



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**PROTOTIPAJE DE RACK AUTOMATIZADO
CON AGV UNIDIRECCIONAL**

Autor: D. Raúl Carrillo González
Tutor: D. Antolín Lorenzana Iban
Cotutor: D. Alfonso Gómez Bravo

Valladolid, noviembre, 2019



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**PROTOTIPAJE DE RACK AUTOMATIZADO
CON AGV UNIDIRECCIONAL**

Autor: D. Raúl Carrillo González
Tutor: D. Antolín Lorenzana Iban
Cotutor: D. Alfonso Gómez Bravo

Valladolid, noviembre, 2019



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

Resumen

Este proyecto está centrado en el transporte interno automatizado de material en el sector del automóvil. Se realizará el diseño del prototipo de un sistema de *rack* dinámico y otro de *rack* estático en una instalación de *picking*. El *rack* dinámico será transportado por un AGV (Vehículo de Guiado Automático) unidireccional y se encargará de proveer de cajas llenas y de cargar las cajas vacías del *rack* fijo del *picking*.

Todos los sistemas electromecánicos y la sensórica estará embarcada en el *rack* motorizado y su alimentación vendrá de las baterías del AGV, independizando el sistema de conexionado externo.

La finalidad del trabajo es realizar un seguimiento de las fases del proyecto (partiendo de la idea inicial hasta la fabricación de los prototipos) desde todos los puntos de vista del diseño (mecánico, eléctrico, electrónico y de control), haciendo hincapié en la variabilidad de un cuaderno de cargas en un proyecto real.

Palabras clave: Vehículo de guiado automático (AGV), *rack* estático, *rack* dinámico, cuaderno de cargas, prototipo funcional.

Abstract

This project is focused on the automated internal transportation of material in the automobile sector. The prototype design of a system of a dynamic rack and a static rack in a picking installation will be carried out. The dynamic rack will be transported by a one-way AGV (Automatic Guided Vehicle) and will be in charge of providing full boxes and loading empty boxes from the fixed picking shelf.

All electromechanical and sensor systems will be shipped on the motorized shelf and their power will come from the AGV batteries, making the system of external connections independent.

The purpose of the work is to track the phases of the project (starting from the initial idea to the manufacture of the prototypes) from all points of view of the design (mechanical, electrical, electronic and control), emphasizing variability of a functional requirement in a real project.

Keywords: Automatic Guided Vehicle (AGV), static rack, dynamic rack, functional requirement, functional prototype.





Agradecer el apoyo a mi familia por motivarme a seguir aprendiendo para llegar a convertirme en un gran profesional.

Agradecer también a 2000DCLane y Kivnon por brindarme la oportunidad de dar rienda suelta a la innovación y enseñarme lo que significa ser ingeniero.

Por último, agradecer a mi tutor Antolín Lorenzana Iban y a mi cotutor Alfonso Gómez Bravo por su guía en este trabajo.



Índice

Capítulo 1- INTRODUCCIÓN	1
1.1. Presentación del proyecto.....	1
1.2. Presentación de Kivnon y 2000 DCLane	2
1.3. Presentación del AGV.....	2
1.4. Otros fabricantes de AGVs en el mercado español	5
1.4.1. Carretillas Mayor (Synersight).....	5
1.4.2. Asti.....	6
1.5. Tipos de sistemas de guiado	6
Capítulo 2- SITUACIÓN ACTUAL Y ESTADO DEL ARTE.	9
2.1. Logística automatizada actual.....	9
2.2. Tendencia a líneas de fabricación dinámicas	10
Capítulo 3- PLANTEAMIENTO INICIAL DEL PROYECTO Y EVOLUCIÓN DEL MISMO.	13
3.1. Especificaciones iniciales del cliente	13
3.2. Modificaciones en las especificaciones.....	15
3.2.1. Aumento de la relación llenos/vacíos	15
3.2.3. Motorización de los sistemas de retención	17
3.2.4. Inserción de una nueva diversidad de caja.....	18
3.2.5. Cambio en el modelo de caja	19
3.3. Desarrollo del proyecto	20
3.3.1. Selección del AGV	20
3.3.2. Estudio mecánico	21
3.3.3. Estudio electrónico y de control.....	25
3.4. Modelo final	33
Capítulo 4- DESARROLLO DE PROTOTIPOS Y MODIFICACIONES FINALES.	35
4.1. Prototipo <i>rack</i> estático.....	35
4.2. Prototipo de rack dinámico.....	35
4.3. Interacción de la instalación	41
Capítulo 5- ESTUDIO ECONÓMICO	45
Capítulo 6- CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	55
6.1. Elaboración de un plan de fabricación en serie	55
6.2. Mejoras en el diseño.....	59
REFERENCIAS	62
Bibliografía	62
Webgrafía	62







Capítulo 1- INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación del proyecto

El siguiente trabajo surge de la necesidad de automatizar el sistema de carga-descarga de vacíos-llenos (*picking*) de una de las grandes empresas del automóvil con sede en Inglaterra.

El proyecto general engloba la automatización de todo el transporte interno de material mediante AGVs en una de sus nuevas plantas en Inglaterra. En el trabajo nos hemos centrado en uno de los subproyectos en particular.

La necesidad general del cliente en este pedido es recoger las cajas vacías de la línea de fabricación y a su vez, reabastecer de llenos en los mismos puntos de la línea. Todo ello de forma automática, siendo el control de la línea el que se encargue de comunicar con el PLC de tráfico que controla el circuito de AGVs para solicitar la carga de llenos y la descarga de vacíos.

El tamaño de los *racks* dinámicos será de 3x3x2 (3 alturas, 3 calles y 2 cajas de profundidad) mientras que el de los *racks* estáticos del *picking* será de 3xNx4 o 3xNx8 (siendo N las calles de la misma, 1, 2, 3, 4, 6 y 7). Las últimas de 8 cajas de profundidad todavía no son definitivas ya que pueden ser penalizantes en términos ergonómicos.

Una de las ideas originales era la de motorizar todos los *racks*, tanto los estáticos como los dinámicos, teniendo todos los niveles a una altura similar. De esa forma deberíamos tener tensión en todas ellas. Para eliminar la tensión en los *racks* estáticos de los que recoge las piezas el operario (eliminando el riesgo eléctrico y la necesidad de múltiples PLCs), los únicos motorizados serán los dinámicos. Estos tomarán tensión de la batería del propio AGV (24V DC), mientras que los estáticos serán de transferencia por gravedad. En la siguiente figura podemos ver un sinóptico de funcionamiento (Fig 1).

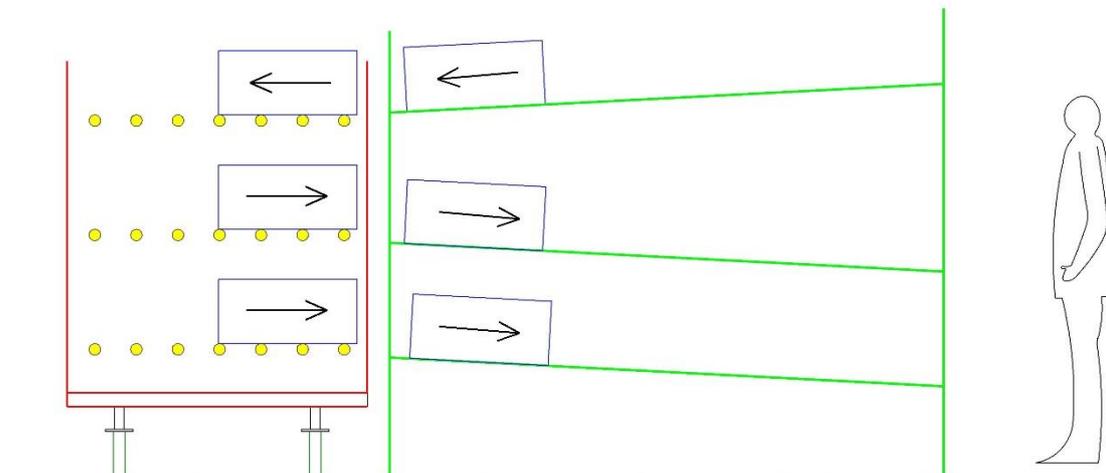


Fig 1. Sinóptico de funcionamiento

Como se puede ver, se cargan dos cajas de llenos por cada caja de vacíos, lo que a priori nos va a ocasionar un desenciclado de la instalación (la pieza que llega al punto de montaje no corresponde con la que debería o se produce una sobrecarga de los niveles de vacíos). En capítulos posteriores veremos cómo solucionar este conflicto.

En la descripción que nos facilita el cliente, se habla de 4 tipos diferentes de cajas:

- 594 x 396 x 280 (nominal 600 x 400 x 300 mm)
- 594 x 396 x 148 (nominal 600 x 400 x 150 mm)

- 297 x 396 x 148 (nominal 300 x 400 x 150 mm)
- 297 x 396 x 148 (nominal 300 x 400 x 150 mm)

El tamaño común es el de 396 mm, así que utilizaremos ese lado como anchura de transferencia común redondeándolo a 400 mm.

El peso máximo de la caja será 12 Kg. En caso de transportar piezas sueltas, estas serán introducidas en bolsas para evitar que salten del *rack* dinámico. Nos informan que las cajas pueden estar deformadas, golpeadas y hasta con adhesivos o pinturas.

1.2. Presentación de Kivnon y 2000 DCLane

Kivnon (Fig 2) es una empresa perteneciente al grupo Kivnon Global, dedicada a la industria 4.0 especializada en el campo de la logística automatizada, concretamente en el desarrollo tecnológico y comercialización de AGVs (*Automated Guided Vehicles* - Vehículos de guiado automático). En este proyecto, Kivnon toma el papel de proveedor principal de la empresa cliente, siendo el enlace entre este y la empresa 2000DCLane.



Fig 2. Logo Kivnon

2000DCLane (Fig 3) es una empresa perteneciente también al grupo Kivnon Global, dedicada a proyectos de ingeniería e integración directamente relacionados con la implantación de AGVs. En este proyecto, su papel es el de proveedor de Kivnon, llevando a cabo todo el diseño de sistemas y máquinas con las que interaccionan los AGVs.



Fig 3. Logo DCLane

1.3. Presentación del AGV

El AGV es un vehículo autónomo, con la capacidad de trasladar cargas entre diferentes puntos dentro de un espacio designado para ello. Nace de la necesidad de optimizar el traslado de materiales, mejorando productividad, seguridad, flexibilidad y coste total en el proceso.

Hay diferentes tipos de AGVs en función características como:

- Características físicas
 - Peso, Volumen y forma de la carga a transportar.
 - Sentido/s y forma del circuito (espacio disponible).
 - Autonomía de la batería.
 - Número de carros a transportar (carga única o convoy).
- Características especiales
 - Trabajo en zonas especiales (ATEX (atmósferas explosivas, cámaras frigoríficas...))

Para cada aplicación hay un tipo diferente de AGV que puede cumplir las solicitudes. En Kivnon se hace una clasificación de los AGVs en dos grandes grupos, los tractores y los *mouse*. A

su vez, esta clasificación se puede disgregar más dependiendo del peso de la carga a transportar y del sentido de la marcha del AGV. La clasificación sería la siguiente:

- **AGVs tractores**

Diseñados para el transporte de cargas en modo convoy. Dependiendo del peso total a transportar tendríamos

- Modelo K32 (Fig 4)



Fig 4.AGV K32- [15]

Capacidad de arrastre	1.200N de arrastre (2.300kg aproximadamente sobre carro rodado).
Autonomía total	7/24
Carga de baterías	Opción de carga en línea

- Modelo K20 (Fig

5)



Fig 5.AGV K2- [15]

Capacidad de arrastre	2.500N de arrastre (6000kg aproximadamente sobre carro rodado).
Capacidad de carga	Capacidad de carga a bordo de hasta 1.000kg (<i>Europallet</i>)
Autonomía total	7/24
Carga de baterías	Opción de carga en línea

- **AGVs mouse**

Diseñados para mover los carros desde abajo mediante uno o dos pines (según modelo) que conectan el AGV al carro con una interface. La segunda clasificación va sobre todo orientada a la capacidad de movimiento del AGV.

- Modelo K05 *twister* (Fig 6)



Fig 6.AGV K5- [15]

Movimiento	Capacidad de rotación de 360° sobre su propio eje
Capacidad de carga	Capacidad de carga de hasta 500kg.
Capacidad de arrastre	Hasta 700N de arrastre (1.000kg aproximadamente sobre carro rodado).
Carga de baterías	Opción de carga en línea

- Modelo K10 unidireccional (Fig 7)



Fig 7-AGV K10- [15]

Movimiento	Se mueve en el sentido de su cabeza tractora.
Capacidad de arrastre	1.200N de arrastre (2.300kg aproximadamente sobre carro rodado).
Carga de baterías	Dispone cajón de baterías intercambiable de fácil y rápida sustitución y carga en circuito integrado.

- Modelo K11 bidireccional (Fig 8)



Fig 8-AGV K11- [15]

Movimiento	Se mueve ambos sentidos por sus dos cabezas tractoras.
Capacidad de arrastre	1.200N (2.300kg aproximadamente sobre carro rodado).
Carga de baterías	Dispone cajón de baterías intercambiable de fácil y rápida sustitución; y carga en circuito integrado.

- Modelo K41 *slim* (prototipo) (Fig 9)



Fig 9.AGV K41- [15]

Movimiento	Omnidireccional (2 direcciones, 4 sentidos de marcha)
Capacidad de carga	Elevación de cargas a 160 mm de hasta 1000 kg
Carga de baterías	Dispone cajón de baterías intercambiable de fácil y rápida sustitución; y carga en circuito integrado.

1.4. Otros fabricantes de AGVs en el mercado español

A nivel mundial existen múltiples fabricantes de AGVs. Acotando en el mercado español los más potentes además de Kivnon serían Carretillas Mayor (Synersight) y Asti.

1.4.1. Carretillas Mayor (Synersight)

Ubicada en Valladolid, Carretillas Mayor nace como una empresa dedicada a la venta y alquiler de carretillas elevadoras y maquinaria de transporte industrial. Absorbe a la empresa Synersight dedicada a la fabricación de AGVs con una mayor especialización en el sector para la mejora de su producto.



Fig 10. AGV Carretillas Mayor- [16]



Fig 11-AGV Synersight- [23]

Incorpora también a su gama de productos las carretillas automatizadas.



Fig 12. Carretilla automatizada Carretillas Mayor- [16]

1.4.2. Asti

Otro de los grandes fabricantes es Asti. Es una empresa afincada en Burgos que se dedica al mundo de la automatización desde los años 80. Hoy en día uno de sus puntos fuertes es el diseño de AGVs, teniendo 3 gamas como son los *easybots*, los *robofast* y los *hardbots*. Los *easybots* transportan cargas desde debajo de los carros rodados, los *robofast* están orientados a la paletización y los *hardbots* pueden transportar grandes cargas pesadas.



Fig 13. AGVs Asti- [18]

1.5. Tipos de sistemas de guiado

En la industria de los vehículos de guiado automático existen diferentes tipos de guiado. La mejor característica de estos sistemas es la flexibilidad en el diseño de los circuitos (Fig 14), para que se puedan realizar modificaciones sobre ellos sin largas esperas o grandes inversiones.

La selección de uno u otro sistema viene determinada por muchos factores, desde el uso general del área donde se va a instalar (zonas de tránsito de personas o de trabajo de operarios) hasta la interacción de las áreas dedicadas a circuitos con otra maquinaria como podrían ser las carretillas elevadoras.

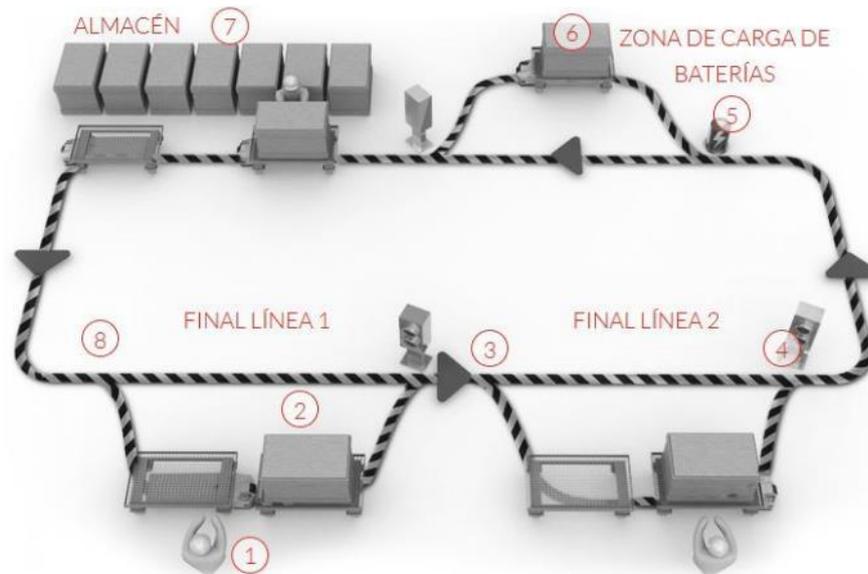


Fig 14. Ejemplo de circuito- [29]

Los dos tipos de guiado más utilizados son el guiado por cinta magnética o filoguiado y el guiado por *mapping*.

El filoguiado consiste en un detector de cinta magnética el cual lee el trazado de la cinta a una pequeña distancia y mediante esas lecturas y un PID (controlador proporcional, integral y derivativo), sigue de una forma muy ajustada el trazado. En este sistema necesitamos pegar al suelo unos RFID TAGs (etiquetas de identificación por radiofrecuencia) (Fig 15-izda) en los que los AGVs lean las ordenes de movimiento mediante un lector de RFID (identificación por radiofrecuencia) (Fig 15-dcha).



Fig 15. RFID Tag (izda) Lector RFID Siemens (dcha) - [25]

A la hora de instalarlo existen 2 métodos:

- Cinta pegada: Se utiliza en lugares en los que solo transitan AGVs. Es rápida de instalar y no requiere ningún tipo de obra.
- Cinta soterrada: Se utiliza en lugares donde haya tránsito de carretillas u otros vehículos pesados no automatizados. Es necesario rozar el suelo para instalarla.

El *mapping*, basado en la tecnología SLAM (*simultaneous localization and mapping*) es una técnica por la cual, el AGV es capaz de localizarse en un entorno desconocido y a la vez, realizar un



mapa de este entorno, ayudándose solamente de sus propios sensores. Una vez realizado el mapeado, este se puede cargar en otros AGVs para su uso. Con esto, se pueden definir los obstáculos y los límites que tendrán los circuitos. Para este tipo de instalaciones es necesario un entorno en el que no se realicen cambios continuos en los objetos circundantes.

Capítulo 2- SITUACIÓN ACTUAL Y ESTADO DEL ARTE.

En este capítulo haremos un repaso por la tecnología actual en la automatización aplicada a la logística.

