



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Campus
de Excelencia
Internacional

*AUTOMATIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE
PROTECCIÓN ABATIBLES EN TRACTORES
AGRÍCOLAS Y DESARROLLO DE SIMULADOR
CON REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA PARA
FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN DE
ACCIDENTES*

*“Técnicas Avanzadas en Investigación y
Desarrollo Agrario y Alimentario”*



Autora: Dolores Ojados González

Directores: Bernardo Martín Górrriz

Isidro J. Ibarra Berrocal

Cartagena 2018



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA**

**Programa de doctorado:
“Técnicas avanzadas en investigación y desarrollo agrario y
alimentario”**

**AUTOMATIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE
PROTECCIÓN ABATIBLES EN TRACTORES
AGRÍCOLAS Y DESARROLLO DE SIMULADOR CON
REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA PARA FORMACIÓN E
INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES**

Doctoranda: Dolores Ojados González

**Directores: Dr. Bernardo Martín Górriz
Dr. Isidro J. Ibarra Berrocal**

Cartagena, julio de 2018

Esta memoria se presenta en la modalidad de compendio de publicaciones.

La patente y los artículos que constituyen la tesis son los siguientes:

- Ibarra Berrocal, I. Martín Górriz, B. Miguel Hernández, B., **Ojados González, D.**, Caro García, F., Morales Sánchez, P., Morente Sánchez, A. 2014. Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas. PATENTE DE INVENCIÓN, Número de publicación OEPM: 2452489, Fecha entrada: 13.03.2014, Fecha de presentación: 13.03.2014, Fecha publicación: 01.04.2014 Número de publicación: ES2452489. CIP INVENCIÓN PUBLICACIÓN: B60R 21/13.
- **D. Ojados González**, B. Martín-Górriz, I. Ibarra Berrocal, F. Caro García, P. Morales Sánchez, B. Miguel Hernández. **2016**. Development of an automatically deployable roll over protective structure for agricultural tractors based on hydraulic power: Prototype and first tests. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124: 46-54.
- **D. Ojados González**, B. Martín-Górriz, I. Ibarra Berrocal, A. Macián Morales, G. Adolfo Salcedo, B. Miguel Hernández. 2017 Development and assessment of a tractor driving simulator with immersive virtual reality for training to avoid occupational hazards. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143: 111-118.



AUTORIZACIÓN DE LA PRESENTACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL
POR EL DIRECTOR

D. Bernardo Martín Górriz, Profesor Titular del Área de Ingeniería Agroforestal en el Departamento de Ingeniería de los Alimentos y del Equipamiento Agrícola.

AUTORIZA

La presentación de la Tesis Doctoral titulada: **”Automatización de estructuras de protección abatibles en tractores agrícolas y desarrollo de simulador con realidad virtual inmersiva para formación e investigación de accidentes”** realizada por Dña. Dolores Ojados González, en la modalidad de compendio de publicaciones, bajo mi dirección y supervisión, en el Departamento de Ingeniería de los Alimentos y del Equipamiento Agrícola, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Cartagena.

En Cartagena, a 18 de Julio de 2018

EL DIRECTOR DE TESIS

EL DIRECTOR DE TESIS

BERNARDO|
MARTIN|
GORRIZ

Firmado digitalmente por BERNARDO|
MARTIN|GORRIZ
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=BERNARDO|MARTIN|GORRIZ,
serialNumber=██████████
givenName=BERNARDO, sn=MARTIN
GORRIZ, ou=Ciudadanos, o=ACCV, c=ES
Fecha: 2018.07.18 19:56:27 +02'00'

Fdo.: Bernardo Martín Górriz

Fdo.: Bernardo Martín Górriz

AUTORIZACIÓN DE LA PRESENTACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL
POR EL DIRECTOR

D. Isidro J. Ibarra Berrocal, Profesor Asociado del Área de Ingeniería Química en el Departamento de Ingeniería Química y Ambiental.

AUTORIZA

La presentación de la Tesis Doctoral titulada: **”Automatización de estructuras de protección abatibles en tractores agrícolas y desarrollo de simulador con realidad virtual inmersiva para formación e investigación de accidentes”** realizada por Dña. Dolores Ojados González, en la modalidad de compendio de publicaciones, bajo mi dirección y supervisión, en el Departamento de Ingeniería de los Alimentos y del Equipamiento Agrícola, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Cartagena.

En Cartagena, a 18 de Julio de 2018

EL DIRECTOR DE TESIS



Fdo.: Isidro J. Ibarra Berrocal



**CONFORMIDAD DE SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE DEPÓSITO DE
TESIS DOCTORAL POR EL/LA DIRECTOR/A DE LA TESIS**

D. Bernardo Martín Górriz y D. Isidro J. Ibarra Berrocal, Directores de la Tesis doctoral “AUTOMATIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN ABATIBLES EN TRACTORES AGRÍCOLAS Y DESARROLLO DE SIMULADOR CON REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA PARA FORMACION E INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES”

INFORMA:

Que la referida Tesis Doctoral, ha sido realizada por **D^a. Dolores Ojados González**, dentro del Programa de Doctorado **TÉCNICAS AVANZADAS EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRARIO Y ALIMENTARIO**, dando nuestra conformidad para que sea presentada ante el Comité de Dirección de la Escuela Internacional de Doctorado para ser autorizado su depósito.

La rama de conocimiento en la que esta tesis ha sido desarrollada es:

- Ciencias
- Ciencias Sociales y Jurídicas
- Ingeniería y Arquitectura

En Cartagena, a 29 de Junio de 2018

LOS DIRECTORES DE LA TESIS

**BERNARD
O|
MARTIN|
GORRIZ**

Firmado digitalmente por
BERNARDO(MARTIN)GORRIZ
Nombre de reconocimiento (DN): cn=BERNARDO(MARTIN)
GORRIZ,
serialNumber=██████████
givenName=BERNARDO,
sn=MARTIN GORRIZ,
ou=Ciudadanos, o=ACCY, c=ES
Fecha: 2018.06.29 20:45:01
+02'00'

Fdo.: Bernardo Martín Górriz

**ISIDRO
JESUS|
IBARRA|
BERROCAL**

Firmado digitalmente por ISIDRO
JESUS(IBARRA)BERROCAL
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=ISIDRO JESUS(IBARRA)
BERROCAL,
serialNumber=██████████
givenName=ISIDRO JESUS,
sn=IBARRA BERROCAL,
ou=Ciudadanos, o=ACCY, c=ES
Fecha: 2018.06.29 20:41:52
+02'00'

Fdo.: Isidro J. Ibarra Berrocal

COMITÉ DE DIRECCIÓN ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO



D. Bernardo Martín Górriz y D. Isidro J. Ibarra Berrocal, Profesores de la *Universidad Politécnica de Cartagena*,

INFORMAN:

Que los artículos incluidos en la tesis doctoral titulada: “Automatización de estructuras de protección abatibles en tractores agrícolas y desarrollo de simulador con realidad virtual inmersiva para formación e investigación de accidentes”, presentada por Dña. Dolores Ojados González, bajo la dirección de los Doctores Bernardo Martín Górriz y D. Isidro J. Ibarra Berrocal engloban satisfactoriamente el trabajo de investigación relacionado con la mencionada tesis; cuyos objetivos eran:

1. Diseñar un sistema de control automático que permita el accionamiento de las estructuras de seguridad abatibles en tractores
2. Modelar y simular por inmersión en realidad virtual, la casuística posible de accionamiento del dispositivo diseñado.
3. Desarrollar un simulador de conducción con realidad virtual inmersiva para el entrenamiento de tractoristas e investigación de accidentes
4. Configurar un escenario de realidad virtual inmersiva que reproduzca un recorrido que incluya todas las actividades a realizar por un tractor real, que impliquen la necesidad de toma de decisiones en relación con la posición del arco abatible y que se pueda reproducir en el simulador de conducción.

Artículos y patente que forman parte de la tesis doctoral:

1. Ojados Gonzalez D., Martín-Górriz B., Ibarra Berrocal I., Macian Morales A., Adolfo Salcedo G., Miguel Hernandez B. 2017. Development and assessment of a tractor driving simulator with immersive virtual reality for training to avoid occupational hazards. *Computer Electronics in Agriculture* 143: 111–118; doi:10.1016/j.compag.2017.10.008
IF: 2.27, AGRICULTURE MULTIDISCIPLINARY, Q1, 6/56.

2. Ojados Gonzalez D., Martín-Górriz B., Ibarra Berrocal I., Miguel Hernandez B., Caro García F., Morales Sanchez P. 2016. Development of an automatically deployable roll over protective structure for agricultural tractors: Prototype and first tests. *Computer Electronics in Agriculture* 124: 46-54. doi:10.1016/j.compag.2016.03.027.

IF: 1.892 (2015), AGRICULTURE MULTIDISCIPLINARY, Q1, 8/57.

3. Ibarra Berrocal I., Martín Gorriz B., Ojados Gonzalez D., Miguel Hernandez B., Caro Garcia F., Morales Sanchez P., Morente Sánchez A. 2015. Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas. Patente ES2452489. Universidad Politécnica de Cartagena.

Los artículos 1 y la patente de invención (3) recogen los resultados y conclusiones en relación a los objetivos 1 y 2. El artículo 2 recogen los resultados y conclusiones en relación a los objetivos 3 y 4. Por tanto, atendiendo a la calidad y contenido de estas publicaciones, se considera oportuno presentar esta tesis doctoral en la modalidad de "compendio de publicaciones".

Cartagena, 21 de junio de 2018

EL DIRECTOR DE TESIS

BERNARDO|
MARTIN|
GORRIZ

Firmado digitalmente por BERNARDO
MARTIN GORRIZ
Nombre de correo electrónico: B.M.
G@UPC-CTG.ES
Fecha: 2018.06.21 19:48:27 +0200

Fdo.: Bernardo Martín Górriz

EL CODIRECTOR

ISIDRO JESUS|
IBARRA|
BERROCAL

Firmado digitalmente por ISIDRO JESUS
IBARRA BERROCAL
Nombre de correo electrónico: I.B.
B@UPC-CTG.ES
Fecha: 2018.06.21 20:45:27 +0200

Fdo.: Isidro J. Ibarra Berrocal

D. Bernardo Martín Górriz, Catedrático del area de Maquinaria Agrícola en el Departamento de Ingeniería de los Alimentos y el Equipamiento Agrícola y D Isidro J Ibarra Berrocal profesor asociado del área de Ingeniería Química en el Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

DECLARAN SU CONFORMIDAD CON :

La presentación de la Tesis Doctoral titulada: **"Automatización de estructuras de protección abatibles en tractores agrícolas y desarrollo de simulador con realidad virtual inmersiva para formación e investigación de accidentes"**_por parte de_ Dña Dolores Ojados González, en la modalidad de compendio de publicaciones, bajo nuestra dirección y supervisión, habiéndolo sido su aportación en la patente y los artículos que la componen de imprescindible relevancia.

En Cartagena, a 12 de Julio de 2018

LOS DIRECTORES DE TESIS

**BERNARD
O|MARTÍN
GORRIZ**

Firmado digitalmente por
BERNARDO|MARTIN|GORRIZ
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=BERNARDO|MARTIN|
GORRIZ,
serialNumber= [REDACTED],
givenName=BERNARDO,
sn=MARTIN GORRIZ,
ou=Ciudadanía, o=ACCV, c=ES
Fecha: 2018.07.14 08:30:12
+02'00'

Fdo. : Bernardo Martín Górriz

**ISIDRO
JESUS|
IBARRA|
BERROCAL**

Firmado digitalmente por ISIDRO
JESUS|IBARRA|BERROCAL
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=ISIDRO JESUS|IBARRA|
BERROCAL,
serialNumber= [REDACTED],
givenName=ISIDRO JESUS,
sn=IBARRA BERROCAL,
ou=Ciudadanía, o=ACCV, c=ES
Fecha: 2018.07.13 09:09:50 +02'00'

Fdo. : Isidro J Ibarra Berrocal

**FRANCISCO DE ASIS|
ARTES|HERNANDEZ**
2018.07.16 12:38:32
+02'00'

VºBº Francisco Artés Hernández

Coordinador del Programa de Doctorado TAIDA

CONFORMIDAD DE DEPÓSITO DE TESIS DOCTORAL
POR LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA

D. Francisco Artés Hernández, Presidente de la Comisión Académica del Programa TÉCNICAS AVANZADAS EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRARIO Y ALIMENTARIO.

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada, "AUTOMATIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN ABATIBLES EN TRACTORES AGRÍCOLAS Y DESARROLLO DE SIMULADOR CON REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA PARA FORMACION E INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES", ha sido realizada, dentro del mencionado Programa de Doctorado, por D^a Dolores Ojados González, bajo la dirección y supervisión de los Drs. Bernardo Martín Górriz e Isidro J. Ibarra Berrocal.

En reunión de la Comisión Académica, visto que en la misma se acreditan los indicios de calidad correspondientes y la autorización de los Directores de la misma, se acordó dar la conformidad, con la finalidad de que sea autorizado su depósito por el Comité de Dirección de la Escuela Internacional de Doctorado.

La Rama de conocimiento por la que esta tesis ha sido desarrollada es:

- Ciencias
- Ciencias Sociales y Jurídicas
- Ingeniería y Arquitectura

En Cartagena, a 3 de Julio de 2018

EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA



FRANCISCO DE ASIS|
ARTES|HERNANDEZ
2018.07.03 13:31:16
+02'00'

Fdo: Francisco Artés Hernández

COMITÉ DE DIRECCIÓN ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Sra. Dña. Dolores Ojados González

Visto el informe favorable del Director de Tesis y el Vº Bº de la Comisión Académica del Programa de Doctorado “Técnicas Avanzadas en Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario” para la presentación de la Tesis Doctoral titulada: **“Automatización de estructuras de protección abatibles en tractores agrícolas y desarrollo de simulador con realidad virtual inmersiva para formación e investigación de accidentes”** solicitada por DÑA. DOLORES OJADOS GONZALÉZ, el Comité de Dirección de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Politécnica de Cartagena, en reunión celebrada el 25 de julio de 2018, considerando lo dispuesto en el artículo 23 del Reglamento de Estudios Oficiales de Doctorado de la UPCT, aprobado en Consejo de Gobierno el 17 de diciembre de 2015,

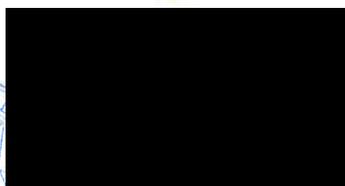
ACUERDA

Autorizar la presentación de la Tesis Doctoral a Dña. Dolores Ojados González Maté en la modalidad de “compendio de publicaciones”.

Contra el presente acuerdo, que no agota la vía administrativa, podrá formular recurso de alzada ante el Sr. Rector-Magnífico de la Universidad Politécnica de Cartagena, en el plazo de un mes a partir de la notificación de la presente.

Cartagena, 25 de julio de 2018

EL DIRECTOR DE LA ESCUELA
INTERNACIONAL DE DOCTORADO



Fdo.: Pablo S. Fernández Escámez



A Candela, luz de mi vida

Agradecimientos

Al Instituto de Seguridad y Salud Laboral (ISSL) de la Región de Murcia, por confiar en los investigadores de la UPCT que hemos participado en este proyecto.

En especial, agradecer a Francisco Periago Jiménez, Antonio Morente Sánchez, M^a Ángeles Villanueva Río y Tomás López Fuentes su iniciativa y éxito en conseguir que la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, a través de la Dirección General de Trabajo, subvencionara gran parte de la investigación desarrollada en esta tesis doctoral.

A mis directores de tesis, los Drs. Bernardo Martín Górriz e Isidro Jesús Ibarra Berrocal, gracias por hacer posible este trabajo de investigación, por transmitirme vuestros conocimientos y por vuestra incondicional ayuda y continuo apoyo. Bernardo, eres lo mejor.

A los miembros del Grupo Nuevos Dispositivos de Seguridad en Máquinas, en especial, a Álvaro Macián, Gustavo A. Salcedo y Beatriz Miguel, por su entrega y entusiasmo en este trabajo y en todo lo que desarrollamos juntos. Sin vosotros, esto no habría sido posible.

A los alumnos a los que he dirigido, desde mi labor docente, proyectos relacionados con esta línea de investigación, Antonio Puche, Andrés Guasp, Pedro Morales y Pedro Garre.

A mi compañero en el SEDIC, Héctor Flores, mi mano derecha, por estar siempre al quite, aguantar mi mal humor y tener siempre una sonrisa para los momentos de agobio.

A mis compañeros del SAIT, por el trabajo diario compartido.

A los amigos con los que siempre y para todo puedo contar.

A toda mi familia, de origen y elegida, por ser y por estar. Gracias hermanos, cuñados, sobrinos, suegros, Tinini... por acompañarme en el camino.

A Isidro y Lucía, a quienes su padre y yo deseamos ver felices, superándose y superándonos en objetivos y metas alcanzadas. Siempre nos tendréis.

A mis padres, por enseñarme el valor de las cosas conseguidas con esfuerzo y por ser ejemplo de tesón y buen hacer. A Pepe Ojados Roca, el mejor profesor que ha tenido y tendrá la UPCT y el mejor padre que se puede tener. A mi madre, que siempre me acompaña, que si hubiera nacido en este tiempo habría sido Doctora Ingeniera y más allá, una gran mujer que NUNCA se rindió y esa ha sido mi mejor lección de vida aprendida.

A Isidro, por su impulso, su apoyo, su confianza y su amor. Por ser siempre mi “mucho más”, mucho más que mi pareja, mi compañero, mi amigo, mi jefe, mi director de tesis, el padre de mi hija...

A mi hija, a quien pido perdón, por las ausencias debidas a mi dedicación a este trabajo y aún así me da siempre lo mejor de mi día a día. Gracias infinitas por ello.

Candela, eres el motor de mi vida, la gran persona que todos los días me pone delante que “La vida es bella”.



Índice	Pag. 1
Índice de Figuras	Pag. 7
Índice de Tablas	Pag. 11
Resumen	Pag. 13
Abstract	Pag. 15
Introducción y Objetivos	Pag. 17
Capítulo 1. Estado del Arte	Pag. 21
1. Introducción	Pag. 23
2. Accidentes de trabajo	Pag. 24
2.1. Definición Legal	Pag. 24
2.2. Definición Técnico-preventiva de accidente de trabajo	Pag. 25
2.3. Definición Legal versus definición Técnico-preventiva	Pag. 26
2.4. Principales factores que posibilitan los accidentes	Pag. 27
2.5. La seguridad en el trabajo	Pag. 28
2.6. Incidencia de los accidentes de trabajo en la agricultura	Pag. 29
3. Estabilidad frente al vuelco y prevención del riesgo de vuelco	Pag. 30
3.1. Introducción	Pag. 30
3.2. Estabilidad frente al vuelco	Pag. 31

3.3.	Factores de inestabilidad	Pag. 33
3.3.1.	Inclinación	Pag. 34
3.3.2.	Irregularidades en el terreno.....	Pag. 35
3.3.3.	Aperos	Pag. 35
3.3.4.	Efecto palanca	Pag. 36
3.3.5.	Fuerza centrífuga	Pag. 37
3.3.6.	Rotación del eje trasero	Pag. 37
3.3.7.	Aceleración brusca	Pag. 38
3.4.	Prevención del riesgo de vuelco	Pag. 38
3.4.1.	Causas del vuelco	Pag. 39
3.4.2.	Medidas preventivas	Pag. 41
3.4.3.	Normas de seguridad en la conducción del tractor	Pag. 42
3.5.	El tractor agrícola frutero	Pag. 46
4.	Herramientas para el diseño, escaneado, texturizado y renderizado	Pag. 47
4.1.	Solidworks 2014	Pag. 47
4.1.1.	El software Solidworks	Pag. 48
4.1.2.	Características de Solidworks	Pag. 48
4.1.3.	Módulos de Solidworks	Pag. 50
4.1.3.1.	Módulo de pieza (Part Design)	Pag. 51
4.1.3.2.	Módulo de ensamblaje (Assembly Design)	Pag. 51
4.1.3.3.	Módulo de plano o dibujo (Drawing Design)	Pag. 52
4.2.	Autodesk 3D Studio Max	Pag. 52
4.2.1.	Características de Autodesk 3D Studio Max	Pag. 53
4.2.1.1.	Modelado	Pag. 53
4.2.1.2.	Texturizado	Pag. 54
4.2.1.3.	Iluminación y cámaras	Pag. 55
4.2.1.4.	Animación	Pag. 56
4.2.1.5.	Renderizado	Pag. 57
4.3.	Freemake Video Converter	Pag. 57
5.	Realidad Virtual	Pag. 58
5.1.	Realidad Virtual aplicada a la PRL	Pag. 59
5.2.	Unity y su utilización	Pag. 60
BIBLIOGRAFÍA	Pag. 66

Capítulo 2. Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas Pag. 69

Documento estado de la técnica patente	Pag. 71
Documento registro patente	Pag. 93
Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas	Pag. 95
Sector de la técnica	Pag. 96
Antecedentes de la invención	Pag. 96
Descripción de la invención	Pag. 100
Breve descripción de los dibujos	Pag. 102
Ejemplo de montaje	Pag. 103
Reivindicaciones	Pag. 103
Documento explotación de la patente	Pag. 109

Capítulo 3. Desarrollo de un sistema hidráulico automático para el despliegue del arco de seguridad en tractores agrícolas:

Prototipo y primeros ensayos Pag. 115

Artículo original. Development of an automatically deployable roll over protective structure for agricultural tractors based on hydraulic power: Prototype and first tests. <i>Computers and Electronics in Agriculture</i> , 124: 46-54	Pag. 117
--	----------

Desarrollo de un sistema hidráulico automático para el despliegue del arco de seguridad en tractores agrícolas:	
Prototipo y primeros ensayos	Pag. 127
Resumen	Pag. 127

1.	Introducción	Pag. 128
2.	Materiales y Métodos	Pag. 130
2.1.	Requerimientos de diseño	Pag. 130
2.2.	Algoritmo de control	Pag. 131
2.3.	Subsistema de control electrónico	Pag. 132
2.4.	Subsistema hidráulico	Pag. 135
2.5.	Evaluación económica	Pag. 136
3.	Evaluación de prototipo	Pag. 138
3.1.	Prueba de dispositivo electrónico en tractor a escala	Pag. 138
3.2.	Ensayos del tiempo despliegue de HydraROPS	Pag. 138
3.3.	Ensayos del dispositivo electrónico en un tractor real	Pag. 139
4.	Resultados y discusión	Pag. 139
4.1.	Ensayo del dispositivo electrónico en el tractor a escala	Pag. 139
4.2.	Ensayo del circuito hidráulico	Pag. 140
4.3.	Ensayo del dispositivo electrónico en el tractor real	Pag. 141
4.4.	Tiempo de implementación de la ROPS	Pag. 141
5.	Conclusiones	Pag. 142
	Agradecimientos	Pag. 143
	BIBLIOGRAFÍA	Pag. 143

Capítulo 4. Desarrollo y evaluación de un simulador de conducción de tractores basado en la realidad virtual inmersiva para entrenar y evitar riesgos laborales	Pag. 145
--	-----------------

Artículo original. Development and assessment of a tractor driving simulator with immersive virtual reality for training to avoid occupational hazards.

Computers and Electronics in Agriculture, 143: 111-118.

Pag. 147

Desarrollo y evaluación de un simulador de conducción de tractores basado en la realidad virtual inmersiva para entrenar y evitar riesgos laborales

Pag. 155

Resumen

Pag. 155

1. Introducción

Pag. 156

2. Materiales y métodos

Pag. 157

2.1. Simulador de conducción de tractor

Pag. 157

2.1.1. *Diseño del tractor virtual*

Pag. 157

2.1.2. *Diseño del escenario para conducción virtual*

Pag. 159

2.1.3. *Plataforma de simulación de movimiento*

Pag. 160

2.1.4. *Integración de todos los componentes*

Pag. 162

2.2. Evaluación de los usuarios

Pag. 164

2.3. Análisis de datos

Pag. 166

3. Resultados y discusión

Pag. 166

3.1. Características de los participantes

Pag. 166

3.2. Resultados con el simulador de conducción de tractor

Pag. 167

3.3. Resultados relativos a la percepción del riesgo y la seguridad

Pag. 169

3.4. Opinión sobre la experiencia

Pag. 170

4. Conclusiones

Pag. 171

Agradecimientos

Pag. 172

BIBLIOGRAFÍA

Pag. 172

Conclusiones

Pag. 175

Índice de Figuras

Capítulo 1.

Figura 1. Índices de incidencia de accidentes con baja en jornada de trabajo según sección de actividad (avance enero-agosto 2017). (M E 2018).....	Pag. 30
Figura 2. Módulos de Solidworks.....	Pag. 51
Figura 3. Interfaz de Unity.....	Pag. 62
Figura 4. Vista de la escena de Unity.....	Pag. 62
Figura 5. Ventana de jerarquía.....	Pag. 63
Figura 6. Ventana del inspector.....	Pag. 63
Figura 7. Barra de herramientas.....	Pag. 64
Figura 8. Asset Store.....	Pag. 64

Capítulo 2.

Figura 1. Muestra la vista en perspectiva del sistema incluyendo en el dibujo el anclaje al chasis del vehículo agrícola (3), el pistón hidráulico (2) y el arco de seguridad (1).....	Pag. 105
Figura 2. Se muestra el arco completamente desplegado con el pistón hidráulico completamente abierto, quedando el arco a 90 grados de la horizontal. Entrabado en esta posición.....	Pag. 106
Figura 3. Se muestra el arco en su posición de reposo, con el pistón hidráulico cerrado, quedando la barra lateral del arco de seguridad a 25 grados de la horizontal.....	Pag. 106
Figura 4. En esta figura se representa el sistema eléctrico que controla el circuito hidráulico y que integra los componentes de alarma y registro comentados en la descripción anterior. En ella se puede distinguir el interruptor de encendido	

general (1), el cual no será accesible al trabajador, el interruptor para funcionamiento manual con vuelta a 0 (2) y el conmutador para funcionamiento manual (3). Además de esto se representan los relés de estado sólido (4), (5) y (6) que representan respectivamente el de carga de acumulador, elevación rápida y el de carga y zumbador..... Pag. 107

Figura 5. Montaje completo del dispositivo en vista lateral, estando el dispositivo de despliegue del arco de seguridad y todo el conjunto de elementos fijados al chasis del vehículo agrícola, mediante pernos roscado..... Pag. 108

Capítulo 3.

Figura 1. Diagrama esquemático de los dos modos posibles de funcionamiento del HydraROPS..... Pag. 132

Figura 2. Arquitectura del sistema HydraROPS. Pag. 133

Figura 3. Diagrama de flujo para el algoritmo utilizado por el microcontrolador.... Pag. 134

Figura 4. Circuito hidráulico de HydraROPS..... Pag. 136

Figura 5. Componentes hidráulicos y electrónicos de HydraROPS instalados en un tractor Case 2120V. (a) panel de accionamiento manual, (b) caja electrónica, (c) cilindro hidráulico, (d) circuito electrohidráulico de HydraROPS, (e) acumulador de presión, (f) protección exterior..... Pag. 137

Figura 6. Tractor Case 2120V con prototipo HydraROPS instalado. (a) ROPS en posición retraída (b) ROPS en posición desplegada..... Pag. 137

Figura 7. (a) tractor a escala, (b) plataforma de ensayos..... Pag. 139

Figura 8. Ángulo de vuelco frontal e índice de estabilidad durante las pruebas de campo..... Pag. 141

Figura 9. Ángulo de vuelco lateral e índice de estabilidad durante las prueba de campo..... Pag. 142

Capítulo 4.

Figura 1.a. Tractor CASE IH-2120.....	Pag. 158
Figura 1.b. Modelo 3D del tractor CASE IH-2120.....	Pag. 158
Figura 2. Modelado 3D de algunos componentes: a) eje trasero con ruedas; b) eje delantero; c) rueda delantera.....	Pag. 158
Figura 3. Modelo 3D de los componentes de la ROPS. (izquierda) posición vertical, (derecha) posición horizontal.....	Pag. 159
Figura 4. Plano de la ruta diseñada dentro del escenario virtual.....	Pag. 161
Figura 5. Plataforma de simulación. (izquierda) vista frontal, (derecha) vista lateral.....	Pag. 162
Figura 6. Voluntario conduciendo la plataforma de simulación de movimiento.....	Pag. 163
Figura 7. Pantalla que se muestra al finalizar la prueba con los resultados obtenidos.....	Pag. 164
Figura 8. Número de errores en la activación del arco según grupo. Las barras representan la media \pm desviación estándar. Las letras diferentes indican que existieron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).....	Pag. 168

Índice de Tablas

Capítulo 3.

Tabla 1. Tiempo de despliegue del HydraROPS montado en el tractor Case 2120V..... Pag. 140

Capítulo 4.

Tabla 1. Características de los participantes..... Pag. 167

Tabla 2. Resultados obtenidos en el simulador de conducción del tractor por grupos..... Pag. 167

Tabla 3. Resultados en relación con la percepción del riesgo y la seguridad..... Pag. 169

Tabla 4. Opiniones sobre la experiencia..... Pag. 171

Resumen

Un uso inadecuado de la estructura de protección antivuelco desplegable (ROPS) en los tractores agrícolas contribuye a las muertes que se producen en los accidentes por vuelco de tractor, y que son la principal causa de muerte en el sector agrícola. Para ayudar a resolver este problema, se ha diseñado, construido y ensayado una estructura de protección desplegable automáticamente. En el prototipo, denominado HydraROPS, se establecieron dos niveles de asistencia para la elevación del arco de seguridad plegable. En el primer nivel, cuando el conductor decide cambiar la posición del arco de seguridad, realiza la activación manual del dispositivo. En el segundo nivel, la activación automática del despliegue del arco de seguridad se realiza sin la intervención del conductor. En este nivel, se envía automáticamente un mensaje telefónico con la ubicación del GPS para contactar al personal de emergencias. La potencia hidráulica del tractor se ha utilizado para activar la estructura de protección. Para aumentar la velocidad de despliegue de la estructura de protección se incluyó un acumulador de presión en el circuito hidráulico. El tiempo de despliegue del arco de seguridad sin el acumulador de presión fue de 2,599 s y con el acumulador de presión fue de 0,743 s. Los resultados de los ensayos muestran que incluir el acumulador de presión en el circuito hidráulico reduce el tiempo de despliegue de la ROPS en un 71%; y que el sistema de control electrónico puede predecir correctamente el vuelco. HydraROPS tiene la ventaja, en comparación con otros dispositivos de despliegue automático de estructuras de protección, que se puede instalar en tractores equipados con una estructura de protección de vuelcos certificada. La instalación en modelos comerciales de tractores no modifica la estructura de protección; por lo tanto, no es necesaria una nueva certificación de la estructura de protección.

Por otra parte, cuando los conductores hacen una mala utilización del arco antivuelco (ROPS), éste se transforma en un dispositivo ineficiente como sistema de protección contra el vuelco. Para resolver este problema, se plantea el desarrollo y evaluación de un simulador de conducción de tractores en los que está integrado el HydraROPS descrito, utilizando para ello la realidad virtual inmersiva. El simulador se

ha destinado al entrenamiento de los conductores de manera que su uso permita minimizar el riesgo por vuelco. En el sector agrícola, los simuladores de conducción de tractores pueden ser de utilidad para entrenar a los conductores en situaciones de riesgo que no son factibles de reproducir en un entorno real debido al alto riesgo de vuelco. El simulador incluye una plataforma de movimiento que se ha ajustado para esta aplicación en particular, que ha sido utilizada para formar a tractoristas en técnicas de conducción seguras. Los resultados de este estudio han permitido sugerir que los participantes con conocimientos sobre seguridad en el trabajo cometen menos errores en la utilización adecuada de la ROPS. Para reducir las consecuencias de los accidentes por vuelco de tractor en el sector agrícola, es esencial promover la realización de actividades formativas encaminadas a evitar una mala utilización de la ROPS. Después de la experiencia de conducción del tractor con el simulador, se ha comprobado que la percepción del riesgo y la seguridad aumentaron para todos los participantes, pero aumentó más significativamente para los usuarios no habituados a la conducción de tractores. El uso del simulador de conducción del tractor se describe como una experiencia positiva para todos los grupos de participantes estudiados ya que les puede ayudar a conducir con mayor seguridad, y sienten que necesitan más programas de formación en seguridad en el trabajo.

