

Resumen

En este proyecto se mejorará y modernizará el sistema de compra normal de un supermercado o un hipermercado. Para ello, se estudiarán diferentes alternativas de cobro con el objetivo de disminuir las colas que surgen en los puntos de venta. Se explicará el funcionamiento general de los sistemas de cobro y modelos de supermercado que existen actualmente y por otra parte se explicará el funcionamiento general del supermercado mejorado y modernizado profundizando en el estudio de las piezas mecánicas.

La mejora propuesta para el supermercado moderno, consiste básicamente en un carrito con una pantalla que dinamiza la compra y sensores de peso que comprueban la legitimidad de las compras dificultando el hurto.

En este modelo de supermercado, los clientes escanearán los productos que vayan comprando con un lector de códigos de barras o con su propio *smartphone* y los irán dejando dentro del carrito. Éste, de manera inteligente, realizará comprobaciones del peso que se ha introducido para evitar los hurtos. En este proyecto también se analizan y diseñan todos los componentes y sistemas mecánicos que necesitará este carrito y la distribución de los mismos, previendo los posibles problemas que puedan surgir a la hora de instalarlos o durante el funcionamiento.

Sumario

RESUMEN	1
SUMARIO	3
1. PREFACIO	5
2. INTRODUCCIÓN	7
2.1. Objetivos del proyecto.....	7
2.2. Alcance del proyecto.....	8
3. GENERACIÓN DE CONCEPTOS	9
3.1. Estado del arte	9
3.2. Generación de conceptos de posibles soluciones	16
3.3. Elección de la solución.....	20
4. DISEÑO DETALLADO	26
4.1. Esquema funcional.....	26
4.2. Elección del sensor de peso	28
4.2.1. Parámetros básicos de una célula.....	29
4.2.2. Estudio de la precisión.....	34
4.2.3. Determinación del emplazamiento de las células en el carrito	37
4.3. Diseño de la doble cesta.....	40
4.4. Análisis del apilamiento.....	40
4.5. Elección de materiales	48
4.5.1. Carros metálicos	48
4.5.2. Carros de plástico	49
4.5.3. Elección del material.....	50
4.6. Distribución y diseño de los componentes	52
4.6.1. Unión entre cestas	54
4.6.2. Soportes para las células.....	58
4.6.3. Pantalla y soporte	60
4.6.4. Armadura externa	61
4.6.5. Ruedas	63
4.6.6. Mango.....	64
4.6.7. Compuerta.....	65
4.7. Simulación del proceso de carga del carrito	66
4.8. Características finales.....	73

5. PRESUPUESTO	74
6. PLANIFICACIÓN	77
7. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL	79
CONCLUSIONES	81
BIBLIOGRAFIA	83
Referencias bibliográficas	83
ANEXOS	85

1. Prefacio

El proyecto se origina en respuesta a una serie de problemas que existen en el actual mundo de las grandes superficies. Dos de las muchas preocupaciones que existen son las grandes colas que se crean en el terminal de punto de venta, y los hurtos.

La formación de largas colas puede ser un problema para cualquier establecimiento de venta ya sea en el sector textil, alimentario o cualquier otro sector. La formación de colas puede provocar la disminución de las ventas y además genera rechazo y descontento por parte del cliente, por tanto es necesario llevar una buena gestión de las colas y estudiar diferentes maneras de reducirlas.

En la actualidad hay implantados dos sistemas diferentes de colas para el cobro en caja, el primero es una cola por cada caja, y el segundo sistema consiste en hacer una cola única a partir de la cual se atiende por orden de llegada pasando a la caja que esté libre en ese momento. La teoría de colas matemáticas demuestra que el número de clientes atendidos por minuto es el mismo en los dos métodos pero también demuestra que desde el punto de vista del cliente el método de cola única es más eficiente ya que baja el tiempo de espera medio. Aún así, se ha de tener en cuenta el efecto psicológico que provoca en el cliente el hecho de ver una cola muy larga delante de él.

Se ha intentado dar solución a los problemas de las colas implantando sistemas de autoservicio como la auto-caja del Carrefour y del IKEA. Pero estos sistemas añaden numerosos problemas, entre ellos:

1. Los usuarios han de conocer el sistema y saber usarlo,
2. La máquina se puede quedar sin efectivo,
3. Aumenta la posibilidad de hurto y disminuye el control de la venta de alcohol a menores.

Aún así estos sistemas no evitan la formación de colas y no han tenido mucha aceptación. En 2010, estudios de mercado citados por el *Food Marketing Institute* descubrieron que solo el 16% de las transacciones en los supermercados con cajeros automáticos, se hicieron en las cajas de autocobro.

Este proyecto tiene como objetivo mejorar y modernizar el sistema de cobro actual mediante la innovación y el aprovechamiento de nuevas tecnologías como los *Smartphone*, la comunicación inalámbrica y los microcontroladores. Además un sector tan importante como es el alimenticio, en el que se ha automatizado gran parte de la cadena de producción y suministro, el sistema de cobro utilizando las cajeras queda anticuado y esta tarea se puede delegar a las máquinas.

Esta modernización conllevaría a una reducción de la pérdida desconocida, que es la diferencia contable entre un stock teórico y un stock físico. Ésta puede ser debida a dos factores: el hurto externo y errores administrativos. El coste anual que provocan estas pérdidas en el sector del gran consumo es de más de 1700 millones de euros en España que equivaldría al 1% de la facturación de las empresas españolas de distribución.

2. Introducción

Este proyecto trata los temas mecánicos y constructivos del sistema de cobro automático, paralelamente a éste, se ha desarrollado otro proyecto de final de grado, llevado a cabo por Miquel Piris, en el que trata los temas relacionados con la electrónica del sistema de cobro. Para realizar este proyecto ha sido imprescindible la colaboración conjunta para que el sistema final tenga coherencia y dé unos buenos resultados.

2.1. Objetivos del proyecto

El objetivo principal del proyecto es diseñar un sistema de cobro automático e innovador para ofrecer una alternativa modernizada al sistema actual de cobro en los supermercados.

Los objetivos planteados en este proyecto son esencialmente cualitativos ya que las tecnologías necesarias para llevar a cabo el cobro automático se desconocen y no es posible establecer criterios numéricos en la fase del planteamiento de objetivos. Por ello, una gran parte de este proyecto está dedicada a la investigación de estas tecnologías.

A medida que se avance en el proyecto se irán justificando las elecciones y se irán planteando nuevos objetivos para llegar a unos resultados que finalmente sí serán cuantitativos.

Los requerimientos principales del sistema son los siguientes:

1. El sistema de cobro debe poder funcionar por sí mismo, con la intervención mínima posible del factor humano.
2. Debe ser lo más seguro posible, de manera que dificulte el hurto.
3. El sistema tiene que ser rápido, ya que la sociedad actual cada vez aprecia más el tiempo libre y todo aquello que permita ahorrar tiempo será más atractivo para el consumidor.
4. Debe ser fácil de usar, para que cualquier persona de cualquier edad pueda aceptar y usar el nuevo sistema.

5. Debe ser lo más robusto y fiable posible, es decir que el sistema tiene que tener pocas probabilidades de fallar y en caso de hacerlo, que las consecuencias no sean demasiado graves.
6. El sistema tiene que ser duradero y de fácil mantenimiento para que una vez adquirido por una cadena de supermercados no le suponga un esfuerzo adicional el cuidado del sistema.
7. Debe ser lo más barato posible. Aunque hay que tener en cuenta que la automatización suele suponer una gran inversión de capital.
8. Debe ser adaptable a cualquier supermercado y se debe conseguir una instalación, dentro del mismo lo más sencilla posible.

2.2. Alcance del proyecto

A continuación se enumeran las diferentes partes que se desarrollaran y que formarán parte del proyecto:

1. En este proyecto se realizará un estudio del estado del arte, es decir se estudiarán las diferentes alternativas a los sistemas de cobro tradicionales que existen actualmente. En este estudio, se analizarán todos los conceptos innovadores que puedan influir en las decisiones del diseño.
2. La solución desarrollada está completamente integrada con el trabajo de otro estudiante (Miquel Piris), que se ha encargado de diseñar todo el sistema electrónico relacionado con la identificación de productos y el cobro.
3. El desarrollo de este proyecto está destinado a la fabricación de un primer prototipo y por ello en este proyecto se incluye una explicación exhaustiva de los motivos por los cuales se ha elegido cada componente, el lugar que ocupa y la función que desempeña cada uno de ellos.
4. Como soporte al diseño, este proyecto incluye la creación de un CAD en el cual todos los componentes están integrados y se comprueba la factibilidad del sistema.
5. También se incluye una planificación del proceso de diseño, un presupuesto y un estudio del impacto ambiental.

3. Generación de conceptos

Antes de generar los conceptos e ideas para la solución al problema del cobro automático, se ha decidido realizar un estudio del estado del arte.

3.1. Estado del arte

A continuación se enumeran diferentes sistemas ya existentes de cobro, o modelos de supermercados diferentes e innovadores. Mediante la búsqueda de estos sistemas se pretende conocer la posible competencia e inspirar la solución para el sistema de cobro automático que se diseñará en este proyecto.

1. A Todas Horas

A Todas Horas es una franquicia dedicada a la remodelación de locales medianos o pequeños para que puedan funcionar totalmente automáticos sin necesidad de personal. Se basa en una serie de compartimentos robotizados que van dispensando los productos seleccionados por el cliente, que los va eligiendo a través de una pantalla táctil. Estos compartimentos se pueden ver en la figura 3.1.



Figura 3.1. Dispensador de productos de "a todas horas" [1].

Una vez acabada la compra, los productos salen por la bandeja de salida y el propio sistema facilita la cantidad de bolsas necesarias para el transporte de los mismos. La

inversión mínima es de 34.900 euros según la página oficial de la empresa [1] y se puede implantar en un local con un mínimo de 10 m².

Según la opinión de algunos empresarios que han invertido en esta tecnología, se ha podido observar que la rentabilidad de este negocio no es demasiado alta. Según la mayoría de los empresarios es prácticamente imposible llegar a amortizar la inversión inicial. La máquina tiene muchos fallos y bloqueos. Además, los productos delicados o susceptibles de romperse no se pueden añadir a los cajones. Esto significa que hay problemas de diseño en la máquina creada por esta franquicia de manera que se podría intentar mejorar el diseño o crear desde cero un sistema de cobro similar.

Hay muchas franquicias similares como Videocaixa, Gvisión y Technovideo en los sectores de ventas de DVD y videojuegos. Pero parte del problema de que la gente no compre tanto como se esperaría con este sistema es que el cliente no ve el producto hasta que no lo ha comprado y pagado. Así que es otro punto a mejorar del sistema, o en caso de diseñar otro distinto será necesario tener en cuenta que el cliente prefiere ver el producto.

2. Tesco "Home Plus"

La idea revolucionaria de esta empresa ha sido llevar los supermercados a las personas. En vez de tener un establecimiento o local en un sitio fijo, han llevado réplicas en formato papel de los estantes de un supermercado a otras partes, en la figura 3.2 se pueden ver las paredes de un lugar público forradas con estas réplicas. De esta manera, se pueden llevar los productos de manera virtual a cualquier lugar, como por ejemplo los pasillos de una parada de metro. Si algún producto llama la atención al cliente o éste lo desea adquirir, solamente tiene que escanearlo con una aplicación móvil gratuita y se añade a un carrito de compra virtual. Una vez acabado este carrito, se empaqueta el pedido y se envía directamente al domicilio del cliente a la hora deseada.

Esta idea es muy interesante y aunque pueda parecer que no tiene demasiado que ver con el sistema de cobro en un supermercado, el hecho es que sería interesante trasladar esta idea a un supermercado, al cual el cliente accede y ve los productos tal y como son en realidad (no en fotografía). Los empleados del establecimiento irían empaquetando su pedido que se le daría al cliente al final de la compra.



Esta empresa dispone de una página web desde la cual también se pueden comprar productos [2].



Figura 3.2. Estanterías con productos impresos en papel. [Imagen extraída de www.brainsins.com].

3. **RAPTOR System**

El *RAPTOR system* es un prototipo capaz de leer códigos de barras utilizando software de imagen y con capacidad visual de 360°. Utiliza 14 cámaras para identificar desde diferentes ángulos los productos y gracias a un *software* creado por la propia empresa (el *ECRS software*), este sistema es capaz de detectar en que parte de la imagen está el código de barras para después realizar la lectura. Este prototipo no automatiza del todo el sistema de cobro e identificación pero agiliza mucho el proceso, dejando al empleado de caja todo el tiempo para empaquetar los productos o introducirlos en las bolsas. De esta manera se ahorra tiempo. El problema de este sistema es que no se pueden pasar varios productos a la vez porque el software de reconocimiento solo puede detectar los productos uno a uno. El usuario tiene que ir introduciendo los productos en la cinta transportadora de uno en uno cuando una señal proyectada en la cinta se lo indica. Hay un vídeo en el que se puede ver el funcionamiento básico de este prototipo [3].

Este sistema es muy interesante, y en el desarrollo de la solución podría ser necesario utilizar una máquina capaz de leer códigos de barras mediante procesamiento de imagen.

4. "Shopping buddy" de IBM

Es un proyecto desarrollado en 2004 que fue probado por primera vez en un supermercado de Massachusetts (*Stop & Shop*). Se basa en una computadora instalada en el carrito con un lector que detecta los productos equipados con RFID. Para personalizar la compra, el cliente tiene la opción de introducir una tarjeta personal configurada previamente, de esta manera el ordenador va enseñando ofertas relacionadas con los productos que habitualmente compra el cliente.

Shopping Navis Wagon de Fujitsu, usa un sistema similar al anteriormente comentado pero utiliza un lector manual en vez de uno incorporado a la pantalla. Otras empresas como Auchan también tienen en algunos hipermercados un sistema de escaneo manual, adaptable al carro y ligado a la tarjeta de fidelización. En Estados Unidos las cadenas *ShopRite* y *Safeway* tienen modelos muy parecidos en algunos de sus hipermercados.



Figura 3.3 Imagen del carrito en stop&shop con su computadora incorporada. [4]



Se tendrá muy en cuenta esta idea de tener una computadora en el carrito ya es un gran avance en el mundo del supermercado porque permite trasladar el terminal de punto de venta de las cajas al carrito. Además puede dar al supermercado mucha información valiosa sobre gustos y compras de usuarios de manera personalizada que sería imposible sin este tipo de tecnología.

5. ***The EXTRA METRO Group Future Store [5]***

También llamado "El supermercado del futuro". La idea de este modelo de supermercado es que el cliente llegue al supermercado con la lista de la compra hecha y enviada por internet a la tienda.

Una vez en el supermercado, el carrito provisto de un pequeño ordenador va informando del recorrido que tiene que hacer el cliente para recoger todos los productos. El camino a seguir lo indica mediante unas flechas proyectadas en el suelo. Este supermercado también incluye cajas de auto-pago.

6. ***Woodmans's Food Markets***

En Madison, este supermercado en 2013, lanzó una aplicación móvil creada por *NCR corp* que permitía a los consumidores utilizar sus *i-phones* para escanear los productos mientras iban comprando. Los clientes también podían utilizar la aplicación para crear su lista de compra antes de ir a la tienda. Así se incrementan la velocidad, eficiencia y facilidad de las compras.

Para efectuar el pago los clientes tienen habilitadas unas cajas de auto-servicio en las cuales escanean un código QR en sus teléfonos para transferir la información de la lista de compra. Para confirmar que la lista de los productos escaneados coincide con los productos que se lleva el cliente, se efectúa una comprobación del peso total. Los dependientes ayudan a los clientes ante cualquier discrepancia que detecte el sistema y responder a cualquier otra pregunta que tengan.

El *Ridge IGA Supermarket* en Snoqualmie y el "*Scan & Go App*" de Walmart Washington utilizan el mismo método pero para evitar los robos tienen un empleado encargado de comprobar aleatoriamente algunos de los carritos con el ticket de compra.

7. Carrefour

En 2010 Carrefour implantó como prueba piloto en su hipermercado de Alcobendas en sistema *Scan & Go* y actualmente aún sigue en uso en algunos de sus hipermercados. Su funcionamiento es muy sencillo y lo único que requiere es la tarjeta de socio del Club Carrefour.

Al entrar al supermercado, utilizando su tarjeta de socio, el cliente coge un lector de código de barras que dispone de una pequeña pantalla con el cual ira escaneando los productos que desee comprar a medida que los vaya introduciendo en su carrito. En la pantalla el cliente verá el importe de cada artículo y el total de su compra, pudiendo controlar en todo momento lo que gasta. Además el lector se puede acomodar en un repositorio incorporado en todos los carritos para que no incomode al cliente durante la compra. Una vez finalizada, el cliente deberá acudir a unas cajas especiales para este sistema en las cuales, escaneando un código de barras que aparece en la caja, el sistema le indicará si su compra ha sido seleccionada de manera aleatoria para una revisión de un determinado número de artículos o, si de lo contrario, tiene luz verde para realizar el pago.

En Carrefour también hay implantado otro sistema de autocobro desde hace 2 años que funciona de manera distinta. En vez de escanear sus productos a medida que los compra, el cliente lo realiza todo al final, esto añade trabajo al cliente pero le ahorra tiempo. En estas cajas de autocobro se pueden llevar compras con un máximo de 15 productos. Utiliza un sistema de escaneo de código de barras fijo en el que el cliente va escaneando sus productos, hay una caja en la cual el cliente ha de dejar el producto una vez escaneado. Hasta que no ha depositado el producto en la caja, no deja escanear el siguiente, ya que el sensor de peso instalado en dicha caja detecta el producto y sirve de comprobación de que el cliente está comprando legítimamente. El sistema también se bloquea si escaneas una unidad de un producto y luego introduces más de una unidad en la caja o introduces un producto diferente del escaneado. Si se ha comprado más de una unidad de un artículo, existe una opción para introducir el número de unidades y no tener que escanearlos todos. El problema más grande se produce cuando escaneas un producto e introduces otro en la caja de igual peso, porque el sistema no lo puede detectar, pero para eso está el asistente vigilando. Un problema usual que ralentiza las compras es que no se pueden sacar



los productos de la caja hasta que no ha salido el ticket y el cambio de la máquina, porque de lo contrario el sistema pide que se introduzcan los productos de nuevo en la caja para finalizar la compra.

Es necesario formar al asistente de caja para que vigile las cuatro cajas que tiene a su cargo, éste tiene total control sobre lo que está pasando en cada caja y puede actuar sobre los diferentes errores que puedan surgir gracias una pantalla táctil. También puede ver la lista de productos de las cuatro cajas automáticas y puede paralizar la compra en cualquier momento. Para comprar un producto que tiene prohibición de edad como por ejemplo alcohol, es necesaria la autorización de la cajera.

En este sistema de cobro, en la segunda vez que un cliente lo usa la eficacia del mismo se hace más evidente, los niños y los extranjeros suelen ser los que mejor lo utilizan (según los encargados del Carrefour). Aunque los usuarios más habituales son personas mayores que acuden cada día al supermercado. Éste sistema ha demostrado ser bastante funcional y efectivo aunque según el perfil del cliente a veces se producen atascos, como por ejemplo los sábados cuando hay mucha gente en las cajas normales, mucha gente acude a estas cajas automáticas por equivocación sin saber utilizarlas.

8. Decathlon

El sistema de autoservicio del Decathlon utiliza unas máquinas en las cuales los clientes escanean sus productos. Posteriormente los introducen en un cubículo en el cual se desactivan las etiquetas RFID. Hay productos especiales que llevan una etiqueta electrónica especial que no se desactiva en estos cubículos. En el momento en el que el cubículo detecta la presencia de una de estas etiquetas se enciende una luz que avisa al supervisor y éste ayuda al cliente a quitar la etiqueta. Para el buen funcionamiento de este sistema de cobro, es necesaria la presencia de un empleado supervisor para las cajas de autoservicio. Además de encargarse de la vigilancia, también ayuda a los clientes. Una vez escaneados todos los productos el cliente puede efectuar el pago mediante tarjeta. Este sistema tiene un inconveniente que puede ser usado a beneficio del ladrón y es que las etiquetas se desactivan al entrar en el cubículo haya pagado o no el cliente.

9. IBM self-checkout

Es uno de los productos de IBM que se comercializan actualmente. Consiste en una máquina de autocobro adaptable a diferentes puntos de venta. Este modelo ofrece una seguridad configurable de tres niveles, basada en el peso, con tolerancias de seguridad ajustables, que ayudan a disminuir la intervención de los empleados. Ofrece la posibilidad a empresas particulares a obtener un modelo ya creado de máquina de autocobro.



Figura 3.2. Máquina de autocobro comercial de IBM [6]

3.2. Generación de conceptos de posibles soluciones

Como se ha podido comprobar durante el análisis de los sistemas de cobro actuales, existen muchas maneras completamente diferentes de automatizar el cobro. Por este motivo, es necesario analizar todas las posibles soluciones y seleccionar la más adecuada para el modelo de negocio de las grandes superficies. El análisis que se ha realizado del estado actual de los sistemas de cobro que existen, ha sido muy útil para comprender que hay muchas maneras de enfocar la solución y además que el sector de las grandes superficies ya ha invertido tiempo y esfuerzo en intentar mejorarlo. Así pues, se ha realizado un *brainstorming* para generar muchas opciones posibles de sistemas de cobro con el objetivo de encontrar una opción distinta a las ya propuestas por las grandes



compañías, o encontrar una solución similar pero con características que la diferencien o que la hagan destacar por encima de las demás.

Hay que tener claro que todos los sistemas de cobro automático tienen algo en común y es la capacidad de detectar qué producto se está comprando. Las diferencias entre los diferentes sistemas residen en el momento y la manera en la que se detecta el producto.

A partir de la selección de las mejores ideas generadas en un *brainstorming* inicial, se ha confeccionado una lista con un total de 7 diferentes soluciones al problema del cobro automático que son conceptualmente muy diferentes entre sí:

Solución 1

Esta solución está inspirada en el modelo de negocio de "A Todas Horas" (explicado en el apartado 3.1). A diferencia de "A Todas Horas", en esta solución se propone sustituir las máquinas expendedoras por compartimentos cerrados de diferentes tamaños, y en cada compartimento se alojará un solo tipo de producto. Los compartimentos disponen de una compuerta bloqueable electrónicamente. Además se proporcionaría una tarjeta a cada cliente con la cual se pueden desbloquear las compuertas simplemente acercando la tarjeta a las mismas. De esta manera se consigue que cualquier producto puede ser vendido ya que no cae desde una cierta altura como en una máquina expendedora sino que simplemente el cliente lo coge del estante.

La función de las compuertas es evitar el robo, de manera que la única manera de adquirir el producto es acercando la tarjeta cliente. En el instante en el que se abre la compuerta, el ordenador central guarda la información del producto que ha retirado el cliente y va creando una lista de compra personalizada. Esto tiene una gran ventaja y es que se tiene un control del *stock* del supermercado casi perfecto.

Los compartimentos dispondrían de una rejilla que separa el producto a retirar de los repuestos. También dispondrían de un mecanismo reponedor que se acciona una vez la compuerta está cerrada. Este mecanismo podría consistir en una cinta móvil o una helicoide dependiendo del producto a reponer. Los compartimentos deberían ser transparentes para que el cliente pueda ver el producto en su interior. El ordenador central gestionaría toda la información y al final de la compra el cliente pasaría su tarjeta por un terminal para aceptar el pago, entonces se elaboraría el ticket y la compra finalizaría.

Solución 2

Esta solución es totalmente novedosa. Consiste en un carrito de compra cerrado, el cual no se puede abrir. La idea consiste en que el carrito disponga de una abertura para introducir los productos pero que al mismo tiempo esta abertura impida la salida de los mismos, es decir, que no se pudieran sacar una vez almacenados dentro del carrito. La identificación del producto se llevaría a cabo justo en el momento de la introducción del mismo y se realizaría con un sistema de escaneo del código de barras o mediante procesado de imagen. El sistema de escaneo sería bastante complejo y estaría diseñado de una manera similar al *Raptor System* (explicado en el apartado 3.1)

Al finalizar la compra el carrito transfiere la información de los productos que lleva dentro al TPV y se efectúa el pago. El carrito debería disponer de un método de abertura que se accionaría en el momento de finalizar la compra para que el cliente pueda recoger sus productos.

