



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BANCO FLEXIBLE DE TRABAJO MEDIANTE METODOLOGÍAS LEAN MANUFACTURING

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Autor: Luis Delgado Arroyo

Director: Mariano Jiménez Calzado

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN ACCESO ABIERTO (RESTRINGIDO) DE DOCUMENTACIÓN

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Luis Delgado Arroyo, como alumno de la UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS (COMILLAS), **DECLARA**

que es el titular de los derechos de propiedad intelectual, objeto de la presente cesión, en relación con la obra Proyecto-Fin de Carrera: Diseño y Fabricación de un Barco Flexible de Trabajo mediante Metodologías Lean Manufacturing¹, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual como titular único o cotitular de la obra.

En caso de ser cotitular, el autor (firmante) declara asimismo que cuenta con el consentimiento de los restantes titulares para hacer la presente cesión. En caso de previa cesión a terceros de derechos de explotación de la obra, el autor declara que tiene la oportuna autorización de dichos titulares de derechos a los fines de esta cesión o bien que retiene la facultad de ceder estos derechos en la forma prevista en la presente cesión y así lo acredita.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad y hacer posible su utilización de *forma libre y gratuita* (con las limitaciones que más adelante se detallan) por todos los usuarios del repositorio y del portal e-ciencia, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución, de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra (a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión.

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia, el repositorio institucional podrá:

¹ Especificar si es una tesis doctoral, proyecto fin de carrera, proyecto fin de Máster o cualquier otro trabajo que deba ser objeto de evaluación académica

(a) Transformarla para adaptarla a cualquier tecnología susceptible de incorporarla a internet; realizar adaptaciones para hacer posible la utilización de la obra en formatos electrónicos, así como incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.

(b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato. .

(c) Comunicarla y ponerla a disposición del público a través de un archivo abierto institucional, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.¹

(d) Distribuir copias electrónicas de la obra a los usuarios en un soporte digital.²

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra que cede con carácter no exclusivo a la Universidad por medio de su registro en el Repositorio Institucional tiene derecho a:

a) A que la Universidad identifique claramente su nombre como el autor o propietario de los derechos del documento.

b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.

c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada. A tal fin deberá ponerse en contacto con el vicerrector/a de investigación (curiarte@rec.upcomillas.es).

d) Autorizar expresamente a COMILLAS para, en su caso, realizar los trámites necesarios para la obtención del ISBN.

¹ En el supuesto de que el autor opte por el acceso restringido, este apartado quedaría redactado en los siguientes términos:

(c) Comunicarla y ponerla a disposición del público a través de un archivo institucional, accesible de modo restringido, en los términos previstos en el Reglamento del Repositorio Institucional

² En el supuesto de que el autor opte por el acceso restringido, este apartado quedaría eliminado.

d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.

b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.

c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

a) Deberes del repositorio Institucional:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.

- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.

- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.

b) Derechos que se reserva el Repositorio institucional respecto de las obras en él registradas

- retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 28 de Mayo de 2015

ACEPTA

Fdo. _____



Proyecto realizado por el alumno/a:

Luis Delgado Arroyo

Fdo:



Fecha: 28/05/2015

Autorizada la entrega del proyecto cuya información no es de carácter
confidencial

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Mariano Jiménez Calzado

Fdo:



Fecha: 28. / 5. / 2015

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

José Ignacio Linares Hurtado

Fdo.:

Fecha: / /

**PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BANCO
FLEXIBLE DE TRABAJO PARA MONTAJE DE UN MOTOR ELÉCTRICO MEDIANTE
METODOLOGÍAS LEAN MANUFACTURING.**

Autor: **Delgado Arroyo, Luis.**

Director: **Jiménez Calzado, Mariano.**

RESUMEN DEL PROYECTO

La realización de este proyecto consiste en la implantación de los principios del lean manufacturing en el proceso de montaje en línea de un motor eléctrico. Estas medidas pretenden llegar a una reducción de tiempos y costes que aumentará la producción y en última instancia, los beneficios de la fábrica. Junto con esos objetivos el operario también se verá beneficiado por un aumento de comodidad y ergonomía en su puesto de trabajo, que de nuevo repercutirá positivamente en la productividad de la compañía.

Los principios que se implantarán en este proyecto serán los siguientes:

- Poka-Yoke: Conjunto de sistemas sencillos, que sirven para evitar errores. Se caracterizan por ser simples, económicos y fáciles de instalar.
- 5S: Conjunto de herramientas para organizar y mantener limpio un puesto de trabajo o una organización en general.
- SMED: Metodología que busca reducir el tiempo de cambio de herramienta en un proceso de fabricación mediante la conversión de procesos realizados con la maquina parada, a procesos realizados con la maquina en marcha.
- Kanban: Sistema para regular la producción mediante un sistema de etiquetas y convertir a un sistema de fabricación tipo “pull”.
- Kaizen: Metodología que significa literalmente “mejora constante”.
- Ergonomía: Ciencia que estudia las interacciones de los seres humanos con los elementos de un sistema, aplicada a los puestos de trabajo.

Para llevar a cabo esta meta se analiza el sistema tradicional de montaje, se define un diagrama de montaje sinóptico correcto, y se procede a la toma de medidas de tiempo que determinarán la situación inicial del proceso.

Después se diseñará una proposición de nuevo banco de montaje con las mejoras añadidas de Lean Manufacturing y ergonomía. Para ello se realizara un estudio sobre la ergonomía de la mesa, y se explicaran como se han añadido los principios explicados anteriormente.

Por último se llevara a cabo otra medida de tiempos en un banco simulado en el laboratorio, intentando implementar las medidas tomadas en la mayoría de lo posible, para comprobar que los tiempos se reducen. Con esa reducción se realizará un análisis económico que muestre la viabilidad y la amortización del proyecto.

TECHNICAL – ECONOMIC PROJECT OF THE DESIGN AND BUILDING OF A FLEXIBLE BENCH FOR THE ASSEMBLY OF AN ELECTRIC MOTOR WITH LEAN MANUFACTURING METHODOLOGIES.

Author: **Delgado Arroyo, Luis.**

Director: **Jiménez Calzado, Mariano.**

PROJECT ABSTRACT

This project consists on the implementation of the Lean Manufacturing principles into the process of assembly of an electric motor. These changes are aimed to accomplish a reduction of the time of the whole assembly as well as the costs, which will also bring a higher production rate. Added to that, the blue collar worker will also better his or her working condition with a more ergonomic and comfortable place of work, which will also higher the production rate.

The principles that are implemented into this process are:

- Poka-Yoke: Set of simple systems used to avoid mistakes. They are known to be simple, economic and easy to install.
- 5S: Set of tools to organize and keep clean a working station or a whole organization.
- SMED: methodology that seeks to reduce the time used to change the tool in an operation.
- Kanban: System to regulate the production rate through the use of a system of labels and visual displays to change the production to a pull system.
- Kaizen: Process of constant improvement.
- Ergonomic: Applied science that studies the interactions between human being and the elements of a system.

To accomplish this goal, the traditional way of assembly this motor will be analyzed, it will be defined a new synoptic diagram of assembly, and it will be noted the time needed to finish each assembly phase.

After that, a new bench will be designed with the Lean Manufacturing implementations that were explained before adding a study about ergonomics of the new table compared to the traditional ne.

Lastly it will take place another measuring of the times needed to finish the new assembly process in the new bench to check the reduction of times. With this reduction an economic analysis will be done.

Índice

Índice	13
Índice de tablas	15
Índice de figuras	16
CAPITULO UNO: Memoria descriptiva	17
1. Objetivos	19
2. Estado del arte	20
3. Datos de partida	22
3.1 Conjunto mecánico-eléctrico para actividades de montaje.	22
3.2 Tabla de materiales.	24
3.3 Proceso de montaje convencional.	26
3.4 Diagrama sinóptico de montaje.	31
3.5 Tiempos de montaje.	32
4. Descripción del Lean Manufacturing	52
4.1 Poka-Yoke.....	52
4.2 Las 5S.....	54
4.3 SMED	58
4.4 Kanban	61
4.5 Kaizen	63
4.6 Ergonomía	65
5. Implantación del Lean Manufacturing	67
5.1 Estudio de ergonomía	69
6. Resultados.....	80
6.1 Criterios de diseño del puesto de montaje.	80
6.2 Propuesta de diseño.	81
6.3 Proceso de montaje con criterios Lean.....	82
6.4 Medida de tiempos de montaje resultantes.....	83
7. Bibliografía	90
Anexos.....	91
CAPITULO DOS: Planos.....	101

1	Lista de planos:.....	103
CAPITULO TRES: Estudio económico.....		109
1	Indicadores de rentabilidad	111
2	Presupuesto	113
3	Conclusiones	115

Índice de tablas

Tabla 1: Lista de materiales.....	25
Tabla 2: Medidas de tiempos.....	37
Tabla 3: Medidas de ritmo lento.....	38
Tabla 4: Medidas de ritmo medio.....	40
Tabla 5: Medidas de ritmo rápido.....	42
Tabla 6: Corrección de las medidas de ritmo lento.....	44
Tabla 7: Medidas corregidas de ritmo lento.....	45
Tabla 8: Medidas corregidas de ritmo medio.....	46
Tabla 9: Medidas corregidas de ritmo medio.....	47
Tabla 10: Corrección de medidas de ritmo lento.....	48
Tabla 11: Medidas corregidas de ritmo rápido.....	49
Tabla 12: Medidas de área.....	79
Tabla 13: Tabla de tiempos nuevos.....	85
Tabla 14: Nuevas medidas de tiempos.....	86
Tabla 15: Medidas nuevas corregidas.....	87
Tabla 16: Medidas nuevas corregidas.....	88
Tabla 17: Comparación de tiempos.....	89
Tabla 18: Precios del banco.....	113
Tabla 19: Costes de diseño.....	113
Tabla 20: Costes del banco.....	114
Tabla 21: Costes totales.....	114

Índice de figuras

Figura 1: Línea de montaje del Ford T.....	20
Figura 2: Placa de características.....	22
Figura 3: Motor eléctrico de Universal Motors.....	23
Figura 4: Explosionado del montaje del fabricante.....	24
Figura 5: Ensamblaje de las patas del motor.....	26
Figura 6 Montaje del eje y las tapas.....	27
Figura 7 Ensamblaje del ventilador.....	27
Figura 8: Ensamblaje de la tapa del ventilador.....	28
Figura 9: Ensamblaje de la tapa del motor.....	28
Figura 10: Atornillar la tapa de la caja de bornes:.....	29
Figura 11: Último paso del montaje, la tapa de la caja de bornes.....	30
Figura 12: Ejemplo de Poka – Yoke: Puerto USB.....	53
Figura 13: Las 5s (fuente epa.gov).....	54
Figura 14: Formula 1: Uno de los cambios más rápidos de componentes.....	58
Figura 15: Ejemplo de tarjeta Kanban.....	63
Figura 16: Fases del Kaizen.....	64
Figura 17: Ejemplo de ergonomía en el lugar de trabajo.....	66
Figura 18: Mesa diseñada con el catalogo ITEM 24.....	70
Figura 19: Ergonomía y las zonas de trabajo normal y ocasional.....	71
Figura 20: Ergonomías horizontal y vertical.....	71
Figura 21: Vista lateral de la mesa tradicional y las esferas de trabajo.....	72
Figura 22: Vista cenital de la mesa tradicional y las esferas de trabajo.....	72
Figura 23: Área mesa cuadrada.....	73
Figura 24: Cálculo del área de trabajo nueva.....	74
Figura 25: Propuesta de la mesa banco de trabajo.....	75
Figura 26: Vista cenital de la mesa propuesta de diseño.....	75
Figura 27: Vista lateral de la mesa propuesta.....	76
Figura 28: Vista oblicua de la mesa propuesta.....	76
Figura 29: Área de la mesa propuesta.....	77
Figura 30: Calculo del área de trabajo.....	78
Figura 31: Mesa propuesta.....	81
Figura 32: Puesto montado.....	83

CAPITULO UNO: Memoria descriptiva

1. Objetivos

Los objetivos de este proyecto son la implantación de la metodología Lean Manufacturing en el proceso de montaje de un motor eléctrico con vistas al montaje en línea de más conjuntos. Los objetivos económicos de esta implantación abarcan reducir los costes de montaje, amortizar el uso del sistema y finalmente aumentar los beneficios.

Para ello se hará un detallado estudio del proceso de implantación de las herramientas de la metodología lean manufacturing en el proceso de montaje de un motor eléctrico de una fábrica portuguesa, para la reducción del tiempo y coste. La planificación se hará basada en un tamaño de lote pequeño o mediano, y se diseñará el puesto de trabajo de un solo operario. Este diseño sin embargo puede escalarse a lotes más grandes con más operarios en puestos similares.

La meta principal del proyecto será aumentar la productividad del operario facilitando todos los pasos para obtener un tiempo menor en el proceso de montaje del conjunto mecánico.

Para ello se realizara un estudio exhaustivo de las distintas variantes de la metodología Lean eligiendo cuales y como llevarlas a este proceso, así como una descripción detallada de cómo se lleva a cabo dicha implantación.

Se terminará con un estudio económico y un análisis de resultados y sus conclusiones.

2. Estado del arte

La cadena de montaje es el proceso de fabricación por el cual el material base o producto semielaborado se va completando a medida que pasa por los distintos puestos especializados en los que se realiza cada tarea del proceso de fabricación. Así se crea un flujo con una salida constante de productos terminados.

Este tipo de modo de fabricación tiene grandes consecuencias provocando cambios en la manera de fabricación por todo el mundo. Entre esas consecuencias se encuentran la especialización de tanto empleados como de maquinaria para tareas concretas. Dicha especialización se tradujo en una disminución de fatiga en las herramientas de las máquinas, y también en los trabajadores. Estas consecuencias supusieron una reducción de tiempos y costes que aventajaba a las fábricas que hacían uso de las cadenas de montaje.

La cadena de montaje se popularizó con la implantación de ella en la Ford Motor Company en 1913 y supuso una revolución en el transporte estadounidense al convertir el primer modelo de coche, el Ford T, en un medio de transporte individual asequible y práctico, en vez de una comodidad cara accesible solo a los más ricos, llegando a recortar los precios desde unos 800\$ iniciales previos a la línea hasta unos 220\$.



Figura 1: Línea de montaje del Ford T

Ese cambio en el paisaje de los transportes de estados unidos lo sufrirían después todas las fábricas y empresas de producción con la cadena de montaje. En la actualidad las cadenas de montaje se utilizan en un gran abanico de procesos productivos distintos, desde la embotellación de bebidas hasta la el reciclaje de residuos. Las cadenas de montaje optimizan al máximo tiempos para reducir costes y para mejorarlas, los departamentos de desarrollo de empresas desarrollan nuevas teorías como es en este caso el Lean Manufacturing.

3. Datos de partida

3.1 Conjunto mecánico-eléctrico para actividades de montaje.

El conjunto mecánico-eléctrico que se analizara su montaje para implantar los métodos de Lean Manufacturing se trata de un motor eléctrico fabricado por la empresa UNIVERSAL MOTORS, Equipamentos Electromecânicos en Portugal y cuyas especificaciones técnicas son:

- 230 V
- 50 Hz
- 1390 rpm
- 0.18 kW
- 1.47 A
- 0.95 cos phi
- 4.4 kg

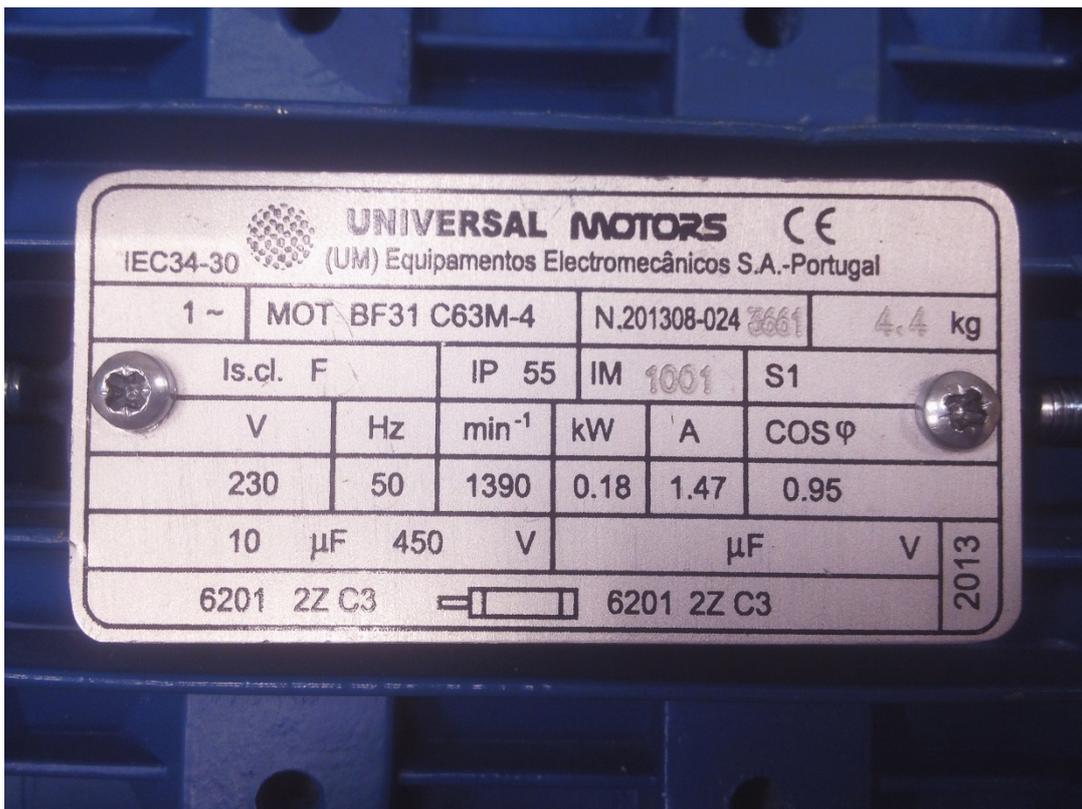


Figura 2: Placa de características.

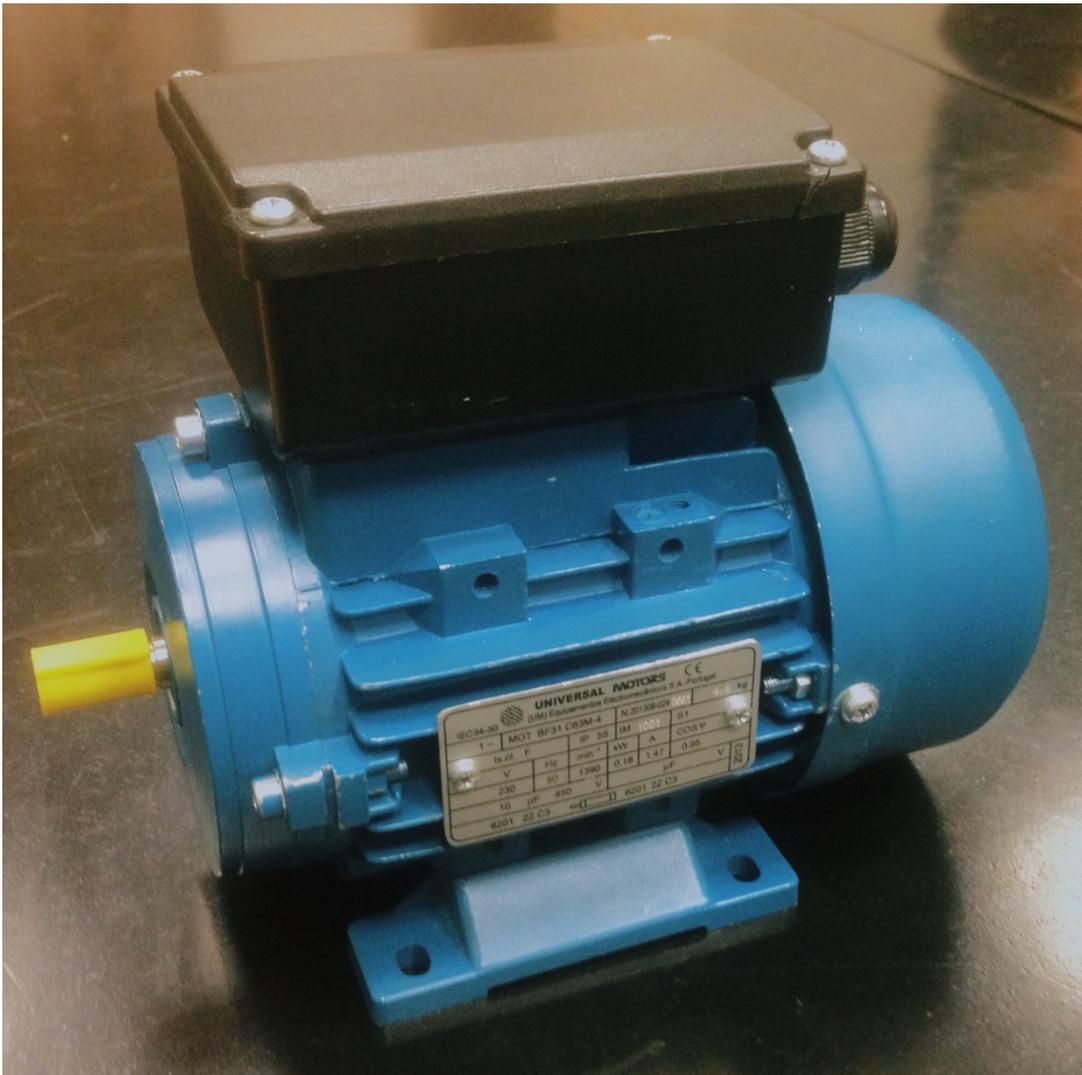


Figura 3: Motor eléctrico de Universal Motors.

Los motores como este han supuesto una revolución en la industria para llegar a darla la forma con la que la conocemos hoy. Su aplicación se extiende a prácticamente todos los sectores de ella, haciendo casi imposible el pensar en un sector o fabrica que no utilice un motor eléctrico. Desde usos en el bombeo de agua o aceite en máquinas oleohidráulicas, en fabricación para las máquinas o para mover las cintas transportadoras, en robótica para mover brazos robotizados, en toda la industria del transporte en especial los trenes, y ahora siendo cada vez más popular su uso en la industria del automóvil. También por su pequeño tamaño puede extenderse su aplicación a máquinas de uso

diario en un hogar como puede ser ventiladores, batidoras, taladros o neveras.

3.2 Tabla de materiales.

Tras el primer desmontaje siguiendo las instrucciones del fabricante se procedió a la realización de la lista de materiales de cada componente del motor, metiendo en norma los componentes normalizados y enumerando según el diagrama de las instrucciones.

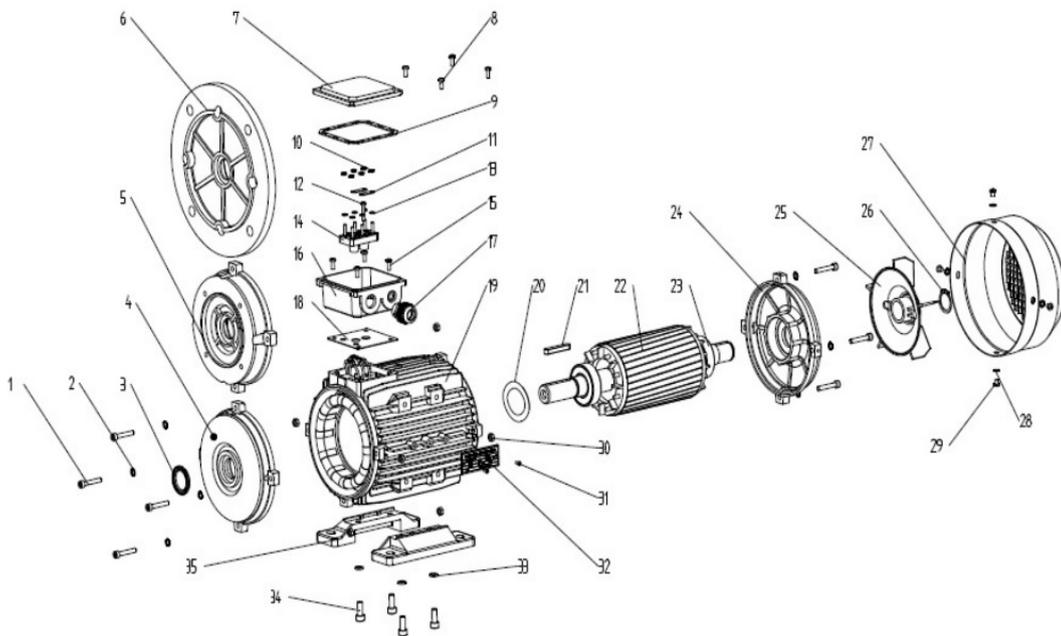


Figura 4: Explosionado del montaje del fabricante.