Abstract

An inadequate use of the deployable Roll Over Protective Structure (ROPS) in agricultural tractors contributes to fatalities in rollover events. To help to resolve this problem, an automatically deployable ROPS was designed, constructed and tested. The prototype, called HydraROPS, established two assistance levels for the elevation of the foldable ROPS. In the first level, the driver decides to change the ROPS' position and this change is made using the manual activation on the board. In the second level, an automatic change to the operative position occurs in situations of impending rollover, without the intervention of the driver. In this level, it automatically sends a phone message with the GPS location to contact emergency response personnel. The tractor's hydraulic power was used to move the protective structure. In order to increase the deployment speed of ROPS, a pressure accumulator was included in the hydraulic circuit. The deployment time of the ROPS without the pressure accumulator was 2.599 s and with the pressure accumulator 0.743 s. The results of the research show that the pressure accumulator assembled in the hydraulic circuit reduced the deployment time of ROPS by 71%; and that the electronic control system can correctly predict overturn. HydraROPS has the advantage compared to other automatic deployment devices of protective structures that can be installed on tractors equipped with a certified rollover protective structure. The installation in marketable tractor models does not modify the protection structure; therefore a new certification of the protection structure is not necessary.

Tractor overturns are the leading cause of fatalities in the agricultural sector. When drivers misuse the foldable roll over protective structure (ROPS) in tractors, it becomes highly inefficient as a rollover protection system. To solve this problem, the purpose of the present paper is to detail the development and assessment of a tractor driving simulator with immersive virtual reality for training to minimize this risk. In the agricultural sector, tractor driving simulators make it possible to train drivers in risk situations that are not feasible in the real field due to the high risk of roll over. The simulator includes a motion platform for this particular application.

The findings of this study suggest that participants with safety knowledge make fewer errors in deploying the ROPS.

To reduce the consequences of tractor accidents in the agricultural sector, the promotion of training courses is essential to avoid the misuse of the ROPS. On the contrary, the perception of risk and safety increased after the tractor driving simulator experience for all of the participants but increased significantly more so for nonfrequent users of tractors. All of the groups of participants reported that the use of the tractor driving simulator was a positive experience because it can help them to drive more safely, and they feel that they need more training programmes in occupational safety.

Introducción y Objetivos

El vuelco de tractores que no están dotados de estructura de protección o que, incluso estando dotados de ella, no la mantienen en su posición segura, supone, aún hoy en día, la principal fuente de accidentes graves en la agricultura.

Las instituciones públicas encargadas técnicamente de velar por el desarrollo e implantación de medidas de seguridad y salud en el trabajo tienen dos ámbitos de actuación: la Administración General del Estado, cuyo principal organismo es, el hasta hace poco más de un año denominado Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) y hoy denominado Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo (INSSBT); y las Comunidades Autónomas, que asumieron las competencias en trabajo, donde este instituto tiene su réplica a menor escala en cada una de ellas.

Estos organismos, albergan, a través de su cualificado personal técnico, un elevadísimo conocimiento sobre riesgos en el trabajo y las formas más adecuadas para eliminarlos o en caso de no ser posible, reducirlos y controlarlos.

Una de las principales maneras en que los técnicos de estas administraciones colaboran en el desarrollo de medidas preventivas es a través de la redacción de unos documentos que reciben el nombre de Guías Técnicas de Prevención (GTP) y que se suelen desarrollar, en muchas ocasiones para documentar y apoyar técnicamente algún nuevo Real Decreto en materia de prevención. En la etapa de mayor proliferación de la normativa en materia de PRL que fue la segunda parte de la década de los 90, era frecuente encontrar en los RRDD un encargo directo del legislador dirigido al INSHT para que se ocupase de redactar este tipo de documento que facilitara el adecuado cumplimiento de la norma, estos documentos se denominan Notas Técnicas de Prevención (NTP).

Las NTP, son una herramienta parecida a las guías pero de carácter más reducido y dirigidas a un tema muy concreto que puede formar parte de un todo mayor pero que merece una especial atención debido a la incidencia de los riesgos que conlleva o a la gravedad de los accidentes que una utilización inadecuada de ese recurso

podiera suponer. Se trata pues de una guía de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es siempre conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

El presente trabajo pretende encontrar soluciones técnicas, viables en el siglo XXI, para mejorar las condiciones de trabajo de los conductores profesionales de un tractor agrícola o de los agricultores que lo utilizan como parte de sus tareas de trabajo habituales. Para ello se ampara en el apartado “e” del artículo 15 sobre principios de la actividad preventiva de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995 que dice textualmente **“Tener en cuenta la evolución de la técnica”**.

El objetivo general de esta Tesis Doctoral es la ampliación del conocimiento técnico-científico sobre los dispositivos de control automático utilizados en estructuras de protección abatibles adelantadas en tractores agrícolas y el desarrollo de un simulador de conducción con realidad virtual inmersiva para el entrenamiento de tractoristas.

En base al objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Estudiar los sistemas comerciales disponibles en el mercado de ROPS para tractores, analizar las soluciones tecnológicas de los mismos y las causas de su falta de implantación.
2. Proponer y diseñar un sistema de control automático para el accionamiento de las estructuras de seguridad abatibles en tractores proporcionando una solución técnica que permita la automatización de los sistemas manuales existentes:
 - 2.1. Desarrollar un sistema de medida que permita conocer las condiciones de seguridad en las que se encuentra el tractor en todo momento.
 - 2.2. Desarrollar un dispositivo capaz de avisar al conductor del tractor de cada nueva situación de riesgo.
 - 2.3. Desarrollar un dispositivo capaz de llevar la ROPS a una posición de seguridad cuando el vuelco sea inminente.

- 2.4. Incorporar en el dispositivo un sistema que comunique las coordenadas del lugar en el que se ha producido el accidente.
- 2.5. Registrar en una tarjeta de memoria todos los episodios de activación y desactivación del arco, incluidos los ángulos, velocidades y aceleraciones.
3. Modelar y simular mediante software de análisis funcional, la casuística posible de accionamiento del dispositivo diseñado.
4. Construir, una vez optimizado, el sistema a escala de prototipo, e instalar en tractores de explotaciones colaboradoras.
5. Realizar el seguimiento de las unidades instaladas, para mejorar el dispositivo antes de construirlo a escala comercial.
6. Presentar un dispositivo para la automatización de las estructuras de protección abatibles adelantadas en tractores agrícolas, que pueda ser comercializable a un coste razonable para los usuarios.
7. Desarrollar un simulador de conducción con realidad virtual inmersiva para el entrenamiento de tractoristas e investigación de accidentes.
8. Configurar un escenario de realidad virtual inmersiva que reproduzca un recorrido que incluya todas las actividades a realizar por un tractor real, que impliquen la necesidad de toma de decisiones en relación con la posición del arco abatible y que se pueda reproducir en el simulador de conducción.
9. Evaluar la utilidad de la herramienta formativa en una población que incluya a los trabajadores del sector, a especialistas en seguridad y a personas completamente ajenas a la agricultura y la seguridad.

Capítulo 1.

Estado del Arte

1. Introducción

Para realizar el presente trabajo se ha tenido que profundizar en el estudio de conceptos que pertenecen a áreas de conocimiento muy diversas con la finalidad de conseguir encontrar el mejor modo de cumplir con los objetivos que se han planteado.

El primero de los conceptos en el que se tuvo que profundizar fue el de accidente de trabajo. En realidad, el hecho de que se produzcan accidentes en el sector estudiado es lo que ha generado la necesidad de buscar soluciones técnicas que lo eviten o lo minimicen.

El agente material que provoca el tipo de accidente del que se ocupa este trabajo es el tractor agrícola que según el Reglamento (UE) nº 167/2013 se define como: “todo vehículo agrícola o forestal de ruedas u orugas, de motor, con dos ejes al menos y una velocidad máxima de fabricación igual o superior a 6 km/h, cuya función resida fundamentalmente en su potencia de tracción y que esté especialmente concebido para arrastrar, empujar, transportar y accionar determinados equipos intercambiables destinados a usos agrícolas o forestales, o arrastrar remolques o equipos agrícolas o forestales; puede ser adaptado para transportar cargas en faenas agrícolas o forestales y estar equipado con uno o varios asientos de pasajeros”. Este vehículo, que supuso una importante revolución en el sector de la agricultura, en una de sus posibles versiones, el llamado tractor frutero, que es un tipo de tractor sin cabina con estructura de protección abatible, es el agente material que más accidentes graves con consecuencias mortales produce.

Otro aspecto muy a tener en cuenta en este trabajo fue todo lo relativo a la estabilidad de este tipo de vehículos, se tuvo que invertir mucho tiempo en conocer las características físicas de este equipo de trabajo y los riesgos relacionados con las tareas en las que estaría implicado aquel trabajador que necesitase utilizarlo y que podrían llevarle a sufrir el fatal accidente.

El área de conocimiento de diseño gráfico, constituye otra fuente de información y conocimiento muy necesaria para el desarrollo de esta tesis, concretamente, todo aquello que está relacionado con la utilización de los nuevos paquetes informáticos

capaces de revelar y aportar, tras el análisis, los datos relevantes cuando se realizaran las simulaciones de funcionamiento del equipo de trabajo y los dispositivos de seguridad que se propondrán. Se incluyen aquí necesidades de diseño, escaneado y/o modelado 3D, texturizado, renderizado y animación.

Para poder crear los escenarios de Realidad Virtual en los que permitir a los usuarios relacionarse y así capacitarse como conductores de un vehículo tan peculiar como es un tractor, se tuvo que profundizar en todo lo relativo a la Realidad Virtual Inmersiva y el uso de simuladores de conducción que fueran compatibles con los escenarios creados y con la física propia de funcionamiento del tractor. En este apartado se han empleado también algunas herramientas estadísticas básicas para el análisis de la eficacia de las nuevas soluciones formativas propuestas.

2. Accidentes de trabajo

2.1. Definición Legal

Según la Ley de Seguridad Social se define accidente de trabajo como toda lesión corporal que el trabajador sufre con ocasión o a consecuencia del trabajo que ejecuta por cuenta ajena. Según la Ley de Prevención de Riesgos Laborales se incluyen dentro de la definición de accidente de trabajo las enfermedades, patologías o lesiones sufridas con motivo u ocasión del trabajo.

Si se atiende a la primera de las definiciones se presenta en ella un aspecto legal que debe ser tenido en cuenta ya que, tan solo se consideran accidentes de trabajo aquellos que se producen cuando se trabaja por cuenta ajena. En el sector agrario es frecuente que las explotaciones sean mantenidas y explotadas por trabajadores autónomos.

Ha sido inusual hasta hace muy pocas fechas que existieran trabajadores por cuenta ajena y por tanto, los accidentes con tractores sufridos por trabajadores autónomos o jubilados han sido excluidos de las estadísticas sistemáticamente durante años. Para contrarrestar este problema, ha habido varios intentos, por parte del personal técnico de los Institutos de Seguridad y Salud de las Comunidades Autónomas de realizar estadísticas paralelas que permitiesen visibilizar la importancia y la

incidencia de este tipo de accidentes que “aparecen en las noticias” y no tienen reflejo en los datos oficiales.

2.2. Definición Técnico-preventiva de accidente de trabajo

Desde un punto de vista técnico, la definición, como cabría esperar, no distingue el tipo de situaciones contractuales: Es un suceso anormal que se presenta de forma brusca e inesperada, normalmente evitable, que interrumpe la continuidad del trabajo, puede causar o no lesiones a las personas y genera pérdidas económicas.

Esta definición ayuda mucho más a centrar la atención en la magnitud del problema, para conseguir que se cumplan los objetivos planteados en el trabajo. Por ello se discute a continuación cada uno de los aspectos de este enunciado y su relevancia.

“Se trata de un suceso anormal” esta frase obliga a discernir y definir, en relación con los equipos de trabajo, los lugares y las tareas que se realicen, aquello que se realizará con la suficiente frecuencia para ser considerado normal y aquellas situaciones, que por ser inesperadas o muy poco frecuentes pasan a ser consideradas como anormales. Cualquier solución que trate de evitar la aparición o minimizar las consecuencias de un accidente debería tener en cuenta los sucesos anormales, buscando soluciones técnicas viables incluso para ellas.

“Se presenta de forma brusca e inesperada” Esta frase exige a plantear soluciones técnicas que estén activadas en todo momento monitorizando las condiciones normales y sus desviaciones, de modo que cuando se superen los umbrales establecidos se accionen de forma aún más rápida que se desencadene el accidente. Por decirlo de otro modo, en caso de accidente, aunque el operario no esté pendiente, por no tratarse de un hecho habitual, el equipo, o el lugar o la máquina estarán dotados de dispositivos que sí que lo estén.

“Normalmente evitable” La expresión invita al investigador a buscar las posibles alternativas con las que el suceso se hubiera podido evitar. Tan solo hay unas pocas situaciones que por su carácter imprevisible y extremadamente aleatorio podrían quedarse fuera de la búsqueda de soluciones. Ejemplos de situaciones no evitables podrían ser el impacto de un rayo durante una tormenta o un movimiento de tierras.

Afortunadamente, también en estas áreas se ha avanzado mucho y el ser humano se acerca con rapidez a la predicción de este tipo de acontecimientos.

“Interrumpe la continuidad del trabajo” Cualquier accidente altera el desarrollo normal de las tareas, en este sentido se puede aprovechar el acontecimiento y la discontinuidad generada para saber más sobre el accidente pero, sobre todo, para darse tiempo y tener controlados todos los aspectos que influyeron antes de reanudar el trabajo.

“Puede causar o no lesiones a las personas” La frase permite explicar un tipo de acontecimientos que escaparían si se atendiera exclusivamente a la definición legal, se trata de lo que se conoce como incidente. Es una situación cuya definición es idéntica a la de accidente, excepto lo relativo a la lesión en las personas. Estos acontecimientos, desde un punto de vista técnico no deberían ser pasados por alto. En el ámbito de las buenas prácticas, deben ser analizados e investigados como si se hubiese producido el daño ya que aportan pistas de las disfunciones existentes en el ambiente en el que se produjeron, pudiendo provenir de cualquiera de los agentes intervinientes o de una inadecuada interacción entre todos ellos.

“Genera pérdidas económicas” Aunque la principal pérdida y de valor incalculable sería la de una vida humana, se deben cuantificar también el resto de pérdidas que se producen como consecuencia de un accidente y que van a permitir justificar la inversión en nuevas soluciones que, no pudiendo evitar el accidente que las originó, sí que puedan servir para evitar que aquel desgraciado acontecimiento se pudiera repetir.

2.3. Definición Legal versus definición Técnico-preventiva

Aunque parecen caminos separados, los aspectos relacionados con los accidentes, desarrollados a nivel técnico y legal por las sociedades que han dado importancia a la salud y seguridad de los individuos que las componen, han servido y siguen sirviendo para avanzar en la mejora de las condiciones de trabajo. Así, una nueva disposición legal o la modificación de la redacción de una ley ya existente, obliga a los técnicos a adaptar los desarrollos para conseguir su cumplimiento.

Del otro lado, cualquier avance técnico que viene a resolver o disminuir la incidencia de un tipo de accidente, una vez haya sido presentado a la comunidad científica y se haya contrastado su verdadera eficacia, tardará poco tiempo en ser adoptado por la comunidad y, caso de observarse resistencia en su implantación o en los casos en que garanticen una mayor seguridad, será objeto del desarrollo de normativa específica que asegure su implantación.

Es cierto que del mismo modo que la publicación de una Ley obliga desde ese instante a su cumplimiento, el desarrollo de una mejora técnica puede pasar años sin implementarse. La principal razón de que esto sea así suele ser que existe una amplia tradición de utilizar el agente material cuyo funcionamiento se puede mejorar y que la adopción de la mejora requiere de grandes cambios en la cultura, en las técnicas de fabricación y en el comportamiento de los individuos. Aparecen siempre en estas situaciones, individuos, grupos y empresas que se resisten a la adopción de la novedad apoyados en una resistencia que se basa en el acomodamiento y que han integrado el accidente como un hecho común con el objeto que lo causa. La tardanza en la adopción de las medidas de seguridad conocidas técnicamente se elimina en el momento en que se legisla y se lleva a las sociedades hacia un escenario de no retorno. Nadie en las sociedades modernas es capaz de imaginar un coche sin limpiaparabrisas y en el caso de los más jóvenes, un coche sin airbag.

Las motivaciones legales y técnicas deben complementarse de la forma más eficiente para garantizar que el aprendizaje sobre los accidentes ya acaecidos se traduzca en un verdadero conocimiento y la adopción de medidas técnicas capaces de evitar que éste se vuelva a repetir.

2.4. Principales factores que posibilitan los accidentes

De entre todos los factores que pueden favorecer que se produzca un accidente se resaltan a continuación los siguientes por tratarse de los que se encuentran más habitualmente cuando se investiga uno de ellos:

- Limitada conciencia social y empresarial de las pérdidas humanas y económicas que suponen.
- Condiciones materiales y/o medioambientales de trabajo.
- Entorno físico desordenado o mal organizado.
- Tensas relaciones humanas en el lugar de trabajo.
- Deficiencias de organización.
- Comportamiento humano.

2.5. La seguridad en el trabajo

El conjunto de técnicas y procedimientos que tienen por objeto eliminar o disminuir el riesgo de que se produzcan los accidentes de trabajo recibe el nombre de seguridad del trabajo.

La seguridad agrupa dos tipos de técnicas, las analíticas y las operativas. Las técnicas analíticas consisten en identificar y evaluar los riesgos asociados a cualquier actividad o en la investigación de los accidentes para aprender de los errores acaecidos en una situación anterior que evite su repetición. Las técnicas operativas sirven para controlar los riesgos asociados a las mismas.

Las técnicas analíticas pueden ser previas o posteriores al accidente e inciden en la detección de los peligros, la búsqueda y determinación de los factores de riesgo, la evaluación de los riesgos y en el caso de que el análisis fuera reactivo, la investigación de las causas.

Respecto a las técnicas operativas de seguridad se resumen en las siguientes actividades:

- La prevención con la que se consigue eliminar o disminuir los riesgos en su origen.
- La protección, que puede diferenciarse como colectiva o individual y que minimiza las consecuencias del accidente.
- La normalización que sirve para regular el comportamiento humano seguro.

- La señalización, utilizada para indicar, advertir, prohibir, etc. sobre determinados factores de riesgo.
- La formación e información que resultan imprescindibles siempre para asegurar la eficacia de las otras técnicas y para que las personas actúen de forma segura.

2.6. Incidencia de los accidentes de trabajo en la agricultura

El último dato disponible en el Ministerio de Empleo sobre estadísticas de accidentes, corresponde al periodo enero-agosto 2017 en el que se produjeron un total de 385.417 accidentes de trabajo con baja, de los cuales 333.993 ocurrieron durante la jornada laboral y 51.424 fueron accidentes in itinere (M E, 2018). Asimismo, se notificaron 488.321 accidentes sin baja ocurridos durante el periodo de referencia.

En relación al mismo periodo del año anterior, se observó un aumento del 5,7% en el total de accidentes con baja. De ellos, los producidos en jornada registraron un ascenso del 5,6% y los accidentes in itinere aumentaron un 5,9%. Los accidentes sin baja notificados subieron un 1,2%.

Lamentablemente, el sector de la agricultura, es uno de los primeros en cuanto a la incidencia de la accidentalidad laboral como se puede apreciar en la Figura 1.1.

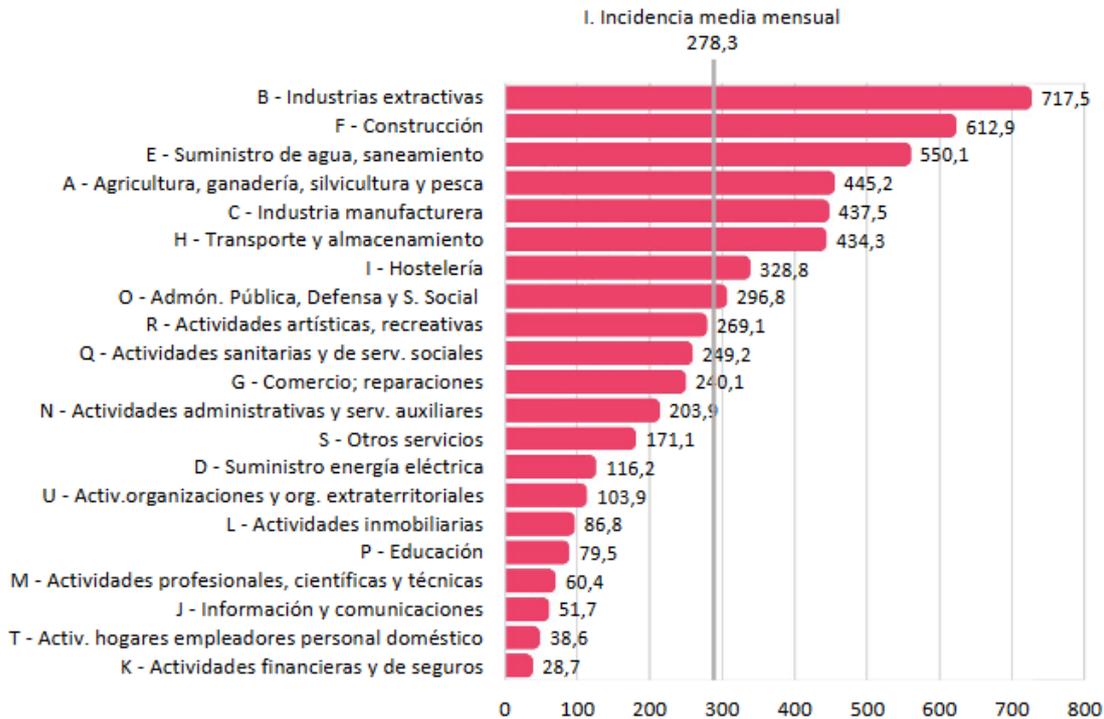


Figura 1. Índices de incidencia de accidentes con baja en jornada de trabajo según sección de actividad (avance enero-agosto 2017). (M E 2018).

El análisis que se puede hacer de este dato refleja la necesidad de desarrollar nuevas medidas tanto analíticas como operativas que faciliten y mejoren las condiciones de trabajo y contribuyan a disminuir la incidencia de los accidentes en el sector.

3. Estabilidad frente al vuelco y prevención del riesgo de vuelco

3.1. Introducción

Se resumen a continuación los aspectos más relevantes que se deben tener en cuenta para prevenir el riesgo de vuelco en tractores contenidos en las dos notas técnicas de prevención (NTP) que están hoy vigentes en relación con este asunto:

NTP 1.086. Tractor agrícola: estabilidad frente al vuelco.

NTP 1.087. Tractor agrícola: prevención del riesgo de vuelco.

Las dos notas han sido redactadas por el técnico del Centro Nacional de Medios de Protección del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) D. Rafael Cano Gordo y explican, de la mejor manera posible, los aspectos técnicos a tener en cuenta y que fueron aportados por D. Antonio Morente Sánchez, Director de Seguridad y Formación del Instituto de Seguridad y Salud Laboral (ISSL) de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM), que fue el técnico designado por esa institución para acompañar y asesorar a los investigadores de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) tras el encargo que realizó el entonces Director del ISSL de la Región de Murcia D. Tomás Lopez Fuentes a la UPCT, allá por el año 2012 con el único fin de encontrar y desarrollar soluciones y estrategias capaces de disminuir la incidencia tan elevada y de consecuencias tan graves de este tipo de accidentes en la Región de Murcia, en España y en todos los países del arco mediterráneo.

3.2. Estabilidad frente al vuelco

La estabilidad del tractor, como la de cualquier otro objeto, depende de la posición de su centro de gravedad y de la extensión de la zona de estabilidad, que en su caso son características específicas de su diseño.

Si se compara con otro tipo de vehículos, como automóviles o camiones, el centro de gravedad de un tractor está situado en una posición más elevada respecto al suelo ya que las tareas para las que está diseñado así lo requieren. Concretamente se necesita mayor altura libre sobre el terreno para poder acometer las tareas específicas de la agricultura y poder desenvolverse adecuadamente por un terreno mucho más irregular que una carretera o camino. Una mayor altura del centro de gravedad convierte a este vehículo en un objeto mucho más inestable frente al riesgo de vuelco.

Para la mayoría de los tractores, el centro de gravedad suele estar situado entre los ejes delantero y trasero, más cerca de éste último y ligeramente por encima del plano de ambos ejes. Al tratarse de un vehículo simétrico si se mira de frente, es previsible que el centro de gravedad se encuentre situado en el plano transversal

medio del mismo. Así, cuando un tractor está apoyado en una superficie plana, las líneas imaginarias que unen los puntos de contacto de los neumáticos con la superficie del suelo delimitan la zona de estabilidad (base de apoyo) del tractor que tendrá forma de trapecio siendo la línea que conecta los neumáticos traseros la línea de estabilidad trasera, mientras que las líneas que conectan los neumáticos traseros y delanteros en el mismo lado son las líneas de estabilidad laterales.

La extensión de la zona de estabilidad está determinada por los valores de la distancia entre los ejes del tractor y del ancho de vía de cada eje. Teniendo en cuenta esta información, se considera que el vehículo estará estable, si la proyección vertical del centro de gravedad queda dentro de la zona de estabilidad definida. Por tanto, y a modo de ejemplo, un tractor con valores más elevados de ancho de vía y distancia entre ejes, como puede ser un tractor provisto de neumáticos anchos y ruedas dobles, será más estable porque presentará mayor extensión en su zona de estabilidad.

Si se analiza la estabilidad partiendo desde esa postura apoyado en una superficie plana, cualquier cambio que conlleve que la posición relativa del centro de gravedad se aproxime a una de sus líneas de estabilidad significa que el tractor se está desplazando hacia una posición más próxima a la inestabilidad. Cuando la proyección del centro de gravedad traspasase las líneas de estabilidad laterales se produciría el vuelco lateral y cuando se traspasase la línea de estabilidad trasera el vuelco sería hacia atrás. Siguiendo con este razonamiento, cuando se trabaje en terrenos inclinados, un tractor será más estable cuanto menor sea la altura del centro de gravedad y cuanto más adelantado se encuentre en relación al eje trasero en relación con el vuelco hacia atrás.

Para determinadas tareas se requiere que los tractores sean aún más estrechos (ancho de vía reducido) lo que los hace más inestables que los convencionales frente al vuelco lateral, en otras ocasiones se utilizan tractores especialmente altos que reciben el nombre de tractores zancudos (altura libre aumentada) que se caracterizan por una posición de su centro de gravedad especialmente elevada.

Para determinar la probabilidad de vuelco del tractor es imprescindible conocer su comportamiento en condiciones estáticas y dinámicas ya que, además de los factores que caracterizan el comportamiento estático del tractor, deben tenerse en cuenta aquellos otros que afectan a su estabilidad dinámica: la velocidad, el estado del terreno, las vibraciones y los centros de gravedad de los equipos acoplados al tractor. El grado de estabilidad instantáneo se debe calcular teniendo en cuenta por tanto los aspectos estáticos y dinámicos.

En resumen, la estabilidad del tractor en lo relativo a la estática dependerá de la inclinación del terreno mientras que la dinámica está influida por la velocidad, las vibraciones y las propiedades del terreno por el cual se transita.

3.3. Factores de inestabilidad

Algunos de los factores que pueden llevar a un tractor a situaciones de inestabilidad posibles precursoras de un vuelco son:

- Circular sobre una superficie inclinada.
- Transitar sobre un terreno irregular o inestable (cerca de límites de terrazas).
- Llevar acoplado un apero.
- Efecto palanca.
- La acción de la fuerza centrífuga en giros y cambios de dirección.
- La rotación del eje trasero del tractor.
- Aceleraciones bruscas.

Para valorar la influencia de estos factores se debe prestar atención a una serie de variables o indicadores de vuelco que están relacionados, bien con el propio tractor, bien con los aperos que se le hayan acoplado.

En lo relativo al diseño del tractor, las variables a tener en cuenta, algunas de las cuales ya se han mencionado, son las siguientes:

- Peso del tractor.
- Altura del centro de gravedad.
- Distancia entre ejes del tractor.

- Distancia entre el centro de gravedad y el eje trasero.
- Distancia entre el centro de gravedad y el eje delantero.
- Ancho de vía del eje trasero.
- Ancho de vía del eje delantero.
- Distancia entre el punto de enganche y el eje trasero.
- Altura de la barra de tiro.
- Momentos de inercia.

En cuanto al apero, las variables a tener en cuenta serán:

- Fuerza de tiro.
- Ángulo de tiro.
- Peso del equipo acoplado.
- Distancia entre el centro de gravedad del apero y el eje trasero del tractor

3.3.1. *Inclinación*

Así cuando se circule por una superficie inclinada y en la dirección en la que aumenta la pendiente del terreno, la inestabilidad se alcanzará conforme se vaya aproximando el centro de gravedad a la línea de estabilidad del eje trasero. Conforme la pendiente aumente habrá un determinado ángulo en el que la rueda delantera comience a perder el contacto con el suelo. En ese instante el momento de vuelco y el de recuperación estarán igualados alcanzándose lo que se conoce como equilibrio inestable. Ese momento en que se igualan los momentos recibe el nombre del ángulo límite y cuando se supera se produce el vuelco hacia atrás.

A mayor altura del centro de gravedad y menor distancia entre el centro de gravedad y el eje trasero, más facilidad de que se alcance el ángulo límite.

Cuando este mismo fenómeno se produce en una situación de inclinación lateral, el centro de gravedad estará más próximo a una de las dos líneas de estabilidad laterales, la que queda más baja en relación con la inclinación del tractor. A partir de aquí el razonamiento es el mismo, superado el ángulo límite que tiene que ver

con esta nueva posición relativa se producirá el vuelco, esta vez lateral, del tractor.

Los factores que afectan en este caso son un menor ancho de vía y una mayor altura del centro de gravedad.

Cuando se trabaja en planos inclinados, hay dos factores externos al tractor que se deben tener en cuenta, el primero disminuye el riesgo de vuelco y se basa en el uso de aperos que queden hundidos en la tierra, por ejemplo cuando se está labrando, en cuyo caso el tractor tiene más dificultad para volcar por quedar en cierto modo anclado al terreno, y bajar su centro de gravedad. El otro aspecto, que va en contra de la estabilidad, es la disminución en la adherencia del terreno, por ejemplo en suelos arcillosos empapados.

3.3.2. Irregularidades en el terreno

Los baches, huecos, pedruscos, tocones, la proximidad a las terrazas, las zanjas o las acequias son elementos presentes habitualmente en un terreno agrícola que, cuando el tractor pasa sobre ellas, pueden hacerlo desequilibrarse y volcar.

Todos estos elementos, en la medida que representan un cambio de nivel para uno de los puntos de apoyo del vehículo, pueden suponer que el centro de gravedad del tractor se salga de la superficie de estabilidad. Se debe tener en cuenta que estos elementos, muchas veces, coinciden con que el terreno se encuentra inclinado, lo que aumenta aún más la inestabilidad al sumarse ambos factores.

3.3.3. Aperos

Los acoplamientos de aperos se pueden realizar en la parte frontal del vehículo, por ejemplo una pala, o en la parte trasera, por ejemplo una cuba o en la parte lateral, por ejemplo un arado lateral. En las tres situaciones el centro de gravedad, ahora del conjunto formado por el tractor y el apero, puede llegar a situarse más próximo a los límites de estabilidad. Los factores a tener en cuenta

en estas circunstancias son el peso y el centro de gravedad del apero que se acople al tractor.

Una vez más se debe sumar la posibilidad de que se combinen el riesgo debido a la utilización de los aperos con los riesgos descritos en los subapartados 3.3.1 y 3.3.2.

3.3.4. Efecto palanca

Tiene que ver con las situaciones en las que se está remolcando una carga o aplicando la fuerza del tractor para mover elementos del terreno, por ejemplo para arrancar un árbol. En esas situaciones el tractor tiene que vencer una fuerza que tire de él hacia abajo y hacia atrás. Los factores que aumentan la inestabilidad favoreciendo así el vuelco son, la masa de la carga y el ángulo de aplicación de la fuerza de tiro. Cuanto mayores sean ambos factores más inestabilidad se aportará a la maniobra.

Cuando se diseña un tractor, el punto de enganche se calcula para evitar el vuelco hacia atrás cuando se remolcan cargas, es por ello que, en caso de tener que hacer actividades nunca se debe anclar en otro lugar que no sea ese.

