Womack JP, Jones DT. 2012. "Lean thinking. Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa". Gestión 2000. 504 pp.

ANEXO I. LISTADO REFERENCIAS DISPONIBLES

REFERENCIAS						
Soporte	Rueda	Cojinete Rodillos	Cojinete liso	Tornillo	Tuerca	Código
Móvil Grande	Roja d12	No	12	M8x65	M8	MG-R12-0-12-65-T
Móvil Grande	Roja d20	Si	12	M8x65	M8	MG-R20-1-12-65-T
Móvil Grande	Hueso d20	Si	12	M8x65	M8	MG-H20-1-12-65-T
Móvil Grande	Blanca d12	No	12	M8x65	M8	MG-B12-0-12-65-T
Móvil Grande	Blanca d14	No	14	M8x65	M8	MG-B14-0-14-65-T
Móvil Grande	Blanca d20	Si	12	M8x65	M8	MG-B20-1-12-65-T
Móvil Pequeño	Roja d12	No	12	M8x60	M8	MP-R12-0-12-60-T
Móvil Pequeño	Roja d20	Si	12	M8x60	M8	MP-R20-1-12-60-T
Móvil Pequeño	Hueso d20	Si	12	M8x60	M8	MP-H20-1-12-60-T
Móvil Pequeño	Blanca d12	No	12	M8x60	M8	MP-B12-0-12-60-T
Móvil Pequeño	Blanca d14	No	14	M8x60	M8	MP-B14-0-14-60-T
Móvil Pequeño	Blanca d20	Si	12	M8x60	M8	MP-B20-1-12-60-T
Fijo Grande	Roja d12	No	12	M8x65	M8	FG-R12-0-12-65-T
Fijo Grande	Roja d20	Si	12	M8x65	M8	FG-R20-1-12-65-T
Fijo Grande	Hueso d20	Si	12	M8x65	M8	FG-H20-1-12-65-T
Fijo Grande	Blanca d12	No	12	M8x65	M8	FG-B12-0-12-65-T
Fijo Grande	Blanca d14	No	14	M8x65	M8	FG-B14-0-14-65-T
Fijo Grande	Blanca d20	Si	12	M8x65	M8	FG-B20-1-12-65-T
Fijo Pequeño	Roja d12	No	12	M8x60	M8	FP-R12-0-12-60-T
Fijo Pequeño	Roja d20	Si	12	M8x60	M8	FP-R20-1-12-60-T
Fijo Pequeño	Hueso d20	Si	12	M8x60	M8	FP-H20-1-12-60-T
Fijo Pequeño	Blanca d12	No	12	M8x60	M8	FP-B12-0-12-60-T
Fijo Pequeño	Blanca d14	No	14	M8x60	M8	FP-B14-0-14-60-T
Fijo Pequeño	Blanca d20	Si	12	M8x60	M8	FP-B20-1-12-60-T

ANEXO II. GAMA GENERAL DE FABRICACIÓN

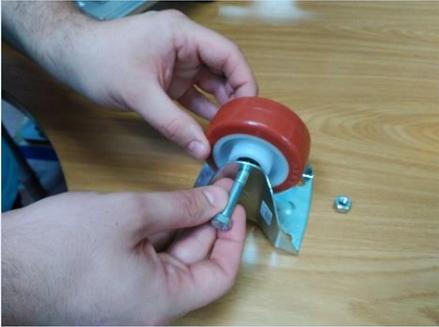
GAMA GENERAL DE FABRICACIÓN		
Nº de instrucción	Descripción	Imagen
1	<p>Tomar lector de código de barras.</p> <p>Leer código “Medición comenzada” para dar inicio a la producción, al turno.</p>	
2	<p>Recepcionar orden de fabricación.</p> <p>Tomar lector de código de barras y leer código.</p>	
3	<p>Tomar 1 embalaje del dispensador.</p>	

4	Desplegar embalaje.	
5	<p>Inspeccionar visualmente que el embalaje no tiene desperfectos.</p> <p>(En caso de desperfectos desecharlo a la papelera y tomar otro).</p>	  
6	<p>Plegar solapas superiores del embalaje.</p> <p>1º las del lado más estrecho.</p>	
	<p>2º las del lado más ancho.</p>	

7	Tomar la fijadora de cinta adhesiva.	
8	Fijar las solapas con la cinta transversalmente.	
9	Posicionar la fijadora de cinta en la mesa de trabajo en su sitio correspondiente.	
10	Situación la caja con la parte superior abierta sobre la mesa, en el lado izquierdo, para que no moleste al montaje.	

<p>11</p>	<p>En caso de falta de material en alguna caja, retirar la existente y mandarla por la cinta de rodillos de repuesto almacén.</p>	 
<p>12</p>	<p>Tomar los componentes según la secuencia dada por el sistema de picking.</p> <p>Pulsar el botón cada vez que se recoja un componente.</p> <p>Situar todos los materiales de esa referencia sobre la mesa de trabajo.</p>	 

