



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**

Aplicación de técnicas LEAN en un puesto de montaje industrial.

Autor: D. Javier Revilla de Lozar  
Tutor: D. Manuel San Juan Blanco

Valladolid, Junio de 2017



## Resumen/Abstract

En el presente trabajo se realizará un análisis de las técnicas Lean Manufacturing generales, y se aplicarán a un puesto de montaje industrial con el fin de mejorar su desempeño. Se analizarán las distintas fases del proyecto y se presentará la solución final con su correspondiente estudio de mejora. Se plantea también el diseño de un sistema pick-to-light de apoyo, cuya implantación se realizará más adelante.

In this project, Lean Manufacturing techniques are analyzed and applied to an industrial assembly line in order to improve their performance. The different steps of the project will be analyzed, and we will present the final solution with its corresponding improvement study. It is also proposed the design of a pick-to-light system of support, although this implementation will be carried out later.



## Agradecimientos:

- Agradecer el apoyo recibido durante mi vida de estudiante en la Universidad a mis padres y amigos que han estado siempre a mi lado apoyandome.
- A mis compañeros, ya que he podido trabajar conjuntamente con ellos muy a gusto y hemos compartido muchas ideas de las que se han aportado.
- A Manuel San Juan, ya que me ha orientado como tutor y ha dedicado todo el tiempo posible a guiarnos en las sucesivas reuniones que íbamos teniendo en el desarrollo de este proyecto.
- A Julian Castro, porque sin su trabajo en el taller y aportación de ideas nunca hubiésemos avanzado en este proyecto de la misma manera.



## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| <b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN</b> .....                                    | 1  |
| 1.1 Antecedentes .....  | 1  |
| 1.2 Objetivos .....   | 1  |
| 1.3 Planteamiento del trabajo.....                                      | 2  |
| <b>CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE</b> .....                                 | 3  |
| 2.1 Origen del Lean Manufacturing .....                                 | 3  |
| 2.2 Objetivos de Lean y la mejora continua .....                        | 4  |
| 2.3 Concepto de despilfarro y valor añadido .....                       | 4  |
| 2.4 Concepto de mejora continua y Kaizen .....                          | 6  |
| 2.5 Técnicas Lean Manufacturing .....                                   | 6  |
| 2.5.1 Las 5S.....   | 7  |
| 2.5.2 Estandarización.....  | 8  |
| 2.5.3 SMED.....   | 8  |
| 2.5.4 TPM (Mantenimiento Productivo Total).....                         | 9  |
| 2.5.5 Control visual .....  | 10 |
| 2.5.6 Jidoka.....   | 10 |
| 2.5.7 Técnicas de calidad .....   | 11 |
| 2.5.8 El sistema Kanban .....   | 14 |
| 2.5.9 Heijunka .....  | 15 |
| 2.6 El Mapa de cadena de valor.....                                     | 16 |
| 2.6.1 VSM: Mapa de estado actual .....                                  | 17 |
| 2.6.2 VSM: Mapa de estado futuro .....                                  | 18 |
| 2.6.3 Ventajas y desventajas de la cadena de valor .....                | 19 |
| 2.7 Ergonomía del puesto de trabajo .....                               | 20 |
| 2.7.1 Concepción del puesto de trabajo.....                             | 20 |
| 2.7.2 Diseño del puesto de trabajo .....                                | 21 |
| 2.7.3 Principios del diseño ergonómico de los espacios de trabajo ..... | 22 |
| 2.7.4 Fases del diseño de un puesto de trabajo .....                    | 23 |
| 2.8 El sistema pick-to-light .....                                      | 29 |
| 2.8.1 Funcionamiento.....   | 29 |
| 2.8.2 Ventajas de los sistemas pick-to-light .....                      | 30 |
| 2.9 El sistema Arduino .....  | 31 |
| <b>CAPÍTULO 3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FASES DE MEJORA</b> .....    | 33 |
| 3.1 Problema propuesto .....  | 33 |
| 3.2 Fases de mejora.....  | 40 |
| 3.2.1 Fase 1: Punto de partida.....                                     | 40 |
| 3.2.2 Resultados de la fase 1 .....                                     | 41 |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2.3 Fase 2.....  | 43        |
| 3.2.4 Resultados de la Fase 2 .....                              | 48        |
| 3.2.5 Fase 3.....  | 50        |
| 3.2.6 Resultados de la Fase 3 .....                              | 56        |
| <b>CAPÍTULO 4 RESULTADOS.....</b>                                | <b>63</b> |
| 4.1 Descripción de la solución.....                              | 63        |
| 4.2 Análisis de los resultados.....                              | 64        |
| 4.2.1 Análisis de los tiempos de montaje.....                    | 64        |
| 4.2.2 Porcentaje errores.....                                    | 68        |
| 4.2.3 Análisis de la cadena de valor .....                       | 68        |
| <b>CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES .....</b>                             | <b>71</b> |
| 5.1 Conclusiones del Proyecto.....                               | 71        |
| 5.2 Trabajos futuros .....                                       | 71        |
| <b>CAPÍTULO 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                | <b>75</b> |
| <b>ANEXO I PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN .....</b>               | <b>77</b> |
| <b>ANEXO II DOCUMENTOS DE APOYO LEAN .....</b>                   | <b>88</b> |
| <b>ANEXO III PLANOS CONJUNTO Y DESPIECE ÚTIL POKA YOKE .....</b> | <b>91</b> |
| <b>PRESUPUESTO .....</b>   | <b>97</b> |







## CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se incluyen los antecedentes, objetivos del proyecto y el planteamiento del trabajo en el que se presenta el problema a resolver.

### 1.1 Antecedentes

Durante más de dos décadas, la filosofía Lean ha sido la estrategia de negocios que ha garantizado la competitividad, centrandose su atención en la eliminación de las actividades que no aportan valor añadido. Como sabemos, los recursos tanto de producción como energéticos cada vez son más limitados. Por lo tanto, se buscan nuevas maneras sostenibles de producir más consumiendo menos. Pese a que las buenas prácticas en el entorno de trabajo como la conservación del orden y la limpieza existen desde mucho tiempo atrás, el Lean Manufacturing se basa en la teoría que Toyota presentó a comienzos del siglo XX con cinco principios clave, y numerosas herramientas prácticas. El concepto de Lean Manufacturing ha demostrado en muchas empresas notables efectos sobre la productividad. Los pioneros del Lean Manufacturing desarrollaron una gran cantidad de herramientas y técnicas que permiten poner solución a muchos de los problemas y eliminar los desperdicios. No es hasta la década de 1980 cuando el pensamiento Lean Manufacturing comienza a presentar un amplio interés por parte de la mayoría de las empresas al ver los buenos resultados que ofrecía sobre la competitividad y la productividad.

### 1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo consiste básicamente en la mejora del puesto de trabajo con la ayuda de las técnicas Lean:

- Las técnicas Lean son conocidas, pero se trata de alcanzar un mejor nivel de conocimiento, permitiendo abordar el diseño de un puesto de trabajo de una forma global.
- Realizar un diseño del puesto de montaje teniendo en cuenta la ergonomía del trabajador.
- Diagnóstico y análisis de un puesto “tradicional” equivalente, definiendo puntos de mejora.
- Realizar sucesivas mejoras y tomar datos de tiempos y características para poder comprobar el proceso de mejora continua aplicando las técnicas de Lean Manufacturing.
- Puesta a punto de una metodología de trabajo, que permita una realización estándar para cada una de las pruebas y para la implantación del proyecto.
- Conseguir mejorar el puesto de trabajo de manera que disminuyan los tiempos de montaje y los errores, haciéndolo más intuitivo.
- Implantar un sistema de reposición de material de manera que permita disponer del mismo inmediatamente.
- Diseño de un sistema picking de ayuda a la selección de piezas.

### 1.3 Planteamiento del trabajo

En el presente trabajo se van a aplicar las técnicas del Lean Manufacturing a un puesto de trabajo de montaje de ruedas con el fin de mejorar el desempeño del mismo y conseguir una mejora progresiva.

Los procesos de mejora se han organizado en tres fases de implementación sucesivas. Una vez finalizada cada una de ellas se procedió a realizar pruebas de montaje con personas ajenas al proyecto para obtener datos y observaciones y poder tener indicadores de mejora.

La memoria está organizada en las siguientes secciones:

- Capítulo 1 Introducción: En este apartado se presenta un acercamiento inicial al proyecto con los antecedentes, los objetivos y el planteamiento del trabajo.
- Capítulo 2 Estado del arte: En esta parte se recoge toda la información y documentación acerca del Lean Manufacturing, mapa de cadena de valor, ergonomía del puesto de trabajo, el sistema pick to light y una breve explicación del sistema Arduino.
- Capítulo 3 Planteamiento del problema y fases de mejora: Aquí está detallado todo el proceso de mejora, desde que partimos del problema y el estado inicial del puesto, hasta la última fase de mejora de implantación del Lean.
- Capítulo 4 Resultados: Una descripción de la solución final a la que se ha llegado, junto con el análisis de todos los datos obtenidos en las pruebas de las distintas fases.
- Capítulo 5 Conclusiones: En esta sección se explican las conclusiones a las que se ha llegado y las sugerencias para trabajos futuros.
- Capítulo 6 Referencias bibliográficas.
- Anexos: Contendrán los documentos que se han generado durante la implantación Lean.
- Presupuesto: Elementos presupuestados que se han ido utilizando en la implantación del proyecto

## CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Origen del Lean Manufacturing

Las raíces del Lean Manufacturing se encuentran en la compañía Japonesa Toyota. Los orígenes del sistema de producción Toyota datan de principios del siglo XX. Según [Dekier, 2012], Los padres de este sistema fueron Sakichi Toyoda, sus hijos Kiichiro Toyoda y Eiji Toyoda así como Taiichi Ohno, ingeniero de producción. Sakichi Toyoda, que entonces trabajó en la industria textil, inventó un telar motorizado especialmente diseñado para detenerse en caso de que se produjese la rotura del hilo. Este mecanismo se convirtió más tarde en la base del término “Jidoka”, uno de los pilares sobre los que fue construido el sistema Lean Manufacturing. Debido a la aplicación de este mecanismo de detección de fallos, se redujeron los defectos que procedían del factor humano y se aumentó la capacidad de producción.

En 1910, Sakichi Toyoda visitó Estados Unidos por primera vez, y se dio cuenta de que acababa de empezar una nueva era en la automoción. Desde entonces, la familia Toyoda necesitó 20 años para materializar e implantar sus ideas. En 1929, Kiichiro Toyoda llegó a Estados Unidos con el objetivo de observar la manera de trabajar de las compañías de la industria del automóvil de las que se fascinó particularmente con el sistema de fabricación de Ford y la producción en serie de su automóvil. Por esta razón, cuando la compañía Toyota inició su producción, Kiichiro decidió implementar en ella algunas de las técnicas de las que había sido testigo en Estados Unidos. Por aquel entonces, Japón sufría una disminución de la demanda, con lo cual varios automóviles se fabricaban necesariamente en un pequeño número de líneas de producción. Con el fin de competir en la fabricación en masa del automóvil, que había sido introducida en Europa y América, Toyota se vio forzado a cambiar los métodos de producción. Kiichiro Toyoda comprendió que era obligatorio crear un proceso de producción más rápido y flexible, en el que los clientes comprasen automóviles con una buena calidad a un precio razonable. El objetivo final era aumentar la capacidad de producción y reducir los desperdicios.

En los años 50 el hijo de Sakichi, Eiji Toyoda, visitó la compañía Ford y fue capaz de crear junto con Taiichi Ohno un sistema que unió los 2 pilares básicos del TPS (Toyota Production System), Jidoka y Just in time, con la línea de producción de Ford.

Poco después de la primera mejora implementada, Taiichi Ohno reinventó otro sistema llamado “pull”, una técnica que se utilizaba en los supermercados de América. El sistema “pull” permitió fabricar la cantidad necesaria de productos demandados. Además, facilitó la reducción de la sobreproducción.

El sistema de producción Toyota no tuvo un interés notable por parte de las empresas japonesas y americanas hasta 1973, cuando se dieron cuenta de los buenos resultados que Toyota había logrado.

El increíble éxito de este modelo japonés desencadenaría un proceso generalizado de imitación entre los productores estadounidenses y europeos, aunque con diferencias en la composición, alcance y ritmo de adopción en cada uno de ellos. Todo esto se incrementó desde principios de los ochenta. [Aláez, 1996].

## 2.2 Objetivos de Lean y la mejora continua

Según [Iborra, 1992], Georges Archier y Hervé Seryex fueron los que crearon la teoría de los 5 ceros. En ella figuran los objetivos principales del Lean Manufacturing:

1. Cero defectos: Se parte del concepto de calidad total en el que hay que conseguir “Hacer las cosas a la primera” y eliminar los costes adicionales resultado de una mala calidad. Cero defectos implica una mayor producción, que a su vez implica más productividad, al ser los recursos utilizados los mismos. Todo esto se consigue con máquinas que producen piezas de calidad uniforme, programas participativos que promuevan mejoras de calidad, se concreta 100 % calidad con los proveedores, programas de mantenimiento preventivo, comprobación continua de la línea de producción.
2. Cero averías: Las averías provocan un incumplimiento de los objetivos, por lo tanto, el objetivo de esto es evitar cualquier retraso por fallo. Se consigue con la elección del layout adecuado, programas permanentes y exigentes de mantenimiento productivo, personal polivalente formado y motivado.
3. Cero stocks: El stock es considerado el derroche más dañino, por eso debemos abandonar cualquier estrategia de confort ya que 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.
4. Cero plazos: Reducir los ciclos de fabricación permite reducir el nivel de stock y conseguir flexibilidad para adaptarse a los cambios de la demanda. La manera de solucionarlo consiste en eliminar los tiempos no directamente indispensables (tiempos de espera, tiempos de preparación y tiempos de tránsito)
5. Cero burocracia: El objetivo es disminuir plazos de toma de decisiones reduciendo las actividades administrativas y contando con información más rápida y precisa. Es una búsqueda permanente de la simplicidad.

## 2.3 Concepto de despilfarro y valor añadido

El cambio principal que la filosofía Lean propone consiste en utilizar los términos de valor añadido y despilfarro como medida de la productividad y la eficiencia. En las empresas, el rendimiento es medido en función de indicadores de productividad, sin centrarse en el valor que añade cada operación al producto final o la manera en la que se realiza, cosa que oculta todo el potencial de mejora de los procesos con la consiguiente reducción de costes. Dicho esto, se puede entender “despilfarro” como todo aquello que no aporta valor al producto o que no es completamente necesario para su fabricación. En algunas ocasiones, los despilfarros tendrán que ser admitidos siempre que sean esenciales para el proceso.

La anulación de los despilfarros se puede llevar a cabo de la siguiente manera. Primeramente, será necesario identificar tanto el tipo de desperdicio como su valor añadido. El siguiente paso será corregir aplicando una correcta herramienta lean adaptada a las necesidades del caso en particular. Y por último aplicar la estandarización en el trabajo que tenga un mayor valor añadido. Este proceso se debe realizar de manera cíclica para conseguir una mejor continua.

[Hernández et al., 2013] Para poder reconocer mejor cada uno de los despilfarros se pueden realizar la siguiente clasificación:

### Despilfarro por sobreproducción

La sobreproducción se produce cuando se fabrica más cantidad de la que se requiere o cuando se tiene una mayor capacidad de producción de la que se necesita. Todo esto implica un consumo mayor de material, un incremento innecesario de tiempos tanto de fabricación como de transporte, y un aumento del stock.

### Despilfarro por exceso de almacenamiento

El principal concepto que propugna la perspectiva JIT “Just in Time” es la utilización del mínimo inventario posible ya que oculta problemas e ineficiencias. Los grandes stocks en ocasiones contienen materiales y productos defectuosos y fuera de uso que no han sido retirados. Los almacenes necesitan de un mantenimiento y gestión con su consiguiente coste adicional. Aparte, los stocks desvirtúan las partidas de activos en los balances de contabilidad ya que generan costes difíciles de imputar y no ofrecen ninguna retribución sobre la inversión, por lo tanto, no puede ser considerada como tal. Todas estas características indican además una falta de un flujo de producción continuo.

### Despilfarro por tiempo de espera

Este tipo de despilfarro engloba todo el tiempo perdido como consecuencia de diversos factores tales como: Ineficiencia de las secuencias de trabajo, desequilibrio de la capacidad, falta de estandarización, o un layout mal planificado que incurre en tiempos de transporte elevados. En resumen, todo el tiempo en el que no se produce y que no aporta valor añadido: Cuellos de botella que originan colas, tiempo de espera de operarios y de máquina e incluso paradas del proceso.

### Despilfarro por defectos, rechazos y reprocesos

Cuando se produce algún defecto, se incurre en un trabajo a mayores que debe realizarse para solventar ese problema y que podría haberse solucionado desde el principio. Suele ser el tipo de desperdicio más común, por eso los procedimientos y procesos de fabricación se deberían diseñar a prueba de errores para evitar tener rechazos en la medida de lo posible. De esta manera no solo ahorramos en tiempo sino también en actividades adicionales que no aportan valor como son las

inspecciones de calidad del producto a posteriori. Detectar el defecto justo cuando sucede.

### Despilfarro por transporte y movimientos innecesarios

En este caso el desperdicio se produce a consecuencia de movimientos innecesarios, tanto de personas como de material, siendo importante la optimización del layout para hacer posible que estos tiempos de transporte se vean reducidos al mínimo posible y no se formen colas. Reduciendo el transporte también se reduce la posibilidad de que se puedan originar daños en los materiales

## 2.4 Concepto de mejora continua y Kaizen

Kaizen es un término japonés que significa “mejorar a partir del cambio” e implica una responsabilidad de todas las personas y miembros de un sistema para conseguir el éxito. Sin embargo, su aplicación puede resultar compleja si no se produce un cambio de pensamiento drástico en el que se implique todo el personal. En el momento en el que aparece un problema en el proceso, es necesario su parada con el fin de estudiar las causas e intentar corregirlo. Este término también puede ser similar al concepto de “reingeniería” aplicado a un proceso productivo.

Una vez que las mejoras que se aplican al proceso tienen poca relevancia, se debería realizar una nueva inversión y sustituir la tecnología actual.

## 2.5 Técnicas Lean Manufacturing

El concepto de Lean Manufacturing engloba una gran variedad de técnicas para la gestión de la producción, que en ocasiones no están relacionadas entre sí, pero cuya implementación se puede realizar individualmente o en conjunto, dependiendo de las necesidades que se pueda tener en cada proceso productivo. Su éxito ha sido corroborado en multitud de empresas, tanto grandes como pequeñas y de diferentes sectores.

Se pueden clasificar todas estas técnicas en tres grupos:

1. En este grupo se incluyen todas aquellas técnicas básicas, cuya claridad les hace posible su implementación en cualquiera situación. Poseen un enfoque práctico, en el que el sentido común juega un papel importante. Estaría formado por las siguientes: SMED, TPM, Las 5S, estandarización, y el control visual.
2. El segundo grupo está formado por todas las técnicas que requieren una mayor exigencia y compromiso por parte de todas las personas de la empresa. Son aplicables también a cualquier sector. Formado por: Sistemas de participación de personal, Jidoka, y Técnicas de calidad.



3. En un último grupo incluiremos las técnicas más avanzadas, que suponen un cambio aún más radical en la manera de planificar y programar todos los procesos. Se incluyen: Kanban y Heijinka.

Todas estas técnicas se van a detallar a continuación:

### 2.5.1 Las 5S

Consiste en mejorar y mantener unas condiciones de trabajo por medio de un correcto orden y limpieza en el puesto de trabajo. Es una técnica cuya posibilidad de implementación está abierta a cualquier proceso productivo. Este término se refiere a 5 palabras japonesas que comienzan por “s”, cuyo significado dentro de esta técnica se define a continuación:

- Seiri (Eliminar): Implica retirar cualquier elemento innecesario del puesto de trabajo que no se utilice para la tarea en cuestión, evitando elementos que originen despilfarros como el aumento de manipulaciones, transporte, pérdida de tiempo en localizar las cosas, etc. Todo esto se debe realizar de tal manera que se identifiquen rápidamente los materiales y las herramientas innecesarias en el proceso productivo.
- Seiton (Ordenar): Se trata de ordenar y organizar cada uno de los elementos necesarios de tal manera que se identifiquen rápidamente los materiales y las herramientas a utilizar por medio de elementos visuales, para facilitar su búsqueda y manipulación; “Cada cosa en su lugar y un lugar para cada cosa”. Una manera de delimitar los elementos y las actividades es marcar las áreas en el suelo.
- Seido (Proceso diario de limpieza): Seido engloba eliminar las fuentes de suciedad y verificar sistemáticamente la limpieza de los puestos de trabajo. Consiste básicamente en admitir la limpieza del puesto de trabajo como una labor de inspección esencial.
- Seiketsu (Estandarizar): En este caso se refiere a definir una estandarización para lograr el seguimiento de las 3 primeras S definidas anteriormente y aplicar el método general en todos los puestos de trabajo. Estandarizar implica realizar un determinado procedimiento siguiendo un método previamente establecido, ya sea cualquier documento gráfico o escrito que resulte fácil de comprender y ejecutar. Es importante que los operarios tengan asignadas las responsabilidades sobre las 3 primeras S y que estas se integren dentro del trabajo normal.
- Shitsuki (Disciplina): Su propósito principal es construir un hábito en la utilización del estándar asumiendo su utilización. Es una disciplina que debe ser aceptada por todos los miembros de la organización y debe existir una implicación por parte de estos. Formar y actualizar a los operarios de cada

puesto de trabajo para que hagan orden y limpieza y crear un sistema de auditoria permanente de planta visual y 5S.

En cuanto a los efectos que produce su aplicación sobre las personas: genera una mayor seguridad, una higiene correcta, se obtiene un ambiente de trabajo agradable, se mejora el ánimo y se facilita la inspección. Sobre el entorno: disminuye los riesgos de incendio, las pérdidas de tiempo debidas a la falta de organización, facilita la consulta de documentos técnicos y mantiene un entorno agradable. Sobre las instalaciones: facilita el control y la detección de problemas y averías, disminuye los accidentes por eliminación de suciedades, elimina pequeñas paradas y averías, disminuye el nivel de desperdicios y los problemas de no calidad y facilita los reglajes.

### 2.5.2 Estandarización

Es en esencia una técnica que persigue la elaboración de instrucciones escritas o gráficas que muestren el mejor método para hacer las cosas. Ayudan a entender mejor las técnicas en un proceso productivo por medio de la comprensión de métodos, maquinas, personas, materiales, información y mediciones.

Una adecuada estandarización debe tener en cuenta:

1. Ser intuitiva, sencilla y clara.
2. Ser el resultado de la aplicación de las técnicas Lean.
3. Asegurar su ejecución y cumplimiento.
4. Ser siempre el origen para desarrollos y mejoras a posteriori

### 2.5.3 SMED

La técnica SMED ("Single Minute Exchange of Dies" Por sus siglas en inglés) consiste en un conjunto de conceptos cuya finalidad es disminuir los tiempos de preparación de las máquinas al mínimo posible. El sistema SMED debe ser considerado un método de mejora continua, siendo su fin último la eliminación de la necesidad de preparación. Eliminar esta necesidad implica estandarizar los componentes para que puedan ser utilizados en diferentes productos y fabricar las piezas necesarias al mismo tiempo.

Se puede dividir el proceso de implantación del SMED en varias fases:

- [Fase 1; Estudio de la situación actual](#): Se basa en realizar un seguimiento y análisis del proceso, pero existen diferentes métodos para llevar a cabo su realización tales como medición de tiempos, entrevistas con los trabajadores, o grabación en video de las operaciones para obtener al final un documento de trabajo en el que se resumirán de forma sencilla las actividades realizadas y los tiempos que comprenden.
- [Fase 2; Separar la preparación internad e la externa](#): La preparación interna son aquellas partes de la preparación que exigen que la maquina este

parada, mientras que la preparación externa son las partes de la preparación que permiten que la maquina siga funcionando, evitando que la maquina este parada más tiempo del estrictamente necesario. El paso más importante de la implantación SMED es distinguir claramente entre estos dos tipos de operaciones.

- [Fase 3; Convertir la preparación interna en externa:](#) Consiste en realizar la mayor parte de la preparación cuando la maquina está en funcionamiento, ya que de este modo las maquinas pueden permanecer en funcionamiento durante el mayor tiempo posible. La búsqueda, transporte, preparación y ordenación de las herramientas y materiales necesarios para la preparación son labores que deben realizarse con la maquina en funcionamiento. Haciendo esto el tiempo necesario para la preparación interna, con la maquina parada, puede reducirse considerablemente.
- [Fase 4; Perfeccionar todos los aspectos de la operación de preparación:](#) Para reducir adicionalmente los tiempos de preparación, se debe analizar en detalle los elementos básicos de cada operación de cambio de herramienta. Se aplican principios específicos para acortar los tiempos necesarios, especialmente en el caso de las operaciones e preparación interna, con la maquina parada. Habrá que centrar los esfuerzos en eliminar los tiempos improductivos empleados en los ajustes y reglajes.
- [Fase 5; Estandarización:](#) Como siempre este es un proceso clave en cualquier herramienta lean.

#### 2.5.4 TPM (Mantenimiento Productivo Total)

Es una de las técnicas que cuenta con los trabajadores para intentar aumentar la eficiencia global del sistema, implicándolos en las tareas de mantenimiento de las maquinas con las que trabajan. Todos los trabajadores participan en las labores de prevención, detección y corrección de las anomalías de diseño o funcionamiento de las maquinas. Las actividades que deben desarrollarse en cada puesto de trabajo son:

- Limpieza de todo tipo de suciedad para que las maquinas permanezcan siempre en el mejor estado posible y realizar un mantenimiento: lubricación y ajustes, detección y reparación de defectos de funcionamiento. Adoptar las medidas contra las fuentes de averías.
- Proponer sistemas estandarizados para realizar las actividades de mantenimiento en el menor tiempo y detectar defectos menores del equipo a través de chequeos globales.
- Mantener el puesto de trabajo con el orden apropiado y sin elementos innecesarios.

En resumen, consiste en aplicar la técnica de las 5S junto con un mantenimiento de la maquinaria en óptimas condiciones.

### 2.5.5 Control visual

Es la agrupación de técnicas de inspección y comunicación gráfica cuya finalidad es aportar a los trabajadores el conocimiento de la situación del proceso y del progreso en las acciones de mejora. Se centra únicamente en aquella información de alto valor que ponga en evidencia las deficiencias del sistema.