Obviamente cuando se acomete la ascensión de un plano inclinado con un enganche se habrá producido un efecto ya explicado en 3.3.3, asimismo cuando se acopla la carga en un punto elevado aumentan el ángulo de tiro y el apalancamiento de la carga, fenómenos ambos que favorecen el vuelco hacia atrás.

Existen situaciones en las que se puede producir un vuelco por una situación instantánea como puede ser el hecho de arrastrar una carga circulando demasiado rápido y que ésta se clave en el terreno generando un efecto de tracción tan rápido y fuerte que el momento generado ocasione el vuelco hacia atrás.

3.3.5. Fuerza centrífuga

Cuando el tractor realiza trayectorias que implican un radio de giro, interviene la fuerza centrífuga que puede llegar a forzar un vuelco lateral, su valor se puede calcular a partir de la masa o peso del tractor, el radio de curvatura y la velocidad con la que se realiza el giro. Su valor es mayor cuanto mayor es la masa del tractor e inversamente proporcional al radio de giro, en curvas más cerradas. Así mismo su valor aumenta con el cuadrado del valor de la velocidad con la que se realiza el giro. Por ejemplo si se entra en una curva 4 veces más rápido la fuerza centrífuga es 16 veces más alta.

Las actividades en las que interviene la fuerza centrífuga para generar un vuelco no se limitan al giro, también se debe considerar en las maniobras bruscas para recuperar la dirección cuando el conductor aprecia, tras un despiste, que se está saliendo o en el caso en el que se trata de recuperar la estabilidad tras un reventón.

En superficies inclinadas o cuando se están manejando aperos que aproximan el centro de gravedad a los límites de estabilidad, la fuerza centrífuga necesaria para que se produzca un vuelco puede ser muy pequeña.

3.3.6. Rotación del eje trasero

En tractores con tracción en el eje trasero, el movimiento se consigue mediante la transmisión de la potencia del motor a ese eje generando una fuerza de rotación que es transformada en desplazamiento. Si los neumáticos traseros quedaran bloqueados en el terreno, el eje trasero no podría girar y se produciría un fenómeno conocido como encabritamiento que consiste en que el chasis del tractor rote alrededor de dicho eje hasta que el centro de gravedad llegue a traspasar la línea de estabilidad trasera. Se estima que la posición de no retorno se alcanza en 0,75 segundos y que el vuelco tiene lugar en 1,5 segundos. Este valor de tiempo puede ser aún menor cuando el tractor está estancado en un hoyo profundo o está subiendo por una pendiente pronunciada.

Para los tractores con tracción en las cuatro ruedas las posibilidades de sufrir una rotación del eje trasero es mucho menor porque la transmisión del movimiento se aplica en los dos ejes.

3.3.7. Aceleración brusca

El efecto de este factor, sin ser nombrado ya fue explicado al final del apartado 3.3.4, consiste en que cuando el tractor es sometido a una aceleración, puede llegar a alcanzar un valor suficiente para que el momento de vuelco generado por la fuerza de avance supere el momento de recuperación debido al peso del tractor. En este instante el tractor dejaría de apoyarse en las ruedas delanteras e iniciaría el vuelco hacia atrás girando en el punto de apoyo de las ruedas traseras.

3.4. Prevención del riesgo de vuelco

Para evaluar un tractor como agente material cuya utilización pueda ser generadora de riesgos, se deben estudiar y conocer las causas de vuelco y los factores que pueden aumentar la gravedad de las lesiones. Para la identificación del peligro de vuelco deben considerarse las características del tractor, de los equipos acoplados, del entorno de trabajo y del conductor, así como las que se derivan de la interacción entre ellas.

En virtud del artículo 18 del Reglamento (UE) nº 167/2013, los fabricantes se asegurarán que los tractores cumplan los requisitos relativos a la seguridad laboral establecidos en dicho artículo. Cuando un tractor no dispone de la estructura de protección (ROPS) que evite el giro de más de 90° en caso de vuelco se puede ocasionar un accidente muy grave por aplastamiento del conductor. La estructura no evita el vuelco pero sí minimiza la gravedad de las lesiones evitando el aplastamiento. Otro posible accidente es aquel en el que el tractorista, llevando la estructura de protección activada, no utiliza el cinturón de seguridad que le sirve para estar dentro del volumen de seguridad que genera la ROPS.

Suele suceder que este tipo de accidentes se produce en lugares apartados y transcurre bastante tiempo entre el accidente y la activación del plan de emergencias, lo cual agrava las consecuencias del accidente.

3.4.1. *Causas del vuelco*

Además de las causas que tienen que ver con los factores de seguridad que se resumieron en el apartado 3.3 y que se encuentran perfectamente descritos en la NTP 1086 del INSHT, existen otras causas que deben ser tenidas en cuenta para conseguir los objetivos planteados en el presente trabajo. Deben tenerse en cuenta como posibles causas de accidente, la falta de formación del agricultor en relación con este equipo de trabajo y las deficiencias en el mantenimiento, en especial de las estructuras de protección. En el extremo, se han detectado algunos agricultores que desmontan la estructura de protección por resultar incómoda para las tareas de producción. Otros factores que, de no estar bien mantenidos, pueden generar un vuelco son los fallos técnicos en el sistema de frenado, en las ruedas, el embrague, la transmisión o la dirección.

Para el vuelco lateral, las posibles causas más frecuentes en relación con el trabajo en terrazas o en desnivel son:

- Circular en el límite de una terraza.
- Realizar actividades agrícolas en la proximidad de un desnivel para aprovechar al máximo el suelo de cultivo.
- Transitar entre parcelas a distinto nivel utilizando los taludes de separación.

En cuanto a las pendientes se debe evitar:

- Circular a velocidad excesiva en la bajada de pendientes, en particular, transportando remolques cargados.
- Utilizar tractores de bajo ancho de vía.

- Girar el tractor de forma incorrecta en los cambios de sentido de la marcha.

El vuelco también se puede producir trabajando en llano, las maniobras y actuaciones a evitar en este caso son:

- Pasar con alguna de las ruedas por encima de prominencias o depresiones del terreno.
- Los excesos de velocidad en zonas con terreno irregular, y en particular, transportando aperos pesados o palas cargadas y elevadas.
- Frenar bruscamente cuando se circule a velocidad alta.
- Frenar bruscamente cuando se transporten remolques excesivamente cargados, en particular en curvas.
- Voltrear aperos reversibles a la vez que se efectúen giros en los cambios de sentido de la labor.
- Girar el tractor de forma brusca a velocidad alta.

Para evitar un vuelco hacia atrás en terrenos con pendientes, los actos o maniobras que no se deberían realizar son:

- Subir por pendientes pronunciadas.
- Cambiar la dirección de marcha ejecutando un giro cerrado para subir una pendiente.

El vuelco también se puede producir trabajando en llano, las maniobras y actuaciones a evitar en este caso son:

- Acoplar aperos por encima del punto de enganche.
- No lastrar correctamente el eje delantero del tractor.
- Desequilibrar el tractor enganchando aperos no adecuados.
- Iniciar la marcha del tractor acelerando y embragando de forma brusca.

- Forzar el tractor acelerando y embragando bruscamente en sentido de la marcha hacia delante cuando se sufre un atasco o se encuentra en el terreno una resistencia elevada.

3.4.2. Medidas preventivas

Si se quiere utilizar un tractor en una explotación agrícola para aprovechar las importantes ventajas que este equipo de trabajo aporta, dada la imposibilidad de eliminar los riesgos, se debe aplicar el segundo principio de la actividad preventiva que consiste en la disminución del riesgo eligiendo para cada condición de trabajo, los equipos, en este caso los tractores, más adecuados. Así, conocidos los requerimientos de una explotación agraria, en la selección del tractor ya se puede tener en cuenta además de los criterios productivos, aquellos que tienen que ver con la seguridad de quien lo conduce. Son variables muy a tener en cuenta el peso de la carga que se habrá de transportar así como los aperos que se tendrán que emplear a lo largo del ciclo productivo.

Controlar los riesgos implica asegurar la formación de los conductores, no solo en relación con la utilización de la máquina, también en todo lo relativo a su estabilidad física estática y dinámica. Se deberían de escribir y asegurar el conocimiento de procedimientos de trabajo seguros que incluyeran una definición inequívoca del modo de actuar en las distintas situaciones que se han ido describiendo, especialmente en las más peligrosas como pueden ser giros en pendiente o remolcado de cargas, o la más sencilla de todas, asegurar que el conductor de tractores dotados de ROPS, sepa que tan solo lo puede llevar en posición horizontal cuando esté trabajando entre arbolado o interfiera con la estructura del invernadero o de la cochera donde permanece mientras no se utiliza.

Para mejorar la estabilidad del tractor, los fabricantes posibilitan, a través de sus talleres de mantenimiento, la modificación del ancho de vía, cuando las tareas sean menos exigentes a la posición de seguridad o la incorporación de contrapesos cuando se emplean aperos.

Es también importante la conservación, el mantenimiento y la limpieza del suelo de las parcelas y de los caminos, básicamente eliminando piedras y tocones, rellenando baches y hoyos y asegurando acequias o laderas de cultivos en terraza.

Otro aspecto muy a tener en cuenta es la formación del conductor, más allá de la formación en seguridad vial, que también hay que abordar, se debe incidir en la necesaria para operar una máquina aparentemente sencilla pero que, según las tareas que realice, puede resultar muy compleja, sobre todo cuando se trabaje con equipos acoplados. La formación o capacitación se debe de realizar con el tractor que se vaya a trabajar para garantizar una buena adaptación al mismo. Una alternativa posible es la utilización de simuladores de conducción del propio tractor tan extendidos en otras áreas y tan poco frecuentes en esta.

Alguno de los factores casi siempre presentes en los accidentes son el exceso de confianza, la prisa o la distracción. Se debe comprobar la capacidad del agricultor de no verse influenciado por ellos.

Por último, es necesario resaltar la importancia de un adecuado mantenimiento del vehículo que garantice en todo momento un buen estado de funcionamiento previniendo así averías que favorezcan y aumenten la posibilidad del vuelco. Se deben evitar neumáticos desgastados y se debe mantener la limpieza de mandos y pedales. Es importante cuidar y conservar el manual de instrucciones del vehículo porque contiene las referencias más adecuadas en relación con el mantenimiento. Es obligatorio que el tractor esté al día de las inspecciones técnicas de vehículos establecidas por el organismo competente en industria.

3.4.3. Normas de seguridad en la conducción del tractor

Se presentan a continuación, de forma literal, las normas de seguridad en la conducción del tractor, que se recogen en la NTP 1087.

Para evitar el vuelco lateral

El tractor debe circular siempre respetando una distancia de seguridad que lo separe de aquellas zonas que presenten desniveles (zanjas, canales, acequias, taludes, cunetas, lindes a distinto nivel, etc.). También debe preverse un espacio suficientemente amplio en caso de maniobrar cerca de un desnivel. Ante la posibilidad de derrumbamiento del terreno, debe mantenerse una distancia de seguridad que depende de la consistencia del suelo y de la altura del desnivel. Debe desconfiarse siempre de los bordes cubiertos de vegetación.

La circulación entre parcelas a distinto nivel debe hacerse siempre por accesos adecuados construidos a tal fin, y nunca remontando o descendiendo el talud o pared de desnivel, por pequeño que sea éste.

Antes de iniciar un giro o el descenso por una pendiente, arrastrando un remolque cargado u otro equipo, hay que tener la precaución de poner la marcha más corta con objeto de no perder el control de la dirección y evitar los cambios de marcha y los frenados bruscos con el riesgo de empuje del remolque o equipo que puede llegar a volcar el tractor lateralmente. Circunstancia que se propicia si el sistema de frenado del tractor/remolque está desfasado o no está conectado. Durante la circulación por carretera también se evitarán los frenazos bruscos por las razones expuestas anteriormente.

En terreno con pendiente, al realizar cambios en el sentido de la marcha, habrá que maniobrar lentamente de forma tal que la parte delantera del tractor quede situada siempre en la parte más baja del terreno. Para efectuar el cambio de sentido en un terreno con pendiente debe girar el tractor en sentido descendente, dar marcha atrás según la dirección de máxima pendiente y volver a girar el tractor en sentido descendente para continuar en el sentido opuesto.

Debe tenerse en cuenta el desequilibrio del tractor originado cuando las ruedas circulen sobre resaltes, como piedras, toperas y tocones, o entren en depresiones del terreno, como baches y hoyos. En estas circunstancias, se debe adecuar la

velocidad del tractor al estado del terreno. Debe circularse a velocidad moderada para evitar que el tractor rebote cuando el terreno es irregular.

En circulación normal durante un desplazamiento, los pedales de freno deberán llevarse acoplados mediante el cerrojo de bloqueo para conseguir que las ruedas traseras frenen a la vez. El tractor puede volcar si se produce un frenado descompensado en las ruedas.

Al realizar labores de arado, se evitará el volteo del apero reversible a la vez que gira el tractor en los cambios de sentido de la labor.

La fuerza centrífuga actuante cuando el tractor circula por una curva puede desequilibrarlo y ocasionar un vuelco lateral. Por ello, debe evitarse tanto la excesiva velocidad al tomar una curva como los giros bruscos para cambiar la dirección o el sentido de circulación. Los giros deben ser amplios y a velocidad reducida. En particular, estas observaciones deben considerarse cuando el tractor circula con equipos suspendidos o remolcados y sobre suelos desfavorables (por ejemplo, resbaladizos).

La conducción sobre suelos resbaladizos a velocidad excesiva puede provocar que el tractor se precipite por un desnivel existente en las proximidades y vuelque.

Cuando el tractor con equipos acoplados lateralmente circula por una pendiente, dichos equipos deben estar orientados hacia la parte superior de la pendiente y situados lo más próximo posible al suelo.

Para evitar el vuelco hacia atrás

No se debe remolcar una carga acoplada en el punto más alto del enganche tripuntal del tractor. Debe utilizarse la barra de tiro.

Cuando el tractor remolca una carga o lleva un equipo suspendido en la parte trasera, se colocarán contrapesos en la parte delantera para mejorar la estabilidad del tractor. Al situar un apero suspendido en una cota alta, se eleva y

atrás la posición del centro de gravedad del tractor. El lastrado mediante contrapesos situados en la parte delantera del tractor consigue bajar la posición del centro de gravedad y desplazarla hacia el eje delantero y por tanto mejorar la estabilidad frente al vuelco hacia atrás. Debe comprobarse que el lastrado es el adecuado para cada situación de trabajo consultando el manual de instrucciones del equipo acoplado.

Los equipos acoplados deben ser adecuados al tractor en cuanto a su peso y dimensiones de forma que no ofrezcan excesiva resistencia al avance del tractor generando un momento de vuelco.

La velocidad del tractor debe aumentarse gradualmente, sin aceleraciones bruscas.

Cuando el tractor sufra un atasco debido al estado del terreno (por ejemplo, terreno embarrado), no intentar sacarlo colocando calzos en las ruedas motrices para mejorar la tracción, tales como tablones, troncos, piedras, etc., ni forzar el tractor acelerando bruscamente, pues si se procede así es fácil que el tractor vuelque hacia atrás. Si el tractor está atascado, se debe intentar liberarlo dando marcha atrás. Si esta acción no funciona, se empleará otro tractor de potencia suficiente para tirar marcha atrás del tractor atascado.

Igualmente, cuando en trabajos de laboreo se encuentre una resistencia acusada en el terreno que impida la marcha normal del tractor, no forzarlo acelerando y embragando bruscamente. Conviene a este respecto utilizar aperos con disparo automático.

En el caso de iniciarse la elevación de la parte delantera del tractor (encabritamiento) se deberá desembragar inmediatamente para que el tractor vuelva a su posición segura. Se evitará la subida de pendientes acentuadas, sobre todo transportando aperos pesados suspendidos o remolques muy cargados.

Un tractor (sólo o con equipo suspendido en la parte trasera) debe subir una pendiente marcha atrás y bajarla marcha adelante. Por el contrario, si el equipo

está acoplado en la parte delantera, el tractor debe subir la pendiente marcha adelante y bajarla marcha atrás.

Utilización del cargador frontal

La elevación de la pala del cargador frontal desplaza el centro de gravedad hacia adelante y hacia arriba reduciendo la estabilidad y aumentando el riesgo de vuelco.

Debe utilizarse el contrapeso recomendado cuando el tractor trabaja con un cargador frontal.

Colocar la carga transportada tan cerca como sea posible del suelo antes de iniciar el desplazamiento. Si la parte trasera del tractor llega a levantarse, la pala tocará el suelo antes de que el tractor vuelque.

Verificar la ausencia de obstáculos, depresiones o desniveles en el suelo. Los desplazamientos y giros deben efectuarse a baja velocidad. Antes de efectuar un giro se bajará la pala cargada. Debe evitarse bajar una pendiente con la pala cargada.

3.5. El tractor agrícola frutero

En la zona mediterránea y más concretamente en el área de cultivo de frutales de clima templado los cultivos leñosos suponen aproximadamente 4.8 millones de hectáreas, el 28% de la superficie agrícola útil. Los cultivos leñosos exigen una serie de condicionantes como son:

- Las características de los tractores que se utilizan en plantaciones leñosas están condicionados por los marcos de plantación.
- Estos marcos no son iguales en todas las especies cultivadas, depende de las especies vegetales y de las características de clima y suelo de la zona considerada.
- El marco de plantación debe permitir que se puedan realizar las operaciones de cultivo interfila cuando los arboles alcanzan la edad adulta.

La mecanización de las labores en los cultivos frutales exige tractores que permitan el acceso por calles estrechas y a su vez demandan potencias elevadas para ciertas labores como tratamientos fitosanitarios. Los tractores estrechos, comúnmente llamados tractores fruteros o viñeros, de pequeña dimensión permiten su tránsito por las calles de cultivos leñosos, como frutales o viñas. De acuerdo con las Directivas Comunitarias 86/298 y 87/402 tienen una distancia libre al suelo inferior a 600 mm, y una anchura máxima de 1.150 mm (INSL, 2001). El mayor riesgo asociado al uso de este tipo de tractores estrechos es el riesgo de vuelco lateral que se explica por su menor distancia entre ejes.

4. Herramientas para el diseño, escaneado, texturizado y renderizado

A nivel de empleo de programas de diseño, el proyecto se puede dividir en 2 fases: la primera, el modelado, la segunda, el texturizado y la animación. Para cada una de las fases se utilizan distintos software: Solidworks 2014 para el modelado y Autodesk 3D Studio Max para el texturizado y animación.

4.1. Solidworks 2014

Para la ejecución de esta fase de la tesis doctoral se ha estudiado la idoneidad de uso de diferentes programas de Diseño: CATIA V5 o Solidworks. Tanto uno como el otro son de Dassault Systèmes, pero tienen un perfil de usuario muy bien definido y diferenciado:

- El gran valor de Catia es que se comporta muy bien cuando existen cambios y cuando se reutilizan piezas y conjuntos de proyectos antiguos.
- La gran ayuda de Solidworks es la sencillez a la hora de diseñar y montar. También es bueno respecto al cambio, aunque en proyectos grandes, se pierde.

Catia V5 es mucho más completo en módulos, el módulo de generación de superficies de Solidworks es bastante menos potente que el de Catia V5. Tan solo ese aporte representa poder diseñar piezas más complejas y poderlas construir con fibras (vidrio, carbono, kevlar...)

Como este proyecto se centra en el diseño de piezas y maquinaria, Solidworks se consideró la herramienta más adecuada.

4.1.1. El software Solidworks

Solidworks es un programa de diseño asistido por ordenador (Computer Aided Design, CAD) para modelado mecánico, aunque también contiene módulos que integran otras aplicaciones. Es desarrollado en la actualidad por Solidworks Corporation, una subsidiaria de Dassault Systèmes (Suresnes, Francia). Es un modelador de sólidos paramétrico, que usa el kernel de modelado geométrico Parasolid (Núcleo que pertenece a Siemens PLM Software, desarrollador de SolidEdge y de NX). Fue introducido en el mercado en 1995 para competir con otros programas CAD como Pro/ENGINEER, NX, SolidEdge, CATIA, y Autodesk Mechanical Desktop.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de sus diseños 3D tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona basándose en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto en 3D. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

La empresa Solidworks Corporation fue fundada en 1993 por Jon Hirschtick con sede en Concord, Massachusetts y lanzó su primer producto, Solidworks 95, en 1995. En 1997 Dassault Systèmes, mejor conocida por su software CAD CATIA, adquirió la compañía. Actualmente posee el 100% de sus acciones y es liderada por Jeff Ray.

4.1.2. Características de Solidworks

Solidworks es una solución de diseño tridimensional completa, que integra un gran número de funciones avanzadas para facilitar el modelado de piezas, crear

grandes ensamblajes, generar planos y otras funcionalidades que le permiten validar y gestionar proyectos de forma rápida, precisa y fiable.

El software se caracteriza por su entorno intuitivo y por disponer de herramientas de diseño fáciles de utilizar, todo integrado en un único programa de diseño con más de 45 aplicaciones complementarias para facilitar el desarrollo de proyectos.

La característica que hace a Solidworks una herramienta competitiva, es su capacidad de ser paramétrico, variacional y asociativo. Utiliza además funciones geométricas inteligentes y emplea un gestor de diseño que permite visualizar, editar, eliminar y actualizar cualquier operación realizada en una pieza de manera bidireccional entre todos los documentos asociados.

Para cumplir con los objetivos de esta Tesis, se deberá elaborar una simulación que permita obtener datos dinámicos para analizar las condiciones de vuelco y la influencia de los sistemas de seguridad en el vuelco, así como el estudio de la efectividad de estos sistemas como medida de protección.

Solidworks Motion es un software de simulación y análisis cinemático y dinámico de mecanismos totalmente integrado a Solidworks, ya que se ejecuta desde su misma interfaz. Dicho software permite dotar a los ensamblajes de:

- Gravedad.
- Contactos entre componentes con diferentes propiedades de fricción y choque elástico.
- Motores.
- Fuerza.
- Amortiguadores y resortes.

De esta forma Solidworks Motion permite crear un modelo virtual de su sistema mecánico y verificar el correcto funcionamiento del mismo antes de su construcción. Esto significa una reducción importante en el número de prototipos físicos a construir y acelera el ciclo de desarrollo del producto. Además, permite

entender el funcionamiento de su diseño sin necesidad de crear ningún prototipo físico.

El análisis de movimiento de Solidworks Motion utiliza ADAMS como motor de cálculo, un software de análisis dinámico y cinemático utilizado para vehículos, lo cual es muy útil para el proyecto. El motor de ADAMS puede analizar el complejo comportamiento de ensamblajes mecánicos, realizando cálculos precisos de fuerzas, momentos, fuerzas de contacto...

Para su ejecución, en primer lugar han de definirse las relaciones de posición, contactos, fuerzas y actuadores. A continuación ha de ejecutarse el cálculo del movimiento y finalmente podrá obtenerse una animación de la simulación obtenida y los gráficos y datos de la simulación, como:

- Posición.
- Velocidad lineal y angular.
- Aceleración lineal y angular.
- Fuerzas de contacto.

Todo ello permite recrear un entorno en el que es posible observar al tractor en movimiento en diferentes situaciones hasta que se produzca el vuelco.

Por todos estos motivos se ha considerado este software como el más apropiado para el presente trabajo.

4.1.3. Módulos de Solidworks

Solidworks contiene 3 módulos principales: Pieza, ensamblaje y dibujo. La creación de un documento en cada uno de ellos genera un fichero con diferente extensión; aunque no pueda observarse, estos ficheros están vinculados. La Figura 1.2. muestra la secuencia de trabajo en Solidworks y el paso de un tipo de archivo a otro, y de un módulo a otro.

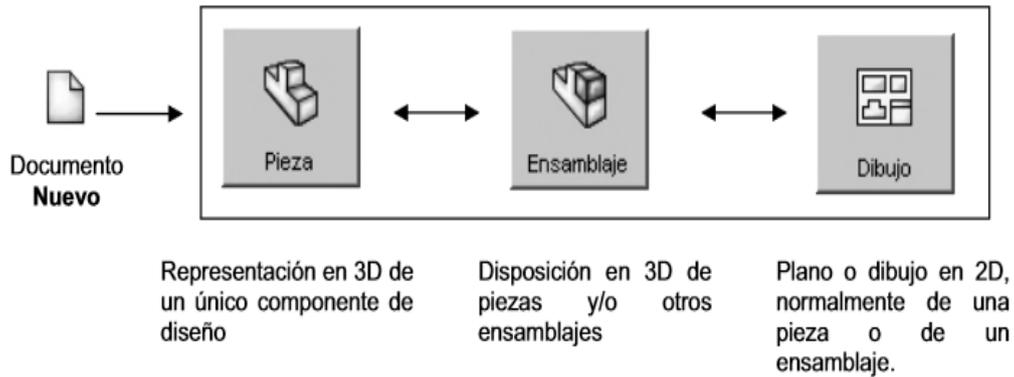


Figura 2. Módulos de Solidworks.

4.1.3.1. Módulo de pieza (Part Design)

El Módulo de Pieza constituye un entorno de trabajo donde se pueden diseñar modelos mediante el empleo de herramientas de diseño de operaciones ágiles e intuitivas. Su facilidad de uso se debe al empleo de un entorno basado en Microsoft Windows y en el empleo de funciones clásicas como arrastrar y colocar, cortar y pegar o marcar.

El conjunto de funciones e iconos permite crear modelos tridimensionales (3D) partiendo de geometrías de croquis (2D) y obtener sólidos, superficies, estructuras metálicas, piezas de chapa, piezas multicuerpo, etc.

Los modelos creados se gestionan mediante el Gestor de Diseño donde se incluyen todas las operaciones 3D y 2D utilizadas en la obtención de la pieza. Puede modificar operaciones sin necesidad de eliminar y volverlas a crear.

4.1.3.2. Módulo de ensamblaje (Assembly Design)

Para realizar un conjunto o ensamblaje se debe diseñar cada una de las piezas que lo conforman en el módulo pieza, guardar cada pieza como un fichero de pieza independiente, cada uno con un nombre, cuya extensión de archivo será *.part*.

El módulo de ensamblaje permite insertar cada una de las piezas creadas previamente de forma independiente y asignar relaciones dimensionales y geométricas de posición para definir tridimensionalmente el ensamblaje.

La creación de ensamblajes permite analizar las posibles interferencias o choques entre los componentes móviles insertados así como simular el funcionamiento del conjunto mediante motores lineales, rotativos, resortes y gravedad y evaluar la correcta cinemática del mismo.

4.1.3.3. Módulo de plano o dibujo (*Drawing Design*)

Es el tercer módulo integrado en Solidworks. Permite crear planos con las vistas de los modelos o ensamblajes prácticamente de forma automática y en muy poco tiempo. Se obtiene un dibujo técnico en 2D, normalmente a partir de una pieza o un ensamblaje ya creados desde el módulo pieza y/o el módulo ensamblaje.

La obtención de las vistas, alzado, planta y perfil y de la pieza/ensamblaje situada en perspectiva, a partir de la pieza creada previamente desde el módulo pieza, o de un ensamblaje de piezas, también definido previamente desde el módulo ensamblaje, requiere sencillamente pulsar sobre un icono o arrastrar la pieza 3D desde su ventana hasta la ventana del dibujo, indicar una serie de parámetros como la escala, posición, estilos o cortes y secciones que se precisen mostrar en las vistas, y el plano se configurará de forma muy intuitiva.

4.2. Autodesk 3D Studio Max

El Software 3D Studio Max constituye una potente herramienta para el modelado en 3D, texturizado, renderizado, animación y simulación de piezas, conjuntos y/o escenas. Se trata de un producto de Autodesk, en concreto de la división Autodesk Media & Entertainment (anteriormente Discreet).

3DS Max parte originalmente del programa 3D Studio, que desde su primera versión 1.0 hasta la 4.0 perteneció a Autodesk. Los derechos del programa fueron

comprados por Kinetix, que desarrolló lo que actualmente es 3D Studio Max como sucesor para sistemas operativos Win32 del 3D Studio creado para DOS por Autodesk. Kinetix lanzó 3 versiones desde la 1.0 hasta la 2.5 de 3D Studio Max. Más adelante, esta compañía fue fusionada con la última adquisición de Autodesk, Discreet Logic, que adquirió los derechos del programa, retomando la familia empezada por Autodesk desde la versión 4.0 hasta 6.0 también bajo el nombre de 3D Studio Max. Finalmente, Autodesk retomó de nuevo el programa desarrollándolo desde la versión 7.0 en adelante bajo el mismo nombre, hasta la versión 9. A partir de ésta, se denomina Autodesk 3d Studio Max.

3DS Max es uno de los programas de animación 3D más utilizados. Dispone de una sólida capacidad de edición, una omnipresente arquitectura de plugins y una larga tradición en plataformas de Microsoft Windows. 3D Studio Max es utilizado en mayor medida por los desarrolladores de videojuegos, aunque también en el desarrollo de proyectos de animación como películas o anuncios de televisión, efectos especiales y en arquitectura, ejemplos son las sagas ‘Tomb Raider’, ‘Splinter Cell’ y una larga lista de títulos de la empresa Ubisoft. Los resultados obtenidos en estos ámbitos, han puesto de manifiesto su amplia aplicabilidad, por lo que de un tiempo a esta parte, se está potenciando su uso en proyectos más técnicos vinculados a la Ingeniería en todas sus disciplinas.

4.2.1. Características de Autodesk 3D Studio Max

4.2.1.1. Modelado

Todos los objetos del mundo real están constituidos mediante la combinación de formas básicas como cubos, cilindros, esferas, las cuales son modificadas para conseguir la forma deseada, pasa lo mismo en 3DS Max, en donde se comienza con formas básicas, a la cuales se les pueden ir aplicando distintos modificadores, que cambian la apariencia de los mismos, se puede comenzar con un sólo objeto al cual se le pueden ir añadiendo otros objetos, o creándolos, desde el objeto base. El modelado es algo muy parecido al

proceso de escultura donde se comienza con una piedra y a ésta se le va esculpiendo y detallando, hasta obtener el resultado deseado.

No obstante muchos de los proyectos de animación realizados mediante 3DS Max, parten de modelos ya existentes creados en otros programas CAD como Solidworks, CATIA, Blender o AutoCAD. Su capacidad para reconocer geometrías modeladas en este tipo de software confiere portabilidad a los archivos generados previamente con estos programas CAD y hace de 3DS Max una herramienta muy versátil.

4.2.1.2. Texturizado

Los materiales junto con la iluminación, forman una parte esencial para la realización de imágenes realistas. No es lo mismo crear una esfera con un material predeterminado (color gris), que representar la misma esfera con un material tipo vidrio o metal. Una parte esencial para la creación de materiales son los mapas o imágenes de referencia las cuales son la parte medular de un material ya que de estas depende la calidad del material. La aplicación de materiales va de la mano del modificador Mapa UVW, para la correcta visualización de los mismos. Los materiales sirven no solo para dotar de vida a una escena u objeto, mediante ellos también se pueden lograr efectos como desplazamiento o relieves.

3DS Max cuenta con un editor de materiales, en el que se diseñan y configuran los distintos materiales a emplear en la creación de una escena. Los materiales de 3DS Max pueden llegar a ser infinitos, ya que el programa permite ir creando o subdividiendo desde cada casilla de un material y desde cada subdivisión se puede repetir el proceso. El editor de materiales de 3DS Max muestra solamente 24 materiales distintos dentro de una escena, sin embargo se pueden crear un número indeterminado de ellos. Una de las grandes ventajas de 3ds Max es que permite visualizar los materiales aplicados a una escena sin necesidad de aplicar un renderizado.

Dentro de 3DS Max hay materiales y/o mapas que únicamente funcionan o están activos, con un motor render determinado, por ejemplo, los materiales tipo mental ray, están disponibles únicamente cuando se activa el motor render de mental ray, por lo que es mejor trabajar con los materiales con los que cuenta 3ds MAX, ya que estos son compatibles con todos los motores render.

4.2.1.3. Iluminación y cámaras

Respecto a la iluminación en 3DS Max, existen 3 tipos de luces las cuales dotan de realismo a una escena, 2 tipos de luces están incorporadas a 3DS Max, y son las luces estándar y las luces fométricas y el tercer tipo es proporcionado por algunos plugins como Vray, o Dreamscape.