2.1. Logística automatizada actual

Hasta ahora la automatización en el campo de la logística está íntegramente relacionada con el AGV, sirviendo de enlace entre las zonas de llegada de material y las líneas de fabricación. En las zonas de llegada de material (*kitting*) se cargan los contenedores de material (contenedores, cajas, bidones...), que son llevados en carros o bases rodantes transportados por el AGV (Fig 16) hasta las líneas de montaje (*picking*).



Fig 16. Ejemplo de carro con AGV.

Uno de los sectores en los que más trascendencia tiene este sistema es en el de la automoción. Debido a la gran variedad de piezas que son utilizadas a lo largo del ciclo de montaje del vehículo, el abastecimiento de las líneas mediante AGVs supone una gran mejora en los tiempos de fabricación y en las condiciones de los puestos de trabajo. Estas mejoras vienen de la eliminación de tareas repetitivas o forzosas por parte del operario tales como la sustitución de carros llenos por vacíos, o el transporte de producto terminado dentro de la planta.

Pero no solo tiene beneficios en lo que a transporte se refiere. El AGV es una máquina capaz de comunicarse con otras. Compartiendo datos como el tipo de pieza que se carga en cada carro, defectos sobre el producto, la cantidad y diversidad de las piezas que se montan, etc. Almacenando de esta manera la suficiente información para tener en todo momento la trazabilidad de cada uno de los componentes que son montados o desechados. Un ejemplo de esto es el trabajo de Gustavo Meneses Benavides et al. [1] en el que incorporan un lector de RFID externo al del movimiento del AGV para la lectura de códigos mediante el sistema RFID tag. Con esto se puede conseguir una trazabilidad en todos los productos que ese AGV transporte, pudiendo detectar fallos entre los diferentes tramos del transporte.

Hasta ahora, la parte central de todos estos procesos era sin duda el AGV, quitando importancia a todo lo que se interrelaciona con ello. Al no haber una normativa específica sobre ellos, se han diseñado múltiples tipos de AGV, todos con características similares, pero aplicando puntos de normativa diferentes, ya que lo que se hace ahora mismo es adaptar normativas a las necesidades de cada cliente y fabricante.

2.2. Tendencia a líneas de fabricación dinámicas

Contrariamente a lo que ha pasado hasta ahora, con la nueva normativa unificada, todas las máquinas que se interrelacionan con el AGV serán las que marquen la diferencia en la implantación de sistemas de transporte automático en las plantas. A partir de ahora no hay que ver el AGV como solamente un producto, sino como el motor de una implantación.

Estamos acostumbrados a líneas de fabricación estáticas en las que un cambio en un producto supone parar la fábrica durante semanas o en las que todos los productos tienen que pasar por todos los puestos, aunque en algunos no se les hagan operaciones.

Si pensamos en cómo evitar esto, lo más lógico sería separar cada puesto de la línea, hacer que cada producto vaya de una operación a otra sin puestos muertos, pero ¿Cómo lo haríamos?

Si en cada AGV embarcáramos un producto (Fig 17), eliminando todas las mantenencias fijas de la línea, solo tendríamos puestos estáticos con herramienta en diferentes zonas (no necesariamente de forma continua).



Fig 17. Almacén automatizado Faurecia Vitoria- [17]

Si por ejemplo tenemos una planta en la que se fabrican lavadoras y secadoras, con 10 modelos diferentes de cada una, podemos hacer que cada diversidad se dirija a una zona de preparación. Si se añadieran más diversidades, lo único que habría que hacer es introducir un puesto de montaje con las operaciones añadidas (si las hubiera), sin necesidad de grandes cambios en las mantenencias de la línea, con lo que no tendríamos que parar la fabricación y la inversión no sería tan grande.

A nivel de control y automatización, la tendencia está dirigida a sistemas de autogestión, los cuales serán capaces de generar circuitos ellos mismos. Mediante inteligencia artificial y sistemas de sensorica y visión artificial, los AGVs generarán circuitos optimizados continuamente. Se asemejará al tránsito de personas, sabrán donde ir, que tienen delante y cómo reaccionar.

Para el diseño de circuitos puede ser conveniente el implementar estrategias de guiado automático más complejo como la estrategia L1 de Luís Hernández Morales et al. [2] utilizada en UAV (Vehículos autónomos no tripulados). Consta de un algoritmo diseñado en base a un modelo con 6 grados de libertad (el AGV solo tendría 3, movimiento en 'x', en 'y' y giro en 'z') en el que se sigue un guiado basado en la distancia L1 permitiendo el seguimiento de trayectorias rectas y curvas.

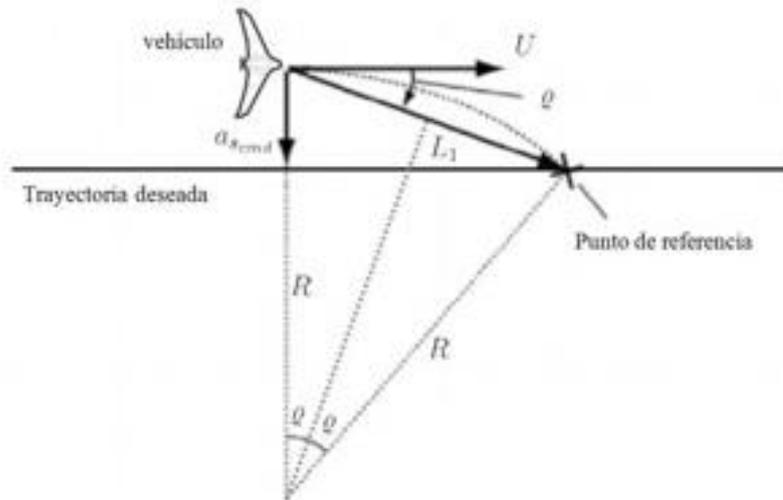


Fig 18. Algoritmo de guiado L1

Para el control total del tráfico se puede definir una arquitectura de control con la que podamos secuenciar las etapas de tratamiento de datos y gestión. Vicente Milanés Montero [3] divide toda esta arquitectura en 5 etapas para el caso de una estructura con vehículos autónomos y manuales (las adaptaremos a la situación del AGV):

1. **Percepción:** Se recogen todos los datos procedentes de los sensores desde el controlador general (PLC de tráfico en nuestro caso) y se envía a las unidades de control local (PLC del AGV en nuestro caso).
2. **Gestión:** Las unidades locales (PLC del AGV) tratan la información general que se les ha enviado, ordenándola en función de las condiciones del tráfico.
3. **Coordinación:** Las unidades locales (PLC del AGV) comunican con la unidad de control general (PLC de tráfico) seleccionando la información que ha de llegar a las líneas y a los AGVs para que tomen las medidas de control oportunas.
4. **Planificación:** las unidades de control local determinan la mejor acción a tomar.
5. **Actuación:** Se producen las acciones determinadas, ya sea un giro, una cesión de paso en un cruce o una carga/descarga del producto.

Si a esto anterior le sumamos la participación de robots y de cobots (robots colaborativos) (Fig 19), conseguiremos plantas cuyos sistemas de fabricación estén completamente automatizados, eliminando tareas repetitivas, con altos esfuerzos y flexibilizando y optimizando los sistemas de fabricación.



Fig 19. AGV Kivnon con robot colaborativo ABB - [28]

Capítulo 3- PLANTEAMIENTO INICIAL DEL PROYECTO Y EVOLUCIÓN DEL MISMO.

3.1. Especificaciones iniciales del cliente

La necesidad básica del cliente es el abastecimiento de cajas de piezas en la línea de montaje de forma continuada en función de la planificación de suministro que impone el *takt time* de la línea.

Para cubrir esta necesidad se imponen unas especificaciones basadas en la normativa interna del fabricante. Dividiremos las especificaciones en:

1. Normativa de Seguridad, Ergonomía e Higiene Laboral
2. Espacio máximo ocupado por la instalación
3. Especificaciones técnicas

1. Normativa de ergonomía e higiene laboral

Según normativa de la empresa cliente, la ventana ergonómica para la manipulación de cajas vacías y llenas es:

Cajas	Peso (Kg)	Altura mínima (mm)	Altura máxima (mm)
Vacías	2,6	400	1920
Llenas	15	400	1600

Nos ayudamos del Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbares, para los trabajadores [4]. Este Real Decreto contiene el estudio de la relación de peso ergonómicamente seguro de levantar con la altura y distancia al cuerpo de manipulación de la misma (Fig. 20). Manteniendo estas buenas praxis en lo referente a la manipulación de cargas, se evita el desarrollar posibles enfermedades laborales derivadas de la manipulación de cargas.

En la ventana ergonómica de vacíos no tenemos referencia de altura máxima, por ello es la empresa cliente la que la marca.

En el caso de los llenos vemos que consideran una carga a la altura del hombro y cercana al cuerpo.

Fuera aparte de la normativa, la propia empresa realiza estudios específicos del puesto para adaptarlos a la fisionomía de los operarios que lo ocupen.

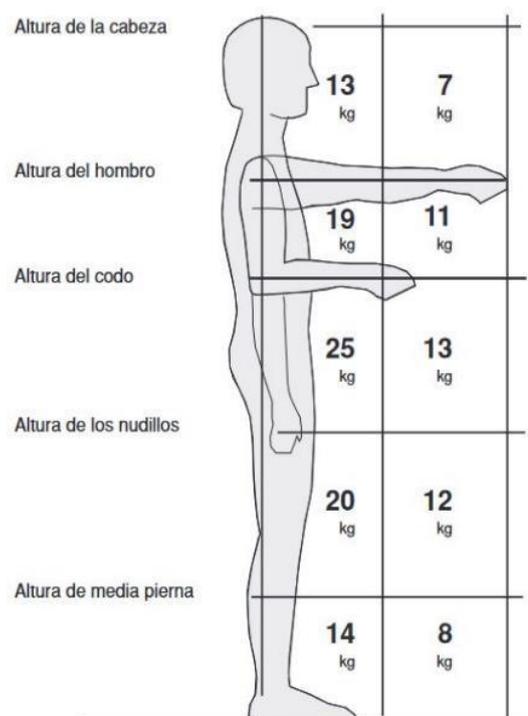


Fig. 20. Ventana ergonómica cargas manuales Real Decreto 487/1997

Las alturas ergonómicas del lado del operador, por parte del cliente, han de ser las siguientes:

- Las alturas ergonómicas para la recogida de cajas llenas en pesos de más de 2,5 Kg:
 - Máximo 1400 mm
 - Mínimo 400 mm
- Las alturas ergonómicas para la recogida de cajas vacías en pesos de menos de 2,5 Kg:
 - Máximo 1920 mm
 - Mínimo 400 mm

En materia de seguridad no hay una normativa específica en lo que a AGVs se refiere. En la actualidad se está redactando una normativa común lo que hará más restrictivo el diseño de AGVs.

En función de las características del producto podemos definirlo como máquina y apoyarnos en la Directiva 2006/42/CE [5]. En caso de apertura de la seta de emergencia, la máquina deberá pararse y bloquear su desplazamiento mediante un servofreno.

Monta un escáner láser ajustable en su cabeza tractora para detectar posibles obstáculos y el atropello de personas. A partir de la Norma UNE-EN 61496-1:2014 podemos calcular que el escáner deberá hacer detenerse al AGV cuando tenga delante suyo un obstáculo a menos de 150 mm. Cuando tengamos que nuestro AGV porta una carga, el límite a estos 150 mm será dicha carga.

2. Espacio máximo ocupado por la instalación

Como el terreno industrial tiene un coste elevado, es necesario su optimización.

▪ *Racks* dinámicos:

Los *racks* dinámicos o *racks* con mesas motorizadas tendrán 3 calles, 3 pisos y profundidad para dos cajas de 600 mm cada una. Al ir embarcadas en una base rodante, las únicas condiciones vendrían determinadas por la anchura de los pasillos, por tanto, no tendremos problema manteniendo unas dimensiones razonables. Ajustaremos en la medida de lo posible las medidas al volumen de las cajas. El cálculo estimativo inicial nos da un volumen de 1700x1300x2000 mm.

▪ *Racks* estáticos:

El ancho tendrá que ir acorde al ancho del *rack* dinámico 3x3. La altura será como máximo 2000 mm, la altura de manutención máxima más la altura del guiado superior. La profundidad la determina el cliente, habiendo *racks* de 2722 mm y de 4000 mm (estas últimas están aún por confirmar).

3. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas marcan los aspectos más importantes del diseño. Se prevé su variabilidad, pero inicialmente son:

- Toda la mecatrónica y sensórica irá en un *rack* sobre una base rodante y alimentada por la batería del AGV, por lo que el carro y el AGV irán siempre conectados.
- Los *racks* dinámicos cargarán cajas por un lado y descargarán por el otro.
- Los *racks* dinámicos llevarán mesas de rodillos para la transferencia de las cajas.
- Los *racks* dinámicos llevarán un PLC Siemens S7-1200 y comunicará con el PLC del AGV vía wifi.
- Los *racks* fijos son elementos pasivos que únicamente llevarán montados catadióptricos.
- La inclinación de los *racks* fijos será de un 5% ($\pm 3^\circ$)

- Espacio útil nominal para las cajas (± 400 mm de alto)
- Los *racks* se fabricarán en perfiles extruidos de aluminio anodizado.
- Se fabricará un prototipo del conjunto para validación de cliente.

3.2. Modificaciones en las especificaciones

Como cualquier proyecto, las especificaciones sufren cambios continuamente. Se intentará dar una idea fiel de la evolución de estas especificaciones. Sumado a las variaciones que suelen surgir en una planta ya consolidada, al estar la planta cliente actualmente en construcción, se suman muchas debido a los cambios del entorno.

3.2.1. Aumento de la relación llenos/vacíos

En un principio se planteó la idea de dar 4 cajas llenas por calle y recoger 4 vacías. Haciendo un compendio de las condiciones iniciales que afectan, tenemos:

- ✓ La altura mínima dentro de la ventana ergonómica para recogida de llenos es de 400 mm y la máxima para dejada de vacíos de 1920 mm.
- ✓ La inclinación del *rack* estático será del 5% (3°).
- ✓ El espacio útil para las cajas debe ser de ± 400 mm de alto.
- ✓ La altura de los *roller tracks* seleccionados es de 44.7 mm (Fig 21).

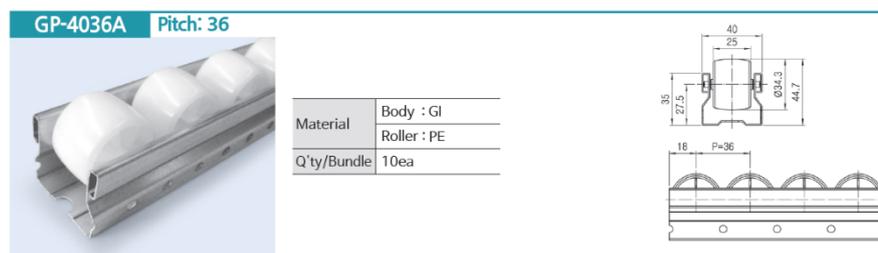


Fig 21. Roller Tracks escogidos- [12]

- ✓ Se utilizará perfil extruido de aluminio anodizado de 45x45 de Fasten (Fig.22).



Fig.22.Perfil fasten 45x45- [9]

Con todas estas condiciones vemos que, si diseñamos dos pisos para entregar llenos y dos para devolver vacíos, nos vamos a una altura máxima de 2123,2 mm (Fig 23). Estamos fuera de la ventana ergonómica por lo que se deshecha esta solución.

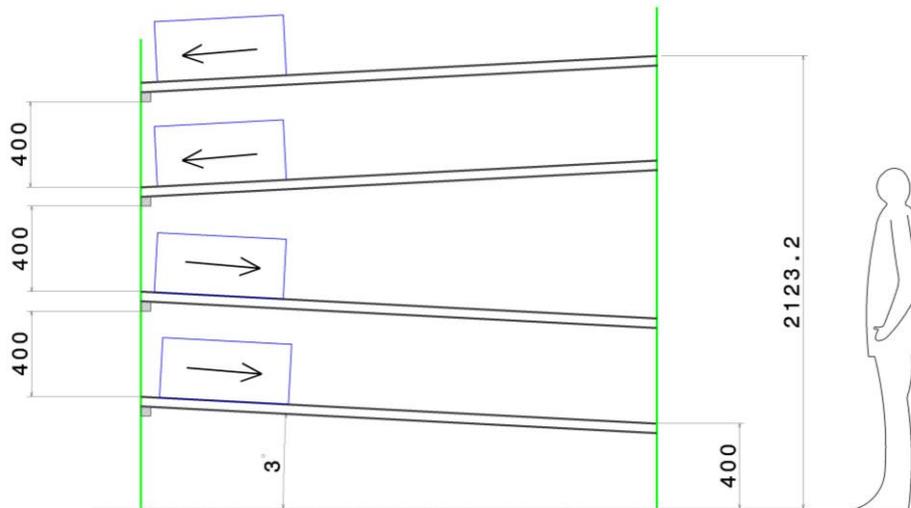


Fig 23. Cálculo altura máxima

Se le planteó al cliente la posibilidad de mantener 3 pisos y apilar dos cajas en el piso de vacíos, pero la idea no salió adelante por la posibilidad de que haya vuelco de cajas apiladas.

Con esto viene el problema del que hablamos en el apartado 1.3, el desenciclado de la línea. Con la configuración de dos llenos y un vacío, si vaciamos la carga total por calle (4 cajas) y recogemos los vacíos máximos por calle (2 cajas), estaríamos generando un acúmulo en cada calle de 2 cajas cada vez que llegáramos a abastecer el puesto.

Para solucionar esto establecemos una norma organizativa, y es que, cada vez que un carro vaya a llevar vacíos y recoger llenos, solamente podrá dejar 2 llenos, así mantenemos la relación 2 a 2. Generamos una sobrecapacidad en los carros que solucionaremos optimizando el *layout* del circuito.

3.2.2. Polivalencia direccional en la carga y descarga

Como comentamos anteriormente, la integración en una fábrica de nueva construcción trae complicaciones en los *layouts*. La idea inicial del cliente era cargar siempre por el lado izquierdo del carro (visto en dirección de avance) y descargar por el derecho (Fig 24). Para darse esta condición es necesario que las zonas movimiento de AGVs sean lo suficientemente amplias para permitir la maniobrabilidad y minimizando los cruces entre AGVs, lo que simplifica los circuitos.

Al comunicar a la empresa cliente el radio de giro mínimo que necesita el AGV para trazar una curva, nos confirman que las zonas de tránsito son mucho más pequeñas. Para hacer según que giro, el AGV tiene que hacer un trazado en forma de bombilla y según las dimensiones de la nave, en muchas ocasiones invadimos los pasillos de paso de personas. Como solución el circuito debe ser unidireccional (Fig 25) y el carro tiene que poder cargar y descargar por ambos lados.

