



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Diseño e implantación de una línea de AGVs

Autor: D. David Paniagua Albillos

Tutor: D. Juan Ignacio Lobo Salgado

Tutor empresa: D. Miguel San Román Vidal

Valladolid, Abril, 2017

1. RESUMEN/ABSTRACT

Resumen

El estudio que a lo largo de este trabajo se presenta se enfoca en la modificación y puesta a punto de un circuito de vehículos de guiado automático (AGV) que se emplea para el transporte de piezas en el interior de una fábrica. El circuito inicial no satisfacía las necesidades actuales de la compañía y precisaba de ayuda humana para cumplir con las expectativas previstas.

De esta forma, se partió inicialmente de un circuito instalado al que se deseaba mejorar sus condiciones tanto de apariencia como de funcionalidad. Del circuito de partida se conocen todas las características y parámetros, y por tanto, serán el origen de las comparaciones. Además, se saben las necesidades que actualmente se deben cumplir y por tanto, las que el nuevo circuito debe alcanzar.

Como estudio final, se evaluará la repercusión que la modificación llevada a cabo ha supuesto respecto al estado inicial. Se valorará como esta modificación ha afectado al proceso en términos cuantificables como son el tiempo de ciclo o el coste de operación.

Palabras claves: AGV, circuito, automatización

Abstract

The study that is presented throughout this work is focused on the modification and set up of an automatic guiding vehicle (AGV) circuit that is used to transport parts inside a factory. The initial circuit did not achieve the current needs of the company and needed human help to meet expectations.

In this way, it was initially started from an installed circuit to which it was desired to improve both its appearance and functionality. From the starting circuit all the characteristics and parameters are known, and therefore, they will be the origin of the comparisons. In addition, it is known the needs that currently must be met and therefore, that the new circuit must reach.

As a final study, the impact of the modification carried out with respect to the initial state will be evaluated. It will be assessed how this modification has affected the process in quantifiable terms such as the cycle time or the cost of operation.

Keywords: AGV, circuit, automation

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Estado del arte	5
3. Desarrollo	19
4. Resultados	57
5. Conclusiones	61
5.1. Resumen de resultados	61
5.2. Trabajos futuros	63
6. Referencias	69
7. Lista de ilustraciones y tablas	71
7.1. Lista de ilustraciones	71
7.2. Lista de tablas	73

1. INTRODUCCIÓN

La sociedad se ve sometida a cambios progresivos que van ligados al estilo de vida que se desarrolla. Uno de los campos en que más notables son dichos cambios es el ámbito laboral. Las formas de trabajo conocidas hasta el momento están sufriendo un gran avance en los últimos tiempos. La sociedad avanza hacia un clima laboral en el que prime la seguridad y la ergonomía en el trabajo de todos los trabajadores. Son estos motivos y algunos de notable importancia y de carácter económico los que están llevando a buscar a los dirigentes soluciones de índole tecnológica buscando la mejora en términos productivos, económicos y de rendimiento.

Uno de los campos en que más visible son estos cambios es en la introducción de robots y maquinaria automatizada como sustitución o apoyo de la mano de obra humana en líneas de producción. La entrada de éstos en los procesos productivos ha generado que trabajos repetitivos, peligrosos o perjudiciales para la salud del trabajador que los realiza, sean ahora llevados a cabo por mecanismos que funcionan de manera automatizada. Además, con estos mecanismos se garantiza una repetibilidad en los procesos mucho mayor que la que puede esperarse cuando la mano de obra es humana. Desde el punto de vista productivo son muchas las ventajas que estos mecanismos aportan, aunque también son notables los inconvenientes, principalmente en el plano de la inversión económica,

A modo de ejemplo, procesos como pueden ser el pintado o barnizado de componentes en las grandes fábricas de automoción son realizados casi en su totalidad por robots diseñados para tales funciones. Estos procesos involucran sustancias tóxicas que a la larga dañan la salud humana y es por eso que el avance del modo de trabajo es positivo a pesar de la disminución en el número de empleos directos. De esta manera, la mano de obra aportada por operarios se limita en estos procesos a la preparación anterior a la operación y a la recogida que se efectúa al finalizar el proceso. Con esto se consigue aislar a los operarios de los procesos que afectan directamente a la salud.

Industrialmente también es conocida la entrada de maquinaria robotizada en procesos que suponen el movimiento o el levantamiento de cargas, principalmente cuando esos movimientos se realizan de manera repetitiva. En la mayor parte de las ocasiones el traslado de mercancías de gran volumen supone que la recogida o el movimiento impliquen posiciones forzadas que a la larga traen consigo lesiones o alteraciones de la movilidad. Es principalmente por esta razón, la búsqueda de un entorno laboral seguro y saludable para todos los operarios, la que ha llevado a introducir en los procesos maquinaria destinada al levantamiento continuado de pesos. Se consigue así, un movimiento preciso y repetitivo cuando las condiciones iniciales son las mismas, superando así los resultados que se obtienen cuando el proceso es manual.

El estudio que se realiza en este trabajo se basa en otro de los campos en que el avance en los últimos años es enorme y en el cual la introducción de mano de obra automatizada es creciente. Se trata del transporte de productos o mercancías entre diferentes puntos de los procesos de manera automatizada y controlada utilizando vehículos de guiado automático. Así, se ha conseguido llegar a vigilar los procesos con mayor precisión y se ha provocado que dichos transportes operen de una manera más eficiente. Anteriormente a la aparición de los AGV, el movimiento de mercancías se hacía de manera manual y suponía una tarea tediosa y a menudo costosa en el plano físico para los encargados de llevarla a cabo [1].

Enmarcado en este último punto se ha desarrollado un trabajo de modificación del proceso de automatización en el traslado de cargas en la parte principal de un proceso mayor dentro de una multinacional. El fin de dicho proceso de automatización será la mejora de la línea productiva, un mayor control de la cantidad y la calidad del trabajo, y la mejora de las condiciones de trabajo de algunos operarios. La empresa en la que se ha efectuado tal mejora es Grupo Antolín, y más concretamente, en su planta situada en la ciudad de Valladolid, Grupo Antolín RyA.



Imagen 1. Planta de Grupo Antolín RyA situada en el Polígono de San Cristóbal (Valladolid)

Grupo Antolín es una empresa multinacional española, fundada en el año 1950 en Burgos, dedicada al diseño y fabricación de componentes y módulos para el interior del automóvil. En sus principales líneas de producción se distinguen cinco grandes productos, siendo éstos, techos, puertas, asientos, iluminación y paneles de instrumentación. La empresa ha crecido desde su origen a mediados del siglo pasado a lo largo de todo el mundo, llegando a superar la cifra de 28000 empleados.

Su sede en Valladolid, Grupo Antolín RyA, ha sido el lugar elegido para llevar a cabo la mejora descrita. La empresa local, situada en el Polígono de San Cristóbal, es fundada en el año 1987 y su producto principal estaba dirigido a la sección de asientos, más concretamente a la producción de fundas de asiento para el automóvil. Las necesidades de la empresa y la demanda existente en el mercado produjeron que existiera un cambio en el producto final principal de la empresa. A principios de siglo se dejó atrás la producción de fundas para asientos para centrar el producto final dentro de la sección de puertas. Desde entonces, el objetivo final se ha dirigido a la producción en serie de paneles a través de la soldadura de componentes.

Es dentro de este último proceso donde se localizará la modificación a efectuar, por lo que la mejora irá directamente dirigida a uno de los proyectos de mayor envergadura dentro de la planta. De esta forma, podrá darse constancia de la importancia de la mejora dentro del proceso productivo y será posible valorar de una manera objetiva la evolución que supone la introducción de mano de obra automatizada dentro de determinadas líneas de producción industriales.

Este trabajo que se redacta en las siguientes páginas, buscará aportar datos reales a la mejora que supone automatizar parte de los procesos, consiguiendo así una estandarización del trabajo a realizar, una cadencia de actividad constante y una mejora de las condiciones en las que se desarrolla el trabajo.

2. ESTADO DEL ARTE

Los vehículos de guiado automático (AGV) pueden definirse como vehículos autopropulsados capaces de seguir una trayectoria variable de manera automática. La trayectoria que siguen los AGVs se caracteriza por poder ser variada a través de un patrón flexible y fácilmente modificable. Este tipo de sistemas garantizan el transporte de materiales en una ruta predeterminada, de manera ininterrumpida y sin que sea necesaria la intervención directa del hombre [2].

De esta manera, uno de los objetivos de la implantación de AGVs es eliminar el trabajo manual para tareas repetitivas o perjudiciales que puedan producirse en determinados procesos industriales. Se trata de sistemas adaptables y personalizables capaces de transportar todo tipo de carga, reduciendo a cero los accidentes que se pueden producir en el trasiego de mercancías.

En rasgos generales, la estructura general de un AGV cuenta con un vehículo, donde se aloja toda la electrónica del equipo y es el encargado de desarrollar la propulsión de la totalidad del conjunto, y un equipo de transporte y remolque, que puede ser diseñado para el arrastre de cargas o para el levantamiento de éstas, en función del tipo de proceso que se esté desarrollando.

Las características principales de estos dispositivos pueden resumirse en:

- Ausencia de conductor. El vehículo circula de manera autónoma sin que sea necesaria la acción directa de un operario.
- Necesidad de definir las rutas y la posición del vehículo dentro de dicha ruta para asegurar el correcto desarrollo de la actividad.
- Necesidad de aportar una autonomía al vehículo. Normalmente esta autonomía se consigue a través de baterías.
- Maniobras de carga y descarga de manera automática a través de la programación definida por el circuito.
- Función de remolque o de elevación de cargas.
- Movimiento libre en el plano en el que se desarrolla el trabajo característico del vehículo
- Capacidad de interactuar sobre la marcha con el sistema para realizar cualquier tipo de modificación

- Clasificación de los AGV

Es difícil establecer una clasificación general para todos los AGVs. Por esta razón, se han desarrollado diferentes órdenes basados en alguna de las propiedades o características que presente el dispositivo. Algunas de las clasificaciones más interesantes se basan en algunas de las siguientes propiedades:

- En función del sistema de control

Dentro de esta clasificación, los AGVs se dividen en función de si presentan sistemas de control simples, medios o complejos [3-5].

Sistemas de control simple

Se trata de dispositivos que cuentan con un sistema electrónico básico. Sus circuitos se caracterizan por tener pocas paradas, generalmente 4 ó 5, y pocos vehículos recorriendo dicho circuito. Por lo general, se trata de sistemas que no suelen superar recorridos mayores a 1500 metros.

Sistemas de control medio

Dentro de este grupo se encuentran los AGVs que presentan sistemas de microprocesadores en su configuración. Este tipo de dispositivos no presentan limitaciones para el número de paradas o de vehículos recorriendo el circuito. Tampoco hay inconvenientes en la longitud de los trazados. Por el contrario, presenta una serie de limitaciones en los ámbitos de la interacción, entre los vehículos y los procesadores, y el económico. El primero de estos inconvenientes se basa en que el sistema basado en microprocesadores precisa que la programación y la configuración sean especiales para cada vehículo. Ligado a esta característica aparece la problemática económica, ya que se trata de AGVs con un valor económico más elevado que los anteriores.

Sistemas de control complejo

En este conjunto están los AGVs con aplicaciones y configuraciones con idéntica estructura que los anteriores, a los que se les suma la posibilidad de comunicación a través de un ordenador central. Por lo tanto, presentan propiedades semejantes a los anteriores, con la diferencia de que se elimina la necesidad de tener una interacción individual específica para cada uno de los vehículos. Por el contrario, al alto coste económico que presentan los anteriores se le suma el coste adicional del sistema de comunicación.

Los vehículos que se encuentran funcionando en la instalación estudiada, se engloban dentro de este grupo de AGVs.

- En función del tipo de guiado

En este caso, la separación de los tipos de AGV se realizará en función del método que utilicen para su guiado a través del circuito [6, 7].

Sistemas de guiado inductivo

El sistema de guiado utilizando las propiedades inductivas de un conductor está basado en la utilización de un conductor eléctrico enterrado en el suelo a una profundidad de entre 20 y 25 milímetros. Con este conductor se consigue describir la trayectoria que seguirá el AGV. La distancia a la que se entierra dicho conductor permite que se trate de un sistema seguro en el que no se puede interferir sin levantar el terreno y además se encuentra a una distancia óptima para que el vehículo pueda leer su información sin ningún tipo de problema.

El campo magnético esencial para este tipo de guiado será generado por el conductor enterrado al ser atravesado por una corriente eléctrica. Dicho campo magnético será más intenso cerca de la banda conductora y se irá reduciendo a medida que nos alejamos de dicho punto.

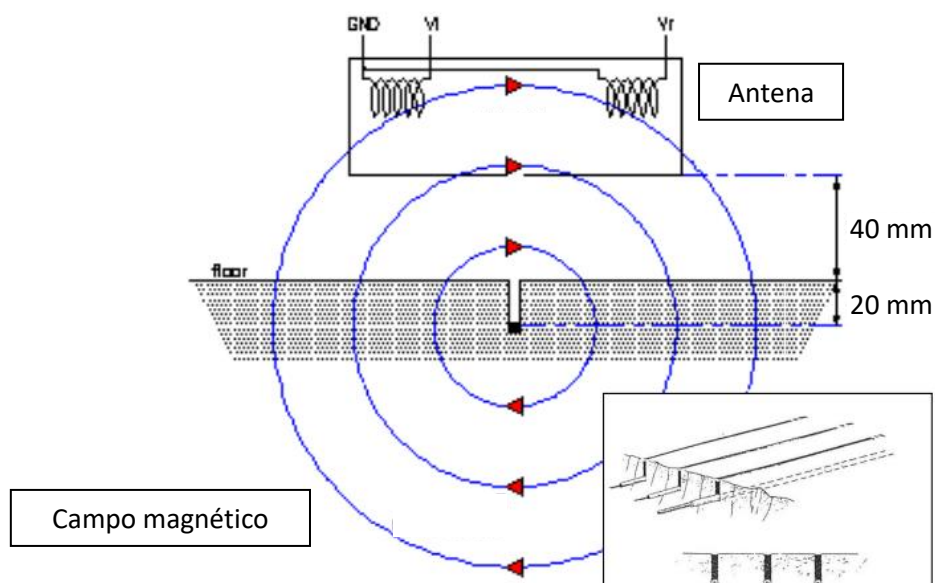


Imagen 2. Esquema de funcionamiento de un AGV de guiado inductivo

Para la lectura de la banda magnética, el AGV incorpora una antena. Se trata de una antena orientable que en su interior presenta dos espiras en las cuales se inducirá una corriente al entrar en la zona cercana al conductor magnético enterrado. La corriente que atravesará a los conductores se encontrará en valores cercanos a 0.5 A y 40 V. Además, la frecuencia a la que oscilará la señal característica de este tipo de guiado será cercana al intervalo entre 1 y 15 kHz.

El campo magnético que se genera interaccionará con dos bobinas que se encuentran en la parte delantera del vehículo. La diferencia de señales que exista entre ambas bobinas será la encargada de orientar al AGV y provocará que el vehículo autocorrija o modifique su trayectoria. Otra forma de modificar la trayectoria del vehículo sería la utilización de diferentes frecuencias en función del circuito que se desee que el AGV siga en cada momento, pudiendo programar una parte del circuito común y partes específicas en función de la frecuencia utilizada.

La principal desventaja que presenta esta configuración es la posible interferencia que pueden producir en el circuito otros sistemas capaces de generar campos magnéticos. Equipos como algunos motores, equipos de soldadura o algunos elementos de hierro pueden interrumpir el funcionamiento normal del circuito. Para la instalación y el funcionamiento óptimo se deberá asegurar que en la zona de trabajo de los AGVs no existan equipos que puedan interferir en la señal de guiado.

La instalación que se estudia a lo largo de este trabajo se enmarca dentro de los AGVs de este tipo.

Sistemas de guiado óptico

Se trata de un tipo de guiado basado en la interacción del AGV con un circuito marcado a través de marcadores de color. Para ello, se emplean rayas de colores, más claras o más oscuras en función del suelo sobre el que se estén marcando, y su interacción con un fotodiodo equipado en el vehículo [8].

En algunos de estos circuitos se emplean pinturas fluorescentes. La razón de utilizar este tipo de pinturas se debe a que son más seguras que las líneas blancas clásicas. En estos circuitos, la pintura fluorescente se activa con la utilización de una luz ultravioleta. La señal es detectada a través de dos células fotoeléctricas situadas en la base del vehículo. De nuevo, como en el caso anterior, la diferencia entre la señal captada por cada una de ellas será la encargada de modificar la trayectoria del AGV.

Es un sistema de guiado barato y fácil de instalar en comparación a las otras opciones. Además, debido a su morfología y a su forma de trabajo, otra de sus ventajas es la facilidad con la que puede modificarse el recorrido. Por el contrario, el principal problema de estas instalaciones es su mantenimiento. El funcionamiento óptimo de estos circuitos radica en la limpieza y la conservación de las líneas que guían el AGV. Por esta razón, este tipo de circuitos no son los idóneos para ambientes de trabajo sucios.

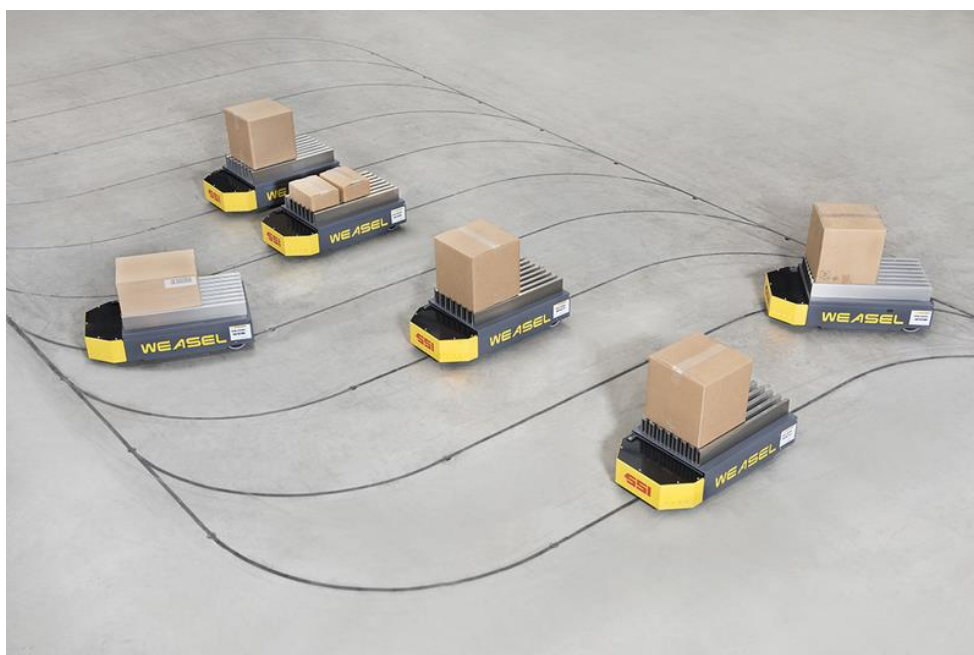


Imagen 3. Ejemplo de AGVs de guiado óptico

Sistemas de guiado láser

En este tipo de vehículos el guiado se realiza incorporando en el dispositivo un explorador láser. Este explorador estará colocado en la parte alta del AGV y emitirá un haz de luz láser utilizando un transmisor de pulso. Dicho haz barrerá la zona cercana al AGV utilizando un espejo interno capaz de rotar y dirigir el láser en el área que rodea al vehículo. Posteriormente, el haz será reflejado por los puntos de referencia que a través del método de triangulación determinarán la posición del AGV.

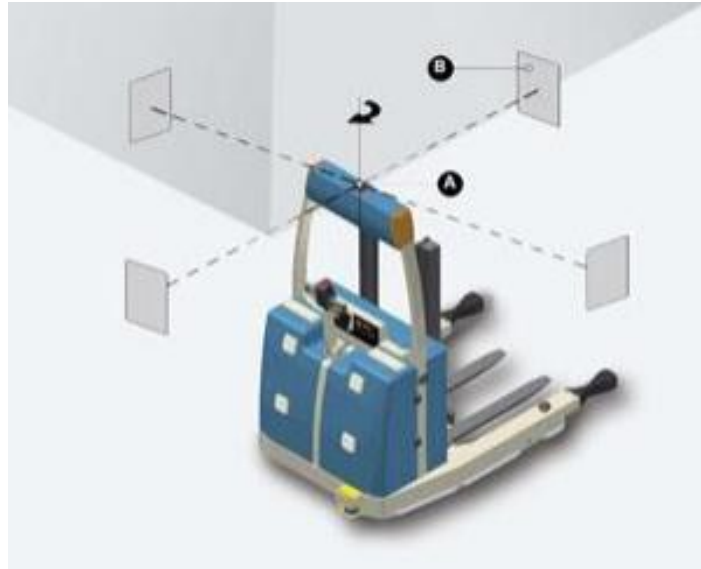


Imagen 4. Esquema de funcionamiento de un AGV de guiado láser

La principal desventaja que presenta este grupo de AGVs es la necesidad de que el área de trabajo se encuentre completamente despejada entre el recorrido que realiza el vehículo y los espejos encargados del posicionamiento. Por esta razón, el área de trabajo y de influencia del circuito es mayor que en los casos descritos anteriormente.