### 2.5.6 Jidoka

En japonés este término significa “automatización con un toque humano”, y engloba todos aquellos sistemas y dispositivos que permiten la detección inmediata de errores. La idea principal es proveer a los trabajadores con los medios suficientes con el fin de evitar que las anomalías y defectos no se transmitan aguas abajo en el proceso y se solucionen justo en el instante en el que se producen. Así los trabajadores y las máquinas realizan a la vez actividades de inspección de calidad.

Aquí también entra en juego el término autonomía que se refiere a las máquinas que poseen un mecanismo de detención que funciona de manera automático.

Las herramientas que más se emplean relacionadas con Jidoka son el andon y el poka-yoke.

**Andon:** Es una herramienta que sirve para exponer de manera visual y/o acústica las anomalías que se producen en el proceso. Normalmente se utilizan luces en los puestos de trabajo y en las líneas de producción para indicar su estado. Así, proporcionan indicaciones a los trabajadores de manera instantánea, pudiendo advertirlos del problema y tomar las medidas adecuadas. Existen muchos tipos de andon que van desde un simple indicador a tableros completos de control. Mediante unas luces y un código de colores pueden proporcionar información acerca del tipo de anomalía. Cuando existe un tiempo suficiente para responder existe una gran oportunidad para detectar los problemas.

**Poka-yoke:** Este término significa “a prueba de errores” y consiste básicamente en un dispositivo diseñado para evitar la generación de defectos. Son sistemas simples para asegurar la calidad desde el momento en el que se fabrica, evitando fallos y errores como: olvidos, interpretaciones erróneas de los procesos, para que casi sin pensar se faciliten los procesos de fabricación y se evite el fallo. Las ventajas de esta herramienta son varias: Se elimina el riesgo de errores, el operario se puede centrar en actividades que añadan valor, mejora la calidad en su origen y son soluciones simples de implantar y muy baratas.

Cuando se produce un fallo en el proceso de producción, los pasos a seguir aplicando todas estas herramientas son:

1. Detectar el problema: Las personas y las máquinas son los principales en descubrir los defectos.
2. Detener la producción: Toda la producción entra en parada por medio de un andon accionado por el trabajador.
3. Corregir el problema.
4. Investigar la causa raíz y proponer soluciones: Utilizando poka-yokes u otras técnicas que lo eviten.

Según [Hernández et al., 2013], las 10 etapas para la implantación Jidoka son:

1. Autonomación del proceso: Convertir el esfuerzo manual en esfuerzo de la máquina.
2. Autonomación de sujeción: Situar los aprietes manuales por sistemas accionados mecánicamente.
3. Autonomación de la alimentación: El operario únicamente interviene para cortar la alimentación en caso de fallo.
4. Autonomación de paradas: El sistema de alimentación se detiene automáticamente al final del proceso. En este paso el operario ya no interviene.
5. Autonomación de retornos: Una vez parado el sistema, el proceso vuelve a su situación de inicio automáticamente.
6. Autonomación de retirada de piezas: Finalizado el proceso, la pieza es retirada automáticamente de manera que la pieza siguiente puede ser cargada sin necesidad de manipular la anterior.
7. Mecanismo antierror (Poka-Yoke): Se instalan este tipo de herramientas para evitar transferir piezas defectuosas al proceso siguiente y advertir al operario.
8. Autonomación de carga: La carga de la pieza se realiza de manera automática sin la intervención del operario.
9. Autonomación de inicio: El proceso de fabricación de la pieza se realiza de manera autónoma.
10. Autonomación de transferencia: El movimiento de piezas y componentes funciona sin la necesidad del operario.

### 2.5.7 Técnicas de calidad

En un mercado cada vez más globalizado, la calidad es un factor estratégico imprescindible. Calidad se refiere a la responsabilidad de una empresa de fabricar productos con la mayor satisfacción de sus clientes. Es una forma de trabajar en la que se cumpla con todas las especificaciones del producto. Los trabajadores deben ser los que inspeccionen la calidad de lo que se está produciendo, para evitar la reparación de defectos a posteriori, y localizarlo inmediatamente.

Para lograr esto, Lean sugiere un grupo de técnicas TQM (Total Quality Management), técnicas de calidad o por llamarlo de otra manera "buena praxis" entre las que sobresalen: El estudio PDCA, la matriz de autocalidad, los chequeos de autocontrol,  $6\sigma$ , y cero defectos.

#### Chequeos de autocontrol

Esta técnica busca que las tareas tanto de fabricación como de inspección de calidad se lleven a cabo por la misma persona. Es una buena solución cuando no se han implantado poka-yokes y mecanismos anti error, ya que serían estos los que lo llevarían a cabo. En ocasiones es compleja su implantación ya que presenta la dificultad de que los trabajadores sean críticos con ellos mismos.

## La matriz de autocalidad

Es un documento en el que se puede observar el origen de los defectos y hasta donde se transfieren dentro del proceso productivo.

La matriz (Tabla 2.1) consta de las filas y columnas, en las que se incorporan las fases del proceso de fabricación. Al principio se añaden dos columnas: una para los proveedores externos en la que se incluyen las compras, y otra para los proveedores internos en la que se reflejan las provisiones al proceso productivo. Al final aparecen dos filas, para clientes tanto externos como internos. Partiendo de las Hojas de registro de defectos se transfieren los datos de estas a la matriz de autocalidad.

*Tabla 2.1 Matriz de autocalidad.*

| Defectos              |                 | Fase en la que se produce |                   |        |        |   |        |
|-----------------------|-----------------|---------------------------|-------------------|--------|--------|---|--------|
|                       |                 | Proveedor externo         | Proveedor interno | Fase 1 | Fase 2 | - | Fase n |
| Fase donde se detecta | Fase 1          |                           |                   |        |        |   |        |
|                       | Fase 2          |                           |                   |        |        |   |        |
|                       | -               |                           |                   |        |        |   |        |
|                       | Fase n          |                           |                   |        |        |   |        |
|                       | Cliente interno |                           |                   |        |        |   |        |
|                       | Cliente externo |                           |                   |        |        |   |        |

El objetivo principal de esta matriz es lograr que los fallos se representen en las casillas sombreadas. Es decir, que los defectos se detecten justo donde se producen.

## Ciclo PDCA

El ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) también conocido como el círculo de Deming, es una herramienta básica y esencial para la correcta ejecución de la mejora continua. Es una secuencia cíclica de actuaciones que se realizan de manera cíclica:

- **Plan (Planificar):** Evaluar el problema, y definir los objetivos y medidas para alcanzarlos. Se crean los identificadores y las técnicas lean susceptibles de ser implementadas.
- **Do (Hacer):** Poner en práctica lo planificado en el punto anterior. Normalmente se lleva a cabo primeramente en una línea o puesto piloto. Una

vez implantadas las mejoras se realiza la formación del personal con el fin de fomentar su capacitación.

- Check (Evaluar): Realizar una comparación y análisis de lo obtenido en “Do” con lo definido previamente en “Plan” verificando la efectividad de las mejoras.
- 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.

### Cero defectos

Al fin y al cabo, lo que se busca es llegar a cero defectos en un proceso productivo en el que están implicados maquinas, materiales, personas, métodos, e información. Para lograr esto, es necesario realizar las siguientes acciones:

- Control visual: Como ya se definió anteriormente es la agrupación de técnicas de inspección y comunicación gráfica cuya finalidad es aportar a los trabajadores el conocimiento de la situación del proceso y del progreso en las acciones de mejora. Tiene poco sentido si no se trabaja con los empleados.
- Formación básica y multitarea: Ya que las personas son el origen de una gran parte de los defectos debemos garantizar que todo funcione correctamente partiendo de una buena formación a los empleados.
- Estandarización de las operaciones. Establecer un método.
- Inspección y mantenimiento preventivos, mecanismos anti-error. En relación con la maquinaria.
- 5S: Necesaria su implantación para que las otras se desempeñen eficazmente.

### Seis Sigma

El método Seis Sigma tiene una base estadística y se focaliza en la disminución de la variabilidad de los procesos para que los productos fabricados cumplan con los requisitos del cliente. Se denomina Seis Sigma ya que se relaciona con la desviación típica estándar de una distribución normal para conseguir una tasa de eficiencia del 99,99 %. El objetivo final es conseguir menos de 3,4 defectos por millón de oportunidades. Seis sigma se centra en el estudio de las causas para evitar su repetición. Es una técnica más compleja que requiere de una mayor dedicación, por lo tanto, es más factible a largo plazo.

### Sistemas de participación del personal

Son el conjunto de tareas organizadas metódicamente cuya finalidad es poner en practica adecuadamente las iniciativas de mejora que van surgiendo y que puedan ser beneficiosas para una empresa. Tiene como logro en común analizar problemas



y oportunidades de mejora para conseguir soluciones que puedan ser implementadas, por lo tanto, los sistemas de participación de personal están íntimamente relacionados con la mejora continua.

Con los sistemas de participación de personal, los empleados tienen la oportunidad de manifestar sus ideas. No siempre es fácil implantar este tipo de sistemas en las empresas, ya que el personal puede que no se sienta cómodo con ello o que su implicación sea baja. Por todo esto, existen ciertas preferencias antes de llevar a cabo este tipo de sistemas de participación: Primeramente, se debe asegurar una correcta seguridad de los empleados y unas buenas condiciones de trabajo. Se debe formar a los trabajadores para que puedan desarrollar sin problema sus tareas y sentirse participes en la empresa. Y por último se incluirían los sistemas de participación del personal con el fin de inspirar e incitar a todos los empleados a nivel individual y colectivo a aportar ideas de mejora.

Dos de los sistemas de participación de personal más utilizados dentro del Lean Manufacturing son:

- Grupos de mejora

Se puede organizar de 2 maneras: Grupos no muy grandes formados por miembros de distintos niveles de responsabilidad cuya función es analizar y resolver problemas relacionados con la mejora continua y la reducción de desperdicios; Grupos de empleados cuyo trabajo está centrado específicamente en la mejora continua de los procesos y su mantenimiento.

Estos grupos de mejora disponen de unos sistemas de reuniones y jerarquía perfectamente definidos, y disponen de información visual y un soporte operativo para conseguir una comunicación más efectiva.

- Programas para la recogida de ideas o programas de sugerencias

Es un método para promover la participación del personal en la mejora continua de su trabajo. Permite aprovechar los talentos y habilidades de los empleados, situando buzones en los que estos depositan sus ideas y sugerencias relacionadas con la mejora del trabajo. Posteriormente, un conjunto de expertos las evalúa y las pone en funcionamiento si son viables. Se recompensa monetaria y honoríficamente a la persona que la propuso.

### 2.5.8 El sistema Kanban

Es un sistema de control y programación sincronizada de la producción basado en tarjetas, que consiste en que cada proceso retire los elementos que necesita de procesos anteriores, y estos comienzan a producir solamente las piezas o conjuntos que han sido retirados, sincronizándose todo el flujo de materiales de los proveedores con el de los talleres de la fábrica, y estos con la línea de montaje final.

En las tarjetas viene reflejado básicamente el código o información del ítem, y el número de ítems por contenedor, aunque luego se pueda añadir información adicional como el centro de trabajo, punto de depósito, origen, destino, etc.

Se distinguen dos tipos de kanbans:



- El kanban de producción, que indica qué y cuánto hay que fabricar para el proceso posterior.
- El kanban de transporte, que indica qué y cuánto material se retirará del proceso anterior.

Cada proceso retira del anterior las piezas necesarias, en la cantidad justa y en el momento en el que se necesiten. Se establecen unas reglas:

- Las piezas defectuosas nunca deben pasar al siguiente proceso
- El proceso consumidor recogerá del anterior, en el lugar adecuado, los productos necesarios en las cantidades justas.
- Se reabastecen sólo los productos que han sido retirados.
- Las piezas no deben ser producidas o transportadas sin una señal kanban.
- La señal de kanban debe estar colocada en el contenedor
- La cantidad de piezas en el contenedor debe ser igual al número que indica la tarjeta.
- El número de kanbans ha de tender a disminuir.

No es recomendable implantar este sistema sin antes haber realizado un programa de nivelación de la producción y haber aplicado las técnicas Lean manufacturing básicas.

### 2.5.9 Heijunka

Heijunka es un término japonés que significa “nivelación de la producción”. El objetivo que persigue es amortiguar las variaciones de la demanda fabricando varios modelos distintos en la misma línea de producción. No se modifica la producción en función de la demanda del cliente, sino que se basa en ella para ajustar los volúmenes y secuencias de los tipos de producto a fabricar, lo que permite tener un sistema productivo que no tenga pérdidas [Hernández et al., 2013]. Los pedidos de los clientes son más o menos constantes si se toma en consideración un periodo grande de tiempo, pero son impredecibles si son analizados en un periodo de tiempo pequeño y fuera de programas pactados. Mediante Heijunka conseguimos producir a un ritmo nivelado de las demandas del cliente, durante un periodo determinado. Habrá que tener en consideración los recursos que se consumen, y se debe proponer una secuencia cuya distribución temporal de consumo de recursos sea lo más homogénea posible.

#### Takt time y tiempo de ciclo

Son dos conceptos que se deben tener muy en cuenta y que deben de quedar claros a la hora de producir de una manera eficiente.

El takt time se define como la relación entre el tiempo de producción disponible y la demanda total en unidades. Todo ello considerando un periodo concreto de tiempo. Proporciona una idea del ritmo de la demanda del cliente (Ecuación 2.1):

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ de\ producción\ disponible}{Demanda\ total} \quad Ec. 2.1$$

El tiempo de ciclo es una medida del tiempo que tardamos en fabricar una unidad de producto o dicho de otra manera el ritmo de producción (Ecuación 2.2).

$$\text{Tiempo de ciclo} = \frac{\text{Tiempo de fabricación}}{\text{Unidad de producto}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

El objetivo fundamental es hacer coincidir al máximo el Takt time y el tiempo de ciclo ya que si fabricamos a un ritmo superior al del cliente tendremos tiempos de espera o excedentes de producción, y si fabricamos a un ritmo inferior al del cliente necesitaremos más tiempo para poder conseguir llegar a la demanda. Con esto se consigue reducir el Lead time que es el tiempo transcurrido para llevar a cabo todas las operaciones del proceso de flujo de trabajo.

Para conseguir un programa nivelado, es necesario realizar los siguientes cálculos:

1. Es necesario obtener primeramente el takt time de cada modelo diferente.
2. Conociendo el menor de todos, la secuencia estará formada por uno de estos y el resto en proporción con el takt time de cada uno.
3. Una vez hecho esto tendremos que considerar los recursos para ordenar la secuencia de la manera más óptima.

Heijunka a su vez reduce las pérdidas en una empresa, que se pueden resumir en las 3M, otro concepto que significa:

- **Muda:** Actividad que consume recursos sin crear valor para el cliente (despilfarros).
- **Mura:** Desigualdad en la operación, en la productividad o en la calidad (desnivelado).
- **Muri:** Sobrecarga de los equipos u operadores.

## 2.6 El Mapa de cadena de valor

El papel principal del Lean Manufacturing consiste en determinar y eliminar los desperdicios que se producen. Las compañías implementan el Lean Manufacturing con el fin de aumentar su competitividad mediante la mejora del sistema de fabricación y la calidad del producto final. Para conseguir esto, una de las herramientas más utilizadas es el denominado mapa de cadena de valor, cuyo fin principal es la identificación y la eliminación de desperdicios mediante la formación de la plantilla, la selección del producto, el diseño conceptual, y la optimización de tiempos mediante la obtención del takt time y el lead time [Mohd et al., 2015].

El mapa de cadena de valor es un documento que incluye un conjunto de todas las actividades (Con y sin valor añadido) que son necesarias para fabricar un determinado producto a través de los flujos principales, comenzando con la materia prima y terminando con el cliente. Aporta información del flujo de material y de información de todos los componentes y procesos de fabricación en una cadena de valor incluyendo la fabricación, los proveedores, y la distribución al cliente. La representación visual facilita el proceso de implementación del Lean Manufacturing, ayudando a identificar las operaciones o procesos que si aportan un valor añadido al

producto, y eliminar en la medida de lo posible los desperdicios y las actividades que no tienen valor añadido.

El mapa de cadena de valor ha demostrado su eficacia en la identificación y eliminación de desperdicios en una instalación con iguales o idénticas rutinas de trabajo, como en las instalaciones de montaje. Con el uso de la cadena de valor, muchas compañías han modificado el layout de sus instalaciones, el manejo de materiales, el control de los inventarios, así como los sistemas de programación de la producción para poder reducir los tiempos totales de fabricación de los productos.

El objetivo principal del mapa de cadena de valor es encontrar diferentes tipos de desperdicios e intentar eliminarlos. Para lograr esto se pueden seguir los siguientes pasos:

1. El primer paso es seleccionar un producto o familia de productos específicos como objetivo de mejora.
2. El segundo paso es desarrollar un mapa del estado actual cuya finalidad es capturar cómo se están haciendo todos los procesos actualmente.
3. El tercer paso es dibujar el mapa del estado futuro que es una representación de cómo debería funcionar el proceso de producción después de que los desperdicios y las ineficiencias hayan sido eliminados. El mapa del estado futuro se crea con el fin de dar respuesta a una colección de preguntas sobre la eficiencia, así como cuestiones relacionadas con la aplicación de las técnicas lean.

Finalmente, el mapa sugerido se aplica como base para realizar cambios esenciales en el sistema.

### 2.6.1 VSM: Mapa de estado actual

Toda la información sobre el mapa de estado actual se ha obtenido de acuerdo al método sugerido por [Rother et al, 2009]. A continuación, se muestra un ejemplo (Figura 2.1):

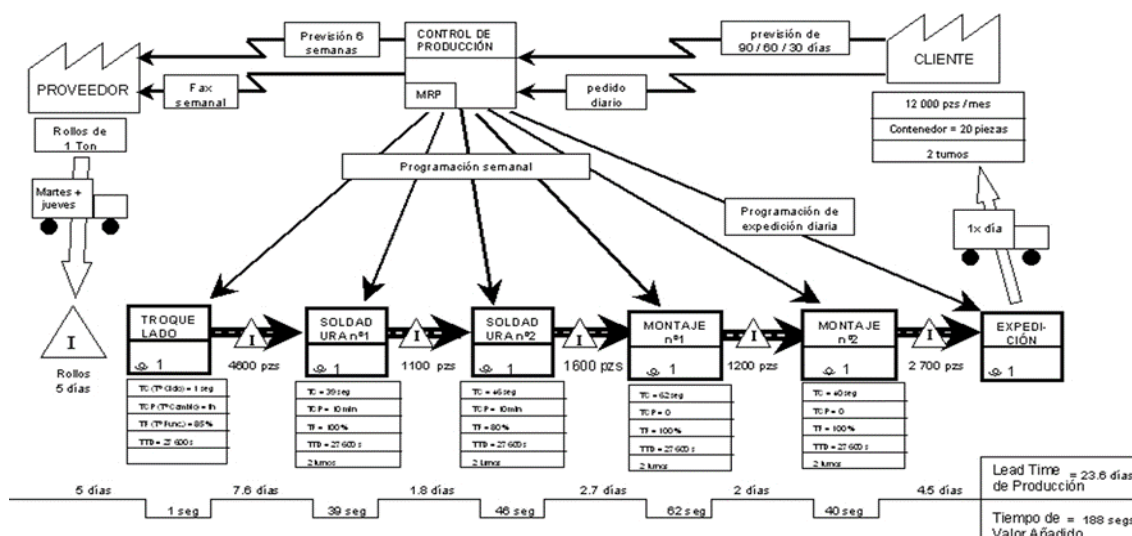


Figura 2.1 Ejemplo de mapa de cadena de valor actual

En esta figura las pequeñas cajas del mapa describen los procesos y el número de las cajas es la cantidad de trabajadores en cada proceso. Además, cada proceso tiene un recuadro de datos que incluye el Tiempo de Ciclo, Tiempo de procesamiento, Tiempo de preparación de la máquina. Todos los tiempos de procesamiento e instalación están de acuerdo con el promedio de datos anteriores. La línea de tiempo en la parte inferior del mapa de situación actual se muestra en la Figura que hay dos elementos. El primer elemento es sobre el tiempo de espera de la producción, que se obtiene añadiendo el número de tiempo de entrega de cada triángulo de inventario antes de cada proceso. Y el segundo componente de la línea de tiempo es el valor añadido o tiempo de procesamiento. Este período se calcula sumando el tiempo de procesamiento para cada proceso en el flujo de valor. La línea de tiempo se utiliza para identificar las actividades que añaden valor, así como los desperdicios en el sistema actual. La comparación entre los tiempos de procesamiento y el takt time, constituye una medida preliminar del valor y los desperdicios en un flujo.

Se tendrá en cuenta la trayectoria del flujo de material desde la operación final hasta el lugar de almacenamiento de las materias primas. Se añadirán los datos relevantes para cada operación, como la secuencia actual (push, pull, y las reglas de pedido y manejo de almacenes como FIFO, LIFO, etc.) y la cantidad de inventario en colas. El flujo de información también se incorpora para poder obtener datos acerca de la demanda, que es un parámetro esencial para determinar el ritmo de fabricación de un proceso productivo. Una vez que se han asignado los flujos de material y de información, se muestra una línea de tiempo situada en la parte inferior del mapa que muestra el tiempo de procesamiento de cada operación.

### 2.6.2 VSM: Mapa de estado futuro

[Mohd et al., 2015] Basándonos en el mapa de estado actual, se desarrolla el mapa de estado futuro mejorando las actividades de valor añadido y eliminando los desperdicios (Figura 2.2).

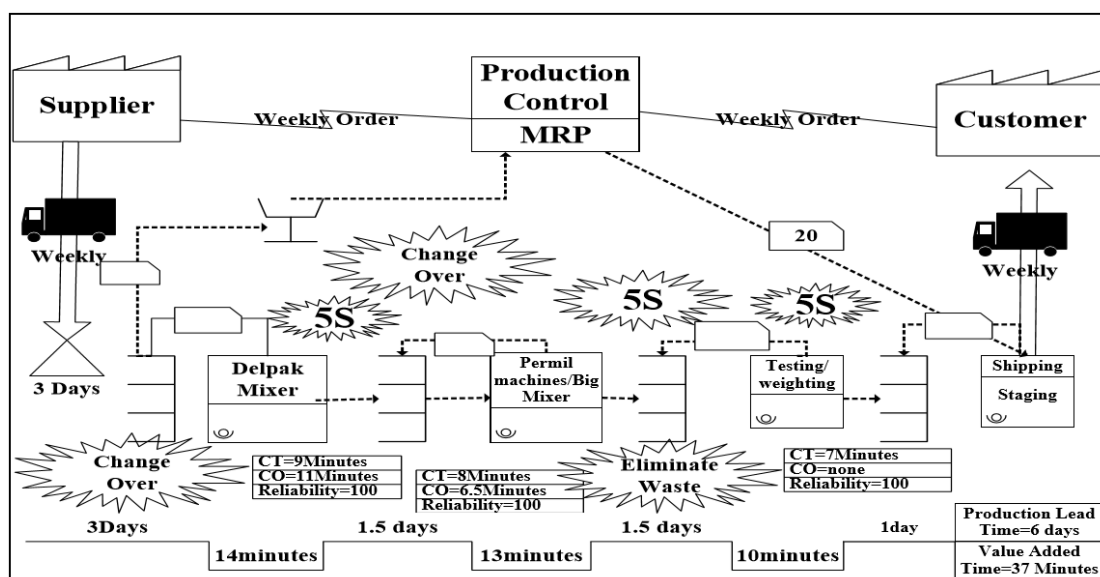


Figura 2.2 Ejemplo de mapa de estado futuro.

De acuerdo a [Khaswala et al., 2001], hay siete pautas que se pueden seguir para generar el mapa de estado futuro, adaptadas y modificadas en base a los conceptos de Lean manufacturing.

1. Producir al ritmo del takt time.
2. Desarrollar un flujo continuo.
3. Controlar la producción de manera que el flujo continuo no se dirija aguas arriba.
4. Programación de las operaciones al ritmo de la operación más lenta para evitar cuellos de botella.
5. Producir diferentes productos a una tasa uniforme (Nivelar el mix de producción).
6. Nivelar la carga de producción en el proceso que marque el ritmo (Nivelar el volumen de producción).
7. Desarrollar la capacidad de realizar cada parte en cada periodo de tiempo.

### 2.6.3 Ventajas y desventajas de la cadena de valor

#### Ventajas de la cadena de valor

- Relaciona el proceso de fabricación con las cadenas de suministro, los canales de distribución y los flujos de información.
- Integra flujos de material e información.
- Enlaza funciones de control y programación de la producción, tales como la planificación de la producción y la previsión de la demanda, usando parámetros de operación. El takt time determina el ritmo de producción al que cada etapa de fabricación debe operar.
- Ayuda a unificar diversas herramientas de ingeniería industrial destinadas al análisis del flujo de material.
- Proporciona información descriptiva importante en los iconos utilizados para las operaciones y el almacenamiento que hasta la fecha no se había podido llevar a cabo en las rutas de operación estándar usadas en ingeniería industrial.
- Constituye la base para la implementación del lean manufacturing ya que se diseña una producción basada en un ritmo de producción.
- Proporciona a la empresa un plan de actuación a nivel estratégico adecuado para adquirir las técnicas del lean manufacturing

#### Desventajas de la cadena de valor

- No es posible representar varios productos que no tengan mapas de flujo idénticos.
- El mapa de cadena de valor no permite relacionar los retrasos en el transporte y las colas y el cambio de tamaño de los lotes debido a una mala disposición de la planta o manejo del material, con los parámetros de operación.
- Carece de cualquier consideración económica dentro del proceso de producción.

- Tampoco ofrece información acerca del layout del proceso y su disposición, y como afecta este a los retrasos y las colas.
- Tiende a limitar el proceso de diseño de un proceso por considerar sólo el flujo continuo y la programación de Pull basada en kanban, etc. que son adecuados principalmente para sistemas de fabricación de alto volumen y baja variedad.
- No muestra otros factores como el rendimiento de los procesos o los flujos ineficientes de material en el proceso.
- No es adecuado para representar productos complejos y diagramas de procesos ramificados o multinivel.

## 2.7 Ergonomía del puesto de trabajo

Una premisa esencial para asegurar la protección y la salud de los trabajadores es diseñar adecuadamente el puesto de trabajo, teniendo en cuenta factores técnicos, económicos, organizativos y humanos. En cambio, un diseño inadecuado puede acarrear un peligro para la seguridad y la salud, y originar otros riesgos. El proceso de diseño de un puesto de trabajo implica la consideración de muchos y muy variados factores, entre los que cabe subrayar el espacio, el utillaje y elementos necesarios para realizar el trabajo, las condiciones ambientales, la caracterización del trabajo y su organización, y como elemento fundamental las personas involucradas. [INSHT]

La normativa ISO 6385 define “Espacio de Trabajo” 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". Se utilizarán a partir de ahora los términos espacio de trabajo o puesto de trabajo indistintamente.