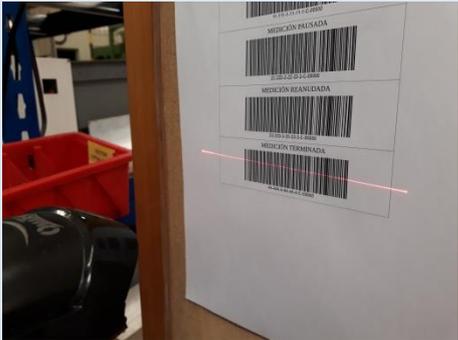
13	<p>En caso de no funcionar el sistema de picking: identificar la referencia de la orden de fabricación en el documento del tablón en la columna código.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Soporte</th> <th>Rueda</th> <th>Cojinete Rodillos</th> <th>Cojinete liso</th> <th>Tornillo</th> <th>Tuerca</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Móvil Grande</td><td>Roja d12</td><td>No</td><td>12</td><td>M8x5</td><td>M8</td></tr> <tr><td>Móvil Pequeño</td><td>Roja d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x5</td><td>M8</td></tr> <tr><td>Fijo Grande</td><td>Hueso d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x5</td><td>M8</td></tr> <tr><td>Fijo Pequeño</td><td>Bianca d12</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8</td><td>M8</td></tr> <tr><td></td><td>Bianca d14</td><td>No</td><td>12</td><td>M8</td><td>M8</td></tr> <tr><td></td><td>Bianca d20</td><td>No</td><td>14</td><td>M8</td><td>M8</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">Combinaciones</th> </tr> <tr> <th>Soporte</th> <th>Rueda</th> <th>Cojinete Rodillos</th> <th>Cojinete liso</th> <th>Tornillo</th> <th>Tuerca</th> <th>Código</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Móvil Grande</td><td>Roja d12</td><td>No</td><td>12</td><td>M8x5</td><td>M8</td><td>MG-R12-0-12-65-T</td></tr> <tr><td>Móvil Grande</td><td>Roja d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x5</td><td>M8</td><td>MG-R20-1-12-65-T</td></tr> <tr><td>Móvil Grande</td><td>Hueso d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x5</td><td>M8</td><td>MG-H20-1-12-65-T</td></tr> <tr><td>Móvil Grande</td><td>Bianca d12</td><td>No</td><td>12</td><td>M8x5</td><td>M8</td><td>MG-B12-0-12-65-T</td></tr> <tr><td>Móvil Grande</td><td>Bianca d14</td><td>No</td><td>14</td><td>M8x5</td><td>M8</td><td>MG-B14-0-14-65-T</td></tr> <tr><td>Móvil Grande</td><td>Bianca d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x5</td><td>M8</td><td>MG-B20-1-12-65-T</td></tr> <tr><td>Móvil Pequeño</td><td>Roja d12</td><td>No</td><td>12</td><td>M8x6</td><td>M8</td><td>MP-R12-0-12-60-T</td></tr> <tr><td>Móvil Pequeño</td><td>Roja d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x6</td><td>M8</td><td>MP-R20-1-12-60-T</td></tr> <tr><td>Móvil Pequeño</td><td>Hueso d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x6</td><td>M8</td><td>MP-H20-1-12-60-T</td></tr> <tr><td>Móvil Pequeño</td><td>Bianca d12</td><td>No</td><td>12</td><td>M8x6</td><td>M8</td><td>MP-B12-0-12-60-T</td></tr> <tr><td>Móvil Pequeño</td><td>Bianca d14</td><td>No</td><td>14</td><td>M8x6</td><td>M8</td><td>MP-B14-0-14-60-T</td></tr> <tr><td>Móvil Pequeño</td><td>Bianca d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x6</td><td>M8</td><td>MP-B20-1-12-60-T</td></tr> <tr><td>Fijo Grande</td><td>Roja d12</td><td>No</td><td>12</td><td>M8x5</td><td>M8</td><td>FG-R12-0-12-65-T</td></tr> <tr><td>Fijo Grande</td><td>Roja d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x5</td><td>M8</td><td>FG-R20-1-12-65-T</td></tr> <tr><td>Fijo Grande</td><td>Hueso d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x5</td><td>M8</td><td>FG-H20-1-12-65-T</td></tr> <tr><td>Fijo Grande</td><td>Bianca d12</td><td>No</td><td>12</td><td>M8x5</td><td>M8</td><td>FG-B12-0-12-65-T</td></tr> <tr><td>Fijo Grande</td><td>Bianca d14</td><td>No</td><td>14</td><td>M8x5</td><td>M8</td><td>FG-B14-0-14-65-T</td></tr> <tr><td>Fijo Grande</td><td>Bianca d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x5</td><td>M8</td><td>FG-B20-1-12-65-T</td></tr> <tr><td>Fijo Pequeño</td><td>Roja d12</td><td>No</td><td>12</td><td>M8x6</td><td>M8</td><td>FP-R12-0-12-60-T</td></tr> <tr><td>Fijo Pequeño</td><td>Roja d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x6</td><td>M8</td><td>FP-R20-1-12-60-T</td></tr> <tr><td>Fijo Pequeño</td><td>Hueso d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x6</td><td>M8</td><td>FP-H20-1-12-60-T</td></tr> <tr><td>Fijo Pequeño</td><td>Bianca d12</td><td>No</td><td>12</td><td>M8x6</td><td>M8</td><td>FP-B12-0-12-60-T</td></tr> <tr><td>Fijo Pequeño</td><td>Bianca d14</td><td>No</td><td>14</td><td>M8x6</td><td>M8</td><td>FP-B14-0-14-60-T</td></tr> <tr><td>Fijo Pequeño</td><td>Bianca d20</td><td>Si</td><td>12</td><td>M8x6</td><td>M8</td><td>FP-B20-1-12-60-T</td></tr> </tbody> </table>	Soporte	Rueda	Cojinete Rodillos	Cojinete liso	Tornillo	Tuerca	Móvil Grande	Roja d12	No	12	M8x5	M8	Móvil Pequeño	Roja d20	Si	12	M8x5	M8	Fijo Grande	Hueso d20	Si	12	M8x5	M8	Fijo Pequeño	Bianca d12	Si	12	M8	M8		Bianca d14	No	12	M8	M8		Bianca d20	No	14	M8	M8	Combinaciones							Soporte	Rueda	Cojinete Rodillos	Cojinete liso	Tornillo	Tuerca	Código	Móvil Grande	Roja d12	No	12	M8x5	M8	MG-R12-0-12-65-T	Móvil Grande	Roja d20	Si	12	M8x5	M8	MG-R20-1-12-65-T	Móvil Grande	Hueso d20	Si	12	M8x5	M8	MG-H20-1-12-65-T	Móvil Grande	Bianca d12	No	12	M8x5	M8	MG-B12-0-12-65-T	Móvil Grande	Bianca d14	No	14	M8x5	M8	MG-B14-0-14-65-T	Móvil Grande	Bianca d20	Si	12	M8x5	M8	MG-B20-1-12-65-T	Móvil Pequeño	Roja d12	No	12	M8x6	M8	MP-R12-0-12-60-T	Móvil Pequeño	Roja d20	Si	12	M8x6	M8	MP-R20-1-12-60-T	Móvil Pequeño	Hueso d20	Si	12	M8x6	M8	MP-H20-1-12-60-T	Móvil Pequeño	Bianca d12	No	12	M8x6	M8	MP-B12-0-12-60-T	Móvil Pequeño	Bianca d14	No	14	M8x6	M8	MP-B14-0-14-60-T	Móvil Pequeño	Bianca d20	Si	12	M8x6	M8	MP-B20-1-12-60-T	Fijo Grande	Roja d12	No	12	M8x5	M8	FG-R12-0-12-65-T	Fijo Grande	Roja d20	Si	12	M8x5	M8	FG-R20-1-12-65-T	Fijo Grande	Hueso d20	Si	12	M8x5	M8	FG-H20-1-12-65-T	Fijo Grande	Bianca d12	No	12	M8x5	M8	FG-B12-0-12-65-T	Fijo Grande	Bianca d14	No	14	M8x5	M8	FG-B14-0-14-65-T	Fijo Grande	Bianca d20	Si	12	M8x5	M8	FG-B20-1-12-65-T	Fijo Pequeño	Roja d12	No	12	M8x6	M8	FP-R12-0-12-60-T	Fijo Pequeño	Roja d20	Si	12	M8x6	M8	FP-R20-1-12-60-T	Fijo Pequeño	Hueso d20	Si	12	M8x6	M8	FP-H20-1-12-60-T	Fijo Pequeño	Bianca d12	No	12	M8x6	M8	FP-B12-0-12-60-T	Fijo Pequeño	Bianca d14	No	14	M8x6	M8	FP-B14-0-14-60-T	Fijo Pequeño	Bianca d20	Si	12	M8x6	M8	FP-B20-1-12-60-T
Soporte	Rueda	Cojinete Rodillos	Cojinete liso	Tornillo	Tuerca																																																																																																																																																																																																																													
Móvil Grande	Roja d12	No	12	M8x5	M8																																																																																																																																																																																																																													
Móvil Pequeño	Roja d20	Si	12	M8x5	M8																																																																																																																																																																																																																													
Fijo Grande	Hueso d20	Si	12	M8x5	M8																																																																																																																																																																																																																													
Fijo Pequeño	Bianca d12	Si	12	M8	M8																																																																																																																																																																																																																													
	Bianca d14	No	12	M8	M8																																																																																																																																																																																																																													
	Bianca d20	No	14	M8	M8																																																																																																																																																																																																																													
Combinaciones																																																																																																																																																																																																																																		