Solución 3

Esta solución está inspirada en el *Raptor System* (explicado en el apartado 3.1) y el sistema de cobro funcionaría de una manera muy similar.

El proceso de compra discurriría de manera normal hasta el punto de cobro. En el TPV la cara frontal del carrito se abriría como una compuerta y dejaría caer todos los productos en la cinta móvil, en ese momento un mecanismo separador iría colocando los productos en fila, ya que los sistemas de identificación ópticos como el *Raptor System* solo pueden escanear un producto a la vez.

Solución 4

Esta solución pretende aprovechar el actual auge de los *Smartphone* y las aplicaciones gratuitas. Se propone un modelo de supermercado en el que el cliente, puede escanear los productos con una aplicación en su móvil. En el propio *Smartphone* se actualiza la lista de la compra y una vez completada, el *Smartphone* genera un código de compra que se interpreta en el punto de cobro y se procede al pago en la máquina, ya sea mediante cash o tarjeta.

Al no haber cajeras y ser un proceso totalmente automático, en este modelo de



supermercado es relativamente sencillo robar. Para evitarlo, sería necesario añadir sistemas anti-hurto adicionales. A continuación se enumeran algunas opciones:

- Una primera opción es comparar el peso que tiene la compra con el peso teórico que debería tener según los productos que se han comprado. Para hacer esta comparación sería necesario tener una base de datos con todos los pesos de los productos. El pesado podría ser con una báscula en el carrito o en el terminal de punto de venta.
- Otra opción es hacer comprobaciones aleatorias de las compras, un empleado estaría encargado de revisar que las listas de la compra encajan con los productos que se lleva el cliente.
- Una medida anti-hurto muy extendida es utilizar sistemas de etiquetaje RFID para los productos de más valor.

Solución 5

En esta solución se pretende aprovechar el actual sistema de identificación basado en las etiquetas RFID para identificar los productos del supermercado. El modelo que se propone consiste en la detección instantánea de todos los productos mediante radiofrecuencia. Al final de la compra, el cliente pasaría con su carrito por debajo de un arco detector que identificaría todas las etiquetas en cuestión de segundos. Una vez el cliente confirmase el pago, se abrirían unas compuertas para dejarle salir con su carrito.

Esta solución es muy interesante porque además abre la posibilidad a que el arco detector también identifique al cliente, por ejemplo añadiendo una etiqueta identificativa en la tarjeta cliente. De esta manera se podría disponer de mucha información útil para el supermercado, como los productos que habitualmente compra cada cliente. Además, existiría la posibilidad de realizar el pago de manera automática una vez el cliente llega con su compra al arco detector ya que el sistema de cobro sabría quien es el cliente y podría cargar la factura directamente a su cuenta.

Solución 6

En esta solución se propone un sistema de identificación de los productos diferente a los anteriormente comentados, en este caso, se pesan los productos directamente en el carrito de compra y así se puede saber de qué producto se trata. Para ello sería necesario un

sistema suficientemente preciso y una base de datos con todos los pesos de todos los productos.

El carrito incorporaría sensores de peso que le informarían del peso actual de la compra y también una pantalla inteligente que procesaría la información recibida por los sensores. A medida que el cliente va introduciendo productos, la pantalla del carrito va añadiendo los productos introducidos a la lista virtual. En esta solución existe el problema de que si dos productos pesan lo mismo, la identificación se complica, por lo que esta solución requeriría de otros métodos complementarios de identificación.

Solución 7

En esta solución, la detección del producto se realiza en el momento en el que se extrae de su estante. Pero a diferencia de la solución 1 en la que todos los productos están protegidos por compartimentos, en este caso los productos están totalmente abiertos al cliente. Es necesaria la acción de un ordenador central que controla dos parámetros, en primer lugar si un producto está o no situado en su estantería y en segundo lugar controla la posición de todos los clientes dentro del establecimiento. Conociendo que productos se están extrayendo en cada momento, es fácil determinar quién los está adquiriendo. De esta manera el ordenador central puede conocer qué han ido comprando todos los clientes.

Para saber si un producto continúa o no en su lugar, hay varias maneras de detectarlo, una podría ser mediante sensores fotosensibles, cada producto estaría situado encima del sensor óptico. De esta manera sería sencillo saber que productos están siendo extraídos en todo momento. Otra manera de detectar los productos sería mediante estanterías con sensores de peso, de manera que si se retira un producto de un estante, el sistema lo detecta de inmediato y así no se necesitaría un sensor por producto sino que un mismo sensor podría contener varios productos.

3.3. Elección de la solución

Una vez se han planteado los posibles enfoques que se le pueden dar a la solución del problema se ha procedido a resolver el gran dilema que se le plantea a un ingeniero cada vez que tiene que elegir entre varias soluciones factibles: ¿cuál es la mejor solución? Para ello, se ha confeccionado una tabla en la que se resume el funcionamiento básico y las ventajas e inconvenientes que tiene cada solución (tabla 3.1).



Solución	Funcionamiento Básico y valoración	Ventajas e inconvenientes
Solución 1	<p>Productos almacenados en compartimentos cerrados con compuerta transparente a través de la cual puedes verlos.</p> <p>Puerta del compartimento sellada electrónicamente.</p> <p>Introduciendo la tarjeta cliente, la compuerta se desbloquea y el cliente puede retirar el producto.</p> <p>Cobro automático al introducir la tarjeta.</p> <p>Una vez retirado el producto y con la compuerta cerrada otro producto idéntico al anterior va a su lugar mediante accionamientos mecánicos.</p> <p>Valoración: 6</p>	<p>Imposibilidad de hurto.</p> <p>Se necesita mucho espacio para albergar el sistema.</p> <p>Sistema caro.</p> <p>Necesario remodelar completamente el establecimiento.</p> <p>Compras más lentas.</p>
Solución 2	<p>Carrito de plástico transparente con abertura de solo introducción de objetos.</p> <p>Escaneo automático del código de barras al entrar por la abertura.</p> <p>Confección instantánea del ticket a medida que vas introduciendo productos.</p> <p>Valoración: 3</p>	<p>Compras muy rápidas y cómodas</p> <p>Gran inversión inicial, carritos muy caros</p> <p>Técnicamente muy complejo.</p>
Solución 3	<p>Sustitución de la cajera humana por una cinta móvil con arco de escaneo de 360°.</p> <p>Sistema de empaquetado de los productos al final de la cinta para evitar atascos en los productos.</p> <p>Valoración: 6</p>	<p>Sistema parcialmente existente.</p> <p>Cobro relativamente lento y generación de colas de espera.</p>

<p>Solución</p> <p>4</p>	<p>Uso de una aplicación móvil de escaneo de códigos de barras.</p> <p>Al finalizar la compra, transferencia de la información de la compra, del móvil al TPV.</p> <p>Valoración: 7</p>	<p>Sistema parcialmente existente.</p> <p>Barato</p> <p>Alta posibilidad de hurto, necesarios filtros de seguridad.</p>
<p>Solución</p> <p>5</p>	<p>Instalación a la salida de un arco detector de RFID.</p> <p>Identificación instantánea de todos los productos.</p> <p>Cobro mediante tarjeta o efectivo en máquina.</p> <p>Valoración: 4</p>	<p>Uso de tecnología RFID ya desarrollada.</p> <p>Muy rápido y cómodo.</p> <p>Imposibilidad de hurto</p> <p>Gran subida del precio de los productos baratos.</p>
<p>Solución</p> <p>6</p>	<p>Carritos de compra con pantalla y sensores de peso.</p> <p>Identificación del producto por su peso al dejarlo dentro del carrito.</p> <p>Transferencia de información pantalla-sensores y confección de la lista de productos comprados.</p> <p>Valoración: 6</p>	<p>Muy cómodo y rápido.</p> <p>Posibilidad de engaño a los sensores de peso.</p> <p>Sistema mecánico complejo.</p>



Solución 7	Incorporación de sensores de peso en todos los estantes.	Muy cómodo y rápido
	Detección inmediata de la extracción de un producto de su estante mediante un ordenador centralizado.	Máximo control sobre el stock.
	La posición de los clientes es conocida en todo momento mediante pulseras con sistema de localización.	Información masiva sobre el comportamiento de los clientes durante una compra.
	En base a la información de la posición de las personas y los productos retirados, el ordenador puede saber qué cliente ha cogido qué producto.	Necesidad de un sistema informático complejo, fiable y robusto.
	Cobro centralizado automático e instantáneo.	Tecnología cara y compleja.
Valoración: 7		

Tabla 3.1 Resumen de las soluciones, sus ventajas e inconvenientes.

La elección de una solución no es una tarea sencilla ya que todos los sistemas tienen ventajas únicas respecto a los otros pero hay ciertos aspectos que decantan la solución de manera considerable.

Todas las soluciones consiguen automatizar el proceso de cobro, aún así se recuerda que uno de los objetivos principales del proyecto es reducir las esperas y las colas para que el usuario del supermercado pueda comprar de manera más cómoda y rápida. En las soluciones 1 y 3 no se consigue cumplir este objetivo principal, ya que en la solución 1 el usuario tiene que pasar cada vez la tarjeta para retirar el producto cosa que ralentiza la compra y posteriormente esperar que se abra la compuerta. Por otra parte, en la solución 3 se consigue automatizar el proceso pero no consigue reducir las colas ya que el sistema de detección óptico en el que se basa es muy lento.

Interesa que la compra sea más ágil pero sin repercutir en precio de venta al público, de esta manera la solución 5, que es una de las más rápidas y cómodas para el usuario, queda descartada completamente porque eleva mucho el precio de los productos básicos.

Todos los productos deberían llevar una etiqueta RFID que actualmente ronda los 0,15 €. Así, una compra de 30 artículos costaría al cliente 4,5 € más.

Otro parámetro a tener en cuenta, es el precio y la complejidad en del sistema. El sistema más complejo es el 2 ya que el diseño mecánico del carrito es muy difícil. Habría que diseñar un sistema de introducción de productos que no dañase los mismos, que evitase la acumulación de los mismos o atascos de productos dentro del carrito. También debería constar de un método sencillo y cómodo para abrir el carrito y poder extraer los productos. Por último, necesitaría el diseño de un sistema óptico de detección de códigos de barras que estuviese adaptado al mecanismo de introducción de productos. Por todas estas complicaciones de diseño, se considera que la solución 2 no es la más adecuada.

El sistema 7 también tiene gran dificultad constructiva y el gran inconveniente de la reposición de productos, ya que para cada producto nuevo que se adquiriera en el supermercado o para cada vez que se hiciera una redistribución de los productos en el establecimiento se debería reprogramar en el ordenador central. Además sería necesario un sensor por producto, es decir, serían necesarios decenas de miles de sensores ópticos.

El gran inconveniente de las soluciones 4 y 6 es la posibilidad de hurto o engaños, de manera que estos sistemas por separado no son atractivos, pero existe la posibilidad de unir los dos sistemas obteniendo un sistema combinado mucho más seguro ante un robo. Además se mantendrían las ventajas de ambos. En definitiva, el sistema sería rápido, cómodo, seguro y barato.

La solución escogida

La solución escogida une las características de la solución 4 y la 6. En el sistema combinado se utilizaría el móvil para escanear el código de barras de los productos, se transmitiría la información del código de barras a la pantalla inteligente del carrito de manera inalámbrica y al depositar el producto en mismo, los sensores de peso comprobarían si el peso del producto introducido corresponde con el peso asociado al código de barras. Esta correspondencia estaría almacenada en la base de datos de la pantalla.



El proceso de compra en la solución escogida, es muy sencillo y se explica a continuación:

1. El usuario dispondrá de una tarjeta cliente que utilizará y será necesaria para acceder a los carritos especiales con capacidad de pesado. En el supermercado, existirá también el proceso normal de compra con carritos de compra estándares, sobre todo en las primeras fases de adaptación de este sistema innovador de compra.
2. El hecho de que se necesite la tarjeta cliente reducirá la posibilidad de que el carrito sea robado ya que se conocería el autor del hurto,
3. La tarjeta cliente también servirá para ayudar al cliente a la hora de realizar la compra ya que el ordenador del carrito conocería los gustos del mismo y podría informar sobre ofertas o productos nuevos.
4. El cliente solamente tendría que pasearse por los pasillos y con su *Smartphone* o un lector de código de barras facilitado por el establecimiento escanearía los productos deseados y los introduciría en el carrito.
5. Inalámbicamente, la información del código de barras sería enviada al ordenador del carrito.
6. En el momento de la introducción, los sensores de peso informarían a la computadora del carrito del peso total de la compra y el cliente vería en la pantalla si el objeto introducido es realmente el producto o no, este *feedback* sería muy natural de manera que no se tendría que estar pendiente todo el rato de si hay un error.
7. Al acabar la compra, el cliente podría pagar utilizando la pantalla táctil del carrito o podría acceder a los terminales de cobro en efectivo.
8. Por último, existiría una comunicación entre el ordenador central de gestión de *stocks* y la computadora del carrito.

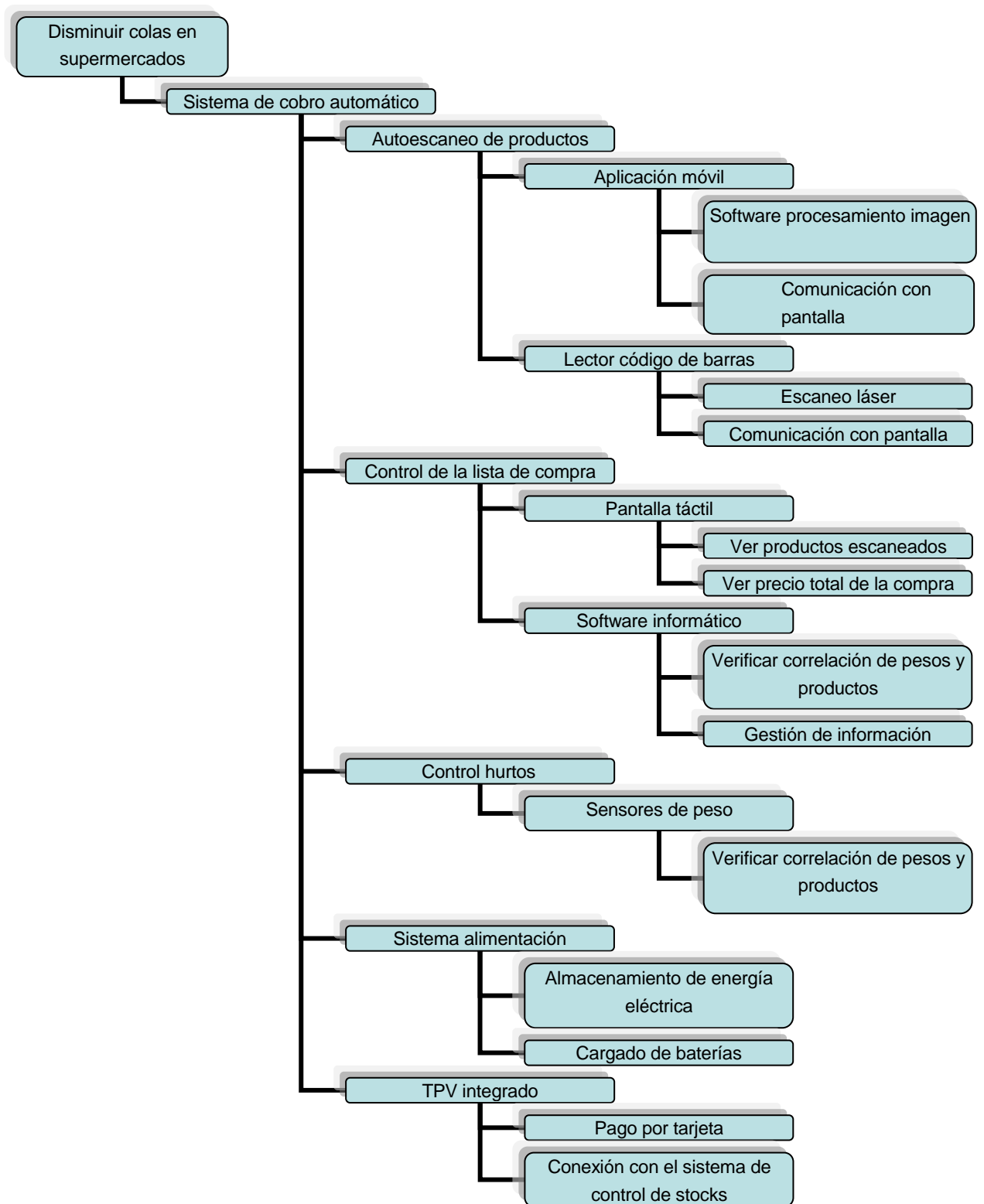
4. Diseño detallado

Una vez se ha elegido el funcionamiento general del supermercado, se puede empezar a desarrollar la solución escogida. Se recuerda que este proyecto abarca el diseño mecánico del sistema de cobro, de manera que en este diseño detallado, se estudiará la elección de los sensores de peso, el dimensionado del carrito y el diseño de las partes necesarias para que el carrito cumpla con los objetivos.

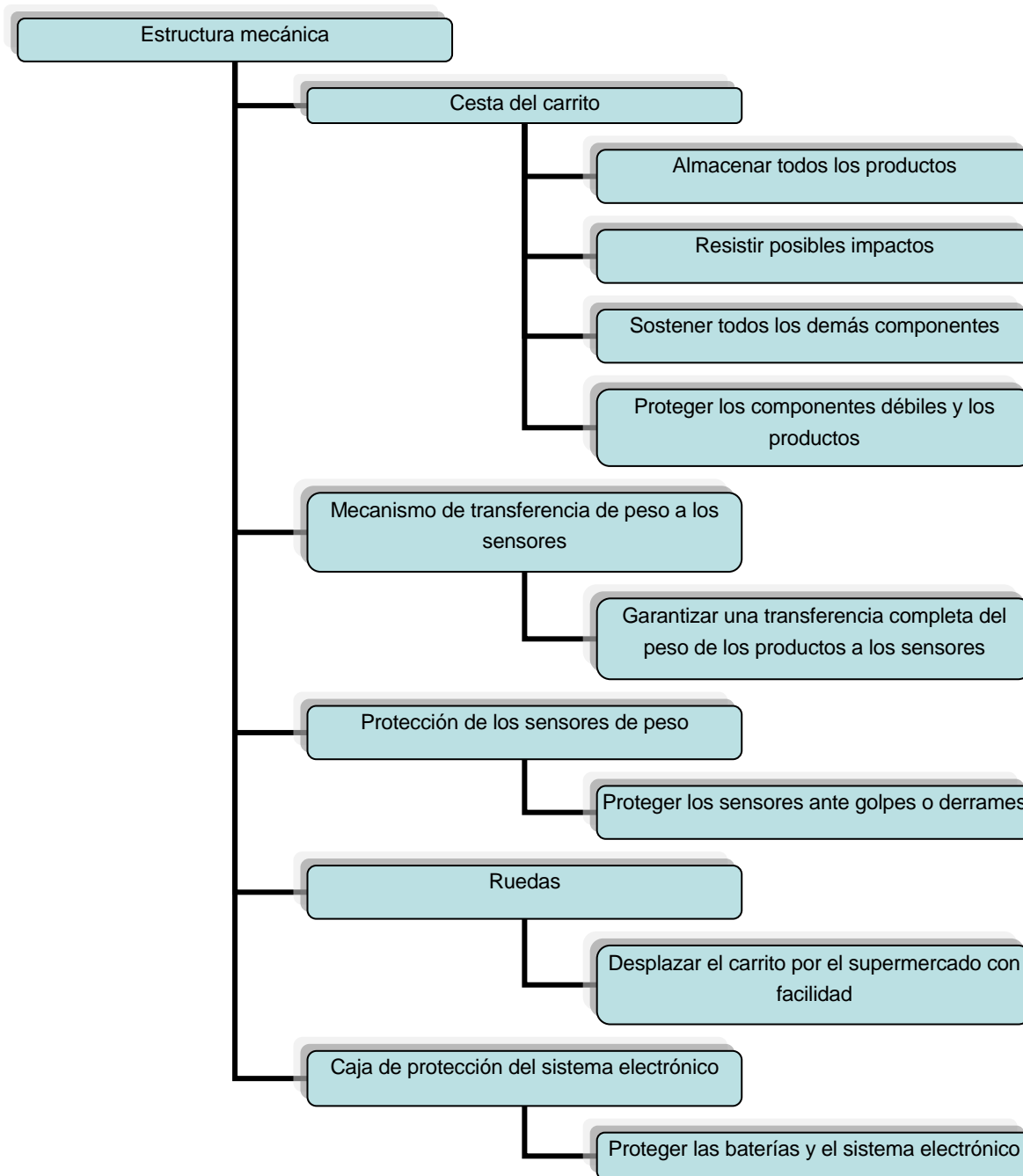
4.1. Esquema funcional

Para facilitar la comprensión del funcionamiento del sistema solución se ha elaborado un esquema funcional general (esquema 4.1). Y un esquema funcional más específico en el que están explicadas con más detalle las funciones de los componentes de la estructura mecánica (esquema 4.2).





Esquema 4.1. Árbol de funciones del sistema de cobro.



Esquema 4.2. Componentes del sistema de cobro y sus funciones.

4.2. Elección del sensor de peso

El sensor de peso más utilizado en el mundo de la ingeniería es la célula de carga ya que cuenta con un principio de funcionamiento muy sencillo. Una célula de carga en definitiva no es más que un elemento deformable, normalmente un metal al que se adhieren galgas



extensiométricas, éstas son capaces de transformar una deformación en una señal eléctrica proporcional gracias a su circuito interno. El circuito eléctrico, normalmente consta de cuatro resistencias que varían en función de la deformación aplicada, colocadas en una configuración de *punte de Wheatstone*. La variación del voltaje entre resistencias se acumula gracias a la configuración de las resistencias, aún así, es necesario un amplificador diferencial de señal para poder medir la diferencia de las tensiones generadas entre los diferentes puntos de la galga.

Para realizar la elección de una célula de carga adecuada, es necesario conocer su funcionamiento básico y qué tipo de diferencias hay entre las células existentes en el mercado.

4.2.1. Parámetros básicos de una célula

La mayoría de proveedores de células aportan los parámetros básicos que permiten realizar la selección adecuada de la célula para cada aplicación. A continuación se estudian los más importantes:

Capacidad de carga (E_{max})

Es el valor máximo de carga soportable expresado en kg en condiciones nominales, mientras no se sobrecargue la célula por encima de este valor, las características técnicas proporcionadas por el fabricante se deberían cumplir. Sin embargo se recomienda que el valor nominal de la carga en la aplicación que se le den a las células no sobrepase el 50% del E_{max} .

En la mayoría de las compras habituales el peso está comprendido entre 5 y 15 kg, sin embargo, en aquellas compras donde se cargan grandes cantidades de líquidos, ya sean latas, garrafas, o botellas, es posible tener compras que vayan desde los 15 hasta los 40 kg. Teniendo estas consideraciones y suponiendo una distribución homogénea del peso entre el número de células instaladas (3 o 4 células), se podría elegir un E_{max} para las células de unos 20 kg. En este caso, la capacidad máxima sería de 60 kg en una aplicación con 3 células y 80kg en una aplicación con 4 células. Sin embargo, las células son un elemento muy delicado y por tanto hay que tener en cuenta otros escenarios posibles. Por ejemplo en el caso de que un cliente apoyase gran parte de su peso sobre el carrito, o en el caso de que las cargas no se distribuyeran equitativamente entre las 3 o 4 células de la aplicación, o incluso en el caso de que un cliente dejase un producto de

manera inadecuada ya sea lanzándolo o dejándolo caer. En estos casos podríamos tener lecturas de hasta 70 kg en la misma célula. Este hecho, provocaría en el mejor de los casos errores en las subsiguientes lecturas o en el peor de los casos la destrucción de la célula.

Los valores razonables para el E_{\max} en esta aplicación están entre 75kg y 100kg. Solamente así se garantiza que las células tengan una vida útil suficiente para que la solución escogida sea viable.