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BANCO FLEXIBLE DE TRABAJO MEDIANTE
METODOLOGÍAS LEAN MANUFACTURING**

	1	Tornillo Cabeza Alomada	DIN 7985	M4 (8 mm)
	1	Arandela Dentada Forma A	DIN 6798	M4 (forma A)
35	2	Patas		Aluminio
34	4	Tornillo Cilíndrico con Hexágono Interior	DIN 912	M6
33	4	Arandela Grower Forma B	DIN 127	
32	1	Placa de características		Aluminio
31	2	Tornillo	DIN 7985	M3
30	7	Tuerca Hexagonal	DIN 934	M5
28, 29	3	Tornillo + Arandela	DIN 7985 y DIN 125	M4
27	1	Tapa ventilador		Aluminio
26	1	Anillo de seguridad exterior	DIN 471	eje d1 11
25	1	Ventilador		Plástico blanco
24	1	Tapa trasera		Aluminio
23	2	Rodamientos		
22	1	Eje		Acero
21	1	Chaveta		Acero
20	1	Muelle (arandela ondulada)	DIN 137-B	
19	1	Cuerpo		Aluminio
18	1	Junta (caja bornes)		Goma
17	1	Entrada alimentación		Plástico negro
16	1	Caja bornes		Plástico negro
15	4	Tornillo Cabeza Alomada (caja bornes)	DIN 7985	M4 (16 mm)
14	1	Conjunto bornes		Plástico verde
13	18	Arandela Plana (bornes)	DIN 125	M4
12	2	Tornillo (sujeción bornes)	DIN 7981	M4 N°7 (13 mm)
11	3	Chapas (bornes)		Aluminio
10	5	Tuerca Hexagonal (bornes)	DIN 934	M4
9	1	Junta (tapa)		Goma
8	4	Tornillo Cabeza Alomada (tapa)	DIN 7981	M4 (10 mm)
7	1	Tapa		Plástico negro
4	2	Tapa exterior		Aluminio
3	2	Junta eje		Goma
2	7	Arandela Dentada Forma A	DIN 6798	M5 (forma A)
1	8	Tornillo Cilíndrico con Hexágono Interior	DIN 912	M5
Marca	Nº pieza	Designacion y observaciones	Norma	Material y medidas

Tabla 1: Lista de materiales

3.3 Proceso de montaje convencional.

El montaje se realizó de la siguiente manera:

- Operación 1: Atornillar patas:

Se coge el cuerpo y se coloca con los cables hacia abajo. Se toman las patas, los tornillos M6 y las arandelas y se atornillan en posición correcta. Ésta es la primera operación para poder facilitar el apoyo del motor en la mesa durante el resto de las operaciones de montaje.

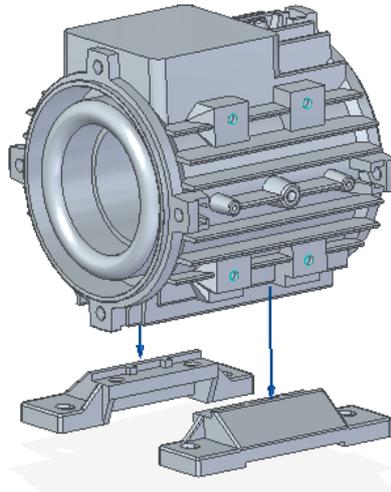


Figura 5: Ensamblaje de las patas del motor.

- Operación 2: Ensamblar eje y tapas y atornillar:

Se introduce el eje dentro del cuerpo y se monta la tapa trasera, identificada por tener taladros transversales en los soportes para los tornillos, para la tapa del ventilador. Primero se montan y atornillan si apretar los tornillos de esa tapa y después se pasa a ensamblar la tapa delantera con la arandela de muelle entre el rodamiento del eje y la tapa. Después de colocar los cuatro tornillos y sus tuercas, se irá apretando poco a poco cada tornillo para que la tapa ensamble

perpendicular al eje siempre. Por último se apretarán los tornillos de la tapa trasera.

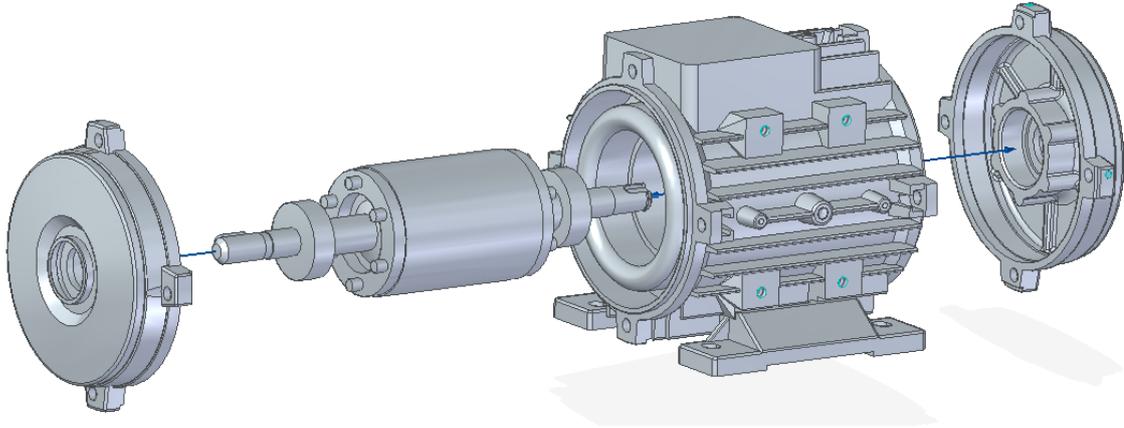


Figura 6 Montaje del eje y las tapas.

- Operación 3: Ensamblar el ventilador al eje trasero:

Se ensambla el ventilador en el eje trasero (sin chaveta) y se coloca la anilla de retención.

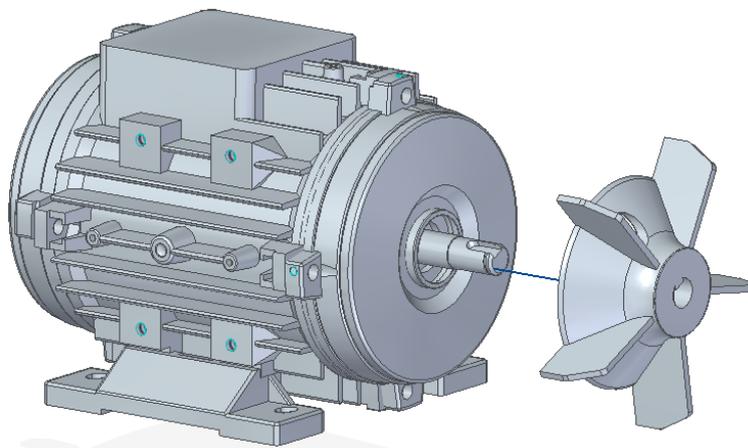


Figura 7 Ensamblaje del ventilador.

- Operación 4: Atornillar la tapa del ventilador:

Se coloca la tapa del ventilador para que coincidan los taladros de ella con los taladros en la tapa trasera y se atornilla.

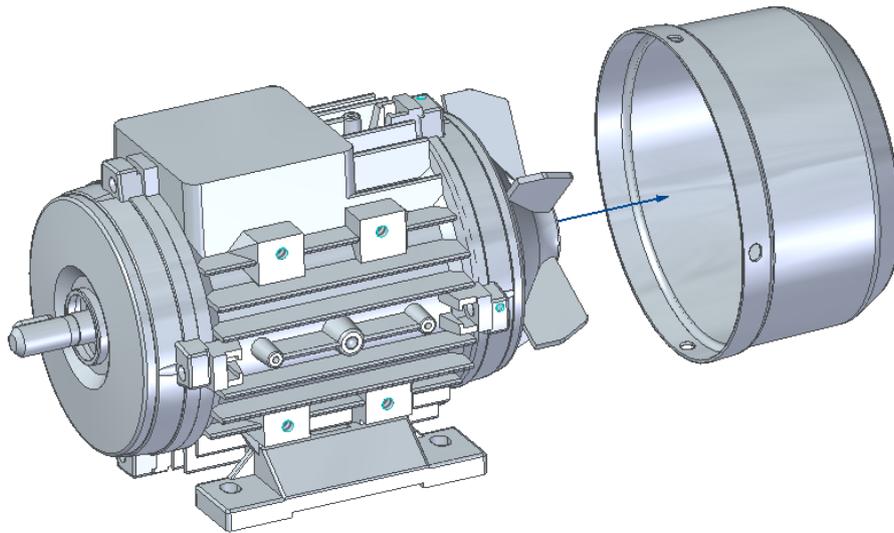


Figura 8: Ensamblaje de la tapa del ventilador.

- Operación 5: Atornillar la caja de bornes al cuerpo del motor:

Se atornilla la caja de plástico negro a la parte superior del cuerpo del motor con cuatro tornillos, pasando previamente los cables dentro de la caja, y poniendo la goma de protección entre la caja y el cuerpo del motor. También se atornillará el cable amarillo al cuerpo del motor (tierra) y el otro final al interior de la caja de bornes.

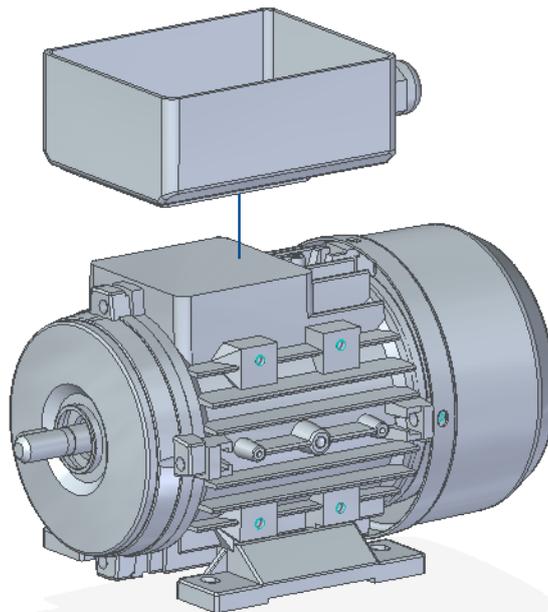


Figura 9: Ensamblaje de la tapa del motor.

- Operación 6: Montar y atornillar los cables a los bornes:

Primero se atornillaran los bornes al interior de la caja mediante dos tornillos. Seguidamente se montarán los cables a los bornes con todas las arandelas y tuercas y respetando el tipo de conexión requerido, respetando los esquemas. Esta operación es de las más complicadas por ser cables muy pequeños y la necesidad de utilizar hasta 18 arandelas.

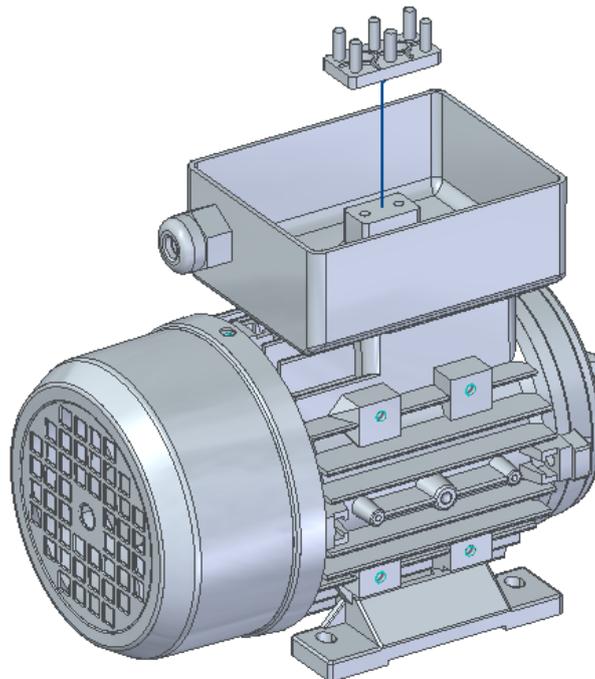


Figura #: Bornes.

Figura 10: Atornillar la tapa de la caja de bornes:

Se situará la goma en el borde de la caja y la tapa de ella encima. Después se atornillarán los cuatro tornillos.

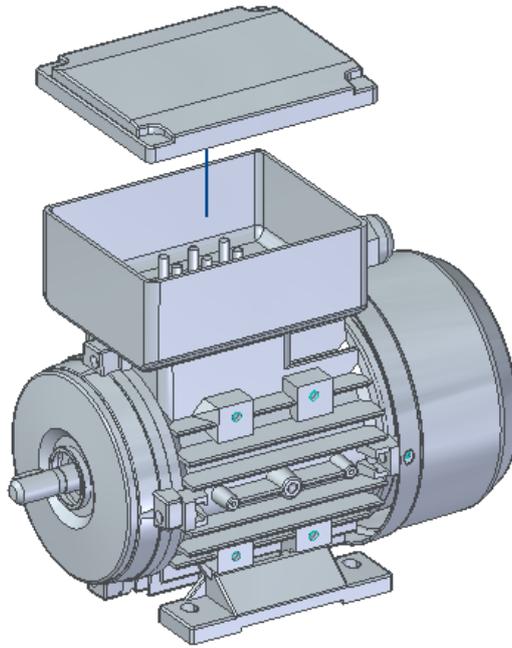
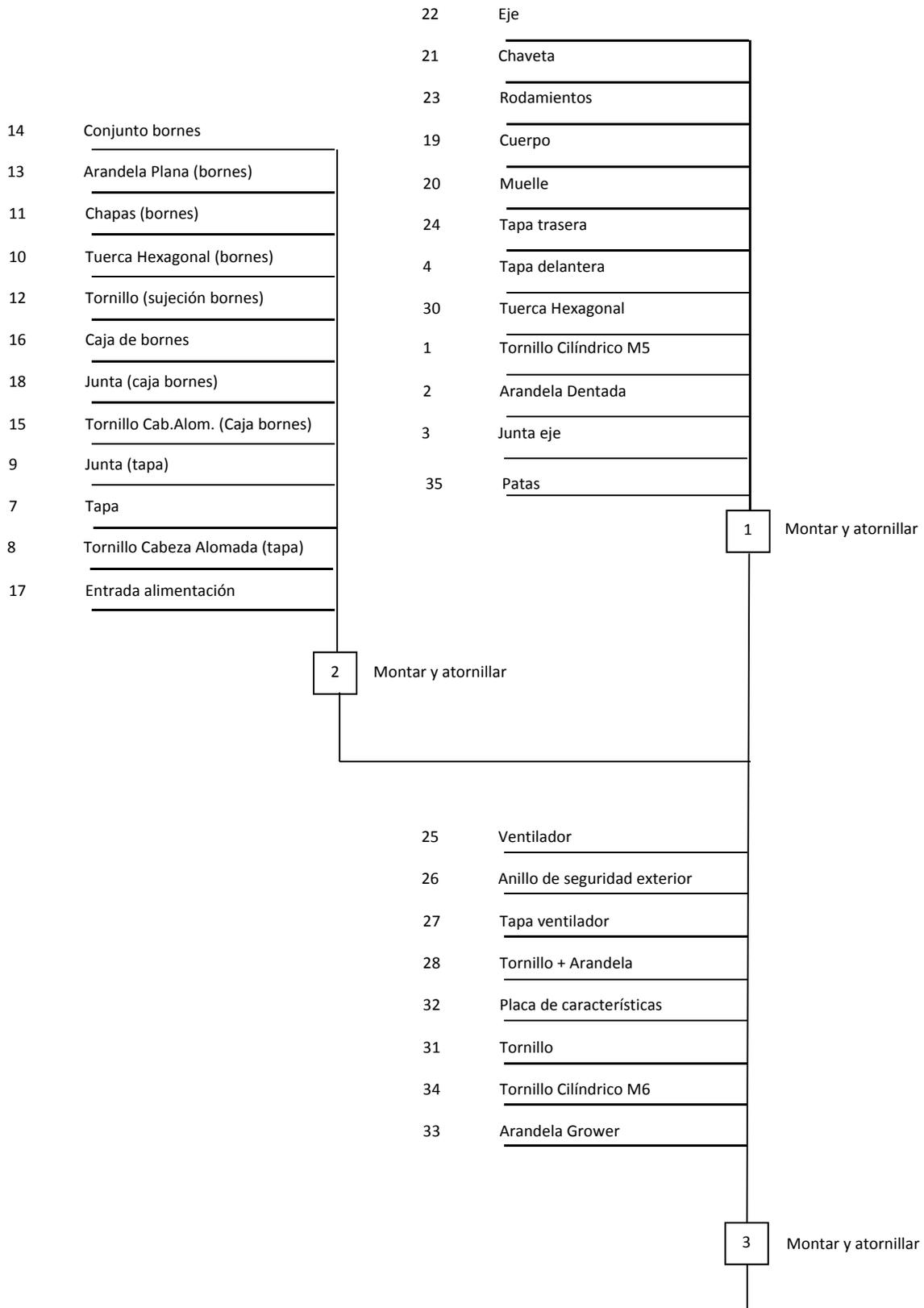


Figura 11: Último paso del montaje, la tapa de la caja de bornes.

- Operación 8: Atornillar placa de características.

3.4 Diagrama sinóptico de montaje.

De la anterior explicación del montaje se saca el siguiente diagrama sinóptico.



3.5 Tiempos de montaje.

Las medidas de tiempos se pueden realizar mediante dos técnicas: Medición del Tiempo de Métodos o MTM, o el convencional cronometraje.

La Medición del Tiempo de Métodos es un proceso que mide la duración de cada pequeño movimiento básico empleado en realizar una operación, consistente en muchos de estos micromovimientos. El objetivo es tener un análisis exhaustivo del desarrollo de cada operación y tener la suma total de los tiempos empleados para saber la duración completa de la acción.

Estos pequeños movimientos básicos se han de medir individualmente y siguiendo unos criterios para su correcta definición. Se realizaran sucesivas medidas para realizar una media y se omitirán los valores extremos o "outliers". Con ello tendremos una correcta aproximación de la duración del movimiento.

Los criterios para la definición de los movimientos son el tipo del movimiento en cuestión, diferenciando entre movimientos que empiezan o acaban en reposo, o ninguna de las dos; la distancia de estos movimientos, dividiéndose de dos en dos centímetros para distancias menores a treinta centímetros, o de cinco en cinco para distancias mayores. Y por último el caso del movimiento, diferenciando entre alcanzar un objeto que está en la misma posición siempre o alcanzar un objeto amontonado entre muchos que exige una búsqueda y localización, por ejemplo.

Después el movimiento se catalogará entre una serie de movimientos ya tabulados en una larga lista y denominados mediante una sigla y un color, estos son algunos ejemplos:

Buscar	B	Negro
Seleccionar	SE	Gris Claro
Alcanzar	AL	Verde oscuro
Mover	M	Verde claro
Sostener	SO	Dorado
Soltar	SL	Carmín
Colocar en posición	P	Azul

Pero la medida de tiempo utilizada en la realización de este proyecto no fue MTM sino el convencional cronometraje.

El cronometraje es la técnica más sencilla y directa de realizar una medida de tiempos, ya que consiste en la toma de medidas mediante un cronometro de toda la vida.

Sin embargo las medidas de tiempo tomadas han de ser ponderadas con la valoración del ritmo de trabajo. La valoración del ritmo de trabajo consiste en la apreciación justa de un ritmo de trabajo concreto en comparación a lo que se considera como ritmo estándar de trabajo. Esta práctica se ha dicho en varios artículos que no es una ciencia exacta y que depende de la valoración subjetiva del especialista de tiempos. Esto es causa de discordia entre los sindicatos de trabajadores y empresas por ser siempre la cadencia de trabajo fuente de negociación.

Para tratar y poner en práctica la valoración del ritmo de trabajo se han de definir unos conceptos determinados:

- Valoración del ritmo de actuación (A): Valor numérico asignado según la intensidad de trabajo, en referencia a un valor medio o estándar de ritmo de trabajo.
- Referencia estándar de trabajo (A_0): valor numérico establecido como referencia, para el ritmo de trabajo estándar. Se puede elegir el valor 100 para expresarlo como un porcentaje o un 60.

- Coeficiente de actuación: Es la relación entre la actividad observada y la actividad estándar. Numéricamente es el cociente entre A y A₀.
- Medida de tiempos: Se anota con un cronometro el tiempo de cada operación y el ritmo de actividad desarrollado durante la misma.
- Tiempo básico (T_b): tiempo corregido con el coeficiente de actuación. Es el tiempo medido multiplicado por el cociente entre A y A₀.
- Tiempo concedido (T_c): Tiempo básico más un incremento porcentual (a) debido a descansos por postura incomoda, razones personales, fatiga física, climatización etcétera.

$$T_c = T_b * T_b \frac{a}{100}$$

El montaje se realizó siguiendo el explosionado proporcionado por el fabricante, siguiendo el orden lógico de montaje especificado antes. Durante este montaje se realizaron las distintas medidas de tiempo de cada operación por separado.

Para estas medidas de tiempo se realizaron siguiendo tres ritmos de montaje distintos para cada operación: montaje lento, montaje medio y montaje rápido.

El montaje lento se realizó el primero, de manera calmada y con intensidad baja de trabajo. Durante este proceso surgen aun varias dudas y por eso los tiempos son más largos.

El montaje medio es el siguiente a realizarse ya sin dudas del proceso y con una intensidad normal de trabajo. Los tiempos se reducen respecto de la medida anterior.

El montaje rápido se realiza el ultimo y ya con todo el proceso claro. Se hace con una concentración e intensidad de trabajo muy alta y los tiempos lógicamente son los más cortos.

Para cada estilo de montaje y cada operación se realizaron tres medidas para asegurar la repetividad del experimento y poder hacer promedios.