Soporte	Rueda	Cojinete Rodillos	Cojinete liso	Tornillo	Tuerca	Código																																																																																																																																																																																																																												
Móvil Grande	Roja d12	No	12	M8x5	M8	MG-R12-0-12-65-T																																																																																																																																																																																																																												
Móvil Grande	Roja d20	Si	12	M8x5	M8	MG-R20-1-12-65-T																																																																																																																																																																																																																												
Móvil Grande	Hueso d20	Si	12	M8x5	M8	MG-H20-1-12-65-T																																																																																																																																																																																																																												
Móvil Grande	Bianca d12	No	12	M8x5	M8	MG-B12-0-12-65-T																																																																																																																																																																																																																												
Móvil Grande	Bianca d14	No	14	M8x5	M8	MG-B14-0-14-65-T																																																																																																																																																																																																																												
Móvil Grande	Bianca d20	Si	12	M8x5	M8	MG-B20-1-12-65-T																																																																																																																																																																																																																												
Móvil Pequeño	Roja d12	No	12	M8x6	M8	MP-R12-0-12-60-T																																																																																																																																																																																																																												
Móvil Pequeño	Roja d20	Si	12	M8x6	M8	MP-R20-1-12-60-T																																																																																																																																																																																																																												
Móvil Pequeño	Hueso d20	Si	12	M8x6	M8	MP-H20-1-12-60-T																																																																																																																																																																																																																												
Móvil Pequeño	Bianca d12	No	12	M8x6	M8	MP-B12-0-12-60-T																																																																																																																																																																																																																												
Móvil Pequeño	Bianca d14	No	14	M8x6	M8	MP-B14-0-14-60-T																																																																																																																																																																																																																												
Móvil Pequeño	Bianca d20	Si	12	M8x6	M8	MP-B20-1-12-60-T																																																																																																																																																																																																																												
Fijo Grande	Roja d12	No	12	M8x5	M8	FG-R12-0-12-65-T																																																																																																																																																																																																																												
Fijo Grande	Roja d20	Si	12	M8x5	M8	FG-R20-1-12-65-T																																																																																																																																																																																																																												
Fijo Grande	Hueso d20	Si	12	M8x5	M8	FG-H20-1-12-65-T																																																																																																																																																																																																																												
Fijo Grande	Bianca d12	No	12	M8x5	M8	FG-B12-0-12-65-T																																																																																																																																																																																																																												
Fijo Grande	Bianca d14	No	14	M8x5	M8	FG-B14-0-14-65-T																																																																																																																																																																																																																												
Fijo Grande	Bianca d20	Si	12	M8x5	M8	FG-B20-1-12-65-T																																																																																																																																																																																																																												
Fijo Pequeño	Roja d12	No	12	M8x6	M8	FP-R12-0-12-60-T																																																																																																																																																																																																																												
Fijo Pequeño	Roja d20	Si	12	M8x6	M8	FP-R20-1-12-60-T																																																																																																																																																																																																																												
Fijo Pequeño	Hueso d20	Si	12	M8x6	M8	FP-H20-1-12-60-T																																																																																																																																																																																																																												
Fijo Pequeño	Bianca d12	No	12	M8x6	M8	FP-B12-0-12-60-T																																																																																																																																																																																																																												
Fijo Pequeño	Bianca d14	No	14	M8x6	M8	FP-B14-0-14-60-T																																																																																																																																																																																																																												
Fijo Pequeño	Bianca d20	Si	12	M8x6	M8	FP-B20-1-12-60-T																																																																																																																																																																																																																												
14	<p>En caso de tomar alguna pieza defectuosa, depositar en la caja de CALIDAD.</p>																																																																																																																																																																																																																																	
15	<p>Introducir en la rueda el cojinete liso, o cojinete liso más cojinete de rodillos, dependiendo de la combinación necesaria.</p>																																																																																																																																																																																																																																	
16	<p>Tomar dispensador de grasa. Engrasar con 2 toques por un lado únicamente, como aparece en la imagen.</p>																																																																																																																																																																																																																																	