Escalón mínimo de verificación (V_{\min})

Es el valor del escalón utilizado para la verificación de las células de carga, de manera que el error máximo que se puede dar en la lectura del peso está referido a este valor. Se expresa en unidades de masa. Los fabricantes suelen dar este valor referenciado al E_{\max} a través de la ecuación 4.1. donde γ es un valor numérico aportado por el mismo. Este valor suele estar comprendido entre 7500 y 15000.

$$V_{\min} = \frac{E_{\max}}{\gamma} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Se da de esta manera porque una misma célula puede tener diferentes capacidades de carga dependiendo de las galgas extensiométricas que se diseñen para ella. Así, muchas de las otras características que aparecen en las especificaciones técnicas de una célula también van referenciadas a E_{\max} .

En aplicaciones con una sola célula de carga en las que se quiera tener una medición con un error menor a "x" kg, se debe cumplir la relación 4.2.

$$V_{\min} < x \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

En el caso de tener aplicaciones multicelulares como es el caso, se debe cumplir la condición 4.3 donde "nc" es el número de células de la aplicación. [7]

$$V_{\min} < \frac{x}{\sqrt{nc}} \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Cabe destacar que este cálculo se basa en el supuesto de que todas las células son exactamente las mismas y además reciben una carga equivalente. En caso de no ser así,



la ecuación 4.3 se iría desviando de la realidad a medida que se desigualan las cargas.

Carga límite transversal

Se define como la máxima carga perpendicular al sentido de medida de la célula, para cuyo valor no se presentan alteraciones mecánicas y eléctricas irreversibles en la célula de carga. Se expresa en % de la carga nominal (% de E_{max}).

Este valor es necesario tenerlo en cuenta si en la disposición de las células éstas tienen la posibilidad de recibir esfuerzos transversales ya que el correcto funcionamiento de las células dependerá de que el valor de la carga límite transversal sea superior a la carga transversal máxima que se pueda dar en la aplicación. Estos esfuerzos podrían ser resultado de una colisión entre dos carritos o resultado de la dilatación de los materiales a los cuales las células estén enganchados.

En caso de que el sistema esté diseñado para que no existan esfuerzos transversales o éstos sean despreciables, este parámetro no tiene relevancia.

Curva característica

Es la representación de la relación entre la señal de salida de la célula (expresada en voltios) y la carga aplicada. Generalmente se aproxima a una línea recta cosa que facilita la conversión del valor analógico del voltaje de salida a su correspondiente peso. Pero es posible conocer la curva característica mediante ensayos y generar una correspondencia entre los valores del voltaje y el peso real, así se obtienen unas lecturas más precisas. La desviación máxima de la curva característica para cargas crecientes, con relación a una línea recta se llama error de linealidad. Como se acaba de explicar, el error se puede reducir mediante una calibración, de manera que será muy recomendable que una vez finalizada la instalación de las células en el carrito se calibre todo el sistema.

Hay que destacar que la curva característica es diferente si se ensaya para cargas crecientes o para cargas decrecientes. Pero en el caso que se abarca en este proyecto, la mayor parte del tiempo se irán acumulando productos en el carrito durante la compra siendo mucho más improbable la retirada de productos así que la calibración se debería realizar para cargas crecientes.

Error combinado

Se define como la desviación máxima entre una línea recta (recta teórica) y la curva característica obtenida para cargas crecientes y decrecientes. Se expresa en porcentaje de la señal de salida a carga nominal. Es decir que el error combinado informa acerca de la variación máxima posible del voltaje de salida para una misma carga aplicada en situaciones diferentes, pero no informa de cuál es esta carga ya que es solamente un número. Además, el error combinado, al igual que todos los parámetros que se están analizando, está referenciado a cada una de las células del montaje. No sirve para saber el error real de la aplicación ya que ésta consta de varias células. En este proyecto se han aceptado aquellas células con un error combinado inferior al 0,1% (criterio no demasiado exigente).

Error de fluencia

Se define como la variación de la señal de salida de la célula de carga que se produce a lo largo del tiempo, en presencia de una carga constante manteniendo las condiciones ambientales y otras variables constantes. La OIML [8] utiliza un test de 30 minutos de duración y especifica un error límite para este periodo y otro límite para el cambio entre los minutos 20 y 30. Será importante conocer este error de fluencia ya que el carrito podrá estar cargado durante este tiempo y el sistema no debe detectar que el peso ha cambiado. Por ello será muy importante realizar una lectura cada vez que se introduzca un nuevo producto y compararla con el último valor medido. Los problemas que genera el error de fluencia se pueden reducir mediante un software inteligente que los compense.

Normalmente no es necesario seleccionar una célula según este parámetro ya que los errores habituales de fluencia no superan el 0,02% de la señal de salida, pero sería recomendable que una vez construido un primer prototipo del carrito, se comprobase si el error de fluencia de la célula escogida es suficiente como para producir errores en compras legítimas.

Error de histéresis

Se define como la desviación máxima obtenida entre los valores de la señal de salida de una célula de carga para una misma carga aplicada de dos maneras diferentes: la primera es aplicar la carga de manera creciente desde 0 (con las células descargadas) y



el segundo modo es aplicar la carga de manera decreciente a partir de la carga nominal. Se expresa en porcentaje de la señal de salida a carga nominal.

Al igual que el error combinado (que incluye el error de histéresis y otros errores), el error de histéresis no informa de en qué punto aparece esta desviación máxima. Solo indica su valor. Este error afectará a la lectura en los casos en los que se extraigan muchos productos pesados del carrito, pero aún así, la desviación suele ser muy pequeña, del orden del 0,015%.

Para comprender mejor algunos de los parámetros anteriormente comentados, en la figura 4.1 está representada la evolución de la señal de salida en función de la carga aplicada y el momento de aplicación.

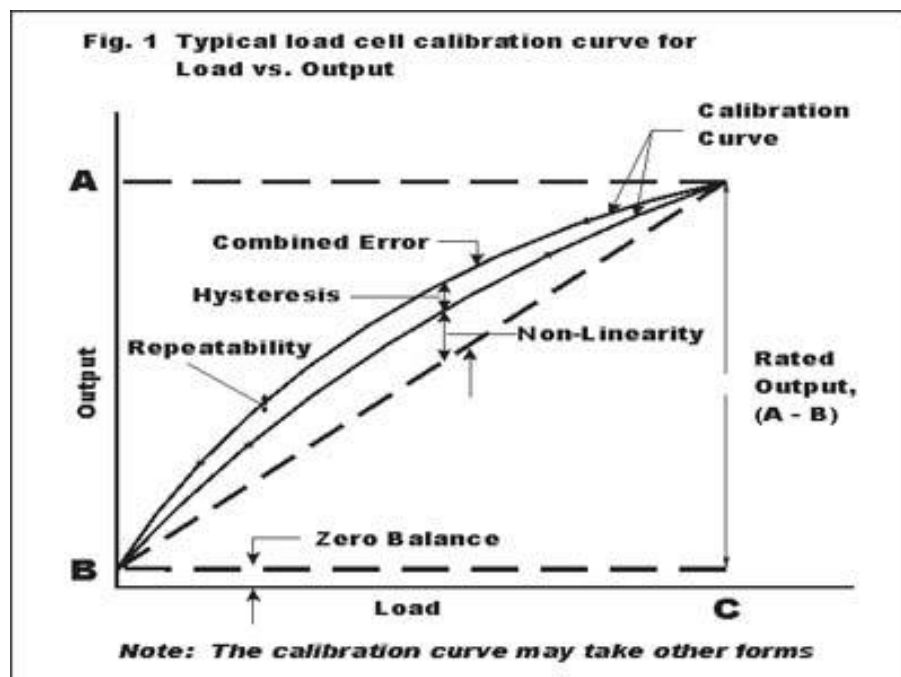


Figura 4.1 Representación de los parámetros típicos de una célula de carga [9].

Grado de protección IP (International protection)

Es un código internacional que informa de la estanqueidad del dispositivo. Este código lleva especificados dos dígitos consecutivos, el primer dígito especifica el tipo de protección para el ingreso de partículas o objetos sólidos y el segundo dígito para el ingreso de líquidos. En este proyecto se intentará buscar una célula con un grado de

protección no inferior a un IP65. De manera que las células tengan la máxima protección ante el polvo y resistan la entrada de agua arrojada mediante chorros moderados. Este nivel de protección le confiere al sistema suficiente robustez para resistir las condiciones típicas o eventuales en el entorno del supermercado.

Clase de precisión

La clase de precisión es un código alfanumérico que se utiliza para conocer la aplicación que se le da a una célula de carga y el número de divisiones de verificación que se han usado para su homologación. Cada clase de precisión engloba a todas las células de carga que están sujetas a condiciones de precisión iguales. El organismo que regula su homologación en los países europeos es la OIML (organización internacional de metrología legal). Éste establece las características metrológicas necesarias de los instrumentos de medición.

El código para definir la clase utiliza una letra (A,B,C o D) seguida de un número (3,4,5,6..). La letra indica el rango en el que se encuentra el número de divisiones de verificación en el cuál se puede dividir el rango de medición y el número especifica el valor exacto de este número [10].

En la mayoría de aplicaciones de pesaje se trabaja en la clase C en la cual el número de divisiones está comprendido entre 500 y 10000. La clase de precisión C3 (3000 divisiones de verificación) es la más habitual en las células comerciales, ya que proporcionan una precisión suficiente en la mayoría de aplicaciones y son baratas. Se requiere que las células escogidas pertenezcan como mínimo a la clase C3.

4.2.2. Estudio de la precisión

Una vez se ha comprendido el funcionamiento básico de la célula de carga como sensor de peso, es necesario analizar y definir la precisión que requiere el carrito. Para ello es necesario conocer cuáles son los productos más ligeros que se pueden adquirir en un supermercado.

Como se puede observar en la tabla 4.1 los productos más ligeros no son excesivamente caros y aunque las células de carga no fuesen lo suficientemente precisas como para detectar con seguridad de qué producto se trata, no tendría demasiado sentido estafar al sistema de peso para ahorrarse menos de 1 €. En el caso de que el establecimiento tenga



productos caros susceptibles de ser robados, se puede optar por la instalación de etiquetas RFID, método actualmente muy extendido. O la introducción de éstos artículos en cajas de protección. Estos métodos están actualmente utilizados con cuchillas de afeitarse, desodorantes y otros artículos e higiene personal.

Producto	Peso [g]	Precio [€]
Paquete de chicles	15	0,5
Bolsa pequeña de patatilla	75	0,9
Paquetes de caramelos	28	0,70

Tabla 4.1.

Además, con los pesos de todos los productos del supermercado, se puede realizar un análisis estadístico con ayuda de un algoritmo, que detecte cuál es la probabilidad de que se haya introducido un artículo sin ser escaneado o se haya engañado al sistema introduciendo un producto de peso similar. El desarrollo y estudio completo del algoritmo será ampliable y mejorable pero aquí se explicará el funcionamiento básico de dicho algoritmo.

Bases del algoritmo de verificación de productos

El algoritmo se implementará en el microcontrolador que recopile la información de las células y administre la pantalla.

Para que se puedan computar los datos, deberá existir una base de datos que incluya no sólo los pesos de todos los productos sino que también deberá incluir la desviación típica de su peso. Ésta, deberá ser aportada y calculada por los productores. En caso contrario, podrá ser obtenida mediante ensayo al colocar el producto en el carrito de dos maneras diferentes. Una primera manera con el carrito completamente vacío y una segunda manera con el carrito cargado con un peso específico (40 kg por ejemplo). De esta manera se obtendrá la desviación que supone tener el carrito con diferentes cargas. Además este proceso se deberá repetir varias veces con diferentes artículos del mismo producto. Este

ensayo se realizará con un solo carrito y los resultados se extrapolarán al resto de carritos de la cadena de supermercados.

La base de datos generada mediante los ensayos deberá incorporarse al sistema que procese el algoritmo.

En el momento de la introducción del primer artículo en el carrito (el cliente previamente lo ha escaneado), el sistema esperará que su peso caiga dentro del peso medio del artículo con una desviación inferior a la realizada en el primer ensayo. En caso de que el sistema detecte un peso que sale del intervalo de confianza para la distribución estadística que seguía el producto, se considerará ese artículo potencialmente mal escaneado o incorrecto. Este intervalo de confianza deberá ser bastante grande, entre un 95-99% así se evitarían rechazos de productos que son legítimos.

En caso de que el producto entre dentro del intervalo de confianza, la compra proseguirá su curso habitual. A partir del segundo producto introducido se realizará un cálculo adicional. En primer lugar se analizará si el producto introducido cumple con la condición del intervalo de confianza mediante el pesado diferencial (resta de las indicaciones de peso antes y después de introducir el nuevo artículo). En segundo lugar, se realizará el cálculo de la distribución que resulta de combinar todas las distribuciones de todos los productos almacenados en el carrito y se comprobará que el peso total del carrito caiga dentro del intervalo de confianza de la distribución resultante. Al finalizar la compra, éste segundo cálculo se repetirá para comprobar que todo esté en orden.

Elección de la célula

Una vez se han comprendido todos los diferentes errores que pueden surgir en la medición del peso del carrito (incluida la variabilidad del peso de los productos). Se establece, tal como se había dicho anteriormente, que la precisión de una célula de clase C3 es suficiente, aún así, será necesario un estudio más detallado usando un prototipo para comprobar las afirmaciones que se han realizado. Hay que destacar que la selección de las células también ha sido influenciada por el precio de las mismas. De esta manera se han seleccionado 3 células con distintas maneras de montaje que encajan con los requerimientos:



1. Type PBW de FLINTEC (E_{\max} de 109 kg) clase C3
2. CT-A0 de Senel technologies S.A (E_{\max} de 75 kg) clase C3
3. SX-1 de Senel technologies S.A (E_{\max} de 75 kg) clase C3

Las especificaciones técnicas de las mismas están en los anexos A.1, A.2 y A.3.

La primera célula es tipo plana de manera que es muy útil para aplicaciones donde sea necesario tener poca altura, la segunda es tipo viga de manera que el peso que se quiere medir se apoya en su extremo y la tercera es tipo S que tiene la ventaja de que puede trabajar tanto a tracción como a compresión y además es útil para sistemas de pesado colgantes.

En la figura 4.2 se muestran las tres células escogidas.



Figura 4.2 Imágenes de las tres células escogidas. [11] y [12].

Aún no se ha decidido cuál de estas tres será la célula escogida ya que, como se verá más adelante, esa decisión dependerá del emplazamiento de las células.

4.2.3. Determinación del emplazamiento de las células en el carrito

Existen diversas maneras de colocar las células en el carrito, a continuación se analizarán las más relevantes:

En las ruedas

En la figura 4.3 se muestra de color verde el emplazamiento de las células en el caso de colocarse sobre las ruedas. En esta configuración todo el peso del carrito recae sobre las células cosa que genera un gran problema y es que peso del cliente que dirige el carrito

también recae sobre las células. En el caso de que se quiera hacer una medición para cada artículo introducido, el sistema debería detectar si hay o no una persona añadiendo parte de su peso. Este tipo de detección no es complicado de implementar, de hecho muchas de las balanzas actuales de medición de fruta no dan un valor definitivo hasta que el peso no se ha estabilizado. Aún así, el cliente debería soltar el carrito cada vez que éste realizara una medición, lo que no es práctico.

La gran ventaja que tiene esta distribución de las células es que el diseño del carrito sería muy similar a los que existen actualmente pudiendo reutilizar los carritos del supermercado simplemente haciendo pequeños cambios. Pero en esta distribución las células estarán muy expuestas a accidentes ya que pueden recibir esfuerzos en direcciones no deseadas, por ejemplo en el momento de apilar los carritos uno dentro de otro, ya que siempre hay impactos.

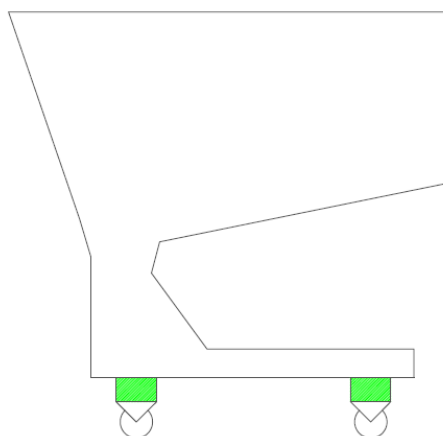


Figura 4.3. Colocación de las células en las ruedas.

Debajo de la cesta

La idea en este caso es separar la cesta del chasis del carrito y colocar las células debajo de la misma.

En la figura 4.4 se muestra de color verde el emplazamiento de las células. Con esta configuración se soluciona el problema de la lectura de pesos indeseados. Sin embargo, tiene el problema del apilamiento de carritos, al aumentar la dimensión de la base del carrito, la capacidad de apilamiento se ve reducida. Es decir, que los carritos ocuparían más espacio a la hora de guardarse.



Para que este problema no sea demasiado grave, es necesario que las células tengan poca altura y que no sean grandes ya que la apilabilidad también depende de lo pequeñas que sean las dimensiones de las células. Esto es debido a que las células deberían mantener su dirección de carga paralela a la dirección de la gravedad y el diseño natural del carrito para garantizar su apilabilidad le confiere cierta inclinación a la cesta, entonces queda claro que es necesario un soporte que nivele las células. Este soporte es el que separa aún más a cesta y reduce la apilabilidad.

En el apartado 4.4 de este trabajo se realizará un estudio del apilamiento para este caso.

De todas formas las células que mejor funcionarían en este caso serían las PBW ya que son bajas y además pequeñas.

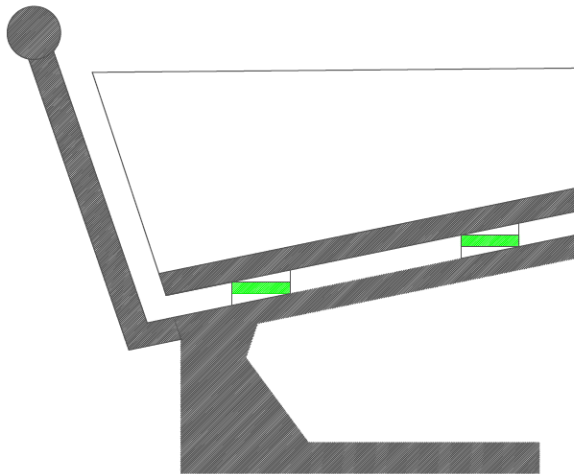


Figura 4.4. Colocación de las células en la base de la cesta.

En los laterales de la cesta

En la figura 4.5 se muestra en color verde el emplazamiento de las células. Esta configuración sigue sin tener el problema de la lectura de pesos indeseados pero cambia la dimensión crítica del problema del apilamiento de carritos.

Este caso también se estudiará en el apartado de análisis de apilamiento, siendo las células CT-0 y SX-1 las mejores para esta distribución.

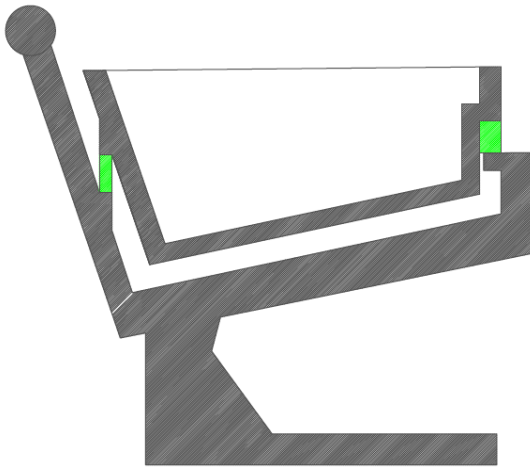


Figura 4.5. Colocación de las células en los laterales de la cesta.

La elección de la colocación de las células vendrá determinada por los resultados del análisis de apilamiento.

4.3. Diseño de la doble cesta

En las figuras 4.4 y 4.5 del apartado anterior, se ven dos diseños de la colocación de las células con un funcionamiento muy similar, su ventaja es que las células no reciben los esfuerzos que aplica el usuario a la cesta mientras la empuja por el supermercado. Sin embargo, sí que recibirían los esfuerzos derivados de un choque entre carritos, o el peso de alguien que se apoyase o estirase de la cesta por cualquier sitio que no fuera el mango. Por este motivo es necesario cubrir la cesta con un revestimiento exterior que la proteja ante estos problemas.

En los siguientes apartados se referirá a este revestimiento como "cesta externa" y la cesta con capacidad de pesado donde se alojen los productos se referirá como "cesta interna".

4.4. Análisis del apilamiento

Como ya se ha comentado anteriormente, uno de los problemas que derivan de las soluciones representadas en las figuras 4.4 y 4.5 es el apilamiento de los carritos, es decir la capacidad de un carrito de entrar dentro de otro para un almacenamiento óptimo en el menor espacio posible.



Para evitar problemas de definición se definirá apilamiento como la relación entre la distancia a la que quedan las dos caras delanteras del carrito una vez apilados (d) y la longitud total del carrito (L).

$$\text{Apilamiento} = \left(1 - \frac{d}{L}\right) \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Para tener una referencia de un carrito con gran capacidad de apilamiento se ha seleccionado el carrito de la empresa Polycart *P130 Aisle Rider* este modelo permite un apilamiento de un 80,7% [13]. Se pretende conseguir un mínimo del 50% de apilamiento, y para ello se compararán los diferentes parámetros que repercuten en dicha propiedad y comprobar si es posible diseñar el carrito según la configuración de doble cesta.

Nomenclatura de las caras

Para hacer referencia a las diferentes partes del carrito se ha establecido una serie de variables que definen las cotas más importantes así como las partes más destacadas del carrito. A lo largo de los siguientes capítulos se utilizará esta nomenclatura para dejar claro a qué parte del carrito se está refiriendo la explicación.

En la figura 4.6 se han numerado las diferentes caras de la cesta del carrito, al tratarse de un hexaedro están numeradas del 1 al 6. La numeración se refiere tanto a la cesta interna como la externa. En caso de que la cara pertenezca a la cesta interna llevará una "I" delante del número y en el caso de que pertenezca a la cesta externa una "E". Por ejemplo I6 se refiere a la cara 6 de la cesta interna que es por la que se introducen los productos y E5 se refiere a la cara 5 de la cesta externa que es por la cual se introducen o se apilan los carritos.

Nomenclatura de las longitudes de las aristas

Las longitudes de las aristas se han referenciado con tres caracteres, el primero indica si pertenece a la cesta interna (I) o a la externa (E) y los otros dos indican las dos caras a las que pertenece esa arista. Así E12 es una variable expresada en mm que indica la longitud de la arista formada por la intersección de las caras 1 y 2 de la cesta externa.