		Medidas			Media por ritmo	Media total	
		1	2	3			
1	Atornillar patas	Lento	02:10	01:30	01:42	01:47	01:14
		Medio	01:04	01:17	01:01	01:07	
		Rapido	00:45	00:49	00:46	00:47	
2	Montar y atornillar eje, tapas exteriores (8 tornillos, ventilador y arandela)	Lento	07:12	07:11	06:50	07:04	05:48
		Medio	05:31	05:59	05:47	05:46	
		Rapido	04:28	04:32	04:40	04:33	
3	Ensamblar ventilador	Lento	01:16	01:01	00:56	01:04	00:43
		Medio	00:40	00:31	00:37	00:36	
		Rapido	00:24	00:18	00:42	00:28	
4	Atornillar tapa de ventilador	Lento	01:12	01:58	01:05	01:25	01:01
		Medio	00:52	00:54	00:55	00:54	
		Rapido	00:45	00:46	00:45	00:45	
5	Atornillar caja al cuerpo (4 tornillos y el cable amarillo)	Lento	02:05	02:12	02:03	02:07	01:41
		Medio	01:47	01:39	01:48	01:45	
		Rapido	01:10	01:12	01:15	01:12	
6	Montar y atornillar todos los bornes	Lento	06:42	06:49	07:01	06:51	06:20
		Medio	06:05	06:58	06:15	06:26	
		Rapido	05:52	05:32	05:49	05:44	
7	Atornillar tapa de la caja de bornes (4 tornillos)	Lento	01:27	01:32	01:20	01:26	01:08
		Medio	01:06	01:12	01:12	01:10	
		Rapido	00:49	00:50	00:42	00:47	
8	Atornillar placa de características	Lento	00:40	00:39	00:39	00:39	00:30
		Medio	00:28	00:30	00:31	00:30	
		Rapido	00:20	00:22	00:23	00:22	
						18:25	

Tabla 2: Medidas de tiempos

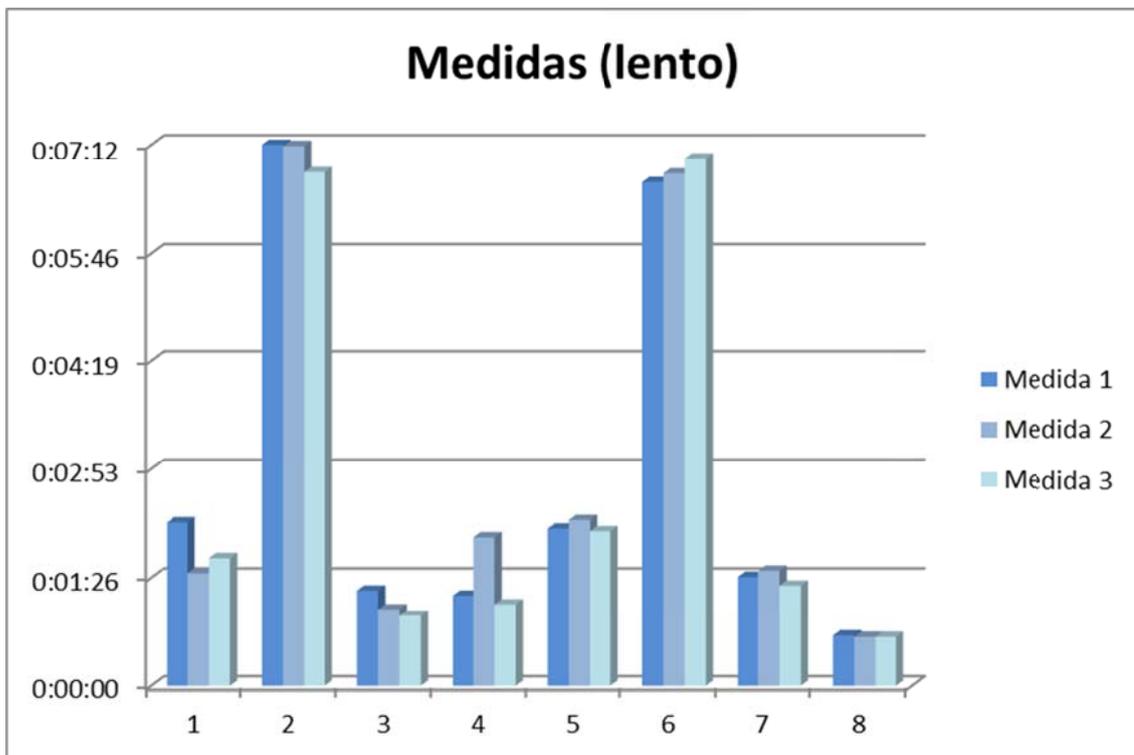
Ahora se pasará al análisis particular según ritmo de trabajo:

Tabla de tiempos de ritmo lento:

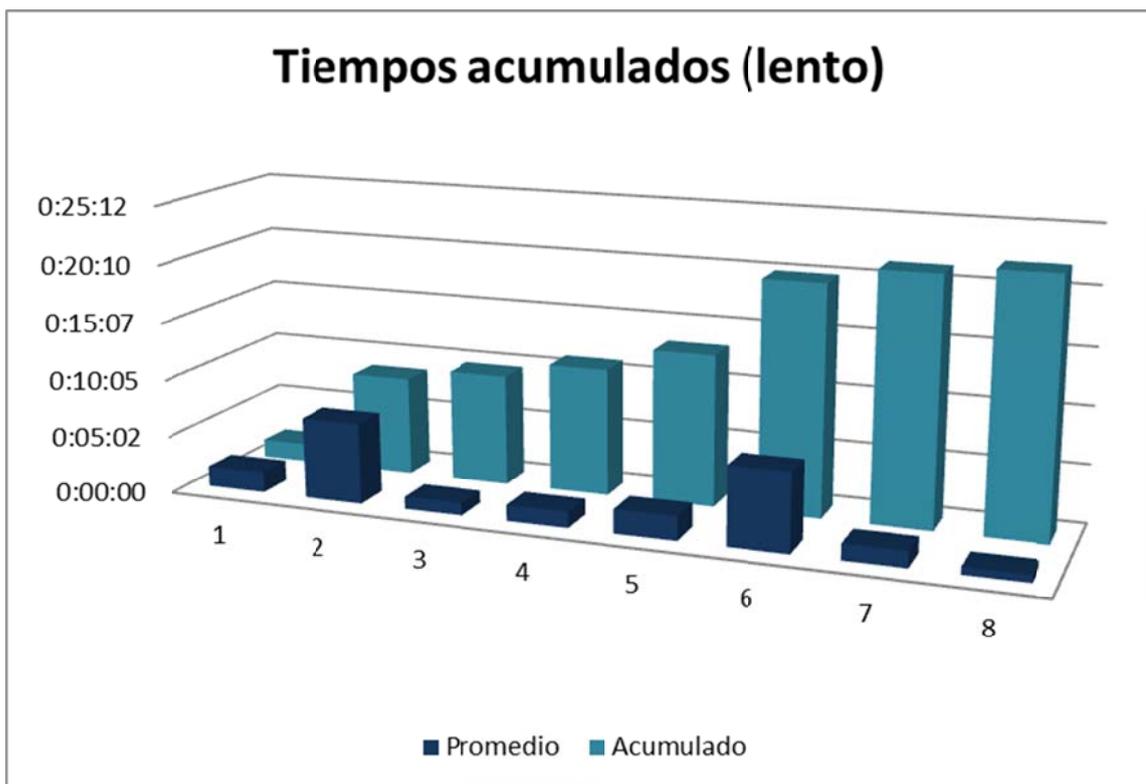
Op.	Lento			Promedio	Acumulado
	Medida 1	Medida 2	Medida 3		
1	02:10	01:30	01:42	01:47	01:47
2	07:12	07:11	06:50	07:04	08:52
3	01:16	01:01	00:56	01:04	09:56
4	01:12	01:58	01:05	01:25	11:21
5	02:05	02:12	02:03	02:07	13:28
6	06:42	06:49	07:01	06:51	20:18
7	01:27	01:32	01:20	01:26	21:45
8	00:40	00:39	00:39	00:39	22:24
Total	22:44	22:52	21:36	22:24	

Tabla 3: Medidas de ritmo lento

Para una visualización más correcta de las tomas de tiempos y las diferencias entre operaciones se realiza un diagrama de barras.



Como claramente se puede apreciar, las operaciones más complicadas y las que más tiempo llevan son las numero 2 y la numero 6. La número dos es la operación en la que se ensambla el eje dentro del cuerpo y se encajan las tapas de delante y de detrás. Esta es una operación complicada porque las tapas van encajadas en los rodamientos del eje, lo que hace necesitar una maza de goma y un proceso iterativo. La operación 6 es atornillar todos los cables a sus bornes, según que configuración se desee, y es una operación difícil también por ser de mucha precisión, y con elementos como las arandelas o las tuercas, son muy pequeños. A continuación se adjunta una tabla con los promedios de las medidas para cada operación de tiempos lentos, y los tiempos acumulados:



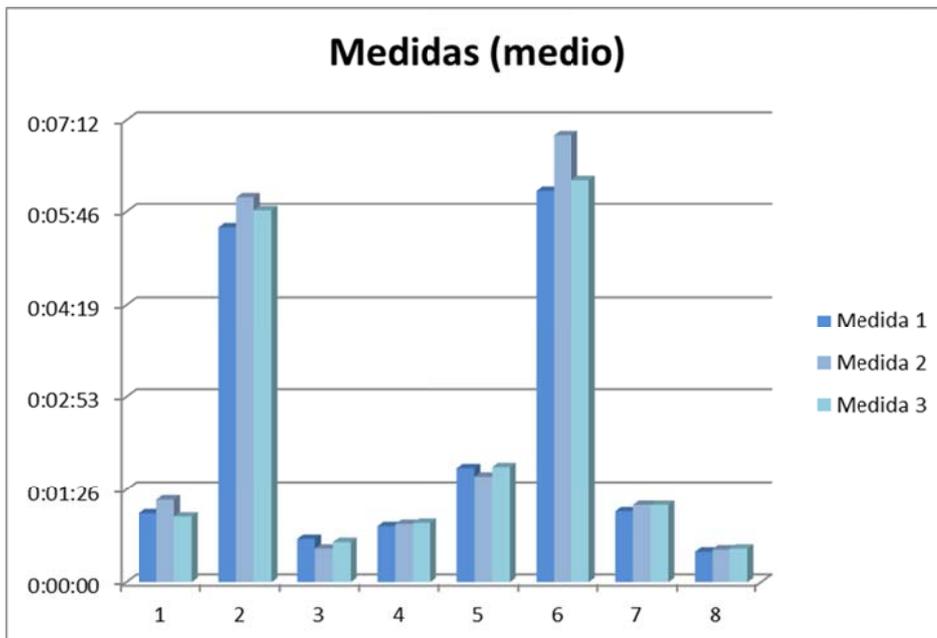
Se aprecia de nuevo como las operaciones de más dificultad son la 2 y la 6 y se ve como el total llega a unos 22 minutos de montaje.

Tablas de medidas de tiempo de ritmo de montaje medio:

Op.	Medio			Promedio	Acumulado
	Medida 1	Medida 2	Medida 3		
1	01:04	01:17	01:01	01:07	01:07
2	05:31	05:59	05:47	05:46	06:53
3	00:40	00:31	00:37	00:36	07:29
4	00:52	00:54	00:55	00:54	08:23
5	01:47	01:39	01:48	01:45	10:07
6	06:05	06:58	06:15	06:26	16:33
7	01:06	01:12	01:12	01:10	17:43
8	00:28	00:30	00:31	00:30	18:13
Total	17:33	19:00	18:06	18:13	

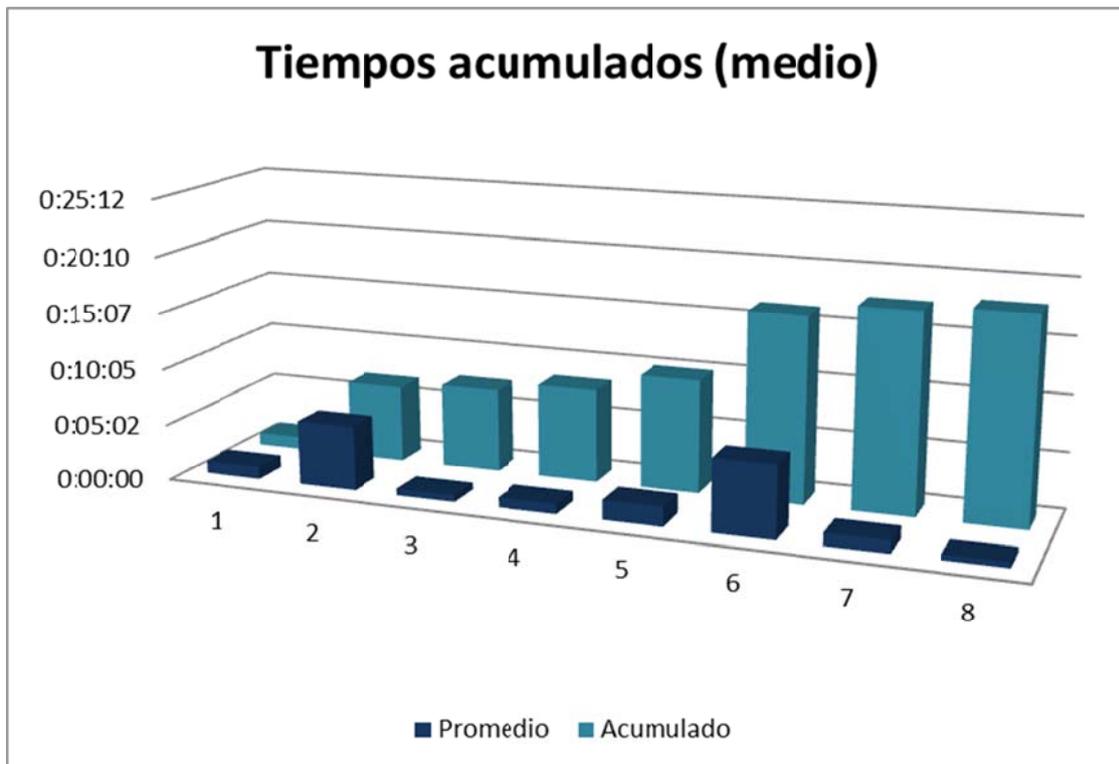
Tabla 4: Medidas de ritmo medio

Y su diagrama de barras:



Como se puede apreciar en esta nueva tabla, los tiempos se reducen perceptiblemente. Las operaciones más afectadas por esta reducción son las que llevan más tiempo completar, la número 2 y la 6, debido a que en el primer montaje se solucionan muchas dudas y se hacen mecánicos varios procesos, evitando la necesidad de pensar. Este es un ritmo de trabajo normal, cómodo pero sin pausa.

A continuación se puede ver la tabla con los tiempos promedio de cada operación y los tiempos acumulados:



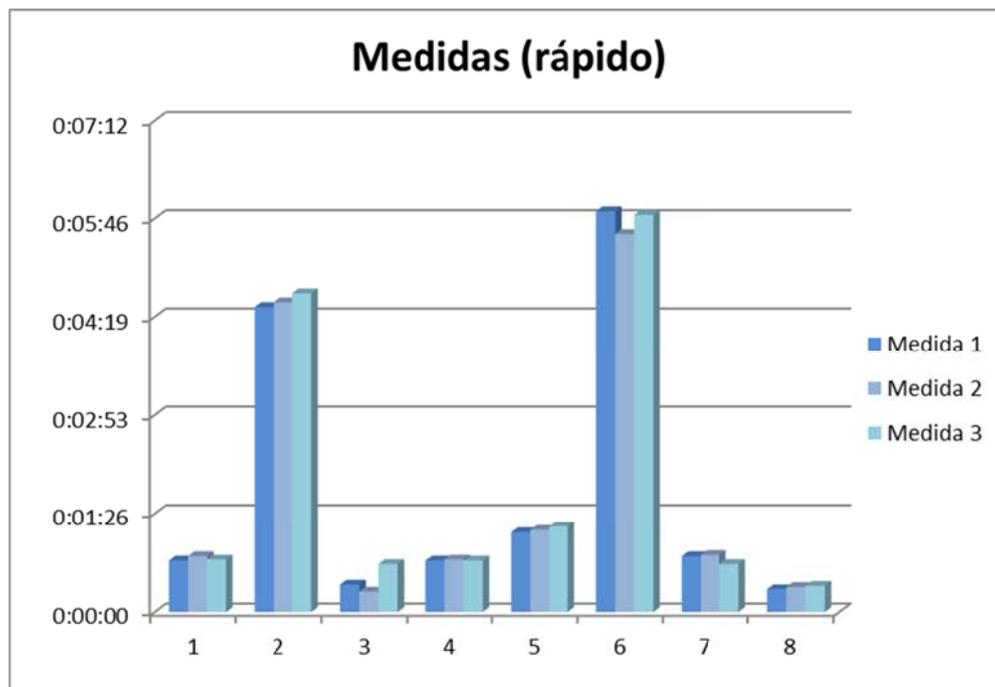
Se observa de nuevo en esta tabla la disminución general de los tiempos respecto de la tabla anterior, llegan a un tiempo total de montaje de 18 minutos y 13 segundos, más de 4 minutos de diferencia con el ritmo de montaje lento.

Por último se pueden ver aquí las tablas de medidas de tiempo correspondientes al ritmo de montaje rápido:

Op.	Rápido			Promedio	Acumulado
	Medida 1	Medida 2	Medida 3		
1	00:45	00:49	00:46	00:47	00:47
2	04:28	04:32	04:40	04:33	05:20
3	00:24	00:18	00:42	00:28	05:48
4	00:45	00:46	00:45	00:45	06:33
5	01:10	01:12	01:15	01:12	07:46
6	05:52	05:32	05:49	05:44	13:30
7	00:49	00:50	00:42	00:47	14:17
8	00:20	00:22	00:23	00:22	14:39
Total	14:33	14:21	15:02	14:39	

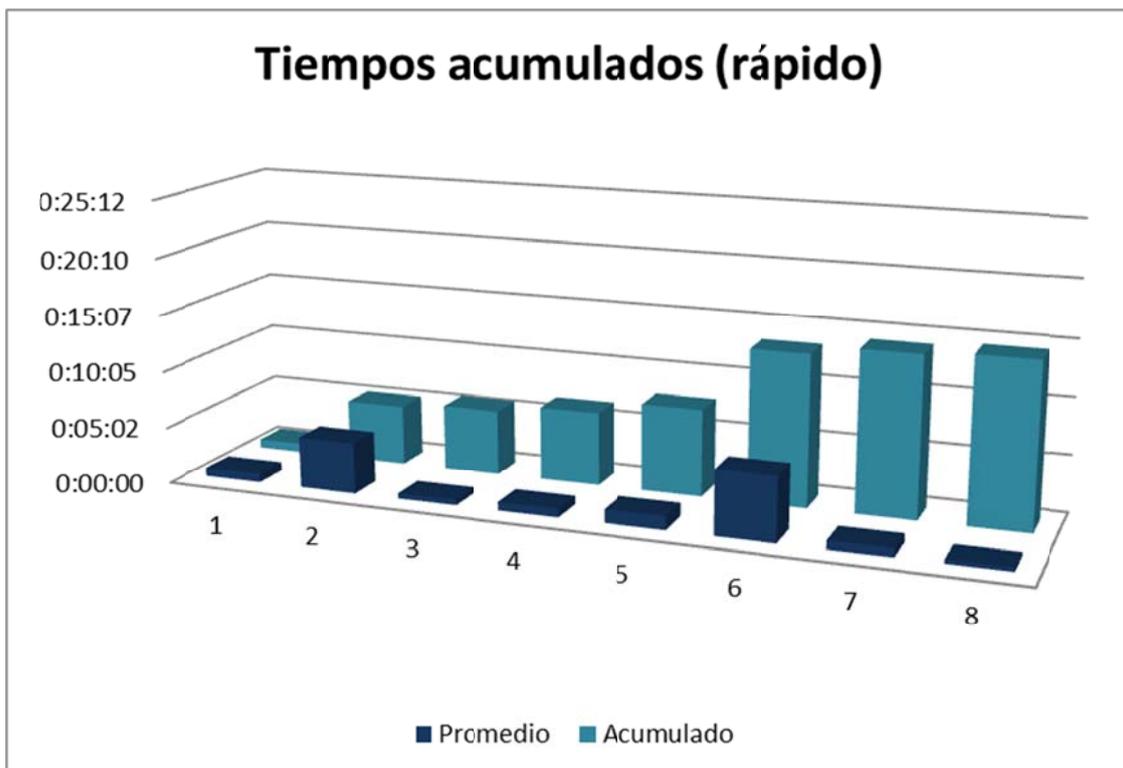
Tabla 5: Medidas de ritmo rápido

En esta tabla se aprecia una clara reducción de tiempo respecto a las medidas anteriores, pero para ver mejor esta reducción, se utilizara como anteriormente, el grafico de barras:



Como se ha comentado antes, se puede apreciar en esta grafica una considerable reducción de los tiempos de montaje, y al igual que en los tiempos de montaje medios, las operaciones que más representan esta reducción, son las que son más largas, la numero 2 y 6. Especialmente la numero dos, ensamblar eje y tapas, es la que más se ha reducido respecto del ritmo lento de montaje, en el que empezó siendo la operación más larga, para acabar en este ritmo de montaje siendo superada por la operación 6, el atornillar los cables a sus bornes que sigue necesitando paciencia y habilidad por ser piezas muy pequeñas.

Ahora se observará la tabla de tiempos acumulados y de tiempos promedio para este ritmo de montaje:



Similar a las otras tablas, en esta se puede ver la reducción de todos los tiempos promedios, y que la acumulación de los tiempos, llega a un

tiempo total de montaje menor de 15 minutos. Este es un ritmo acelerado de montaje que no permite dudas ni errores.

A continuación se corregirán las tomas de tiempos según La Valoración de Ritmo de trabajo explicada anteriormente, para cada medida y para cada ritmo de trabajo.

La corrección de las medidas de tiempo del ritmo de trabajo lento:

Op.	Medida 1 (lento)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	02:10	40	60	0,67	01:27
2	07:12	40	60	0,67	04:48
3	01:16	40	60	0,67	00:51
4	01:12	40	60	0,67	00:48
5	02:05	40	60	0,67	01:23
6	06:42	40	60	0,67	04:28
7	01:27	40	60	0,67	00:58
8	00:40	40	60	0,67	00:27
Op.	Medida 2 (lento)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	01:30	50	60	0,83	01:15
2	07:11	50	60	0,83	05:59
3	01:01	50	60	0,83	00:51
4	01:58	50	60	0,83	01:38
5	02:12	50	60	0,83	01:50
6	06:49	50	60	0,83	05:41
7	01:32	50	60	0,83	01:17
8	00:39	50	60	0,83	00:33
Op.	Medida 3 (lento)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	01:42	45	60	0,75	01:16
2	06:50	45	60	0,75	05:07
3	00:56	45	60	0,75	00:42
4	01:05	45	60	0,75	00:49
5	02:03	45	60	0,75	01:32
6	07:01	45	60	0,75	05:16
7	01:20	45	60	0,75	01:00
8	00:39	45	60	0,75	00:29

Tabla 6: Corrección de las medidas de ritmo lento

Como se puede distinguir, se ha tomado una valoración del ritmo de trabajo distinta para cada medida y montaje según la intensidad de trabajo. Se ha tomado como A0 el valor de 60, con el que se va comparando, como valor estándar.

Y la tabla que combina estas medidas y tiene los promedios:

Medidas corregidas de LENTO					
Op.	Medida 1 corregida	Medida 2 corregida	Medida 3 corregida	Promedio	Acumulado
1	01:27	01:15	01:16	01:19	01:19
2	04:48	05:59	05:07	05:18	06:38
3	00:51	00:51	00:42	00:48	07:25
4	00:48	01:38	00:49	01:05	08:30
5	01:23	01:50	01:32	01:35	10:06
6	04:28	05:41	05:16	05:08	15:14
7	00:58	01:17	01:00	01:05	16:19
8	00:27	00:33	00:29	00:29	16:48
Total	15:09	19:03	16:12		16:48

Tabla 7: Medidas corregidas de ritmo lento

Con esta nueva tabla de tiempos corregidos, se realiza la el siguiente

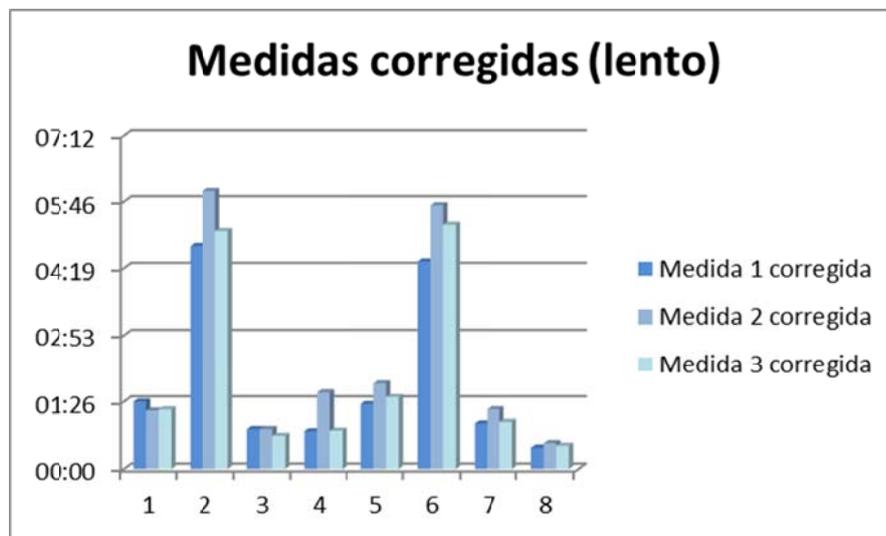
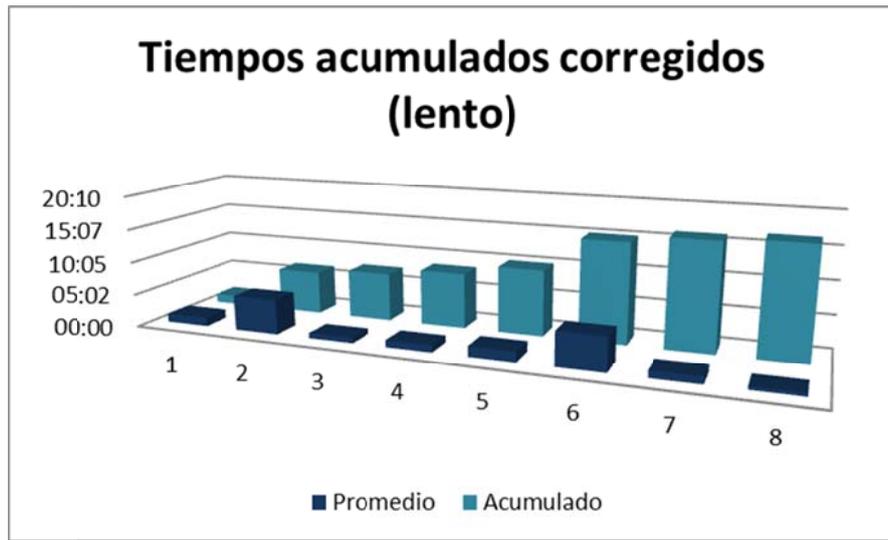


grafico de barras para facilitar la visualización de estas medidas.



Se realizara el mismo proceso con los ritmos de trabajo medio y rápido.

