

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO



TRABAJO DE FINAL DE GRADO

Estudio comparativo de las soluciones de paletizado actuales

Grado de ingeniería electrónica industrial y automática

Tutor: Carlos Ricolfe Viala

Autor: Jesús Pascual Ruiz

Septiembre del 2017

Agradecimientos

A mis padres, por todo lo que han hecho por mí para que yo llegase a donde estoy ahora. Por todo su apoyo para con las decisiones tomadas en mi vida y sus consejos para saber llevarlas correctamente. Por su dedicación y educación, que ha hecho que sea la persona que soy hoy en día.

A Mireia, por tener la valentía de emprender el camino de la vida junto a mí y la osadía de defenderlo ante las adversidades. Por enseñarme a vivir de verdad, a defender lo que es importante y no hacer un mundo de las preocupaciones banales y tener la paciencia de hacerlo tantas veces como he necesitado. Por compartir y engrandecer aún más mis alegrías y apoyarme en mis tristezas hasta hacerlas insignificantes.

A mis amigos, porque sois la familia que uno puede elegir y cada uno sabe que os considero como tales. Me dais ese apoyo y otro punto de vista que en ocasiones me puede faltar y que es esencial para formarme como persona. El hecho de estar a mi lado en cada momento, incluso estando lejos en algunas ocasiones, hace que me sienta orgulloso de teneros cerca.

A mi tutor Carlos, por darme esta oportunidad en un momento de necesidad que puede marcar todo mi futuro profesional.

A la empresa YASKAWA y su director de la división de **robótica** David Rivera, por su ayuda con los costes de los **robots** y sus accesorios recomendados. A la empresa JKE Robotics, en especial a Jon Elorriaga, quien me facilitó precios de algunos accesorios y me explicó la importancia de estos. A Julia, trabajadora de la Unión de Mutuas de Massamagrell, quien me explicó los principales problemas médicos que pueden ocasionar las operaciones de paletizado en los operarios. A Viuda de Gabriel Mari Montañana, por confiar en mi cuando aún no había terminado la carrera y por mostrarme cual es la situación de las pymes españolas, con mención especial para quien fue mi guía en esta empresa, Amparo De Pablo y para José Zaragozá, quien me explicó cómo sacar el precio por unidad y me facilitó tiempos de algunas operaciones de paletizado, así como el coeficiente de fatiga y el tiempo de descanso.

Índice

1. Resumen.....	5
2. Objetivos	6
3. Historia	7
4. El palé y la operación de paletizado.....	11
4.1. Palés según material de fabricación:	11
4.2. Palés según diseño:	13
4.3. Palés según dimensiones en Europa:.....	13
5. Clasificación de los robots.....	15
5.1. Clasificación según generación:	15
5.2. Clasificación según la configuración morfológica:	15
5.3. Clasificación según arquitectura:	17
5.4. Clasificación según su inteligencia:	18
5.5. Clasificación según su aplicación:.....	19
5.6. Clasificación según su nivel de control:.....	20
5.7. Clasificación según el nivel del lenguaje de programación:.....	21
6. Modelos de robots usados en la actualidad	22
6.1. YASKAWA	22
6.2. ABB	24
6.3. FANUC	25
6.4. KUKA.....	27
6.5. Staübli.....	30
6.6. Universal Robots	33
6.7. COMAU.....	33
6.8. Características explicadas:	34
7. Accesorios	37
8. Comparación entre robots y operarios	38
8.1. Operarios.....	38
8.2. Robots antropomórficos	41
8.3. Comparación	47
9. Comparación entre los distintos robots.....	49
9.1. Carga útil	49
9.2. Condiciones de trabajo	49
9.3. Entorno de trabajo	50

9.4.	Alcance mínimo necesario	50
9.5.	Capacidad productiva de la empresa	52
9.6.	Evolución de la empresa	53
9.7.	Elección	53
10.	Principales problemas actuales	54
11.	El futuro de las operaciones de paletizado	55
12.	Conclusiones.....	56
13.	Glosario	57
14.	Principales referencias	60

1. Resumen

En el presente documento se va a realizar un estudio sobre las soluciones de paletizado actuales, concretando estas tan solo en los **robots** de tipo antropomórficos. El objetivo de este es facilitar un documento en el cual pueda basarse una pyme para analizar la posibilidad de automatizar su proceso de paletizado.

Para ello se va a hablar primeramente del surgimiento de este tipo de operaciones en la industria, haciendo una breve introducción histórica de la actividad, con la intención de mostrar la importancia de mejorar las operaciones de envasado y paletizado, demostrada a lo largo de los siglos.

Seguidamente se darán las características y definición de los palés, así como de la operación de paletización en sí. Una vez entendido esto, se incluirán **robots** de algunas de las marcas más conocidas, con algunas de sus principales características técnicas. Puesto que el trabajo está principalmente enfocado a pymes, no se tendrán en cuenta **robots** de empresas sin presencia en España, que ofrecen menos seguridad en servicio postventa, ni **robots** pórticos, con poca capacidad de adaptación y un tamaño mucho mayor al de los **robots** articulados.

Con datos facilitados por estas marcas se realizará una comparación entre la productividad de un operario y la de un **robot**. Para ello se tendrán en cuenta los segundo que tarda cada uno en completar un clico, es decir, coger una pieza, colocarla en el palé y volver a la posición inicial para coger otra pieza. Además, se hará una comparación económica en base al salario y seguridad social por parte del operario y coste del **robot** más accesorios por parte del **robot** paletizador. Con los datos de los tiempos y los datos económicos se completará la comparación entre **robot** y operario.

Una vez considerada la rentabilidad y el tiempo calculado de retorno de la inversión, se procederá a enseñar cómo realizar correctamente la comparación entre los **robots** incluidos en el trabajo. La comparación se hará en base a unos puntos o pasos a seguir que permiten al lector comparar adecuadamente las características incluidas en anteriores apartados, personalizada para su empresa. Es decir, esta comparación dependerá principalmente de la empresa, los productos que fabrique y su visión de futuro.

Seguidamente se incluyen dos apartados en los que se tratan brevemente los problemas actuales a los que se deben enfrentar los **robots** de paletizado, así como la visión del autor del documento sobre el futuro de estas operaciones. Y finalmente hay un apartado de conclusiones o síntesis del trabajo

El trabajo contará además con un apartado dedicado a un breve glosario situado en las últimas páginas con las definiciones de algunos de los conceptos técnicos, para facilitar la lectura del mismo, así como otro apartado para las principales referencias consultadas para la realización del documento. Las palabras definidas en el apartado "Glosario" aparecerán en negrita a lo largo de todas las veces que surjan en el texto, para que el lector sepa que puede dirigirse a este apartado.

2. Objetivos

Este trabajo académico tiene como propósito motivar a las empresas españolas que todavía no tienen esta operación automatizada, especialmente las pymes, las bondades de hacerlo. Mostrarles la rentabilidad que ofrece una automatización, la baja inversión que supone y los problemas de salud que pueden evitar a sus operarios.

Además de ello, se pretende que el documento sirva de guía para enseñar a aquellas personas que están poco formadas en el ámbito de la ingeniería y la **robótica**, los pasos que deben seguir al realizar una comparación entre distintas ofertas de **robots** antropomórficos, mostrando los principales puntos que tener en cuenta al realizar esta comparación y la importancia que tiene el producto que fabrique la empresa en la elección del **robot**.

Puesto que está enfocado a personas con poca o nula experiencia en estas aplicaciones y en la automatización en general, durante todo el documento se pretende usar un lenguaje sencillo e ir introduciendo y explicando conceptos que pueden resultar de utilidad a la hora de realizar dicha comparación, incluyendo un glosario con las definiciones de algunos de los conceptos más complicados.

El resultado final debe aumentar los conocimientos del lector inexperto en la materia, ocasionar un aumento de interés en esta e incluso propiciar un estudio de viabilidad en su empresa y permitir realizar comparaciones entre distintos **robots** del mercado, estén o no incluidos en el documento, sin necesidad de contar con personal experto para ello.

3. Historia

Desde hace milenios, el ser humano ha perfeccionado el almacenaje, protección y conservación de sus bienes, conscientes de la seguridad que aporta esto a la hora de planificar el día a día, bien sea por la garantía de tener alimentos para el futuro, la necesidad de guardar productos semiacabados que requieren de mucho tiempo para finalizarse, la escasez o fragilidad de ciertos artículos, que requiere su preservación con el mayor de los cuidados, etc. Esto se acrecenta con el desarrollo del comercio, que requiere de técnicas más avanzadas debido a los inconvenientes propios del transporte de mercancías.

A continuación, se hará una descripción más detallada, estructurada por orden cronológico, del envasado de productos. Esto va a permitir entender mejor al lector del presente documento la relevancia de las operaciones de paletizado en la actualidad, la situación en que se encuentran estas, así como formar una idea que permita prever su situación futura. Para hacer esto usaremos como base de fuente de información a la revista *EnvaPack* y el blog de uno de sus estudiantes diplomado en empaques, embalajes y envases, que podrán consultar en el apartado de referencias. Esta información se contrastará a su vez con otras páginas especializadas para corregir los posibles errores que pudiese tener.

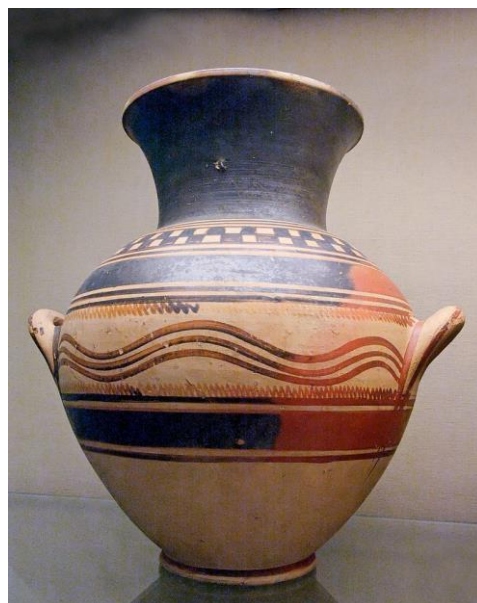
Inicialmente, los primeros envases fueron fabricados con hojas, ramas, fibras, cueros, intestinos, etc. enrollados alrededor de los alimentos que se quería conservar. Posteriormente se crearían las primeras vasijas de barro sin cocer, así como cestos de hierbas o ramas entrelazadas.

Imagen 1: Alimentos enrollados en hoja de platanero, depositados en una cesta de mimbre.



Miles de años después, esta técnica se perfecciona, creando vasijas de barro cocido. Esto es común en la mayoría de las culturas antiguas, encontrándose milenios antes de cristo en las civilizaciones más importantes, como son la japonesa, china, mesopotámica, griega, egipcia o europea, sin un aparente intercambio de técnicas y conocimientos entre las diferentes culturas respecto al tema del almacenaje y envasado de productos.

Imagen 2: Ánfora panzuda de cerámica griega del estilo protogeométrico.



Los fenicios y egipcios desarrollaron a su vez, años más tarde, abalorios de vidrio como figuritas, collares, brazaletes, amuletos, imitaciones de piedras finas, etc. además de, por supuesto, pequeños recipientes. Estos pequeños frascos almacenaban generalmente los perfumes aceitosos de la época.

Imagen 3: Frasco de vidrio egipcio.



Hacia el siglo XV a.C. se estandariza el uso de las ánforas en el comercio, surgiendo estas inicialmente en el Líbano y siendo utilizadas posteriormente tanto por griegos como por romanos. Los usos principales que tenían eran el almacenamiento y comercio del vino y uvas, llegando a representar un ánfora llena de vino una medida del sistema romano, el ánfora cuadrantal. Además de estos productos, también transportaban usualmente aceite, cereales, pescados o salsas.

Imagen 4: Ánfora romana.



El problema principal que presentaban las ánforas antes mencionadas era su fragilidad, las cuales cuando se rompían, al transportar generalmente líquidos, echaban a perder todo el material que contenían. Por ello, terminarían finalmente sustituyéndose por recipientes de piel, menos frágiles y por lo tanto más seguros para el transporte de líquidos. No obstante, no fueron los fenicios ni ninguna civilización del este mediterráneo quienes darían una mejor solución que la piel, sino el pueblo celta. Este pueblo habitaba generalmente zonas boscosas y fue en estas zonas boscosas donde se originaron los primeros toneles o barriles de madera, hechos a partir de un tronco que vaciaban y al que luego le



Imagen 5: Barril de madera con aros de metal.

añadían una tapa. Posteriormente perfeccionaron su técnica, creando los barriles que aun hoy en día conocemos. Su principal característica es la forma en que sellan el barril para asegurar su impermeabilidad, y es mediante la propia presión que ejerce el líquido interior y la capacidad de la madera de hincharse. Los celtas descubrieron que simplemente sujetando con aros de madera o metal una serie de duelas situadas correctamente haciendo un cilindro, se conseguía que la propia presión de estas duelas por expandirse asegurase que el tonel no dejase salir el líquido contenido.

Los barriles, así como alforjas, bolsas o sacos, serían los recipientes usados mayoritariamente en el transporte durante siglos, y la disposición de estos y el uso de unos u otros variaba en función del contenido a transportar y la forma de transporte. Antes del ferrocarril, el principal método de transporte era el barco, pudiendo llevar grandes cantidades de productos por ríos, mares y océanos. Estas cargas debían apilarse y amarrarse por dos razones, la primera para optimizar el espacio y la segunda para evitar movimientos de la carga que pudiesen poner en peligro la estabilidad de las embarcaciones. A los sitios en que no se llegaba con barco se hacía uso de carretas tiradas por animales, con una capacidad de carga muy pequeña en comparación con la de los barcos.

No obstante, los envases de vidrio y barro cocido se mantendrían también a lo largo de siglos, perfeccionándose con el paso del tiempo tanto el propio envase como las técnicas de tratamiento del producto dentro del envase. Así pues, en la época de Napoleón y en base a la necesidad de sus ejércitos por conservar alimentos para las largas campañas, el gobierno francés emitió un premio económico a quien consiguiese conservar mejor los alimentos de rápida descomposición. Este premio lo ganaría Nicolás-François Appert, un francés nacido en el 1749 a quien en el 1810 se le otorgó el premio gracias a su invención de la esterilización mediante el calentamiento en agua hirviendo de los frascos de vidrio sellados que contenían el alimento perecedero.



Imagen 6: Nicolás-François Appert.

A partir del nuevo método de conservación de Nicolás Appert, Peter Durand crearía los primeros botes o latas para envasar comida, aunque como no estaba vinculado a la industria de producción de alimentos, vendió la patente a Bryan Donkin y John Hall, quienes llevaron a cabo la comercialización de las latas con alimentos. En sus inicios, estas latas estaban fabricadas a mano, con hierro forjado y soldaduras de plomo que hoy en día sabemos que son tóxicas. Esto hacía que la lata tuviese un coste de fabricación de unas 6 horas la pieza, entre fabricar la lata y preparar la comida a enlatar y unos precios que solo se podían permitir la burguesía de la época. Una mayor mecanización del proceso productivo, en parte provocada por el aumento de la demanda debido al creciente número de personas en zonas urbanas redujo este tiempo hasta aproximadamente media hora, es decir, en un 8,33% del tiempo inicial.

En paralelo a este desarrollo de las latas de metal en Inglaterra, Thomas Kensett, inglés que emigra a Estados Unidos, funda su propia empresa de envasado y crea su propia patente estadounidense de latas de hierro laminado mejoradas.

Por otro lado, a finales del siglo XIX, se desarrollaron los primeros paquetes de cartón, como complementos y protección de joyería y relojes. Este cartón todavía era débil y se deterioraba con el transporte, por lo que no fue hasta la invención del cartón corrugado, por parte de Oliver Long, que la industria del cartón no cogió fuerza. Se presentaron nuevas patentes en base a esta y Robert Gain desarrolló la llamada “caja americana”, una caja estándar con hendiduras y pegado de la solapa, un sistema muy similar al actual. Si bien al principio no se usaban más que como soporte interior de las cajas de madera, usadas en el transporte y almacenaje de la época, los avances en la técnica y las mejoras de la maquinaria convirtieron a esta caja de cartón, en uno de los recipientes más usados hasta la fecha.

Las guerras que se sucedieron a lo largo del siglo XIX y XX, aumentaron en gran medida la demanda de comida enlatada, lo que aumentó enormemente la variedad tanto de las formas o presentaciones de los botes como de la comida que contenían, redujo costes y aumentó el número de empresas dedicadas a la fabricación y distribución de latas.

Su baja fragilidad las hacía excelentes para las guerras, en comparación con el peligro que conllevaban unos envases de cristal. Esto, sumado a la buena conductividad térmica que tienen las latas, fue decisivo en el uso de estos recipientes para su uso en conflictos militares. A su vez, al aumentar la inversión en el desarrollo de latas de comida, se permitió un abaratamiento de costes que, sumado al fin de los conflictos, redirigió el comercio hacia los sectores urbanos de clase media, clase que cogía cada vez más relevancia en el panorama internacional.

La forma de estas latas era también mucho mejor para su transporte, ya que permitía amontonarlas ordenadamente. Además, dado su pequeño tamaño, podían llevarse sueltas o hacer pequeños conjuntos o paquetes de latas.

Estos nuevos envases perfeccionados a lo largo del siglo XX impulsaron el estudio de la logística, adquiriendo esta cada vez más importancia en la industria en general y en el ámbito militar en particular. Ejemplo de esto es la invención y uso del palé, que se introdujo en la Primera Guerra Mundial, una “plataforma de tablas para almacenar y transportar mercancías”, según la propia definición de la RAE. El uso de esta plataforma permitiría una optimización en el almacenamiento de los productos y constituiría una forma fácil, robusta y rápida de transportar los suministros, armas o demás bienes. Tanto fue así, que aún hoy en día se sigue usando el palé como una de las formas más estandarizadas para agrupar, apilar, almacenar, manipular y transportar mercancías empaquetadas y se invierte en la mejora de esto, conscientes de la mejora de rendimiento y el rápido retorno de la inversión.

4. El palé y la operación de paletizado

Antes de abordar el tema entorno al cuál gira este documento, es necesario explicar algunas características del palé y finalmente, en qué consiste la operación de paletizado.

Un palé es una unidad de carga, que facilita el manejo de esta con seguridad, de acuerdo con las Recomendaciones ISO 445 – 1965 (EFR) “un palé es una plataforma de carga que consiste básicamente en dos bases, separadas entre sí por soportes, o una base única apoyada sobre patas de una altura suficiente para permitir su manipuleo por medio de camiones montacargas o camiones paleteros. El término palé incluye paletas planas, de caja o con pilares.” Sus características principales son:

- Robustez y capacidad de carga sin altas deformaciones ni daños.
- La relación peso/resistencia debe conservar la integridad del palé ante caídas accidentales y además mantener un peso suficientemente bajo como para permitir la manipulación del mismo de forma manual.
- Para los palés reusables, han de tener un diseño que permita reparaciones económicas. Además, deberán ser resistentes a la humedad, dada la posibilidad de que se apilen a la intemperie.

Cabe mencionar que, pese a estar estandarizados, los palés no tienen una sola medida ni material de fabricación ni diseño de fabricación, por lo que se pueden clasificar los palés según estas características en distintos grupos:

4.1. Palés según material de fabricación:

- Madera: preferentemente de pino, aunque también se usa madera de eucalipto y distintos tipos de conglomerados. Además, se usan tableros celulares, aglomerados y contrachapados. Para el transporte de alimentos pueden requerir desinfección fitosanitaria.



Imagen 7: Palé de madera.

- Plásticos: moldeados por inyección. Como ventajas principales cabe decir que son duraderos, no absorben humedad, son económicos y fáciles de limpiar.