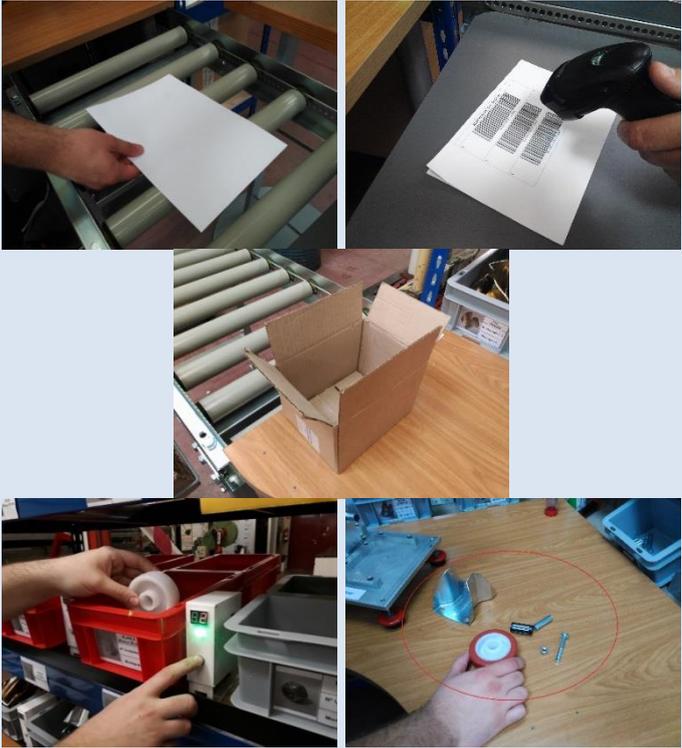
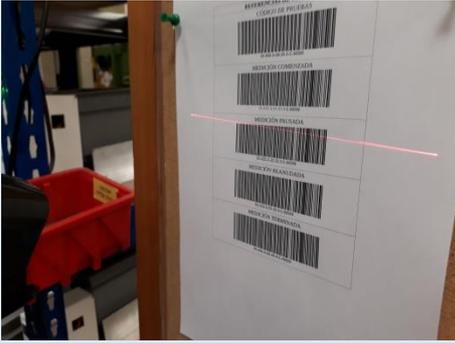
17	En caso de falta de grasa en el dispensador, intercambiar por los de repuesto.	
18	Situarse el conjunto rueda más cojinetes en el soporte.	
19	Introducir el tornillo por su eje y lado correspondiente. Cuando lo coloquemos en el útil, el tornillo debe de quedar en el vaso del útil. (Ver documento de apoyo).	
20	Embocar tuerca manualmente.	
21	Situarse el conjunto en el útil de tal manera que la cabeza del tornillo quede introducida en el vaso correspondiente. (Ver documento de apoyo en el tablón).	