Op.	Medida 1 (medio)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	01:04	60	60	1,00	01:04
2	05:31	60	60	1,00	05:31
3	00:40	60	60	1,00	00:40
4	00:52	60	60	1,00	00:52
5	01:47	60	60	1,00	01:47
6	06:05	60	60	1,00	06:05
7	01:06	60	60	1,00	01:06
8	00:28	60	60	1,00	00:28

Op.	Medida 2 (medio)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	01:17	55	60	0,92	01:11
2	05:59	55	60	0,92	05:29
3	00:31	55	60	0,92	00:28
4	00:54	55	60	0,92	00:49
5	01:39	55	60	0,92	01:31
6	06:58	55	60	0,92	06:23
7	01:12	55	60	0,92	01:06
8	00:30	55	60	0,92	00:28

Op.	Medida 3 (medio)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	01:01	65	60	1,08	01:06
2	05:47	65	60	1,08	06:16
3	00:37	65	60	1,08	00:40
4	00:55	65	60	1,08	01:00
5	01:48	65	60	1,08	01:57
6	06:15	65	60	1,08	06:46
7	01:12	65	60	1,08	01:18
8	00:31	65	60	1,08	00:34

Tabla 8: Medidas corregidas de ritmo medio

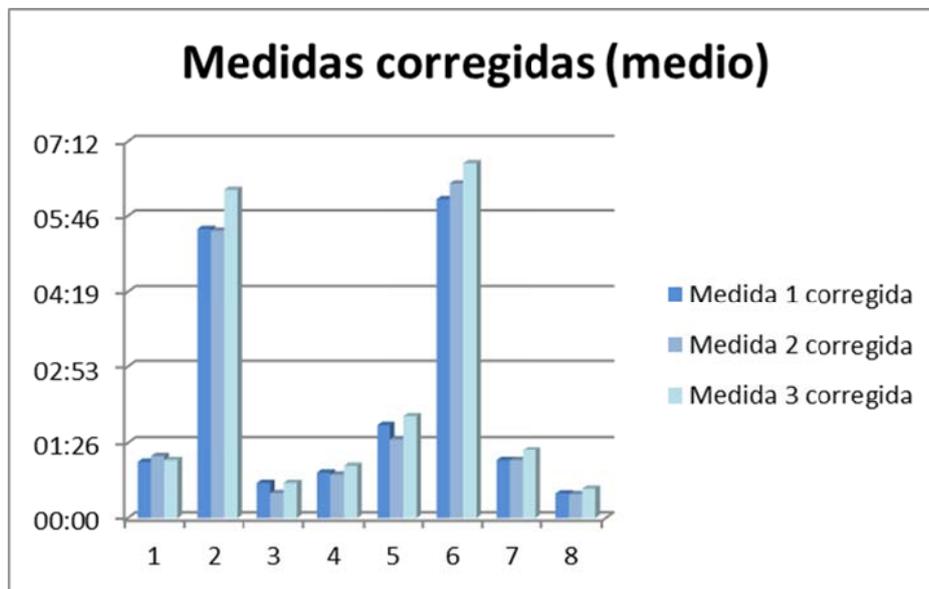
Nuevamente se puede apreciar cómo no se valoraron igual cada ritmo de trabajo aun siendo todos los ritmos medios.

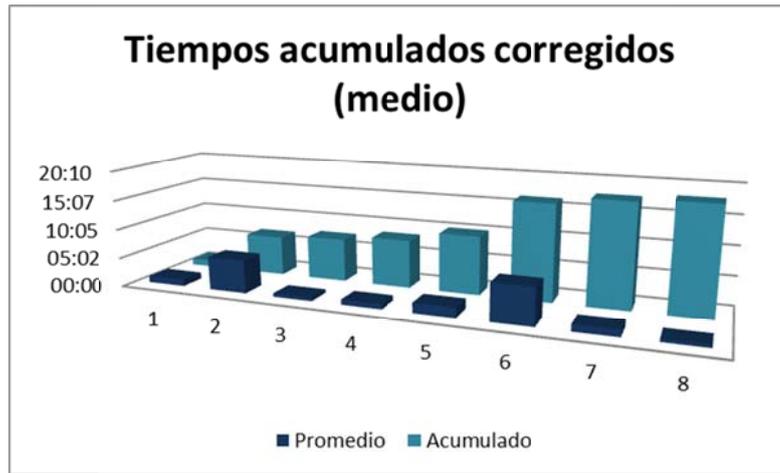
Y la tabla combinada de estos tiempos:

Op.	Medidas corregidas de MEDIO			Promedio	Acumulado
	Medida 1 corregida	Medida 2 corregida	Medida 3 corregida		
1	01:04	01:11	01:06	01:07	01:07
2	05:31	05:29	06:16	05:45	06:52
3	00:40	00:28	00:40	00:36	07:28
4	00:52	00:49	01:00	00:54	08:22
5	01:47	01:31	01:57	01:45	10:07
6	06:05	06:23	06:46	06:25	16:32
7	01:06	01:06	01:18	01:10	17:42
8	00:28	00:28	00:34	00:30	18:11
Total	17:33	17:25	19:37		18:11

Tabla 9: Medidas corregidas de ritmo medio

Con los diagramas de barras:





Y las tablas de las medidas de tiempo realizadas durante el ritmo de montaje rápido corregidas.

Op.	Medida 1 (rápido)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	00:45	80	60	1,33	01:00
2	04:28	80	60	1,33	05:57
3	00:24	80	60	1,33	00:32
4	00:45	80	60	1,33	01:00
5	01:10	80	60	1,33	01:33
6	05:52	80	60	1,33	07:49
7	00:49	80	60	1,33	01:05
8	00:20	80	60	1,33	00:27

Op.	Medida 2 (rápido)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	00:49	75	60	1,25	01:01
2	04:32	75	60	1,25	05:40
3	00:18	75	60	1,25	00:23
4	00:46	75	60	1,25	00:58
5	01:12	75	60	1,25	01:30
6	05:32	75	60	1,25	06:55
7	00:50	75	60	1,25	01:03
8	00:22	75	60	1,25	00:28

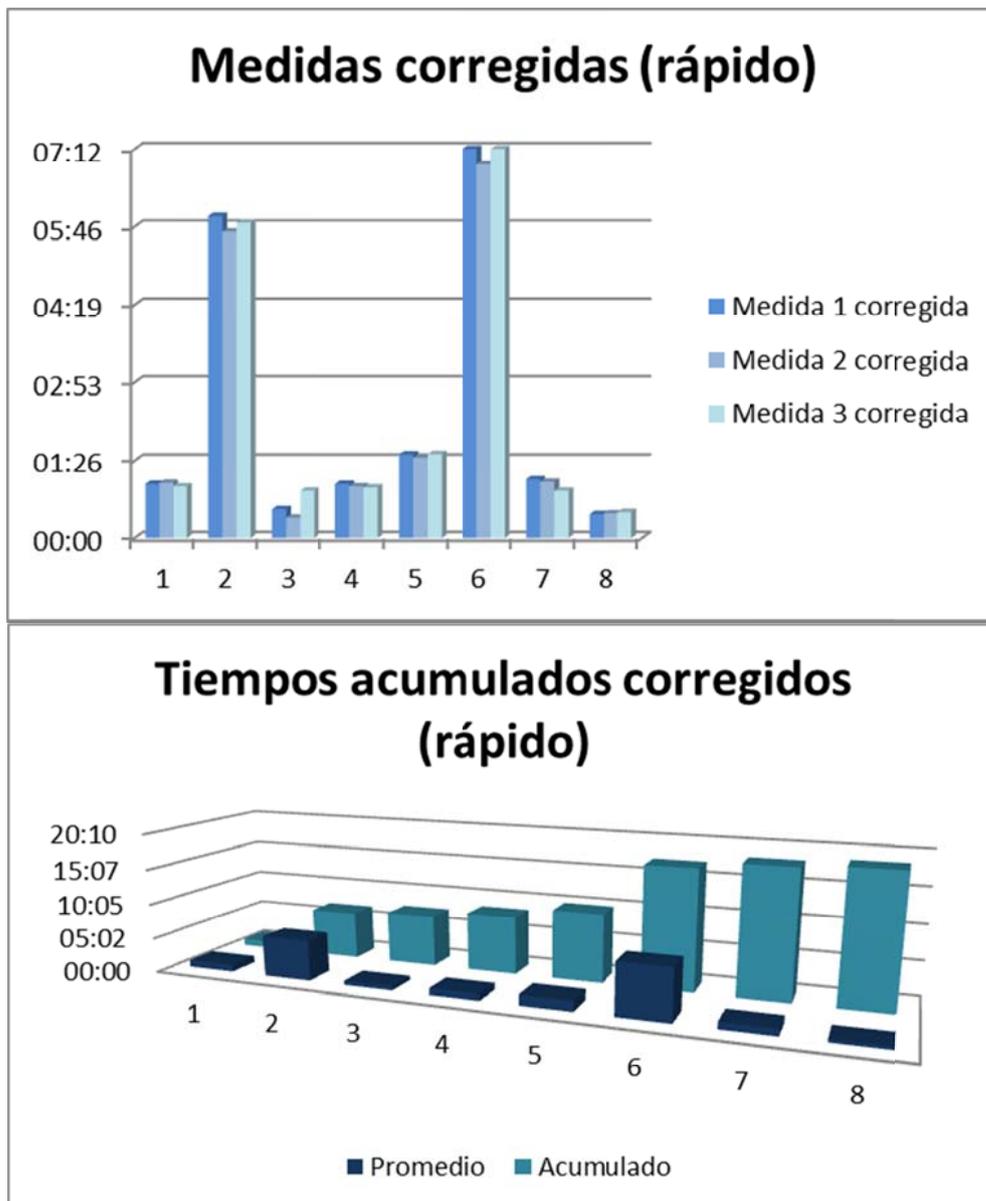
Op.	Medida 3 (rápido)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	00:46	75	60	1,25	00:58
2	04:40	75	60	1,25	05:50
3	00:42	75	60	1,25	00:52
4	00:45	75	60	1,25	00:56
5	01:15	75	60	1,25	01:34
6	05:49	75	60	1,25	07:16
7	00:42	75	60	1,25	00:52
8	00:23	75	60	1,25	00:29

Tabla 10: Corrección de medidas de ritmo lento

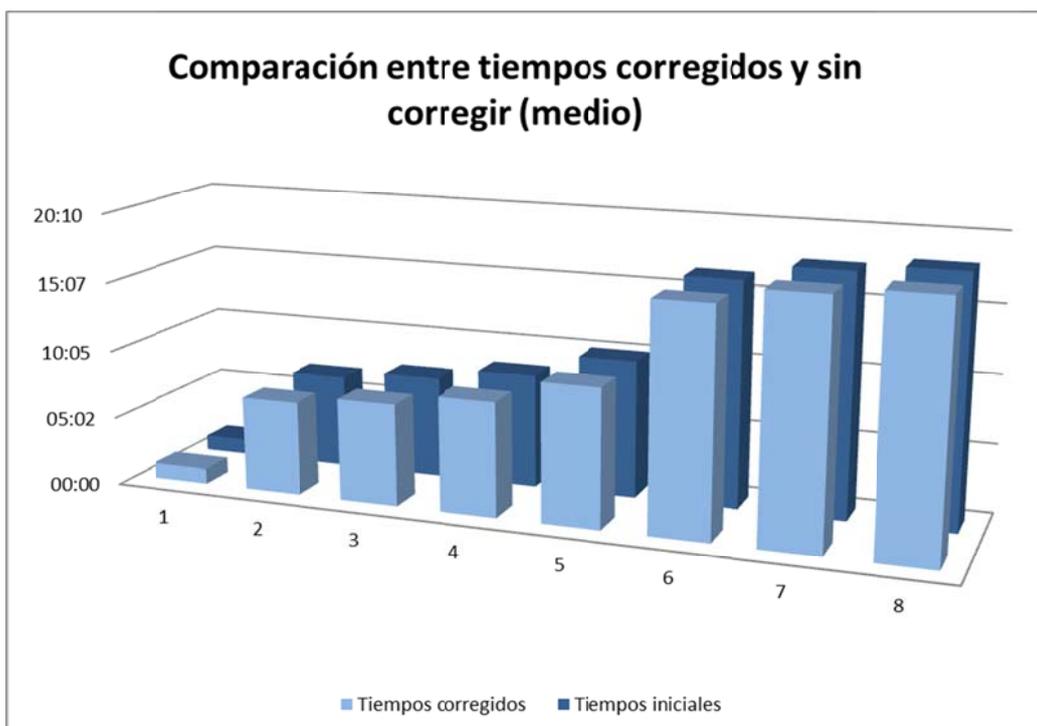
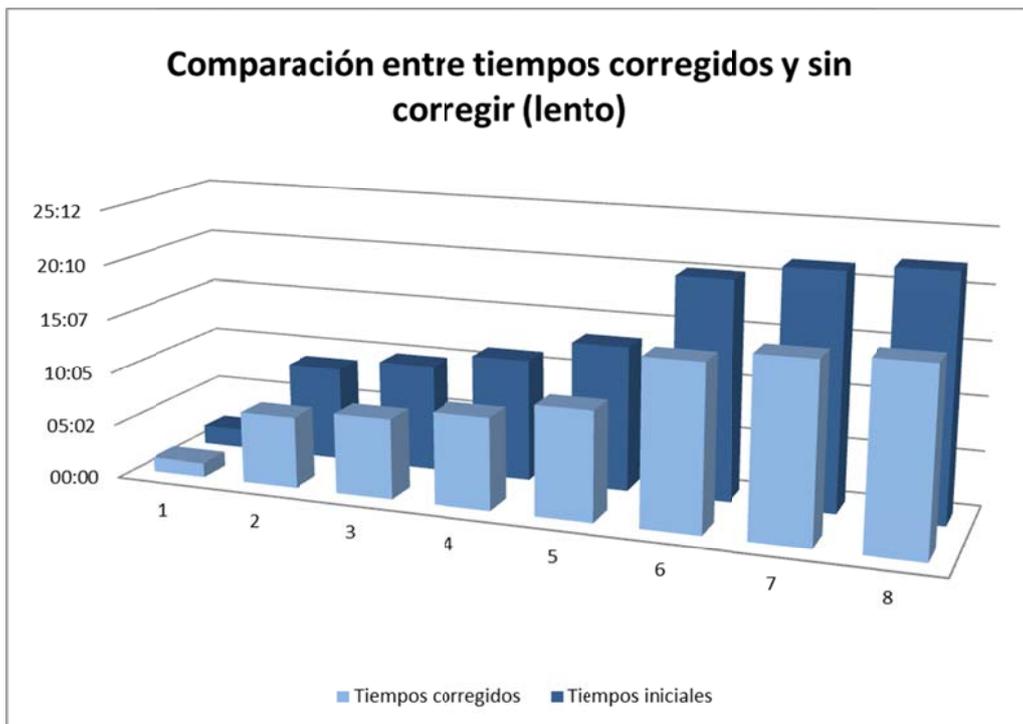
Con sus respectivas tablas de combinación y promedios, y los diagramas de barras.

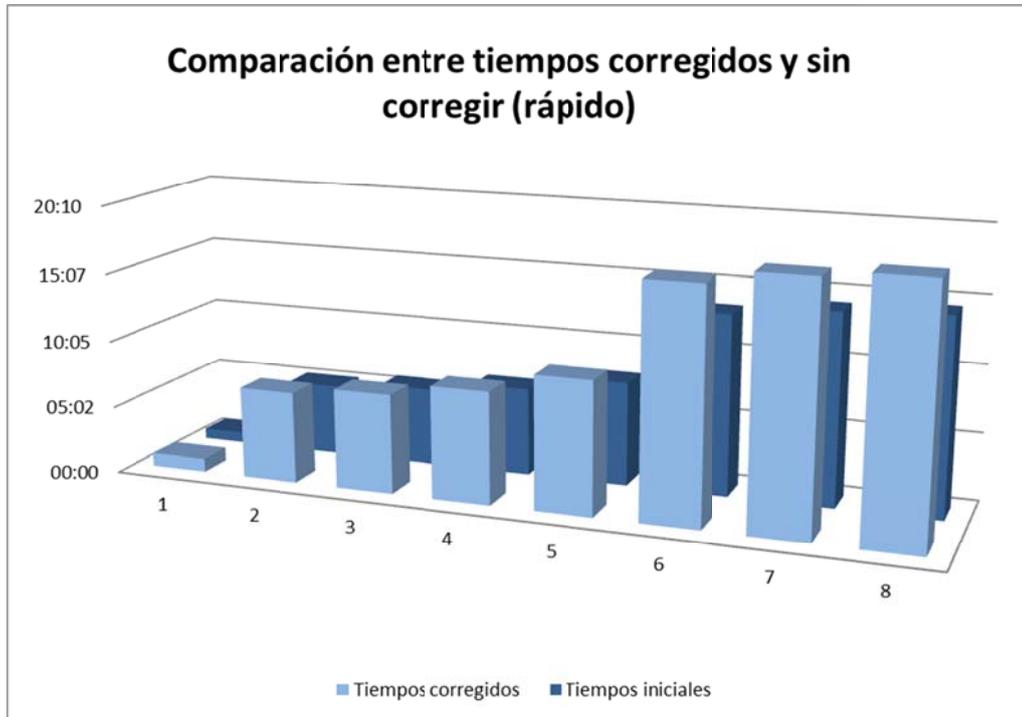
Medidas corregidas de RÁPIDO					
Op.	Medida 1 corregida	Medida 2 corregida	Medida 3 corregida	Promedio	Acumulado
1	01:00	01:01	00:58	01:00	01:00
2	05:57	05:40	05:50	05:49	06:49
3	00:32	00:23	00:52	00:36	07:24
4	01:00	00:58	00:56	00:58	08:22
5	01:33	01:30	01:34	01:32	09:55
6	07:49	06:55	07:16	07:20	17:15
7	01:05	01:03	00:52	01:00	18:15
8	00:27	00:28	00:29	00:28	18:43
Total	19:24	17:56	18:47		18:43

Tabla 11: Medidas corregidas de ritmo rápido



Ahora, para apreciar el efecto y una correcta comparación entre los tiempos tomados y los posteriormente corregidos, se trazara un diagrama de barras comparando los promedios obtenidos en ambos casos: en los tiempos iniciales, y en los tiempos corregidos.





Como se puede apreciar en estos gráficos, la corrección ha servido para suavizar las diferencias entre los tres estilos de montaje, llegando a unos tiempos de montaje similares para todo el proceso.

Por esta razón, en la gráfica de comparación del ritmo lento, los tiempos de montaje son más altos que los corregidos, en la gráfica de comparación del ritmo medio los tiempos corregidos y sin corregir son muy similares, y en la gráfica final de comparación de ritmo rápido, los tiempos iniciales son menores que los corregidos.

4. Descripción del Lean Manufacturing

El Lean Manufacturing es un método de la gestión de la producción que busca la eliminación de los desperdicios para poder entregar el máximo valor a los clientes. Para conseguir este objetivo de eliminar el despilfarro y su consecutiva mejora de calidad, el lean Manufacturing emplea herramientas o métodos como procesos a prueba de fallos (Poya – Yoke), tipos de producción pull (Kanban) o continuos análisis en la producción para la mejora constante (Kaizen), que se explicarán a continuación en más profundidad.

4.1 Poka-Yoke

El Poka – Yoke es un método de Lean Manufacturing inventado por Shiego Shingo en la década de los 60, quien también acuñó el término. El Poka – Yoke es cualquier método que ayuda a un operario a evitar (*yokeru*) errores (*poka*). Su objetivo es eliminar los defectos mediante la corrección, la prevención o simplemente la llamada de atención de errores humanos, mientras ocurren. Shingo desarrolla esta teoría como un componente de su sistema Zero Quality Control (ZQC) que pretende eliminar por completo los defectos en la producción. El nombre para la descripción del método inicial fue baka-yoke, que se traduce como “a prueba de idiotas” que posteriormente se cambió por el actual Poka – Yoke menos ofensivo.

El sistema trata de localizar los errores comunes como posiciones de uso, orden en un proceso, olvidos, malinterpretaciones de planos o instrucciones mediante la modificación o restricción de comportamientos. En un uso genérico del concepto, se aplica también a la previsión de errores en el día a día como puede ser por ejemplo en determinados modelos de coches que no permita que se arranque el coche sin pulsar e embrague para evitar posibles movimientos si hay una marcha metida u otro ejemplo puede ser el correcto enchufe de

distintos buses como puede ser el USB que solo permite una posición posible, la correcta.



Figura 12: Ejemplo de Poka – Yoke: Puerto USB

En el contexto de la fabricación y los procesos de producción, los errores de los operarios que se pretenden evitar son faltas en la fabricación como olvidarse una pieza en el montaje de un conjunto, equivocarse en el orden de las tareas de un proceso, ajustes de piezas erróneos, mala conexión de partes, etcétera.

El sistema Poka - Yoke está dentro del sistema ideado por Shingo ZQC que pretende alcanzar cero errores en la producción porque, aplicado correctamente, el sistema Poka - Yoke implica una inspección del 100% de la producción, integrando plenamente el paso ese paso final de la producción, dentro de todos los pasos previos. Así, si un sistema que avisa cuando falta una pieza de un conjunto durante el montaje permite al operario corregir ese error durante el montaje, se ha realizado la inspección de ese conjunto y corregido mucho antes del paso final de la producción. Es importante reseñar que el método Poka - Yoke no es infalible, pero si un paso correcto en la dirección de la meta de cero fallos. Entre las ventajas de este sistema se encuentran:

- La reducción considerable en los errores por los operarios que generan defectos en el producto final.

- Aumento de la calidad del producto y el proceso.
- Ahorro de tiempo en inspecciones
- Ganar en operaciones que añaden valor al producto en lugar de comprobaciones por operarios.
- Están diseñados para ser unos métodos simples y económicos.

4.2 Las 5S

El nombre 5s denomina a un conjunto de directrices para cambiar y organizar físicamente un área de trabajo y fomentar la adopción de hábitos favorables para el correcto funcionamiento ella. Su nombre viene de los cinco principios que la componen que en japonés empiezan con la letra S.



Figura 13: Las 5s (fuente epa.gov)

Estos cinco pilares de la organización fueron desarrollados por la compañía japonesa Toyota en la década de los 60 como medida para optimizar la producción, reducir los desperdicios y conseguir un lugar

de trabajo ordenado mediante el uso de ayudas visuales para llegar a resultados más estables.

El uso de las 5s en una fábrica debe resultar típicamente en el uso de códigos de colores para marcar almacenamiento u organización de herramientas, reducciones considerables de superficie utilizada para operaciones existentes o el uso de “kits” con las herramientas justas necesarias para la realización de una tarea.

En la actualidad son muchas las empresas que hacen uso de estas directrices llegando incluso a dar nombre a un smartphone desarrollado por la compañía Apple. A partir de los pilares de las 5S se han fundamentado posteriormente otras teorías muy utilizadas como el JIT, TPM o la Six Sigma.

Los cinco principios de la 5s son: separar, ordenar, limpiar, estandarizar y mantener.

- Separar: Del japonés Seiri (這個). En inglés también se traduce como clasificar. Este principio está enfocado a separar y eliminar elementos innecesarios del lugar de trabajo que no se necesitan para la producción actual. Un método visual efectivo para llevar a cabo este principio e identificar elementos innecesarios es el llamado “etiquetas rojas” mediante el cual se evalúa la necesidad de cada elemento en un área de trabajo y se decide qué hacer con él. Se sitúa una etiqueta roja en cada elemento de dudosa necesidad o que no están en correcto lugar o cantidad. Una vez identificados, los elementos con una etiqueta roja son movidos hasta un área donde serán tirados, reciclados, o reasignados a otro área. Esta identificación de los elementos no necesarios también permite identificar aquellos que están desgastados o en mal estado y necesitan recambio.

- Ordenar: Del japonés Seiton (項目). Este principio está enfocado a crear métodos de almacenaje eficientes y efectivos para encontrar y etiquetar de manera sencilla cada elemento de una zona de trabajo. Se encuentra en segundo lugar porque no se podría implementar sin antes haber realizado la tarea de separar los elementos inútiles. Se identificara cada elemento con un lugar determinado y se marcará la zona para ese elemento mediante etiqueta, rotulado o código de colores. El trabajo entonces será realizado con más sencillez. Entre las estrategias para implementar este principio de las 5s, se encuentran pintar el suelo, instalar mobiliario modular, la utilización de un sistema de etiquetas o el perfilado y rotulado de las zonas de almacenaje de cada elemento.
- Limpiar: Del japonés Seiso (是很). Una vez hemos eliminado el desorden y los elementos han sido organizados el paso siguiente es limpiar en profundidad la zona de trabajo. Una limpieza diaria y continuada es necesaria para mantener la mejora continua, para ello se eliminan las fuentes de suciedad siendo posible así que los operarios puedan reconocer fallos en máquinas más fácilmente, como por ejemplo vibraciones, fugas, rupturas o grietas, o desalineaciones en la maquinaria. Estos cambios además de orden general conllevan también seguridad reducción en los accidentes. Como criterios de suciedad que controlar se contemplaran tanto las fuentes de suciedad, como los lugares de difícil acceso, así como el material dañado o los remedios temporales utilizados durante largos periodos de tiempo. Como ventajas de este principio tiene una mejora en control de residuos, seguridad y accidentes, y una mejora en el mantenimiento.

- Estandarizar: Del japonés Seiketsu (無聊). Estandarizar es un principio que consiste en poner facilidades visuales para controlar y reconocer de un vistazo, situaciones irregulares o imperfecciones o defectos del área de trabajo. Algunas de las herramientas utilizadas para la estandarización pueden ser gráficos del ciclo del trabajo, señales visuales como por ejemplo signos, carteles, o pausas de cinco minutos. Se crean directrices para corregir lo reconocido como irregular y devolver a las maquinas a su configuración óptima. Estas instrucciones han de ser lo más simplificadas y rápidas de realizar posible.
- Mantener: Del japonés Shitsuke (他妈的). En ingles también se traduce como sostener. Es muchas veces una de los principios más difíciles de implementar, y consiste en convertir en habito la mantención de los procedimientos correctos adoptados. Este principio está enfocado en definir un nuevo estándar de organización del trabajo. Sin este pilar de las 5s, los otros cuatro no durarían demasiado tiempo. Entre las herramientas para la implementación de Mantener, se encuentra el uso de carteles, boletines informativos, uso de check-ins de equipo, evaluaciones de desempeño.