Las cámaras permiten observar una escena desde una determinada posición y vista mediante el visor denominado así (cámara). Estos visores son similares a las cámaras reales, mediante las cámaras se pueden generar imágenes fijas, o recorridos a lo largo de la escena generando videos. Se puede crear un número indeterminado de cámaras para generar el mismo número de vistas distintas de una misma escena. Los tres tipos de cámara existentes en 3DS Max son las denominadas FREE CAMERA (cámara libre), TARGET CAMERA (cámara con objetivo) y cámaras por plugins.

- TARGET CAMERA (Cámara con objetivo). Este tipo de cámara está conformado por dos elementos que son la cámara y el objetivo, en general es la más usada ya que se puede animar fácilmente, únicamente moviendo el objetivo, aunque la cámara también se puede animar o transformar (mover, rotar).
- FREE CAMERA (Cámara libre). Este tipo de cámara está compuesto de un sólo elemento que es la cámara, la cual carece de objetivo, por consiguiente, únicamente encuadra hacia donde apunta la cámara, este tipo de cámara es ideal para crear recorridos a través de escenarios.

4.2.1.4. Animación

En 3ds Max es posible animar casi cualquier cosa, ya sea un objeto que cambia de posición, de tamaño u orientación.

El principio de animación que utiliza 3ds Max es la generación de imágenes secuenciadas (fotogramas) que son las que componen el movimiento de un objeto. Para que un objeto tenga movimiento deben de existir un punto de inicio y un punto final, estos puntos están representados mediante keyframes. Los keyframes no son otra cosa que puntos de partida, son los puntos claves donde hay cambios de posición, dirección, tamaño, y donde hay cambio de parámetros con respecto al parámetro anterior. Dentro de 3DS Max únicamente hay que definir los keyframes para crear una animación, ya que los fotogramas comprendidos entre cada keyframe se generan automáticamente y se les conoce como fotogramas de relleno.

Los keyframes, pueden generarse de dos formas, una de ellas es la forma *key auto* y la otra forma es *definir key*.

- *Key auto*. Es la forma más sencilla de generar keyframes, ya que automáticamente se generan los keyframes cuando se recorre el regulador de tiempo, y se modifica el objeto de alguna manera, ya sea moviéndolo de su posición original, cambiando el tamaño o rotando el objeto.
- *Definir key*. Este tipo de generación de keyframes es para usuarios con más experiencia, y en este caso se tiene que definir el movimiento y/o acción para después indicar que se quiere generar un keyframe.

Para la animación de personajes, Autodesk 3DS Max, contiene un esqueleto o sistema de huesos que permite al usuario insertarlos dentro de la piel de personaje a crear. Partiendo de esta técnica se pueden ajustar todos los huesos en la piel del personaje y después mover cada uno de estos huesos como en una marioneta. De tal forma el usuario de la herramienta hace de director, dándole la actuación adecuada a su personaje. La animación

partiendo de bípedos es muy interesante si se desea animar un modelo totalmente humano, y no solo humano, ya que estos bípedos vienen con las configuraciones adecuadas para acomodarlos a animales también.

4.2.1.5. Renderizado

El proceso de render es necesario para poder visualizar la iluminación aplicada y la forma en la que ésta afecta a la geometría de la escena, tras el renderizado aparece un sombreado en la escena generado por el conjunto formado por la iluminación determinada y los materiales usados en la escena, además el render genera el entorno global de la escena. Además de poder experimentar los efectos de la iluminación, a partir del render, se pueden realizar sus ajustes para una mejor simulación de la realidad. Por lo que puede decirse que para conseguir un buen render hay que probar y experimentar con la iluminación y la visualización de materiales.

El programa de 3DS Max cuenta con 2 motores de render integrados (default scanline render y mental ray) además de funcionar con plugins como (V-ray, Maxwell render, Final render, Brazil). En gran medida la calidad de una imagen puede deberse a algún motor render, ya que éstos son subprogramas especializados en la simulación de la iluminación de una manera más real.

4.3. Freemake Video Converter

Freemake es un convertidor de vídeo gratuito que permite convertir vídeos a cualquier formato o dispositivo de manera sencilla y cuenta con un editor de vídeos integrado. Entre sus muchas aplicaciones, destacan:

- Convertir vídeos a AVI, WMV, MP4, MPEG, MKV, FLV, SWF, 3GP (soporta más de 300 formatos de entrada).
- Extraer audio de archivos de vídeo y guardarlos en formato MP3.
- Girar un vídeo en 90 o 180 grados.
- Cortar, unir o reducir el tamaño de archivos de video.
- Insertar subtítulos o realizar presentaciones fotográficas.

5. Realidad Virtual

La tecnología ha avanzado hasta el punto de poder interactuar en un mundo virtual creado por ordenador. Se puede definir la realidad virtual como la representación de objetos del mundo real a través de medios electrónicos. Existen dos tipos de realidad virtual; la realidad virtual no inmersiva, en la que el usuario interactúa con el entorno de manera sencilla, con la utilización de accesorios como el teclado y el ratón, como espectador de un entorno virtual. Y la realidad virtual inmersiva, que es aquella que se da en un ambiente 3D con el cual los usuarios pueden interactuar a través de cascos, guantes y otros accesorios llamados “gadgets” que permiten una sensación de inmersión en la escena de realidad virtual.

Técnicamente hablando, la realidad virtual inmersiva es una interfaz humano-máquina avanzada que permite experimentar de manera multisensorial, una simulación computadorizada de manera interactiva y en tiempo real. Consta de equipamientos, instalaciones, software, hardware y aplicaciones diseñadas para tal fin. En el proceso cognitivo asistido por esta herramienta, resaltan dos factores principales: el aspecto sensorial en la percepción del mundo virtual (la inmersión) y las formas de interacción del usuario con él. Son aplicaciones de realidad virtual inmersiva aquellas que son experimentadas con varios de nuestros sentidos, en especial la visión, la audición y el tacto. La calidad del sonido tridimensional, por ejemplo, contribuye mucho a la sensación de inmersión.

Las ventajas aportadas por la realidad virtual son:

- 1) Visualización tridimensional y multisensorial.
- 2) Validación de ensamblajes. Se verifica la interacción de una pieza con el resto del conjunto de un mecanismo o ensamblaje.
- 3) Comercialización, estudios de mercado. El cliente final puede opinar sobre el diseño del producto en las etapas tempranas de su diseño.
- 4) Posibilidad de mostrar vistas ficticias del objeto que permitan comprender su funcionamiento.
- 5) Conversión de modelos de CAD/CAE a realidad virtual.
- 6) Simulación realista de productos.

Muchas de estas ventajas de la realidad virtual son aplicables al ámbito técnico, algunas de las cuales serán probadas en esta Tesis Doctoral.

5.1. Realidad Virtual aplicada a la PRL

La realidad virtual consiste en la creación de entornos o escenarios mediante el uso de programas informáticos de diseño, generando en el usuario la sensación de estar inmerso en el entorno virtual en tiempo real.

Esta tecnología comenzó a desarrollarse en la década de los años 60, pero sólo hasta tiempos recientes se han propuesto dispositivos asequibles para el público en general, lo que ha producido que una nueva industria relacionada con la realidad virtual se esté potenciando a gran velocidad.

La forma en la que el ser humano construye la noción de “lo real” se lleva a cabo a través de la percepción, es decir, a través de los sentidos. Por tanto, es necesario el uso de accesorios periféricos para orientar los sentidos a lo que sucede en el mundo virtual que se experimenta, lo cual produce sensación de realidad.

La realidad virtual basada en el desarrollo de métodos inmersivos se liga a un ambiente tridimensional creado por un ordenador, el cual se manipula a través de accesorios adicionales tales como cascos, guantes u otros dispositivos que capturan la posición y rotación de diferentes partes del cuerpo humano.

La realidad virtual no inmersiva también utiliza el ordenador y se vale de medios como el que actualmente ofrece Internet, en el cual se puede interactuar en tiempo real con diferentes personas en espacios y ambientes que en realidad no existen sin la necesidad de utilizar hardware adicional.

La realidad virtual se puede llegar a convertir en una herramienta de enorme utilidad en el campo de la seguridad y la prevención de riesgos laborales en general. Con ayuda de las nuevas tecnologías se logra desarrollar herramientas basadas en gráficos 3D interactivos y técnicas de realidad virtual que permiten crear simuladores de máquinas o procesos industriales de cualquier sector y tipología.

Esto hace que se puedan proporcionar aplicaciones de:

- Entrenamiento de operarios para nuevas líneas de producción que aún no están instaladas u operativas.
- Medición de curvas de aprendizaje.
- Entrenamiento en zonas con riesgo de accidente laboral.
- Corrección de errores tempranos en la fase de diseño.
- Incrementar la seguridad del operario en espacios de trabajo con riesgo de accidente laboral.
- Estudios ergonómicos.

La ventaja de los proyectos que se realizan alrededor de estas tecnologías es que su utilización, por parte de las empresas, proporciona una serie de mejoras, de carácter económico, que las hacen más competitivas, ya que son mucho más baratas que las reales y permiten entre otras aplicaciones, poner a prueba productos o procesos de forma virtual antes de su construcción. Con esto se consigue ahorrar costes, evitar riesgos físicos en la formación de un operario al interactuar con una máquina compleja o simular sistemas de protección ante catástrofes permitiendo entrenar con un coste mucho menor que el despliegue de una simulación real. Al mismo tiempo, permiten trabajar en un entorno virtual colaborativo con información técnica compleja, como la de los procesos industriales, como si de un entorno real se tratase y comprobar su funcionamiento, simplificando la comprensión de grandes cantidades de información compleja.

5.2. Unity y su utilización

Unity es un motor gráfico multiplataforma creado por Unity Technologies para Microsoft Windows, OS X y Linux. Es una herramienta que ayuda a desarrollar videojuegos para diversas plataformas, escenas de realidad virtual y simulaciones de todo tipo, mediante un editor y scripting para crear entornos con un acabado profesional.

La empresa Unity Technologies fue fundada en 2004 por David Helgason, Nicholas Francis y Joachim Ante en Copenhague, después de su primer juego, GooBall, que

no obtuvo éxito. Los tres reconocieron el valor del motor y las herramientas de desarrollo y se dispusieron a crear un motor que cualquiera pudiera usar a un precio accesible.

Unity 3D está provisto de un editor visual muy útil y completo, donde de manera ágil e intuitiva se pueden importar modelos 3D, texturas, sonidos, etc. para después establecer interacción entre ellos. Incluye la herramienta de desarrollo MonoDevelop, con la que se pueden crear scripts en JavaScript y C#, para interactuar con los modelos 3D, texturas y sonidos importados.

Unity puede usarse junto con 3D Studio Max, Maya, Softimage, Blender, Modo, ZBrush, Cinema 4D, Cheetah3D, Adobe Photoshop, Adobe Fireworks, Allegorithmic Substance. Los cambios realizados a los objetos creados con estos productos se actualizan automáticamente en todas las instancias de ese objeto durante todo el proyecto sin necesidad de volver a importar manualmente.

El motor gráfico utiliza Direct 3D en Windows, Open GL en Mac y Linux y Open GL ES en Android e iOS. Tiene soporte para mapeado de relieve, reflexión de mapeado, mapeado por paralaje, pantalla de espacio de oclusión ambiental (SSAO), sombras dinámicas utilizando mapas de sombras, render a textura y efectos de post-procesamiento de pantalla completa.

Mecanim es la tecnología de animación de Unity, que ha estado en desarrollo durante años, primero por la empresa del mismo nombre, a continuación, por las oficinas de Unity en Canadá, después de su adquisición. La tecnología está diseñada para llevar el movimiento fluido y natural de los personajes con una interfaz eficiente. Mecanim incluye herramientas para la creación de máquinas de estados, árboles de mezcla, manipulación de los conocimientos nativos y retargeting automático de animaciones, desde el editor de Unity.

La interfaz principal de Unity se compone de ventanas con pestañas que pueden ser re-arregladas, agrupadas o desagrupadas y minimizadas. Las ventanas más comunes y útiles se muestran en sus posiciones por defecto, en la Figura 1.3.

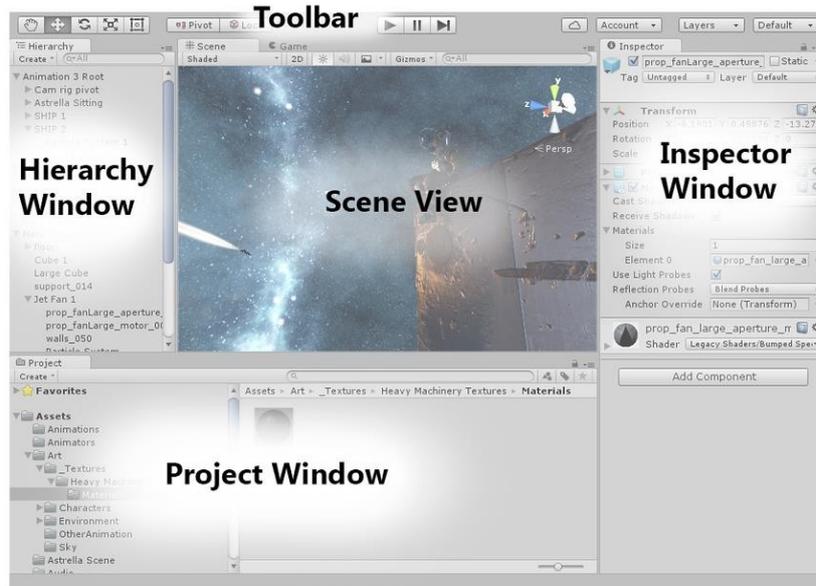


Figura 3. Interfaz de Unity.

La vista de la escena (Figura 1.4) permite una navegación visual y editar la citada escena. Puede mostrar una perspectiva 2D o 3D dependiendo del tipo de proyecto en el que se esté trabajando.

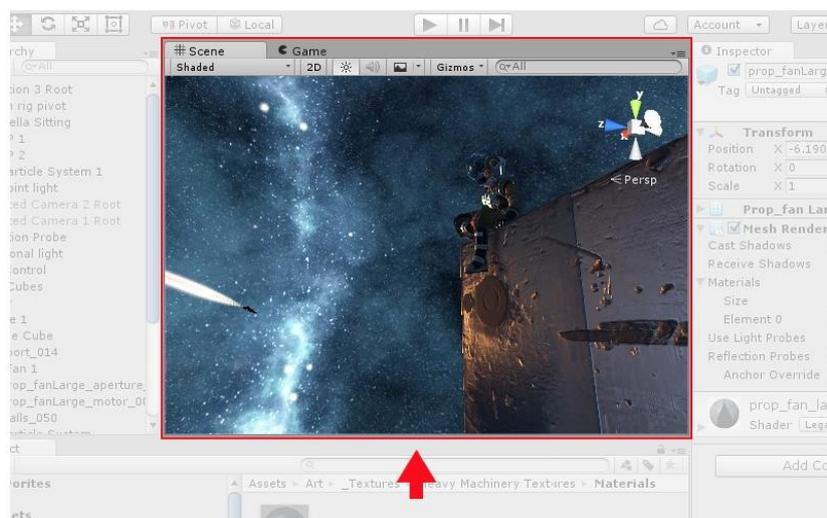


Figura 4. Vista de la escena de Unity.

La ventana de jerarquía (Figura 1.5) es una representación de texto jerárquico de cada objeto en la escena. Cada elemento en la escena tiene una entrada en la jerarquía, por lo que las dos ventanas están inherentemente vinculadas. Esta jerarquía revela la estructura de cómo los objetos se agrupan entre sí.

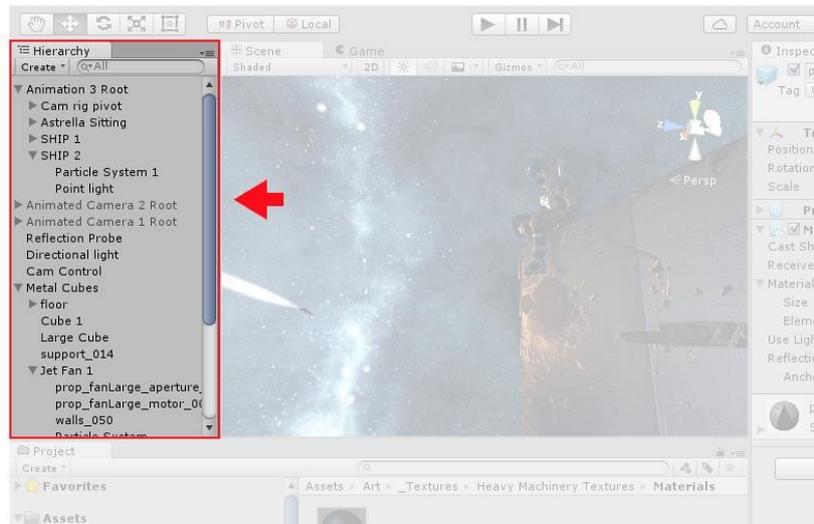


Figura 5. Ventana de jerarquía.

La ventana del inspector (Figura 1.6) permite visualizar y editar todas las propiedades del objeto seleccionado.

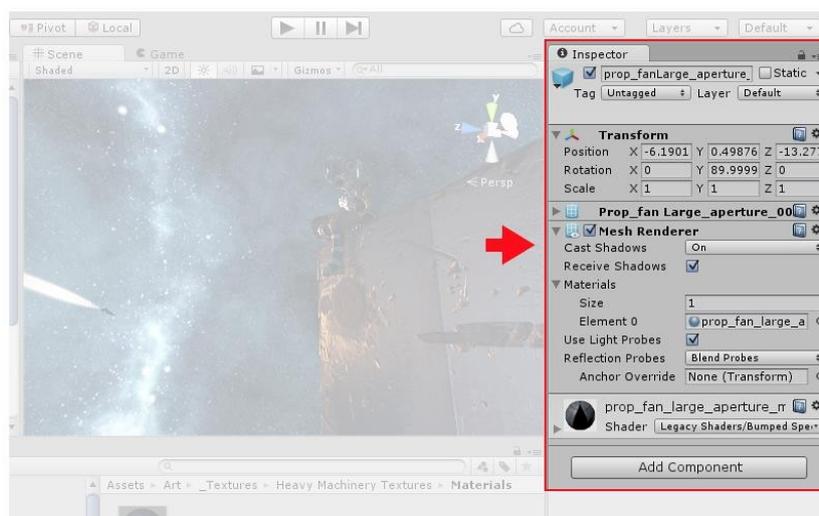


Figura 6. Ventana del inspector.

Puesto que diferentes objetos tienen diferentes propiedades, el layout (diseño) y contenido de la ventana del inspector variará en función de la selección. La barra de herramientas (Figura 1.7) proporciona un acceso a las características más esenciales para trabajar. En la izquierda se sitúan las herramientas básicas para manipular la “scene view” y los objetos dentro de ésta. En el centro están los controles de reproducción y pausa. Los botones a la derecha dan acceso a los servicios de Unity Cloud y cuenta de Unity, seguido por un menú de visibilidad de capas, y finalmente el menú del layout del editor, que proporciona algunos diseños alternativos para la

ventana del editor, y permite guardar layouts propios personalizados. La barra de herramientas no es una ventana, y solamente es parte de la interfaz de Unity que no se puede reajustar.



Figura 7. Barra de herramientas.

En noviembre de 2010 se lanzó el Unity Asset Store. Que es un recurso disponible en el editor de Unity (Figura 1.8). Más de 150.000 usuarios de Unity pueden acceder a la colección que supera los 4.400 paquetes de Assets en una amplia gama de categorías, incluyendo modelos 3D, texturas y materiales, sistemas de partículas, música y efectos de sonido, tutoriales y proyectos, paquetes de scripts, extensiones para el editor y servicios en línea.

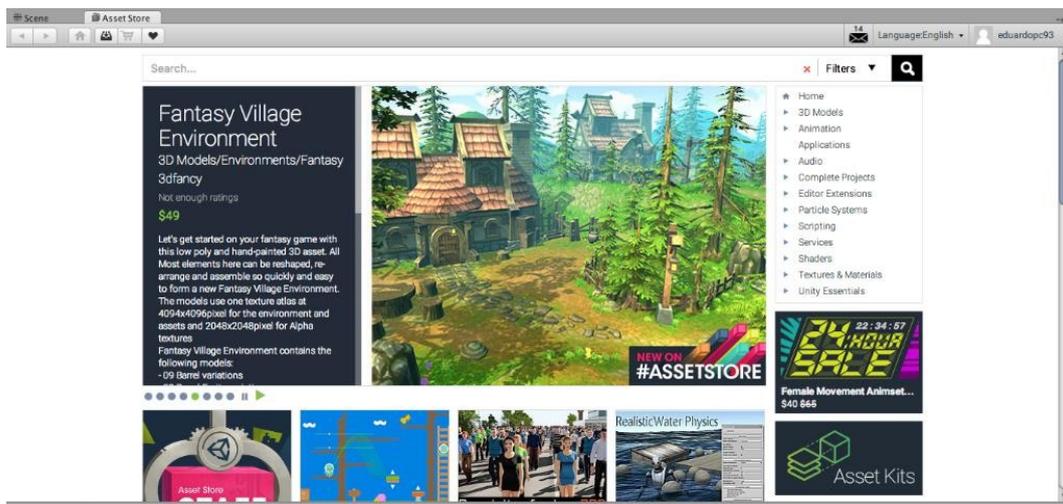


Figura 8. Asset Store.

El avance en el diseño y creación de escenas de realidad virtual inmersiva ha crecido exponencialmente en los últimos años, convirtiéndose en una herramienta muy útil en la simulación de sistemas mecánicos. Como consecuencia de su utilización se consigue una mayor interacción en tiempo real entre el sistema mecánico en estudio, el entorno y el usuario que está inmerso en la escena. Durante la simulación de la escena se pueden detectar errores de funcionamiento y posibles actuaciones inadecuadas, corrigiéndolas y evitando así que estos problemas aparezcan

posteriormente en la vida real, con lo que se pueden evitar accidentes y conseguir un importante ahorro económico.

Una de las principales aplicaciones de la simulación de sistemas mecánicos en el entorno de una escena de realidad virtual inmersiva es la educación y formación. Este tipo de entornos facilitan enormemente la visualización, comprensión e interacción entre los diferentes sistemas mecánicos y su funcionamiento, fomentando el aprendizaje y dando lugar a un entorno más seguro y sin riesgo para el usuario.

En lo referente a Unity, la presente Tesis es complementaria con el desarrollo de otros escenarios como el de “Simulación de conducción y accidentes de vuelco de carretillas elevadoras”, “Simulación de accidente de caída de altura desde plataformas bimástil”, “Simulación de accidentes por manutención de cargas desde una grúa torre” o “Simulación de escenario de conducción de autobuses”. En todos ellos se ha realizado el diseño y creación de una escena de realidad virtual inmersiva en la que se pueden experimentar, en primera persona, los riesgos más importantes que conlleva el manejo de los distintos agentes materiales nombrados. Para su desarrollo, ha sido necesario utilizar los programas de diseño descritos, Solidworks para modelado y ensamblaje, 3D Studio Max para poder exportar los modelos y Unity, para elaborar la escena de realidad virtual inmersiva, establecer la interacción entre los diferentes sistemas que la componen, texturizar y realizar la simulación.

BIBLIOGRAFÍA

Ministerio de Empleo. Informe sobre estadísticas de accidentes correspondiente al periodo enero-agosto 2017.

http://www.empleo.gob.es/estadisticas/eat/eat17_08/ATR_08_2017_Resumen.pdf. 2018.

NTP 1.086. Tractor agrícola: estabilidad frente al vuelco. Notas técnicas de Prevención Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2017.

NTP 1.087. Tractor agrícola: prevención del riesgo de vuelco. Notas técnicas de Prevención Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2017.

Reglamento (UE) N° 167/2013 relativo a la homologación de los vehículos agrícolas o forestales y a la vigilancia del mercado de dichos vehículos.

Estabilidad del tractor agrícola. Curso de mecánica aplicada. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. 2017.

Tractor Stability and Instability. Agricultural and Biological Engineering. Pennsylvania State University. <https://extension.psu.edu/tractor-stability-and-instability>. 2014.

Manual de prevención de riesgos laborales en el sector agrario . Unidad didáctica 3. El tractor agrícola. Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra. 2000.

<https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/21EB4483-5498-4457-8C5E-8DF64BF1E024/0/portada.pdf>

Riesgos en el tractor. Ficha nº1. Fichas técnicas de prevención en la maquinaria agrícola. Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra. 2004.

Vuelco de tractor agrícola. Ficha divulgativa FD-17/2008. Instituto de Seguridad y Salud Laboral de Murcia. 2008.

Safety tractor operation: Rollover prevention. The Texas A&M University. 2005.

Tracteurs. Prévention des renversements. Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail. Gouvernement du Canada. 2017.

https://www.cchst.ca/oshanswers/safety_haz/tractors/rollover.html

Instituto Navarro de Seguridad Laboral, 2001. Manual de prevención de riesgos laborales en el sector agrario.

Márquez, L. 2011. Jornadas sobre tractores y máquinas agrícolas, Mollerusa.

Ayuda de Solidworks 2014. 2015. Obtenido de Solidworks:

http://help.solidworks.com/2014/spanish/Solidworks/sldworks/c_introduction_toplevel_topic.htm

Solidworks Corporation. 1995. Empezar a trabajar con la Edición para educación de Solidworks. EE.UU. Solidworks Corporation:
<https://albertovargasramirez.files.wordpress.com/2014/03/manual.pdf>

Kelly L. Murdock. “3ds Max 2010 Bible”. Indianapolis, Indiana. Wiley Publishing, Inc, 2009. ISBN: 978-0-470-47191-3.

Lista de reproducción “EL MEJOR TUTORIAL PARA 3D MAX”:
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLA7590600BF8B607A>

Cursos y tutoriales de 3Ds Max Studio: <http://gov3dstudio.com/>

3D Warehouse: <https://3dwarehouse.sketchup.com/>

3Ds Models: <https://3dsmodels.com/>

Autodesk 3ds Max learning channel. Youtube:
<https://www.youtube.com/channel/UCIS3gPxzFYgTUz6JOlrUYqA>

Ayuda en línea de Unity: <https://unity3d.com/es/community>

Unity: <https://unity3d.com/es>

Curso en español de C# para Unity. Youtube:
<https://www.youtube.com/watch?v=mugmZY41UMM>”

Capítulo 2.

Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas

Ibarra Berrocal, I., Martín Górriz, B., Miguel Hernández, B., **Ojados González, D.**, Caro García, F., Morales Sánchez, P., Morente Sánchez, A. 2014. Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas. PATENTE DE INVENCIÓN, Número de publicación OEPM: 2452489, Fecha entrada: 13.03.2014, Fecha de presentación: 13.03.2014, Fecha publicación: 01.04.2014 Número de publicación: ES2452489. CIP INVENCIÓN PUBLICACIÓN: B60R 21/13.

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



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

21 Número de solicitud: 201430348

51 Int. Cl.:

B60R 21/13 (2006.01)

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.

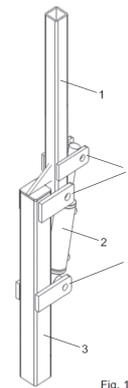


Fig. 1

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 sí 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

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.

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.

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.

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.

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.

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

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, WO2013083864 y US2010171296, cuyo accionamiento automático depende de elementos mecánicos con elevada necesidad de mantenimiento y difíciles de reutilizar, encareciendo así el sistema.

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

25 Respecto al sistema electrónico de control, el documento de patente 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.

30 Por otra parte, mejorando este sistema descrito anteriormente y

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

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
15 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 despliegue automático del arco de seguridad, evitando de esta manera cualquier
20 desprotección del operario.

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
25 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.

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
5 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.

La posición de reposo del arco de seguridad es preferentemente una
15 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.

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,
20 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
30 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
35 manera se ha producido el vuelco, a qué hora y en qué posición geográfica.

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

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 entrabado 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, entrabándolo 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.

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

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.