### 2.7.1 Concepción del puesto de trabajo

Se entiende por concepción del puesto de trabajo el hecho de formar una idea preliminar de un determinado espacio de trabajo, incluyendo las propiedades que debe tener, de antemano, en relación con las personas que lo van a ocupar y la clase de trabajo que se va a realizar.

La concepción del puesto debe reunir los siguientes requisitos, siguiendo el procedimiento perfil del puesto:

- Altura y situación de los planos de trabajo.
- Flujo que recorre el producto dentro del puesto.
- Accesibilidad y espacio de trabajo.
- Tamaño y situación de los mandos y las señales.

Cada uno de estos criterios está relacionado con otras variables. La altura y situación de los planos de trabajo es función de la elevación respecto al suelo. El flujo que recorre el producto dentro del puesto está relacionado con la altura de recogida de piezas y de la distancia lateral a partir del plano medio. La accesibilidad y el espacio de trabajo está en función de los obstáculos de materiales y de la



comodidad del trabajador. El tamaño y situación de los mandos y señales en relación con el propósito para el que son concebidos [Rescalvo et al., 2005].

## 2.7.2 Diseño del puesto de trabajo

El proceso del diseño físico del espacio de trabajo, teniendo en cuenta la ergonomía, 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 es necesario considerar solo algunas de las numerosas medidas antropométricas. Todas estas variables antropométricas se pueden tomar teniendo en cuenta la postura de trabajo: de pie, de pie-sentado, o sentado. Las más importantes relacionadas con la postura de pie se van a considerar: altura del cuerpo, altura de visión, altura del hombro, altura del codo, altura del tercer metacarpiano. Todas ellas tomadas desde la referencia del suelo.

La situación ideal en todo este proceso sería tener la posibilidad de crear un espacio de trabajo de forma individualizada. Sin embargo, esto solo sería aceptable en casos muy concretos debido a los costes y la limitación de accesibilidad que supondría para otros trabajadores con diferentes propiedades antropométricas [Rescalvo et al., 2005].

Tampoco se debe crear un puesto de trabajo para la media de las medidas antropométricas ya que haciendo esto se elimina una gran cantidad de personas que se sitúan por encima y por debajo de la misma y solo sería un diseño justificado si la frecuencia de uso es muy baja o si es muy compleja y costosa su implementación.

Por lo tanto, se tratan estadísticamente 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 7250:1998 se pueden encontrar las variables antropométricas más importantes para el diseño tecnológico. Esta norma es equivalente a la norma europea EN ISO 7250:1997 e internacional ISO 7250:1996: Basic human body measurements for technological design. 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 de 64 y 36 %, aproximadamente, que correspondía a la distribución, entre ambos sexos, de la población ocupada en 1996.

En la tabla 2.2 Se han seleccionado algunas de las medidas que necesitaremos para nuestro estudio, todas ellas referentes a la posición de pie:

Tabla 2.2 Medidas antropométricas de la población laboral (mm)

|   | Media   | Desviación típica | Percentiles |      |      |
|---|---------|-------------------|-------------|------|------|
|   |         |                   | 5           | 50   | 95   |
| <b>Altura del cuerpo</b>                        | 1663.23 | 83.89             | 1525        | 1665 | 1803 |
| <b>Altura de los ojos</b>                       | 1557.96 | 82.31             | 1423        | 1558 | 1699 |
| <b>Altura de los hombros</b>                    | 1382.12 | 76.28             | 1256        | 1384 | 1508 |
| <b>Altura del codo</b>                          | 1027.24 | 58.03             | 932         | 1027 | 1122 |
| <b>Anchura hombro a hombro</b>                  | 369.58  | 39.46             | 304         | 372  | 432  |
| <b>Alcance máximo horizontal (puño cerrado)</b> | 698.83  | 54.25             | 606         | 700  | 785  |
| <b>Altura del tercer metacarpiano</b>           | 732.87  | 43.45             | 662         | 733  | 807  |

### 2.7.3 Principios del diseño ergonómico de los espacios de trabajo

En la norma UNE 81-425-91 se resumen las referencias de la norma ISO 6385 "Principios ergonómicos a considerar en el proyecto de los sistemas de trabajo". Se van a tomar en consideración los principios generales reflejados en la misma como punto de partida del diseño ergonómico:

- Tener en consideración a las personas en relación con el puesto de trabajo.
- Priorizar a las personas con respecto al espacio de trabajo.
- Llevar a cabo el estudio de todos los factores a incrementar la seguridad, la eficiencia y el bienestar del puesto de trabajo.
- Facilitar la evolución de la técnica.
- Valorar el diseño de acuerdo a las necesidades de las personas.

A continuación, se desglosan algunos de los puntos a tener en cuenta: respecto a la antropometría y la biomecánica, y respecto al puesto de trabajo.



## Principios antropométricos y biomecánicos

- Considerar las dimensiones estáticas y dinámicas y tener en cuenta que las características antropométricas varían según la población y otros factores como: sexo, raza, etc.
- Evitar las posiciones anormales del cuerpo que originen tensión en algún grupo muscular o interrumpa una buena circulación de la sangre.
- Considerar los límites normales de trabajo para los miembros superiores e inferiores extendidos y flexionados de una persona con dimensiones, que estén incluidas entre el percentil 5 y 95.
- Tener en cuenta también la frecuencia del alcance y el peso de material y utillaje.
- Evitar las posturas estáticas de los brazos por encima del nivel del corazón.
- Como recomendación mover los miembros superiores alternativa o simétricamente para no originar esfuerzos en los músculos del torso.

## Principios del puesto de trabajo

- La elección de la altura del plano de trabajo debe determinarse de manera que la parte alta del cuerpo se incline ligeramente hacia delante.
- La distancia entre los ojos y los objetos a manipular se debe elegir según la complicación visual que presente la tarea.
- Los útiles y todos los elementos que se manipulen como botones o palancas deben situarse de manera que los desplazamientos más frecuentes que exijan un mayor esfuerzo y precisión se realicen más cerca del cuerpo.
- Todos los elementos del puesto de trabajo deben cumplir las normas de seguridad legalmente reconocidas.

### 2.7.4 Fases del diseño de un puesto de trabajo

Teniendo en cuenta el gran número de tareas que se realizan en un puesto de trabajo, el medio físico en el que se ejecutan, y las diferencias antropométricas entre las personas, es complejo diseñar un espacio de trabajo sin tener en cuenta algunos estándares que lo condicionen. Considerando las características expuestas previamente junto con la legislación vigente y las normas técnicas, los aspectos que se deben tener en cuenta para crear un puesto de trabajo ergonómico son:

- Postura y posición de trabajo.
- Planos de trabajo.
- Zona de alcance de los miembros superiores.
- Optimización de la disposición de los medios de trabajo.
- Condiciones de seguridad del espacio de trabajo.

A continuación, se van a desarrollar en detalle los pasos de diseño de un espacio de trabajo, de tal manera que se evite cualquier esfuerzo muscular inútil y que pueda dañar otras partes del cuerpo.

## 1. Postura y posición de trabajo

Primeramente, es necesario definir el término postura como la distribución espacial del cuerpo. De ella se derivan otros dos tipos: estática y dinámica. La primera se refiere a aquella postura en la que los ángulos entre distintos segmentos del cuerpo se mantienen fijos. La postura dinámica es la combinación de varias posturas estáticas de manera secuencial y alternada. Tanto el movimiento corporal como el esfuerzo muscular debe estar dentro de unos límites satisfactorios.

Ergonómicamente, el mantenimiento de una buena postura de trabajo, la distancia óptima del personal respecto a los puntos de acción están determinados por estos tres factores:

- El tamaño o dimensión de los detalles a observar.
- Altura del plano de trabajo, la comodidad para los miembros inferiores y los alcances óptimos de las extremidades.
- El esfuerzo que supone la tarea que se va a realizar tanto en los alcances como en las sucesivas manipulaciones.

La consonancia entre estos tres factores va a determinar la correcta posición del empleado. También se debe tener en cuenta el tipo de trabajo a realizar para dar una mayor importancia a unas u a otras. Las posturas de trabajo más utilizadas y que más se utilizan son de pie, sentado, y una combinación de ambas en la que el trabajador necesita adoptar una posición erguida, pero con cierta movilidad. Se puede seguir el árbol de decisiones a modo orientativo (Figura 2.3).

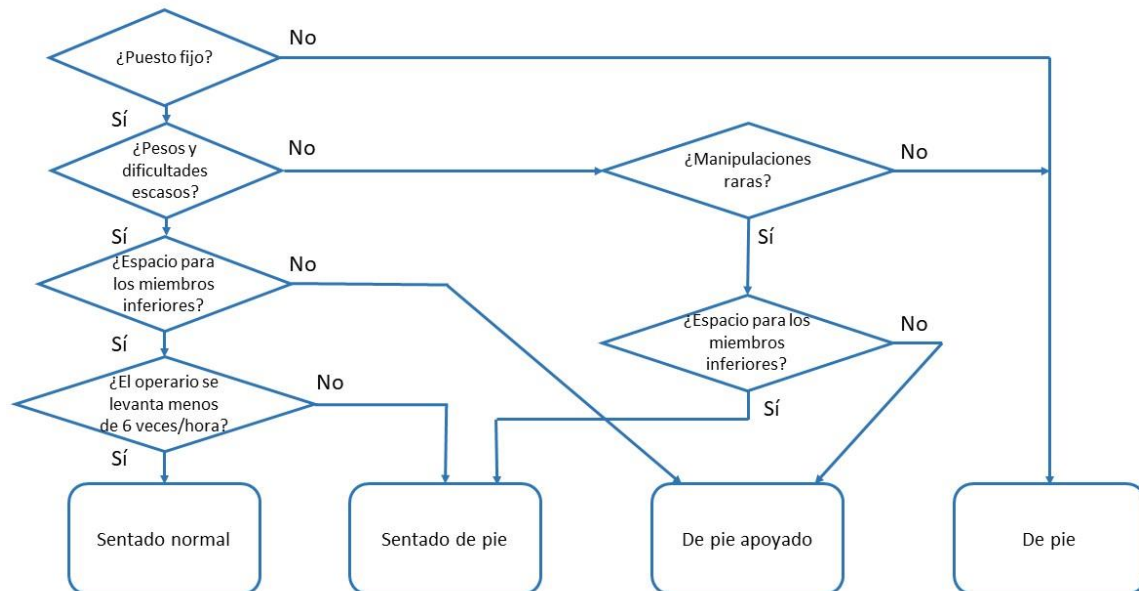


Figura 2.3 Árbol de decisiones de la postura óptima de trabajo.

La postura de pie es la más apropiada cuando se necesiten realizar esfuerzos o sea necesaria una gran movilidad. Aparte se debe considerar esta postura cuando se

requiera de alcances frecuentes por encima del plano de trabajo, frontales de más de 40 cm, y por debajo del plano de asiento.

Una postura de pie rígida provoca tensión en la parte posterior de la columna vertebral. Para solventar esta situación se puede colocar un apoyo de 15 cm para colocar los pies de manera alternada y así obtener una ligera flexión de la cadera. El trabajador además deberá contar con un espacio satisfactorio para los pies que le permita acercarse al plano de trabajo, siendo necesario como mínimo 15 cm de profundidad, 15 cm de altura y 50 cm de anchura. Los constantes alcances por debajo del plano de trabajo suponen un factor de riesgo en el desarrollo de lesiones.

## 2. Planos de trabajo

Dos características son las que definen principalmente al plano de trabajo: 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 50 y 100 mm por debajo del codo, y las que requieran manipular objetos pesados o realizar un esfuerzo entre 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.

Todos estos factores hacen que sea muy complejo diseñar una superficie de trabajo adaptable a todas las personas, pero se simplifica mucho si se provee que algunas de las dimensiones sean ajustables.

## 3. Zona de alcance de los miembros superiores

Una de las características biomecánicas que se deben 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. Entendemos 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 o también llamado sagital según las Notas Técnicas de Prevención del INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).

## Planos de alcance horizontal

Farley definió los planos de alcance para el hombre medio. Estudios que miden el esfuerzo muscular, por consumo de oxígeno y por electromiografía, demuestran que el esfuerzo es menor si el trabajo es dentro del área normal de Farley. En el área máxima de trabajo, al encontrarse el brazo extendido se generan momentos de fuerza en el hombro, dando lugar a tendinitis y bursitis en el mismo. El área máxima corresponde a la superficie barrida por el movimiento del brazo completamente extendido, que gira alrededor del hombro entre  $-90$  y  $+90$  grados. Más tarde, Squires (1956) comprendió que cuando el brazo se aproxima a los extremos definidos del área descrito por Farley, se producen agarrotamientos y calambres. Así 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 2.4 y 2.5 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.

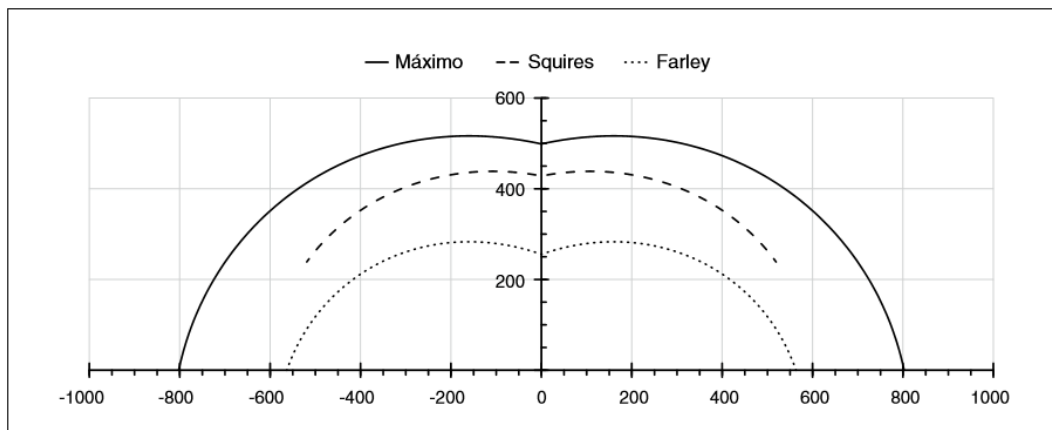


Figura 2.4 Curvas de alcance máximo, de Farley y de Squires para el percentil 5 de la población masculina (mm)

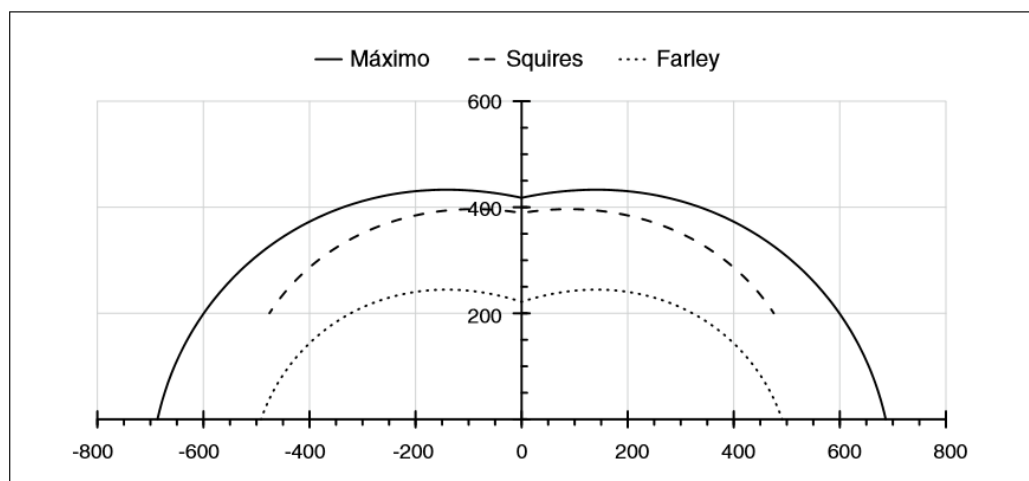


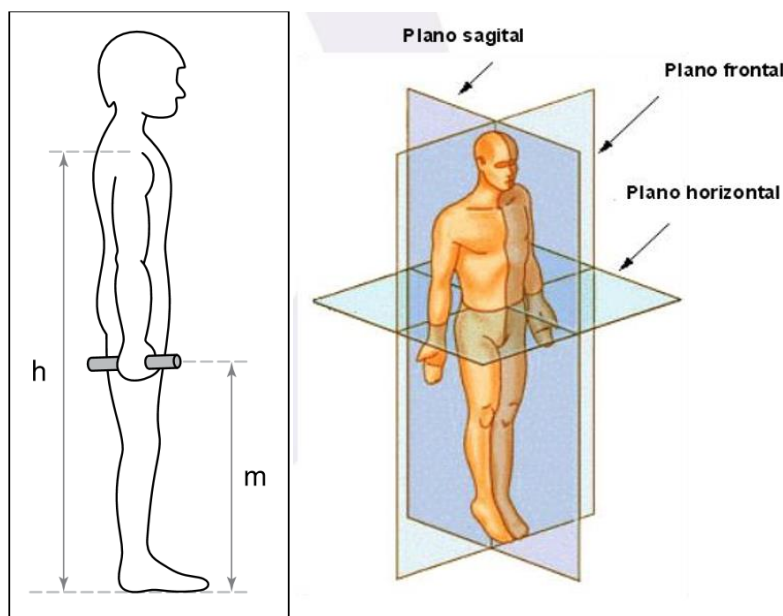
Figura 2.5 Curvas de alcance máximo, de Farley y de Squires para el percentil 5 de la población femenina (mm)

### Planos de alcance vertical (Alcance en el plano sagital)

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 [INSHT, 2008]. Todas aquellas posturas en las que es necesario permanecer de manera estática durante un periodo de tiempo y las posturas forzadas pueden producir un riesgo para las personas [HSE, 2002]. Las posturas forzadas son aquellas en las que una parte del cuerpo sobrepasa la zona de trabajo aconsejada.

En el ámbito del diseño de los puestos de trabajo, deben tenerse en cuenta las dimensiones antropométricas de la población trabajadora para que los elementos que conforman el puesto no impliquen alcances superiores a los límites de los distintos segmentos corporales.

En la postura de pie, que es la seleccionada para nuestro puesto de trabajo, 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. Todo esto aparece en la figura 2.6. El plano sagital es un plano imaginario que divide al cuerpo en dos partes simétricas, derecha e izquierda como aparece reflejado en la figura 2.6.



*Figura 2.6 dimensiones antropométricas con el sujeto de pie y planos de referencia*

En las ecuaciones 2.3 y 2.4 se muestra el cálculo de las 2 componentes cartesianas del alcance representadas en función del ángulo de rotación del brazo,  $\theta$ , respecto al cuerpo en el que se tomará como origen de  $\theta$  el brazo en posición horizontal.

$$A_x = \cos\theta(h - m) \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$A_y = h - \text{sen}\theta(h - m) \quad \text{Ec. 2.4}$$

Para la población trabajadora los límites del alcance se definen en la figura 2.7

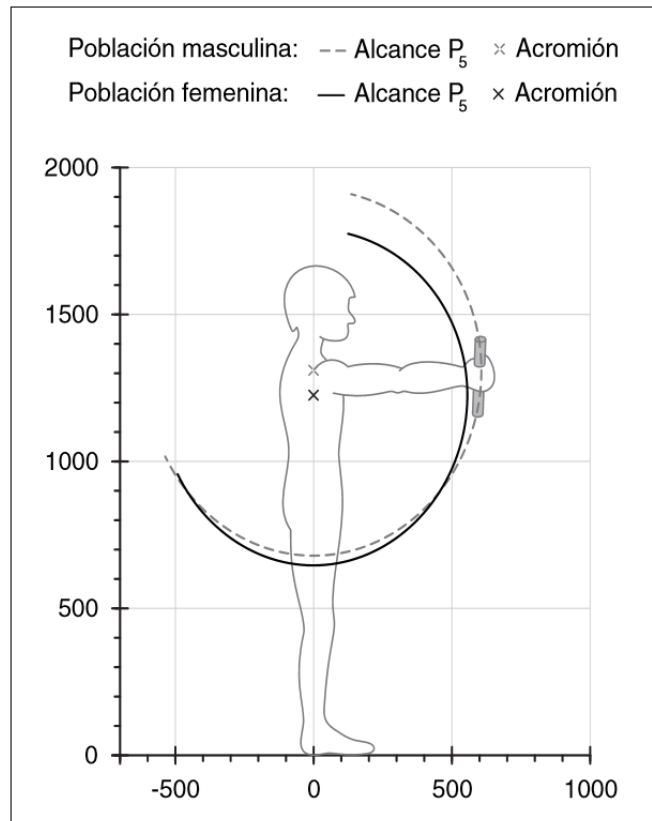


Figura 2.7 Alcances en mm en posición de pie

#### 4. Optimización de la disposición de los medios de trabajo

Para lograr una distribución de los elementos de trabajo lo más adecuada posible tendremos en cuenta las siguientes características:

- La frecuencia de utilización de los medios, dimensiones y peso.
- Una disposición que permita el trabajo alternado con ambas manos.
- Situar los elementos de mayor peso y tamaño o forma incómodos en las áreas de alcance óptimo.
- Las distancias de toma y utilización deben ser lo más cortas posibles.

Generalmente los elementos tienen un lugar óptimo en el que llevar a cabo su cometido. Sin embargo, esto no siempre es posible y por ello debemos establecer prioridades en la selección.

En la elección del lugar óptimo para los componentes tendremos en cuenta los principios de la importancia operacional, la frecuencia de uso, una agrupación funcional y la secuencia del proceso productivo, estableciendo además lo concerniente a la situación general del componente y a la distribución específica de los mismos.

Si nos basamos en las secuencias de uso y la frecuencia se facilita el proceso, pero cuando no existe una secuencia clara, la agrupación se debe hacer teniendo en cuenta la funcionalidad [Rescalvo et al., 2005].

## 5. Condiciones de seguridad del espacio de trabajo

En este apartado nos referimos a todos los factores que, aunque deben estar presentes en la actividad productiva, pueden originar daños en las personas.

Existen una serie de condiciones de seguridad ergonómica que deben tenerse en cuenta:

- Distribución óptima y segura de mandos, accionamientos, señales, etc.
- Instalaciones y equipos seguros ergonómicamente.
- Adecuadas zonas de tránsito para las personas con el fin de evitar riesgos y facilitar el acceso y evacuación.
- Mobiliario ergonómico y seguro, con cantos redondeados y sin aristas vivas que puedan cortar.
- Adecuada limpieza y orden en el puesto de trabajo.
- Otros factores específicos de cada proceso.

### 2.8 El sistema pick-to-light

Las compañías que operan a una gran velocidad y con complejos almacenes están constantemente buscando nuevas soluciones tecnológicas y procesos que permitan incrementar la eficiencia de los almacenes. Cuando hay miles de ítems que se realizan cada hora, 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.

Desde hace unos años, han existido un numero de avances tecnológicos destinados a sistemas de almacén. Uno de ellos es el llamado "Pick-to-light", que es utilizado en muchos almacenes actualmente [Murray, 2016].

#### 2.8.1 Funcionamiento

Cuando se tiene que recoger una gran cantidad de ítems del almacén, 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 pick-to-light.

Básicamente este sistema está formado por luces situadas debajo de cada ítem correspondiente que indican al trabajador el lugar donde se encuentra cada referencia que tiene que recoger (Figura 2.8).



Figura 2.8 Ejemplo de sistema pick-to-light real. Fuente: <http://www.ssi-schaefer.us>



En almacenes, el empleado escanea un código de barras situado en el contenedor de recogida que representa un pedido del cliente. Basado en este código, el sistema pick-to-light indicará con señales luminosas cuales son las referencias que tendrá que recoger.

Un display indica además el número de ítems a recoger. El trabajador selecciona la cantidad de ítems correspondientes a una referencia y con el fin de confirmar la recogida, se presiona un botón situado en cada una de ellas. El empleado sabe así que la orden está completa en el momento en el que ya no queda ninguna luz encendida. Las empresas instalan sistemas dirigidos por luz cuando requieren de una recogida precisa y rápida.

Existen otros sistemas de picking como los sistemas de picking guiados por voz, que pueden depender de la solución del problema, pero en general operan más lentamente, ya que es necesario que los operadores interpreten el comando de voz y realicen la tarea. Debido a que los sistemas pick-to-light muestran la cantidad del producto a recoger, no es necesario la repetición del comando en caso de olvido. Los sistemas dirigidos por luz además permiten una recogida simultánea.

En un entorno guiado por voz, el sistema informa al usuario de la siguiente selección, que está basada en el algoritmo del sistema. Sin embargo, los sistemas dirigidos por luz muestran a los usuarios las referencias restantes y es el operador el que toma la decisión del orden de recogida basándose en su experiencia.

La variedad de funcionalidades que aportan el sistema pick-to-light se adaptan a la necesidad de cada empresa y el tipo de solución que están buscando: diferentes configuraciones de los modelos, señales sonoras, luces de varios colores y parpadeos, sistemas para controlar el inventario, peticiones de reposición, recogida simultánea del almacén, etc. Si bien los procesos que se realizan son casi idénticos, el sistema picking se puede organizar de muchas maneras respecto a la cantidad de referencias que existan y la distribución del propio almacén: la preparación pedido a pedido, preparación en batch (varios pedidos simultáneamente) o bien el picking por pasillos o estaciones de trabajo, donde se va realizando el picking de forma secuencial.

### 2.8.2 Ventajas de los sistemas pick-to-light

Algunos sistemas guiados por voz ofrecen a las empresas la capacidad de manejar el sistema utilizando diferentes lenguajes, basados en la diversidad del personal de su almacén.

Sin embargo, los sistemas dirigidos por luz no requieren ningún conocimiento del idioma, ya que solo se muestran números. Esto permite a las empresas tener un personal de almacén completamente diverso sin preocuparse por cuestiones relativas a la comprensión de la voz de los sistemas o cualquier problema de habilidades lingüísticas. También permite a las empresas tener mano de obra temporal en momentos de mayor demanda con pocos requisitos de formación del personal.

Los sistemas guiados por luz proporcionan una recogida de datos en tiempo real que nos da información útil y valiosa para la gestión de los almacenes y la selección de



pedidos, y para medir la productividad del operador y los tiempos de recogida. Estos datos pueden emplearse para identificar problemas de picking y medir la mejora en la productividad.