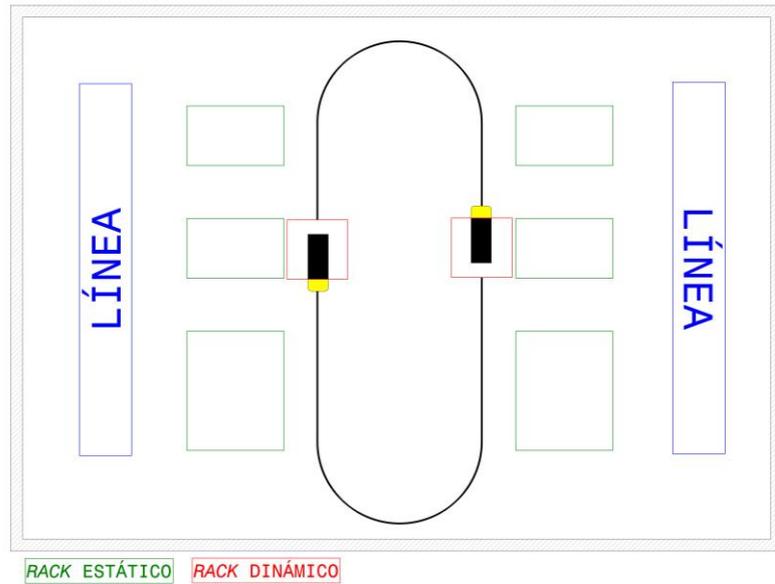


Fig 24. Layout simplificado teórico

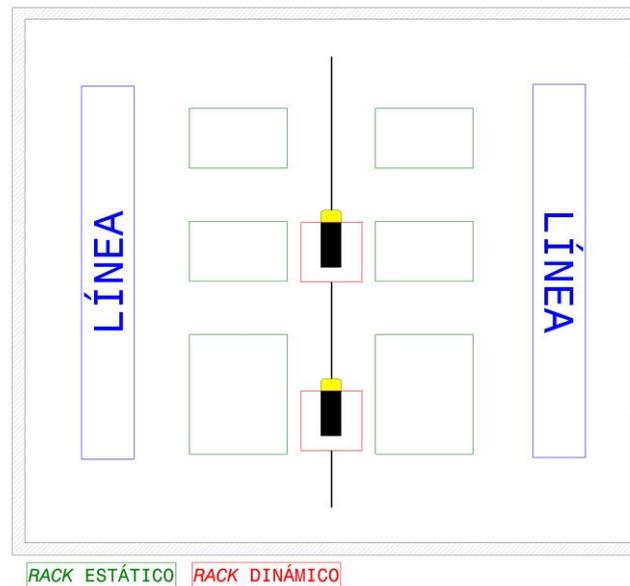


Fig 25. Layout simplificado real

3.2.3. Motorización de los sistemas de retención

En los carros, las cajas tienen que ser bloqueadas en todo el trayecto para evitar que salgan despedidas en las curvas o que alguien pueda apoyarse en ellas accidentalmente y tirarlas. En un principio se optó por el diseño de cierres de accionamiento mecánico, de manera que cada vez que se enfrenten una calle del *rack* dinámico y otra de un *rack* estático, se desbloquearía la salida de ambas. Una vez diseñada, el cliente argumentó que no quería que cada vez que un *rack* dinámico pasara por delante de un rack estático sin tener que descargar, se abrieran todos los bloqueos de las calles, por lo que nos solicitaron una solución motorizada con la que se pudiera controlar la apertura y cierre.

A la hora de hacer este diseño teníamos una serie de condicionantes sobre el motor:

- Debe ser de 24 V DC (para conectarlos a las baterías del AGV).
- El par debe ser suficientemente elevado para levantar los cierres del *rack* dinámico y estático.
- Debe tener un tamaño reducido.
- No tiene que tener inercia en la parada.
- Tenemos que tener un control sobre la parada.

En los siguientes apartados veremos la solución más desarrollada.

3.2.4. Inserción de una nueva diversidad de caja

Como dijimos en las especificaciones técnicas, una de ellas era que los carros tenían que realizar la transferencia con mesas de rodillos motorizados. Cada mesa llevará un rodillo motorizado y el resto conducidos (Fig.26; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)(Fig.27).

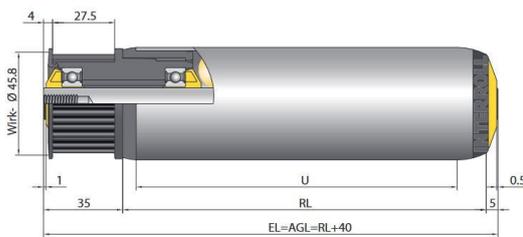


Fig.26. Rodillo conducido Interroll - [11]

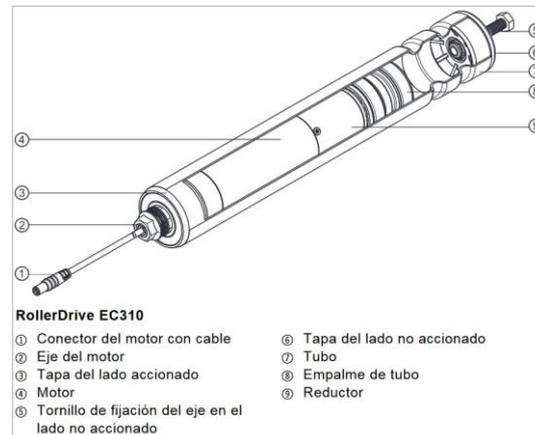


Fig.27. Roller Drive Interroll - [14]

A la hora de calcular rodillos es muy importante saber, tanto la forma de la base de la carga que se va a transportar como las dimensiones. El proveedor Interroll recomienda que, para calcular la modulación de los rodillos, tiene que haber al menos 3 en contacto en todo momento (Fig.28).

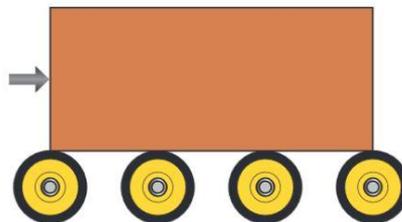


Fig.28. Modulación según la carga - [10]

Como teníamos cajas de 600 mm de largo, teníamos un módulo teórico de 200 mm (198.8 mm para el número de dientes justos de correa dentada). Con ello teníamos 1 rodillo motorizado y 6 conducidos.

El problema vino cuando el cliente introdujo otra diversidad de cajas de 300 mm. Nuestro módulo tenía que reducirse a la mitad (99.4 mm) y con ello tenía que duplicarse el número de rodillos conducidos.

Pasamos de 9 rodillos motorizados y 54 conducidos por carro, a 9 motorizados y 108 conducidos, con el sobrecoste que ello conlleva.

3.2.5. Cambio en el modelo de caja

En un primer momento no estaba definido el modelo de caja. Se comenzó el diseño para cajas de base plana. El cliente nos envió cajas para hacer pruebas una vez hecho el diseño, y como se ve en la imagen (Fig.29), la base lleva unos tacos nervados para apilar las cajas.

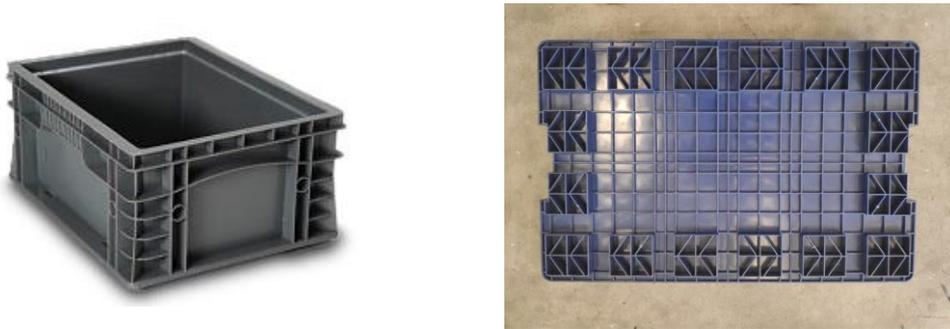


Fig.29.Caja teórica (izda.) y caja real (dcha.)

Estos tacos, nos suponen una problemática a la hora de utilizar rodillos. Hay dos posibilidades, que las cajas se enganchen en los tacos o que el traqueteo haga que caigan piezas de las cajas.

Aunando este problema y el anterior de tener que duplicar rodillos, exponemos la solución de utilizar bandas continuas (Fig 30) para el transporte, con lo que garantizamos la continuidad en la superficie de las cajas y no nos obliga a duplicar los rodillos de las mesas.



Fig 30. Bandas montadas

3.3. Desarrollo del proyecto

3.3.1. Selección del AGV

La selección del AGV es muy importante en una integración. Cada uno cubre una serie de necesidades (carga, maniobrabilidad, espacio...). Aun así, la selección final la realiza el cliente teniendo en cuenta otra serie de restricciones también (coste del producto, inversión total a realizar, planificación a largo plazo...).

En este caso el cliente seleccionó de antemano el modelo K10 M420 con las baterías y la reductora más pequeñas.



Fig.31. Modelo K10 seleccionado - [15]

Movimiento	Se mueve en el sentido de su cabeza tractora.
Capacidad de arrastre	850N de arrastre (1.600kg aproximadamente sobre carro rodado).
Carga de baterías	Dispone cajón de baterías intercambiable de fácil y rápida sustitución; y carga en circuito integrado.

Una mejor selección de AGV para este circuito hubiese sido el K11 (Fig.32) con reductora de mayor relación de reducción y baterías grandes de 130.



Fig.32. Modelo K11 idóneo - [15]

Movimiento	Se mueve ambos sentidos por sus dos cabezas tractoras.
Capacidad de arrastre	1.200N de arrastre (2.300kg aproximadamente sobre carro rodado).
Carga de baterías	Dispone cajón de baterías intercambiable de fácil y rápida sustitución; y carga en circuito integrado.

Requiere una mayor inversión, pero nos hubiese permitido tener más versatilidad en el movimiento por pasillos estrechos debido a su bidireccionalidad.

Una vez seleccionado el AGV, es necesario seleccionar el tipo de circuito que se va a instalar. Existen varios condicionantes a la hora de seleccionarlo.

En primer lugar, el espacio donde vamos a integrar los circuitos es totalmente nuestro. Solamente tendremos en él AGVs Kivnon. Con esta primera premisa descartamos la instalación de cinta magnética soterrada. Las dos alternativas que quedan son la cinta pegada y el *mapping*.

En segundo lugar, tenemos que asegurar que la zona no sufrirá variaciones continuas de los posibles obstáculos. Al ser una planta de nueva construcción, no nos aseguran este condicionante así que, el mejor sistema para nuestra aplicación es la cinta magnética pegada.

3.3.2. Estudio mecánico

• Racks estáticos

Aunque podríamos hacer el dimensionamiento del esqueleto estructural en su conjunto mediante software de cálculo por elementos finitos, no está contemplado este estudio en la oferta inicial a cliente. Por ello se procederá al cálculo mediante las tablas de carga/deformación que nos facilita el proveedor de algunos de los perfiles más críticos.

La carga máxima que tendrá que soportar un *rack* (Fig.34) por calle es de 130 Kg ($\pm 1300N$), 60 Kg en las calles más cargadas. Se ha seleccionado un perfil ligero de aluminio de 45x45 de Fasten (Fig.22).

- 1) Primero buscamos el punto entre la carga por piso y la longitud del perfil (600 N y 2500 mm). Línea roja.
- 2) Cruzamos el momento de inercia del perfil (10 cm^4) con el desplazamiento el diagonal del punto anterior. Línea verde.
- 3) Por último, cruzamos en vertical con el tipo de distribución. Línea azul.

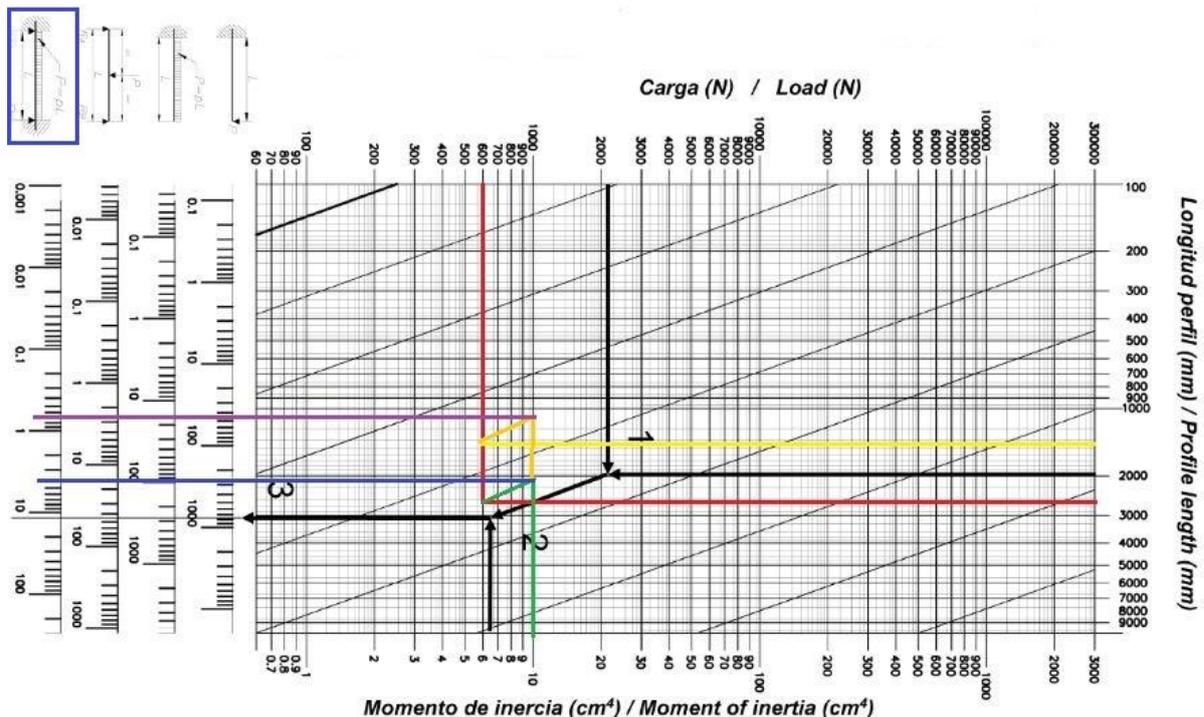


Fig.33. Cálculo de flecha máxima - [8]

Tenemos una flecha de 4 mm. Hemos calculado la flecha sin apoyos, si introdujéramos un apoyo intermedio (líneas amarilla, naranja y morada) reducimos la flecha a 0,7 mm. Nos conviene tener poca flecha para mantener la linealidad en el *Roller Track*.

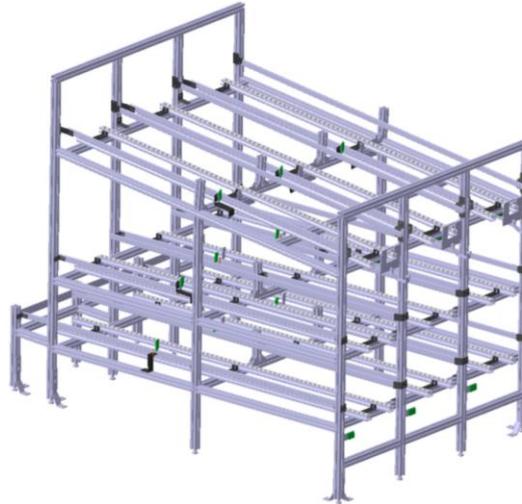


Fig.34.Rack fijo

El único mecanismo pasivo que llevará este *rack* es un balancín que será accionado por la leva de la mesa de rodillos del carro. Su utilidad es permitir únicamente el paso de 2 cajas grandes o 4 pequeñas.

Cuando el operario meta las cajas vacías en el piso superior es necesario pararlas al final de la calle para que no caigan. Una vez que el *rack* dinámico se enfrente con el *rack* estático, tenemos que bajar ese tope y dejar caer las cajas al piso superior del *rack* dinámico.

El problema viene cuando tenemos más de 2 cajas de vacíos en el *rack* estático. Si tuviéramos 3 cajas, solo tenemos 2 huecos en el *rack* dinámico por lo que tendríamos que parar esa tercera caja.

La solución es meter 2 topes en ese balancín. Cuando el balancín esté en posición de no accionado (Fig.35-arriba), el tope del final parará las cajas y el intermedio no. Cuando accionemos el balancín (Fig.35-abajo), el tope intermedio parará las dos cajas del final y el tope del final dejará pasar las 2 cajas que irán al *rack* dinámico.

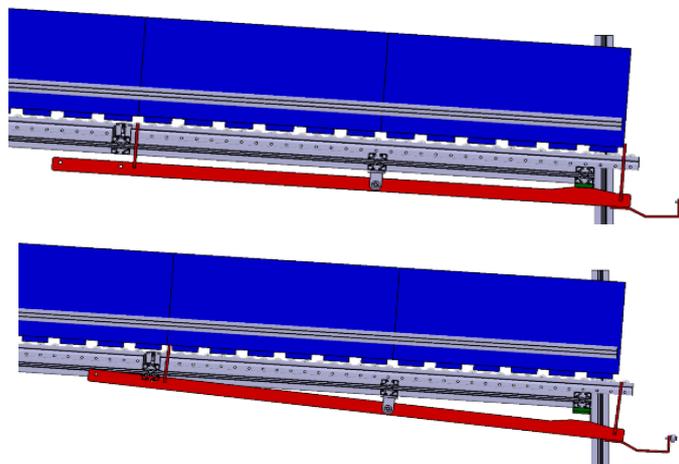


Fig.35.Posición sin accionar (arriba); Posición accionada (abajo)

• **Carro con mesas de banda**

Primero diseñamos la base rodante (Fig.36). Utilizamos tubo rectangular soldado 60.40.3, con el eje fuerte en la dirección de la carga y las patas con el eje fuerte en la dirección de avance.

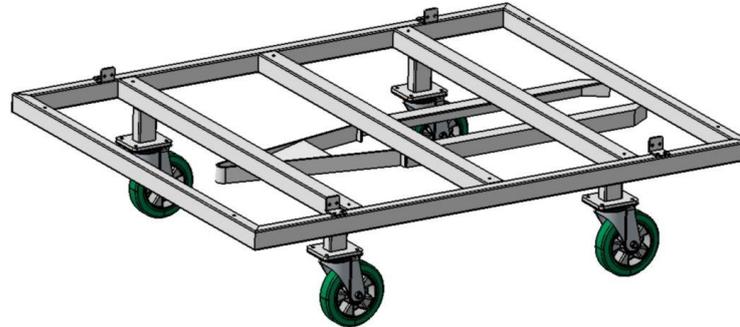


Fig.36.Base rodante

Las ruedas escogidas son Gayner MPG5 200 AEBB5 (Fig.37). La carga total para llevar será de unos 700 Kg. Cada rueda soporta 400 Kg y debido a las irregularidades del suelo normalmente solo apoyarán 3, por tanto, tenemos una carga máxima de 1200 Kg.