Sistemas de guiado por radiofrecuencia

Este tipo de AGVs tienen un método de trabajo similar a los anteriores con la diferencia que en este caso la señal de trabajo es electrónica y no lumínica. El principio de trabajo utilizado será análogo cambiando los espejos por receptores de radiofrecuencia.

De nuevo, la desventaja principal de este grupo radicará en contar con un ambiente de trabajo limpio y sin elementos que puedan ocasionar interferencias en el sistema de trabajo del circuito.

- En función de la tracción y la orientación de sus ruedas

El criterio de diferenciación dentro de esta clasificación está relacionada con criterios constructivos. Asociada a esta característica, se encuentra el modo en que se controla la dirección del AGV.

Vehículos de tres ruedas

En este tipo de AGVs la rueda central será la encargada de la tracción y el giro. En esta configuración existe limitación en la carga a transportar.

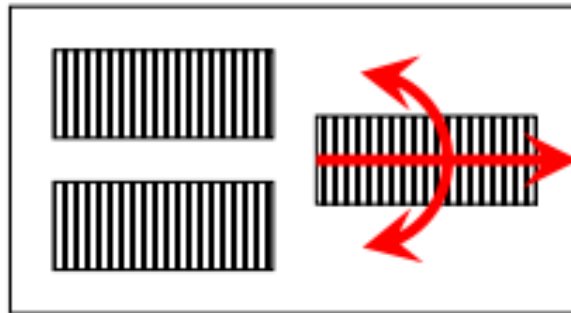


Imagen 5. Esquema de un vehículo de tres ruedas

Vehículos de cuatro ruedas directrices y dos de tracción

Las ruedas centrales serán las encargadas de desempeñar la tracción y no giran, mientras que las ruedas de los extremos se ocuparán de las labores de giro. El inconveniente de esta morfología es que la movilidad que presenta el conjunto no es demasiado buena en comparación a los otros casos.

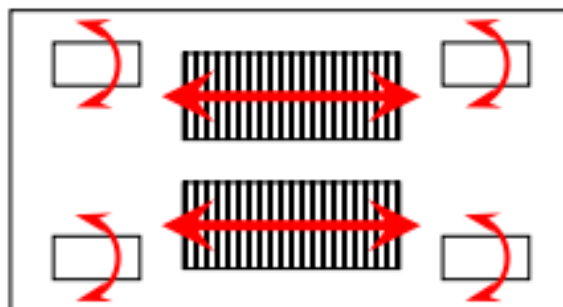


Imagen 6. Esquema de un vehículo de cuatro ruedas directrices y dos de tracción

Vehículos de dos ruedas de tracción traseras y dos ruedas de dirección delanteras

Las ruedas delanteras serán las que desempeñan las labores de giro mientras que las traseras aportarán la tracción al conjunto. El principal inconveniente de esta disposición es que el conjunto necesita un radio de giro mayor que en los otros casos.

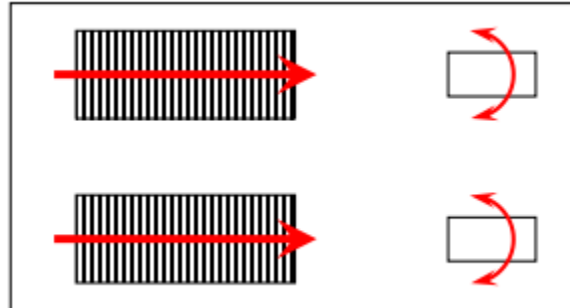


Imagen 7. Esquema de un vehículo de dos ruedas de tracción traseras y dos ruedas de dirección delanteras

Los AGVs utilizados en la instalación estudiada a lo largo del trabajo se encontrarían dentro de este grupo.

Vehículos de dos ruedas laterales de tracción y cuatro directrices

En estos AGVs uno de los laterales será el encargado de aportar la tracción al sistema mientras que la dirección será controlable a través de las cuatro ruedas que presenta. Utilizando esta disposición se consigue disminuir el radio de giro necesario por los AGVs del tipo anteriormente descrito. Sin embargo, la tracción aportada no es tan homogénea como en los casos anteriores.

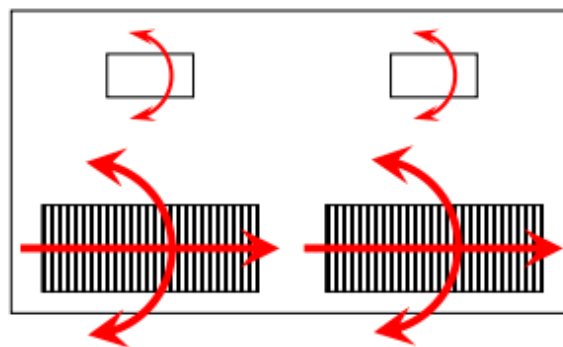


Imagen 8. Esquema de un vehículo de dos ruedas laterales de tracción y cuatro directrices

- En función del tipo de vehículo

El elemento diferenciador en esta clasificación vendrá definido por las características del vehículo que actúa como remolcador y que es el encargado de aportar la propulsión al conjunto.

Transporte de carga unidad

Por lo general, no suelen ser cadenas de transporte. El caso habitual son vehículos de guiado de cargas unitarias. Se caracterizan por ser un sistema muy versátil que permite cubrir una variedad de distancias y recorridos mayor que en los demás casos, lo que los hace idóneos para ser implementados en sistemas de fabricación flexible. Además, otra ventaja respecto a los demás vehículos es que se trata de un sistema más preciso en sus maniobras.

Su capacidad de carga se establece en el intervalo entre 2 y 3 toneladas, pudiendo ser superado este margen en algunos modelos.

Los AGVs implementados en el circuito que se va a describir se identifican dentro de este apartado.

Trenes sin conductor

Vehículos caracterizados por el movimiento en línea de una cadena de cargas con un número limitado de paradas. Permiten transportar al mismo tiempo diferentes cargas que compartan un recorrido o al menos parte de él, siendo ésta su principal ventaja. Sin embargo, el principal problema que presenta esta configuración se debe a su longitud. Cada uno de los vagones sigue una trayectoria diferente en el momento de realizar los giros, lo que provoca que necesiten mayor espacio para el giro.

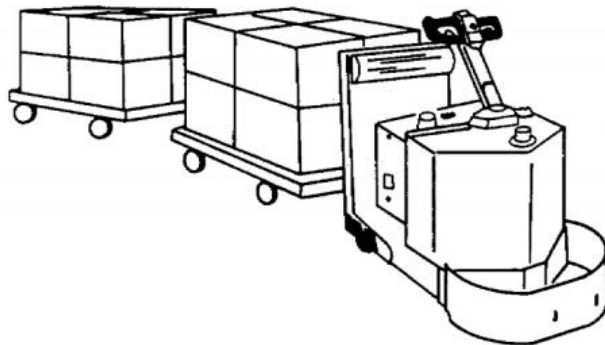


Imagen 9. Esquema de un tren sin conductor

La capacidad de carga de estos vehículos es superior al caso anterior, estableciéndose en el intervalo entre 3 y 25 toneladas.

Carretillas para pallets filoguiadas

Se trata de vehículos con unas características intermedias a los dos casos anteriormente descritos. Trabajan con cargas puntuales y la precisión en el recorrido es mayor que en el caso de los trenes sin conductor. Su funcionamiento se basa en que el operario efectúa la operación de carga al AGV y tras esto, éste se mueve automáticamente a lo largo del recorrido hasta llegar a la zona de descarga. En este punto, la maniobra de descarga se realiza de forma automatizada.

Su capacidad se encuentra, normalmente, en el rango comprendido entre 2.5 y 3 toneladas. Por tanto, el intervalo de cargas en el que trabaja este tipo es más reducido que en los dos casos anteriores.

- En función del sentido de circulación

En este caso, la división de los AGVs se efectúa en función de su capacidad para circular en los dos sentidos o tan solo en uno de ellos. La morfología del AGV será muy diferente entre un caso y otro.

Vehículos de un solo sentido

Este grupo de AGVs cuentan con dos zonas diferenciadas, el panel de control y la zona en la que se produce el remolque de la carga. Estos vehículos solo pueden recorrer uno de los sentidos, por lo que precisan que dentro de la instalación exista una zona de ida y una zona de regreso.

Se trata del tipo de AGVs que se encuentran en la instalación que se detalle en adelante en este trabajo.

Vehículos de dos sentidos

Este tipo de vehículos presentan una estructura en la que la zona de remolque se encuentra comprendida entre dos paneles de control. Por esta razón, cuenta con la posibilidad de recorrer el circuito en ambos sentidos, lo que permite que el número de maniobras que el AGV realiza en el inicio o el final del recorrido se reduce, limitándose en ocasiones a tan solo cambiar su sentido de circulación [9].

Se trata de sistemas superiores a sus competidores en aspectos como pueden ser la maniobrabilidad o la menor superficie ocupada para la instalación del circuito. Sin embargo, su principal desventaja respecto a sus competidores se encuentra en el ámbito económico, ya que su coste, por el momento, se encuentra muy por encima del coste de los vehículos que solo son capaces de circular en un sentido.

- Tipos de programación para los AGV

El tipo de programación que lleve implementada un AGV tendrá una influencia enorme en la circulación que éste realice en su recorrido por el circuito. El tipo de programación que posea el AGV va a tener gran relevancia en aspectos como puede ser su interacción con el resto de vehículos del sistema o su modo de actuación en el tránsito de los cruces que existan en la instalación.

Por lo general, los AGVs se configuran utilizando un sistema de bloqueo por zonas de tránsito. Dicha configuración se basa en dividir la red en bloques independientes. En el caso en que uno de los AGVs entra en un bloque, provoca que ningún otro puede entrar en él.

El esquema general que sirve como punto de partida para la explicación de los diferentes tipos de bloqueo por zonas que existen es el siguiente:

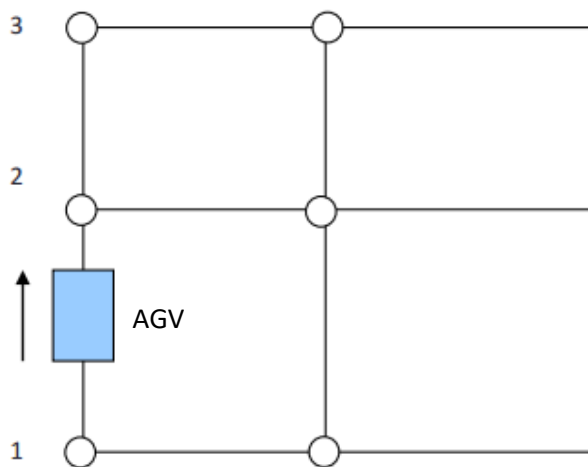


Imagen 10. Dibujo explicativo del sistema de cruces en un circuito de AGVs

En el esquema se representa un circuito con tres cruces representados con 1, 2 y 3. El rectángulo azul representa al AGV en su movimiento en el circuito. Partiendo de estas premisas, existen tres tipos de configuración:

Punto a punto

Este tipo de configuración existe en los casos en que el AGV desbloquea partes del circuito al pasar a la parte siguiente. La principal desventaja de este tipo de circuitos se da en los casos en que la instalación cuenta con un número alto de vehículos, ya que continuamente se estarían llevando a cabo maniobras de bloqueo y desbloqueo que podrían llegar a colapsar el circuito.

Basándose en el dibujo, el AGV estaría bloqueando el tramo 1. En el momento en que el vehículo llegará al tramo 2, pasaría a bloquear dicho tramo e inmediatamente desbloquearía el tramo 1.

Continuo

En este caso, el control del circuito se realiza a través de un cableado específico compuesto por 2 ó 3 cables. En el momento en que un AGV entra a una de las zonas emitirá a través de uno de los cables una señal de alta frecuencia que provocará que ninguno de los demás vehículos entre a dicha zona.

La explicación basada en el circuito sería similar a la anterior con la diferencia de que en el instante en que el AGV pasa por el punto 2 deja de emitir la señal correspondiente a la zona 1 y pasa a emitir la señal correspondiente a la zona 2.

Centralizado

Este tipo de bloqueo podría definirse como una evolución del sistema punto a punto. El bloqueo se efectúa de la misma forma con la diferencia de que en este caso es un ordenador el que recibe y procesa las señales y los bloqueos, controlando de esta manera el tráfico de vehículos. Así, se consigue evitar los problemas asociados a los colapsos que sucedían en el caso de las instalaciones punto a punto.

Cuando el AGV entra en la zona 1 hace llegar al ordenador, a través de una baliza de control, la señal de que está ocupando esa zona. Una vez que llegue al punto 2, de nuevo hará llegar hasta el controlador la señal para que libere el tramo 1 y consecutivamente bloqueará la circulación de otros vehículos en el tramo 2.

El sistema de bloqueo por zonas centralizado es el tipo de configuración existente en la instalación que se está describiendo.

- Movimientos y acciones permitidas para los AGV

La cantidad de movimientos y acciones que pueden realizar los AGVs es muy amplia y extensa. A medida que crece el uso y la demanda de estos vehículos, también crecen las necesidades de versatilidad del conjunto para su circulación en circuitos cada vez más específicos. A continuación, se presentarán brevemente los movimientos y acciones más comunes en todos los AGVs.

Tabla 1. Movimientos comunes de los AGVs

MOVIMIENTOS COMUNES	
Continuar recto	El AGV se encontrará con un cruce y se le dirige para que su recorrido continúe en la dirección que llevaba anteriormente
Giro derecha	El AGV se encontrará con un cruce y se le direcciona para que tome la salida que se encuentre a la derecha
Giro izquierda	El AGV se encontrará con un cruce y se le direcciona para que tome la salida que se encuentre a la izquierda
Aumento de velocidad	El AGV accede a una zona recta en la que la circulación puede ser más rápida
Disminución de velocidad	El AGV accede a una zona en la que existen maniobras complicadas por lo que es necesaria una circulación más lenta

MOVIMIENTOS COMUNES	
Preguntar por cruce	El AGV llega a un cruce en el que puede coincidir con otro AGV de la instalación, por lo que es necesario preguntar a la baliza si el cruce se encuentra o no ocupado
Cambio de mapa	El AGV cambia de un mapa de circulación a otro, en función de la parte del circuito en la que se encuentre
Parada por batería	El AGV se parará en el momento en que la batería se encuentre por debajo de un porcentaje establecido

Existen además movimientos más específicos en función del tipo de circuito en que se esté moviendo el dispositivo y de las características morfológicas que presente el vehículo. Algunos ejemplos pueden ser los siguientes:

Tabla 2. Movimientos específicos de algunos tipos de AGVs

MOVIMIENTOS ESPECÍFICOS	
Levantar PIN de arrastre	En AGVs programados para remolcar carros sin levantarlos, se adapta un PIN que remolca el carro
Bajar PIN de arrastre	En AGVs programados para remolcar carros sin levantarlos, se adapta un PIN que remolca el carro
Ajustar anchura de las pinzas	En AGVs compuestos por un traspalé filoguiado habrá acciones programadas para ajustar las pinzas al contenedor que se transporte
Elevar plataforma	En AGVs destinados a la colocación de mercancías en estanterías habrá acciones destinadas a elevar la plataforma del vehículo
Bajar plataforma	En AGVs destinados a la colocación de mercancías en estanterías habrá acciones destinadas a bajar la plataforma del vehículo

Todos estos movimientos se encuentran codificados en el circuito a través de los TAGs que se reparten a lo largo de toda la instalación. La descripción de estos componentes es el siguiente punto de análisis.

- TAGs

Los TAGs serán los encargados de codificar las acciones que han de realizar los AGVs. Se trata de sistemas que trabajan con la tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID). Esta codificación se basa en un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remotos que utiliza dispositivos denominados etiquetas, tarjetas, transpondedores o TAGs RFID, en función del empaquetamiento que tengan. El objetivo fundamental de la tecnología RFID es transmitir una información codificada mediante ondas de radio. Las tecnologías RFID se agrupan dentro de las denominadas secuencias de identificación automática.

En el circuito estudiado, la codificación RFID está realizada a través de TAGs. Los TAGs RFID son unos dispositivos de pequeño tamaño, similares a una pegatina, que pueden ser adheridas o incorporadas a un producto, un animal o una persona. Contienen antenas para permitirles recibir y responder a peticiones por radiofrecuencia desde un emisor-receptor RFID. Al tratarse de etiquetas pasivas, no necesitan alimentación eléctrica interna. Una de las ventajas del uso de radiofrecuencia, respecto al resto de tecnologías, es que no se requiere visión directa entre emisor y receptor.

Las etiquetas pasivas no poseen alimentación eléctrica. La señal que les llega de los lectores induce una corriente eléctrica pequeña y suficiente para operar el circuito integrado en el TAG, de forma que puede generar y transmitir una respuesta. Esta respuesta puede ser cualquier tipo de información, desde instrucciones al vehículo hasta códigos identificadores. Una etiqueta puede incluir, incluso, memoria no volátil, en ocasiones escribible como pueden ser las EEPROM.

Las etiquetas pasivas suelen tener distancias de lectura comprendidas entre los 10 cm, hasta unos pocos metros en los sistemas más potentes. La distancia de funcionamiento depende de la frecuencia de utilización y el diseño y tamaño de la antena. Por su sencillez conceptual, son obtenibles por medio de un proceso de impresión de las antenas. Como no precisan de alimentación energética, el dispositivo puede resultar muy pequeño, por lo que pueden incluirse en formatos de pequeño tamaño como pueden ser una pegatina o una tarjeta. Buscando economizar tanto en la energía como en el coste, la respuesta de una etiqueta pasiva RFID es necesariamente breve.

- Balizas

Una vez descritos todos los componentes del circuito y sus interacciones será necesario estructurar y controlar cada una de ellas. Esta función será la que lleven a cabo las balizas. Las balizas servirán como método de control para las funciones que realizan los AGVs y para regular la circulación de los vehículos en circuitos programados a través de mecanismos de control centralizado [10].

Existe un gran número de balizas en función del tipo de interacción que van a desarrollar con el circuito. En la instalación que se ha estudiado se utilizarán principalmente dos tipos de balizas, las destinadas a la maniobrabilidad de los vehículos destinados al transporte y las destinadas al control y el manejo de los cruces.

La electrónica que integra cada una de ellas es diferente, ya que la función es diferente. En el caso de las balizas encargadas de maniobrar con los vehículos se buscará que el dispositivo reciba una señal de presencia del vehículo para a través de un pulsador poder dar salida de nuevo al AGV. Las balizas de control reciben una señal de presencia en el cruce y transmiten otra señal que se mantiene mientras el AGV no libere el cruce, transmitiendo dicha señal a los demás vehículos.

3. DESARROLLO

A lo largo de esta sección, se va a describir la evolución que ha sufrido el circuito desde la situación de partida hasta la situación actual. De esta manera, se documentará a partir de evidencias, como podrían ser las fotos en distintos instantes del proceso, como ha ido cambiando el circuito a medida que se avanzaba en su transformación o como se han visto modificados los planos de la planta. Además, se describirá en que ha consistido la obra de transformación y mejora y las razones en que se ha apoyado la decisión para realizar dicha modificación.

No solo se va a tratar como se ha modificado el circuito, sino que además, se va a reflejar la descripción de los componentes que hacen posible el circuito, por lo que se analizarán detalladamente los AGVs y los contenedores que están involucrados en el transporte de materiales en el circuito analizado. Se dará también, una idea general del proceso que se desarrolla en la línea que conectan los AGVs.

AGVs

La información general referente a los AGVs ha sido detallada ampliamente en el apartado anterior. En este punto se va a hablar concisamente sobre los dispositivos empleados en la instalación estudiada, tratando con mayor precisión los componentes que se incluyen dentro de cada uno de los AGV y como desarrolla cada componente su función.

Los AGVs que circulan en la instalación será el modelo CM700 suministrado por la casa comercial Carretillas Mayor. El software instalado, los mecanismos de control que intervienen en el circuito y la programación que hay detrás de cada uno de los dispositivos son aportados por la empresa Hedesis.