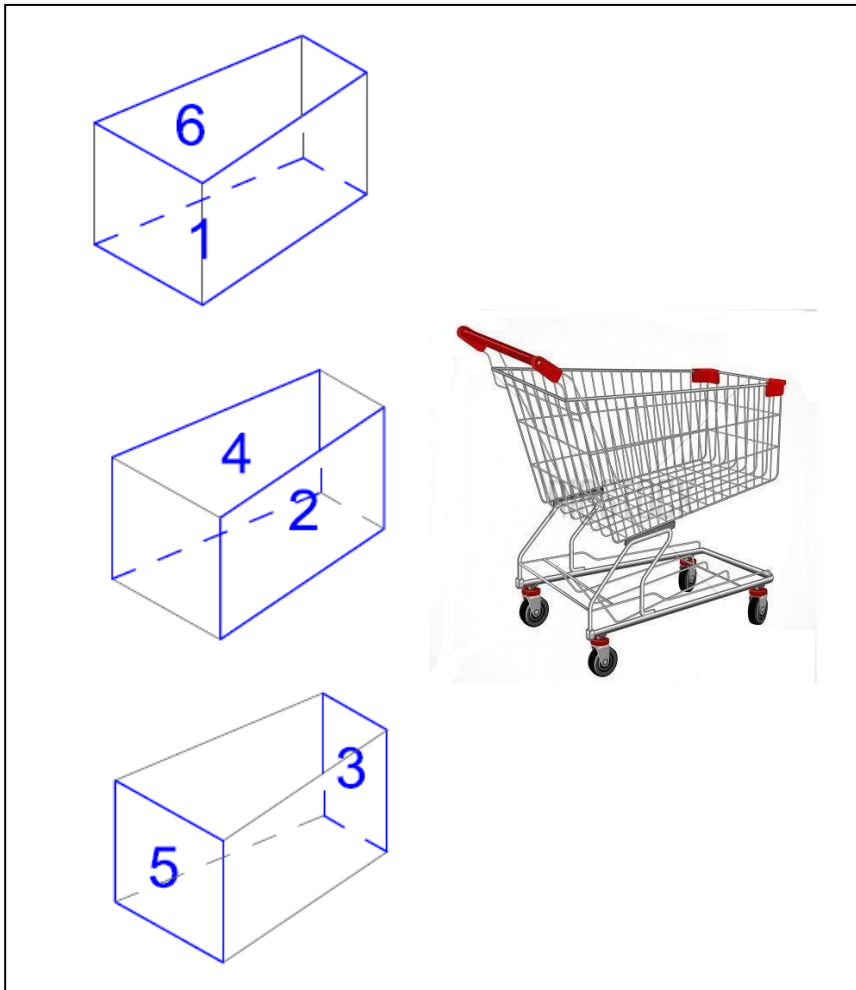


Figura 4.6. Nomenclatura de las caras del carrito

Nomenclatura de separaciones entre cestas

Estará indicado con una letra S seguida de la cara a la que hace referencia. De esta manera, la variable S1 expresa la distancia entre las caras 1 externa y 1 interna.

Nomenclatura de los grosores de las caras.

Estará indicado con una letra G seguida de una E o I dependiendo de si pertenece a la cesta externa o a la cesta interna respectivamente y el número de la cara a la que hace referencia. De esta manera, la variable GE1 expresa el grosor de la cara 1 externa. Este grosor hace referencia al dimensionado del material del que estará compuesto, en el caso de realizarse mediante tubos o barras, esta variable se referirá al diámetro de los mismos.



Cálculo de apilamiento según la base

Una vez explicada la metodología utilizada para llamar a las variables, en las figuras 4.7 y 4.8 y 4.9 se ilustran las cotas que influyen en el apilamiento.

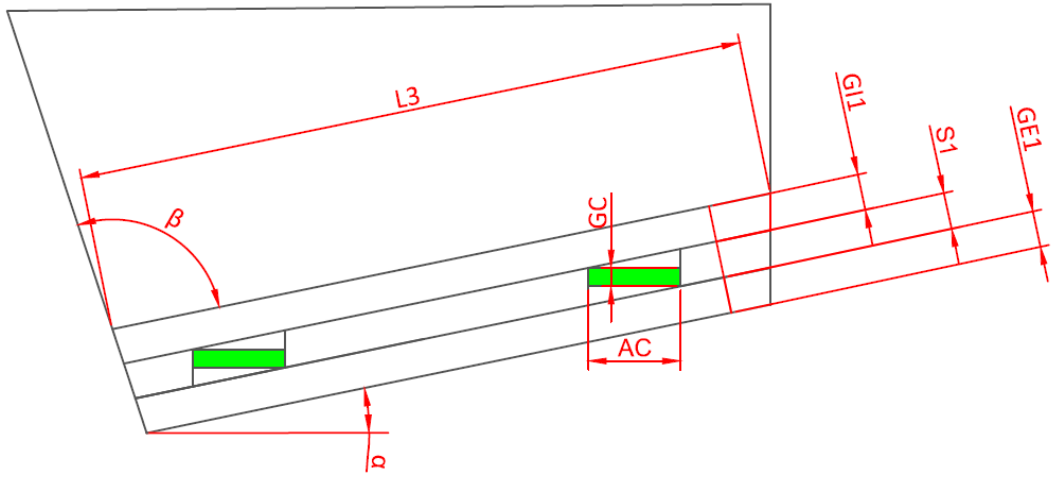


Figura 4.7

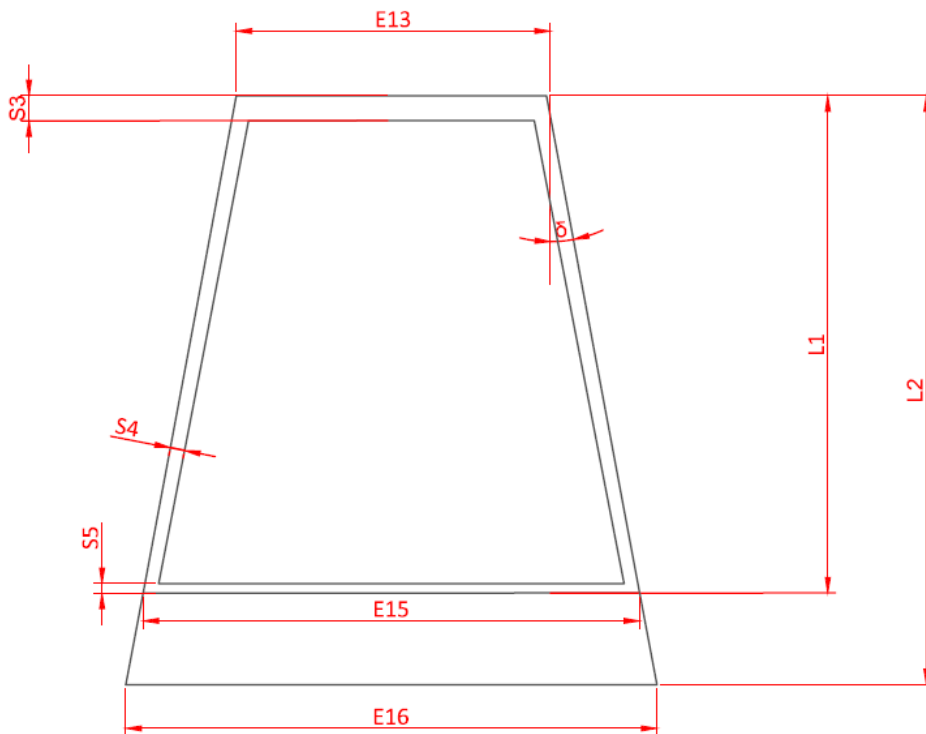


Figura 4.8

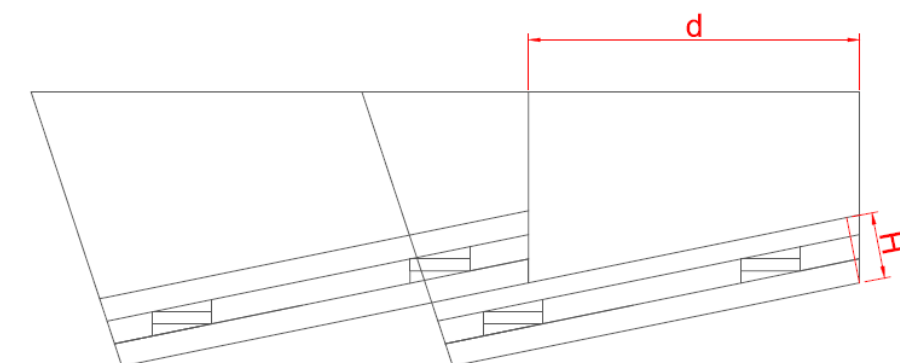


Figura 4.9

Mediante relaciones trigonométricas simples se llega a la Ecuación 4.6 para hallar la distancia entre las caras 3 del carrito (d).

$$H_1 = S1 + GE1 + GI1 \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

$$d = \frac{H_1 \cdot \cos^2(\alpha)}{\sin(\alpha)} + \sin(\alpha) \cdot H_1 \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Tal y como se ha definido anteriormente, el apilamiento se calcula mediante la ecuación 4.7 siendo L2 la longitud total del carrito a la que se le ha dado el valor de 850 mm.

$$\text{Apilamiento} = \left(1 - \frac{d}{L2}\right) \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

En las tablas, los valores de S1 corresponden al cálculo realizado con las medidas de la célula PBW (Anexo A1) que es la célula con las dimensiones GC y AC (ver figura 4.7) más pequeñas que se ha podido encontrar. GC=63,5 mm, AC=8 mm.

En la tabla 4.2 se pueden comparar las diferentes capacidades de apilamiento según las dimensiones de la base del carrito. Los apilamientos se refieren al caso de que el primer punto de contacto entre dos carrillos apilados sea en la base de los mismos. Es decir, que los carrillos no pueden entrar más uno dentro de otro porque sus caras 1 rozan (la cara E1 con la cara I1). En la tabla está calculado el apilamiento para diferentes ángulos α y para diferentes valores de la variable AC.

Se observa que aunque se encontrasen unas células con una dimensión AC mucho menor,



el resultado del apilamiento no variaría demasiado. Por tanto se concluye que el apilamiento máximo que se podría obtener sin sobrepasar una inclinación de $\alpha = 7^\circ$ estaría alrededor del 60%. Si se sobrepasase dicha inclinación, se complicaría la colocación de los productos sobre la cesta ya que éstos podrían resbalar o caer.

AC [mm]	GC [mm]	S1 [mm]	α [°]	D [mm]	Apilamiento
63,5	4	11,32	3	674,93	20,6%
63,5	4	13,53	5	430,66	49,3%
63,5	4	15,74	7	326,08	61,6%
30	4	9,57	3	641,43	24,5%
30	4	10,61	5	397,16	53,3%
30	4	11,66	7	292,58	65,6%

Tabla 4.2. Apilamientos según AC y α .

Cálculo de apilamiento lateral

En este caso, se supone que el primer punto de contacto entre los carros apilados sea en el lateral de estos. Es decir que la cara I2 roza con la cara E2, o la I4 con la E4 (se supone el carrito simétrico).

Análogamente a la ecuación 4.6, tenemos para el cálculo del apilamiento lateral, la Ecuación 4.9 para calcular la distancia entre carritos en función de δ .

$$H_2 = S2 + GE2 + GI2 \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

$$l = \frac{H_2 \cdot \cos^2(\delta)}{\sin(\delta)} + \sin(\delta) \cdot H_2 \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

En este caso H_2 , se calcula mediante la ecuación 4.8 siendo los valores de GE2 y GI2 supuestos constantes e iguales a 12 mm al igual que en el apartado anterior. S2 es la

dimensión crítica de las células de carga SX-1 y CT-0 (Anexos A.2 y A.3). Estas células se podrían colocar en las caras 2, 3 y 4 del carrito conformando un sistema en el que la cesta interna queda suspendida. La dimensión crítica de la célula en esta configuración vale 16 mm para la SX-1 y es igual a S2 ya que en este modelo las caras 2, 3 y 4 son perpendiculares al suelo.

En la tabla 4.3 se pueden comparar los diferentes apilamientos en relación a las medidas de las aristas E15 y E13 y L1 (distancia horizontal entre estas aristas). La elección de estas longitudes determina el ángulo δ con el que se ha calculado el apilamiento.

Se aprecia que variando estas longitudes dentro de parámetros razonables, la apilabilidad varía de manera significativa. Además en este caso no tenemos limitación del ángulo δ ya que no afecta a la comodidad a la hora de dejar los productos en el carrito. Cuanto más se reduzca el parámetro E13, más apilabilidad se consigue, el único inconveniente es la reducción de volumen disponible.

E15 [mm]	E13 [mm]	L1 [mm]	S2 [mm]	δ [°]	d [mm]	Apilamiento [%]
600	400	800	15	7,13	314,4	63,0%
500	400	800	15	3,58	625,2	26,4%
700	400	800	15	10,62	211,6	75,1%
600	400	600	15	9,46	237,2	72,1%

Tabla 4.3

Cesta articulada

Como una alternativa para solucionar el tema de la inclinación máxima al colocar las células en la base de la cesta, se plantea la posibilidad de crear una articulación para rotar las cestas tal y como se muestra en la figura 4.10.

Este complemento al diseño tiene como objetivo permitir el aumento del ángulo α hasta valores tan elevados como se desee pero solamente en el momento del apilamiento,



durante el transcurso de una compra normal, $\alpha=0^\circ$. A la cesta exterior se le debería dar una geometría tal, que permitiera a la cesta elevarse por si sola al entrar en contacto con el carrito de delante. Para ello se podrían diseñar unas piezas romas de plástico que a su vez reducirían el impacto.

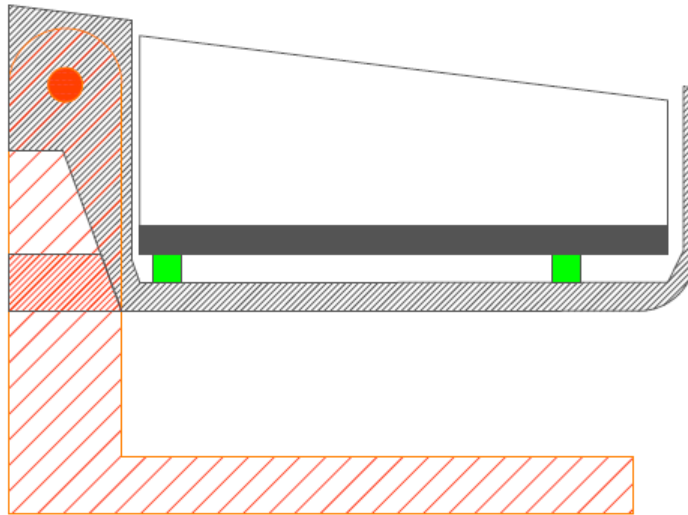


Figura 4.10

Configuración elegida

El análisis que se ha realizado de la apilabilidad ha permitido elegir uno de los dos métodos de colocación de las células.

Aunque la idea de colocar las células en la parte inferior tiene algunas ventajas, también genera algunos inconvenientes y restringe todo el diseño posterior. Sin embargo, la colocación en los laterales ofrece mucho más juego y permite un diseño más flexible, cosa que ayudará a solucionar los problemas que vayan surgiendo a lo largo de todo el diseño.

El hecho de añadir una articulación para solucionar el problema del límite del ángulo α , añade una parte móvil y por tanto más problemas. Además, para que se pueda elevar la cesta ésta tiene que impactar contra el carrito de delante y aumenta la posibilidad de que sus células se dañen.

Con estos argumentos, se ha optado por la idea de colocar las células en las caras 2, 3 y 4 del carrito ya sean las CT-0 o las SX-1, en todo caso las PBW quedan descartadas.

4.5. Elección de materiales

Actualmente hay dos tipos de carritos según el material del que están hechos, por un lado tenemos los carritos metálicos, generalmente de conformados mediante acero doblado, y por otra parte los carritos de plástico, construidos normalmente mediante inyección de polipropileno. Se analizarán las dos opciones y se escogerá aquella que mejor se adapte al proyecto.

4.5.1. Carros metálicos

Para conocer las características principales de los carros metálicos, se ha cogido como ejemplo el proceso de conformado de un modelo concreto [14]. Aunque no todos los carros metálicos se construyan de la misma manera, su proceso constructivo es muy similar.

Conformado

En este modelo los carritos constan de unas 150 piezas de alambre que se sueldan entre sí para conseguir el producto final. Éstas piezas de alambre se crean a medida a partir de tubos que se doblan para obtener la forma deseada, como por ejemplo en el caso de las costillas del carrito que tienen forma de "U" cuadrada. Para alinear el alambre, se utilizan guías y así se consigue una forma de red o retícula que corresponde a la base de la cesta del carrito (cara 1). Para que esta retícula quede fijada de forma permanente se suelda por proyección, esto es, aprovechando unos salientes en el metal colocados en los puntos de soldadura, en la figura 4.11 se puede ver esquemáticamente cómo funciona este tipo de soldadura.

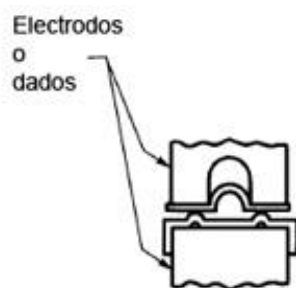


Figura 4.11 Representación de dos piezas antes de soldarse por proyección. [15]

Una vez soldado, una máquina dobla el alambre sobrante para darle forma de cesta. Para conseguir el chasis del carro, se va doblando un tubo de unos 4 m de largo y



posteriormente se suelda a su posición. Los soportes de las ruedas, se crean con una troqueladora en acero grueso para lograr una mayor resistencia. Estos soportes tienen forma de "U" con orificios para el eje de la rueda. Los componentes se limpian en un baño de jabón y ácido. Luego, toda la estructura se galvaniza con níquel y posteriormente con cromo. Por último se remachan las ruedas al chasis y se atornillan los componentes restantes.

Materiales de construcción

El material más comúnmente utilizado para la creación de los carritos metálicos es el alambre de acero al carbono. Por ejemplo, la empresa Tecnicar S.A. tiene en el mercado carros, carritos y carretas de todo tipo y en la construcción de la estructura principal de estos productos, se utilizan básicamente tres tipos de componentes:

1. Caño estructural ovalado, que son tubos con costura conformados en frío y soldados mediante el proceso ERW (Soldadura por Resistencia Eléctrica) a partir de flejes de acero laminados.
2. Tubo estructural de una pulgada.
3. Alambre trefilado pulido SAE 1010, en el sistema de la *nomenclatura SAE*, los aceros se clasifican con cuatro dígitos. El primero especifica la aleación principal, el segundo indica el porcentaje aproximado del elemento principal, que en este caso es el manganeso (0,45%) y con los dos últimos dígitos se conoce la cantidad de carbono presente en la aleación, que en este caso es un 0,10%.

4.5.2. Carros de plástico

Los carritos de plástico están cogiendo fuerza en el mercado del consumo alimenticio ya que tienen algunas ventajas con respecto a los carritos metálicos, entre ellas se pueden destacar las siguientes:

1. No se oxidan.
2. Son ligeros.
3. Son compatibles con la tecnología RFID gracias a que el plástico del que suelen estar conformados es transparente para el lector RFID.

4. Los plásticos que se suelen utilizar son reciclables.
5. Son respetuosos con el medio ambiente ya que no necesitan procesos de cromado, por lo que no es necesario el uso de ácido crómico o ácido clorhídrico, por tanto no es necesario tratar sus correspondientes residuos.
6. Existe una importante reducción del consumo energético en fabricación, transporte y reciclaje en relación a los carritos metálicos.

Conformado

Los carritos de plástico, generalmente se conforman mediante inyección de polipropileno, en España, una de las empresas que tiene más repercusión en la construcción de la estructura de carritos de plástico es la empresa Tomás Morcillo S.L. [16]. Ésta, distribuye sus productos a nivel internacional. El método de conformado que utilizan para la estructura es la inyección de polipropileno, creando ellos mismos los moldes.

Con este método de conformación de piezas se pueden crear geometrías muy complejas que serían imposibles utilizando otras técnicas. Además, se tiene una gran capacidad de decisión sobre el nivel de automatización que se desea y las piezas moldeadas no requieren de tratamientos post-moldeado pues tienen buenas tolerancias dimensionales, buena rugosidad de superficie acabada y el color final deseado.

4.5.3. Elección del material

Se ha optado por escoger un material que ya se utilice para la construcción de carritos como es el caso del alambre o el polipropileno (PP). De esta manera se asegura el buen funcionamiento del carrito y se reduce el espectro posible de materiales y procesos de construcción.

El plástico tiene algunas propiedades muy beneficiosas para la aplicación en cuestión, pero hay un problema que guarda relación con el apilamiento estudiado en el apartado 4.4. El estudio del apilamiento se ha hecho suponiendo grosores de las paredes del carrito (caras 2 y 4) de 12 mm. Esta dimensión es válida en el caso de carritos conformados por alambre doblado y equivaldría al diámetro de las barras. Pero en el caso de hacerse mediante inyección de plástico, sería necesario bastante más grosor para tener las mismas propiedades mecánicas y la misma rigidez. El plástico puede ofrecer la misma rigidez que



el acero, pero para ello es necesario crear nervios o estructuras entrecruzadas tal y como muestra la figura 4.12.

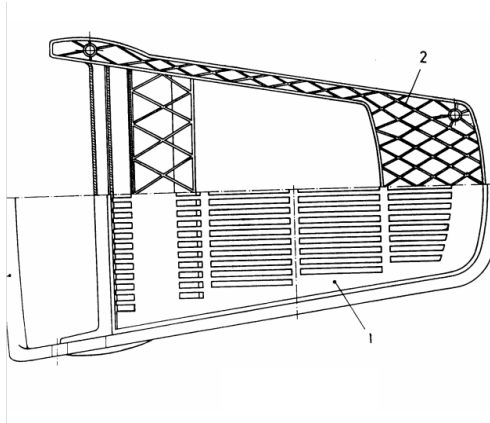
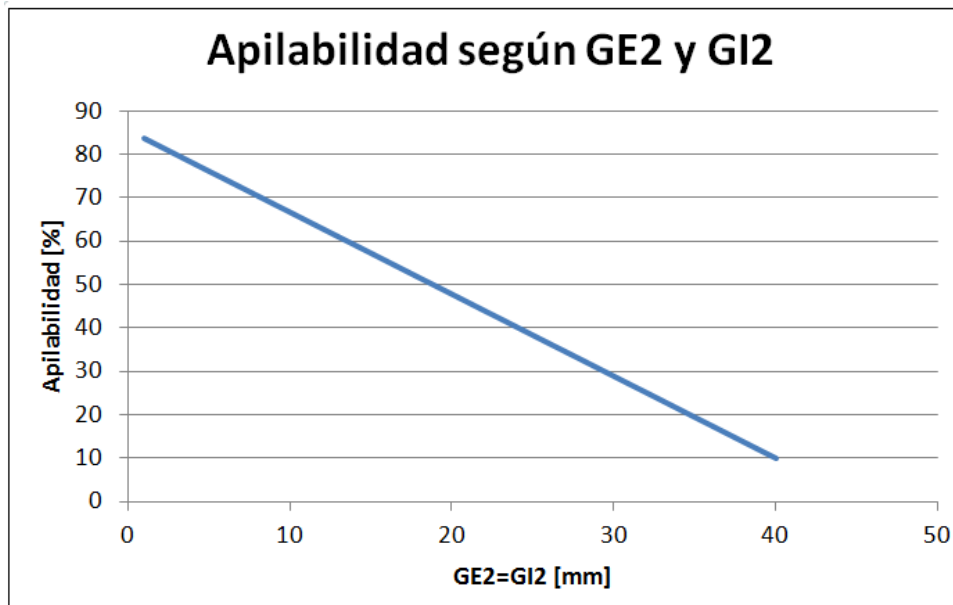


Figura 4.12. Ejemplo de estructura necesaria para carros de plástico. [17]

Así, la construcción mediante inyección de plástico reduce drásticamente el apilamiento como podemos observar en la gráfica 4.1 en la que se relacionan los grosores de pared GI2 y GE2 con el apilamiento del carrito. Se observa que si se impone que las paredes interna y externa tengan el mismo grosor la relación con el apilamiento es completamente lineal.

Dado que para conseguir suficiente rigidez, los carritos de plástico actuales, necesitan un grosor de entre 20 y 30 mm, el apilamiento máximo que se podría conseguir estaría comprendido entre un 30% y un 45%. Por este motivo, la elección del material se decanta a acero doblado.



Gráfica 4.1. Apilabilidad según GE2 y GI2.

4.6. Distribución y diseño de los componentes

Una vez se tiene claro el funcionamiento general del sistema, el funcionamiento y colocación de las células de carga y el material de construcción del carrito, se ha creado un modelo tridimensional del carrito para ordenar todos los conceptos y ver qué problemas pueden surgir en el ensamblaje del mismo.

Resumen de la distribución de los componentes

En la figura 4.13 se puede ver el carrito con todos sus componentes. La cesta interna está representada en color verde y la cesta externa de color marrón. Las células (color lila) están protegidas y colocadas de manera que forman un triángulo. También se incluye el sistema que une la cesta externa y la interna a través de las células y que impide la transmisión de esfuerzos no deseados entre ambas. Los cables que unen las células y la pantalla están representados de color amarillo y pasan por dentro de los tubos estructurales de la cesta externa. También se puede ver la estructura que soporta la pantalla, los canales que facilitan la entrada de un carrito dentro de otro y la manera de ensamblar las ruedas.