Imagen 8: Palé de plástico.

- Metales: aluminio (usados generalmente en el transporte aéreo); en menor medida, acero. Para el caso de los de aluminio, cabe considerar que son livianos y fáciles de limpiar, pero son más costosos que los de otros materiales.

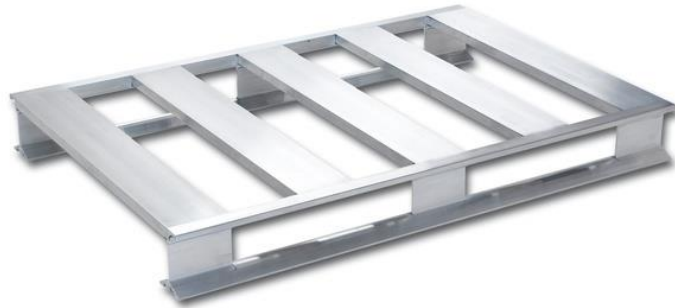


Imagen 9: Palé de aluminio.

- Cartón: cartón corrugado (usados generalmente en el transporte aéreo). Al igual que los de madera, pueden requerir desinfección fitosanitaria.



Imagen 10: Palé de cartón.

4.2. Palés según diseño:

- Dos o cuatro entradas para el accionar de las uñas del autoelevador.



Imagen 11: Palé de entrada doble y palé de cuatro entradas.

- De una sola cara útil o reversibles.



Imagen 12: Palé de una sola cara útil y palé reversible.

- Normales o con aletas, para el caso particular de la manipulación mediante eslingas para la actividad en los puertos.



Imagen 13: Palé normal y palé con aletas.

- De piso simple o doble.



Imagen 14: Palé de piso simple y palé de piso doble.

4.3. Palés según dimensiones en Europa:

- EUR o EUR 1: 800mm de ancho x 1.200mm de largo.
- EUR 2: 1.200mm de ancho x 1.000mm de largo.
- EUR 3: 1.000mm de ancho x 1.200mm de largo.
- EUR 6: 800mm de ancho x 600mm de largo.



Imagen 15: Palés europeos según dimensiones.

Una vez entendido lo que es un palé, es más sencillo entender el concepto de paletizado. Así pues, se define el paletizado como una operación que consiste en la disposición de mercancías sobre un palé, u otra base, generalmente como combinación o agrupación de bultos, que pueda ser manejado como una sola unidad, para un determinado volumen de carga.

Destacar que la información referente a los palés y el paletizado ha sido obtenida principalmente del libro “Envases y Embalajes para el Comercio Internacional” de Roberto Bloch, concretamente del capítulo “Los Pallets en el comercio internacional”, información que ha sido contrastada con otras fuentes para comprobar su autenticidad.

Por último, cabe mencionar que la forma más usual de paletizado consiste en colocar un conjunto de bultos o cajas (generalmente de cartón) apiladas de manera ordenada sobre un palé, aunque también se puede colocar una sola unidad, para facilitar el almacenado y transporte, estos serán seguidamente enrollados con un plástico fino (también llamado “enfardado”) para evitar que caigan las cajas debido al movimiento y finalmente cargados en el camión mediante transpaletas, carretillas elevadoras o ambas.

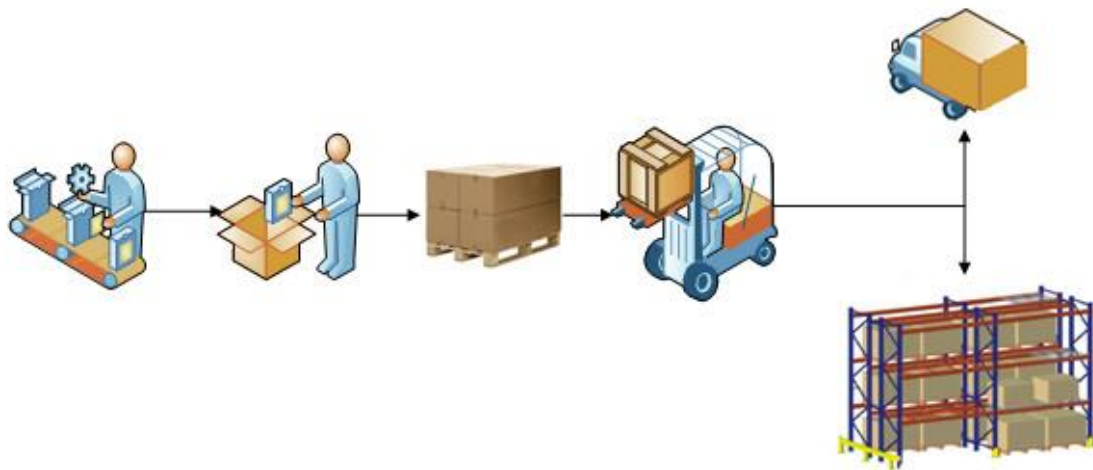


Imagen 16: Dibujo de las operaciones de envasado, encajado y paletizado realizadas por operarios.

Con los conocimientos adquiridos en esta pequeña introducción sobre el envasado y paletizado, se puede hacer una apreciación de la rentabilidad que ofrece automatizar el proceso de envasado y paletizado, el lector comprende algunas de las características que ha de cumplir el proceso, tales como las dimensiones estandarizadas en que hay que trabajar, las características de robustez que hay que mantener o la necesidad de que el bulto sea considerado como una sola unidad de carga, para poder trabajar correctamente, por poner algunos ejemplos.

5. Clasificación de los robots

Antes de abordar los distintos **robots** estudiados, el lector necesita tener unos conocimientos mínimos sobre **robótica** tanto para ver qué rango de **robots** de los que ofrece el mercado han sido incluidos en este documento y cuáles no se han tenido en consideración, como para entender algunos conceptos básicos antes de abordar el reto que supone considerar la automatización de su planta industrial. También es altamente recomendable que entienda las palabras incluidas en el apartado glosario, según vayan apareciendo en el documento, señaladas en negrita.

Los **robots** pueden clasificarse en diferentes formas o categorías: según la generación a la que pertenecen, el tipo de configuración morfológica, su arquitectura, su inteligencia, su aplicación, el nivel de control y el nivel del lenguaje de programación.

5.1. Clasificación según generación:

- Primera generación: Capaces de repetir tareas programadas de forma secuencial, sin tener en cuenta su entorno.
- Segunda generación: Capaces de adquirir información del entorno y actuar respecto a esta, de forma limitada.
- Tercera generación: Capaces de planificar automáticamente tareas mediante programación con **lenguaje natural**, también llamado **lenguaje de cuarta generación**.

5.2. Clasificación según la configuración morfológica:

- Cartesianos: su posicionamiento en el espacio se lleva a cabo mediante **articulaciones lineales**.

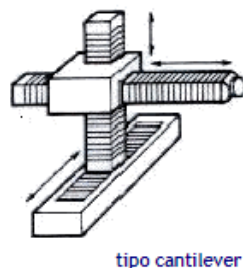


Imagen 17: Dibujo de configuración tipo voladizo.

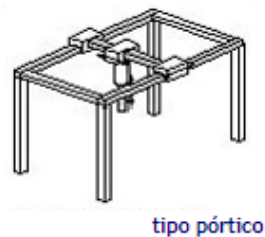


Imagen 18: Dibujo de configuración tipo pórtico.

- Cilíndrico: posee una **articulación rotacional** sobre la base y **articulaciones lineales** para el movimiento en altura y radio.

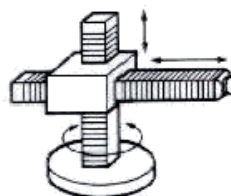


Imagen 19: Dibujo de configuración cilíndrica.

- Polar: posee dos **articulaciones rotacionales** y tan solo una lineal.



Imagen 20: Dibujo de configuración polar.

- Esférica: posee las tres **articulaciones rotacionales**. Es comúnmente conocida como “brazo articulado” dada su semejanza a un brazo humano.

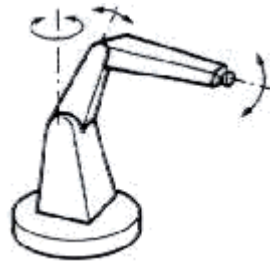


Imagen 21: Dibujo de configuración esférico.

- Mixta: engloba el resto de combinaciones posibles de **articulaciones rotacionales-lineales** para **robots** de tres articulaciones. Destacando la configuración SCADA principalmente, con cuatro grados de libertad y posicionamiento horizontal.

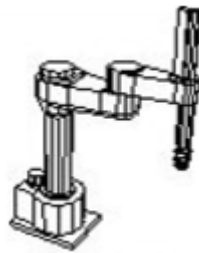


Imagen 22: Dibujo de configuración SCADA.

- Paralela: posee una base y una plataforma que opera como **actuador** final, unida por varias **cadena cinemáticas**.



Imagen 23: Dibujo de configuración paralela.

5.3. Clasificación según arquitectura:

- Poli-articulados: caracterizados por ser **robots** en gran medida sedentarios y estar estructurados para mover sus elementos terminales en un espacio de trabajo definido por uno o más **sistemas de coordenadas** y con un número limitado de **grados de libertad**.

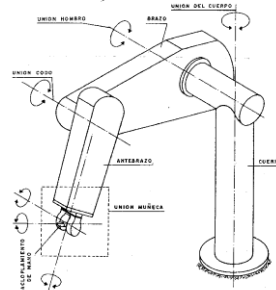


Imagen 24: Dibujo de un robot poli-articulado.

- Móviles: dotados de ruedas, patas, orugas u otros mecanismos que les permiten desplazarse. Pueden ser controlados mediante un dispositivo remoto, ser independientes, actuando en función de la información recogida del entorno por sus **sensores** o una combinación de ambos, pudiendo cambiar de un modo de funcionamiento a otro.

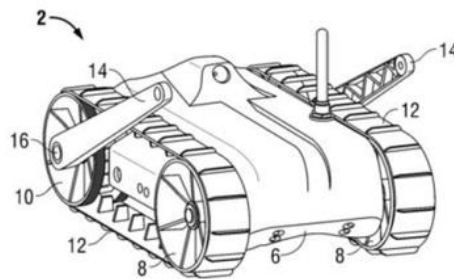


Imagen 25: Dibujo de un robot móvil.

- Androides: reproducen total o parcialmente el comportamiento y la **cinemática** del ser humano. Todavía en fases iniciales de desarrollo, principalmente a causa de la gran dificultad que conlleva el control del equilibrio en el desplazamiento bípedo, así como la de la **inteligencia artificial**.

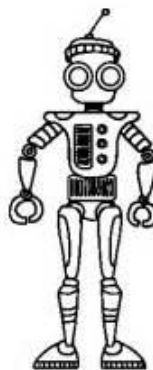


Imagen 26: Dibujo de un robot androide.

- Zoomórficos: caracterizados por tener un sistema de locomoción que imita al de algún animal. Son usuales los **robots** con formas de araña, dado su mejor control del equilibrio que les permite moverse por entornos difíciles.

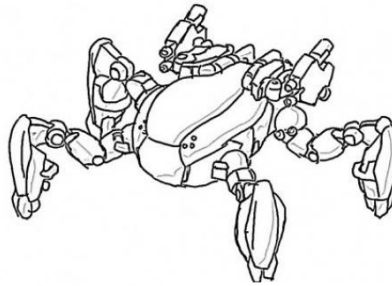


Imagen 27: Dibujo de un robot zoomórfico.

- Híbridos: dentro de este grupo se encuentran aquellos cuya morfología o arquitectura es una combinación de algunas de las anteriores.



Imagen 28: Robot híbrido.

5.4. Clasificación según su inteligencia:

- Dispositivos de manejo manual: controlados por personas, usualmente de forma telemática.
- **Robots** de secuencia arreglada: controlados mediante una programación cerrada, que no permite cambios de secuencias.
- **Robots** de secuencia variable: controlados mediante programación, permiten al operador modificar la secuencia fácilmente.
- **Robots** regeneradores: el **robot** es conducido por el operario a través de la tarea.
- **Robots** de control numérico: el operario alimenta los parámetros a través de los cuales actuará el **robot**.
- **Robots** inteligentes: pueden entender el entorno y adaptarse a cambios en este.

5.5. Clasificación según su aplicación:

- Industriales: destinados a realizar de forma automática determinados procesos de fabricación o manipulación. Son los más conocidos.



Imagen 29: Diseño 3D de un robot industrial.

- Médicos: principalmente divididos en dos categorías. Por una parte, prótesis para disminuidos físicos que se adaptan al cuerpo y les ayudan a realizar las funciones cotidianas. Por otro lado, **sistemas tele-operados** usados en **cirugía mínimo-invasiva**.



Imagen 30: Robot quirúrgico Da Vinci.

- Militares: funciones diversas en el ámbito de la seguridad, como vigilancia o del rescate de personas, así como desactivación de artefactos explosivos. Se están desarrollando nuevas funciones, generalmente de uso de armas operadas a distancia.



Imagen 31: Robot militar de desactivación de artefactos explosivos.

- Campo: aplicaciones de minería, agricultura, forestal, ganadería, etc. Siendo una de las aplicaciones más comunes el ordeño de animales.



Imagen 32: Robot de campo para el ordeño de animales.

- Exploración: usados para llegar a lugares de difícil acceso y obtener información de estos. Los más conocidos son los **robots** usados en las misiones espaciales.

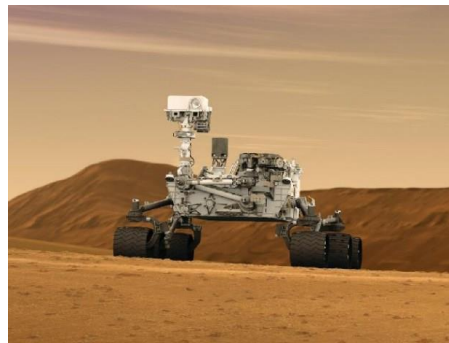


Imagen 33: Robot Curiosity en la misión de Marte.

5.6. Clasificación según su nivel de control:

- Servosistemas: los **actuadores** controlan los parámetros de los mecanismos mediante el uso de una **realimentación** interna de los datos obtenidos por los **sensores**. Posteriormente, la ruta a seguir es modificada sobre la base de estos datos. Todas las detecciones de fallas y mecanismos de corrección son implementadas en este nivel.
- Modo de control: los movimientos del sistema son **modelados**. Se incluye la **interacción dinámica** entre los diferentes mecanismos, trayectorias planeadas, y los puntos de asignación seleccionados.
- **Inteligencia artificial**: el programa aceptará comandos sencillos como "paletizar artículo" y los descompondrá en una cadena de **funciones de bajo nivel** aptas para el funcionamiento de los dispositivos que tengan que implementarlas.

5.7. Clasificación según el nivel del lenguaje de programación:

- Programación gestual: el **robot** interviene en el proceso, recordando las posiciones seleccionadas por las que tendrá que pasar. Puede ser usada por operarios sin experiencia en **programación clásica**. No obstante, solo se programa una secuencia fija que no tiene en cuenta el entorno una vez finalizada la programación.
- Programación textual nivel-robot: la programación no requiere la interacción directa con el **robot**, puesto que las trayectorias y acciones son calculadas con precisión por el programador. Este programa los movimientos del **robot** necesarios para la tarea. Puede cambiar sus acciones en función del entorno si ha sido programado para ello.
- Programación textual nivel-tarea: mismas características que la anterior, con la diferencia que el programador especifica las tareas en términos de posiciones entre piezas (no de movimientos del **robot**) y el **robot** varía sus movimientos para adaptarse a estas trayectorias.

6. Modelos de robots usados en la actualidad

A continuación, se presentan algunos de los **robots** esféricos enfocados a procesos de paletización cuyas marcas tienen oficinas comerciales propias en España. No se contemplan los **robots** cuyas marcas no tengan en la actualidad oficinas comerciales en el territorio, porque el nicho a quien interesa principalmente este documento son empresas pequeñas y medianas, que suelen tener problemas al tratar con proveedores extranjeros debido a la falta de entendimiento a causa del idioma, el tiempo que se pierde en el envío de repuestos o de personal técnico de reparaciones o los costes añadidos que implican el transporte del **robot**, accesorios y piezas de reparaciones.

Robots de paletizado antropomórficos organizados según marcas:

6.1. YASKAWA

MPL 80II



Características técnicas:

Ejes controlados:	5
Alcance máximo de trabajo:	2.061 mm
Peso:	550 Kg
Carga útil:	80 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	170 °/segundo
Precisión:	0'07 mm
Montaje:	suelo, pared

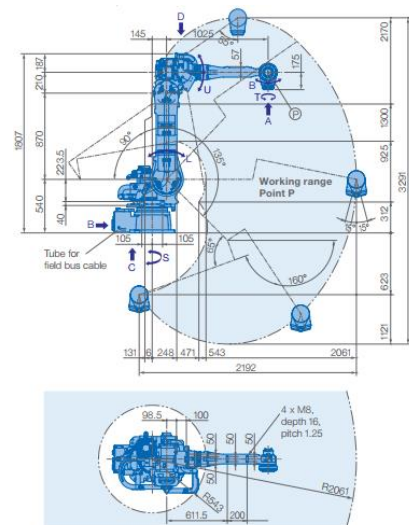


Imagen 35: Robot YASKAWA MPL 80II.

Imagen 34: Espacio de trabajo del MPL 80II.

MPL 100II



Características técnicas:

Ejes controlados:	5
Alcance máximo de trabajo:	2.150 mm
Peso:	950 Kg
Carga útil:	115 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	88 °/segundo
Precisión:	0'2 mm
Montaje:	suelo

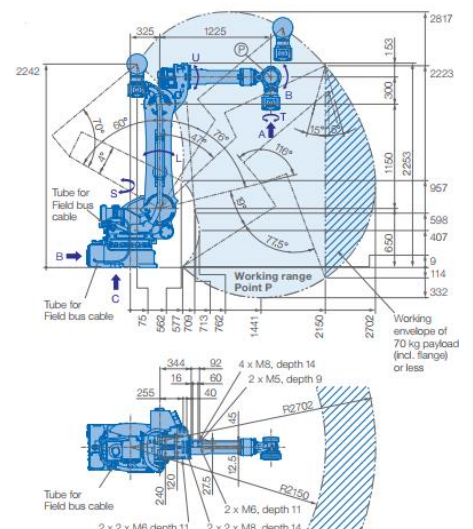


Imagen 36: Robot YASKAWA MPL 100II.

Imagen 37: Espacio de trabajo del MPL 100II.

MPL 160II



Características técnicas:

- Ejes controlados:** 4
- Alcance máximo de trabajo:** 3.159 mm
- Peso:** 1.700 Kg
- Carga útil:** 160 Kg
- Velocidad de articulación restrictiva:** 140º/segundo
- Precisión:** 0'5 mm
- Montaje:** suelo

Imagen 38: Robot YASKAWA MPL 160II.

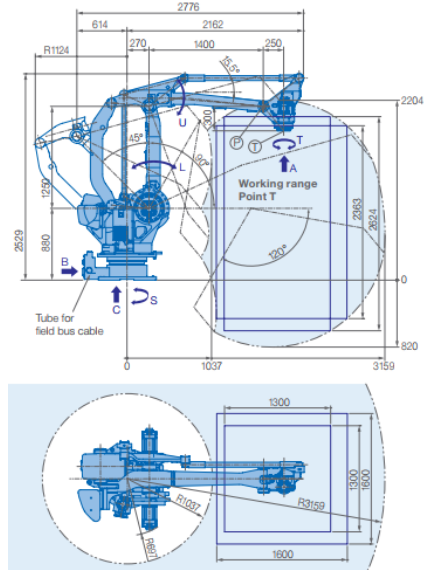


Imagen 39: Espacio de trabajo del MPL 160II.