Como se ha descrito anteriormente, la clasificación de un AGV es compleja y se basa en función de diferentes propiedades que tenga el vehículo. Según las clasificaciones que se han definido en los apartados anteriores, los AGVs instalados en el circuito cumplen con las siguientes características:

- Sistema de control complejo
- Sistema de guiado inductivo
- Vehículos con dos ruedas traseras de tracción y dos ruedas delanteras de dirección
- Transporte de carga unidad
- Vehículos de un solo sentido de circulación
- Programación centralizada

- Características generales

Tabla 3. Características generales de los AGVs involucrados en la línea estudiada

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Peso	100 kg
Longitud	1,35 m
Anchura	0,42 m
Altura	0,25 m
Tensión de alimentación	24 VDC
Máxima carga a transportar	700 kg
Guiado del AGV	Mediante cinta magnética
Rango de velocidades	Entre 1 y 40 m/min
Radio de giro mínimo	0,6 m
Frenado de seguridad	En 0,1 m
Motor	2 motores de 24 VDC
Potencia del motor	100 W
Transmisión	Cadena de 18 eslabones de ½
Dirección	Diferencial
Ruedas motrices	2 (Delanteras)
Ruedas de apoyo	2 (Traseras)
Seguridades incorporadas	Detección por escáner láser de seguridad Pulsador de parada de emergencia Señalización de situación mediante LEDs Señalización de alerta mediante LEDs
Baterías	2 baterías de gel
Sistema de configuración	Centralita digital con comunicaciones GPRS integradas Conexión a sistema de gestión centralizado para la configuración y el seguimiento
Sistema de control de tracción y dirección	Mediante tarjeta (PID) con sistema de doble microprocesador

- Características geométricas

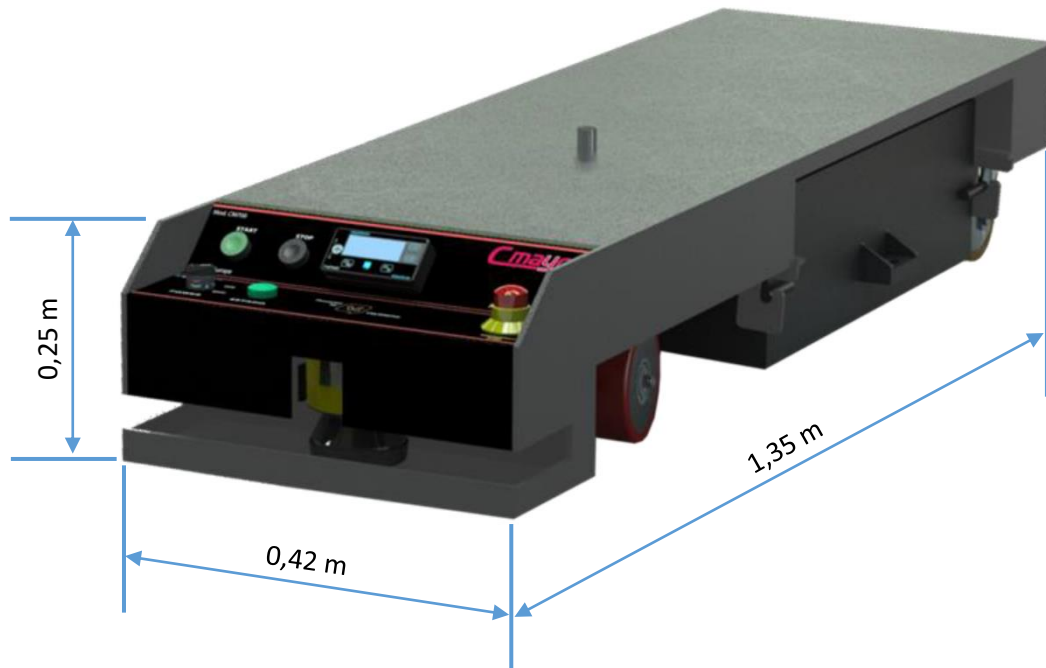


Imagen 11. Características geométricas de los AGVs involucrados en el circuito estudiado

- Componentes

- Panel frontal de control



Imagen 12. Panel frontal de control de un AGV

El panel de control integra los indicadores y pulsadores que permiten interactuar con el AGV. Además, su disposición permite conocer el estado del AGV a partir de la pantalla LCD y el indicador LED.

Tabla 4. Descripción de los componentes presentes en el panel frontal de control

Componentes	Función
Pulsador de arranque	Activa el arranque manual del AGV
Pulsador de parada	Activa la parada manual del AGV
Pantalla LCD	Módulo LCD de 80 caracteres que presenta información sobre el estado del AGV, la conexión, el mapa, ...
Interruptor de alimentación	Selector para poner en tensión cuando el indicador está en ON. Para cualquier intervención sobre el AGV, éste debe estar apagado
Indicador de estado	Indicador luminoso del estado en que se encuentra el AGV en cada momento
Pulsador de parada de emergencia	Elemento de seguridad doble que supervisa el funcionamiento y el estado. Actúa sobre el relé de seguridad que controla directamente las líneas de freno de los motores

- Módulo lector

Se trata de un módulo que integra dos funciones. Presenta un lector RFID para la interacción con los TAGs que determinan las maniobras. La segunda función es la comunicación local vía radio.

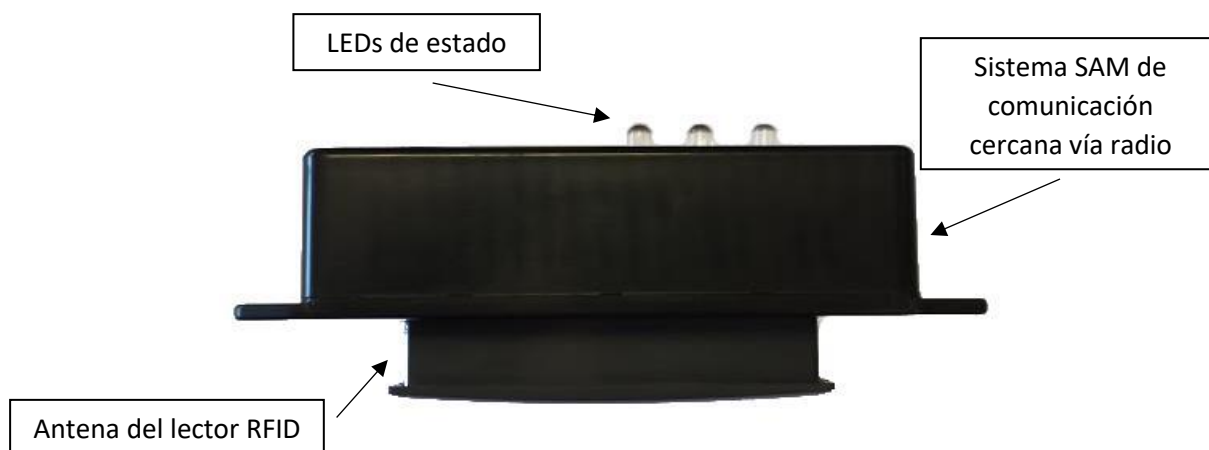


Imagen 13. Módulo lector

El lector RFID lee los TAGs situados en el suelo mediante la antena que se encuentra situada bajo el panel electrónico. Una vez leídos, es el encargado de transmitir los datos a la centralita VSystems para realizar las maniobras que se encuentran almacenadas en la memoria para ese TAG.

Las acciones a realizar en cada uno de los TAG se configuran desde el entorno web y pueden ser generales para todo el circuito o individuales para un AGV concreto. En el caso de que el lector pase por un TAG no existente en la memoria de ese AGV, se genera un evento de 'Leído TAG no configurado'.

Los TAGs son componentes RFID pasivos que se sitúan en el suelo, a pocos centímetros a la derecha de la banda magnética. Según el tipo de circuito, los TAGs pueden ir enterrados en el suelo o fijados con una resina epoxi para evitar en lo posible su deterioro. En el estudio que se realiza a lo largo de este documento, se pasará de un circuito con los TAG fijados con resina a un circuito con TAG enterrados y posteriormente resinados con el fin de salvar el desnivel ocasionado al enterrarlos. Como se observa en la imagen siguiente, los componentes RFID del circuito se encuentran empaquetados en tarjetas de material plástico que presentan detalles característicos como son el nombre del circuito en el que van a colocarse o el número de TAG asociado a dicha tarjeta. En el caso mostrado, el nombre del circuito es el mismo que el nombre de la planta (Grupo Antolín-RyA), mientras que el TAG que se ha fotografiado correspondería con el número 95.



Imagen 14. Ejemplo de TAG colocado en el circuito

El módulo de comunicaciones locales se caracteriza por integrar un pequeño modem radio bidireccional que trabaja en la banda libre en la frecuencia de 433 MHz y que se utiliza para los comandos u órdenes directas que se realizan entre el AGV y los mandos a distancia o balizas de control.

No depende de la conexión GPRS o WIFI de la centralita ya que el equipo tiene su propia antena integrada. Su alcance es limitado, con una distancia de trabajo máxima que se establece a unos diez metros aproximadamente, debido a la baja potencia de emisión que presentan.

- Bloque electrónico principal

Está formado por un soporte que incluye los componentes eléctricos y electrónicos principales del AGV y su interconexión mediante cableado organizado a través del uso de una canaleta ranurada.

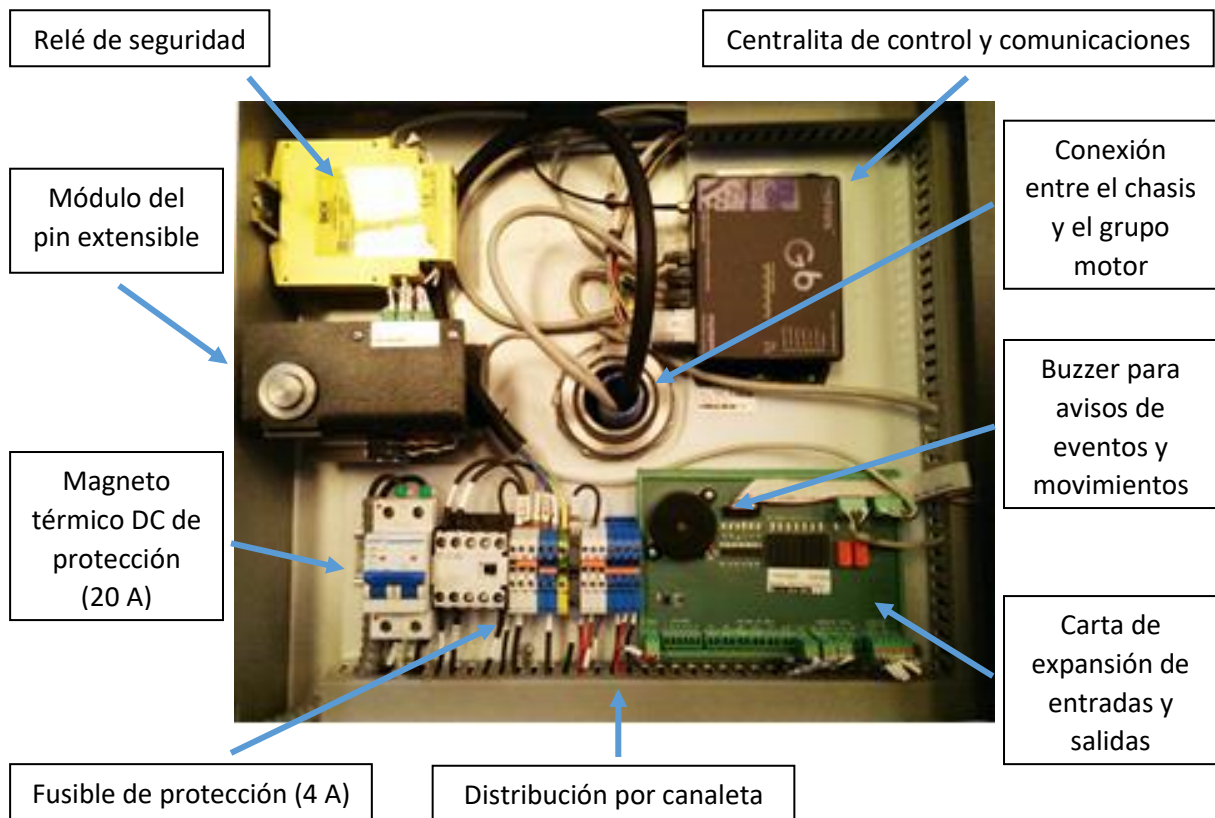


Imagen 15. Bloque electrónico principal

En el bloque electrónico principal se encuentran integrados los siguientes elementos:

- Magnetotérmico de corriente continua cuya capacidad máxima es de 20 A. Se utiliza para proteger las líneas principales de alimentación y para cortar la alimentación general.
- Contactor de corriente continua cuya capacidad máxima se fija en 15 A. Es el elemento que corta ambos polos de tensión al actuar sobre el panel de control frontal (ON/OFF).
- Bornero con dos zonas diferenciadas. La primera de las zonas está formada por bornas de 6 milímetros. Se extiende desde la posición del contactor y hasta el fusible. Reparte la alimentación principal para hacerla llegar hasta el grupo motor y hasta el segundo bornero. La segunda de las zonas del bornero está formada por un fusible de 4 A y un conjunto de bornas de 4 milímetros. Reparte la alimentación para las líneas de alimentación de los elementos electrónicos del AGV.

- Centralita VSystems G6 destinada al control y a las comunicaciones del vehículo a lo largo de todo el circuito.
- Cableado protegido por una canaleta ranurada. La fijación de dicho cableado se realizará mediante soportes que se montaran directamente sobre el chasis principal del vehículo.
- Carta de expansión de entradas y salidas. Este componente se encuentra montado directamente sobre un soporte para carril de tipo DIN e integra el buzzer sonoro destinado a los avisos, relés de comando de mapas de seguridad, relés y entradas auxiliares.

Las funciones de esta carta electrónica son las de servir de interface entre los sistemas microprocesados del AGV, las entradas y salidas auxiliares y los sistemas de seguridad integrados.

Las señales de entrada son optoacopladas digitales 1 a 4, mientras que las salidas R1, R2 y R3 están disponibles para ser utilizadas de forma externa, asociadas a la lectura de los TAGs implantados en el circuito. En el caso de las entradas digitales, la entrada se encuentra referenciada a GND y el valor de activación está entre 12 y 24 VDC. Las salidas de tensión son contactos libres de tensión que se encuentran normalmente abiertos. Tanto las entradas como las salidas dispondrán de un LED asociado que sirve para monitorizar y hacer más visible el estado en que se encuentra el vehículo a su paso por los diferentes puntos del circuito.

El buzzer incorporado en el conjunto permite avisar de manera acústica del estado en que se encuentra el AGV en cada momento en su recorrido por el circuito. Se diferenciarán varios estados del vehículo, los cuales se codificarán a través de diferentes sonidos. Los estados en que se puede encontrar el AGV que se encuentran codificados a través de señales acústicas son:

- AGV en movimiento
- AGV en modo velocidad lenta
- AGV fuera de guía magnética
- Lectura de TAG
- Detección de obstáculos

La configuración de la tarjeta es la que se muestra en la siguiente imagen:

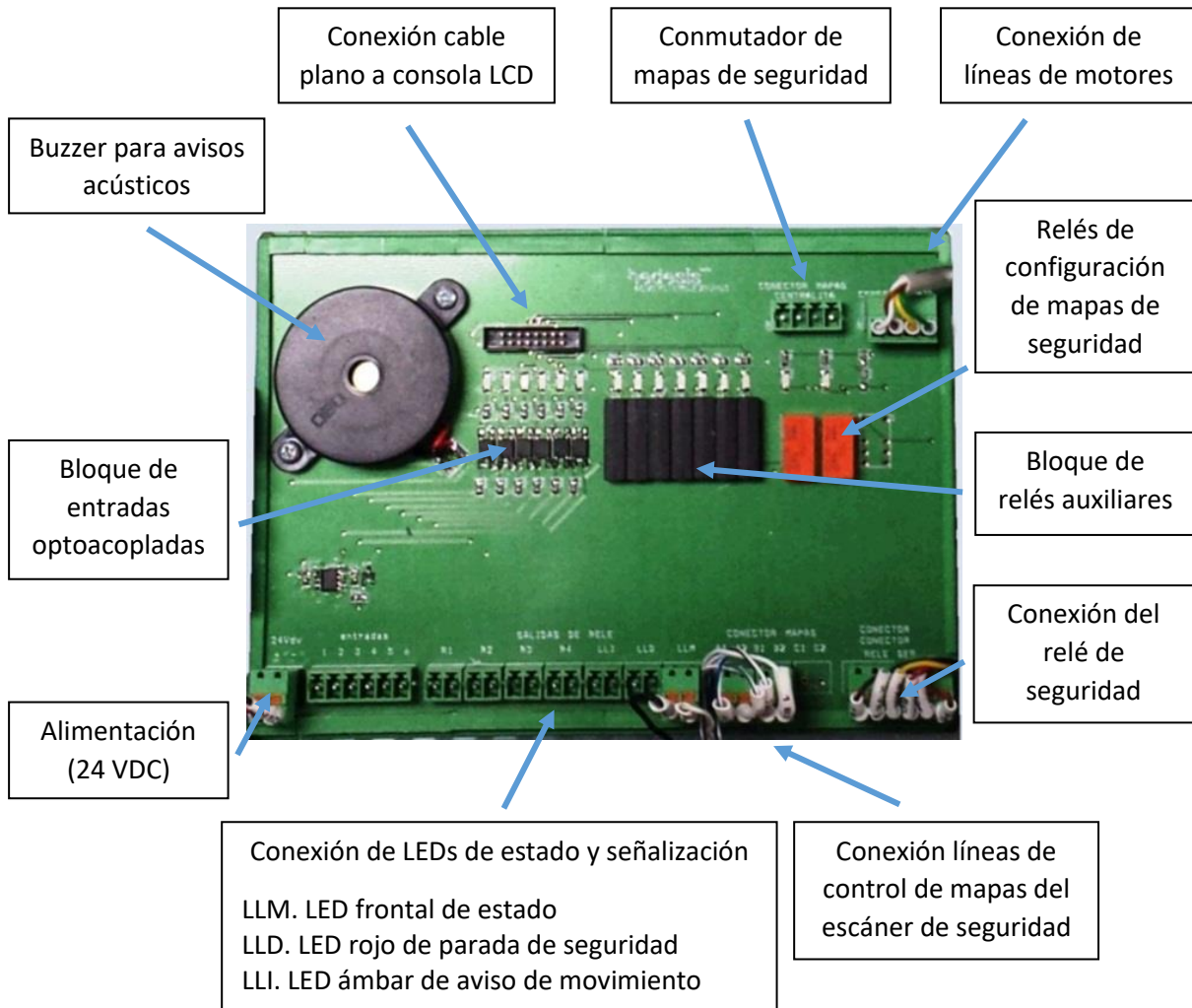


Imagen 16. Carta electrónica principal

- Grupo motor

El grupo motor es el encargado de aportar movilidad al sistema. Este bloque integra dos motores de corriente continua, sus correspondientes elementos de transmisión, las cartas de control de cada motor y la carta PID. Además tiene instalado en la parte frontal-exterior el sensor de guiado magnético. Dentro del grupo motor, el componente principal es la carta PID.

Para la conexión del grupo motor con el chasis del AGV se ha optado por un cojinete sintético y una fijación mediante circlip.

Los componentes principales del grupo motor son:

- Motores de corriente continua. Son los componentes que junto con la transmisión por cadena proporcionan movilidad al AGV. La configuración integrada para el modelo utilizado es de 15:1.

- Placa de control de motores. El AGV CM700 utiliza motores de corriente continua tipo Brushless. Esta configuración permite un mantenimiento reducido y un rendimiento muy elevado. Para el control de dichos motores se incorpora una carta electrónica que integra los controladores del motor, la modulación por pulsos, las funciones de chequeo y seguridad y el control de la alimentación. Además proporciona la señal de velocidad de manera inmediata para cada motor.

Tiene un tamaño muy reducido y aunque genera muy poco calor durante su funcionamiento, es conveniente situarlo de forma que pueda disiparlo correctamente y de manera eficaz. Por esa razón, se han ensamblado directamente sobre la sólida estructura del grupo motor.

Integra unos LED que permiten supervisar su funcionamiento durante todo el recorrido, aunque las señales de control también son recogidas por la carta PID. Será esa carta PID la encargada de generar las correspondientes alarmas en el caso de problemas.



Imagen 17. Motor de corriente continua tipo Brushless

- Carta PID. Es la tarjeta encargada de comunicarse con la centralita y procesar las órdenes que provienen de la misma. Gestiona la señal del sensor de guiado y actúa sobre cada motor a través de su correspondiente placa de control. Integra también las señales de alerta de motores. Dicha carta realiza el guiado de forma proporcional derivativa, modulando la potencia a cada motor por PWM. La tarjeta PID va instalada en el grupo motor y se encarga de gestionar las funciones de guiado y de control de los motores.

