

Universidad
Politécnica
de Cartagena



industriales
etsii UPCT

Banco de ensayos para arco de seguridad automático en tractores agrícolas

Titulación: Ingeniero en Organización Industrial.

Alumno/a: Pedro Morales Sánchez.
Director/a/s: Dolores Ojados González.
Bernardo Martin Gorriz

Cartagena, 27 de septiembre de 2016

Índice

1	Introducción	8
1.1	Antecedentes.....	8
1.2	Naturaleza del problema	8
1.2.1	Accidente por vuelco de tractor	9
1.2.2	Principales medidas preventivas	11
1.3	Legislación afectada	12
2	Objeto del proyecto	13
2.1	Objeto y definición del proyecto.....	13
2.2	Plan de trabajo.....	14
3	Estado del arte.....	15
3.1	Evolución cronológica	15
3.1.1	Año 2012.....	15
3.1.2	Año 2013.....	16
3.1.3	Año 2014.....	18
3.1.4	Año 2015.....	20
4	Descripción del circuito hidráulico	21
4.1	Esquema del circuito.....	21
4.2	Descripción de elementos.....	22
4.2.1	Válvula de 3/n vías configurable (A y C)	22
4.2.2	Válvula de 4/n vías configurable (B)	23

4.2.3	Cilindro de doble efecto (D)	24
4.2.4	Grupo hidráulico (E).....	26
4.2.5	Depósito (F)	27
4.2.6	Válvula limitadora de presión (G).....	28
4.2.7	Válvula antirretorno (desbloqueable) (H).....	28
4.2.8	Acumulador hidráulico (I)	29
4.2.9	Presostato (J).....	29
4.2.10	Válvula antirretorno (K).....	30
5	Diseño y construcción de banco de ensayos.....	31
5.1	Bancada.....	31
5.2	Anclajes	33
5.3	Accesorios	38
5.3.1	Bulones	38
5.3.2	Ruedas retráctiles.....	39
5.4	Utilidad y funcionamiento	40
6	Análisis teórico de comportamiento del circuito.....	43
6.1	Cálculo de esfuerzo en cilindros.....	43
6.2	Cilindro 3220-200/355.....	44
6.3	Cilindro 4025-200/370.....	46
6.4	Cilindro 5030-200/400.....	47
6.5	Resumen y análisis de resultados	48
7	Simulación del comportamiento del circuito	50

7.1	Procedimiento	51
7.2	Simulación con cilindro 3220-200	52
7.2.1	Acumulador de 2 litros	53
7.2.2	Acumulador de 3 litros	54
7.2.3	Acumulador de 4 litros	55
7.3	Simulación con cilindros 4025-200 y 5030-200	56
7.4	Resumen de resultados y conclusión.....	57
8	Ensayos en banco de pruebas.....	60
8.1	Equipamiento empleado.....	60
8.1.1	Banco de ensayos.....	60
8.1.2	Cámara de alta velocidad.....	61
8.1.3	Foco de iluminación.....	62
8.1.4	Arduino Mega.....	62
8.2	Realización de ensayos.....	64
8.3	Ensayo con dos cilindros en paralelo iguales y diferentes acumuladores	67
8.3.1	Cilindros 5030-200	69
8.3.2	Cilindros 4025-200	77
8.3.3	Cilindros 3220-200	81
8.4	Ensayo con un solo cilindro y acumulador de 4 litros	84
8.4.1	Datos obtenidos.....	85
8.4.2	Comparativa de resultados.....	87
9	Comparación de resultados.....	91

10	Conclusión.....	94
10.1	Proyectos futuros.....	95
	BIBLIOGRAFÍA:	96
	Anexo I	97
	Anexo II.....	100
	Anexo III	118
	Anexo IV.....	121
	Anexo V	129

Agradecimientos

Antes de empezar con el desarrollo de este proyecto me gustaría agradecer a todos lo que lo han hecho posible por aportar su granito de arena a esta tarea, directa o indirectamente:

Quisiera comenzar con el equipo de investigación del que nace todo y del que me siento muy orgulloso de formar parte, ha sido un grandísima experiencia que me acompañará el resto de mi vida. Gracias por haberme podido mostrar este mundillo para mi desconocido de la investigación, la docencia y la divulgación que ahora veré con otros ojos. Además de la experiencia me llevo el haberla compartido con grandes personas como son mis directores de proyecto Lola, Bernardo e Isidro, los compañeros investigadores, el jefe de taller y amigo Juan y por supuesto a Paco con quien inicié esta andadura.

Ya, fuera del ámbito educativo, me gustaría hacer una mención, como no, a mi familia en quien es fácil refugiarse cuando pasa cualquier cosa y la que hace que el camino sea mucho más fácil. En especial quisiera agradecerse a mis padres por haber lidiado con tantas diferentes situaciones y aun así siempre estar cuando ha sido necesario. No quisiera sacar de este círculo a mi “amiga especial”, que en tan poco tiempo ha hecho que todo se ponga “patas arriba” en mi mundo y que nada sea lo que era; mi compañera que hace que el camino, aunque duro, sea mucho más fácil de recorrer; a ti, Alba, muchas gracias por las pequeñas cosas que me das, solo tú sabes lo que significan para mí.

A todos mis amigos a los que podría incluirlos en la familia y a los que no nombro para no dejar a nadie, estéis donde estéis, esté donde esté, siempre sabéis darme la energía que se necesita en cualquier momento para continuar. Gracias por saber interpretar todos esos momentos de “estás perdido” o “ya no se te ve nunca”, sin vosotros sería mucho más difícil todo.

También me gustaría recordar a los otros, los que no van a leer esto pero que sé que les hubiese encantado hacerlo. Siempre os recordaré.

En definitiva quisiera agradecerlo a todas las personas que se han cruzado en mi vida y que han hecho de mí ser quien soy. Todos tenéis esas pequeñas cosas que me llevo y tanto que os agradezco. Gracias de corazón.

1 Introducción

1.1 Antecedentes

El presente documento se realiza a petición de la Universidad Politécnica de Cartagena con motivo de la realización del proyecto final de carrera (PFC) para la consecución del título de Ingeniero en Organización Industrial impartido por la Escuela técnica Superior de Ingeniería Industrial.

En este trabajo se define la naturaleza del problema que se va a abordar, la declaración de las intenciones y objetivos a alcanzar con este trabajo, la metodología y técnicas empleadas durante el desarrollo de la parte experimental, los resultados obtenidos y unas conclusiones finales.

1.2 Naturaleza del problema

Los accidentes por vuelco de tractor son una de las principales causas de muerte en la agricultura. Entre 2004 y 2008 se produjeron 272 accidentes mortales por vuelco de tractor en España, lo que supone un 70% de los accidentes mortales relacionados con el uso de maquinaria agrícola.

En la Región de Murcia, desde el año 2005, el Instituto de Seguridad y Salud Laboral realiza el registro y análisis de este tipo de accidentes en el sector agrario, con el objetivo de conocer el número real de accidentes por vuelco de tractor que se producen en la Región y sus causas. A través del Centro de Coordinación de Emergencias se reciben las comunicaciones de los accidentes, independientemente de que posteriormente sean considerados de trabajo o no, lo que permite disponer de información precisa de lo sucedido en cada caso. En el periodo comprendido entre 2005 y 2012 se produjeron 44 accidentes de vuelco de tractor en la Región de Murcia, en 29 de ellos el conductor falleció. Uno de los datos más relevantes obtenidos del análisis es que en los vuelcos de tractor que disponían de protección mediante arco, en un 76,9% este estaba abatido. En estos casos, aunque se haya puesto a disposición de los trabajadores tractores que cumplen con la normativa del RD 1215/1997, parece necesario que se deben adoptar nuevas medidas que reduzcan los riesgos.

La legislación ya establece la obligatoriedad de que todos los equipos de trabajo cuenten con una estructura de protección. Sin embargo, muchos tractores antiguos no poseen ningún sistema de seguridad, ya que son anteriores a la normativa vigente. Estos tractores representan un potencial riesgo de vuelco con la consiguiente posibilidad de que la persona que lo maneja sufra un daño importante como lesiones físicas graves o incluso la muerte.

En algunos otros casos, los tractores sí incorporan el arco de seguridad antivuelco pero éste se encuentra recogido y no se utiliza convenientemente. Los agricultores manifiestan la incomodidad que supone su utilización para muchas de las tareas en las que ha de intervenir el tractor, sobre todo para trabajos entre árboles frutales donde el arco golpearía contra las ramas ocasionando daños en la explotación. Estos arcos antivuelco son sistemas manuales, por lo que es el propio trabajador quien tiene que levantar y bajar el arco en función del terreno por el que transita. Es muy común que el conductor de un tractor lleve el arco de seguridad abatido por comodidad, falta de concienciación, etc... quedando de este modo desprotegido frente al vuelco.

Existen una serie de condicionantes asociados con los trabajadores del sector agrario, en general se trata de tareas que presentan unas características que les diferencian del resto de los sectores profesionales y que influyen de forma notable en las causas y los efectos de este tipo de accidentes.

- Carácter familiar de la explotación agraria. El tractor puede ser utilizado por personas no cualificadas.
- Oficio multidisciplinar. Se pasa de una tarea a otra sin que exista planificación.
- Jornadas de trabajo no ajustadas a un horario. El accidente se puede ocasionar en cualquier momento del día, sin que exista una previsión.
- Trabajo al aire libre, solitario y alejado de poblaciones. Se puede producir un retraso de varias horas desde que se produce el accidente hasta que se descubre por parte de otro miembro de la explotación agraria.

1.2.1 Accidente por vuelco de tractor

Se produce cuando el tractor efectúa un vuelco de 180º y atrapa al conductor.

Hay dos tipos de vuelco:

- Vuelco lateral (el más frecuente).
- Vuelco hacia atrás.

Los principales factores favorecedores de este accidente son los siguientes:

- Transitar por zonas con pendientes pronunciadas en la zona donde circula el tractor.
- Realizar trabajos cerca de cunetas, taludes o acequias.
- Ir a velocidades excesivas, especialmente en giros o curvas.
- Manipular maquinaria u objetos que elevan el centro de gravedad del conjunto.
- Utilizar puntos de anclaje demasiado altos.
- Frenar con frenos en un eje o lateral de manera individual a alta velocidad.



Figura 1. Vuelco de un tractor estrecho con un arco delantero abatido.



Figura 2. Consecuencias del vuelco de un tractor sin estructura de protección.

1.2.2 Principales medidas preventivas

Las principales medidas para prevenir el vuelco son las siguientes:

- Formación y profesionalización de las personas que conducen los vehículos.
- Vigilancia de la salud de los conductores, especialmente los de edad avanzada.
- Proteger el tractor con una estructura antivuelco que impedirá el aplastamiento del conductor en caso de vuelco. Es la principal medida preventiva.

Como medida adicional a la protección con una estructura antivuelco cabe señalar el uso de cinturón de seguridad por parte del conductor para evitar que en caso de vuelco salga desplazado y sea aplastado por la misma estructura.

La misión de las protecciones antivuelco es la siguiente:

1. En la mayoría de los casos la protección evita que el tractor dé un giro de más de 90°, impidiendo el atrapamiento.
2. Si el tractor da un giro de más de 90°, la protección antivuelco tiene como misión la de generar un volumen de protección en torno al conductor.

Dentro de las estructuras de protección contra el vuelco, existen 3 tipos:

- 1.- Arco antivuelco o de seguridad. Está constituido por una estructura en forma de U invertida, colocada en la parte de delante del conductor o bien en posición trasera del puesto de conducción. En muchos modelos esta

protección se puede abatir para permitir la versatilidad a la máquina en diferentes campos de trabajo.

2.- Pórticos de seguridad. Están formados por una estructura rígida de 4 soportes anclados en puntos sólidos del chasis del tractor y que rodean al conductor o conductora.

3.- Cabina de seguridad. Es como un pórtico, pero dotado con puertas, ventanas, cristales y capota. Es la estructura más segura, y además si está bien diseñada puede servir como protección de las inclemencias del tiempo, del ruido, de los productos químicos, y del polvo.

1.3 Legislación afectada

La dotación reglamentaria en los tractores con estructuras de seguridad para protección del tractorista en caso de vuelco viene regulada por diversa legislación que se relacionan a continuación:

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social:

- O.M. de 9 de marzo de 1971 por la que se aprueba la O.G.S.H.T. (B.O.E. 16 y 17.3.71).

Ministerio de Agricultura:

- O.M. de 30 de junio de 1973 (B.O.E. 24.07.73).
- O.M. de 27 de julio de 1979 (B.O.E. 11.08.79).
- Resolución del 15.1.81 (B.O.E. 22.01.81).

Ministerio de Trabajo:

- O.M. de 28 de enero de 1981 (B.O.E. 25.02.81).

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación:

- Resolución de 09.12.81 (B.O.E. 15.12.81).
- Resolución de 09.12.83 (B.O.E. 17.12.83).
- Resolución de 11.07.84 (B.O.E. 19.07.84).
- Resolución de 14.11.85 (B.O.E. 13.12.85).

- Resolución de 18.01.88 (B.O.E. 26.01.88).

Ministerio de Industria y Energía:

- O.M. de 10 de abril de 1989 (B.O.E. 22.04.89).

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación:

- Resolución de 18.07.89 (B.O.E. 22.07.89).

Ministerio de Industria y Energía:

- Orden de 24 de noviembre de 1989 (B.O.E. 16.12.89).

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación:

- Resolución de 01.03.90 (B.O.E. 02.03.90).

Por la legislación emanada del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación se regula, en principio, la homologación de cuadros y cabinas de seguridad, así como los requisitos que deben cumplir estos elementos de protección para posteriormente establecer un calendario de fechas a partir de las cuales se hace preceptivo para la inscripción de tractores nuevos, el que estén equipados con bastidores o cabinas oficialmente homologados.

De la legislación dictada por el Ministerio de Trabajo, se regula el equipamiento con estructuras de protección, homologadas o no, de los tractores en servicio a partir de un calendario de fechas derivado de lo establecido por el Ministerio de Agricultura.

2 Objeto del proyecto

2.1 Objeto y definición del proyecto

El fin último de este trabajo es el de crear un sistema de levantamiento de un arco antivuelco modelo automáticamente basado en la adaptación de arco antivuelco manual que sea útil tanto para aquellos tractores adquiridos con anterioridad a 1983 y que carecen de los sistemas de seguridad que posteriormente se incorporaron por Decreto a estos vehículos agrícolas, como a los que se fabricaron con posterioridad y sí que lo incluyen.

El dispositivo automático antivuelco se compone de dos grandes sistemas bien diferenciados, una alarma que avisará de que se está alcanzando un grado de inclinación cercano al nivel de vuelco y un sistema hidráulico que automatizará el levantamiento del arco de seguridad abatible cuando el tractor experimente un grado de inclinación determinado, con el objetivo de proteger al trabajador en caso de vuelco. Se pretende construir un sistema de protección económico y asequible para garantizar así su utilización en todos los casos.

En esta dirección se ha trabajado en la construcción de un banco de ensayos para poder testear el comportamiento del arco modelo ante diferentes configuraciones de sistema hidráulico. Además de lo citado anteriormente se ha estudiado la correlación entre el software de simulación de circuitos hidráulicos, el cálculo teórico de estos circuitos y el estudio real sobre el circuito implementado. De esta forma se establece un patrón de comportamiento entre las tres diferentes formas de cálculo para futuras instalaciones de manera que se reduzcan los costes de los estudios en posteriores instalaciones.

2.2 Plan de trabajo

La realización de este proyecto se lleva a cabo en tres fases. En una primera fase se ha hecho el estudio teórico de los dos principales elementos que componen el proyecto que son el circuito hidráulico y el dimensionamiento y construcción del banco de ensayos. En una segunda fase se han estudiado mediante cálculos teóricos y simulaciones con software específico los tiempos de despliegue del arco de seguridad. Finalmente en una tercera fase, se ha estudiado y ensayado empíricamente el comportamiento del sistema instalado con diferentes configuraciones y se han comparado los resultados con los resultados obtenidos en la fase anterior.

Finalizadas las tres fases se obtiene un banco de pruebas modelo que podrá en un futuro ser usado para cualquier mejora o ensayo, además de una correlación con un intervalo de confianza para poder simular estas mejoras o pruebas con anterioridad, permitiendo reducir el gasto en componentes nuevos.

3 Estado del arte

En este apartado se hace un repaso de la evolución de la investigación en Nuevos dispositivos de Seguridad en Máquinas (en adelante NDSM), investigación a la que contribuye el presente proyecto.

3.1 Evolución cronológica

En el año 2012 se forma un equipo de trabajo en la UPCT con el fin de iniciar una investigación a cargo de la CARM (Comunidad Autónoma de la Región de Murcia). Este equipo de trabajo estaba integrado por miembros del SAIT (Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica) y la ETSIA (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agrónoma).

Desde entonces se ha ido avanzando en distintos desarrollos tecnológicos en diferentes campos pero siempre aplicados a la prevención de riesgos laborales. Uno de ellos ha sido la investigación en sistemas antivuelco automáticos, que es uno de los principales proyectos que hasta la fecha se ha desarrollado en el marco de esta investigación. En este apartado se hace un repaso de la evolución que ha seguido este equipo de investigación hasta la fecha en todo lo relacionado con los sistemas antivuelco automáticos.

3.1.1 Año 2012

Durante este año, como se ha dicho anteriormente, se sentaron las bases para la creación del proyecto NDSM. Se tramitó toda la documentación y se puso de acuerdo a todos los agentes implicados para poder empezar con este proyecto.

Todo este trabajo se plasma en el documento que se puede consultar en el Anexo I. Se trata de una publicación en la revista "Formación de seguridad laboral" Nº 123 de junio de 2012. En este artículo se pone de manifiesto la necesidad de este proyecto NDSM para la consecución de un sistema automático de activación del arco de seguridad en tractores agrícolas ya que queda demostrado que en los accidentes en los que el tractor no vuelca un ángulo superior a 90° el riesgo de mortalidad desciende drásticamente.

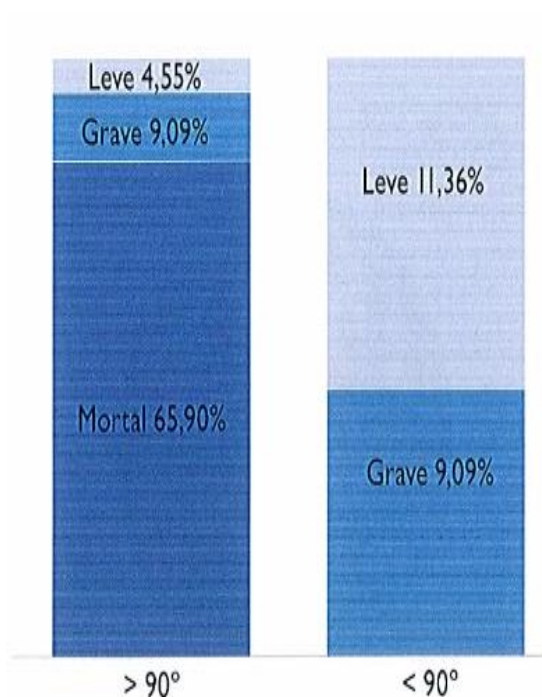


Figura 3. Gráfico comparativa casuística de vuelco con ángulos mayores y menores a 90°.

Con estos datos en la mano se empezó a trabajar en la incorporación de personal dedicado a la investigación.

3.1.2 Año 2013

Durante este año el proyecto tuvo un avance significativo ya que se incorporó personal para el avance más rápido de los distintos desarrollos. Centrándonos en el proyecto, se completó la primera fase consistente en la creación de una maqueta a escala con todos los sistemas electrónicos que incorporaría cualquier tractor real en un futuro.

Se trata de una maqueta a escala 1:16 adaptada para que albergase un sistema automático antivuelco. En la siguiente figura se puede ver el resultado de dicha maqueta y todos los sistemas que se implementaron sobre ella.

Como se observa, a la maqueta se le dotó de un sistema antivuelco prototipado en el SAIT por impresión 3D y de un sistema electrónico de control de vuelco que se encarga de “vigilar” que el tractor se encuentra en una posición segura, haciendo que, cuando se detectan valores por encima de lo permitido en aceleraciones y/o ángulos, dispare el arco de seguridad.



Figura 4. Instalación realizada sobre la maqueta 1:16.

En las figuras 4 y 5 se puede ver respectivamente como el arco de seguridad evita el vuelco del vehículo un ángulo superior a 90° y el sistema electrónico de control para su disparo. En la figura 6 se muestra el dispositivo electrónico para control de seguridad.



Figura 5. Situación de vuelco con arco de seguridad desplegado a tiempo.

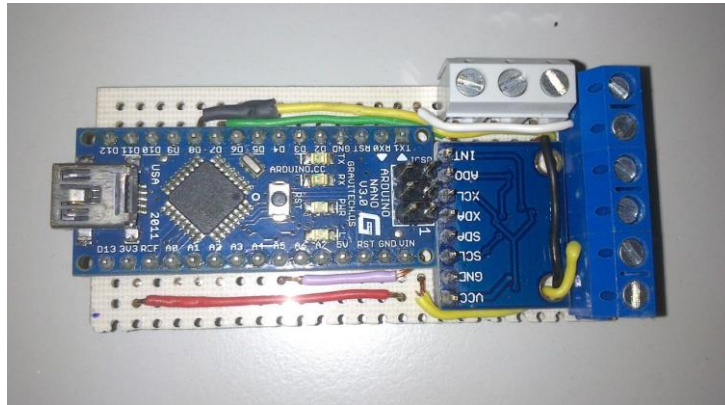


Figura 6. Sistema electrónico implantado en maqueta.

Además de este hito, se cumplió otro importante hito que fue la redacción y presentación de la patente del sistema especificado. Dicha patente número ES2452489A1 se muestra en el Anexo II.

Esto supone un gran avance y respaldo al grupo de trabajo para la continuación en los avances del proyecto.

3.1.3 Año 2014

En este año se cumplieron varios hitos importantes para el proyecto que le darían una proyección importante a nivel internacional.

En primer lugar se realizaron medidas de tiempos de despliegue sobre un sistema real instalado en un tractor en uso. De estas medidas se pudo obtener un tiempo de despliegue del arco de seguridad en torno a los 0,8 segundos (tiempo de recorrido del arco) con lo que se pudo constatar que, aunque se estaba caminando en la dirección correcta, existía la necesidad de mejorar el sistema hidráulico para la disminución de este tiempo de despliegue.



Figura 7. Toma de datos sobre Massey Ferguson.

Para realizar las medidas sobre el sistema se emplearon los mismos métodos de toma de medida que en este proyecto (medida por finales de carrera y toma de imágenes de alta velocidad)

En la figura 7 se puede ver el tractor empleado y la instrumentación usada en dicho ensayo.

Estos resultados fueron presentados en el “XX Congreso Mundial sobre Seguridad y Salud en el Trabajo 2014”, dando a conocer a escala internacional el proyecto y despertando el interés de muchos países. En el Anexo III se puede ver el portfolio enviado a dicho congreso para la aceptación del proyecto.

Tras este y dado su éxito, llegó posiblemente uno de los hitos más importantes hasta ese momento. La empresa G’s España se interesa por todos los ámbitos que abarca el proyecto NDSM y en particular apuesta por la ejecución de este proyecto de arco automático abatible para la instalación en 1 de los tractores de su flota en uso en una de sus explotaciones agrarias.

Gracias a esta instalación se pudo testear el sistema en condiciones reales de funcionamiento. Bajo estas condiciones se verificaron varios supuestos como que el sistema es válido en diferentes modelos de distintas marcas o que el sistema hidráulico con una bomba distinta se comporta de manera distinta.

Gracias a la cantidad de información recibida en este trabajo se empezó a trabajar para corregir fallos detectados y acometer los posibles “puntos de mejora” que se vieron durante la instalación.

3.1.4 Año 2015

Durante este año, como se ha dicho en el apartado anterior, el equipo de trabajo se centró en la corrección y mejora de diferentes puntos. Por ejemplo se trabajó en la optimización del filtrado de la señal recibida por distintos sensores que hacían disparar el arco de seguridad, optimizando los mismos. Otro foco sobre el que se empezó a trabajar es en el estudio de la viabilidad de incorporar un grupo de presión hidráulico de pequeñas dimensiones para salvar la diversidad de sistemas hidráulicos en distintas marcas y modelos en el mercado.

Además de lo comentado anteriormente también se comenzó a trabajar en este proyecto, la creación de un banco de ensayos que permita estudiar el comportamiento de las diferentes mejoras que se pretenden instalar y gracias al cual se pueda contrastar el tiempo de despliegue del arco de seguridad hasta su posición elevada.

4 Descripción del circuito hidráulico

En este capítulo se describe el sistema hidráulico que se ha desarrollado para instalar en cualquier tractor agrícola y con el que se han realizado los ensayos pertinentes para asegurar su validez de cara a una instalación real en cualquier tractor agrícola.

Además de esto se describen todos los elementos implicados en el funcionamiento del circuito desarrollado, explicando cuando lo sea necesario porqué se ha optado por cada elemento y su función dentro del circuito.

4.1 Esquema del circuito

En la figura 8 se puede ver el esquema del circuito que se ha implementado en el banco de ensayos y sobre el que se ha trabajado y hecho todas las medidas.

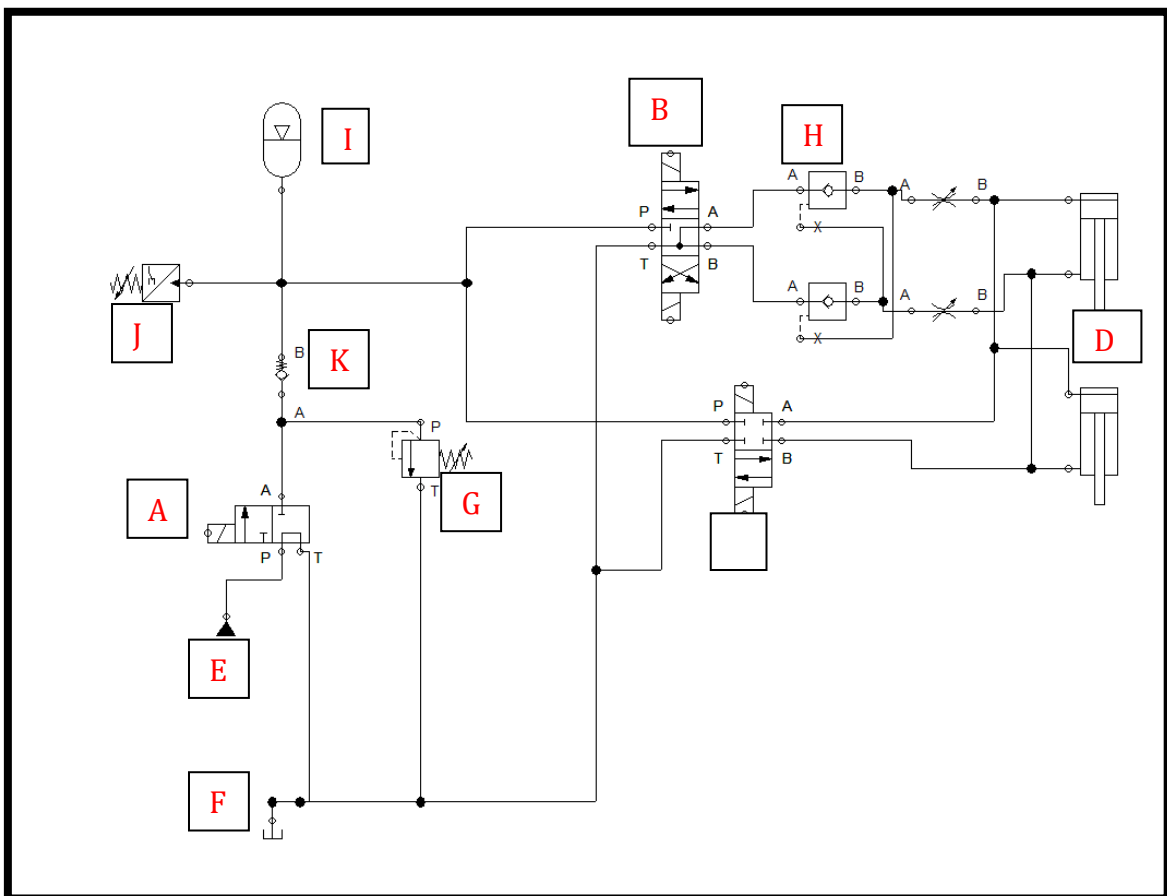


Figura 8. Esquema hidráulico.

En este esquema hidráulico se puede observar que el funcionamiento es muy sencillo y que la cantidad de elementos que conlleva es pequeña.

La secuencia de funcionamiento del mismo sería la siguiente:

La bomba de alimentación alimenta el circuito cuando la válvula A queda abierta, una vez que sucede esto se carga el acumulador de presión hasta alcanzar la presión de tarado, momento en que se cierra la válvula A hasta que no vuelva a haber una caída de presión en el sistema.

Cuando se activa el sistema manualmente para elevación del arco de seguridad se abre la válvula B y consecuentemente, como se producirá una caída de presión, también la válvula A.

Cuando se active el sistema de manera automática por emergencia se abrirá la válvula C y consecuentemente, como se producirá una caída de presión también la válvula A.

En ambas situaciones como consecuencia de la apertura de las válvulas B o C se producirá el despliegue de los cilindros D con mayor o menos velocidad.

4.2 Descripción de elementos

Ahora se procede a definir todos los elementos que integran el sistema hidráulico descrito anteriormente.

Para ello se emplea la figura 8 en la que están identificados todos los componentes, los cuales se irán describiendo a continuación.

4.2.1 Válvula de 3/n vías configurable (A y C)

La válvula de 3/n vías configurable es una válvula de vías con tres conexiones que puede ajustarse según su cuerpo de válvula y tipos de accionamiento.

Las conexiones hidráulicas pueden también contar con tapones ciegos.



Figura 9. Válvula de 3 vías.

La función que tiene en este circuito es la de hacer de interruptor del mismo, cuando se activa comienza a funcionar la bomba hidráulica y en definitiva a trabajar el sistema.

4.2.2 Válvula de 4/n vías configurable (B)



Figura 10. Válvula de 4 vías.

La válvula de 4/n vías configurable es una válvula distribuidora con cuatro conexiones que puede ajustarse según su cuerpo de válvula y tipos de accionamiento.

Al igual que en la anterior, las conexiones hidráulicas pueden también contar con tapones ciegos.

Se usa para invertir el sentido del flujo del fluido, haciendo que el sistema suba y baje.

4.2.3 *Cilindro de doble efecto (D)*



Figura 11. Cilindro doble efecto.

Cilindro de doble efecto con vástago en un lado. El émbolo del cilindro contiene un imán permanente que puede utilizarse para accionar un interruptor de proximidad lo cual es útil para hacer automatismos y sensorización del sistema.

Es uno de los elementos principales de este conjunto, se encarga de transformar la energía hidráulica aportada al sistema en energía mecánica. Esta energía se emplea en realizar el movimiento del arco de seguridad.

Los cilindros usados durante este proyecto son los siguientes:

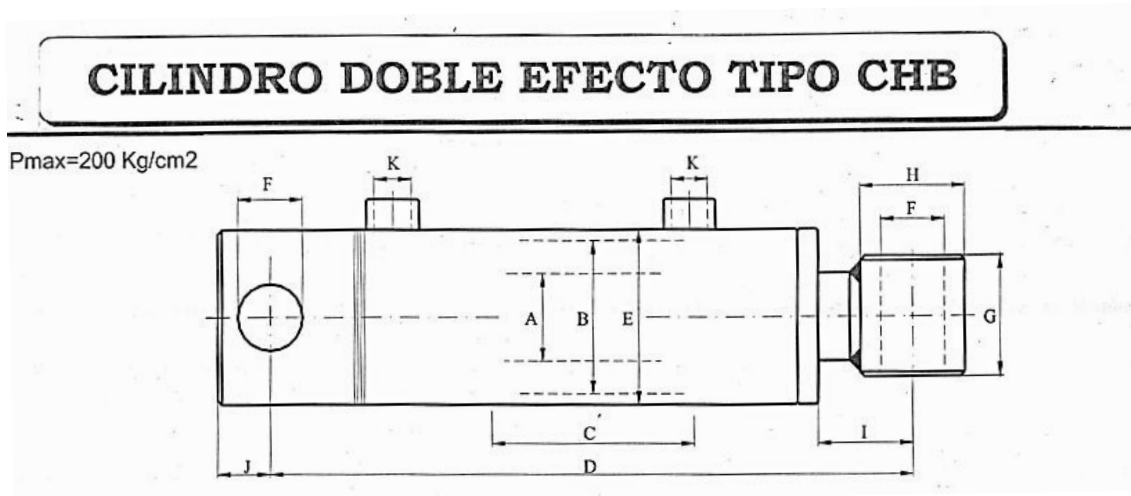


Figura 12. Esquema Cilindro doble efecto.