ROTANTE								
Código	Referencia	A	B	G	H	XX	Kg	(kg)
35-04B/18	MPGS 200 AEBB5	200 (mm)	50 (mm)	160 (mm)	240 (mm)	XX	400	3,13

RUEDA									
Código	Referencia	A	B	C	D	E	XX	Kg	(kg)
16-40/88	200 AEBB5	200	50	60	58	20,0	XX	700	1,72

SOPORTE						
Código	Referencia	G	H	Kg	Material Soporte	(kg)
582-200	MPGS 200	160	140	400	Acero Zincado	1,41

Fig.37.Rueda Gayner MPG5 200 AEBB5 - [19]

La estructura que soportará las mesas de banda debe ser ligera y resistente. Ligera porque el peso de las mesas de banda es fijo y cuanto más peso extra tenga que llevar el AGV, tendrá peor maniobrabilidad y menor duración de las baterías. Y resistente porque estará expuesta a muchas cargas dinámicas como pueden ser las generadas en las frenadas, en las curvas o en la propia transferencia de las cajas.

Lo que haremos será utilizar el mismo perfil que el del *rack* estático, para normalizarlo a la hora de fabricar. Tiene que soportar menos carga que un *rack* estático con el mismo número de calles, pero calculando, cada mesa de rodillos pesa alrededor de 40 kg por lo que tenemos solo 360 kg en mesas de rodillos. Para compensar este sobrepeso utilizamos perfil ligero, que tiene menos densidad lineal que el perfil básico. Es verdad que perdemos también momento de inercia (I_x e I_y) pero al ser una estructura compacta sin grandes vanos, resistirá perfectamente las cargas. La estructura nos queda de la siguiente manera (Fig.38):

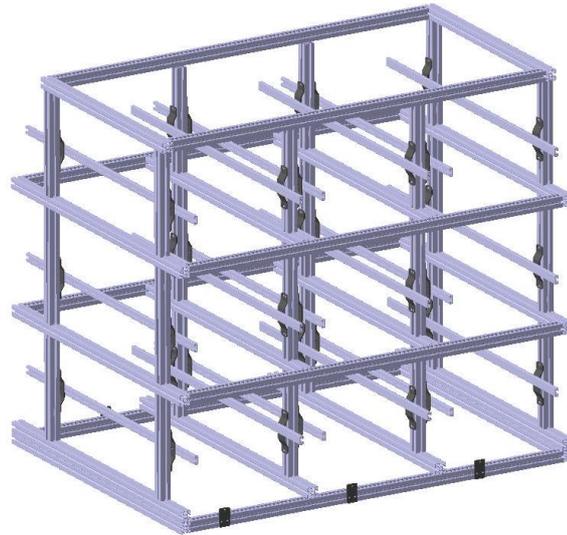


Fig.38.Rack para base rodante

Por último, quedaba diseñar las mesas de banda que llevarían las cajas. Se optó por una banda transportadora TRANSPLAT VERMU 08 de Masanés [6]. Las bandas están fabricadas en un material compuesto con matriz de polietileno y enfibrado de dos tipos de tejido en forma de mallado romboidal, lo que le confiere una gran resistencia a la tracción y a la abrasión. El ensamblaje final queda como en la siguiente imagen (Fig.39):

Ficha técnica

Norma	ISO 9001:2000
Calidad	PVC
Tejido	Poliéster
Color	Verde
Carga de rotura	160 N/mm
Espesor banda	2 mm +/- 0,25mm
Peso de la banda	2,20 kg/m ² (aproximado)
Laterales	Cantos cortados
Nº de telas	2
Cobertura superior	0,5 mm
Cobertura inferior	0,0 mm
Dureza cara superior	70° ShA
Tracción al 1% alargam.	10 N/mm
Temperatura	-15 a +80°C
Diam. min. polea flexión	25 mm
Diam. min. polea contralt.	50 mm
Anchos standard	2.000 mm
Anchos especiales	Se pueden fabricar bobinas enteras hasta 3.000 mm.
Longitud	+/- Standard de 100 mts. Bajo pedido se pueden fabricar metrajes superiores

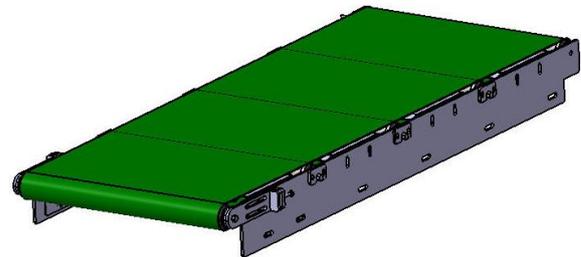


Fig.39.Características de la banda (izda.) y Diseño de la mesa (dcha.) - [6]

Como comentamos anteriormente había que diseñar un sistema de retención motorizado para las cajas que se encargue de parar las cajas del rack motorizado y de abrir el balancín del rack estático.

Hemos diseñado un sistema de leva (Fig.40) que con un motor de continua de 24V DC sube y baja los topes de las cajas. Se ha seleccionado un motor que gire a unas revoluciones relativamente bajas (37 rpm) y que pare con freno, así, controlamos las paradas mediante dos detectores inductivos. Aseguramos la posición de la leva, ya que, mediante una ranura en la leva excéntrica, uno siempre tiene que ver el disco y el otro no, así las señales de posición nos dan 10 (arriba) o 01 (abajo).

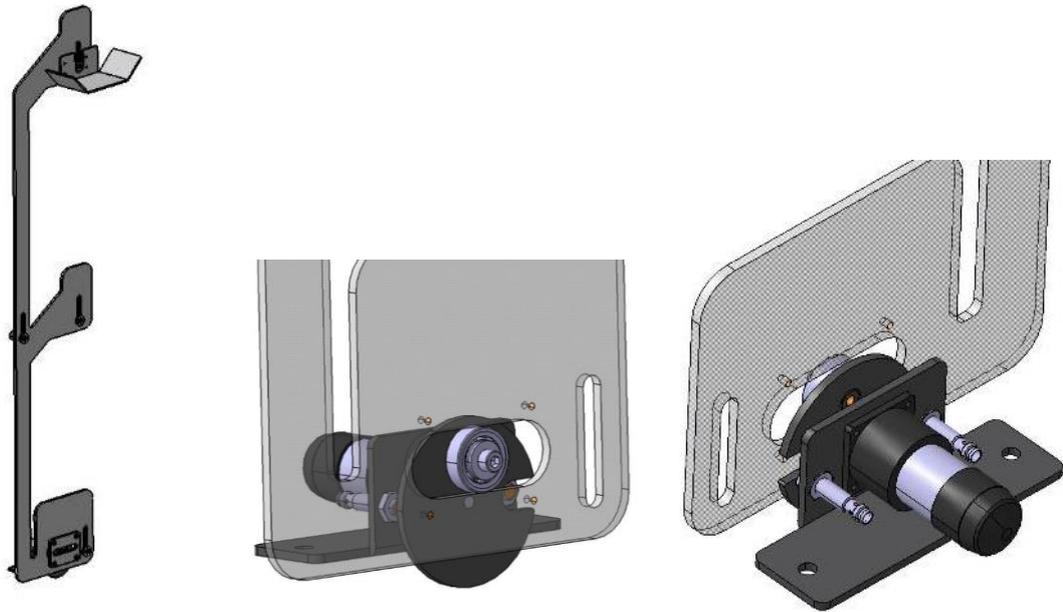


Fig.40.Tope para las cajas(izda.); detalles del accionamiento por excéntrica (centro y dcha.)

3.3.3. Estudio electrónico y de control

• Detecciones

Como en toda máquina, las detecciones son una parte muy importante en el diseño. Necesitamos ver una serie de puntos que garanticen una transferencia segura. Estos puntos son:

- Detección de la posición del *rack* dinámico con la del *rack* estático (1).
- Detección de transito de cajas en la salida del *rack* dinámico (2).
- Detección de transito de cajas en la entrada del *rack* dinámico (3).
- Detección de presencia de cajas dentro del *rack* dinámico (4).
- Detección de hueco en el *rack* estáticos de llenos y recogida de vacíos (5). El catadióptrico irá montado en los *racks* estáticos.

La posición de los detectores en el carro no puede ser simétrica, si montamos todas los *racks* con los catadióptricos orientados en la misma dirección, no podríamos descargar a izquierdas y derechas.

Para posicionar todos los detectores y catadióptricos en todos los *racks* hay que tomar como referencia los *racks* dinámicos. Como son los *racks* dinámicos los que van a los *racks* estáticos, hay que posicionar los detectores exactamente igual en todos los dinámicos y regular los catadióptricos de los estáticos, ya que uno de los condicionantes más importantes es la irregularidad de los suelos, teniendo desniveles de hasta 10-15 mm. El esquema de los detectores en el carro será (Fig.41):

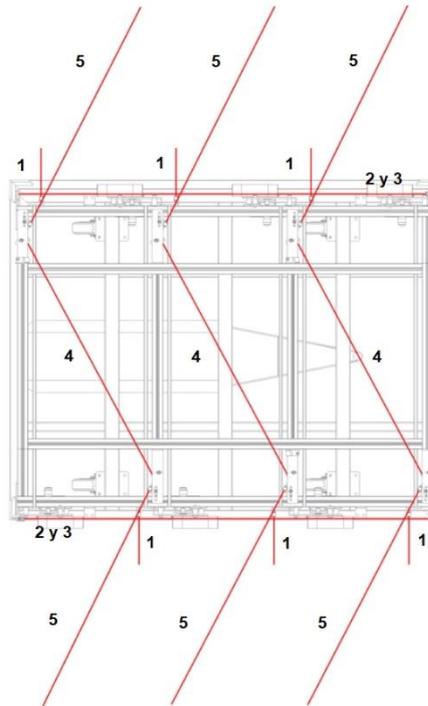


Fig.41. Sinóptico detectores

• Modo de funcionamiento

Se tienen que cumplir una serie de condiciones para que se efectúe una carga segura. La secuencia de señales y actuaciones que tienen que suceder es la siguiente:

- 1) Cada un tiempo determinado por el *takt time* de la línea, el PLC maestro de control de tráfico comunica con el PLC del AGV vía wifi.
- 2) El PLC general de control de tráfico ordena a un AGV A1 que se dirija a los *racks* estáticos E1, E2 y E3 y cargue-descargue en las calles CE11, CE22, CE33.
- 3) El AGV tiene que pasar por el puesto de carga de llenos y descarga de vacíos antes de dirigirse a la zona de *picking*.
- 4) Pasa por el *rack* E1 y para su calle CC1 con la calle CE11. Comprueba que las detecciones estén en orden.
 - a. Posición del *rack* dinámico y *rack* estático correcta.
 - b. 2 cajas de llenos en la calle del *rack* dinámico.
 - c. 2 huecos de cajas de vacíos en calle del *rack* dinámico.
 - d. 2 huecos en la calle del *rack* estático donde van a dejar los llenos.
 - e. 2 vacíos que recoger.

Una condición que determina esta etapa es que solo se pueden cargar dos cajas de vacíos y dejar 2 de llenos. Por cada calle el carro puede llevar 4 llenos y dos vacíos, por tanto, si dejara 2 llenos en el primer piso, 2 en el segundo y recogiera 2 vacíos, estaría generando una saturación en el piso de vacíos.

- 5) Procede a la carga-descarga.
- 6) Se dirige al siguiente punto cuando se cumpla:

- a. Seta de emergencia activa.
 - b. Escáner del AGV no detecta presencia.
 - c. Todas las levas de tope de cajas están arriba.
 - d. Fotocélula de entrada-salida no detecta presencia.
- 7) Repite 5) y 6) hasta que solo quede un piso de cajas de llenos
 - 8) El AGV se dirige a descargar vacíos y repite la carga-descarga con el piso de llenos que tiene.

Como tenemos *racks* estáticos con 1, 2, 3, 4, 6 y 7 calles, se pueden efectuar las paradas en función de las calles que tenga cargadas el *rack* dinámico. Puede pasar que, en una estático de 7 calles, la calle 4 necesite abastecimiento y solo tenemos cajas y hueco de vacíos en la calle 3 del carro. Esta gestión la controla el PLC maestro de tráfico que, según las necesidades de la línea y el estado de carga de los *racks* dinámicos, envía el AGV al *rack* estático correspondiente.

• Controladores de los rodillos

Necesitamos controlar la marcha de los rodillos (velocidad, inversión de giro, sobrecargas...). El propio proveedor de los rodillos (Interroll) tiene en catálogo unos controladores para realizar toda la gestión del rodillo y comunicar de forma directa con el PLC. Tiene diferentes modelos para tensiones de 24, 48 y 380V-420V. Hemos seleccionado el modelo más sencillo para nuestra aplicación, el Drive Control IP20 (Fig.42).



Fig.42.Drive Control IP20 - [20]

El controlador consta de (Fig.42):

- Conexión del rodillo (arriba a la izquierda). Alimentación del rodillo, entrada de señales al motor y salidas de detección de los rodillos.
- Alimentación del rodillo (abajo a la izquierda y derecha).
- Entrada y salidas digitales (arriba a la izquierda) mediante un conector de 7 pines. Desde arriba:
 - Toma de tierra
 - Alimentación suplementaria en caso de error
 - Error
 - Inversión de giro

- Bit C de velocidad
- Bit B de velocidad
- Bit A de velocidad

En el controlador tenemos unos *switches* (Fig.43) con los que podemos controlar el sentido de rotación (1 DIR), la rampa de aceleración (6 RAMP) y mediante los bits de velocidad (2,3,4 y 5) podemos generar 16 velocidades desde 0 hasta 1,75 m/s.

Con los bits seleccionamos esas velocidades, por ejemplo, para una velocidad que sea la mitad de la máxima (0,875 m/s) debemos ponerlo en la posición 1000 (8 en decimal), y para la máxima velocidad 1111 (15 en decimal).

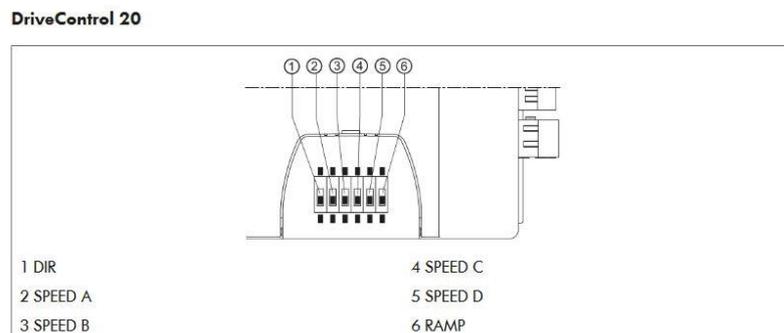


Fig.43.Switches de los Control Drive - [21]

Sistema BUS-ASi de comunicación.

Tenemos 39 detectores solo para el posicionamiento del *rack* dinámico y la posición de las cajas. A estos hay que sumarle los 12 inductivos (2 por motor de levas) de los toques de las cajas y las entradas de los *drive control* de los *roller drive* (motorrodillos) (Fig.43).

Con esa cantidad de entradas/salidas, sumado a todas las alimentaciones, tenemos un gran número de cables hasta el armario eléctrico donde instalaremos el PLC. Una manera de reducirlos es la instalación de un sistema bus-ASi.

Un sistema bus-ASi se basa en la conexión de sensores y actuadores mediante el sistema *piercing*, por el cual, las entradas y salidas del circuito se conectan a unos concentradores (Fig.44) que tienen un cable de dos conductores sin blindaje por el que se transmiten tanto la energía como las señales funcionales y de seguridad.



Fig.44.Concentrador Siemens 4 entradas (izda.) y Cable AS-interface (ASi)(dcha.) - [24]

El PLC actúa como maestro y los concentradores actúan como esclavos. Estos últimos reciben un direccionamiento permanente del maestro.

Cada maestro puede controlar hasta 31 esclavos. En nuestro caso tenemos 25 esclavos (con no todas sus entradas ocupadas) para las 39 células fotoeléctricas, los 9 detectores inductivos y los 9 motorodillos. Hemos realizado una topología lineal o de bus, aunque existen otras como en árbol o en estrella (no se hablará de estas ya que no resultan mejores para nuestra aplicación).

Se ha hecho una instalación lineal porque es una instalación simple y al tener en nuestro caso una longitud corta, no tendremos degradación en la señal. Es cierto que uno de los inconvenientes de esta instalación es la acotación de errores, ya que un fallo en uno de los tramos de la red (entre concentradores) hace caerse a toda la red. Es un problema que tuvimos y es fácil de detectar. El esclavo del tramo que tiene el error marca el fallo ya sea en el concentrador como en el programa.

Una vez todas las señales lleguen al PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/RLY (Fig 45) del *rack* (el cual irá en un armario eléctrico de 600 x 600 mm) deben llevarse al PLC del AGV para darle toda la información sobre la transferencia de cajas.

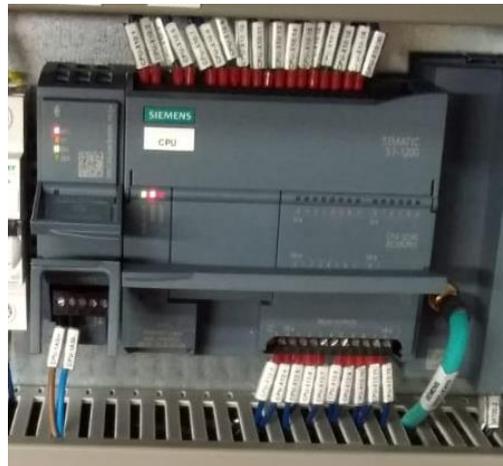


Fig 45-PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/RLY

La comunicación se hará vía iwifi (Industrial Wifi). Se tendrá que instalar un conmutador de Ethernet Siemens 6GK57956MN100AA6 Siemens 6GK5795-6MN10-0AA6 (Fig.46) que permitirá el intercambio de información entre los dos PLCs.



Fig.46. Conmutador Ethernet Siemens 6GK57956MN100AA6 - [26]

3.3.4. Estudio eléctrico

- **Cálculo de cargas**

La base del diseño es la independencia del conjunto de fuentes de corriente externas. La única alimentación de la máquina vendrá de las baterías del AGV. El cliente en primera instancia, seleccionó un modelo Lite, el cual va equipado con baterías de 90 A. Estas baterías funcionan correctamente a un 20% de la nominal (18A).

El desglose del consumo del AGV en una situación de carga máxima es:

- Como solo podemos entregar 2 cajas llenas por calle y recoger 2 vacías, el máximo número de rodillos en funcionamiento simultáneamente es de 6. La intensidad nominal de cada rodillo es de 2 A, así que los rodillos consumirán 12 A.
- El *rack* estático montará 39 fotocélulas reflexivas, que consumen unos 20 mA. La corriente usada es de 0,78 A.
- Los 12 detectores inductivos de los motores consumen menos de 20 mA sin detectar y 200 mA detectando, así que tenemos 0,12 A de consumo de los que no detectan y 1,2 A de los que detectan. 1,32A totales.
- No contamos el consumo de los motores de la leva motorizada ya que están parados cuando los rodillos están activos.
- El consumo de la electrónica del AGV detenido es de unos 5 A.
- Los *drive control* de los rodillos consumen 0,1 A cada uno, lo que hace 0,9 A en total. La ventaja de estos componentes es que aprovechan la energía cinética de los motorrodillos para devolverla al sistema.