MPL 300II



Características técnicas:

- Ejes controlados:** 4
- Alcance máximo de trabajo:** 3.159 mm
- Peso:** 1.820 Kg
- Carga útil:** 300 Kg
- Velocidad de articulación restrictiva:** 90º/segundo
- Precisión:** 0'5 mm
- Montaje:** suelo

Imagen 40: Robot YASKAWA MPL 300II.

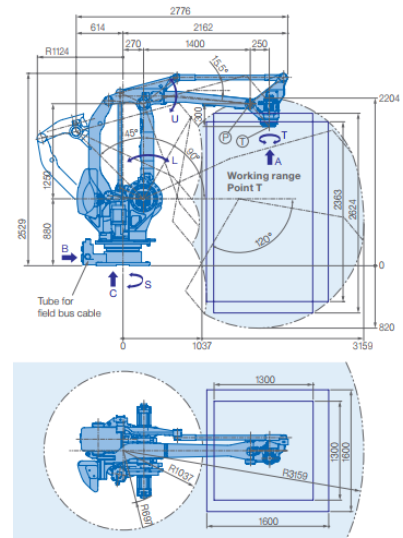


Imagen 41: Espacio de trabajo del MPL 300II.

MPL 500II



Características técnicas:

- Ejes controlados:** 4
- Alcance máximo de trabajo:** 3.159 mm
- Peso:** 2.300 Kg
- Carga útil:** 500 Kg
- Velocidad de articulación restrictiva:** 80º/segundo
- Precisión:** 0'5 mm
- Montaje:** suelo

Imagen 42: Robot YASKAWA MPL 500II.

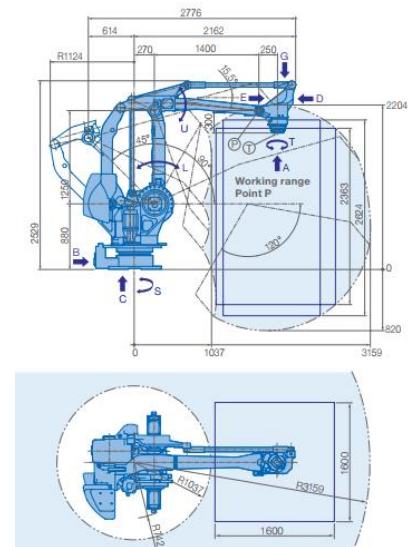


Imagen 43: Espacio de trabajo del MPL 500II.

MPL 800II



Imagen 44: Robot YASKAWA MPL 800II.

Características técnicas:

Ejes controlados:	4
Alcance máximo de trabajo:	3.159 mm
Peso:	2.550 Kg
Carga útil:	800 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	65º/segundo
Precisión:	0'5 mm
Montaje:	suelo

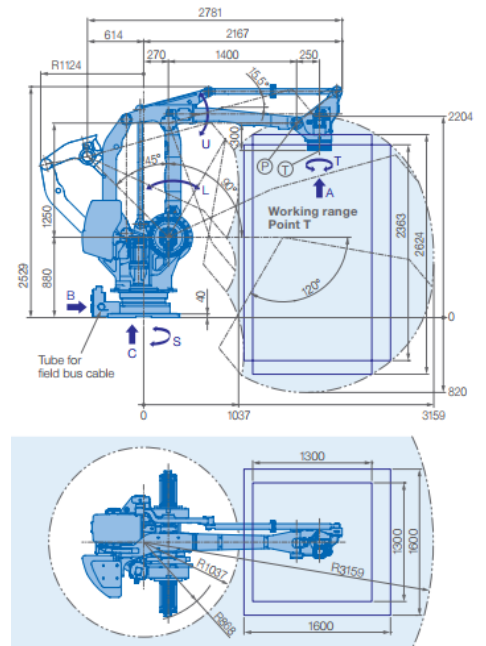


Imagen 45: Espacio de trabajo del MPL 800II.

6.2.ABB IRB 460



Imagen 46: Robot ABB IRB 460.

Características técnicas:

Ejes controlados:	4
Alcance máximo de trabajo:	2.400 mm
Peso:	925 Kg
Carga útil:	110 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	110º/segundo
Precisión:	0'2 mm
Montaje:	suelo

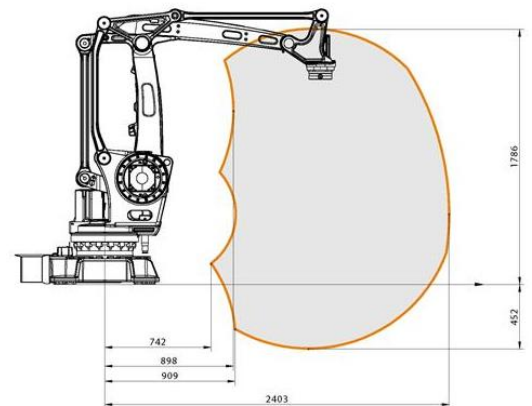


Imagen 47: Espacio de trabajo del IRB 460.

IRB 660



Imagen 48: Robot ABB IRB 660.

Características técnicas:

Ejes controlados:	4
Alcance máximo de trabajo:	3.150 mm
Peso:	1.650 Kg
Carga útil:	250 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	95º/segundo
Precisión:	0'1 mm
Montaje:	suelo

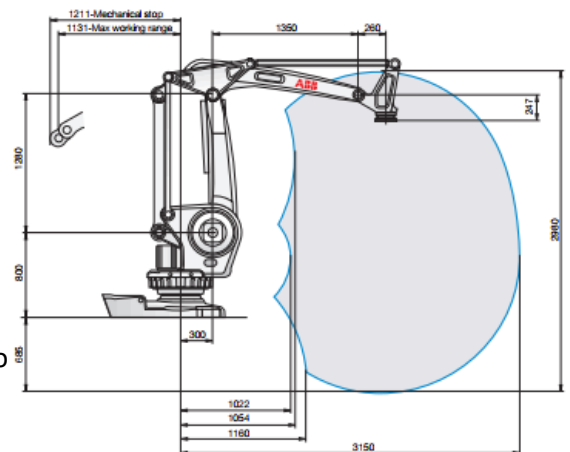


Imagen 49: Espacio de trabajo del IRB 660.

IRB 760



Características técnicas:

Ejes controlados:	4
Alcance máximo de trabajo:	3.180 mm
Peso:	2.310 Kg
Carga útil:	450 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	85º/segundo
Precisión:	0'05 mm
Montaje:	suelo

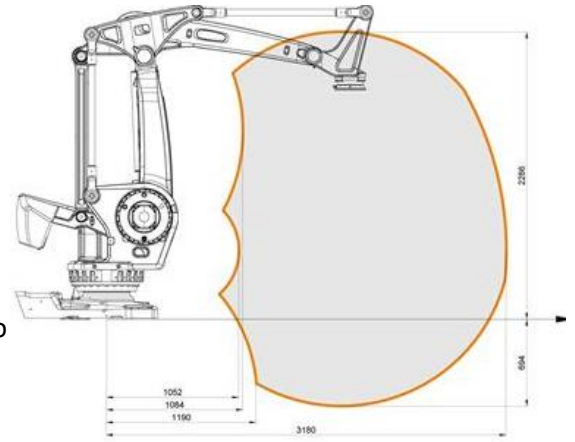


Imagen 50: Robot ABB IRB 760.

Imagen 51: Espacio de trabajo del IRB 760.

IRB 7600



Características técnicas:

Ejes controlados:	6
Alcance máximo de trabajo:	2.550 mm
Peso:	2.450 Kg
Carga útil:	500 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	60º/segundo
Precisión:	0'05 mm
Montaje:	suelo

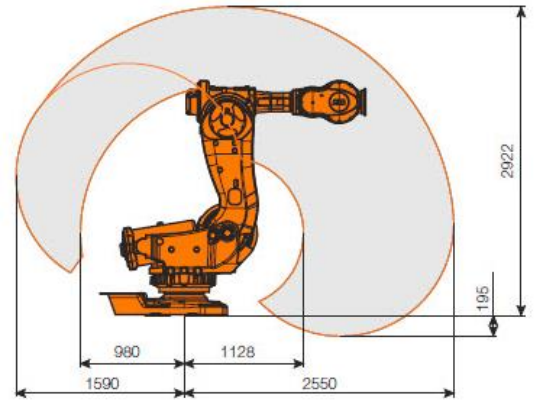


Imagen 53: Robot ABB IRB 7600.

Imagen 52: Espacio de trabajo del IRB 7600.

6.3. FANUC

M-410iB/140H



Características técnicas:

Ejes controlados:	5
Alcance máximo de trabajo:	2.850 mm
Peso:	1.200 Kg
Carga útil:	140 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	115º/segundo
Precisión:	0'2 mm
Montaje:	suelo

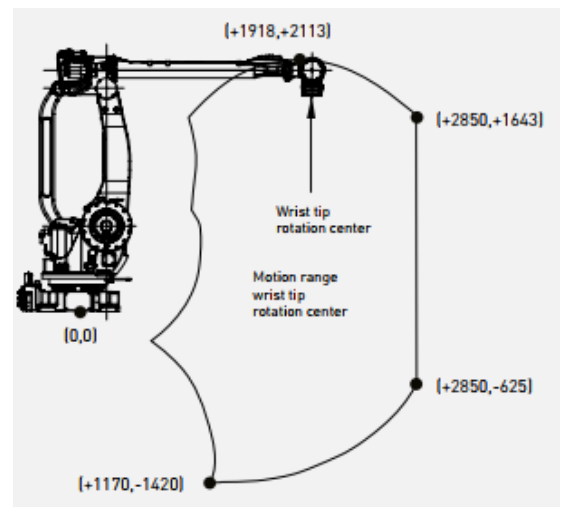


Imagen 54: Robot FANUC M-410iB/140H.

Imagen 55: Espacio de trabajo del M-410iB/140H.

M-410iB/450



Características técnicas:

Ejes controlados:	4
Alcance máximo de trabajo:	3.130 mm
Peso:	2.430 Kg
Carga útil:	450 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	70º/segundo
Precisión:	0'5 mm
Montaje:	suelo

Imagen 56: Robot FANUC M-410iB/450.

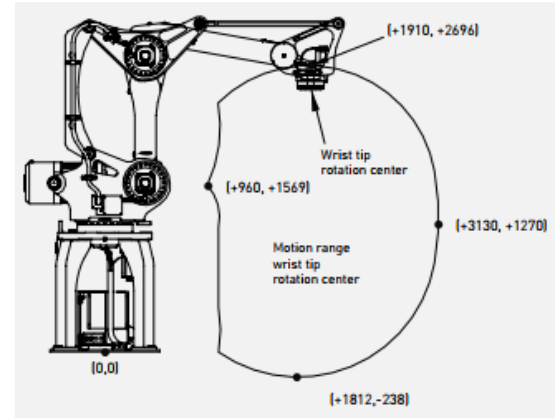


Imagen 57: Espacio de trabajo del M-410iB/450.

M-410iB/700



Características técnicas:

Ejes controlados:	4
Alcance máximo de trabajo:	3.143 mm
Peso:	2.700 Kg
Carga útil:	700 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	60º/segundo
Precisión:	0'5 mm
Montaje:	suelo

Imagen 59: Robot FANUC M-410iB/700.

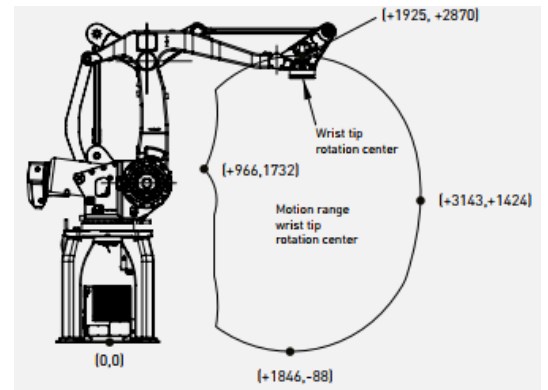


Imagen 58: Espacio de trabajo del M-410iB/700.

M-410iC/185



Características técnicas:

Ejes controlados:	4
Alcance máximo de trabajo:	3.143 mm
Peso:	1.600 Kg
Carga útil:	185 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	140º/segundo
Precisión:	0'5 mm
Montaje:	suelo

Imagen 61: Robot FANUC M-410iC/185.

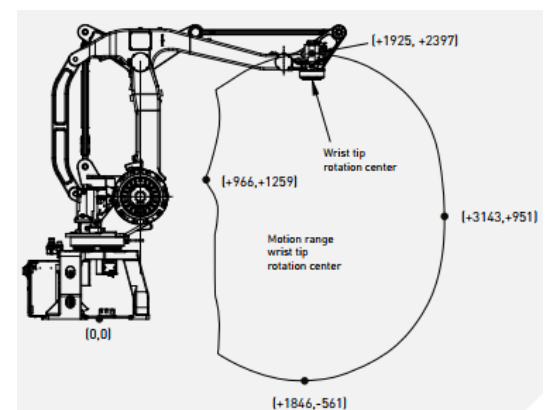


Imagen 60: Espacio de trabajo del M-410iC/185.

M-410iC/315



Características técnicas:

Ejes controlados:	4
Alcance máximo de trabajo:	3.143 mm
Peso:	1.600 Kg
Carga útil:	315 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	140º/segundo
Precisión:	0'5 mm
Montaje:	suelo

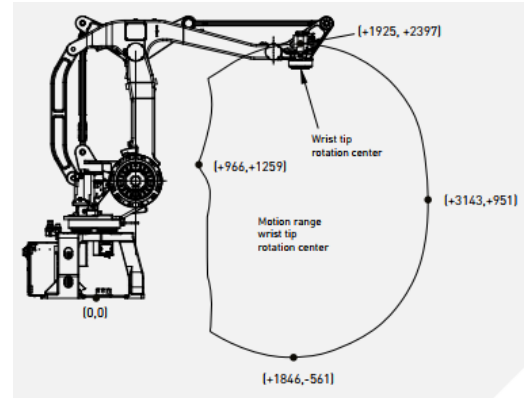


Imagen 63: Robot FANUC M-410iC/315.

Imagen 62: Espacio de trabajo del M-410iC/315.

M-410iC/500



Características técnicas:

Ejes controlados:	4
Alcance máximo de trabajo:	3.143 mm
Peso:	2.410 Kg
Carga útil:	500 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	85º/segundo
Precisión:	0'5 mm
Montaje:	suelo

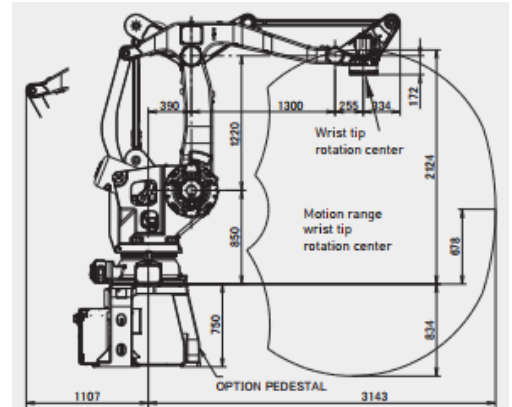


Imagen 65: Robot FANUC M-410iC/500.

Imagen 64: Espacio de trabajo del M-410iC/500.

6.4. KUKA

KR 40 PA



Características técnicas:

Ejes controlados:	4
Alcance máximo de trabajo:	2.091 mm
Peso:	695 Kg
Carga útil:	40 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	153º/segundo
Precisión:	0'05 mm
Montaje:	suelo

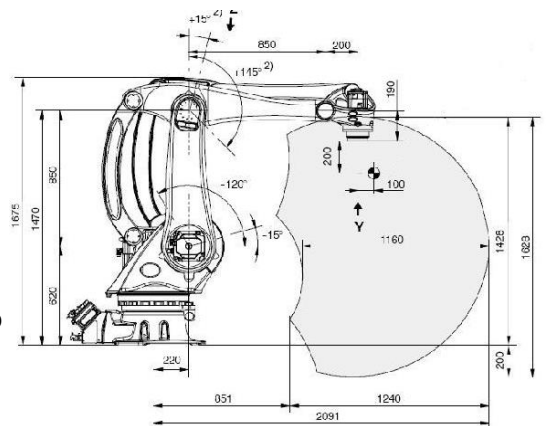


Imagen 67: Robot KUKA KR 40PA.

Imagen 66: Espacio de trabajo del KR 40 PA.

KR 120 R3200



- Características técnicas:
- Ejes controlados:** 5
 - Alcance máximo de trabajo:** 3.195 mm
 - Peso:** 1.075 Kg
 - Carga útil:** 120 Kg
 - Velocidad de articulación restrictiva:** 112º/segundo
 - Precisión:** 0'06 mm
 - Montaje:** suelo

Imagen 69: Robot KUKA Kr 120 R3200.

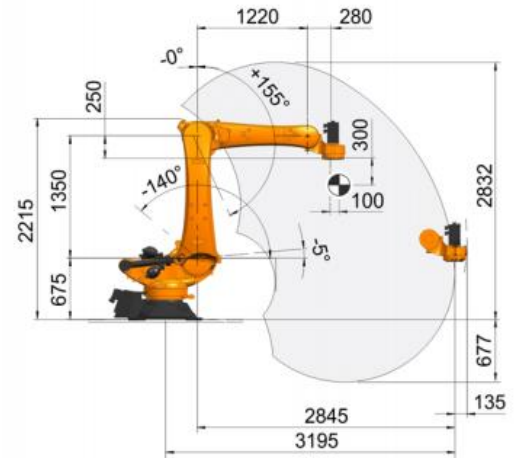


Imagen 68: Espacio de trabajo del KR 120 R3200.

KR 180 R3200



- Características técnicas:
- Ejes controlados:** 5
 - Alcance máximo de trabajo:** 3.195 mm
 - Peso:** 1.093 Kg
 - Carga útil:** 180 Kg
 - Velocidad de articulación restrictiva:** 105º/segundo
 - Precisión:** 0'06 mm
 - Montaje:** suelo

Imagen 71: Robot KUKA KR 180 R3200.

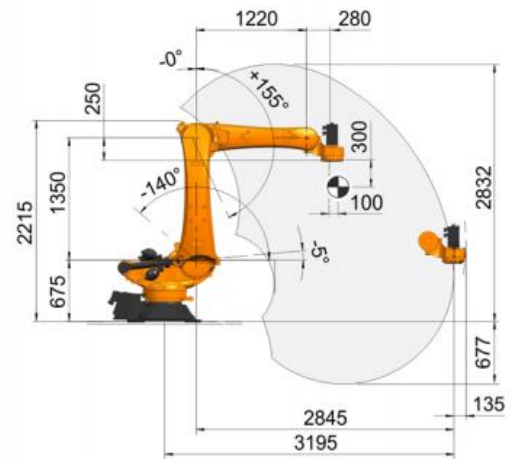


Imagen 70: Espacio de trabajo del KR 180 R3200.

KR 240 R3200



- Características técnicas:
- Ejes controlados:** 5
 - Alcance máximo de trabajo:** 3.195 mm
 - Peso:** 1.103 Kg
 - Carga útil:** 240 Kg
 - Velocidad de articulación restrictiva:** 101º/segundo
 - Precisión:** 0'06 mm
 - Montaje:** suelo

Imagen 73: Robot KUKA KR 240 R3200.