Según [Murray, 2016], en las empresas en las que se utilizan sistemas de pick-to-light, el número de ítems recogidos por hora puede ser diez veces mayor, comparado con las selecciones hechas por un operario de almacén utilizando un sistema basado en el uso del papel en el que es necesario identificar cada referencia, buscarla, comprobarla y realizar operaciones que no aportan valor añadido y suponen un desperdicio de tiempo.

El equipo utilizado en los sistemas dirigidos por luz es simple y puede integrarse con sistemas de control de existencias en los almacenes o de planificación de recursos de una empresa.

Con el fin de optimizar el rendimiento de la logística del almacén y la eficiencia general de la cadena de suministro, muchas empresas buscan las numerosas ventajas que ofrece un sistema como este. Cuando una empresa está trabajando en ofrecer un producto al cliente de manera fiable y justo en el momento requerido para conseguir optimizar los costes, el rendimiento y la velocidad de un sistema pick to light puede ser exactamente lo que la empresa necesita [Murray, 2016].

## 2.9 El sistema Arduino

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

Arduino se comunica con el entorno a través de entradas desde pulsadores y botones hasta una variedad de sensores y proporciona información a su entorno mediante el control de luces, servomotores y otros periféricos.

El microcontrolador de la placa se programa usando el Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Arduino Development Environment (basado en Processing). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo, con Flash, Processing, MaxMSP, etc.). El software es libre y gratuito y las placas se pueden encargar ya ensambladas o realizar tú mismo el montaje. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source, por lo que eres libre de adaptarlas a tus necesidades.

Existen otros microcontroladores y plataformas de microcontroladores disponibles: Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard, Parallax Basic Stamp, y muchas otras ofertas de funcionalidad similar. Todas estas herramientas toman la programación propia del microcontrolador y la engloban en un paquete fácil de usar.

Arduino también simplifica el proceso de trabajo con microcontroladores, y ofrece algunas ventajas:

- **Barato:** Las placas Arduino tienen un precio bajo comparadas con otras plataformas de microcontroladores. La versión menos cara de Arduino es la ensamblada a mano, e incluso los módulos de Arduino pre ensamblados tienen un bajo coste.
- **Multiplataforma:** El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux. La mayoría de los sistemas microcontroladores están limitados a Windows.
- **Entorno de programación simple y claro:** El entorno de programación de Arduino es sencillo de usar para personas que se inicien en este tipo de programación, pero además muy flexible para que los usuarios más avanzados puedan aprovecharlo también.
- **Código abierto y software extensible:** El software Arduino es una herramienta de código abierto, lo que permite a programadores avanzados su extensión. El lenguaje se puede ampliar utilizando librerías C++

La placa de arduino está formada por los siguientes elementos indicados en la Figura 2.9:

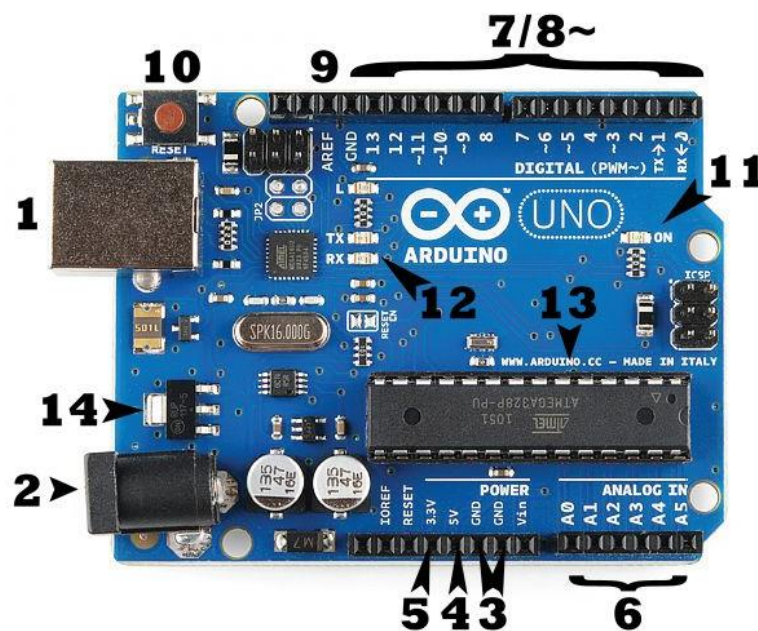


Figura 2.9 Partes de la placa Arduino Fuente: <http://www.instructables.com>

Potencia: USB (1) / Conector de Adaptador (2); Pines: GND (3), 5V (4) y 3.3V (5), Analógico (6), Digital (7), PWM (8), AREF (9); Botón de reinicio (10); Indicador LED de alimentación (11); LEDs RX TX (12); Microcontrolador (13); Regulador de Voltaje (14).

## CAPÍTULO 3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FASES DE MEJORA

### 3.1 Problema propuesto

En este puesto de trabajo se va a montar el conjunto rueda, y posteriormente se procederá a su embalaje. Se va a denominar a partir de ahora “conjunto rueda” o “montaje” al producto terminado indistintamente. En la Figura 3.1 se muestra un ejemplo de una de las posibles combinaciones del conjunto rueda.



*Figura 3.1 Ejemplo de uno de los montajes del producto final.*

En el eje de la rueda podremos tener dependiendo de sus dimensiones o cojinete de rodillos junto con cojinete liso (Figura 3.2), o simplemente cojinete liso (Figura 3.3).



*Figura 3.2 Cojinete de rodillos junto con cojinete liso.*







Figura 3.3 Cojinete liso únicamente.

Para poder realizar y tener claras las referencias de producto terminado que vamos a poder fabricar y sus diferentes combinaciones, es necesario diferenciar las características de cada uno de los elementos disponibles que van a formar el conjunto rueda. Estos conjuntos están formados básicamente por los siguientes elementos:

- **Soporte:** Es básicamente una pieza de chapa de acero embutido de hasta 4 mm de espesor con diferentes acabados. Vamos a manejar 4 modelos distintos: 2 fijos fabricados en una pieza entera y 2 móviles cuya base permite el giro y direccionamiento de la rueda. Cada una de ellas, tanto en los fijos como en los móviles tiene diferente altura medida desde la base hasta el eje de la rueda; Una de ellas de 70 mm y la otra de 84 mm. (Tabla 3.1)

Tabla 3.1 Tipos de soportes

| Soportes  |   |  |   |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Fijos   |   | Móviles  |   |
| Altura 84 mm  | Altura 70 mm  | Altura 84 mm   | Altura 70 mm  |

- **Rueda:** Tienen un diámetro de rodadura de 80 mm y son piezas fabricadas en distintos tipos de polímeros: Nylon de alta resistencia, poliamix y poliuretano. Van a estar presentes 6 tipos de ruedas en función del material en el que están fabricados y del diámetro del eje. Las ruedas van a poder montarse en cualquiera de los soportes. Tablas 3.2 y 3.3.

Tabla 3.2 Tipos de ruedas (1).







| Ruedas  |   |   |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Material: Nylon de alta resistencia   |   |   |
| Diámetro: 12 mm   | Diámetro: 14 mm   | Diámetro: 20 mm   |

Tabla 3.3 Tipos de ruedas (2).

| Ruedas  |   |   |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Material: Poliuretano inyectado   |   | Material: Poliamix  |
| Diámetro: 12 mm   | Diámetro: 20 mm   | Diámetro: 20 mm   |



- **Cojinete de rodillos:** Es uno de los elementos que van a permitir soporte y un mejor deslizamiento al eje. El separador o retén es de material plástico y los rodillos cilíndricos metálicos. Las dimensiones del diámetro exterior y del diámetro interior van a limitar su uso en algunas combinaciones de modelos del “conjunto rueda” y únicamente se utilizarán en ruedas con diámetro exterior 20 mm y junto con un cojinete liso de diámetro exterior 12 mm. (Tabla 3.4).

Tabla 3.4 Cojinete de rodillos.

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

- **Cojinete liso:** Esta fabricado en acero. La dimensión más importante del mismo para el montaje va a ser el diámetro exterior. Por eso vamos a tener 2 modelos; Uno con el diámetro exterior de 12 mm y el otro de 14 mm. Su posible combinación depende del diámetro interior de la rueda y del diámetro interior del cojinete de rodillos en el caso que se utilice. Por lo tanto, se utilizarán en todos los montajes los cojinetes lisos de 12 mm salvo el de 14 mm que únicamente se utilizará en la rueda cuyo diámetro del eje es de 14 mm. Tabla 3.5.



Tabla 3.5 Tipos de cojinete liso.

| Cojinetes lisos   |  |
|---|--|
|  |  |
| Diámetro exterior: 12 mm  | Diámetro exterior: 14 mm   |



- **Tornillo:** Son unos tornillos de cabeza hexagonal M8x65 DIN 931 roscados solo en parte de su longitud. Van a servir como eje del conjunto y nexo de unión entre el soporte y la rueda. Se van a contemplar dos modelos; De longitud 60 mm y de 65 mm. Los tornillos de menor longitud, M8x60, se van a montar en los soportes de menor altura y los tornillos de M8x65 en los soportes más pequeños. Tabla 3.6.

*Tabla 3.6 Tipos de tornillos.*

| Tornillos   |  |
|---|--|
|  |  |
| M8x60   | M8x65  |

- **Tuercas:** Se van a utilizar tuercas auto bloqueantes M8 DIN 985 - 316 de acero inoxidable. Estas se van a utilizar en todos los modelos de ruedas y van a ir acoplados junto al tornillo del eje. (Tabla 3.7)

*Tabla 3.7 Tuerca.*

| Tuerca  |
|---|
|  |
| Auto bloqueante M8  |

A modo de resumen, todos los diferentes tipos de piezas aparecen representados en la siguiente Tabla 3.8:

Tabla 3.8 Resumen de los tipos de piezas para los montajes.

| Soporte              | Rueda      | Cojinete Rodillos | Cojinete liso | Tornillo | Tuerca |
|----------------------|------------|-------------------|---------------|----------|--------|
| <b>Móvil Grande</b>  | Roja d12   | No                | 12            | M8x60    | M8     |
| <b>Móvil Pequeño</b> | Roja d20   | Si                | 12            | M8x65    | M8     |
| <b>Fijo Grande</b>   | Hueso d20  | Si                | 12            |          | M8     |
| <b>Fijo Pequeño</b>  | Blanca d12 | Si                | 12            |          | M8     |
|                      | Blanca d14 | No                | 12            |          | M8     |
|                      | Blanca d20 | No                | 14            |          | M8     |

La denominación de cada uno de ellos se ha realizado de una manera sencilla, ya que esta denominación se empleará de manera interna en el proceso de fabricación. El código de cada una de las referencias posibles se ha descrito de la siguiente manera (Figura 3.4):

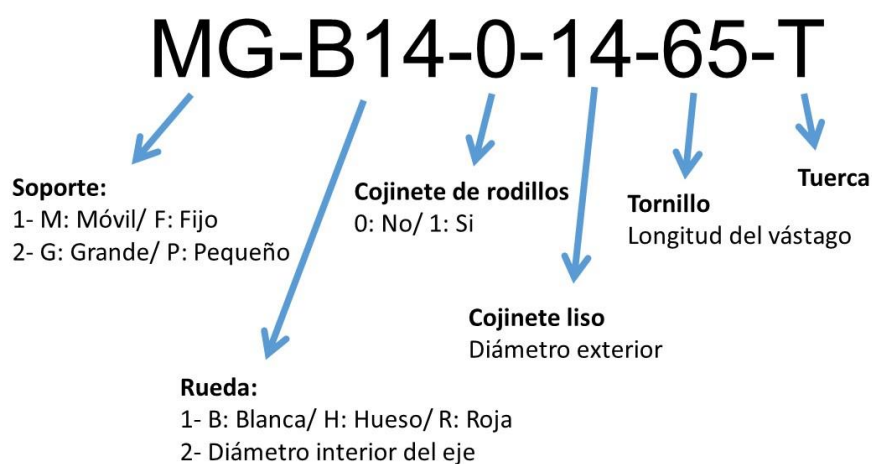


Figura 3.4 Significado del código de las referencias.

Teniendo en cuenta todas las combinaciones posibles entre los elementos, el número de conjuntos distintos que se van a poder fabricar son 24, y aparecen detallados en la tabla 3.9.



Tabla 3.9 Combinaciones de producto final y las piezas necesarias.

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

|                     |            |    |    |       |    |                  |
|---------------------|------------|----|----|-------|----|------------------|
| <b>Fijo Grande</b>  | Blanca d20 | Si | 12 | M8x65 | M8 | FG-B20-1-12-65-T |
| <b>Fijo Pequeño</b> | Roja d12   | No | 12 | M8x60 | M8 | FP-R12-0-12-60-T |
| <b>Fijo Pequeño</b> | Roja d20   | Si | 12 | M8x60 | M8 | FP-R20-1-12-60-T |
| <b>Fijo Pequeño</b> | Hueso d20  | Si | 12 | M8x60 | M8 | FP-H20-1-12-60-T |
| <b>Fijo Pequeño</b> | Blanca d12 | No | 12 | M8x60 | M8 | FP-B12-0-12-60-T |
| <b>Fijo Pequeño</b> | Blanca d14 | No | 14 | M8x60 | M8 | FP-B14-0-14-60-T |
| <b>Fijo Pequeño</b> | Blanca d20 | Si | 12 | M8x60 | M8 | FP-B20-1-12-60-T |

### 3.2 Fases de mejora

En el diseño de este trabajo se ha procedido a analizar tanto el comportamiento e interacción de las personas con el puesto de trabajo como las tareas realizadas en él. Progresivamente se han ido aplicando mejoras continuas en las distintas fases del proyecto apoyándonos siempre por las herramientas del Lean Manufacturing. Se partió de un puesto de trabajo “tradicional” o 1.0 en el que no se tenían implementadas ninguna herramienta de apoyo a la fabricación. En resumen, se ha intentado realizar una Mejora continua dividida en varias fases de mejora siguiendo el espíritu Kaizen (Capítulo 2.2).

Al final de cada una de las fases de mejora, se procedió a realizar distintas pruebas o simulacros en los que se fueron midiendo los tiempos de fabricación y observando posibles fallos y mejoras a implementar. Estas pruebas introducen siempre una visión realista de lo que puede suceder en un puesto de trabajo cualquiera, y el propio hecho de observar a diferentes personas aporta ideas que en conjunto son bastante valorables con lo que el reto final es conseguir obtener un puesto estándar y que no tenga mucha variabilidad en los resultados que puedan ofrecer distintas personas.

#### 3.2.1 Fase 1: Punto de partida

En este proyecto se partió de un puesto de trabajo “tradicional” como el que aparece en la Figura 3.5.



*Figura 3.5 Puesto de montaje en la fase inicial*

Este puesto de trabajo tiene las siguientes características:

- Los materiales de fabricación están situados en cajas no estandarizadas, distribuidas aleatoriamente y sin ninguna identificación.
- Las herramientas se encuentran de manera desordenada e incluso hay algunas que no se utilizan en absoluto para el montaje.
- Se proporciona un 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 está regulada su altura.
- La grasa necesaria para lubricar el eje del montaje no tiene dispensador.
- Se colocan la hoja de referencias a fabricar en el corcho de información.

Pese a todo esto era necesario partir desde este punto ya que la observación del desempeño de varias personas 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 de la fase 1

En esta fase se realizaron 2 pruebas. En la primera se midieron los tiempos y el procedimiento de montaje que siguió el trabajador, y en la segunda únicamente se analizó el proceso de fabricación.

## Prueba 1

Se solicitó el montaje de 3 lotes de 3 montajes diferentes. La medida de tiempos está reflejada en las siguientes tablas:

*Tabla 3.10 Fase 1-Prueba 1-Lote 1*

| Lote 1: 3 unidades de MP-R12-0-12-65-T |                       |                    |
|--|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda                        | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de MP-R12-0-12-65-T                 | 3:27                  | 3:27               |
| 2ª de MP-R12-0-12-65-T                 | 0:26                  | 3:53               |
| 3ª de MP-R12-0-12-65-T                 | 0:32                  | 4:25               |

*Tabla 3.11 Fase1-Prueba 1-Lote 2*

| Lote 2: 3 unidades de FG-B12-0-12-65-T |                       |                    |
|--|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda                        | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de FG-B12-0-12-65-T                 | 8:35                  | 8:35               |
| 2ª de FG-B12-0-12-65-T                 | 0:55                  | 9:30               |
| 3ª de FG-B12-0-12-65-T                 | 0:26                  | 9:56               |

*Tabla 3.12 Fase 1-Prueba 1-Lote 1*

| Lote 3: 3 unidades de FP-B12-0-12-65-T |                       |                    |
|--|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda                        | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de FP-B12-0-12-65-T                 | 13:30                 | 13:30              |
| 2ª de FP-B12-0-12-65-T                 | 0:18                  | 13:48              |
| 3ª de FP-B12-0-12-65-T                 | 0:27                  | 14:15              |

### Observaciones:

- En cuanto al procedimiento de montaje, primeramente, recoge todas las unidades de material necesarias para la fabricación y luego realiza el montaje. El apriete definitivo de las 3 ruedas las realiza al final todas seguidas. De ahí deriva que se tengan esos tiempos tan grandes hasta que finaliza el primer producto.

- En los lotes 2 y 3 había errores en el montaje en cuanto a la selección de las piezas.
- Se observaron erratas en la hoja de referencias y combinaciones de producto terminado.
- 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.
- Pérdida de tiempo en seleccionar la herramienta adecuada para apretar el tornillo y la tuerca. Se cuenta con 2 llaves con 2 extremos de distinto calibre con lo cual no hay una rápida elección del utillaje.
- Como la ergonomía no se ha tenido en cuenta, la altura de la mesa es inadecuada ya que el trabajador realiza posturas incómodas en el montaje y se encuentra encorvado.

## Prueba 2

En esta prueba se analizó simplemente el procedimiento seguido por otro trabajador, 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 del utillaje y los materiales.

### 3.2.3 Fase 2

Teniendo en consideración el análisis descrito en la primera fase, se pudo observar como existían muchas carencias y falta de organización.

Con lo cual lo primero que se ha hecho ha sido aplicar las 5S al puesto de trabajo, técnica descrita anteriormente en el apartado 2.5.1. 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.

- Seiri ( Eliminar): En esta fase se eliminaron todos los útiles y herramientas innecesarias que no tenían ningún uso durante el montaje, con el fin de reducir el tiempo de identificación y búsqueda del mismo. Se retiraron también otros objetos que molestaban dejando 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 o gavetas estandarizadas con su correspondiente identificación de lo que

contenían para mejorar la identificación de los mismos y evitar tener que tomar medidas.

- 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 el puesto 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 un procedimiento de fabricación “inicial” habiendo observado el desempeño de los trabajadores.
- Shitsuki (Disciplina): Con el estándar ya creado, la creación de la disciplina implica seguirlo.

A parte de aplicar las 5S en el diseño del puesto de trabajo, se han tenido en cuenta consideraciones ergonómicas según todo lo descrito en el apartado 2.7.3 con el fin de colocar las cajas a una altura adecuada en las estanterías y diseñar la mesa de trabajo para mejorar la comodidad del mismo.

En este punto ya se sabía cuántos tipos de piezas se iban a manejar en los distintos montajes. Estas 16 piezas había que distribuir las en las estanterías de manera que quedasen todas ergonómicamente, pero también pensando en la implementación final del sistema electrónico pick-to-light y el sistema de rodillos que se iba a incluir en las siguientes fases. Por lo tanto, era necesario tener en cuenta el hueco suficiente entre ellas para introducir ese sistema a posteriori, tanto lateralmente como la distancia entre la caja y la balda superior para extraer cómodamente los materiales.

La solución final por la que se ha optado ha sido tener 2 estanterías, una en la parte frontal y otra en el lateral derecho de la mesa de trabajo. En la distribución de las piezas de montaje se han tenido en cuenta varios criterios al mismo tiempo:

- Frecuencia de uso: Las piezas cuya utilización es más frecuente se han colocado en las posiciones de la estantería de mejor acceso, como son las tuercas, que se utilizan en todos los montajes, o los cojinetes lisos de 12 mm.
- Funcionalidad: Las piezas que compartían algo en común se agruparon de la misma manera.
- Peso: Los materiales más pesados se han colocado en los niveles más bajos de las estanterías para un manejo más ergonómico y evitar cargar pesos en posiciones elevadas. Los elementos más pesados son los soportes que se han colocado en la fila inferior.

Así, la distribución final queda de esta manera Figura 3.6:

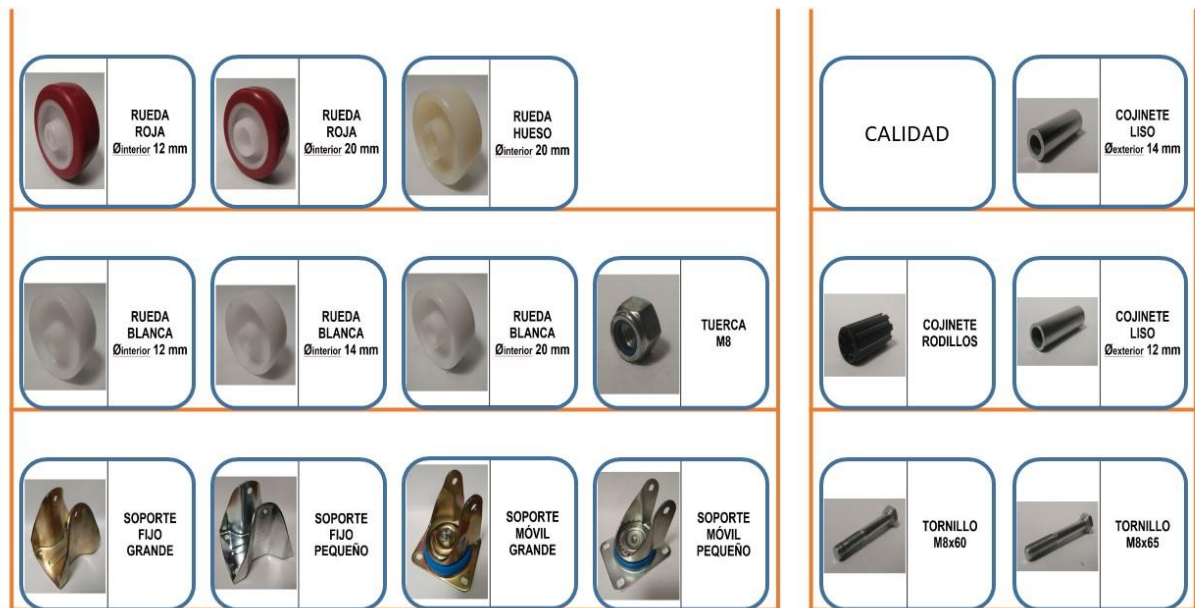


Figura 3.6 Distribución de las estanterías izquierda y derecha

Siguiendo el flujograma que aparece en la Figura 2.4 del apartado 2.7.4 se ve como es un puesto fijo, sí tiene algunos pesos y dificultades sobre todo debido a la gran variedad de elementos, y por último no tiene manipulaciones raras. Por lo tanto, la posición de trabajo mejor a priori nos conduce a la de pie. Además, esto se puede corroborar debido a que necesitamos una gran movilidad de las extremidades superiores y alcances frecuentes por encima del plano de trabajo.

La mesa de trabajo que teníamos disponible era la siguiente que aparece en la figura 3.7

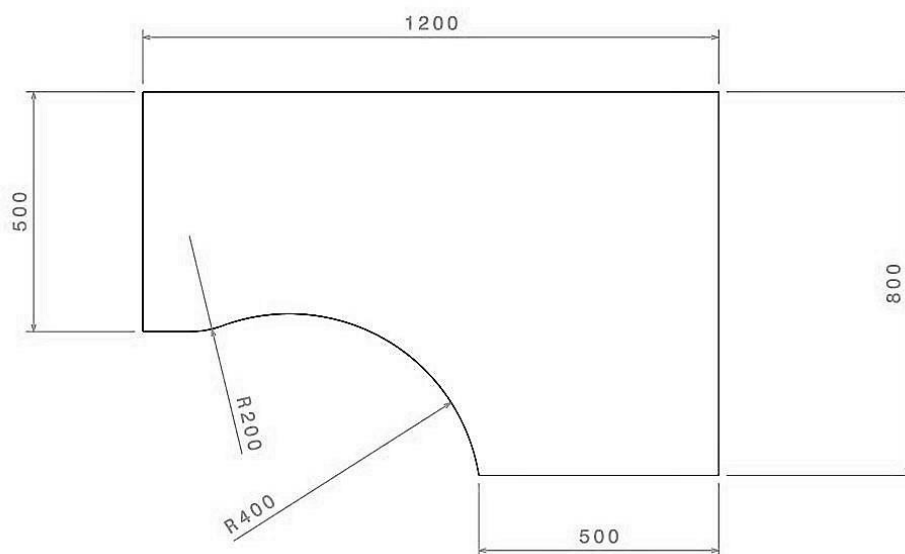


Figura 3.7 Medidas de la mesa de trabajo disponible

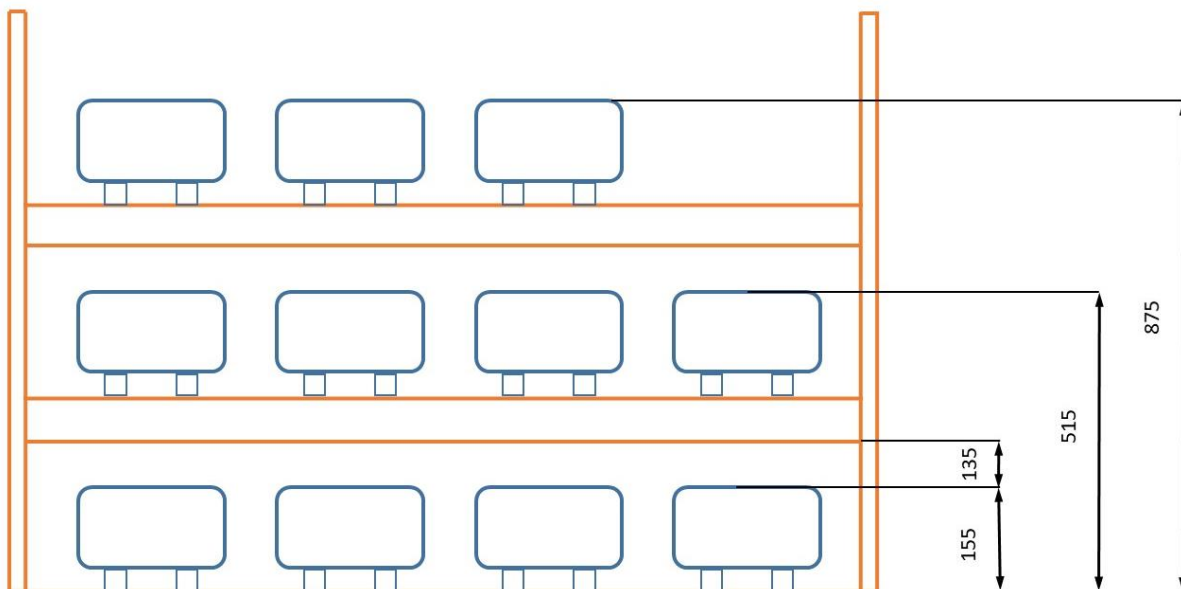


Llegados a este punto era necesario definir una altura de trabajo para este modelo de mesa. En este caso se trata de una tarea de no mucha precisión y que requiere de un esfuerzo moderado, con lo cual la altura de la mesa debe situarse entre 150 y 200 mm por debajo del codo.