22	Tomar atornilladora.	
23	<p>Atornillar por el extremo de la tuerca hasta que salte el par de apriete.</p> <p>La atornilladora se detendrá.</p>	
24	Posicionar atornilladora en la mesa de trabajo en su sitio correspondiente.	
25	En caso de fallo de la atornilladora emplear la otra de repuesto.	

26	Extraer el montaje completo del útil.	
27	<p>Inspección visual general.</p> <p>Comprobar que la tuerca auto bloqueante está correctamente ajustada y el cojinete liso hace contacto con las paredes del soporte.</p> <p>(En caso de producto defectuoso introducir el producto en la caja de CALIDAD para su posible recuperación).</p>	
28	Introducir el montaje en el embalaje.	

29	<p>Plegar solapas superiores del embalaje.</p> <p>1º las del lado más estrecho.</p>	
	<p>2º las del lado más ancho.</p>	
30	<p>Fijar las solapas con la cinta transversalmente.</p>	
31	<p>Tomar la pegatina de identificación del producto de la impresora.</p> <p>Pulsar botón de cortar antes de extraer la pegatina.</p>	

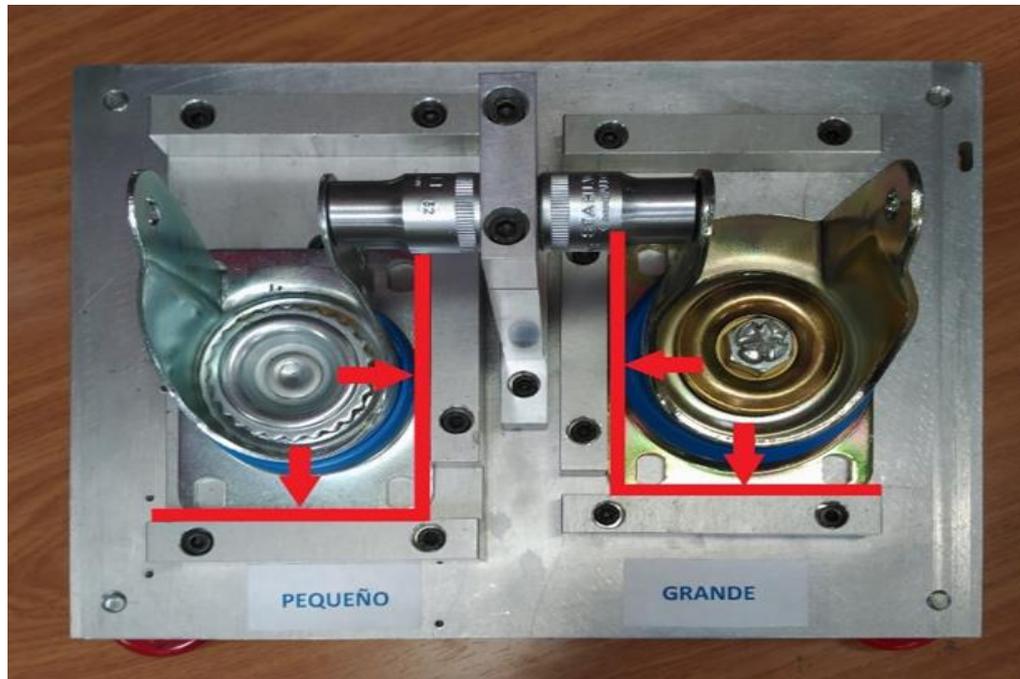
32	Pegar la pegatina en el lateral del embalaje.	
33	Tirar a la papelera el papel sobrante.	
34	Enviar por la cinta de rodillos de producto terminado el producto terminado.	
35 A	<p>Recepcionar siguiente orden de fabricación.</p> <p>Repetir el proceso anterior desde la instrucción nº2</p>	
35 B	<p>Fin de la producción, fin de turno.</p> <p>Tomar lector de código de barras, leer "Medición terminada"</p>	