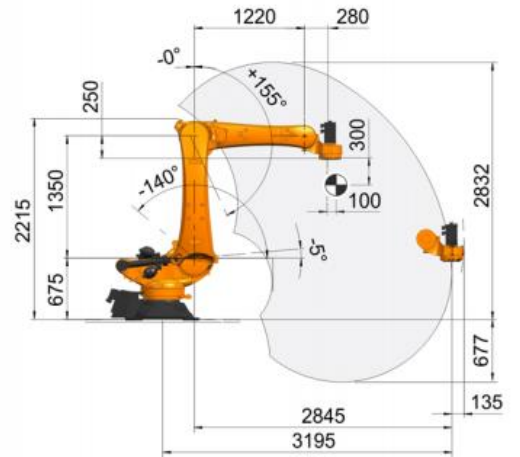


Imagen 72: Espacio de trabajo del KR 240 R3200.

KR 300-2 PA



Características técnicas:

- Ejes controlados:** 4
- Alcance máximo de trabajo:** 3.150 mm
- Peso:** 2.150 Kg
- Carga útil:** 300 Kg
- Velocidad de articulación restrictiva:** 89º/segundo
- Precisión:** 0'08 mm
- Montaje:** suelo

Imagen 75: Robot KUKA KR 300-2 PA.

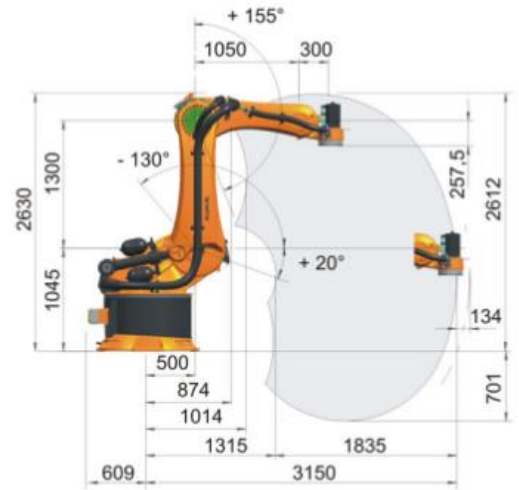


Imagen 74: Espacio de trabajo del KR 300-2 PA

KR 470-2 PA



Características técnicas:

- Ejes controlados:** 4
- Alcance máximo de trabajo:** 3.150 mm
- Peso:** 2.150 Kg
- Carga útil:** 470 Kg
- Velocidad de articulación restrictiva:** 73º/segundo
- Precisión:** 0'08 mm
- Montaje:** suelo

Imagen 77: Robot KUKA KR 470-2 PA.

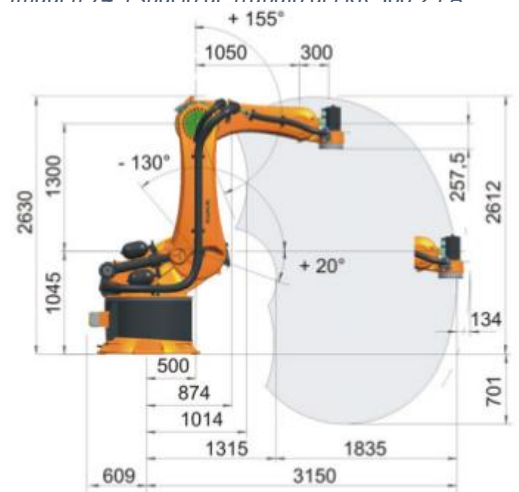


Imagen 76: Espacio de trabajo del KR 470-2 PA.

KR 700 PA



Características técnicas:

- Ejes controlados:** 4
- Alcance máximo de trabajo:** 3.320 mm
- Peso:** 2.850 Kg
- Carga útil:** 700 Kg
- Velocidad de articulación restrictiva:** 67º/segundo
- Precisión:** 0'15 mm
- Montaje:** suelo

Imagen 79: Robot KUKA 700 PA.

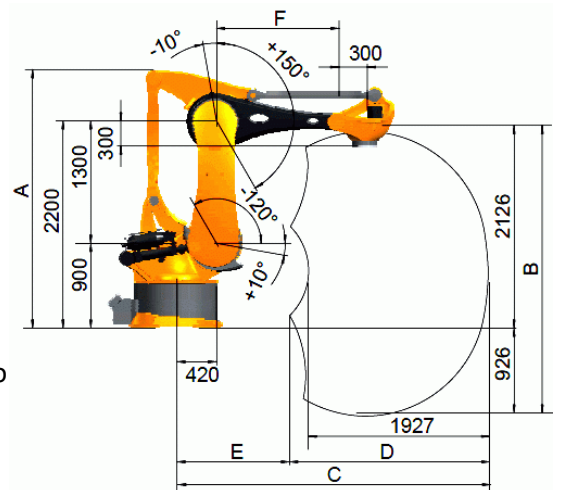


Imagen 78: Espacio de trabajo del KR 700 PA.

KR 1000 1300 titan PA



Características técnicas:

Ejes controlados:	6
Alcance máximo de trabajo:	3.202 mm
Peso:	4.690 Kg
Carga útil:	1.300 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	50º/segundo
Precisión:	0'1 mm
Montaje:	suelo

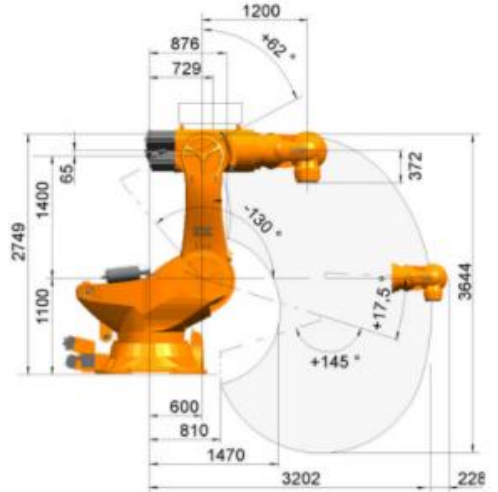


Imagen 80: Robot KUKA KR 1000 1300 titan PA.

Imagen 81: Espacio de trabajo del KR 1000 1300 titan PA.

KR 1000 L950 titan PA



Características técnicas:

Ejes controlados:	6
Alcance máximo de trabajo:	3.601 mm
Peso:	4.740 Kg
Carga útil:	950 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	50º/segundo
Precisión:	0'1 mm
Montaje:	suelo

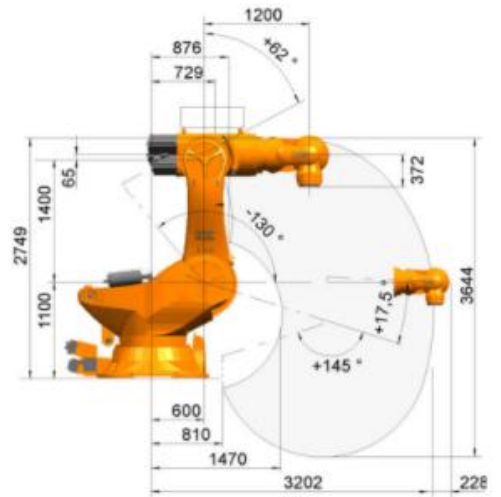


Imagen 82: Robot KUKA KR 1000 L950 titan PA.

Imagen 83: Espacio de trabajo del KR 1000 L950 titan PA.

6.5. Staübli TX90XL



Características técnicas:

Ejes controlados:	6
Alcance máximo de trabajo:	1.450 mm
Peso:	116 Kg
Carga útil:	5 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	350º/segundo
Precisión:	0'04 mm
Montaje:	suelo, pared, techo

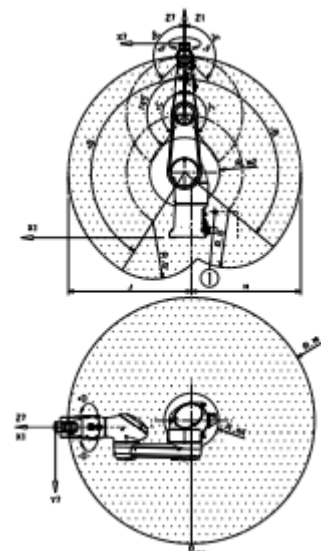


Imagen 84: Robot Staübli TX90.

Imagen 85: Espacio de trabajo del TX90XL.

RX160



Características técnicas:

Ejes controlados:	6
Alcance máximo de trabajo:	1.710 mm
Peso:	248 Kg
Carga útil:	20 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	200º/segundo
Precisión:	0'05 mm
Montaje:	suelo, techo

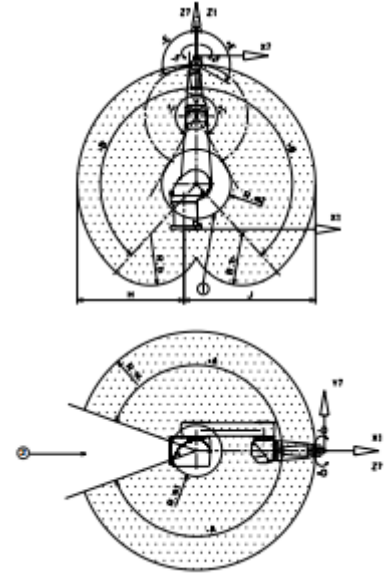


Imagen 86: Robot Staubli RX160.

RX160L



Características técnicas:

Ejes controlados:	6
Alcance máximo de trabajo:	2.100 mm
Peso:	250 Kg
Carga útil:	14 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	200º/segundo
Precisión:	0'05 mm
Montaje:	suelo, techo

Imagen 87: Espacio de trabajo del RX160 y RX160L.

Imagen 88: Robot Staubli RX160L.

TX200



Características técnicas:

Ejes controlados:	6
Alcance máximo de trabajo:	2.194 mm
Peso:	1000 Kg
Carga útil:	100 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	150º/segundo
Precisión:	0'1 mm
Montaje:	suelo, techo

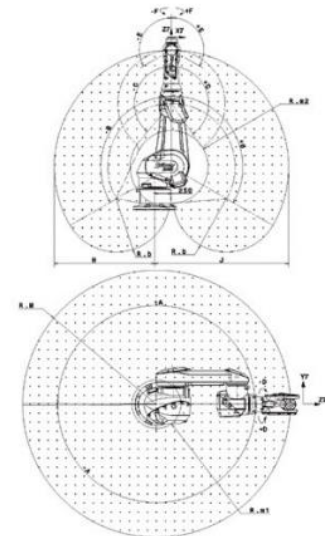


Imagen 89: Robot Staubli TX200.

Imagen 90: Espacio de trabajo del TX200 y TX200L.

TX200L



Características técnicas:

Ejes controlados:	6
Alcance máximo de trabajo:	2.594 mm
Peso:	1020 Kg
Carga útil:	60 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	150º/segundo
Precisión:	0'1 mm
Montaje:	suelo, techo

Imagen 91: Robot Staubli TX200L.

TX160 HE



Características técnicas:

Ejes controlados:	6
Alcance máximo de trabajo:	1.710 mm
Peso:	248 Kg
Carga útil:	20 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	200º/segundo
Precisión:	0'05 mm
Montaje:	suelo, techo

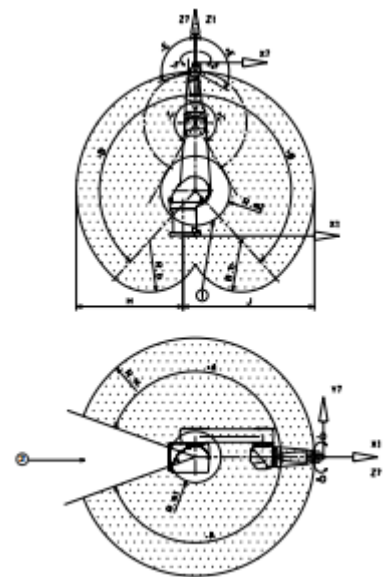


Imagen 92: Robot Staubli TX160 HE.

TX160L HE



Características técnicas:

Ejes controlados:	6
Alcance máximo de trabajo:	1.710 mm
Peso:	248 Kg
Carga útil:	20 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	200º/segundo
Precisión:	0'05 mm
Montaje:	suelo, techo

Imagen 93: Espacio de trabajo del TX160 HE y TX160L HE.

Imagen 94: Robot Staubli TX160L HE.

6.6. Universal Robots

UR5



Imagen 96: Robot UR5.

Características técnicas:

Ejes controlados:	6
Alcance máximo de trabajo:	850 mm
Peso:	18'4 Kg
Carga útil:	5 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	180º/segundo
Precisión:	0'1 mm
Montaje:	suelo, pared, techo

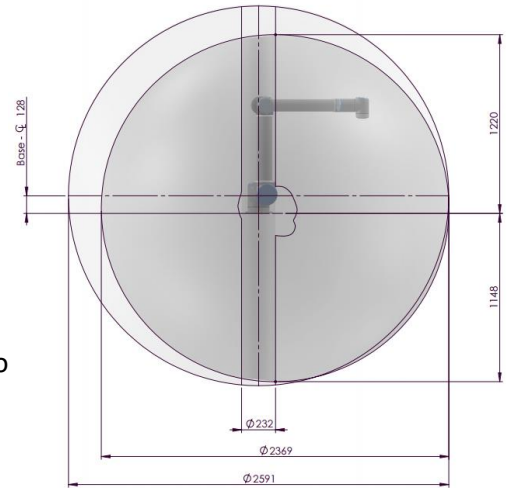


Imagen 95: Espacio de trabajo del UR5.

UR10

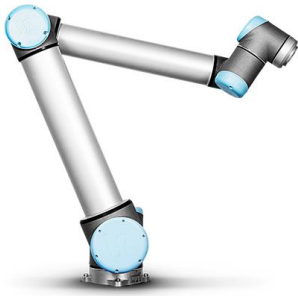


Imagen 98: Robot UR10.

Características técnicas:

Ejes controlados:	6
Alcance máximo de trabajo:	1.300 mm
Peso:	28'9 Kg
Carga útil:	10 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	180º/segundo
Precisión:	0'1 mm
Montaje:	suelo, pared, techo

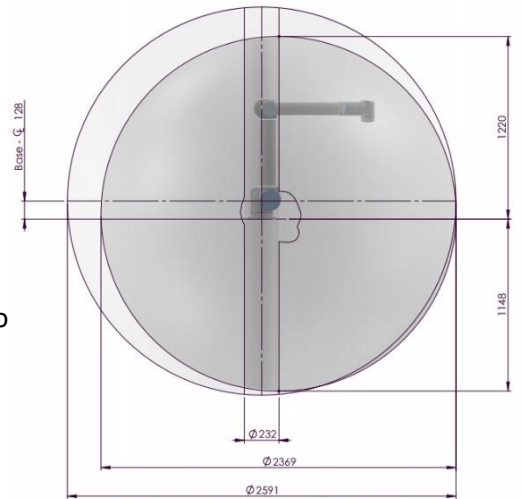


Imagen 97: Espacio de trabajo del UR10.

6.7. COMAU

PAL 180 3.1



Imagen 100: Robot COMAU PAL 180 3.1.

Características técnicas:

Ejes controlados:	4
Alcance máximo de trabajo:	3.100 mm
Peso:	1213 Kg
Carga útil:	180 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	100 º/segundo
Precisión:	0'1 mm
Montaje:	suelo

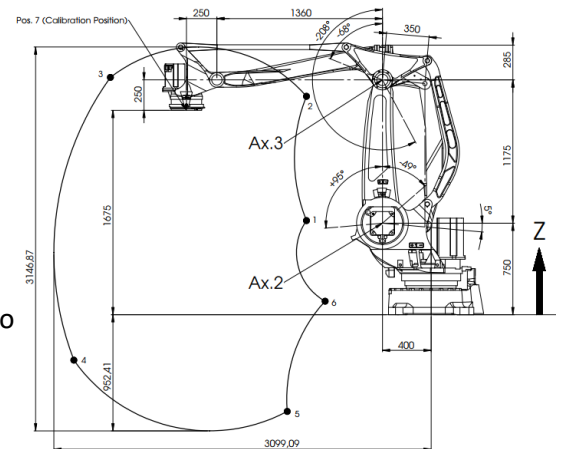


Imagen 99: Espacio de trabajo del PAL 180 3.1.

PAL 260 3.1



Características técnicas:

Ejes controlados:	4
Alcance máximo de trabajo:	3.100 mm
Peso:	1213 Kg
Carga útil:	260 Kg
Velocidad de articulación restrictiva:	90 °/segundo
Precisión:	0'1 mm
Montaje:	suelo

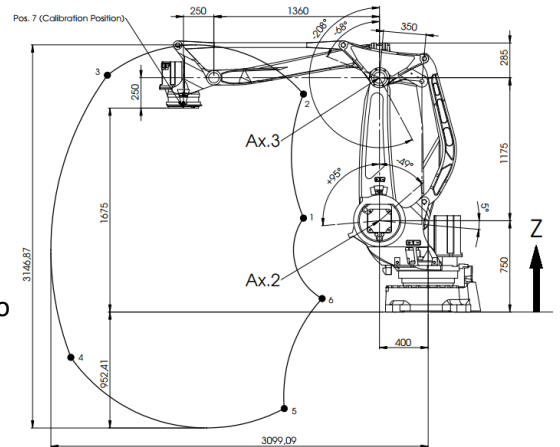


Imagen 102: Robot COMAU PAL 260 3.1.

Imagen 101: Espacio de trabajo del PAL 260 3.1.

6.8. Características explicadas:

Las morfologías esféricas o de brazo robótico se están situando con tanta fuerza en el sector gracias a la mayor flexibilidad ofrecida por la cantidad de ejes que controlan, con arquitecturas poli-articuladas y sistemas **modelados** para el control, pudiendo ser también mediante **inteligencia artificial** si se les añaden los **sensores** necesarios. Puesto que están enfocados a una tarea que no cambia (paletizado) pero cuyas cargas útiles y tamaños de las cajas o palés sí suelen cambiar, suelen ser **robots** de secuencia variable, si los artículos se mantienen invariables durante mucho tiempo, de control numérico, para **robots** de pocos ejes cuyas coordenadas a introducir sean sencillas, o incluso **robots** inteligentes que, mediante el uso de una cámara incorporada o de otro **sensor**, pueda reajustar sus coordenadas relativas en función de las del artículo con el que tiene que trabajar.

Una característica interesante de los **robots** de paletizado, principalmente de los de configuración brazo robótico, es que pueden ser programados mediante los tres modos de programación mencionados anteriormente, tanto la gestual como la nivel-robot y nivel-tarea. Cabe destacar también que normalmente las compañías suelen disponer de un **software** propio, intuitivo para los operarios, con el que se pueden programar tareas sencillas desde una consola conectada al **robot** o mediante programación gestual y la posibilidad de trabajar a su vez con programas comerciales que permiten una mayor flexibilidad y un mejor control cuando la aplicación aumenta de dificultad.

Un ejemplo de esto lo encontramos en la empresa YASKAWA, que trabaja con diferentes **softwares** de MOTOMAN, teniendo incluso uno para la operación de paletizado concretamente, llamado "PalletSolver". Pero a su vez, cualquier persona que tenga conocimientos de Robotmaster u otros **softwares** de CAD/CAM puede también trabajar con sus **robots** sin problemas.

Además, como se puede comprobar en las características referenciadas en los diferentes modelos de **robots** mencionados, los **robots** dedicados a operaciones de paletizado no suelen tener más de 4 **ejes controlados**, aunque ello no significa que no puedan usarse **robots** con más **ejes controlados**, como es el caso de los UR o Staübli o algunos de otras marcas como ABB o KUKA para grandes cargas.