Tabla 1 . Dimensiones por cilindro empleado (en mm).

Cilindro hidráulico 3220-200:											
$\varnothing A$	$\varnothing B$	C	D	$\varnothing E$	$\varnothing F$	G	$\varnothing H$	I	J	K	Fmax(kg) (P=180bar)
20	32	200	355	40	16.2	35	30	28	17	¼"G	800
Cilindro hidráulico 4025-200:											
$\varnothing A$	$\varnothing B$	C	D	$\varnothing E$	$\varnothing F$	G	$\varnothing H$	I	J	K	Fmax(kg) (P=180bar)
25	40	200	370	50	20.5	40	35	50	19	3/8"G	1250
Cilindro hidráulico 5030-200:											
$\varnothing A$	$\varnothing B$	C	D	$\varnothing E$	$\varnothing F$	G	$\varnothing H$	I	J	K	Fmax(kg) (P=180bar)
30	50	200	400	60	25.5	45	40	54	25	3/8"G	1960

4.2.4 Grupo hidráulico (E)

El grupo hidráulico (unidad de alimentación) proporciona la energía requerida por la instalación hidráulica. Sus componentes más importantes son el tanque, el motor eléctrico, la bomba hidráulica, la válvula limitadora de presión, el filtro y el refrigerador. El grupo hidráulico también puede ser el soporte de otros dispositivos (manómetros, válvulas distribuidoras).

En este trabajo se ha elegido un grupo hidráulico compacto para su posible inclusión en cualquier montaje. Se ha optado por este montaje ya que ofrece multitud de ventajas a la hora de hacer una instalación de cara a una posible industrialización ya que permite conocer de antemano el comportamiento del sistema independientemente del modelo, marca o versión de vehículo en el que se pretenda instalar. Por el contrario se observa que hay una pérdida sustancial de caudal en el sistema y este ocupa un volumen, que pese a no ser muy alto se tendrá que solucionar puntualmente en cada instalación ya que cada instalación será distinta.



Figura 13. Grupo hidráulico.

Las características del grupo hidráulico son las siguientes:

- Tensión: 12v
- Potencia: 800w
- Capacidad del depósito: 2,5 litros
- Caudal máximo: 16 l/min
- Presión máxima: 180 bar

4.2.5 Depósito (F)

El depósito se encuentra integrado en el grupo hidráulico y tiene una presión de 0 bar. Puede ser instalado como componente propio en el esquema pero físicamente es una parte más del grupo hidráulico.

El tanque o depósito, contiene el fluido hidráulico que necesita la instalación para funcionar. Dentro del tanque, deben separarse del fluido hidráulico el aire, el agua y las partículas sólidas.

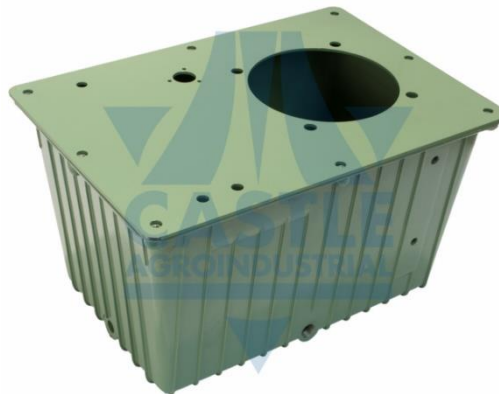


Figura 14. Depósito.

El tamaño del tanque dependerá de la aplicación para sistemas estacionarios puede tomarse como guía el caudal que desplaza la bomba durante 4 o 5 minutos.

En cambio, en sistemas móviles, el tanque contiene solamente la cantidad máxima de aceite que requiere el sistema. En particular en este caso como se ha dicho antes, el tanque instalado es de 2,5 litros.

4.2.6 Válvula limitadora de presión (G)

La válvula está cerrada en posición de reposo. Si se alcanza la presión de apertura en P, T se abre. Cuando la presión desciende por debajo del nivel preestablecido, la válvula cierra de nuevo. El sentido del flujo viene indicado por la flecha.



Figura 15. Válvula limitadora de presión.

4.2.7 Válvula antirretorno (desbloqueable) (H)

La presión de entrada es alrededor de 1 bar más elevada que la presión de salida, de este modo la válvula antirretorno deja libre el caudal, en caso contrario, lo bloquea. La válvula antirretorno puede además ser desbloqueada por una tubería de pilotaje, son lo que puede circular en ambos sentidos.



Figura 16. Válvula antirretorno pilotada.

4.2.8 Acumulador hidráulico (I)

El acumulador permite optimizar el rendimiento de un sistema hidráulico. Puede utilizarse, por ejemplo, como reserva de energía y para absorber picos de presión o variaciones de caudal. Los acumuladores pueden absorber un determinado volumen de fluido a presión y liberarlo posteriormente con unas pérdidas mínimas. Su construcción consiste esencialmente en un depósito resistente a la presión, generalmente una carga de nitrógeno y un separador, por ejemplo un émbolo, una membrana o una vejiga de elastómero.



Figura 17. Acumuladores hidráulicos de diferentes capacidades.

El fluido hidráulico sólo empieza a fluir hacia el interior del acumulador cuando la presión del fluido del circuito hidráulico es superior a la presión de carga del gas del acumulador.

4.2.9 Presostato (J)

La presión actúa en el presostato sobre un contacto eléctrico asociado cuando la presión sobrepasa el valor establecido.



Figura 18. Presostato regulable.

4.2.10 Válvula antirretorno (K)

Si la presión de entrada es por lo menos 1 bar más elevada que la de salida, la válvula antirretorno dejará libre el caudal, en caso contrario, lo bloqueará.

Su uso es para hacer un conducto con flujo de fluido unidireccional



Figura 19. Válvula antirretorno.

5 Diseño y construcción de banco de ensayos

Para asegurar que el circuito hidráulico descrito en el capítulo anterior es el apropiado y también para poder seleccionar y probar el conjunto de elementos más eficiente para el fin que se quiere obtener, que no es otro que asegurar que el despliegue del arco de seguridad sea lo más rápido posible con una fiabilidad de operación lo más alta posible.

Se ha diseñado y construido una bancada que permita instalar el arco de seguridad del que se dispone para realizar los ensayos. Se trata de un arco de seguridad homologado y de uso comercial en la actualidad, sobre el que se ha intentado no modificar nada que haga que pierda la homologación y que hace que todo lo desarrollado en el mismo sea de inmediata aplicación en la industria agrícola.

En el Anexo IV se muestran todos los planos de componentes y de fabricación correspondientes a todo lo descrito en este capítulo.

5.1 Bancada

Para todo el proceso de diseño se ha usado la herramienta CAD Solidworks. Con este software se ha diseñado la bancada que se muestra en la figura 20 la cual está preparada para el arco que se ha comentado anteriormente ya que guarda la dimensión apropiada para su anclaje.

La bancada consta de 3 elementos principales:

- Los anclajes a suelo marcados en la figura 20 en verde y que tienen la función de anclar toda la bancada al suelo y que la bancada permanezca estática.
- Los perfiles en U que aparecen en color gris y que se encargan de servir de soporte para dar estabilidad y reparto de fuerzas desde las vigas a los anclajes a suelo.

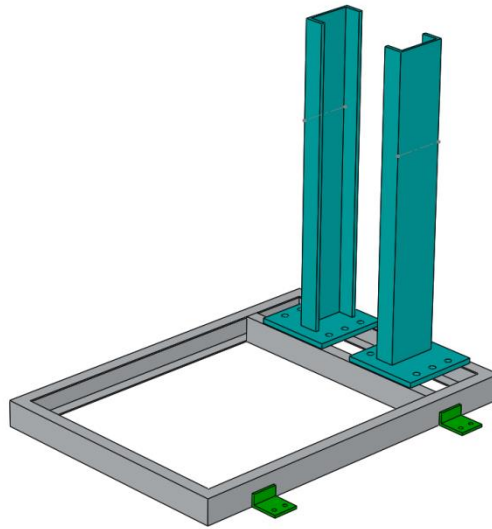


Figura 20. Bancada.

- Vigas en U marcadas en la figura anterior en azul se usan para anclar el arco de seguridad a ellas a la altura que estaría en una instalación normal sobre un tractor estándar.

Además de este diseño estructural, se ha hecho un estudio de carga sobre la estructura en una posición más desfavorable de lo que normalmente se va a encontrar la estructura. Esta simulación ha sido realizada también con Solidworks, y ha consistido en anclar la estructura al suelo y hacerle soportar una carga de 10KN en la parte superior de la viga. Con un coeficiente de seguridad de 2 se ha comprobado que la estructura es completamente resistente en estas condiciones. En la siguiente figura se observa el resultado de la simulación y se puede ver que poniendo como referencia el factor de seguridad no se tiene ninguna zona resaltada en rojo.

Nombre de modelo: Ensamblaje1*Ensamblaje_conjunto
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Rojo < FOS = 2 < Azul

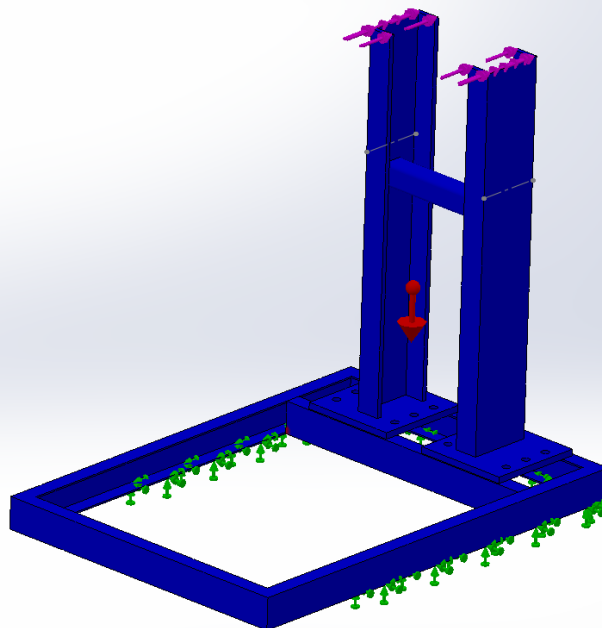


Figura 21. Simulación sometimiento a carga de la estructura.

5.2 Anclajes

Son los elementos que permiten la unión entre el arco de seguridad y la estructura comentada en el apartado anterior.

En las siguientes imágenes se pueden ver los anclajes superior e inferior en los que se conectan los diferentes cilindros hidráulicos.

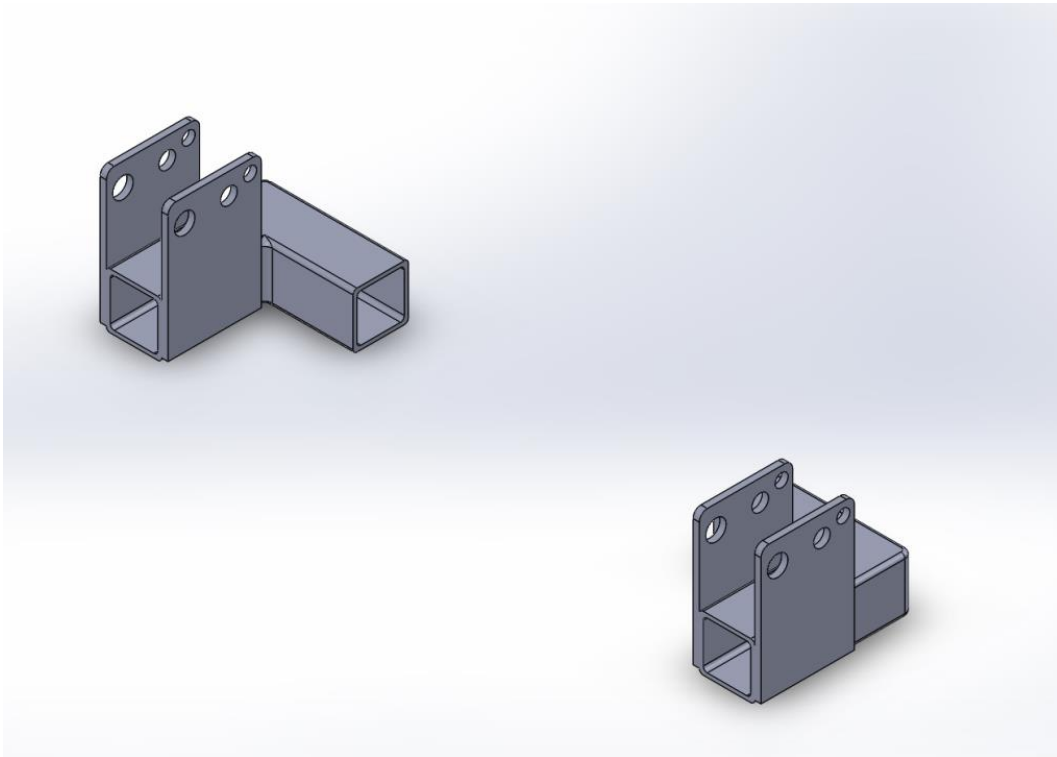


Figura 22. Anclajes entre la estructura y los cilindros.

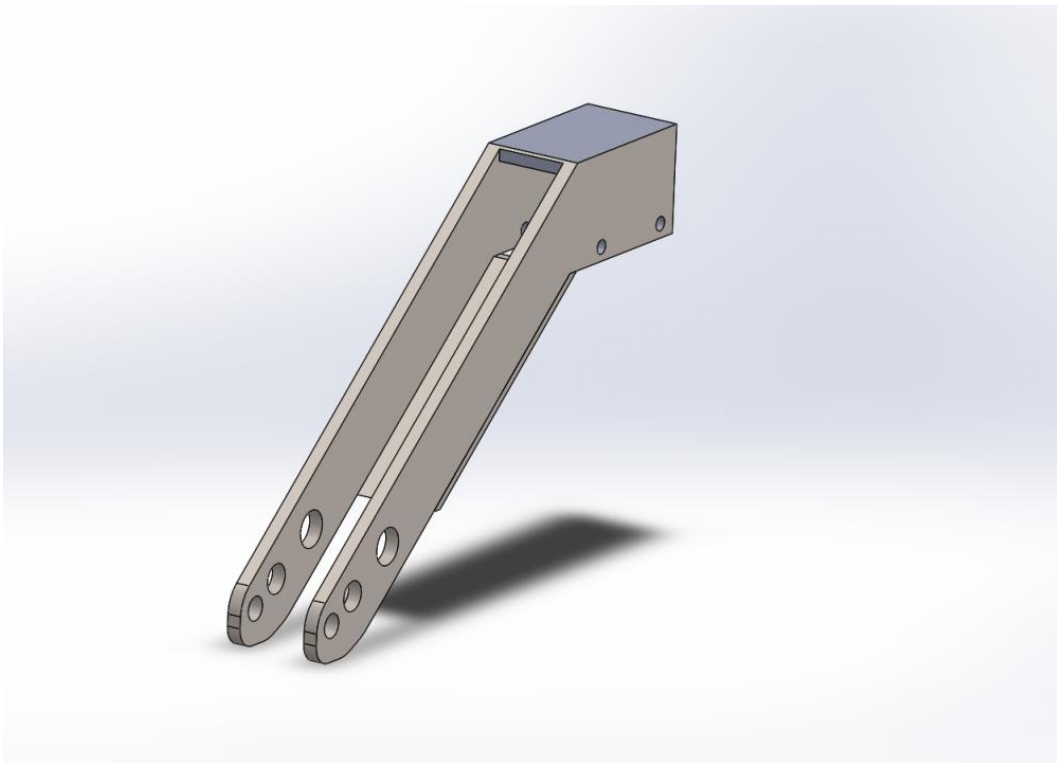


Figura 23. Anclaje entre cilindros y arco de seguridad.

Se ha trabajado en un diseño para que las dos estructuras anteriores pudiesen ser polivalentes y poder anclar los tres tipos de cilindros sin que ello supusiese ningún cambio de alguna de ellas o tener que reprocesar la estructura soporte en cada modalidad de montaje.

Para ello se ha realizado una medición lo más minuciosa posible sobre el arco y se ha creado un esquema de funcionamiento que restringe todas las dimensiones que se han considerado críticas o invariables por motivos debidos a espacio o fabricación.

En la siguiente figura se puede ver el esquema realizado para uno de los montajes con el cilindro 3220-200:

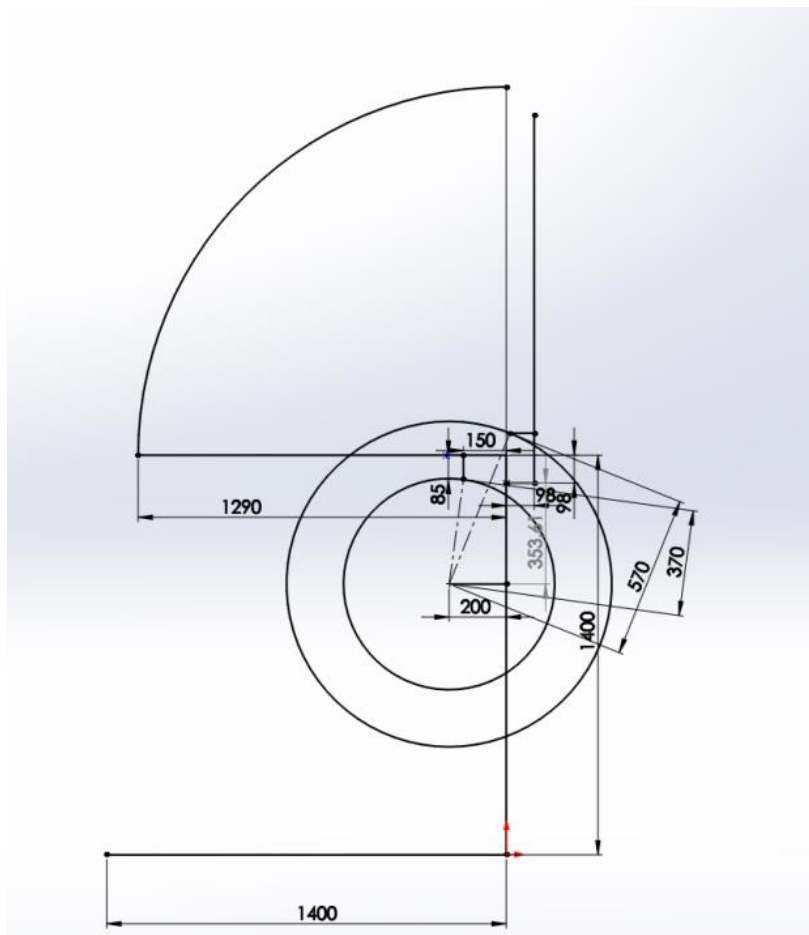


Figura 24. Esquema posicionamiento cilindro 3220-200.

Una vez hecho este esquema se procede a hacer el ensamblaje completo de los 3 cilindros sobre dichos soportes como se ve en la figura siguiente:

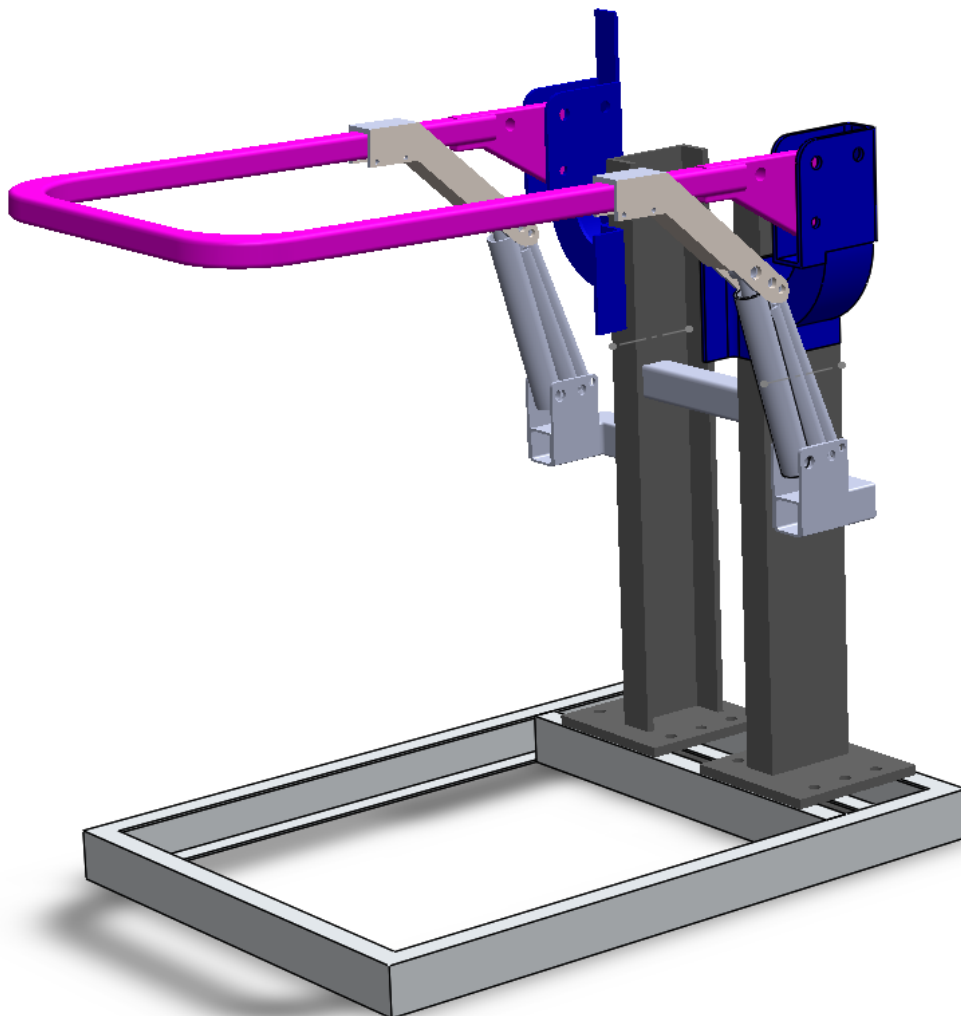


Figura 25. Comprobación de interferencias.

Con este ensamblaje se puede abatir y desplegar el arco de seguridad de manera que se puede ver si la posición de los cilindros es correcta o no. Para una posición correcta se debe tener en cuenta que han de hacer el despliegue del arco de seguridad con el recorrido completo del cilindro los tres cilindros.

Además de esta comprobación dimensional se ha evaluado dicho elemento en su comportamiento frente a cargas.

Para dicho estudio se ha empleado la herramienta de simulación de Solidworks como en el caso anterior.

Nombre de modelo: Soporte cilindros V31
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Rojo < FOS = 2 < Azul

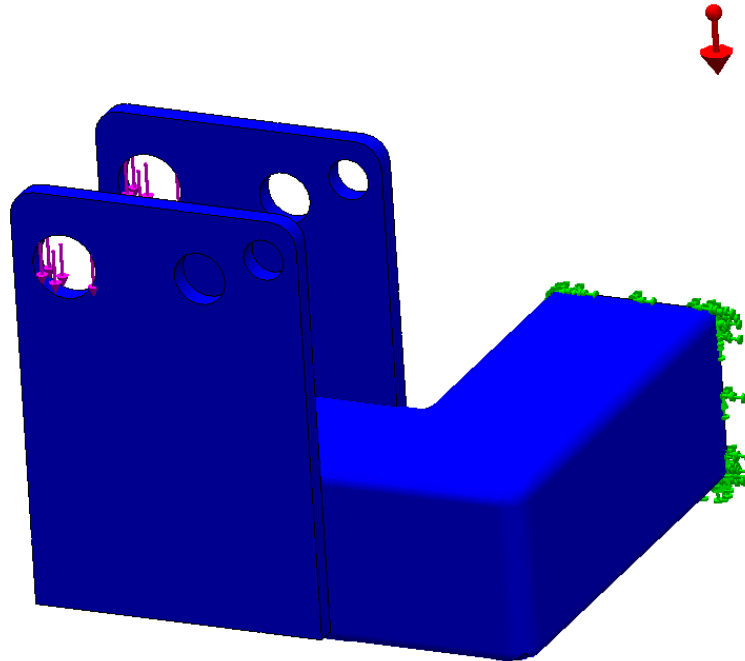


Figura 26. Estudio de cargas sobre anclaje inferior.

Ambos se han estudiado para una carga de 10KN en la dirección de aplicación de la fuerza en cada caso que sería la dirección que tiene el cilindro en su posición de reposo.

También en ambos casos el factor de seguridad se ha establecido en 2 y se ha alcanzado un resultado satisfactorio.

Nombre de modelo: Unión arco unida
Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Rojo < FOS = 2 < Azul

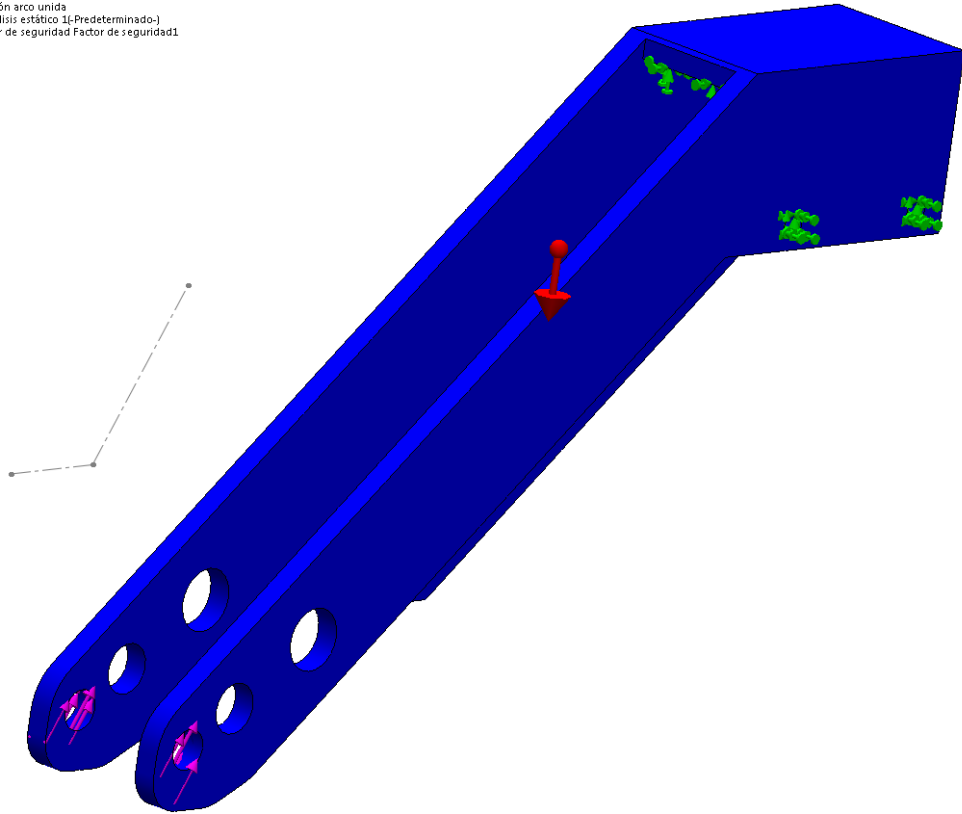


Figura 27. Estudio de cargas sobre anclaje superior.

5.3 Accesorios

Como accesorios se presentan todos los elementos que sin ser estructurales eran de fabricación indispensable para la correcta ejecución de la bancada.

5.3.1 Bulones

Estos elementos permiten la rápida intercambiabilidad entre diferentes cilindros en ambos lados del arco de seguridad y permiten mucha agilidad en las pruebas.

En la siguiente figura se puede ver un ejemplo de los mismos:

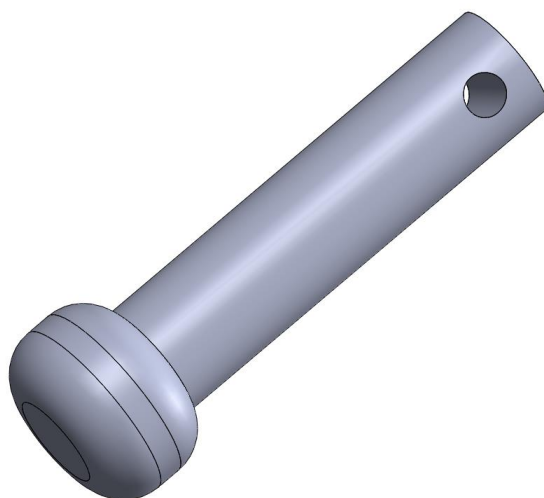


Figura 28. Bulón ejemplo.

Con este tipo de bulón instalado en la parte superior e inferior del cilindro este queda sujeto y permite la movilidad necesaria, poniendo en su extremo un pasador en R o de clip para evitar que salga de su posición.

5.3.2 Ruedas retráctiles

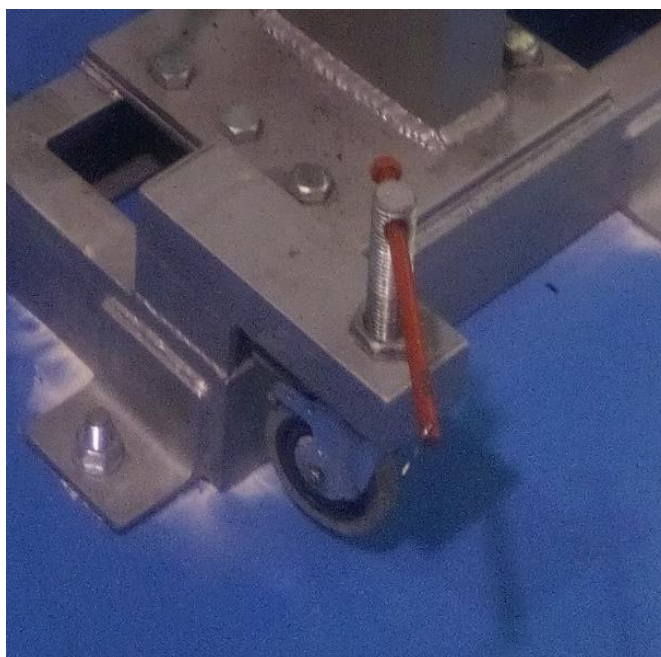


Figura 29. Ejemplo de rueda instalada.

Para posibilitar el transporte se han instalado unas ruedas retráctiles mediante husillo que permiten tanto elevar el banco de pruebas para transportarlo como para introducir una carretilla elevadora que facilite el transporte en cualquier situación.

5.4 Utilidad y funcionamiento

Para dotar de un funcionamiento completo a todo lo descrito anteriormente hace falta la instalación del sistema hidráulico descrito en el capítulo 4 y que se puede ver en la figura 30 y la del sistema electrónico.



Figura 30. Sistema hidráulico.

El sistema electrónico del que ha sido dotado este banco de pruebas es el mismo que puede ser instalado en cualquier tractor que instale el sistema patentado por la UPCT.