<p>Caso especial: RECESO</p>	<p>En caso de tener que realizar una pausa.</p> <p>Recepcionar orden de fabricación.</p> <p>Tomar lector de código de barras y leer código</p> <p>Realizar el montaje del embalaje.</p> <p>Tomar todas las piezas y pulsar todos los botones.</p> <p>Tomar lector de códigos de barra y leer “Medición pausada”.</p> <p>Realizar la pausa de fabricación por motivo especial o urgente.</p> <p>Tomar lector de código de barras y leer “Medición reanudada”.</p> <p>Continuar con el ensamblaje de la referencia.</p>	  
<p>Caso especial: ERROR, FALLO</p>	<p>Fallo en el sistema de picking u otros fallos.</p> <p>Avisar al técnico responsable del puesto para la subsanación.</p>	

ANEXO III. GAMA DE UBICACIÓN DE LOS SOPORTES

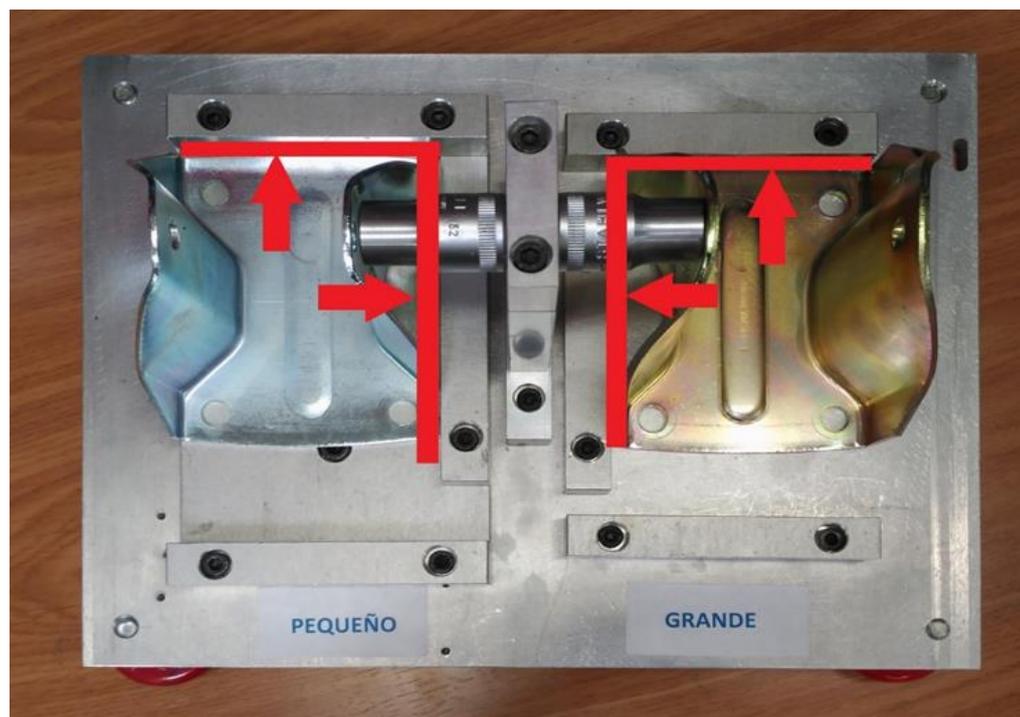
SOPORTE MÓVIL

LEAN MANUFACTURING 



SOPORTE FIJO

LEAN MANUFACTURING 



ANEXO IV. GAMA DE REPOSICIÓN DE MATERIAL

GAMA DE REPOSICIÓN DE MATERIAL		
Nº de instrucción	Descripción	Imagen
1	En caso de haber alguna gaveta vacía en el almacén, recargar la misma con el material y las unidades correspondientes que aparecen en la etiqueta kanban.	
2	Extraer de la cinta de rodillos "Repuesto Almacén" las gavetas vacías y llevarlas al almacén.	
3	Intercambiar las gavetas vacías por sus correspondientes llenas de material y llevarlas al puesto de trabajo.	

4

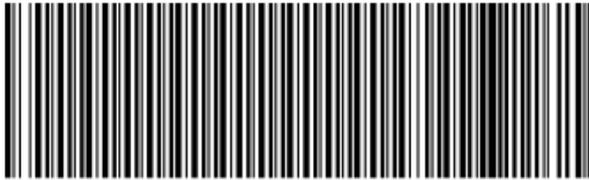
Identificar el emplazamiento de cada una de ellas y situarlas por la parte trasera de las estanterías en su lugar correspondiente



ANEXO V. GAMA DE ALMACENAJE Y ENTREGA DE PRODUCTO TERMINADO

GAMA ALMACENAJE Y ENTREGA DE PRODUCTO TERMINADO		
Nº de instrucción	Descripción	Imagen
1	Recoger los productos terminados de la cinta de rodillos y llevarlos a la zona del almacén de Producto terminado.	
2	Organizar cada uno de los lotes solicitados por el cliente y esperar a que sean recepcionados.	