Figura 14: Formula 1: Uno de los cambios más rápidos de componentes.

La simplicidad conceptual de estas cinco fases permite que su aplicación a toda la compañía no se compleja ni que requiera una formación especial de los operarios, pero si necesita de una rigurosa metodología y esfuerzo continuado para su correcta aplicación.

4.3 SMED

Las siglas SMED significan Single Minute Exchange of Die que se traduce como “cambio de matriz en un minuto”, pero la traducción literal no refleja el concepto detrás de la metodología SMED. Con “matriz” o “troquel” que es el significado literal de “die” se quiere indicar cualquier tipo de herramienta. Con “un solo minuto” realmente quiere indicar tiempos de un solo dígito, esto es, tiempos menores a diez minutos. Por tanto el título de esta metodología realmente quiere hacer referencia a “Cambios de herramienta en tiempos inferiores a 10 minutos”. En conexión con SMED existe también la filosofía llamada OMED que es igual pero con tiempos de cambio de herramienta inferiores a 100 segundos, que es más difícil de alcanzar. La técnica SMED nació en la década de los 60 cuando nuevamente el ingeniero Shigeo Shingo examinaba los cuellos de botella producidos en las líneas

de montaje de Toyota. Estos cuellos de botella se producían por unos cambios de herramienta demasiado lentos que hacían que los cambios de línea fueran demasiado largos lo que aumentaba considerablemente los precios de los productos.

Lo que se pretende con esta filosofía es reducir tanto el tiempo real de cambio de herramienta o de configuración de la máquina, como el tiempo que existe entre las piezas última y primera de dos series distintas. Para llegar a este tipo de reducciones en los tiempos se ha primero de diferenciar entre dos tipos de ajustes:

Los ajustes de la máquina o de los tiempos internos: Son aquellos tiempos que corresponden a la máquina parada, esto es, ajustes realizables fuera de las horas de producción. En inglés se llaman IED.

Los ajustes de la máquina o de los tiempos externos: Son los tiempos que corresponden a la máquina en funcionamiento, es decir aquellos ajustes que se pueden realizar mientras la máquina realiza operaciones, en inglés se llaman OED.

En la fabricación tradicional, no existe una distinción correcta entre los tiempos internos y los tiempos externos, se hayan mezclados en el proceso de tal manera que los ajustes que podrían realizarse externos se realizan internos, para solventar éste problema, la primera fase de la metodología SMED es la identificación y correcta separación de los tiempos en interno y externo. Para ello se observaron las operaciones a realizar, como la preparación de la máquina, la limpieza y orden del puesto de trabajo, la regulación del equipo, el ajuste de la máquina y sus patrones, la realización de la operación, o la verificación y aprobación del producto. Para la correcta definición de las acciones se útil ayudarse de un cronometro o cámaras de video para el posterior análisis.

Después de la diferenciación entre las actividades internas y externas del proceso, se pasa a la segunda fase que es la transformación de los ajustes internos en externos. El objetivo es cambiar las tareas que se realizan con la maquina parada, a tareas que realizan con la maquina en marcha, como verificación de cantidad de producto, ajuste de color de la pintura, o preparación de siguientes pasos del proceso.

Para llevar acabo dicho objetivo se ha de analizar un número superior a diez lotes de producción, y proceder al análisis de los mismos. En la aplicación del SMED se ha de pasar por las siguientes fases:

Fijar el objetivo: El objetivo de una reducción de tiempos conlleva también una mejora en otras áreas como es la calidad de los productos, la simplificación de las tareas a desarrollar o la reducción del stock. Para conseguir esta mejora de productividad el objetivo ha de ser ambicioso y general.

- Observación, medida e identificación de las necesidades del proceso.
- Preparación de los medios para llevar a cabo la transformación de las tareas.
- Análisis de la situación del proceso.
- Proposición de medida inicial para la situación de partida, posterior estudio de esta proposición y su viabilidad.
- Implantación de las medidas estudiadas.
- Documentación de dichas medidas y análisis de la nueva situación del proceso para comprobar las mejoras supuestas.

- Seguimiento de estas medidas y su progresión en el futuro.

4.4 Kanban

El Kanban significa literalmente signo o tarjeta, es un método dentro de la mentalidad Lean y JIT que se ocupa de regular la cadena logística desde un punto de vista de la producción y también es un sistema de control de inventario. Fue desarrollado por Taiichi Ohno, ingeniero de Toyota en la década de los 40, como un sistema de mejora y mantenimiento de una producción con nivel alto de calidad. Kanban es un sistema de “pull” de la producción, es decir, un sistema basado en la satisfacción de la demanda en vez de fabricar para almacenar. Sigue unos principios o guías básicas de aplicación:

- Ningún producto o material será producido durante ninguna fase del proceso, si éste no es necesitado en la fase siguiente. Este principio asegura una acumulación mínima de inventario innecesario.
- El producto fabricado no es trasladado a la siguiente fase si no es necesitado en ésta. Esto evita la sobrecarga de las fases receptoras, evita también pedir más productos de los necesarios y además proporciona un ahorro en el transporte.
- Todo producto fabricado es una inversión tanto de dinero como de tiempo por tanto se evitara su almacenaje durante largos periodos de tiempo sin usarse, lo que puede llevar a una pérdida en calidad.
- Cada fase en la producción tiene una cantidad limitada de almacenaje por tanto solo se podrá fabricar más productos si se consumen o envían los ya fabricados. Esta norma obliga a los

centros de producción a fabricar solo el material necesario y una vez alcanzado ese límite de almacenaje se detiene la producción en ese centro.

La aplicación de estos principios lleva a la formación de una serie de normas que hay que cumplir para la correcta aplicación del Kanban. El uso de tarjetas identificativas para cada acción producto o fase es necesario también. Las normas del método Kanban son:

- Nunca construir más del límite marcado por la Kanban.
- Ningún material es trasladado sin Kanban.
- Nunca dejar pasar un defecto.
- Criterio FIFO.
- El cliente tira (sistema “pull”) del material desde el proveedor.
- Solo material activo en el centro de trabajo (material usado o que será usado).
- Organización del lugar de trabajo.
- Reducir Kanban para definir las limitaciones (una vez implantado el sistema).

Your Logo Here		Kanban Replenishment Card	
Part Number:		Description	
Part Number		Description	
Order Qty	U/M	Card 1 of	Container
is Per. Cont	of Mea	Card 1 of	Container
Pull From:		Supplier:	
Pull From		Supplier	
Pull To:		Consuming Operation	
Shelf Location		Consuming Operation	
			
		Card ID	Tracking #

Figura 15: Ejemplo de tarjeta Kanban

Las tarjetas o Kanban de cada producto han de incluir información sobre el proceso de fabricación del mismo como los procesos que forman parte de ella, el embalaje del producto, la ubicación de su almacenamiento final o el cliente final al que va dirigido.

4.5 Kaizen

Kaizen es una palabra china y japonesa que significa literalmente “cambio a mejor” y hace referencia al concepto de que un proceso o manera de realizar algo puede realizarse mejor siempre, que hay hueco para la mejora constante.

Su desarrollo se produjo durante la década de los 50 en Japón por el doctor ingeniero Edwards Deming, quien después fue galardonado con la Medalla de los Tesoros Sagrados 2º Orden por la introducción e implementación del Kaizen en Japón.

El punto de partida del Kaizen es que toda empresa tiene fallos en sus procesos internos, para identificarlos y solucionarlos es necesaria la introducción de una cultura general corporativa cuya atención se dirija

al proceso y no a los resultados como es tradicional. La meta del Kaizen es una mejora sistemática en la cual toda la organización esté involucrada y que sea capaz de identificar oportunidades de mejora y de solucionar problemas. Hace que todos los miembros del personal estén enfocados a la búsqueda de mejora en todos los aspectos del trabajo, para alcanzar niveles de productividad más altos y mejores estándares de calidad. Hay ciertas características que definen este método como pueden ser: la eliminación de tareas que no aportan valor al producto final, la necesidad de un equipo con varias funciones y enfocado a varias zonas de trabajo, la realización de un profundo análisis de las fases de producción, y la facilidad de este método para soportar la implementación de otros dentro del Lean Manufacturing.



Figura 16: Fases del Kaizen

Es importante a la hora de la definición de esta filosofía la distinción entre el Kaizen formal y el informal. El primero se refiere a su aplicación de manera detallada y concienzudamente planeada para buscar la mejora. Se realizan análisis de la actividad previa y se hacen hipótesis sobre la magnitud de los cambios que posteriormente se medirán. El Kaizen informal es el mismo concepto aplicado mediante la

creatividad, el sentido común, y con soluciones más inmediatas. No existe ni planeación ni mediciones para determinar la profundidad de los cambios. Mucho menos costosa.

Entre los objetivos del Kaizen se encuentran:

- Una mejora constante y ordenada.
- La realización de cambios con repercusiones significativas y de bajo coste para la empresa.
- La reducción en el coste a través de la eliminación de desperdicios en la fabricación
- Y una constante generación de ideas para ver su viabilidad.

4.6 Ergonomía

La ergonomía es la ciencia enfocada a estudiar y analizar las interacciones de los seres humanos con uno o varios elementos de un sistema, y a la profesión que emplea datos, teoría y principios en el diseño, para optimizar el bien estar del ser humano y en general la realización de la acción del sistema. La fundación de esta ciencia se cree estar basada en la antigua Grecia, donde un buen ejemplo es la descripción de Hipócrates de cómo deben estar diseñadas las herramientas de un cirujano y su espacio de trabajo. La etimología de la palabra proviene del griego “ergon” que significa “trabajo” y “nomos” que significa “ley” esto es, la ciencia del trabajo.

Los factores a los que se refiere la ergonomía como norma general, son el hombre, las máquinas y el ambiente y según su dominio, la ergonomía se diferencia entre cognitiva, que trata temas como la toma de decisiones, la carga de trabajo mental, la interacción humano-

computadora o el estrés laboral y tiene mucho que ver con la psicología. La segunda categoría según su dominio, es ergonomía física que se preocupa de las características anatómicas, antropométricas, fisiológicas y biomecánicas del usuario, en tanto que se relacionan con la actividad física y sus temas más relevantes incluyen posturas de trabajo, sobreesfuerzo, manejo manual de materiales, movimientos repetitivos o lesiones músculo-tendinosas (LMT) de origen laboral. Y la tercera es ergonomía organizacional que se preocupa por la optimización de sistemas socio-técnicos, incluyendo sus estructuras organizacionales, las políticas y los procesos.

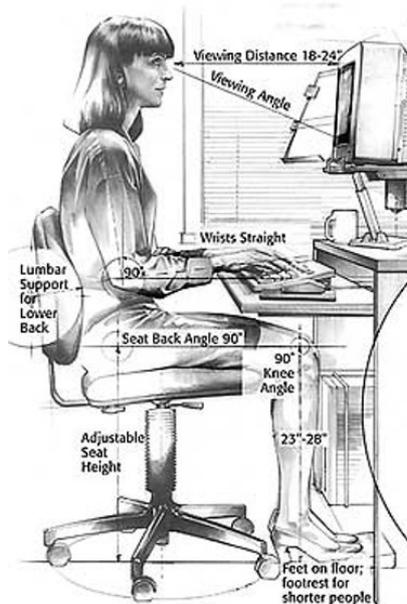


Figura 17: Ejemplo de ergonomía en el lugar de trabajo

La ergonomía se basa en el axioma de que las personas son más importantes que los objetos, por tanto su objetivo es diseñar los productos y los trabajos de manera de adaptar estos a las capacidades necesidades y limitaciones de las personas, y no hacer que la persona se tenga que adecuar a un trabajo.

Su aplicación más frecuente ha sido en los puestos de trabajo, especialmente en los puestos de oficina, donde se cuidan los detalles

como la distancia de la pantalla al ojo, el ángulo de la espalda o de los brazos, la iluminación de la habitación, para evitar las lesiones derivadas de largos periodos de trabajo en una postura dañina para el cuerpo. Entre las ventajas de la ergonomía se encuentran:

- Disminución de riesgo de lesiones.
- Disminución de errores.
- Disminución de días de trabajo perdidos.
- Disminución de ausentismo Laboral.
- Disminución de los tiempos de ciclo.
- Aumento de la tasa de producción.
- Aumento de la eficiencia.
- Aumento de la productividad.

Aumento de los estándares de producción.

5. Implantación del Lean Manufacturing

Como ya se ha explicado anteriormente, el objetivo de la implantación del Lean Manufacturing es siempre optimizar al máximo el proceso de montaje para obtener tanto menores tiempos, que implican menores costes, como una mejora constante en el entorno de trabajo. En este apartado se explicará que principios del Lean se aplicarán en este proyecto, de qué manera se implantarán, porque razones y que consecuencias traerá esta implantación. Las herramientas a implantar

serán las explicadas en el anterior apartado, con un estudio un poco más profundo en la ergonomía del banco de montaje.

Poka-Yoke:

El Poka-Yoke se implantará en este proyecto en la utilización de unos contenedores de piezas en los cuales haya una pequeña bandeja hacia el operario, dividida en tantos compartimentos como número de esa determinada pieza tenga el motor en cuestión. De esa manera, el operario siempre antes de comenzar el montaje, ha de sacar y colocar en estas bandejas el número de piezas que necesitara en el futuro, y al finalizar el montaje, sabrá si le ha faltado poner alguna pieza de un vistazo. También se proporcionará fichas técnicas, diagramas de montaje e instrucciones con fotos, para facilitar el montaje o resolver dudas.

5S:

El principio de las 5S se aplicara de manera generalizada a todo el banco y el proceso de montaje. Se mantendrá un puesto de trabajo limpio y ordenado, en el que se intenta no tener nunca desperdicios para mantener un espacio de trabajo acorde con las 5S. Este principio también incluye la mantención de este modo de operar, a lo largo del tiempo.

SMED:

Todo el diseño de la mesa ha estado enfocado nuevamente a disminuir el cambio entre piezas, haciendo las herramientas más accesibles a la mano, al igual que las piezas. Esto consigue un tiempo menor entre fases del montaje y un tiempo menor general.

Kanban:

El principio Kanban, está aplicado en diseño de este banco en lo que compete a la producción total del pedido en cuestión. Se utilizarán señales para indicar que se necesita más piezas o material de cualquier tipo, y todos los montajes de cada motor llevarán una hoja con las especificaciones de montaje, origen, destino y cliente final.

Kaizen:

El kaizen aportado a este proyecto se trata de un kaizen informal, una mentalidad de trabajo en la que se ha reducido todo trabajo innecesario, y el operario tiene vía libre para mejorar el proceso de montaje de la manera que él crea sea positiva para la producción.

5.1 Estudio de ergonomía

El primer acercamiento al diseño de la mesa contemplaba el clásico escritorio cuadrado. Este diseño tradicional presenta grandes ventajas como la fácil fabricación y definición, pero no es una mesa tan flexible y orientada a la ergonomía como otros diseños.

Partiendo del catálogo de ITEM 24 del cual se hará el pedido final, se eligió un tipo de mesa con las cualidades necesarias para el montaje como pueden ser la altura de la mesa, la superficie, o el peso que aguanta. Con ese diseño de partida se formó una proposición para el banco de montaje que se verá más adelante. Aquí se explicará la propuesta desde el punto de vista de la ergonomía.

La mesa de la siguiente figura se trata del modelo obtenido de la empresa ITEM 24, la configuración se hizo según las necesidades del montaje del motor, como por ejemplo el número de cajas para piezas, los paneles frontales para poner instrucciones o la luz cenital. Con ese modelo se hizo el estudio de ergonomía.

La mesa como se puede comprobar es cuadrada. Después de consultar manuales de ergonomía, mediante las medidas obtenidas de esos manuales se diseñó la proposición de diseño.

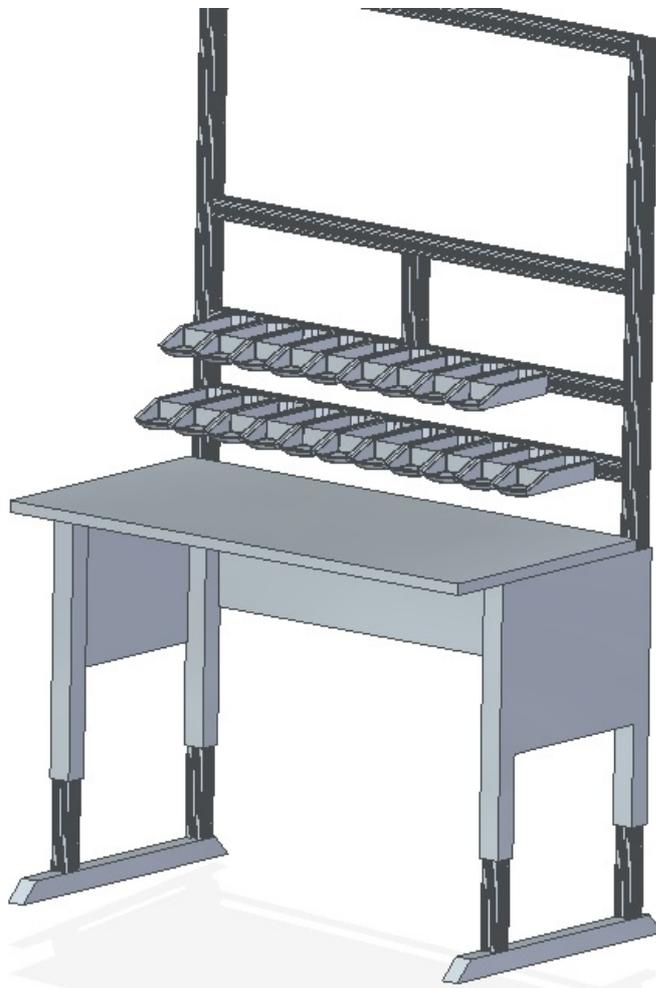


Figura 18: Mesa diseñada con el catalogo ITEM 24

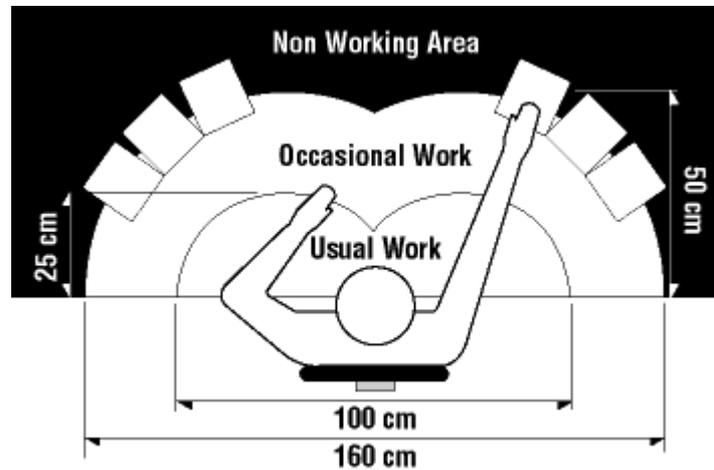


Figura 19: Ergonomía y las zonas de trabajo normal y ocasional.

Esa foto junto con estas de áreas de trabajo horizontal y vertical:

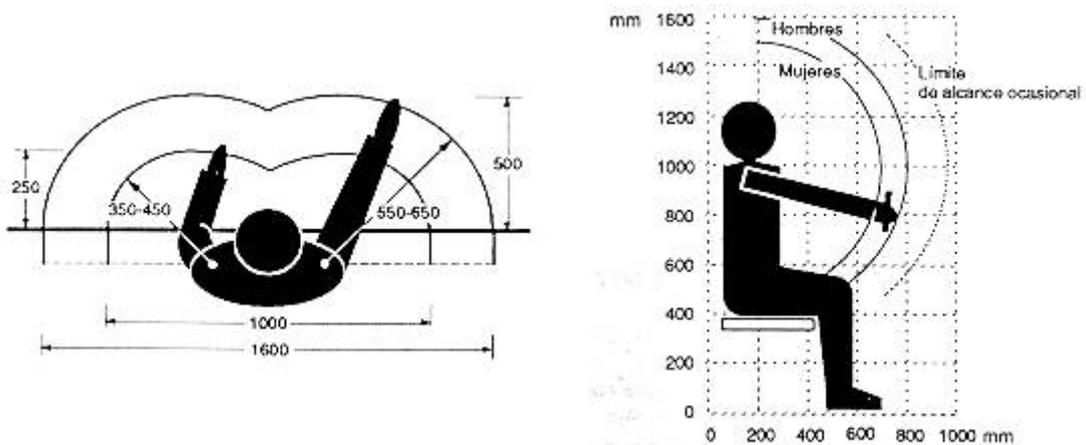


Figura 20: Ergonomías horizontal y vertical

Llevan al análisis del área utilizada en la mesa cuadrada. Con ayuda de Solid Edge se haya primero el área de la mesa cuadrada.

Después se modela una aproximación del cuerpo del operario sentado en la mesa y se trazan esferas desde su hombro y su codo para hallar el área de contacto con la mesa y saber el área de trabajo usual y ocasional.

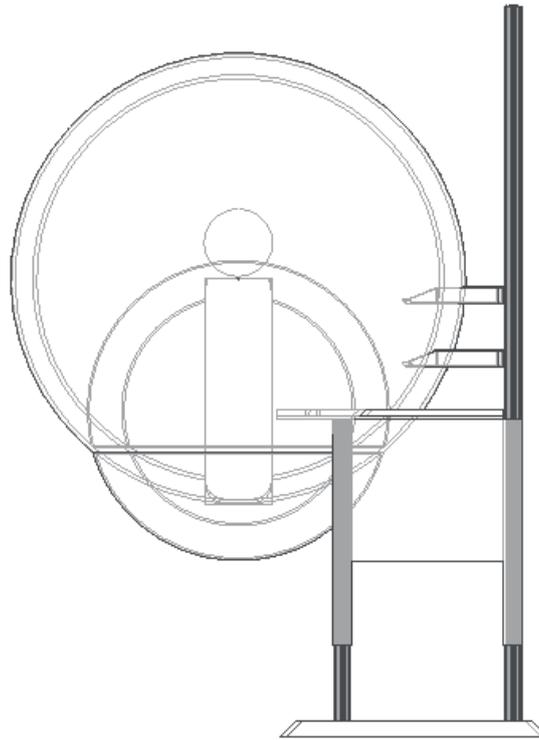


Figura 21: Vista lateral de la mesa tradicional y las esferas de trabajo.

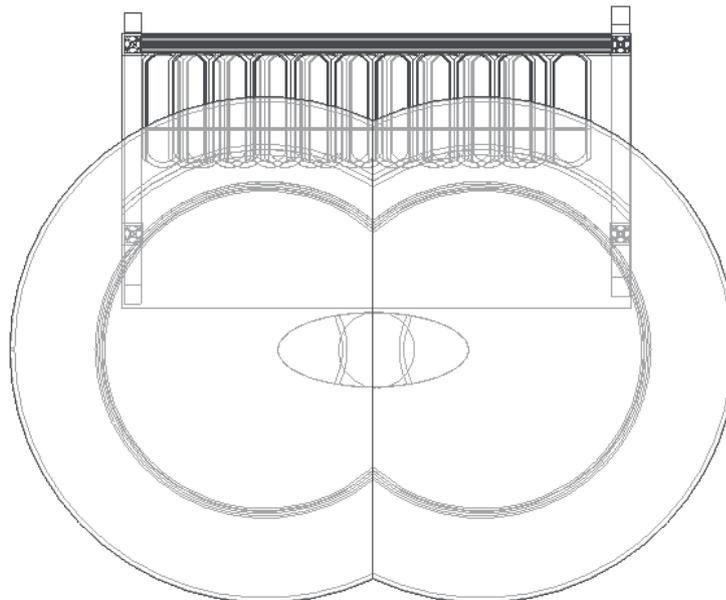


Figura 22: Vista cenital de la mesa tradicional y las esferas de trabajo.