Tenemos un consumo total de alrededor de 20 A, por lo que las baterías del AGV no van a poder con el consumo. La solución a este problema es integrar los AGV de la gama P (Plus), con baterías de 130 A, ya que teniendo un 20% del valor de la intensidad nominal tenemos una intensidad útil de 26 A y podemos hacer frente a los 20 A de la demanda.

Para realizar la conexión eléctrica entre el *rack* y el AGV se ha instalado un conector rápido de 8 pines para las señales y 2 pines para la alimentación (Fig.47) (Harting 8D+2) mecanizando la parte trasera del AGV para acoplar el conector hembra.

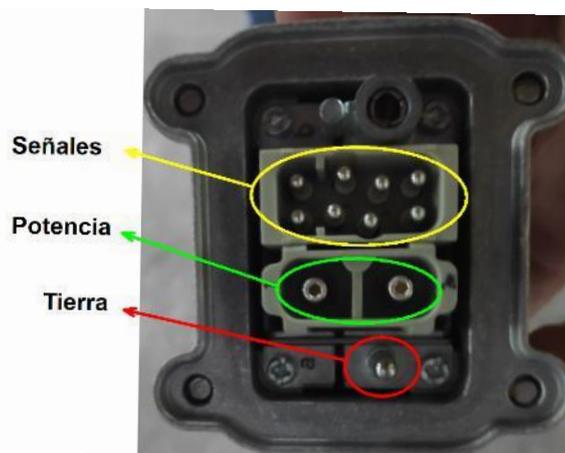


Fig.47. Conector combinado

Como se ve en la imagen, tenemos 3 grupos de pines identificados.

- 8 pines de señales: Se utilizan para hacer el lazo cerrado con las setas de emergencia. Tenemos una en el AGV, una en el armario eléctrico y otra en la parte delantera del *rack* dinámico. Necesitamos comunicar todas de manera que si desconectamos cualquiera de las 3 tanto el AGV como las mesas de transferencia se pararán por las seguridades.
- 2 pines de potencia: Se conectan directamente a la fuente de alimentación del *rack* dinámico y los conectores hembra a las baterías del AGV.
- Pin a tierra: El pin de tierra conectará la tierra del *rack* con la tierra del AGV.

Hemos seleccionado todos los componentes del *rack* dinámico para que tengan una alimentación de 24 V porque el AGV tiene dos baterías de 12 V conectadas en serie. No podríamos haber seleccionado componentes de 12 V, no por conexión, que sí se podría hacer, sino por la descompensación de la carga de las baterías, descargándose una antes que la otra.

Al conectar en serie las baterías tenemos 24 V para conectar en paralelo y la intensidad es de 90 A en las dos como hemos visto antes y seriadas se mantiene en 90.

• Instalación eléctrica

Uno de los mayores inconvenientes con el que nos hemos encontrado es con la instalación eléctrica en los *racks*. El gran número de detectores y motores hace que tengamos un gran número de cables y muy poco espacio para llevarlos. Si estudiamos el volumen total de la base rodante y el *rack* tenemos que no podemos pasar ningún cable por cualquiera de los volúmenes de tránsito de cajas y AGV (Fig.48).

Dado que es el primer prototipo que se diseña de esta instalación, predomina mucho la parte mecánica frente a la eléctrica, es decir, hasta que no podamos definir completamente la parte mecánica no podemos idear unos espacios fijos para el paso de cables de la parte eléctrica. Esto será una de las mejoras que deberemos aplicar en un futuro, haciendo convivir el montaje de las dos partes sin que uno interfiera con el otro.

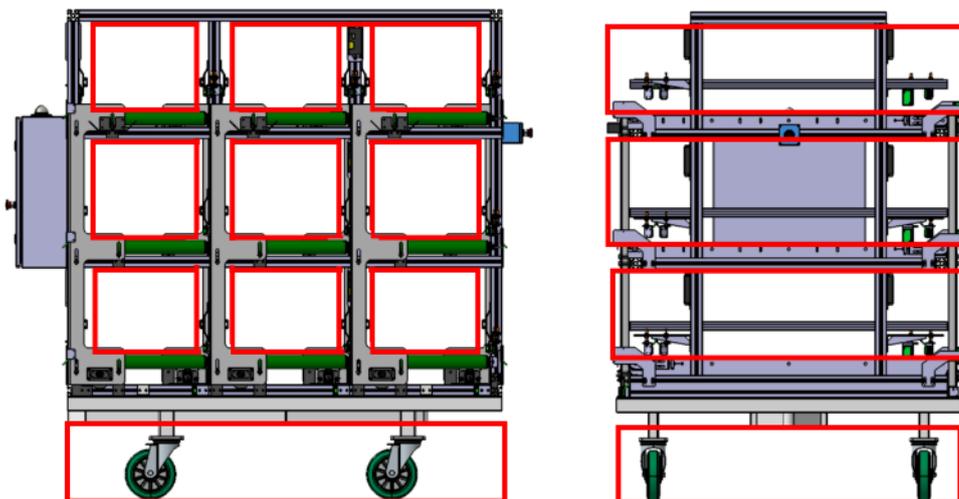


Fig.48. Volúmenes de tránsito de cajas

De esta forma, nos vemos obligados a llevar todos los cables por los largueros de la estructura.

Para llevar todos los cables protegidos y con acceso a mantenimiento utilizamos Rejiband®. Rejiband® es una bandeja portacables formada de alambre electrosoldado que debido a sus bordes

redondeados permite la manipulación de los cables sin peligro de cortes, y a la vez protege los cables de daños mecánicos externos.

Según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT ITC-BT-20) [7] “Las canalizaciones deberán estar dispuestas de forma que faciliten su maniobra, inspección y acceso a sus conexiones. Estas posibilidades no deben ser limitadas por el montaje de equipos en las envolventes o en los compartimentos”.

La bandeja más pequeña que tenemos es de 60 x 60 mm de sección. Por motivos de instalación, no tenemos más remedio que reducir un poco la altura del paso de las cajas. Como no necesitamos los 60 mm de altura de la bandeja, cortamos 20 mm reduciendo así el hueco del paso de cajas en 40 mm (Fig.49).



Fig.49. Montaje de Rejiband

Todo el cableado irá a un armario eléctrico de 600 x 600 mm. En él irán todos los componentes encargados del control del *rack* de la base rodante.

- Interruptores magnetotérmicos: Para salvaguarda de la instalación frente a cortocircuito o sobrecargas
- Maestro ASi: El Maestro ASi enlaza los sensores a través de los concentradores (esclavos) ASi con el control superior (PLC).
- Módulo SCALANCE: Modulo de comunicación vía PROFINET.
- CPU: PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/RLY.
- Fusibles: Salvaguarda los componentes frente a cortocircuitos.
- Termostato: Se encarga de encender/apagar el ventilador del armario.
- Alimentación del ASi: Fuente de alimentación de 30 V para el módulo ASi.
- Fuente de alimentación complementaria: Alimenta toda la instalación para pruebas sin necesidad de AGV.

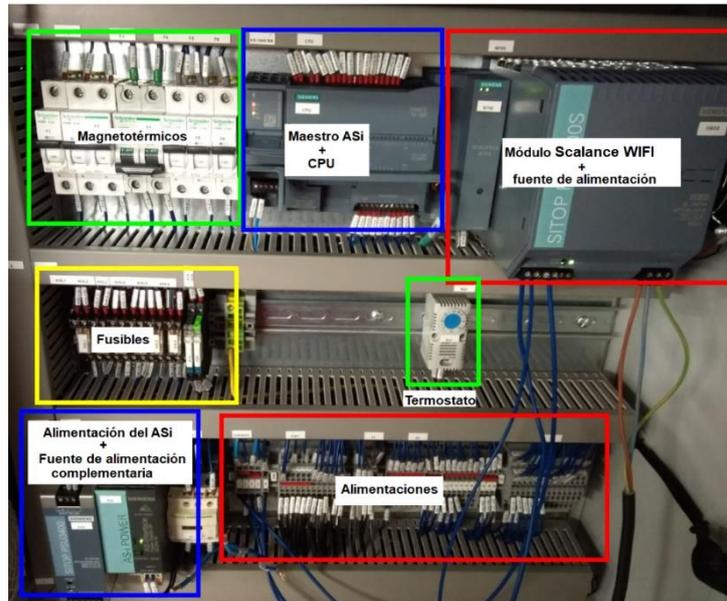


Fig.50-Componentes del armario eléctrico

3.4. Modelo final

Necesitamos un modelo 3D para validación del cliente antes de realizar los prototipos.

El rack estático será la que menos modificaciones tendrá. Al ser una estructura relativamente sencilla, todas las modificaciones se harán de acuerdo al comportamiento de las cajas y a los detalles que nos imponga el cliente cuando la vea. El modelo 3D es el siguiente (Fig.51):

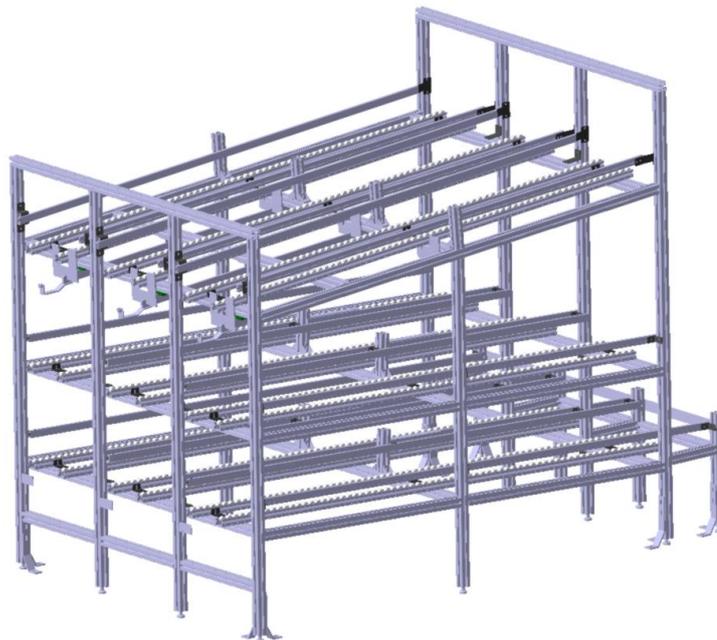


Fig.51.Modelo 3D del rack estático

Lo que más problemas nos puede causar es la forma intrincada de los tacos de las cajas. Existe la posibilidad de que las ruedas de los *Roller Tracks* se encajen en uno de los huecos y se detenga la caja. En caso de ser así se realizarán modificaciones sobre el prototipo ya fabricado.

En cuanto los *racks* dinámicos nos hemos adelantado y hemos presentado lo que mejor se adecúa a las necesidades, el diseño con las mesas de banda de PVC (Fig.52).

Se ha de remarcar que el modelo no es un modelo definitivo. Solamente es un modelo funcional sujeto a mejoras.

Debido a los tiempos definidos por la normativa interna del cliente, nos hemos visto en la situación de diseñar un modelo que se adapte a las necesidades de uso, aun sin cumplir todos los requisitos.

Una vez el cliente valide el modelo 3D, se realizará un prototipo para hacer una presentación en vivo donde se verá si es válido o no. En caso de serlo, se analizarán todas las remarcas para modificaciones de cara a la fabricación de la serie.



Fig.52-Modelo final

Capítulo 4- DESARROLLO DE PROTOTIPOS Y MODIFICACIONES FINALES.

Una vez desarrollado el modelo 3D, necesitamos la validación de cliente para empezar a realizar los prototipos para pruebas.

4.1. Prototipo *rack* estático

No ha habido ningún problema a la hora de la validación, el cliente ha dado un plazo de 3 semanas para la fabricación del prototipo. El elemento comercial más restrictivo han sido los *Roller Tracks* porque su plazo de entrega era de 4 semanas. En previsión a la realización del prototipo se pidió con 4 semanas de antelación.

El prototipo final es el siguiente (Fig.53):



Fig.53. Prototipo final de rack estático

4.2. Prototipo de rack dinámico

Con el rack dinámico hemos planteado la solución final con las mesas de banda, pero el cliente quiere ver el comportamiento con 3 diseños diferentes:

- Mesa de rodillos con módulo grande.
- Mesa de rodillos con módulo pequeño.
- Mesas de banda.

Como el prototipo iba a ser una base rodante con un rack embarcado de 3 calles, 3 alturas 1200 mm de profundidad, utilizaremos una calle para cada uno de los 3 diseños, de esta forma podremos compararlo simultáneamente (Fig.55).

El cliente ha dado un plazo de 3 semanas al igual que en el rack estático. Se ha podido prolongar el plazo a 5 semanas debido a que se tendrán que hacer pequeñas modificaciones en el diseño general para poder hacer convivir a los 3 diseños en una misma estructura y a la diversidad de elementos comerciales y plazos. Se ha presentado un modelo de mesas (Fig.54) (las levas de retención no aparecen ya que no se modifican).



Fig.54. Modelo 3D para fabricación de prototipo

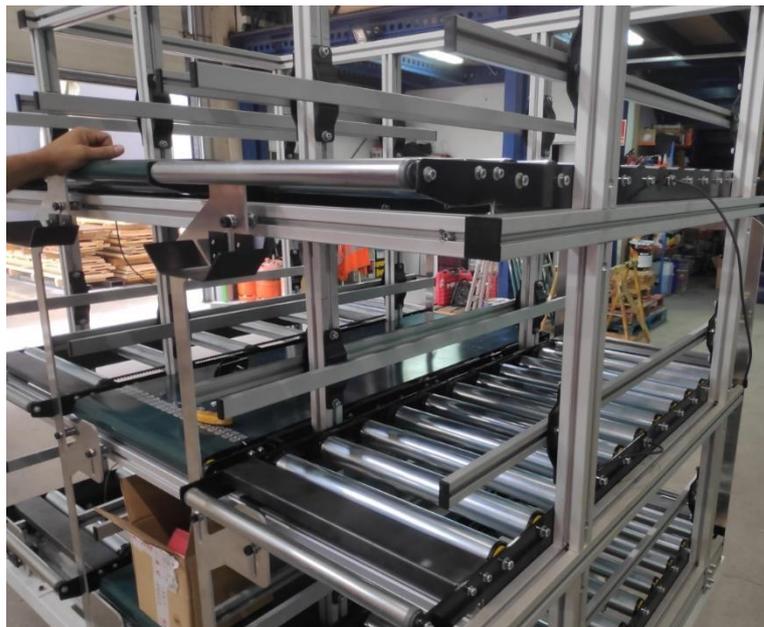


Fig.55. Prototipo con 3 sistemas

Lo más complicado en este prototipo ha sido hacer que las levas que detienen las cajas valgan para los 3 modelos. En el caso de las mesas de banda, los rodillos inicial y final están a 1210 mm de módulo y en los modelos de mesa de rodillos esa distancia es de 1044 mm. El motivo de esto era encontrar un módulo para las correas de los rodillos que coincidiera con el número de dientes y el paso de los dientes de la correa, de esa forma no es necesario introducir tensores de correa.

Con la mesa de rodillos de paso grande, el módulo era de 208.8 mm. Al introducir 6 rodillos, la distancia entre inicial y final es de 1044 mm, pero al añadir un rodillo más nos vamos a una distancia de 1252.8 mm con lo que la mesa sobresaldría de la estructura sin dejar espacio a la leva.

Cuando tuvimos que volver a modular la mesa a un paso de la mitad decidimos que para no tener muchas variaciones con respecto a lo anterior teníamos que dejar la misma distancia entre rodillos inicial y final.

Como solo teníamos 1044 mm teníamos que añadir un rodillo loco que prolongara nuestras mesas de rodillos para acercarla al *rack* estático. Como el rodillo loco no tiene que llevar correa nos permitía meter la leva de tope de las cajas entre ese rodillo y el último conducido. Así se puede mantener la leva en la misma posición en las 3 calles.

Como ya suponíamos, la base apilable de las cajas no resultó ser lo más beneficioso para el uso de mesas de rodillos. Las pruebas se hicieron sobre los 2 tamaños de caja más extremos. La caja grande de 600x400x280 mm y la pequeña de 300x400x140 mm. Se probaron sobre los 3 diseños (Tabla 1. Validación de sistema de transferencia):

		Parámetro			
		Funcionalidad	Seguridad	Coste	Validez
Modelo	Mesa de rodillos con módulo grande	Las cajas se enganchan permanentemente en los rodillos, la única forma de sacarlas es yendo a mayor velocidad	Tenemos puntos de atrapamiento entre las cajas y los rodillos.	El coste es el del estudio inicial, por tanto, es un valor asumible desde el principio. (Se estudiará en el capítulo 5)	Por funcionalidad no es válido y necesita seguridades. Podríamos seguir buscando soluciones, pero sería contraproducente.
	Mesa de rodillos con módulo pequeño	Las cajas se transfieren con un fuerte traqueteo. Los tacos de las cajas se enganchan y sueltan de los rodillos continuamente.	Tenemos puntos de atrapamiento entre las cajas y los rodillos. Como el módulo es de 104 mm los puntos de atrapamiento son mayores que con módulo grande.	El coste en rodillos conducidos y correas se duplica. Es un sobrecoste importante. (Se estudiará en el capítulo 5)	Es funcional a mucha velocidad y necesita seguridades. A priori supone un aumento del coste en rodillos y correas. No es válido
	Mesas de banda	La transferencia es correcta en las cajas largas, en las cortas se hunde ligeramente porque la longitud es menor que el módulo de los rodillos.	Tenemos riesgo de atrapamiento en los extremos de las mesas. Debemos dejar un espacio de menos de 5 mm entre la banda y cualquier punto fijo.	Por un lado, eliminamos 1 rodillo y todas las correas y por otro añadimos la banda de PVC y tensores de banda. (Se estudiará en el capítulo 5)	Funcionalmente es el mejor de los 3 casos y no necesita instalar seguridades. A nivel de coste no subirá mucho o bajará con respecto a lo inicial. Es una solución válida

Tabla 1. Validación de sistema de transferencia

Una vez comprobada la viabilidad de las mesas de banda, el cliente nos pide una fase dos en el prototipo en la que montaremos todas las mesas del carro con esa banda. Nos encontramos con el problema de que el plazo de entrega del prototipo se amplía a solo dos semanas (10 días laborales).

El elemento comercial con mayor plazo de entrega son los rodillos. En todo el proceso de fabricación es lo más restrictivo, así que, la solución adoptada es aprovechar los rodillos con cabezal para correa que usábamos en las mesas de rodillo para las mesas de banda. Como ya se ha comentado, al ser un prototipo podemos tomar esta solución, que, en cualquier otro caso, solo serviría como solución temporal antes de cambiarlos, porque la no uniformidad del rodillo desplazaría la banda y la desgastaría.