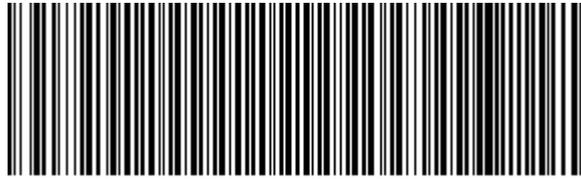
ANEXO VI. LISTADO CÓDIGOS DE BARRAS PARA OPERACIONES

<p>REFERENCIAS DE OPERACIÓN</p> <p>CÓDIGO DE PRUEBAS</p>  <p>00-000-0-00-00-0-C-00000</p>
<p>MEDICIÓN COMENZADA</p>  <p>11-111-1-11-11-1-C-00000</p>
<p>MEDICIÓN PAUSADA</p>  <p>22-222-2-22-22-2-C-00000</p>
<p>MEDICIÓN REANUDADA</p>  <p>33-333-3-33-33-3-C-00000</p>
<p>MEDICIÓN TERMINADA</p>  <p>44-444-4-44-44-4-C-00000</p>

ANEXO VII. LISTADO DE REFERENCIAS EN CÓDIGOS DE BARRAS, CON CLIENTES

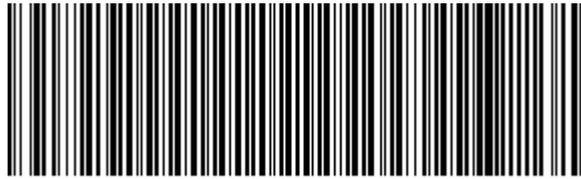
REFERENCIAS

1



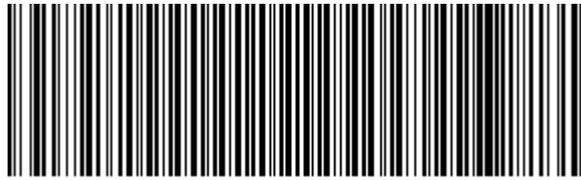
MG-R12-0-12-65-T-C-00001

2



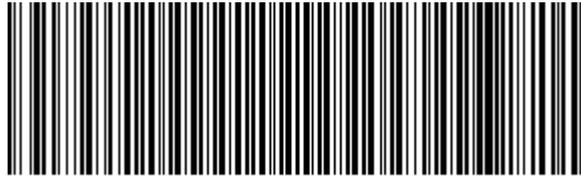
MG-R20-1-12-65-T-C-00002

3



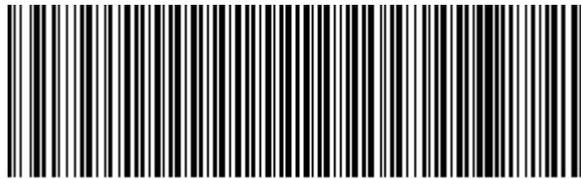
MG-H20-1-12-65-T-C-00003

4



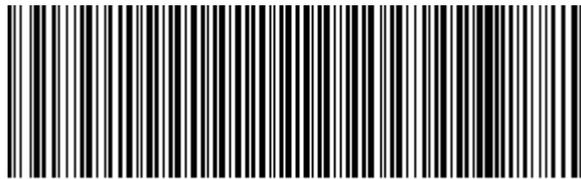
MG-B12-0-12-65-T-C-00004

5



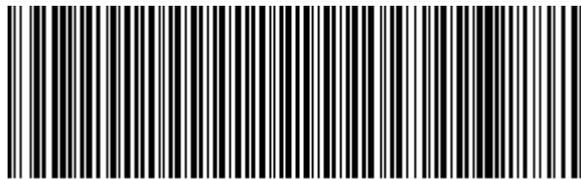
MG-B14-0-14-65-T-C-00005

6



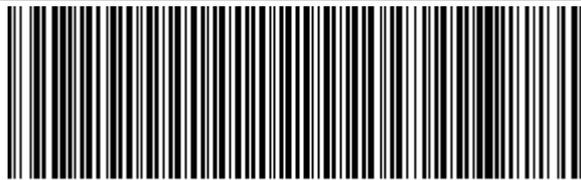
MG-B20-1-12-65-T-C-00006

7



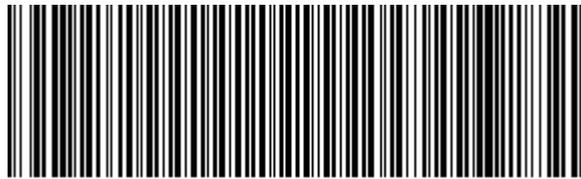
MP-R12-0-12-60-T-C-00007

8

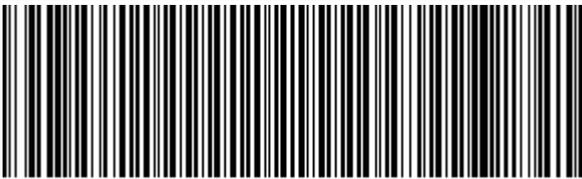
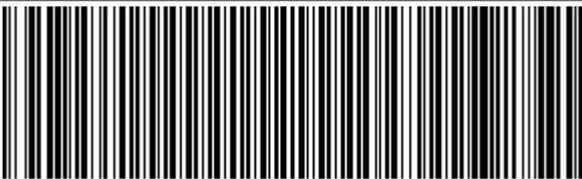


MP-R20-1-12-60-T-C-00008

9



MP-H20-1-12-60-T-C-00009

10	 MP-B12-0-12-60-T-C-00010
11	 MP-B14-0-14-60-T-C-00011
12	 MP-B20-1-12-60-T-C-00012
13	 FG-R12-0-12-65-T-C-00013
14	 FG-R20-1-12-65-T-C-00014
15	 FG-H20-1-12-65-T-C-00015
16	 FG-B12-0-12-65-T-C-00016
17	 FG-B14-0-14-65-T-C-00017
18	 FG-B20-1-12-65-T-C-00018