Después de comprobar la intersección entre las esferas y la mesa y ver como de cerca tiene el operario los cajones y las herramientas, se pasó a un análisis numérico de áreas, para poder poner un valor a la mejora del diseño. Para ello se utilizó la función de Solid Edge “Preguntar por el elemento” la cual da valores de distancias y áreas del elemento seleccionado. Así se trazó el área de la mesa cuadrada primero (que

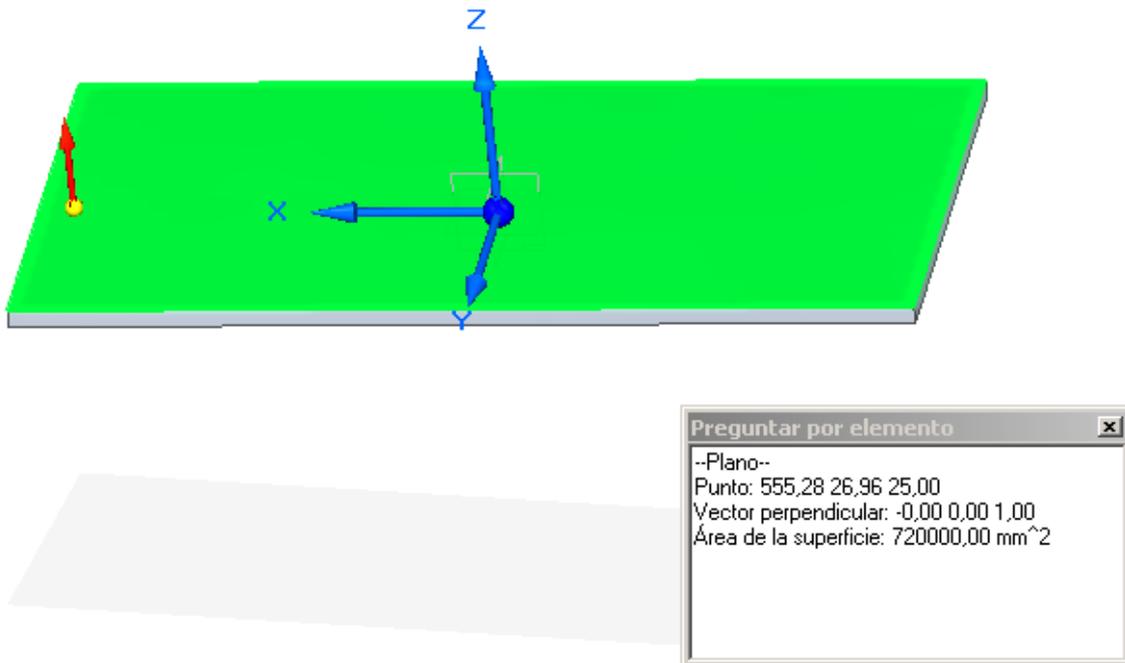


Figura 23: Área mesa cuadrada.

tiene fácil comprobación, para ver si el comando está dando el área correcta). Se obtuvo la siguiente imagen:

Después se colocó al modelo de operario y se comprobó la intersección de las esferas de trabajo con la mesa. Se utilizó de nuevo el comando preguntar el elemento y se obtuvo la siguiente imagen:

Figura β: Cálculo de área de trabajo.

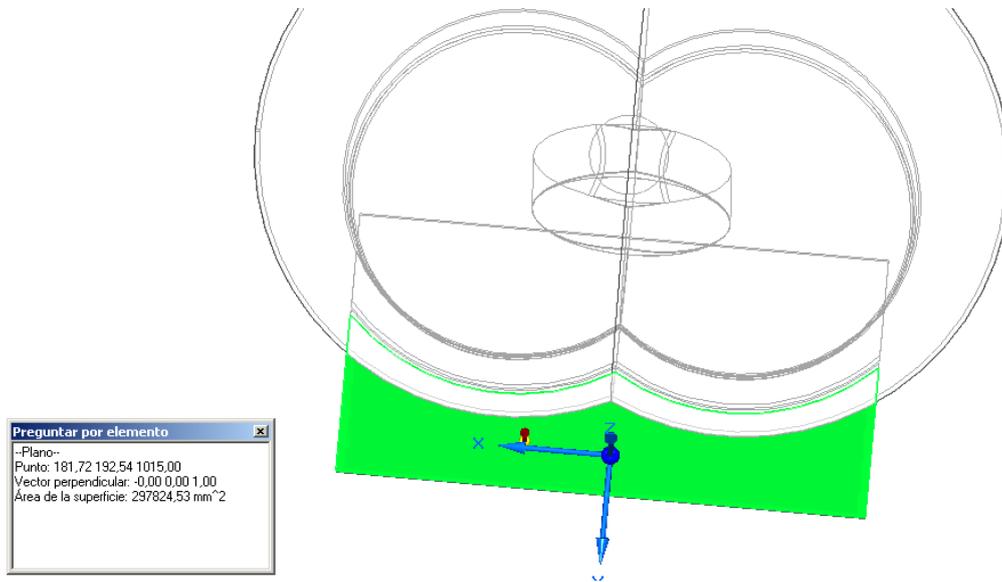


Figura 24: Cálculo del área de trabajo nueva

Haciendo la resta entre esos dos valores obtenidos (Solid Edge da el valor de la superficie de la mesa *fuera* de las esferas, el área señalada en verde) obtenemos el valor del área de trabajo ocasional en la mesa tradicional. Por tanto el área de la mesa tradicional obtenida será:

$$A_t = 720000 - 297824,53 = 422175,74 \text{ mm}^2$$

Con estos resultados en mente y observando que el diseño cuadrado de la mesa no saca todo el partido posible a estas esferas de trabajo óptimo, se pasó a modificar el banco de montaje, tanto la mesa como los cajones superiores, para buscar un mayor uso de esas áreas, y así conseguir un montaje más cómodo.

La propuesta de diseño de la mesa del banco de trabajo es la siguiente:

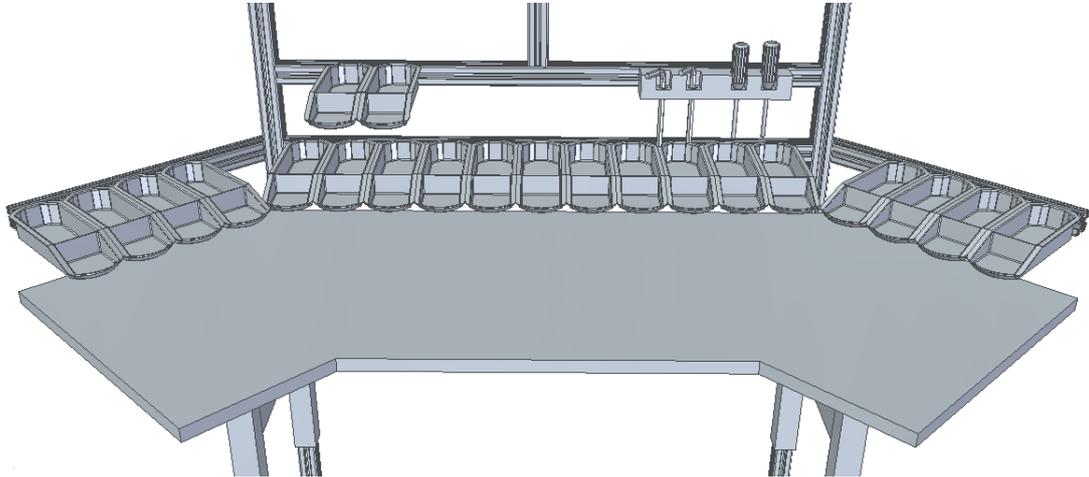


Figura 25: Propuesta de la mesa banco de trabajo

Como se puede comprobar es un diseño que trata de optimizar las esferas de trabajo sin olvidar los criterios implantados de Lean Manufacturing como son el orden y limpieza, o el uso de tarjetas y códigos de colores. Estos detalles se verán más adelante en los criterios y propuesta de diseño.

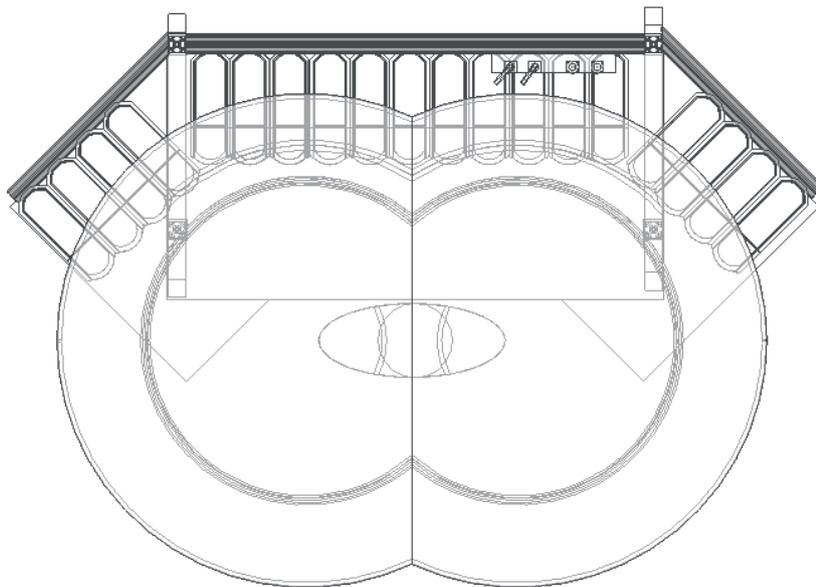


Figura 26: Vista cenital de la mesa propuesta de diseño.

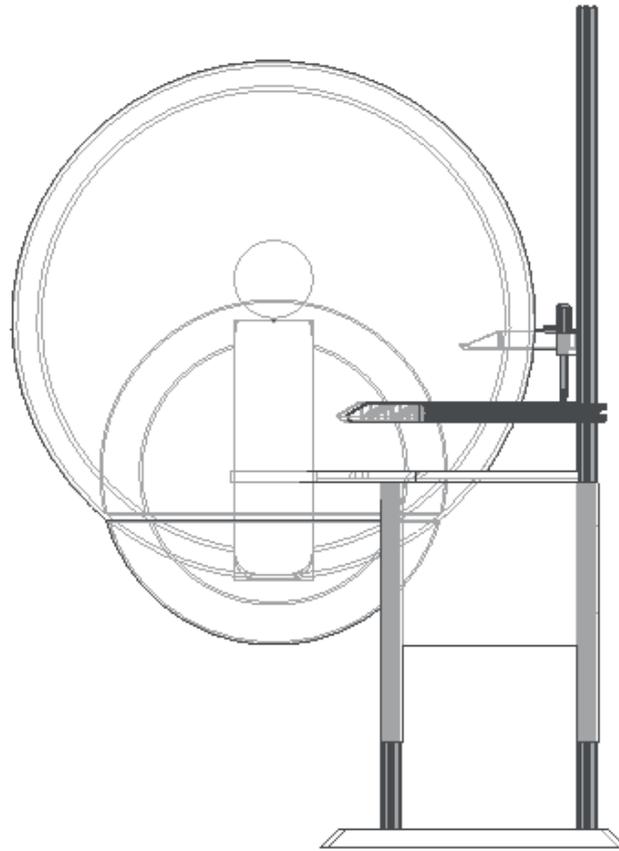


Figura 27: Vista lateral de la mesa propuesta.

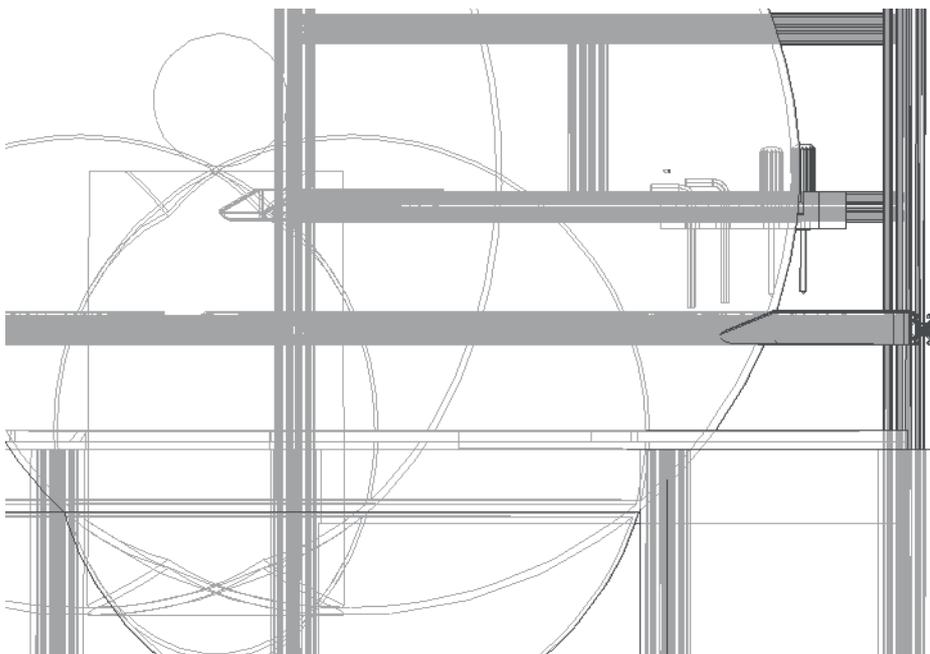


Figura 28: Vista oblicua de la mesa propuesta.

Ahora se procede, al igual que con el diseño tradicional de la mesa, al análisis de la superficie de la mesa surgida de la intersección de la mesa con las esferas de trabajo.

Primero, se aísla el elemento de la mesa y se utiliza el comando preguntar elemento, igual que se ha hecho previamente.

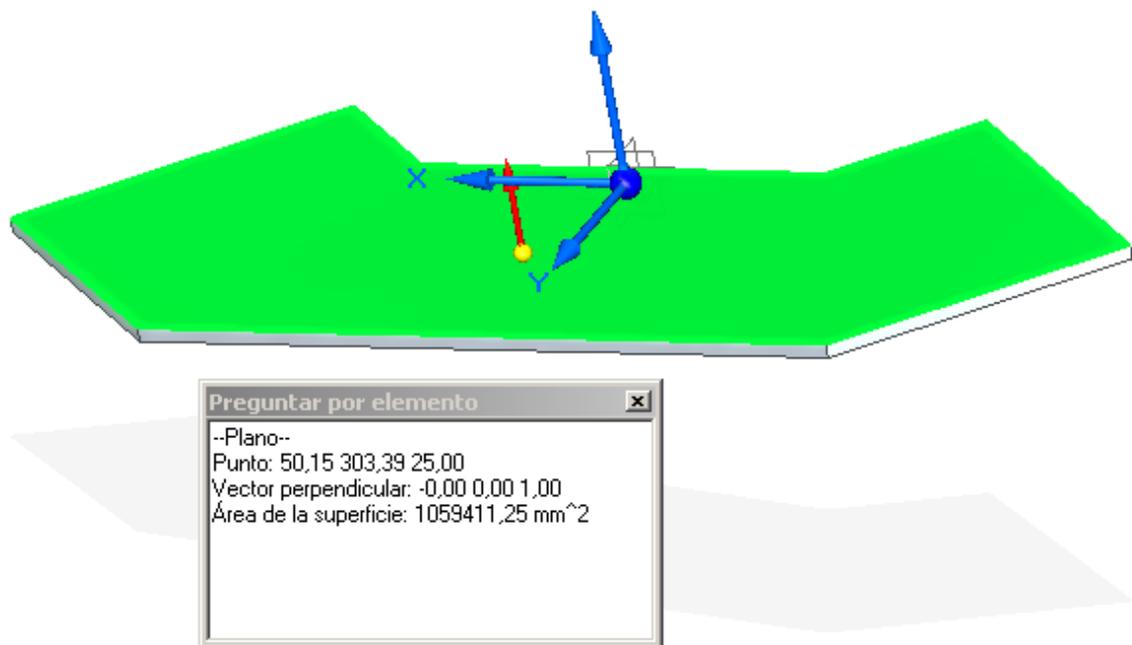


Figura 29: Área de la mesa propuesta.

Como se puede comprobar, el área es lógicamente mucho mayor, pero eso no quiere decir que vaya a haber más utilización de esa área. Para comprobar esto último añadimos el modelo simplificado del operario y vemos la intersección de las áreas de su trabajo cómodo con la nueva mesa.

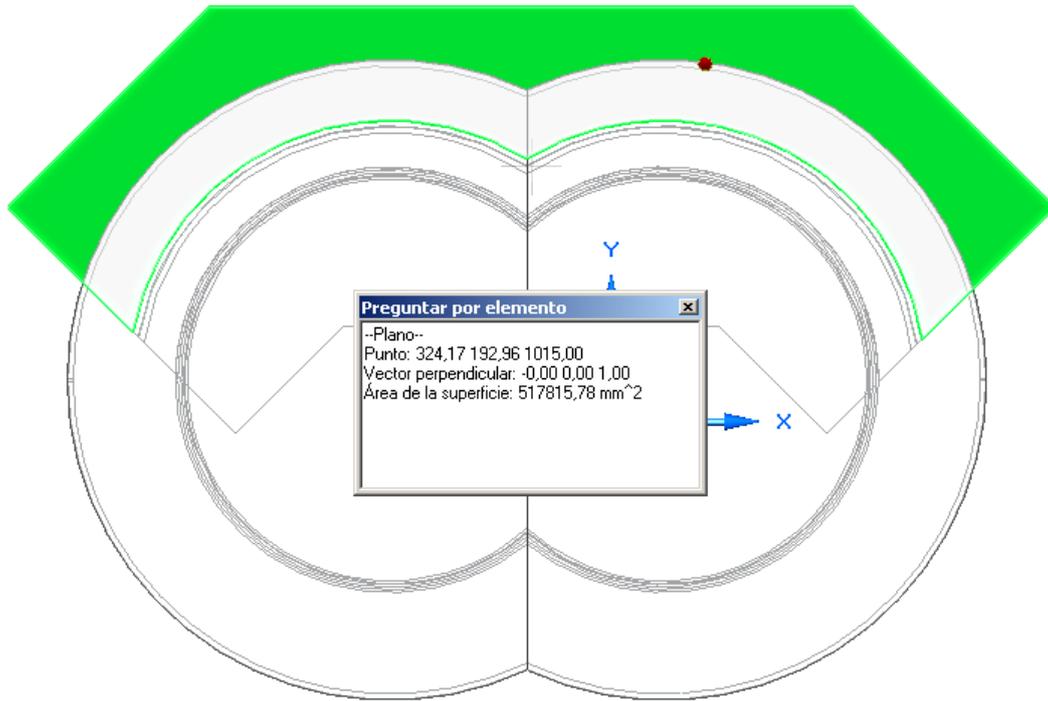


Figura 30: Cálculo del área de trabajo.

Al igual que en el cálculo previo, obtenemos del comando de Solid Edge, el área negativa, el área de la intersección situada fuera de las esferas.

Para el cálculo del nuevo área se deben restar el valor total obtenido anteriormente con este nuevo valor. Por tanto el área de la mesa propuesta será:

$$A_p = 1059411,25 - 517815,78 = 541595,47 \text{ mm}^2$$

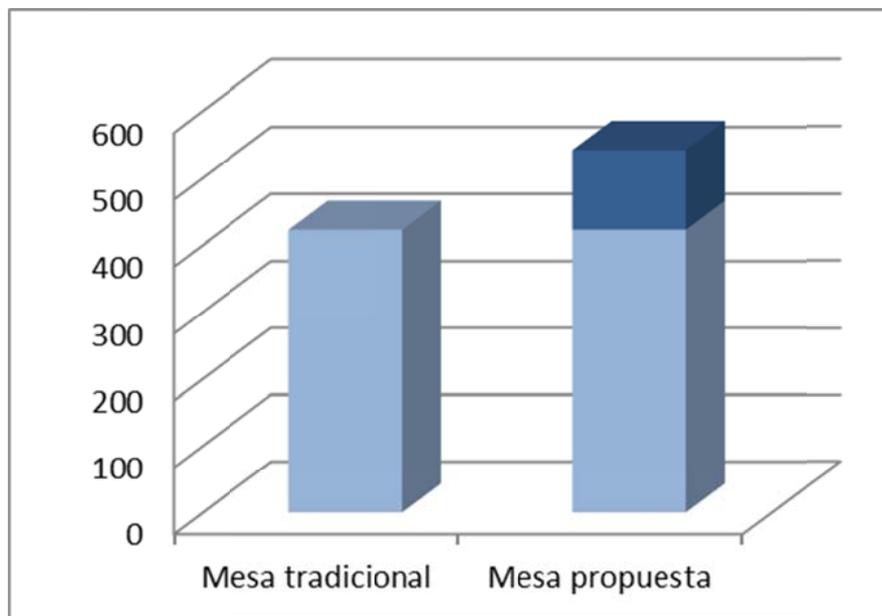
Para ver una obtener una representación más correcta de las diferencias y variaciones obtenidas con los cambios hechos se ha realizado una tabla para poder ver gráficamente la diferencia:

	Area mesa 1 total	Area mesa 1 negativa	Area utilizada mesa 1
[mm ²]	720000	297824,53	422175,47

	Area mesa 2 total	Area mesa 2 negativa	Area utilizada mesa 2
[mm ²]	1059411,25	517815,78	541595,47

Tabla 12: Medidas de área

Y en el gráfico de barras puede apreciarse la ganancia de casi un 30% en el área usada.



6. Resultados

En este apartado se analizarán tanto el diseño propuesto comentado antes como el diseño finalmente escogido, las diferencias y las consecuencias de su aplicación.

6.1 Criterios de diseño del puesto de montaje.

Los criterios para este puesto de montaje son los comentados anteriormente en la implantación del Lean Manufacturing. Todos los conceptos explicados en los apartados anteriores serán implantados en la propuesta de este banco, pero se hace un especial hincapié en la ergonomía del banco.

A continuación se verán y analizarán estos criterios en la propuesta de diseño.

6.2 Propuesta de diseño.

La mesa propuesta es la siguiente:

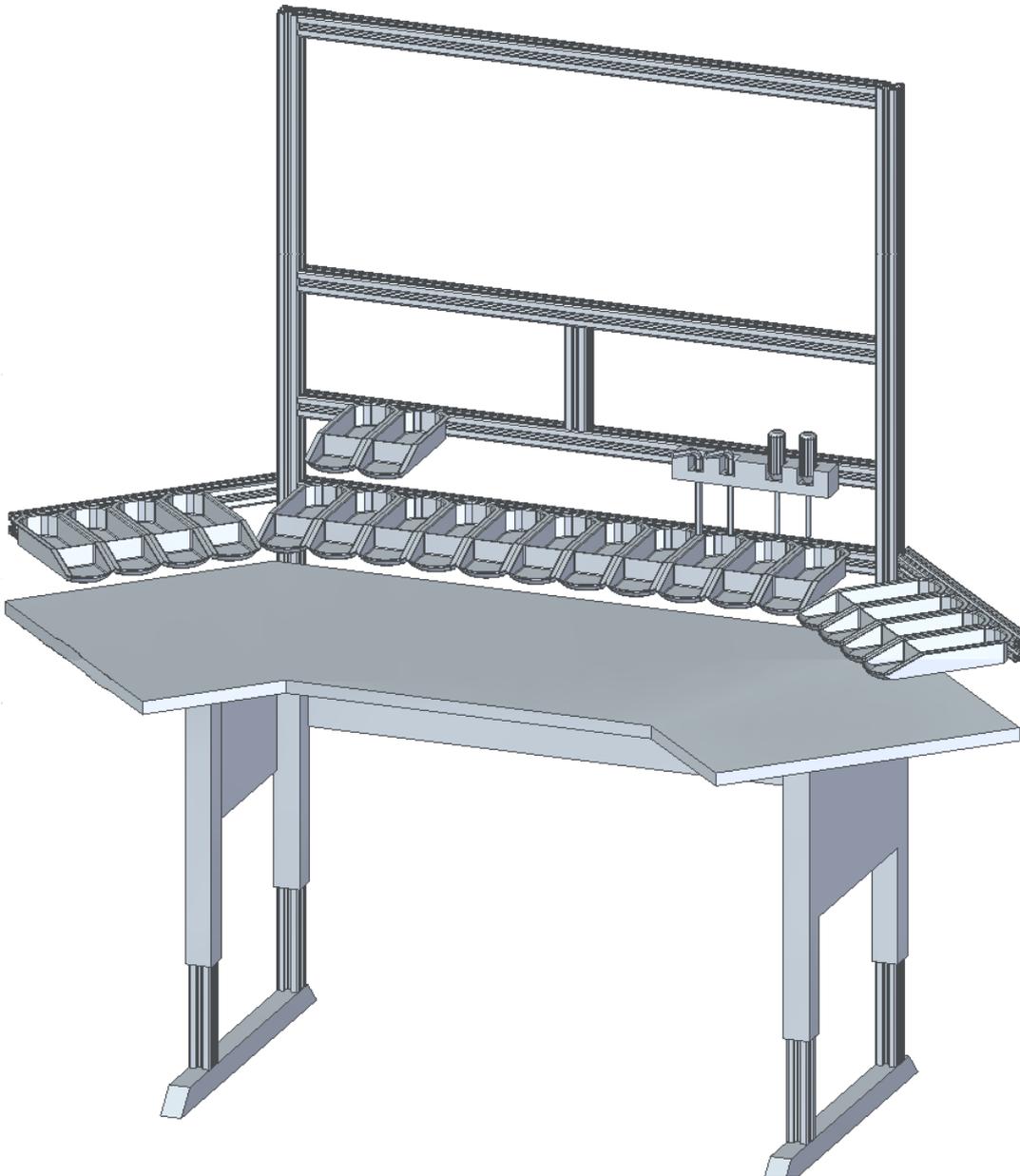


Figura 31: Mesa propuesta

Como se puede ver, existen grandes diferencias con respecto a la mesa diseñada basada tan solo en el catalogo de ITEM 24, que ya ofrecía claras mejoras respecto al montaje tradicional.