Como la altura del codo media en la población trabajadora es de 1027 mm y el percentil 95 de 1122 mm, se ha definido la altura de la mesa de trabajo en 850 mm para que sea adaptable a la mayoría de situaciones. (Los problemas que pueda presentar la altura de la mesa de trabajo se diseñará en la fase siguiente el útil poka-yoke regulable).

Las dimensiones de esta mesa cumplen con las consideraciones de Squires y Farley y la curva de alcance máximo en el plano horizontal de trabajo (Figuras 2.4 y 2.5 Apartado 2.7.4)

Por último, solo quedaba definir las dimensiones de las estanterías teniendo en cuenta la cota de la altura de la mesa de 850 mm. Las dimensiones de altura y situación de cada elemento están representados en la figura 3.8. La fila o balda inferior se ha colocado de manera que las gavetas queden justo al ras de la mesa de trabajo.



*Figura 3.8 Alturas de las gavetas en las estanterías y el hueco entre gaveta y balda para coger las piezas*

Según la figura 2.7 del apartado 2.7.4, las dimensiones de las estanterías cumplen con un diseño ergonómico del mismo en el alcance del plano sagital.

El puesto provisional para esta fase tomó el siguiente aspecto (Figura 3.9):





*Figura 3.9 Puesto de montaje en la fase 2*

Este puesto de trabajo tiene las siguientes características:

- Se han retirado todos los elementos innecesarios dejando lo imprescindible para el montaje.
- Las piezas necesarias para realizar los montajes están ordenadas en las estanterías según criterios de frecuencia de uso y peso.
- Se ha adquirido un dispensador de grasa para evitar suciedades.



*Figura 3.10 Dispensador de grasa*

- Se ha estandarizado el montaje identificando cada una de las piezas y relacionándolos con sus correspondientes códigos en las referencias.
- En las llaves que se utilizan para el apriete del tornillo y la tuerca se ha cerrado con cinta adhesiva el lado que no nos sirve a modo de poka yoke dejando solo disponible la llave del 12.
- Se ha diseñado el puesto teniendo en cuenta la ergonomía del trabajador.
- La mesa de trabajo se ha sustituido, y en esta fase se encuentra situada de manera provisional para comprobar el buen desempeño de la misma antes de añadirle las patas.

- En el tablón se encuentra la hoja de referencias de producto terminado.
- Se han añadido dos cintas de rodillos; Una a modo de recepción de pedidos y la otra para el envío del producto terminado.

### 3.2.4 Resultados de la Fase 2

En esta fase se realizaron 2 pruebas de montaje. En ambas se midieron los tiempos de montaje y se realizaron distintas observaciones.

#### Prueba 1

En este caso fue un hombre de 1,75 m de altura el que realizó la prueba.

Primeramente, se le solicitó el montaje de una única referencia, sin explicarle ni la disposición ni el procedimiento de montaje con el fin de medir cuanto de intuitivo es la correspondencia entre la hoja de referencias y la identificación de los materiales que se utilizan en cada montaje. Además, se observó el procedimiento de montaje que siguió el operario.

*Tabla 3.13 Fase 2-Prueba 1-1 Unidad*

| 1 unidad de MG-R12-0-12-65-T |                       |                    |
|------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda              | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de MG-R12-0-12-65-T       | 3:11                  | 3:11               |

Observaciones:

- El tiempo total fueron 3:11 minutos sin aprendizaje previo.
- No se apreciaron errores en el montaje.

Una vez realizada esta prueba se le explica la disposición de las estanterías las referencias y la situación de cada utillaje y su uso.

Por último, se solicitó la fabricación de 3 lotes de 3 montajes diferentes.

*Tabla 3.14 Fase 2-Prueba 1-Lote 1*

| Lote 1: 3 unidades de FG-R12-0-12-65-T |                       |                    |
|--|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda                        | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 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                 | 0:38                  | 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.
- El engrase se realizó antes de colocar el tornillo y la tuerca, pero de manera incorrecta ya que se engrasó en el hueco del cojinete liso y no entre el cojinete y la rueda. Este uso incorrecto produjo suciedad de nuevo.
- Piezas del montaje correctas.

*Tabla 3.15 Fase 2-Prueba 1-Lote 2*

| Lote 2: 3 unidades de MP-B20-1-12-60-T |                       |                    |
|--|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda                        | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de MP-B20-1-12-60-T                 | 3:19                  | 3:19               |
| 2ª de MP-B20-1-12-60-T                 | 0:21                  | 3:40               |
| 3ª de MP-B20-1-12-60-T                 | 0:20                  | 4:00               |

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 y lo realiza una vez montada la rueda.

*Tabla 3.16 Fase 2-Prueba 1-Lote 3*

| Lote 3: 3 referencias distintas |                       |                    |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda                 | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de FP-H20-1-12-60-T          | 1:59                  | 1:59               |
| 2ª de MG-R20-1-12-65-T          | 1:47                  | 3:46               |
| 3ª de MP-B14-0-14-60-T          | 1:14                  | 5:00               |

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.

Del puesto de trabajo que tuvimos en la segunda fase se extrajeron las siguientes conclusiones:

- La mejora ergonómica del puesto fue satisfactoria y se adaptaba a distintos individuos.
- Se mejoró notablemente la rapidez en la identificación de los materiales de cada montaje y su orden dentro del espacio de trabajo.
- 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 sistema kanban para que la falta de material no suponga una pérdida de tiempo en el proceso.
- Una vez solucionado el problema del apriete es necesario definir un estándar del procedimiento de montaje.
- La existencia de las 2 cintas de rodillos hace más fácil darse cuenta de la dirección que toma el proceso de montaje en esta unidad al tener un sitio específico para la recepción y otro para el producto terminado.

### 3.2.5 Fase 3

#### Creación del útil poka yoke

Esta fase comenzó con la creación del útil poka yoke destinado a dar solución al reiterado problema que aparecía en las fases anteriores con el apriete de la tuerca auto bloqueante.

Considerando las implicaciones que el término “Jidoka” tiene (Capítulo 2.5.6), se procedió a la creación de un útil que nos permitiese realizar un ajuste completo de la tuerca auto bloqueante de manera rápida y efectiva. Según lo descrito en el capítulo las 2 primeras etapas para la implantación Jidoka son las siguientes:

1. Autonomación del proceso: Era necesario eliminar el costoso e inefectivo apriete que se llevaba a cabo con el uso de las llaves manuales y transferir ese esfuerzo manual a un esfuerzo máquina.
2. Autonomación de sujeción: Es decir idear algo que permitiese una sujeción firme de la tarea que se iba a llevar a cabo. En este caso atornillar.

El diseño de los planos del útil poka yoke están reflejados en el anexo III. El útil tomó este aspecto una vez fabricado Figura 3.11:



*Figura 3.11 Útil Poka yoke*

Este útil está dividido en 2 partes. La parte izquierda se utiliza para los soportes denominados “Pequeños” con una menor altura desde la base hasta el vaso de la tuerca, y la parte derecha para los “Grandes” de mayor altura. Dependiendo del tipo de soporte, si es móvil o fijo, se coloca de una manera determinada. Para conocer la posición adecuada de cada montaje y no haya lugar a error se ha creado el documento de apoyo que figurará en el tablón.

Se adquirió además una atornilladora manual (Figura 3.12).



*Figura 3.12 Atornilladora eléctrica*

Esta solución no fue del todo adecuada ya que cuando la tuerca llegaba a su tope, la propia atornilladora producía un impacto sobre la muñeca, poco aceptable desde el punto de vista ergonómico y más aún si esa tarea se debe hacer repetidamente.

Todo esto se solucionó con la adquisición de una atornilladora que sí que se detenía cuando llegaba al par de apriete correcto y tenía ajuste de par (Figura 3.13).



*Figura 3.13 Atornilladora con par de apriete*



La correcta utilización del útil poka yoke está definida en el procedimiento de montaje (Anexo I) junto con el documento de apoyo al Lean Manufacturing del Anexo II. La cabeza del tornillo debe quedar introducida completamente en el vaso que le corresponda para cada tipo de soporte.

### Estandarización de la ruta de montaje

Una vez realizados varios ensayos y conocido el procedimiento de montaje más adecuado que se iba a llevar a cabo, se plasmó en el documento ruta de montaje que aparece en el Anexo I. A modo de resumen, la ruta de fabricación tiene los siguientes pasos:

1. Primero se realiza una preparación del embalaje.
2. Luego se procede a la recogida de todos los materiales necesarios para el montaje siguiendo las referencias.
3. Se realiza el montaje
4. Se introduce en el embalaje y se envía a almacén.

En el anexo aparece todo de una manera mucho más detallada ya que están presentes las distintas fases de montaje junto con las inspecciones visuales oportunas y las opciones de actuación en cada caso.

En color azul aparecen las actividades normales de montaje que se realizan en la secuencia. En alguna de ellas se pueden producir fallos, que están descritas junto con su modo de actuación y están sombreadas en un tono naranja. Pero las mismas solo se realizan en caso de error. Por otro lado, se encuentran las actividades de inspección visual que están destacadas en verde y que deben realizarse junto con las actividades normales de color azul.

Además, en esta fase se han añadido las operaciones de embalaje que requiere el producto terminado.

### Implantación del sistema kanban

Hasta ahora no ha sido necesario para las pruebas de montaje, ya que las cajas tenían suficientes ítems en cada una de ellas para realizar una prueba de montaje. Sin embargo, si este puesto necesita estar produciendo durante un periodo de tiempo las existencias en las gavetas se van a acabar y es necesaria una reposición de material sin que ello suponga un desperdicio de tiempo.

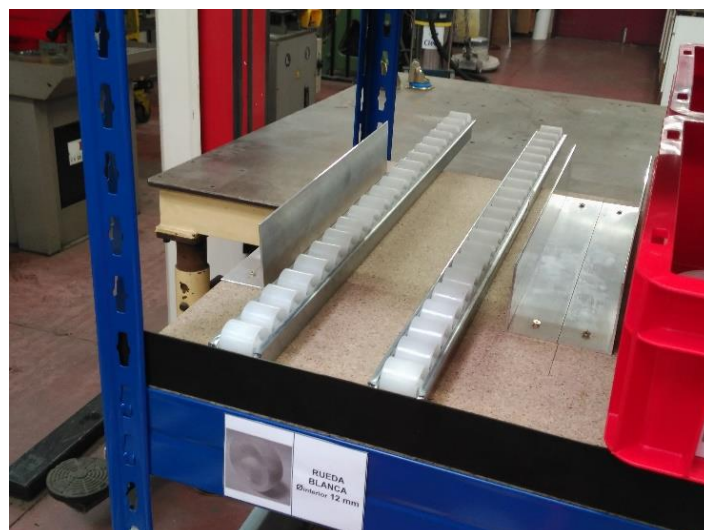
El sistema kanban se definía, según el capítulo, como el sistema de control y programación sincronizado basado en tarjetas, en el que cada proceso retira conjuntos que necesita del proceso anterior y estos comienzan a producir las piezas que se han retirado. Este caso es especial, ya que únicamente tenemos una unidad de montaje en la que se ensambla y embala todo el producto terminado. Por lo tanto, solo se ha implementado el sistema de ayuda de reposición de material.

Con el fin de no detener la producción necesitábamos que según se retirase una gaveta de piezas vacía, se tuviese otra llena inmediatamente. Para ello, se añadieron cintas de rodillos a cada gaveta y se añadió una segunda por detrás, de manera que cuando se retira la primera gaveta para mandarla a rellenar, se tiene la segunda disponible justo en el momento. Figura 3.14



*Figura 3.14 Retirada de gaveta vacía*

Se aplicó una inclinación suficiente para que las gavetas deslizaran adecuadamente, y para evitar su caída hacia la mesa de trabajo se instaló un tope frontal transversal. En el sistema de rodillos se han colocado unas guías horizontales a cada lado, que posteriormente servirán de apoyo al sistema pick-to-light. Figura 3.15



*Figura 3.15 Sistema de rodillos*

Para cada una de las cajas se crearon unas tarjetas kanban identificativas Figura 3.16

|   |   |
|---|---|
|  | <b>RUEDA<br/>ROJA</b><br><b>Øinterior 12 mm</b> |
|   | <b>Nº Unidades: 6</b>                           |
|   | <b>Montaje-A1</b>                               |

*Figura 3.16 Tarjeta Kanban*

En la parte izquierda aparece una imagen de la pieza y en la parte derecha la información requerida: Identificación del producto que tiene que ir en la caja, el número exacto de unidades que debe contener, y el espacio en el que se debe colocar la caja llena una vez repuesta de material.

El operario del almacén repone el material por la parte trasera de la estantería, por lo tanto, es necesaria una correcta indicación. Tanto por delante como por detrás de la misma se ha puesto una indicación del tipo de piezas que debe ir en cada lugar Figuras 3.17.



*Figura 3.17 Etiqueta indicadora del tipo de piezas*

Se ha dividido 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. Y cada una de las posiciones de izquierda a derecha están identificadas con números del 1 al 6.

El procedimiento que lleva a cabo el operario del almacén para la reposición de piezas está definido en el Anexo 12.

### Mejora de las 5S

Pese a que en la fase 2 el puesto ya tenía un cierto orden y una estandarización, era necesario dar un paso más en el proceso de implantación de las 5S. Las cajas contenían ya las etiquetas identificativas, pero el orden y la colocación se podían ver



alterados por la falta de una delimitación de cada una de ellas en la propia estantería. Lo mismo sucedía con los útiles de fabricación, que en ocasiones se encontraban desordenados y no tenían ningún sitio bien definido en la mesa de trabajo.

La premisa de conseguir una mejora en las 5S era conseguir aplicar la frase: “Cada cosa en su lugar y un lugar para cada cosa” (Capítulo 2.5.1). Por lo tanto, se identificaron mediante pegatinas y elementos visuales sobre la mesa y sobre la estantería los emplazamientos tanto del material (Figura 3.18) como de los útiles (Figura 3.19).



Figura 3.18



Figura 3.19

Además se añadió una identificación para las cintas de rodillos de “Recepción orden de fabricación” y de “Producto terminado/Repuesto almacén” Figuras 3.20 y 3.21.



Figura 3.20



Figura 3.21

En el tablón de información se incluyó aparte de las referencias de producto terminado, el documento con la ruta de fabricación en caso de consulta y un documento de ayuda visual para el correcto uso del útil poka yoke.

### Otras mejoras

En esta fase se han realizado otro tipo de mejoras. La mesa de trabajo ha sido instalada definitivamente con lo que se han colocado sus soportes de tal manera que la superficie de trabajo quedase a la altura prevista.

Se ha fabricado un dispensador de embalaje con su soporte para que se pueda retirar el embalaje y su montaje se haga más sencillo.

Se ha colocado una gaveta negra por debajo de la cinta de producto terminado para tener un sitio en el que desechar los embalajes defectuosos.

Este puesto de trabajo tiene las siguientes características:

- Es un puesto estandarizado en el que hay lo justamente necesario para llevar a cabo el montaje y donde se encuentran ordenados e identificados todos los elementos del mismo según la herramienta de las 5S
- El útil poka yoke es una herramienta creada con el fin de ayudar al proceso de atornillado.
- El proceso de montaje se encuentra completamente definido en la ruta de montaje (Anexo II).
- Se ha implementado el sistema kanban para tener siempre material de producción disponible sin tener que detener el proceso.

### 3.2.6 Resultados de la Fase 3

En esta fase se realizaron 2 pruebas de montaje. En ambas se midieron los tiempos de montaje y se realizaron distintas observaciones.

#### Prueba 1

En este caso fue una mujer de 1,60 m de altura la que realizó la prueba.

Primeramente, se le solicitó el montaje de una única referencia, sin explicarle ni la disposición ni el procedimiento de montaje con el fin de medir cuanto de intuitivo es la correspondencia entre la hoja de referencias y la identificación de los materiales que se utilizan en cada montaje. Además, se observó el procedimiento de montaje que siguió el operario.

*Tabla 3.17 Fase 3-Prueba 1-Unidad*

| 1 unidad de MG-R12-0-12-65-T |                       |                    |
|------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda              | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de MG-R12-0-12-65-T       | 1:59                  | 1:59               |

Observaciones:

- El tiempo fue de 1:59 min sin aprendizaje previo en comparación con los más de 3 min que se tardó en la segunda fase del proyecto.

- Se recogieron correctamente todas las piezas de la referencia sin embargo no se colocó en el montaje el cojinete liso.
- A priori el útil poka yoke resultó un poco complejo de entender.

Se realizó individualmente una prueba de embalaje una vez explicado el procedimiento. En la que se tardaron 0:15 min.

Una vez realizada esta prueba se le explica la disposición de todos los elementos del puesto de trabajo y todo el procedimiento de montaje paso a paso.

Por último, se solicitó la fabricación de 3 lotes de 3 montajes diferentes.

*Tabla 3.18 Fase 3-Prueba 1-Lote1*

| Lote 1: 3 unidades de FG-R12-0-12-65-T |                       |                    |
|--|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda                        | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de FG-R12-0-12-65-T                 | 1:22                  | 1:22               |
| 2ª de FG-R12-0-12-65-T                 | 0:55                  | 2:17               |
| 3ª de FG-R12-0-12-65-T                 | 1:05                  | 3:22               |

Observaciones:

- El montaje se llevó a cabo sin problemas.
- Correcta selección de piezas.

*Tabla 3.19 Fase 3-Prueba 1-Lote2*

| Lote 2: 3 unidades de MP-B20-1-12-60-T |                       |                    |
|--|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda                        | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 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                 | 1:04                  | 7:00               |

Observaciones:

- El tiempo de identificación de la referencia y las piezas fue muy grande, lo que explica los 4:06 min iniciales hasta que termina la primera pieza.
- El montaje se realizó correctamente.

- Hubo que desmontar la primera referencia una vez embocada la tuerca ya que el tornillo se colocó en la dirección opuesta a la que debe de tener para que quedase encajado en el vaso.

*Tabla 3.20 Fase 3-Prueba 1-Lote3*

| Lote 3: 3 referencias distintas |                       |                    |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda                 | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de FP-H20-1-12-60-T          | 1:10                  | 1:10               |
| 2ª de MG-R20-1-12-65-T          | 1:50                  | 3:00               |
| 3ª de MP-B14-0-14-60-T          | 1:31                  | 4:31               |

Observaciones:

- En este caso hubo un fallo de montaje y se confundieron la referencia y los materiales seleccionados de la segunda referencia.
- El tiempo que se tarda en identificar el código es menor cuanto más aprendizaje haya.

## Prueba 2

En este caso fue un hombre de 1,73 m de altura el que realizó la prueba.

Primeramente, se le solicitó el montaje de una única referencia, sin explicarle ni la disposición ni el procedimiento de montaje con el fin de medir cuanto de intuitivo es la correspondencia entre la hoja de referencias y la identificación de los materiales que se utilizan en cada montaje. Además, se observó el procedimiento de montaje que siguió el operario.

*Tabla 3.21 Fase 3-Prueba 2-Unidad*

| 1 unidad de MG-R12-0-12-65-T |                       |                    |
|------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda              | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de MG-R12-0-12-65-T       | 2:05                  | 2:05               |

Observaciones:

- El tiempo fue de 2:05 min sin aprendizaje previo, también por debajo de lo que se consiguió en la fase 2.
- El útil poka yoke resultó intuitivo al operario, pero no le utilizó de la manera adecuada.
- La selección de piezas de la referencia se realizó correctamente, pero al comienzo resulta tediosa esta tarea.

Se realizó individualmente una prueba de embalaje una vez explicado el procedimiento en la que se tardó 0:11 min.

Una vez realizada esta prueba se le explica la disposición de todos los elementos del puesto de trabajo y todo el procedimiento de montaje paso a paso.

Por último, se solicitó la fabricación de 3 lotes de 3 montajes diferentes.

*Tabla 3.22 Fase 3-Prueba 2-Lote 1*

| Lote 1: 3 unidades de FG-R12-0-12-65-T |                       |                    |
|--|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda                        | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de FG-R12-0-12-65-T                 | 1:57                  | 1:57               |
| 2ª de FG-R12-0-12-65-T                 | 0:57                  | 2:53               |
| 3ª de FG-R12-0-12-65-T                 | 0:36                  | 3:29               |

Observaciones:

- El montaje se realizó correctamente sin ningún fallo.
- El tiempo disminuyó una vez realizado una formación del operario, sobre todo el tiempo de identificación.

*Tabla 3.23 Fase 3-Prueba 2-Lote2*

| Lote 2: 3 unidades de MP-B20-1-12-60-T |                       |                    |
|--|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda                        | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de MP-B20-1-12-60-T                 | 1:17                  | 1:17               |
| 2ª de MP-B20-1-12-60-T                 | 0:45                  | 2:03               |
| 3ª de MP-B20-1-12-60-T                 | 0:33                  | 2:36               |

Observaciones:

- Todo el montaje se realizó incorrectamente ya que se confundieron las referencias. Por lo tanto, esta prueba se realizó de nuevo.

*Tabla 3.24 Fase 3-Prueba 2-Lote2 (Repetición)*

| Lote 2: 3 unidades de MP-B20-1-12-60-T |                       |                    |
|--|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda                        | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de MP-B20-1-12-60-T                 | 0:44                  | 0:44               |
| 2ª de MP-B20-1-12-60-T                 | 1:25                  | 2:10               |
| 3ª de MP-B20-1-12-60-T                 | 0:56                  | 3:06               |

Observaciones:

- Esta vez se realizaron todos los montajes correctamente salvo el primero en el que hubo un fallo en la selección del componente rueda.
- El tiempo de identificación de la referencia se mantiene

*Tabla 3.25 Fase 3-Prueba 2-Lote3*

| Lote 3: 3 referencias distintas |                       |                    |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Número de rueda                 | Tiempo unitario (min) | Tiempo total (min) |
| 1ª de FP-H20-1-12-60-T          | 1:20                  | 1:20               |
| 2ª de MG-R20-1-12-65-T          | 1:47                  | 3:08               |
| 3ª de MP-B14-0-14-60-T          | 1:30                  | 4:39               |

Observaciones:

- En la segunda referencia se tuvo que desmontar el tornillo y la tuerca antes de situarlo en el útil ya que había sido introducido en la dirección equivocada

Del puesto de trabajo que tuvimos en la tercera fase se extrajeron las siguientes conclusiones:

- Pese a que el puesto tiene una estandarización general, aún resulta tedioso al comienzo el hecho de buscar la referencia correspondiente al pedido solicitado y se producen algunas confusiones en la selección de los materiales. A medida que se va aprendiendo, los errores de montaje se reducen, pero aun así sigue habiendo posibilidades de fallo.

- A priori sin ninguna formación, el útil poka yoke resulta algo complejo de utilizar, pero en cuanto se enseña a manejarlo el proceso de atornillado se realiza de manera mucho más rápida.
- El ajuste de la tuerca auto bloqueante se realiza correctamente y de manera fiable con el útil poka yoke.
- Durante el empleo del útil se apreció que cuando es necesario un soporte móvil hay que tener cuidado con la dirección en la que se introduce el tornillo de manera que sea la cabeza de este el que entre en el vaso y no la tuerca.





## CAPÍTULO 4 RESULTADOS

En este capítulo se van a detallar las características del puesto de trabajo definitivo al que se ha llegado, así como un análisis comparativo de los resultados obtenidos en las distintas fases del proyecto.

### 4.1 Descripción de la solución

En este proyecto a través de varias fases de mejora continua Kaizen, se ha llegado a un puesto de trabajo en el que se han aplicado las técnicas del Lean Manufacturing.

En este puesto de trabajo se realiza el proceso de embalaje y montaje de ruedas de distintos tipos. Todo este sistema se ha diseñado teniendo en cuenta la ergonomía del trabajador, el proceso de montaje y las técnicas del Lean Manufacturing posibles de ser implementadas en este caso en particular.

El aspecto general del puesto de trabajo aparece en la siguiente imagen (Figura 4.1)



*Figura 4.1 Puesto de trabajo final*

La solución adoptada está formada por los siguientes elementos:

- **Las estanterías** situadas en la parte frontal y a la derecha del puesto están diseñadas para albergar todos los tipos de piezas necesarios para realizar los diferentes montajes, más una caja de calidad a mayores en la que se introducen los productos defectuosos posible de ser recuperados en calidad. En ellas están instalados unos sistemas de rodillos para poder tener 2 gavetas por cada tipo de pieza, de tal manera que cuando se terminan los

ítems de una caja, esta se retira y se tiene la segunda llena inmediatamente, que se desplaza a la misma posición. En cada estante se han colocado unas tarjetas identificativas, tanto por la parte posterior como la anterior, del emplazamiento en el que debe de ir cada tipo de material. La distribución se ha razonado de acorde a diversos criterios como ergonomía o frecuencia de uso. El proceso de llenado y reposición de piezas se realiza por la parte posterior. Los estantes inferiores a la altura del suelo se pueden disponer para el almacenaje de otras cosas.