En la figura 4.14 se puede ver la capacidad de apilamiento final que es un 60%.





Figura 4.13. Visualización del conjunto montado del carrito

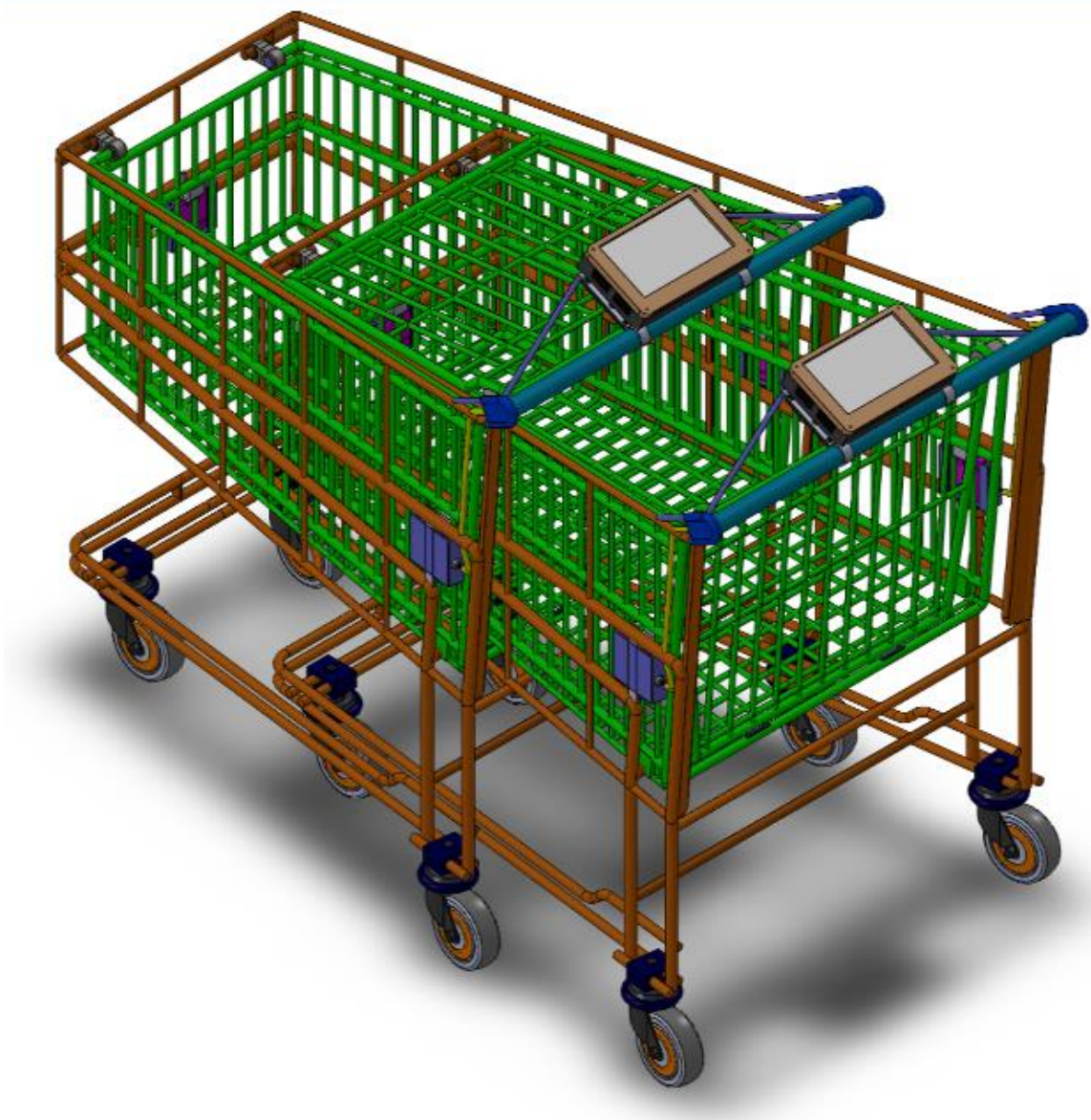


Figura 4.14. Visualización del apilamiento entre dos carritos.

4.6.1. Unión entre cestas

Problemática

Las células de carga son un tipo de sensor muy delicado y por tanto es importante que los esfuerzos a los que se sometan estén en la dirección correcta. Hay que tener en cuenta las posibles dilataciones del material de las cestas y que estas dilataciones no provoquen lecturas erróneas o incluso un daño irreparable en las células.

Por otra parte, el momento de apilar los carritos es un momento crítico para las células,



porque en ese momento, la cesta externa no la va a proteger ante los impactos. En el caso de fijarlas completamente entre las dos cestas, la células podrían sufrir graves daños. Por estos motivos es necesario definir y diseñar unos soportes adecuados.

Opciones para unir las cestas

De alguna manera la cesta interna debe estar apoyada en las células sin estar fijada. Incluso la unión cesta interna-célula podría estar lubricada para evitar aún más las tensiones laterales.

El objetivo es crear unas uniones entre la cesta externa y la interna que no falseen las lecturas de las células, es decir, que transmitan el peso de manera íntegra de todos los productos. Para lograr este objetivo hay varios tipos de uniones que podrían servir:

1. Contacto lubricado o con mínima fricción de dos piezas que pueden tener forma semicilíndrica, semiesférica o plana. O una combinación de éstas.
2. Barras doblemente articuladas
3. Rodamientos esféricos o cilíndricos
4. Unión guía-corredera
5. Pequeños imanes en posición de repulsión.

Todas ellas tienen en común que bloquean completamente todos los grados de libertad del movimiento relativo entre cestas, excepto el movimiento vertical (dirección de la gravedad). Gracias a esto, la cesta interna se puede apoyar sobre la externa y quedar en reposo. En la figura 4.15 se pueden ver esquemas representativos de las uniones mediante imanes y correderas respectivamente.

La diferencia básica entre los rodamientos cilíndricos, los rodamientos esféricos y la unión cilíndrico-plana está en la fricción que se pueda derivar de ellas. Pero el sistema de transmisión conceptualmente es el mismo. A medida que se quiera incrementar la precisión o reducir la componente vertical del esfuerzo, el precio se elevará.

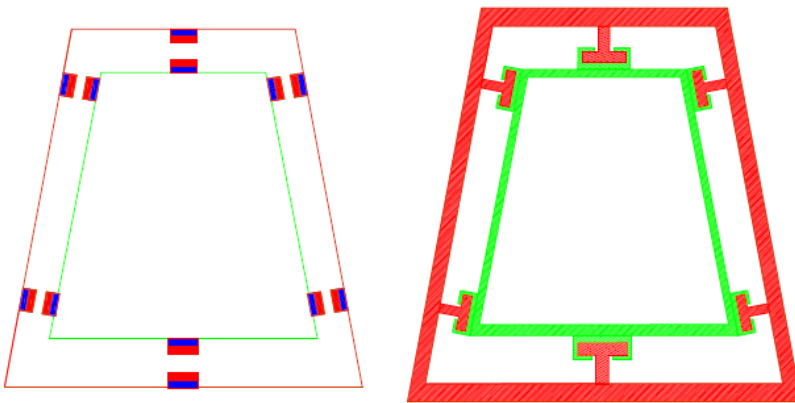


Figura 4.15. Uniones mediante imanes (izquierda) o correderas (derecha).

La opción 4 quizá sea la más simple pero a la vez es la menos precisa. La opción 5 es una opción muy arriesgada ya que estructuralmente usar imanes no es habitual y hay pocos precedentes. Así que se ha considerado que la mejor opción es la que se ve en la figura 4.16 y consta de dos uniones esférico-planas y dos barras con doble articulación. Las uniones esférico-planas tienen un ligero juego que provoca que no estén en contacto directo excepto en momentos puntuales. Las dos barras impiden el movimiento en la dirección crítica, en la que las fuerzas cobrarán mayor valor.

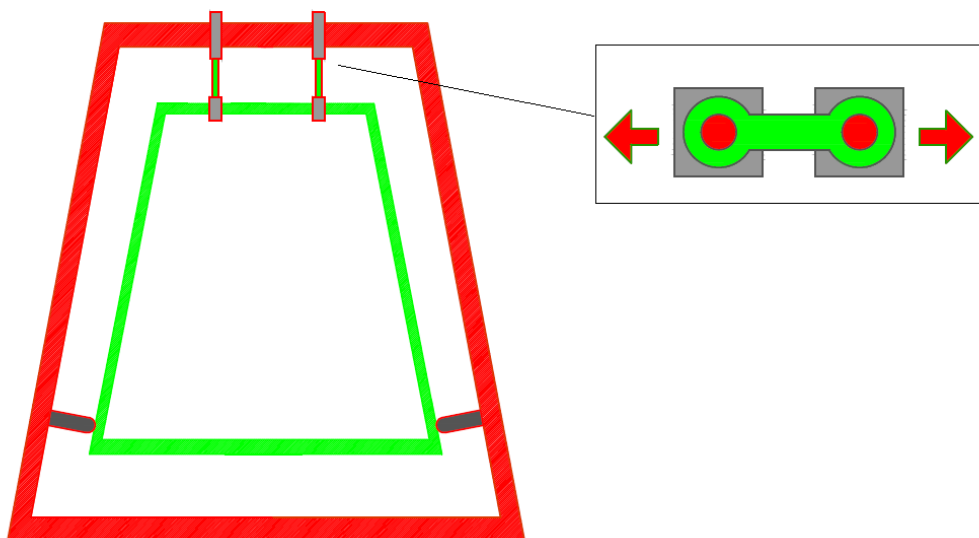


Figura 4.16. Representación de la sujeción de la cesta interna.

Hay que destacar que se han colocado las barras articuladas en la parte frontal del carrito (cara 3), porque si se hubiesen colocado en la parte anterior (cara 5), el funcionamiento hubiese sido el mismo pero con una gran diferencia, de nuevo el apilamiento ha jugado un



papel importante en la decisión de la colocación de estas barras articuladas, ya que en este caso se perdería capacidad de apilamiento al tener que colocar las barras en direcciones paralelas. En este caso las uniones esférico-planas solo tendrán utilidad en las ocasiones en las que la cesta se deforme lo suficiente como para que ésta toque con la unión. La distancia exacta de separación o el juego que optimiza su funcionamiento se debería calcular en un proyecto posterior así como las máximas deformaciones de la cesta, ya sea de manera numérica o experimental.

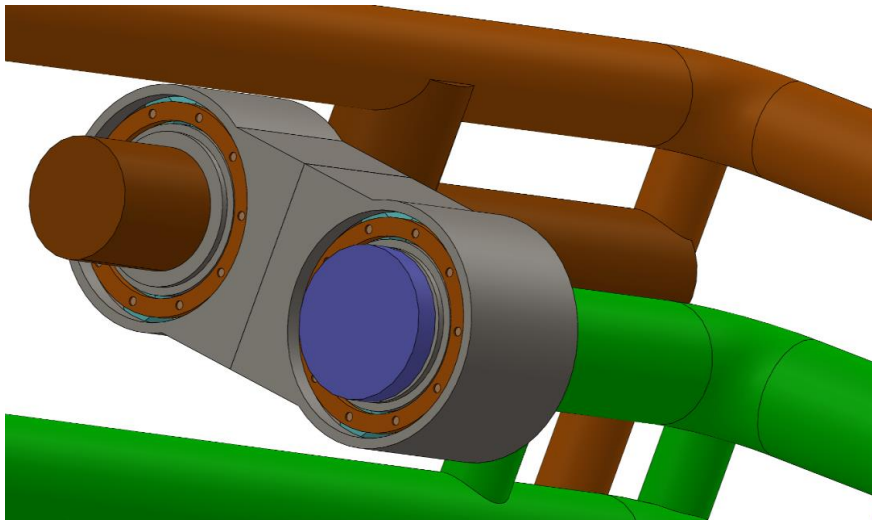


Figura 4.17

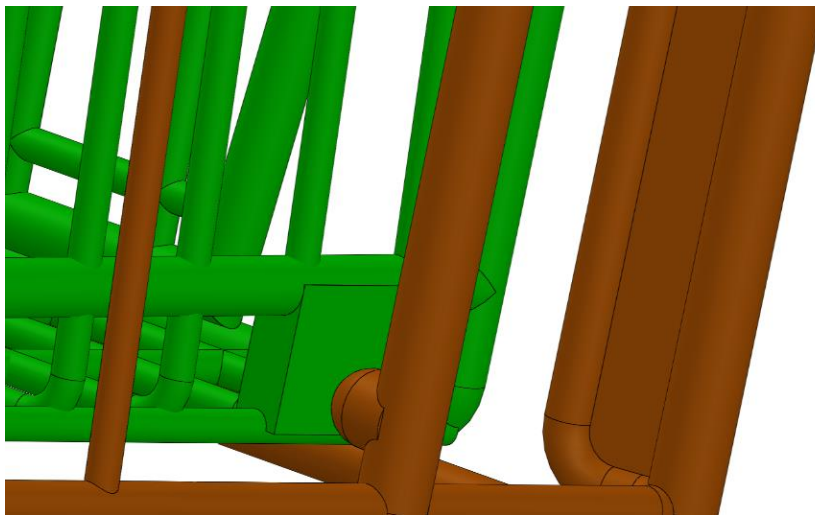


Figura 4.18

En las figuras 4.17 y 4.18 se puede ver el diseño y la representación en el CAD de éstas

dos uniones. Cabe destacar que el correcto funcionamiento de este sistema deberá ser comprobado mediante el primer prototipo ya que no es un modelo típico de balanza y se tiene cierta preocupación por el grado de afectación de este sistema en las lecturas de las células. Solamente se dará por bueno el sistema de transmisión de peso en el caso de que todas las comprobaciones mediante el prototipo hayan sido satisfactorias.

4.6.2. Soportes para las células

Una vez se tiene restringido el movimiento relativo entre las cestas, es necesario crear unos soportes adecuados para que las células trabajen correctamente. Se representa en la figura 4.19 un dibujo esquemático de cómo se sustenta la cesta interna a partir de células tipo viga, concretamente el modelo CT-A0.

La célula tipo viga, está firmemente unida a la cesta externa mientras la cesta interna se apoya en el extremo de la célula.

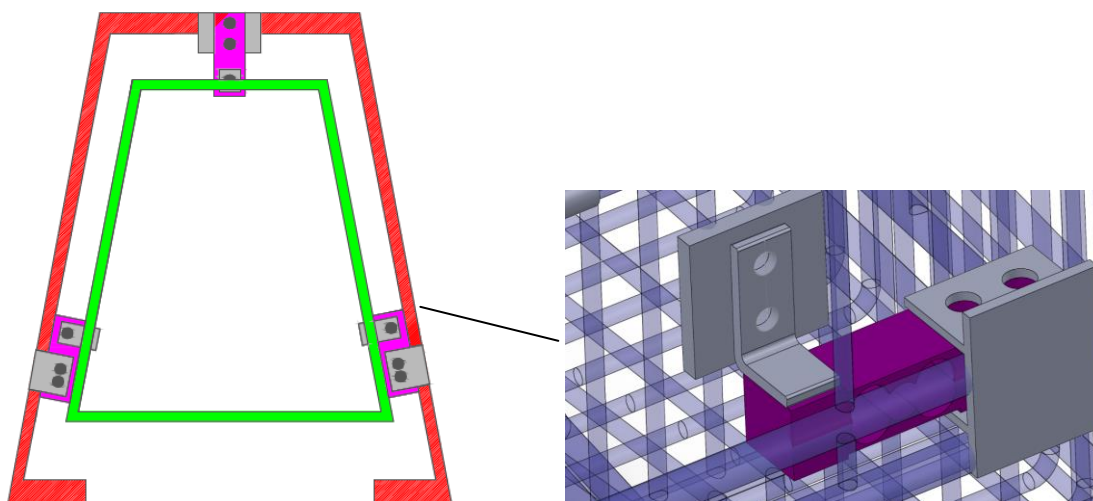


Figura 4.19. Soportes de las células CT-A0.

Utilizando células tipo S (modelo SX-1 de senel technologies), la cesta interna se apoyaría de una manera muy similar tal y como se ve en las figuras 4.20 y 4.21 en las que están representadas respectivamente la célula delantera (de la cara 3) y una de las células laterales (cara 4). La parte inferior de la célula en ambos casos iría atornillada a un soporte solidario a la cesta externa (marrón).

La parte superior de la célula, aunque según el diseño del fabricante podría ir atornillada, no lo irá ya que como se ha comentado en apartados anteriores, en caso de ir fijas, el



sistema no funcionaría correctamente. En vez de ir atornilladas, se apoyará en ella una pieza expresamente diseñada para esa función, que será solidaria a la cesta interna.

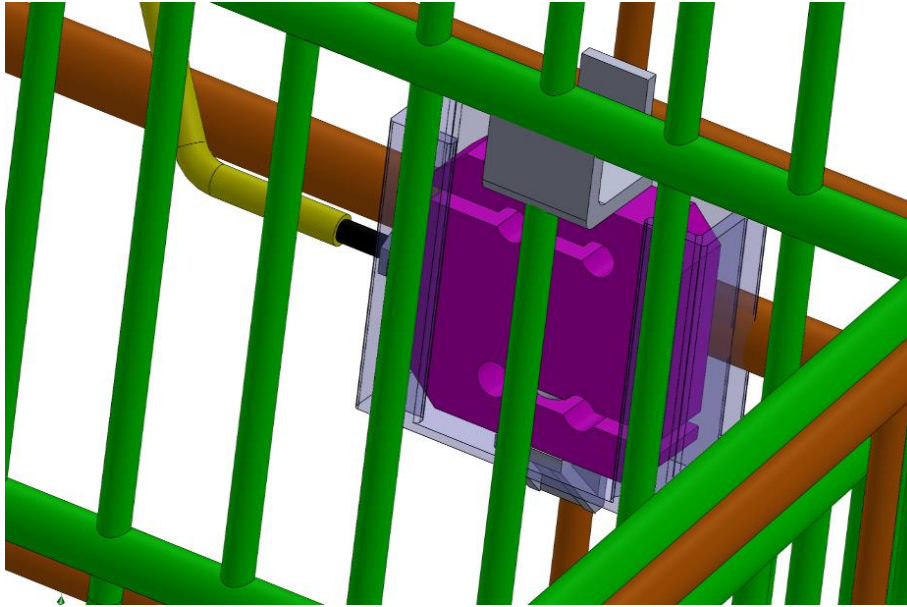


Figura 4.20. Vista del soporte de la célula SX-1 delantera.

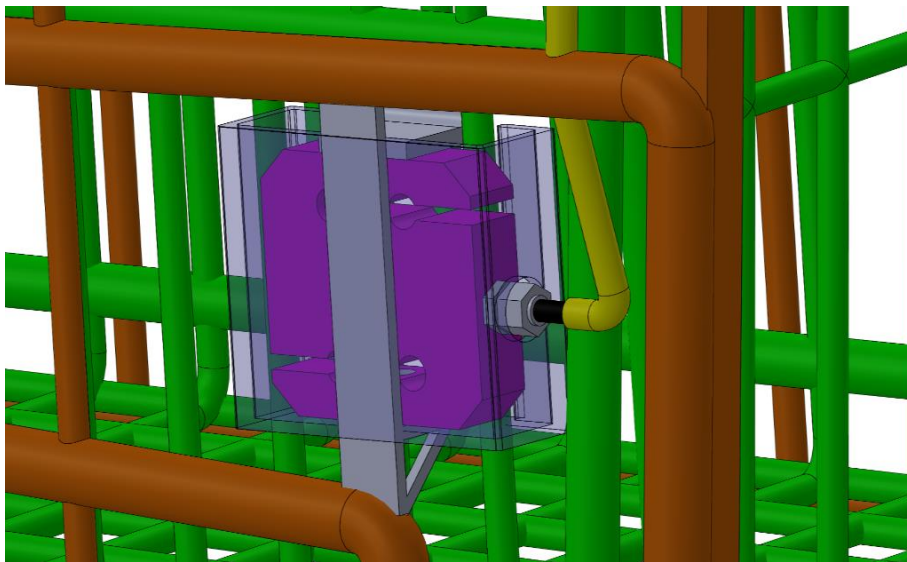


Figura 4.21. Vista del soporte de la célula SX-1 lateral.

Además, se ha diseñado una carcasa que protege la célula, tanto ante posibles impactos de objetos como ante la manipulación humana que en las figuras 4.20 y 4.21 se ha

representado de color transparente para que se pudiera observar el interior de la misma. En La figura 4.22 se visualiza la planta del soporte para las células. En azul está representada la carcasa protectora, ésta, está provista de una abertura circular para dejar salir los cables de señal de las células.

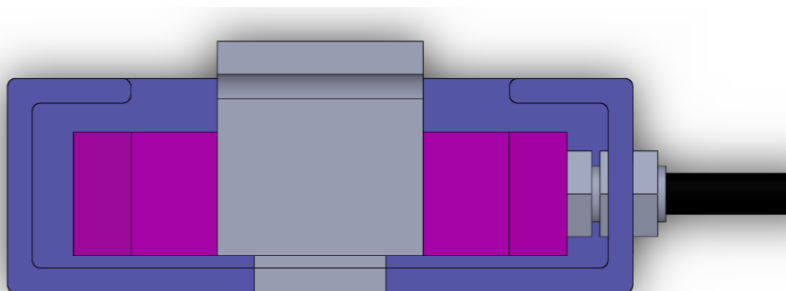


Figura 4.22. Vista en planta de del sistema de sujeción de la célula.

4.6.3. Pantalla y soporte

En la figura 4.23 se puede observar la pantalla montada con su carcasa y soporte. La pantalla ha sido seleccionada por Miquel Piris en un trabajo paralelo a éste. Esta pantalla de la empresa 4DSYSTEMS está especialmente diseñada para el microcontrolador *Beaglebone black*, las dimensiones de dicha pantalla aparecen en el anexo B y se ha dimensionado el soporte de acuerdo a los planos.

Las baterías que alimentarán tanto las células como la pantalla y el controlador, irán alojadas dentro de la misma carcasa. Ésta, consta de unas aberturas para ventilar y evitar el sobrecalentamiento de los componentes electrónicos.

La carcasa será de un material plástico e irá atornillada a dos soportes para fijarla al carrito. Cada uno de los dos soportes constan de dos piezas metálicas que se fijan entre el mango del carrito y una barra auxiliar que estará soldada al chasis del carrito. Esta barra auxiliar estará colocada de tal forma que la pantalla quede en un ángulo agradable para un usuario. Este ángulo se ha calculado según la fórmula 4.10 donde β es el ángulo entre la pantalla y el suelo, A_{usuario} es la altura media del usuario que se ha supuesto de 1,7 m; A_{pantalla} es la altura respecto el suelo a la que estará situada la pantalla (0,9 m) y por último, D es la distancia horizontal que separa la pantalla de los ojos del usuario y se ha supuesto de $D=0,4$ m.



$$\beta = 90 - \arctan\left(\frac{A_{\text{usuario}} - A_{\text{pantalla}}}{D}\right) = 26,5^\circ \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

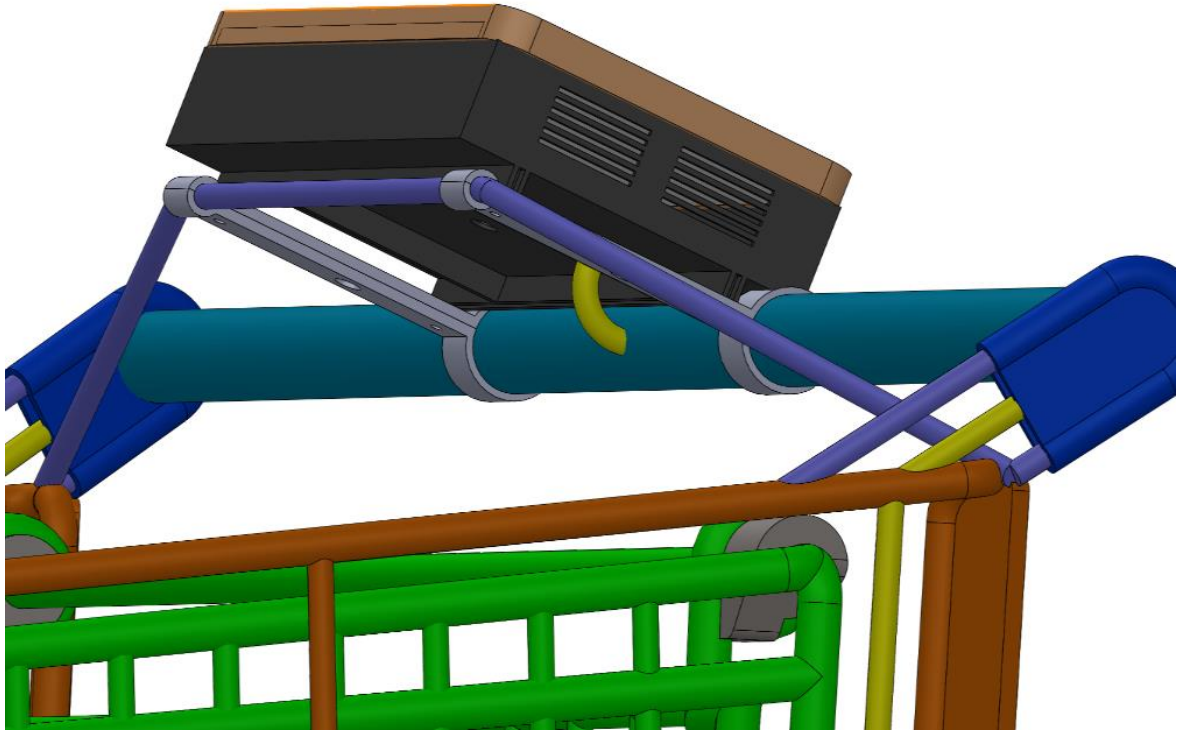


Figura 4.23. Vista del montaje de la carcasa y la pantalla.