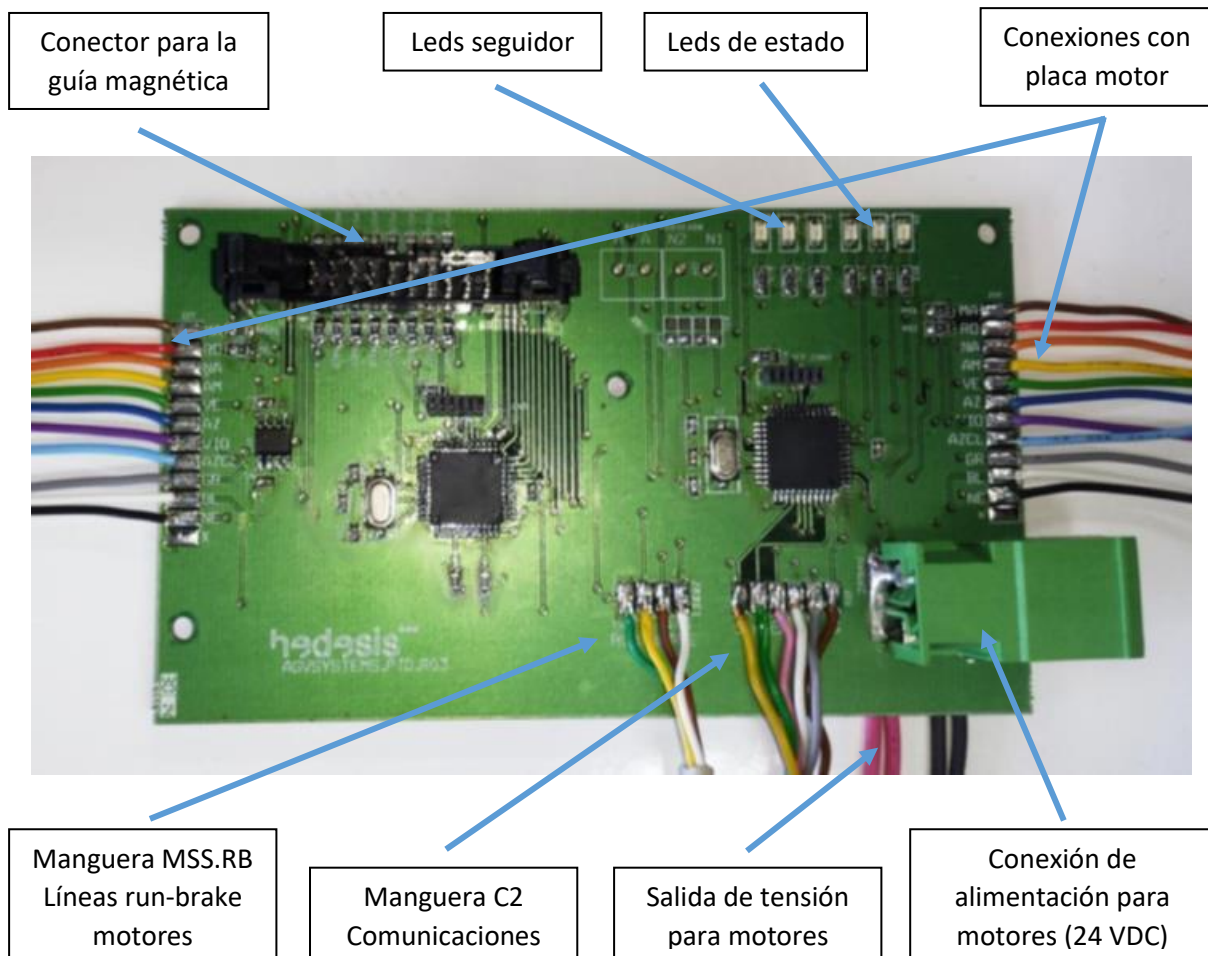


Imagen 18. Carta PID integrada

Funciona debido a la acción de dos microprocesadores que se supervisan mutuamente y en conjunto con respecto a la centralita. La primera CPU integra toda la gestión referida al guiado y a ésta se le conectan las 16 líneas de control que devuelve el sensor magnético. La segunda CPU se encarga de gestionar el control de las placas controladoras de los motores, controlar la velocidad o estado de los mismos y de comunicarse con la centralita principal.

Si cualquiera de los sistemas tiene algún problema y no responde a la secuencia de controles la máquina se detendrá de forma inmediata, indicando la anomalía en la pantalla principal y generando el evento correspondiente en el entorno centralizado.

- Terminal VSystems

El módulo VSystems es la centralita de proceso que controla todo el AGV. Su misión principal es la de coordinar todos los elementos que componen el AGV y asegurar la comunicación de éste con el sistema central.

Está disponible en dos configuraciones: GPRS o WIFI. Independientemente de su forma de conexión el comportamiento del AGV va a ser similar en las dos versiones.

El sistema incorpora una antena que conecta la centralita, instalada en el interior del AGV, con el sistema principal. Va situada en el frontal del AGV. Para que el funcionamiento del equipo sea el óptimo, es recomendable que no haya objetos que puedan interferir con la antena y disminuir su rendimiento.

No es necesario que la centralita este en línea para el correcto funcionamiento del AGV ya que todas las configuraciones se encuentran guardadas en memoria. En caso de no estar en línea no se podrá:

- Visualizar los datos o eventos actualizados en la aplicación de gestión.
- Recibir cambios en las configuraciones o programaciones de los TAG.

El esquema de componentes y el conexionado de la centralita es el que se muestra a continuación:

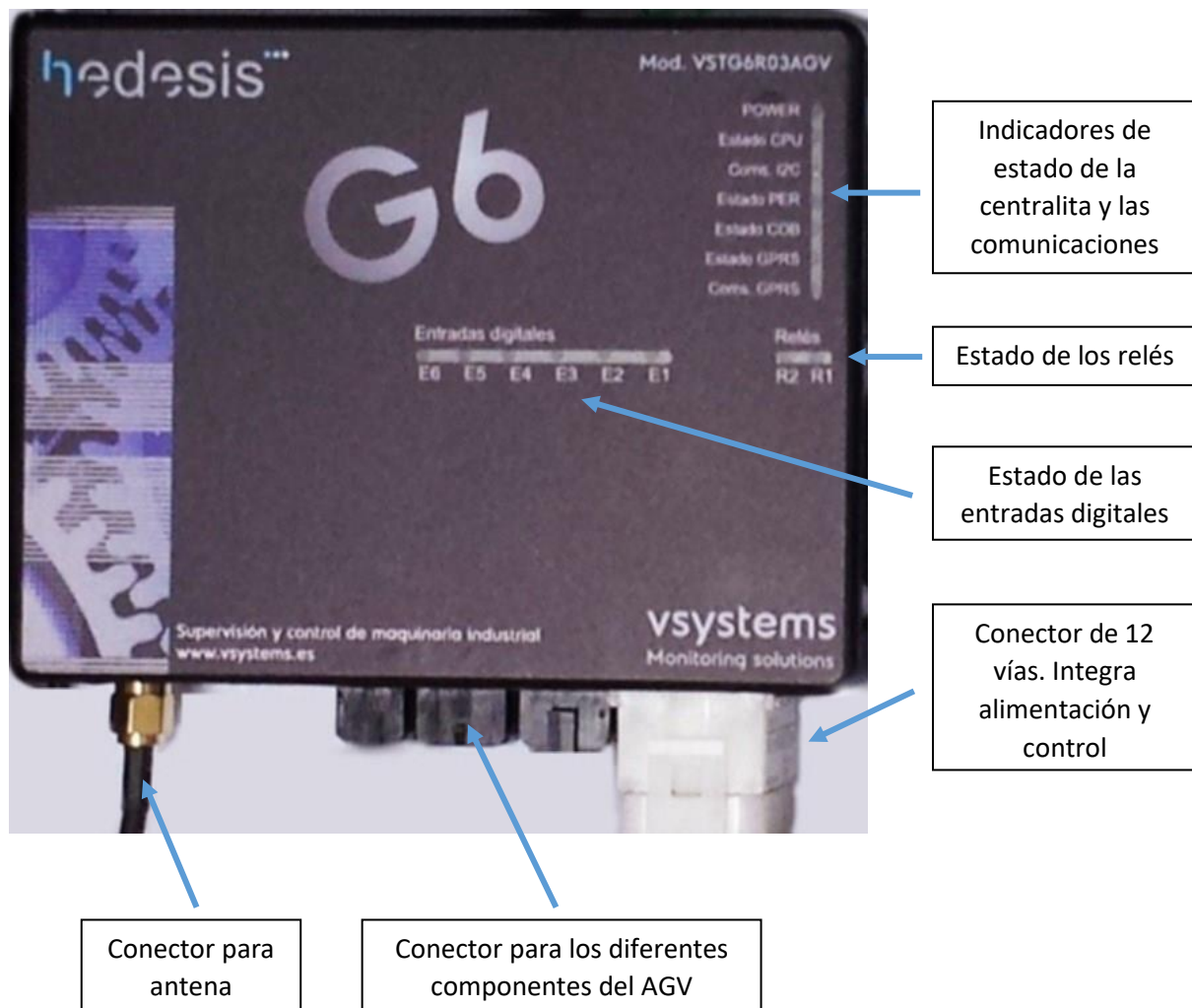


Imagen 19. Módulo VSystems

- Escáner láser de seguridad

El equipo dispone de un escáner láser de seguridad destinado a la detección de objetos y personas en su funcionamiento, garantizando de esta manera la seguridad tanto de las personas como de los AGVs.



Imagen 20. Escáner láser de seguridad

El escáner se utiliza con dos áreas de supervisión:

- Área de aviso. Al detectar presencia el AGV pasa a una velocidad reducida, menor a la establecida en ese tramo, e indica mediante un cambio en la señalización óptica y acústica la presencia.
- Área de parada. Si detecta presencia en esta área, el AGV realizará una parada de emergencia, quedándose inmediatamente detenido e indicando el estado en que se encuentra mediante los LED rojos y una serie de señales acústicas. En cuanto el área de parada vuelve a quedar libre de obstáculos, el AGV retomará la marcha automáticamente, indicándolo previamente de forma acústica y visual y tras 3 segundos de espera.

El AGV permite seleccionar hasta cuatro configuraciones (campos o mapas) de supervisión para el escáner láser. Estos campos permiten adaptar lo mejor posible la seguridad a cada entorno.

El escáner tiene configurados los siguientes campos de supervisión:

- Campo 1 [Aproximación]: éste es un mapa de baja velocidad. Sólo es válido cuando el AGV tiene que realizar maniobras de aproximación, como por ejemplo, entrar por debajo del carro.

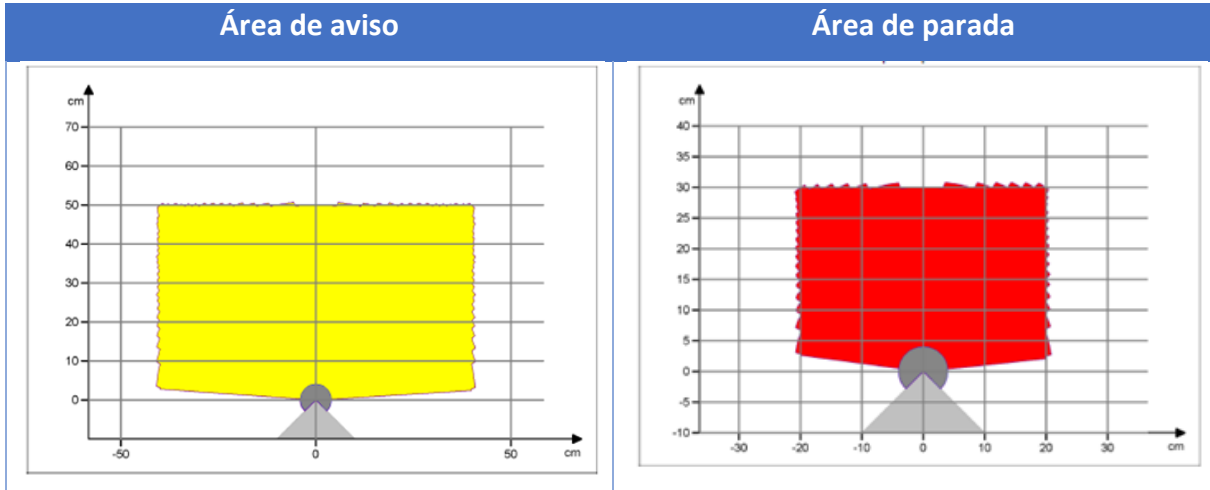


Imagen 21. Área de aviso y parada en campo de aproximación

- Campo 2 [Crucero]: para la circulación del AGV en transporte o libre de carga. Tiene mucho más alcance de supervisión, tanto en distancia como en anchura para poder controlar también el área por donde pasará el carro.

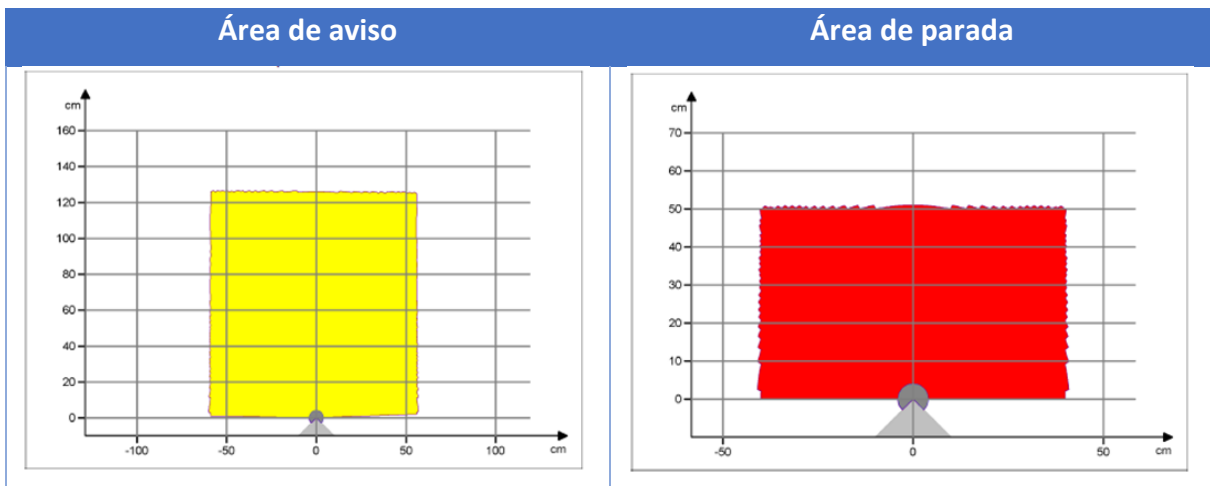


Imagen 22. Área de aviso y parada en campo de cruce

- Campo 3 [Giro derecha]: Para la circulación del AGV durante los giros a la derecha.

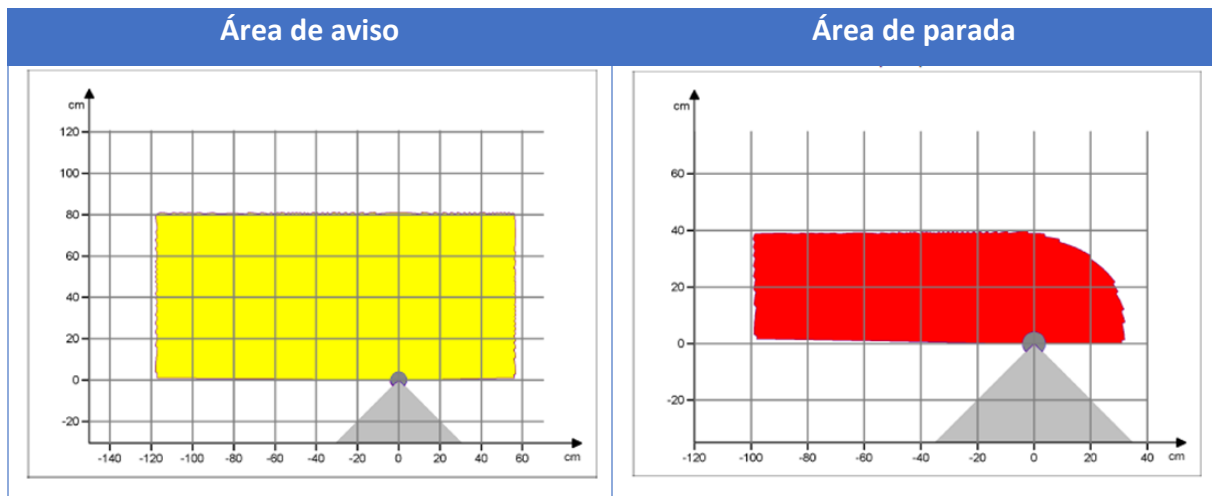


Imagen 23. Área de aviso y parada en campo de giro a la derecha

- Campo 4 [Giro izquierda]: Para la circulación del AGV durante los giros a la izquierda.

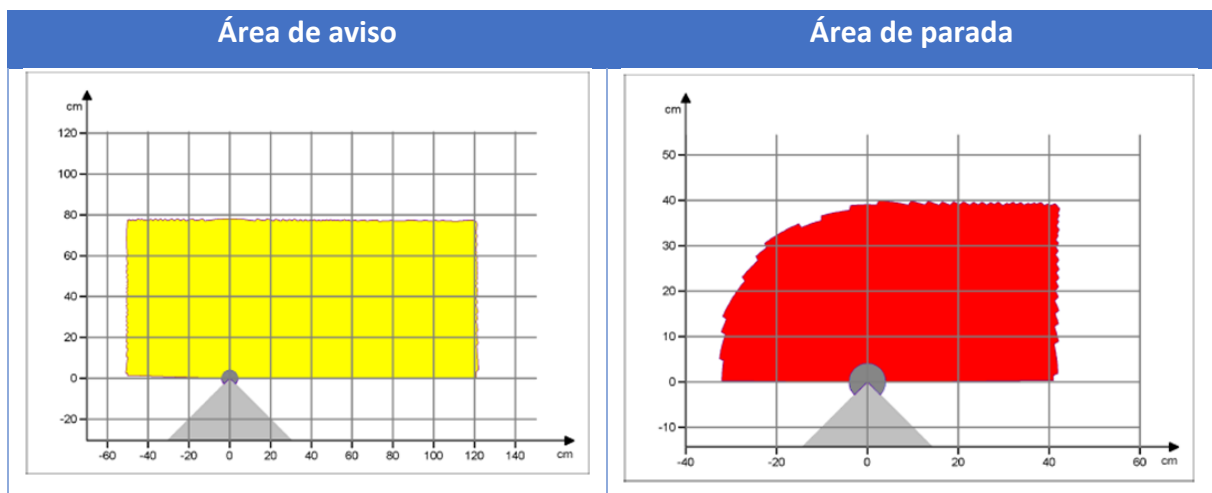


Imagen 24. Área de aviso y parada en campo de giro a la izquierda

- Módulo de baterías

Integra las baterías necesarias para desarrollar el trabajo del AGV. Las baterías se disponen en un cofre que admite varias configuraciones de capacidad. Este cofre permite la extracción rápida mediante un útil para permitir la carga externa y poder seguir trabajando con un segundo o tercer juego, consiguiendo de esta manera que el AGV no tenga necesidad de estar parado recargando la batería.

- Pin de arrastre

Para el arrastre de cargas, el AGV dispone de un cilindro extraíble automático (PIN) que puede ser configurado desde el entorno VSystems asociándolo a la lectura de un TAG.

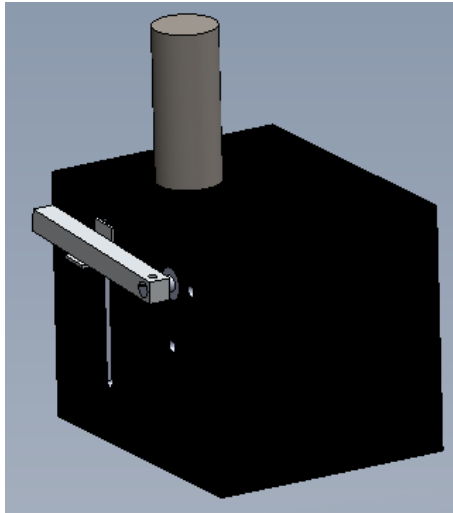


Imagen 25. Esquema del pin de arrastre

Su funcionamiento es extremadamente sencillo debido a que el motor no eleva el cilindro, sino que lo libera, permitiendo, por medio de un muelle, su extensión. Esta forma de trabajo hace que la duración de la reductora del motor sea mucho mayor porque evita que en el caso de que una carga se apoye sobre el cilindro no sea la reductora la que soporte dicha presión.

Permite una maniobra de carga más sencilla: el AGV se acerca al carro, libera el PIN y éste irá deslizándose por la placa de entrada, como si fuera un pestillo, hasta que entre en el agujero de anclaje sin que el AGV tenga que parar en ningún momento.

Para el caso de la maniobra de desacople del carro, ésta se lleva a cabo en parado o a muy baja velocidad.

El diseño del PIN está realizado para soportar cargas de arrastre. No está diseñado para elevar carga.

- Guía magnética de lectura de carril

El AGV CM700 está equipado con un sensor magnético que le permite reconocer la cinta que se encuentra situada sobre el suelo o enterrada a escasos centímetros de profundidad. Dicho componente forma parte del grupo motor y presenta una resolución de 16 bits.

El sensor lee la señal de la guía magnética y se encarga de transmitirla a la carta PID. Ésta determina, según la posición definida por el sensor, que señal se deberá aplicar a cada motor para compensar las posibles desviaciones que puedan darse durante el proceso.

La distancia de lectura recomendada para el sensor es de unos 25 milímetros con respecto a la guía. Es muy importante la correcta elección de la cinta magnética pues afectará de forma considerable en el correcto rendimiento del AGV.

Debido a su proximidad al suelo es importante que no haya salientes o peraltes superiores a 15 milímetros en el recorrido para evitar daños en el sensor.

Carros a transportar

La morfología de los carros que intervienen en el proceso es un punto clave dentro del diseño de los AGVs. El cómo van a disponerse durante el transporte, los arranques y las paradas será uno de los aspectos más importantes a la hora de establecer las características del AGV.

En el proceso estudiado, los carros a mover serán iguales, lo que simplifica enormemente la labor de diseño. Se trata de carros compartimentados en los cuales cada una de las celdas tendrá un cometido. A continuación, se muestra una imagen de uno de los carros involucrados en el transporte de componentes.



Imagen 26. Carros transportados en el proceso

Para el transporte de dichos carros, se ha adaptado en la parte inferior de los carros de aprovisionamiento, una estructura metálica que se adapta perfectamente a la morfología pensada para el AGV. Con esta estructura se ha conseguido que las paradas y los arranques sean suaves y no generen movimientos bruscos del contenedor. Este diseño unido a la morfología del PIN del AGV y a la programación de los TAG involucrados en el circuito permite que el movimiento de estos contenedores a lo largo de todo el circuito sea de la forma deseada. Con los TAG se podrá determinar en qué puntos debe bajar o subir el pin del AGV y por tanto se podrá controlar en que puntos el AGV va a bajar el pin para pasar por debajo del contenedor y en qué puntos levantará el pin con el fin de arrastras el contenedor hasta la siguiente parte del proceso.