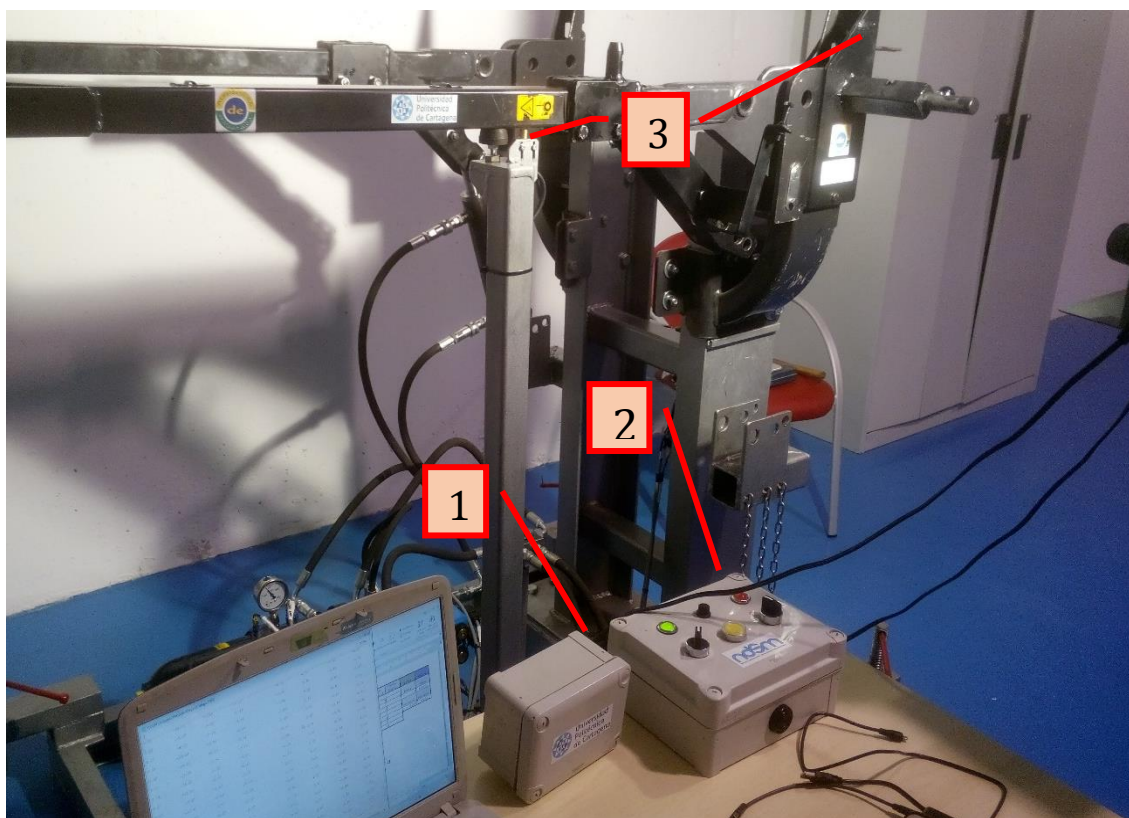


Figura 31. Sistema electrónico.

En la figura 31 se puede ver el sistema electrónico y eléctrico empleado, en el que se distinguen 2 componentes principales.

El dispositivo que integra la sensorización y detección se observa indicado en la figura 31 como “1”. Éste simula el tractor y girándolo un ángulo determinado hace que se active en un primer momento la alarma acústica. Si se alcanza un nivel de inclinación mayor automáticamente ordena el despliegue del arco con la apertura de la electroválvula de descarga del acumulador hidráulico.

El dispositivo designado como “2” contiene el cuadro de mando. Con este se puede encender el sistema (On/Off) y hacer el despliegue manual del arco de seguridad

La etiqueta designada con el número “3” señala los finales de carrera que se han instalado para medir el tiempo que emplea el arco en su recorrido de despliegue.

Estos sistemas, tanto el eléctrico como el hidráulico se alimentan mediante una batería de 12V, para simular en mayor medida la situación real en un vehículo.

6 Análisis teórico de comportamiento del circuito

El objetivo de este análisis es partir de los datos conocidos de los materiales utilizados para obtener la estimación teórica del dimensionamiento de la bomba hidráulica.

Para este análisis se ha utilizado una hoja de cálculo Excel empleando variables conocidas del circuito para calcular diferentes parámetros dependiendo de los datos de partida.

6.1 Cálculo de esfuerzo en cilindros

Antes de comenzar a exponer este cálculo se explicará la obtención del esfuerzo que se le solicita a los cilindros durante el despliegue del arco de seguridad.

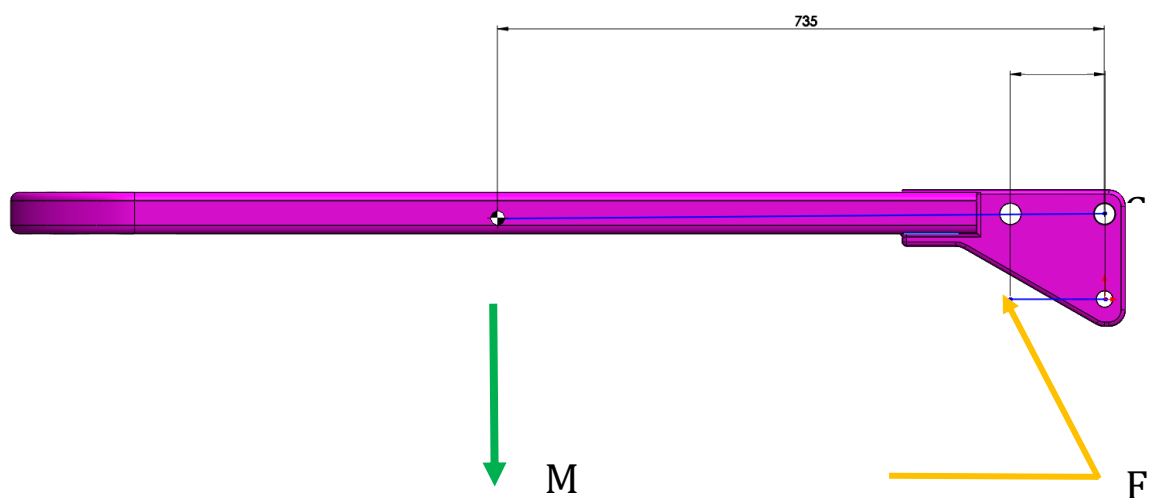


Figura 32. Diagrama de fuerzas.

Para la obtención de todos estos datos se ha usado el software Solidworks, con el que se ha modelado en 3D el arco de seguridad instalado en el banco de ensayos de la UPCT.

A partir de este modelo en 3D se ha podido obtener el centro de gravedad del mismo, para aplicar su peso, que será el que tendrá que vencer el sistema hidráulico.

En la Tabla 2 se recogen los datos de partida para el cálculo de esfuerzos sobre el arco de seguridad:

Tabla 2. Datos de partida para el cálculo de fuerzas sobre el arco de seguridad.

Longitud1 (mm)	0,735
Longitud2 (mm)	0,082
Masa (Kg)	88
Ángulo (deg)	70
Ángulo (Rad)	1,222
Gravedad (m/s ²)	10

Aplicando ecuaciones de equilibrio de momentos en el punto de giro marcado en la figura 32 como C se deduce que:

$$\sum M_C = 0 ;$$

$$F \text{sen}(70) * L2 - P * L1 = 0 ; F = P * L1 / \text{sen}(70) * L2$$

Sustituyendo

$$F = 8394,02 \text{ N}$$

Finalmente se obtiene la fuerza F que habrá que aplicar en el punto indicado

6.2 Cilindro 3220-200/355

En el caso de marcar como consigna que el tiempo de despliegue sea 0,5 segundos los datos de partida son los que se observan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Datos cilindro 3220-200.

Datos cilindro 3220-200	
Tiempo de llenado(s)	0,5
Diámetro de cilindros (mm)	32
Recorrido cilindros(mm)	200
Presión de la bomba (bar)	180
Presión del acumulador (bar)	120

Esfuerzo del cilindro (N)	8394
---------------------------	------

Haciendo los cálculos de área del embolo y volumen del cilindro se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4. Cálculo área y volumen cilindro 3220-200.

	mm ²	cm ²	cm ² (x2)
Área del cilindro (^2)	804,248	8,042	16,085
Volumen del cilindro (^3)	160849,544	160,849	321,699

Una vez que se ha conseguido calcular estos datos, se procede al cálculo del caudal de la bomba. Dado que el caudal es el volumen de fluido por unidad de tiempo y una vez se ha obtenido el volumen a llenar y el tiempo en el que se desea hacer, el cual era un dato de partida (0,5 segundos) se puede hacer el siguiente cálculo:

$$Q = V/t$$

Tabla 5. Caudal cilindro 3020-200.

	cm ³ /seg	l/min	l/min
Caudal	321,699	19,302	38,604

Una vez obtenido el caudal, falta para dimensionar la bomba la presión máxima de trabajo:

$$P = F/A$$

Tabla 6. Presión cilindro 3220-200.

	N/cm ²	bar	bar (x2)
Presión de trabajo	1043,708	104,371	52,185

Con el resto de cilindros se ha procedido de la misma forma obteniendo los resultados que se muestran en los dos siguientes apartados.

6.3 Cilindro 4025-200/370

En el caso de este cilindro los datos de partida son los siguientes:

Tabla 7. Datos cilindro 4025-200.

Datos cilindro 4025-200	
Tiempo de llenado(s)	0,5
Diámetro de cilindros (mm)	40
Recorrido cilindros(mm)	200
Presión de la bomba (bar)	180
Presión del acumulador (bar)	120
Esfuerzo del cilindro (N)	8394

Haciendo los cálculos de manera similar a la anterior se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 8. Resultados calculados para circuito C4025-200.

Unidades	mm ²	cm ²	cm ² (x2)
Área del cilindro (^2)	1256,637	12,566	25,132
Volumen del cilindro (^3)	251327,412	251,327	502,654
Unidades	cm ³ /seg	l/min	l/min
Caudal	502,654	30,159	60,318
Unidades	N/cm ²	bar	bar (x2)
Presión de trabajo	667,975	66,797	33,398

6.4 Cilindro 5030-200/400

Y por último para este cilindro se tienen los datos de partida de la siguiente tabla:

Tabla 9. Datos cilindro 5030-200.

Datos cilindro 5030-200	
Tiempo de llenado(s)	0,5
Diámetro de cilindros (mm)	50
Recorrido cilindros(mm)	200
Presión de la bomba (bar)	180
Presión del acumulador (bar)	120
Esfuerzo del cilindro (N)	8394

Obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 10. Resultados calculados para circuito C5030-200.

Unidades	mm ²	cm ²	cm ² (x2)
Área del cilindro (^2)	1963,495	19,635	39,270
Volumen del cilindro (^3)	392699,082	392,699	785,398
Unidades	cm ³ /seg	l/min	l/min
Caudal	785,398	47,124	94,248
Unidades	N/cm ²	bar	bar (x2)
Presión de trabajo	427,503	42,750	21,375

6.5 Resumen y análisis de resultados

En la Tabla 11 se puede ver a modo resumen cuales son los caudales que se necesita obtener en la instalación hidráulica para poder alcanzar el objetivo de acercar el resultado lo máximo al tiempo de despliegue de medio segundo.

Tabla 11. Cálculos sobre los diferentes tipos de cilindros.

Modelo de cilindro	Caudal necesario (l/min)	Presión requerida (bar)
C3220-200	38,604	38,604
C4025-200	60,318	22,325
C5030-200	94,248	14,288

Como cabía esperar, el cilindro que más rápido se despliega es con mucha diferencia el más pequeño para igual recorrido, el denominado C3220-200 el cuál necesita una presión para desplegar sin más oposición que el arco de seguridad propio de 38,6 bar, la cual es menor que la que aporta la bomba, por lo tanto no existe problema alguno en este accionamiento.

7 Simulación del comportamiento del circuito

Para hacer esta simulación de comportamiento del circuito se ha empleado el software FluidSim®. Se ha hecho un esquema del circuito implementado en el banco de ensayos con el que se medirán diferentes datos como presiones, flujos y tiempos para después compararlos con los resultados reales obtenidos en los ensayos.

El esquema generado es el que se muestra en la figura 33.

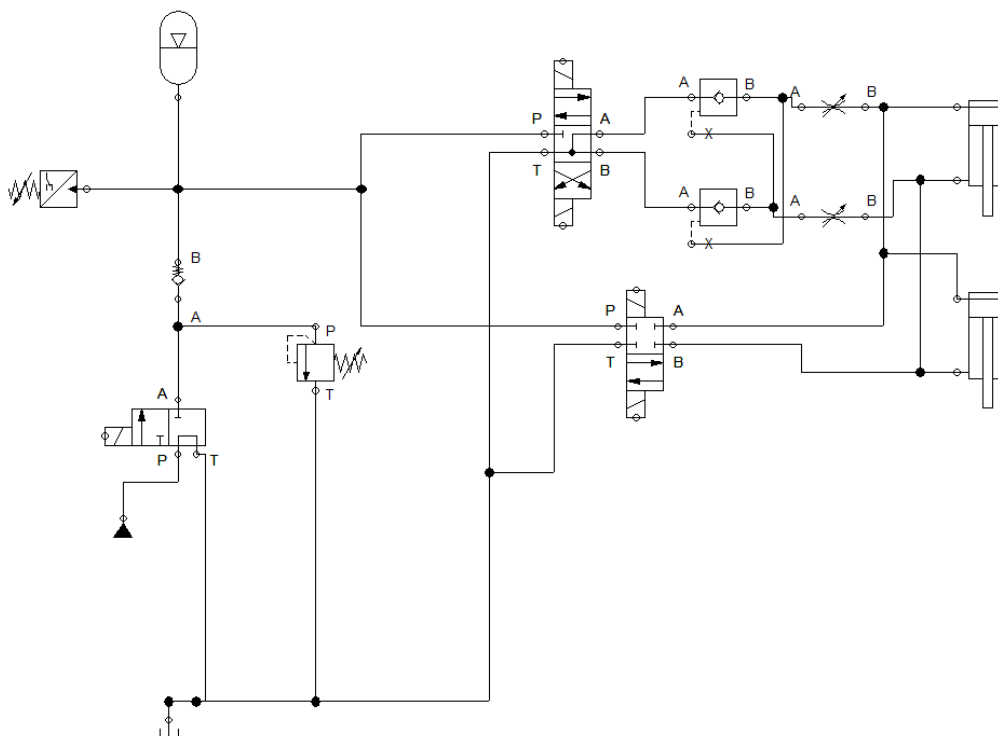


Figura 33. Esquema hidráulico.

Este esquema contiene los principales elementos que se pueden encontrar en el circuito instalado en el banco de ensayos. Tras la instalación hubo que introducir algunos elementos para que funcionase correctamente pero el funcionamiento ha seguido siendo el mismo que en el esquema inicial.

7.1 Procedimiento

Para hacer la simulación de funcionamiento mediante la herramienta de trabajo empleada, Fluidsim, se ha introducido un diagrama de funcionamiento como el que se observa en la siguiente figura:

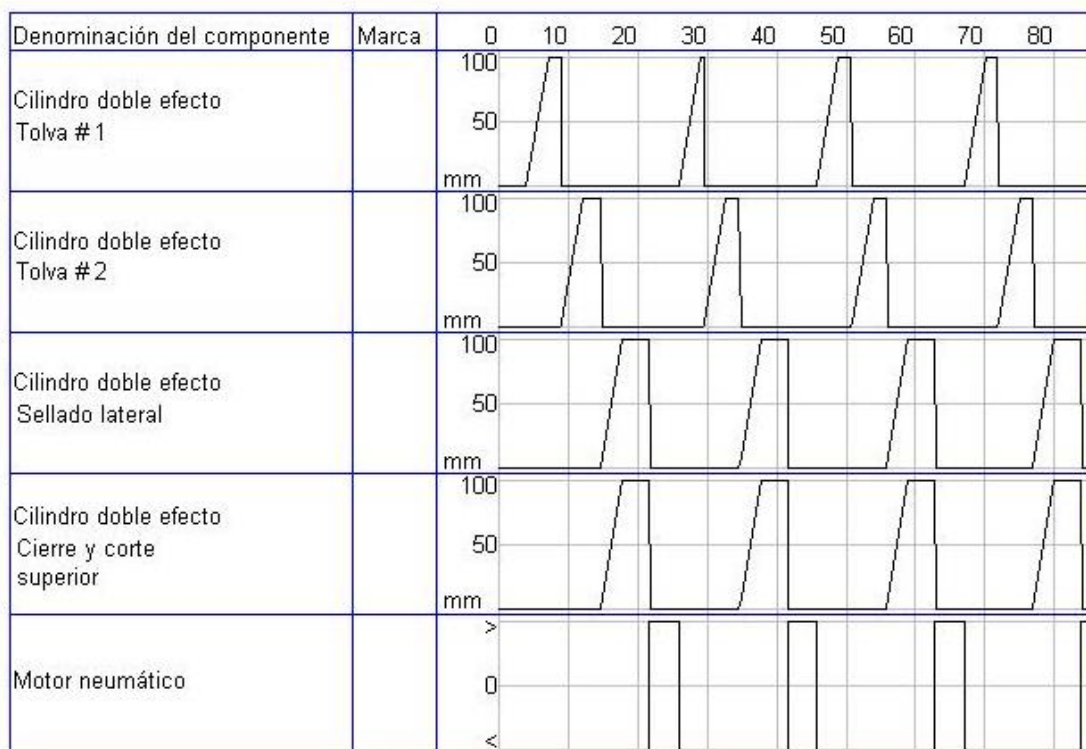


Figura 34. Ejemplo de gráficas obtenidas de Fluidsim.

En este diagrama se insertan los elementos que se desean analizar en diferentes aspectos. En este caso solamente se introducirá uno de los cilindros a analizar ya que actúan de manera paralela y, analizando el tiempo de despliegue de uno solamente, se puede saber el del conjunto.

Procediendo a la realización de la simulación se obtiene un diagrama similar al que se muestra en la siguiente figura:

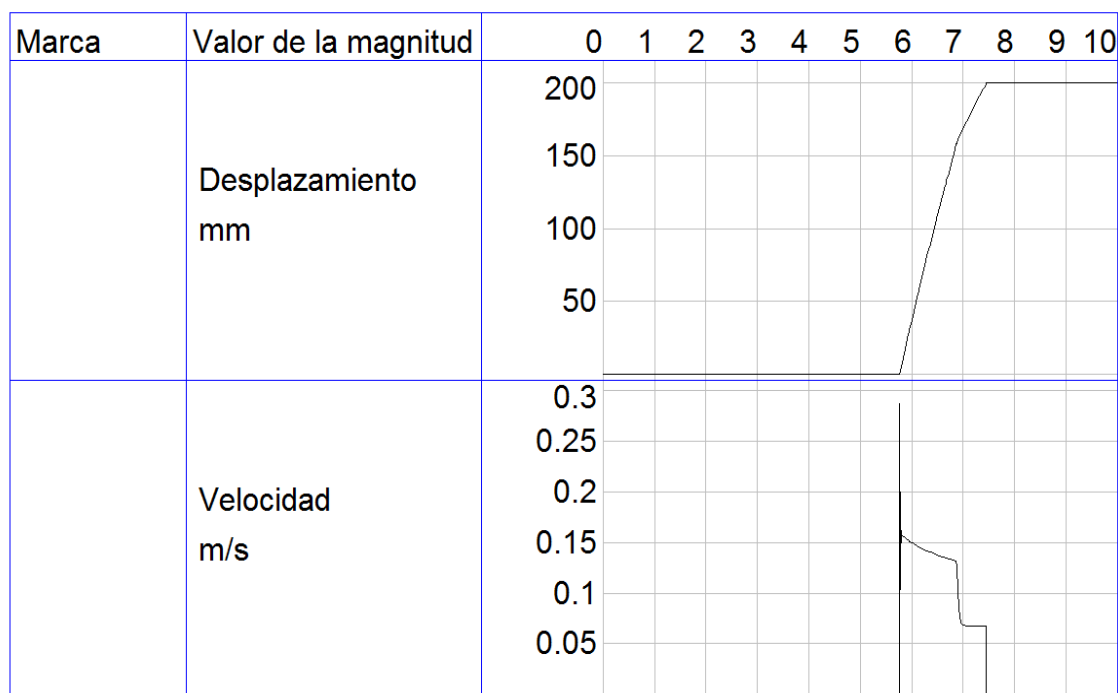


Figura 35. Ejemplo de una de las simulaciones sobre nuestro esquema hidráulico.

De este diagrama se obtienen los datos de estado de desplazamiento y velocidad del pistón en cada instante.

Desplazando el cursor sobre la gráfica obtenida en el gráfico de desplazamiento se puede obtener en qué instante comienza y termina el mismo, con lo que se puede obtener el tiempo del mismo.

A continuación se hará un análisis de cada uno de los tres modelos de cilindro instalando cada uno de los tres acumuladores de presión.

7.2 Simulación con cilindro 3220-200

Operando de la manera que se ha explicado en el apartado anterior se procede a analizar este cilindro con los tres acumuladores, obteniendo todos los resultados que se muestran a continuación.

7.2.1 Acumulador de 2 litros

La gráfica obtenida en este caso ha sido la siguiente:

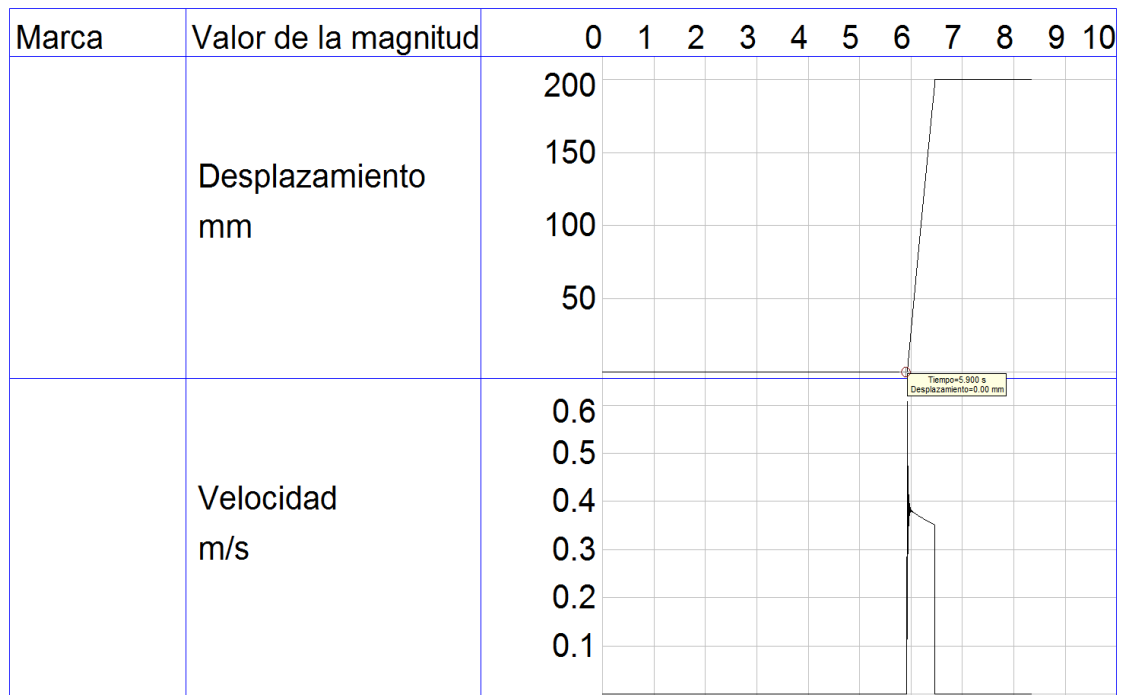


Figura 36. Simulación cilindro 3220-200 con acumulador de 2 litros.

Los tiempos obtenidos son los siguientes:

Tabla 12. Resultado de la simulación de cilindro 3220-200 con acumulador de 2 litros.

Tiempo inicio (seg)	5,900
Tiempo fin (seg)	6,468
Tiempo de despliegue (seg)	0,568

7.2.2 Acumulador de 3 litros

La gráfica obtenida en este caso ha sido la siguiente:

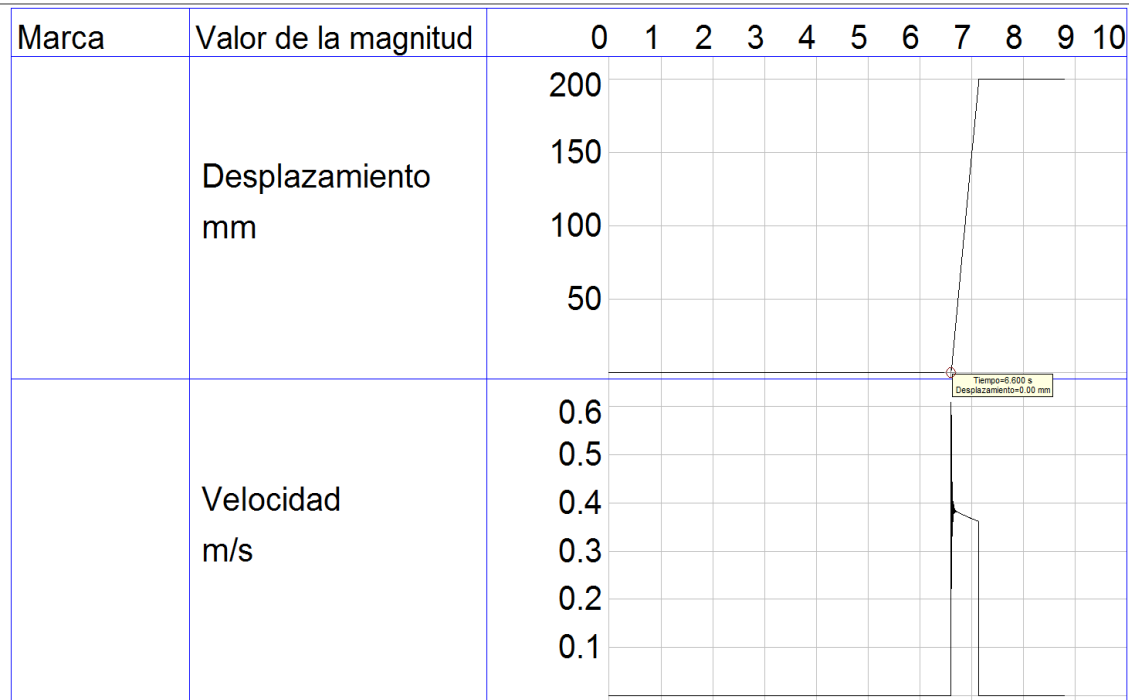


Figura 37. Simulación cilindro 3220-200 con acumulador de 3 litros.

Los tiempos obtenidos son los siguientes:

Tabla 13. Resultado de la simulación de cilindro 3220-200 con acumulador de 3 litros.

Tiempo inicio (seg)	6,600
Tiempo fin (seg)	7,142
Tiempo de despliegue (seg)	0,542

7.2.3 Acumulador de 4 litros

La gráfica obtenida en este caso ha sido la siguiente:

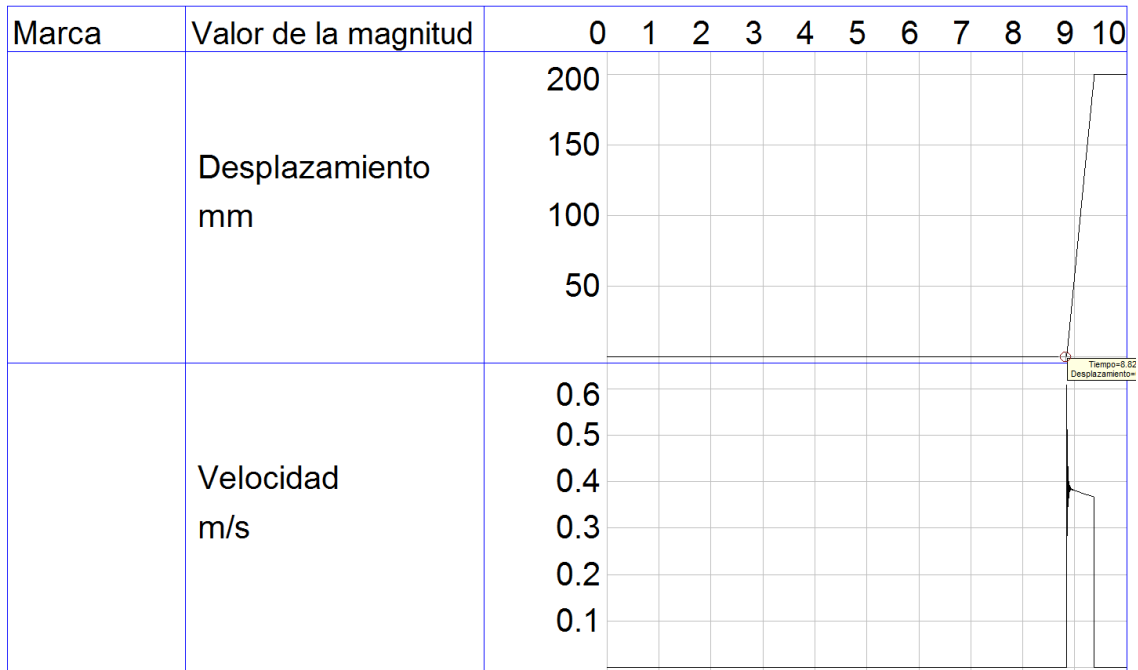


Figura 38. Simulación cilindro 3220-200 con acumulador de 4 litros.

Los tiempos obtenidos son los siguientes:

Tabla 14. Resultado de la simulación de cilindro 3220-200 con acumulador de 4 litros.

Tiempo inicio (seg)	8,820
Tiempo fin (seg)	9,378
Tiempo de despliegue (seg)	0,558

7.3 Simulación con cilindros 4025-200 y 5030-200

Para las simulaciones de estos dos modelos de cilindro se ha procedido de manera similar a la explicada anteriormente. En las siguientes tablas se puede ver el resumen de todos los ensayos:

Tabla 15. Simulaciones con cilindro 4025-200 y los diferentes acumuladores.

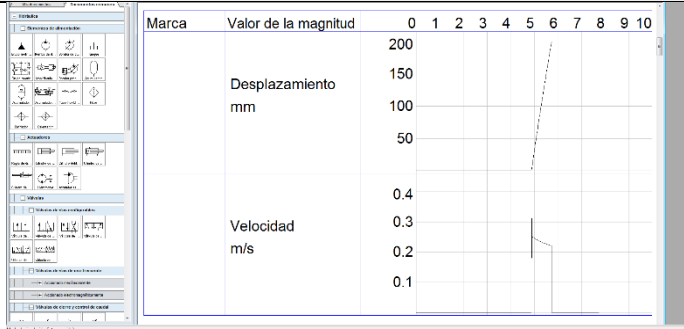
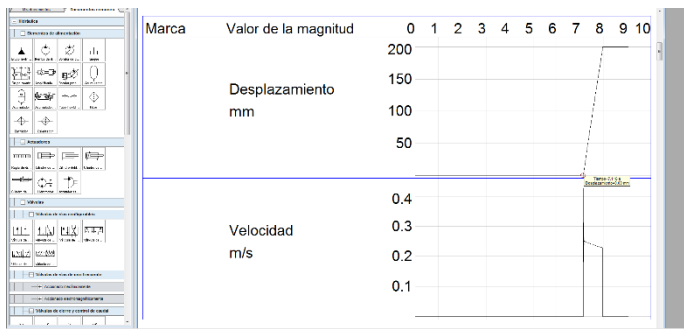
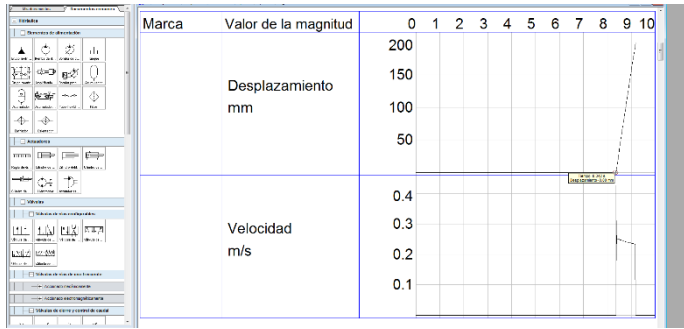
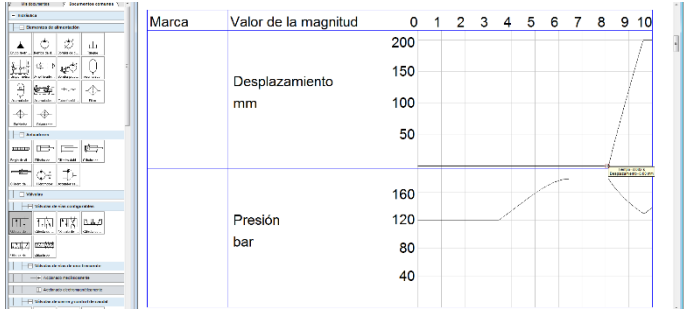
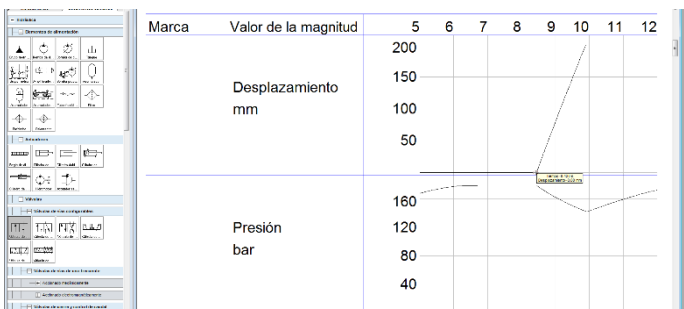
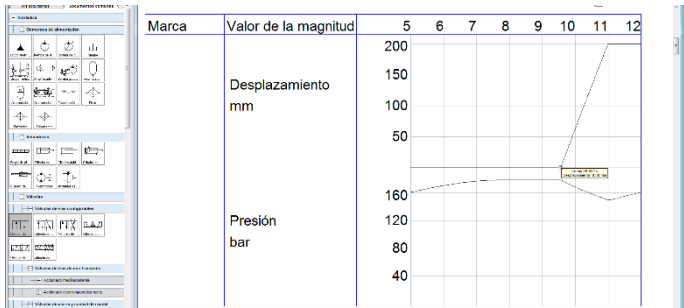
Acumulador (litros)	Cilindro 4025-200	Tiempo (seg)
2		0,899
3		0,841
4		0,846

Tabla 16. Simulaciones con cilindro 5030-200 y los diferentes acumuladores.