Por último, la carcasa dispone de una entrada para los cables que provienen de las células y un agujero a medida para cargar las baterías que está situado en la parte inferior.

4.6.4. Armadura externa

La función principal de la armadura externa es proteger las células y proporcionar la base para el apoyo de la cesta interna. Esta armadura está mucho menos reticulada que la cesta interna porque no tiene que albergar productos en su interior. El material de construcción puede ser el mismo que el de la cesta interna, es decir el acero SAE 1010.

Como se puede ver en la figura 4.24 este revestimiento no dispone de retículas en las caras 1 y 5 que no son necesarias para llevar a cabo sus funciones. La estructura se

sustentará sobre los tubos centrales, que son los de más diámetro. Y los cables de las células pasarán por dentro de uno de estos tubos para estar protegidos.

En la cara 5 de la estructura se han incorporado unas planchas para reconducir los carritos a la hora de apilarse, así se evita el impacto directo contra la cesta interna ya que en caso de que el usuario no acierte, el primer punto de contacto será una de estas dos planchas colocadas simétricamente y cuidadosamente alineadas con las caras 2 y 4 de la cesta interna.

En la parte inferior de la estructura hay dos piezas de alambre situadas una encima de la otra para ofrecer una mayor rigidez a la flexión. Por último, para situar tanto las ruedas delanteras como las traseras, se han colocado dos barras separadas entre sí a las que se atornillarán los soportes de las ruedas.

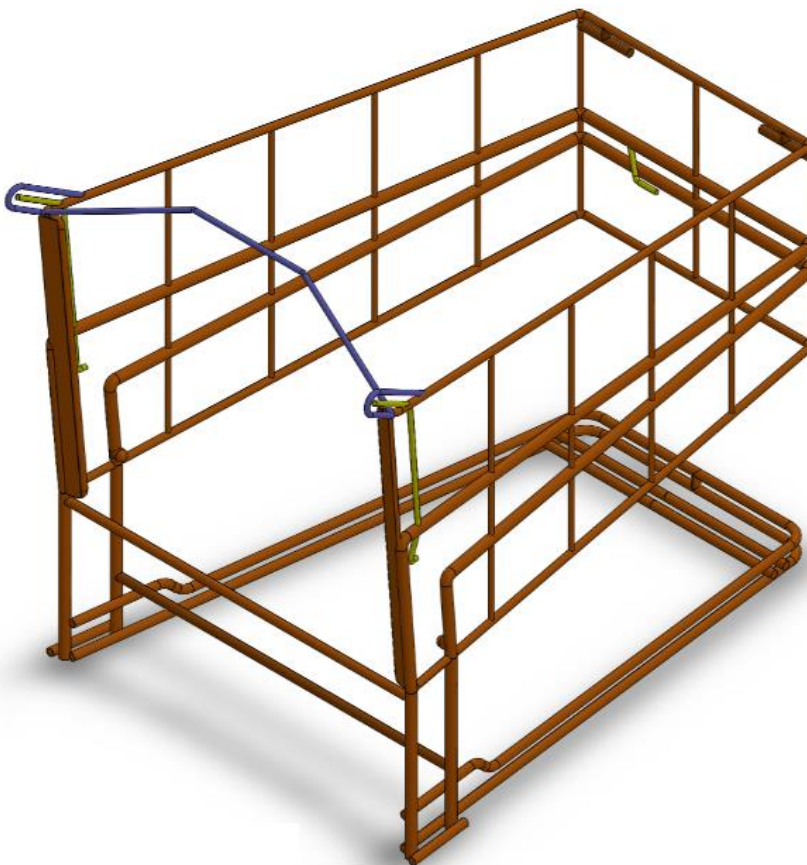


Figura 4.24. Vista de la cesta externa o revestimiento protector.



4.6.5. Ruedas

Para las ruedas se ha elegido un modelo de la empresa española Tente, ésta es experta en ruedas de todo tipo y tiene un catálogo especialmente diseñado para las ruedas de carritos de supermercado. Se ha elegido el modelo 2370DIK100P30-11, los planos del cual están en el anexo C. En las figuras 4.25 y 4.26 se ve la manera en la que irán instaladas las ruedas delanteras y traseras respectivamente.

Se instalarán aprovechando dos barras de la estructura colocadas estratégicamente y con la separación idónea en las que se encajarán dos piezas simétricas hechas a medida que se atornillarán para ofrecer una sujeción segura.

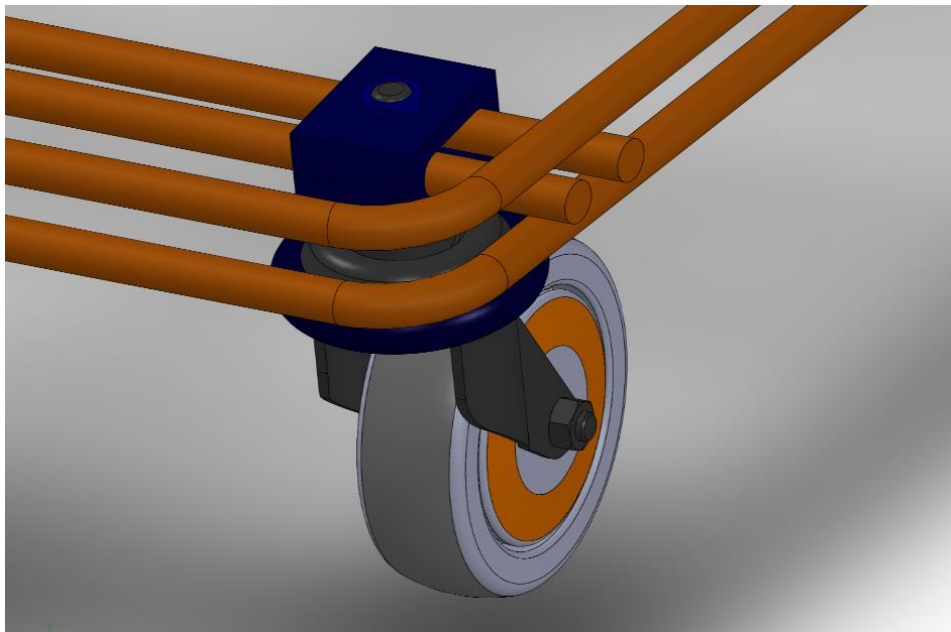


Figura 4.25. Vista del montaje de la rueda delantera

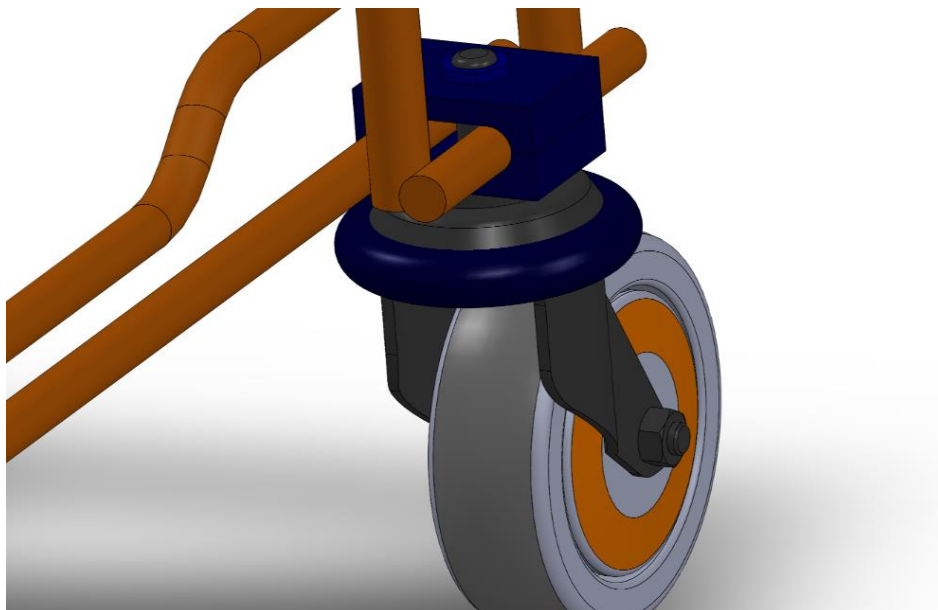


Figura 4.26. Vista del montaje de la rueda trasera

4.6.6. Mango

El mango está encajado entre dos piezas de plástico, estas piezas tienen un agujero del mismo diámetro que el mango y una cavidad interna por la cual pasarán los cables de las células. En la figura 4.27 se puede ver esta pieza antes de ser encajada en el tubo del mango y en la estructura. Una vez encajadas se pasará un tornillo para asegurar la fijación del mango al chasis.

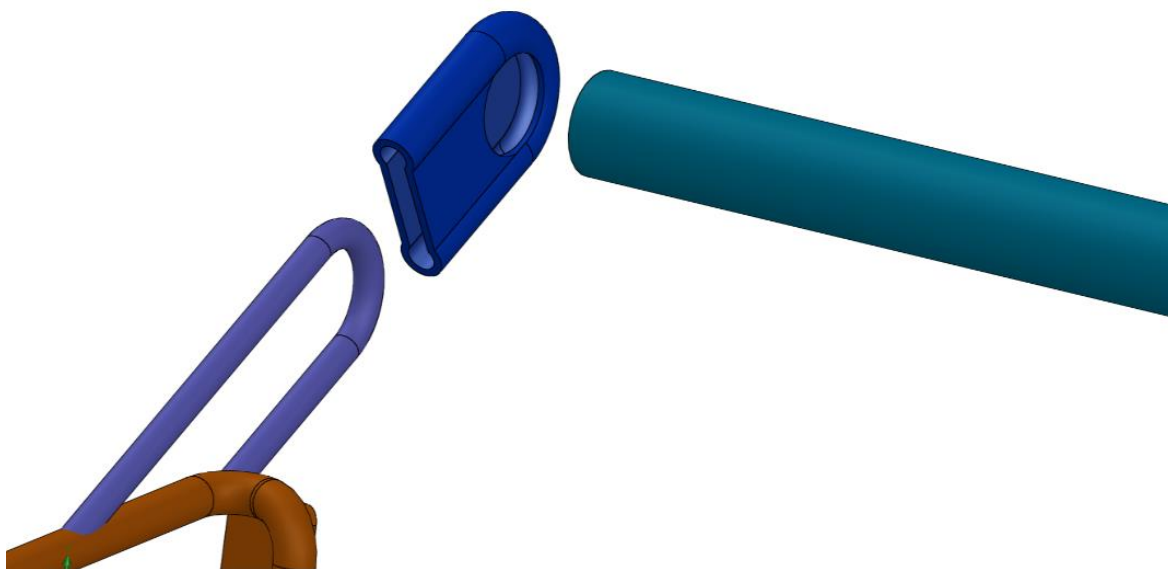


Figura 4.27. Instalación del mango.



4.6.7. Compuerta

La estructura externa ya está diseñada para permitir que los carritos se puedan introducir uno dentro de otro, pero es imprescindible el uso de una compuerta u otro mecanismo que abra la cesta interna. La opción más simple y eficaz, es la usada en la actualidad en todos los carritos. Una puerta articulada que se abre hacia arriba. La puerta estará hecha del mismo material que el resto de la estructura del carrito a excepción de las dos articulaciones que serán de plástico e irán encajadas en la rejilla metálica. En la figura 4.28 se puede ver la compuerta y las articulaciones.

Un requisito muy importante es que esta compuerta tenga una forma que permita la apertura completa. El ángulo δ del carrito (ver figura 4.8) es el ángulo idóneo para a los laterales de la compuerta ya que éste es el mayor ángulo que permite la apertura completa. En el dimensionado final $\delta=7,18^\circ$.



Figura 4.28. Visualización de la compuerta con sus respectivas articulaciones.

Otro requisito muy importante es que mientras se vayan introduciendo los productos, éstos no puedan abrir la compuerta hacia el exterior, de manera que la rotación debe tener un límite físico. Para evitar esta apertura indeseada, se han instalado unos pequeños topes tal y como se muestra en la figura 4.29 (representados en color azul).

Aunque estos topes no estaban considerados en el cálculo de la apilabilidad, no la

modifican ya que la dimensión crítica sigue estando en los laterales de la cesta y no en la parte inferior. Es decir, que en el momento de apilar un carrito dentro de otro, el primer punto de contacto sigue estando en la pared lateral.

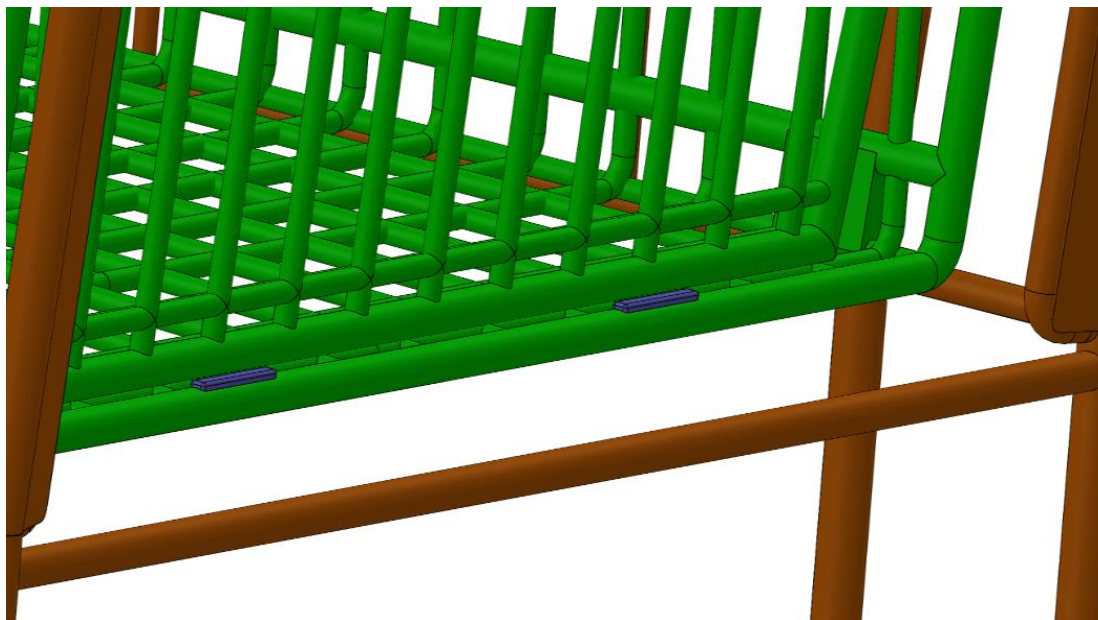


Figura 4.29. Visualización de los topes para la compuerta.

4.7. Simulación del proceso de carga del carrito

Para comprobar la evolución de la distribución del peso en cada una de las células de carga a medida que se van introduciendo artículos en el carrito, se ha desarrollado un modelo que simula este comportamiento. En el anexo D aparece el código del programa que se ha creado para llevar a cabo las simulaciones. Una vez se haya construido un prototipo, se podrán realizar ensayos reales, pero esta simulación ayudará a entender el proceso de carga y los problemas que se pueden derivar de él.

Una vez hecho el modelo, se ha probado en tres situaciones diferentes: compra aleatoria, sobrecarga delantera y sobrecarga trasera. La compra aleatoria representa una compra en la que el cliente coloca los productos aleatoriamente por la superficie del carrito, la compra con sobrecarga delantera y la compra con sobrecarga trasera representan compras en las que el cliente ha empezado colocando los productos en las zonas delantera y trasera del carrito respectivamente.



Compra aleatoria

Durante la simulación de la compra aleatoria, el programa introduce productos de uno en uno y los coloca en un punto aleatorio del carrito (dentro de la cesta interna). A cada producto se le es asignado un peso, que es elegido con cierta variabilidad. El peso de cada producto introducido tiene un 60% de posibilidades de pesar entre 0,1 y 1 kg y un 40% de posibilidades de pesar entre 1 y 5 kg, ésta variabilidad es una aproximación a la distribución de pesos de los productos que se pueden comprar en un supermercado. De esta manera, el peso de cada producto, se extrae a partir de dos funciones equiprobables diferentes.

Este hecho provoca que cada simulación nueva que se realice en estas condiciones será diferente de la anterior ya que tienen un dos variables con una componente aleatoria (peso y posición del producto), así que ha sido útil realizar varias simulaciones y observar los diferentes resultados en cada una de ellas.

La figura 4.30 muestra los resultados de una de las muchas simulaciones que se han realizado en esta situación de compra aleatoria, en este caso concreto la simulación se ha realizado con un total de 30 productos. En la parte inferior de la figura está graficada la evolución de las mediciones de cada célula.

En rojo se observa la evolución de la célula delantera, en esta simulación al igual que en la mayoría de las otras que se han realizado, ésta es la célula que suele cargarse más, lo cual es lógico dado que el peso colocado en la parte trasera se distribuye entre las otras dos células. El gráfico de la parte superior izquierda de la figura muestra los resultados de los pesos que han salido de las dos distribuciones equiprobables.

En la parte superior derecha aparece la colocación aleatoria 2D de los productos. Uno de los puntos no se ha generado de manera aleatoria sino que ha sido introducido expresamente y representa el centro de masa de la cesta interna del carrito siendo el peso de ésta de 2,4 kg. Es necesario introducir este dato en la simulación ya que las células siempre estarán precargadas a este valor, ya que sobre ellas siempre recaerá el peso de la cesta.

Sobrecarga delantera

En este caso se ha realizado una prueba con la mayor parte del peso en la parte delantera del carrito. El objetivo de esta simulación, al igual que en la anterior, es ver cómo se comportan las células y la evolución de las reacciones en cada una de ellas.

En esta simulación los productos no son colocados aleatoriamente por todo el carrito, sino que su colocación se restringe a la parte delantera y se colocan un total de 12 productos. Además, para crear un escenario más adverso, las probabilidades de que el producto esté en el rango de los que pesan más se ha aumentado hasta un 80%.

Los resultados de esta simulación, aparecen en la figura 4.31 y ofrecen una información muy interesante. Se debe aclarar que el punto que se ve aislado del resto en la colocación aleatoria, representa el centro de masa del carrito con un valor de 2,4 kg como ya se ha comentado anteriormente.

Como se puede ver en la evolución de la célula trasera derecha (línea verde), la carga sobre ésta puede disminuir incluso puede tener valores negativos, esto es debido a que es posible colocar productos que estén fuera del triángulo virtual que se forma entre las tres células.

El hecho de que la carga de las células pueda disminuir e incluso ser negativa implica que necesariamente tienen que ser sensibles bidireccionalmente. Las células de carga SX-1 utilizadas en el estudio de la apilabilidad pueden trabajar tanto a tracción como a compresión así que son idóneas para esta aplicación, de manera que entre las tres células que se habían preseleccionado en el subapartado 4.2.2 la célula SX-1 es la única que cumple con todos los requerimientos necesarios.

Cabe destacar que en algunas de las simulaciones realizadas con la sobrecarga delantera ninguna célula leía valores negativos pero sí que se ha podido observar en casi todas las simulaciones que la pendiente de una de las dos células traseras se volvía negativa en algún punto. Sin embargo la célula delantera nunca ha llegado a tener valor ni pendiente negativa ya que la colocación de los productos no lo permite.

El valor máximo al que ha llegado la célula en esta simulación está alrededor de los 25 kg, así que con un E_{max} de 75 kg esta célula estaría trabajando por debajo del 50% de su capacidad máxima tal y como recomiendan los fabricantes.



Sobrecarga trasera

Esta situación es muy similar a la situación anterior, se ha usado el mismo modelo pero colocando los productos en la parte trasera del carrito. En la figura 4.32 se pueden ver los resultados de la simulación con sobrecarga trasera. En esta simulación, al contrario que la simulación con carga delantera, es mucho más complicado salirse del triángulo virtual que forman las células y por tanto también hay menos probabilidades de obtener pendientes negativas en la células traseras.