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

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

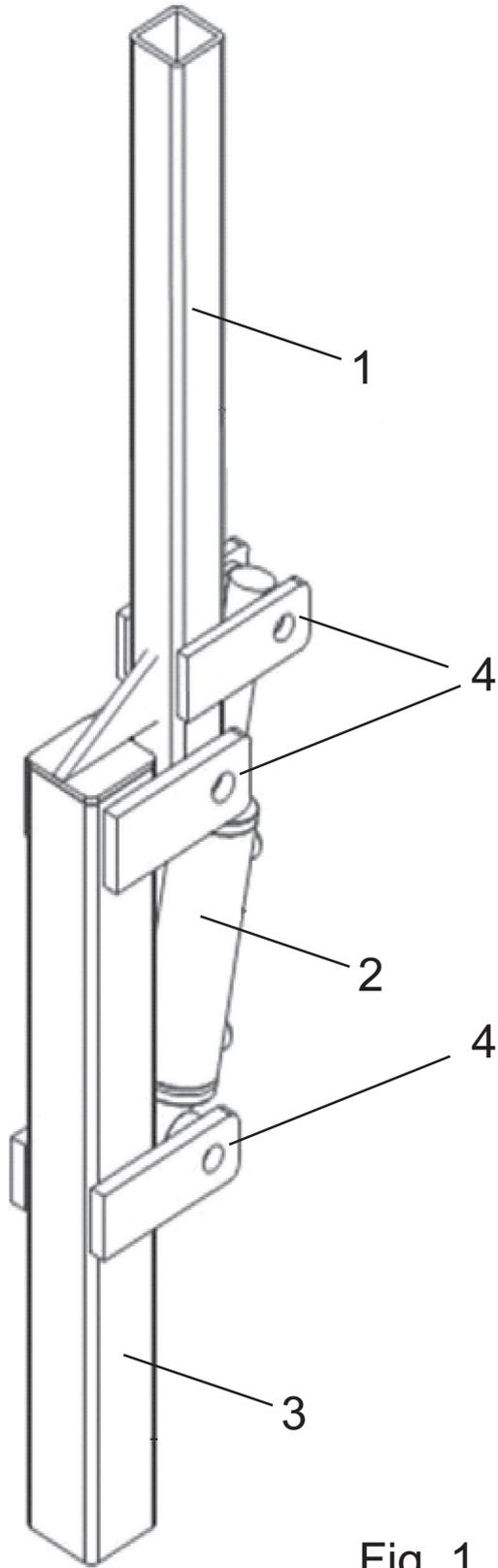


Fig. 1

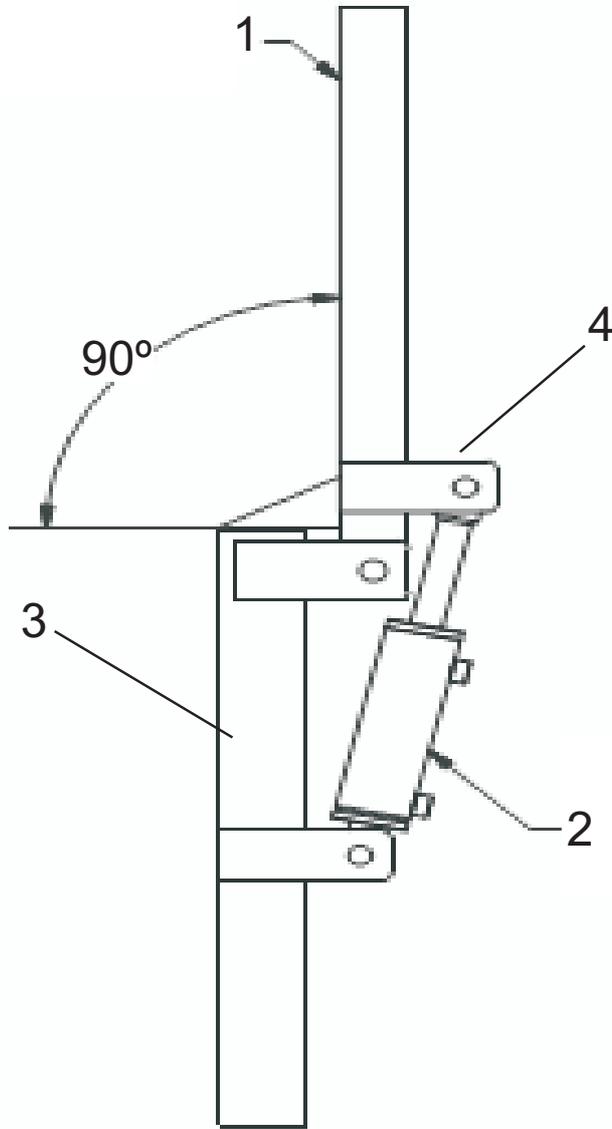


Fig. 2

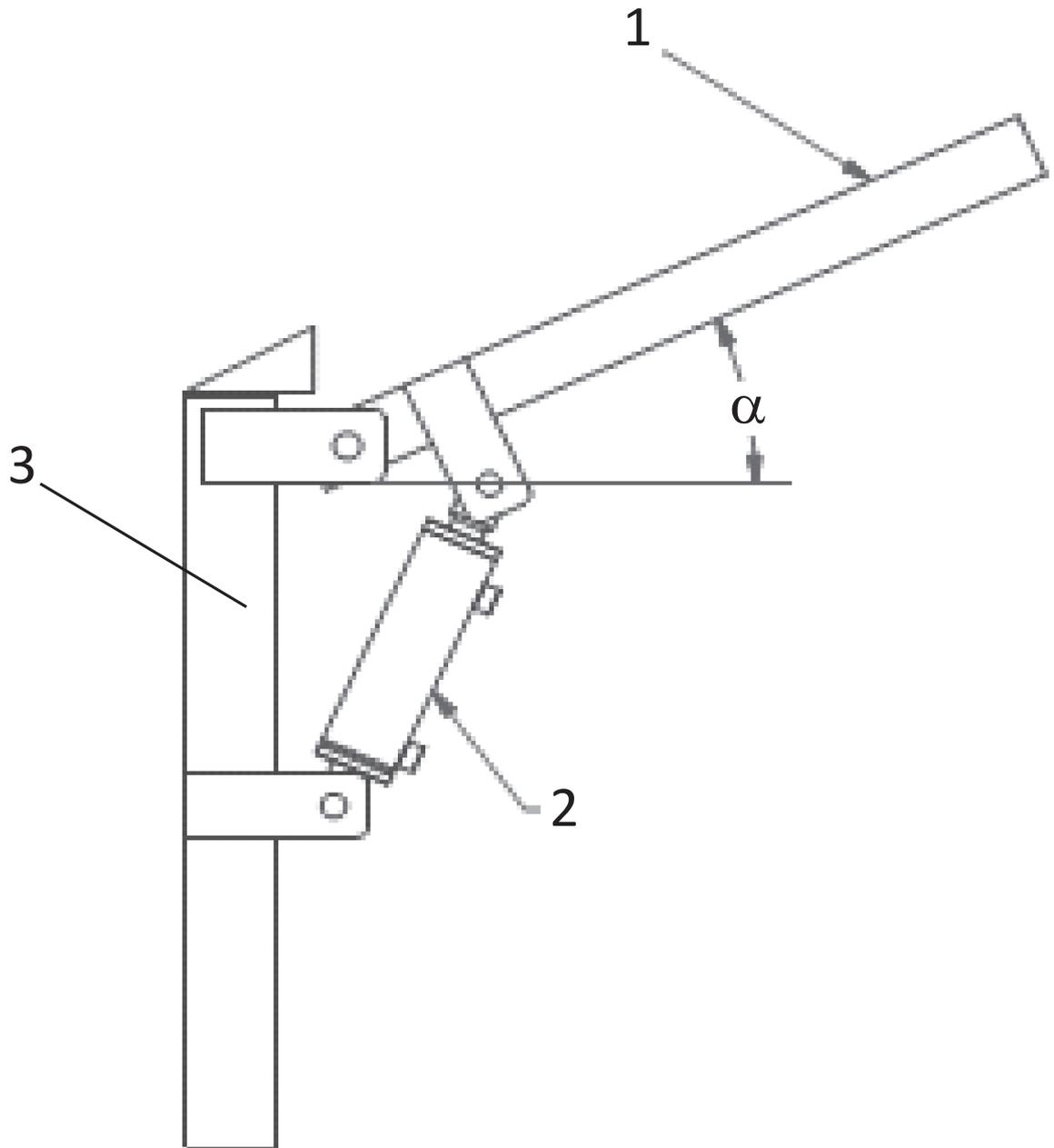


Fig. 3

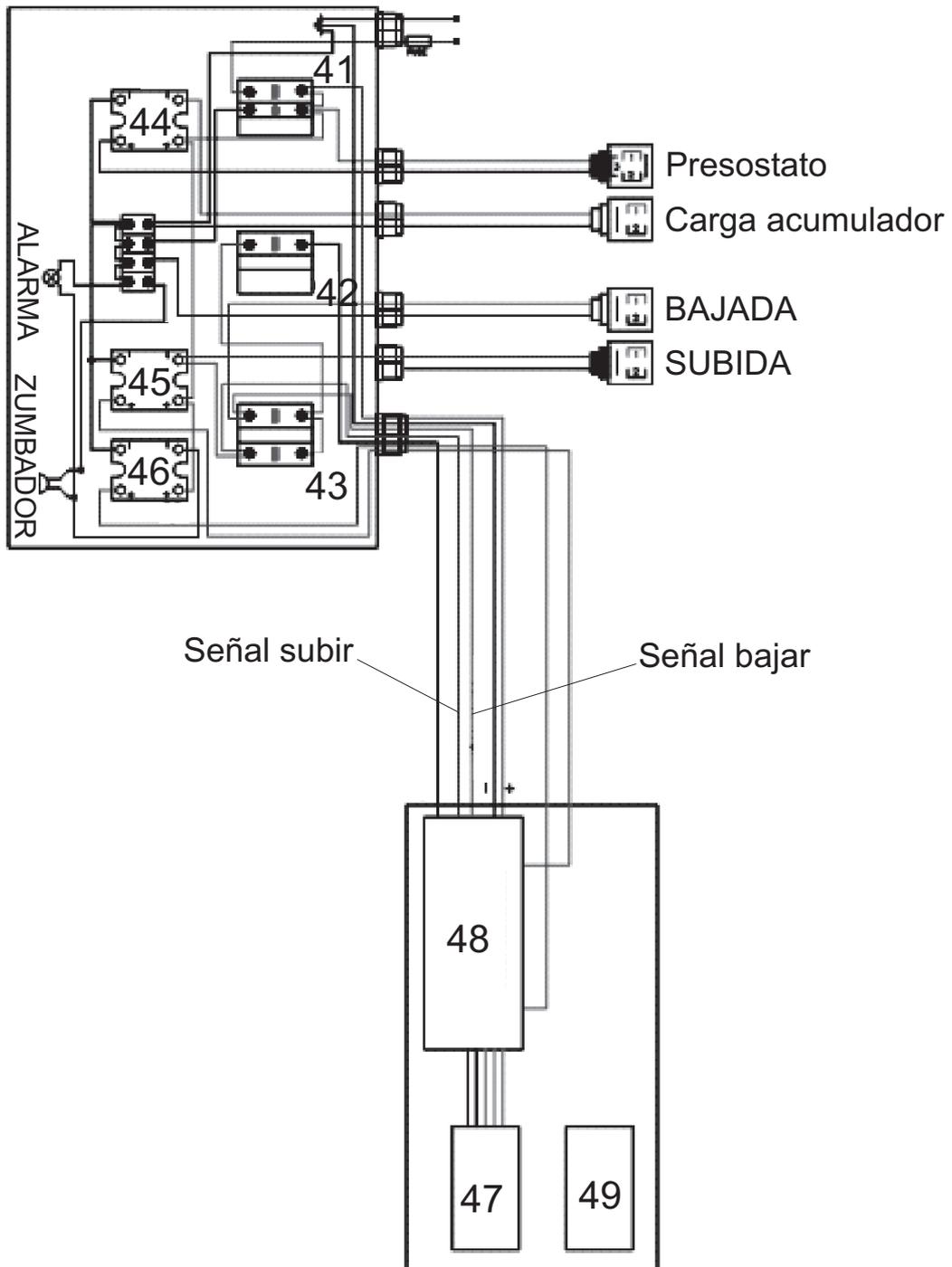


Fig. 4

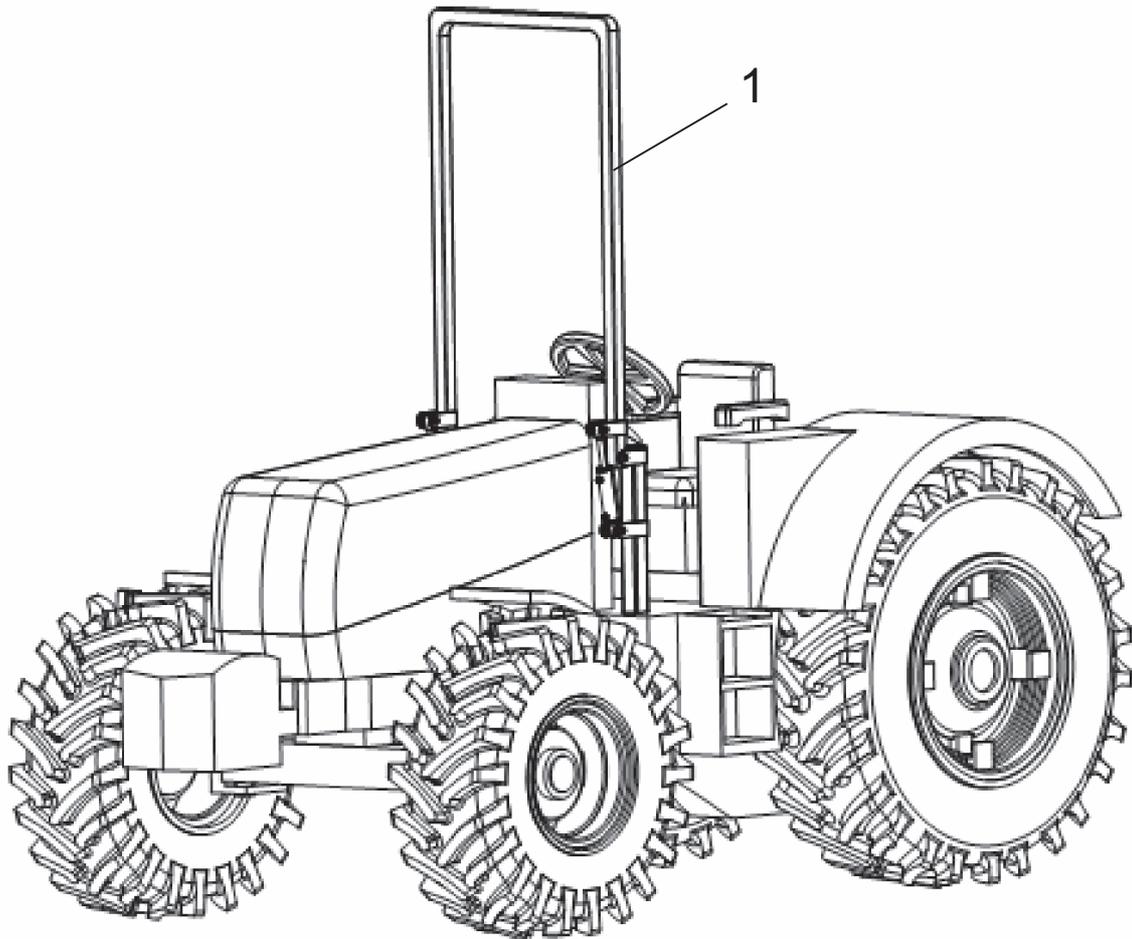


Fig. 5

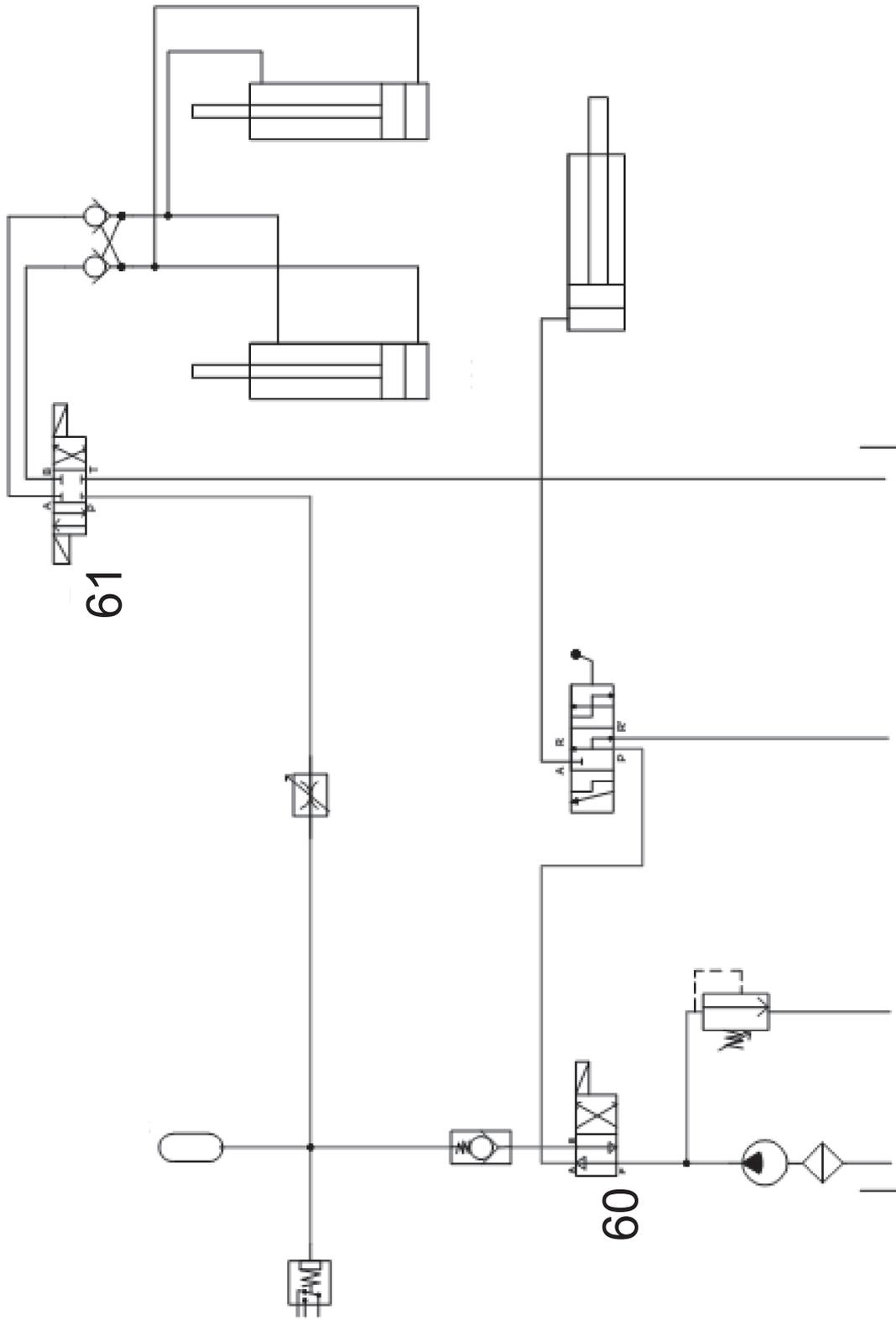


Fig. 6



- ②¹ N.º solicitud: 201430348
②² Fecha de presentación de la solicitud: 13.03.2014
③² Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤¹ Int. Cl.: **B60R21/13** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ ⁶ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	ES 2431189 A2 (MARIN PENA INDETEC S L) 25.11.2013, todo el documento.	1-12
X	US 5779272 A (PANEK BRUNO J et al.) 14.07.1998, todo el documento.	1-3,6,7,10,12
X	US 2007182147 A1 (COOPER BRUCE RUSSELL LEE et al.) 09.08.2007, todo el documento.	1-3,6,7,10,12
A	US 5404958 A (WEISS HEINZ) 11.04.1995, resumen de la base de datos WPI, recuperado de EPOQUE.	1,4

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe
24.03.2014

Examinador
G. Barrera Bravo

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

B60R

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 24.03.2014

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 4, 5, 9, 11, 12	SI
	Reivindicaciones 1-3, 6-8, 10	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones	SI
	Reivindicaciones 1-12	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	ES 2431189 A2 (MARIN PENA INDETEC S L)	25.11.2013

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se considera D01 el documento del estado de la técnica más cercano al sistema de protección antivuelco reivindicado. En adelante se utilizará la terminología empleada en las reivindicaciones de la solicitud.

El documento D01 divulga (las referencias entre paréntesis corresponden a D01) un sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas, que comprende:

- un arco de seguridad (104), en forma de "U" invertida, acoplado en sus dos extremos al chasis del vehículo (párrafo 47);
- medios de accionamiento hidráulico (103), que comprenden un pistón hidráulico en cada extremo del arco de seguridad (párrafo 49), encargados de extender y replegar, mediante giro a través de una articulación (105), el arco de seguridad de una posición de reposo por debajo de la línea de visión del conductor del vehículo, a una posición vertical o viceversa (párrafo 49);
- medios sensores encargados de detectar la inclinación del vehículo;
- medios de control 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 (párrafos 39, 50 y 64);
- y medios de selección para la activación manual por parte del conductor del vehículo de los medios de accionamiento hidráulico (párrafo 15).

Reivindicaciones 1-3, 6-8, 10. No presentan características que confieran novedad al objeto de la solicitud frente a lo ya divulgado en el documento D01, por lo que las reivindicaciones 1-3, 6-8, 10 no cumplirían con el requisito de novedad (art. 6.1 LP 11/1986).

Reivindicaciones 4, 5, 9, 11, 12. Frente al estado de la técnica anterior, no incluyen características técnicas adicionales o alternativas que cumplan con las exigencias del art. 8.1 LP 11/1986, de modo que las reivindicaciones 4, 5, 9, 11, 12 no cumplirían con el requisito de actividad inventiva (art. 8.1 LP 11/1986).

Resultado de la consulta

Modalidad: P Número: 201430348 Bis: Tipo: Fecha: 14/05/2014 10:04:02

PATENTE INVENCION NR.PUBLICACION OEPM: 2452489

FECHA ENTRADA: 13.03.2014 16:12

FECHA PRESENTACION: 13.03.2014

FECHA PUBLICACION: 01.04.2014

NUMERO DE PUBLICACION: ES2452489,

TITULO: Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas

TITULAR: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA (100,00%)

DOMICILIO: Edificio "La Milagrosa" Plaza Cronista Isidoro Valverde, s/n

CODIGO POSTAL: 30202

LOCALIDAD: Cartagena

PROVINCIA: 30 Murcia

PAIS: ES ESPAÑA

CODIGO AGENTE: 531

NOMBRE: Isabel Carvajal y Urquijo

DOMICILIO: C/ Goya,11

CODIGO POSTAL: 28001

LOCALIDAD: Madrid

----- INVENTORES -----

- 01.- IBARRA BERROCAL, Isidro Jesús
- 02.- MARTÍN GÓRRIZ, Bernardo
- 03.- MIGUEL HERNÁNDEZ, Beatriz
- 04.- OJADOS GONZÁLEZ, Dolores
- 05.- CARO GARCÍA, Francisco
- 06.- MORALES SÁNCHEZ, Pedro
- 07.- MORENTE SÁNCHEZ, Antonio

----- CLASIFICACIONES -----

CIP INVENCION PUBLICACION: B60R 21/13

----- ACTOS DE TRAMITACION -----

- 13/03/2014 3101P_Registro Instancia Solicitud
- 18/03/2014 Admisión a Trámite
- 18/03/2014 Aceptación Tramitación CAP
- 18/03/2014 1001P_Comunicación Admisión a Trámite
- 21/03/2014 Continuación del Procedimiento
- 24/03/2014 Elaboración IET

25/03/2014 Informe Estado de la Técnica

27/03/2014 Publicación Continuación del Procedimiento e Inicio IET

01/04/2014 Publicación Solicitud con IET (BOPI)

01/04/2014 Publicación Folleto Solicitud con IET (A1)

Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas

Patente de invención

Número de publicación OEPM: 2452489

Fecha entrada: 13.03.2014

Fecha de presentación: 13.03.2014

Fecha publicación: 01.04.2014

Número de publicación : ES2452489

Titular: Universidad Politécnica de Cartagena (100%)

Domicilio: Edificio “La Milagrosa” Plaza Cronista Isidoro Valverde, s/n

Código Postal: 30202

Localidad: Cartagena

Provincia: 30 Murcia

País: ES España

Código Agente: 531

Nombre: Isabel Carvajal y Urquijo

Domicilio: C/ Goya, 11

Código Postal: 28001

Localidad: Madrid

Inventores:

01. IBARRA BERROCAL, ISIDRO JESÚS
02. MARTÍN GÓRRIZ, BERNARDO
03. MIGUEL HERNÁNDEZ, BEATRIZ
04. OJADOS GONZÁLEZ, DOLORES
05. CARO GARCÍA, FRANCISCO
06. MORALES SÁNCHEZ, PEDRO
07. MORENTE SÁNCHEZ, ANTONIO

CIP INVENCIÓN PUBLICACIÓN: B60R 21/13

Sector de la técnica.

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.

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.

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 mediante (1) por accionamiento del propio operario o (2) por accionamiento automático del sistema cuando detecta un cierto nivel de inclinación.

Antecedentes de la invención.

1. El vuelco del tractor es un accidente que causa un gran número de heridos graves y muertes en el sector agrícola.
2. 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.
3. En algunos otros casos, los tractores sí 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.

4. 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 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.
5. Se puede citar la patente US2007/0182147 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.
6. Tampoco se contempla accionamiento automático en el sistema de protección antivuelco descrito en la EP870298, limitando también su actuación como protección pasiva, contemplando su posición tras el asiento del vehículo.
7. Igualmente se cita la patente US2004/0145172, 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.

8. En otra patente, la EP0500261, 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.
9. De igual forma se cita la patente suiza 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.
10. Por otra parte también se hace mención al dispositivo de protección frente al vuelco descrito en la patente WO0204259, en la que existe 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 neumáticos la sujeción que retiene las barras telescópicas desplazándolas verticalmente sin que la estructura gane en anchura al desplegarse.
11. La patente WO2013083864 es muy similar a la recién mencionada, un dispositivo desplegable en forma de “V” invertida cerrada en su parte superior 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.
12. 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.

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 las patentes EP0500261, WO020459, WO2013083864 y US2010171296, cuyo accionamiento automático depende de elementos mecánicos con elevada necesidad de mantenimiento y difíciles de reutilizar, encareciendo así el sistema.

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

Respecto al sistema electrónico de control, la patente EP-1648736-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 centrándose en el ámbito forestal y agrícola, existe la patente ES2378636A1, en la cual se 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.

Por todo lo expuesto existe también la necesidad de desarrollar un sistema de seguridad que integre las cualidades de algunos de los 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 accidente.

Descripción de la invención

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 despliegue automático del arco de seguridad, evitando de esta manera cualquier desprotección del operario.

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.

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.

El sistema electrónico lleva un histórico de los accionamientos tanto manuales como automáticos por accidente, lo que permite al propietario 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 como ya se comentó anteriormente, aprovecha la unidad de presión del tractor para su funcionamiento de manera que se contienen los costes de instalación. El funcionamiento de este sistema puede ser manual desde el puesto de trabajo de manera que el operario puede 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 ser accionamiento hidráulico, éste permite asegurar que el arco se encontrará entrabado en las posiciones de reposo y de trabajo. En la posición de reposo el arco se encontrará de manera que no moleste al

operario ya que se estará 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.

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 del sistema incluyendo en el dibujo el anclaje al chasis del vehículo agrícola (3), el pistón hidráulico (2) y el arco de seguridad (1).

Figura 2.- Se muestra el arco completamente desplegado con el pistón hidráulico completamente abierto, quedando el arco a 90 grados de la horizontal. Entrabado en esta posición.

Figura 3.- Se muestra el arco en su posición de reposo, con el pistón hidráulico cerrado, quedando la barra lateral del arco de seguridad a 25 grados de la horizontal.

Figura 4.- En esta figura se representa el sistema eléctrico que controla el circuito hidráulico y que integra los componentes de alarma y registro comentados en la descripción anterior. En ella se puede distinguir el interruptor de encendido general (1), el cual no será accesible al trabajador, el interruptor para funcionamiento manual con vuelta a 0 (2) y el conmutador para funcionamiento manual (3). Además de esto se representan los relés de estado sólido (4), (5) y (6) que representan respectivamente el de carga de acumulador, elevación rápida y el de carga y zumbador.

Ejemplo de montaje

Mirando en la figura 1 se observa que el mecanismo tiene 3 articulaciones a cada lado, 2 en cada extremo del cilindro hidráulico para permitir la apertura de éste y otra articulación en la base del arco de seguridad, gracias a la cual el arco gira sobre sí mismo y se despliega para evitar el vuelco completo del tractor y el consiguiente aplastamiento.

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

Reivindicaciones

1. Dispositivo de accionamiento automático para estructuras desplegables de protección frente a vuelco de vehículos principalmente para tractores agrícolas **caracterizado** por un sistema de control

electrónico que actúa sobre un sistema de accionamiento hidráulico del arco de seguridad diseñado a tal efecto.

2. Dispositivo de accionamiento automático según la reivindicación 1, **caracterizado** porque para el accionamiento hidráulico del arco de seguridad utiliza parte del sistema hidráulico del tractor y un acumulador de presión para obtener una rápida respuesta del arco.
3. Dispositivo de accionamiento automático según las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** porque es controlado por un dispositivo electrónico en modo automático o en modo manual de manera que despliegue el arco de seguridad pasando de estar horizontal a estar vertical según un algoritmo matemático basado en la inclinación del vehículo o bien por accionamiento manual del conductor cuando sea consciente de que se encuentra en una situación de riesgo de vuelco.
4. Dispositivo de accionamiento automático según reivindicación 3 **caracterizado** por incluir sensores de inclinación y velocidad destinados a medir variables que deben concurrir como algoritmo de activación para que se desencadene el desplegado automático de la estructura estableciendo protocolos de comunicación cuando esto suceda de manera que no solamente actúe en caso de accidente.
5. Dispositivo de accionamiento automático según reivindicaciones anteriores **caracterizado** por registrar las coordenadas GPS y mandar la posición exacta del accidente vía telemática.
6. Dispositivo de accionamiento automático según reivindicaciones anteriores **caracterizado** por que el sistema de control electrónico dispone de una célula de carga en el asiento del conductor que cuando no detecta su presencia provoca la parada del vehículo.
7. Dispositivo de accionamiento automático según reivindicaciones anteriores **caracterizado** por que el sistema de control electrónico contiene un registro interno en el que se almacena un histórico de los

accionamientos tanto manuales como automáticos, siendo necesario para arrancar el tractor que el operario se identifique con su código de usuario para que el sistema lo reconozca.

8. Dispositivo de accionamiento automático según reivindicaciones anteriores **caracterizado** por que cuando se produce un accidente y se avisa de tal situación por vía telemática se produce el almacenamiento de todos estos datos en un registro interno, siendo ambos sistemas tanto el electrónico como el arco de seguridad reutilizables tras un posible accidente.

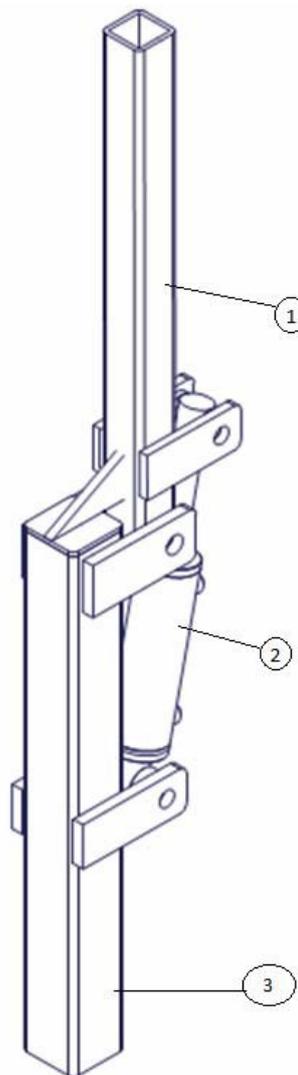


Figura 1. Muestra la vista en perspectiva del sistema incluyendo en el dibujo el anclaje al chasis del vehículo agrícola (3), el pistón hidráulico (2) y el arco de seguridad (1).

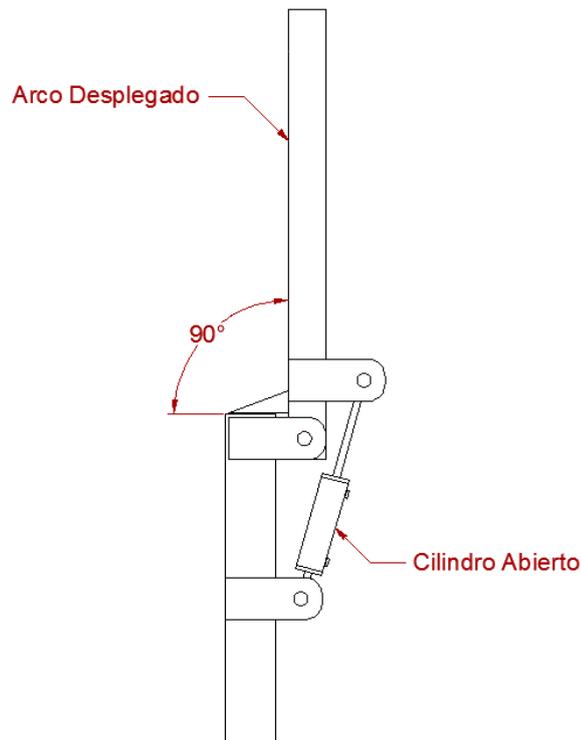


Figura 2. Se muestra el arco completamente desplegado con el pistón hidráulico completamente abierto, quedando el arco a 90 grados de la horizontal. Entrabado en esta posición.

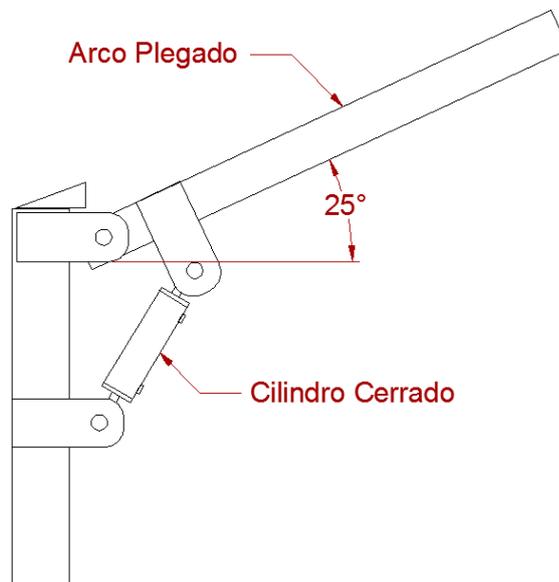


Figura 3. Se muestra el arco en su posición de reposo, con el pistón hidráulico cerrado, quedando la barra lateral del arco de seguridad a 25 grados de la horizontal.