- **La mesa de trabajo** está diseñada de tal manera que la superficie de trabajo y la altura de la misma se adapte a la mayor parte de la población trabajadora. En ella se realiza el proceso de montaje principal. Sobre ella está identificado con unas pegatinas el emplazamiento óptimo de las distintas herramientas (Atornilladora, fijador de cinta adhesiva y aplicador de grasa) para que permanezcan ahí después de cada uso.
- **Las cintas de rodillos** están situadas una en la parte derecha, que va a estar destinada a la recepción de las ordenes de fabricación y otra en la parte izquierda que se utiliza para enviar las gavetas vacías para su reposición y el producto terminado. Se encuentran correctamente identificadas con un cartel en el que aparece escrito “Recepción orden de fabricación” y “Producto terminado/Repuesto almacén”. De esta manera el flujo del proceso se dirige de derecha a izquierda.
- **Un tablón** en el que están situados 3 documentos: Por una parte, las referencias de montaje con todas las piezas necesarias para fabricar cada producto; Un documento o cartel de apoyo gráfico en el que se muestra visualmente la manera correcta de manejar el útil poka yoke; Y el procedimiento de fabricación completo para que esté disponible en caso de consulta. En él aparecen también las actuaciones en caso de fallo y las inspecciones visuales.
- **Un dispensador de embalaje** situado a la izquierda de la mesa de trabajo para poder extraerlo fácil y ergonómicamente. Junto al dispensador está situada una gaveta negra en la que se desecharán los embalajes defectuosos

## 4.2 Análisis de los resultados

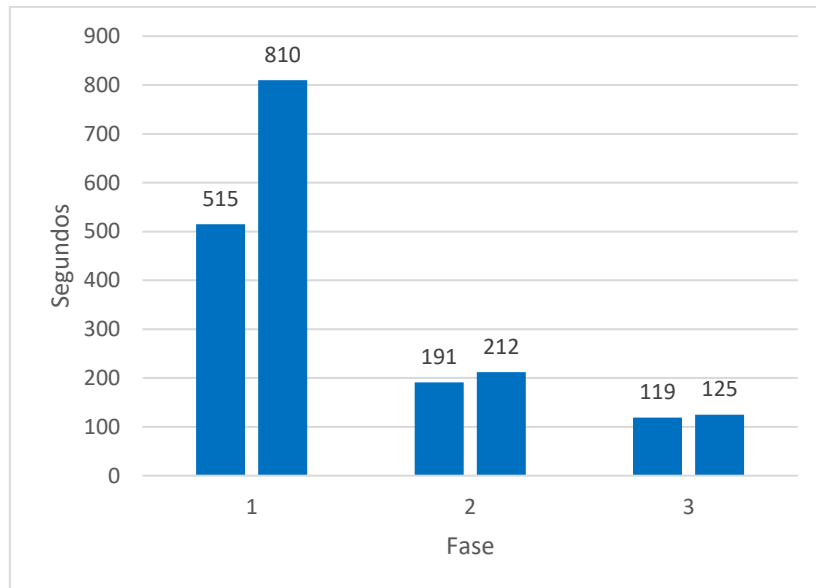
### 4.2.1 Análisis de los tiempos de montaje

En las distintas fases de implantación y mejora del proyecto se han tomado datos de tiempos y se han realizado diferentes observaciones. En la fase de la que se partió únicamente se tienen datos de una prueba. Y en las fases 2 y 3 se han tomado datos de 2 pruebas en cada una de ellas que aparece resumido en la tabla. Se han intentado realizar las pruebas con diferentes individuos de diferentes características antropomórficas, sexo, edad, etc. Con el fin de comprobar la variabilidad y la tendencia de los resultados obtenidos.

Dentro de cada prueba se ha seguido el mismo procedimiento:

1. Realizar un único montaje sin aprendizaje previo.
2. Ensamblar un lote de 3 ruedas iguales.
3. Ensamblar un lote de 3 ruedas iguales (Lo mismo).
4. Montar un lote de 3 ruedas diferentes.

Para empezar, se van a comparar los tiempos de montaje sin aprendizaje previo (Figura 4.2).



*Figura 4.2 Tiempos de montaje sin aprendizaje previo*

Como se puede apreciar, el tiempo de montaje se ha conseguido disminuir paulatinamente en cada fase. Sin embargo, el mayor cambio se produce entre las fases 1 y 2 cuando se aplicaron las 5S inicialmente, en la que se organizó todo el puesto y se estandarizó la correspondencia entre las referencias de producto terminado, además de la identificación visual de las piezas empleadas en su montaje.

Entre la segunda y la tercera fase se aprecia también una leve mejoría, fruto de una estandarización más avanzada en la que se fijó la situación de cada tipo de pieza y el utillaje en el espacio de trabajo unido a la estandarización de la ruta de montaje.

En resumen, en condiciones de montaje sin aprendizaje previo se ha conseguido reducir el tiempo entre el punto de partida y la solución final en un 81,6 %. Esto significa que el puesto de montaje es mucho más intuitivo y fácil de manejar.

Cuando en la prueba se solicita un lote de 3 productos de la misma referencia, se puede observar en las figuras 4.3, 4.5 y 4.6 cómo existe un tiempo mayor hasta que se finaliza la primera. Las barras no siguen un orden ya que son pruebas individuales y de distintos individuos. Esto se debe al proceso de búsqueda de la referencia e identificación de sus piezas correspondientes, que se debe realizar al principio de todo el proceso.

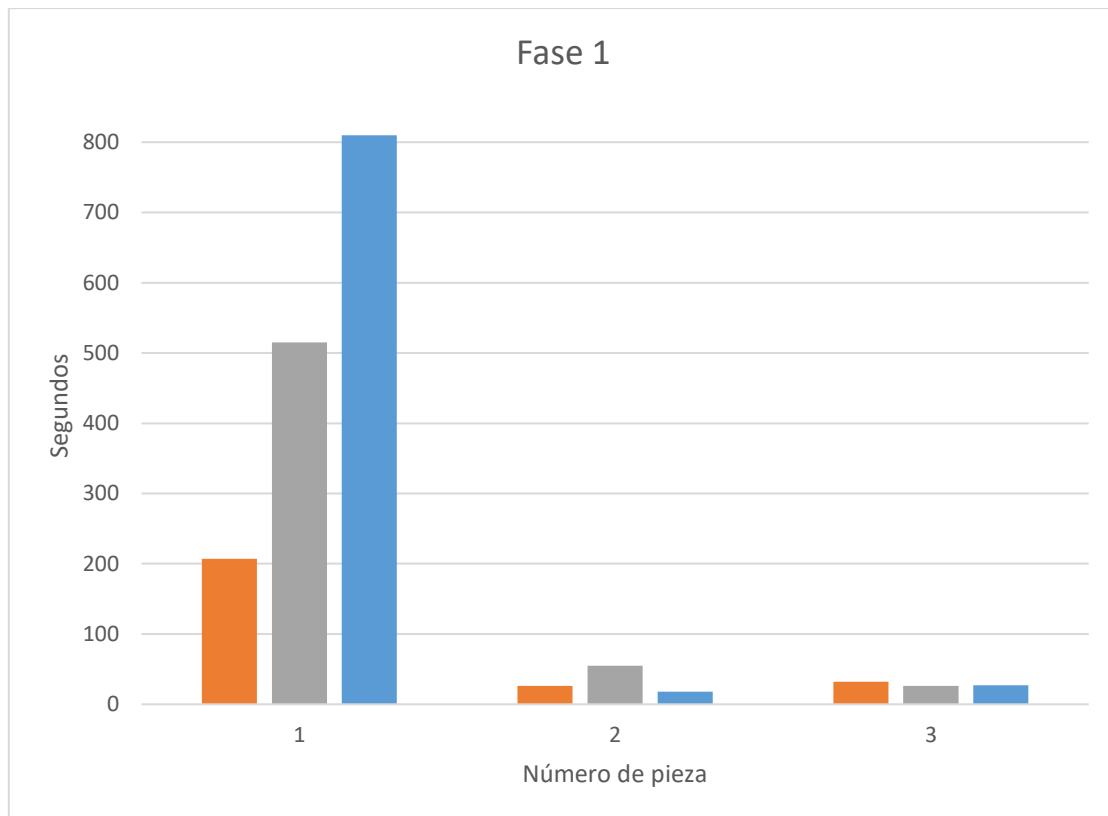


Figura 4.3 Comparación tiempos de montaje de lotes con la misma referencia en la Fase 1

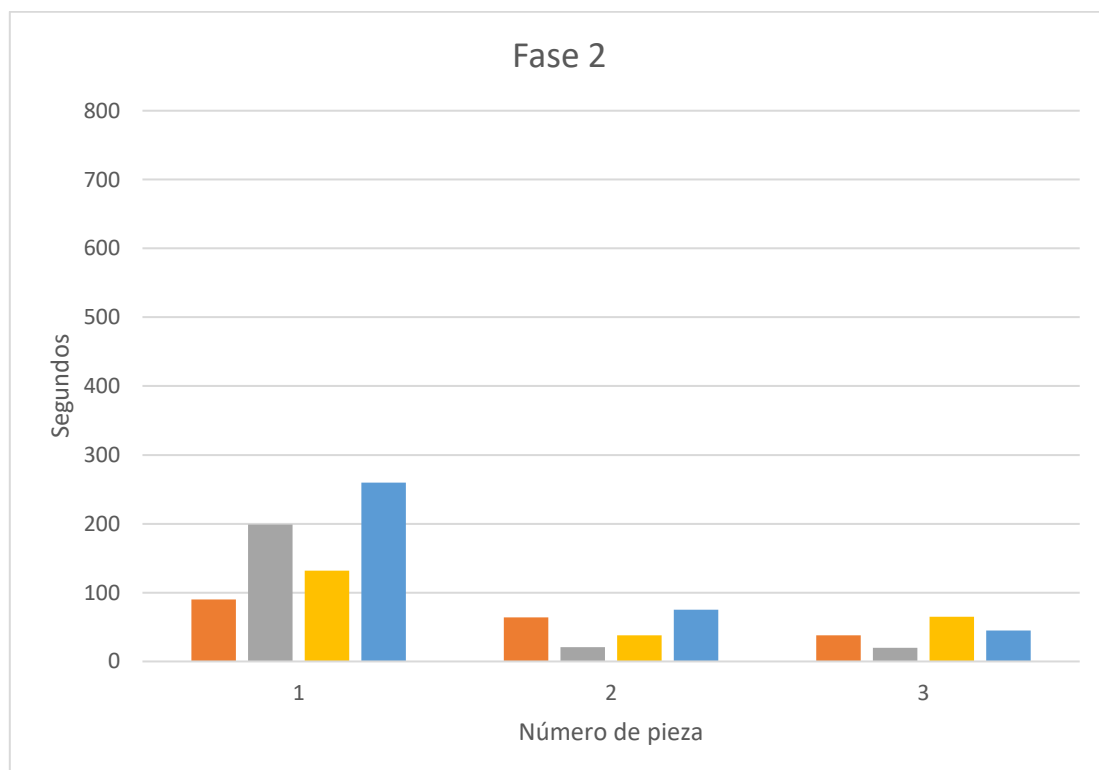


Figura 4.4 Comparación tiempos de montaje de lotes con la misma referencia en la Fase 2

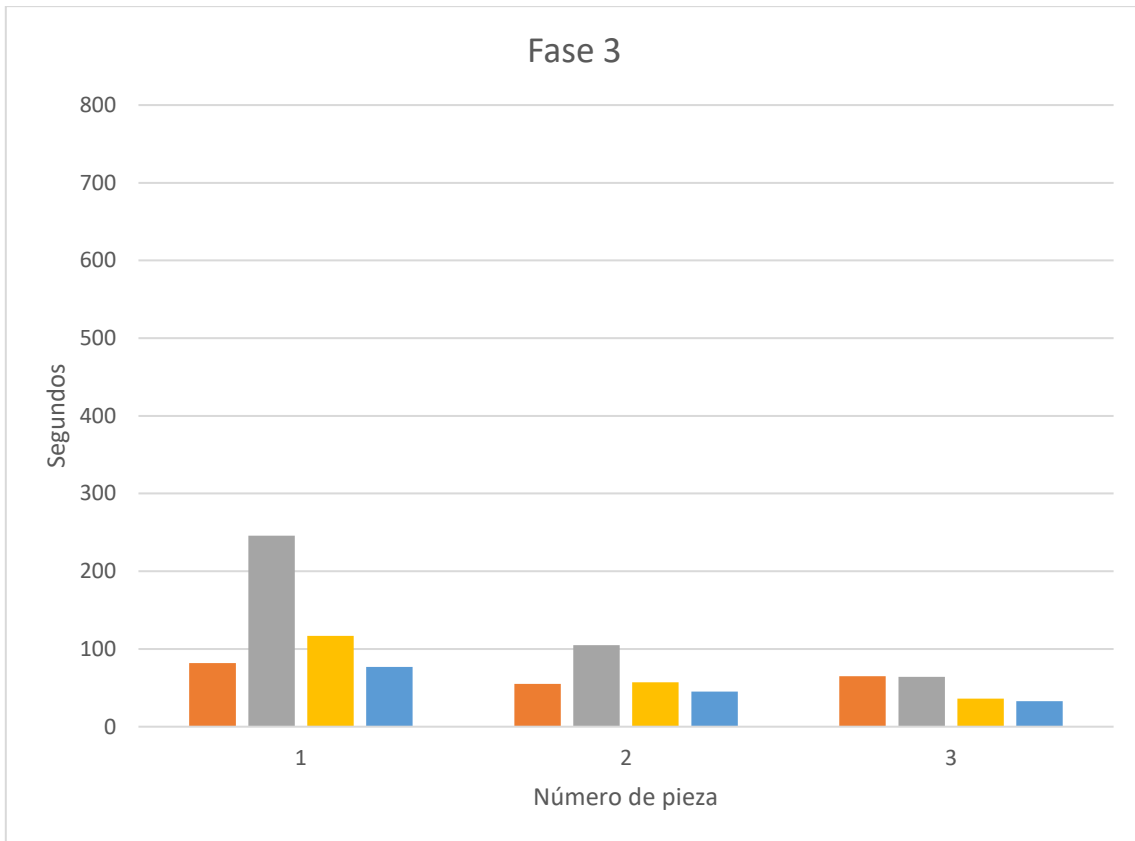


Figura 4.5 Comparación tiempos de montaje de lotes con la misma referencia en la Fase 3

Haciendo una media de cada uno de los datos y comparando la misma parte de la prueba entre las tres fases se aprecia su evolución. Figura 4.6

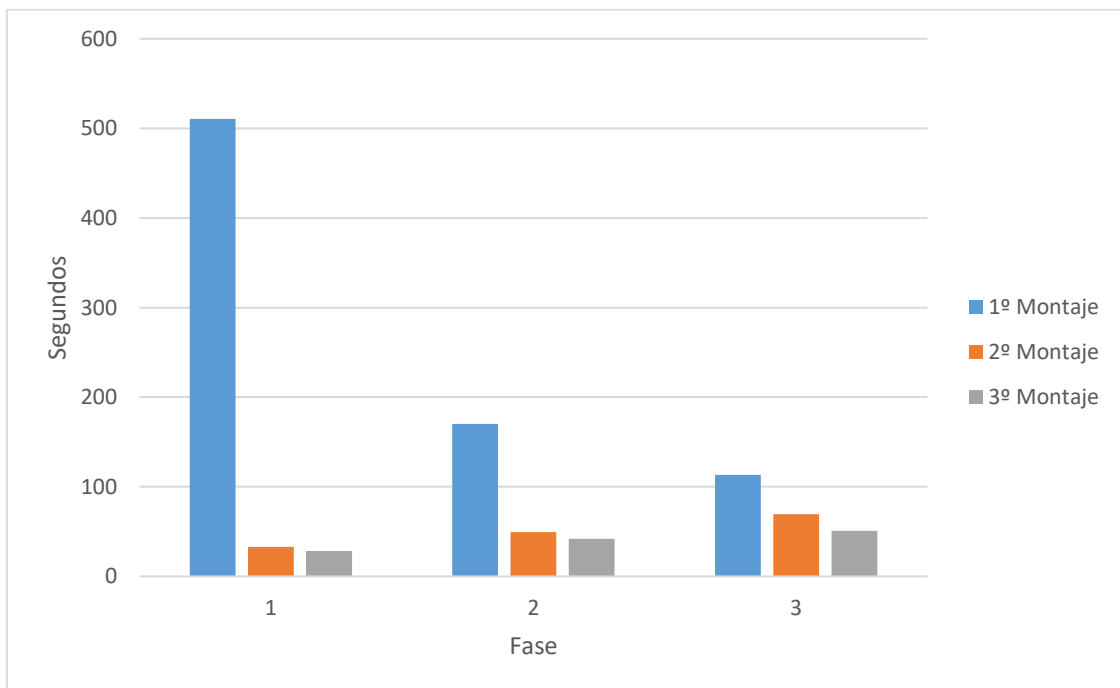


Figura 4.6 Comparación tiempos de montaje de lotes con la misma referencia

Como se puede observar, aparece una tendencia similar y el tiempo de búsqueda inicial se ve reducido en las fases 2 y 3. En la fase inicial hay un salto aun mayor entre el tiempo de montaje de la primera pieza del lote y la última (94,45 %) mientras que la misma diferencia en la tercera fase del proyecto se reduce a un 55,12 %.

#### 4.2.2 Porcentaje errores

También hay que tener en cuenta que se pueden producir confusiones a la hora de seguir una referencia concreta. Esto origina un producto que no es el solicitado por el cliente y por lo tanto no se puede realizar la entrega.

En las pruebas se tomó nota de los errores en la fabricación que iban surgiendo y se recogen en esta tabla:

*Tabla 4.1 Errores de montaje*

|                                 | Fase 1 | Fase 2  | Fase 3 |
|---------------------------------|--------|---------|--------|
| Incorrectas/Total de montajes   | 9/18   | 5/18    | 4/18   |
| Porcentaje de montajes erróneos | 50 %   | 27,78 % | 22,22% |

Al igual que los tiempos de montaje, el número de errores se vio reducido con la misma tendencia. En la fase inicial, era lógico que existiese un 50 % de montajes fallidos, ya que no había ningún tipo de orden en el puesto y las piezas que requería cada montaje únicamente se podían identificar con la ayuda de un pie de rey. Los errores han disminuido en un 55,56 % desde el punto de partida hasta la última implementación.

Aunque se ha visto una notable mejoría en las fases es necesario llegar a conseguir uno de los objetivos del Lean Manufacturing: Cero defectos (Capítulo 2.2). Partir del concepto de calidad total en el que hay que conseguir “Hacer las cosas a la primera”. Esta es una prueba en la que los participantes no conocían ningún aspecto de la actividad que iban a desarrollar, con lo cual con una mayor experiencia y práctica los errores de montaje no serían tan elevados.

#### 4.2.3 Análisis de la cadena de valor

En las siguientes figuras aparecen representados una aproximación de la cadena de valor en las distintas fases del proyecto. En este proyecto únicamente se va analizar la cadena de valor de las actividades del puesto de montaje. Las actividades de identificación y recogida de materiales no aportan ningún valor añadido, sin embargo, el proceso de montaje y ajuste, sí.

Se ha tomado una media de las primeras piezas de cada lote como si se tomaran de manera individual en las fases 1 y 2 ya que son las más representativas del proceso. En la fase 3 como se realizaba el mismo procedimiento se ha podido tomar una media estimada de todas ellas.



Figura 4.7 Análisis de las actividades con y sin valor añadido en la Fase 1



Figura 4.8 Análisis de las actividades con y sin valor añadido en la Fase 2

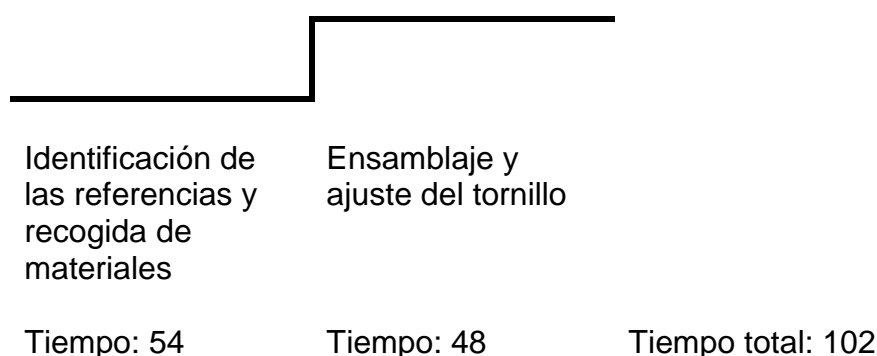


Figura 4.9 Análisis de las actividades con y sin valor añadido en la Fase 3

Si analizamos y comparamos las 3 gráficas se pueden ver algunos datos interesantes. Entre la fase 1 y la 2 se puede ver que con la estandarización de las referencias y el orden en el puesto se facilitó la tarea de Identificación de las

referencias y recogida de materiales. Una actividad que sólo originaba un desperdicio de tiempo. Aunque el gran avance se dio en la segunda fase, en la misma actividad entre las fases 2 y 3 se aprecia una ligera mejoría gracias a la ubicación y etiquetado de los útiles en la mesa de trabajo.

En cuanto a la actividad de Ensamblaje y ajuste del tornillo, gracias a las 5S también se vió reducido su tiempo en la segunda fase. Pese a que se seguía atornillando a mano, pero se añadió la identificación correcta del extremo de las llaves. La gran diferencia se aprecia en la tercera fase cuando ya se contaba con una atornilladora manual y el útil poka yoke.



## CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

### 5.1 Conclusiones del Proyecto

- Se ha obtenido un mayor conocimiento acerca del Lean Manufacturing, y sus diferentes técnicas han sido puestas en práctica en este proyecto.
- La metodología que se ha creado para implementar las sucesivas soluciones y pruebas de montaje ha sido satisfactoria ya que nos ha permitido evolucionar y comparar los distintos resultados.
- Se ha conseguido diseñar un puesto de trabajo teniendo en cuenta la ergonomía del trabajador y sus implicaciones en un puesto de este tipo.
- Se han obtenido unos resultados satisfactorios en cuanto a la aplicación de las técnicas Lean Manufacturing a un puesto de trabajo tipo. Analizando los resultados de las pruebas realizadas en cada una de las fases, se ha podido comprobar cómo se ha reducido el tiempo de montaje en hasta aproximadamente un 80 %. El porcentaje de errores de montaje se ha visto reducido también en un 55 %.
- Sin embargo, aunque el porcentaje de ruedas erróneas se ha reducido en un 55 %, todavía se montaba un 22 % de las ruedas con alguna confusión en las piezas que formaban el montaje. Esto es debido a que en ocasiones las referencias se confunden unas con otras y se hace tedioso el hecho de tener que leer sobre un papel los materiales necesarios, ya que en este caso existen 24 tipos diferentes de productos. Es decir, la gran variabilidad de productos origina problemas y confusiones a la hora de identificar las referencias y las piezas que lo conforman.

### 5.2 Trabajos futuros

Con el fin de resolver los problemas que se presentaron en la tercera fase, la solución que se va a presentar a continuación ya se ha ido diseñando desde la fase inicial como objetivo final del proyecto, sin embargo, aún no se ha instalado en la realidad.

Analizando el mapa de cadena de valor y observando el montaje, se puede ver que todavía tenemos un tiempo excesivo en la identificación de las referencias y la recogida de piezas. Instalando un sistema pick-to-light conseguiríamos disminuir este tiempo considerablemente, aparte de lograr corregir por completo los errores de montaje que se producen.

Pese a que los sistemas picking tienen su aplicación mayormente dirigida a la gestión de almacenes y pedidos, en nuestro proyecto puede poner solución a los problemas que se han detectado. Además, es un sistema necesario debido a la gran variabilidad de piezas (16 tipos) que forman los 24 montajes.

Este estará formado por los siguientes elementos:

- Un lector de código de barras: La orden de fabricación aparecerá en forma de código de barras junto con la referencia
- Unas cajas que contienen un led, un display que indicará el número de piezas a retirar, y un pulsador para confirmar la recogida. Estas estarán situadas en las estanterías a la derecha de cada una de los 17 tipos de gavetas. Se fijarán sobre el lateral del sistema de guiado de los rodillos.
- Una pantalla en la parte superior de la estantería que servirá para mostrar el tipo de producto que se está fabricando en ese momento junto con la referencia y las piezas.
- Una impresora de pegatinas para generar la identificación del producto final y pegarlo sobre el embalaje correspondiente.
- Un sistema andón formado por 3 luces de color verde blanco y rojo que darán indicaciones luminosas sobre el estado de la producción.

El sistema estará controlado por medio de microcontroladores Arduino, junto con una Raspberry que realizará otras funciones. La conexión de los distintos elementos se realizará según la figura 5.1. En verde aparecen las conexiones entre los distintos elementos y en rojo la alimentación eléctrica:

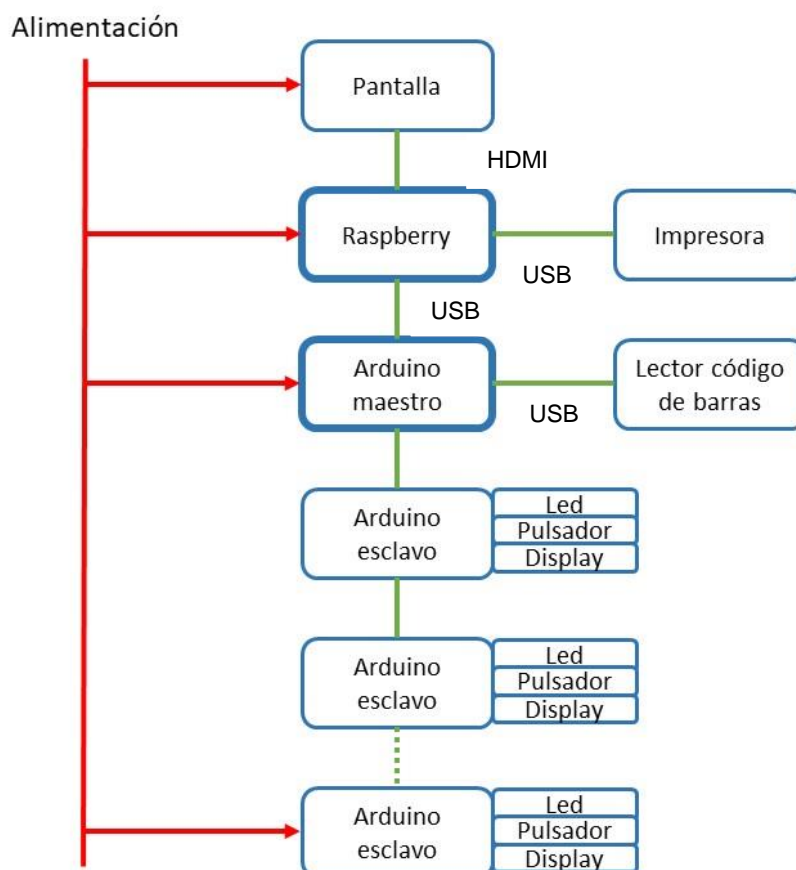


Figura 5.1 Conexiones entre elementos del sistema pick-to-light

El Arduino maestro controlará las funciones de los Arduinos esclavos. Estos Arduinos esclavos son los que van a estar contenidos dentro de las cajas del pick-to-light junto con la señal led, el display y el pulsador. La Raspberry va a ser la encargada de proporcionar la interfaz gráfica a la pantalla, y de recoger todas las tomas de tiempos de montaje que le proporciona el Arduino maestro para realizar las estadísticas de los mismos. La pantalla se conectará con la Raspberry a través de una conexión HDMI, y con el Arduino Maestro a través de un puerto USB.