En este diseño, se ha ganado en ergonomía, tanto en la mesa (un 30%) como en los contenedores de piezas, que distribuidos de la misma manera de la mesa, ofrecen mayor visibilidad, y mucho más orden con respecto a las dos filas de contenedores. Los principios que se han aplicado ahí son por tanto las 5S, que implican orden y limpieza.

El SMED se ha aplicado a poner cerca del alcance de la mano las herraminetas que se van a utilizar, facilitando así un cambio rápido entre ellas.

El principio del Poka-Yoke ha aplicado en los contenedores de piezas, en sus separadores que permitan identificar un montaje incorrecto.

La mesa es regulable en altura, pudiéndose adaptar a la estatura del operario que monte en ella, esto nuevamente es un componente añadido de ergonomía que facilitará la adaptación del banco a distintos operarios.

En los paneles superiores se mostrarán planos de montaje del motor con ayudas visuales que solucionarán cualquier duda sobre el montaje y advertirán de errores comunes.

6.3 Proceso de montaje con criterios Lean.

Después de la implantación de este banco, se dará a los operarios una formación sobre el lean manufacturing y los principios implantados en este banco. Se enseñarán los nuevos criterios de montaje, los métodos de detección de errores, las ventajas de este sistema para el montaje. Y la mentalidad general que rodea al lean manufacturing de mejora constante y la apertura a nuevas ideas por parte de los operarios que puedan mejorar el montaje.

6.4 Medida de tiempos de montaje resultantes.

Para la nueva medida de tiempos, se ha montado en el laboratorio de fabricación de ICAI, un puesto de trabajo aproximado al propuesto anteriormente.



Figura 32: Puesto montado

Como se puede apreciar en la foto, el puesto de trabajo montado, no es exactamente igual que el diseño propuesto, y esto se debe a la disponibilidad en el laboratorio de cajas pequeñas para los contenedores, pero con el montaje efectuado, se pudo simular con bastante precisión.

Para las medidas de tiempos se mostrara primero una tabla con todas las medidas tomadas, nuevamente diferenciadas por los distintos ritmos de trabajo. En dicha tabla se verán las medias por ritmos así como la media total.

Después se visualizarán las tablas y diagramas de barras divididos por ritmo de trabajo para apreciar correctamente la diferencia de tiempos con los del montaje tradicional.

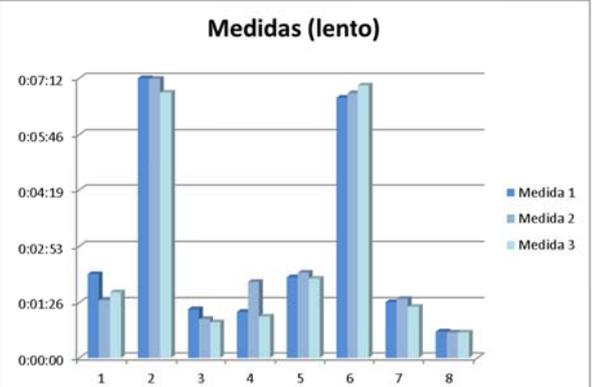
Por último estos tiempos se corregirán con los coeficientes por ritmo igual que se ha hecho con la tabla anterior. Se mostrarán las tablas de corrección y las medias finales.

			Medidas			Media por ritmo	Media total
			1	2	3		
1	Atornillar patas	Lento	01:20	01:35	01:21	01:25	01:01
		Medio	00:41	01:03	01:01	00:55	
		Rapido	00:40	00:41	00:45	00:42	
2	Montar y atornillar eje, tapas exteriores (8 tornillos, ventilador y arandela)	Lento	06:42	06:11	06:05	06:19	05:13
		Medio	05:08	05:03	04:47	04:59	
		Rapido	04:25	04:23	04:10	04:19	
3	Ensamblar ventilador	Lento	00:46	01:02	00:44	00:51	00:32
		Medio	00:25	00:21	00:31	00:26	
		Rapido	00:23	00:21	00:15	00:20	
4	Atornillar tapa de ventilador	Lento	01:02	00:57	01:09	01:03	00:50
		Medio	00:41	01:01	00:49	00:50	
		Rapido	00:31	00:38	00:39	00:36	
5	Atornillar caja al cuerpo (4 tornillos y el cable amarillo)	Lento	01:35	01:42	01:23	01:33	01:17
		Medio	01:17	01:15	01:20	01:17	
		Rapido	00:58	01:02	01:05	01:02	
6	Montar y atornillar todos los bornes	Lento	06:16	06:21	05:59	06:12	05:43
		Medio	05:55	05:42	05:31	05:43	
		Rapido	05:12	05:21	05:11	05:15	
7	Atornillar tapa de la caja de bornes (4 tornillos)	Lento	01:12	01:09	01:25	01:15	00:52
		Medio	00:46	00:43	00:52	00:47	
		Rapido	00:39	00:31	00:30	00:33	
8	Atornillar placa de características	Lento	00:39	00:41	00:43	00:41	00:31
		Medio	00:26	00:31	00:30	00:29	
		Rapido	00:28	00:20	00:24	00:24	
						15:59	

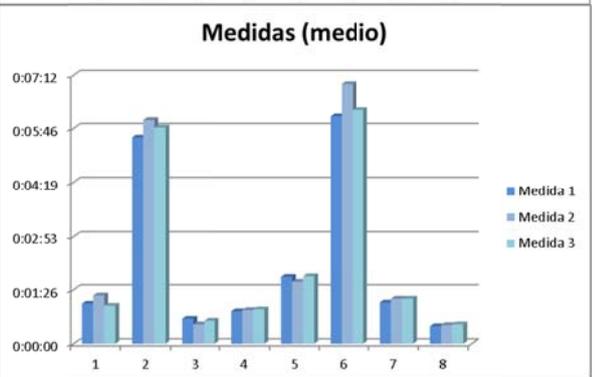
Tabla 13: Tabla de tiempos nuevos

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BANCO FLEXIBLE DE TRABAJO MEDIANTE
METODOLOGÍAS LEAN MANUFACTURING**

Lento					
Op.	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio	Acumulado
1	01:20	01:35	01:21	01:25	01:47
2	06:42	06:11	06:05	06:19	08:07
3	00:46	01:02	00:44	00:51	08:57
4	01:02	00:57	01:09	01:03	10:00
5	01:35	01:42	01:23	01:33	11:33
6	06:16	06:21	05:59	06:12	17:45
7	01:12	01:09	01:25	01:15	19:01
8	00:39	00:41	00:43	00:41	19:42
Total	19:32	19:38	18:49	19:20	



Medio					
Op.	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio	Acumulado
1	00:41	01:03	01:01	00:55	00:55
2	05:08	05:03	04:47	04:59	05:54
3	00:25	00:21	00:31	00:26	06:20
4	00:41	01:01	00:49	00:50	07:10
5	01:17	01:15	01:20	01:17	08:28
6	05:55	05:42	05:31	05:43	14:10
7	00:46	00:43	00:52	00:47	14:57
8	00:26	00:31	00:30	00:29	15:26
Total	15:19	15:39	15:21	15:26	



Rápido					
Op.	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio	Acumulado
1	00:40	00:41	00:45	00:42	00:42
2	04:25	04:23	04:10	04:19	05:01
3	00:23	00:21	00:15	00:20	05:21
4	00:31	00:38	00:39	00:36	05:57
5	00:58	01:02	01:05	01:02	06:59
6	05:12	05:21	05:11	05:15	12:13
7	00:39	00:31	00:30	00:33	12:47
8	00:28	00:20	00:24	00:24	13:11
Total	13:16	13:17	12:59	13:11	

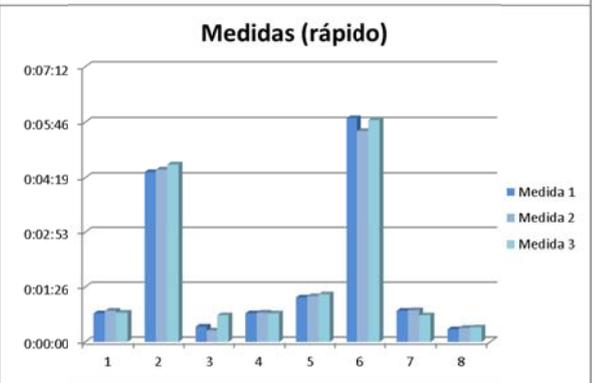


Tabla 14: Nuevas medidas de tiempos

Op.	Medida 1 (lento)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	01:20	40	60	0,67	00:53
2	06:42	40	60	0,67	04:28
3	00:46	40	60	0,67	00:31
4	01:02	40	60	0,67	00:41
5	01:35	40	60	0,67	01:03
6	06:16	40	60	0,67	04:11
7	01:12	40	60	0,67	00:48
8	00:39	40	60	0,67	00:26

Op.	Medida 2 (lento)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	01:35	50	60	0,83	01:19
2	06:11	50	60	0,83	05:09
3	01:02	50	60	0,83	00:52
4	00:57	50	60	0,83	00:47
5	01:42	50	60	0,83	01:25
6	06:21	50	60	0,83	05:18
7	01:09	50	60	0,83	00:58
8	00:41	50	60	0,83	00:34

Op.	Medida 3 (lento)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	01:21	45	60	0,75	01:01
2	06:05	45	60	0,75	04:34
3	00:44	45	60	0,75	00:33
4	01:09	45	60	0,75	00:52
5	01:23	45	60	0,75	01:02
6	05:59	45	60	0,75	04:29
7	01:25	45	60	0,75	01:04
8	00:43	45	60	0,75	00:32

Op.	Medida 1 (medio)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	00:41	60	60	1,00	00:41
2	05:08	60	60	1,00	05:08
3	00:25	60	60	1,00	00:25
4	00:41	60	60	1,00	00:41
5	01:17	60	60	1,00	01:17
6	05:55	60	60	1,00	05:55
7	00:46	60	60	1,00	00:46
8	00:26	60	60	1,00	00:26

Op.	Medida 2 (medio)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	01:03	55	60	0,92	00:58
2	05:03	55	60	0,92	04:38
3	00:21	55	60	0,92	00:19
4	01:01	55	60	0,92	00:56
5	01:15	55	60	0,92	01:09
6	05:42	55	60	0,92	05:14
7	00:43	55	60	0,92	00:39
8	00:31	55	60	0,92	00:28

Op.	Medida 3 (medio)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	01:01	65	60	1,08	01:06
2	04:47	65	60	1,08	05:11
3	00:31	65	60	1,08	00:34
4	00:49	65	60	1,08	00:53
5	01:20	65	60	1,08	01:27
6	05:31	65	60	1,08	05:59
7	00:52	65	60	1,08	00:56
8	00:30	65	60	1,08	00:33

Op.	Medida 1 (rápido)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	00:40	80	60	1,33	00:53
2	04:25	80	60	1,33	05:53
3	00:23	80	60	1,33	00:31
4	00:31	80	60	1,33	00:41
5	00:58	80	60	1,33	01:17
6	05:12	80	60	1,33	06:56
7	00:39	80	60	1,33	00:52
8	00:28	80	60	1,33	00:37

Op.	Medida 2 (rápido)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	00:41	75	60	1,25	00:51
2	04:23	75	60	1,25	05:29
3	00:21	75	60	1,25	00:26
4	00:38	75	60	1,25	00:47
5	01:02	75	60	1,25	01:18
6	05:21	75	60	1,25	06:41
7	00:31	75	60	1,25	00:39
8	00:20	75	60	1,25	00:25

Op.	Medida 3 (rápido)	A	A_0	A/A_0	Medida corregida
1	00:45	75	60	1,25	00:56
2	04:10	75	60	1,25	05:13
3	00:15	75	60	1,25	00:19
4	00:39	75	60	1,25	00:49
5	01:05	75	60	1,25	01:21
6	05:11	75	60	1,25	06:29
7	00:30	75	60	1,25	00:38
8	00:24	75	60	1,25	00:30

Tabla 15: Medidas nuevas corregidas

Medidas corregidas de LENTO					
Op.	M1 corr.	M2 corr.	M3 corr.	Promedio	Acumulado
1	00:53	01:19	01:01	01:04	01:04
2	04:28	05:09	04:34	04:44	05:48
3	00:31	00:52	00:33	00:38	06:26
4	00:41	00:47	00:52	00:47	07:13
5	01:03	01:25	01:02	01:10	08:24
6	04:11	05:18	04:29	04:39	13:03
7	00:48	00:58	01:04	00:56	13:59
8	00:26	00:34	00:32	00:31	14:30
Total	13:01	16:22	14:07	14:30	

Medidas corregidas de MEDIO					
Op.	M1 corr.	M2 corr.	M3 corr.	Promedio	Acumulado
1	00:41	00:58	01:06	00:55	00:55
2	05:08	04:38	05:11	04:59	05:54
3	00:25	00:19	00:34	00:26	06:20
4	00:41	00:56	00:53	00:50	07:10
5	01:17	01:09	01:27	01:17	08:27
6	05:55	05:14	05:59	05:42	14:10
7	00:46	00:39	00:56	00:47	14:57
8	00:26	00:28	00:33	00:29	15:26
Total	15:19	14:21	16:38	15:26	

Medidas corregidas de RÁPIDO					
Op.	M1 corr.	M2 corr.	M3 corr.	Promedio	Acumulado
1	00:53	00:51	00:56	00:54	00:54
2	05:53	05:29	05:13	05:32	06:25
3	00:31	00:26	00:19	00:25	06:50
4	00:41	00:47	00:49	00:46	07:36
5	01:17	01:18	01:21	01:19	08:55
6	06:56	06:41	06:29	06:42	15:37
7	00:52	00:39	00:38	00:43	16:20
8	00:37	00:25	00:30	00:31	16:50
Total	17:41	16:36	16:14	16:50	

Tabla 16: Medidas nuevas corregidas

Ahora se verá una comparación de los promedios de las medidas corregidas del nuevo banco con las medidas corregidas tomadas durante el montaje tradicional, para apreciar la reducción del tiempo.

	Banco tradicional	Banco Lean Manufacturing
Ritmo Lento	16:48	14:30
Ritmo medio	18:11	15:26
Ritmo rápido	18:43	16:50
Promedio	17:54	15:35
Diferencia	02:19	

Tabla 17: Comparación de tiempos

En esta comparativa se puede apreciar como hay efectivamente un ahorro de un poco más de dos minutos con la implantación de las metodologías lean en el nuevo banco.

7. Bibliografía

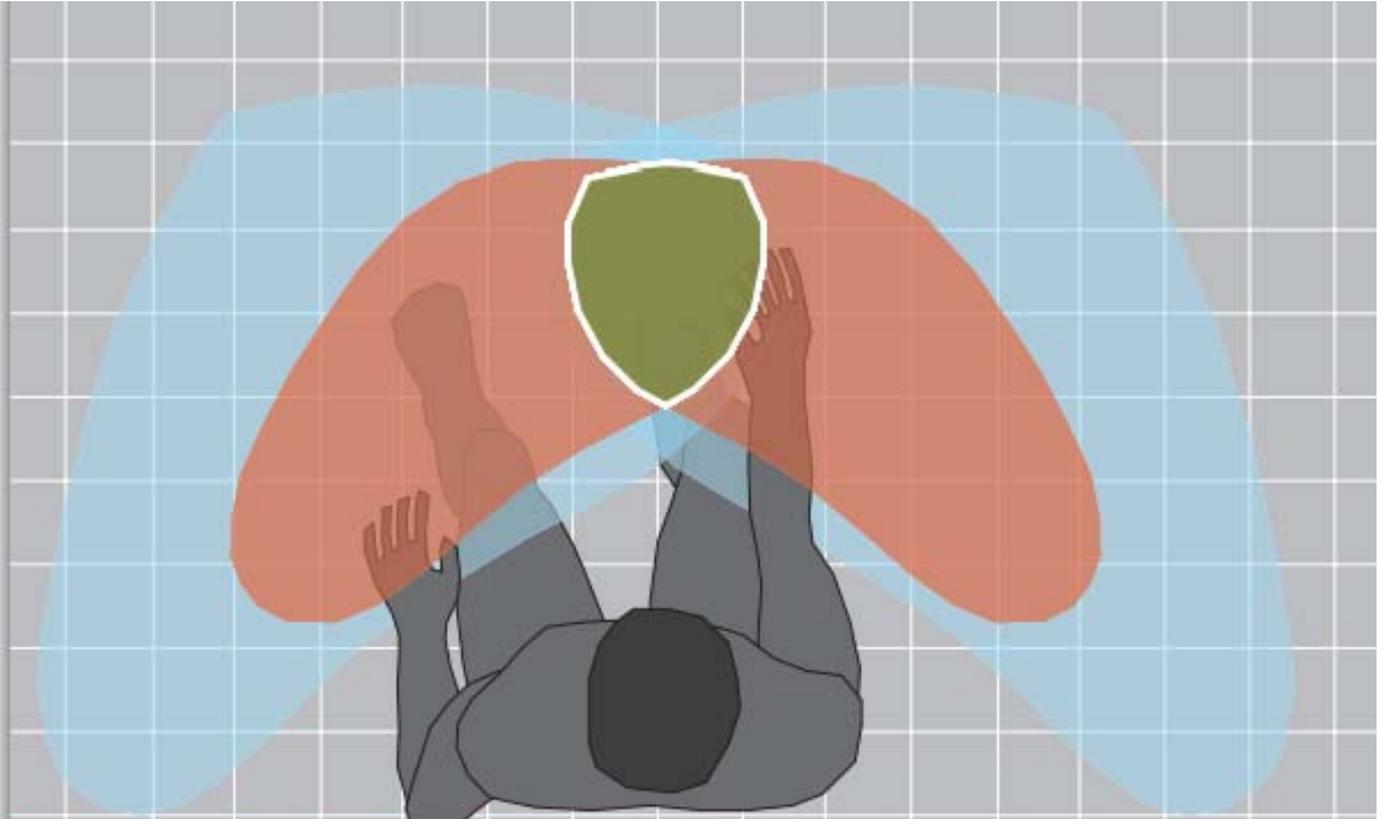
- [ITE11] Para el diseño del banco, se ha consultado el catálogo de productos de la empresa ITEM 24 en la página item24.com/
- [MAP98] Manual de ergonomía – Fundación Mapfre
- [GRA13] Análisis técnico-económico de implantación de metodologías Lean Manufacturing en el proceso de montaje de un accionamiento de engranajes rectos. *Sergio Granados Pérez*. Proyecto Fin de Carrera, Universidad Pontificia de Comillas ETSI-ICAI, Madrid 2013.
- [AND13] Análisis técnico-económico de implantación de metodologías lean manufacturing en el proceso de montaje de un compresor-pistón. *Pablo Andreu San Martín*. Proyecto Fin de Carrera, Universidad Pontificia de Comillas ETSI-ICAI, Madrid 2013.
- [JON12] “Lean thinking”, *Daniel T. Jones y James P. Womack* – 2012

Anexos

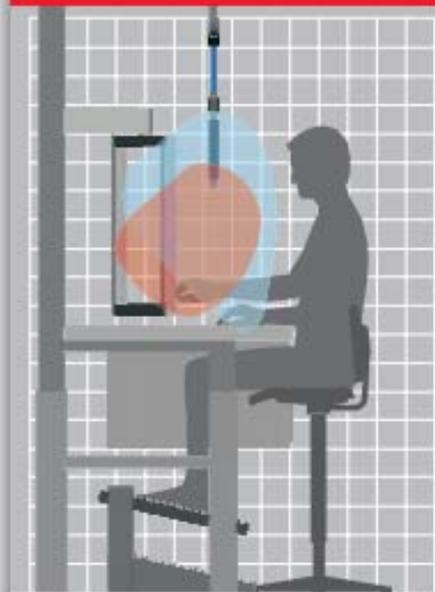


El sistema de banco de trabajo ergonómico
Catálogo completo

2



Ergonomía – la perfecta medida de las cosas.



En ítem no vemos la ergonomía en los bancos de trabajo como una meta, sino como la base para una alta producción y motivación. Un entorno de trabajo diseñado de acuerdo con los principios ergonómicos ofrece muchos beneficios:

- Protege la salud de los operarios y su capacidad de trabajar
- Reduce el ratio de error habilitando prácticas de trabajo sin fatigas
- Reduce costes eliminando movimientos incómodos e innecesarios
- Aumenta el rendimiento al reducir los tiempos de ciclo

Los bancos de trabajo ítem satisfacen dos requisitos cruciales que han sido destacados por los estudios sobre ergonomía. En primer lugar, pueden ajustarse fácilmente a distintos usuarios, a sus diferencias de tamaños y fuerzas. Es importante que el aprovisionamiento de materiales, herramientas y información así como la posición de la silla puedan ser adaptados a un rango de características físicas. En segundo lugar, actividades distintas requieren tipos de soporte distintos del equipamiento de trabajo. Gracias a las opciones de configuración flexible, un gran número de accesorios y detalles ingeniosos como los contenedores de piezas inclinables, nuestras soluciones permiten a los usuarios crear sistemas personalizados para un gran rango de aplicaciones. Sean cuales sean sus necesidades – puestos de trabajo de oficina, carritos de piezas para el taller o bancos de trabajo interconectados – el sistema de bancos de trabajo ítem se adapta perfectamente al personal y a los procesos involucrados en su trabajo.

Ajuste de altura como estándar

Cuanto más tiempo pasa el empleado sentado en la misma posición, más importante es que su superficie de trabajo esté a la óptima altura. Por este motivo todos los bancos de trabajo ítem son ajustables en altura. Todos los diseños de mesas pueden ser ajustados para acomodar posiciones de trabajo de pie y sentadas. Los modelos con sistemas de ajuste de altura eléctrico están equipados con memoria de función que permite a los usuarios seleccionar un ajuste de altura guardado anteriormente simplemente tocando un botón. Esto es particularmente útil en entornos de producción basados en un sistema de turnos, o donde el trabajo se tiene que realizar a distintas alturas. Las sillas ergonómicas de ítem alivian tensiones del sistema músculo-esquelético ayudando a prevenir quejas asociadas con una mala postura.



Banco de trabajo F

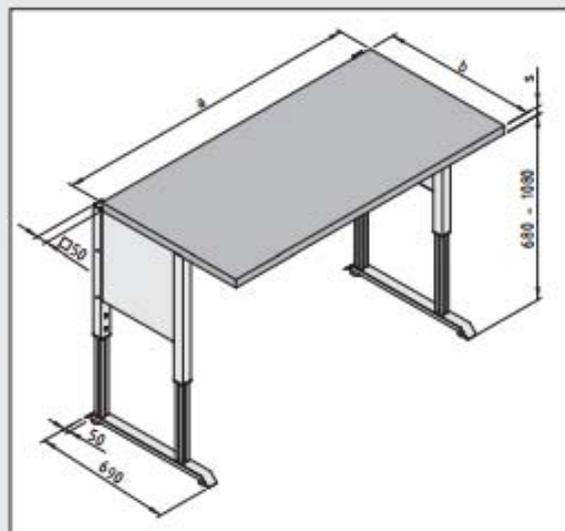
El banco de trabajo F de item – sencillo, flexible, económico y ergonómico.

Nuestros modelos de bancos de trabajo F incorporan ajuste manual continuo de altura, que permite configurarlos para trabajar sentado o de pie. Admite hasta 4 000 N.

También son ideales para su integración en líneas de producción, como parte de un sistema de flujo de materiales.

Seleccione entre tres posibles anchos, dos fondos y cuatro diferentes superficies de trabajo – incluyendo una opción antiestática ESD – para crear su propio banco de trabajo personalizado de nuestra gama estándar.

La serie F se completa con una serie de innovadoras soluciones para proporcionar energía, datos y luz al banco de trabajo, brazos articulados para la manipulación ergonómica de pequeñas piezas, una amplia gama de equipamientos antiestáticos (ESD) y sistemas para alojar PCs y portaherramientas.





Contenedores de piezas

Contenedores apilables en anchos y altos diversos, para facilitar la disponibilidad de pequeñas piezas en los bancos de trabajo.

Los contenedores de piezas se dividen en dos secciones:

- Parte posterior o contenedora de piezas
- Parte anterior, a la que puede transferirse una pequeña cantidad de componentes desde la parte contenedora para facilitar la aprehensión.

Las tapas de los contenedores pueden utilizarse para protegerlos del polvo y permitir que puedan apilarse sin necesidad de formar columnas.

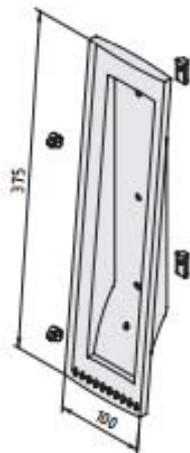


Atril bolsilla 8

El sistema de bolsillas item asegura que las instrucciones, planos, etc. estén siempre claramente situados y siempre a la vista en cualquier banco de trabajo.

Simplemente monte el atril en el perfil y elija las bolsillas (PP) de polipropileno negro o rojo que necesite.

Inserte las bolsillas en el atril.