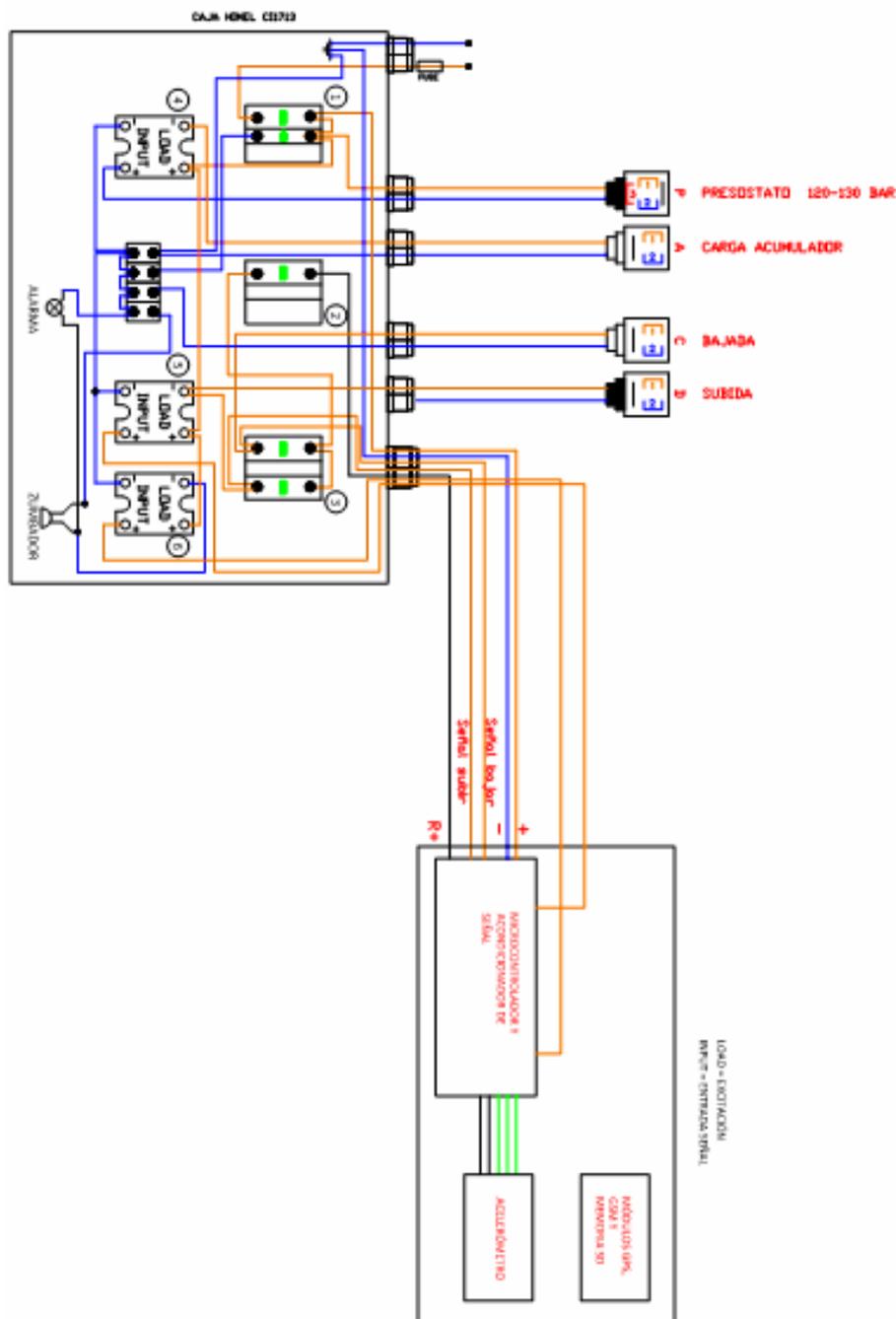


Figura 4. En esta figura se representa el sistema eléctrico que controla el circuito hidráulico y que integra los componentes de alarma y registro comentados en la descripción anterior. En ella se puede distinguir el interruptor de encendido

general (1), el cual no será accesible al trabajador, el interruptor para funcionamiento manual con vuelta a 0 (2) y el conmutador para funcionamiento manual (3). Además de esto se representan los relés de estado sólido (4), (5) y (6) que representan respectivamente el de carga de acumulador, elevación rápida y el de carga y zumbador.

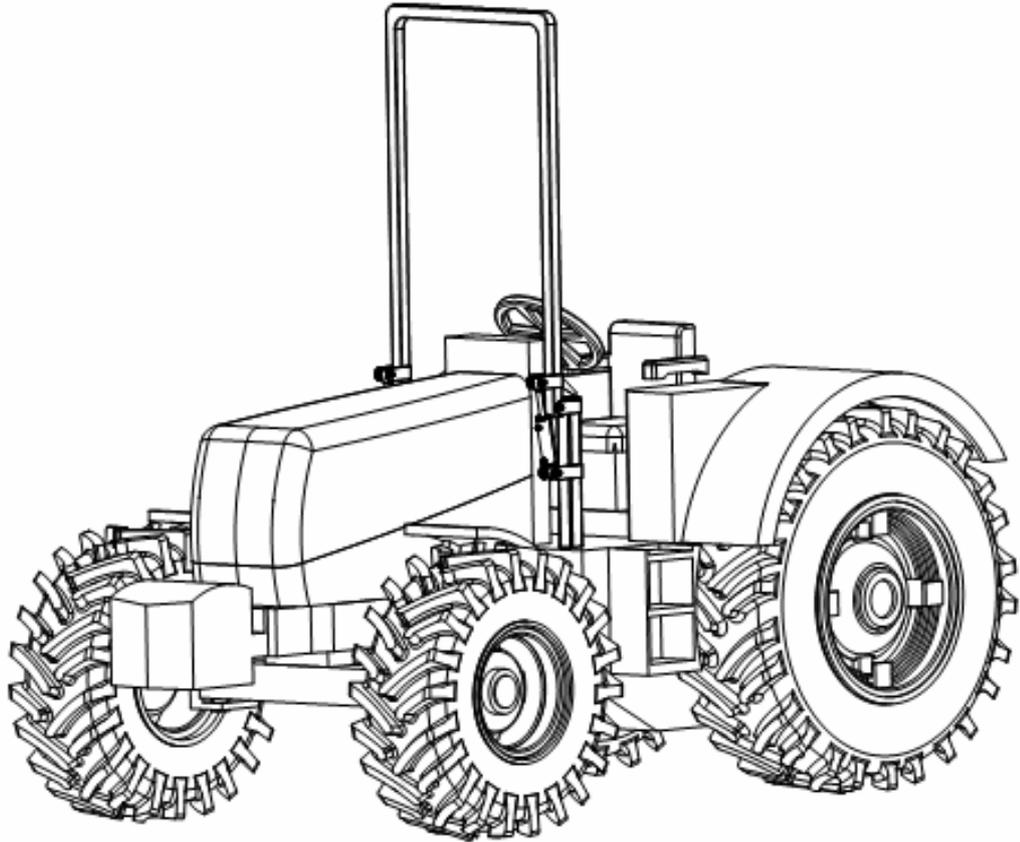


Figura 5. Montaje completo del dispositivo en vista lateral, estando el dispositivo de despliegue del arco de seguridad y todo el conjunto de elementos fijados al chasis del vehículo agrícola, mediante pernos roscados.

Referencia

4906/17IAEA-L



Universidad
Politécnica
de Cartagena

***CONTRATO DE LICENCIA DE EXPLOTACIÓN DE
PATENTE***

CONTRATO DE LICENCIA DE EXPLOTACIÓN DE PATENTE ENTRE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA Y LA EMPRESA Hnos. Heredia y Mulero S.L.

En Cartagena, a 03 de mayo de 2017

COMPARECEN

De una parte, la UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA (en adelante UPCT), con C.I.F. Q-8050013-E, con sede en Cartagena, edificio "La Milagrosa", Plaza Cronista Isidoro Valverde y en su nombre y representación el Sr. D. Alejandro Pérez Pastor, Vicerrector de Innovación y Empresa de la Universidad Politécnica de Cartagena, por delegación expresa de firma (R-348/16 de 26/04/2016),

De otra parte, Hnos. Heredia y Mulero S.L. (en adelante la Empresa) con C.I.F B-30073332 , con sede en LORCA (MURCIA), calle CTRA. DE AGUILAS, nº 142 C.P 30813., que fue constituida ante Notario de LORCA D. Juan Antonio López Frías. el 22. de mayo. de 1992., inscrita en el Registro Mercantil de Murcia. y en su nombre y representación el Sr. D. José Mulero Peñas , actuando en calidad de gerente con D.N.I. 23.228.656-J, de la cual tiene concedido poder en escritura otorgada ante el Notario de Lorca D. Eduardo Villamor Urban en fecha 23 de Noviembre . de 2012.

Ambos representantes, reconociéndose mutuamente capacidad jurídica suficiente, suscriben en nombre de las respectivas entidades el presente contrato y, al efecto

EXPONEN

PRIMERO.- Que la UPCT es titular de los derechos de explotación de la patente titulada "**Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas**", con número de expediente **ES2452489** en la Oficina Española de Patentes y Marcas, desarrollada por el equipo de investigación del profesor D. Bernardo Martín Gorriz, perteneciente al Departamento de Ingeniería de los Alimentos y del Equipamiento Agrícola de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de dicha Universidad.

SEGUNDO.- Que EMPRESA está interesada en obtener licencia de los derechos de explotación de la citada patente.

Y en consecuencia, ambas partes acuerdan las siguientes:

CLÁUSULAS

PRIMERA.- OBJETO DEL CONTRATO

El objeto del presente contrato es regular la concesión de licencia de los derechos de explotación de la patente "**Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas**", propiedad de la UPCT, cuyo número de expediente en la Oficina Española de Patentes y Marcas es **ES2452489**, y fecha de publicación 06/02/2015, a EMPRESA, así como la fabricación conjunta y empleo de un prototipo comercializable del objeto de la patente.

En el presente contrato no se incluyen los conocimientos adicionales al contenido de la solicitud de patente. De estar EMPRESA interesada en ellos, serán objeto de un contrato para asesoramiento y asistencia técnica en el que se regularán dichas condiciones.

SEGUNDA.- ÁMBITO TERRITORIAL

El área geográfica respecto a la cual se concede la presente licencia es España.

TERCERA.- DURACIÓN DEL CONTRATO Y PRÓRROGA

El periodo de validez de esta licencia será de 5 años, contado a partir de la fecha de su firma. De continuar EMPRESA interesada en la explotación de la patente al concluir dicho período, ambas partes negociarán nuevamente la cuantía de la regalía correspondiente. En caso de no llegar a un acuerdo, se dará por finalizada la licencia de explotación.

CUARTA.- LICENCIA

EMPRESA, de acuerdo con lo anterior y con la Normativa Reguladora de la Propiedad Industrial e Intelectual de la UPCT, recibe automáticamente licencia no exclusiva de explotación de la patente, limitada al lugar, tiempo y objeto señalados en este contrato.

QUINTA.- FABRICACIÓN DE PROTOTIPO

Ambas partes se comprometen a la elaboración de un prototipo del objeto de la patente, haciendo uso de sus propios medios, sin que dicha actividad constituya relación de servicio.

A tal efecto, EMPRESA se hará cargo de la compra e instalación de los materiales del sistema hidráulico y la UPCT de la compra e instalación de los materiales e instalación del sistema electrónico, estimándose prácticamente iguales en valor las dos contribuciones.

SEXTA.- IMPORTE Y CONDICIONES DE PAGO

Como contraprestación a la licencia de los derechos de explotación, EMPRESA abonará a la UPCT una regalía del 2,5 % del valor neto de las ventas generadas por el objeto de la licencia. Se entenderá como valor neto de las ventas el valor en factura sobre muelle de fábrica de las mercancías suministradas por EMPRESA a sus clientes dentro y fuera del territorio nacional, quedando excluidos los gastos de transporte a su destino y otros ajenos al valor en muelle de fábrica de la mercancía suministrada.

Hasta tanto no haya ventas de los productos antedichos, EMPRESA no estará obligada a abonar ninguna cantidad a la UPCT.

En caso de producirse la venta de la unidad comercializable referida en la cláusula anterior, los ingresos se distribuirán al 50% entre EMPRESA y la UPCT.

Estas cantidades deberán incrementarse con el correspondiente IVA.

SÉPTIMA.- FORMA DE PAGO

La cuantificación de los beneficios obtenidos de la comercialización del objeto de la licencia y posterior cálculo de la regalía, se efectuará a fecha 31 de Diciembre de cada año, abonándose a la UPCT la cantidad restante en los 30 días siguientes a la recepción en Contabilidad de la Empresa de la correspondiente factura emitida por la UPCT.

El abono de dichas cantidades se hará efectivo mediante transferencia bancaria en el BANCO DE SANTANDER, C/ Aire, 21 de Cartagena, en la cuenta IBAN ES82 0049 6661 12 2816119628 (BIC: BSCHEMM) sin perjuicio de la futura habilitación de medios de pago electrónicos, a nombre de la Universidad Politécnica de Cartagena, con la referencia del contrato como concepto, contra factura dirigida a D. José Mulero Peñas .de la Empresa y en un plazo de treinta días naturales a partir de la fecha de recepción de la correspondiente factura

OCTAVA.- NOTIFICACIONES

Todas las notificaciones de carácter administrativo que cualquiera de las partes deba dirigir a la otra, se efectuarán por escrito y enviarán de forma que se tenga la seguridad de que han llegado a su destino, no pudiendo alegar, en ningún caso, remisión de las comunicaciones que no pueda demostrar que hayan sido efectivamente recibidas por la parte destinataria.

Se establece como domicilio y representante de las Partes a efectos de las notificaciones los siguientes:

Por la Empresa

Contacto: José Mulero Peñas
Dirección: Ctra. de águilas 142
30813-Lorca (Murcia)

Tel. 630176750 **Fax.** 968 406692
e-mail: pepe@herediaymulero.com

Por la UPCT

Contacto.: Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI)
Dirección: Plaza Cronista Isidoro Valverde, s/n
Edf. La Milagrosa, 30202 Cartagena
Tel.: 968/32.53.49 - **Fax.:** 968/32.64.22
e-mail: transferencia.resultados@upct.es

NOVENA.- PROPIEDAD DE LOS DERECHOS DE PATENTE EN OTROS PAÍSES

Si por interés de la EMPRESA se acordara el registro de esta patente en algún país extranjero, se hará a nombre de la UPCT, quedando el presente contrato automáticamente extendido para la explotación de la patente en dicho país. Las gestiones en este sentido serán efectuadas por la UPCT, y la EMPRESA correrá con los gastos correspondientes del registro y mantenimiento.

De no interesarle a la EMPRESA, la UPCT podrá efectuar dicho registro, quedando libre para licenciar la patente con terceras empresas en los países que abarquen dicho registro.

DÉCIMA.- UTILIZACIÓN DEL OBJETO DE LA LICENCIA POR PARTE DE LA UPCT

La UPCT se reserva la facultad de uso de las técnicas, *know-how* e invenciones licenciadas a EMPRESA en el presente contrato, exclusivamente para los fines de su propia investigación y docencia.

UNDÉCIMA.- PERIODO DE EXPLOTACIÓN

La EMPRESA se compromete a iniciar la explotación de la patente en un periodo razonable desde la firma de este contrato, nunca superior a cinco años desde la concesión de la patente

DUODÉCIMA.- CESIÓN DE DERECHOS

EMPRESA no podrá ceder a terceros los derechos derivados del presente contrato, sin el consentimiento previo y por escrito de la UPCT.

DECIMOTERCERA.- RESPONSABILIDAD SOBRE LOS RIESGOS DE EXPLOTACIÓN

EMPRESA asume los riesgos derivados de la explotación comercial del objeto de esta licencia, tanto en relación con los productos, pruebas de duración, fiabilidad, etc., como en relación con los sistemas de producción.

DECIMOCUARTA.- RESPONSABILIDADES FISCALES

Será responsabilidad de EMPRESA todas las cargas fiscales que puedan recaer sobre la explotación comercial del objeto de la licencia.

DECIMOQUINTA.- GARANTÍAS A CLIENTES

Serán responsabilidad de EMPRESA las garantías dadas a los clientes respecto al objeto de la explotación.

La UPCT no asume ninguna responsabilidad frente a terceros y es totalmente ajena a litigios derivados de la explotación comercial del objeto de la licencia.

DECIMOSEXTA.- OBLIGACIONES DE LA EMPRESA ANTE LA UPCT

Constituyen obligaciones de la EMPRESA hacia la UPCT:

- a. Enviar informes semestrales, por escrito, especificando el volumen de las ventas de los productos sujetos a este contrato y fecha de facturación de las mismas, realizadas durante el semestre anterior.
- b. Llevar una contabilidad relativa a las patentes que afecten a este contrato y facilitar el acceso a la misma a la UPCT o a la persona que ésta designe, que permita la comprobación del cumplimiento de los compromisos pactados.

DECIMOSÉPTIMA.- CANCELACIÓN POR INVIABILIDAD COMERCIAL

Si las dos partes apreciaran la inviabilidad comercial del objeto de esta licencia, de común acuerdo negociarían la cancelación de la misma.

DECIMOCTAVA.- INCUMPLIMIENTO DE CONTRATO

El incumplimiento de cualesquiera de las obligaciones contraídas en el presente contrato por cualquiera de las partes, faculta a la otra para resolver el mismo. En tal caso, quedarán automáticamente anulados todos los derechos de explotación por parte de EMPRESA quedando ésta obligada a pagar la regalía correspondiente al semestre en curso.

DECIMONOVENA.- ESCRITURA PÚBLICA

Este documento será elevado a escritura pública a petición de cualquiera de las partes contratantes, a su costo, o cuando así lo requiera la legislación vigente.

VIGÉSIMA.- JURISDICCIÓN

EMPRESA y la UPCT se comprometen a resolver de manera amistosa cualquier desacuerdo que pueda surgir en el desarrollo del presente acuerdo.

EMPRESA declara conocer el carácter de Entidad de Derecho Público, que ostenta la UPCT y, en consecuencia, la aplicabilidad a la misma de las normas del Procedimiento Administrativo. En su caso, las partes contratantes someterán las divergencias que pudieran plantearse en orden a la interpretación o cumplimiento del presente Contrato a los Tribunales de Cartagena, con renuncia de su propio fuero.

Y en prueba de conformidad de cuanto antecede, firman por duplicado el presente documento en el lugar y fecha arriba indicados.

POR LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA DE CARTAGENA



D. Alejandro Pérez Pastor



POR LA EMPRESA.....

Hermanos
HERED S. L.



CIF: B-3007
Ctra. Águilas
30813 Torre
968 46 77
www.heredia.com

HOLLAND

Promodis

D. José Mulero Peñas

Capítulo 3.

Desarrollo de un sistema hidráulico automático para el despliegue del arco de seguridad en tractores agrícolas: Prototipo y primeros ensayos

D. Ojados González, B. Martín-Górriz, I. Ibarra Berrocal, F. Caro García, P. Morales Sánchez, B. Miguel Hernández. **2016**. Development of an automatically deployable roll over protective structure for agricultural tractors based on hydraulic power: Prototype and first tests. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124: 46-54.

25 personnel. The tractor's hydraulic power was used to move the protective structure. In order to
26 increase the deployment speed of ROPS, a pressure accumulator was included in the hydraulic
27 circuit. The deployment time of the ROPS without the pressure accumulator was 2.599 s and
28 with the pressure accumulator 0.743 s. The results of the research show that the pressure
29 accumulator assembled in the hydraulic circuit reduced the deployment time of ROPS by 71%;
30 and that the electronic control system can correctly predict overturn. HydraROPS has the
31 advantage compared to other automatic deployment devices of protective structures that can be
32 installed on tractors equipped with a certified rollover protective structure. The installation in
33 marketable tractor models does not modify the protection structure; therefore a new certification
34 of the protection structure is not necessary.

35

36 **Keywords:** Tractor safety; Overturn; ROPS; Injury; Emergency notification.

37

38 **1. Introduction**

39 Tractor overturns are the leading cause of fatalities in the agricultural industry. In USA, nearly
40 50% of tractor fatalities come from tractor overturns (HOSTA, 2004). In Australia, over the
41 2004-07 period, 65 fatalities occurred due to working with tractors, 17 of the deaths (26%) were
42 due to tractor rollover (SWA, 2011). In the EU, a survey carried out by the European
43 Commission of EU member states revealed that 40% of serious injuries and deaths during tractor
44 overturns occurred when a foldable ROPS was not deployed into its protective position (Hoy,
45 2009). In Spain, between 2004 and 2008 the main cause of death in the agriculture sector was the
46 tractor overturning (70%) (Arana et al., 2010). In the Region of Murcia (Spain), over the 2005-
47 2012 period, in 11 of the 44 accidents with tractors, the Roll Over Protective Structure (ROPS)
48 was down at the time when the accident occurred, and this contributed to fatal accidents (Martin-
49 Gorriz et al., 2012). Narrow-track tractors and standard tractors equipped with foldable ROPS

50 are permitted in orchards and vineyards with lowered ROPS. However, due to their complicated
51 ergonomics and the difficulty of handling by the operators, the ROPS tend to remain folded at all
52 times. The consequence is clear; a misuse of the ROPS makes it highly inefficient as a rollover
53 protection system.

54
55 A large number of recent publications are related to applying new technologies and design
56 solutions to promote the automatic deployment of protective structures. Powers et al. (2001)
57 developed an automatically deployable rear-mounted ROPS. It consisted of two subsystems, the
58 first one is a retractable ROPS, which is normally latched in its lowered position for day-to-day
59 use, and the second is a sensor that monitors the operating angle of the tractor. In the event of an
60 overturn, the sensor detects the angle and the retracted ROPS is deployed automatically and
61 locked in the fully upright position before ground contact. This deployable ROPS requires no
62 action to be lifted because it is compressing two springs, located into the fixed part of the ROPS
63 that lift it when two pins that hold the structure in the retracted configuration are simultaneously
64 disengaged by solenoids. Silleli et al. (2007) introduced an additional system for narrow-track
65 orchard and vineyard tractors, developing an automatically deployable telescopic structure which
66 increases the top width of a front-mounted roll bar. The system increased the protection
67 efficiency of the ROPS for the tractor operators and at the same time reduced the overhead
68 clearance required by these machines, to improve potential usage in orchard and vineyard
69 conditions. Ballesteros et al. (2013, 2015) developed and tested an automatically deployable
70 front-mounted ROPS for narrow tractors, using airbag inflators, able to simultaneously increase
71 the height and the upper width of the ROPS. The double change of the ROPS geometry reduces
72 the continuous rolling risk, increases the safety zone in a lateral direction, and allows a reduction
73 in the ROPS height, the bending moments at critical sections, and the ROPS beams sections.

74

75 Other researchers have focused on developing systems capable of informing the tractor operator
76 of the stability of the tractor at all times. Nichol et al. (2005) proposed a device using low-cost
77 sensors and microcomputers to inform the operator of potential tractor instability. DTAEBT
78 (2015) developed an electronic device to monitor tractor stability on sloping ground. Its purpose
79 is to gradually warn the operator as the instability and rollover risk increase. The device called
80 InclSafe can be bought as an aftermarket add-on for a variety of tractor models. Liu and Koc
81 (2013, 2015) developed a smartphone application to transmit the accelerometer and gyroscope
82 signals from a smartphone's built-in sensors to a computer over a wifi network. The application,
83 called SafeDriving, proved how a mobile phone can be used to collect data for the stability
84 assessment of a tractor during operation. These systems try to teach the operator what the risk
85 situations are and what they can do to avoid them.

86
87 The present research sought to develop and test a new automatic system to deploy the ROPS on
88 tractors using hydraulic power; hence this ROPS has been named 'Hydraulic deployment ROPS'
89 (HydraROPS). Two possible options for deploying the ROPS have been considered: (1) the
90 system informs the tractor driver that the stability of the tractor has reached dangerous levels. In
91 the situation above, the driver will be able to use the mechanism to raise the rollover protective
92 bar from the driving seat; and (2) the system automatically deploys the ROPS when the tractor is
93 near to the point of rollover. In this option, it automatically sends a phone message with the GPS
94 location to contact emergency response personnel. This could result in a quicker and more
95 efficient response by emergency personnel, which may in turn save lives or improve the recovery
96 time for non-fatally injured victims.

97

98 **2. Materials and methods**

99 **2.1. Design requirement**

100 HydraROPS is composed of two subsystems: (i) an electronic control subsystem, and (ii) a
101 hydraulic subsystem to move the ROPS. The requirements for the electronic control subsystem
102 were the following:

- 103 • It will be possible to change the ROPS position when the driver recognises a risk
104 situation.
- 105 • Should an immediate rollover condition exists, the ROPS will deploy automatically
106 without the intervention of the driver.
- 107 • Should a potential rollover condition exist, an audible signal will alert the driver.
- 108 • Immediately after a rollover situation, the system will send geographic coordinates of the
109 tractor's location to the emergency call centre.
- 110 • The information related to the movement of the ROPS will be recorded. This data can
111 prove critical in reconstructing the accident. When the ROPS is deployed (manual or
112 automatic mode) time, pitch angle, roll angle and GPS coordinates are recorded. In
113 automatic mode this is recorded plus GPS.

114 The requirements for the hydraulic subsystem were the following:

- 115 • The deployment time of the ROPS will be in time to stop the tractor from rolling onto the
116 driver.
- 117 • The ROPS will remain deployed when the tractor is switched-off.

118 In addition, HydraROPS should be as economical as possible to promote its installation by
119 farmers on their tractors with a front-mounted foldable ROPS.

120 The main advantages of the use of the hydraulic power of the tractor for the deployment of the
121 ROPS are (1) It uses a type of power that exists in all the tractors, and as a part of the tractor
122 circuit is used, this reduces the economic cost of the installation;(2) It can be operated as many
123 times as necessary, (3) It takes up little space and does not interfere with other uses that the
124 farmers give a tractor.

125

126 **2.2. Control algorithm**

127 Tractor overturns are related to various factors, such as a tractor's dimensions, the relative
128 position of the centre of gravity, and dynamics, such as speed, turning radius and terrain. The
129 stability of a tractor can be classified into static and dynamic stabilities. A stability index based
130 on static stability is simple, thus it is more easily applied as the first step to automatic
131 intervention in an engineering control. In this research, the mathematical model proposed by Liu
132 and Ayers (1998) was used. The authors proposed the development of a stability index in a
133 combination of pitch and roll (SI_{COM}). Their work showed that the stability indices indeed
134 predicted instability at the times of overturn for both side and rear overturn. The details of this
135 control algorithm can be found in Liu and Ayers (1998). The overall stability index value was
136 calculated using the following equation (1):

137

$$138 \quad SI_{COM} = \left[1 - \sqrt{\left(\frac{\theta^2}{\theta_{cri}^2} + \frac{\phi^2}{\phi_{cri}^2} \right)} \right] \times 100 \quad (1)$$

139

140 where θ and ϕ are the pitch angle and roll angle of the vehicle and θ_{cri} and ϕ_{cri} are the critical
141 pitch angle and critical roll angle, at which lateral or longitudinal overturning is about to happen.
142 The stability index (SI_{COM}) values range between 0 (least stable) and 100 (most stable). The
143 algorithm for activating deployment of a safety system proposed by Liu and Ayers (1998) was
144 the following criteria (2):

$$145 \quad SI_{COM} \leq SI_{cri} = 0 \quad (2)$$

146

147 **2.3. Electronic control subsystem**

148 The electronic control subsystem was designed for two modes of operation (Fig. 1): mode 1,
149 voluntary operation by the tractor driver, and mode 2, automatic operation in the event of
150 imminent roll over. The software uses the physical parameters of the tractor and the data from
151 the sensors of the electronic subsystem to conduct the signal processing and implementation of
152 the control algorithm. Two warning levels were defined. In the first level, when the stability
153 index (SI_{COM}) value was below 40, an audible warning signal was switched on, and the second
154 level, when the SI_{COM} value was below than 20, the ROPS was deployed.

155

156 [Figure 1. insert here].

157

158 The electronic control subsystem which acts on the hydraulic circuit was based on a
159 microcontroller board with other components. Fig. 2 shows the system architecture of the
160 HydraROPS prototype. The components that were used in the electronic control subsystem were
161 the following:

162 1. **Microcontroller circuit.** An Arduino ATmega2560 microcontroller board was used that
163 has a number of I/O ports suitable for the electronic components used. The assembly of
164 the components was modular. The software was programmed in the C language. Fig. 3
165 shows the flowchart for the algorithm used by the microcontroller.

166 2. **Inertial measurement unit.** An inertial measurement unit (PMU6050) composed of an
167 accelerometer and a gyroscope was used. This device senses static and dynamic
168 accelerations and computes the angle at which the tractor is operating. A Kalman filter
169 was used to filter the noise from the accelerometer and gyroscope sensors. The Kalman
170 filter is a set of mathematical equations that provide an optimal means of estimating the
171 state of a process so that the error is minimised. This filter is widely used in navigation
172 and control systems.

- 173 3. **Communication module.** The communication module SIM908 was used to connect
174 GSM network and receive GPS. This shield with a Quad-band GSM/GPRS engine works
175 on frequencies EGSM 900MHz/DCS 1800MHz and GSM850 MHz/PCS 1900MHz. It
176 also supports GPS technology for satellite navigation. The combination of both
177 technologies allows goods, vehicles and people to be tracked seamlessly at any location
178 and at any time with signal coverage. When the device operates automatically (mode 2)
179 the GSM/GPRS module was activated and sends a short message (SMS) with the
180 geographic coordinates of the tractor's location. This could result in a quicker and more
181 efficient response by emergency personnel, which may save lives or improve the
182 recovery time for non-fatally injured victims.
- 183 4. **Memory card.** The microSD memory card (Arduino microSD shield) was used to record
184 the data. When HydraROPS was moved manually or automatically the following data
185 were recorded in the memory card: time (hh:mm:ss), pitch angle (degrees), roll angle
186 (degrees), geographic coordinates (longitude and latitude), position of the ROPS
187 (horizontal or vertical position) and mode to switch-on the ROPS (mode 1 or 2).
- 188 5. **Relay module.** In the full-scale tractor the relay module was used to operate the
189 hydraulic subsystem. The normally open contacts of the relay were connected to solenoid
190 valves that, when ignited, deploy the hydraulic cylinders of the HydraROPS. Solid-state
191 relays were used because they are more robust than electromechanical relays. In the scale
192 model tractor a solenoid coil was used to deploy the ROPS.

193
194 These electronic components were placed inside a box panel with IP (International Protection)
195 code 66. The box panel was located close to the steering wheel of the tractor to make it easily
196 accessible for the tractor driver, because in mode 1 the ROPS is switched on by the driver.

197

198 [Figure 2. insert here].

199

200 [Figure 3. insert here].

201

202 **2.4. Hydraulic subsystem**

203 HydraROPS was designed to be mounted on a tractor with a front-mounted deployable ROPS.

204 Fig. 4 shows the hydraulic circuit of HydraROPS. In order to make the prototype less expensive,

205 the hydraulic power of the tractor was used to move the deployable ROPS (Carraro, X 260-3).

206 Two hydraulic cylinders, (CHB 50/30 – 150, stroke length of 150 mm, bore diameter of 50 mm,

207 piston rod diameter of 30 mm and maximum operating pressure of 20 MPa) one on each side of

208 the ROPS, raised and lowered the structure. In a preliminary study, it should be noted that

209 deployment time was evaluated in comparison to other power sources such as spring action

210 technology (Powers et al., 2001) or airbag inflators technology (Ballesteros et al., 2013). In order

211 to solve this problem, a bladder pressure accumulator was included in the hydraulic circuit for

212 faster deployment of the ROPS. In addition, the pressure accumulator (volume of 1.5 L and

213 pressure of 7 MPa, Hydro Leduc, Azerailles, France) allows a last activation of the ROPS even

214 though the tractor engine has been switched off.

215

216 [Figure 4. insert here].

217

218 **2.5. Economic assessment**

219 Figure 5 shows hydraulic and electronic components of HydraROPS installed in a Case 2120V

220 tractor with a certified protection structure. Figure 6 shows this tractor with ROPS in retracted

221 position and in deployed position. The total cost to place the HydraROPS in this tractor was

222 2176 €. Hydraulic components were the highest item totalling 1016 € (47 %), followed by the

223 electronic components at 522 € (24 %). The cost of the labour to assemble the electronic and
224 hydraulic components was 636 € (29 %). The cost reported here was for a prototype device. The
225 device is not yet marketable. This cost can no doubt be reduced with large scale quantities. In the
226 not too distant future, we aim to sell HydraROPS as a kit for marketable tractor models with a
227 front-mounted deployable ROPS.

228

229 [Figure 5. insert here].

230

231 [Figure 6. insert here].

232

233 **3. Performance evaluation**

234 **3.1. Electronic device test in scale tractor**

235 The evaluation of the electronic devices was made in a scale (1:16) remote-control tractor
236 implemented with the electronic components of the prototype. The track width of the scale
237 tractor was 127 mm, the height of the centre of gravity was 66 mm, and the mass of the scale
238 tractor with the electronic components was 1062.2 g. The critical roll and critical pitch angles
239 values were calculated for the control algorithm. These physical parameters of the tractor and the
240 data from the sensors were used for implementation of the control algorithm. Fig. 7a shows the
241 scale tractor with ROPS in the operating position. The Solid Works v. 2012 (SolidWorks Corp.,
242 Massachusetts, USA) computer program was used to design a three-dimensional (3D) model of
243 the ROPS. The ROPS was built in acrylonitrile butadiene styrene using a 3D printer (Dimension
244 BST 1200ES). The dimensions of the ROPS to the protection of the clearance zone for the driver
245 have been calculated according to OECD Code 6 (2012). A solenoid coil was used to activate the
246 spring that was deployed the ROPS. The scale tractor was operated on a test platform with a
247 rising slope in laboratory conditions (Fig. 7b). The test platform has ascending and descending

248 slopes, and also side slopes to test the scale tractor under different conditions. The measured and
249 calculated data were transmitted to a personal computer via USB connection for further analysis
250 and reporting.