Circuito

La instalación por la que circularán los AGVs se encuentra dividida en cuatro circuitos independientes. En cada uno de los circuitos intervendrá un solo AGV, por lo que se puede asegurar que existirá un AGV específico para cada uno de los circuitos implantados. A pesar de que cada AGV contará con un circuito propio, habrá partes que sean comunes para todos o varios de ellos, y habrá puntos denominados cruces, en los cuales un AGV invadirá parcialmente el circuito de otro AGV.

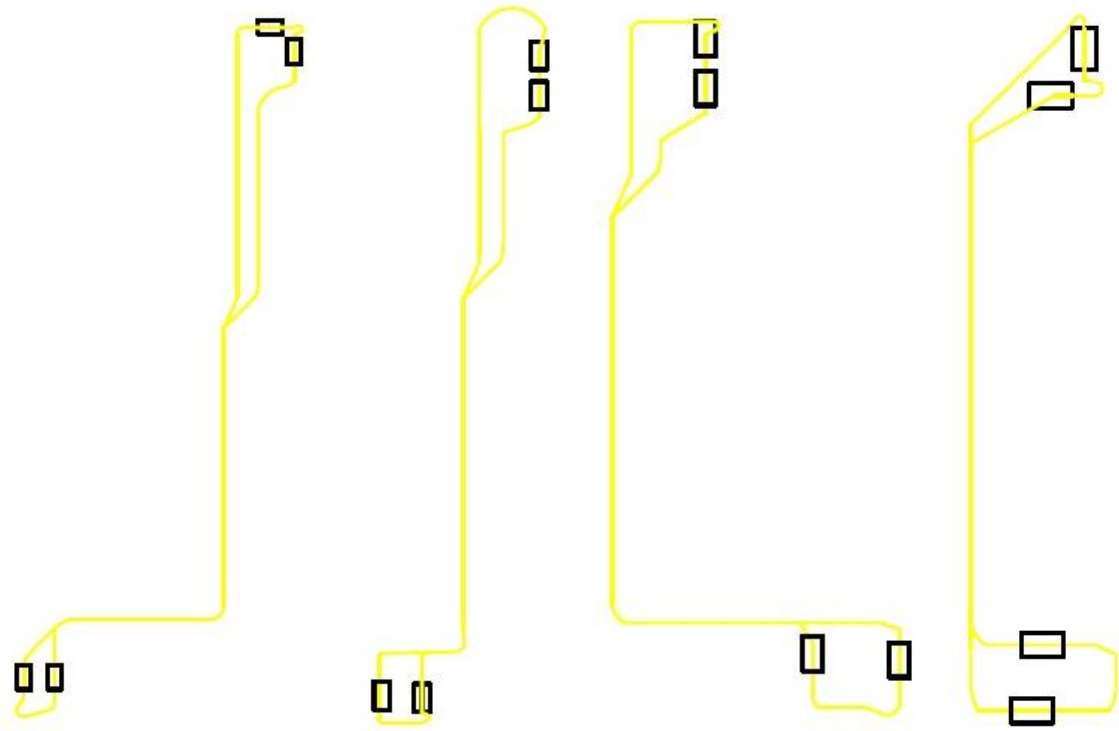


Imagen 27. Circuitos recorridos por cada uno de los AGVs

Los cruces serán los puntos más complicados del circuito desde el punto de vista de programación y funcionamiento. La programación elegida es aquella basada en la ocupación y liberación de cruces por orden de llegada. El AGV que entre en primer lugar al cruce, enviará una señal a la baliza de control, la cual hará extensible la señal de cruce ocupado a todos los AGVs. En el momento en que el AGV que había ocupado el cruce haya finalizado su paso por dicho punto, se enviará la señal de cruce libre y será posible que otro vehículo entre a dicho cruce.

Las balizas serán las encargadas de organizar la circulación de los AGVs y de dar salida a los mismos desde las paradas previstas. Por tanto, en el circuito se han instalado dos tipos de baliza, las balizas de control y las balizas de maniobra.

- Balizas de control

Estos mecanismos están compuestos por un indicador luminoso que advertirá de si el cruce está o no ocupado y un pulsador destinado al rearme. A lo largo del circuito se han colocado cuatro balizas de este tipo. Su labor será servir de semáforo para la circulación de los AGVs en los cruces. Dichas balizas serán las receptoras de la señal cuando uno de los AGVs haya entrado en el cruce. En el momento en que la baliza recibe la señal, inmediatamente establece el cruce como ocupado, impidiendo a los demás vehículos entrar en él hasta que se haya producido la lectura del TAG de liberación del cruce. Será en dicho momento, cuando la baliza marcará el cruce como liberado y permitirá que entre en él, el siguiente AGV.

Estas balizas serán manipulables tan solo para llevar a cabo un reinicio del cruce en casos en que la operación no se estuviera produciendo de la manera adecuada.

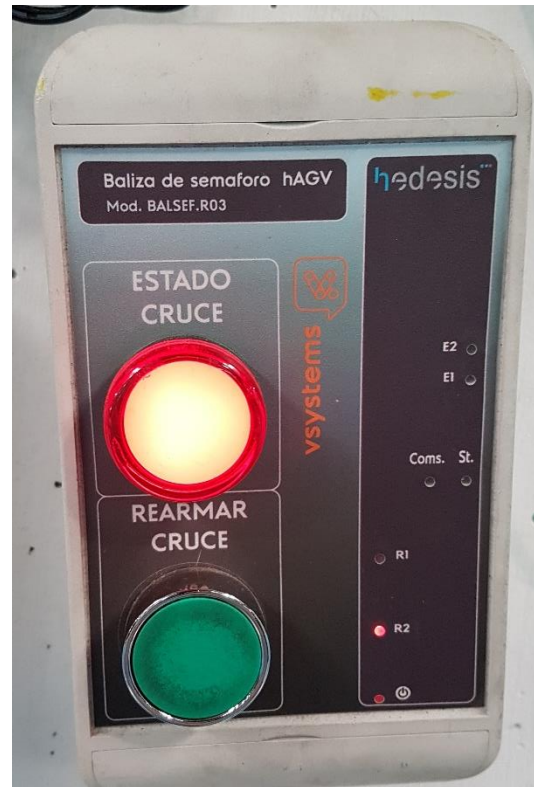


Imagen 28. Baliza de control

- Balizas de maniobra



Imagen 29. Baliza de maniobra

Balizas compuestas por un pulsador que validará la salida del AGV cuando el vehículo se encuentre en la parada correspondiente, y por un indicador luminoso que advertirá de la presencia del AGV en la parada.

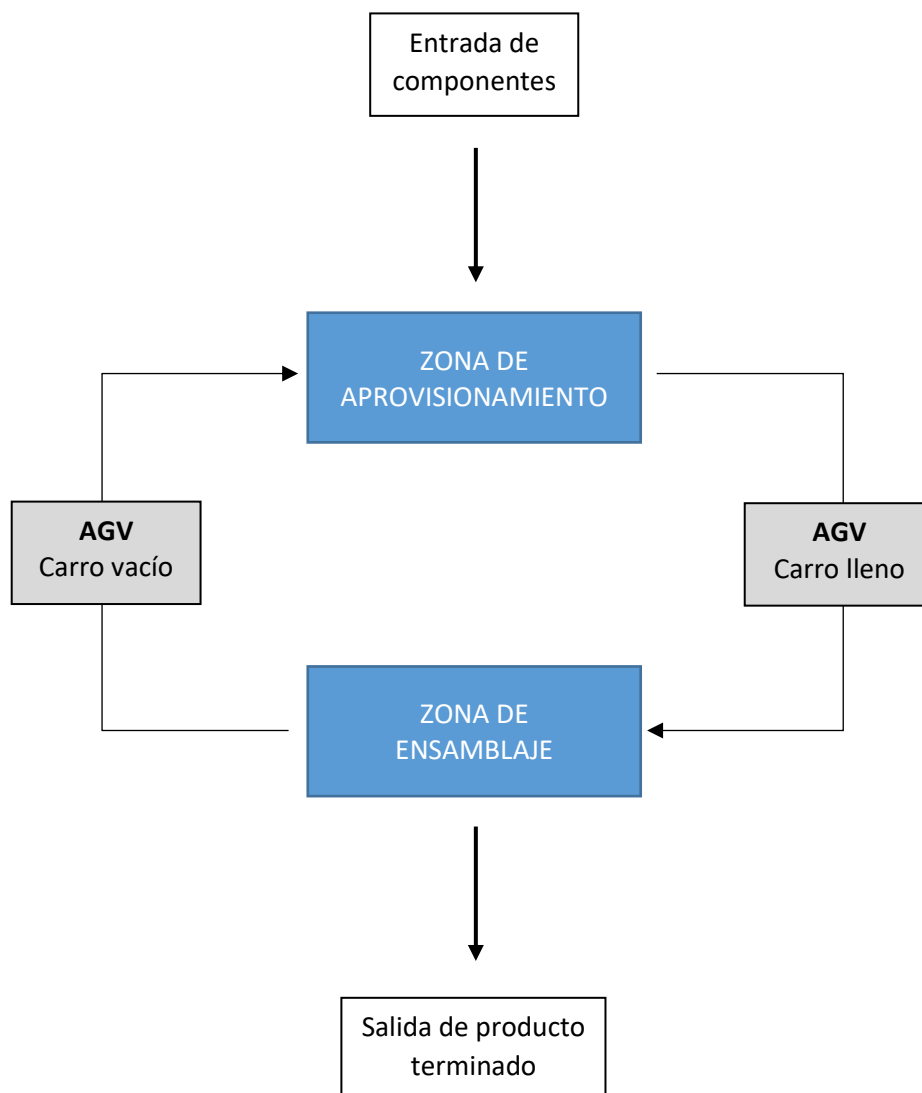
Se encuentran distribuidas en cada una de las paradas, por lo que habrá dos balizas de este tipo en cada uno de los circuitos (una en la zona de aprovisionamiento y una en la zona de ensamblaje y soldadura) y un total de ocho balizas en toda la instalación. En el momento en que el AGV se encuentra en la parada, el indicador luminoso se encenderá. En ese instante, ya puede ser accionado el pulsador iniciando de nuevo la marcha del AGV, dando de nuevo inicio a la actividad del AGV a lo largo del circuito.

Proceso

El proceso que conecta estos dispositivos descritos anteriormente está dividido en dos zonas. El transporte de materiales entre las dos zonas será la labor que llevarán a cabo los AGVs. La primera de las zonas constará de un puesto de aprovisionamiento de componentes para cada uno de los circuitos. En esta zona, los operarios se encargarán de llenar cada una de las celdas de los contenedores de la manera que sea necesaria en cada caso. En esta zona, se encontrarán siempre dos operarios para cada circuito, encargados de satisfacer la demanda de la segunda estación.

En la segunda estación, se encontrará la zona de ensamblaje y soldadura. En esta zona se recibirán cada uno de los AGVs cargados de materiales procedentes de la zona de aprovisionamiento. Se vaciarán los carros a medida que se van soldando componentes en las máquinas de soldadura, y una vez que el carro se haya vaciado por completo, se enviará de vuelta vacío a la zona de aprovisionamiento.

Por tanto, la circulación de los carros programada consistirá en el movimiento de carros llenos desde la zona de aprovisionamiento hasta la zona de soldadura; y el movimiento de carros vacíos desde la zona de soldadura hasta la zona de aprovisionamiento.



Estado inicial

La instalación inicial se basaba en cuatro circuitos que compartían un único pasillo central. El pasillo que unía las dos zonas del circuito era común tanto para la ida con los carros llenos como para la vuelta con los carros vacíos.

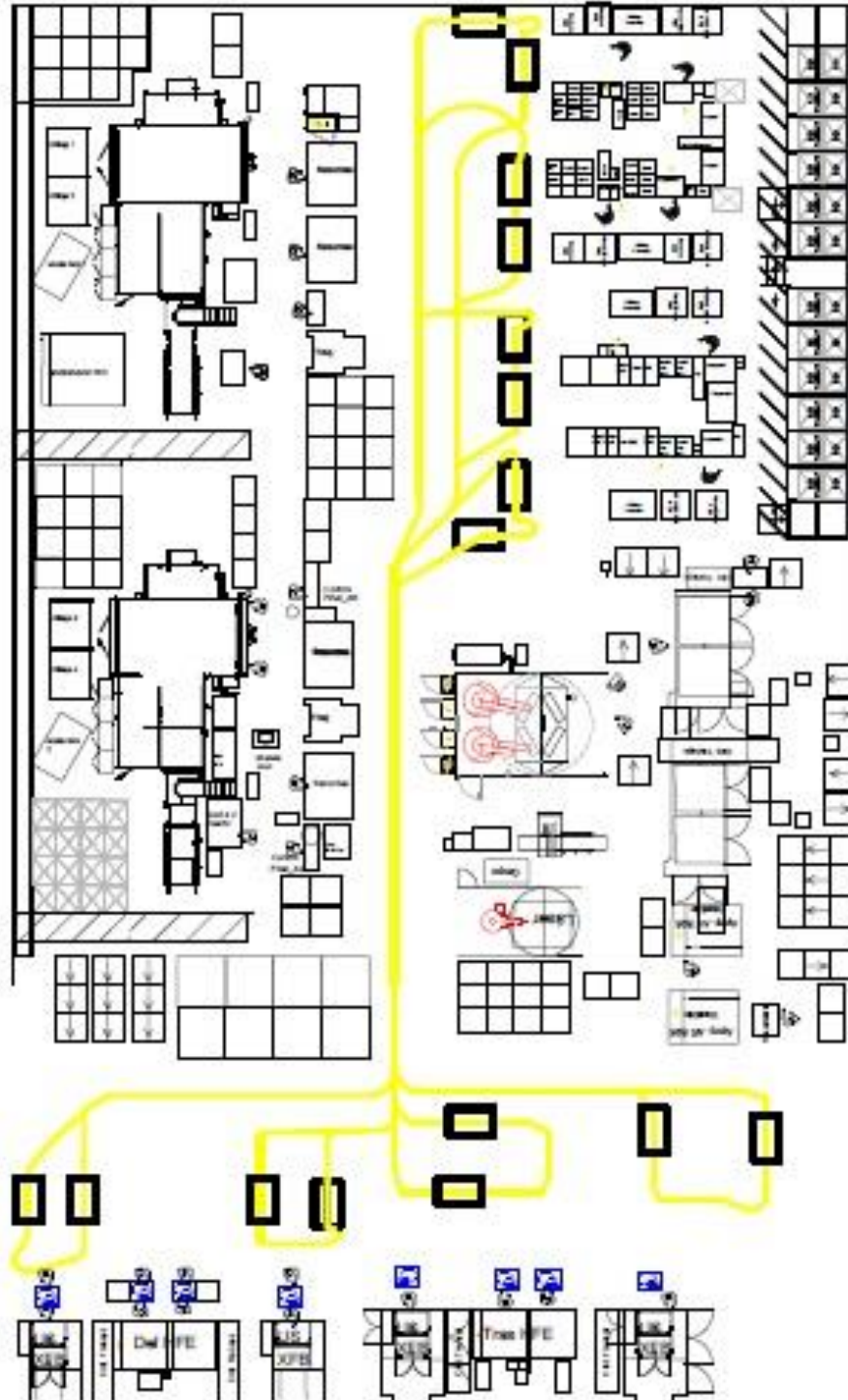


Imagen 30. Estado inicial del circuito

A continuación, se detallan los TAG que presenta cada circuito, como se encuentran colocados a lo largo del recorrido, y que función tiene cada uno.

- Circuito 1

Tabla 5. Descripción de los TAGs presentes en el circuito 1

TAG	ACCION
31	Para y baja el pin para dejar el carro vacío hasta que desde la baliza se le da la señal de avanzar. Mapa de aproximación. Velocidad: 15 m/min
32	Para si la batería está descargada. Pin abajo. Velocidad: 10 m/min
33	Sube el pin. Velocidad: 8 m/min
56	Pregunta a la baliza si el cruce está ocupado. Sí: AGV se para hasta que el cruce sea liberado. NO: AGV continúa hasta que libera el cruce en el TAG 43. Velocidad: 25 m/min
43	Libera cruce y cambia mapa a crucero. Velocidad: máxima
45	Pregunta a la baliza si el cruce está ocupado. Sí: AGV se para hasta que el cruce sea liberado. NO: AGV continúa hasta que libera el cruce en el TAG 46. Velocidad: 25 m/min
46	Libera cruce y cambia mapa a crucero. Velocidad: máxima
63	Pregunta a la baliza si el cruce está ocupado. Sí: AGV se para hasta que el cruce sea liberado. NO: AGV continúa hasta que libera el cruce en el TAG 58. Velocidad: 25 m/min
58	Libera cruce y cambia mapa a crucero. Velocidad: máxima
59	Pregunta si el pasillo central está ocupado. Sí: AGV se para hasta que el AGV que lo ha ocupado lo libere. NO: AGV continúa. Velocidad: 25 m/min
54	Reduce velocidad a 20 m/min y gira a la derecha
25	Reduce velocidad a 10 m/min y gira a la derecha
44	Libera cruce del pasillo central y cambia a mapa crucero. Velocidad: 40 m/min
5	Reduce velocidad a 20 m/min
69	Parada condicionada, baja el pin y espera a que se pulse la validación. Cambio a mapa de aproximación. Velocidad: 8 m/min
7	Sube pin. Velocidad: 15 m/min
11	Cambia a mapa crucero. Velocidad: 20 m/min
12	Cambia a 40 m/min
62	Pregunta si el pasillo central está ocupado. Sí: AGV se para hasta que el AGV que lo ha ocupado lo libere. NO: AGV continúa. Velocidad: 25 m/min
38	Cambia a 40 m/min
42	Libera cruce
36	Velocidad: 40 m/min

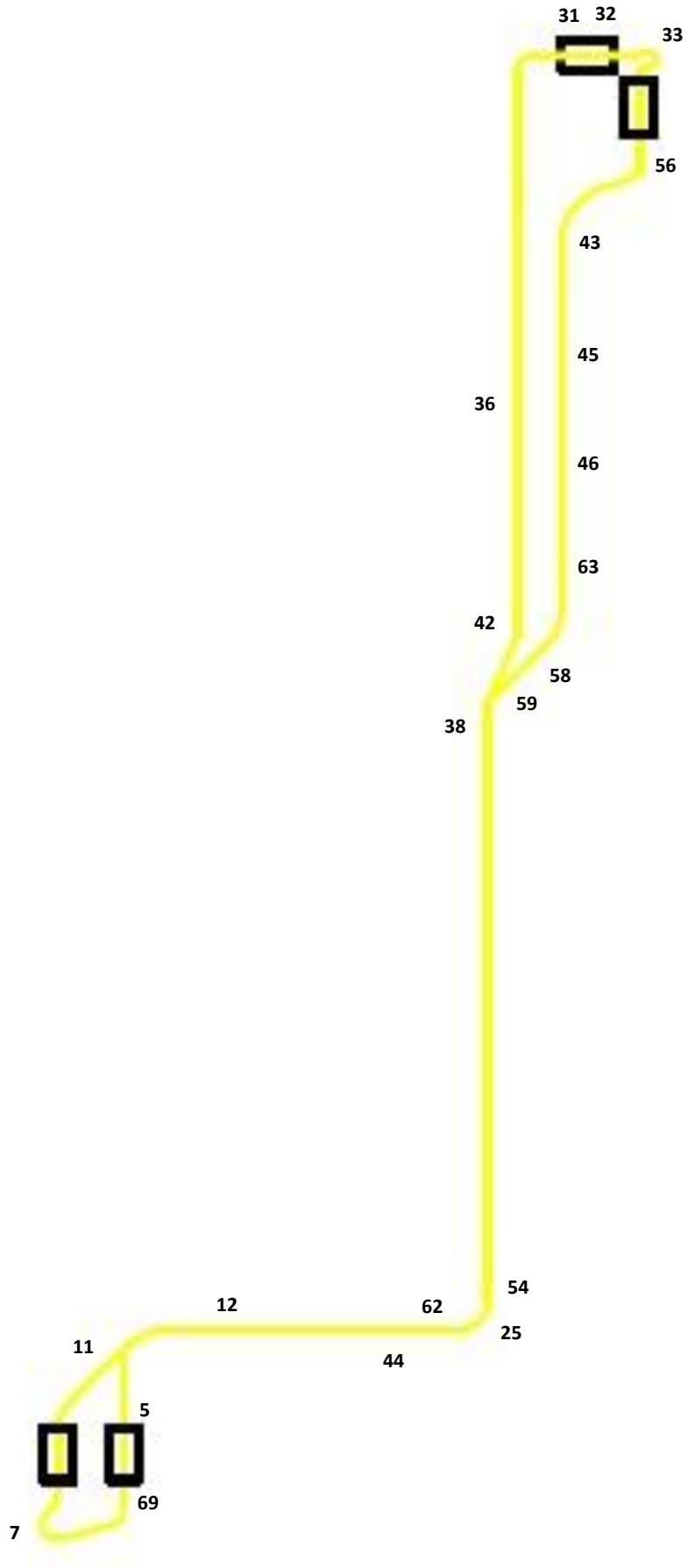


Imagen 31. Esquema del circuito 1

- Circuito 2

Tabla 6. Descripción de los TAGs presentes en el circuito 2

TAG	ACCION
1	Para y baja el pin para dejar el carro vacío hasta que desde la baliza se le da la señal de avanzar. Mapa de aproximación. Velocidad: 10 m/min
2	Para si la batería está descargada. Pin abajo. Velocidad: 10 m/min
3	Sube el pin. Velocidad: 10 m/min
47	Pregunta a la baliza si el cruce está ocupado. Sí: AGV se para hasta que el cruce sea liberado. NO: AGV continúa hasta que libera el cruce en el TAG 46. Velocidad: 25 m/min
14	Cambia mapa a crucero. Velocidad: 40 m/min
46	Libera cruce. Velocidad: 40 m/min
63	Pregunta a la baliza si el cruce está ocupado. Sí: AGV se para hasta que el cruce sea liberado. NO: AGV continúa hasta que libera el cruce en el TAG 58. Velocidad: 25 m/min
58	Libera cruce. Velocidad: 40 m/min
59	Pregunta si el pasillo central está ocupado. Sí: AGV se para hasta que el AGV que lo ha ocupado lo libere. NO: AGV continúa. Velocidad: 25 m/min
54	Reduce velocidad a 30 m/min
26	Gira a la derecha. Velocidad: 20 m/min
61	Libera cruce del pasillo central. Mapa crucero. Velocidad: 40 m/min
30	Gira a la izquierda. Velocidad: 8 m/min
27	Parada condicionada, baja el pin y espera a que se pulse la validación. Cambio a mapa de aproximación. Velocidad: 10 m/min
28	Sube pin. Velocidad: 10 m/min
29	Pregunta si el pasillo central está ocupado. Sí: AGV se para hasta que el AGV que lo ha ocupado lo libere. NO: AGV continúa. Velocidad: 25 m/min
67	Velocidad: 40 m/min
42	Libera cruce. Velocidad: 40 m/min
37	Gira a la derecha. Velocidad 20 m/min
70	Pregunta si el pasillo central está ocupado. Sí: AGV se para hasta que el AGV que lo ha ocupado lo libere. NO: AGV continúa. Mapa crucero. Velocidad: 25 m/min
13	Libera el cruce. Velocidad: 20 m/min