El funcionamiento sería de la siguiente manera:

1. La orden de fabricación aparecerá con un código de barras y con la referencia en la parte inferior.
2. Mediante un lector de código de barras se leerá el mismo.
3. Una vez hecho esto, se encenderá el led en una de las piezas de la estantería junto con el display en el que aparecerá el número de piezas a recoger de ese tipo.
4. Recoger el número de piezas indicado en el display.
5. Confirmar la recogida accionando el pulsador.
6. Recoger la siguiente pieza indicada en la estantería y volver a confirmar pulsando el botón correspondiente.
7. Cuando ya no se encienda ningún led más proceder con el montaje.

En caso de fallo del sistema electrónico se dispondría del procedimiento de montaje ya definido en el anexo I, como alternativa para evitar tener que parar la producción, mientras se está reparando el sistema.



## CAPÍTULO 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS





- [Adamu, 2014] Adamu, A. “Arduino as a learning tool” Turkish Nile University
- [Aláez, 1996] Aláez, R. et ál. “El sector de automoción: nuevas tendencias en la organización productiva”. Madrid: Civitas.
- [Álvarez, 2017] Álvarez A. “Notas técnicas de prevención: Alcance máximo y normal en el plano horizontal” (INSHT) Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- [Álvarez, 2017] Álvarez A. “Notas técnicas de prevención: Alcance máximo y en el plano sagital” (INSHT) Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- [Barber et al., 2013] Barber, R. et al. “Control practices using Simulink with Arduino as Low Cost Hardware” IFAC.
- [Dekier, 2012], Dekier, L. “The Origins and Evolution of Lean Management System”. Journal of international studies.
- [Dong et al., 2014] Dong, N. “Smart Pick Bins for Reinforcement Steel Installation in Silver Line” New Jersey Governor's School of Engineering and Technology.
- [Gómez, 2010], Gómez Botero, P.A.”Lean Manufacturing: flexibilidad agilidad y productividad”.
- [Hernández et al., 2013] Hernández Matías, J.C. et al. “Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación”. Universidad politécnica de Madrid, Fundación EOI
- [Iborra, 1992] Iborra, M.C., et ál. Universidad de Valencia “Fundamentos de dirección de empresas: Conceptos y habilidades directivas”. Editorial paraninfo
- [Khaswala et al., 2001] Khaswala, Z.N. et al. “Value Network Mapping (VNM): Visualization and Analysis of Multiple Flows in Value Stream Maps” The Ohio State University. Proceedings of the Lean Management Solutions Conference, St. Louis
- [Mohd et al., 2015] Mohd, J. “Production line analysis via value stream mapping: a lean manufacturing process of color industry”. Procedia Manufacturing.
- [Murray, 2016] Murray, M. “Pick To Light Warehouse Systems: The basics of light-directed systems and their advantages”. Procedia







- [Mushiri et al., 2016] Mushiri, T. “A value chain analysis of Krones gear box model: using fuzzy logic systems in a beverage manufacturing setup”. Procedia Manufacturing.
- [Pearson, 2010] Pearson, S. “Lightening the picking load”. Modern Materials handling.
- [Rescalvo et al., 2005] Rescalvo, F. “Concepción y diseño del puesto de trabajo” Civitas.
- [Rother et al, 2009] Rother, M., Shook, J., (2009), Learning to See–Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda. Lean Enterprise Institute, Cambridge (USA). 1–4.
- [Ruiz et al., 2008] Ruiz de Arbulo, P. et al. “El Value Stream Mapping en entornos con alta variedad de productos e inestabilidad de la demanda”. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao.
- [Stamm. 2007] Stamm, M.L. “Value stream mapping (VSM) in a manufacture-to-order small and medium enterprise” AUT University, Auckland.
- [Valero, 2006] Valero, E. “Notas técnicas de prevención: Antropometría” (INSHT) Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (2010). Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Parte 1: Definiciones de las medidas del cuerpo humano y referencias. UNE-EN ISO 7250-1. Madrid: AENOR, 30 p.

Páginas Web:




- [www.Arduino.cl](http://www.Arduino.cl) (Última consulta 13/6/2017)

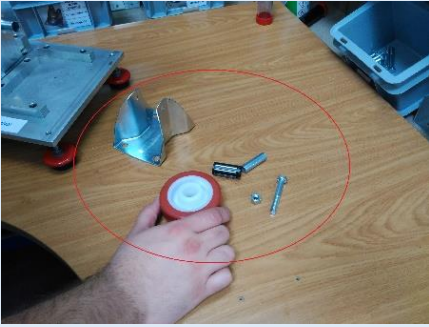



## ANEXO I PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN



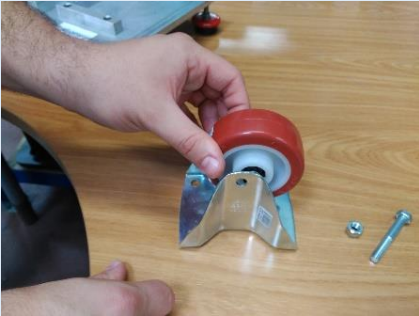
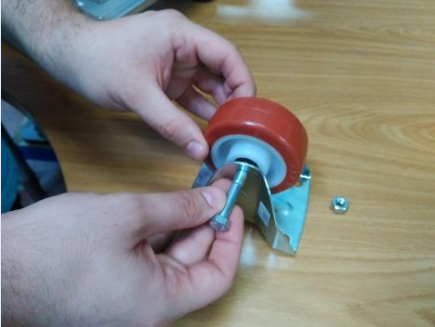
| RUTA DE TRABAJO: UNIDAD DE MONTAJE |                                    |    |
|------------------------------------|------------------------------------|--|
| Nº de instrucción                  | Descripción                        | Imagen   |
| 1                                  | Recepcionar orden de fabricación.  |    |
| 2                                  | Recoger 1 embalaje del dispensador |   |
| 3                                  | Desplegar caja                     |  |





|   |   |   |
|---|---|---|
| 4 | <p>Inspeccionar visualmente que el embalaje no tiene desperfectos. (En caso de desperfectos desecharlo y recoger otro).</p> |    |
| 5 | <p>Plegar solapas. 1º las del lado más estrecho.</p>  |    |
|   | <p>2º las del lado más ancho.</p>   |   |
| 6 | <p>Tomar la fijadora de cinta adhesiva.</p>   |   |





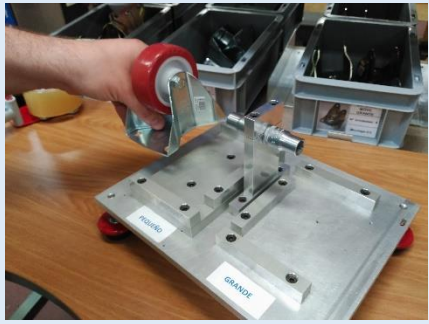

| 7             | Fijar las solapas con la cinta transversalmente.  |    |               |          |                   |                  |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
|---------------|---|--|---------------|----------|-------------------|------------------|----------|--------|--------------|----------|----|----|------|----|--------------|----------|----|----|------|----|-------------|-----------|----|----|----|----|--------------|------------|----|----|----|----|--|------------|----|----|----|----|--|------------|----|----|----|----|---------------|--|--|--|--|--|---------|-------|-------------------|---------------|----------|--------|--------|--------------|----------|----|----|------|----|------------------|--------------|----------|----|----|------|----|------------------|--------------|-----------|----|----|------|----|------------------|--------------|------------|----|----|------|----|------------------|--------------|------------|----|----|------|----|------------------|--------------|------------|----|----|------|----|------------------|---------------|----------|----|----|------|----|------------------|---------------|----------|----|----|------|----|------------------|---------------|-----------|----|----|------|----|------------------|---------------|------------|----|----|------|----|------------------|---------------|------------|----|----|------|----|------------------|---------------|------------|----|----|------|----|------------------|-------------|----------|----|----|------|----|------------------|-------------|----------|----|----|------|----|------------------|-------------|-----------|----|----|------|----|------------------|-------------|------------|----|----|------|----|------------------|-------------|------------|----|----|------|----|------------------|-------------|------------|----|----|------|----|------------------|--------------|----------|----|----|------|----|------------------|--------------|----------|----|----|------|----|------------------|--------------|-----------|----|----|------|----|------------------|--------------|------------|----|----|------|----|------------------|--------------|------------|----|----|------|----|------------------|--------------|------------|----|----|------|----|------------------|
| 8             | Posicionar la fijadora de cinta en la mesa de trabajo en su sitio correspondiente.  |    |               |          |                   |                  |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| 9             | Situarse la caja con la parte superior abierta sobre la mesa apartada en el lado izquierdo de la mesa para que no moleste al montaje. |    |               |          |                   |                  |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| 10            | Identificar la referencia de la orden de fabricación en el documento del tablón en la columna código.                                 | <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 Grande</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>M8</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><br><table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">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>M8x5</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>M8x5</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>M8x5</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>M8x5</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>M8x5</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>M8x5</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>M8x5</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>M8x5</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>M8x5</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>M8x5</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>M8x5</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>M8x5</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 Grande | Roja d20 | Si | 12 | M8x5 | M8 | Fijo Grande | Hueso d20 | Si | 12 | M8 | 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 | M8x5 | M8 | MP-R12-0-12-60-T | Móvil Pequeño | Roja d20 | Si | 12 | M8x5 | M8 | MP-R20-1-12-60-T | Móvil Pequeño | Hueso d20 | Si | 12 | M8x5 | M8 | MP-H20-1-12-60-T | Móvil Pequeño | Bianca d12 | No | 12 | M8x5 | M8 | MP-B12-0-12-60-T | Móvil Pequeño | Bianca d14 | No | 14 | M8x5 | M8 | MP-B14-0-14-60-T | Móvil Pequeño | Bianca d20 | Si | 12 | M8x5 | 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 | M8x5 | M8 | FP-R12-0-12-60-T | Fijo Pequeño | Roja d20 | Si | 12 | M8x5 | M8 | FP-R20-1-12-60-T | Fijo Pequeño | Hueso d20 | Si | 12 | M8x5 | M8 | FP-H20-1-12-60-T | Fijo Pequeño | Bianca d12 | No | 12 | M8x5 | M8 | FP-B12-0-12-60-T | Fijo Pequeño | Bianca d14 | No | 14 | M8x5 | M8 | FP-B14-0-14-60-T | Fijo Pequeño | Bianca d20 | Si | 12 | M8x5 | M8 | FP-B20-1-12-60-T |
| Soporte       | Rueda   | Cojinete Rodillos  | Cojinete liso | Tornillo | Tuerca            |                  |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| Móvil Grande  | Roja d12  | No   | 12            | M8x5     | M8                |                  |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| Móvil Grande  | Roja d20  | Si   | 12            | M8x5     | M8                |                  |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| Fijo Grande   | Hueso d20   | Si   | 12            | M8       | 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            | M8x5     | M8                | MP-R12-0-12-60-T |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| Móvil Pequeño | Roja d20  | Si   | 12            | M8x5     | M8                | MP-R20-1-12-60-T |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| Móvil Pequeño | Hueso d20   | Si   | 12            | M8x5     | M8                | MP-H20-1-12-60-T |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| Móvil Pequeño | Bianca d12  | No   | 12            | M8x5     | M8                | MP-B12-0-12-60-T |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| Móvil Pequeño | Bianca d14  | No   | 14            | M8x5     | M8                | MP-B14-0-14-60-T |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| Móvil Pequeño | Bianca d20  | Si   | 12            | M8x5     | 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            | M8x5     | M8                | FP-R12-0-12-60-T |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| Fijo Pequeño  | Roja d20  | Si   | 12            | M8x5     | M8                | FP-R20-1-12-60-T |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| Fijo Pequeño  | Hueso d20   | Si   | 12            | M8x5     | M8                | FP-H20-1-12-60-T |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| Fijo Pequeño  | Bianca d12  | No   | 12            | M8x5     | M8                | FP-B12-0-12-60-T |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| Fijo Pequeño  | Bianca d14  | No   | 14            | M8x5     | M8                | FP-B14-0-14-60-T |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |
| Fijo Pequeño  | Bianca d20  | Si   | 12            | M8x5     | M8                | FP-B20-1-12-60-T |          |        |              |          |    |    |      |    |              |          |    |    |      |    |             |           |    |    |    |    |              |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |               |  |  |  |  |  |         |       |                   |               |          |        |        |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |          |    |    |      |    |                  |               |           |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |               |            |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |          |    |    |      |    |                  |             |           |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |             |            |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |          |    |    |      |    |                  |              |           |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |              |            |    |    |      |    |                  |





|    |  |  |
|----|--|--|
| 11 | Situación todos los materiales de esa referencia sobre la mesa de trabajo.   |    |
| 12 | En caso de falta de material en alguna caja, retirar la existente y mandar por la cinta de rodillos de repuesto almacén.         | <br> |
| 13 | Introducir en la rueda el cojinete liso, o cojinete liso más cojinete de rodillos dependiendo de la combinación que necesitemos. |    |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 14 | <p>Engrasar con 2 toques por un lado únicamente como aparece en la imagen.</p>  |    |
| 13 | <p>En caso de falta de grasa en el dispensador intercambiar por los de repuesto.</p>  |    |
| 13 | <p>Situar el conjunto rueda más cojinetes en el soporte.</p>  |  |
| 14 | <p>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).</p> |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 15 | Embocar tuerca manualmente.   |    |
| 16 | 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). |    |
| 17 | Tomar atornilladora.  |  |
| 18 | Atornillar por el extremo de la tuerca hasta que salte el par de apriete. La atornilladora se detendrá.   |  |







|    |  |  |
|----|--|--|
| 19 | Posicionar atornilladora en la mesa de trabajo en su sitio correspondiente.  |    |
| 22 | En caso de fallo de la atornilladora emplear la otra de repuesto.  |    |
| 20 | Extraer el montaje completo del útil.  |   |
| 21 | Inspección visual general. Comprobar que la tuerca auto bloqueante está correctamente ajustada y el cojinete liso hace contacto con las paredes del soporte. (En caso de producto defectuoso introducir el producto en la gaveta de calidad para su posible recuperación). |  |

|           |   |   |
|-----------|---|---|
| <p>22</p> | <p>Introducir el montaje en el embalaje.</p>            |   |
| <p>23</p> | <p>Cerrar solapas superiores del embalaje</p>           | <br> |
| <p>24</p> | <p>Fijar las solapas con la cinta transversalmente.</p> |   |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 25 | Tomar la pegatina de identificación del producto y pegarla en la parte superior del embalaje. |  |
| 26 | Enviar por la cinta de rodillos de producto terminado el producto terminado.                  |  |

| RUTA DE TRABAJO: 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 | <p>Intercambiar las gavetas vacías por sus correspondientes llenas de material y llevarlas al puesto de trabajo.</p>                     |   |
| 4 | <p>Identificar el emplazamiento de cada una de ellas y situarlas por la parte trasera de las estanterías en su lugar correspondiente</p> | <br> |

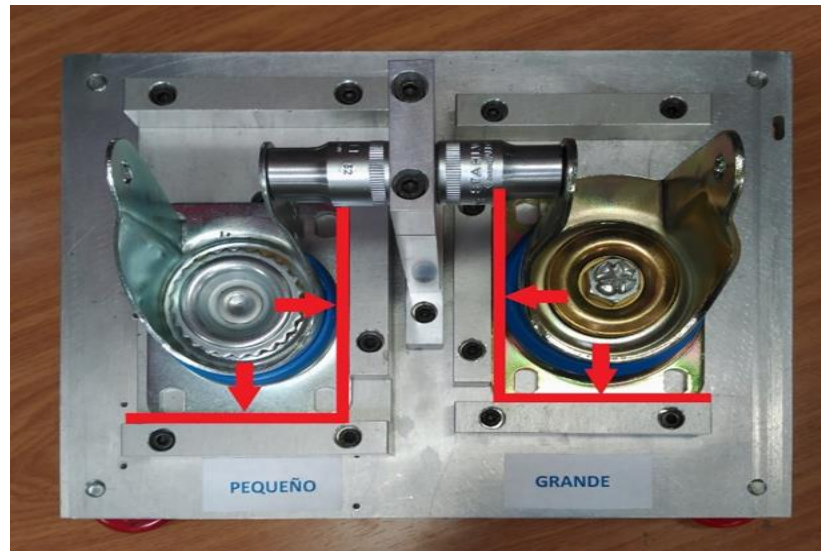


RUTA DE TRABAJO: ALMACÉN Y ENTREGA DE PRODUCTO TERMINADO

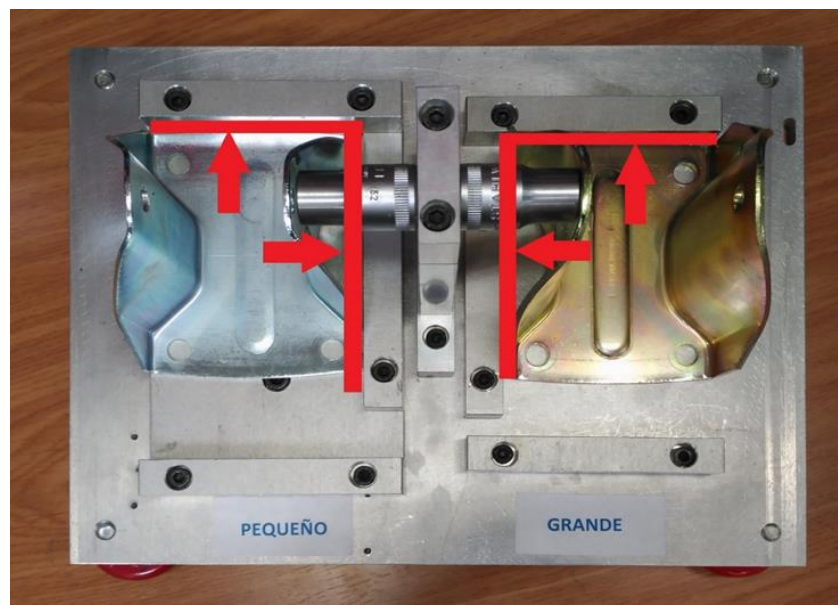


| Nº de instrucción | Descripción   | Imagen  |
|-------------------|---|---|
| 1                 | Recoger los productos terminados de la cinta de rodillos y llevarlos a la zona del almacén de Producto terminado. |   |
| 2                 | Organizar cada uno de los lotes solicitados por el cliente y esperar a que sean recepcionados.                    |  |

## SOPORTE MÓVIL



## SOPORTE FIJO



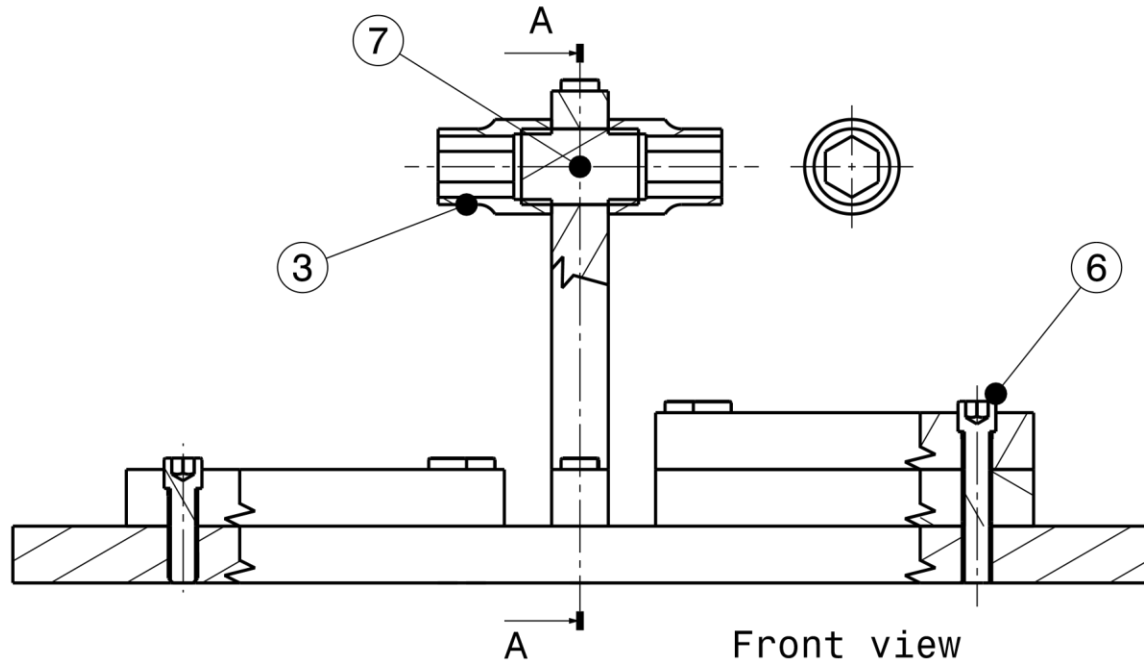
**REFERENCIAS**



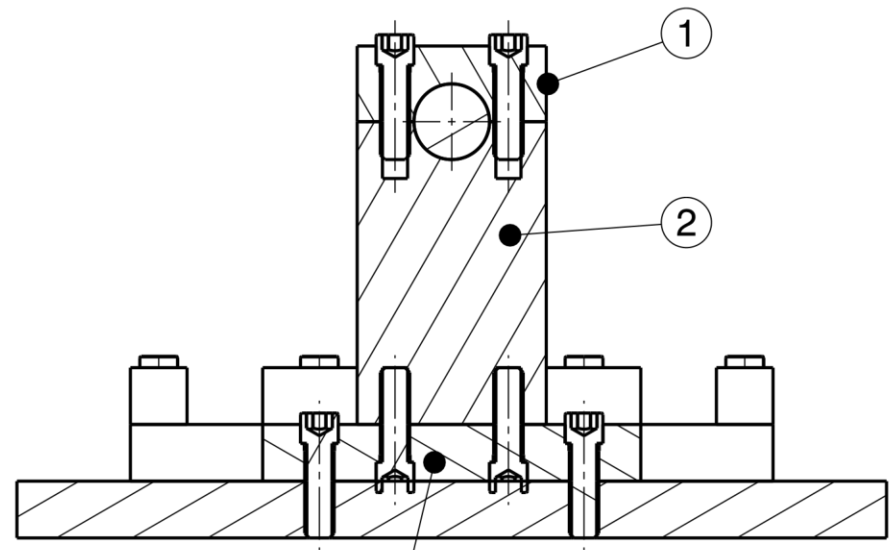
| <b>Soporte</b> | <b>Rueda</b> | <b>Cojinete Rodillos</b> | <b>Cojinete liso</b> | <b>Tornillo</b> | <b>Tuerca</b> | <b>Código</b>    |
|----------------|--------------|--------------------------|----------------------|-----------------|---------------|------------------|
| Móvil Grande   | Roja d12     | 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 |

**PIEZAS DISPONIBLES**

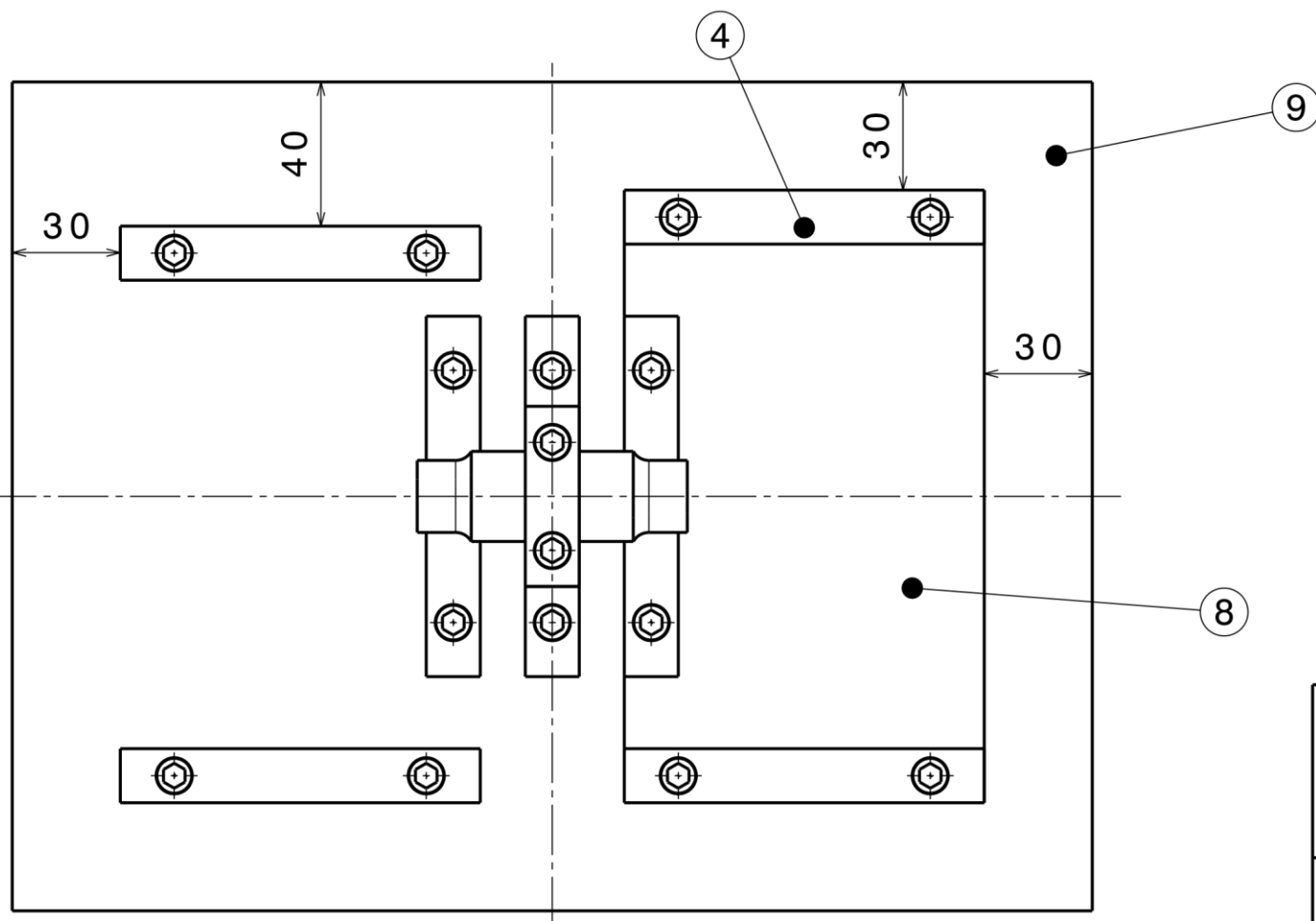
| <b>Soporte</b> | <b>Rueda</b> | <b>Cojinete Rodillos</b> | <b>Cojinete liso</b> | <b>Tornillo</b> | <b>Tuerca</b> |
|----------------|--------------|--------------------------|----------------------|-----------------|---------------|
| Móvil Grande   | Roja d12     | No                       | 12                   | M8x60           | M8            |
| Móvil Pequeño  | Roja d20     | Si                       | 12                   | M8x65           | M8            |
| Fijo Grande    | Hueso d20    | Si                       | 12                   |                 | M8            |
| Fijo Pequeño   | Blanca d12   | Si                       | 12                   |                 | M8            |
|                | Blanca d14   | No                       | 12                   |                 | M8            |
|                | Blanca d20   | No                       | 14                   |                 | M8            |