251

252 [Figure 7. insert here].

253

254 **3.2. Deployment time of HydraROPS test**

255 A high speed camera (Faster Imaging Trouble Shooter TSHRMS, Artisan Technology Group,
256 Champaign, IL, USA) was used to determine the time required to extend the structure. The
257 hydraulic circuit of HydraROPS (Fig. 4) was installed in a Case tractor model 2120V that was
258 used for this test. The tests were run in two sets of five deployments, five of them with the
259 pressure accumulator disassembled and five of them with the pressure accumulator assembled.
260 The deployment time was measured with the tractor at engine speed of 989 rev min⁻¹. Data were
261 analysed by one-way ANOVA, and differences among means were determined with Fisher's
262 (LSD) Multiple-Range Test using Statgraphics Plus, version 5.1., STSC Inc., Rockville, MD,
263 (USA). All significant differences were determined at the 0.05 level of significance.

264

265 **3.3. Electronic device test in real tractor**

266 After testing the electronic device subsystem in the scale tractor, HydraROPS was then tested on
267 a Case 2120V tractor. Field upset tests were conducted at the Agricultural Experimental Station
268 of the Technical University of Cartagena. The path was 114 m with a maximum pitch angle of
269 33.59° and maximum roll angle of 25.65°.

270

271 **4. Results and discussion**

272 **4.1. Electronic device test in scale tractor**

273 Several factors were considered when deciding to build a scale safe tractor. The first one was to
274 verify the correct operation of the electronic control subsystem, whilst the second one was its use
275 for teaching tractor safety in an Open Day for secondary school children at the Technical
276 University of Cartagena. The scale tractor has been used to teach basic knowledge such as:
277 explaining the role that the centre of gravity plays in tractor overturns or explaining how to be
278 protected during a tractor overturn.

279

280 **4.2. Hydraulic circuit tests**

281 Table 1 shows the deployment time of HydraROPS in the Case 2120V tractor with the pressure
282 accumulator disassembled and assembled. In our experimental conditions, when the pressure
283 accumulator was assembled in the hydraulic circuit, the deployment time was reduced by 71%.
284 This result shows it is necessary to include a pressure accumulator in the hydraulic circuit, when
285 hydraulic power is used to move the ROPS.

286

287 [Table 1. insert here].

288

289 A large reduction of the deployment time (71%) was produced by the use of the pressure
290 accumulator in the hydraulic circuit of HydraROPS. However, with other technologies the time
291 to extend the ROPS was less than with our prototype. In this sense, the spring-type system
292 developed by Etherton et al. (2002) deployed the structure in 0.202 s, the telescopic structure
293 developed by Silleli et al. (2008) deployed the structure in 0.160 s, and the airbag inflators
294 system developed by Ballesteros et al. (2015) deployed the structure in 0.312 s. Therefore, we
295 are working on a new hydraulic circuit to further reduce the deployment time of HydraROPS.

296

297 It should be noted that the literature offers findings about the overturning duration, which is
298 0.750 s according to Hathaway and Kuhar (1994) or 0.720 s according to Silleli et al. (2008).
299 This time was approximately the same as the time required to deploy the HydraROPS prototype.
300 In addition, by software it is possible to modify the stability index value to automatically start the
301 deployment the HydraROPS with less slope, and thus save time.

302

303 **4.3. Electronic device test in real tractor**

304 Fig. 8 shows pitch angle and stability index in a rearward upset field test, and Fig. 9 shows roll
305 angle and stability index in a sideward upset field test. The criterion that has been used for
306 deployment of ROPS following the Eq. (1) was that when the pitch angle or roll angle or both
307 are above the critical angle value the deployment of ROPS was activated. The experimental
308 results showed that the ROPS was deployed at 102 s from the start of the route. In this time the
309 combination of pitch angle (23.48 degrees) and roll angle (13.25 degrees) produced a stability
310 index value below 20.

311

312 [Figure 8. insert here].

313 [Figure 9. insert here].

314

315 **5. Conclusions**

316 A hydraulic deploying mechanism for ROPS has been designed, constructed and tested to be
317 used for agricultural tractors with a front-mounted ROPS. The deployment time of the
318 mechanism was tested using an existing tractor ROPS. The results of the research show that the
319 pressure accumulator assembled in the hydraulic circuit reduced the deployment time of ROPS
320 by 71%. The deployment time was 0.743 s. The electronic control system can correctly predict
321 overturn; in automatic mode, when the stability index value was below 40, an audible warning

322 signal was switched on, and when the stability index value was below 20, the ROPS was
323 deployed. The system sent geographic coordinates of the tractor's location to the emergency call
324 centre, and information related to the movement of the ROPS will be recorded. This data can
325 prove critical in reconstructing the accident.

326
327 HydraROPS has been patented (Ibarra Berrocal et al., 2015) and it has the advantage compared
328 to other automatic deployment devices of protective structures that it can be installed on tractors
329 equipped with certified rollover protective structures. The installation of HydraROPS in a tractor
330 does not modify the protection structure, therefore a new certification of the protection structure
331 is not necessary.

332
333 The results reported here are for a prototype device. The device is not yet marketable. Current
334 plans are to continue developing HydraROPS employing a new hydraulic circuit to further
335 reduce the deployment time of ROPS, and improve the control algorithm using the dynamic
336 stability index developed by Liu and Ayers (1999).

337
338 **Acknowledgements**
339 The *Instituto de Seguridad y Salud Laboral de la Región de Murcia* for financing the project of
340 “new safety devices in machinery”.

341
342 **References**
343 Arana, I., Mangado, J., Arnal, P., Arazuri, S., Alfaro, J.R., Jarén, C., 2010. Evaluation of risk
344 factors in fatal accidents in agriculture. *Span. J. Agric. Res.* 8 (3), 592-598.

345

346 Ballesteros, T., Arana, I., Pérez, A., Alfaro, J.R., 2013. E2D-ROPS: Development and tests of an
347 automatically deployable, in height and width, front-mounted ROPS for narrow-track tractors.
348 Biosyst. Eng. 116 (1), 1–14.
349

350 Ballesteros, T., Arana, I., Pérez, A., Alfaro, J.R., 2015. Development and validation of
351 automatically deployable ROPS based on airbag inflator technology. Biosyst. Eng. 130, 92 -105.
352

353 DTAEBT, 2015. Universal rollover risk warning device. <http://www.dtaebt.com> (access January
354 15th, 2015).
355

356 Etherton, J., Cutlip, R., Harris, J., Ronaghi, M., Means, K., Howard, S., 2002. Dynamic
357 performance of the mechanism of an automatically deployable ROPS. J. Agric. Saf. Health 8(1),
358 113–118.
359

360 Hathaway, L., Kuhar, J., 1994. Farm and ranch safety management. Moline, Il: Deere and
361 Company Service Publications.
362

363 HOSTA, 2004. Tractor Stability. National safe tractor and machinery operation program. Task
364 Sheet 4.12. The Pennsylvania State University, 1-4.
365

366 Hoy, R.M., 2009. Farm tractor rollover protection: why simply getting rollover protective
367 structures installed on all tractors is not sufficient. J. Agric. Saf. Health 15(1), 3-4.
368

369 Ibarra Berrocal, I., Martin Gorriz, B., Ojados Gonzalez, D., Miguel Hernandez, B., Caro Garcia,
370 F., Morales Sanchez, P., Morente Sánchez, A., 2015. Sistema de protección antivuelco para
371 vehículos agrícolas. Spanish Patent ES2452489 [In Spanish].
372

373 Liu, J., Ayers, P.D., 1998. Application of a tractor stability index for protective structure
374 deployment. *J. Agric. Saf. Health Special Issue* 4(1), 171-181.
375

376 Liu, J., Ayers P.D., 1999. Off-road vehicle rollover and field testing of stability index. *J. Agric.*
377 *Saf. Health* 5, 59-79.
378

379 Liu, B., Koc, A.B., 2013. SafeDriving: A mobile application for tractor rollover detection and
380 emergency reporting. *Comput. Electron. Agric.* 98, 117-120.
381

382 Liu, B., Koc, A.B., 2015. Field tests of a tractor rollover detection and emergency notification
383 system. *J. Agric. Saf. Health* 21(2), 113-127.
384

385 Martin-Gorriz, B., Ibarra Berrocal, I., Mínguez Samper, A., Morente Sánchez, A., 2012.
386 Accidentes por vuelco de tractor de la Región de Murcia: propuestas para su reducción.
387 *Formación de Seguridad Laboral* 123, 70-71 [In Spanish].
388

389 Nichol C. I., Sommer H. J., Murphy D. J., 2005. Simplified overturn stability monitoring of
390 agricultural tractors. *J. Agric. Saf. Health*, 11(1), 99-108.
391

392 OECD Code 6, 2012. OECD Standard Code for the official testing of front mounted roll-over
393 protective structures on narrow-track wheeled agricultural and forestry tractors. Paris:
394 Organisation for the Economic Co-operation and Development.

395
396 Powers, J.R., Harris, J.R., Etherton, J.R., Snyder, K.A., Ronaghi, M., Newbraugh, B.H., 2001.
397 Performance of an automatically deployable ROPS on ASAE tests. J. Agric. Saf. Health 7 (1),
398 51–61.

399
400 Silleli, H., Dayıoglu, M. A., Gultekin, A., Ekmekci, K., Yildiz, M. A., Akay, E., Saranlı G.,
401 2007. Anchor mechanism to increase the operator clearance zone on narrow-track wheeled
402 agricultural tractors: prototype and first tests. Biosyst. Eng. 97, 153-161.

403
404 Silleli, H., Dayıoglu, M.A., Gültekin, A., Saranlı, G., Yıldız, M.A., Akay, E., Ekmekçic, K.,
405 2008. Anchor mechanism to increase the operator clearance zone on narrow-track wheeled
406 agricultural tractors: Static and field upset test results. Biosyst. Eng. 99 (2), 196–204.

407
408 SWA, 2011. Fatalities due to working with tractors, Australia 2003-07. Government of Australia.
409 <http://www.safeworkaustralia.gov.au> (access January 15th, 2015).

410

411 **Tables and Figure Captions**

412 **Table 1.** Deployment time of HydraROPS in Case 2120V tractor.

413

414 **Figure 1.** Schematic diagram of the two possible modes to switch on HydraROPS.

415 **Figure 2.** System architecture of HydraROPS.

416 **Figure 3.** Flowchart for the algorithm used by the microcontroller.

417 **Figure 4.** Hydraulic circuit of HydraROPS.

418 **Figure 5.** Hydraulic and electronic components of HydraROPS installed in a Case 2120V
419 tractor. (a) hand box panel, (b) electronic box, (c) hydraulic cylinder, (d) electro-hydraulic circuit
420 of HydraROPS, (e) pressure accumulator, (f) exterior protection.

421 **Figure 6.** Case 2120V tractor with HydraROPS prototype installed. (a) ROPS in retracted
422 position (b) ROPS in deployed position.

423 **Figure 7.** (a) scale tractor, (b) test platform.

424 **Figure 8.** Pitch angle and stability index in a rearward upset field test.

425 **Figure 9.** Roll angle and stability index in a sideward upset field test.

426

427

Table 1. Deployment time of HydraROPS in Case 2120V tractor.

Type of test	Time (s)	
	Average value recorded of the 5 tests	Maximum value recorded of the 5 tests
Pressure accumulator disassembled	2.575 a	2.599
Pressure accumulator assembled	0.733 b	0.743

Treatments with different letters had significant differences according to Fisher (LSD) at 95.0%.

Figure 1

[Click here to download Figure: Fig_1.docx](#)

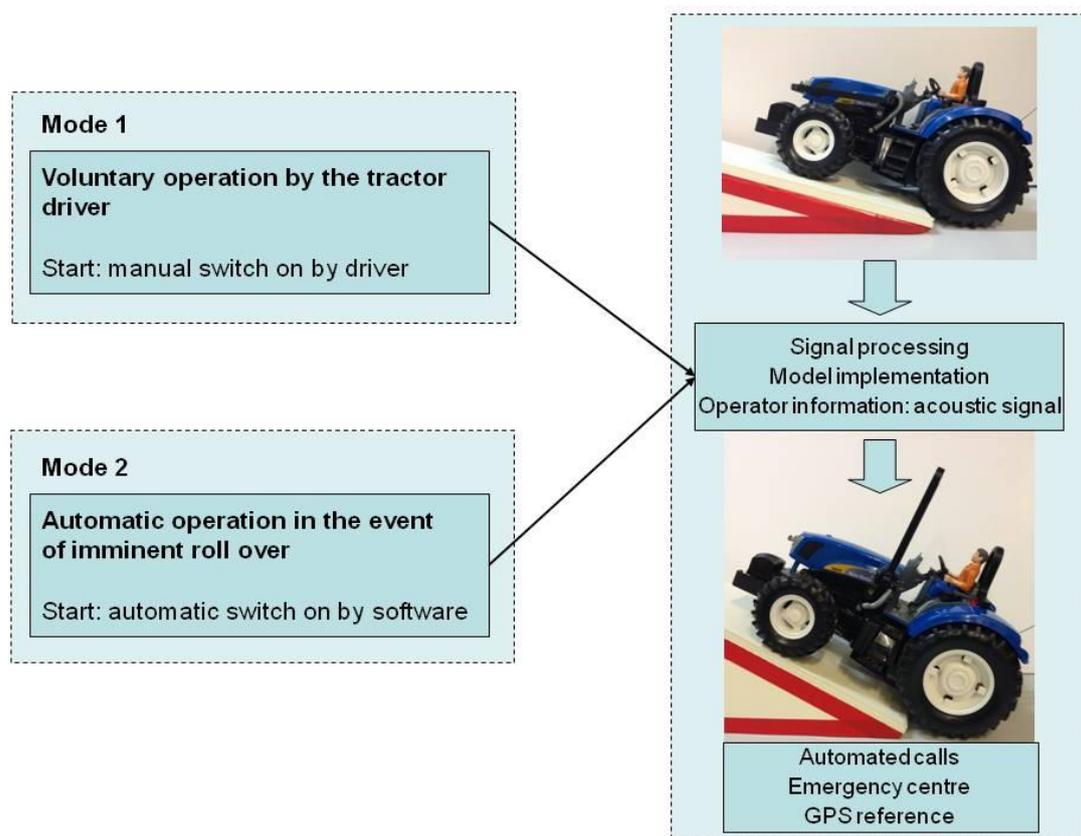


Figure 1. Schematic diagram of the two possible modes to switch on HydraROPS.

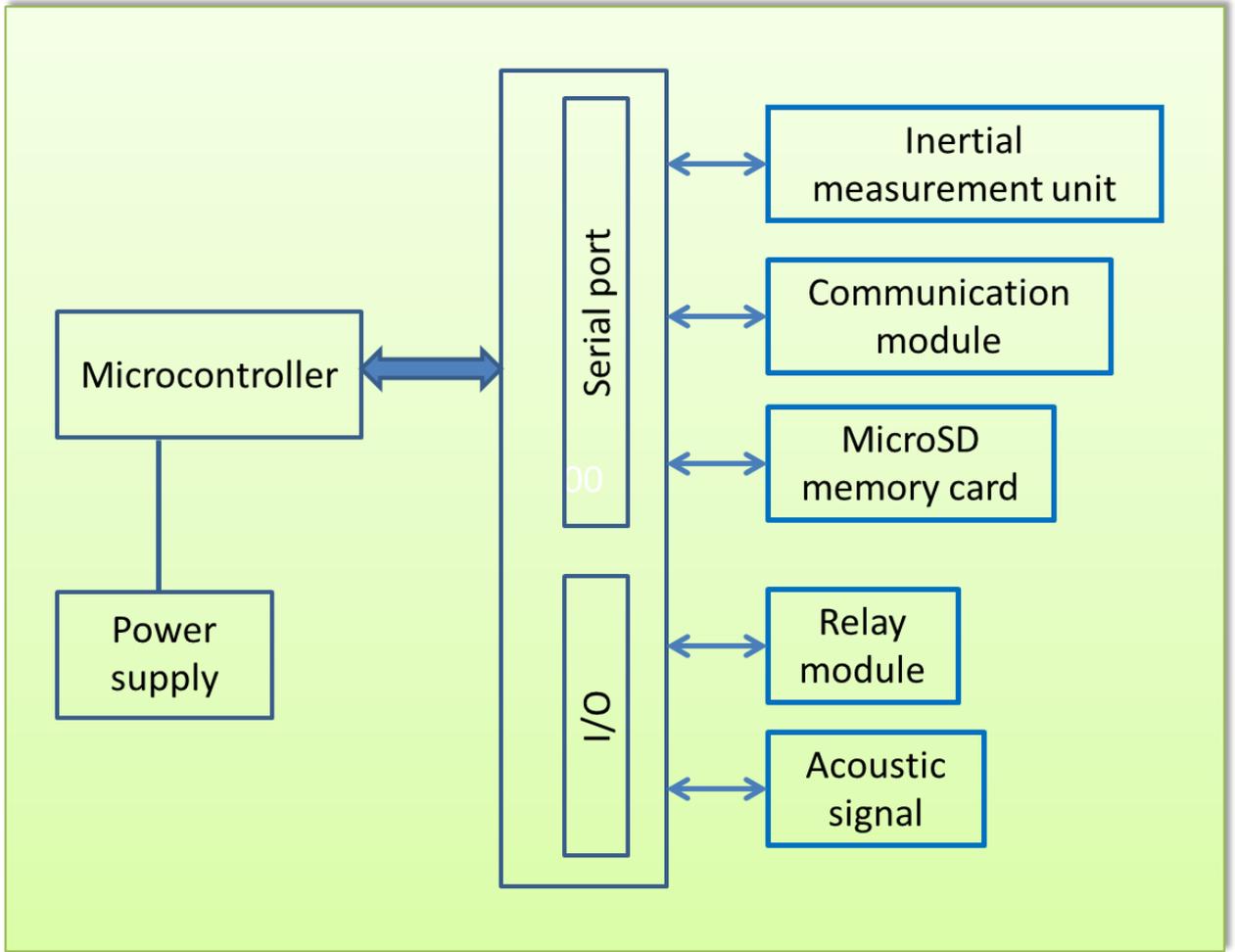


Figure 2. System architecture of HydraROPS.

Figure 3
[Click here to download Figure: Fig_3_R1.docx](#)

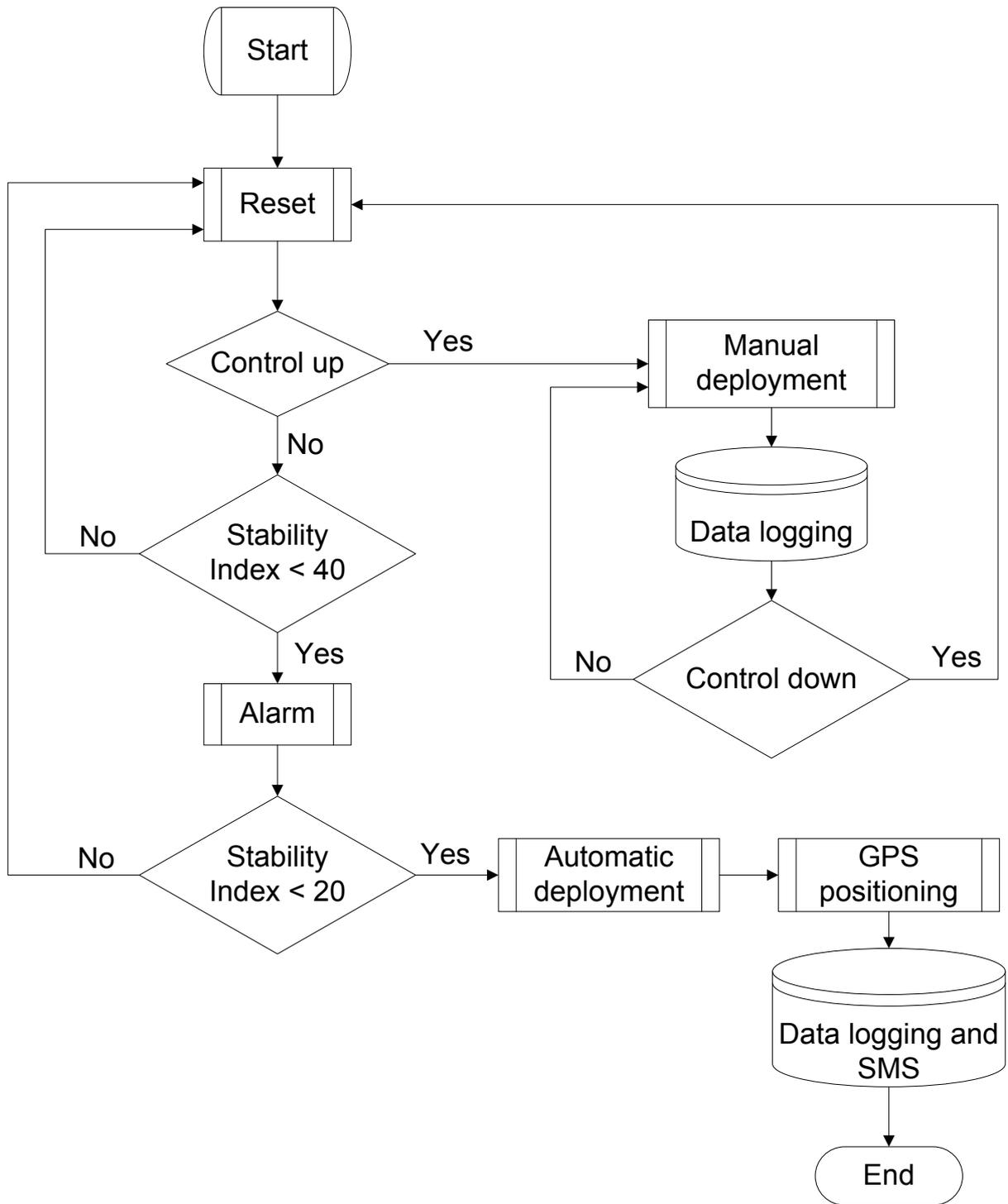


Figure 3. Flowchart for the algorithm used by the microcontroller.

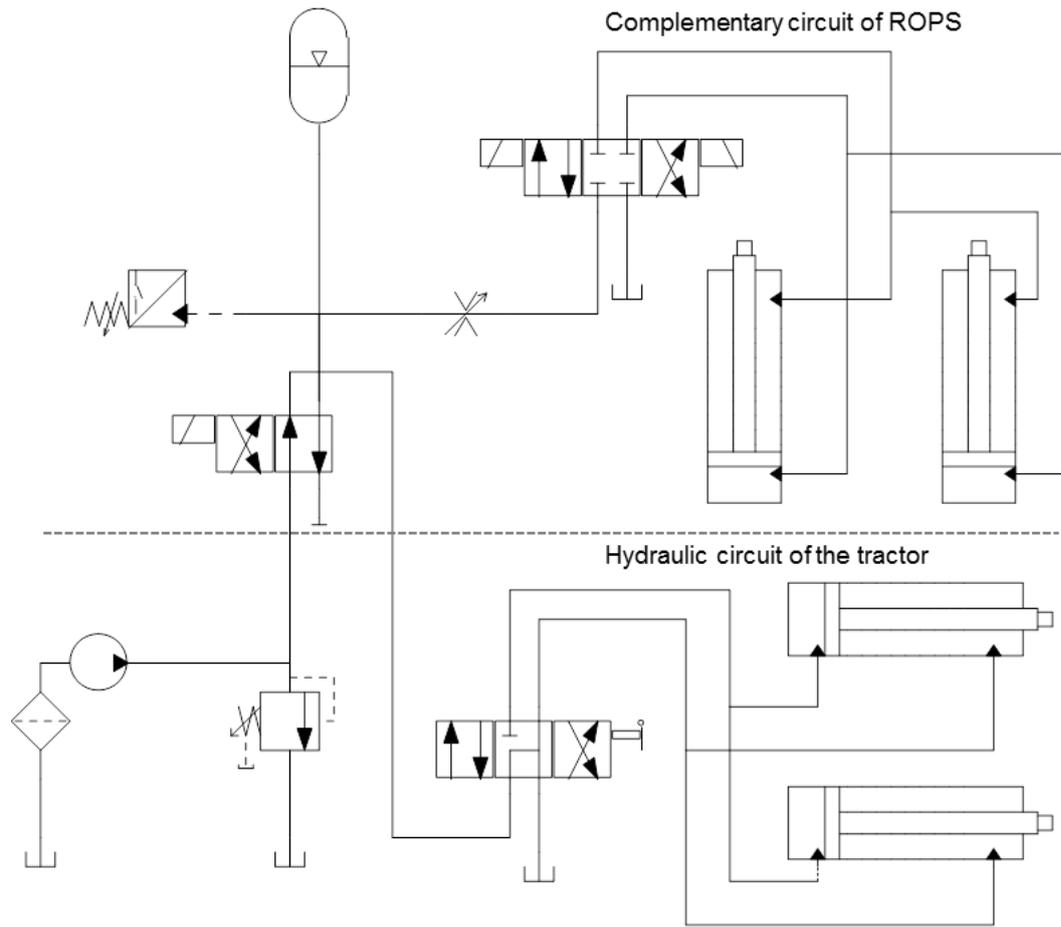


Figure 4. Hydraulic circuit of HydraROPS.

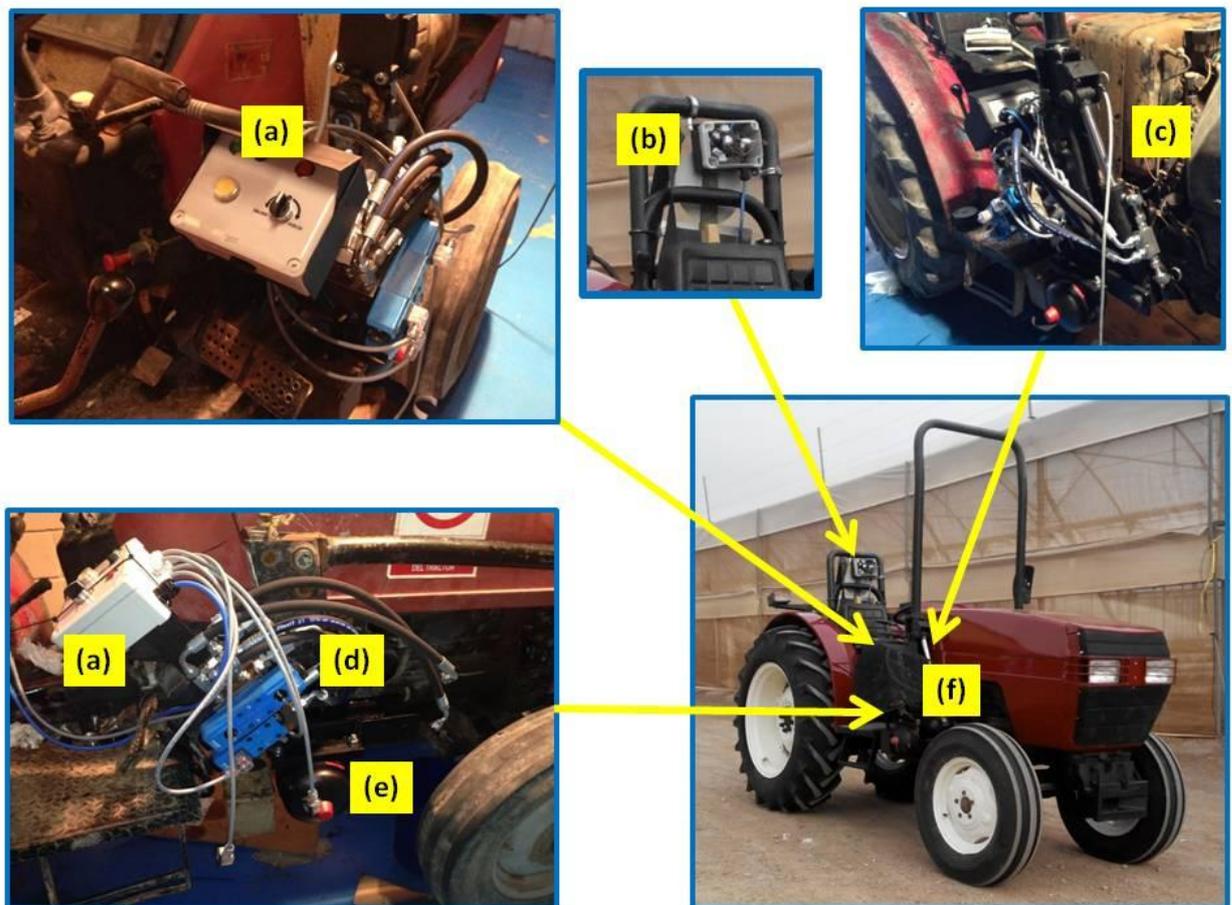


Figure 5. Hydraulic and electronic components of HydraROPS installed in a Case 2120V tractor. (a) hand box panel, (b) electronic box, (c) hydraulic cylinder, (d) electro-hydraulic circuit of HydraROPS, (e) pressure accumulator, (f) exterior protection.

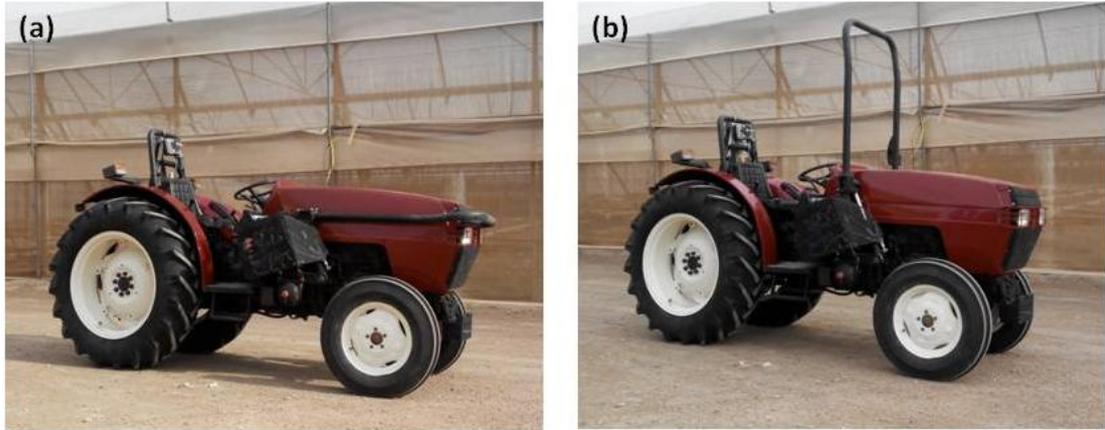


Figure 6. Case 2120V tractor with HydraROPS prototype installed. (a) ROPS in retracted position (b) ROPS in deployed position.