.Acumulador (litros)	Cilindro 5030-200	Tiempo (seg)
2		1,544
3		1,480
4		1,458

7.4 Resumen de resultados y conclusión

En la siguiente Tabla 17 se pueden ver los resultados obtenidos para las 9 configuraciones disponibles:

Tabla 17. Resumen de los resultados de las simulaciones anteriores.

Acumulador	Cilindro	Tiempo inicio (seg)	Tiempo fin (seg)	Resultado (seg)
2 Litros	C3220-200	5,900	6,468	0,568
	C4025-200	4,850	5,749	0,899
	C5030-200	8,082	9,626	1,544
3 Litros	C3220-200	6,600	7,142	0,542
	C4025-200	7,116	7,957	0,841
	C5030-200	8,420	9,900	1,480
4 Litros	C3220-200	8,820	9,378	0,558
	C4025-200	8,342	9,188	0,846
	C5030-200	9,552	11,01	1,458

se puede ver que para diferentes acumuladores de presión la capacidad de los mismos no es relevante ya que los tiempos de despliegue de los cilindros son iguales en todas las simulaciones a igualdad de cilindro. Se observa que con el acumulador más pequeño de 2 litros los tiempos son ligeramente superiores a los demás siendo en los casos de 3 y 4 litros prácticamente iguales.

Se puede concluir que una vez que se ha cubierto la capacidad de llenado del cilindro, la capacidad del acumulador no influye sobre otro aspecto.

8 Ensayos en banco de pruebas

En este capítulo se van a presentar y discutir todos los resultados obtenidos en los diferentes ensayos sobre el banco de pruebas descrito en capítulos anteriores.

Se han realizado todas las combinaciones posibles con los elementos de los que se disponía, haciendo 9 ensayos sobre el equipo. En cada ensayo se ha comprobado el comportamiento del sistema con las tres configuraciones de cilindro hidráulico y los tres acumuladores de presión.

8.1 Equipamiento empleado

Los equipos empleados son los que se detallan a continuación.

8.1.1 Banco de ensayos



Figura 39. Banco de ensayos.

El banco de ensayos sobre el que se ha testado toda la casuística es el descrito en el capítulo 5 y se muestra en la Figura 39.

8.1.2 Cámara de alta velocidad

La cámara usada es una Faster Imaging TroubleShooter TSHRMS con capacidad para captar hasta 1000 fotogramas por segundo. Se ha empleado la cámara que se puede observar en las figuras 40 y 41.



Figura 40. Cámara rápida.



Figura 41. Cámara rápida.

Para poder captar imágenes con mayor definición esta cámara incluye un objetivo Computar TV Lens de 12.5mm 1:1,3; mostrado en la Figura 42.



Figura 42. Objetivo.

8.1.3 Foco de iluminación

La utilización de este instrumento se hace imprescindible por la gran cantidad de luz que demanda la cámara de alta velocidad por el corto espacio de tiempo que tiene la cámara para tomar cada fotograma ya que la velocidad que se ha utilizado es de 250fr/s o 500fr/s.

Se trata de un foco Kaiser Videolight 6 de 1000W para iluminar la zona a grabar con la cámara de alta velocidad.

El foco empleado es el que se muestra en la siguiente figura.



Figura 43. Foco.

8.1.4 Arduino Mega

El sistema de control utiliza un microcontrolador (ATmega2560) programado en lenguaje C, con una unidad de medición inercial (acelerómetro y giroscopio). El software desarrollado permite almacenar un histórico de las actuaciones manuales y automáticas del dispositivo de seguridad y medir los tiempos desde el comienzo del vuelco, o cuando este es inminente hasta el despliegue completo del arco de seguridad.

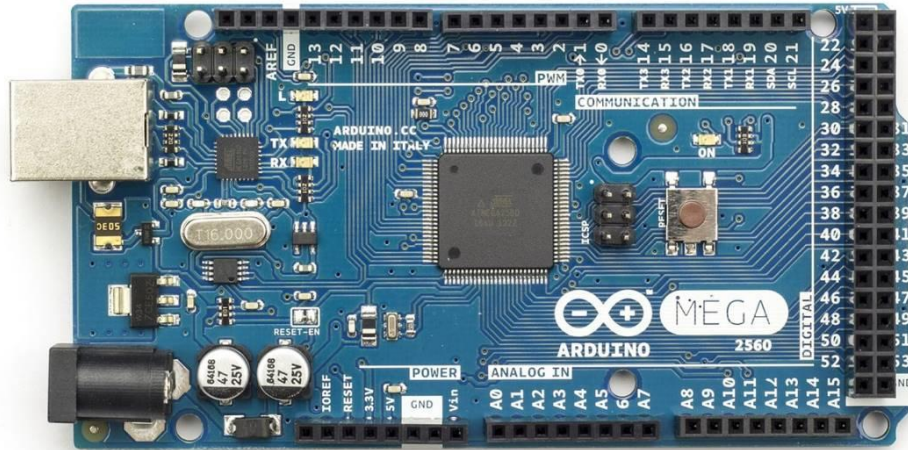


Figura 44. Arduino ATmega 2560.

Las especificaciones de este microcontrolador son las siguientes:

Tabla 18. Especificaciones Arduino

Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (limite)	6-20V
Pines E/S digitales	54 (14 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Intensidad por pin	40 mA
Intensidad en pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB de las cuales 8 KB las usa el gestor de arranque(bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

A partir de ahora se va a describir el método empleado para realizar los ensayos utilizando los elementos descritos anteriormente.

8.2 Realización de ensayos.

Para la realización de los ensayos se ha realizado el montaje de los elementos mencionados dispuestos como se muestra en la figura 45.

Posteriormente, se ha realizado una tanda de ensayos consistentes en girar el dispositivo electrónico mostrado en la figura 46 de manera que se puede simular el vuelco del tractor tal y como ocurriría en una situación real hasta accionar el disparo automático del arco de seguridad.



Figura 45. Montaje dispuesto para ensayos.



Figura 46. Simulador de vuelco.

De este modo se puede medir el tiempo que transcurre entre el inicio de la elevación del arco y el final del recorrido del mismo.

Para tomar esta última medida se ha filmado con la cámara de alta velocidad descrita anteriormente obteniendo un video del que se ha obtenido la imagen que se muestra en la figura 47, en ella se puede observar el número de fotograma en el que sucede cada episodio. Además de esta filmación, también se han instalado 2 finales de carrera que permiten medir el tiempo empleado por el arco en su recorrido desde que se da la orden de despliegue hasta que llega el arco a su posición vertical.



Figura 47. Visualización de fotogramas en cámara de alta velocidad.

En las figuras siguientes (48 y 49) se observan los finales de carrera empleados.

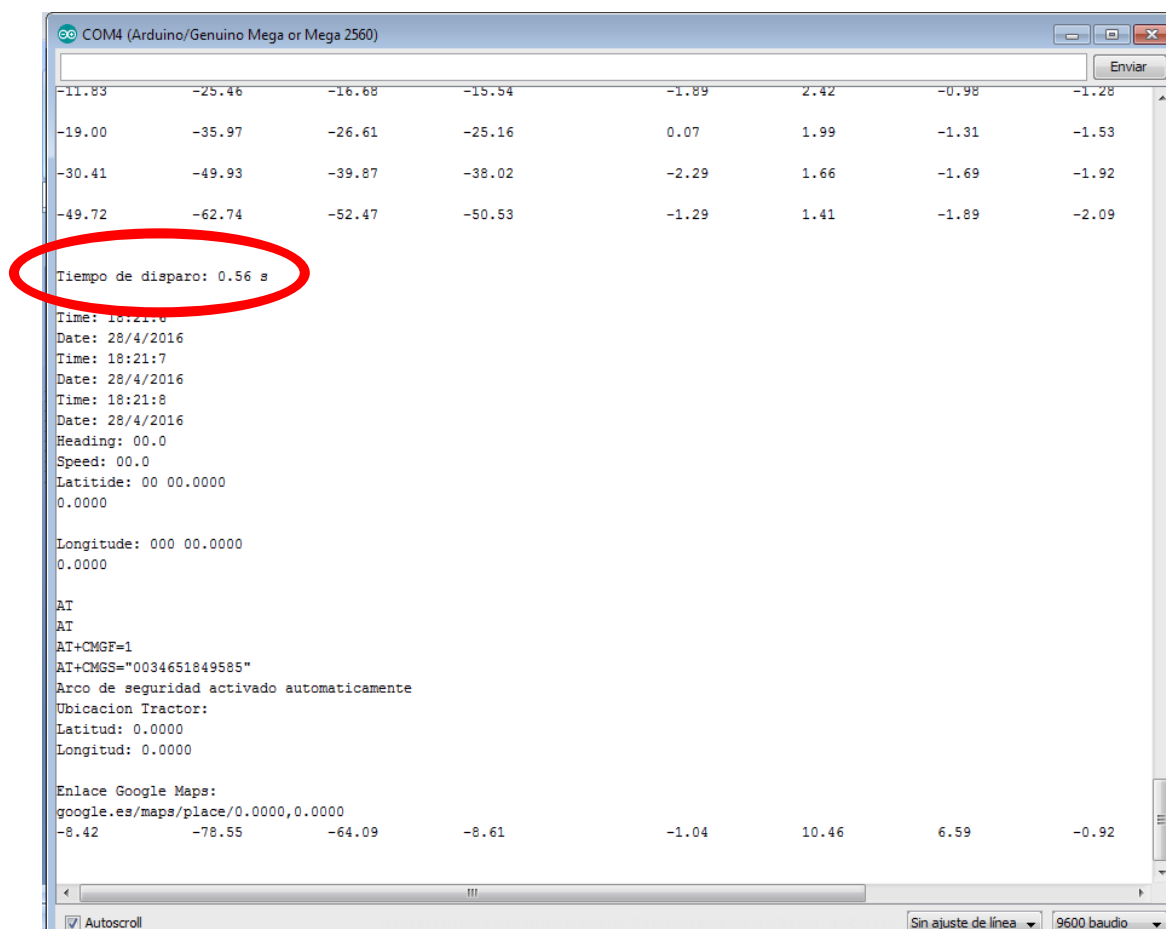


Figura 48. Final de carrera al inicio del recorrido.



Figura 49. Final de carrera al final del recorrido.

Arrancando el programa cargado en el microcontrolador para visualizarlo en la pantalla del PC se obtiene la información que se muestran en la figura 50.



```

COM4 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)
-11.83      -25.46      -16.68      -15.54      -1.89      2.42      -0.98      -1.28
-19.00      -35.97      -26.61      -25.16      0.07      1.99      -1.31      -1.53
-30.41      -49.93      -39.87      -38.02      -2.29      1.66      -1.69      -1.92
-49.72      -62.74      -52.47      -50.53      -1.29      1.41      -1.89      -2.09

Tiempo de disparo: 0.56 s
Time: 18:21:6
Date: 28/4/2016
Time: 18:21:7
Date: 28/4/2016
Time: 18:21:8
Date: 28/4/2016
Heading: 00.0
Speed: 00.0
Latitude: 00 00.0000
0.0000

Longitude: 000 00.0000
0.0000

AT
AT
AT+CMGF=1
AT+CMGS="0034651849585"
Arco de seguridad activado automaticamente
Ubicacion Tractor:
Latitud: 0.0000
Longitud: 0.0000

Enlace Google Maps:
google.es/maps/place/0.0000,0.0000
-8.42      -78.55      -64.09      -8.61      -1.04      10.46      6.59      -0.92
  
```

Figura 50. Información suministrada por Arduino Mega.

Con esta metodología e instrumentación se han realizado todos los ensayos descritos a continuación.

8.3 Ensayo con dos cilindros en paralelo iguales y diferentes acumuladores

En este ensayo se ha medido el tiempo de despliegue haciendo el montaje que se observa en la Figura 51, con dos cilindros hidráulicos iguales puestos uno en cada lado del arco de seguridad y cambiando la capacidad del acumulador de presión para estudiar su influencia.

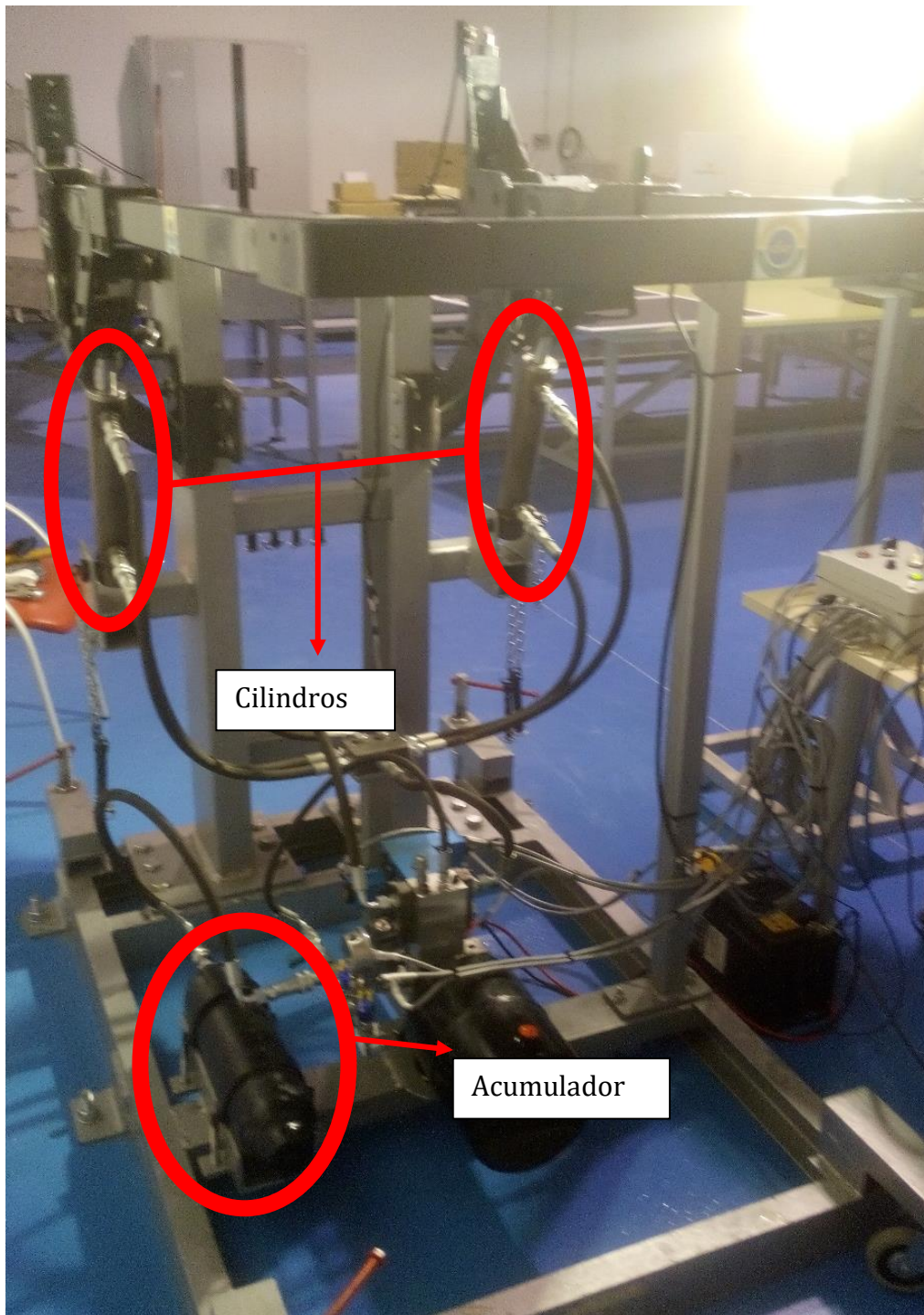


Figura 51. Ejemplo de montaje con dos cilindros iguales en paralelo.

8.3.1 Cilindros 5030-200

8.3.1.1 Acumulador 2 litros

Los datos obtenidos con esta configuración han sido los siguientes:

Tabla 19. Cilindros 5030-200 con acumulador de 2 litros.

Número de ensayo	Fotograma inicio	Fotograma final	Número de fotogramas	Tiempo de cámara (seg)	Tiempo Arduino (seg)
1	-913	-130	783	6,264	6,840
2	-843	-120	723	5,784	6,170
3	-934	-120	814	6,512	6,890
4	-920	-112	808	6,464	6,990
5	-874	-179	695	5,560	6,060
6	-870	-270	600	4,800	6,500
7	-749	-101	648	5,184	5,940
8	-952	-140	812	6,496	7,090

Aquí se muestran en una gráfica:

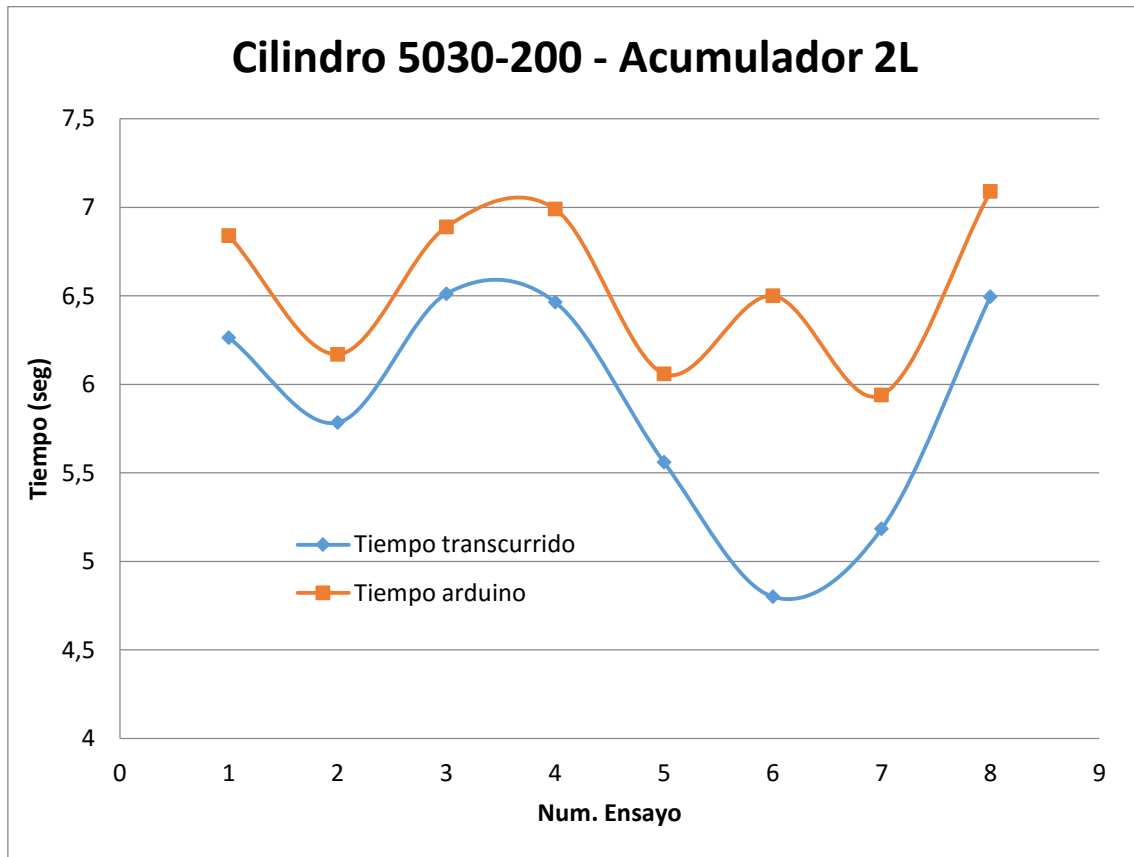


Figura 52. Cilindro 5030-200 - Acumulador 2 litros.

Operando con ellos, en la tabla 20 se muestran la media y desviación:

Tabla 20. Resultados de cilindro 5030-200 con acumulador de 2 litros.

Cámara	Arduino
Media (Seg)	Media (Seg)
5,883	6,560
Desviación	Desviación
0,551	0,392

8.3.1.2 *Acumulador 3 litros*

Procediendo de manera similar se obtiene la siguiente tabla y gráfica:

Tabla 21. Cilindros 5030-200 con acumulador de 3 litros.

Número de ensayo	Fotograma inicio	Fotograma final	Número de fotogramas	Tiempo transcurrido (seg)	Tiempo Arduino (seg)
1	-535	-256	279	1,116	1,630
2	-664	-324	340	1,360	1,840
3	-625	-350	275	1,100	1,620
4	-459	-185	274	1,096	1,620
5	-390	-118	272	1,088	1,690
6	-475	-201	274	1,096	1,70
7	-364	-99	265	1,060	1,540
8	-320	-53	267	1,068	1,580

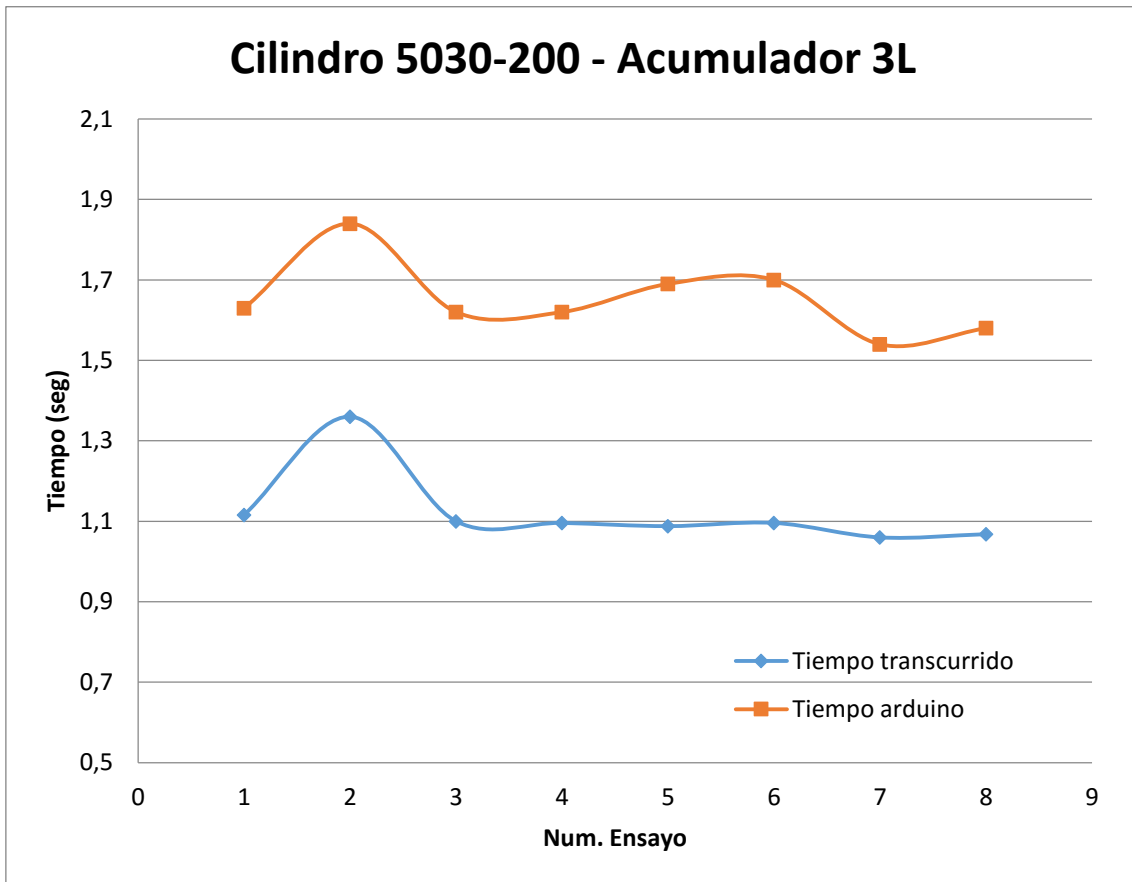


Figura 53. Cilindro 5030-200 - Acumulador 3 litros.

Tabla 22. Resultados de cilindro 5030-200 con acumulador de 3 litros.

Cámara	Arduino
Media (Seg)	Media (Seg)
1,123	1,652
Desviación	Desviación
0,059	0,068

8.3.1.3 Acumulador 4 litros

Procediendo como con el primer montaje se obtienen los siguientes datos:

Tabla 23. Cilindros 5030-200 con acumulador de 4 litros.

Número de ensayo	Fotograma inicio	Fotograma final	Número de fotogramas	Tiempo transcurrido (seg)	Tiempo Arduino (seg)
1	-535	-256	279	1,116	1,630
2	-664	-324	340	1,360	1,840
3	-625	-350	275	1,100	1,620
4	-459	-185	274	1,096	1,620
5	-390	-118	272	1,088	1,690
6	-475	-201	274	1,096	1,70
7	-364	-99	265	1,060	1,540
8	-320	-53	267	1,068	1,580

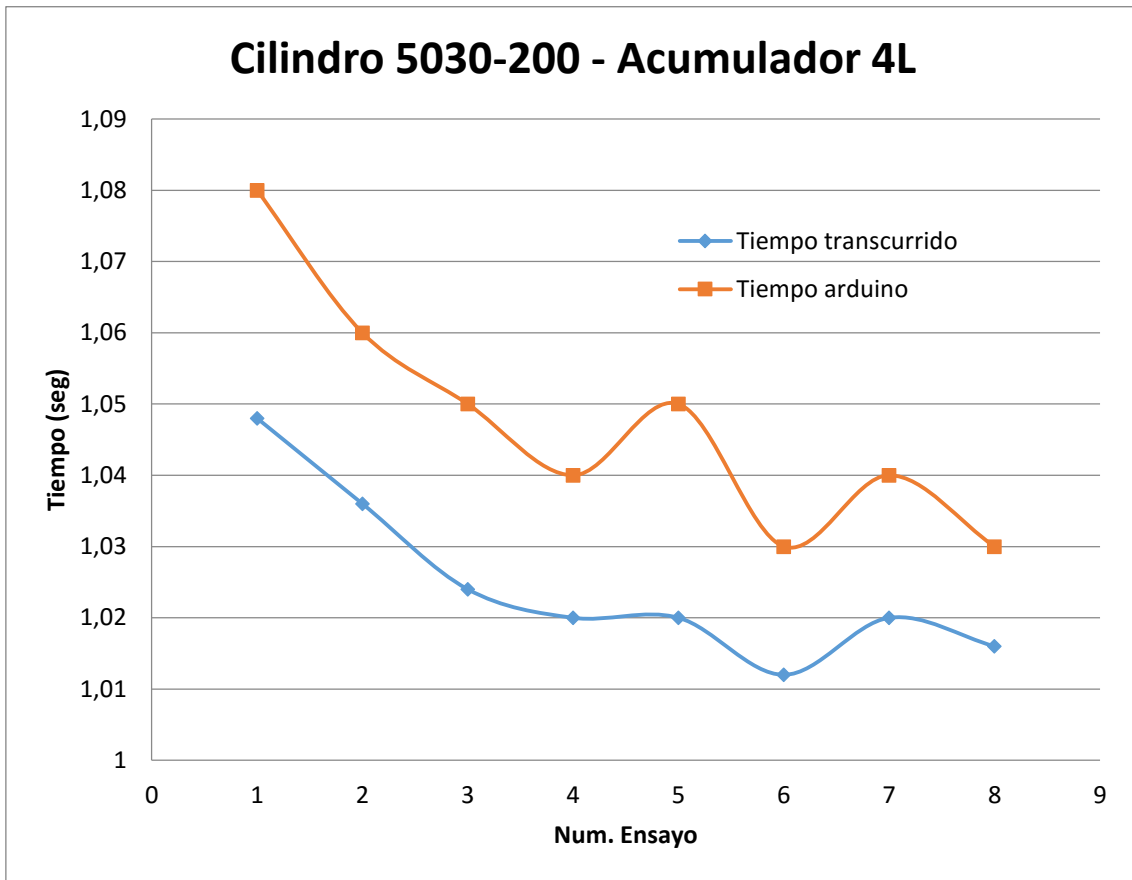


Figura 54. Cilindro 5030-200 - Acumulador 4 litros.

Tabla 24. Resultados de cilindro 5030-200 con acumulador de 4 litros.

Cámara	Arduino
Media (Seg)	Media (Seg)
1,024	1,047
Desviación	Desviación
0,009	0,012

Resumen

En este apartado se ha procedido a la presentación de los datos obtenidos anteriormente comparándolos entre sí para tener una idea más clara de la influencia de todos los elementos intervinientes en el ensayo. Para estos cálculos se han tomado los datos obtenidos por los finales de carrera instalados ya que registran el tiempo total desde el vuelco hasta el despliegue completo.

En la Tabla 25 se observan los tiempos de despliegue con los diferentes acumuladores empleados en cada ensayo. La media en este caso ha sido calculada excluyendo los valores máximo y mínimo obtenidos para evitar al máximo el ruido o posibles fallos.

Tabla 25. Resumen cilindros 5030-200.

Número de ensayo	Acumuladores de...		
	2 litros (seg)	3 litros (seg)	4 litros (seg)
1	6,264	1,116	1,048
2	5,784	1,360	1,036
3	6,512	1,100	1,024
4	6,464	1,096	1,020
5	5,560	1,088	1,020
6	4,800	1,096	1,012
7	5,184	1,060	1,020
8	6,496	1,068	1,016
Media	5,959	1,094	1,023
Varianza	0,433	0,009	0,0001
Desviación	0,658	0,097	0,012

Los datos que se han obtenido presentan en el caso del acumulador de 2 litros una variabilidad más alta, pudiendo encontrar una disparidad de más de 1 segundo entre el mayor y el menor. Esto es debido a la ineficacia del acumulador de 2 litros para este tipo de cilindros. El resto presenta un buen agrupamiento de datos, siendo mejor el resultado cuanto mayor ha sido el volumen del acumulador.