Front view  
Scale: 1:2



Section view A-A  
Scale: 1:2

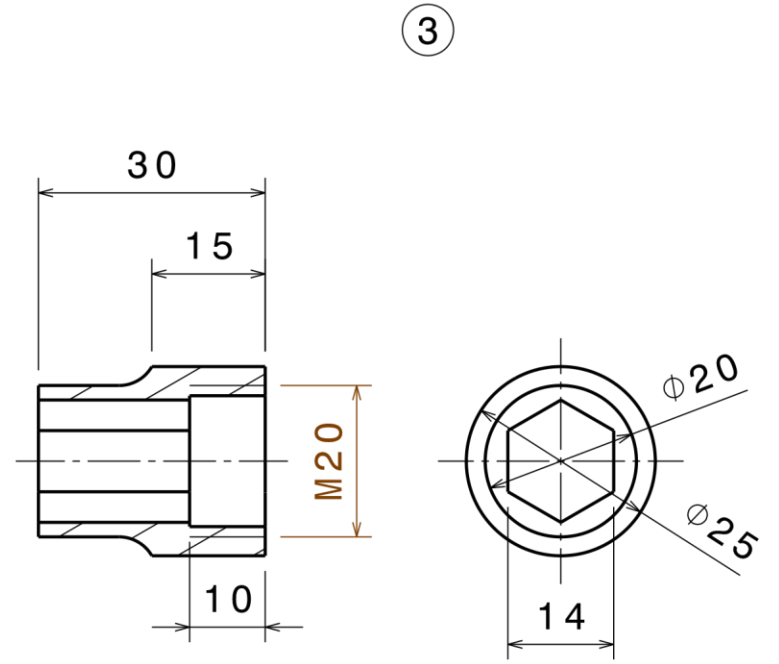
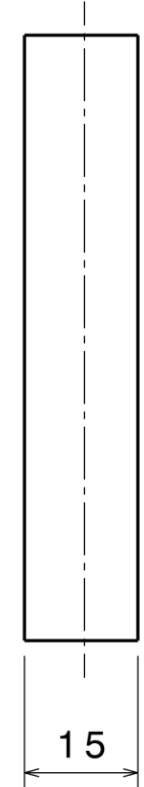
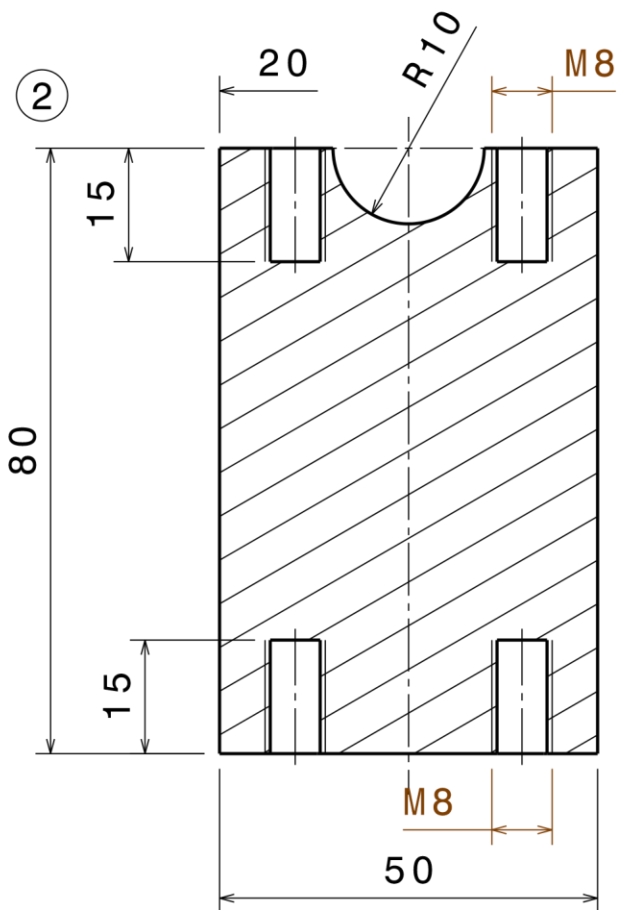
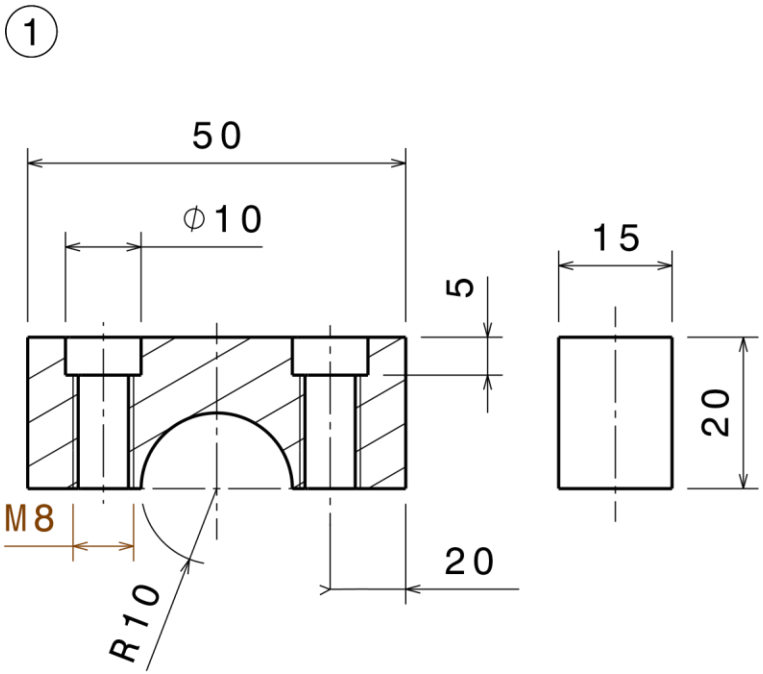


Top view  
Scale: 1:2

|                            |             |                                    |                            |           |
|----------------------------|-------------|------------------------------------|----------------------------|-----------|
| Escala:<br>1:2             |             | ANEXO III ÚTIL POKA YOKE           |                            |           |
| DRAWN BY<br>Javier Revilla |             | DRAWING TITLE<br>Plano de conjunto |                            |           |
| DATE<br>20/06/2017         | CHECKED BY  | SIZE<br>A3                         | DRAWING NUMBER<br>Product1 | REV<br>X  |
| DESIGNED BY                | DATE<br>XXX | WEIGHT(kg) 1,54                    |                            | SHEET 1/2 |

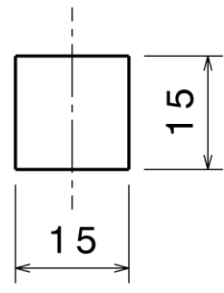
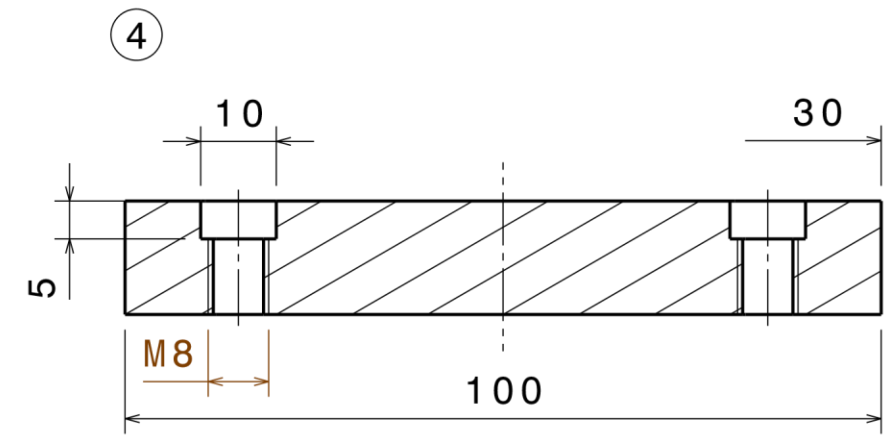
H G F E D C B A

4



3

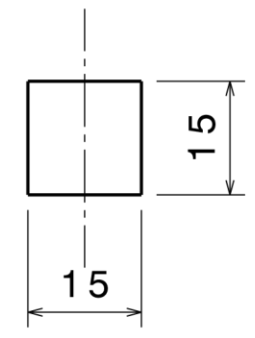
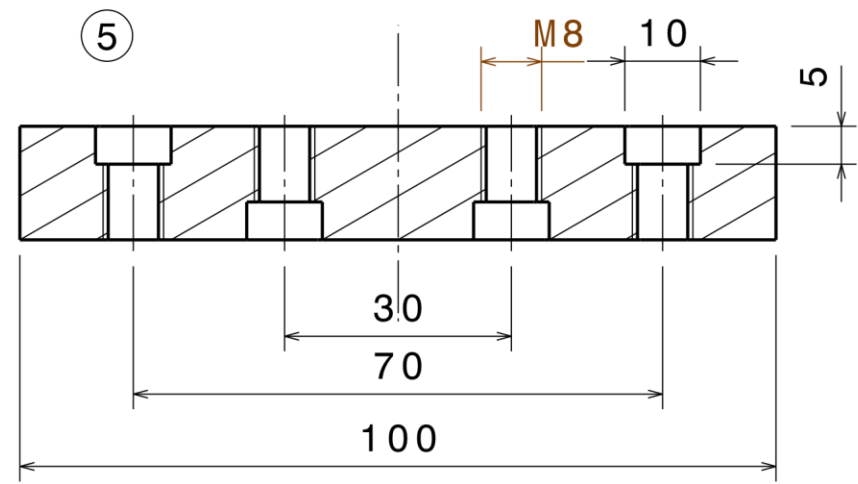
3



| Nº | Unidades | Descripción                          |
|----|----------|--------------------------------------|
| 1  | 1        | Pieza de agarre superior             |
| 2  | 1        | Soporte vertical                     |
| 3  | 2        | Vaso                                 |
| 4  | 6        | Pieza fijadora                       |
| 5  | 1        | Anclaje del soporte vertical         |
| 6  | 18       | Tornillo Cabeza Allen M8X30 ISO 4762 |
| 7  | 1        | Espárrago DIN 913 EN ISO 4023        |

2

2



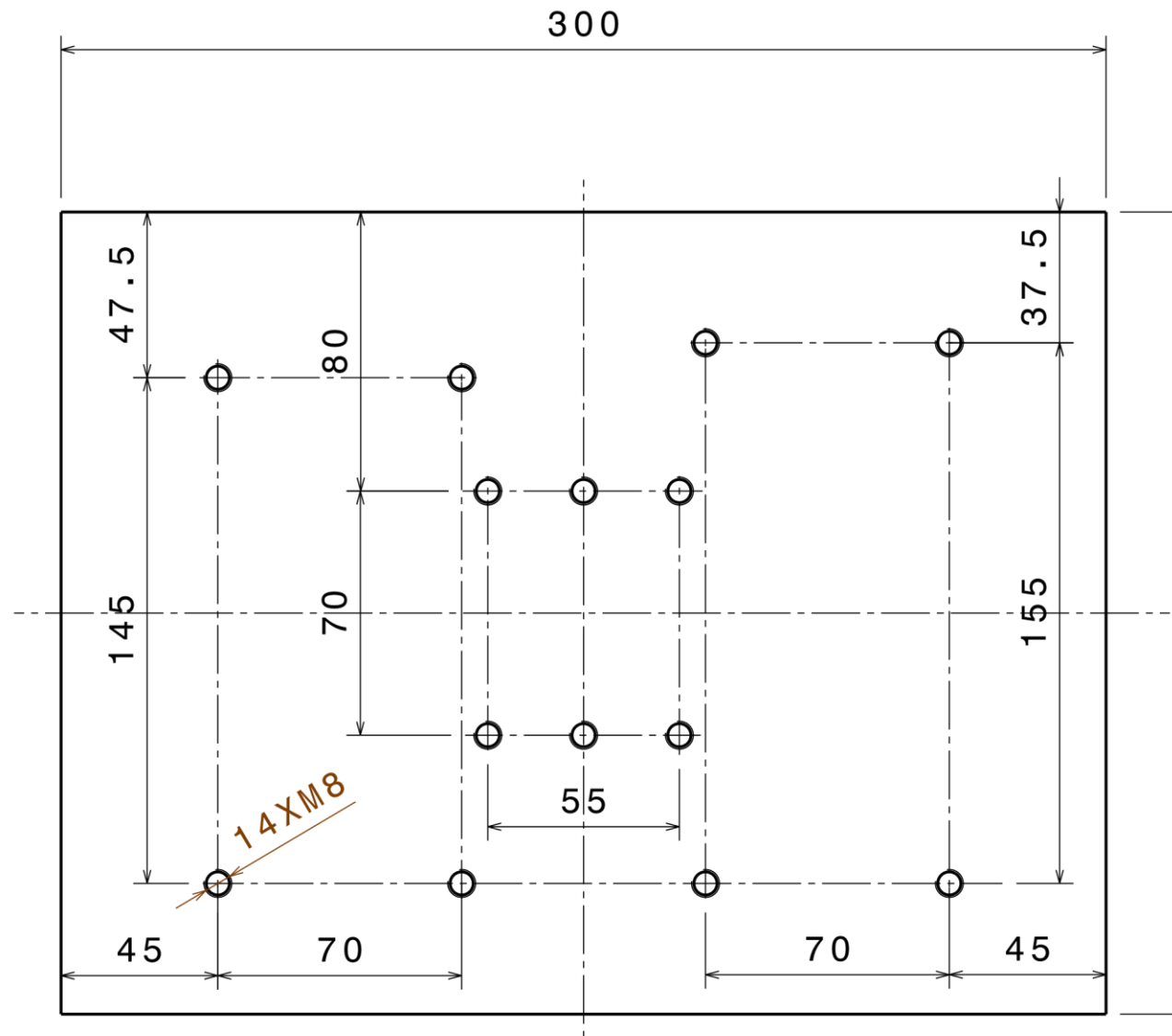
|                            |  |                          |             |                                     |
|----------------------------|--|--------------------------|-------------|-------------------------------------|
| Escala 1:1                 |  | ANEXO III ÚTIL POKA YOKE |             |                                     |
| DRAWN BY<br>Javier Revilla |  | DATE<br>20/06/2017       |             | DRAWING TITLE<br>Planos de despiece |
| CHECKED BY                 |  | DATE                     | SIZE<br>A3  | DRAWING NUMBER                      |
| DESIGNED BY                |  | DATE                     | WEIGHT (kg) | REV                                 |
|                            |  |                          | SHEET       | 2/2                                 |

H G F E D C B A

1

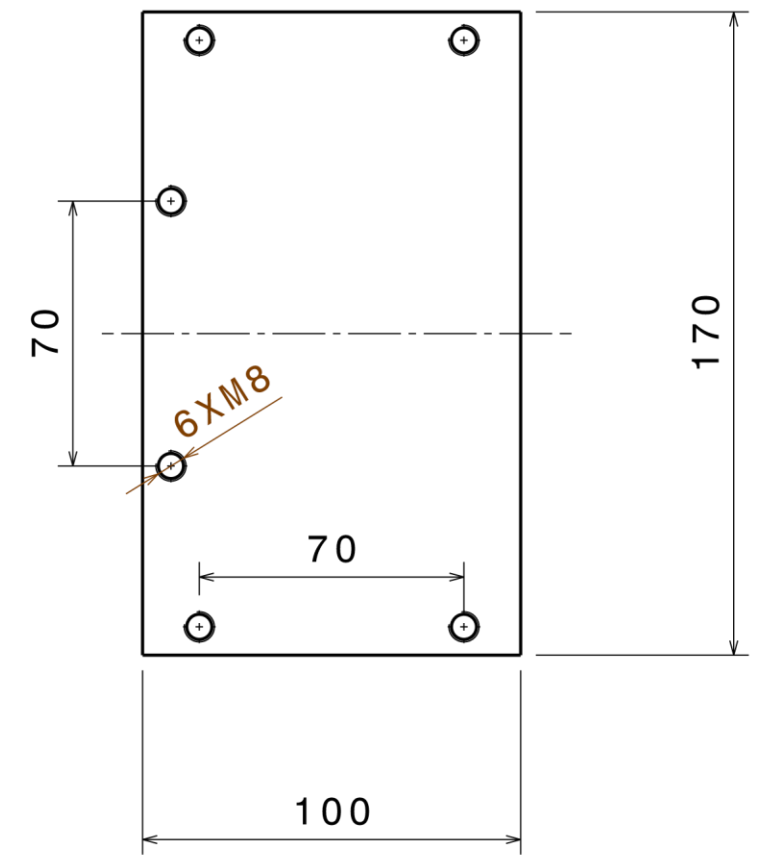
1

H G F E D C B A



Espeor 15 mm

9



8

Espeor 15 mm

| Nº | Unidades | Descripción               |
|----|----------|---------------------------|
| 8  | 1        | Base para soporte pequeño |
| 9  | 1        | Soporte                   |

|                            |             |                                    |                            |           |
|----------------------------|-------------|------------------------------------|----------------------------|-----------|
| Escala:<br>1:2             |             | ANEXO III ÚTIL POKA YOKE           |                            |           |
| DRAWN BY<br>Javier Revilla |             | DRAWING TITLE<br>Plano de despiece |                            |           |
| DATE<br>20/06/2017         |             | SIZE<br>A3                         | DRAWING NUMBER<br>Product1 | REV<br>X  |
| CHECKED BY<br>XXX          | DATE<br>XXX | WEIGHT (kg) 1,54                   |                            | SHEET 1/2 |
| DESIGNED BY                | DATE<br>XXX |                                    |                            |           |

H G B A





## PRESUPUESTO

| Fecha      | Descripción   | Cantidad | Precio unitario | Importe  |
|------------|---|----------|-----------------|----------|
| 10-10-2016 | RUEDA ALEX 2-0211   | 3        | 17,30 €         | 51,90 €  |
| 10-10-2016 | RUEDA ALEX 2-0212   | 3        | 10,97 €         | 32,91 €  |
| 10-10-2016 | RUEDA ALEX SERIE ZV / 2-0235  | 3        | 8,74 €          | 26,22 €  |
| 10-10-2016 | RUEDA ALEX SERIE ZV / 2-0236  | 3        | 6,46 €          | 19,38 €  |
| 10-10-2016 | RUEDA ALEX 2-2476   | 6        | 2,00 €          | 12,00 €  |
| 10-10-2016 | RUEDA ALEX 2-2500   | 6        | 5,18 €          | 31,08 €  |
| 10-10-2016 | RUEDA ALEX 2-2959   | 6        | 5,62 €          | 33,72 €  |
| 10-10-2016 | RUEDA ALEX  | 3        | 7,31 €          | 21,93 €  |
| 10-10-2016 | RUEDA ALEX  | 3        | 6,55 €          | 19,65 €  |
| 13-10-2016 | RUEDA ALEX NYLON RODILLO / 2-0159   | 2        | 5,63 €          | 11,26 €  |
| 1-4-2017   | SPRAY CRC SYNTHETIC GREASE 500ML  | 1        | 13,69 €         | 13,69 €  |
| 1-4-2017   | A025933 GRIS caja de 300x200x120 mm   | 10       | 4,89 €          | 48,90 €  |
| 1-4-2017   | A025910 ROJO caja de 300x200x120 mm   | 10       | 4,89 €          | 48,90 €  |
| 1-4-2017   | A025932 GRIS caja de 200x150x120  | 12       | 3,47 €          | 41,64 €  |
| 1-4-2017   | A145338 DISPENSADOR ESTÁNDAR (rodillo de 50mm)                                      | 1        | 6,90 €          | 6,90 €   |
| 11-4-2017  | BOMBA ENGR.METAL.EMPUJE 21-41   | 1        | 12,75 €         | 12,75 €  |
| 11-4-2017  | BOMBA ENGR.PLAST.EMPUJE 20-C  | 1        | 7,65 €          | 7,65 €   |
| 11-4-2017  | ATORNILLADORA ELÉCTRICA marca Black & Decker  | 1        | 51,15 €         | 51,15 €  |
| 17-4-2017  | ESTANTERÍA  | 2        | 37,35 €         | 74,70 €  |
| 17-4-2017  | Pistas de rodillos de 2,5 metros  | 5        | 6,75 €          | 33,75 €  |
| 18-4-2017  | CUADRADILLO 1/2-1/2 PULGADAS  | 1        | 13,88 €         | 13,88 €  |
| 18-4-2017  | LLAVE DE VASO 1/2 6C 13MM STAHLWILLE  | 2        | 6,95 €          | 13,90 €  |
| 2-5-2017   | Atornilladora 0280464   | 1        | 24,79 €         | 24,79 €  |
| 18-5-2017  | Soportes (3 móviles pequeños, 3 móviles grandes, 5 fijos pequeños, 5 fijos grandes) | 16       | 11,01 €         | 176,08 € |

**Subtotal** 828,73 €  
**IVA 21%** 174,03 €  
**Total** 1.002,76 €

| <b>Material piezas ensamblaje</b> |   |                 |                        |                |
|-----------------------------------|---|-----------------|------------------------|----------------|
| <b>Fecha</b>                      | <b>Descripción</b>  | <b>Cantidad</b> | <b>Precio unitario</b> | <b>Importe</b> |
| 10-10-2016                        | RUEDA ALEX 2-0211   | 3               | 17,30 €                | 51,90 €        |
| 10-10-2016                        | RUEDA ALEX 2-0212   | 3               | 10,97 €                | 32,91 €        |
| 10-10-2016                        | RUEDA ALEX SERIE ZV / 2-0235  | 3               | 8,74 €                 | 26,22 €        |
| 10-10-2016                        | RUEDA ALEX SERIE ZV / 2-0236  | 3               | 6,46 €                 | 19,38 €        |
| 10-10-2016                        | RUEDA ALEX 2-2476   | 6               | 2,00 €                 | 12,00 €        |
| 10-10-2016                        | RUEDA ALEX 2-2500   | 6               | 5,18 €                 | 31,08 €        |
| 10-10-2016                        | RUEDA ALEX 2-2959   | 6               | 5,62 €                 | 33,72 €        |
| 10-10-2016                        | RUEDA ALEX  | 3               | 7,31 €                 | 21,93 €        |
| 10-10-2016                        | RUEDA ALEX  | 3               | 6,55 €                 | 19,65 €        |
| 13-10-2016                        | RUEDA ALEX NYLON RODILLO / 2-0159   | 2               | 5,63 €                 | 11,26 €        |
| 18-5-2017                         | Soportes (3 móviles pequeños, 3 móviles grandes, 5 fijos pequeños, 5 fijos grandes) | 16              | 11,01 €                | 176,08 €       |

**Subtotal** 436,13 €  
**IVA 21%** 91,59 €  
**Total** 527,72 €

| <b>Gavetas</b> |                                     |                 |                        |                |
|----------------|-------------------------------------|-----------------|------------------------|----------------|
| <b>Fecha</b>   | <b>Descripción</b>                  | <b>Cantidad</b> | <b>Precio unitario</b> | <b>Importe</b> |
| 1-4-2017       | A025933 GRIS caja de 300x200x120 mm | 10              | 4,89 €                 | 48,90 €        |
| 1-4-2017       | A025910 ROJO caja de 300x200x120 mm | 10              | 4,89 €                 | 48,90 €        |
| 1-4-2017       | A025932 GRIS caja de 200x150x120    | 12              | 3,47 €                 | 41,64 €        |

**Subtotal** 139,44 €  
**IVA 21%** 29,28 €  
**Total** 168,72 €

| Utillaje  |   |          |                 |         |
|-----------|---|----------|-----------------|---------|
| Fecha     | Descripción                                       | Cantidad | Precio unitario | Importe |
| 1-4-2017  | SPRAY CRC SYNTHETIC GREASE<br>500ML               | 1        | 13,69 €         | 13,69 € |
| 1-4-2017  | A145338 DISPENSADOR ESTÁNDAR<br>(rodillo de 50mm) | 1        | 6,90 €          | 6,90 €  |
| 11-4-2017 | BOMBA ENGR.METAL.EMPUJE 21-<br>41                 | 1        | 12,75 €         | 12,75 € |
| 11-4-2017 | BOMBA ENGR.PLAST.EMPUJE 20-C                      | 1        | 7,65 €          | 7,65 €  |
| 11-4-2017 | ATORNILLADORA ELÉCTRICA marca<br>Black & Decker   | 1        | 51,15 €         | 51,15 € |
| 18-4-2017 | LLAVE DE VASO 1/2 6C 13MM<br>STAHLWILLE           | 2        | 6,95 €          | 13,90 € |
| 2-5-2017  | Atornilladora 0280464                             | 1        | 24,79 €         | 24,79 € |

**Subtotal** 130,83 €  
**IVA 21%** 27,47 €  
**Total** 158,30 €

| Puesto de trabajo |                                  |          |                 |         |
|-------------------|----------------------------------|----------|-----------------|---------|
| Fecha             | Descripción                      | Cantidad | Precio unitario | Importe |
| 17-4-2017         | ESTANTERÍA                       | 2        | 37,35 €         | 74,70 € |
| 17-4-2017         | Pistas de rodillos de 2,5 metros | 5        | 6,75 €          | 33,75 € |
| 18-4-2017         | CUADRADILLO 1/2-1/2 PULGADAS     | 1        | 13,88 €         | 13,88 € |

**Subtotal** 122,33 €  
**IVA 21%** 25,69 €  
**Total** 148,02 €