Una vez montadas todas las mesas de transferencia con banda se mandó el prototipo final a Kivnon en Barcelona. Por problemas en el transporte, la carga se soltó y recibió numerosos daños. Al ser un sistema nuevo tuvimos que ir a repararlo para la demostración.



Fig.56. Algunos de los desperfectos del transporte

Este incidente nos hizo replantear el sistema de transporte. Los golpes vinieron de una mala sujeción, las cinchas se colocaron en punto del *rack* de aluminio de forma que se resbaló y empezó a golpearse con los laterales de la cabina.

Reparados todos los desperfectos (levas dobladas, cables cortados, seta de emergencia arrancada...) el prototipo final es el siguiente (Fig.57):



Fig.57. Prototipo final de rack dinámico

Otro de los componentes mecatrónicos del carro que debemos probar son las levas de tope de las cajas. Se irán conectando uno a uno y viendo hacia donde se deben regular las guías. Para el montaje, la posición del soporte del motor es la referencia inicial. Las guías se han hecho mediante unos colisos en la leva de aluminio y unos tornillos tope de guía ISO 7379.

El sistema es un mecanismo de excéntrica mediante el cual convertimos el movimiento de giro del motor en un movimiento lineal (Fig.58).

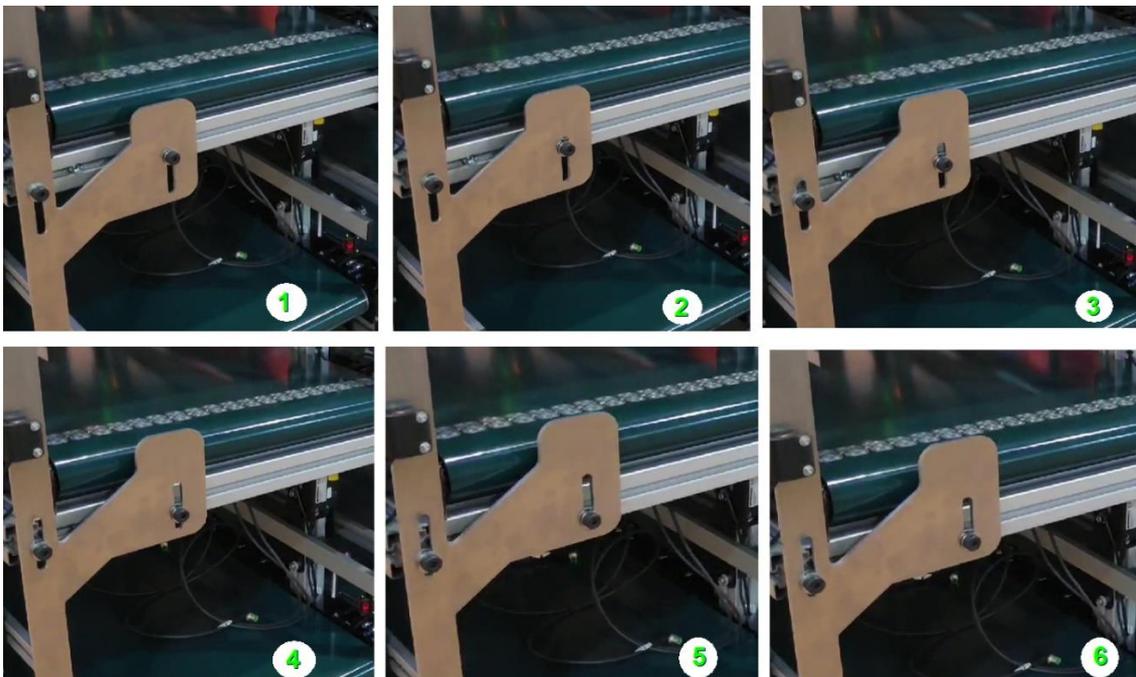


Fig.58. Secuencia de la leva

4.3. Interacción de la instalación

Una vez fabricados los dos prototipos y probados todos sus componentes por separado, hay que enfrentarlos, nivelar el rack estático (que es el que debe regularse, manteniéndose fijo el dinámico), y ver como interaccionan.

Cuando realizamos una carga/descarga con AGV hay que tener en cuenta los márgenes de parada, tanto en el eje de la marcha como en el transversal.

En el eje longitudinal de la marcha dependemos de:

- Velocidad del AGV
- Sistema de frenado del AGV
- Estado del suelo
- Holgura entre el sistema de enganche del carro y el pin del AGV

En el eje transversal a la marcha los aspectos determinantes en la parada son:

- Precisión en el lector de banda magnética
- Estado del suelo
- Holgura entre el sistema de enganche del carro y el AGV

Podemos controlar todos los parámetros menos la precisión de banda magnética, la cual ya se ha tenido en cuenta en el diseño del AGV.

Para controlar la velocidad y la frenada se tienen gráficas de curvas de frenada para diferentes tipos de suelo, que garantizan la parada con un margen de ± 10 mm en el eje longitudinal. Cuando el carro se deja en una posición y el AGV continua la marcha, se instalan unas huellas en el suelo en terrenos con desniveles para retacar las ruedas e impedir que el carro se gire. El factor final a tener en cuenta es la holgura entre el enganche del carro y el AGV, nunca superior a $\pm 2,5$ mm.

Otro condicionante para enfrentar los sistemas es que, por condiciones de seguridad de escáner, el AGV se detiene cuando su escáner ve algo a 150 mm de altura con respecto al suelo y a 150 cm del bastidor del carro, por lo que las patas del rack estático deben estar mínimo a 150 mm de distancia del bastidor.

Con todas esas condiciones, establecemos que la distancia de paso entre el bastidor del carro y las patas será de 175 mm (Fig.59).



Fig.59. Posicionamiento racks estático-dinámico

Al no tener un AGV modificado en nuestras instalaciones, todas las pruebas de carga-descarga se efectúan con la instalación estática, no podremos probar la instalación completa hasta enviar el sistema a Barcelona. El único parámetro importante a la hora de hacer pruebas con el AGV es la posición de la cinta magnética con respecto al *rack* estático.

La carrera de la leva es de 40 mm. Si alguno de los detectores inductivos de la leva fallara y esta se queda abajo, nunca llegaría a impactar con el rodamiento ya que la rampa está a 42,4 mm de la cara de accionamiento (Fig.60), mayor medida que los 40 mm de carrera.

De igual forma, como habíamos dicho antes, el carro tiene una tolerancia en las paradas de unos ± 10 mm en longitudinal y $\pm 2,5$ mm. Hemos hecho la rampa lo suficientemente larga y ancha para que siempre haya contacto con el rodamiento.

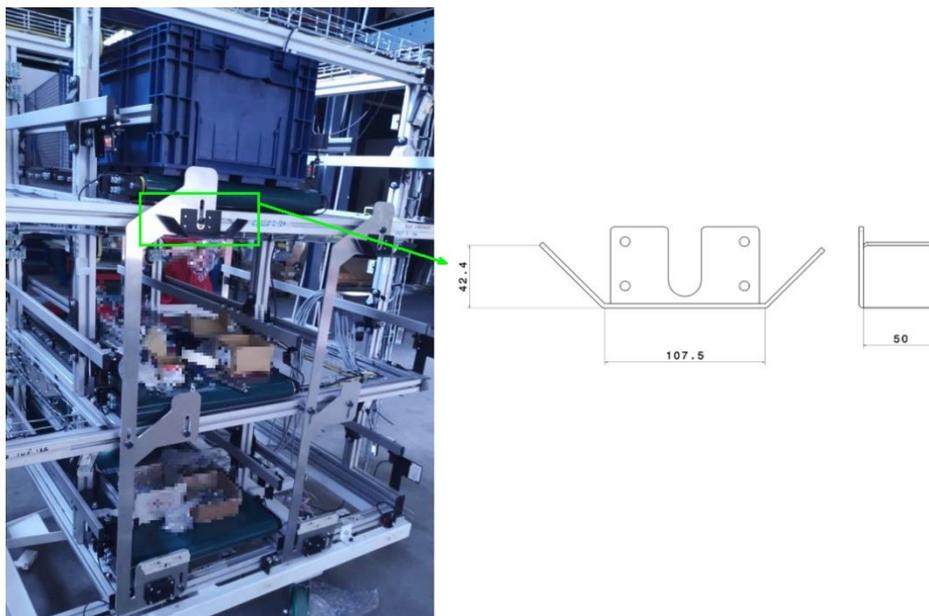


Fig.60. Cotas relevantes del empujador

El accionamiento del balancín se realiza a través de un empujador acoplado a la leva de retención del carro. Se ha diseñado de forma que no pueda haber impacto entre el empujador y el rodamiento del balancín del *rack* estático. La distancia inicial entra el empujador y el rodamiento es de 5 mm (teóricos, factor suelo), así que estaremos accionando el rodamiento la carrera menos 5 mm (35 mm). Está diseñado para que, en el instante inicial, la pista exterior del rodamiento esté. paralela al empujador (Fig.61) (Fig.62).

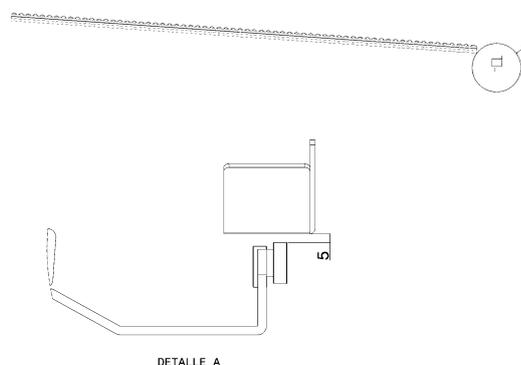


Fig.61-Detalle interacción teórica Empujador-Rodamiento

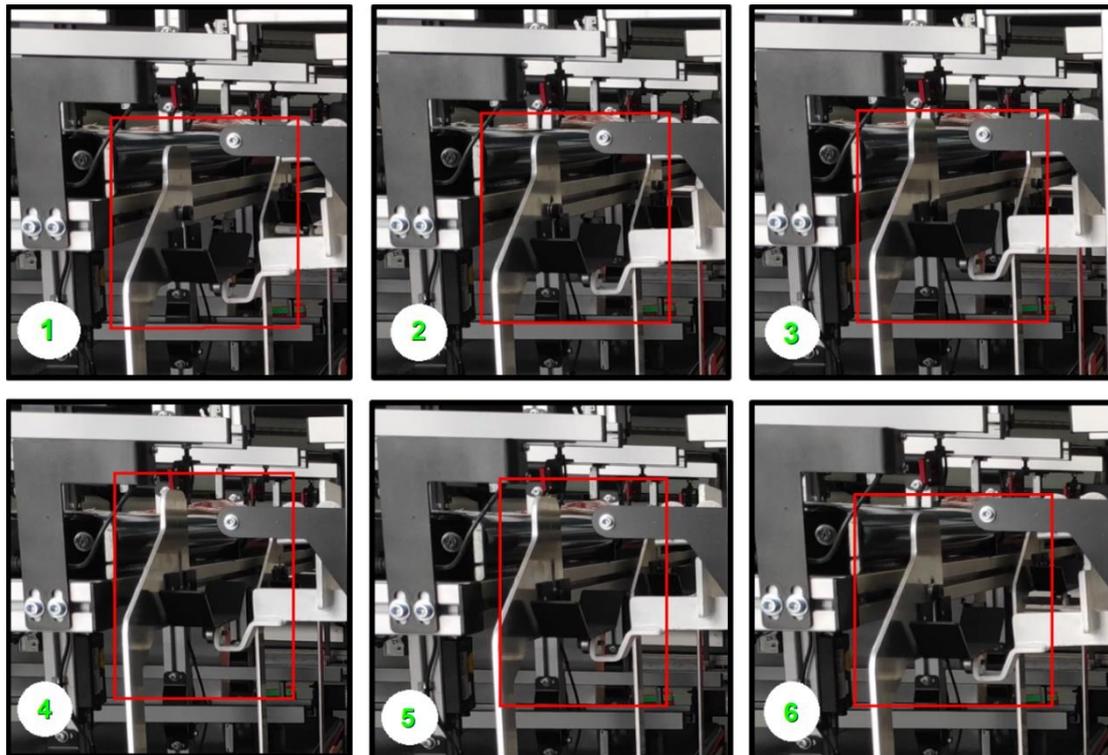


Fig.62. Accionamiento del balancín de tope

Se han visto una serie de remarcas en la interacción de los dos sistemas.

- i. Al aproximar el rack dinámico al estático tras una curva, este tiende a sobrevirar, con lo que no conseguimos un enfrentamiento perfecto. Esto es debido a que, al posicionar el armario eléctrico en la parte trasera del carro (para protegerlo de posibles impactos frontales), el centro de masas del carro se desplaza demasiado hacia atrás.
- ii. Como las cajas vacías del piso más alto del rack estático no bajaban bien al 100%, se cambió la inclinación del nivel de 3° a 4°. Con esta modificación, los topes del balancín no paraban las cajas, por lo que hubo que fabricar un extensor, que además de parar las cajas de atrás, empujara las de delante. Como solución momentánea está bien, pero hay que tener en cuenta el buscar un sustituto de ese *Roller Track*, como que una posible regulación del nivel nos inutilizaría el tope de las cajas.
- iii. Al hacer el intercambio de cajas, nos damos cuenta de que necesitamos embocar las cajas. Se ha buscado una solución teórica ideal de parada para el AGV, pero como no controlamos el parámetro del suelo es mejor abrir las guías de las cajas en la entrada para asegurar la transferencia.
- iv. El tornillo que sujeta el rodamiento del balancín (sobre el que accionamos el empujador del carro), roza ligeramente la leva de aluminio del carro al enfrentarse. Tendremos que sacar más el empujador del carro y alejar ese rodamiento de la leva de aluminio acercándolo al *rack* estático.
- v. Los controladores de los rodillos tenían un IP20. La clavija de conexión de ese tipo tiende a salirse y dar error con vibraciones. El carro al no ser un sistema amortiguado estará expuesto a mucha vibración, por lo que se cambiará el controlador de IP20 por uno de IP54 el cual tiene una entrada de hilos perforable (Fig.63).



Fig.63.Drive Control IP54 - [22]

Capítulo 5- ESTUDIO ECONÓMICO

El estudio económico se ha mantenido cambiante durante la elaboración de todo el proyecto. El hecho de cambiar tan frecuentemente elementos estándar ha producido grandes subidas y bajadas con respecto a la oferta inicial.

Hemos tenido 3 modificaciones importantes en la oferta.

I. Oferta inicial

Basamos la oferta inicial en los siguientes modelos:

- **Rack estático:**

Estructura: Fabricación en perfil extruido de aluminio de sección cuadrada

Elemento de transporte: *Roller Tracks* de ruedas simple y rodillos locos extensores

Guías de las cajas: Perfil extruido de aluminio en C

La oferta inicial de cara a cliente (beneficio incluido en el precio) sería:

	Material	Cantidad ofertada	Precio unitario	Precio total
Materiales	Perfil de aluminio	65 m	16 €/m	1.040 €
	<i>Roller Tracks</i>	45 m	8 €/m	360 €
	Rodillos locos	9 ud	30 €/ud	270 €
	Guías	45 m	9 €/m	405 €
	Herrajes varios	-----(*)	-----(*)	250 €
Ingeniería	Horas Ingeniería	40 h	45 €/h	1.800 €
	Software	40 h	15 €/h	600 €
Fabricación	Horas operario	60 h	20 €/h	1.200 €
	Horas máquina	-----(*)	-----(*)	-----(*)
Transporte	Camión	1 porte	250 €/porte	250 €
				6.175 €

(*) Valores no relevantes en la oferta

- **Rack dinámico:**

Estructura: Fabricación en perfil extruido ligero de aluminio de sección cuadrada.

Base rodante: Diseño con tubo rectangular soldado.

Elemento de transporte: Mesas de rodillos para cajas de 600 mm de largo.

Guías de las cajas: Perfil extruido de aluminio en C.

Material Electrónico y de control: PLC, fotocélulas, espejos, controladores.

Instalación eléctrica: Cableado y componentes de corte y seguridad.

En la oferta se ha excluido el precio del AGV puesto que viene de una oferta inicial previa a diseño. La oferta inicial del *rack* dinámico de cara a cliente (beneficio incluido en el precio) sería:

	Material	Cantidad ofertada	Precio unitario	Precio total
Material Mecánico	Base rodante	1 ud	1.500 €	1.500 €
	Ruedas	4 ud	200 €	800 €
	Perfil de aluminio	36 m	14 €/m	504 €
	Guías	22.5 m	8 €/m	180 €

	Rodillos motorizados	9 ud	400 €/ud	3.600 €
	Rodillos conducidos	45 ud	40 €/ud	1.800 €
	Material leva	6 ud	80 €/ud	480 €
	Herrajes varios	-----(*)	-----(*)	800 €
Material Eléctrico	Armario eléctrico	1 ud	400 €/ud	400 €
	Componentes de corte	-----(**)	-----(**)	700 €
	Componentes de emergencia	-----(***)	-----(***)	250 €
	Cableado y canalización	-----(*)	-----(*)	1.800 €
Material Electrónico y de control	PLC	1 ud	2.000 €/ud	2.000 €
	Fotocélulas (****)	21 ud	45 €/ud	945 €
	Catadióptricos	21 ud	8 €/ud	168 €
	Drive Controls	9 ud	300 €/ud	2.700 €
	Módulo de wifi	1 ud	500 €/ud	500 €
Ingeniería	Horas Ingeniería Mecánica	120 h	45 €/h	5.400 €
	Horas Ingeniería eléctrica	40 h	45 €/h	1.800 €
	Horas Ingeniería de programación	100 h	45 €/h	4500 €
	Software	260 h	10 €/h	2.600 €
Fabricación	Horas operario	112 h	20 €/h	2.240 €
	Horas máquina	-----(*)	-----(*)	-----(*)
Transporte	Camión	1 porte	250 €/porte	250 €
				35.917 €

(*) Valores no relevantes en la oferta.

(**) Interruptores magnetotérmicos, fusibles, termostato, ventilador.

(***) Setas de emergencia.

(****) 6 de posición de carro, 9 de presencia en *rack* dinámico, 6 de tránsito.

Tras la primera tanda de modificaciones, se introduce el sistema BUS-ASi, se cambia la modulación de los rodillos y se añaden también los detectores de presencia de los *racks* estáticos. No se ve más desglosado por no sobrecargar la tabla, pero, dentro de las horas de ingeniería, entran dos revisiones del prototipo, por lo que el número de esas horas no se verá modificado.

II. Primera modificación de la oferta

• **Rack estático:**

Estructura: Fabricación en perfil extruido de aluminio de sección cuadrada.

Elemento de transporte: *Roller Tracks* de ruedas simple y rodillos locos extensores.