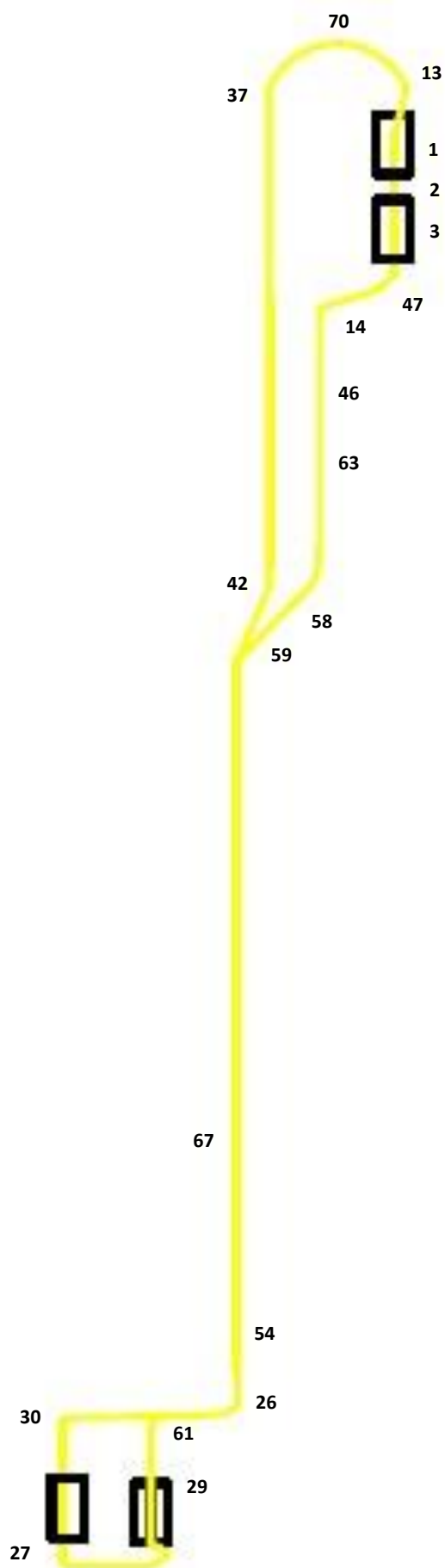


Imagen 32. Esquema del circuito 2

- Circuito 3

Tabla 7. Descripción de los TAGs presentes en el circuito 3

TAG	ACCION
34	Para y baja el pin para dejar el carro vacío hasta que desde la baliza se le da la señal de avanzar. Mapa de aproximación. Velocidad: 10 m/min
35	Sube el pin. Velocidad: 10 m/min
53	Pregunta a la baliza si el cruce está ocupado. SÍ: AGV se para hasta que el cruce sea liberado. NO: AGV continúa hasta que libera el cruce en el TAG 58. Velocidad: 20 m/min
68	Cambia mapa a crucero. Velocidad: 30 m/min
58	Libera cruce. Velocidad: 40 m/min
59	Pregunta si el pasillo central está ocupado. SÍ: AGV se para hasta que el AGV que lo ha ocupado lo libere. NO: AGV continúa. Velocidad: 25 m/min
54	Gira a la izquierda. Velocidad: 8 m/min
60	Libera cruce del pasillo central. Mapa crucero. Velocidad: 40 m/min
15	Gira a la derecha. Velocidad: 20 m/min
16	Parada condicionada, baja el pin y espera a que se pulse la validación. Cambio a mapa de aproximación. Velocidad: 10 m/min
17	Para si la batería está descargada. Pin abajo. Velocidad: 15 m/min
18	Sube el pin. Velocidad: 10 m/min
19	Cambia a mapa crucero. Velocidad: 40 m/min
24	Pregunta si el pasillo central está ocupado. SÍ: AGV se para hasta que el AGV que lo ha ocupado lo libere. NO: AGV continúa. Velocidad: 25 m/min
54	Gira a la izquierda. Velocidad: 20 m/min
67	Velocidad: 40 m/min
42	Libera cruce. Velocidad: 40 m/min
36	Gira a la derecha. Velocidad: 20 m/min
49	Pregunta a la baliza si el cruce está ocupado. SÍ: AGV se para hasta que el cruce sea liberado. NO: AGV continúa hasta que libera el cruce en el TAG 58. Velocidad: 20 m/min

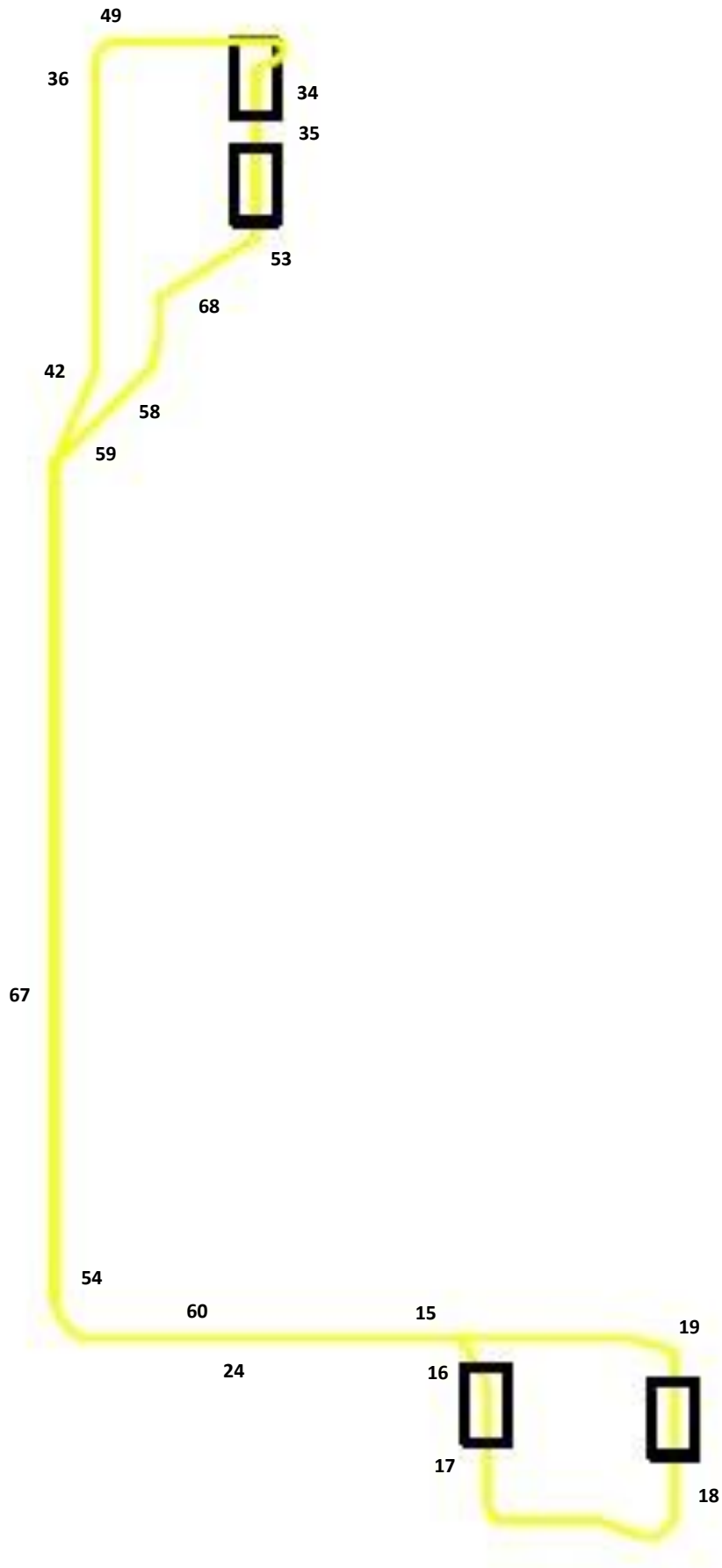


Imagen 33. Esquema del circuito 3

- Circuito 4

Tabla 8. Descripción de los TAGs presentes en el circuito 4

TAG	ACCION
39	Para y baja el pin para dejar el carro vacío hasta que desde la baliza se le da la señal de avanzar. Mapa de aproximación. Velocidad: 10 m/min
40	Sube el pin. Velocidad: 10 m/min
55	Pregunta a la baliza si el cruce está ocupado. Sí: AGV se para hasta que el cruce sea liberado. NO: AGV continúa hasta que libera el cruce en el TAG 58. Velocidad: 27 m/min
58	Libera cruce. Velocidad: 40 m/min
59	Pregunta si el pasillo central está ocupado. Sí: AGV se para hasta que el AGV que lo ha ocupado lo libere. NO: AGV continúa. Velocidad: 25 m/min
54	Reduce velocidad a 25 m/min
26	Cambia a mapa crucero. Velocidad: 12 m/min
50	Gira a la izquierda. Velocidad: 20 m/min
20	Libera cruce del pasillo central. Velocidad: 15 m/min
21	Parada condicionada, baja el pin y espera a que se pulse la validación. Cambio a mapa de aproximación. Velocidad: 10 m/min
22	Para si la batería está descargada. Pin abajo. Velocidad: 15 m/min
23	Sube el pin. Velocidad: 10 m/min
64	Pregunta si el pasillo central está ocupado. Sí: AGV se para hasta que el AGV que lo ha ocupado lo libere. NO: AGV continúa. Velocidad: 25 m/min
67	Velocidad: 40 m/min
38	Gira a la derecha. Velocidad: 20 m/min
41	Libera cruce. Velocidad: 20 m/min

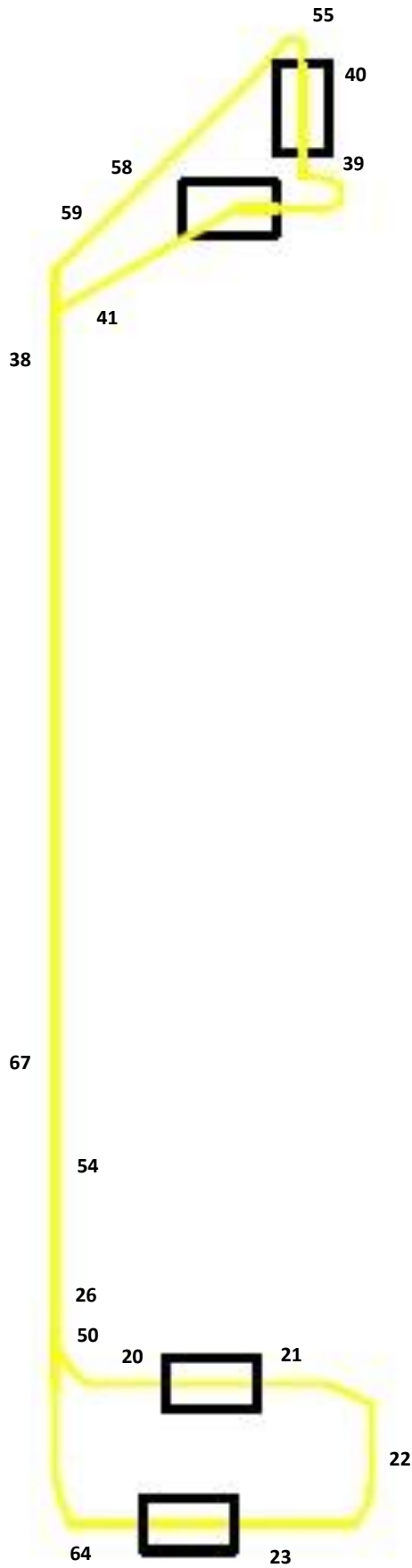


Imagen 34. Esquema del circuito 4

Se puede observar como hay TAGs que se encuentran en varios circuitos. Se trata de TAGs configurados como multicircuito, los cuales pueden ser leídos por diferentes AGVs. Son los encargados de controlar los cruces o de aportar una información que es válida para varios dispositivos, como puede ser una variación de la velocidad en un determinado punto.

Este circuito se encuentra regulado por 8 balizas de maniobra y 2 balizas de control. Las balizas de maniobra se encuentran ubicadas en todas las paradas tanto de la zona de aprovisionamiento, como de la zona de ensamblaje. Las balizas de control se encontraban una a cada lado del pasillo, encargándose cada una de controlar el flujo en el pasillo central tanto en un lado como en el otro.

Proceso de modificación

En este punto se va a analizar la modificación del circuito desde el punto de vista de los cambios en la disposición del circuito. Inicialmente se parte de un circuito en el que la banda magnética está fijada a la superficie del suelo utilizando adhesivos y resinas. Desde el punto de vista del movimiento de cargas en el interior de la planta supone un inconveniente que el circuito se encuentre de dicha forma. Las zonas en las que está dispuesta la banda magnética provocan que existan resaltos que interfieren en procesos como el movimiento de contenedores o la circulación de carretillas. Es por esta razón, unida a una mejora en la apariencia visual, por la que se decide enterrar la banda magnética en el suelo.

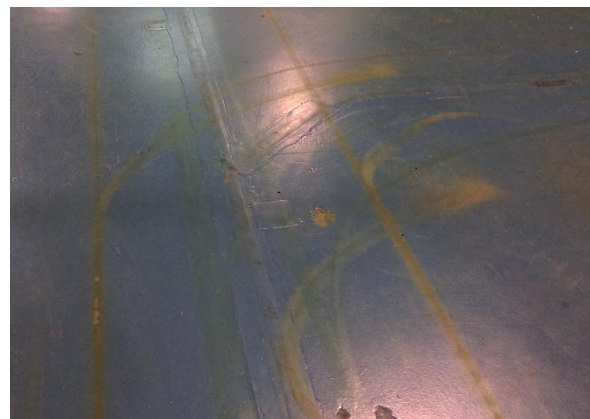


Imagen 35. Estado inicial anterior al proceso de modificación

En primer lugar, se lleva a cabo el levantamiento del circuito inicial. Para ello, será necesario tratar el suelo con calor para provocar que las resinas y adhesivos que fijaban la cinta magnética sean más vulnerables. Una vez se ha conseguido esto, se procederá a retirar la cinta magnética pegada al suelo original de la planta.

El siguiente paso será igualar el suelo en la zona en la que existía cinta con el suelo de la zona cercana. Al despegar la cinta, se generaron partes irregulares debido a que la cinta al ser retirada arrastró consigo parte del suelo.

Con el suelo ya igualado, el siguiente punto sería trazar en el suelo el recorrido que el AGV tendrá posteriormente. Este marcado servirá como guía para el paso siguiente.

Una vez se ha marcado el suelo, la siguiente etapa será fresar el suelo. Se trazará una ranura siguiendo la marca que se ha hecho en el paso anterior. Será un punto crítico del proceso conseguir que el ranurado sea continuo y sea lo más parecido posible al diseño trazado anteriormente. La ranura que se induce en el suelo será cercana a los 3 cm, lo suficientemente profunda para conseguir que la cinta quede enterrada. Además, se realizará el mismo proceso para conseguir enterrar los TAG.



Imagen 36. Proceso de fresado del suelo

Con el fresado ya realizado, habrá que conseguir retirar el polvo que se ha generado en el proceso para asegurar la correcta fijación posterior de la banda magnética.



Imagen 37. Fresado realizado en la parte en que irá colocada la cinta

Con el terreno ya fresado y limpio, el siguiente paso será fijar la banda magnética y los TAG al suelo. Para ello, se colocará la parte adhesivada sobre el suelo cubriendo la totalidad de la ranura que se ha trazado.



Imagen 38. Colocación de la cinta magnética

Una vez colocada la cinta, se verterá sobre el canal la resina que servirá como fijación final. Se irá echando en pasos cortos para evitar que se desborde y genere irregularidades en el terreno.



Imagen 39. Resinado de la parte fresada anteriormente

El siguiente paso será pulir el suelo, para conseguir que el suelo quede igualado entre la parte recientemente fresada y el resto. El proceso podría darse por concluido en este punto, pero por razones visuales se decidió realizar un nuevo pintado que reflejará las nuevas condiciones del circuito. En esta nueva apariencia, se encuentran diferenciados los puntos de recogida y de carga de los carros y además, los puntos en los que el AGV para por razones de batería baja.

Estado final

Visualmente, se ha observado en la descripción de la obra como la modificación ha conseguido que se obtenga un circuito de mayor funcionalidad y de menor impacto sobre la superficie de la planta. Pero esta modificación no ha generado solo una mejora estética, sino que es de vital importancia en la mejora del proceso productivo.

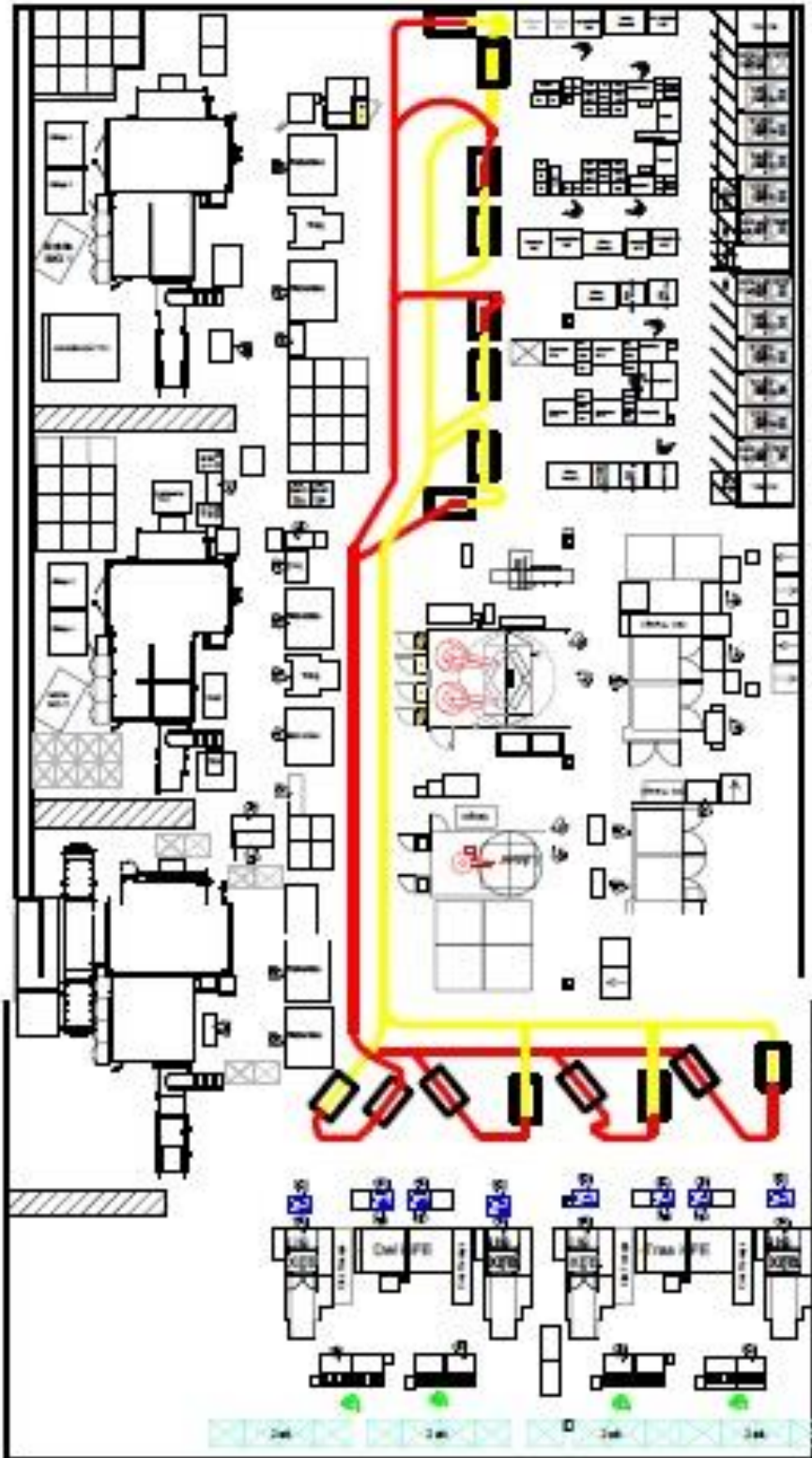


Imagen 40. Estado final del circuito

Como punto de partida para la comparación entre el estado inicial y el final, se buscan los puntos que tienen en común ambos circuitos. Tanto antes como después de la remodelación, el modelo de AGV que circula por todos los circuitos es el mismo. También, los contenedores que se trasladan a lo largo de la implantación son los mismos al comienzo y al final de la modificación efectuada. Además, se mantienen las balizas de maniobra que operaban al inicio de la modificación, ya que los puntos en los que se encuentran apenas han sufrido modificaciones.