Explicar que la principal ventaja de controlar más ejes es que se puede programar no solo la posición, en coordenadas de ancho, largo y alto, sino que también se puede programar la orientación. Así, para un **robot** de 3 ejes, lo normal es que se controle tan solo la posición; para un **robot** de 4 ejes, se controle la posición y se permita rotar a voluntad del programador el artículo respecto a un eje imaginario perpendicular a la caja; para un **robot** de 5 ejes, el programador puede elegir la posición y dos de los tres valores que definen la orientación de un cuerpo, generalmente la rotación y otro de entre el balanceo o la inclinación según convenga; para un **robot** de 6 ejes, el programador controla tanto las tres variables que fijan la posición como las tres variables que fijan la orientación. El problema que conlleva querer controlar más variables es que esto dificulta la programación y el control.

El alcance supera siempre los 1.200mm, tamaño usual del palé, excepto en el caso del UR5 que tiene tan solo 850mm, debido a que es un **robot** más pequeño enfocado también a tareas de envasado, pero que puede cargar palés de dimensiones pequeñas. En el caso de los esféricos, no suelen superar tampoco los 4.000mm de alcance debido a la dificultad que conlleva el control de estos y que la tensión que debe soportar en la punta del **robot**, donde está situado el **manipulador**, aumenta con la distancia que separa a esta del punto de apoyo. En cambio, si lo que se buscara fuese un rango de recorridos largo, la elección correcta serían los **robots** lineales, que tienen una estructura más resistente y de control más fácil, lo que les permite tener alcances de hasta 10.000mm, aunque estos no se han considerado en el estudio puesto que ofrecen menos flexibilidad que los esféricos.

Igual de importante que el alcance de trabajo es el espacio que ocupen, puesto que, excepto si hablamos de **robots colaborativos**, la forma en que se incluyan los **robots** en la cadena de producción irá condicionada no solo por el espacio que ocupa el propio **robot** sino también por las barreras de seguridad que impidan el acceso a las zonas donde éste trabaja, mecanismos de seguridad que deben asegurar el cumplimiento de las normas UNE-EN ISO 10218-1:2012 y UNE-EN ISO 10218-2:2011. Si este o el anterior son puntos críticos, se recomienda comparar los **robots** según las imágenes del espacio de trabajo en que operan.

Habría comprobado que una misma marca posee varios modelos muy parecidos, los cuales principalmente varían en la carga que pueden llevar. También varían en la velocidad a la que puede trabajar, que viene condicionada por la velocidad máxima del eje más restrictivo y en la distancia o alcance de trabajo. Estas tres características están directamente relacionadas entre ellas, de forma que contra más peso tenga el **robot**, entre carga útil y peso propio, mayor será el **momento angular** que cree y, por lo tanto, mayor será el desgaste de las articulaciones y el peligro de que se rompa el **robot**, además de aumentar considerablemente la dificultad en el control del **robot**. Sucede lo mismo con la distancia, contra mayor es la distancia mayor será el **momento angular** que se cree en el **manipulador**. No obstante, la velocidad más reducida a la que trabajan estos **robots** reduce a su vez el **momento angular** que se crea, lo cual, aunque soluciona el problema, reduce también la rentabilidad del **robot**.

La velocidad es un factor importante pues, si bien una velocidad reducida permite controlar el **momento angular**, una velocidad alta permite un alto número de ciclos por minuto, es decir, de piezas que puede paletizar en un minuto. Por ello, es importante elegir los **robots** más ligeros y cuya carga útil se ajuste mejor a la máxima carga con la que vaya a trabajar la empresa, para obtener así mayores ciclos por minuto.

En cuanto a la precisión, si bien es un factor que suele favorecer a los **robots** a la hora de compararlos con los operarios, en este tipo de operaciones no suele ser un factor clave, puesto

que el error que se tolera al paletizar cajas es mucho mayor. Por ello tampoco tendría sentido basar la elección del **robot** en una mejor precisión, siendo que hay otros factores más relevantes y críticos.

Otros detalles que necesitamos saber antes de elegir un **robot** u otro son, no solo los productos que va a paletizar, sino también el entorno en el que lo va a hacer. Así pues, si esto se va a llevar a cabo en empresas donde se necesita un nivel de residuos o polvo ínfimos, existen **robots** similares a los mencionados, de estas mismas marcas, que están específicamente diseñados para **salas blancas**, como serían los **robots** de la marca Staübli TX90 cr/scr y RX 160 cr, de características similares al TX90 y RX 160 o los ABB IRB 2400, IRB 6640 y IRB 7600 mencionado anteriormente en el documento.

Para entornos con temperaturas por encima de 50 o 60°C es necesaria una funda especial que proteja al **robot** para asegurar su correcto funcionamiento y su vida útil, al igual que en entornos con productos químicos corrosivos. Para temperaturas por debajo de 0°C, todos los **robots** mencionados requieren también una funda adicional que les proteja de esas bajas temperaturas tal como la mostrada en la siguiente imagen:

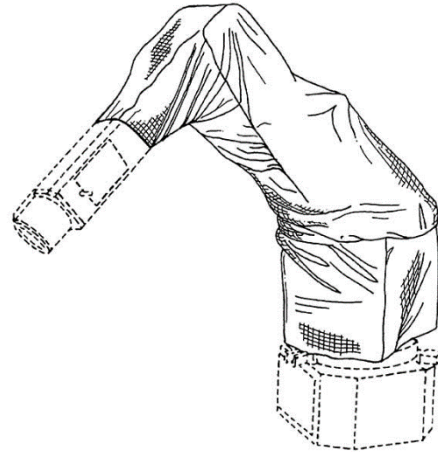


Imagen 103: Dibujo de un robot con funda incorporada.

Aunque la marca KUKA ofrece también los **robots**: KR 120 R3200 PA artic, KR 180 R3200 PA artic y KR 240 PA artic, de características similares a los expuestos antes: KR 120 R3200 PA, KR 180 R3200 PA y KR 240 R3200 PA, pero que trabajan con temperaturas de entre -30°C y 10°C sin necesidad de fundas térmicas.

Ante entornos húmedos como algunas empresas de alimentación, existen soluciones especiales como es el caso de los **robots** Staübli TX160 HE y TX160L HE, incluidos anteriormente en el documento.

No obstante, excepto en algunas aplicaciones concretas de alimentación, no suele ser necesario proteger al **robot** paletizador de entornos muy húmedos o de temperaturas extremas, es por ello por lo que no se han mencionado sus características ni espacio de trabajo en el documento. Además, muchos son variantes de los mencionados aquí, cuya única característica especial es soportar ese entorno poco usual.

Como estas situaciones no son las comunes, solo se considerarán para la comparativa con los operarios a los **robots** introducidos en el presente texto. No obstante, es necesario conocer las soluciones que ofrece el sector tanto en forma de **robots** especiales como en forma de accesorios para los **robots** convencionales.

7. Accesorios

Una automatización de una operación de paletizado no requiere únicamente de los **robots**, es necesario también tener una serie de consideraciones en cuenta. Para comprenderlo mejor, en este apartado se explica cómo es una operación de paletizado automatizada y con qué accesorios hay que contar cuando se aborda el estudio sobre una de estas.

Por un lado, para paletizar una serie de artículos se requiere primero una superficie que se pueda transportar con facilidad sobre la que hacerlo, las más comunes son los propios palés, así como cajas grandes de cartón. Estas cajas de cartones o palés han de colocarse en un punto desde donde los **robots** puedan asentar los productos y una vez terminado el lote, ha de poder ser retirada la caja o palé lleno para poder colocar otros vacíos. Esta operación puede realizarse a mano por un operario o automatizarse también, aunque los **robots** que se ocupan de ello requieren una gran cantidad de espacio en comparación con el operario.

Previamente a la alimentación de palés vacíos y retirada de palés llenos es necesario su llenado y para ello se necesita encontrar la ubicación del artículo con precisión, para que el **robot** pueda moverlo a su lugar dentro del lote que se esté paletizando. Esto se consigue generalmente de dos formas: una más flexible y con una inversión y dificultad de programación del **robot** mayores, que es mediante el uso de sistemas de **visión artificial** que permiten, por ejemplo, paletizar varios palés con productos distintos, según llegue primero un artículo u otro por la cinta o rodillos; y otra menos flexible, pero que presenta menos dificultad de programación y complicidad, es mediante el uso de **centradores** o **empujadores**, los cuales sitúan los productos en una ubicación fija, la cual el **robot** usará como coordenada para coger el producto.

Tanto en el caso de querer ubicar el artículo mediante **visión artificial** como de querer situarlo en una coordenada determinada, es necesario transportar este desde la última parte de producción, es decir, el envasado, hasta el lugar donde se vaya a realizar la operación de paletizado. Este transporte suele hacerse mediante rampas o rodillos, si llevan suficiente fuerza los artículos al salir de la línea de producción terminados. Pero si no es posible usar estos recursos, es necesario recurrir al uso de cintas transportadoras.

Igualmente hay que tener en cuenta que cuando se compra un **robot**, es necesario comprar también los **actuadores** necesarios para todas las operaciones que lleve a cabo el **robot**. Normalmente esto puede hacerse en la misma compañía en que se compra el **robot**, por lo que lo mejor es dejarse aconsejar por ella sobre qué **actuadores** comprar y para qué operación usar cada uno. Además, para reducir el tiempo en el cambio entre los distintos utillajes de la herramienta, se puede disponer de cambios automáticos, que permiten al **robot** cambiar de manera automática entre distintos útiles.

Otro accesorio necesario para el **robot** en operaciones de paletizado es la base sobre la que se monta, puesto que, para optimizar el amontonamiento de distintas capas de productos, se recomienda situar el **robot** a una altura tal que permita aprovechar al máximo su rango vertical, ya que, si el **robot** está situado a la misma altura que la primera fila del palé, se perderá la mitad del rango de altura, siendo esto ineficiente.

Finalmente, en un entorno de trabajo compartido por máquinas y operarios es necesario el uso de mecanismos de seguridad para evitar colisiones, atrapamientos o aplastamientos, así como la caída de piezas del **robot**, pudiendo ser estos unas simples barras que impidan el paso u otros mecanismos más sofisticados como **sensores**, así como fundas protectoras para el **robot**.

8. Comparación entre robots y operarios

8.1. Operarios

Las operaciones de manipulación de cargas llevadas a cabo por operarios tradicionalmente suelen hacerse de dos modos distintos:

- Las cargas menores de 25Kg, se realizan principalmente a mano, siendo estas las más comunes. La manipulación de cargas para estos pesos, si no se realiza de forma adecuada, puede provocar a la larga problemas de espalda, con dolores lumbares o cervicales, así como problemas en las muñecas, debido generalmente a posiciones forzadas. También supone un peligro para la parte inferior del cuerpo, puesto que pueden resbalarse de las manos del operario y caer a pies o rodillas, dañando estas.



Imagen 104: Dibujo de la manipulación de una carga por un operario.

Los costes aproximados de esta operación se calculan en base al tiempo medio que se tarda en completar una unidad paletizada*, añadiéndole el coeficiente de fatiga y el tiempo de descanso. Tras esto, se dividen las unidades paletizadas entre el tiempo que requiere en completarse el palé y obtenemos el tiempo por artículo. Con esto se calculan las piezas que pueden hacerse en un año laboral. Finalmente, dividiendo el salario bruto más la seguridad social que paga la empresa entre los productos que puede paletizar, se obtiene el coste por pieza procedente del coste de los operarios. Para este ejemplo, se usarán cajas de 8Kg y dimensiones: 20 cm de ancho, 20 cm de largo y 50 cm de alto.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo por unidad } \left(\frac{\text{seg}}{\text{ud}} \right) &= \\ &= \frac{\text{Tiempo estimado de carga} \cdot (\text{Coeficiente de fatiga} + \text{Tiempo descanso})}{\text{Unidades cargadas}} = \\ &= \frac{240 \text{ seg/palé} \cdot 1'17}{106 \text{ ud/palé}} = 2'65 \text{ seg/ud.} \\ \text{Unidades por año} &= \frac{\text{Tiempo de trabajo anual}}{\text{Tiempo por unidad}} = \\ &= \frac{1760 \text{ h/año} \cdot 3600 \text{ seg/h}}{2'65 \text{ seg/ud}} = 2.393.660 \text{ ud/año} \\ \text{Costes por unidad} &= \frac{\text{Costes del operario}}{\text{Unidades por año}} = \end{aligned}$$

$$\frac{16.700 \text{ €/año} + (0.3 \cdot 16.700 \text{ €})}{2.393.660 \text{ ud/año}} = 0'009 \text{ €/ud}$$

$$\text{Tiempo por palé} \left(\frac{\text{seg}}{\text{palé}} \right) =$$

$$= \frac{\text{Tiempo estimado de carga} \cdot (\text{Coeficiente de fatiga} + \text{Tiempo descanso})}{\text{Palé}} =$$

$$= \frac{240 \text{ seg/palé} \cdot 1'17}{1 \text{ palé}} = 280'8 \text{ seg/palé}$$

$$\text{Palés por año} = \frac{\text{Tiempo de trabajo anual}}{\text{Tiempo por palé}} =$$

$$= \frac{1760 \text{ h/año} \cdot 3600 \text{ seg/h}}{280'8 \text{ seg/palé}} = 22.564 \text{ palés/año}$$

$$\text{Costes por palé} = \frac{\text{Costes del operario}}{\text{Palés por año}} =$$

$$\frac{16.700 \text{ €/año} + (0.3 \cdot 16.700 \text{ €})}{22.564 \text{ palés/año}} = 0'962 \text{ €/palé}$$

- Las cargas mayores de 25Kg se realizan mediante la ayuda de polipastos, de forma que el operario no exceda esos pesos. Tienen la ventaja de reducir el riesgo de daños por desgaste al operario, pero también suponen una inversión a realizar por la empresa, además de un dispositivo lento y potencialmente peligroso, pues ha de engancharse correctamente al artículo, puesto que si se cae el artículo o la cadena golpea accidentalmente a alguien o algo, supone una situación de peligro.



Imagen 105: Polipasto de hasta 1 tonelada de carga útil

Los costes aproximados de esta operación se calculan de la misma manera que los anteriores, pero al tener un peso distinto, las piezas que caben en el palé y el tiempo de paletizado varían. Para este ejemplo se usan cajas de 70 Kg y unas dimensiones de: 40 cm de ancho, 50 cm de largo y 80 cm de alto. Además, hay que considerar también el coste del polipasto necesario para operar con estas cargas, siendo este de unos 300€ aproximadamente.

$$\begin{aligned}
& \text{Tiempo por unidad } \left(\frac{\text{seg}}{\text{ud}} \right) = \\
& = \frac{\text{Tiempo estimado de carga} \cdot (\text{Coeficiente de fatiga} + \text{Tiempo descanso})}{\text{Unidades cargadas}} = \\
& = \frac{210 \text{ seg/palé} \cdot 1'17}{14 \text{ ud/palé}} = 17'55 \text{ seg/ud.} \\
& \text{Unidades por año} = \frac{\text{Tiempo de trabajo anual}}{\text{Tiempo por unidad}} = \\
& = \frac{1760 \text{ h/año} \cdot 3600 \text{ seg/h}}{17'55 \text{ seg/ud}} = 361.025 \text{ ud/año} \\
& \text{Costes por unidad} = \frac{\text{Costes del operario}}{\text{Unidades por año}} = \\
& = \frac{16.700 \text{ €/año} + (0.3 \cdot 16.700 \text{ €})}{361.025 \text{ ud/año}} = 0'06 \text{ €/ud}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Tiempo por palé } \left(\frac{\text{seg}}{\text{palé}} \right) = \\
& = \frac{\text{Tiempo estimado de carga} \cdot (\text{Coeficiente de fatiga} + \text{Tiempo descanso})}{\text{Palé}} = \\
& = \frac{210 \text{ seg/palé} \cdot 1'17}{1 \text{ palé}} = 245'7 \text{ seg/palé} \\
& \text{Palés por año} = \frac{\text{Tiempo de trabajo anual}}{\text{Tiempo por palé}} = \\
& = \frac{1760 \text{ h/año} \cdot 3600 \text{ seg/h}}{245'7 \text{ seg/palé}} = 25.787 \text{ palés/año} \\
& \text{Costes por palé} = \frac{\text{Costes del operario}}{\text{Palés por año}} = \\
& = \frac{16.700 \text{ €/año} + (0.3 \cdot 16.700 \text{ €})}{25.787 \text{ palés/año}} = 0'84 \text{ €/palé}
\end{aligned}$$

8.2. Robots antropomórficos

- Carga ligera: inferior a 150 Kg, generalmente usados para cargar los artículos pequeños de manera individual o en pares. Procedimiento de carga similar al del operario humano. Dentro de este grupo se encuentran el MPL 80II, MPL 100II, IRB 460, M-410iB/140H, KR 40 PA, KR 120 R3200, TX90XL, RX160, RX160L, TX200, TX200L TX160 HE, TX160L HE, UR5, UR10, S5-15, S5-25, S5-35, S5-55, S5-75.

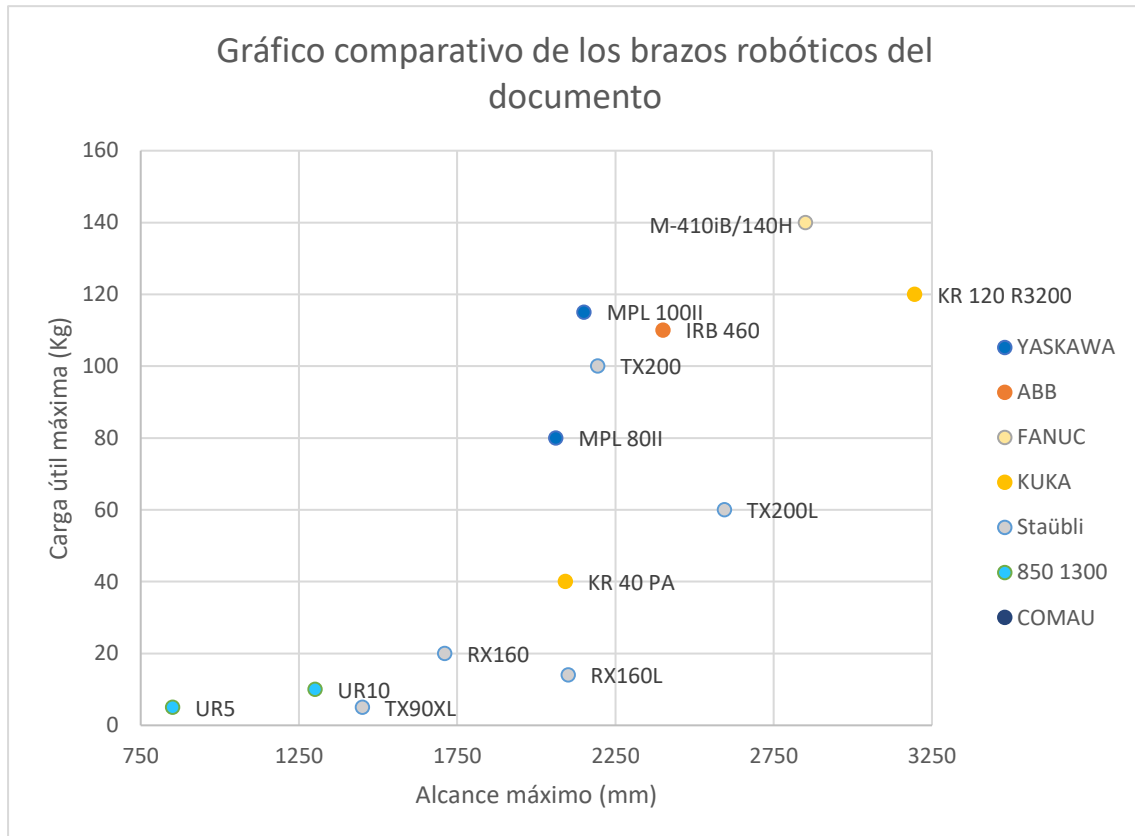


Imagen 106: Gráfico comparativo de los brazos robóticos del documento de carga ligera.