En la siguiente gráfica se pueden observar los resultados de manera comparada:

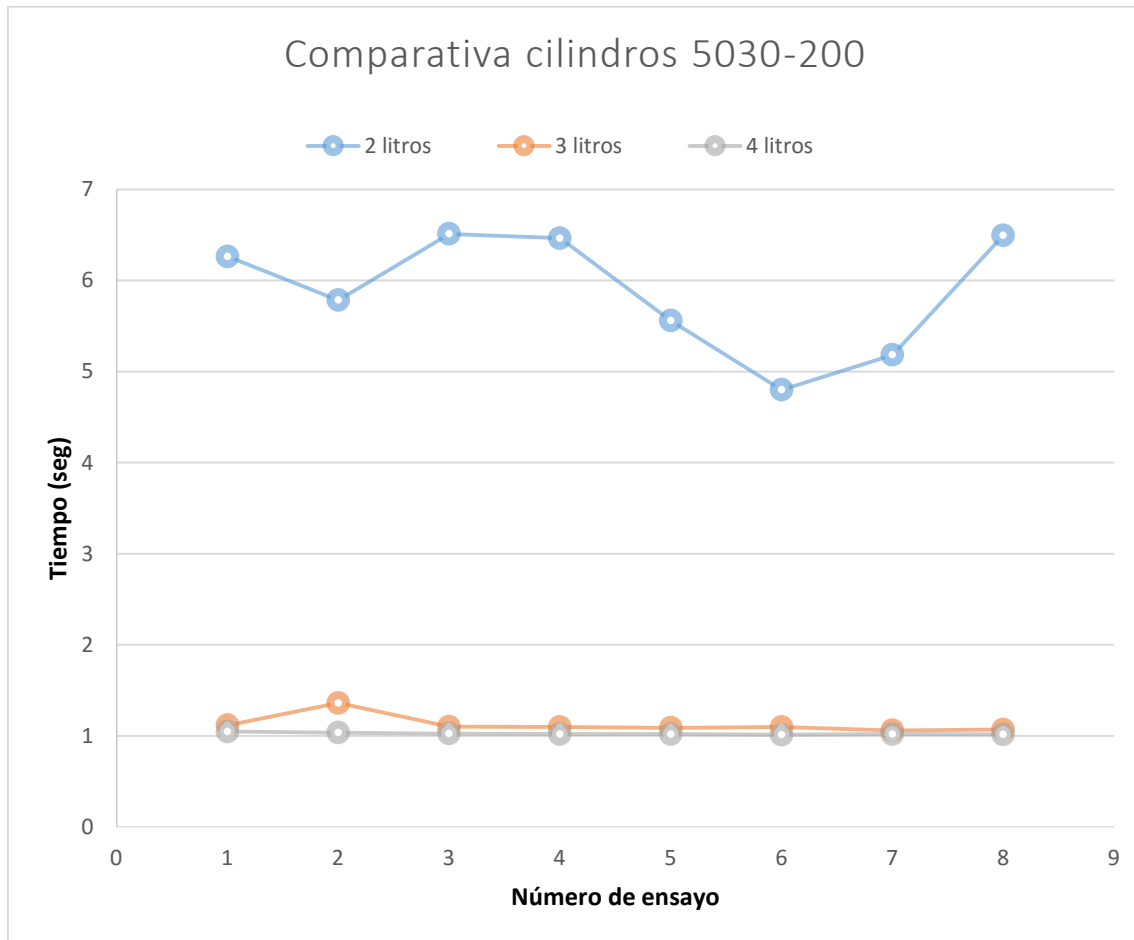


Figura 55. Comparativa cilindros 5030-200.

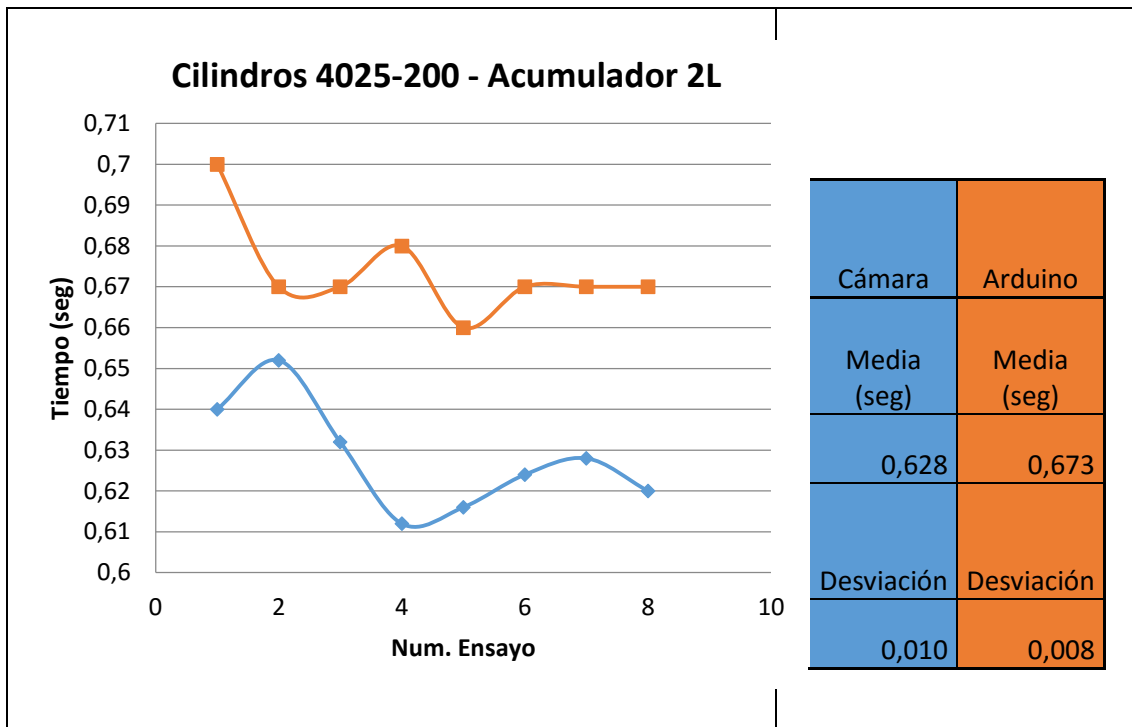
Se observa que en este caso para el acumulador de 2 litros, como se ha comentado anteriormente, la capacidad es altamente insuficiente para completar el despliegue por sí solo, de manera que tiene que efectuarse con el caudal aportado por la bomba solamente haciendo que esta elevación sea muy lenta.

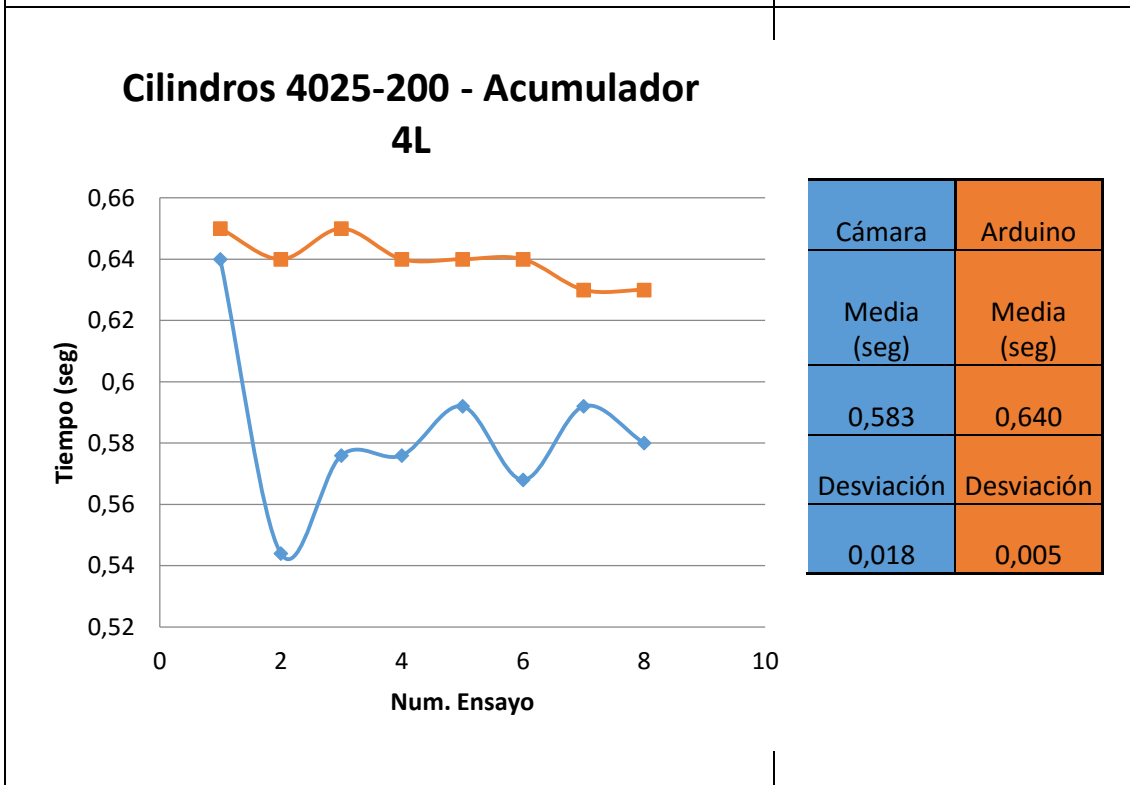
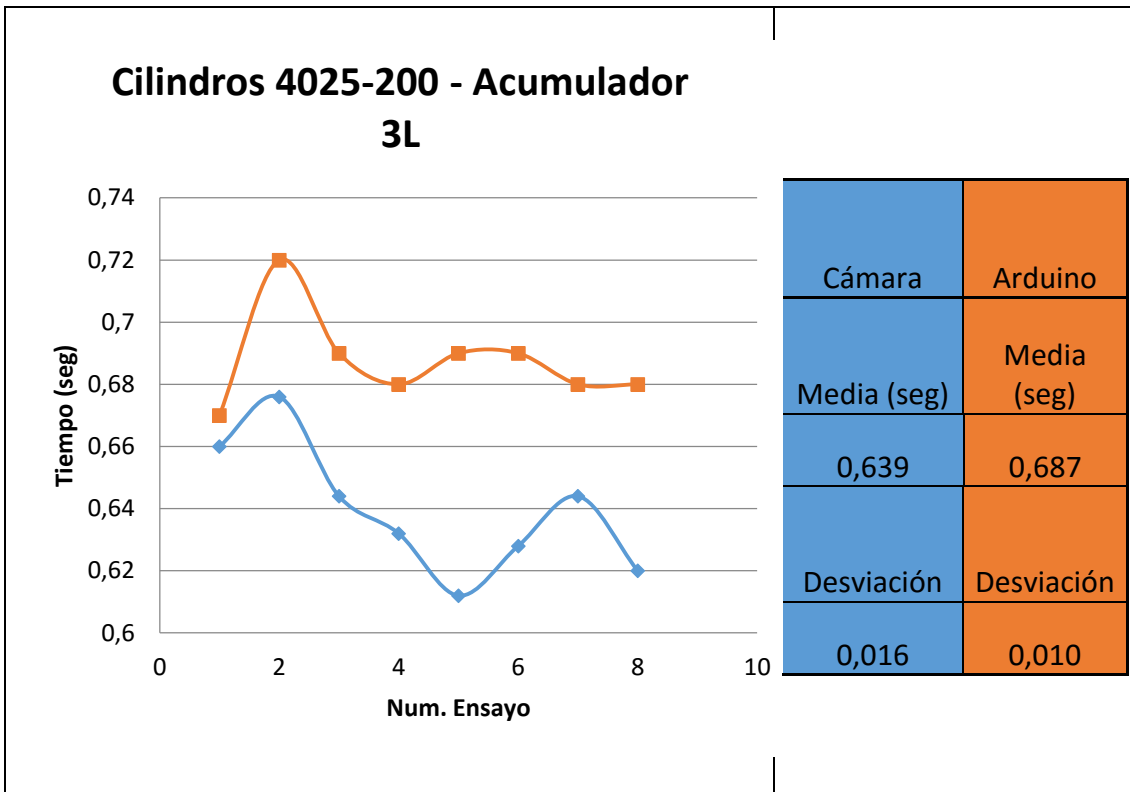
Se obtiene una reducción en tiempo de un 6,5% al instalar el acumulador de 4 litros respecto del de 3 litros.

8.3.2 Cilindros 4025-200

Haciendo ahora el montaje con los cilindros de 4025-200 y procediendo de manera similar a la anterior se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Tabla resumen cilindros 4025-200.





Resumen

Al igual que en el montaje anterior en la Tabla 27 se muestran tiempos obtenidos con los finales de carrera y las medias eliminando los máximos y mínimos.

Tabla 27. Resumen cilindros 4025-200.

Número de ensayo	Acumuladores de...		
	2 litros (seg)	3 litros (seg)	4 litros (seg)
1	0,640	0,660	0,640
2	0,652	0,676	0,544
3	0,632	0,644	0,576
4	0,612	0,632	0,576
5	0,616	0,612	0,592
6	0,624	0,628	0,568
7	0,628	0,644	0,592
8	0,620	0,620	0,580
Media	0,627	0,638	0,581
Varianza	0,0002	0,0004	0,0008
Desviación	0,013	0,021	0,027

Y la gráfica obtenida es la siguiente:

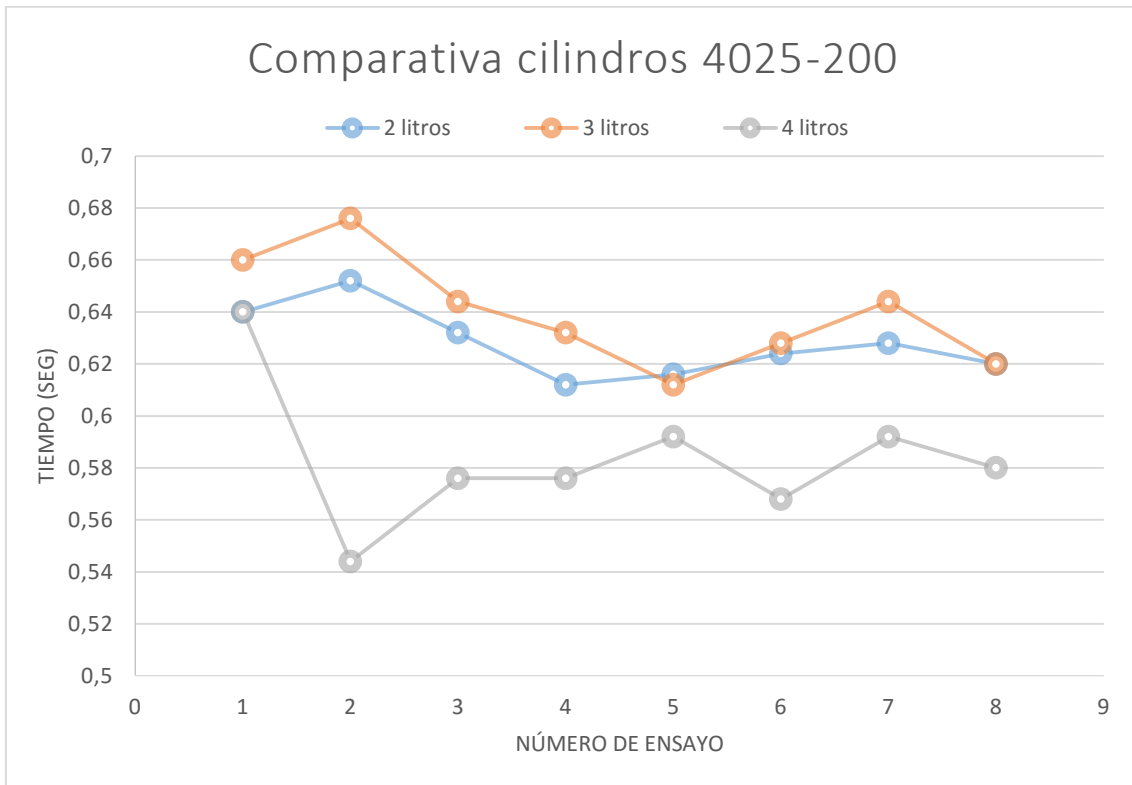


Figura 56: Comparativa cilindros 4025-200.

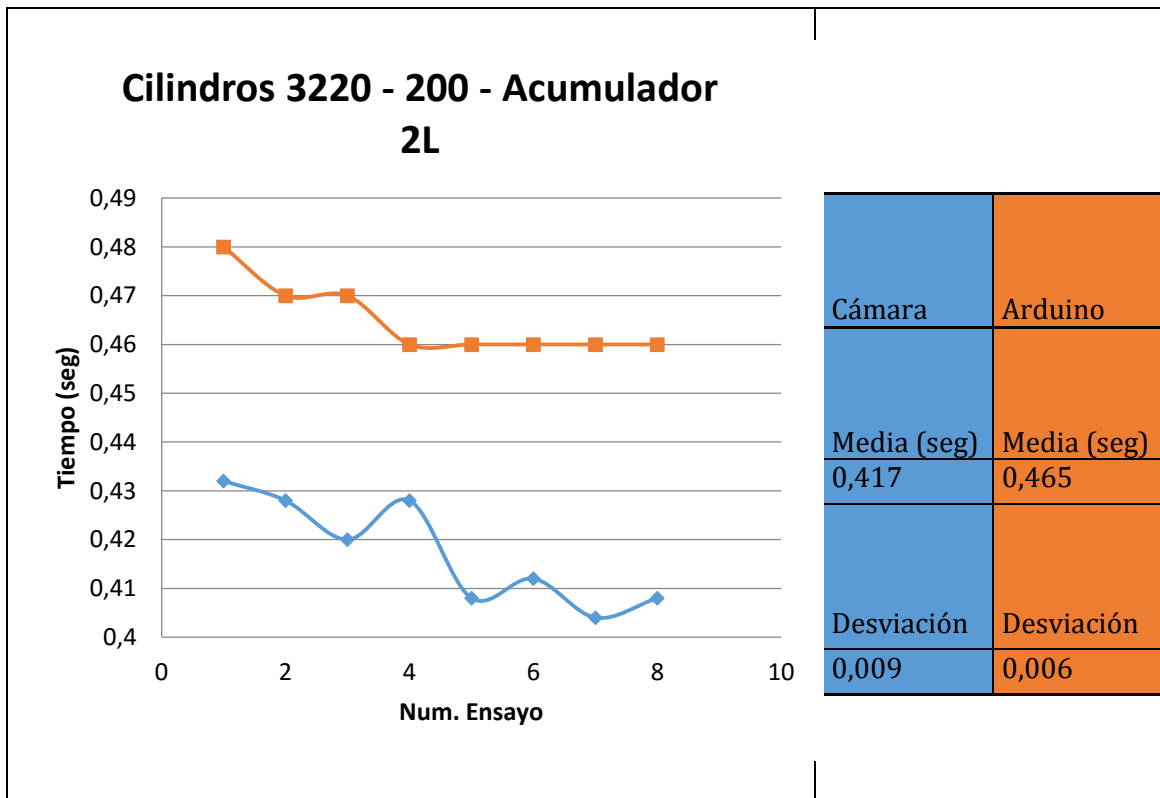
En este caso se observa un comportamiento muy similar entre todos los montajes realizados, apreciando una reducción de tiempo de aproximadamente un 8% en el montaje con acumulador de 4 litros al resto.

Los datos obtenidos presentan una dispersión muy baja. En el caso del primer ensayo con el acumulador de 4 litros se observa un claro dato atípico.

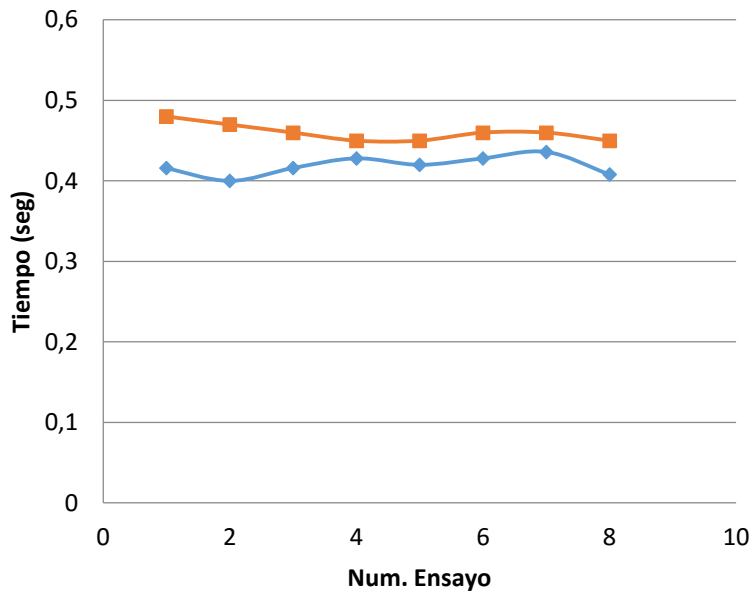
8.3.3 Cilindros 3220-200

Haciendo ahora el montaje con los cilindros de 3220-200 y procediendo de manera similar a la anterior se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28. Tabla resumen cilindros 3220-200.

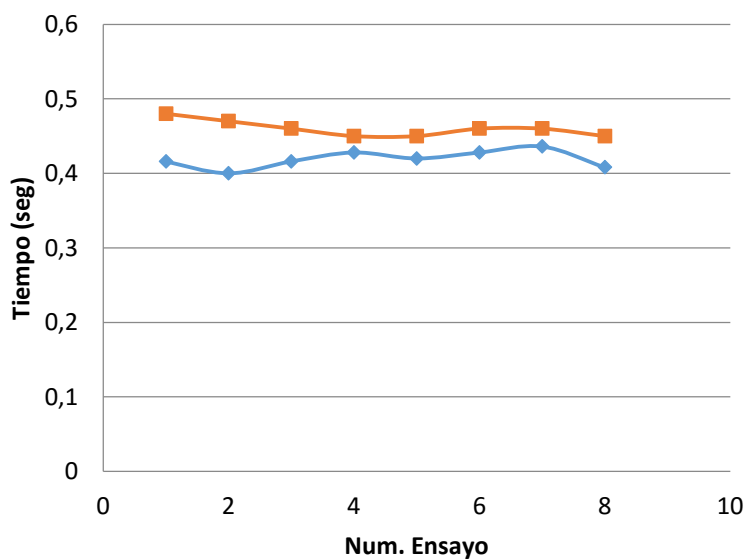


Cilindros 3220 - 200 - Acumulador 3L



Cámara	Arduino
Media (seg)	Media (seg)
0,419	0,460
Desviación	Desviación
0,009	0,007

Cilindros 3220 - 200 - Acumulador 4L



Cámara	Arduino
Media (seg)	Media (seg)
0,371	0,427
Desviación	Desviación
0,011	0,005

Resumen

Procediendo de manera similar a la mostrada anteriormente se muestran los resultados obtenidos en la Tabla 29.

Tabla 29. Resumen cilindros 3220-200.

Número de ensayo	Acumuladores de...		
	2 litros (seg)	3 litros (seg)	4 litros (seg)
1	0,432	0,416	0,368
2	0,428	0,400	0,380
3	0,420	0,416	0,372
4	0,428	0,428	0,396
5	0,408	0,420	0,376
6	0,412	0,428	0,376
7	0,404	0,436	0,340
8	0,408	0,408	0,36
Media	0,417	0,419	0,372
Varianza	0,0001	0,0001	0,0003
Desviación	0,011	0,012	0,016

Y la gráfica obtenida en este caso:

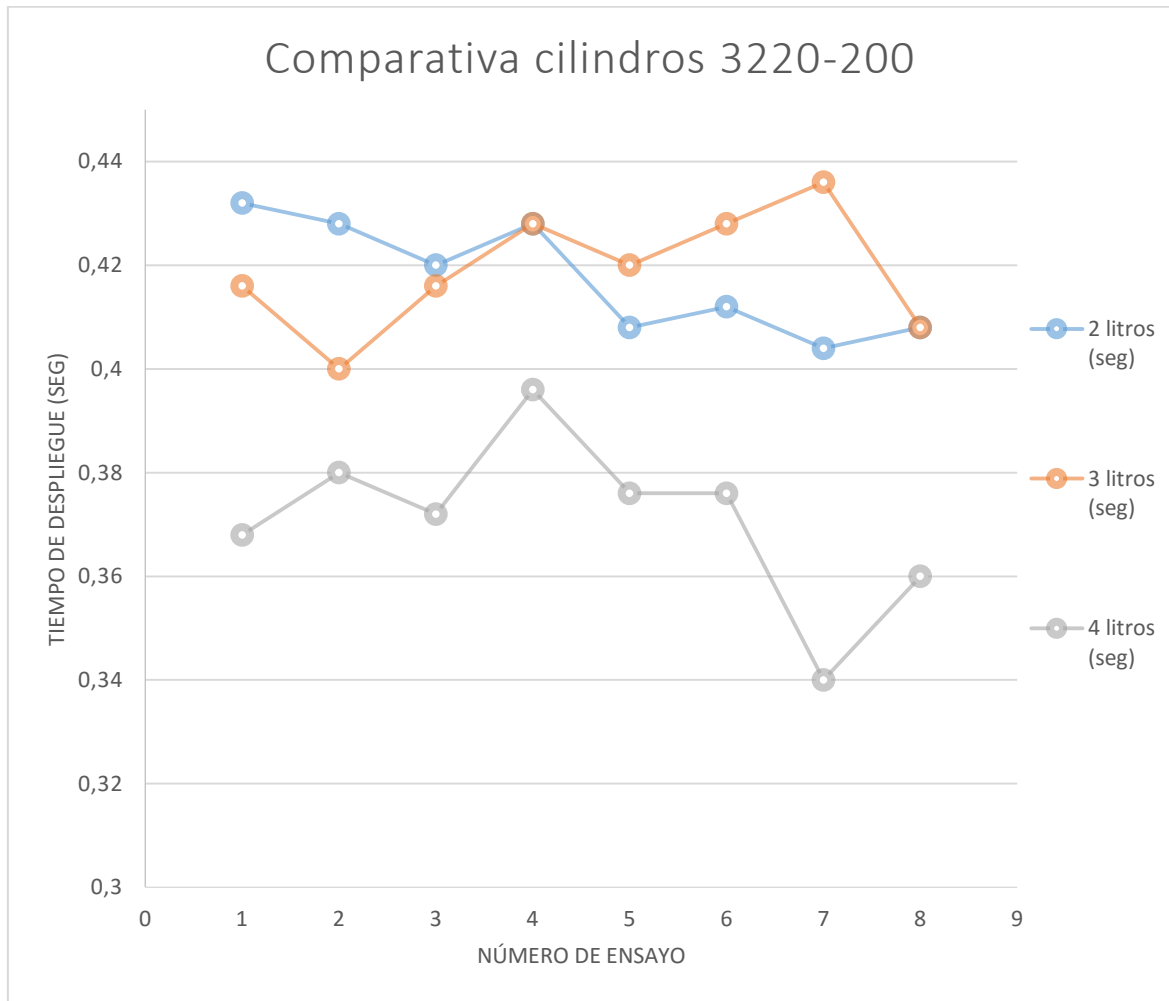


Figura 57. Comparativa cilindros 3220-200.

En este caso se observa que al igual que en los anteriores, se obtiene una alta similitud entre los acumuladores de 2 y 3 litros, y se consigue una reducción en tiempo de entorno al 11% al instalar el acumulador de 4 litros.

Al igual que en el caso anterior la variabilidad de los datos obtenidos en este caso es baja encontrando diferencias siempre por debajo de las 16 milésimas de segundo.

8.4 Ensayo con un solo cilindro y acumulador de 4 litros

Con el fin de disminuir al máximo el tiempo de despliegue, se programó un ensayo empleando el acumulador que se ha demostrado anteriormente como el más efectivo, que es el de 4 litros, ya que en todos los ensayos se ha podido comprobar que la velocidad de despliegue con él es superior.

Se ha comprobado cómo se comporta el sistema ante la instalación de un solo cilindro hidráulico para el levantamiento.

Se sabe que en el disparo los elementos de unión de la estructura sufrirán más pero como se ha comentado anteriormente, el circuito está preparado para discernir entre el levantamiento del arco de seguridad a voluntad del usuario y por causa accidental. Esta última sería la que haría sufrir la estructura; sería una situación puntual y excepcional para asegurar la seguridad del usuario.

8.4.1 Datos obtenidos

En las gráficas siguientes se pueden ver los resultados obtenidos en los tres tipos de montajes realizados:

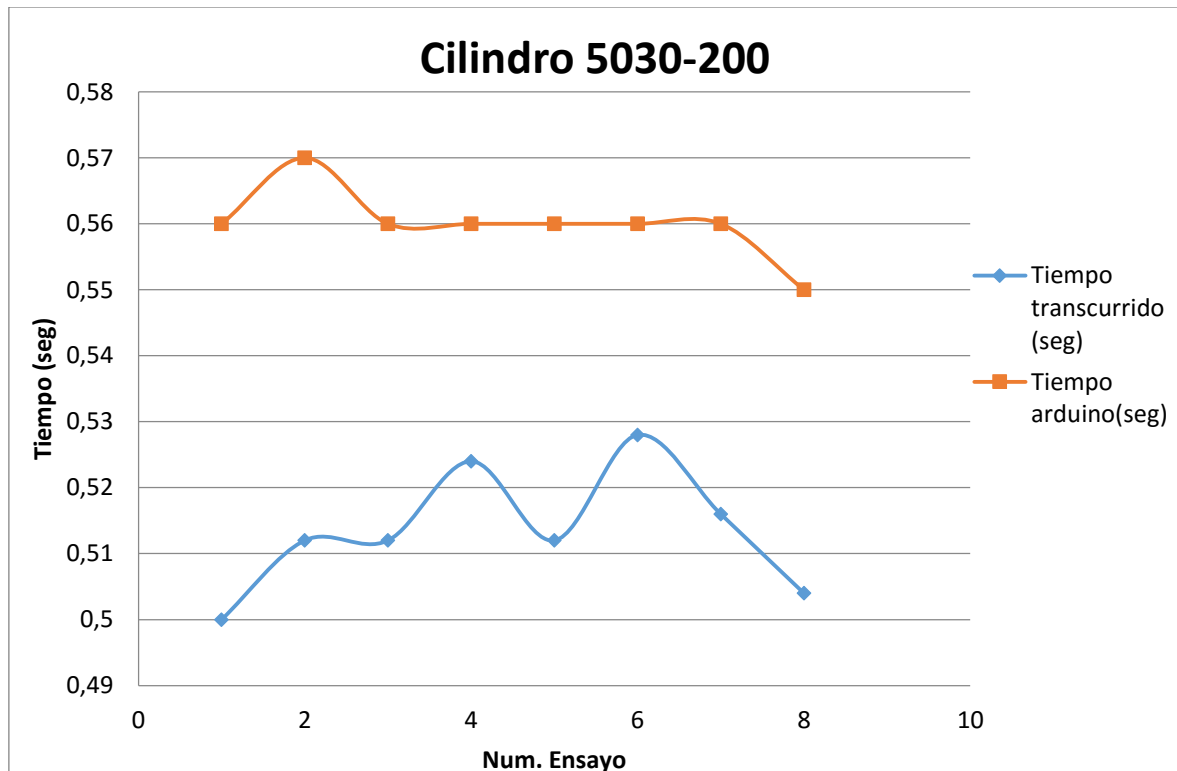


Figura 58. Cilindro 5030-200 - Acumulador 4L.

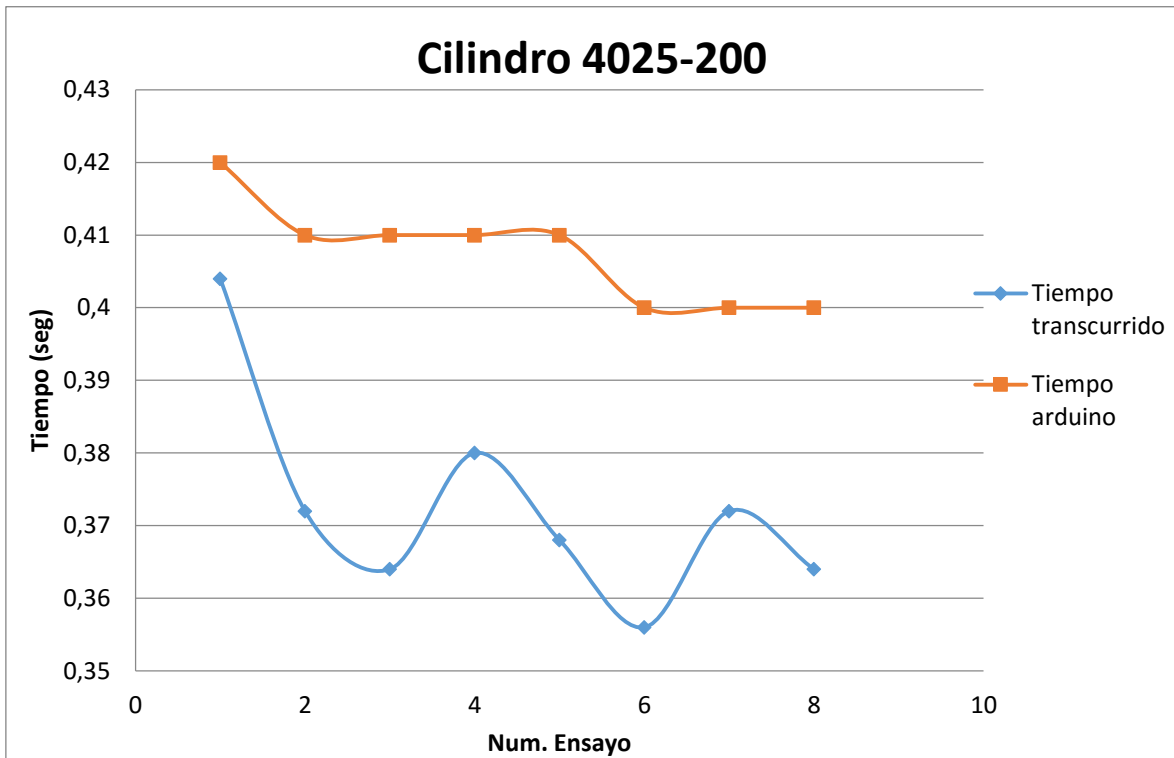


Figura 59. Cilindro 4025-200 - Acumulador 4L.