19



FP-R12-0-12-60-T-C-00019

20



FP-R20-1-12-60-T-C-00020

21



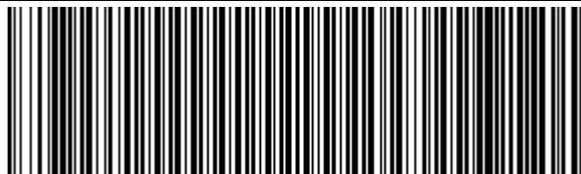
FP-H20-1-12-60-T-C-00021

22



FP-B12-0-12-60-T-C-00022

23



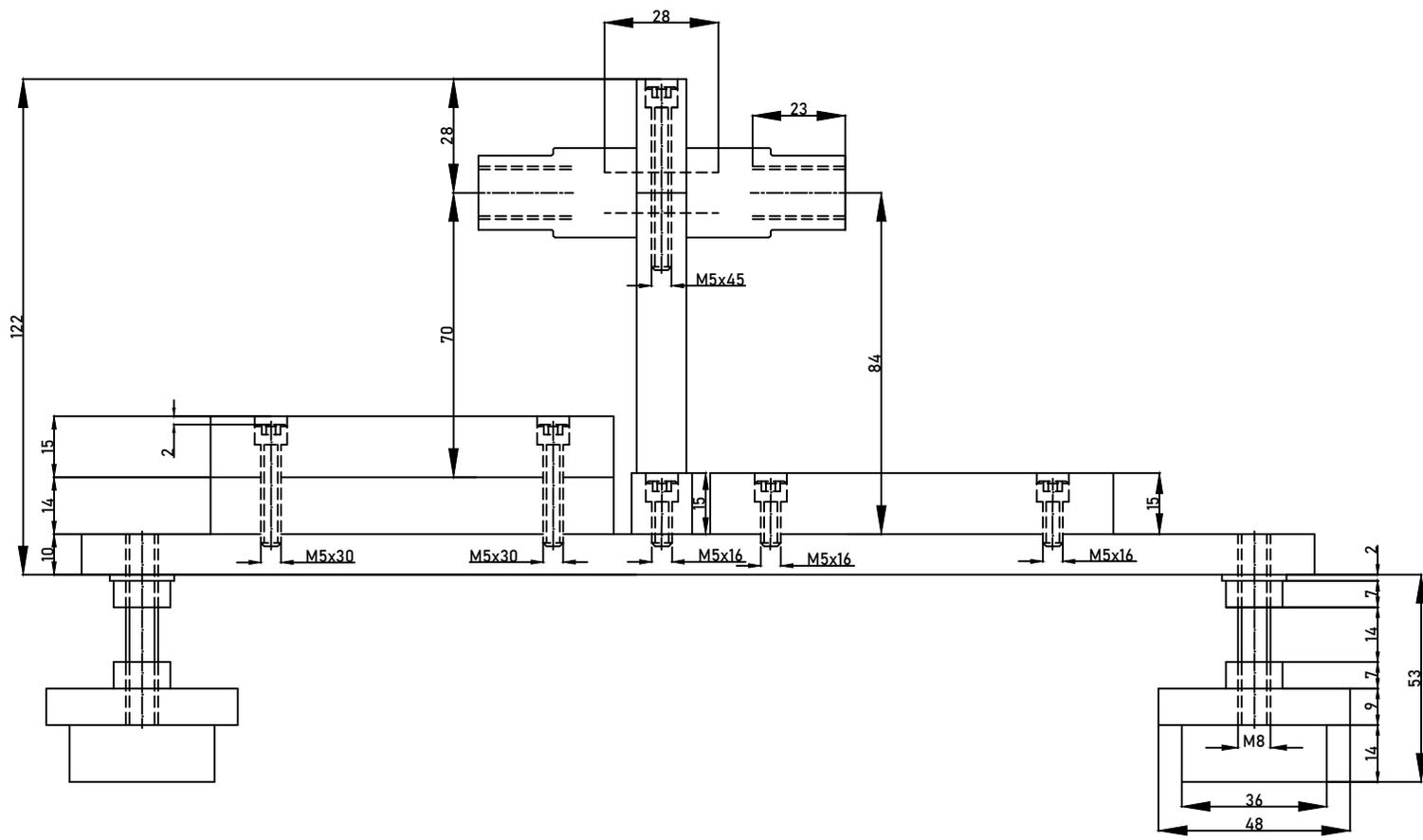
FP-B14-0-14-60-T-C-00023

24

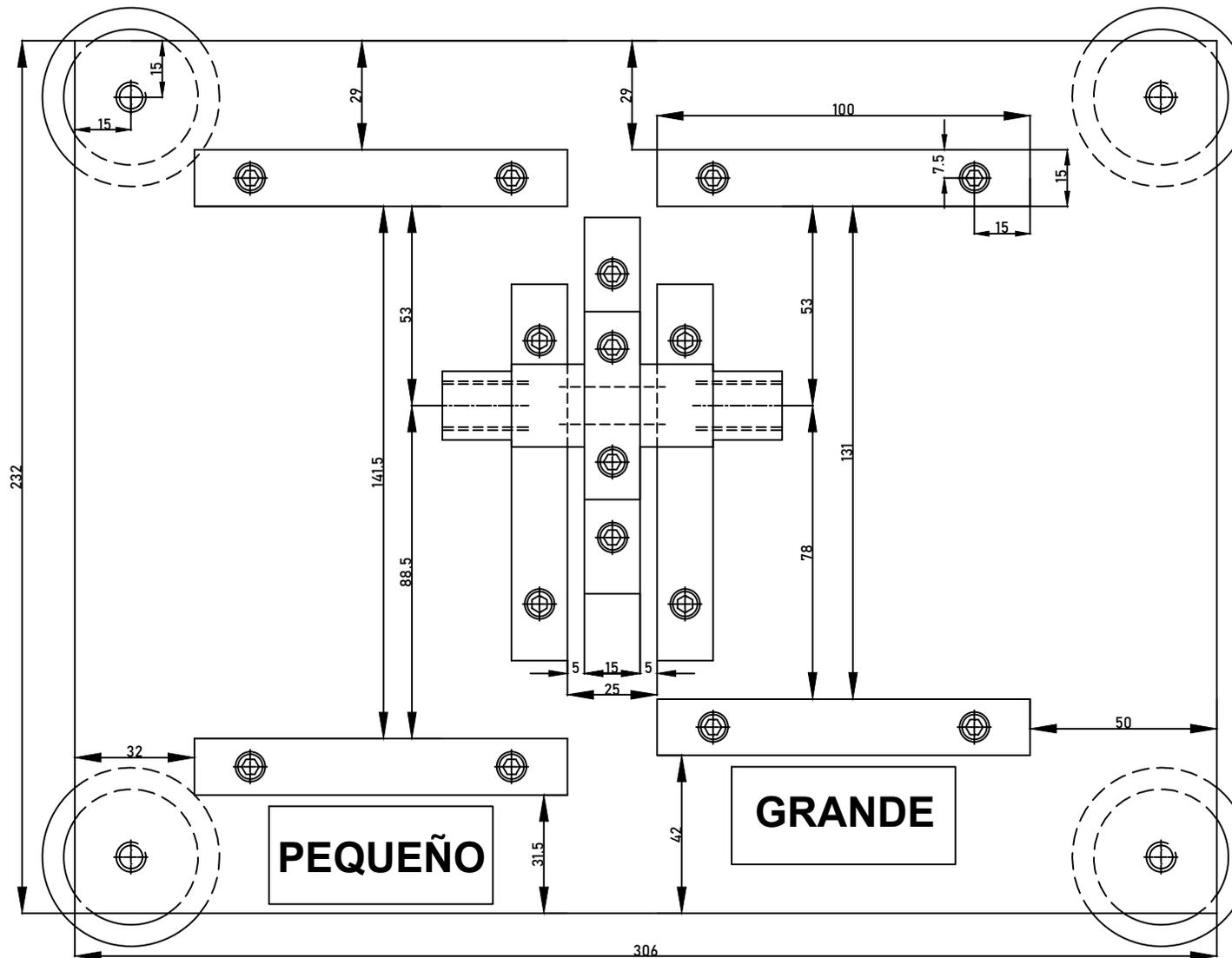


FP-B20-1-12-60-T-C-00024

ANEXO VIII. PLANOS



Universidad de Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales Máster en Ingeniería Industrial	
Título: Plano de alzado del útil	Plano nº 1
Autor: Diego del Pozo Fraile	Escala: 1:2 Tamaño: A4 Fecha: junio-2018



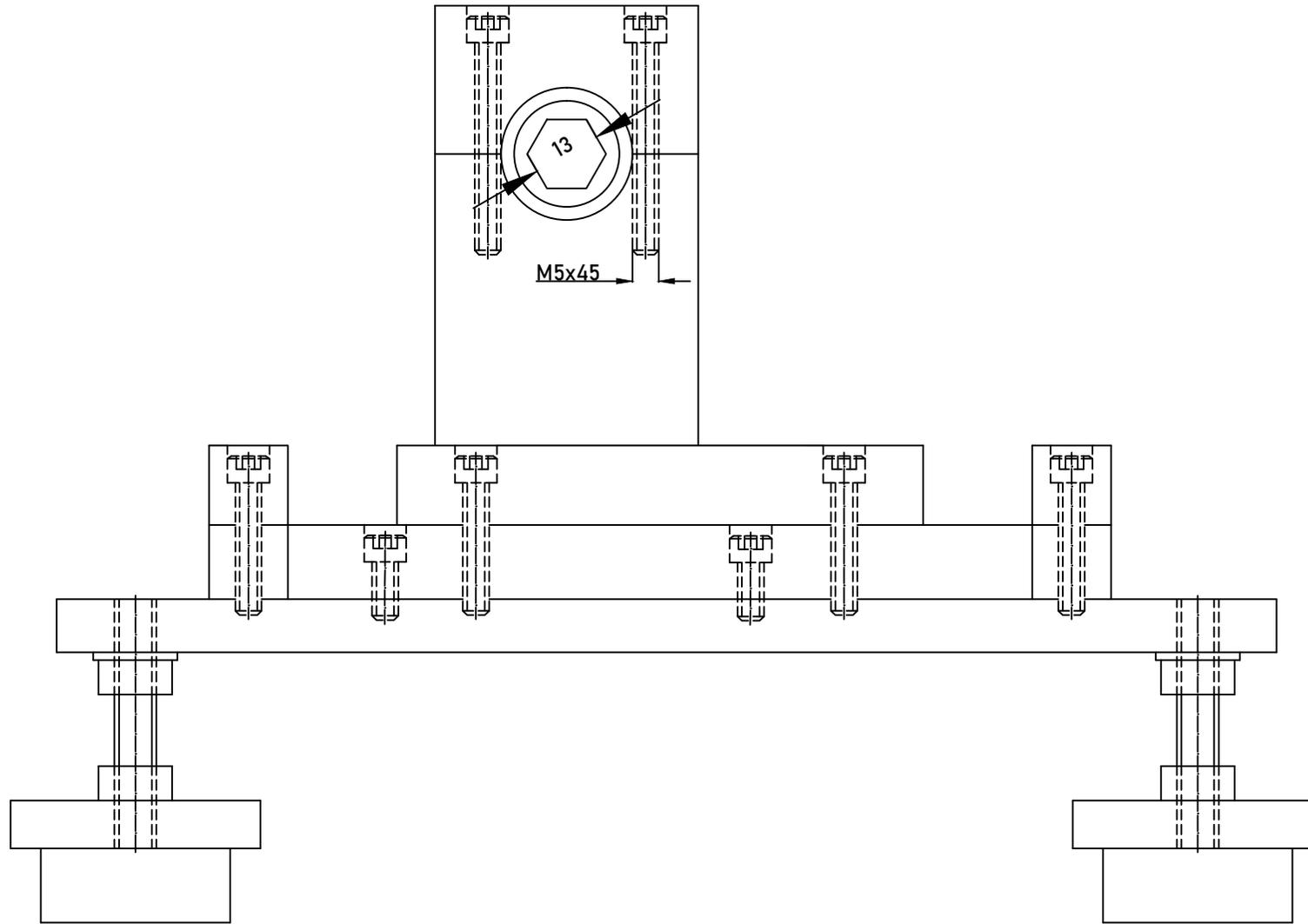
Universidad de Valladolid
 Escuela de Ingenierías Industriales
 Máster en Ingeniería Industrial

Título:
 Plano de planta del útil

Plano nº 2

Autor:
 Diego del Pozo Fraile

Escala: 1:2
 Tamaño: A4
 Fecha: junio-2018



Universidad de Valladolid
Escuela de Ingenierías Industriales
Máster en Ingeniería Industrial

Título:
Plano de lateral izquierdo del útil

Plano nº 3

Autor:
Diego del Pozo Fraile

Escala: 1:2
Tamaño: A4
Fecha: junio-2018