Los costes de estos **robots** rondan los ****30.000€**, pero dependiendo de los accesorios que necesite estos costes aumentarán en mayor o menor medida.

Así, si el **robot** requiere de una funda para trabajar en **sala blanca** o para facilitar labores de limpieza o para protecciones térmicas, sus precios oscilan alrededor de los *****3.000€**.

Para trabajar a cierta altura y poder llegar a la parte alta del palé, se suele colocar el **robot** sobre una base que sube el **robot** para poder aprovechar todo su alcance de trabajo, llamada **peana**, con un coste de unos ****1.500€**.

Si se está trabajando en espacios pequeños que requieren seguridad adicional, se pueden instalar **sensores** anticollisión, cuyo coste ronda los *****1.800€** o **sensores** de proximidad y su controlador, para evitar el contacto con operarios u obstáculos, de ****1.600€** de coste. Así como barreras de seguridad, bien sean un cerramiento perimetral o barreras fotoeléctricas, que rondan los **1.000€/unidad**.

Puesto que la principal ventaja de estos **robots** es su versatilidad, suele ser conveniente instalar cambios automáticos para no perder tiempo en cambiar utillajes al cambiar el producto a paletizar, estos tienen un precio de unos ***3.000€ para **robots** de cargas ligeras.

Para transportar la carga desde el tramo de envasado hasta el paletizado se requieren cintas transportadoras, **centradores** de banda y tramos giratorios o **empujadores** para salvar cambios de dirección. Los costes de estos oscilan entre 300€ y 3.000€.

Finalmente, se requieren los **actuadores** para que el **robot** pueda coger la carga, así como el cableado y caja eléctrica correspondiente. El precio de esto es muy variado, puesto que normalmente se diseñan para la aplicación concreta que el cliente requiera. Una pinza para coger cajas de carga liviana de manera individual apenas costará un par de miles de euros, mientras que un **actuador** que permita cargar toda una fila de productos, con una carga pesada, puede llegar a las decenas de miles de euros. De igual modo, si solo se elige un **actuador**, el precio total de la automatización será menor a si se escogen varios accesorios para cambiar entre ellos, pero a su vez se perderá la flexibilidad que ofrece disponer de brazos robotizados.

Por lo tanto, sin contar con los **actuadores**, componentes eléctricos ni la instalación, la automatización para un proceso de paletizado de cargas ligeras puede rondar los entre los 35.000€ y los 45.000€. Si añadimos estos costes, la automatización oscilará entre 55.000€ y 80.000€, dependiendo de los modelos que mejor se adapten a la aplicación requerida y la empresa instaladora.

Para hacer el cálculo de las unidades por año que es capaz de paletizar esta gama de **robots** se tomará en cuenta los ciclos por minuto del KUKA KR 40 PA, facilitados por la propia compañía.

Según KUKA, el KR 40 PA es capaz de paletizar 56 unidades por minuto. Así pues:

$$\begin{aligned}
 \textit{T tiempo por unidad} \left(\frac{\textit{seg}}{\textit{ud}} \right) &= \\
 &= \frac{\textit{T tiempo estimado de carga}}{\textit{Unidades cargadas}} = \\
 &= \frac{60 \textit{ seg}}{56 \textit{ ud}} = 1'07 \textit{ seg/ud} \\
 \textit{Unidades por año} &= \frac{\textit{T tiempo de trabajo anual}}{\textit{T tiempo por unidad}} = \\
 &= \frac{1760 \textit{ h/año} \cdot 3600 \textit{ seg/h}}{1'07 \textit{ seg/ud}} = 5.921.495 \textit{ ud/año}
 \end{aligned}$$

Considerando que se automatiza la primera operación antes puesta como ejemplo para el cálculo de los operarios, cuyo objetivo es llenar un palé de 106 unidades, el **robot** podría llenar:

$$\begin{aligned}
 \textit{T tiempo por palé} \left(\frac{\textit{seg}}{\textit{palé}} \right) &= \\
 &= \textit{T tiempo por unidad} \cdot \textit{Unidades por palé} = \\
 &= 1'07 \textit{ seg/ud} \cdot 106 \textit{ ud/palé} = 113'42 \textit{ seg/palé} \\
 \textit{Palés por año} &= \frac{\textit{T tiempo de trabajo anual}}{\textit{T tiempo por palé}} =
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1760 \text{ h/año} \cdot 3600 \text{ seg/h}}{113'42 \text{ seg/palé}} = 55.863 \text{ palés/año}$$

- Carga mediana: entre 150 Kg y 500 Kg, generalmente usados para cargar conjuntos de artículos, paletizando varios artículos a la vez. Las posibilidades de hacer esto dependen de los **actuadores** que tenga el **robot**. Requiere una inversión mayor, pero obtiene una cantidad considerable de piezas/minuto. Dentro de este grupo se encuentran el MPL 160II, MPL 300II, IRB 660, IRB760, M-410iB/450, M-410iC/185, M-410iC/315, KR 180 R3200, KR 240 R3200, KR 300-2 PA, KR 470-2 PA, PAL 180 3.1, PAL 260 3.1.

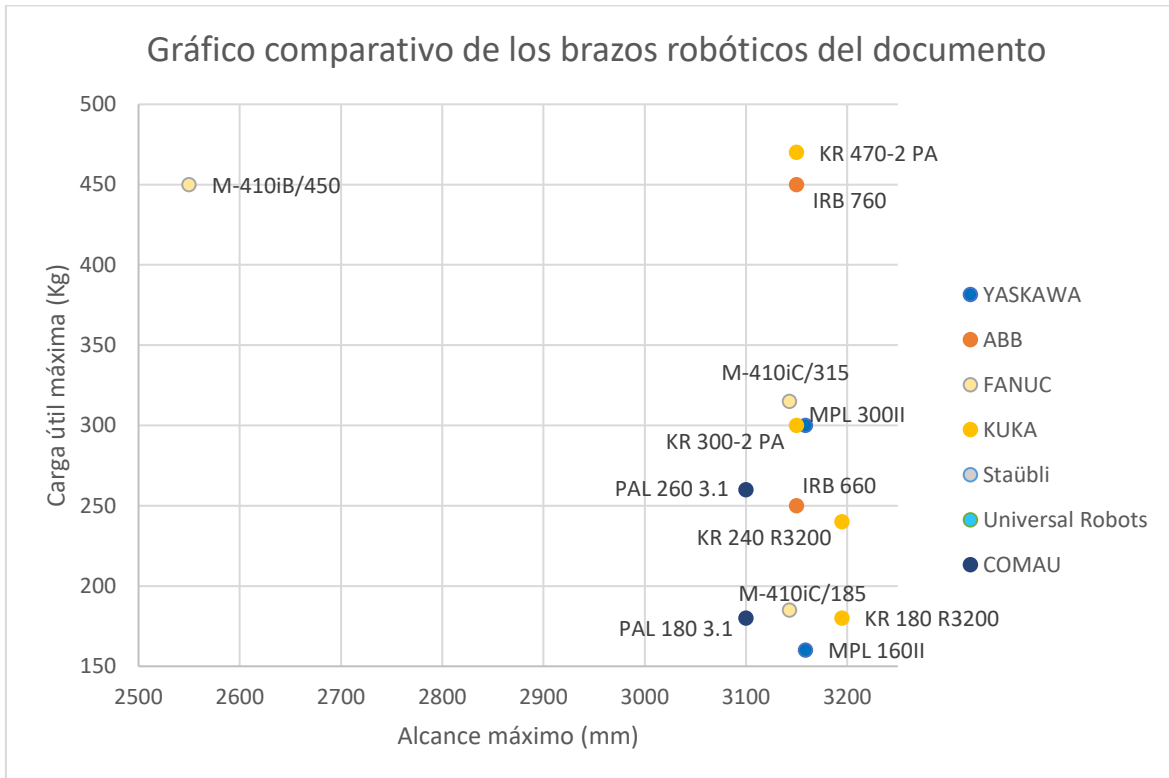


Imagen 107: Gráfica comparativa de los brazos robóticos del documento de carga mediana.

Los costes de estos **robots** rondan los ****35.000€**, pero dependiendo de los accesorios que necesite estos costes aumentarán en mayor o menor medida.

Así, si el **robot** requiere de una funda para trabajar en **sala blanca** o para facilitar labores de limpieza o para protecciones térmicas, sus precios oscilan alrededor de los *****5.000€**.

Para trabajar a cierta altura y poder llegar a la parte alta del palé, se requiere también una **peana**, con un coste de unos ****2.000€**.

Es importante tener en cuenta que, si se está trabajando en espacios pequeños y se requiere seguridad adicional, para cargas medianas y pesadas no se pueden instalar **sensores** anticolidión, debido a que la inercia que lleva esta misma carga puede dañar al **robot**, aun haciendo una parada con el **sensor**. Por lo tanto, se hace necesario el uso de **sensores** de proximidad para parar al **robot** cuando haya operarios cerca, cuyo coste es de aproximadamente ****1.600€** incluyendo el controlador de los **sensores** y barreras de seguridad, bien sean un cerramiento perimetral o barreras fotoeléctricas, que rondan los 1.000€/unidad.

Pese a que estos **robots** suelen tener **actuadores** más caros que permiten cargas de muchas unidades a la vez y, por lo tanto, no suele buscarse tanto la flexibilidad en estos como en los anteriores, también ser conveniente instalar cambios automáticos para no perder tiempo si la aplicación del cliente requiere cambiar utillajes con cierta frecuencia. Estos, para cargas medianas, tienen un precio de unos ***4.500€.

Para transportar la carga desde el tramo de envasado hasta el paletizado se requieren igualmente cintas transportadoras, **centradores** de banda y tramos giratorios o **empujadores** para salvar cambios de dirección. Los costes de estos oscilan entre 500€ y 4.000€.

Finalmente, al igual que en los **robots** de cargas ligeras, se requieren los **actuadores** para que el **robot** pueda coger la carga, así como el cableado y caja eléctrica correspondiente. Como se ha mencionado anteriormente, el precio de esto es muy variado, no obstante, teniendo en cuenta que estos **robots** suelen tener **actuadores** que permiten coger varios productos a la vez, su mayor complejidad los hace más costosos que si se usan **actuadores** que solo cojan un producto. No obstante, para empresas que tengan una tirada suficiente de productos, es recomendable el uso de estos **actuadores** dado el alto rendimiento que proporcionan y, por ello, la pronta recuperación de la inversión.

Por lo tanto, sin contar con los **actuadores**, componentes eléctricos ni la instalación, la automatización para un proceso de paletizado de cargas medianas puede rondar entre los 40.000€ y los 55.000€. Si añadimos estos costes, la automatización oscilará entre 60.000€ y 90.000€, dependiendo de los modelos e instaladores que mejor se adapten al cliente.

Para hacer el cálculo de las unidades por año que es capaz de paletizar esta gama de **robots** se tomará en cuenta los ciclos por minuto del KR 240 R3200 PA, facilitados por la propia compañía.

Según KUKA, el KR 240 R3200 PA es capaz de paletizar 25'6 unidades por minuto. Así pues:

$$\begin{aligned}
 \text{Tiempo por unidad } \left(\frac{\text{seg}}{\text{ud}} \right) &= \\
 &= \frac{\text{Tiempo estimado de carga}}{\text{Unidades cargadas}} = \\
 &= \frac{60 \text{ seg}}{25'6 \text{ ud}} = 2'34 \text{ seg/ud} \\
 \text{Unidades por año} &= \frac{\text{Tiempo de trabajo anual}}{\text{Tiempo por unidad}} = \\
 &= \frac{1760 \text{ h/año} \cdot 3600 \text{ seg/h}}{2'34 \text{ seg/ud}} = 2.707.692 \text{ ud/año}
 \end{aligned}$$

Considerando que se automatiza la segunda operación antes puesta como ejemplo para el cálculo de los operarios, cuyo objetivo es llenar un palé de 14 unidades, el **robot** podría llenar:

$$\begin{aligned}
 \text{Tiempo por palé } \left(\frac{\text{seg}}{\text{palé}} \right) &= \\
 &= \text{Tiempo por unidad} \cdot \text{Unidades por palé} = \\
 &= 2'34 \text{ seg/ud} \cdot 14 \text{ ud/palé} = 32'76 \text{ seg/palé} \\
 \text{Palés por año} &= \frac{\text{Tiempo de trabajo anual}}{\text{Tiempo por palé}} = \\
 &= \frac{1760 \text{ h/año} \cdot 3600 \text{ seg/h}}{32'76 \text{ seg/palé}} = 193.406 \text{ palés/año}
 \end{aligned}$$

- Carga pesada: Entre 500 Kg y 1000 Kg, usados tanto para disponer artículos pesados de forma individual en el palé, para un mejor transporte de estos, como para coger pisos enteros de artículos a paletizar. Estos **robots** no son muy usados en las operaciones de paletizado, puesto que la carga máxima de un palé tradicionalmente es de 1000Kg, por lo que generalmente con los **robots** de carga mediana es suficiente para paletizar filas de artículos y permiten un mejor rendimiento que los de carga pesada, que son más lentos. No obstante, no podemos descartarlos del estudio puesto que, dependiendo de los productos que fabrique la empresa, puede llegar a interesar el uso de estos **robots**. Dentro de este grupo se encuentran el MPL 500II, MPL 800II, IRB 7600, M-410iB/700, M-410iC/500, KR700 PA, KR 1000 L950 titan PA, KR 1000 1300 titan PA.

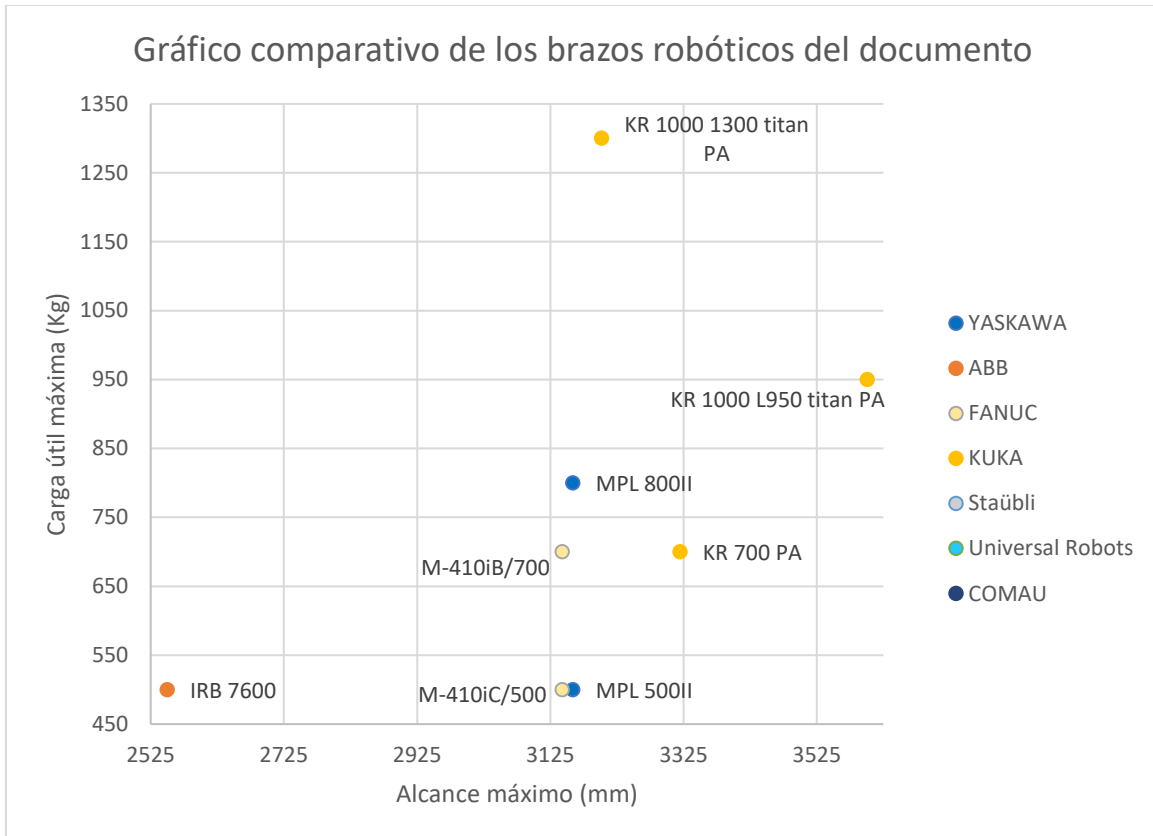


Imagen 108: Gráfica comparativa de los brazos robóticos del documento de carga pesada.

Los costes de estos **robots** rondan los ****45.000€**, pero dependiendo de los accesorios que necesite estos costes aumentarán en mayor o menor medida.

Así, si el **robot** requiere de una funda para trabajar en **sala blanca** o para facilitar labores de limpieza o para protecciones térmicas, sus precios oscilan alrededor de los *****6.500€**.

Para trabajar a cierta altura y poder llegar a la parte alta del palé, se requiere también una **peana**, con un coste de unos ****2.000€**.

Como se ha especificado, para cargas medianas y pesadas no se pueden instalar **sensores** anticolidión, debido a que la inercia que lleva esta misma carga puede dañar tanto a operarios como al mismo **robot**, aun haciendo una parada con el **sensor**. Por lo tanto, se hace necesario el uso de **sensores** de proximidad para parar al **robot** cuando haya operarios cerca, cuyo coste es de aproximadamente ****1.600€** incluyendo el controlador de los **sensores**, o barreras de

seguridad, bien sean un cerramiento perimetral o barreras fotoeléctricas, que rondan los 1.000€/unidad.

Pese a que estos **robots** suelen tener **actuadores** más caros que permiten cargas de muchas unidades a la vez y, por lo tanto, no suele buscarse tanto la flexibilidad en estos como en los anteriores, también ser conveniente instalar cambios automáticos para no perder tiempo si la aplicación del cliente requiere cambiar utillajes con cierta frecuencia. Estos, para cargas pesadas, tienen un precio de unos ***7.000€.

Para transportar la carga desde el tramo de envasado hasta el paletizado se requieren igualmente cintas transportadoras, **centradores** de banda y tramos giratorios o **empujadores** para salvar cambios de dirección. Los costes de estos oscilan entre 1.000€ y 7.000€.

Finalmente, al igual que en el resto de **robots** estudiados, se requieren los **actuadores** para que el **robot** pueda coger la carga, así como el cableado y caja eléctrica correspondiente. Como se ha mencionado anteriormente, el precio de esto es muy variado, no obstante, teniendo en cuenta que estos **robots** suelen tener **actuadores** que permiten coger pisos enteros de productos a la vez, su mayor complejidad los hace considerablemente más costosos que los usados en los **robots** de carga ligera o mediana. Aun así, al igual que en los **robots** de carga medianas, para empresas que tengan una tirada suficiente de productos, es recomendable el uso de estos **actuadores** dado el alto rendimiento que proporcionan y, por ello, la pronta recuperación de la inversión.

Por lo tanto, sin contar con los **actuadores**, componentes eléctricos ni la instalación, la automatización para un proceso de paletizado de cargas medianas puede rondar entre los 50.000€ y los 65.000€. Si añadimos estos costes, la automatización oscilará entre 75.000€ y 110.000€, dependiendo de los modelos e instaladores que mejor se adapten al cliente.

Para hacer el cálculo de las unidades por año que es capaz de paletizar esta gama de **robots** se tomará en cuenta los ciclos por minuto del KR 700 PA, facilitados por la propia compañía.