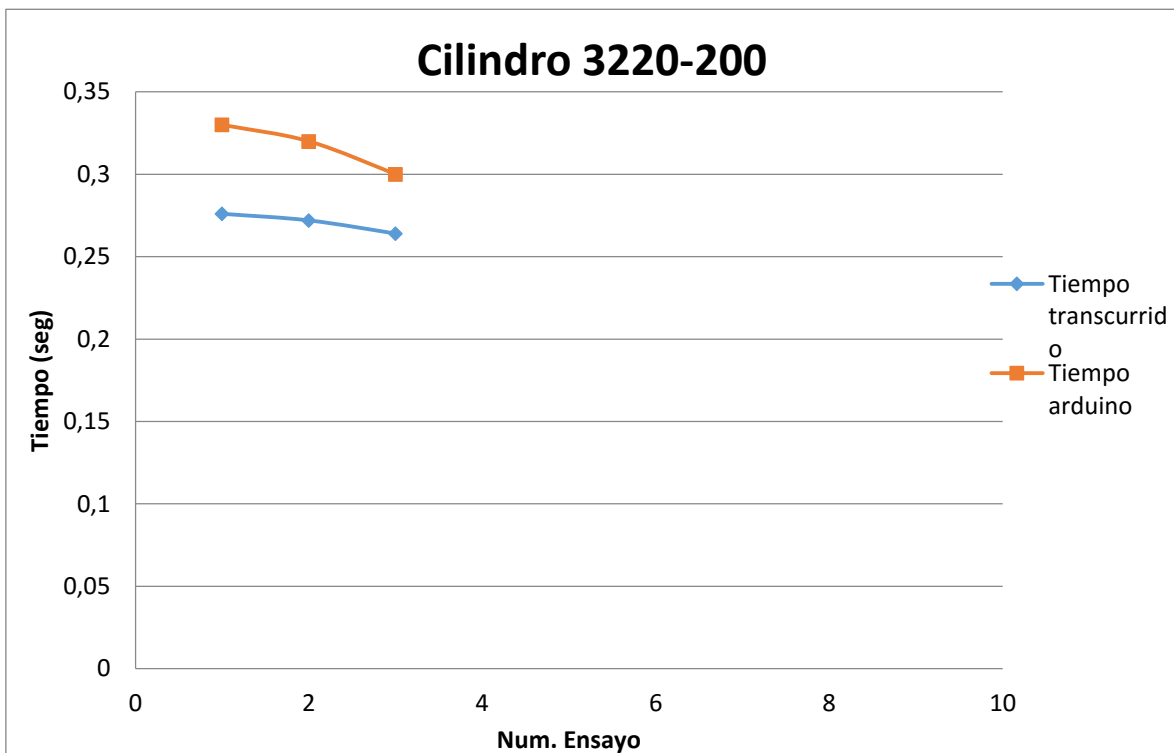


Figura 60. Cilindro 3220-200 - Acumulador 4L.

En la Tabla 30 se pueden ver los resultados obtenidos y la media obtenida en cada uno de los ensayos, calculada eliminando el máximo y mínimo obtenido.

Tabla 30. Resultados con un cilindro y acumulador de 4 litros.

Número de ensayo	Cilindro 3220 (seg)	Cilindro 4025 (seg)	Cilindro 5030 (seg)
1	0,330	0,420	0,560
2	0,320	0,410	0,570
3	0,300	0,410	0,560
4		0,410	0,560
5		0,410	0,560
6		0,400	0,560
7		0,400	0,560
8		0,400	0,550
Media	0,320	0,407	0,560
Varianza	0,0002	0,00005	0,00003
Desviación	0,015	0,007	0,005

Hay que destacar que para este ensayo se han realizado solamente tres test sobre el montaje con el cilindro más pequeño (3220-200) por las limitaciones de seguridad que se han detectado al realizarlos. Temiendo por la integridad del banco de ensayos se ha decidido abortar la repetición de este ensayo más veces.

Como se puede comprobar la dispersión de los datos es baja.

8.4.2 Comparativa de resultados

Ahora se han comparado los resultados que se han obtenido en este último ensayo con los resultados análogos con dos cilindros obtenidos en el ensayo anterior. En la siguiente tabla (tabla 31) y gráfica (figura 61) se pueden ver por parejas los datos obtenidos en ambos ensayos.

Tabla 31. Comparativa entre 1 (x 1) y 2 (x 2) cilindros.

Número de ensayo	3220 x 1 (seg)	3220 x 2 (seg)	4025 x 1 (seg)	4025 x 2 (seg)	5030 x 1(seg)	5030 x 2 (seg)
1	0,33	0,368	0,42	0,64	0,56	1,048
2	0,32	0,38	0,41	0,544	0,57	1,036
3	0,3	0,372	0,41	0,576	0,56	1,024
4		0,396	0,41	0,576	0,56	1,02
5		0,376	0,41	0,592	0,56	1,02
6		0,376	0,4	0,568	0,56	1,012
7		0,34	0,4	0,592	0,56	1,02
8		0,36	0,4	0,58	0,55	1,016
Media	0,320	0,372	0,407	0,581	0,560	1,023
Varianza	0,00023	0,00026	0,00005	0,00075	0,00003	0,00014
Desviación	0,015	0,016	0,007	0,027	0,005	0,012

En esta comparativa se ve que en todos los casos se reduce el tiempo de despliegue al pasar de dos a un cilindro. En el caso de los cilindros 5030-200 se observa que la reducción de tiempo es de un 45,25%, lo cual es muy significativo, ya que pasa de ser un montaje no válido por emplear un tiempo muy alto a ser un montaje a considerar.

En el caso de los cilindros 4025-200 se observa que la reducción es menor pero bastante alta, siendo esta de un 29,96%, y acercándose mucho al tiempo de despliegue del montaje más rápido con dos cilindros.

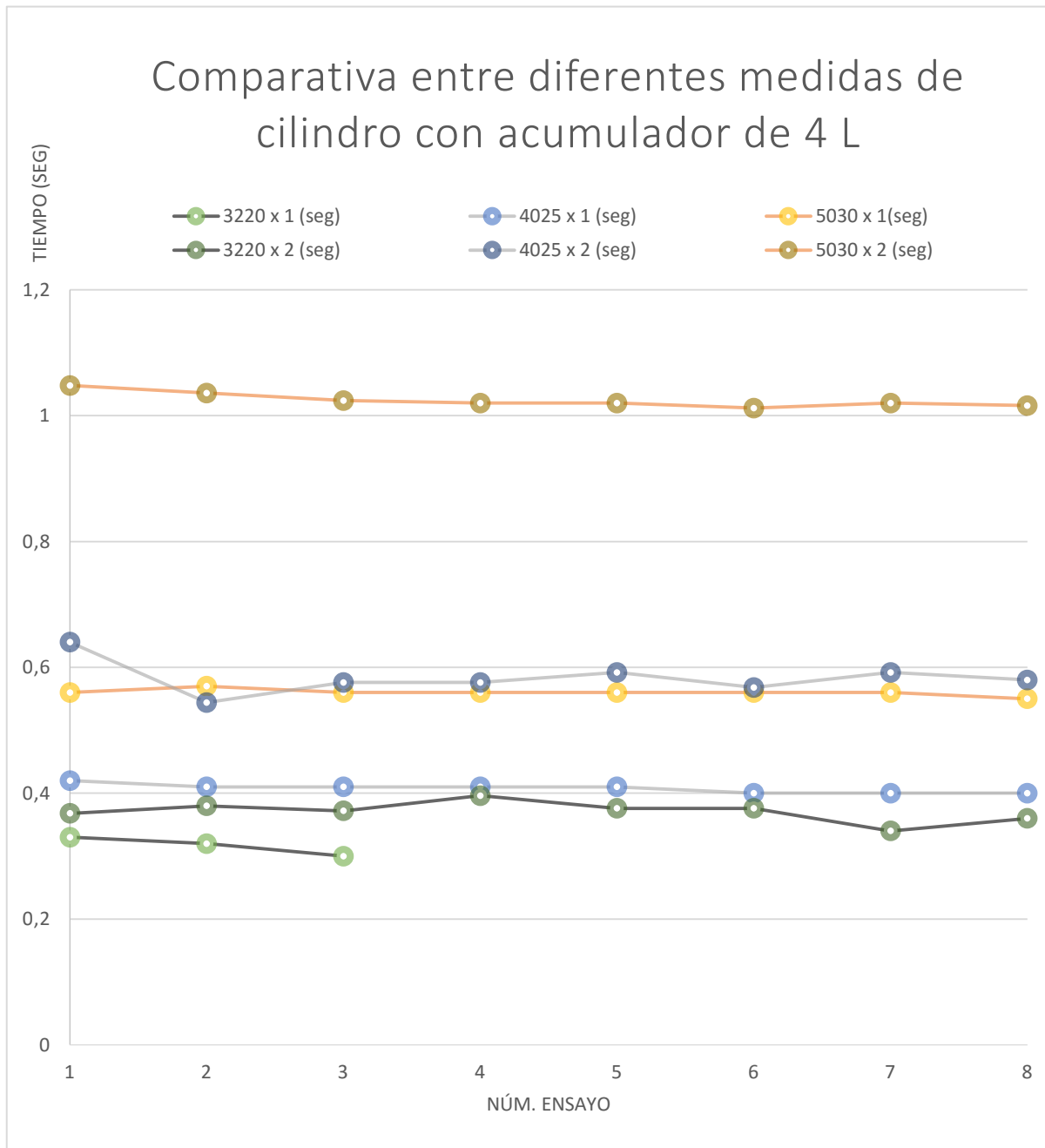


Figura 61: Comparativa entre 1 (x 1) y 2 (x 2) cilindros.

El que ofrece una reducción menor en tiempo en este ensayo sería el montaje de los cilindros 3220-200 con los que reduciendo de 2 a 1 cilindro se obtiene una reducción de un 14%, aunque solamente se han realizado 3 ensayos sobre esta disposición. Esta reducción es menor ya que en este caso entran en juego limitaciones mecánicas de los fluidos y mecanismos del sistema instalado, por lo que

se puede ver que si se sigue bajando la capacidad de los cilindros para conseguir un despliegue más rápido la reducción no sería tan drástica como hasta ahora.

Lo más significativo de este ensayo es que muestra un valor de 0.3 segundos, lo que implica un horizonte muy interesante en el caso de que las demandas de seguridad lo exigieran.

Como se observa en la gráfica y viendo los datos de varianza y desviación típica obtenidos de todos los ensayos se ve que hay dispersión muy baja por lo que se puede decir que el proceso es muy estable y presenta una alta repetitividad.

9 Comparación de resultados

En este apartado se sintetiza toda la información que se ha obtenido en los diferentes métodos de ensayo sobre el comportamiento del circuito hidráulico y a establecer una relación entre ellos.

A continuación en la Tabla 32 se pueden observar los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos con los diferentes métodos.

Tabla 32. Comparativa de resultados entre simulación y banco de ensayos.

Acumulador	Cilindro	Tiempo simulación (seg)	Tiempo banco de ensayos (seg)	Diferencia	
				Sim - Real	
				%	Promedio
2 Litros	C3220-200	0,568	0,417	36,10	
	C4025-200	0,899	0,627	43,46	
	C5030-200	1,544	5,959	---	39,78
3 Litros	C3220-200	0,542	0,419	29,25	
	C4025-200	0,841	0,638	31,82	
	C5030-200	1,48	1,094	35,28	32,12
4 Litros	C3220-200	0,558	0,372	50,00	
	C4025-200	0,846	0,581	45,69	
	C5030-200	1,458	1,023	42,57	46,09

Analizando los datos se observa que existe una correlación entre ambos métodos de análisis pero a su vez existe una importante diferencia entre los dos resultados que va desde un 30 a un 50% superior entre los datos simulados y los reales.

Tabla 33. Corrección de resultados.

Acumulador	Corrección
2 litros	40%
3 litros	32%
4 litros	46%

Con estos resultados se establece para cada tipo de acumulador un porcentaje de error estimado cuando se simula con el software introduciendo una corrección como se observa en la tabla 33.

De esta manera no será necesario simular en banco de pruebas cada nueva pieza ya que se puede simular y corregir el resultado obtenido utilizando los valores anteriormente mencionados.

De la misma forma también se ha encontrado una relación entre los resultados teóricos según el tipo y la disposición de circuito empleado y los resultados obtenidos de la simulación.

Tabla 34. Comparativa de resultados entre cálculo teórico y simulación.

Acumulador	Cilindro	Tiempo teórico (seg)	Tiempo simulación (seg)	Diferencia Th - Sim	
				%	Promedio
2 Litros	C3220-200	0,525	0,568	8,29	
	C4025-200	0,820	0,899	9,69	
	C5030-200	1,264	1,544	22,15	8,99
3 Litros	C3220-200	0,525	0,542	3,33	
	C4025-200	0,820	0,841	2,62	
	C5030-200	1,264	1,48	17,08	7,68
4 Litros	C3220-200	0,525	0,558	6,39	
	C4025-200	0,820	0,846	3,23	
	C5030-200	1,264	1,458	15,34	8,32

En este caso la interpretación que se puede hacer se focaliza por tipología de cilindro empleado y no como en el caso anterior que se hacía por capacidad del acumulador hidráulico empleado en el ensayo.

Si se observan los datos se puede ver que la similitud de resultado para cilindros de poco volumen es muy alta, estando siempre por debajo del 10% de error. Para cilindros de mayor volumen como puede ser el cilindro C5030-200 de 392.7cm³ (x2 unidades) el error es demasiado alto, superando siempre el 15%.

De esta manera se puede establecer que para volúmenes de trabajo hasta los 250cm³ (x2 unidades) se puede simular el tiempo de despliegue directamente, con la certeza de que se obtendrá un error muy bajo (siempre menor al 9%).

10 Conclusión

Las conclusiones del TFG son las siguientes:

- Se ha establecido una relación entre el banco de ensayos y la simulación con software Fluidsim® que se puede ver en la tabla 33, de manera que multiplicando por este coeficiente los tiempos obtenidos en la simulación se obtiene el resultado real.
- Se ha establecido una relación directa entre el cálculo teórico y la simulación asumiendo siempre un error menor al 9% para simulaciones de hasta 250cm³ (volumen de cilindro).
- Junto a estas conclusiones se puede afirmar que se consigue un ahorro económico sustancial ya que para la simulación sobre banco de ensayos siempre supondría un desembolso importante de dinero (en este caso para 3 configuraciones más de 2500€), al contrario que el software que, además de ser un único pago y después disponer de infinitas configuraciones con el mismo coste, acorta los tiempos de simulación estimando que se recortarían los tiempos entre un 60-70%
- La configuración de cilindros que mejor resultado en cuanto a tiempo de despliegue ha dado es un único cilindro 3220-200.
- El acumulador que mejor prestaciones ha dado en cuanto a tiempo de despliegue ha sido el acumulador de 4 litros.
- El conjunto que mejores prestaciones en cuanto a tiempo de despliegue ofrece es un cilindro 3220-200 con un acumulador de 4 litros.
- Se dispone de una instalación completamente funcional que puede servir para hacer cambios sustanciales en la instalación y estudiar su comportamiento o incluso usar todos los elementos empleados para hacer una instalación real.

10.1 Proyectos futuros

Como proyectos futuros que puedan partir de este se pueden enumerar los siguientes:

- Estudio de comportamiento durante la descarga de un acumulador en aplicaciones de descarga inmediata.
- Estudio para la reducción de costes y simplificación del sistema.
- Industrialización del producto.
- Homologación de un sistema universal.

BIBLIOGRAFÍA:

Gil J. 1998. Elementos hidráulicos en los tractores y máquinas agrícolas.

John Deere. 1974. Seguridad en la maquinaria agrícola. Manuales FMO.

INSL. Manual de prevención de riesgos laborales en el sector agrario. Instituto Navarro de Seguridad Laboral.

CARM. Resumen estadístico mensual de Siniestralidad Laboral (RESL) del Instituto de Seguridad y Salud Laboral de la Región de Murcia.

Manual de software Fluidsim.

Anexo I: Martín Górriz B., Ibarra Berrocal I., Mínguez Samper A., Morente Sánchez A. 2012. Accidentes por vuelco de tractor de la Región de Murcia: propuestas para su reducción. Formación de Seguridad Laboral, 123, 70-71.

Anexo II: Ibarra Berrocal, I., Martín Górriz, B., Ojados González, D., Miguel Hernández, B., Caro García, F., Morales Sánchez, P., Morente Sánchez, A., 2015. Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas. ES2452489.

Anexo III: Martín-Górriz B., Ojados González D., Ibarra Berrocal I., Miguel Hernández B., Caro García F., Morales Sánchez P. 2014. Safety device for the automatic operation of a rollover protective system for tractors. XX World Congress on Safety Health at Work. Frankfurt (Germany).

Anexo I

Publicación en revista FSL: Accidentes por vuelco de tractor en la Región de Murcia:
Propuestas para su reducción.

Accidentes por vuelco de tractor de la Región de Murcia: propuestas para su reducción

Bernardo Martín Górriz¹, Isidro Ibarra Berrocal¹, Agustín Mínguez Samper² y Antonio Morente Sánchez²

¹Universidad Politécnica de Cartagena

²Instituto de Seguridad y Salud Laboral de la Región de Murcia

En el sector agrario existe, según las cifras oficiales, un número muy importante de accidentes por golpes, caídas a distinto y mismo nivel, proyección de objetos, sobreesfuerzos, cortes, atrapamiento en órganos móviles y resbalones, así como exposición a agentes físicos como ruido y vibraciones, pero el atrapamiento por vuelco del tractor es, sin duda, uno de los más importantes por la gravedad de las lesiones que, en un elevado porcentaje, son causa del fallecimiento del conductor.

En el caso concreto de los accidentes por vuelco de tractor las cifras oficiales no recogen una gran parte de los ocurridos por no reunir estos los requisitos necesarios para ser considerados como accidente de trabajo y, por tanto, generar el correspondiente parte. Esto último es debido a que se trata de personas ya jubiladas, trabajadores de otros sectores que trabajan sus propias parcelas de tierra e, incluso, personas que en el momento del accidente no se encontraban dadas de alta en la seguridad social.

Información destacada

Desde el año 2005 el Instituto de Seguridad y Salud Laboral de la Región de Murcia viene desarrollando un proyecto de registro y análisis de este tipo de accidentes en el sector agrario para conocer el número real de accidentes por vuelco de tractor que se producen en la Región y sus causas. A través del Centro de Coordinación de Emergencias se reciben las comunicaciones de los accidentes, independientemente de que posteriormente



sean considerados de trabajo o no, lo que permite disponer de información precisa de lo sucedido en cada caso. Hasta marzo del presente año se llevan registrados un total de 44 por vuelco de tractor; de los que cabe destacar lo siguiente:

Es notoria la gravedad de las lesiones producidas en este tipo de accidentes, dado que en el 65,9 % de los casos estas han provocado la muerte del conductor del tractor.

Se pone de manifiesto una excesiva antigüedad de los vehículos siniestrados, ya que en un 54,5% de los casos la edad del vehículo era superior a veinte años, encontrándose en este grupo tractores con más de treinta años de antigüedad (Fig. 1).

La ausencia de estructuras de protección, o la anulación de estas cuando se disponía de ellas –arcos abatidos–, aun no siendo esta última circunstancia una exigencia debida al tipo de cultivo en el que desarrollaba el trabajo, se presenta como un factor de riesgo decisivo a la hora de limitar el vuelco del tractor. El hecho de mantener los arcos de seguridad abatidos puede tener su origen en la incomodidad que supone el tener que levantar y bajar el arco repetidas veces en función del tipo de terreno y cultivo, como puede ser el caso de cultivos de arbolado o parral en terrazas, donde no es posible trabajar con el arco levantado ya que se dañaría el arbolado o la fruta, que exigen salir a un camino de fuerte inclinación cada vez que se cambia de terraza. En el 68,2% de los accidentes, los tractores no disponían de estructura de protección; y del 31,8 % que si la portaban, y que, salvo en un caso en que disponían de cabina, en todos los demás era una protección tipo arco, en un 76,9 % de los casos estaba abatida (Fig. 2).



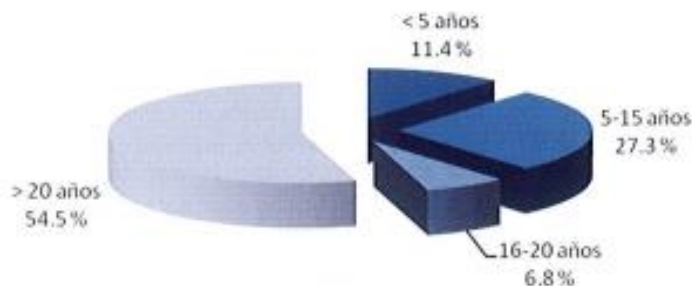


Fig. 1. Antigüedad del tractor.

Los desniveles y las pendientes, unidos a defectos en la conducción, se presentan como el principal factor de riesgo frente a otros como aceleraciones bruscas, exceso de carga en arrastre, etc. El 65,9 % de los accidentes fueron mortales y se produjeron por vuelcos del tractor de más de un cuarto de vuelta (Fig. 3).

Elevada edad de los accidentados. Un 31,8% de los accidentados superaba los 65 años, lo que puede conllevar una disminución en las condiciones físicas necesarias para llevar a cabo este tipo de tareas.

El accidentado tipo en los vuelcos analizados sería el conductor habitual. En el 72,7 % de los casos el conductor tenía una experiencia en el manejo del tractor de más cinco años, sin que esto suponga el manejo continuado del mismo.

Propuestas de mejora

Desde el grupo de trabajo 'Sector Agrario' de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, y en concreto desde cada uno de los subgrupos en que este se divide, se aportan unas propuestas de mejora que, en lo referente a los vuelcos de tractor, se centran fundamentalmente en:

Mantenimiento del "Plan Renove" para achatarramiento de tractores viejos y sustitución por otros nuevos.

Ampliación del mencionado plan para incorporar a los tractores arcos, pórticos o cabinas de seguridad en cumplimiento de lo establecido en el Real Decreto 1215/1997.

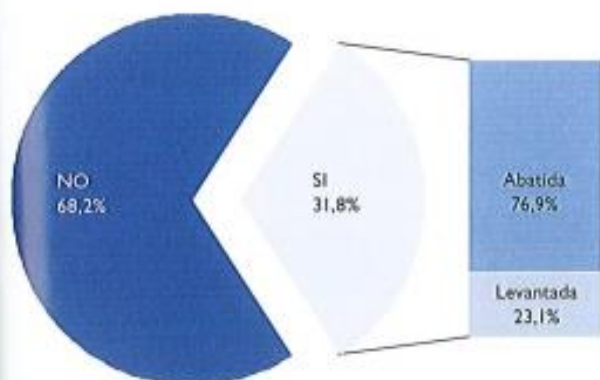


Fig. 2. Estructura de protección.

Dotar de sistemas hidráulicos a los arcos de seguridad que permitan el alzado y el abatimiento de los mismos sin necesidad de abandonar el puesto de conducción.

Dotar a los arcos de seguridad de sistemas de disparo que provoquen, sin intervención del conductor, el levantamiento del arco al superar el tractor un determinado grado de inclinación.

Realizar campañas de divulgación en el medio agrario para concienciar a los propietarios y conductores de tractores de la necesidad de disponer y de mantener operativas estas medidas de seguridad.

Soluciones concretas

Distintos centros aportan soluciones concretas. Así, para resolver el problema de los tractores antiguos, el Instituto Navarro de Salud Laboral, en colaboración con la Universidad Pública de Navarra, ha desarrollado el programa ESTREMA que permite diseñar un bastidor de cuatro postes para tractores estándar de ruedas que carezcan de estructura de protección homologada.

Desde el Instituto de Seguridad y Salud Laboral de la Región de Murcia, y en respuesta a las propuestas de mejora señaladas por el grupo de trabajo, se ha iniciado en 2012 una línea de investigación para el desarrollo de un "dispositivo de accionamiento automático del arco antivuelco en tractores". Se trata de una propuesta conjunta de los técnicos del ISSL y de la Universidad Politécnica de Cartagena para dotar a los tractores con arcos de seguridad abatibles de dispositivos automáticos de alzado del arco puesto que, como ya se ha señalado anteriormente, uno de los datos más relevantes obtenidos del análisis de los 44 casos analizados es que en los vuelcos de tractor que disponían de protección mediante arco en un 76,9% esta estaba abatido. ■

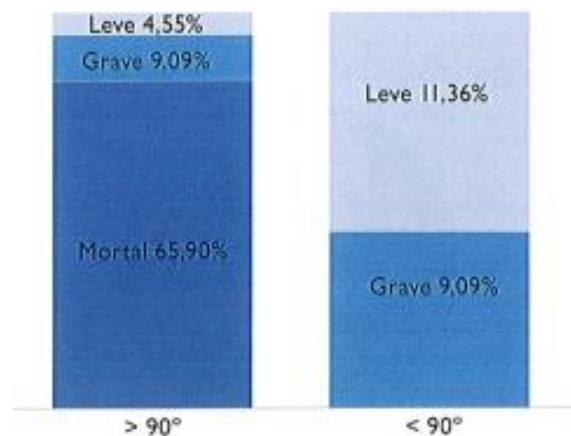


Fig. 3. Relación ángulo de vuelco-gravedad.

Anexo II

Patente de invención: Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas.



①① Número de publicación: **2 452 489**

②① Número de solicitud: 201430348

⑤① Int. Cl.:

B60R 21/13 (2006.07)

⑫ PATENTE DE INVENCION B1

②② Fecha de presentación:
13.03.2014

④③ Fecha de publicación de la solicitud:
01.04.2014

Fecha de la concesión:
06.02.2015

④⑤ Fecha de publicación de la concesión:
13.02.2015

⑦③ Titular/es:
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
(100.0%)
Edificio "La Milagrosa" Plaza Cronista Isidoro
Valverde, s/n
30202 Cartagena (Murcia) ES

⑦② Inventor/es:
IBARRA BERROCAL, Isidro Jesús;
MARTÍN GÓRRIZ, Bernardo;
MIGUEL HERNÁNDEZ, Beatriz;
OJADOS GONZÁLEZ, Dolores;
CARO GARCÍA, Francisco;
MORALES SÁNCHEZ, Pedro y
MORENTE SÁNCHEZ, Antonio

⑦④ Agente/Representante:
CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

⑤④ Título: Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas

⑤⑦ Resumen:
Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas, especialmente tractores, que comprende un arco de seguridad (1) acoplado en sus dos extremos al chasis (3) del vehículo y unos medios de accionamiento hidráulico, preferentemente un pistón hidráulico (2) en cada extremo del arco de seguridad (1), encargados de extender, mediante giro a través de al menos una articulación (4), el arco de seguridad (1) de una posición de reposo a una posición vertical. El accionamiento puede ser realizado manualmente por el conductor o de forma automática, activado por medios sensores (47) que detectan la inclinación del vehículo.



ES 2 452 489 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.



ES 2 452 489 B1

DESCRIPCIÓN

Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas

Sector de la técnica

5 La presente invención se encuadra dentro del sector de la seguridad industrial, más concretamente en el sector agrícola y los sistemas de seguridad en el mismo.

10 La invención se refiere al accionamiento automático de una estructura rígida acoplada al chasis del vehículo, de manera que su accionamiento sea compatible con las tareas propias del tractor y para cuyo despliegue en situaciones de riesgo no sea necesaria la intervención del operario sobre el sistema pero haciendo compatible este accionamiento automático con un accionamiento a voluntad por el operario.

15 El objeto de la invención es dotar al vehículo de un sistema dual de accionamiento de la estructura de protección del tractor que impida el aplastamiento del operario en situaciones de vuelco o riesgo inminente del mismo por accionamiento del propio operario o por accionamiento automático del sistema cuando detecta un cierto nivel de inclinación.

20 Antecedentes de la invención

El vuelco del tractor es un accidente que causa un gran número de heridos graves y muertes en el sector agrícola.

25 La legislación ya establece la obligatoriedad de que todos los equipos de trabajo cuenten con una estructura de protección. Sin embargo, muchos tractores antiguos no poseen ningún sistema de seguridad, ya que son anteriores a la normativa vigente. Estos tractores representan un potencial riesgo de vuelco con la consiguiente posibilidad de que la persona que lo maneja sufra un daño importante como lesiones físicas graves o incluso la muerte.

30 En algunos otros casos, los tractores si incorporan el arco de seguridad antivuelco pero éste se encuentra recogido, se debe accionar de forma manual y voluntariamente lo que genera multitud de situaciones en las que no se utiliza convenientemente. Los agricultores manifiestan la incomodidad que supone su utilización para muchas de las tareas en las que ha de intervenir el tractor, sobre todo para trabajos entre árboles frutales donde el arco golpearía contra las ramas ocasionando daños en la explotación. Estos arcos antivuelco son



ES 2 452 489 B1

5 sistemas que se accionan manualmente por el propio trabajador, que decide entre levantar y bajar el arco cuando estima que el terreno por el que transita es peligroso. Es muy común que el conductor de un tractor mantenga el arco de seguridad abatido por comodidad, falta de concienciación, etc., quedando de este modo desprotegido frente al vuelco.

10 Se puede citar la patente US7438319-B2 en la que se describe una estructura a modo de arco de seguridad anclado en la parte posterior del asiento del operario. El sistema consta de una estructura a modo de marco articulado en sus laterales, montado sobre un soporte fijo que integra el tractor, de manera que este es abatible y desplegable.

El mayor problema que presenta esta estructura es que no dispone de un despliegue automático y su despliegue manual en ocasiones resulta complejo.

15 Igualmente se cita la patente US7001134-B2, con características similares a las anteriormente referidas, prevista la estructura para su aplicación preferentemente en vehículos dotados de pala y excavadora. En este caso la estructura de protección es aún más compleja que en los casos anteriores, sin solucionar los problemas de éstos.

20 En la patente EP0500261-B1 la estructura está formada por dos partes articuladas entre sí, una solidaria a la estructura o bastidor del vehículo y la otra telescópica desde la anterior, pudiendo la segunda parte desplegarse automáticamente ante un vuelco, pero sin que en este despliegue cambie su geometría.

25 De igual forma se cita el documento de patente suizo CH559646, que describe un dispositivo antivuelco formado por una estructura en "V" cerrada superiormente, que contempla la posibilidad de adaptación a distintos vehículos gracias a la capacidad telescópica de la rama horizontal superior, pero con accionamiento y fijación manual para adecuar su anchura al vehículo en cuestión, pero permaneciendo fija en esa configuración, para actuar únicamente como elemento estático de protección.

30 Por otra parte también se hace mención al dispositivo de protección frente al vuelco descrito en el documento de patente WO0204259, en el que se divulga un arco en forma de "U" invertida con tubos telescópicos verticales y una barra horizontal, el cual se despliega ante un estado de vuelco inminente mediante la acción de un sensor, al liberarse por medios



ES 2 452 489 B1

neumáticos la sujeción que retiene las barras telescópicas desplazándolas verticalmente sin que la estructura gane en anchura al desplegarse.

5 El documento de patente WO2013083864 es muy similar al recién mencionado, divulgando un dispositivo desplegable en forma de "V" invertida cerrada en su parte superior, y que se despliega telescópicamente cuando se detecta una inclinación determinada, ganando en altura y anchura. Este despliegue se consigue gracias a una explosión controlada lo cual supone un inconveniente para su rearme. Dados los desplazamientos que describe, en su posición de reposo es muy aparatoso y puede dificultar la visión.