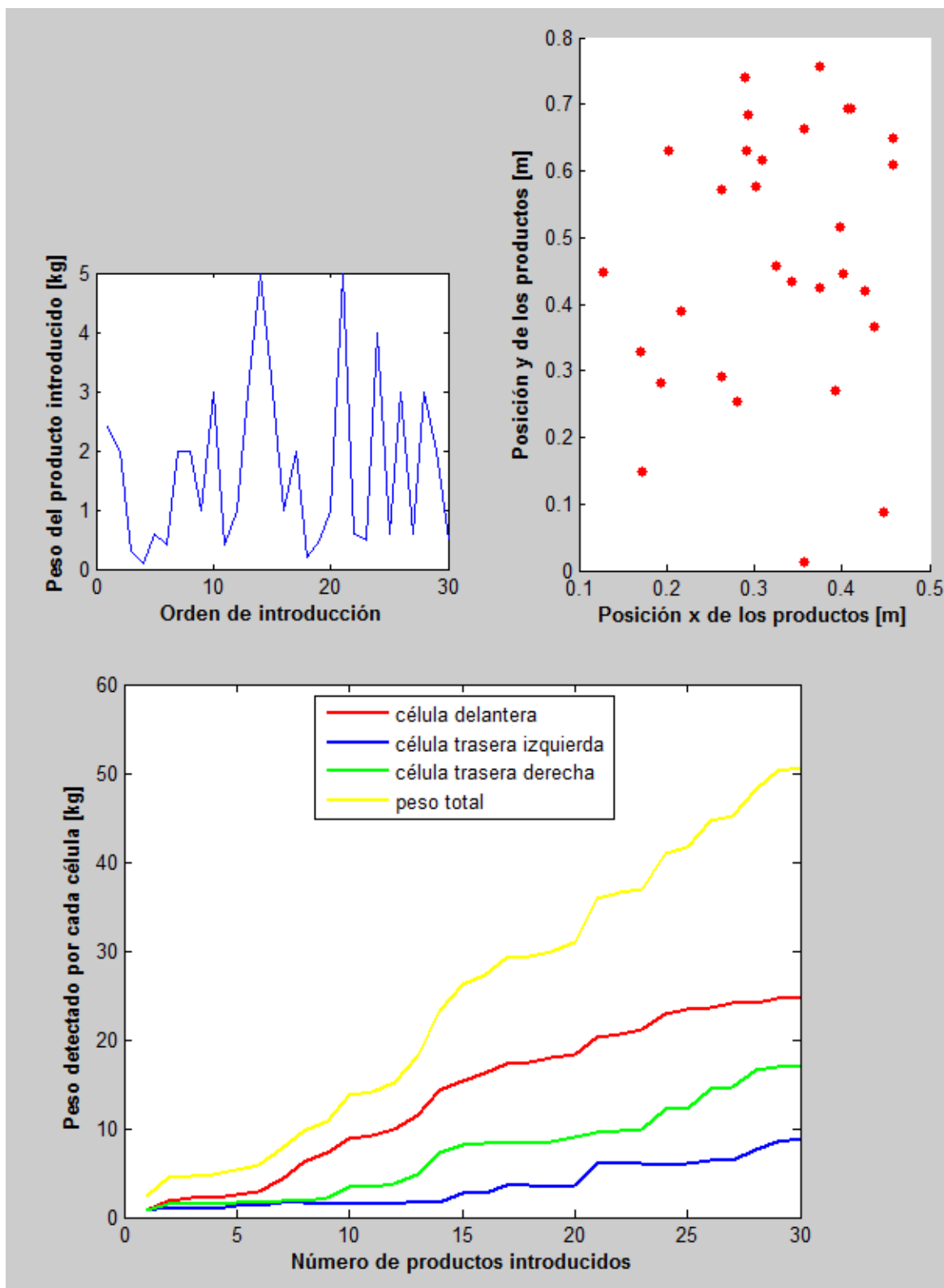


Figura 4.30. Resultados de la simulación de una compra aleatoria



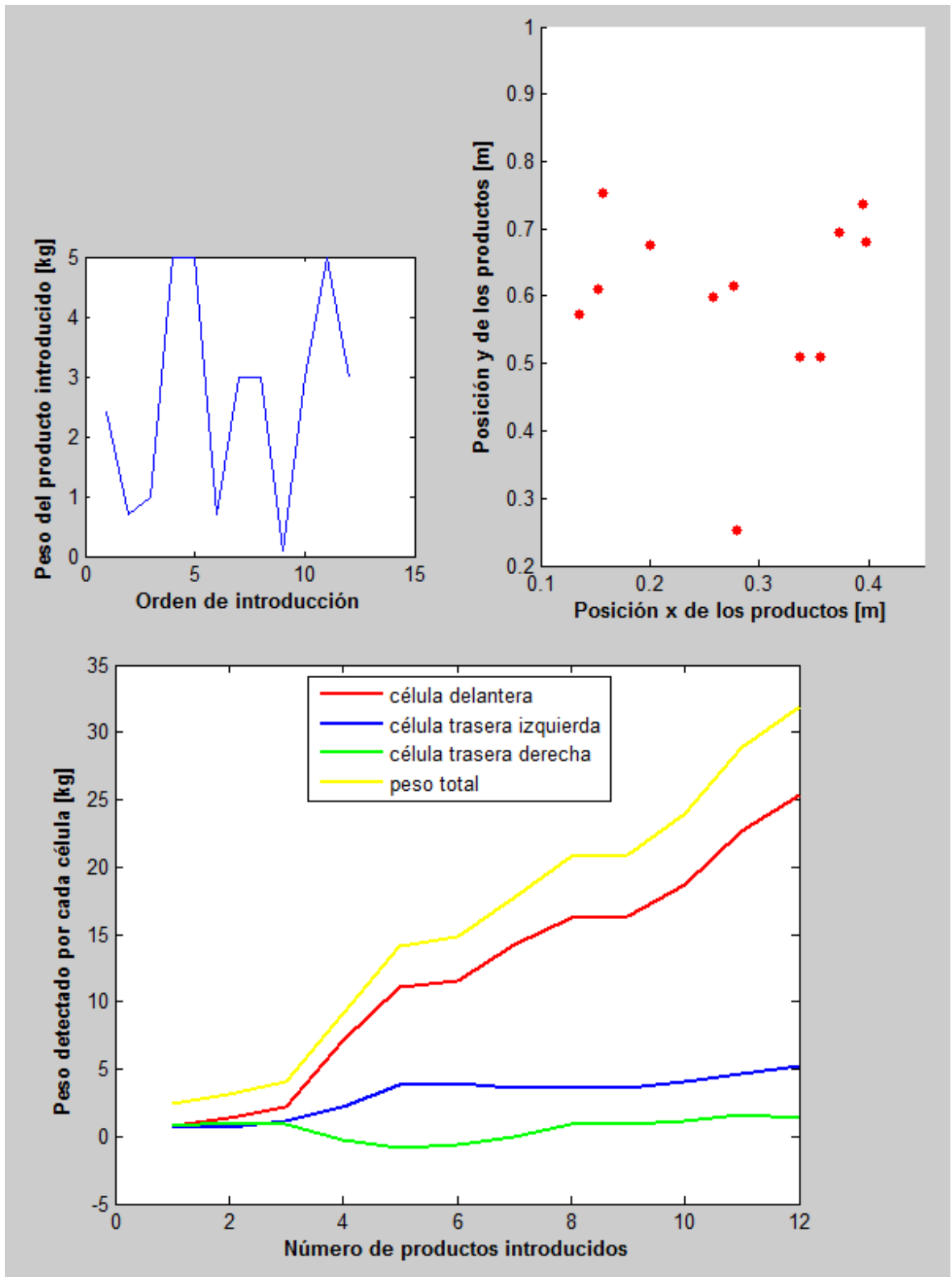


Figura 4.31. Resultados de la simulación de una compra con sobrecarga delantera.

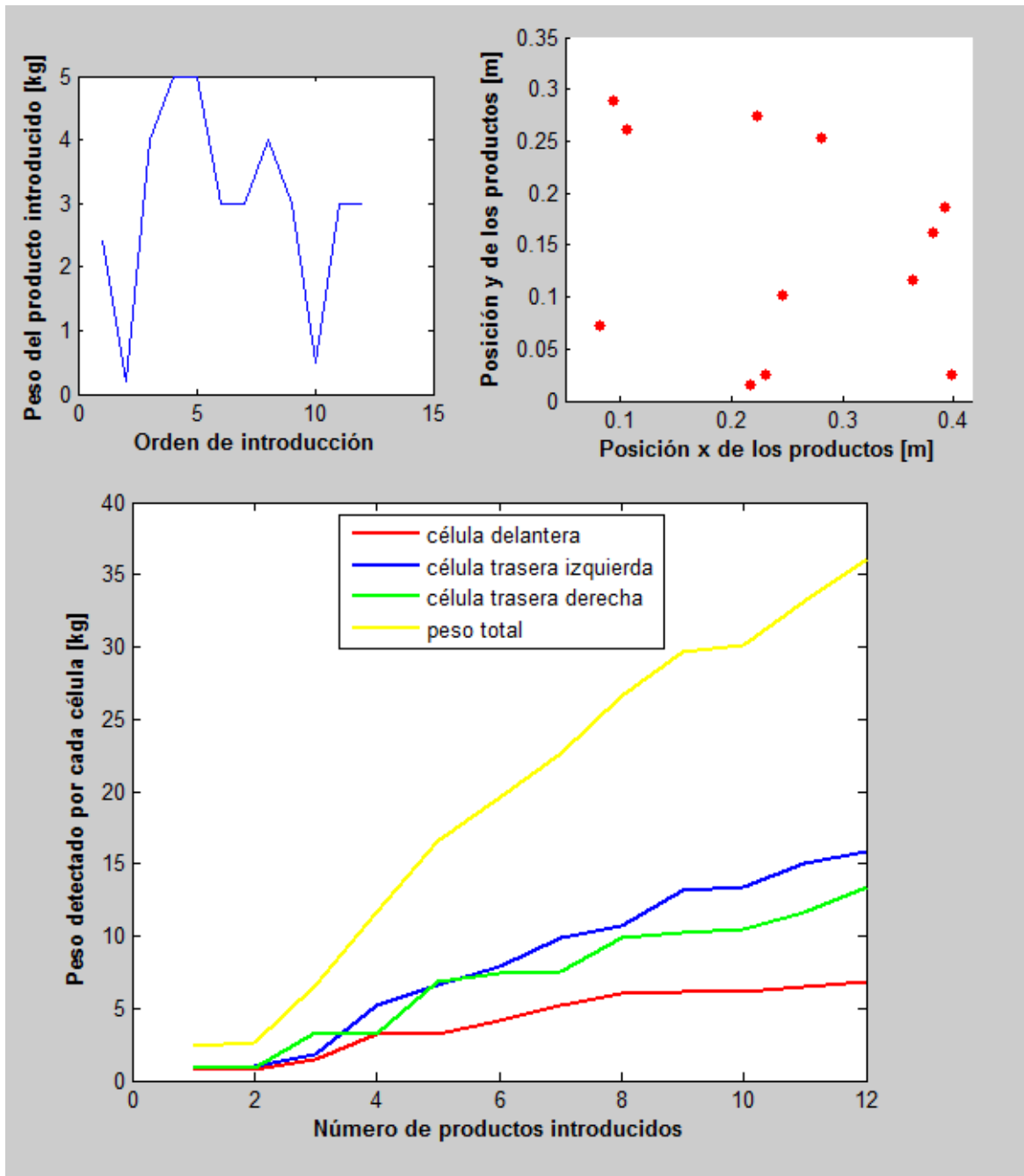


Figura 4.32. Resultados de la simulación de una compra con sobrecarga trasera.



4.8. Características finales

Se ha llevado a cabo una recopilación de los valores más importantes obtenidos a lo largo de todo el proceso de diseño para visualizar de manera rápida los resultados obtenidos, éstos se muestran en la tabla 4.4. Los valores de altura, ancho y largo máximo que aparecen en la tabla también se pueden entender como las dimensiones mínimas que debería tener una caja para que cupiera un carrito dentro. El resto de las características no dan lugar a confusión. El dimensionado de la cesta interna se puede ver en el plano adjunto.

Característica	Valor
Altura máxima	0,9 m
Ancho máximo	0,65 m
Largo máximo	0,9 m
Peso de la cesta	2,4 kg
Número de células de carga	3
Célula seleccionada	SX-1
Error máximo para cada célula (certificado)	0,025 kg
Volumen disponible para el almacenaje de productos	113,3 litros
Carga máxima	225 kg
Carga nominal	112,5 kg
Coste aproximado por unidad	485 €
Apilabilidad	60%

Tabla 4.4. Características finales del carrito

5. Presupuesto

Con el fin de conocer de manera aproximada el coste de los materiales de la parte mecánica del carrito se ha elaborado un presupuesto utilizando los precios de diferentes proveedores (con IVA incluido). El coste total de los materiales es de 278,92 € sin tener en cuenta los gastos de transporte (ver tabla 5.1). No se han aplicado descuentos a las piezas realizadas a medida.

En la elaboración del presupuesto del carrito no se han tenido en cuenta los gastos derivados de la construcción del mismo, sino que solamente se han añadido los materiales y las piezas compradas directamente a los proveedores. Por lo tanto la gran inversión inicial necesaria para adquirir las máquinas para realizar los mecanizados, doblados, moldeos y otras operaciones ya sean en las piezas metálicas o en las piezas de plástico no se han tenido en cuenta. Tampoco se han tenido en cuenta ni los gastos energéticos derivados de la producción ni los gastos derivados de la automatización de los procesos para la construcción en serie, así que el presupuesto solo da una información orientativa del posible coste de la parte mecánica por carrito una vez se produzcan en serie de manera automatizada.

El coste de la parte electrónica está elaborado por Miquel Piris en un trabajo realizado paralelamente a éste y se estiman unos 206,26 €. La suma de del presupuesto electrónico y el mecánico es de 485,18 €; este precio puede servir para hacerse una idea del posible coste por carrito construido pero no es el precio final real. Puede parecer un precio elevado, pero no supondría un problema económico para una gran superficie, sobre todo por el hecho de que entre las ventajas que aporta este método de cobro está una reducción en el personal de caja, que implica reducir una parte de los gastos fijos de la gran superficie. Además este sistema de cobro comporta otros beneficios económicos como un aumento de las ventas derivado de compras más rápidas.

Se recuerda que antes de la construcción en serie del carrito será necesario realizar toda una serie de verificaciones utilizando un prototipo. La fabricación del primer prototipo llevaría asociado también unos gastos que se han estimado de unos 6000 € (estimación elaborada por el tutor del proyecto con experiencia en la fabricación de prototipos ya que el desarrollo de un presupuesto detallado para el prototipo no es trivial).



Concepto	Precio	Cantidad	Descuento [%]	Total [€]
Células de carga	94 €/unidad	3 unidades	50	141
Tubo estructural 12 mm y 1,2 mm de espesor	6,4 €/metro	15 metros	50	48
Varillas de alambre de 3 mm	0,175 €/metro	112 metros	50	9,8
Carcasa	2 €/litro	0,17 litros	0	0,34
ruedas	14 €/unidad	4 unidades	35	36,4
rodamientos	5 €/unidad	2 unidades	30	7
soportes del mango	2 €/litro	0,01 litros	0	0,02
mango	2 €/litro	0,15 litros	0	0,3
soporte de la carcasa	0,5 €/unidad	2 unidades	0	1
Estimación del precio de soldadura	-	-	-	30
Estimación del montaje	10 €/hora	0,5 horas	0	5
articulación compuerta	2 €/litro	0,03 litros	0	0,06
Total parte mecánica				278,92

Tabla 5.1. Coste de la parte mecánica del carrito

El diseño del carrito también lleva un gasto asociado que se ha desglosado en la tabla 5.2 a partir de las horas dedicadas al diseño del sistema. Hay que tener en cuenta que este proyecto lo ha realizado un estudiante sin previa experiencia en diseño, por lo que las horas reales dedicadas al diseño podrían ser menos en el caso de realizarse por profesionales con amplia experiencia en el tema.

Concepto	Precio de la actividad [€/hora]	Horas dedicadas	Precio [€]
Concepción, estudio y diseño de la solución	30	110	3300
Creación del modelo 3D	25	75	1875
Total			5175

Tabla 5.2. Coste del diseño del carrito.



6. Planificación

Para llevar a cabo este proyecto se ha seguido una planificación realizada al comienzo del mismo. Ésta ha servido como guía para llevar a cabo las tareas y tener un control del trabajo realizado, en la figura 6.1 se muestra el listado de tareas y en la figura 6.2 se muestra un diagrama de Gantt con la programación establecida.

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
• Planificación del TFG	7/02/14	7/02/14
• Búsqueda sobre la codificación de productos	7/02/14	20/02/14
• Búsqueda sobre la tecnología RFID	10/02/14	21/02/14
• Investigación sobre el estado del arte	7/02/14	20/02/14
• Brainstorming de posibles soluciones	10/02/14	10/02/14
• Contacto con supermercados actuales	10/02/14	14/02/14
• Especificaciones	17/02/14	17/02/14
• Diseño conceptual de alternativas	24/02/14	28/02/14
• Decisión de la alternativa elegida	3/03/14	6/06/14
• Diseño del carro de la compra	9/06/14	12/09/14
• Estudio del impacto ambiental	5/05/14	9/05/14
• Estudio de la viabilidad económica	9/05/14	13/05/14
• Conclusiones del TFG	9/05/14	13/05/14
• Redacción del PFG	9/06/14	12/09/14
• Planos y anexos	24/02/14	23/05/14

Figura 6.1. Listado de tareas.

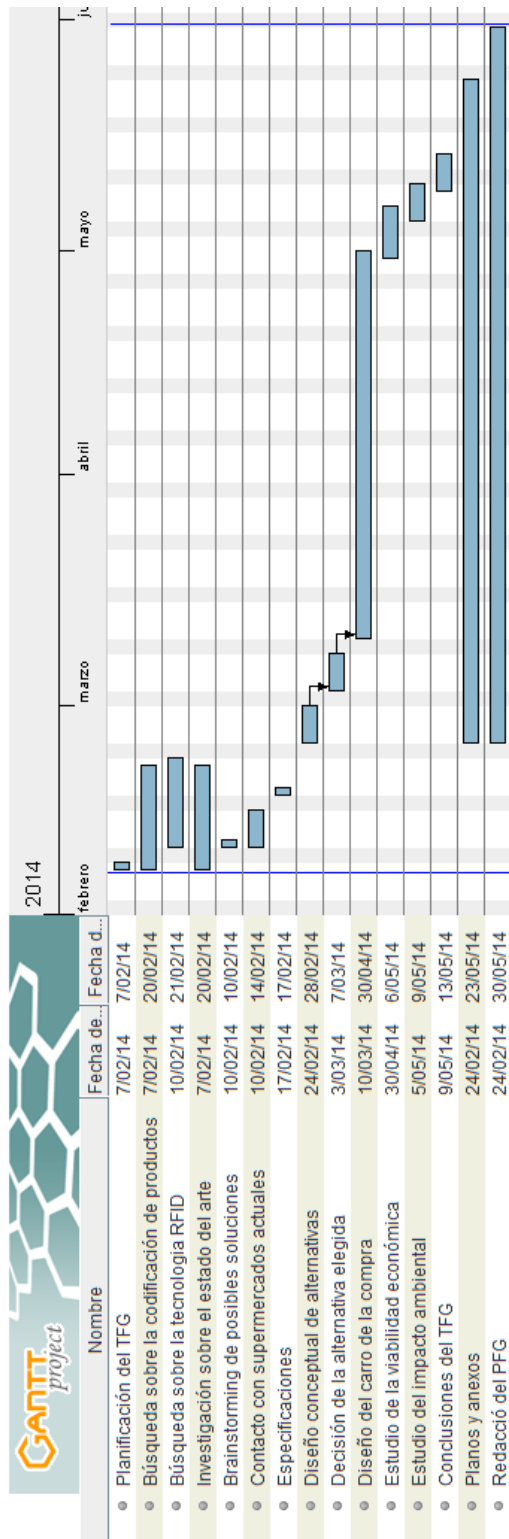


Figura 6.2. Gantt del proyecto



7. Análisis del impacto ambiental

En este capítulo se comentarán algunas consideraciones a tener en cuenta a la hora de elegir la procedencia de los materiales que conformarán el carrito y otras consideraciones que guarden relación con el impacto ambiental sin llegar a una gran profundización.

1. Se es consciente de que todo proyecto necesita un análisis detallado del impacto ambiental y por ello, se destinará una parte del presupuesto del proyecto para que una empresa especializada realice un estudio completo de la huella de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero que deriven de la construcción, mantenimiento y retirada del carrito diseñado.
2. La repercusión que tiene este proyecto en el medio ambiente es similar a la repercusión que tienen los actuales carritos de supermercado ya que no se incrementa el gasto energético en fabricación de manera muy significativa
3. Para procurar causar el mínimo impacto en el medio ambiente, se ha de asegurar que las piezas de plástico se fabricarán con termoplásticos reciclables
4. Las piezas de plástico deberán ir marcadas para que se conozca el proceso de reciclado que necesitan.
5. Se procurará que el acero escogido para conformar la estructura del carrito no haya pasado por procesos de galvanizado con níquel o procesos de cromado, ya que estos procesos producen residuos altamente tóxicos, esta medida es importante ya que algunos carritos que están en el mercado actualmente sí que han pasado por este proceso.
6. Al final de la vida útil del carrito, los elementos que necesiten un tratado especial, como por ejemplo las baterías, se tratarán y separarán de la manera adecuada.

Conclusiones

A nivel de ingeniería:

1. En este proyecto se ha buscado la mejora de un sector que lleva muchos años funcionando. Cualquier diseño existente, por muy funcional y elegante que sea siempre se puede mejorar.
2. El hecho de diseñar y trabajar con un concepto innovador del cual no existen antecedentes es tarea complicada.
3. En el diseño del carrito propuesto ha habido dos puntos muy influyentes en la solución, en primer lugar el objetivo de que los carritos se pudieran apilar y en segundo lugar la elección de unas células de carga adecuadas.
4. Durante el proyecto se han adquirido conocimientos sobre diferentes campos de la ingeniería muy diversos, cosa que ha sido necesaria para poder llevar a cabo las deducciones y los procesos de selección. Así se ha descubierto que para realizar un buen diseño a nivel conceptual es necesario trabajar desde diferentes perspectivas.
5. Después de la realización del proyecto se ha concluido que la solución escogida es viable pero aún queda estudiar ciertos parámetros.
6. Una de las preocupaciones que se tiene es modelar un algoritmo de detección de fraudes que funcione perfectamente y realizar comprobaciones con el sistema completamente operativo. Con estos ensayos se deberían detectar los posibles errores que no se hayan descubierto en esta primera fase del diseño.
7. Es necesario comprobar que el sistema de transmisión de peso funciona correctamente y que las células detectan los pesos dentro de los márgenes establecidos utilizando para ello el prototipo.

Conclusiones a nivel personal:

1. Ha sido necesaria la colaboración y el compañerismo entre dos estudiantes para poder crear dos proyectos coherentes entre ellos que forman parte del un diseño de un sistema de cobro completo.
2. Este proyecto ha servido para acercarse más al mundo del diseño en la ingeniería y comprender la complejidad del mismo.
3. Gracias al trabajo realizado en este proyecto se ha adquirido un especial interés en el diseño mediante CAD.
4. No solo se han desarrollado habilidades deductivas sino que también comunicativas tanto en el ámbito de la expresión de conceptos e ideas como en el ámbito de la redacción.

Bibliografía

Referencias bibliográficas

- [1] Atodashoras. [<http://www.atodashoras.com/index.html>]. [18/03/2014].
- [2] Tesco. [<http://www.tesco.com/>]. [18/03/2014].
- [3] TVINTEC. Visualización del novedoso sistema Raptor. [<https://www.youtube.com/watch?v=6dlHJkIXylo>]. [21/03/2014].
- [4] Businessweek. Shopping buddy de IBM. [<http://images.businessweek.com/ss/05/04/ibm20050418/source/2.htm>]. [22/03/2014].
- [5] Metro group. [<http://www.metrogroup.de/internet/site/metrogroup/node/164845/Len/index.html>]. [21/03/2014].
- [6] Máquina de IBM self Checkout Systems 800 series models. <http://www-01.ibm.com/common/ssi/cgibin/ssialias?infotype=AN&subtype=CA&htmlfid=872/ENUSAG07-0553&apname=USN>. [22/03/2014].
- [7] OIML. Organización internacional de metrología legal. *Cell accuracy in relation to the conditons of use*. Application note 07/7-11/01, Capítulo 1.
- [8] OIML. Organización internacional de metrología legal. Recomendación R76.
- [9] ZHUOHE. [<http://www.meterforall.com/technical/load-cell-affect-weighing-system.html>] [10/04/2014].
- [10] OIML. Organización internacional de metrología legal. Recomendación R60.
- [11] FLINTEC. [http://www.flintec.com/type_pb_planar_beam_load_cell.html]. [15/04/2014].
- [12] SENEL TECHNOLOGIES S.A. [<http://www.senel.es/senelweb/cta0.php>] y [<http://www.senel.es/senelweb/sx1.php>]. [15/04/2014].
- [13] POLYCART. [<http://www.polycartgroup.com/modelos.htm#p130>]. [25/04/2014].
- [14] DISCOVERY. Video ilustrativo del conformado de un carrito metálico. [<https://www.youtube.com/watch?v=3gnFGp927s8>]. [27/04/2014].

- [15] TECHNOOFICIO. [http://www.tecnoficio.com/soldadura/soldadura_electrica6.php. Soldadura de proyección]. [27/04/2014].
- [16] TOMAS MORCILLO S.L. [<http://tomasmorcillo.com/acerca-de>]. [28/05/2014].
- [17] POLICAD INDUSTRIAL S.L. Patente con el número de publicación ES2112105 A1. [<http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P9400444>]. [28/04/2014].



Anexo A Fichas técnicas

En este anexo se recogerán las fichas técnicas de los productos citados durante la memoria.