Según KUKA, el KR 700 PA es capaz de paletizar 17'3 unidades por minuto. Así pues:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo por unidad } \left(\frac{\text{seg}}{\text{ud}} \right) &= \\ &= \frac{\text{Tiempo estimado de carga}}{\text{Unidades cargadas}} = \\ &= \frac{60 \text{ seg}}{17'3 \text{ ud}} = 3'47 \text{ seg/ud} \\ \text{Unidades por año} &= \frac{\text{Tiempo de trabajo anual}}{\text{Tiempo por unidad}} = \\ &= \frac{1760 \text{ h/año} \cdot 3600 \text{ seg/h}}{3'47 \text{ seg/ud}} = 1.825.936 \text{ ud/año} \end{aligned}$$

Cabe considerar que estos cálculos son para un solo artículo por ciclo. Si se considera que se automatiza la segunda operación antes puesta como ejemplo para el cálculo de los operarios, cuyo objetivo es llenar un palé de 14 unidades, pero llevando una fila de objetos por ciclo, en este caso de dos en dos, el **robot** podría llenar:

$$\begin{aligned}
 \text{Tiempo por palé} \left(\frac{\text{seg}}{\text{palé}} \right) &= \\
 &= \text{Tiempo por unidad} \cdot \text{Unidades por palé} = \\
 &= \frac{3'47 \text{ seg/fila} \cdot 14 \text{ ud/palé}}{2 \text{ ud/fila}} = 24'29 \text{ seg/palé} \\
 \text{Palés por año} &= \frac{\text{Tiempo de trabajo anual}}{\text{Tiempo por palé}} = \\
 &= \frac{1760 \text{ h/año} \cdot 3600 \text{ seg/h}}{24'29 \text{ seg/palé}} = 260.848 \text{ palés/año}
 \end{aligned}$$

8.3. Comparación

Comparando las unidades a paletizar con cajas de 8Kg y de 70Kg como vemos en estos ejemplos, obtenemos que la producción de los **robots** es mucho mayor que la de los operarios.

	Unidades por año	
	Carga útil: 8 Kg	Carga útil: 70 Kg
Operario	2.393.660	361.025
Robot de carga ligera	5.921.495	x
Robot de carga mediana	x	2.707.692
Robot de carga pesada	x	1.825.936

Como se ve en la tabla, la producción de los **robots** es un:

$$\frac{5.921.495}{2.393.660} \cdot 100 = 247'38\% \text{ mayor en los } \mathbf{robots} \text{ de carga ligera respecto a la de los operarios.}$$

$$\frac{2.707.692}{361.025} \cdot 100 = 750\% \text{ mayor en los } \mathbf{robots} \text{ de carga mediana respecto a la de los operarios.}$$

$$\frac{1.825.936}{361.025} \cdot 100 = 505'76\% \text{ mayor en los } \mathbf{robots} \text{ de carga pesada respecto a la de los operarios.}$$

Además, si tenemos en cuenta que los **robots** de carga mediana y pesada pueden llevar filas o incluso pisos enteros de artículos, el rendimiento es aún mayor también para cargas ligeras, sobre todo teniendo en cuenta que un **robot** puede trabajar durante 24 horas al día, todos los días del año, tan solo haciendo las paradas correspondientes según las labores de mantenimiento preventivo. Así pues, considerando que un **robot** produce a una media equivalente a 5 operarios y, de nuevo, situando aproximadamente los gastos que un operario supone a una empresa en 21.700€ anuales, los **robots**, sin contar el consumo en electricidad que requieren, tardarían, sin hacer varias piezas a la vez y a 1 solo turno de 8 horas:

$$\frac{110.000}{21.700 \cdot 5} = 1'014 \text{ años en amortizarse, considerando el caso más caro de automatizar.}$$

Como se puede observar, los **robots** aumentan la productividad de las operaciones de paletizado, no obstante, hay otras razones para sustituir a los operarios de las líneas de paletizado por máquinas.

Principalmente, por temas de bienestar y salud, puesto que las operaciones de almacén suponen ****entre un 30% y un 35% de las lesiones de lumbalgia, con bajas de entre 15 y 20 días de media, así como entre un 10% y un 15% de las lesiones musculares, con bajas de entre 10 y 15 días de media. Estas últimas, además, requieren de rehabilitación por parte del operario lesionado.

Esto sin tener en cuenta los posibles accidentes de caídas de cajas, rotura del polipasto u otros problemas derivados de productos químicos o temperaturas extremas.

Estas son las principales razones de usar **robots** en lugar de operarios para operaciones de paletizado, no obstante, como está demostrando la **industria 4.0**, las empresas que evolucionan hacia la automatización de tareas pesadas y repetitivas, permitiendo a los operarios realizar tareas de mayor valor añadido, son las que mejor se están adaptando al mercado actual, consiguiendo una mayor rentabilidad con los recursos de los que disponen.

** tiempos de carga de un palé facilitados por la empresa Viuda de Gabriel Mari Montañana S.A.*

*** precios facilitados por la empresa YASKAWA Ibérica S.L.*

**** precios facilitados por la empresa JKE Robotics, S.L.*

***** datos estadísticos facilitados por la Unión de Mutuas de Massamagrell.*

9. Comparación entre los distintos robots

Una vez confirmada la rentabilidad que ofrece la automatización de la operación de paletizado, cabe preguntarse cuál es el **robot** que mejor se ajusta para la producción de su empresa. Esto, por supuesto, dependerá en parte de la empresa y del producto que esta desarrolle, por lo que una vez decidan automatizarla, lo óptimo, si tienen tiempo y recursos personales y materiales para ello, es consultar a las principales empresas de **robótica** por qué **robot**, qué accesorios y cuál sería el precio de todo ello. No obstante, para aquellas empresas que no puedan disponer de recursos personales, o estos no tengan la formación necesaria, como para mantener reuniones con todas las empresas de **robótica** y estudiar todas las ofertas, se va a intentar hacer una guía sobre cómo elegir correctamente un **robot** que se ajuste a las necesidades de la empresa.

9.1. Carga útil

En primer lugar, se procede a descartar aquellos **robots** cuya máxima carga útil sea inferior al peso del artículo más pesado de su catálogo (o en este caso, de la caja a paletizar, que puede contener uno solo o varios productos). Siguiendo con el ejemplo anterior de la caja de 70 Kg, se descartarían los **robots** de menos de 70 Kg de carga útil:

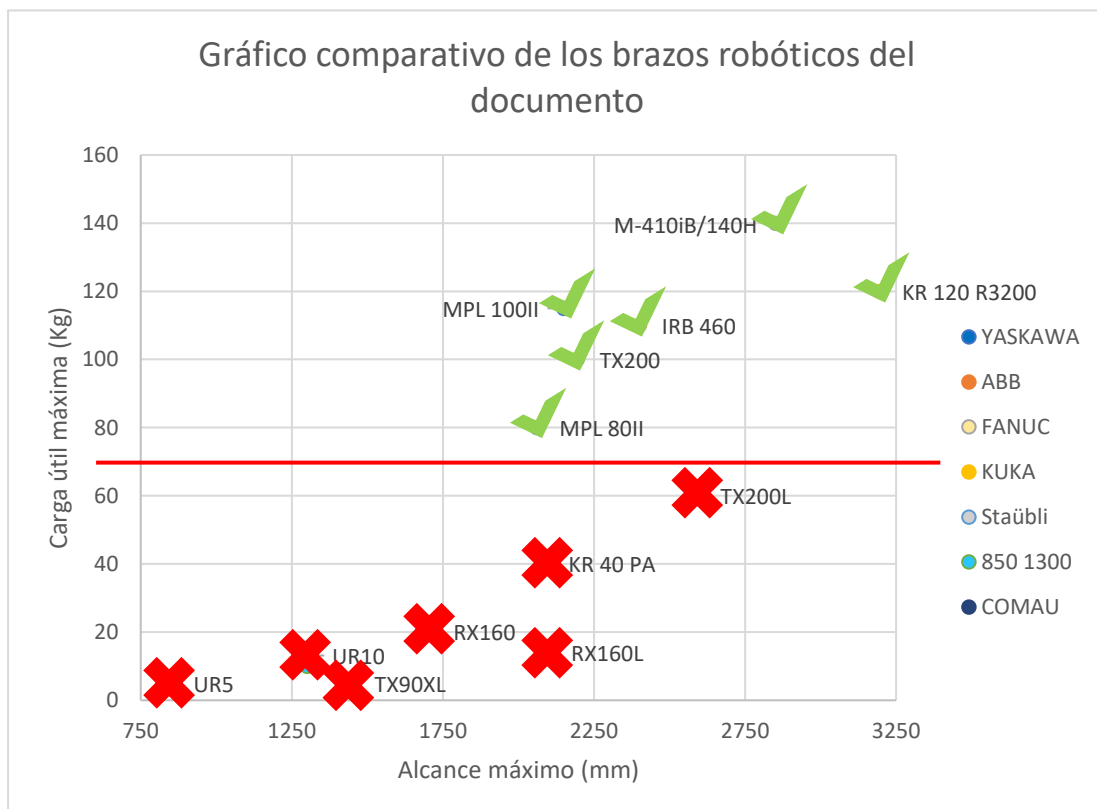


Imagen 109: Gráfico comparativo de los brazos robóticos del documento de carga ligera, descartando los de menor de 70Kg.

9.2. Condiciones de trabajo

Seguidamente, se evalúan las condiciones de trabajo en el que operará el **robot**. Pudiendo trabajar ante condiciones adversas de humedad, temperaturas, productos químicos o en una **sala blanca**. En el caso de este ejemplo, los **robots** trabajarán en una fábrica a temperatura ambiente, es decir, de unos 25°C aproximadamente, en condiciones de humedad relativa baja.

Además, los productos a paletizar no llevan químicos que puedan dañar al **robot** ni su funcionamiento habitual y se trata de una industria del metal, por lo que no se requieren condiciones de poco nivel de polvo. Por ello, cualquiera de los **robots** nos serviría. En el caso de tener una aplicación con algunas de las condiciones adversas mencionadas se debe comparar la posibilidad de usar funda en el **robot** que mejor se adapte siguiendo los pasos mencionados en este apartado o usar un **robot** específico para esa condición adversa, siempre que cumpla con todos los puntos de este apartado.

9.3. Entorno de trabajo

Otro punto para tener en cuenta es el entorno de trabajo, concretamente el espacio que ocupará y en el que trabajará el **robot**. Uno de los puntos más críticos en esto es el tipo de montaje que mejor se adapta a la aplicación, habiendo tres posibilidades: suelo, pared y techo.

En nuestro caso, dado que la zona donde trabajan actualmente los operarios es amplia y permite el montaje de los **robots** con sus componentes de seguridad sin entorpecer el correcto funcionamiento del resto de secciones de la planta, se usarán **robots** con montaje a suelo, característica que todos los **robots** de este estudio comparten. En el caso de que la zona fuese demasiado pequeña y un **robot**, junto con sus componentes de seguridad añadidos, entorpeciese el funcionamiento correcto de las otras secciones de la fábrica o que se deseara hacer este tipo de instalación sería necesario comprobar si, tras el descarte con los otros puntos de este apartado, queda algún **robot** a montar en pared o techo, puesto que este tipo de configuraciones son poco usuales. Para los **robots** de este estudio se ha indicado el tipo de montaje junto al resto de características, en el apartado 7, pero si el lector está estudiando la posibilidad de usar otro **robot**, es necesario buscar en las hojas de características o en la web del fabricante el tipo de montaje.

Otra solución que puede buscarse sería el uso de **cobots**, puesto que eliminarían la problemática de usar barreras y permitiría aprovechar mejor el espacio. No obstante, el desarrollo de estos es lento y aún se encuentran en una fase primaria, con velocidades más lentas que el resto de **robots** y cargas útiles pequeñas. Aun así, para aplicaciones de carga ligera puede ser interesante estudiar esa posibilidad, puesto que ofrecería otra alternativa al montaje en pared o techo, que limita mucho los **robots** a elegir.

9.4. Alcance mínimo necesario

De nuevo es imprescindible analizar la situación de la empresa y sus productos, en este caso, las dimensiones de los productos y cuántos se pretende paletizar. Siguiendo con el ejemplo anterior, para la caja de 70Kg, se hacen dos pisos con los productos “de pie”, es decir, la altura es la dimensión más grande, los 80cm y un tercer piso con solo dos productos “tumbados”, es decir, que la altura de esos dos productos es de 40cm. Por lo tanto, la altura del palé quedaría en 2.200mm. Como el **robot**, junto con el **manipulador**, tiene que superar esa altura, a una distancia de 1.200mm, es necesario coger un **robot** cuyo alcance sea al menos de:

Alcance mínimo necesario =

$$\sqrt{(Altura\ palé + Altura\ articulación\ final\ con\ actuador + Adicional\ de\ seguridad)^2 + (Distancia\ máxima\ palé)^2}$$
$$= \sqrt{(2.200 + 500 + 50)^2 + (1.200)^2} = 3.000mm$$

Con lo que debemos descartar también aquellos cuyo alcance máximo de trabajo no supere los 3.000mm:

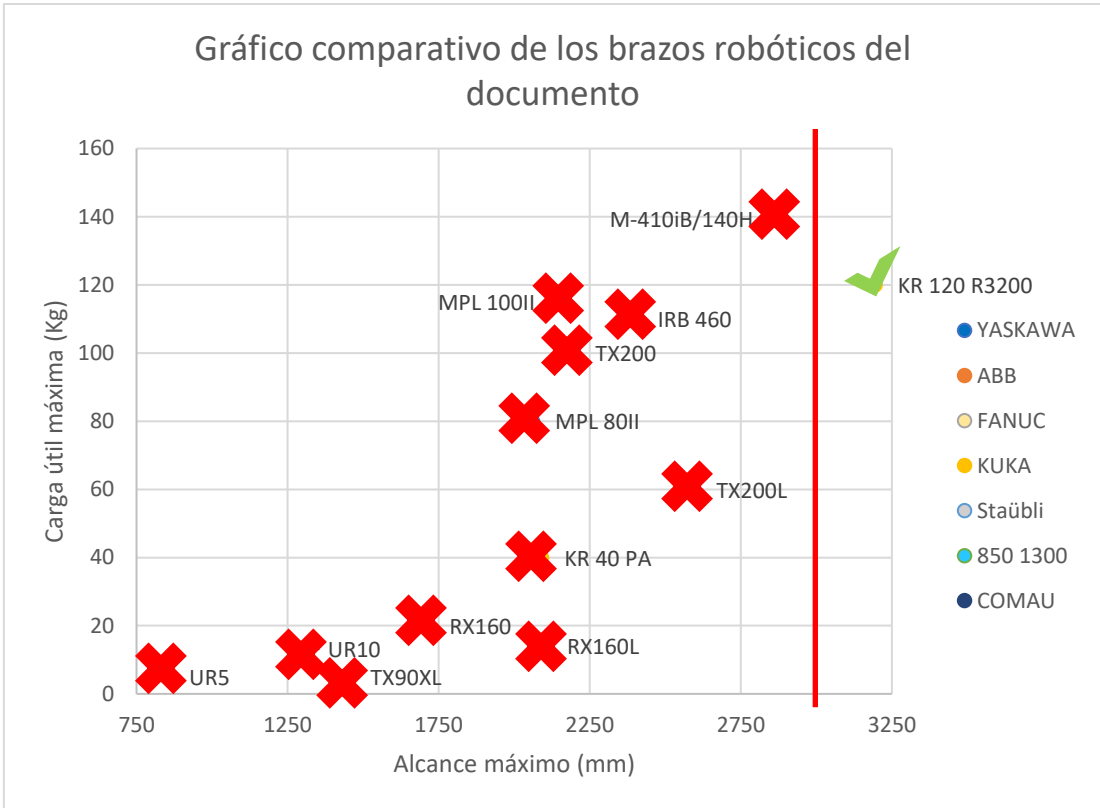


Imagen 110: Gráfico comparativo de los brazos robóticos del documento de carga ligera, descartando los de menor de 70Kg y cuyo alcance máximo no supera los 3.000mm.

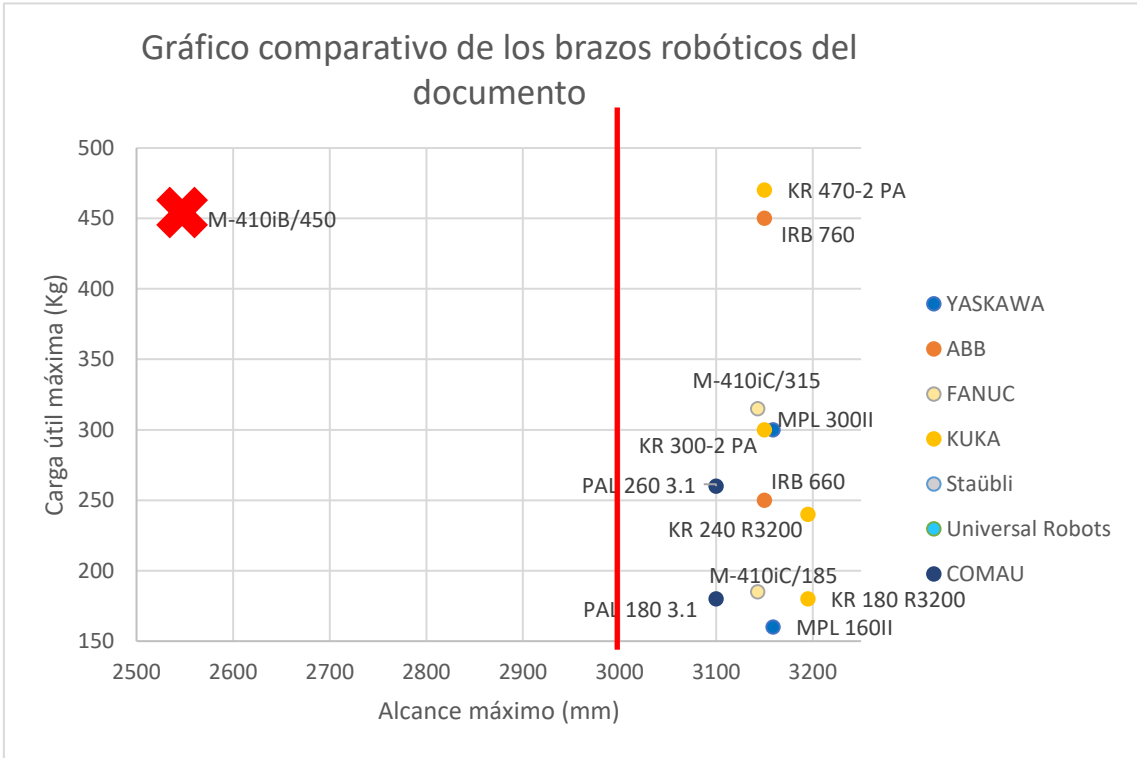


Imagen 111: Gráfico comparativo de los brazos robóticos del documento de carga mediana cuyo alcance máximo no supera los 3.000mm.