10 De igual modo, el dispositivo para protecciones individuales descrito en la patente US2010171296 consiste en una estructura en forma de "U" invertida dispuesta para activarse cuando unos sensores detecten un estado de vuelco, impulsando mediante gas, la barra de protección para llevar a cabo un despliegue vertical.

15 En todos los casos anteriormente referidos, independientemente de que las estructuras son complejas en su construcción, no se resuelve completamente el problema derivado del vuelco de un tractor o vehículo similar, y lo que es más importante, casi todas ellas se pliegan y despliegan en base a elementos mecánicos de articulación, que indudablemente dan lugar a situaciones de inseguridad al concurrir en el riesgo adicional que supone que para su accionamiento se precise la intervención del conductor, excepto en el caso de los documentos de patente EP0500261, WO020459, 20 WO2013083864 y US2010171296, cuyo accionamiento automático depende de elementos mecánicos con elevada necesidad de mantenimiento y 25 difíciles de reutilizar, encareciendo así el sistema.

Otro problema que presentan la totalidad de estos dispositivos es la utilización de una estructura de seguridad externa, la cual requiere de 30 fabricación específica en lugar de contar con una estructura ya homologada e instalada.

Respecto al sistema electrónico de control, el documento de patente 35 EP1648736-A1, describe un sistema que avisa del peligro de vuelco a camiones que circulen por carretera, en función de su velocidad, de la posición del camión obtenida por GPS y del radio de las curvas según la cartografía.

Por otra parte, mejorando este sistema descrito anteriormente y



ES 2 452 489 B1

centrándose en el ámbito forestal y agrícola, la patente ES2378636-B1 describe un sistema de aviso ante situaciones peligrosas para la integridad física de los trabajadores. Este sistema es solamente de aviso, por tanto no actúa en consecuencia cuando se produce un accidente.

5 Por todo lo expuesto existe también la necesidad de desarrollar un sistema de seguridad que integre las cualidades de algunos de los dispositivos descritos anteriormente, mejorándolos en diferentes aspectos, permitiendo el aviso mediante el sistema electrónico de control de una situación de peligro y también la actuación que evite los daños en caso de
10 accidente.

Descripción de la invención

15 El sistema que se presenta consta de un accionamiento hidráulico para el abatimiento y desabatimiento del arco de seguridad de manera que este sistema se utilice tanto para accionar el arco a voluntad del operario cuando éste lo considere necesario, como de forma automática, dado que está dotado de sensores que al superar un cierto grado de inclinación activan una alarma acústica en una situación de peligro inminente, avisando al operario y, superando otro nivel de inclinación, cuenta con una consigna de activación de
20 despliegue automático del arco de seguridad, evitando de esta manera cualquier desprotección del operario.

25 El sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas, y especialmente para tractores, comprende un arco de seguridad acoplado en sus dos extremos al chasis del vehículo y medios de accionamiento hidráulico encargados de extender, mediante giro a través de al menos una articulación, el arco de seguridad de una posición de reposo a una posición vertical. El arco de seguridad es preferentemente una estructura en forma de U invertida. En una realización preferida los medios de accionamiento hidráulico comprenden un pistón hidráulico en cada extremo del arco de seguridad.

30 Los medios de accionamiento hidráulico pueden comprender un acumulador de presión alimentado por el sistema hidráulico del vehículo para obtener un rápido despliegue del arco de seguridad. Los medios de accionamiento hidráulico emplean preferentemente parte del sistema hidráulico del vehículo. Los medios de accionamiento hidráulico pueden estar así mismo
35 configurados para replegar, mediante giro a través de al menos una articulación, el arco de seguridad desde la posición vertical a la posición de reposo.



ES 2 452 489 B1

5 El sistema puede comprender medios de control configurados para accionar los medios de accionamiento hidráulico y medios sensores encargados de detectar la inclinación del vehículo, de forma que los medios de control están configurados para, cuando dicha inclinación supere un umbral de accionamiento, accionar automáticamente los medios de accionamiento hidráulico para extender el arco de seguridad a la posición vertical. Los medios de control pueden estar también configurados para, cuando la inclinación del vehículo supere un umbral de aviso, activar una señal acústica y/o visual para avisar al conductor del vehículo de dicha situación.

10 En una realización preferente el sistema comprende medios de selección para la activación manual por parte del conductor del vehículo de los medios de accionamiento hidráulico.

15 La posición de reposo del arco de seguridad es preferentemente una posición que forma un ángulo reducido con respecto a la horizontal, de forma que el arco en posición de reposo queda por debajo de la línea de visión del conductor del vehículo.

20 Se cuenta por tanto con un sistema dual de seguridad, por una parte se ofrece seguridad activa en el caso de aproximación a inclinaciones peligrosas, en tal caso se activará una señal acústica y visual, dando un margen de maniobra al operario para poder escapar de esa situación peligrosa sin que se produzca el accidente. Por otra parte también de seguridad pasiva, actuando ante un accidente para desplegar el arco, emitiendo una señal de accionamiento al sistema hidráulico para el despliegue rápido del arco de seguridad.

25 El sistema electrónico con el que cuenta el mecanismo incorpora un registro de accionamientos en forma de caja negra, de manera que en caso de accidente, cuando se haya desplegado el arco, si alguien interviene sobre el sistema quedará registrado en ésta que se ha producido un despliegue del mismo. Además, cuenta con un sistema de posicionamiento GPS que permite localizar el vehículo siniestrado ya que integra un módulo GPRS para poder establecer comunicación telemática con las coordenadas exactas de la posición en la que ha tenido lugar el accidente a quien se decida. Este registro de memoria puede ser de gran utilidad ya que ayudará a determinar de qué manera se ha producido el vuelco, a qué hora y en qué posición geográfica.

35 El sistema electrónico lleva un histórico de los accionamientos tanto manuales como automáticos por accidente, lo que permite al propietario



ES 2 452 489 B1

comprobar el cumplimiento de las normas de seguridad por parte de los usuarios del vehículo frente a terceros como empresas de seguros o administración con el objeto de reducir la prima del seguro del vehículo que lo incorpore. En algunos casos los vehículos pueden incorporar un sistema en el cual es necesario para arrancar el tractor que el operario se identifique con su código de usuario para que el sistema reconozca que la persona está autorizada para conducir el vehículo y además asigne a un usuario determinado los accionamientos del arco durante ese periodo de uso.

El sistema de despliegue del arco de seguridad es mediante accionamiento hidráulico, aprovechando la unidad de presión del tractor para su funcionamiento de manera que se reducen los costes de instalación. El funcionamiento de este sistema puede ser manual desde el puesto de trabajo de manera que el operario puede, por ejemplo mediante interruptor o pulsador, plegar y desplegar el arco de forma que no interfiera en sus tareas. En caso de no estar desplegado en el momento en que se produzca un accidente y vuelque el vehículo, éste se desplegará rápidamente mediante un acumulador de presión alimentado por el sistema hidráulico del tractor. En todos los casos quedarán registrados en memoria los despliegues del arco.

Gracias a su accionamiento hidráulico, éste permite asegurar que el arco se encontrará entabado en las posiciones de reposo y de trabajo. En la posición de reposo el arco no molesta al operario ya que está plegado alrededor del frente del vehículo, teniendo la parte horizontal de la "U" que forma el arco por debajo de la línea de visión del conductor. Una vez que se accione el sistema los cilindros hidráulicos avanzan haciendo que el arco describa un cuarto de circunferencia, entabándolo cuando la parte horizontal de la "U" que forma el arco se encuentre en una posición superior a la cabeza del operario. De esta manera el operario queda protegido de aplastamiento por el vehículo si y solo si el usuario hace el correcto uso del cinturón de seguridad.

Cabe destacar el importante ahorro económico que supone que el arco que se emplea en este sistema de seguridad sea el arco de seguridad homologado que ya debe montar el vehículo per se, y que la unidad de presión que lo accionará sea la misma que integran los vehículos de estas características, suponiendo también un ahorro importante.



ES 2 452 489 B1

Una vez el sistema automático se haya activado tras un accidente y haya cumplido su función de proteger al trabajador, éste puede ser reutilizado normalmente, tras ser inspeccionado, ya que el sistema hidráulico es bidireccional y el arco de seguridad no debe sufrir ninguna deformación. Por otra parte el sistema electrónico de control necesitará ser reseteado y puesta a "cero" la memoria de registro.

Breve descripción de los dibujos

Para completar la descripción que se hará seguidamente de la instalación preferente del sistema descrito anteriormente, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde, con mero carácter ilustrativo, sin ser estos limitantes, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra la vista en perspectiva de un lateral del arco de seguridad antivuelco objeto de la presente invención en posición desplegada.

Figura 2.- Se muestra, en una vista lateral, el arco de seguridad completamente desplegado con el pistón hidráulico completamente abierto, quedando el arco a 90 grados de la horizontal.

Figura 3.- Se muestra, en una vista lateral, el arco de seguridad en su posición de reposo, con el pistón hidráulico cerrado.

Figura 4.- En esta figura se representa el sistema eléctrico que controla el circuito hidráulico de activación del pistón.

Figura 5.- En esta figura se muestra en vista en perspectiva el montaje completo del dispositivo, estando el dispositivo de despliegue del arco de seguridad y todo el conjunto de elementos fijados al chasis del vehículo agrícola, mediante pernos roscados.

Figura 6.- En esta figura se representa el esquema del sistema hidráulico que se ha implementado sobre el propio sistema hidráulico del tractor.

Ejemplo de realización preferida

La **Figura 1** muestra en perspectiva un lateral del arco de seguridad 1 en posición desplegada, el anclaje del mismo al chasis 3 del vehículo agrícola y un cilindro o pistón hidráulico 2 encargado del despliegue del arco de seguridad 1. El mecanismo tiene tres articulaciones 4 a cada lado, dos articulaciones en cada extremo del pistón hidráulico 2 para permitir la apertura de éste y otra articulación en la base del arco de seguridad 1, gracias a la cual

ES 2 452 489 B1

el arco gira sobre sí mismo y se despliega para evitar el vuelco completo del tractor y el consiguiente aplastamiento.

En la **Figura 2** se muestra en una vista lateral el pistón hidráulico 2 abierto y el arco de seguridad 1 desplegado en posición vertical, entrabado en esta posición.

En la **Figura 3** se muestra, en una vista lateral, el arco de seguridad 1 en su posición de reposo, con el pistón hidráulico 2 cerrado, quedando la barra lateral del arco de seguridad a un ángulo α con respecto a la horizontal. En una realización preferida el ángulo α que forma el arco de seguridad 1 en la posición de reposo es en torno a 25° , pero este ángulo puede variar ya que lo importante es que el arco en dicha posición de reposo no moleste la visión del conductor, quedando por debajo de su línea de visión.

La **Figura 4** representa el sistema eléctrico que controla el circuito hidráulico de activación del pistón y que integra los componentes de alarma y registro comentados anteriormente. En ella se puede distinguir el interruptor de encendido general 41, el cual no es accesible al conductor, el interruptor 42 para que el arco de seguridad 1 vuelva a la posición de reposo y el interruptor 43 para que el arco de seguridad 1 pase a la posición vertical. Además de esto se representan los relés (44, 45, 46) que representan respectivamente el de carga de acumulador de presión, elevación rápida y el de carga y zumbador. También se representa unos medios sensores 47 (e.g. un inclinómetro, un acelerómetro) para detectar la inclinación y/o vuelco del tractor, un circuito de control y acondicionamiento de señal 48 (implementado normalmente mediante un microcontrolador) y una memoria 49 para el almacenamiento de registros y alarmas.

En la **Figura 5** se muestra el montaje completo del dispositivo, estando el dispositivo de despliegue del arco de seguridad y todo el conjunto de elementos fijados al chasis del vehículo agrícola, mediante pernos roscados.

En la **Figura 6** se representa el esquema del sistema hidráulico implementado sobre el propio sistema hidráulico del tractor, con las válvulas de accionamiento (60, 61) las cuales representan, respectivamente, la electroválvula para cargar el acumulador de presión y la electroválvula para la elevación y bajada lenta, para el accionamiento manual y para el accionamiento automático.



ES 2 452 489 B1

REIVINDICACIONES

- 5
1. Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas, que comprende un arco de seguridad (1) acoplado en sus dos extremos al chasis (3) del vehículo, caracterizado por que comprende adicionalmente medios de accionamiento hidráulico encargados de extender, mediante giro a través de al menos una articulación (4), el arco de seguridad (1) de una posición de reposo a una posición vertical.
- 10
2. Sistema según la reivindicación 1, caracterizado por que el arco de seguridad (1) es una estructura en forma de U invertida.
- 15
3. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los medios de accionamiento hidráulico comprenden un pistón hidráulico (2) en cada extremo del arco de seguridad (1).
- 20
4. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los medios de accionamiento hidráulico comprenden un acumulador de presión alimentado por el sistema hidráulico del vehículo para obtener un rápido despliegue del arco de seguridad (1).
- 25
5. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los medios de accionamiento hidráulico emplean parte del sistema hidráulico del vehículo.
- 30
6. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los medios de accionamiento hidráulico están así mismo configurados para replegar, mediante giro a través de al menos una articulación (4), el arco de seguridad (1) desde la posición vertical a la posición de reposo.
- 35
7. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende medios de control (48) configurados para accionar los medios de accionamiento hidráulico.
8. Sistema según la reivindicación 7, caracterizado por que comprende medios
-



ES 2 452 489 B1

sensores (47) encargados de detectar la inclinación del vehículo, y por que los medios de control (48) están configurados para, cuando dicha inclinación supere un umbral de accionamiento, accionar automáticamente los medios de accionamiento hidráulico para extender el arco de seguridad (1) a la posición vertical.

5

9. Sistema según la reivindicación 8, caracterizado por que los medios de control (48) están configurados para, cuando la inclinación del vehículo supere un umbral de aviso, activar una señal acústica y/o visual para avisar al conductor del vehículo de dicha situación.

10

10. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende medios de selección (43) para la activación manual por parte del conductor del vehículo de los medios de accionamiento hidráulico.

15

11. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la posición de reposo del arco de seguridad (1) es una posición que forma un ángulo (α) con respecto a la horizontal, quedando por debajo de la línea de visión del conductor del vehículo.

20

12. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el vehículo es un tractor.

25

30

35

ES 2 452 489 B1

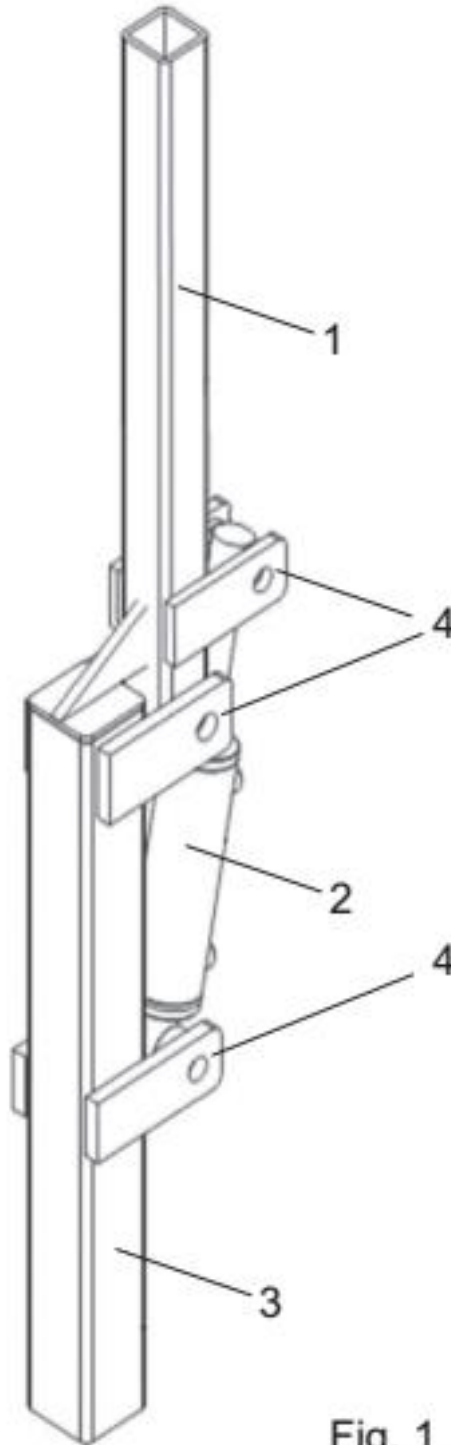


Fig. 1

ES 2 452 489 B1

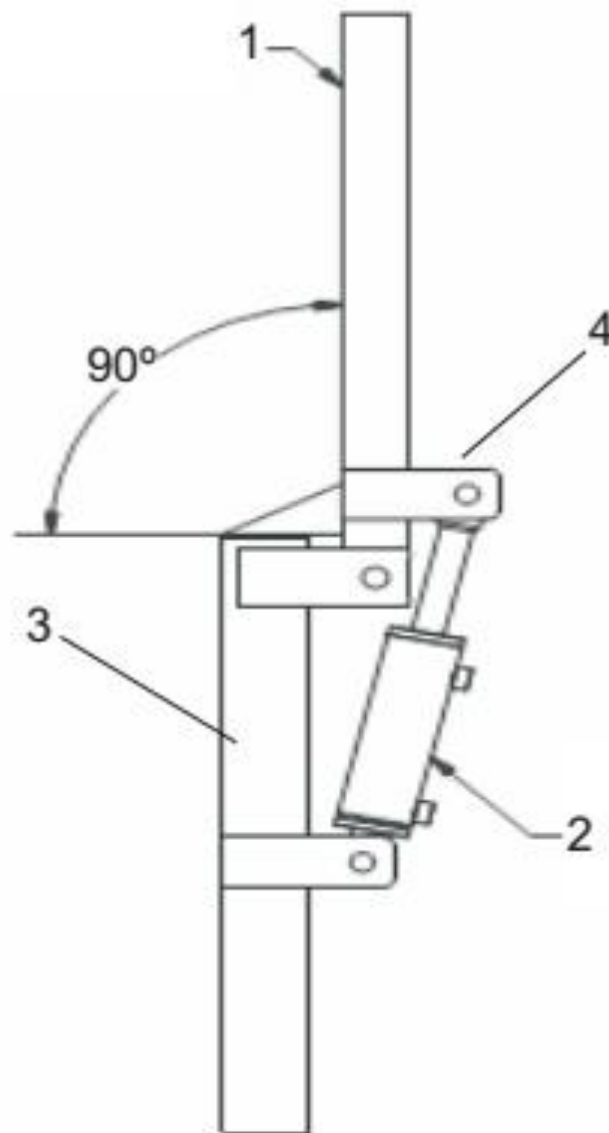


Fig. 2

ES 2 452 489 B1

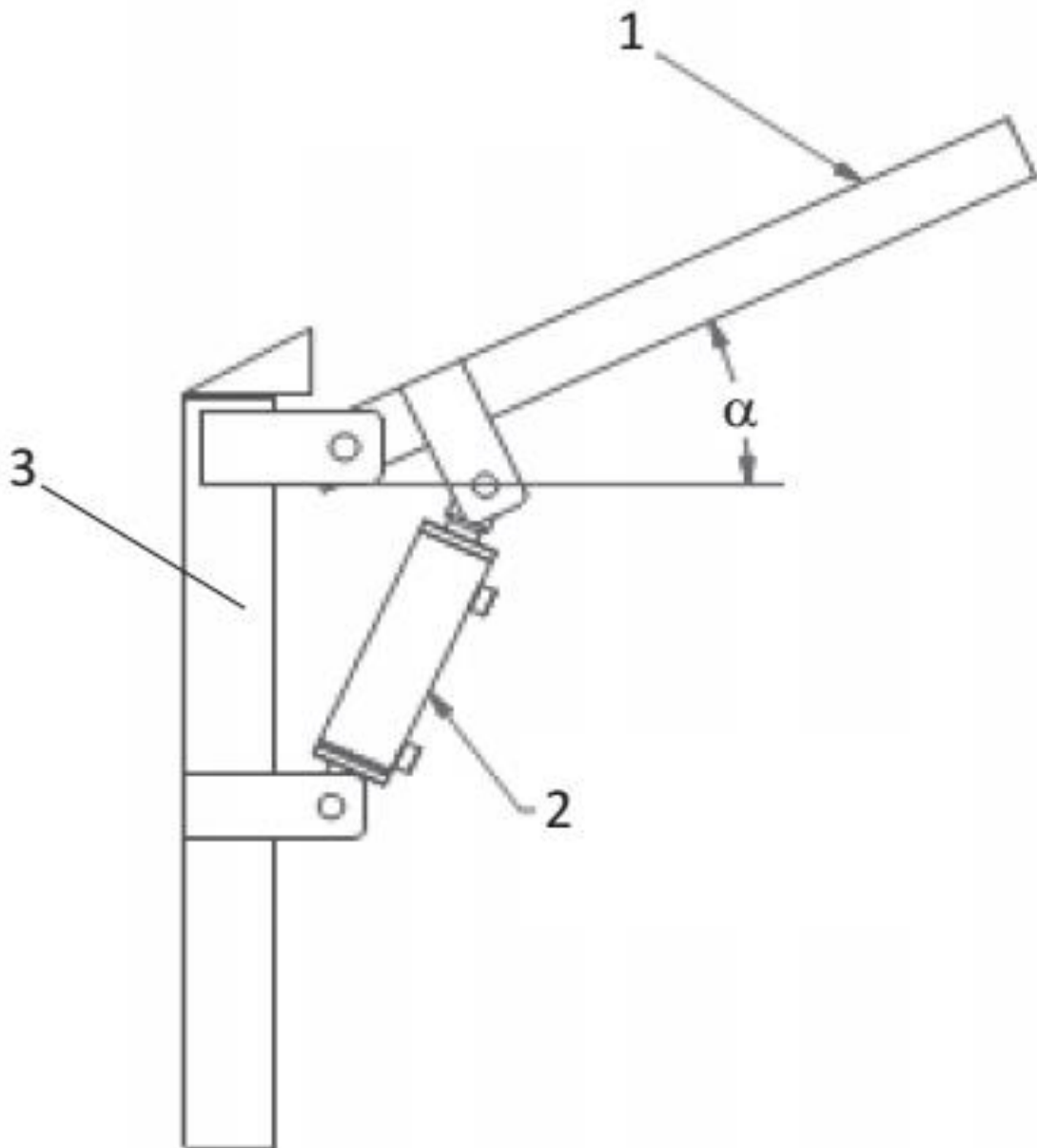


Fig. 3

ES 2 452 489 B1

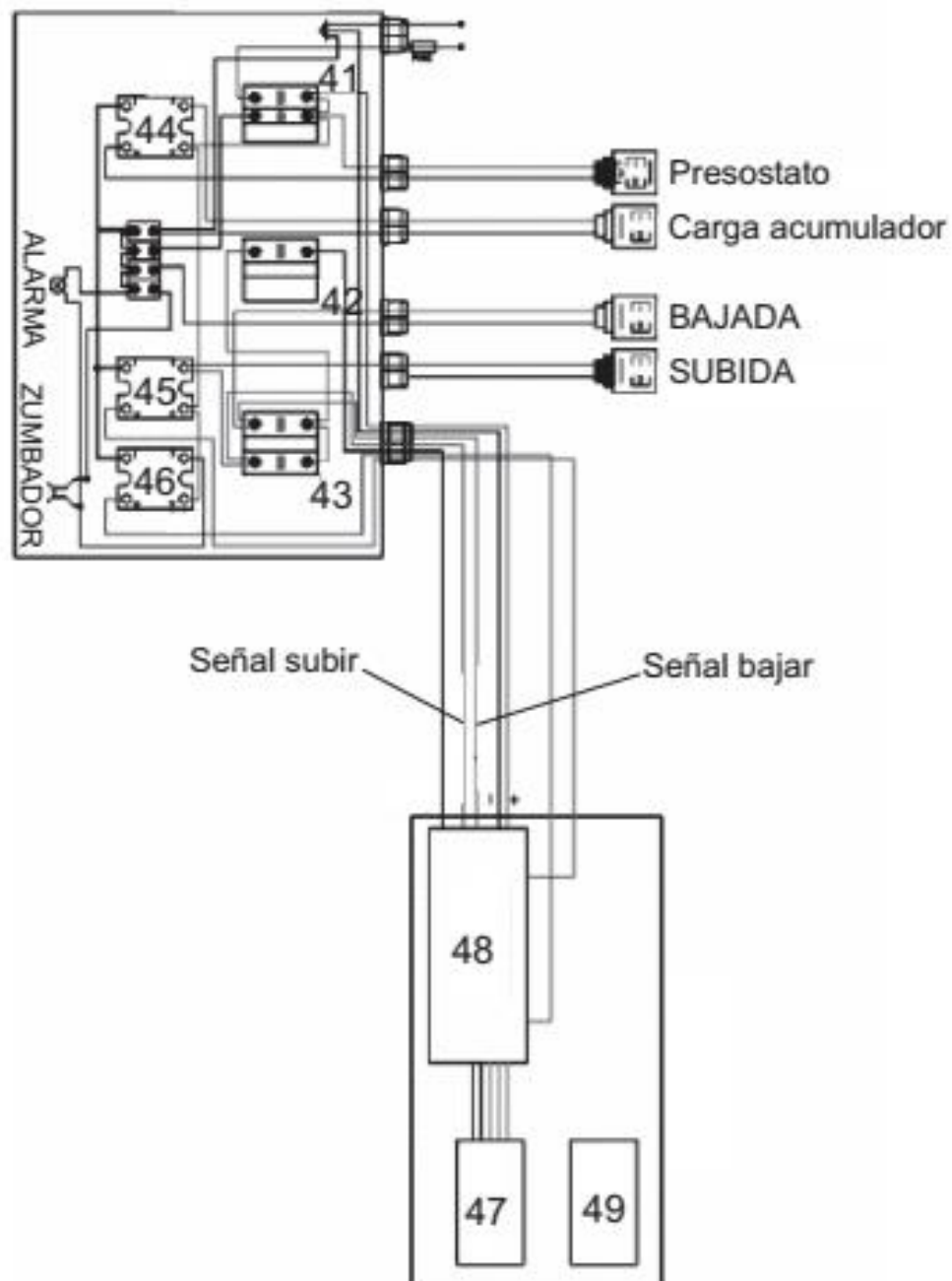


Fig. 4

ES 2 452 489 B1

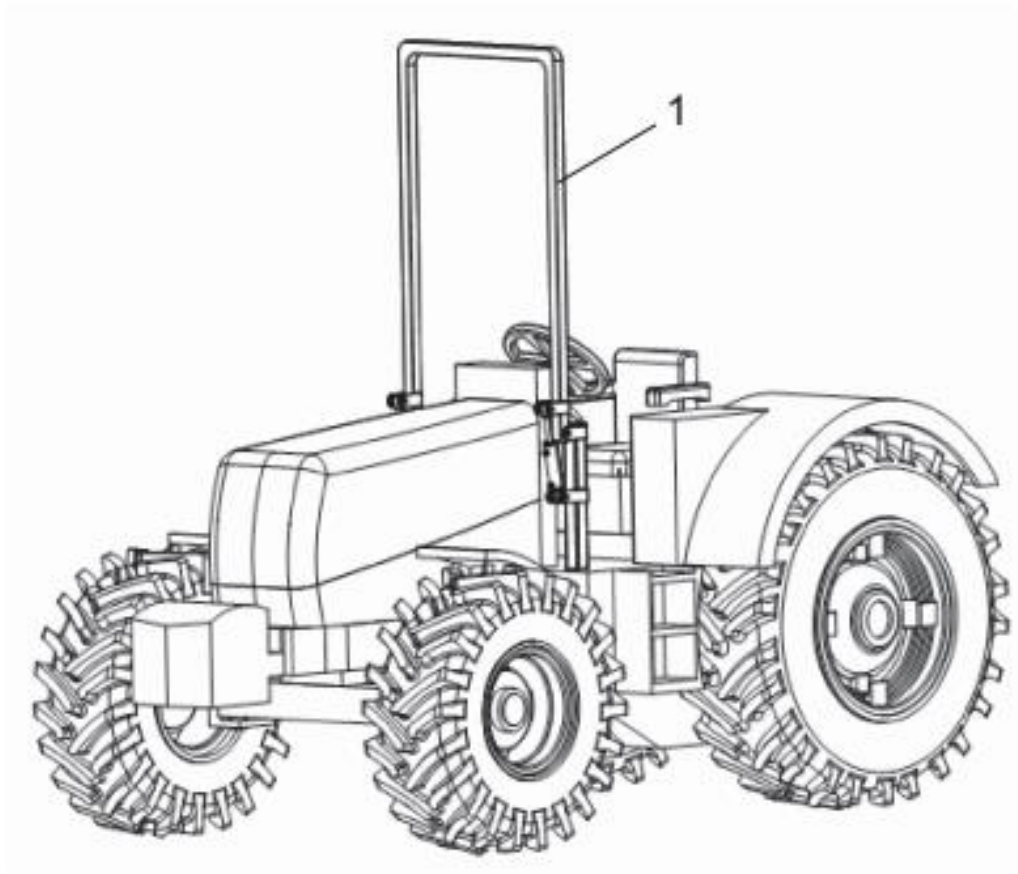


Fig. 5

ES 2 452 489 B1

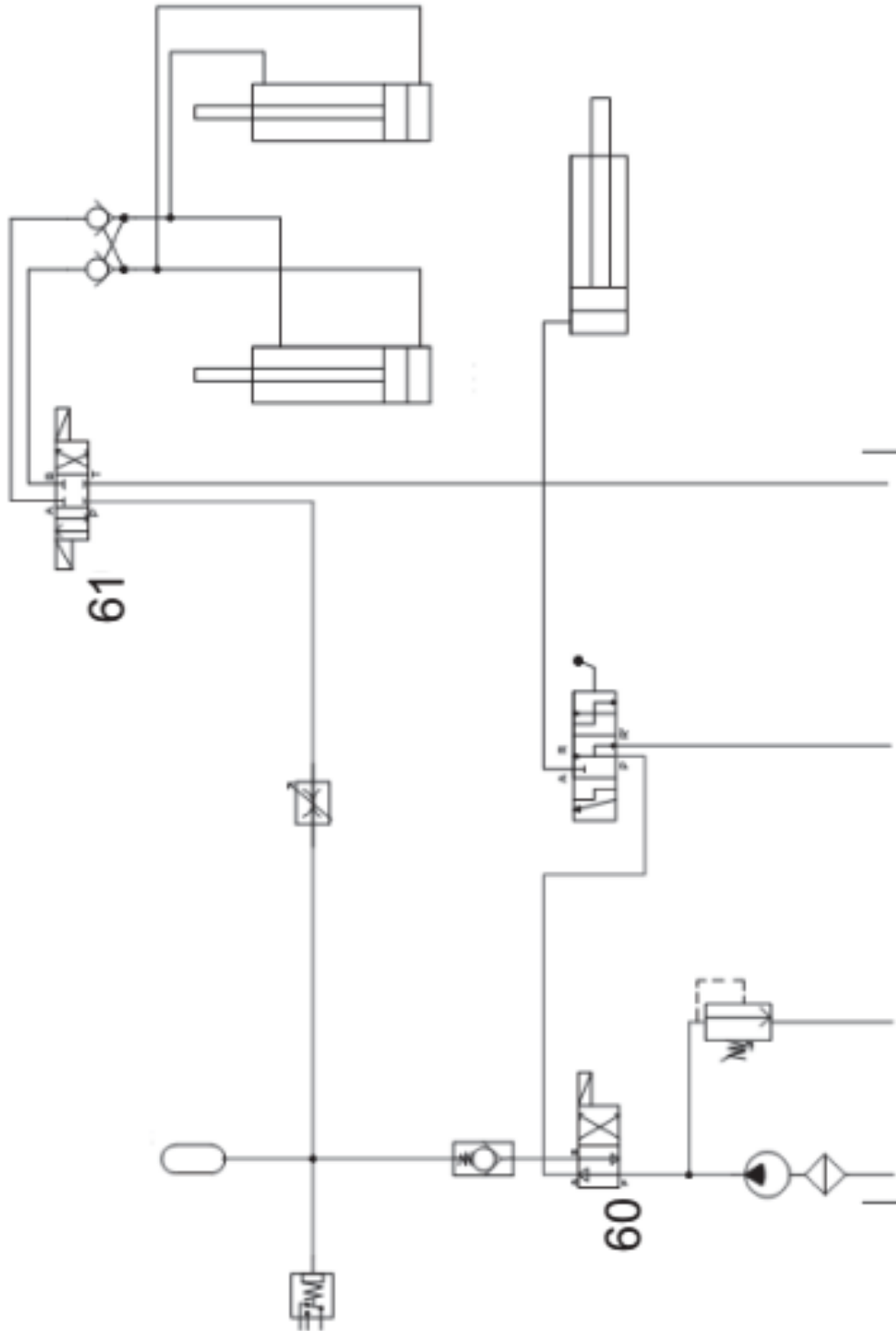


Fig. 6

Anexo III

Paper XX Congreso de seguridad y salud en el trabajo 2014 – Foro mundial para la prevención: Dispositivo de accionamiento automático de un arco antivuelco en tractores.