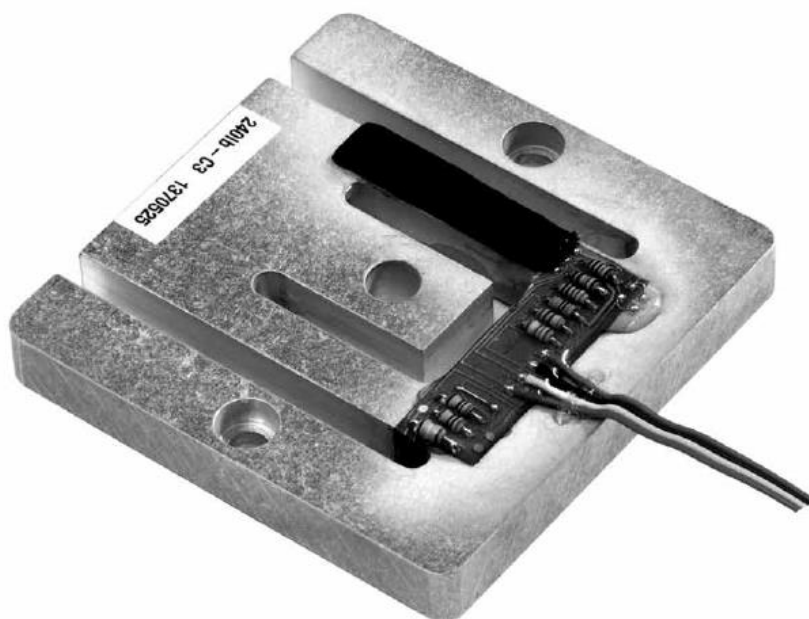
De todos los modelos de células PWB que aparecen en la figura A.1 se han utilizado las dimensiones y los valores del modelo con E_{\max} de 109 kg (240 lb). Éste es el único que supera los 75 kg mínimos necesarios para la aplicación que se le quiere dar. Es importante tener en cuenta que este modelo lleva asociado un asterisco y por tanto a la hora de usar los valores y dimensiones proporcionados por el fabricante, se han de coger los valores marcados con asterisco.

En la figura A.2 aparecen las dimensiones utilizadas para modelar la célula CT-A0, dado que solamente los modelos con E_{\max} de 75 kg y 100 kg están dentro del intervalo de capacidad deseado, se cogerán las medidas de L1, L2 y L3 de 58 mm, 45,5 mm y 26,5 mm respectivamente. Las dimensiones para modelar la célula SX-1, así como sus características metrológicas y mecánicas aparecen en la figura A.3. En este caso, tanto para la célula con E_{\max} de 75 kg como la célula con E_{\max} de 100, tienen la dimensión crítica $A=15$ mm.

Como se puede observar en sus correspondientes fichas técnicas, las tres células descritas en este anexo tienen una clase de precisión aprobada de C3 y todas garantizan un nivel de protección igual o mayor de IP5.

Anexo A.1 Célula PBW

Type PBW Load Cell



Product Description

The type PBW is a very low profile planar beam load cell. Load cell installation is simplified by the winged mounting arms providing optimum load cell performance in all types of scale structures.

Application

- Compact scales, bench and floor scales, retail and counting scales, special applications in medical and other areas

Key Features

- Capacities from 12.5 lb to 240 lb
- Aluminium construction
- Environmental Protection IP65
- Very low profile design
- High input resistance
- Calibration in mV/V/Ω for accuracy class C3

Approvals

- OIML approval to C3 (Y = 7 500)

Weight

■ Capacity (lb)	12.5	18.75	25	37.5
Weight (g)	35	45	41	50
■ Capacity (lb)	50	100	240	
Weight (g)	50	70	88	

Available Accessories

- Load mounts
- Compatible range of electronics





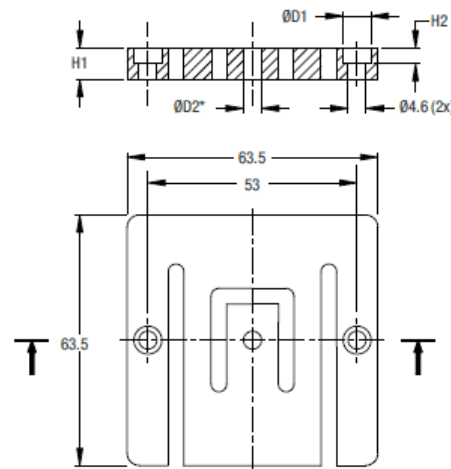
Specifications			
Maximum capacity	(E _{max})	lb	12.5 / 18,75 / 25 / 37.5 / 50 / 100 / 240*
Metric equivalent (1 lb=0.45359 kg)		kg	5.7 / 8.5 / 11.3 / 17 / 22.7 / 45.4 / 109*
Accuracy class according to OIML R60			(GP) C3
Maximum number of verification intervals	(n _{max})		n.a. 3000
Minimum load cell verification interval	(V _{min})		n.a. E _{max} /7 500
Temperature effect on minimum dead load output	(TC ₀)	%*RO/10°C	± 0.0400 ± 0.0187
Temperature effect on sensitivity	(TC _{RO})	%*RO/10°C	± 0.0200 ± 0.0100
Combined error		%*RO	± 0.0500 ± 0.0200
Non-linearity		%*RO	± 0.0400 ± 0.0166
Hysteresis		%*RO	± 0.0400 ± 0.0166
Creep error (30 minutes) / DR		%*RO	± 0.0600 ± 0.0166
Rated Output	(RO)	mV/V	1 ± 10% / 1.2* ± 10% 0.9 ± 0.1% / 1.09* ± 0.1%
Calibration in mV/V/Ω		%	n.a. ± 0.05
Zero balance		%*RO	± 5
Excitation voltage		V	5...15
Input resistance	(R _{LC})	Ω	1180 ± 50
Output resistance	(R _{out})	Ω	1000 ± 10
Insulation resistance (100 V DC)		MΩ	≥ 5000
Safe load limit	(E _{lim})	%*E _{max}	300 / 250*
Ultimate load		%*E _{max}	400
Safe side load		%*E _{max}	200
Compensated temperature range		°C	-10...+40
Operating temperature range		°C	-10...+65
Load cell material			aluminium
Sealing			environmentally sealed
Protection according EN 60 529			IP65

The limits for Non-Linearity, Hysteresis, and TC_{RO} are typical values.
The sum of Non-linearity, Hysteresis and TC_{RO} meets the requirements according to OIML R60 with p_{LC}=0.7.

Dimensions (in mm)

Type	H1	H2	ØD1	ØD2*	Deflection (mm) at E _{max}
PBW-12.5 lb	2.5	--	--	4.2	0.42
PBW-18.75 lb	4	--	--	4.2	
PBW-25 lb	3.2	--	--	4.2	0.49
PBW-37.5 lb	4	--	--	6.2	0.38
PBW-50 lb	4	--	--	6.2	0.48
PBW-100 lb	6.4	--	--	6.2	
PBW-240 lb	8	3.2	7.4	8.2	0.46

*Attention: Other loading holes on request



Wiring

- The load cell is provided with a 4 conductor ribbon cable and with AMP #103957-4 connector
 - Cable length: 1.0 m for 12.5...50 lb
1.5 m for 100...240 lb
- A special Junction Box type KPB-4 is available

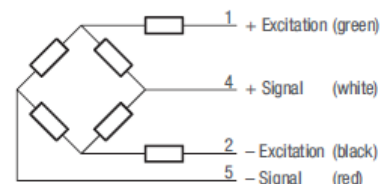


Figura A.1. Ficha técnica de la célula PBW.

Anexo A.2 Célula CT-A0

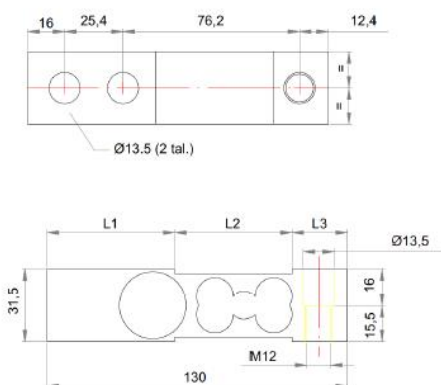
CT-A0

Capacidad (Emax): 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 250 - 300 - 500 kg

- Fabricación en acero niquelado
- Grado de protección IP67
- Montaje en básculas multicélula



Dimensiones



Capacidad	L1(mm)	L2(mm)	L3(mm)
30 kg	55	50.5	24.5
Resto	58	45.5	26.5

Características técnicas

Clase de precisión	C3
Escalón mínimo de verificación (vmin)	Emax / 10.000
Sensibilidad (Salida Nominal)	2 mV/V ± 0.1%
Alimentación recomendada	5 a 15 V
Resistencia de entrada	350 Ω ± 10 Ω
Resistencia de salida	350 Ω ± 4 Ω
Resistencia de aislamiento a 50V dc	> 5000 MΩ
Error Combinado	< ± 0.02 % Salida Nominal
Margen de temperatura compensado	- 10 a 40 °C
Grado de protección	IP-67
Sobrecarga sin deformación permanente	150 % Emax
Carga de rotura	> 500 % Emax
Longitud del Cable	5 m

Código de Colores	
Entrada +	Rojo
Entrada -	Negro
Salida +	Verde
Salida -	Blanco

SENEL
TECHNOLOGIES S.A.

Pg. de la Riera, 28
Pol. Industrial Cova Solera
08191 RUBI (Barcelona)

Tel: +34 936 977 943
Fax: +34 936 977 944

E-mail: senel@senel.es
Internet: www.senel.es

Figura A.2. Ficha técnica de la célula CT-A0.



Anexo A.3 Célula SX-1

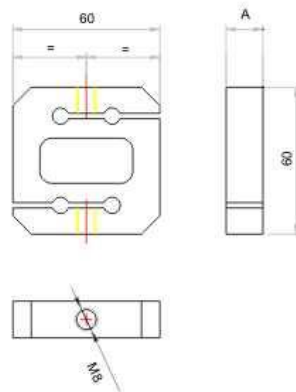
SX-1

Capacidad (Emax): 30 - 50 - 75 - 100 - 150 kg

- Fabricación en acero niquelado
- Grado de protección IP67
- Aplicación: depósitos suspendidos, ganchos, hibridaciones, ...



Dimensiones



Capacidad (kg)	A (mm)
30	15
50	15
75	15
100	15
150	20

Características técnicas

Clase de precisión	C3
Escalón mínimo de verificación (Vmin)	Emax / 10.000
Sensibilidad (Salida Nominal)	2 mV/V ± 0.1%
Alimentación recomendada	5 a 15 V
Resistencia de entrada	350 Ω ± 5 Ω
Resistencia de salida	350 Ω ± 4 Ω
Resistencia de aislamiento a 50V dc	> 5000 MΩ
Error Combinado	< ± 0.02 % Salida Nominal
Margen de temperatura compensado	- 10 a 40 °C
Grado de protección	IP-67
Sobrecarga sin deformación permanente	150 % Emax
Carga de rotura	> 500 % Emax
Longitud del Cable	5 m

Código de Colores	
Entrada +	Rojo
Entrada -	Negro
Salida +	Verde
Salida -	Blanco

SENEI
TECHNOLOGIES S.A.

Pg. de la Riera, 28
Pol. Industrial Cova Solera
08191 RUBI (Barcelona)

Tel: +34 936 977 943
Fax: +34 936 977 944

E-mail: senel@senel.es
Internet: www.senel.es

Figura A.3. Ficha técnica de la célula SX-1.



Anexo B Planos de la pantalla

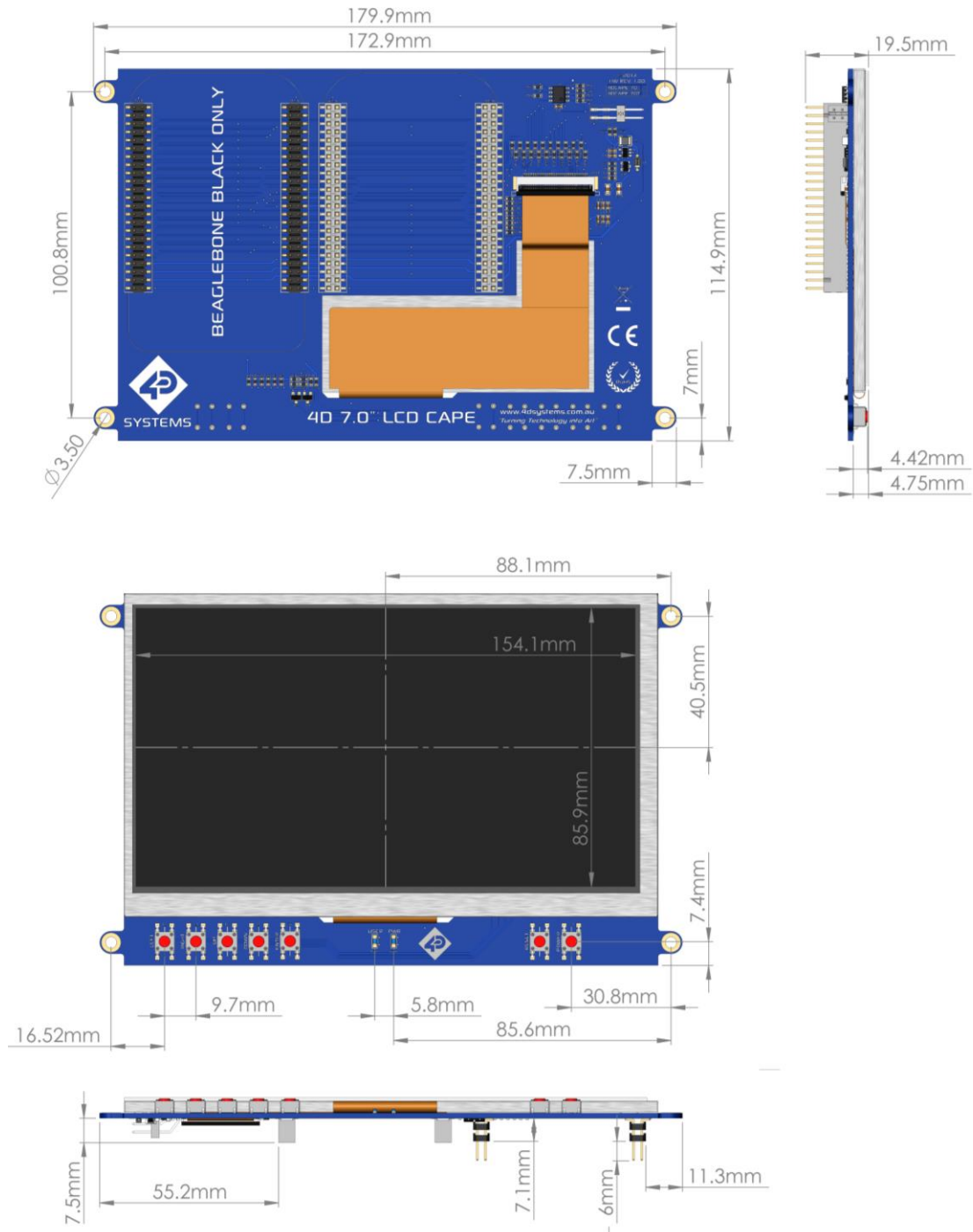


Figura B.1. Planos de la pantalla 4DCAPE-70(T) - 7.0" BBB CAPE de 4D SYSTEMS.

En este anexo se han recogido los planos necesarios para el modelado de la estructura de soporte de la pantalla, la carcasa de la pantalla y el protector de la pantalla.

Como se puede ver en la figura B.1, esta pantalla dispone de cuatro orificios de 3,5 mm de diámetro, uno para cada esquina, que serán usados para unir el protector con la pantalla y la pantalla con la carcasa. También se ven las dimensiones de los pines que sobresalen para poder conectar el controlador *Beaglebone black*. Además de las dimensiones de los pines y el controlador, para dimensionar la carcasa de la pantalla ha sido tener en cuenta el tamaño de las baterías que irán alojadas.

En la figura B.2 se visualiza el protector (marrón) y la carcasa (negro) ambos modelados siguiendo los planos que aparecen en la figura B.1.

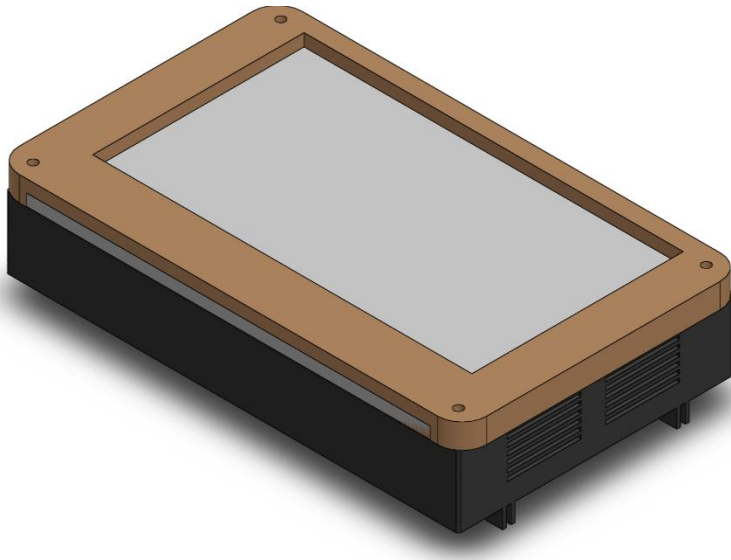


Figura B.2. Pantalla modelada



Anexo C Especificaciones de las ruedas

2370PJP100P30-11

EAN 4031582300352

Rueda giratoria, Soporte de chapa de acero, zincadas, rodamiento giratorio de dos hileras de bolas, agujero pasante.

Núcleo de rueda de polipropileno, bandaje de TENTEprene (goma termoplástica), gris, no deja huella, con placas anti-hilos, cojinete de bolas de precisión, con anti-hilos

Datos técnicos

Diámetro de la rueda	100 mm
Ancho de la rueda	32 mm
Agujero pasante	11 mm
Desplazamiento	35 mm
Interferencia de giro	170 mm
Altura total	129 mm
Temperatura	- 20 / + 60 °C
Normal	EN 12530
Peso de la rueda	0.54 kg
Radio giratorio	85 mm
Dureza del bandaje	A 87 Shore
Capacidad de carga	100 kg
Capacidad de carga estática	200 kg

Resistencia a la rodadura	+	+	+	+	+
Ruido de movimiento	+	+	+	+	+
Desgaste	+	+	+	+	+
Protección contra el óxido	+	+	+	+	+

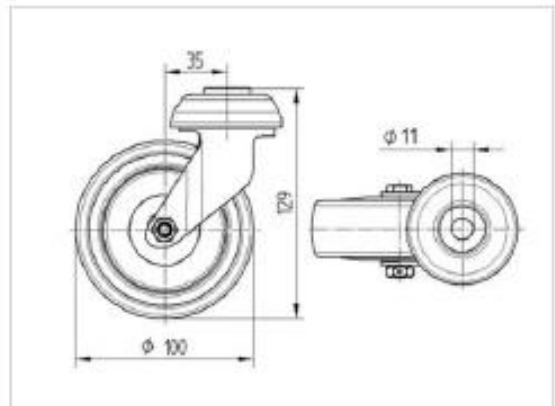


Figura C.1. Especificaciones de la rueda seleccionada.



Anexo D Código del simulador de procesos de carga.

En este anexo se muestra el código del programa de creación propia que simula los procesos de carga del carrito. Este programa se ha creado utilizando como base el MATLAB 7.10.0 (R2010a). En la figura D.1 aparece el código que implementa una función capaz de calcular las tres fuerzas verticales resultantes en las tres respectivas células a partir de la posición bidimensional del producto, su peso, y la colocación de las células. Las ecuaciones de las fuerzas se han obtenido a partir de una resolución algebraica de las ecuaciones $\Sigma F=0$ y $\Sigma M=0$ para un sistema en reposo.

```
function [ F ] = forces(Pos_punto_x,Pos_punto_y,Peso_puntual,Pos_celulas)
    Pos_cel1_x=Pos_celulas(1,1);
    Pos_cel1_y=Pos_celulas(1,2);
    Pos_cel2_x=Pos_celulas(2,1);
    Pos_cel2_y=Pos_celulas(2,2);
    Pos_cel3_x=Pos_celulas(3,1);
    Pos_cel3_y=Pos_celulas(3,2);
    %
    D1x=Pos_cel1_x-Pos_punto_x;
    D1y=Pos_cel1_y-Pos_punto_y;
    D2x=Pos_cel2_x-Pos_punto_x;
    D2y=Pos_cel2_y-Pos_punto_y;
    D3x=Pos_cel3_x-Pos_punto_x;
    D3y=Pos_cel3_y-Pos_punto_y;
    %
    F1=Peso_puntual/((-D1x/D2x)-(D3x/D2x)*((-D1y+D1x*D2y/D2x)/(-D3x*D2y/D2x+D3y)))
    +((-D1y+D1x*D2y/D2x)/(-D3x*D2y/D2x+D3y))+1);
    F2=- (F1*D1x/D2x) - (D3x/D2x) * ((-F1*D1y+F1*D1x*D2y/D2x) / (-D3x*D2y/D2x+D3y)) ;
    F3=(-F1*D1y+F1*D1x*D2y/D2x) / (-D3x*D2y/D2x+D3y) ;
    %
    F=[F1, F2, F3];
end
```

Figura D.1. Función de resolución de las lecturas de las células.

Con el objetivo de no añadir demasiadas figuras con información muy similar, se ha considerado oportuno incluir el código de solamente una de las tres simulaciones, concretamente la simulación de la sobrecarga delantera que aparece en la figura D.2. Además, tampoco se ha considerado oportuno añadir todas las funciones auxiliares que se han creado (funciones de dibujo y funciones de tratamiento de vectores).

```

%inicialización de variables
clear all;
close all;
clc;
R1=0;
R2=0;
R3=0;
n_productes=12;
Vector_R1=zeros(1,n_productes);
Vector_R2=zeros(1,n_productes);
Vector_R3=zeros(1,n_productes);
Vector_Peso=zeros(1,n_productes);
Vector_Peso_total=zeros(1,n_productes);
Vector_pos_x=zeros(1,n_productes);
Vector_pos_y=zeros(1,n_productes);
Vector_producto=1:n_productes;
%Parametros de las células [m]
Pos_celulas=[[0.280,0.760];[0,0.030];[0.560,0.030]];
%----inicialización con el peso de la propia cesta----
%PES01
Pos_punto_x=Pos_celulas(1,1); %centro de masas del carrito x
Pos_punto_y=Pos_celulas(1,2)/3; %centro de masas del carrito y
Peso_puntual=2.4;
F=forces(Pos_punto_x,Pos_punto_y,Peso_puntual,Pos_celulas);
F1=F(1);
F2=F(2);
F3=F(3);
%Calculo de las reacciones totales al poner productos de manera aleatoria
R1=R1+F1;
R2=R2+F2;
R3=R3+F3;
Peso_total=R1+R2+R3;
%Vectores para graficos
Vvector=[Vector_R1;Vector_R2;Vector_R3;Vector_Peso;Vector_Peso_total;Vector_pos_x;Vector_pos_y];
Vp=[R1,R2,R3,Peso_puntual,Peso_total,Pos_punto_x,Pos_punto_y];
Vvector=savevectors(1,Vp,Vvector);
%----FINAL DE LA INICIALIZACIÓN----
for producto = 2:n_productes
%Generación de puntos distancias en [m] y peso en [kg]
Pos_punto_x=(randi(360)+100)/1000;
Pos_punto_y=(randi(260)+500)/1000;
Peso_puntual=randi(5);
tipo_producto=randi(10);
if tipo_producto<=8
Peso_puntual=randi(3)+2;
elseif tipo_producto>8
Peso_puntual=randi(10)/10;
end
F=forces(Pos_punto_x,Pos_punto_y,Peso_puntual,Pos_celulas);
F1=F(1);
F2=F(2);
F3=F(3);
%Calculo de las reacciones totales al poner productos de manera aleatoria
R1=R1+F1;
R2=R2+F2;
R3=R3+F3;
Peso_total=R1+R2+R3;
%----Vectores para graficos----
Vp=[R1,R2,R3,Peso_puntual,Peso_total,Pos_punto_x,Pos_punto_y];
Vvector=savevectors(producto,Vp,Vvector);
end
%-----Plots-----
D = dibujando(Vvector,Vector_producto);

```

Figura D.2. Código de la simulación para una sobrecarga delantera