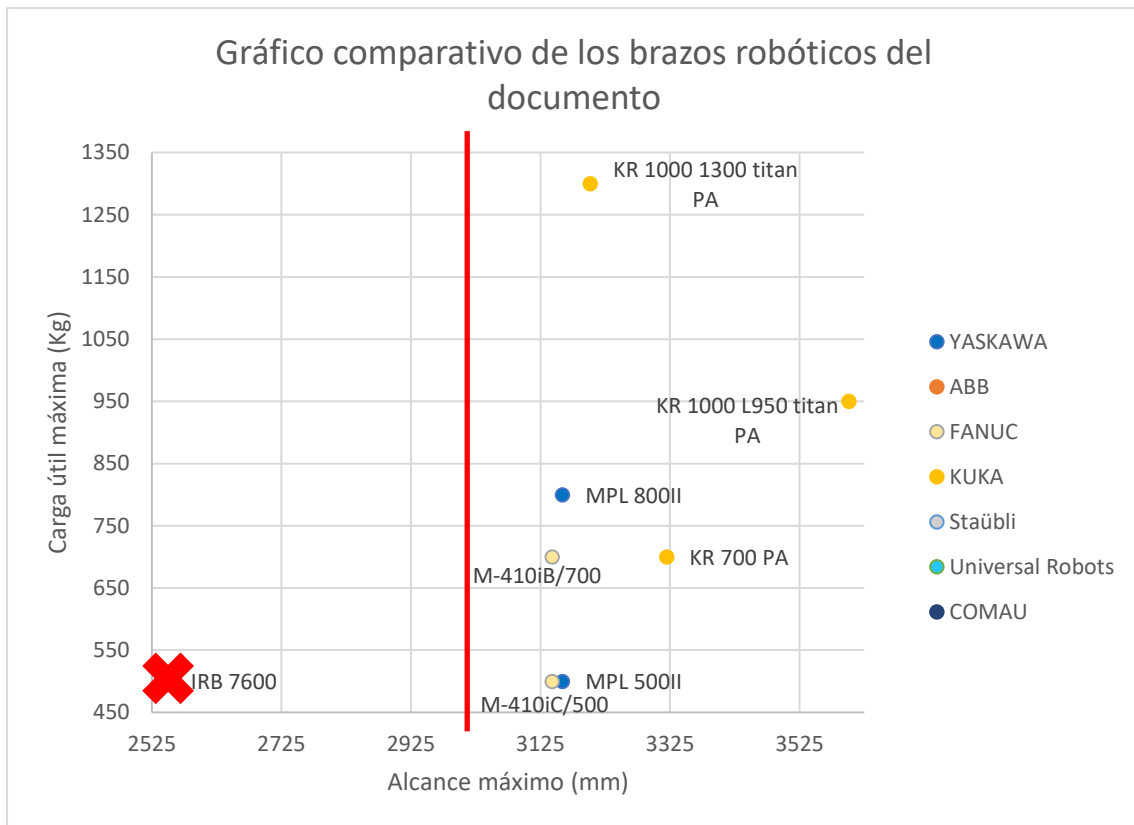


Imagen 112: Gráfico comparativo de los brazos robóticos del documento de carga pesada cuyo alcance máximo no supera los 3.000mm.

9.5. Capacidad productiva de la empresa

A continuación, es necesario evaluar la capacidad productiva de la empresa, para ver qué cantidad de piezas le llegarán al **robot** a través de la cinta para paletizar. En este caso, la caja de 70 Kg tiene en su interior tres artículos iguales, que pueden fabricarse en dos líneas de producción distintas.

Por lo que, considerando que ambas líneas están sacando este producto, siendo que la principal puede trabajar a una velocidad de unos 900 artículos por hora, es decir, 300 cajas por hora y la secundaria puede trabajar hasta a 420 artículos por hora, es decir, 140 cajas por hora, el máximo número de cajas que le pueden llegar al **robot** por hora es de 440.

Siendo así, si el **robot** carga las cajas de una en una, tendría que tardar:

$$\frac{60 \text{ min/h} \cdot 60 \text{ seg/min}}{440 \text{ ud/h}} = 8'18 \text{ seg/ud}$$

Puesto que la velocidad a la que el **robot** puede cargar las cajas es suficientemente grande, en comparación con la velocidad a la que se producen, no es necesario usar **actuadores** para cargar varias cajas a la vez, con lo que la inversión inicial será menor, puesto que no es necesario usar **robots** de carga pesada ni **actuadores** que carguen varios productos a la vez.

9.6. Evolución de la empresa

Una vez seleccionados los **robots** que cumplen con los requisitos más críticos, es recomendable estudiar qué plan tiene la empresa a medio plazo, es decir, si se plantea aumentar la variedad de productos y su complejidad en el manejo de estos, si se plantea aumentar aún más la cantidad de ese producto porque la tendencia es que se venda más, si se plantea hacer otras inversiones en el corto o medio plazo, etc.

Analizando esto en nuestro caso tendríamos que:

- a) Los nuevos productos que se están desarrollando no tienen una complejidad en el manejo tal que el **robot** necesite cogerlos o depositarlos con inclinación, tan solo posicionar y orientar, rotándolo sobre el eje Z, el vertical o perpendicular al suelo. Por ello, un **robot** con **4 ejes controlados** es más que suficiente, con lo que, además, se reduce la complejidad en el control que tendría un **robot** de 5 o 6 **ejes controlados**.
- b) La empresa se plantea hacer otra inversión en un máximo de 1 año y medio, por lo que es necesario que esta inversión no se exceda en el presupuesto.
- c) La inversión que se plantea hacer la empresa pretende automatizar las líneas de producción de fábrica con el objetivo de aumentar considerablemente la cantidad de producto por hora. Ello puede llegar a suponer para el **robot** una carga muy alta, llegando a necesitar un **actuador** que le permita coger dos cajas por ciclo, con el consiguiente aumento de carga útil que esto supone, por lo que el **robot** se escogerá con una carga útil igual o superior a dos veces el peso de la caja, en este caso, 140Kg.

9.7. Elección

Puesto que la carga se ha doblado, por precaución a necesitar doblar los productos a coger por ciclo, debido a una futura inversión cercana, el **robot** KR 120 R3200 de KUKA para cargas ligeras tampoco es útil.

Al querer hacer una inversión pequeña por el momento, los **robots** de cargas pesadas quedan descartados dado su mayor presupuesto en comparación con los de carga mediana.

De los de carga mediana se escogen los de menor carga útil, puesto que usualmente son también los más rápidos y baratos. Quedándonos con los **robots**: MPL 160II de YASKAWA, KR 180 R3200 de KUKA, PAL 180 3.1 de COMAU y M-410iC/185 de FANUC.

De entre estos se descarta el **robot** de KUKA por tener 5 **ejes controlados** y por lo tanto ser más lento (como se puede corroborar en la velocidad de la articulación restrictiva). El COMAU, pese a controlar solo 4 ejes también es muy lento en comparación con los otros dos, por lo que la elección final sería entre el MPL 160II de YASKAWA y el M-410iC/185 de FANUC. Lo mejor en este caso sería pedir presupuesto de ambos junto con accesorios e instalación y comparar esto, puesto que ambos son prácticamente igual de rápidos y cumplen el resto de criterios que se necesitaban para este ejemplo. No obstante, si los criterios económicos son similares, la elección final sería el M-410iC/185 de FANUC, puesto que permite una carga útil de 25Kg más.

10. Principales problemas actuales

Actualmente la robotización del paletizado debe superar una serie de obstáculos antes de su implantación en toda la industria española.

El primer obstáculo es de mentalidad, pues en España todavía existe una cierta reticencia a la automatización de procesos. Hacer ver al tejido industrial español que esas reticencias les están perjudicando y haciendo menos competitivos es uno de los retos de quien se dedica al sector de la robotización y automatización en general.

Las razones son diversas y generalmente sin mucho fundamento, algunos dicen que es una inversión cara o que tarda mucho en dar rentabilidad, cosa que hemos desmentido en apartados anteriores. Otras personas consideran que la automatización acaba con el trabajo y genera más paro, cuando, como se ha dicho, los procesos que requieren automatizaciones son los procesos repetitivos que entrañan peligros y dolencias para la salud de los operarios, buscando ofrecer lugares de trabajo seguros en donde el principal valor del trabajador no sea su fuerza física sino su capacidad de añadir valor al producto mediante ideas. En otros casos se cree que es un campo que todavía está por evolucionar y que hay poca oferta, cuando limitando el estudio a los **robots** articulados de algunas de las marcas con oficinas en España, se han incluido 36 **robots** con sus características en este trabajo, una oferta más que suficiente para comparar y conseguir una aplicación que cumpla con los requerimientos de casi cualquier empresa.

Otro de los grandes retos que tiene la industria es la inclusión de los **cobots** en esta operación, para permitir el trabajo en un entorno compartido con operarios, aumentar la seguridad y reducir el espacio que ocupen los **robots**. No obstante, estos **robots** todavía no pueden mover grandes cargas, siendo las más usuales las cargas de 10 Kg, como podemos ver con el UR10, un **robot colaborativo** de la marca Universal Robots, incluido en el documento junto al UR5.

Finalmente, el problema que ha propiciado que se extienda el uso de **robots** antropomórficos en las operaciones de paletizado, es decir, la baja flexibilidad de esta operación al automatizarla, sigue sin resolverse del todo aun con estos, pues pese a la gran flexibilidad que ofrecen estos, el mercado sigue evolucionando en una demanda cada vez mayor de flexibilidad, por lo que cualquier avance que pueda hacerse en estos serán bien acogido por el sector industrial.

11. El futuro de las operaciones de paletizado

El futuro de las operaciones de paletizado pasa por resolver los problemas antes mencionados: la inclusión de **cobots** de mayores cargas útiles y el aumento de la flexibilidad.

Puesto que los **cobots** son una tecnología relativamente reciente, puede que aún queden unos años hasta poder implementarla en las labores de automatización de procesos de paletizado, si bien ya pueden ser implementados para cajas muy ligeras (por debajo de 10 Kg) e incluso algunas un poco más pesadas, puesto que hay **robots colaborativos** que son capaces de llevar hasta 35 Kg, como el caso del CR-35iA de la marca FANUC.

Estos **robots colaborativos** permitirían un mejor aprovechamiento del espacio de la planta, puesto que se eliminarían las barreras de seguridad y permitirían que los operarios trabajasen en esa misma área haciendo funciones de mayor valor añadido, con lo que se aumentaría aún más productividad.

Otros avances se tienen que estudiar para ver su viabilidad, como por ejemplo la combinación de un **sistema Kanban** mediante **códigos QR**, con técnicas de **visión artificial** controlando varios **robots**, podrían hacer que varios productos se uniesen en una misma cinta transportadora desde la parte de producción que llegase al almacén, sin necesidad de que siguiesen ningún orden, puesto que el **sistema Kanban** permitiría a los **robots** organizar los productos en los diferentes palés correspondientes, además de poder organizar palés a medida para el cliente, con distintos tipos de productos en un mismo palé. Otra forma de personalizar el paletizado sería mediante una paletización a medida, siguiendo como base las dimensiones de palés convencionales y modificándolas en altura o reduciendo algún lado si el cliente lo requiere. Esto eventualmente será programado directamente al hacer el pedido el cliente, pues los programas son cada vez más potentes y permiten mayor flexibilidad y la **industria 4.0** se caracteriza por la interconexión de toda la planta productiva.

Estos últimos avances, si el mercado lo pide, pueden ir implementándose ya, puesto que la **visión artificial** es un campo relativamente avanzado que podría dar respuesta a esto, además de que los desarrolladores de **software** para paletizado cada vez incluyen más opciones de personalización del palé.

No obstante, al margen de si son estos u otros los avances que se desarrollen en este campo, o incluso de si hay avances o no, lo que está claro es que la práctica totalidad de la industria española ha de evolucionar, y así creo que lo hará, hacia una automatización de los procesos de envasado, encajado y paletizado. Puesto que si no se hace se perderá demasiada competitividad con respecto a las empresas de otros países como Alemania que sí están invirtiendo en la robotización, digitalización y automatización de sus plantas productivas, aumentando la productividad, mejorando costes, calidad y servicio al cliente.

12. Conclusiones

En el documento se ha mostrado la necesidad de mejorar las operaciones de almacenaje y transporte a lo largo de la historia, cómo el paletizado se ha postulado como una de las mejores formas hasta el momento y de qué trata esta operación.

Además, se ha comprobado mediante un ejemplo la alta rentabilidad que ofrece la automatización de este proceso y la baja inversión que conlleva.

Con todo esto se ha mostrado al lector una forma de poder comparar las distintas ofertas de **robots** que hay en el mercado según sus características, sin necesidad de perder tiempo contactando y concertando reuniones con las principales empresas **robóticas** que operan en el país, ni la necesidad de tener altos conocimientos sobre el tema. Además, el método permite ajustar la comparación según los productos que fabrique cada empresa, por lo que permite una personalización en la elección.

De esta forma, el documento crea una base que permite a cualquier empresa poder actualizarse e introducirse en el mercado actual de nuevo, de forma que todavía pueda ser competitiva. A su vez, para aquellas personas que les haya interesado el tema, se comentan algunos matices de los problemas que tiene y cómo podría evolucionar esta operación, con el objetivo de dar de nuevo una guía sobre qué puede buscar el lector para conseguir más información sobre el paletizado.

Al mismo tiempo, ofrece una base conceptual para entender mejor la información que el lector desee buscar fuera de este documento. De esta forma se cumple el objetivo de facilitar una forma sencilla de análisis para las empresas, tanto a nivel económico como a nivel técnico, de la posibilidad de automatizarse.

13. Glosario

- **Manipulador:** mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivo lógico. (AFNOR)
- **Robot:** manipulador automático servo-controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Normalmente tiene la forma de uno o varios brazos terminados en una muñeca. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción del entorno. Normalmente su uso es el de realizar una tarea de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material. (AFNOR)
- **Robótica industrial:** disciplina relacionada con el diseño y empleo de robots, así como de su control, para la realización de operaciones o trabajos en sustitución de operarios.
- **Lenguaje natural:** herramienta informática prefabricada que da lugar a un lenguaje de programación de alto nivel que se parece más al inglés que a los lenguajes de tercera generación, que son los usados por especialistas programadores.
- **Lenguaje de cuarta generación:** sinónimo de “lenguaje natural”. Caracterizado por su mayor cercanía, respecto a las anteriores generaciones, con las lenguas que se emplean para comunicarnos entre los humanos. Concretamente, como se explica en la definición de “lenguaje natural”, con el inglés.
- **Articulaciones lineales:** aquellas conexiones entre dos cuerpos sólidos que permiten un movimiento relativo entre ellos tal que un eslabón desliza sobre un eje solidario al eslabón anterior.
- **Articulaciones rotacionales:** aquellas conexiones entre dos cuerpos sólidos que permiten un movimiento relativo entre ellos tal que un eslabón gira en torno a un eje solidario al eslabón anterior.
- **Actuador:** dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un elemento final de control con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.
- **Cadena cinemática:** conjunto de elementos que proporcionan fuerza de tracción trasladando este movimiento al actuador
- **Sistema de coordenadas:** es un sistema que utiliza uno o más números como punto de referencia para determinar unívocamente la posición de un punto o de otro objeto respecto a este.
- **Grados de libertad:** número de variables de posición independientes en relación a un sistema de coordenadas fijo.
- **Sensores:** Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.
- **Cinemática:** Pertenece o relativo al movimiento.

- **Inteligencia artificial:** inteligencia exhibida por máquinas. Característica que posee una máquina que percibe su entorno y lleva a cabo acciones que maximicen sus posibilidades de éxito en algún objetivo o tarea.
- **Sistemas tele-operados:** son dispositivos que permiten a los operarios ejecutar tareas a distancia.
- **Cirugía mínimo-invasiva:** la realización de intervenciones a través de pequeños orificios con ayuda de un sistema de televisión que permite ver el interior de las cavidades corporales con una limpieza y detalle de gran calidad.
- **Realimentación:** alimentación de un sistema o circuito mediante el retorno de una parte de su salida.
- **Modelados:** ajustados a un modelo, es decir, a un esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o una realidad compleja.
- **Interacción dinámica:** acción que se ejerce recíprocamente entre dos o más objetos u agentes que están siendo movidos por una fuerza.
- **Funciones de bajo nivel:** aquel en el que sus instrucciones ejercen un control directo sobre el hardware y están condicionados por la estructura física de las computadoras que lo soportan.
- **Programación clásica:** conjunto unitario de instrucciones, realizado habitualmente por especialistas, que se introducen en la computadora como frases o sentencias que luego este transformará, mediante la herramienta de programado, en una serie de acciones a realizar por el ordenador.
- **Ejes controlados:** ejes de posición (X, Y, Z) u orientación (ϕ , θ , ψ) que pueden ser controlados mediante una configuración programada de las articulaciones del robot. Sin las suficientes articulaciones un robot no puede modificar el valor de todos los ejes a voluntad.
- **Alcance máximo de trabajo:** es la mayor distancia que puede alcanzar el robot dentro de su área de trabajo. Se trata de un valor límite más allá del cual la configuración del robot no puede llegar.
- **Carga útil:** máxima carga que el robot es capaz de levantar, al margen del peso del propio robot.
- **Velocidad de articulación restrictiva:** velocidad máxima de la articulación más lenta del robot. Suele medirse en grados (o radianes) por segundo para las articulaciones rotacionales o en metros por segundo para las articulaciones lineales.
- **Precisión:** capacidad del robot de dar el mismo resultado en diferentes repeticiones de una misma acción.
- **Momento:** es la resistencia que ofrece un cuerpo a la variación de la velocidad angular, es decir, de rotación.
- **Sala blanca:** es una sala especialmente diseñada para obtener bajos niveles de contaminación.
- **Visión artificial:** disciplina científica que incluye métodos para adquirir, procesar, analizar y comprender las imágenes del mundo real con el fin de producir información numérica o simbólica para que puedan ser tratados por un computador.

- **Centradores:** dispositivos integrados en las cintas transportadoras cuya función es colocar los artículos en la posición y orientación óptima para facilitar la automatización.
- **Empujadores:** dispositivos cuya función es mover los productos que van por la cinta transportadora para cambiarlo a otra cinta o rampa.
- **Peana:** basa, apoyo o pie para colocar encima una figura u otra cosa, en este caso, un robot.
- **Cobot:** también llamado robot colaborativo, es un robot diseñado para funcionar de forma autónoma o con una orientación limitada, destinado a interactuar físicamente con los seres humanos en un espacio de trabajo compartido.
- **Sistema Kanban:** sistema que utiliza tarjetas u otros mecanismos que se pegan o pintan en los contenedores de materiales o cajas para controlar la cantidad y los tiempos de los productos.
- **Códigos QR:** Es un módulo para almacenar información en una matriz de puntos o en un código de barras bidimensional y leerla de nuevo luego a gran velocidad.
- **Industria 4.0:** nueva manera de organizar los medios de producción enfocada a hacer “fabricas inteligentes”, capaces de una mayor adaptabilidad a las necesidades y a los procesos de producción, así como a una asignación más eficiente de los recursos.
- **Software:** soporte lógico de un sistema informático que comprende el conjunto de los componentes no físicos que hacen posible la realización de tareas específicas.

14. Principales referencias

<http://www.envapack.com/>

<http://www.transgesa.com/blog/tipos-de-palets/>

<http://rm-forwarding.com/2012/04/24/los-pallets-en-el-comercio-internacional/>

<http://roboticapuno.blogspot.com.es/2013/01/clasificacion-de-los-robots.html>

https://es.wikibooks.org/wiki/La_Rob%C3%B3tica_y_sus_componentes/Clasificaci%C3%B3n_de_los_robots

<https://ifr.org/pictureGallery/robType.htm>

<http://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots/serie-m-410>

<https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industrial/robot-de-paletizado>

<http://new.abb.com/products/robotics/es/robots-industriales/selector-robots>

<http://www.yaskawa.eu.com/es/productos/robotica/motoman-robots/seriesdetail/serie/mpl/>

<https://www.universal-robots.com/es/>

<http://www.comau.com/EN/our-competences/robotics/robot-team>

<http://www.jkerobotics.com/>

<http://www.uma.es/publicadores/prevencion/wwwuma/183.pdf>