A continuación, se detallan los diferentes puntos en los que se ha trabajado durante el proceso de mejora:

- Modificación en el pasillo central

Se trata de la modificación de mayor impacto para el proceso. En la instalación de partida se contaba con un pasillo central único tanto para la ida como para la vuelta de los AGV. Esto generaba que en multitud de ocasiones fuera uno solo de los AGV el que se encontraba en movimiento a lo largo de este pasillo central, mientras que los otros tres se encontraban a la espera de que este terminara su recorrido. Por esta razón se consideró necesario incluir un segundo carril en dicho pasillo, habilitando uno para la circulación en uno de los sentidos y el otro carril para el sentido contrario. De esta manera se ha conseguido que el tiempo de espera se vea muy reducido y, además, se ha posibilitado la circulación de varios AGV simultáneamente a lo largo del pasillo central.

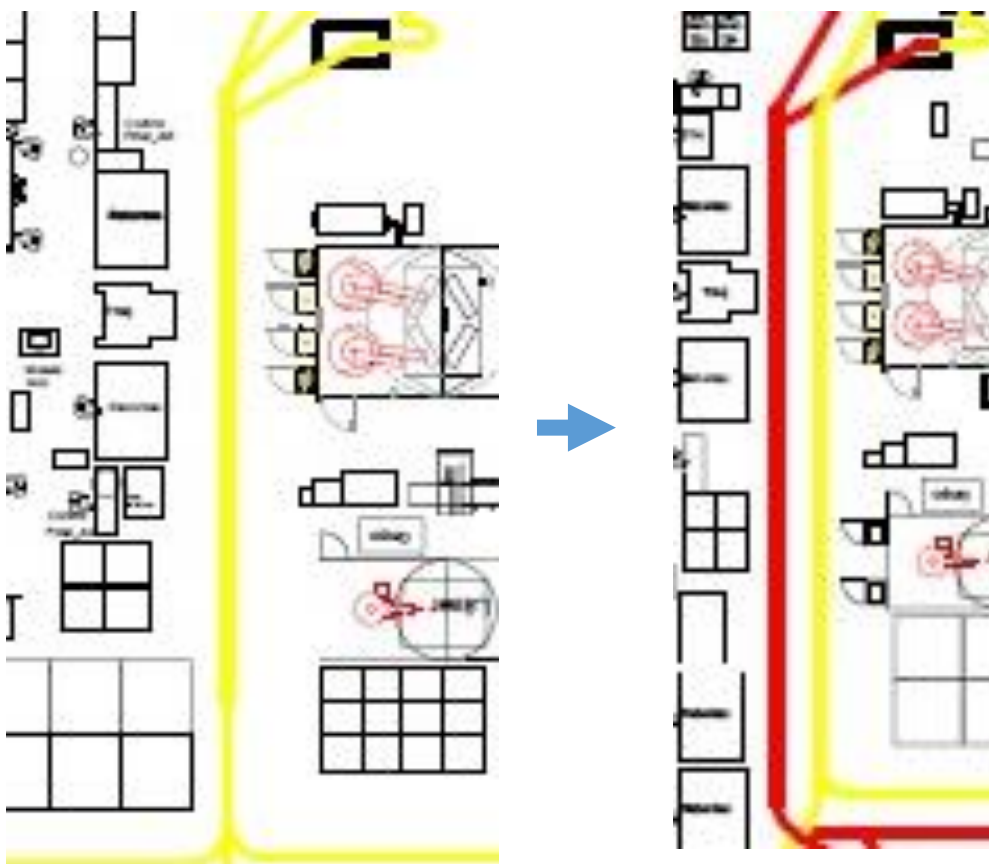


Imagen 41. Modificación del pasillo central de la instalación

- Modificación de la zona de ensamblaje y soldadura

La introducción de nuevos proyectos en la línea de fabricación ha obligado a comprimir la zona de ensamblaje, reduciendo notablemente su área dentro de la planta. No solo se han comprimido las distancias entre las máquinas de soldadura, sino que se ha visto disminuido el espacio disponible para que los AGV maniobren en sus paradas. Por esta razón, el layout ha quedado definido de la siguiente forma:

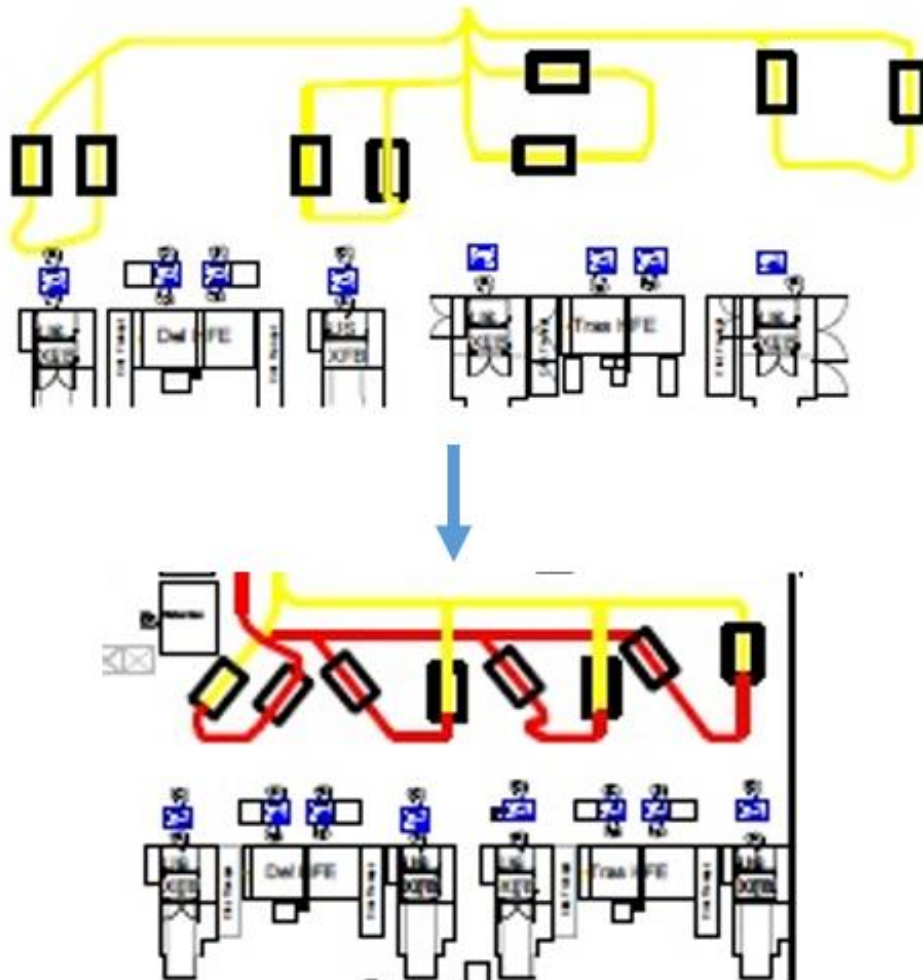


Imagen 42. Modificación de la zona de ensamblaje y soldadura

En la comparación se observa como las máquinas destinadas al proceso de soldadura se encuentran más próximas entre ellas que al principio. Además, se estrecha la zona de maniobra de los AGVs en sus paradas debido a la introducción en el sistema de un carril para la ida y otro para la vuelta. De esta forma, la modificación en el proceso, además de mejorar los tiempos y la continuidad en el recorrido, ha provocado que se comprima el espacio destinado a la línea estudiada, por lo que se ha ganado espacio en planta que podrá ser destinado para introducir nuevas líneas de producción.

- Introducción de nuevas balizas de control

Con la inclusión del segundo carril en el pasillo central han surgido nuevos cruces que deberán ser regulados a través de más balizas de control. Para solventar estos problemas, se han duplicado las balizas existentes y en la actualidad son cuatro las balizas de control que regulan el circuito. En este momento se cuenta con dos balizas que regulan la zona de ensamblaje y dos balizas que controlan la zona de aprovisionamiento. En las dos zonas, ambas balizas se reparten el control, distribuyendo su manejo de la circulación controlando una mitad de cada zona cada una.

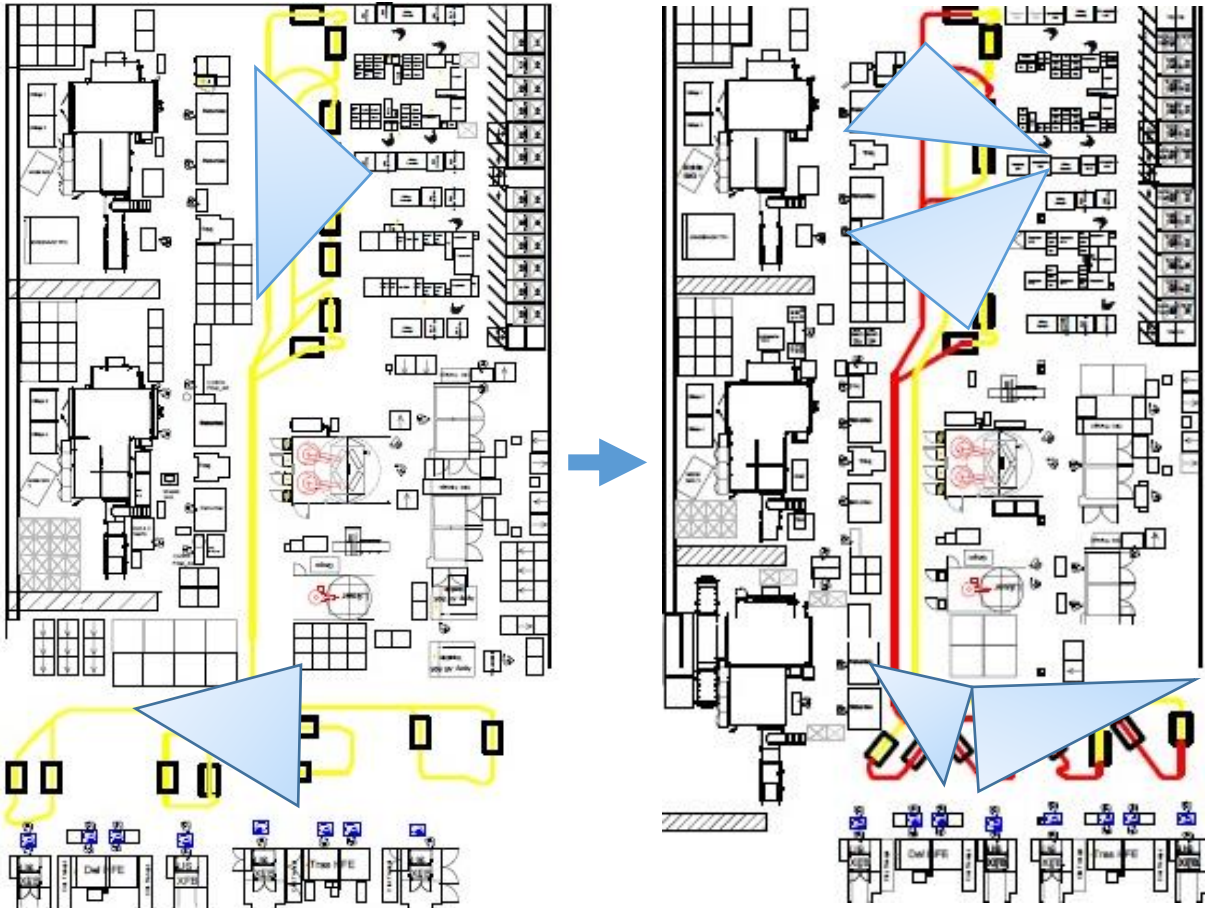


Imagen 43. Modificación de las balizas de control del circuito

Podría mejorarse el control si se contara con una baliza para cada cruce. El problema de desarrollar este control es su complejidad además de su elevado coste. Si se aumenta el número de balizas, también se aumenta el número de señales que emite y recibe cada AGV lo que podría llegar a provocar problemas de interferencias entre dichas señales.

- Delimitación de zonas de parada de carga y descarga y de parada por batería

Con el fin de mejorar la apariencia visual del circuito, y para facilitar la labor de los operarios encargados de situar los carros en los puntos de recogida del AGV se han delimitado las zonas en las que paran los carros para la carga y descarga. De esta manera, en la actualidad se encuentran perfectamente diferenciado dichos puntos, encontrándose en el suelo unos rectángulos de color amarillo que delimitan el contorno del carro en cada una de sus paradas del circuito.

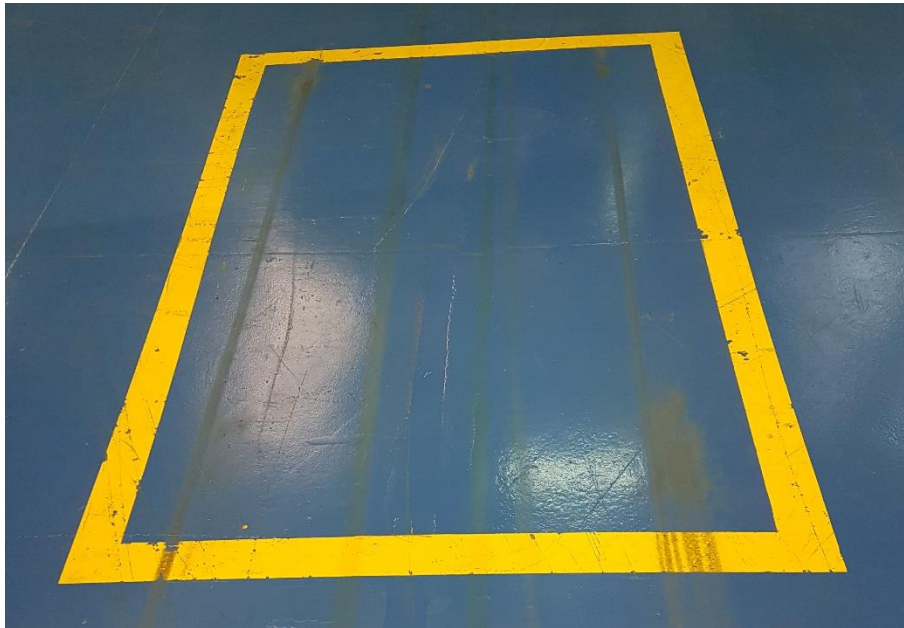


Imagen 44. Zona de parada del nuevo circuito

Con la remodelación del circuito y aprovechando la adecuación visual del circuito se ha delimitado la zona en que AGV para con el fin de que se sustituya la batería cuando ésta se encuentre por debajo de un determinado porcentaje. Se han pintado en el suelo unos rectángulos rojos que delimitan el contorno del AGV. De esta forma se consigue facilitar la labor de los operarios encargados del cambio de baterías, ya que visualmente será más fácil para ellos conocer cuando un AGV necesita que su batería sea sustituida.



Imagen 45. Zona de parada por batería del nuevo circuito

4. RESULTADOS

Los resultados que se obtienen tras la modificación del circuito pueden ser evaluados a través de diferentes parámetros. Se busca valorar la modificación en base a valores objetivos susceptibles de poder ser comparados antes y después. Para analizar la mejora obtenida se va a llevar a cabo una comparación entre los valores que se obtenían antes de modificar el circuito, y los mismos valores obtenidos después de la mejora. Los campos en que va a evaluarse la obra serán el tiempo en que el AGV recorre el circuito y la producción obtenida para cada caso. Además, se incluirá un estudio que abarcará los diferentes aspectos económicos que han influido en la modificación.

Estudio de tiempo

El análisis de los factores temporales asociados al circuito se realiza de manera sencilla en la propia línea de trabajo, o de manera más exacta a través del control mediante el software asociado al circuito. El resultado no varía de manera sustancial al utilizar uno u otro método. Por exactitud, se ha elegido el método que involucra al software y para estandarizar los tiempos, se ha decidido realizar la media a los valores tomados durante diez días para cinco ciclos no consecutivos.

El resultado que se obtuvo para los tiempos anteriores a la modificación del circuito fueron:

Tabla 9. Tiempos empleados en recorrer el circuito antes de la modificación

Número de circuito	Tiempo anterior a la modificación
1	9' 41''
2	11' 25''
3	12' 40''
4	10' 36''

El resultado obtenido después de desarrollar la obra fue:

Tabla 10. Tiempos empleados en recorrer el circuito después de la modificación

Número de circuito	Tiempo posterior a la modificación
1	5' 27''
2	5' 41''
3	6' 01''
4	5' 53''

Por tanto, a través de estos valores se puede realizar la comparación y conocer en cuanto tiempo y en qué porcentaje se ha logrado disminuir el tiempo empleado en cada uno de los circuitos.

Tabla 11. Diferencias de tiempos entre antes y después de la modificación

Número de circuito	Diferencia de tiempo	Porcentaje de disminución
1	4' 14''	43.72 %
2	5' 44''	50.22 %
3	6' 39''	52.5 %
4	4' 43''	44.5 %

Estudio de producción

La comparación de la producción da una idea de cómo de interesante ha sido la ejecución del proyecto en términos de rendimiento para la empresa. Se parte de un proceso en el cual parte del trabajo se realizaba por parte de los AGVs instalados y parte era realizado por operarios. La función de los operarios era cubrir las necesidades que con el circuito no se conseguía, y conseguir que la línea de producción no sufriera parones.

En este punto, tan solo se va a evaluar cómo ha fluctuado la producción antes y después de realizarse la modificación, sin tener en cuenta cómo ni quien realizaba los transportes del material anteriormente. Por tanto, tan solo va a compararse el número de piezas que se obtenían en cada hora anteriormente, con el número de piezas que se obtiene en la actualidad en el mismo periodo de tiempo.

Piezas por hora antes de la modificación: 288 piezas

Piezas por hora después de la modificación: 292 piezas

A partir de los valores que se han mostrado anteriormente, puede conocerse el número de piezas que hay de diferencia en cada hora de trabajo.

Diferencia de piezas por hora: 4 piezas

Para poder tener una idea más global del impacto que ha supuesto la modificación del circuito inicial, se puede detallar la diferencia de piezas en periodos de tiempo más grandes. El hecho de analizar periodos de mayor longitud se debe a que, a la larga, serán estos valores los que definan si la ejecución del proyecto es rentable o no, y en caso de serlo, en cuanto tiempo podría amortizarse la inversión realizada.

Diferencia de piezas por turno: 32 piezas

Diferencia de piezas por día (2 turnos): 64 piezas

Diferencia de piezas por mes (20 días): 1280 piezas

Diferencia de piezas por año (220 días): 14080 piezas

Análisis económico

El análisis del plano económico es, quizás, el más complejo de los realizados a lo largo del presente estudio. Dentro de este campo se busca comparar no solo las mejoras obtenidas respecto a la producción diaria, sino también considerar como ha afectado el cambio a la plantilla de trabajadores, evaluar la inversión que se ha efectuado en dicha obra y el tiempo ideal en que se amortizaría tal inversión.

El primer punto para efectuar la comparación entre el proceso anterior y posterior a la modificación será realizar la traducción a términos económicos de la mejora que se ha reflejado en la producción. A efectos de poder llevar a cabo un análisis más global se evaluará la producción de manera mensual. De este modo, y como se indicó anteriormente en el estudio de producción, la mejora en producción mensual sería:

Coste unitario de cada pieza vendida: 3,48 €

Mejora mensual en producción: 4454,40 €

La modificación del circuito permitió además que uno de los trabajadores encargado de suplir el déficit de los AGV pudiera ser reubicado en otro proceso. Por tanto, se considera que el nuevo circuito implica que una persona menos esté asociada a la línea que se está estudiando en este proyecto. En base a esta consideración, se puede analizar el ahorro en personal que ha supuesto la modificación del circuito:

Ahorro mensual en personal: 1158,74 €

En el extremo contrario a los ahorros y mejoras considerados, se encuentra la inversión que se ha necesitado efectuar para la realización de la mejora. La obra de mejora del circuito ha implicado el siguiente coste:

Inversión total: 26275 €

Por tanto, partiendo de los datos anteriormente reflejados se puede evaluar en cuantos meses se habrá rentabilizado la inversión realizada. Para ello, en primer lugar se va a anotar el valor de la mejora del proceso en euros que ha traído la modificación del circuito.