Dispositivo de accionamiento automático de un arco antivuelco en tractores

B. Martín Gorriz, D. Ojados González, I. Ibarra Berrocal, F. Caro García, P. Morales Sánchez, B. Miguel Hernández

Universidad Politécnica de Cartagena

Cartagena. Spain.

Objetivo

Diseñar y construir un prototipo de bastidor abatible de accionamiento automático frente al vuelco; así como de accionamiento a voluntad por el tractorista sin bajarse del asiento del conductor.

Materiales y métodos

El prototipo a construir estará compuesto por elementos mecánicos que se accionan en base a la señal de dispositivos electrónicos. Los modos de funcionamiento del dispositivo mecánico permitirán:

- Que el tractorista, sin abandonar el puesto de conducción, realice el alzado y el abatimiento manual del arco antivuelco.
- Que un sistema automático accione el levantamiento del arco de seguridad cuando el tractor circule por un terreno con un determinado nivel de pendiente.

Utilizando el circuito hidráulico del tractor, se ha diseñado y construido un circuito hidráulico complementario basado en el uso de acumuladores de presión con pistones hidráulicos colocados a 45° de la horizontal que permite cambiar el arco antivuelco de posición desde la horizontal (reposo) a la vertical (trabajo).

El sistema de control electrónico que actúa sobre el circuito hidráulico está basado en un microcontrolador (Arduino Mega) con sensor giroscópico, una tarjeta de memoria y un módulo GSM/GPS. El software de control permite almacenar un

histórico de las actuaciones manuales y automáticas del dispositivo. En el caso de disparo automático se activa un módulo GSM que envía un SMS con las coordenadas geográficas de donde se encuentra el tractor. Esto permitirá en caso de accidente que la persona accidentada sea localizada por los servicios de urgencia.

Resultados

Los ensayos del sistema de control electrónico se han realizado en un tractor a escala 1:16 en el que se han instalado los componentes electrónicos. Con esta maqueta del tractor se ha ensayado el accionamiento en distintas situaciones y en distintos modos de peligro (inclinación). Se ha probado la fiabilidad del sistema y la velocidad de respuesta. Este sistema solo difiere del dispositivo de seguridad real en el accionamiento del arco, siendo el caso real el accionamiento del circuito hidráulico utilizando relés.

Paralelamente, se ha diseñado y construido un circuito hidráulico que permite cumplir con las especificaciones descritas en el diseño. El circuito ha sido instalado en un tractor Massey Ferguson mod. 147. Los resultados muestran una fiabilidad alta en el funcionamiento en todos los ensayos realizados.

Conclusiones

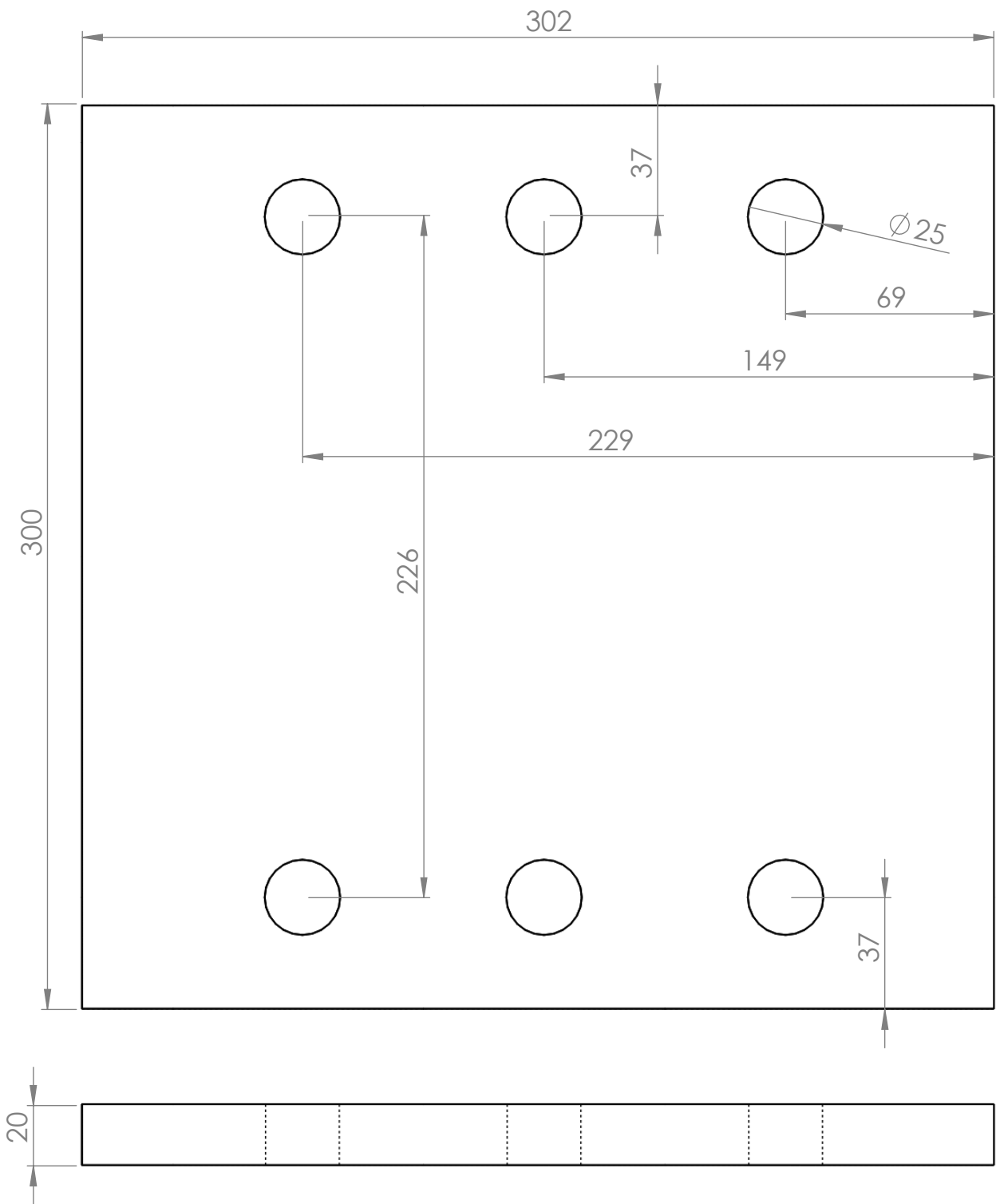
Podemos afirmar que se han cumplido los objetivos planteados en el proyecto, construyendo un sistema de seguridad automático que reduce el riesgo del uso de tractores agrícolas con arco abatible.

Agradecimientos

Al Instituto de Seguridad y Salud Laboral de la Región de Murcia por la financiación del proyecto “nuevos dispositivos de seguridad en máquinas”.

Anexo IV

Planos de fabricación y montaje del banco de ensayos para arco de seguridad automático en tractores agrícolas.



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

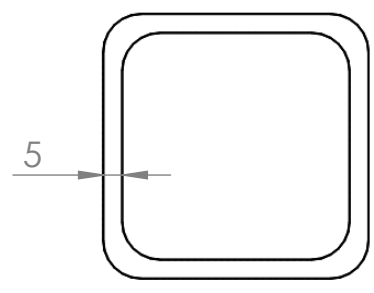
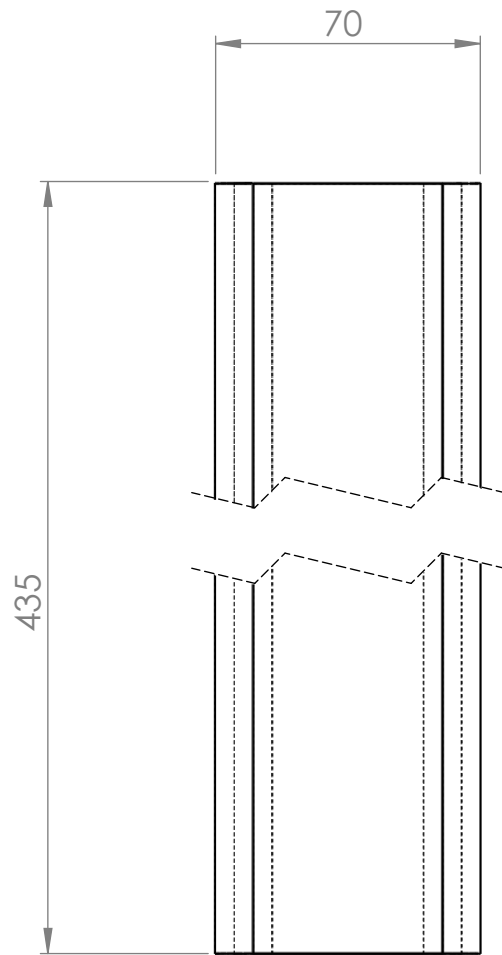
REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

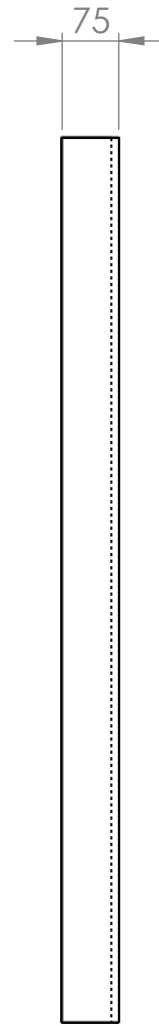
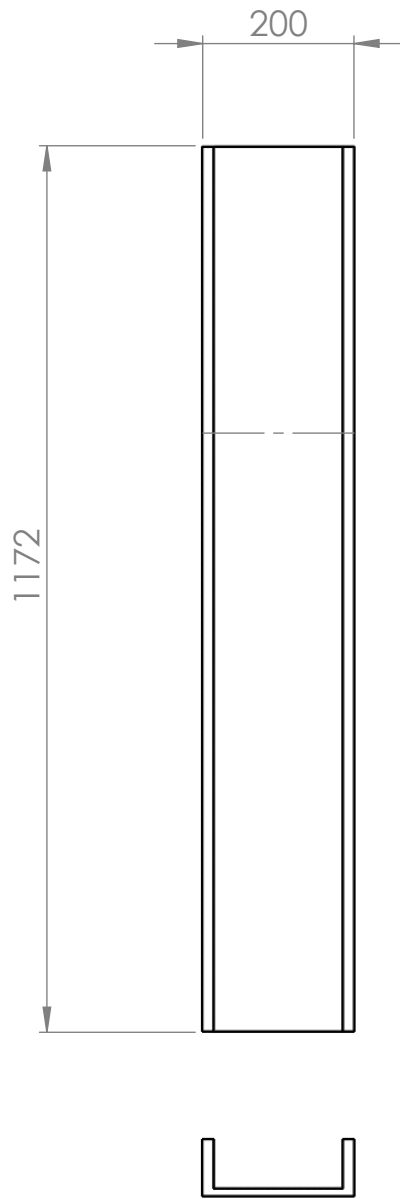
REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.				MATERIAL:	
				PESO:	

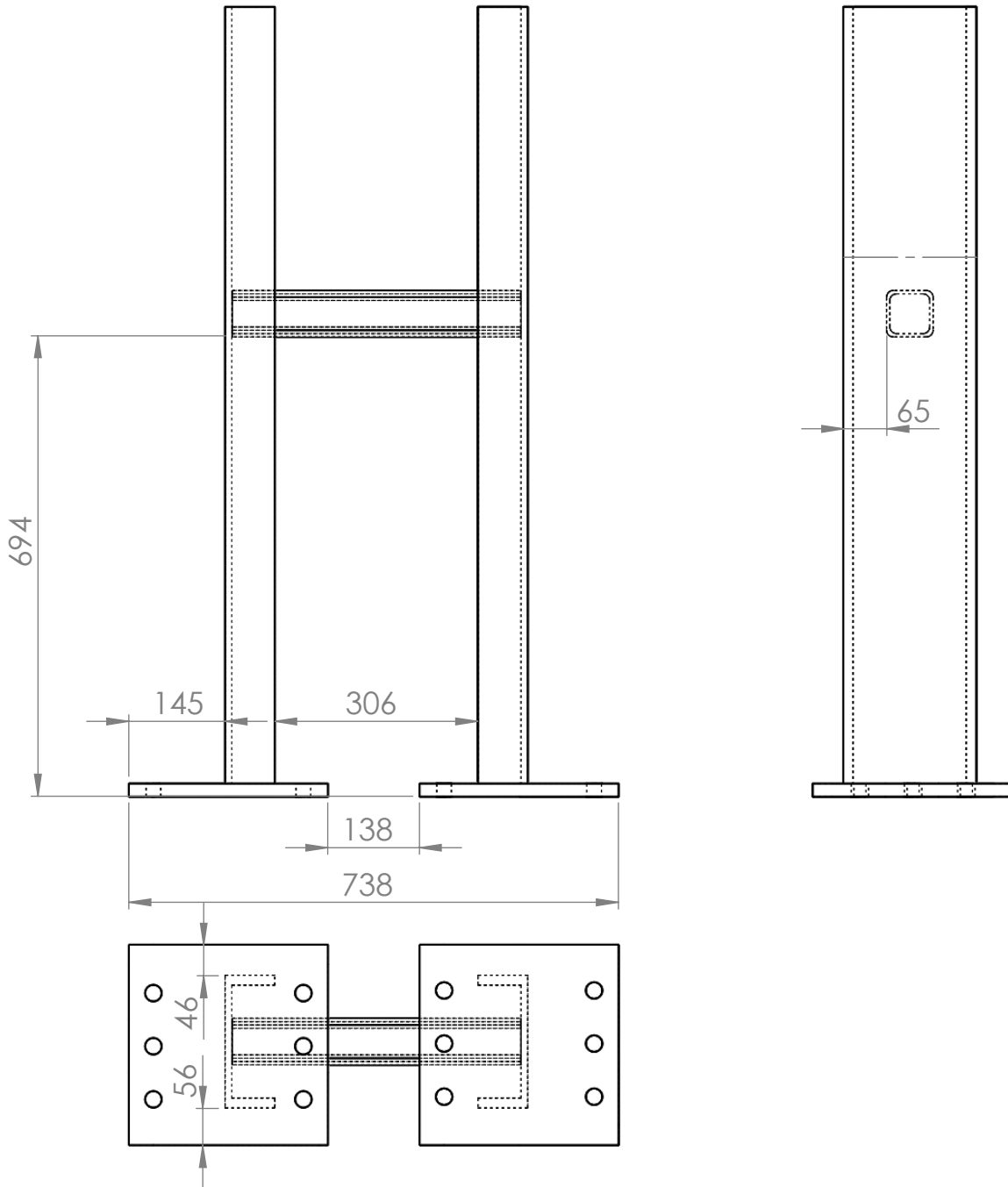
TÍTULO:	<h1>Placa fijación base</h1>	A4
N.º DE DIBUJOS		
ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								TÍTULO:			
DIBUJ.								N.º DE DIBUJO			
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CAUD.						MATERIAL:		Rigidizador			
						PESO:		ESCALA: 1:2		HOJA 1 DE 1	
								A4			



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								TÍTULO:			
DIBUJ.								Viga soporte			
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CAUID.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
						PESO:		ESCALA:1:10		HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:

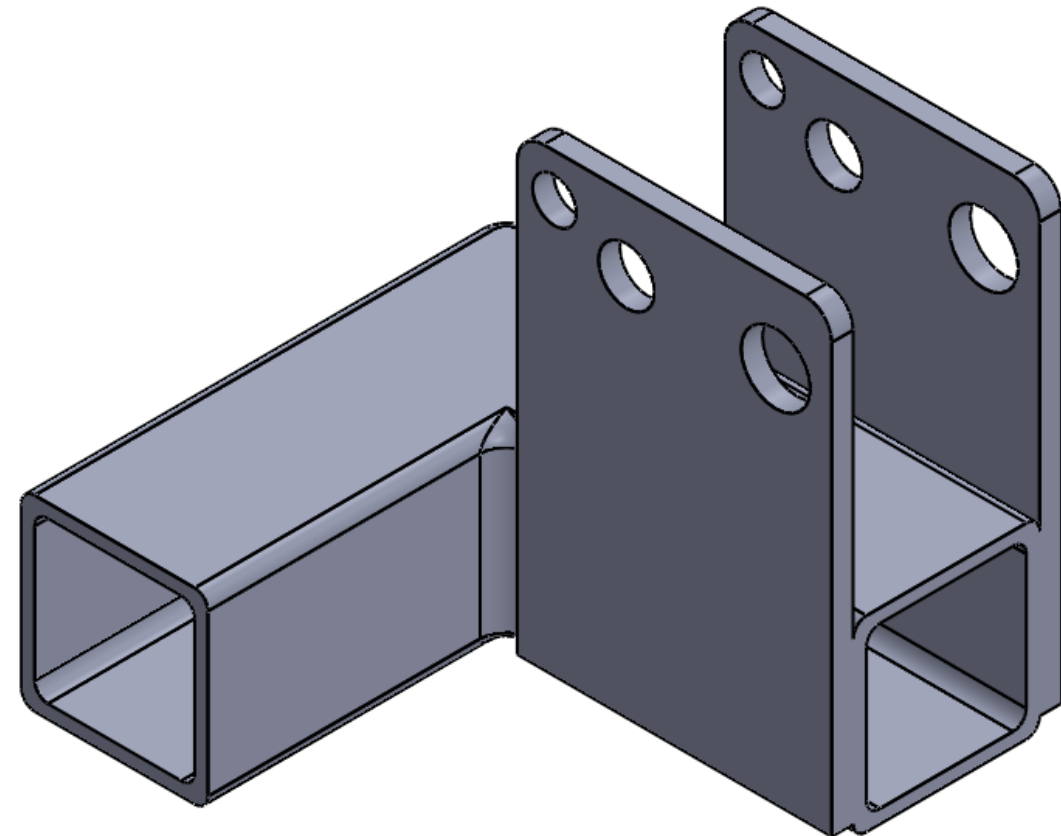
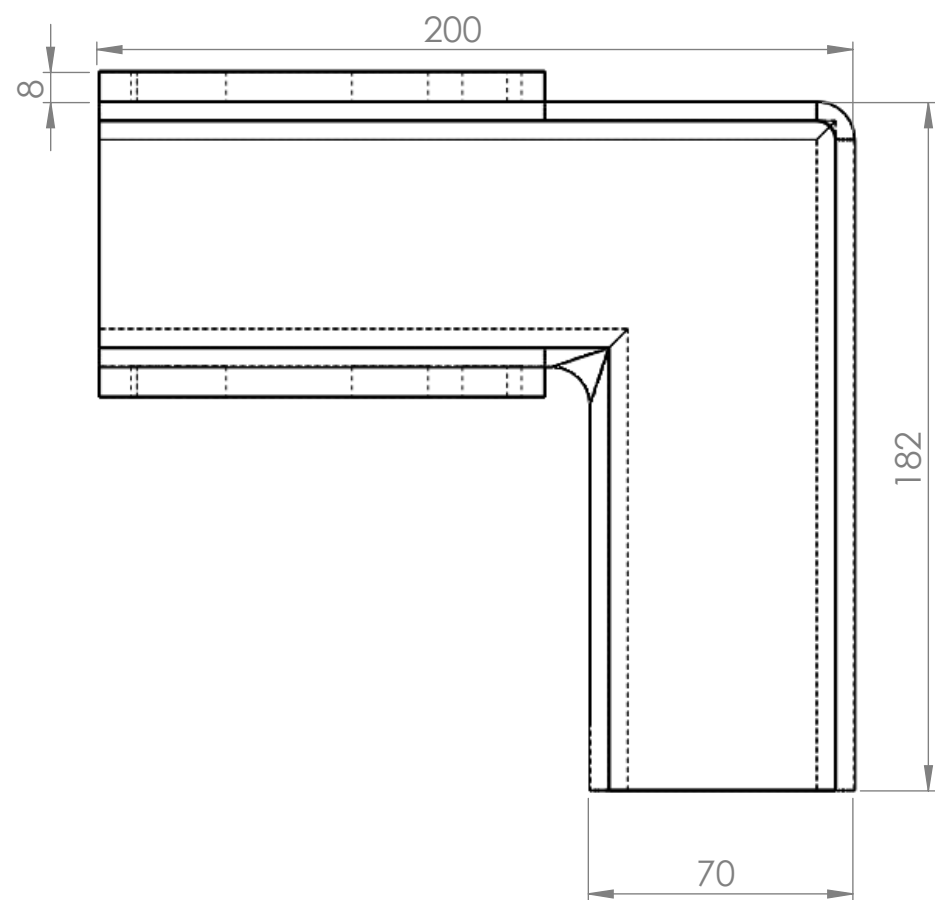
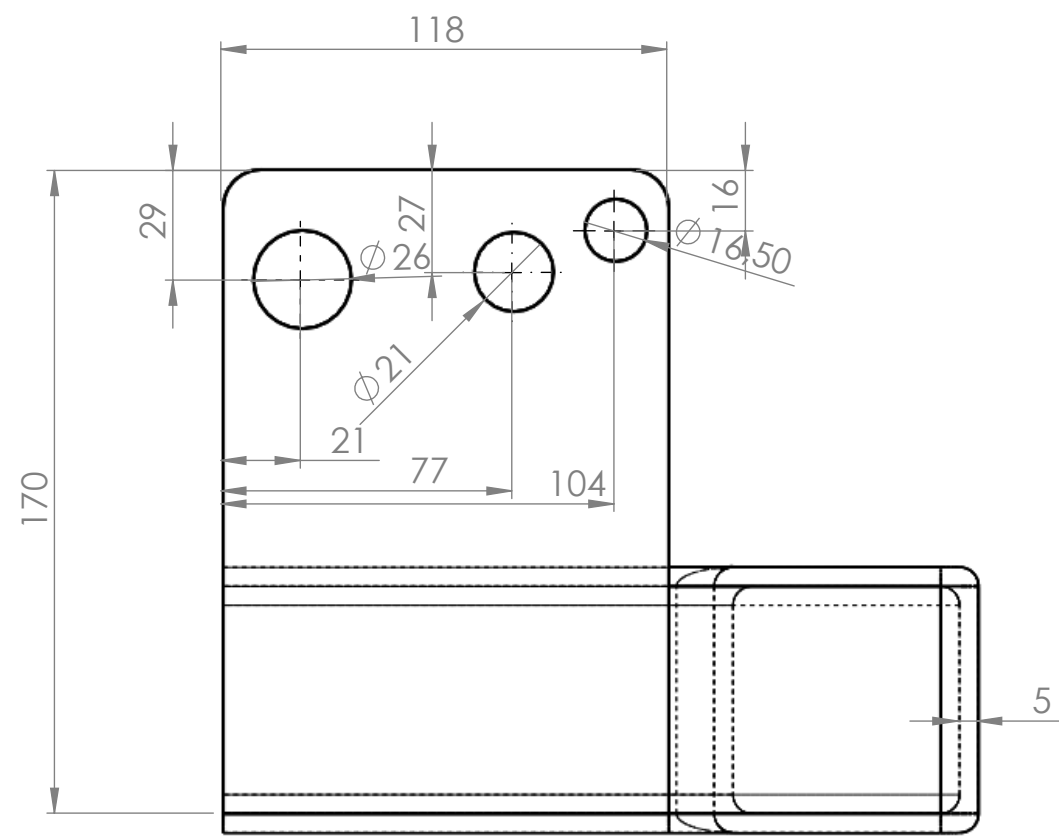
N.º DE DIBUJO

Sujección arco

A4

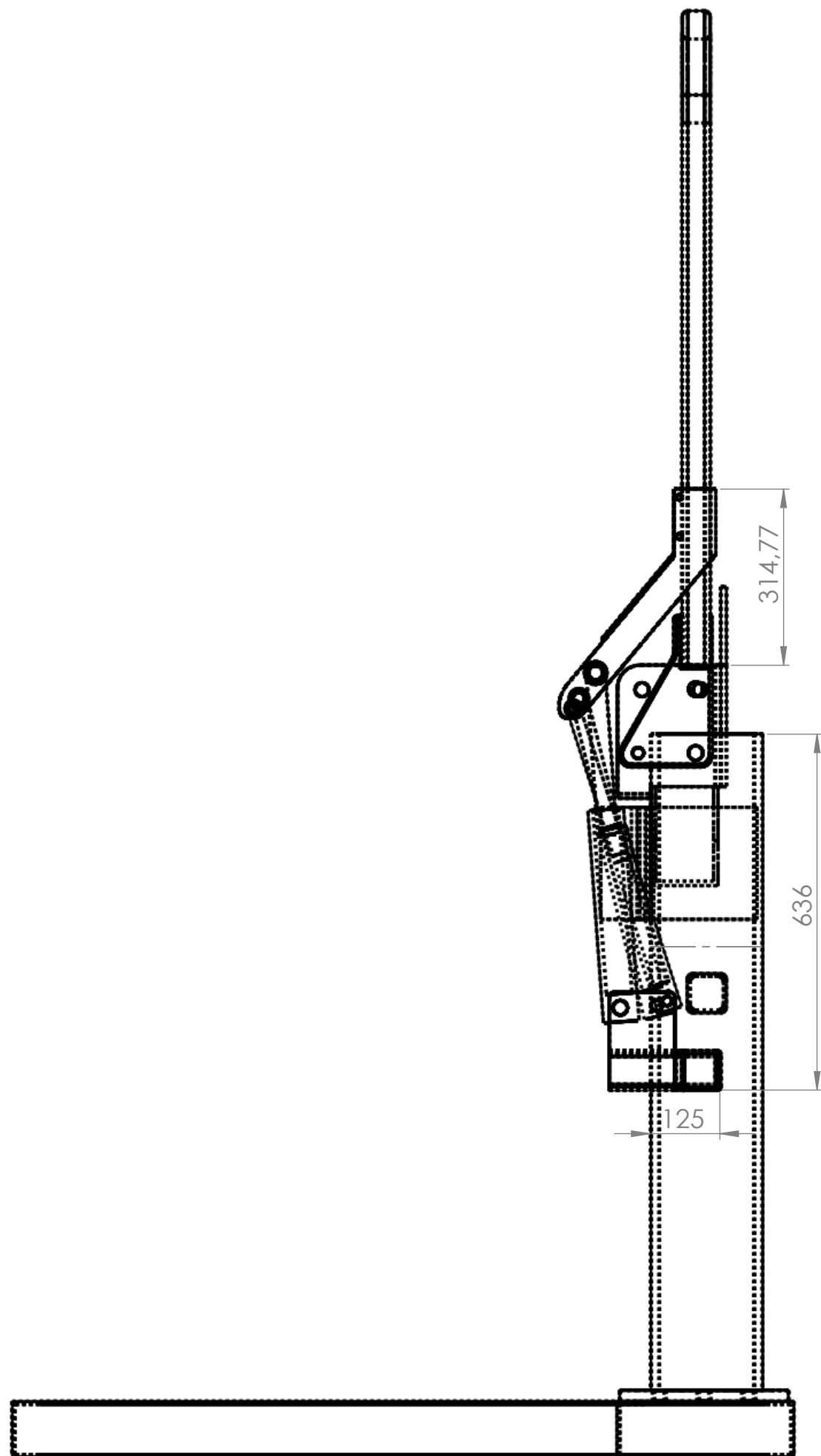
ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
						PESO:		ESCALA: 1:2	
								HOJA 1 DE 1	

Soporte cilindros V3^{A3}



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
									TÍTULO:	
DIBUJ.			NOMBRE		FIRMA		FECHA			
VERIF.										
APROB.										
FABR.										
CALID.							MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
									Ensamblaje_conjunto	
							PESO:		ESCALA:1:10	
									HOJA 1 DE 1	

Anexo V

Memoria económica.

Tabla 35: Desglose de costes banco de ensayos para arco automático en tractores agrícolas.

Desglose de costes banco de ensayos para arco automático en tractores agrícolas	
Concepto	Total (€)
Estructura	689,79
Hidráulica	2569,99
Electrónica/electricidad	521,65
Total	3781,43

En las siguientes tablas vemos el coste desglosado por equipamiento:

Tabla 36: Desglose de costes en estructura.

Concepto	Unidades	Precio (€)	Total (€)
Estructura			689,79
Pletina acero 70x8	12	0,40	4,80
Tubo cuadrado 70	4	0,30	1,20
Viga UPN	6	5,75	34,50
Viga IPN	3	16,43	49,29
Accesorios	-	-	150,00
Mano de obra	15	30,00	450,00

Tabla 37: Desglose de costes en el sistema hidráulico.

Concepto	Unidades	Precio (€)	Total (€)
Hidráulica			2569,99
Minicentral 12V 800W 2,5L	1	463,25	463,25
Toma de presión	1	6,96	6,96
Presostato	2	24,64	49,28
Válvula 2/2 nc 3/8 12V	1	72,58	72,58
Acumulador 3L	1	430,93	430,93
Acumulador 4L	1	366,53	366,53
Acumulador 2L	1	255,54	255,54
Electroválvula 3V	1	82,89	82,89
Electroválvula 4V	1	91,51	91,51
Placas de unión	2	32,89	65,78
Tornillería	2	16,35	32,70
Cilindro 3050-200	2	68,39	136,78
Cilindro 2542-200	2	61,38	122,76
Cilindro 2032-200	2	55,20	110,40
Antirretorno doble pilotado	2	72,69	145,38
Regulador de caudal	2	68,36	136,72

Tabla 38: Desglose de costes en electrónica/electricidad.

Concepto	Unidades	Precio (€)	Total (€)
Electrónica/electricidad			521,65
Cabezal amarillo IP65	1	4,27	4,27
Puntera hueca (x100)	20	0,06	1,14
Lámina de crimpar	10	0,11	1,12
Cuerpo de contacto IP65	2	8,75	17,50
Interruptor selector IP65	1	8,88	8,88
Tornillo + arandela M4x12mm (x100)	6	0,07	0,40
Caja industrial 150x105x80	1	13,95	13,95
Caja industrial 175x150x80	1	20,31	20,31
Prensaestopa IP68 4-9mm M20	1	1,01	1,01
Avisador 1 tono 12V	1	9,37	9,37
LED 22mm red	1	13,05	13,05
LED 22mm green	1	13,71	13,71
Arduino Mega Atmel Atmega2560	1	43,06	43,06
Casquillo de plástico IP68 M16 (x5)	5	1,21	6,03
Atmega 328 board	1	31,71	31,71
LM2596 DC-DC Ajustable	2	6,50	13,00
Placa reloj RTC DS1307	1	12,00	12,00
microSD Shield	1	12,30	12,30
GPS/GPRS/GSM Shield V3.0	1	72,00	72,00
Módulo acel+giro MPU-6050	1	10,29	10,29
Placa de prototipos pretaladrada 50x70	1	0,75	0,75
Placa de prototipos pretaladrada 70x90	1	1,21	1,21
Conectores hembra/hembra	1	1,75	1,75
Conectores macho (x10)	1	1,25	1,25
Conectores macho/hembra	1	1,85	1,85
Omron G3NA-D210B	3	62,81	188,43
Cable 6491X PVC 1,5mm2 marrón	1	0,40	0,40
Cable 6491X PVC 1,5mm2 verde/amarillo	1	0,40	0,40
Cable 6491X PVC 1,5mm2 azul	1	0,40	0,40
PB transparent boot	1	1,83	1,83
Control cable atex use 6 core 1,5mm	3	2,31	6,94
Tarjeta microSD	1	11,35	11,35