Guías de las cajas: Perfil extruido de aluminio en C.

Detecciones: Pasivas, solo monta catadióptricos.

La revisión de la oferta de cara a cliente (beneficio incluido en el precio) sería:

	Material	Cantidad ofertada	Precio unitario	Precio total
Materiales mecánicos	Perfil de aluminio	65 m	16 €/m	1.040 €
	<i>Roller Tracks</i>	45 m	8 €/m	360 €
	Rodillos locos	9 ud	30 €/ud	270 €
	Guías	45 m	9 €/m	405 €
	Herrajes varios	-----(*)	-----(*)	250 €
Material Electrónico	Catadióptricos	9 ud	8 €/ud	72 €
Ingeniería	Horas Ingeniería	40 h	45 €/h	1.800 €
	Software	40 h	15 €/h	600 €
Fabricación	Horas operario(**)	61 h	20 €/h	1.220 €
	Horas máquina	-----(*)	-----(*)	-----(*)
Transporte	Camión	1 porte	250 €/porte	250 €
				6267 €

(*) Valores no relevantes en la oferta

(**) La hora a mayores en horas de operario viene de la regulación de los catadióptricos.

• **Rack dinámico:**

Estructura: Fabricación en perfil extruido ligero de aluminio de sección cuadrada

Base rodante: Diseño con tubo rectangular soldado

Elemento de transporte: Mesas de rodillos para cajas de 600 y 300 mm de largo

Guías de las cajas: Perfil extruido de aluminio en C

Material Electrónico y de control: PLC, fotocélulas, espejos, controladores, BUS-ASi.

Instalación eléctrica: Cableado y componentes de corte y seguridad

La revisión de la oferta del *rack* dinámico de cara a cliente (beneficio incluido en el precio) sería:

	Material	Cantidad ofertada	Precio unitario	Precio total
Material Mecánico	Base rodante	1 ud	1.500 €	1.500 €
	Ruedas	4 ud	200 €	800 €
	Perfil de aluminio	36 m	14 €/m	504 €
	Guías	22.5 m	8 €/m	180 €
	Rodillos motorizados	9 ud	400 €/ud	3.600 €
	Rodillos conducidos	90 ud	40 €/ud	3.600 €
	Material leva	6 ud	80 €/ud	480 €
	Herrajes varios	-----(*)	-----(*)	900 €
Material Eléctrico	Armario eléctrico	1 ud	400 €/ud	400 €
	Componentes de corte	-----(**)	-----(**)	700 €

	Componentes de emergencia	-----(***)	-----(***)	250 €
	Cableado y canalización	-----(*****)	-----(*****)	700 €
	Fuente de alimentación BUS-ASi	1 ud	300 €	300 €
Material Electrónico y de control	PLC	1 ud	2.000 €/ud	2.000 €
	Fotocélulas (***)	39 ud	45 €/ud	1.755 €
	Catadióptricos	21 ud	8 €/ud	168 €
	Drive Controls	9 ud	300 €/ud	2.700 €
	Módulo de wifi	1 ud	500 €/ud	500 €
	Esclavos BUS-ASi	25	125 €/ud	3.125 €
	Maestro BUS-ASi	1 ud	300 €/ud	300 €
Ingeniería	Horas Ingeniería Mecánica	120 h	45 €/h	5.400 €
	Horas Ingeniería eléctrica	40 h	45 €/h	1.800 €
	Horas Ingeniería de programación	100 h	45 €/h	4500 €
	Software	260 h	10 €/h	2.600 €
Fabricación	Horas operario (***)	120 h	20 €/h	2.400 €
	Horas máquina	-----(*)	-----(*)	-----(*)
Transporte	Camión	1 porte	250 €/porte	250 €
				41.412 €

(*) Valores no relevantes en la oferta.

(**) Interruptores magnetotérmicos, fusibles, termostato, ventilador.

(***) Setas de emergencia.

(****) 6 de posición de carro, 9 de presencia en el rack dinámico, 6 de tránsito, 18 de presencia en el rack estático.

(*****) Se reduce el cableado de detectores y se añade el cable del BUS-ASi

(*****) Aumenta el número de rodillos a montar y detectores a posicionar

Tras ofrecer la solución de las mesas de banda con la leva de tope de cajas motorizada, se eliminan una gran cantidad de rodillos y se añaden componentes de accionamiento para la leva. Aparte se eliminan los rodillos locos de los racks estáticos.

III. Segunda y última modificación de la oferta

- **Rack estático:**

Estructura: Fabricación en perfil extruido de aluminio de sección cuadrada.

Elemento de transporte: *Roller Tracks* de ruedas simple.

Guías de las cajas: Perfil extruido de aluminio en C

Detecciones: Pasivas, solo monta catadióptricos.

La revisión de la oferta de cara a cliente (beneficio incluido en el precio) sería:

	Material	Cantidad ofertada	Precio unitario	Precio total
Materiales mecánicos	Perfil de aluminio	65 m	16 €/m	1.040 €
	<i>Roller Tracks</i>	45 m	8 €/m	360 €
	Guías	45 m	9 €/m	405 €
	Herrajes varios	-----(*)	-----(*)	250 €
Material Electrónico	Catadióptricos	9 ud	8 €/ud	72 €
Ingeniería	Horas Ingeniería	40 h	45 €/h	1.800 €
	Software	40 h	15 €/h	600 €
Fabricación	Horas operario	61 h	20 €/h	1.220 €
	Horas máquina	-----(*)	-----(*)	-----(*)
Transporte	Camión	1 porte	250 €/porte	250 €
				5.997 €

(*) Valores no relevantes en la oferta

- **Rack dinámico:**

Estructura: Fabricación en perfil extruido ligero de aluminio de sección cuadrada.

Base rodante: Diseño con tubo rectangular soldado.

Elemento de transporte: Mesas de banda para cajas de 600 y 300 mm de largo.

Guías de las cajas: Perfil extruido de aluminio en C.

Componentes electromecánicos: Motores de levas.

Material Electrónico y de control: PLC, fotocélulas, espejos, controladores, BUS-ASi, detectores inductivos.

Instalación eléctrica: Cableado y componentes de corte y seguridad

En la oferta se ha excluido el precio del AGV puesto que viene de una oferta inicial previa a diseño. La revisión de la oferta del *rack* motorizado de cara a cliente (beneficio incluido en el precio) sería:

	Material	Cantidad ofertada	Precio unitario	Precio total
Material Mecánico	Base rodante	1 ud	1.500 €	1.500 €
	Ruedas	4 ud	200 €	800 €
	Perfil de aluminio	36 m	14 €/m	504 €
	Guías	22.5 m	8 €/m	180 €
	Rodillos motorizados	9 ud	400 €/ud	3.600 €
	Rodillos conducidos	36 ud	40 €/ud	1.440 €
	Bandas	9	50 €/ud	450 €
	Material leva	6 ud	80 €/ud	480 €
	Motores leva	6 ud	60 €/ud	360 €

	Herrajes varios	-----(*)	-----(*)	900 €
Material Eléctrico	Armario eléctrico	1 ud	400 €/ud	400 €
	Componentes de corte	-----(**)	-----(**)	700 €
	Componentes de emergencia	-----(***)	-----(***)	250 €
	Cableado y canalización	-----(*****)	-----(*****)	750 €
	Fuente de alimentación BUS-ASi	1 ud	300 €	300 €
Material Electrónico y de control	PLC	1 ud	2.000 €/ud	2.000 €
	Fotocélulas (***)	39 ud	45 €/ud	1.755 €
	Catadióptricos	21 ud	8 €/ud	168 €
	Drive Controls	9 ud	300 €/ud	2.700 €
	Módulo de wifi	1 ud	500 €/ud	500 €
	Esclavos BUS-ASi	25	125 €/ud	3.125 €
	Maestro BUS-ASi	1 ud	300 €/ud	300 €
	Detectores inductivos levas	12 ud	50 €/ud	600 €
Ingeniería	Horas Ingeniería Mecánica	120 h	45 €/h	5.400 €
	Horas Ingeniería eléctrica	40 h	45 €/h	1.800 €
	Horas Ingeniería de programación	100 h	45 €/h	4500 €
	Software	260 h	10 €/h	2.600 €
Fabricación	Horas operario (***)	100 h	20 €/h	2.000 €
	Horas máquina	-----(*)	-----(*)	-----(*)
Transporte	Camión	1 porte	250 €/porte	250 €
				40.312 €

(*) Valores no relevantes en la oferta.

(**) Interruptores magnetotérmicos, fusibles, termostato, ventilador.

(***) Setas de emergencia.

(****) 6 de posición de carro, 9 de presencia en el *rack* dinámico, 6 de tránsito, 18 de presencia en el *rack* estático.

(*****) Se añade el cableado de las levas de retención de cajas

(*****) Disminuye el número de rodillos, pero se montan bandas y se regulan las levas e inductivos.

Hemos de tener en cuenta que este es el valor aplicable a los prototipos. Una vez validado el prototipo se reajustará la oferta si fuera necesario y se eliminarán o imputarán a toda la serie los costes de ingeniería.

Resumiendo todo lo anterior, haciendo una comparativa de todas las ofertas tenemos:

		Oferta inicial	Primera revisión	Segunda revisión
Rack estático	Materiales	2.325 €	2.397 €	2.127 €
	Ingeniería	2.400 €	2.400 €	2.400 €
	Fabricación	1.200 €	1.220 €	1.220 €
	Transporte	250 €	250 €	250 €
		6.175 €	6.267 €	5.997 €
		Oferta inicial	Primera revisión	Segunda revisión
Rack motorizado	Materiales	19.127 €	24.462 €	23.762
	Ingeniería	14.300 €	14.300 €	14.300 €
	Fabricación	2.240 €	2.400 €	2.000
	Transporte	250 €	250 €	250 €
		35.917 €	41.412 €	40.312 €

En los *racks* estáticos hay una pequeña disminución en los costes. Al ser una estructura pasiva no existe la variabilidad en los costes que supone el uso de componentes de automatización.

En los *racks* dinámicos, la partida más abultada es el coste de los materiales en todas las ofertas. Hemos sido capaces de ajustar los costes lo máximo posible en función del aumento de especificaciones. Si vemos la oferta inicial y la segunda revisión, vemos que tenemos un aumento de 4.635 € en materiales. Pero también hay que tener en cuenta que el primer sistema:

- Estaba planteado para una sola longitud de caja.
- La carga y descarga se hacía siempre por el mismo lado.
- No teníamos detección en los *racks* estáticos.
- Las levas de retención de las cajas no estaban automatizadas.
- No se había introducido la comunicación por BUS-ASi.

Vemos que la segunda mayor partida viene de la ingeniería. En estos casos en los que se quieren sistemas que no son lo habitual, la inversión en ingeniería es importante. Es un coste asumible siempre y cuando se hagan series de fabricación medias/largas con opción a implantarlo en más instalaciones.

El cliente nos pidió en un principio 17 conjuntos del *rack* motorizado y 19 del *rack* estático, con medidas de 1,2,3,4,6 y 7 calles:

	1x3	2x3	3x3	4x3	6x3	7x3
Rack motorizado			17			
Rack estático	3	3	3	4	3	3

• **Rack estático**

Como tenemos una gran variedad de *racks*, se ha estudiado el coste de una sola calle. Como el material usado para cada calle extra es 0,75 veces el material usado para una sola calle completa, ponderamos el coste de toda la serie como:

	1x3 (Cx1)	2x3 (Cx1,75)	3x3 (Cx2,5)	4x3 (Cx3,25)	6x3 (Cx4,75)	7x3 (Cx5,5)
Cantidad	3	3	3	4	3	3
Coste sistema	1.438,8 €	2.517,9 €	3.597 €	4.676,1 €	6.834,3 €	7.913,4 €
Coste de ingeniería	40,33 €	70,57 €	100,82 €	131,07 €	191,56 €	221,81 €
Precio unitario	1.479,13 €	2.588,47 €	3.697,82 €	4.898,17 €	7.025,86 €	8.135,21 €
Precio por tipo	4.437,39 €	7.765,41 €	11.093,46 €	19.592,68 €	21.077,58 €	24.405,63 €

El precio total de todos los *racks* asciende a 88.372,15 €

Para imputar los costes de ingeniería, se ha sumado el producto de las ponderaciones por la cantidad de racks de cada modelo (1). Con este valor extraemos la unidad de coste de ingeniería por ponderación (2). Multiplicando el coste de unidad de ingeniería por la ponderación, tendremos el coste por *rack*.

$$S = (1 \cdot 3) + (1,75 \cdot 3) + (2,5 \cdot 3) + (3,25 \cdot 4) + (4,75 \cdot 3) + (3 \cdot 5,5) = 59,5 \quad (1)$$

$$C = \frac{2400€}{59,5} = 40,33 € \quad (2)$$

• **Rack dinámico**

Para hacer una imputación de los costes de ingeniería en la serie, el coste de los *racks* dinámicos por unidad, contando el prototipo es:

	Cantidad	Unidad	Total
Coste Sistema	17	26.012 €	442.204 €
Coste de ingeniería	1	14.300 €	14.300
Precio unitario	17	26.853,17 €	456.504 €

El precio total de los *racks* dinámicos asciende a 456.504 €.

- **Precio total de la oferta**

	Cantidad	Precio Unitario	Precio serie
<i>Racks</i> dinámicos 3x3	17	26.853,17 €	456.504 €
<i>Racks</i> estáticos 1x3	3	1.479,13 €	4.437,39 €
<i>Racks</i> estáticos 2x3	3	2.588,47 €	7.765,41 €
<i>Racks</i> estáticos 3x3	3	3.697,82 €	11.093,46 €
<i>Racks</i> estáticos 4x3	4	4.898,17 €	19.592,68 €
<i>Racks</i> estáticos 6x3	3	7.025,86 €	21.077,58 €
<i>Racks</i> estáticos 7x3	3	8.135,21 €	24.405,63 €
Total			544.876,15



Capítulo 6- CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

6.1. Elaboración de un plan de fabricación en serie

Como ya se ha comentado anteriormente, en este tipo de proyectos, el tiempo y los plazos son unos de los factores más determinantes. Si se tiene que fabricar un número x de un producto, el mero hecho de retrasar la fabricación de una unidad un día, se traduce en retrasar x días toda la entrega.

Para reducir tiempos se tendría que pensar en el sistema como en un conjunto de partes, que, siendo ensambladas en un orden específico y de una forma determinada, su fabricación sea lo más óptima posible.

Distinguiremos entre dos conjuntos, los racks estáticos y dinámicos.

- **Racks estáticos**

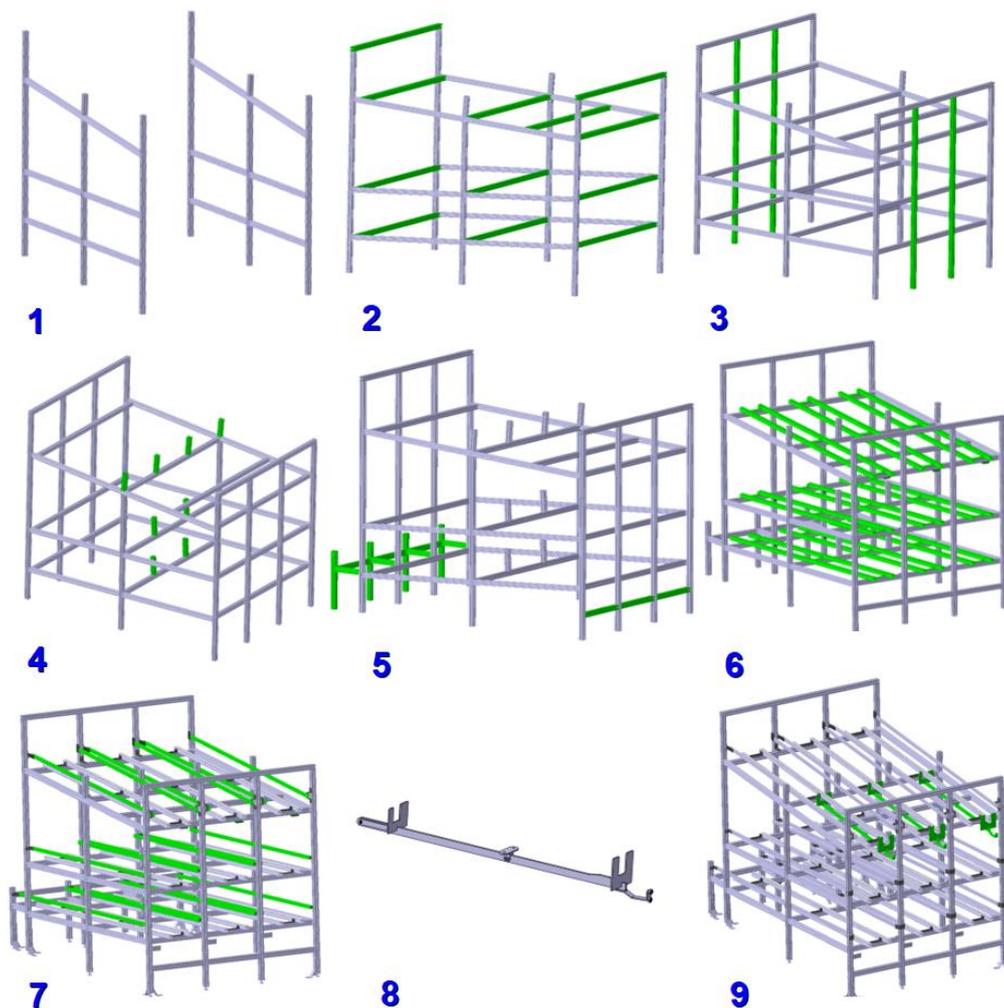


Fig.64. Secuencia de montaje rack estático

1. Armar los laterales (nos dará la altura de las calles).
2. Montar los largueros transversales (nos arma la estructura y nos da el ancho).
3. Montar los pilares de las calles.
4. Montar los soportes de los detectores.

5. Montar separadores y bastidor pequeño de recogida de cajas.
6. Montar *Roller Tracks*.
7. Montar guías de las cajas.
8. Armar los balancines.
9. Montar los balancines en la estructura.

Por último, se montarían todos los herrajes necesarios y los catadióptricos.

Se tendría que hacer un estudio para cada *rack*, ya que no llevará el mismo tiempo las de una calle que las de siete. Si quisiéramos trabajar sobre toda la serie lo más eficaz sería montar cada cosa en un puesto.

- I. Puesto 1: montaje de todos los laterales (1)
- II. Puesto 2: montajes de las operaciones 2,3 y 4.
- III. Puesto 3: ensamblaje del módulo de la operación 5 y montaje sobre 4.
- IV. Puesto 4: montaje de *Roller Tracks* y guías en sus soportes.
- V. Puesto 5: ensamblaje de los balancines (8).
- VI. Puesto 6: Operaciones 6, 7 y 9 para terminar.