Atril bolsilla 8

Atril bolsilla 8

2 Tuercas V 8 St M5, zinc.

2 Tornillos gota de sebo M5x12, St zinc.

2 tornillos DIN 5021-5,3, St, zinc.

m = 210,0 g

1 kit

0.0.631.87



El rango de sillas ergonómicas ítem:

- Silla con ajuste de inclinación (hasta 35°) para posición vertical (sistema mecánico sincronizado)
- Profundidad de asiento ajustable (50 mm de rango)
- Inclinación y altura ajustable del respaldo (80 mm de rango), zona de hombros estrecha para una óptima libertad de movimientos
- Asiento y respaldo con acolchado PU, resistentes a la abrasión y lavables
- Ajuste automático al peso del usuario (versión ESD)
- Muelle de gas con amplio rango de ajuste
- Base de aluminio pulido, 700 mm de diámetro

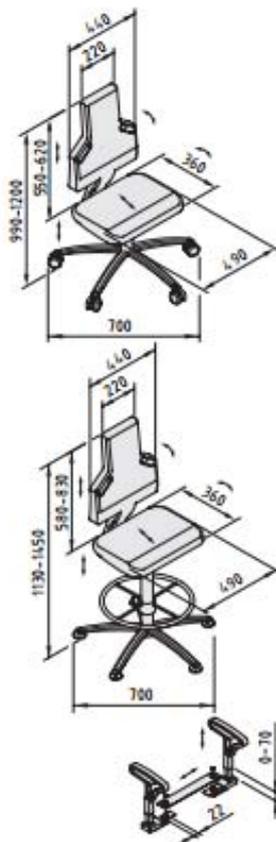
Disponibles 2 diseños a elegir:

- Silla, PU, para bancos de trabajo bajos, con ruedas con bloqueo, ajuste de altura 430 - 590 mm
- Silla alta, PU, para bancos de trabajo bajos/altos, con pies deslizantes, ajuste de altura 580 - 830 mm
- Anillo reposapiés con superficie antideslizante, altura ajustable y mecanismo de bloqueo
- Ambos diseños pueden ser suministrados con protección ESD

Ambas sillas pueden ser adaptadas con

- reposabrazos, PP, altura ajustable (70 mm rango) y espaciado (40 mm rango), también disponible con protección ESD

Excelente producto con excelente servicio – ¡cinco años de garantía!



Silla, PU	
m = 21,7 kg	
1 pza.	0.0.639.92
Silla, PU ESD	
m = 19,6 kg	
1 pza.	0.0.639.95
Silla alta, PU	
m = 24,6 kg	
1 pza.	0.0.639.93
Silla alta, PU ESD	
m = 22,3 kg	
1 pza.	0.0.639.96
Reposabrazos, PP	
m = 3,3 kg	
1 kit	0.0.639.97
Reposabrazos, PP ESD	
m = 3,3 kg	
1 kit	0.0.639.98

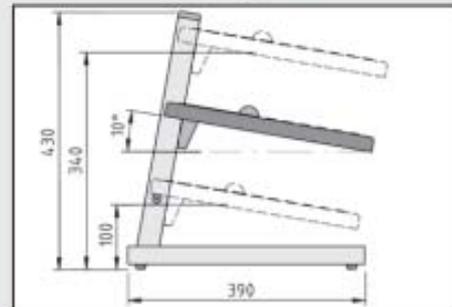


Reposapiés

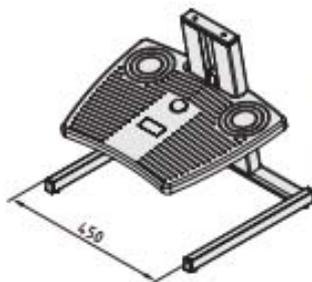
Un elemento crucial para todo banco de trabajo ergonómico - el reposapiés antiestático puede posicionarse a voluntad y ser ajustado a la altura preferida de los operarios gracias a su muelle de gas sin parar la producción. Se puede calibrar para dos rangos de alturas - para sillas de medida estándar y para sillas altas de trabajo.



Con un diseño estable y antideslizante, el reposapiés ha sido galardonado con el certificado "GS" de seguridad por la organización alemana de pruebas y certificaciones LGA Bayern.



La placa de apoyo puede montarse en dos posiciones básicas - alta o baja. Presionando con el pie el botón central se libera el bloqueo del muelle neumático dentro de la columna elevadora. La altura de la superficie en la cual se apoyan los pies puede ajustarse en cualquier posición dentro de un margen de 110 mm en cada posición básica, ejerciendo presión en la placa de apoyo. Por ello, la altura de la superficie de apoyo puede ajustarse entre 100 y 340 mm.



Reposapiés 450x400, ESD



Bastidor de base, Si
Columna elevadora, Al
Placa de apoyo, Al
Notas sobre el uso e instalación
negro, 1 kit

0.0.600.72

CAPITULO DOS: Planos

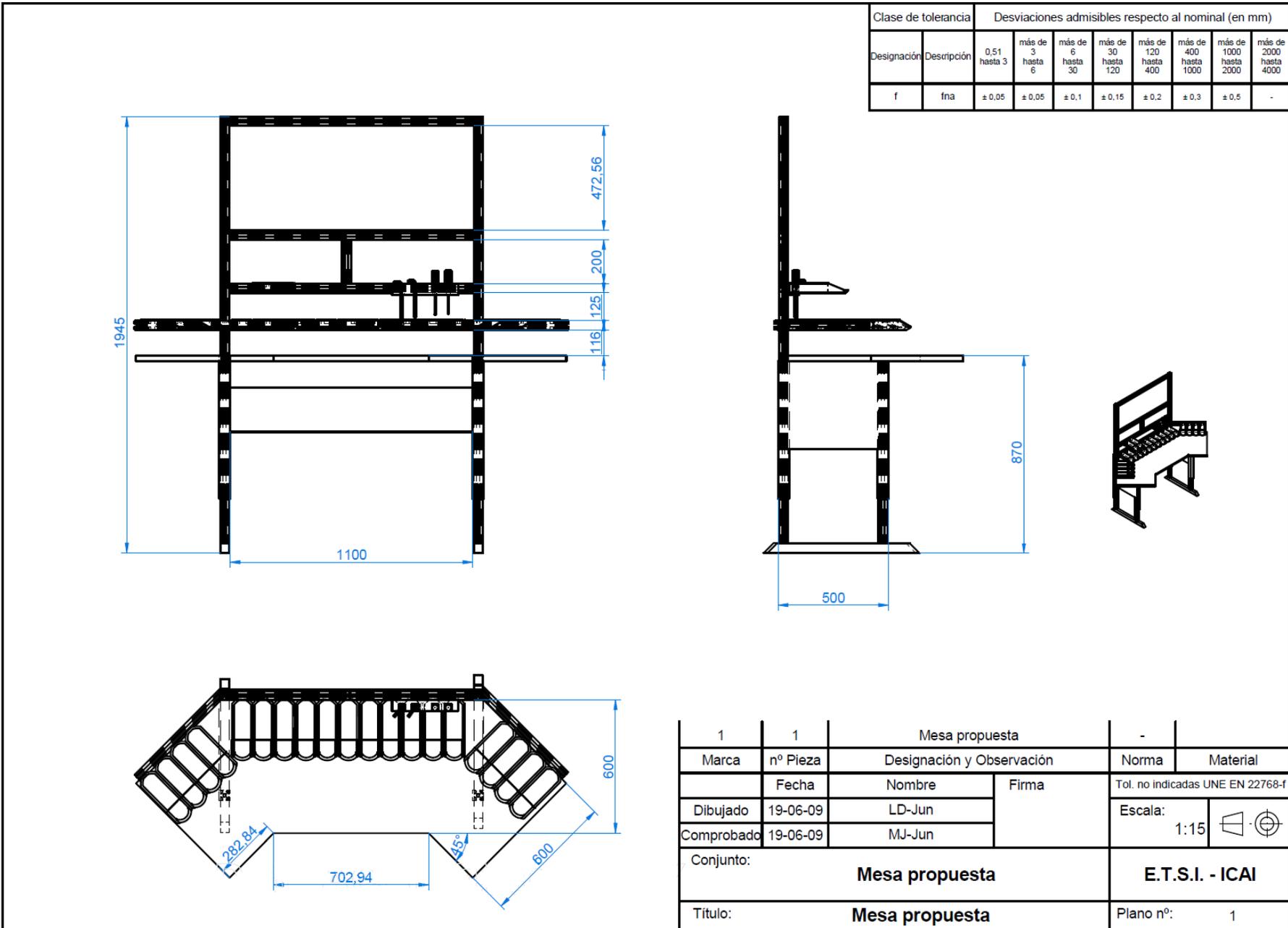
1 Lista de planos:

-Lista de materiales.

-Plano mesa propuesta.

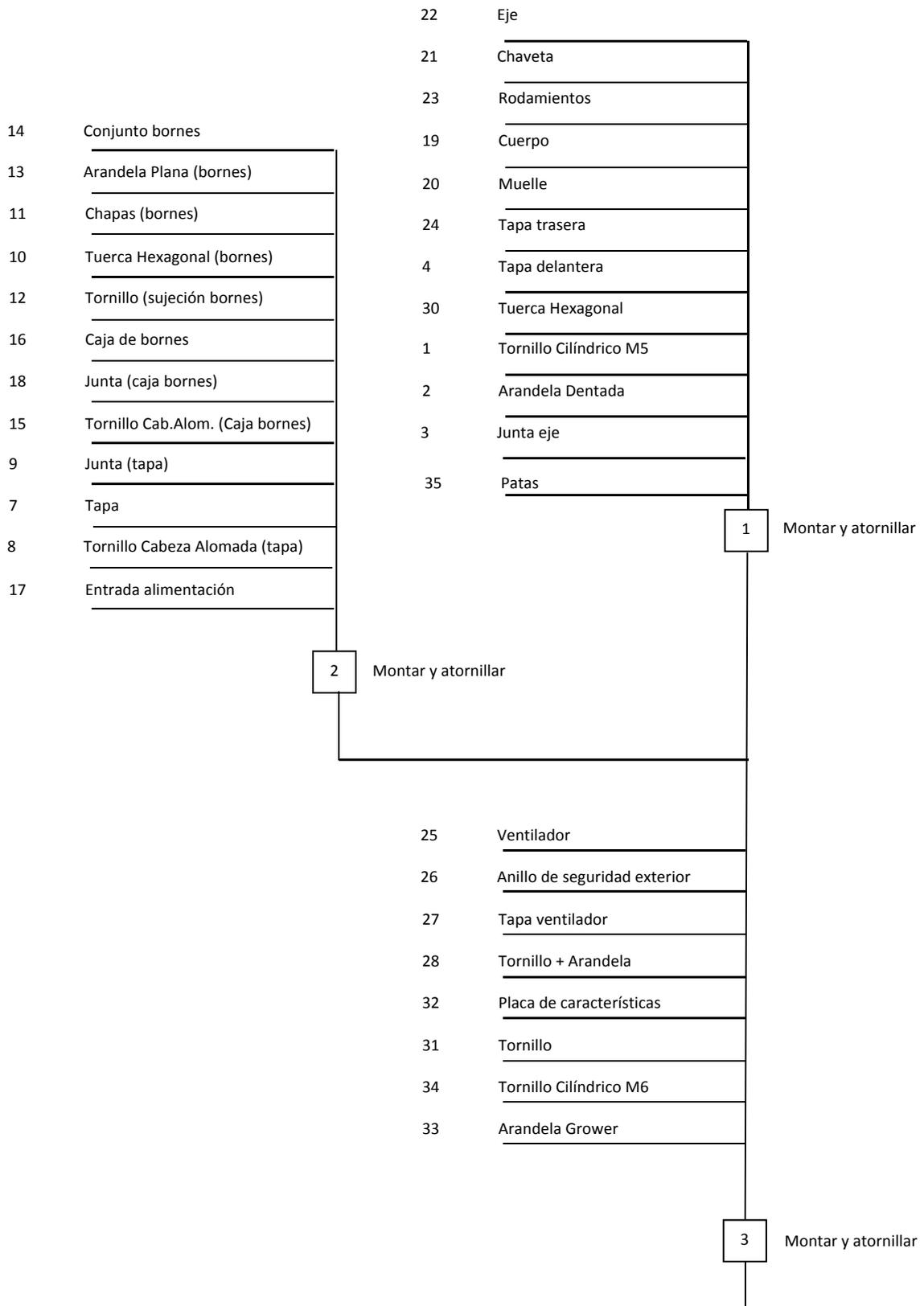
**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BANCO FLEXIBLE DE TRABAJO MEDIANTE
METODOLOGÍAS LEAN MANUFACTURING**

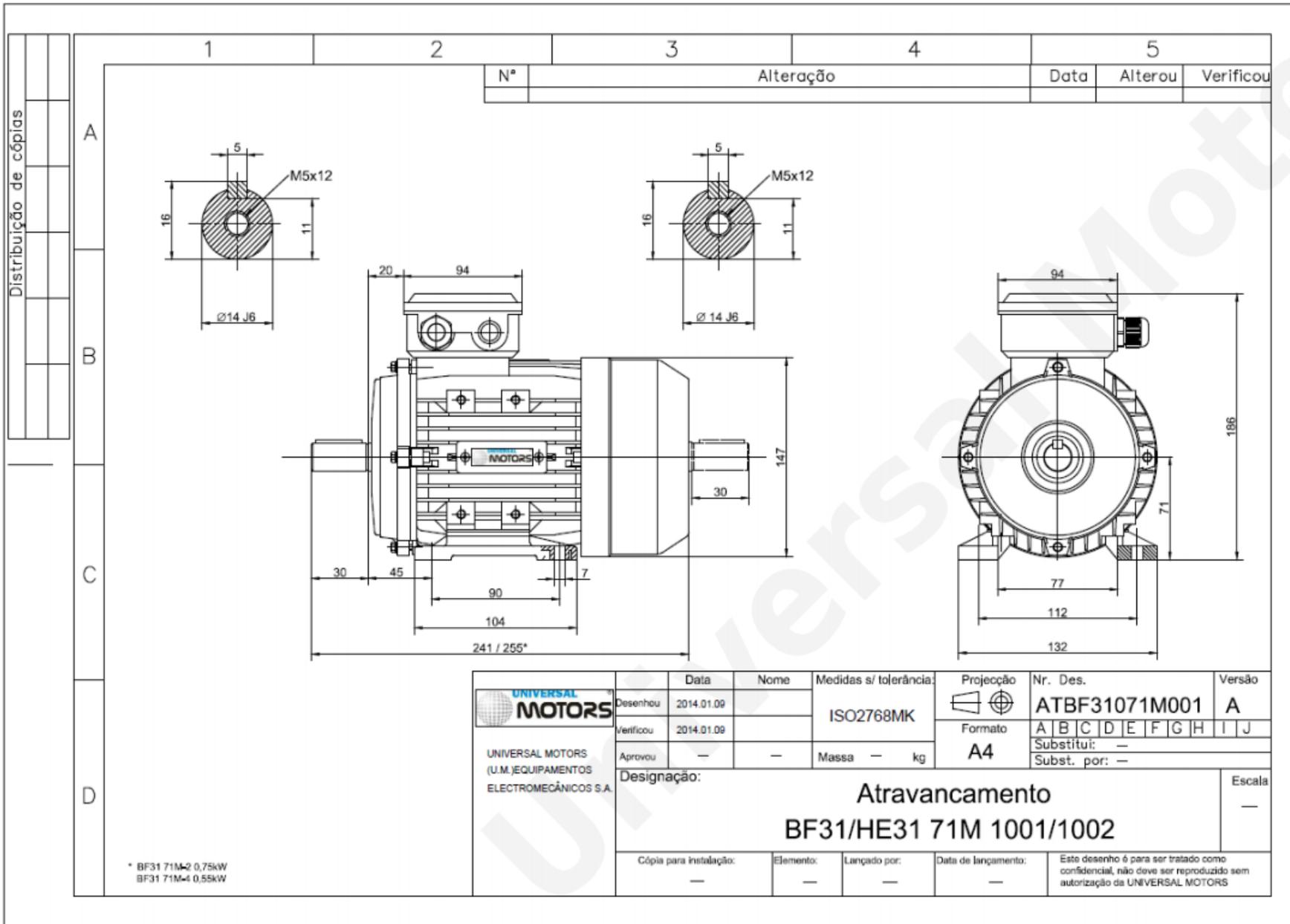
	1	Tornillo Cabeza Alomada	DIN 7985	M4 (8 mm)
	1	Arandela Dentada Forma A	DIN 6798	M4 (forma A)
35	2	Patas		Aluminio
34	4	Tornillo Cilíndrico con Hexágono Interior	DIN 912	M6
33	4	Arandela Grower Forma B	DIN 127	
32	1	Placa de características		Aluminio
31	2	Tornillo	DIN 7985	M3
30	7	Tuerca Hexagonal	DIN 934	M5
28, 29	3	Tornillo + Arandela	DIN 7985 y DIN 125	M4
27	1	Tapa ventilador		Aluminio
26	1	Anillo de seguridad exterior	DIN 471	eje d1 11
25	1	Ventilador		Plástico blanco
24	1	Tapa trasera		Aluminio
23	2	Rodamientos		
22	1	Eje		Acero
21	1	Chaveta		Acero
20	1	Muelle (arandela ondulada)	DIN 137-B	
19	1	Cuerpo		Aluminio
18	1	Junta (caja bornes)		Goma
17	1	Entrada alimentación		Plástico negro
16	1	Caja bornes		Plástico negro
15	4	Tornillo Cabeza Alomada (caja bornes)	DIN 7985	M4 (16 mm)
14	1	Conjunto bornes		Plástico verde
13	18	Arandela Plana (bornes)	DIN 125	M4
12	2	Tornillo (sujeción bornes)	DIN 7981	M4 N°7 (13 mm)
11	3	Chapas (bornes)		Aluminio
10	5	Tuerca Hexagonal (bornes)	DIN 934	M4
9	1	Junta (tapa)		Goma
8	4	Tornillo Cabeza Alomada (tapa)	DIN 7981	M4 (10 mm)
7	1	Tapa		Plástico negro
4	2	Tapa exterior		Aluminio
3	2	Junta eje		Goma
2	7	Arandela Dentada Forma A	DIN 6798	M5 (forma A)
1	8	Tornillo Cilíndrico con Hexágono Interior	DIN 912	M5
Marca	Nº pieza	Designacion y observaciones	Norma	Material y medidas



1	1	Mesa propuesta		-	
Marca	nº Pieza	Designación y Observación		Norma	Material
	Fecha	Nombre	Firma	Tol. no indicadas UNE EN 22768-f	
Dibujado	19-06-09	LD-Jun		Escala:	1:15
Comprobado	19-06-09	MJ-Jun			
Conjunto:				Mesa propuesta	
Conjunto:				E.T.S.I. - ICAI	
Titulo:				Mesa propuesta	
Titulo:				Plano nº:	1

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BANCO FLEXIBLE DE TRABAJO MEDIANTE METODOLOGÍAS
LEAN MANUFACTURING





CAPITULO TRES: Estudio económico.

El objetivo final de este proyecto como se ha repetido anteriormente, es conseguir una producción mayor y más fiable mediante la reducción de los costes. También lo es la creación de un puesto de trabajo limpio, ordenado y ergonómico para que la implantación de este proyecto tenga también una consecuencia directa en la salud del operario (que también se verá reflejado en un ahorro de costes), pero el fin último de la implantación de las metodologías Lean son un ahorro de tiempos y costes.

El cálculo a realizar será el coste del banco en sí que se va a adquirir, con todos los elementos del banco según el presupuesto facilitado por la empresa proveedora del banco. A ese coste se le sumará el coste por diseño e implantación del banco al ingeniero, la medida de tiempos y el diseño del utillaje.

1 Indicadores de rentabilidad

Los indicadores de rentabilidad, se definen como una expresión cualitativa o cuantitativa que sirve para medir hasta donde y en que profundidad se consiguen los objetivos propuestos por una medida o cambio, en relación a los diferentes criterios a evaluación establecidos.

Unos indicadores adecuados permiten anticiparse a los problemas futuros, localizar errores de una implantación en tiempo real y dan la opción de comunicar tanto a todos los trabajadores una tarea realizada correctamente y alinea así los objetivos de la empresa y el personal.

Los indicadores que se medirán en este caso serán los siguientes:

- La reducción de tiempos: Uno de los factores más representativos de la mejora consecuencia de la implantación del Lean Manufacturing, es la reducción de tiempos. Mediante

las medidas cronometradas previamente, se hace la comparación con los tiempos iniciales. La reducción de tiempos implica un incremento en la producción y beneficios y además consigue que el operario compruebe que puede montar más conjuntos que antes, lo que hace que pueda sentirse motivado.

- Aumento de la capacidad productiva: Consecuencia del indicador anterior, el aumento de la capacidad productiva en la cadena permite mayor flexibilidad y ajuste con los clientes, para cumplir los plazos de entrega y a fabricar de forma más eficiente y efectiva.
- Aumento de la calidad: La cadena de montaje absorbe los fallos, cuando un operario comete un error la cadena entera se detiene y se retira el conjunto en cuestión. Para ello se interrumpe el flujo de material de toda la línea lo que causa retrasos. Ese aumento de tiempos conlleva un aumento de costes también, por tanto cuanto más reducción observemos en este indicador, más habrá mejorado nuestra línea.
- Aumento del confort del operario: Como se ha explicado, la ergonomía ha tenido un peso muy importante en el diseño del banco, por ello, el operario trabajará de manera más cómoda lo que hará que aumente su productividad y motivación.
- Aumento de la oferta en el mercado: El aumento de productividad y el recorte en los costes permite precios más competitivos en el mercado, lo que conllevará a una mayor oferta. Este indicador es signo de que el implante del proyecto es un éxito.

2 Presupuesto

Para el presupuesto se dividirán los gastos en los que se imputarán a la compra a ITEM 24, con una medida aproximada del coste del banco con la mesa de diseño propio, ya que no está en su catálogo. Se incluye también el desglose de los precios de la silla y el reposapiés, necesarios para una postura correcta del operario y del porta documentos que irá en los paneles frontales para tener siempre a vista las instrucciones.

Descripción	Coste unitario
Banco de trabajo con montaje vertical	1.800,00 €
Silla ergonómica	379,00 €
Reposapiés	257,83 €
Portadocumentos A4	123,37 €
Contenedor	9,88 €

Tabla 18: Precios del banco.

Ahora se detallan los costes del ingeniero en horas, y tomando como sueldo base para este proyecto de 50 euros por hora.

Descripción	Horas	Coste por hora	Coste total
Medicion de tiempos iniciales	10	50	500,00 €
Analisis de criterios	8	50	400,00 €
Diseño del puesto	12	50	600,00 €
Medicion de los nuevos tiempos	10	50	500,00 €
Realizacion del informe	20	50	1.000,00 €
Coste curso de formación			2.000,00 €
Total			5.000,00 €

Tabla 19: Costes de diseño

Y con estos costes explicados, en la siguiente tabla se explican los costes del banco.

Descripción	Cantidad	Coste unitario	Coste total
Banco de trabajo con montaje ver	1	1.800,00 €	1.800,00 €
Silla ergonómica	1	379,00 €	379,00 €
Reposapiés	1	257,83 €	257,83 €
Portadocumentos A4	1	123,37 €	123,37 €
Contenedor	21	9,88 €	207,48 €
Suma			2.767,68 €
IVA 21%			581,21 €
Total			3.348,89 €

Tabla 20: Costes del banco

Y por último, la suma de los costes totales:

Descripción	Coste unitario
Costes de diseño e implementación	5.000,00 €
Costes del banco	3.348,89 €
Total	8.348,89 €

Tabla 21: Costes totales

3 Conclusiones

Como se ha visto, la aplicación de los principios de lean manufacturing ha contribuido a la mejora de todo el proceso de montaje del motor. Gracias a la reducción de tiempos conseguida, la fábrica será capaz de afrontar pedidos más grandes, o de ajustarse más a los pedidos del cliente. Esa reducción de tiempos conlleva también una reducción de los costes del motor, con lo que la empresa puede aumentar su competitividad en el mercado.

Además se ha conseguido un proceso de montaje muy metódico y regular que tiene entre sus objetivos el de fallos cero. Todo esto contribuye también a ese aumento de productividad que se lleva a cabo.

También es importante reseñar que el operario ha obtenido un beneficio también, al tener un puesto de trabajo más confortable y ergonómico. Esta nueva ergonomía se reflejará en una mejora de salud tanto física por la postura correcta y comodidad a la hora de moverse en su puesto, como mental ya que se encontrará más motivado y dispuesto. Esto nuevamente tendrá efecto en la reducción de los costes ya que un operario que tenga menos lesiones en el puesto de trabajo, costará menos dinero a la empresa.

Por último cabe recalcar la importancia de que uno de los principios implantados es la mejora constante, por ello deberán tener lugar reuniones periódicas en las que se tratarán nuevas mejoras del proceso, nuevas implementaciones en la ergonomía, dadas por el uso del banco, así como maneras nuevas de evitar errores. Estas reuniones si se realizan correctamente, serán cada vez menos periódicas porque el proceso llega a un estado estático donde se establece como el proceso óptimo de montaje.