Valor mensual de mejora del proceso

= Mejora mensual en producción + Ahorro mensual en personal

= 5613,40 €

A partir de este valor se puede calcular en cuantos meses se igualaría la inversión que ha sido necesaria realizar.

$$\text{Meses necesarios} = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Valor mensual de mejora}} = \frac{26275}{5613,40} = 4,68 \text{ meses} \approx 5 \text{ meses}$$

En este caso, se está trabajando con las hipótesis de que el proceso transcurre de forma ideal y en él la producción siempre es contante y máxima, no hay fallos en el proceso productivo y además no van a ser necesarias inversiones suplementarias por posibles averías.

5. CONCLUSIONES

5.1. Resumen de resultados

Partiendo de los resultados descritos en el apartado anterior, se va a detallar las conclusiones que se extraen de cada uno de ellos. De nuevo, el estudio de los resultados va a dividirse en los tres apartados anteriores, para, de esta manera, dar una visión más global de la repercusión que tiene la modificación efectuada.

Estudio de tiempo

El ahorro de tiempo en el proceso de debe a las condiciones de diseño del nuevo circuito. Inicialmente, se parte de un circuito en el cual solo existía un carril central para la ida y la vuelta, lo que suponía que si uno de los AGV estaba ocupando dicho carril, los demás tendrían impedido su tránsito por él hasta que dicho vehículo lo liberara, lo que generaba grandes tiempos de espera y provocaba que existiera la necesidad de aportar un operario al proceso para que no hubiera paradas en la producción. La introducción del doble carril central ha generado no solo que puedan producirse movimientos de AGVs en los dos sentidos simultáneamente, sino que además pueden ser varios los AGVs que estén circulando al mismo tiempo por el carril central en el mismo sentido. Esto es debido a la nueva configuración de los cruces que se ha realizado en la instalación, la cual permite que estas acciones puedan producirse.

Por tanto, basándose en los números obtenidos en el apartado de resultados, se observa como se ha disminuido el tiempo necesario para que todos los AGVs recorran la totalidad del circuito. Se ha obtenido de media un 47.74 % de ahorro de tiempo, lo que refleja que el tiempo empleado por cada AGV para llevar a cabo una vuelta completa se ha reducido en prácticamente la mitad de tiempo. Posiblemente, este sea el resultado que mejor indica la trascendencia que tiene la modificación para el ciclo productivo involucrado, ya que la reducción en el tiempo de ciclo es notable.

Además, la mejora no se refleja únicamente en la citada disminución de tiempos, sino que también se valora en aspectos como son la continuidad de tiempo de los recorridos y la estabilidad de la media de tiempo que el AGV tarda en recorrer la instalación. Antes de que se efectuara la modificación existían varianzas muy grandes en el tiempo medio empleado por cada AGV para recorrer el circuito. La necesidad de tener que esperar para transitar el carril central provocaba que en ocasiones existieran diferencias mayores a los cinco minutos entre dos ciclos consecutivos. Después de la modificación, estos problemas han desaparecido, ya que se ha conseguido que la varianza entre vueltas sea mucho menor, debido a que se han visto reducidos enormemente los tiempos de espera en los cruces del circuito. Así, el ciclo productivo se ha vuelto más constante y no presenta periodos de inactividad como existían anteriormente, lo que genera una distribución del trabajo uniforme a lo largo de todo el tiempo en que la línea está produciendo.

Estudio de producción

Se ha demostrado como la modificación de la línea ha provocado que se mejoren los datos de producción, superando incluso a la suma del trabajo que aportaban los AGVs anteriormente junto al operario encargado de mover los carros. La mejoría en este aspecto está ligada también a la mejora económica, ya que el aumento en el número de piezas que se producen diariamente provoca que también crezcan los beneficios que se obtienen a partir del proceso estudiado.

La producción tras el proceso de mejora se ha vuelto regular y el flujo de material es ahora continuo a lo largo de la línea. Con la introducción del doble carril, separando la ida y la vuelta de los carros, se ha conseguido que el flujo de vehículos a lo largo del circuito se estabilice y sea regular durante todo el tiempo que dura la producción. Este hecho genera que no haya paradas en la línea ni momentos de saturación, ya que el tiempo de ciclo se adapta a la perfección al tiempo necesario por los AGVs para recorrer el circuito.

La mejora total se encuentra cercana a un 1.5% respecto a la producción que se conseguía antes del proceso de modificación. A pesar de que parezca que dicha mejora no es demasiado elevada, a nivel de producción ha supuesto un avance enorme en la línea. Se ha conseguido evitar que haya que añadir mano de obra auxiliar al proceso, lo que es un paso enorme para la automatización total de dicha línea.

Análisis económico

Tras la modificación se ha demostrado que la repercusión en el plano económico es muy notable, tanto en el plano del ahorro mensual en personal, como en el ámbito ligado a la mejora en producción.

El aumento del número de piezas fabricadas a la hora, y por tanto, al turno y al día, provoca que se aumente el beneficio obtenido en los mismos intervalos de tiempo. De esta manera, la mejora mensual teniendo en cuenta el crecimiento de la producción se sitúa por encima de los 5500 euros, una cantidad ligada al crecimiento del 1.5% en la producción que se detalló en el apartado anterior.

La mejora de la línea también trajo consigo la reubicación del operario encargado de cubrir el déficit del transporte de carros generado por el circuito antes de la modificación. Así, puede considerarse que el proceso de mejora del circuito ha provocado que el coste relacionado con la actividad de dicho operario no sea imputado ahora en relación al proceso productivo que se ha estudiado.

Con estas premisas, y teniendo en cuenta el coste que ha supuesto la realización de la obra de mejora, se ha llegado a la conclusión que la recuperación del capital invertido se recuperaría en un periodo de tiempo cercano a los cinco meses. Este dato se toma siempre que la producción se encuentre dentro de los términos normales y no se produzcan desviaciones negativas notables.

Se puede concluir con que el tiempo de recuperación es corto para la envergadura de la obra que se ha desarrollado. Los beneficios aportados al proceso tras la modificación son notables en los tres campos estudiados. Además, se ha conseguido un gran avance en la búsqueda de la automatización del proceso productivo y de la seguridad y la ergonomía de los trabajadores implicados en la línea de fabricación estudiada.

5.2. Trabajos futuros

En base a los satisfactorios resultados que se han obtenido en la modificación del circuito que ya se encontraba instalado, el siguiente paso planificado será la implantación de una nueva línea de AGV que unirá varios puntos de la fábrica, consiguiendo así beneficios similares a los obtenidos en la línea anteriormente desarrollada. De nuevo, se buscará automatizar procesos de movimiento de cargas internas y evitar así que haya que realizarlos de forma manual o mediante carretillas elevadoras.

En este caso, la labor será de mayor complejidad, ya que los carros que a lo largo del proceso se moverán serán de distintos tipos. Además, la distancia que cubrirá esta nueva instalación será mayor, si bien, también de mayor sencillez en su trazado. Pero la principal dificultad que presentará este nuevo circuito será la posibilidad de elegir el destino del AGV entre varias paradas a través de un panel de selección junto a la baliza de maniobra.

El estudio realizado para la implantación futura sigue el mismo guion que el detallado anteriormente.

- AGV

El primer punto a tratar dentro del planteamiento de los AGVs que recorrerán el futuro circuito será delimitar el número de vehículos que habrá que instalar para que la demanda quede perfectamente cumplida. El estudio de tiempos, la experiencia previa y la cadencia en la producción de las líneas que intervienen en el proceso establecen que con dos AGVs recorriendo el circuito podrían cumplirse sin problema la demanda de todos los procesos involucrados.

El modelo de AGV que se instalará en el nuevo circuito será un modelo más reciente y sofisticado que los que ya circulan en la instalación implantada en la actualidad y han sido descritos en profundidad durante los apartados anteriores. Las funciones que deberá cumplir el AGV para optimizar su funcionamiento provocan que la elección del modelo quede entre los dos modelos siguientes:



Imagen 46. Posibles AGVs del nuevo circuito. AGV bidireccional (izquierda) y AGV de tipo traspalé filoguiado (derecha)

En las últimas fechas se ha tomado la decisión de utilizar para el circuito previsto el segundo de los AGVs que se visualizan en la imagen anteriormente mostrada. Las razones de su elección radican en el amplio número de maniobras que pueden desempeñar y en su versatilidad para adaptarse a los diferentes contenedores que se moverán durante el proceso. Basándose en las diferentes clasificaciones que se establecieron al inicio del trabajo, se puede determinar que el vehículo por el que se ha optado se enmarca dentro de las siguientes características:

- Sistema de control complejo
- Sistema de guiado inductivo
- Vehículos con dos ruedas traseras de tracción y dos ruedas delanteras de dirección
- Carretilla para pallets filoguiada
- Vehículos de un solo sentido de circulación
- Programación centralizada

Como puede observarse, se trata de un vehículo con características muy parecidas a las que mostraban los AGVs implicados en el circuito estudiado anteriormente. La diferencia más notable se encuentra en que en el proceso anterior se contaba con un vehículo de remolque de cargas puntuales, mientras que en este caso será necesario mover las cargas mediante una carretilla para pallets filoguiadas. La experiencia previa ha certificado que el funcionamiento de circuitos de este tipo es óptimo para las condiciones en que se desea que se desarrolle el movimiento de cargas.

Como ocurría antes de la modificación en el proceso anterior, el circuito cuenta con un carril único. La razón de no instalar dos carriles inicialmente, y evitar así la posible modificación posterior, radica en la falta de espacio para poder ser realizados. El hecho de contar con dos carriles que diferencien la ida de la vuelta, provoca que se duplique el espacio necesario para implantar el circuito. Esta condición genera también que el coste de la instalación sea mayor, ya que el gasto en cinta magnética de guiado se multiplica por dos, al igual que el número de TAGs que se utilizarían en ese caso. Además, la previsión de producción y los estudios de tiempos que se han efectuado en la línea que se desea automatizar coinciden en indicar que un solo carril será capaz de abastecer sin ningún tipo de problema la línea en su totalidad sin que haya paradas ni tiempos de espera.

- Carros utilizados

Como se ha indicado anteriormente, uno de los puntos más delicados y críticos de la instalación que se está proyectando es la diversidad de carros a mover dentro del proceso. A lo largo del circuito se van a mover carros con las siguientes morfologías:



Imagen 47. Carros a mover en el nuevo circuito

La dificultad de encontrar un AGV que posea un PIN con una versatilidad tan grande que permita adaptarse a carros con tanta diversidad de morfología han llevado a la búsqueda de una solución alternativa capaz de resolver esta problemática. Se han planteado soluciones muy diferentes, desde un agarre de los carros utilizando un gancho hasta procesos que incluían la utilización de determinadas propiedades magnéticas. Sin embargo, finalmente la solución por la que se ha optado es una solución más simple, y también más económica, que cumple las funciones previstas a la perfección. Como se ha explicado anteriormente en el análisis del AGV que se va a utilizar, se trata de acoplar al AGV un mecanismo de traspalé capaz de introducirse en la parte inferior de todos los carros utilizados y de esta manera acoplarlos al vehículo.

- Circuito

En este caso, se ha planteado un circuito de AGVs que conecte varias zonas de la planta con el fin de mover mercancías entre diferentes partes del mismo proceso productivo de un proyecto específico. Anteriormente, estos movimientos se realizaban con la ayuda de carretillas y mediante el movimiento por parte de algunos operarios. De esta manera, lo que se busca es automatizar el movimiento de las cargas y provocar que se realicen dichos proceso de manera regular.

El circuito que se ha planteado cuenta con cuatro paradas repartidas a lo largo de una gran superficie de la planta. La superficie ocupada y la disposición de las paradas en las líneas de fabricación es la que se muestra en el siguiente plano:

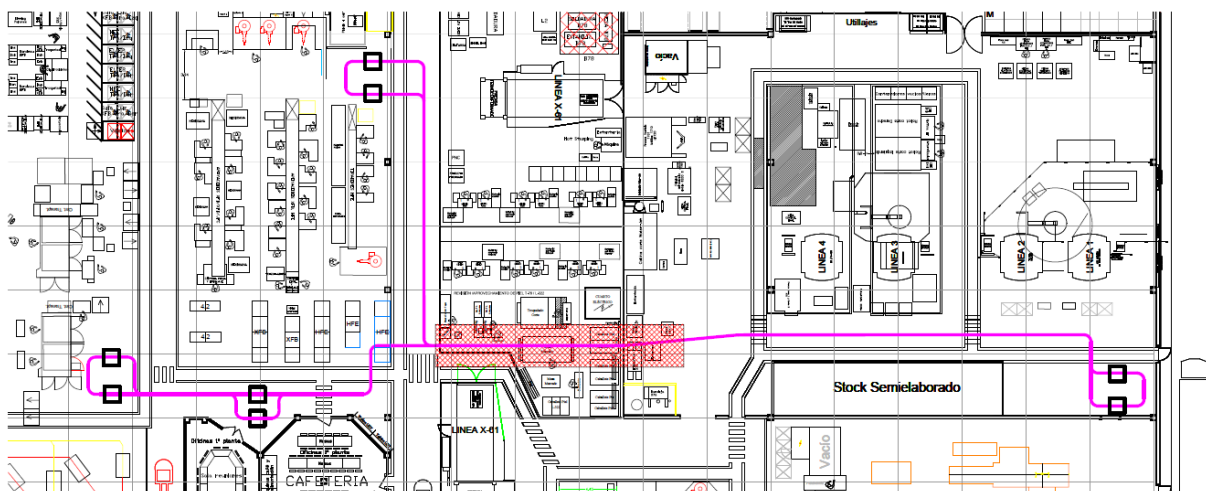


Imagen 48. Plano del nuevo circuito

Se puede observar como el circuito es más simple que el ya instalado en cuanto a las maniobras se refiere. Así, también el número de cruces es menor y su dificultad de programación también es más baja, ya que hay menos vehículos implicados en estas maniobras y también menos salidas que los AGVs puedan tomar en cada uno de estos nudos del circuito.

En cambio, la superficie ocupada es mayor, ya que las líneas conectadas se encuentran a una distancia más grande que en el caso ya estudiado. Puede verse como el circuito diseñado presenta maniobras más sencillas y un mayor número de zonas de circulación sin modificación de la trayectoria. El hecho de que el circuito tenga dichas características provoca que en la mayor parte del recorrido el vehículo podrá actuar a su máxima velocidad de desplazamiento (40 m/min). De esta forma, se va a conseguir que el tiempo empleado en recorrer la instalación sea el menor posible.

Las balizas utilizadas en este caso serán de nuevo de los mismos tipos descritos en el circuito anterior. De nuevo, como se detallaba anteriormente, se contará con balizas destinadas al control de los cruces y balizas destinadas a la interacción de los operarios con los vehículos en los puntos de parada y de carga. Las balizas destinadas al control de los cruces tendrán las mismas características que poseían anteriormente, ya que los cruces en este caso van a ser más simples que en el estudio anterior. Sin embargo, las balizas encargadas de dar salida a los AGVs en sus paradas serán más completas, ya que además de inducir la señal que provocará que los AGVs reanuden la marcha, contarán con la posibilidad de elegir el destino que se quiere dar a ese vehículo. De esta manera, se conseguirá un sistema en el cual en cada una de las paradas se podrá elegir el destino de la carga que el AGV va a transportar.

Al igual que en el caso estudiado, el mecanismo de funcionamiento del circuito será una banda magnética que servirá para guiar los vehículos y unos TAGs configurados con las instrucciones que el AGV deberá seguir en su recorrido por el circuito. En esta caso, además de TAGs como los codificados anteriormente, existirán algunos encargados de adaptar la anchura o la altura de las pinzas del traspalé para así asegurar que el movimiento de los carros se realiza de la manera más correcta posible.

La razón de implantar el nuevo circuito se dirige a la búsqueda de la empresa de automatizar en su gran mayoría las líneas de producción. Más concretamente, uno de los objetivos de la dirección a medio plazo es la automatización de los procesos que implican los movimientos de carga, ya sean las cargas que se están moviendo mediante la mano de obra de operarios como las cargas que se están moviendo mediante carretillas convencionales. Conseguir la automatización en estos procesos supondría un avance en la regularización y estabilización de los procesos productivos, generando así procesos que no varían a lo largo del tiempo por desvíos en los flujos de material. Es esta la principal razón en la que se basa la futura instalación de AGVs que se está proyectando.

6. REFERENCIAS

- [1] Schulze L, Zhao L. Worldwide development and application of automated guided vehicle systems. *International Journal of Services Operations and Informatics*. 2007; 2(2): 164-176.
- [2] Vis IFA, Harika I. Comparison of vehicle types at an automated container terminal. *OR Spectrum*. 2004; 26(1): 117-143.
- [3] Evers JJM, Koppers SAJ. Automated guided vehicle traffic control at a container terminal. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 1996; 30(1): 21-34.
- [4] Le Anh T, De Koster MBM. A review of design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*. 2006; 171(1): 1-23.
- [5] Farling BE, Mosier CT, Mahmoodi F. Analysis of automated guided vehicle configurations in flexible manufacturing systems. *International Journal of Production Research*. 2001; 39(18): 4239-4260.
- [6] Martínez-Barberá H, Herrero-Pérez D. Autonomous navigation of an automated guided vehicle in industrial environments. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2010; 26(4): 296-311.
- [7] Kelly A, Nagy B, Stager D, Unnikrishnan R. Field and service applications – An infrastructure-free automated guided vehicle based on computer vision – An Effort to Make an Industrial Robot Vehicle that can operate without Supporting Infrastructure. *IEEE Robotics & Automation Magazine*. 2007; 14(3): 24-34.
- [8] Aized T. Modelling and performance maximization of an integrated automated guided vehicle system using coloured Petri net and response surface methods. *Computers & Industrial Engineering*. 2009; 57(3): 822-831.
- [9] Hsueh CF. A simulation study of a bi-directional load-exchangeable automated guided vehicle system. *Computers & Industrial Engineering*. 2010; 58(4): 594-601.
- [10] Um I, Cheon H, Lee H. The simulation design and analysis of a Flexible Manufacturing System with Automated Guided Vehicle System. *Journal of Manufacturing Systems*. 2009; 28(4): 115-122.

7. LISTA DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

7.1. Lista de ilustraciones

Tabla 12. Lista de ilustraciones

Número	Descripción	Página
1	Planta de Grupo Antolín RyA situada en el Polígono de San Cristóbal (Valladolid)	6
2	Esquema de funcionamiento de un AGV de guiado inductivo	11
3	Ejemplo de AGVs de guiado óptico	12
4	Esquema de funcionamiento de un AGV de guiado láser	13
5	Esquema de un vehículo de tres ruedas	14
6	Esquema de un vehículo de cuatro ruedas directrices y dos de tracción	14
7	Esquema de un vehículo de dos ruedas de tracción traseras y dos ruedas de dirección delanteras	15
8	Esquema de un vehículo de dos ruedas laterales de tracción y cuatro directrices	15
9	Esquema de un tren sin conductor	16
10	Dibujo explicativo del sistema de cruces en un circuito de AGVs	18
11	Características geométricas de los AGVs involucrados en el circuito estudiado	25
12	Panel frontal de control de un AGV	25
13	Módulo lector	26
14	Ejemplo de TAG colocado en el circuito	27
15	Bloque electrónico principal	28
16	Carta electrónica principal	30
17	Motor de corriente continua tipo Brushless	31
18	Carta PID integrada	32
19	Módulo VSystems	33
20	Escáner láser de seguridad	34
21	Área de aviso y parada en campo de aproximación	35
22	Área de aviso y parada en campo de cruce	35
23	Área de aviso y parada en campo de giro a la derecha	36
24	Área de aviso y parada en campo de giro a la izquierda	36
25	Esquema del pin de arrastre	37

26	Carros transportados en el proceso	38
27	Circuitos recorridos por cada uno de los AGVs	39
28	Baliza de control	40
29	Baliza de maniobra	40
30	Estado inicial del circuito	42
31	Esquema del circuito 1	44
32	Esquema del circuito 2	46
33	Esquema del circuito 3	48
34	Esquema del circuito 4	50
35	Estado inicial anterior al proceso de modificación	51
36	Proceso de fresado del suelo	52
37	Fresado realizado en la parte en que irá colocada la cinta	52
38	Colocación de la cinta magnética	53
39	Resinado de la parte fresada anteriormente	53
40	Estado final del circuito	54
41	Modificación del pasillo central de la instalación	55
42	Modificación de la zona de ensamblaje y soldadura	56
43	Modificación de las balizas de control del circuito	57
44	Zona de parada del nuevo circuito	58
45	Zona de parada por batería del nuevo circuito	58
46	Posibles AGVs del nuevo circuito. AGV bidireccional (izquierda) y AGV de tipo traspalé filoguiado (derecha)	67
47	Carros a mover en el nuevo circuito	69
48	Plano del nuevo circuito	70

7.2. Lista de tablas

Tabla 13. Lista de tablas

Número	Descripción	Página
1	Movimientos comunes de los AGVs	19
2	Movimientos específicos de algunos tipos de AGVs	20
3	Características generales de los AGVs involucrados en la línea estudiada	24
4	Descripción de los componentes presentes en el panel frontal de control	26
5	Descripción de los TAGs presentes en el circuito 1	43
6	Descripción de los TAGs presentes en el circuito 2	45
7	Descripción de los TAGs presentes en el circuito 3	47
8	Descripción de los TAGs presentes en el circuito 4	49
9	Tiempos empleados en recorrer el circuito antes de la modificación	61
10	Tiempos empleados en recorrer el circuito después de la modificación	61
11	Diferencias de tiempos entre antes y después de la modificación	62
12	Lista de ilustraciones	75
13	Lista de tablas	77