- **Racks dinámicos**

Aquí, el número de subconjuntos es mayor, al tener tantos componentes móviles interrelacionados, tenemos que tener en cuenta que el montaje sea posible y que se puedan realizar correctamente las labores de mantenimiento. Deberíamos dividir todo el sistema en:

- Base rodante.
- Estructura del *rack*.
- Mesas de banda (se armarán fuera para luego montarse en el *rack*).
- Motores de las levas de retención (sin las levas).
- Montaje de la instalación eléctrica (armario, concentradores, controladores, cableado...).
- Montaje de las levas de retención.

Se ensamblarían los diferentes subsistemas por separado para ir añadiéndolos al sistema principal. Si quisiéramos secuenciarlo quedaría de la siguiente manera:

- 1) Fabricar y montar de la base rodante
 - a) Fabricar el bastidor y el interfaz con el AGV
 - b) Montar las ruedas
- 2) Ensamblar el *rack*
 - a) Ensamblar bastidor inferior
 - b) Ensamblar los marcos de las calles
 - c) Ensamblar el bastidor de cierre superior.
- 3) Montar el *rack* sobre la base rodante
- 4) Ensamblar mesas de banda

- a) Montar rodillo motorizado y los otros 3 de apoyo sin tensor
- b) Montar el rodillo tensor
- c) Montar y tensar la banda
- 5) Montar las mesas en el *rack*
- 6) Ensamblar motores y levas de los topes
 - a) Atornillar motor e inductivos al soporte
 - b) Montar la leva excéntrica
 - c) Montar rodamiento
- 7) Posicionar motores en el *rack*
- 8) Montar instalación eléctrica y colocar detecciones y levas de aluminio

Como en el caso del *rack*, tendremos que dividir todas las operaciones en puestos. Podemos aprovechar puestos para hacer diferentes operaciones dependiendo del espacio que ocupe cada operación.

- I. Puesto 1: Fabricación y montaje de la base rodante (1)
- II. Puesto 2: Montaje del *rack*.
 - a. Montaje del arco inferior (2a)
 - b. Montaje de los laterales de las calles (2b)
 - c. Montajes del arco superior (2c)
 - d. Montaje de las partes (3)
- III. Puesto 3: Ensamblaje de mesas de rodillos (4a, 4b, 4c y 5)
- IV. Puesto 4: Ensamblaje de motores de tope de leva (6a, 6b, 6c) y montaje sobre el carro con el tope de aluminio (parte del 7).
- V. Puesto 5: Montaje eléctrico y de detecciones (parte del 7).

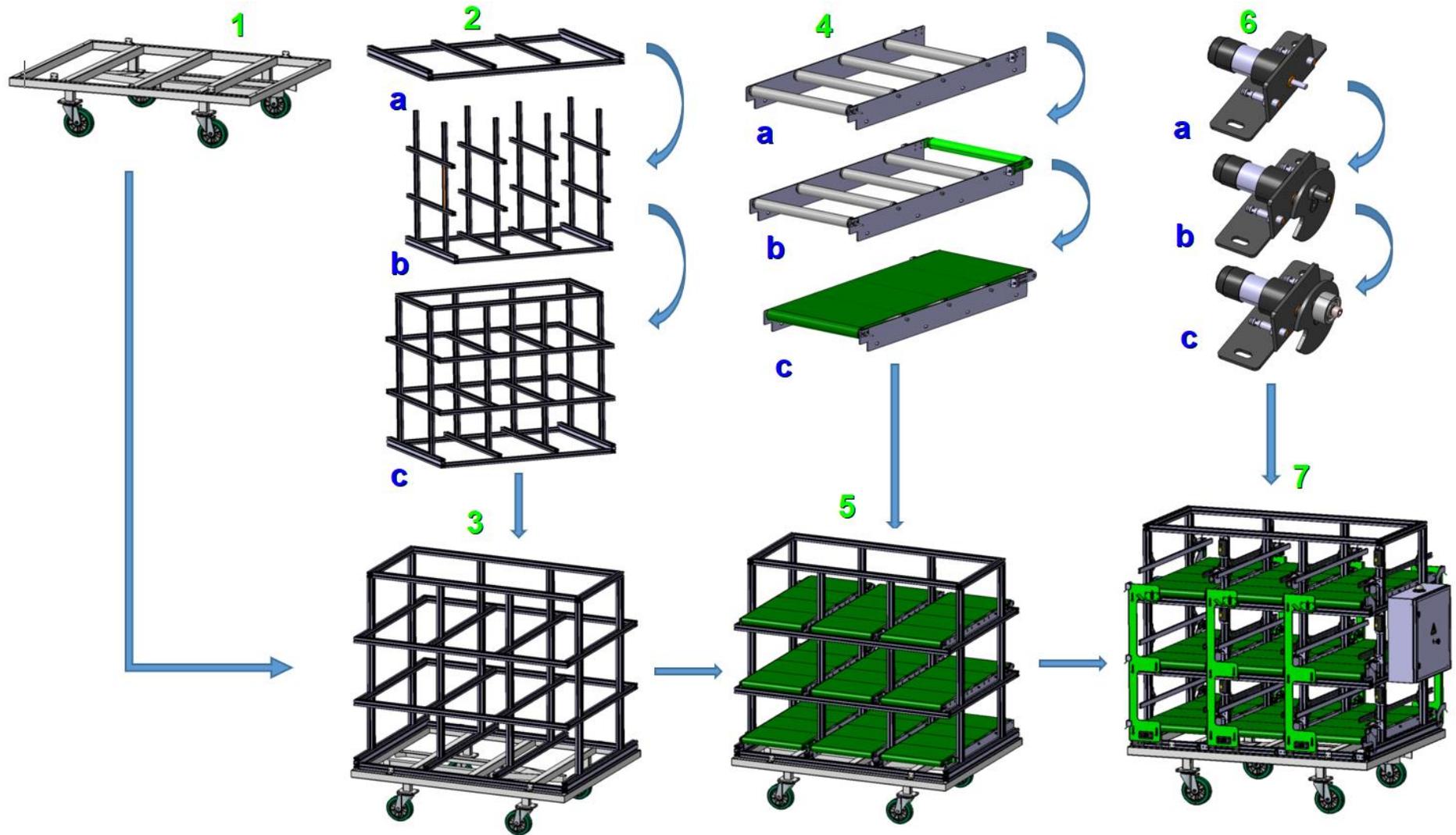


Fig.65.Secuencia de montaje de rack dinámico

6.2. Mejoras en el diseño

Debido a los plazos tan ajustados, se ha hecho el primer prototipo funcional por lo que ahora se procedería a la fase de industrialización. En esta fase podemos aplicar una serie de mejoras sobre el prototipo. Dividiremos las posibles mejoras en mejoras funcionales, mejoras en seguridad y mejora en el valor percibido.

▪ Mejoras funcionales

• Racks estáticos

♦ Se ha notado cierto cabeceo en el balancín. Se puede incorporar un guiado de durogliss sobre la pletina de accionamiento para evitarlo.

♦ Las cajas vacías en ocasiones se quedan paradas en los *Roller Track*. Se puede cambiar el modelo seleccionado por este otro modelo (Fig.66). Tenemos más puntos de contacto sobre la base de la caja, así evitaríamos que las ruedas se queden dentro de los nervios de las cajas.

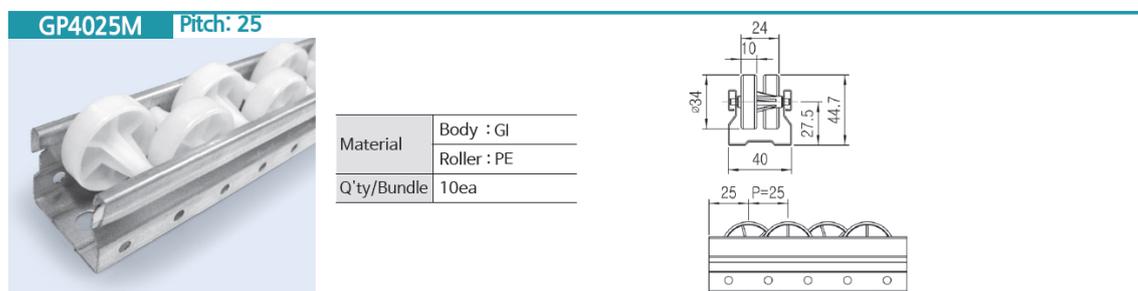


Fig.66. Roller Tracks doble contrapeado - [13]

♦ En el transporte del prototipo no ha habido problemas por cuestiones de tamaño. Las medidas del prototipo eran 2722 x 2130 x 1710 mm (fondo x alto x ancho) y las medidas máximas de la caja de un camión no articulado sin transporte especial son de 2,4 x 2,5 x 1,2 m.

♦ El *rack* que empieza a generarnos problemas es el de 6 calles de 2722 x 2130 x 3275 mm. Ninguna de las medidas de la planta es menor de 2400 mm así que no cabría en el ancho de la caja. La mejora propuesta para el transporte sería dividir los *racks* de 6 y 7 calles en *racks* de 3+3 y 4+3 y terminar de ensamblarlas en planta.

• Racks dinámicos

♦ Montar unos rodamientos en la base rodante para hacer contraste contra una pletina corrida montada en el rack estático. De esa forma garantizamos la distancia de transferencia mínima evitando choques entre componentes de los dos sistemas.

♦ Para aumentar el espacio reservado para la instalación eléctrica, se podría estrechar el espacio útil de las mesas de banda, de esa forma también mejoraríamos el guiado de las cajas.

♦ Añadiremos un rodillo más a todas las mesas de banda para reducir el módulo, evitando que las cajas pequeñas pierdan totalmente el contacto con al menos un rodillo.

♦ Mejorar la accesibilidad de componentes regulables: tornillos, tensores de mesas de banda, regulación de detectores...

♦ Ajustar los guiados de las levas motorizadas, reduciendo las holguras.

- ◆ El cliente seleccionó de antemano el modelo K10 M420 con las baterías y la reductora más pequeña. Sería mejor cambiar a un modelo M430 con baterías y reductora más grandes por el tipo de diseño que va a tener el *rack*. A nivel eléctrico necesitamos unas baterías que puedan soportar el consumo del *rack* y del AGV y tener más durabilidad para que el AGV no tenga que pasar tanto por puestos de carga de baterías. A nivel mecánico puede tener tendencia a subvirar por la disposición de las cargas por lo que es mejor usar una reductora mayor, tendremos una mayor capacidad de carga.

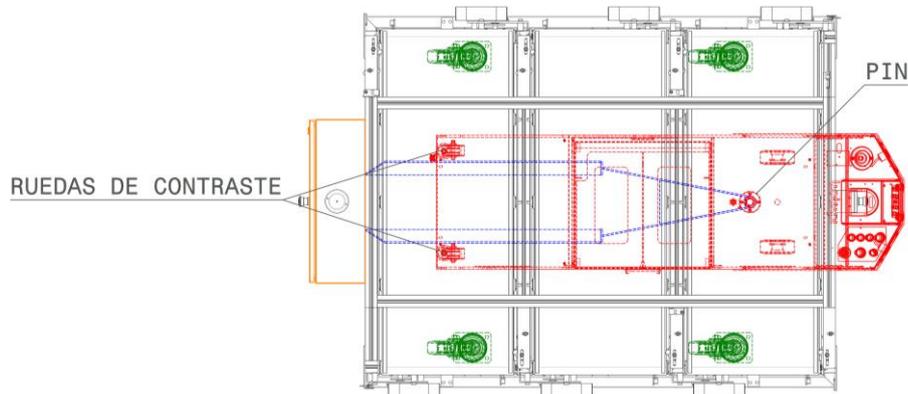


Fig.67. Guiado del rack dinámico

El AGV arrastra desde el pin todo el conjunto y las ruedas de contraste en su parte trasera evitan el subviraje (Fig.67). Según la posición de las ruedas (verde) y la del armario eléctrico (naranja) las ruedas de contraste tienen que soportar una gran fuerza en las curvas. Sumado a eso, se pueden dar múltiples situaciones de carga, puede pasar que solamente la calle trasera esté cargada, con lo que esas fuerzas que soportan las ruedas de contraste sean aún mayores.

▪ Mejoras en seguridad

- ◆ Eliminar puntos de atrapamiento entre los perfiles de aluminio y las bandas metiendo los largueros transversales de la estructura por dentro de las bandas.
- ◆ Tapar los colisos de las levas de retención para evitar puntos de atrapamiento.
- ◆ Carenar todos los bajos de las levas motorizadas.
- ◆ Pintar en amarillo de seguridad (RAL 1003) todos los componentes móviles.

▪ Mejora en el valor percibido

- ◆ Hacer la leva de retención completamente cerrada, de esa forma solo dejamos visible el espacio de paso de las cajas. Hace el sistema más compacto y robusto.
- ◆ Llevar todo el cableado por bandeja perforada ciega (Fig.68). Así eliminamos la Rejiband® y tapamos todo el cableado. Podríamos instalar una bandeja de poca sección útil ya que, mientras quepan los cables no tenemos riesgo de interferencias pues las señales son muy pequeñas.



Fig.68. Bandeja perforada ciega - [27]

REFERENCIAS

Bibliografía

- [1] G. Meneses Benavides, C. Velasquez Gómez y R. Grisales Arboleda, «PROTOTIPO DE VEHÍCULO DE GUIADO AUTÓNOMO PARA SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y RECUPERACIÓN AUTOMÁTICO DE LIBROS,» *Revista Investigación Universidad de Quindío (Colombia)*, vol. I, n° 25, pp. 73-79, 2014.
- [2] L. Hernández Morales, Y. Valeriano Medina, A. Hernández Julián y L. Hernández Santana, «Estudio sobre la estrategia de guiado L1 para el seguimiento de caminos rectos y curvos en UAV,» *RIELAC*, vol. XXXVIII, n° 1, pp. 14-25, 2017.
- [3] V. Milanés Montero, «Biblioteca Digital Universidad de Alcalá,» 2010. [En línea]. Available: <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/8675>. [Último acceso: 09 2019].

Webgrafía

- [4] «Web del BOE,» Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbares, para los trabajadores., [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8670>. [Último acceso: Octubre 2019].
- [5] «Web del BOE,» Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE (refundición)., [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2006-81063>. [Último acceso: Octubre 2019].
- [6] «Web de Masanés,» Banda transportadora TRANSPLAT VERMU 08, [En línea]. Available: <https://masanes.com/data/eshop/masanés/uploads/docs/bandas-transportadoras/pvc/vermu08.pdf>. [Último acceso: Agosto 2019].
- [7] ©. A. E. B. O. d. d. Estado, *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias BT01 a BT 51*, Madrid: Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado, 2019.
- [8] «Catálogo de fasten sistemas V17 (Cálculo de flecha; Pag. 107),» [En línea]. Available: <https://www.antipoda.eu/pdf/fasten.pdf>. [Último acceso: Agosto 2019].
- [9] «Catálogo de Fasten sistemas V17 (Pag 109),» [En línea]. Available: <https://www.antipoda.eu/pdf/fasten.pdf>. [Último acceso: Agosto 2019].
- [10] «Catálogo general de Interroll,» [En línea]. Available: https://www.interroll.es/fileadmin/user_upload/Downloads__PDF_/Rollers/Catalog_2018/Conveyor_Roller_Catalog_ES.pdf. [Último acceso: Agosto 2019].
- [11] «Catálogo rodillo accionado serie 3500,» [En línea]. Available: https://www.interroll.es/fileadmin/products/es/Resources_pdf_9007199597373579.pdf. [Último acceso: Agosto 2019].
- [12] «Catálogo Roller Tracks G.S.ACE (Pag 2),» [En línea]. Available: <http://www.gsace.com/?r=en&c=/176/181>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [13] «Catálogo Roller Tracks G.S.ACE (Pag 3),» [En línea]. Available: <http://www.gsace.com/?r=en&c=/176/181>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [14] «Manual de usuario del Roller Drive EC310,» [En línea]. Available: https://www.interroll.es/fileadmin/products/es/Resources_pdf_568810251.pdf. [Último acceso: Agosto 2019].
- [15] «Productos Kivnon,» [En línea]. Available: <http://www.kivnon.com/productos.html>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [16] «Web Carretillas Mayor,» AGVs. [En línea]. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [17] «Web de ACAN (Asociación de Clusters de Automoción de Navarra),» AGVs Faurecia Vitoria, [En línea]. Available: <http://clusterautomocionnavarra.com/2019/02/01/asociados-de-acan-visitan-la-innovacion-en-agvs-de-faurecia-vitoria/>. [Último acceso: Octubre 2019].
- [18] «Web de Asti,» Plataforma de Vehículos autónomos (AGVs), [En línea]. Available: <https://asti.es/es/agvs>. [Último acceso: Septiembre 2019].

- [19] «Web de Gayner,» Rueda MPG5 200 AEBB5, [En línea]. Available: <https://www.gayner.es/mpg5-200-aebb5-rotante-girt-d-200-poliuretano.html>. [Último acceso: Agosto 2019].
- [20] «Web de Interroll,» Drive Control IP20, [En línea]. Available: <https://www.interroll.es/productos/accionamientos-y-controles/controles/drivecontrol-20/>. [Último acceso: Agosto 2019].
- [21] «Web de Interroll,» Ficha técnica Drive Control, [En línea]. Available: https://www.interroll.es/fileadmin/user_upload/Downloads__PDF_/User_Manuals/Controls/DriveControl/EN_-_Operating_Manual_DriveControl_Online.pdf. [Último acceso: Agosto 2019].
- [22] «Web de Interroll,» Drive Control IP54, [En línea]. Available: https://www.interroll.es/fileadmin/user_upload/images/Products/DC_Platform/DriveControl_54.jpg. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [23] «Web Synergisight,» AGVs gama C, [En línea]. Available: <https://synergisight.es/cm/>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [24] «Web de Siemens,» Módulo AS-Interface K45 4x (1DI / 1DO), [En línea]. Available: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/26455489/delivery-release-as-interface-module-k45-4x\(1di-1do\)?dti=0&lc=en-AO](https://support.industry.siemens.com/cs/document/26455489/delivery-release-as-interface-module-k45-4x(1di-1do)?dti=0&lc=en-AO). [Último acceso: Agosto 2019].
- [25] «Web de Siemens,» Simatic RF 300, [En línea]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-identification/rfid-systems/simatic-rf300.html>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [26] «Web de RS,» Conmutador Ethernet Siemens 6GK57956MN100AA6, Montaje Montaje en techo, pared, [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/hubs-y-switches-industriales/8487755/>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [27] «Web de Pemsaband,» Pemsaband Ciega INOX, [En línea]. Available: <https://www.pemsaband.com/catalog/es/n/74>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [28] «Web de Kivnon,» Kivnon Lab, [En línea]. Available: <http://www.kivnon.com/agvlab.html>. [Último acceso: Octubre 2019].
- [29] «Web de Kivnon,» ¿Cómo funciona?, [En línea]. Available: <http://www.kivnon.com/funciona.html>. [Último acceso: Septiembre 2019].