Figure 7

[Click here to download Figure: Fig_7.docx](#)

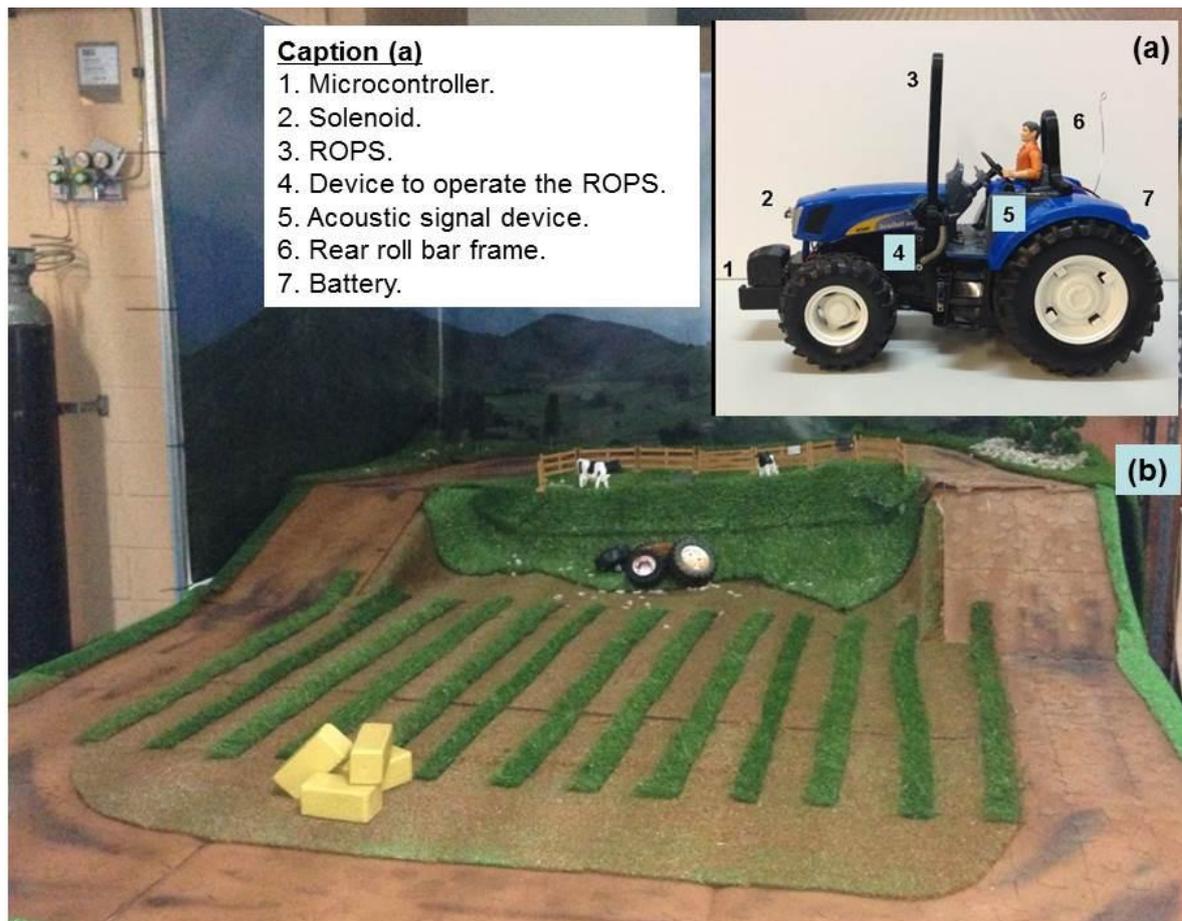


Figure 7. (a) scale tractor, (b) test platform.

Figure 8
[Click here to download Figure: Fig_8_R2.docx](#)

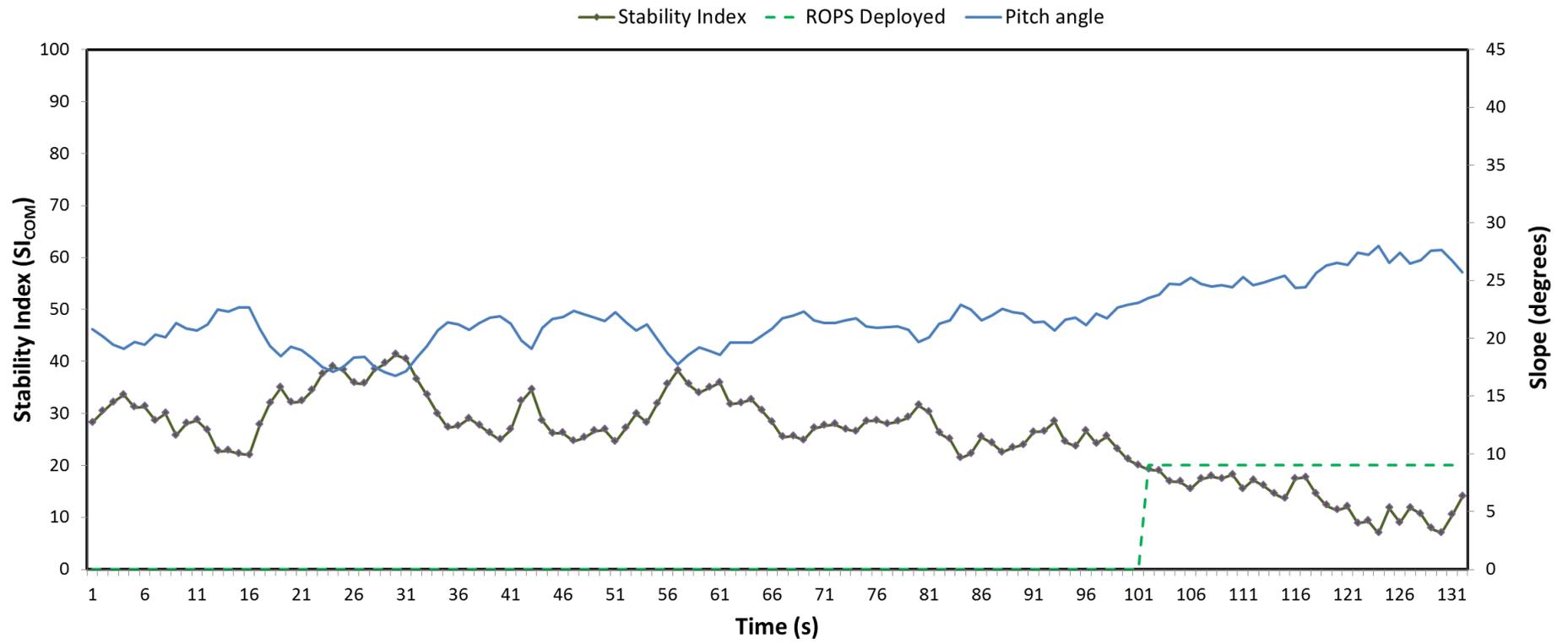


Figure 8. Pitch angle and stability index in a rearward upset field test.

Figure 9
[Click here to download Figure: Fig_9_R2.docx](#)

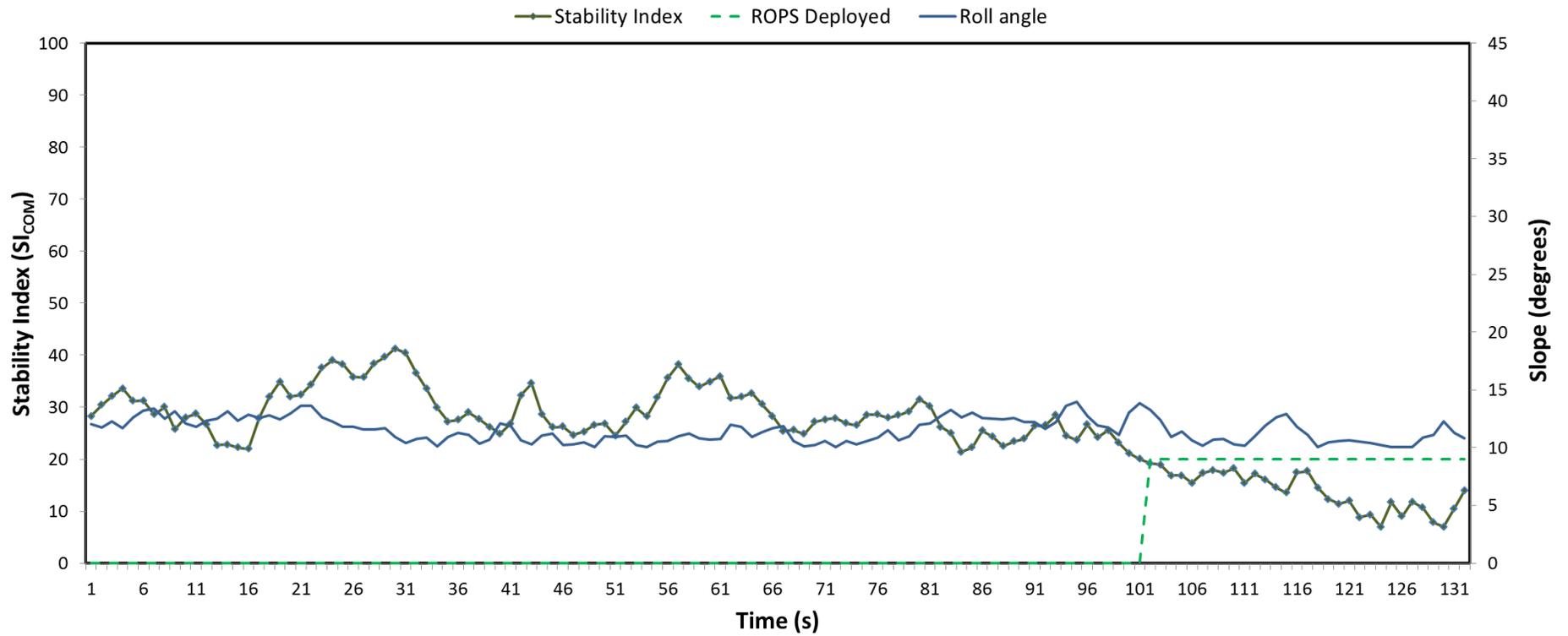


Figure 9. Roll angle and stability index in a sideward upset field test.

Desarrollo de un sistema hidráulico automático para el despliegue del arco de seguridad en tractores agrícolas: Prototipo y primeros ensayos

D. Ojados González, B. Martín-Górriz*, I. J. Ibarra Berrocal, F. Caro García, P. Morales Sánchez, B. Miguel Hernández

Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica. Universidad Politécnica de Cartagena, Plaza del Hospital s/n, 30202, Cartagena, Spain.

(*) Corresponding author. Telephone +34 968 32 59 04. Fax +34 968 32 54 33.
Email: b.martin@upct.es

Resumen

Un uso inadecuado de la estructura de protección antivuelco desplegable (ROPS) en los tractores agrícolas contribuye a las muertes en los accidentes por vuelco de tractor. Para ayudar a resolver este problema, se diseñó, construyó y probó una estructura de protección desplegable automáticamente. En el prototipo, llamado HydraROPS, se establecieron dos niveles de asistencia para la elevación del arco de seguridad plegable. En el primer nivel, cuando el conductor decide cambiar la posición del arco de seguridad, realiza la activación manual del dispositivo. En el segundo nivel, la activación automática del despliegue del arco de seguridad se realiza sin la intervención del conductor. En este nivel, se envía automáticamente un mensaje telefónico con la ubicación del GPS para contactar al personal de emergencias. La potencia hidráulica del tractor se utilizó para activar la estructura de protección. Para aumentar la velocidad de despliegue de la estructura de protección se incluyó un acumulador de presión en el circuito hidráulico. El tiempo de despliegue del arco de seguridad sin el acumulador de presión fue de 2,599 s y con el acumulador de presión fue de 0,743 s. Los resultados de los ensayos muestran que incluir el acumulador de presión en el circuito hidráulico reduce el tiempo de despliegue de la ROPS en un 71%; y que el sistema de control electrónico puede predecir correctamente el vuelco. HydraROPS tiene la ventaja en comparación con otros dispositivos de despliegue automático de estructuras de protección, que se puede instalar en tractores equipados con una estructura de protección de vuelcos certificada. La instalación en modelos comerciales de tractores no modifica la estructura de protección; por lo tanto, no es necesaria una nueva certificación de la estructura de protección.

Palabras clave: Seguridad en tractores; Vuelco; ROPS; GPS; notificación de emergencias.

1. Introducción

El vuelco de tractores es la principal causa de muerte en la agricultura. En USA, cerca del 50% de las muertes relacionadas con el uso de tractores provienen de vuelcos (HOSTA, 2004). En Australia, entre 2004–2007 se produjeron 65 accidentes durante el trabajo con tractores, de los que 17 fueron accidentes mortales (26%) por vuelco del tractor (SWA, 2011). En EU, una encuesta realizada por la Comisión Europea entre los estados miembros revela que en el 40% de los casos, las lesiones y muertes graves durante los vuelcos de los tractores ocurrieron cuando la ROPS no iba en posición desplegada, es decir sin protección (Hoy, 2009). En España, entre 2004 y 2008, la principal causa de muerte en el sector agrícola fue el vuelco del tractor (70%) (Arana et al., 2010). En la Región de Murcia (España), entre 2005 y 2012 se produjeron 44 accidentes de vuelco de tractor, en 29 de ellos el conductor falleció; además otro aspecto importante es que en el 77% de los accidentes el tractor llevaba el arco de seguridad (ROPS) homologado, pero la ROPS estaba abatida, por lo que el conductor no estaba protegido (Martín Górriz et al., 2012). Los tractores estrechos y tractores estándar equipados con ROPS plegable están permitidos en parcelas de frutales y viñedos, la ROPS en esas situaciones puede estar en posición plegada. Sin embargo, debido a su complicada ergonomía y la dificultad de manejo por parte de los operadores, el arco de seguridad tiende a permanecer plegado en todo momento. La consecuencia es clara; un mal uso del arco de seguridad lo hace altamente ineficiente como sistema de protección contra vuelcos.

Una gran cantidad de publicaciones recientes están relacionadas con la aplicación de nuevas tecnologías y soluciones de diseño para promover el despliegue automático de estructuras de protección. Powers et al. (2001) desarrolló una ROPS montado en la parte trasera del tractor y de despliegue automático. Consiste en dos subsistemas, el primero es una ROPS retráctil, que normalmente está bloqueada en su posición más baja para el uso diario, y el segundo es un sensor que monitorea el ángulo de funcionamiento del tractor. En caso de vuelco, el sensor detecta el ángulo y la ROPS retraído se despliega automáticamente y se bloquea en la posición completamente vertical antes del contacto con el suelo. Esta ROPS desplegable no requiere para que se levante ninguna acción porque está comprimiendo dos muelles, ubicados en la parte fija de la estructura antivuelco que la levanta cuando dos pasadores que sostienen la estructura en la configuración retraída son desconectados simultáneamente por solenoides. Silleli et al. (2007) introdujo un sistema adicional para

tractores de viñedos y fruteros de vía estrecha, desarrollando una estructura telescópica de despliegue automático que aumenta el ancho superior de una barra antivuelco montada en la parte delantera. El sistema aumentó la eficacia de protección de la ROPS para tractoristas y al mismo tiempo redujo el espacio libre elevado requerido por estas máquinas, para mejorar el uso potencial en condiciones de viñedos y arbolado. Ballesteros et al. (2013, 2015) desarrolló y probó un sistema de despliegue automático de la ROPS montado en la parte delantera para tractores estrechos, que utiliza aire a presión, capaz de aumentar simultáneamente la altura y el ancho superior de la estructura. El doble cambio de la geometría de la ROPS reduce el riesgo de giro continuo, aumenta la zona de seguridad en una dirección lateral y permite una reducción en la altura de la ROPS, así como los momentos de flexión en las secciones críticas de la ROPS.

Otros investigadores se han centrado en desarrollar sistemas capaces de informar al tractorista sobre la estabilidad del tractor en todo momento. Nichol et al. (2005) propusieron un dispositivo que utiliza sensores y microordenadores de bajo coste para informar al operador de la inestabilidad potencial del tractor. DTAEBT (2015) desarrolló un dispositivo electrónico para monitorear la estabilidad del tractor en terreno inclinado. Su propósito es advertir gradualmente al tractorista a medida que aumentan la inestabilidad y el riesgo de vuelco. El dispositivo llamado InclíSafe se puede comprar como un complemento del mercado de accesorios para una variedad de modelos de tractores. Liu y Koc (2013, 2015) desarrollaron una app, utilizando las señales de acelerómetro y giroscopio integrados en el teléfono. La aplicación, llamada SafeDriving, demostró cómo se puede usar un teléfono móvil para recopilar datos para la evaluación de la estabilidad de un tractor durante la operación. Estos sistemas intentan enseñarle al operador cuáles son las situaciones de riesgo y qué pueden hacer para evitarlas.

En este contexto la presente investigación busca desarrollar y probar un nuevo sistema automático para desplegar la ROPS en tractores usando energía hidráulica; de ahí que esta ROPS se haya denominado “ROPS de despliegue hidráulico” (HydraROPS). Se han considerado dos posibles opciones para desplegar la ROPS: (1) el sistema informa al conductor del tractor que la estabilidad del tractor ha alcanzado niveles peligrosos. En la situación anterior, el conductor podrá usar el mecanismo para elevar la barra protectora de vuelco del asiento del conductor; y (2) el sistema despliega automáticamente la ROPS cuando el tractor está cerca del punto de vuelco. En esta opción, envía automáticamente un

mensaje SMS con la ubicación determinada por un GPS para contactar al personal de emergencias. Esto podría dar como resultado una respuesta más rápida y más eficiente por parte de emergencias, que a su vez puede salvar vidas o mejorar el tiempo de recuperación para las víctimas que no han sufrido lesiones mortales.

2. Materiales y Métodos

2.1. Requerimientos de diseño

El dispositivo de accionamiento automático del arco de seguridad está constituido por dos sistemas: (i) un sistema de control electrónico que actúa sobre un circuito hidráulico, (ii) un sistema hidráulico de accionamiento del arco de seguridad.

Los requerimientos exigidos al sistema de control electrónico han sido los siguientes:

- Que sea posible cambiar la posición del arco de seguridad cuando el conductor reconozca una situación de riesgo.
- En caso de que exista una condición de riesgo, el arco de seguridad se desplegará automáticamente sin la intervención del conductor.
- En caso de existir una posible condición de vuelco, una señal audible alertará al conductor.
- Inmediatamente después de una situación de vuelco, el sistema enviará las coordenadas geográficas de la ubicación del tractor al centro de llamadas de emergencia.
- La información relacionada con el movimiento del arco de seguridad quedará registrada. Esta información puede ser crítica para reconstruir el accidente. Cuando se despliega el arco de seguridad (modo manual o automático), se registran el tiempo, el ángulo de giro frontal, el ángulo de giro lateral y las coordenadas GPS. En modo automático esto quedará registrado, además de las coordenadas GPS.

Los requerimientos exigidos al sistema hidráulico de accionamiento que acciona el arco de seguridad han sido los siguientes:

- El tiempo de despliegue del arco de seguridad será suficiente para evitar que el tractor gire más de 90° de vuelco con el arco de seguridad desplegado.
- El arco de seguridad permanecerá desplegado cuando el tractor esté apagado.

Además, HydraROPS debe ser lo más económico posible para promover su instalación por los agricultores en sus tractores con un arco de seguridad plegable montado en la parte delantera de accionamiento manual.

Las principales ventajas del uso de la potencia hidráulica del tractor para el despliegue de la ROPS son (1) se utiliza un tipo de potencia que existe en todos los tractores, y como se utiliza una parte del circuito del tractor, esto reduce el coste económico de la instalación; (2) puede accionarse tantas veces como sea necesario, (3) ocupa poco espacio y no interfiere con otros usos que los agricultores dan a su tractor.

2.2. Algoritmo de control

Los vuelcos del tractor están relacionados con varios factores, como las dimensiones del tractor, la posición relativa del centro de gravedad, la velocidad, el radio de giro y el terreno. La estabilidad de un tractor se puede clasificar en estabilidad estática y dinámica. Como primer paso para la intervención automática del control de la ROPS se emplea un índice de estabilidad basado en la estabilidad estática. En esta investigación, se utilizó el modelo matemático propuesto por Liu y Ayers (1998). Los autores propusieron el desarrollo de un índice de estabilidad calculado por una combinación del ángulo lateral y frontal (SI_{COM}). Su trabajo demostró que este índice de estabilidad predice la inestabilidad en los momentos de vuelco para el vuelco lateral y trasero. Los detalles de este algoritmo de control se pueden encontrar en Liu y Ayers (1998). El valor del índice de estabilidad global se calculó usando la siguiente ecuación (1):

$$SI_{COM} = \left[1 - \sqrt{\left(\frac{\theta^2}{\theta_{cri}^2} + \frac{\phi^2}{\phi_{cri}^2} \right)} \right] \times 100 \quad (1)$$

donde θ y ϕ son el ángulo de giro frontal y el ángulo de giro lateral del tractor y θ_{cri} y ϕ_{cri} son el ángulo crítico de giro frontal y el ángulo crítico de giro lateral, en el que está a punto de producirse un vuelco lateral o longitudinal. Los valores del índice de estabilidad (SI_{COM}) oscilan entre 0 (menos estable) y 1 (más estable). El algoritmo para activar el despliegue de un sistema de seguridad propuesto por Liu y Ayers (1998) fue el siguiente criterio (2).

$$SI_{COM} \leq SI_{cri} = 0 \quad (2)$$

2.3. Subsistema de control electrónico

El subsistema de control electrónico se diseñó para dos modos de funcionamiento (figura 1): modo 1, funcionamiento voluntario por el conductor del tractor y modo 2, funcionamiento automático en caso de vuelco inminente. El software utiliza los parámetros físicos del tractor y los datos de los sensores del subsistema electrónico para llevar a cabo el procesamiento de la señal y la implementación del algoritmo de control. Se definieron dos niveles de advertencia. En el primer nivel, cuando el valor del índice de estabilidad (SI_{COM}) estaba por debajo de 40, se activó una señal de advertencia audible, y el segundo nivel, cuando el valor SI_{COM} estaba por debajo de 20, se desplegó la ROPS.

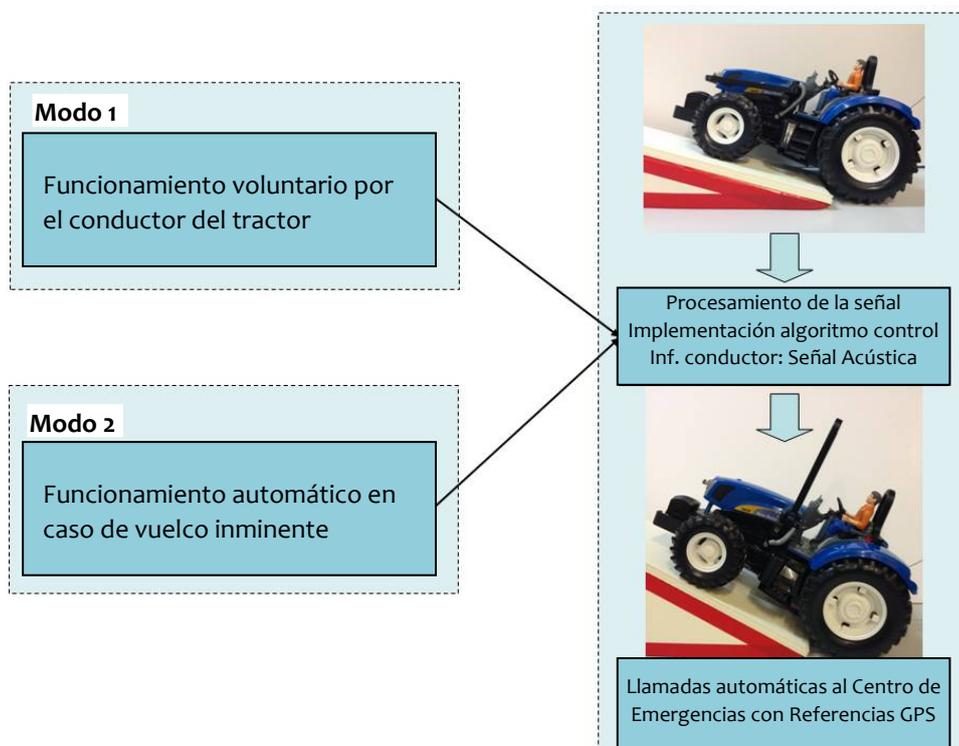


Figura 1. Diagrama esquemático de los dos modos posibles de funcionamiento del HydraROPS.

El subsistema de control electrónico que actúa sobre el circuito hidráulico se basó en una placa de microcontrolador con varios componentes. La Fig. 2 muestra la arquitectura del sistema del prototipo HydraROPS. Los componentes que se usaron en el subsistema de control electrónico fueron los siguientes:

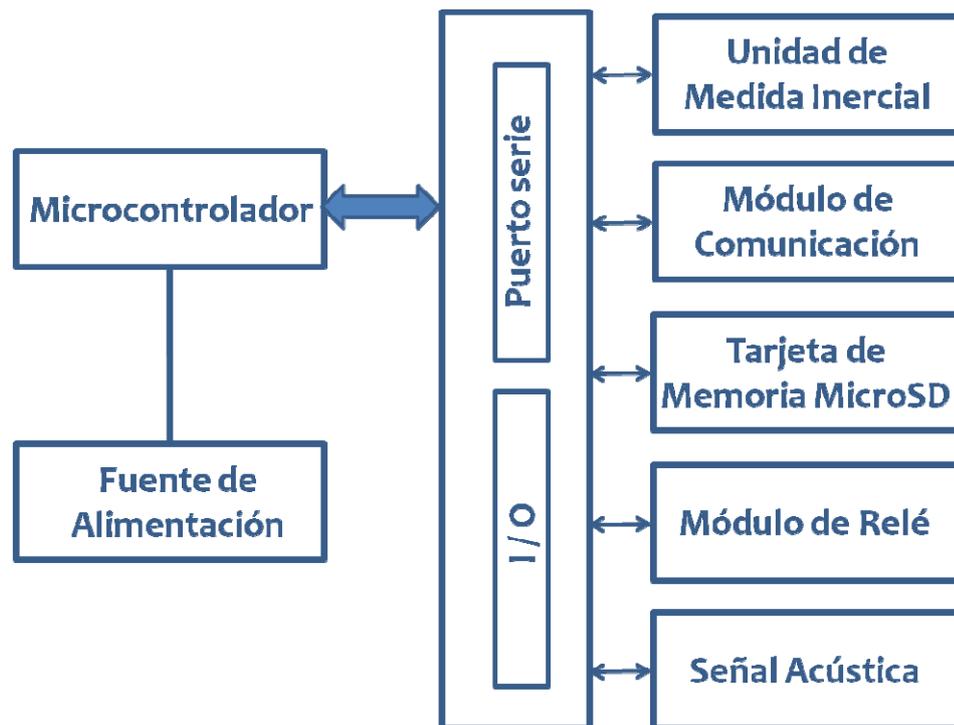


Figura 2. Arquitectura del sistema HydraROPS.

1. *Circuito de microcontrolador.* Se utilizó una placa de microcontrolador Arduino ATmega2560 que tiene varios puertos de E/S adecuados para los componentes electrónicos utilizados. El ensamblaje de los componentes fue modular. El software fue programado en el lenguaje C. La Fig. 3 muestra el diagrama de flujo para el algoritmo utilizado por el microcontrolador.

2. *Unidad de medida Inercial.* Se utilizó una unidad de medida inercial (PMU6050) compuesta de un acelerómetro y un giroscopio. Este dispositivo detecta aceleraciones estáticas y dinámicas y calcula el ángulo de funcionamiento del tractor. Se utilizó un filtro Kalman para filtrar el ruido del acelerómetro y los sensores del giroscopio. El filtro Kalman es un conjunto de ecuaciones matemáticas que proporcionan un medio óptimo de estimación del estado de un proceso para minimizar el error. Este filtro es ampliamente utilizado en sistemas de navegación y control.

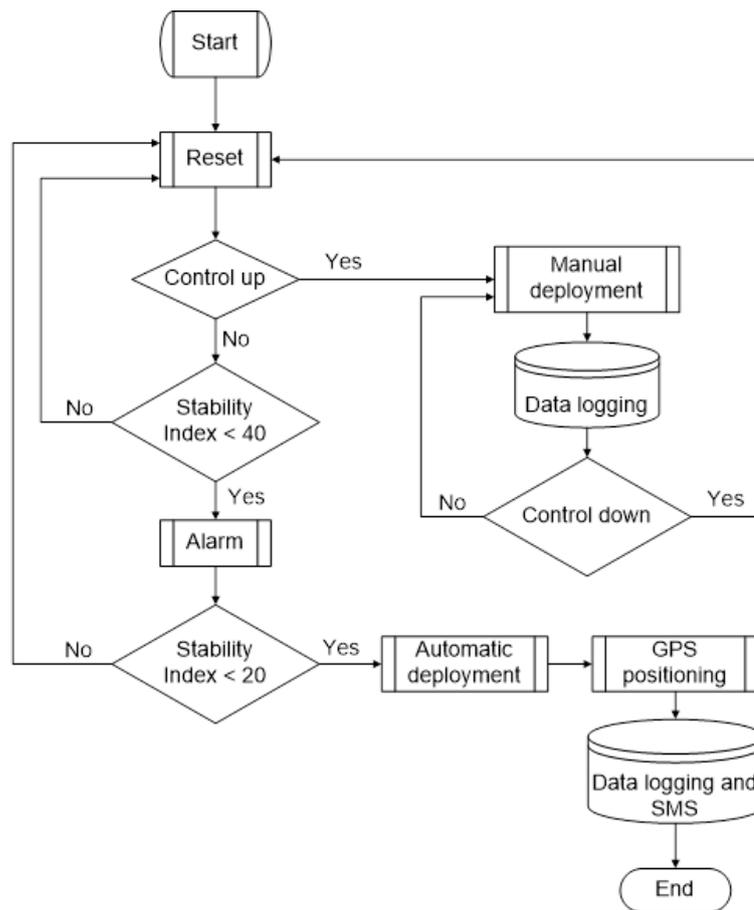


Figura 3. Diagrama de flujo para el algoritmo utilizado por el microcontrolador.

3. *Módulo de comunicación.* El módulo de comunicación SIM908 se usó para conectar la red GSM y recibir el GPS. Este escudo con un motor cuatribanda GSM / GPRS funciona en frecuencias EGSM 900 MHz / DCS 1800 MHz y GSM850 MHz / PCS 1900 MHz. También es compatible con la tecnología GPS para navegación por satélite. La combinación de ambas tecnologías permite que objetos, vehículos y personas sean rastreados sin problemas en cualquier lugar y en cualquier momento con cobertura de señal. Cuando el dispositivo funciona automáticamente (modo 2), se activa el módulo GSM / GPRS y envía un mensaje corto (SMS) con las coordenadas geográficas de la ubicación del tractor. Esto podría dar como resultado una respuesta más rápida y más eficiente por parte del personal de emergencias, lo que puede salvar vidas o disminuir el tiempo de actuación para las víctimas que no han sufrido lesiones mortales.

4. *Tarjeta de memoria.* Se utilizó la tarjeta de memoria microSD (Arduino microSD shield) para registrar los datos. Cuando HydraROPS se acciona tanto manual como

automáticamente, se registran los siguientes datos en la tarjeta de memoria: tiempo (hh: mm: ss), ángulo de paso (grados), ángulo de balanceo (grados), coordenadas geográficas (longitud y latitud), posición de la ROPS (posición horizontal o vertical) y modo de activación de la ROPS (modo 1 o 2).

5. *Módulo de relé.* En el tractor real, el módulo de relé se utilizó para operar el subsistema hidráulico. Los contactos normalmente abiertos del relé se conectaron a válvulas solenoides que, cuando se encienden, despliegan los cilindros hidráulicos de HydraROPS. Se utilizaron relés de estado sólido porque son más robustos que los relés electromecánicos. En el tractor a escala, se utilizó una bobina de solenoide para desplegar la ROPS.

Estos componentes electrónicos se colocaron dentro de una caja con código IP 66. El panel de caja está ubicado cerca del asiento para que el conductor del tractor pueda acceder fácilmente a él, porque en el modo 1, la ROPS lo debe accionar el conductor.

2.4. Subsistema hidráulico

HydraROPS fue diseñado para ser montado en un tractor con ROPS desplegable ubicada en la parte frontal. La Fig. 4 muestra el circuito hidráulico de HydraROPS. Para hacer que el prototipo sea menos costoso, se usó la propia potencia hidráulica del tractor para mover la ROPS desplegable (Carraro, X 260-3). Dos cilindros hidráulicos, (CHB 50/30 - 150, longitud de carrera de 150 mm, diámetro del agujero de 50 mm, diámetro del vástago del pistón de 30 mm y presión de funcionamiento máxima de 20 MPa) situados uno a cada lado de la ROPS, actúan para elevar y bajar la ROPS. Debe señalarse que, en un estudio preliminar, el tiempo de despliegue se evaluó en comparación con otras fuentes de energía, como la tecnología de acción de resorte (Powers et al., 2001) o la tecnología de aire a presión (Ballesteros et al., 2013). Para mejorar el tiempo de despliegue en el caso de HydraROPS, se incluyó un acumulador de presión de vejiga en el circuito hidráulico para un despliegue más rápido de la ROPS. Además, el acumulador de presión (volumen de 1,5 L y presión de 7 MPa, Hydro Leduc, Azerailles, Francia) permite una última activación de la ROPS aunque el motor del tractor haya sido desconectado.

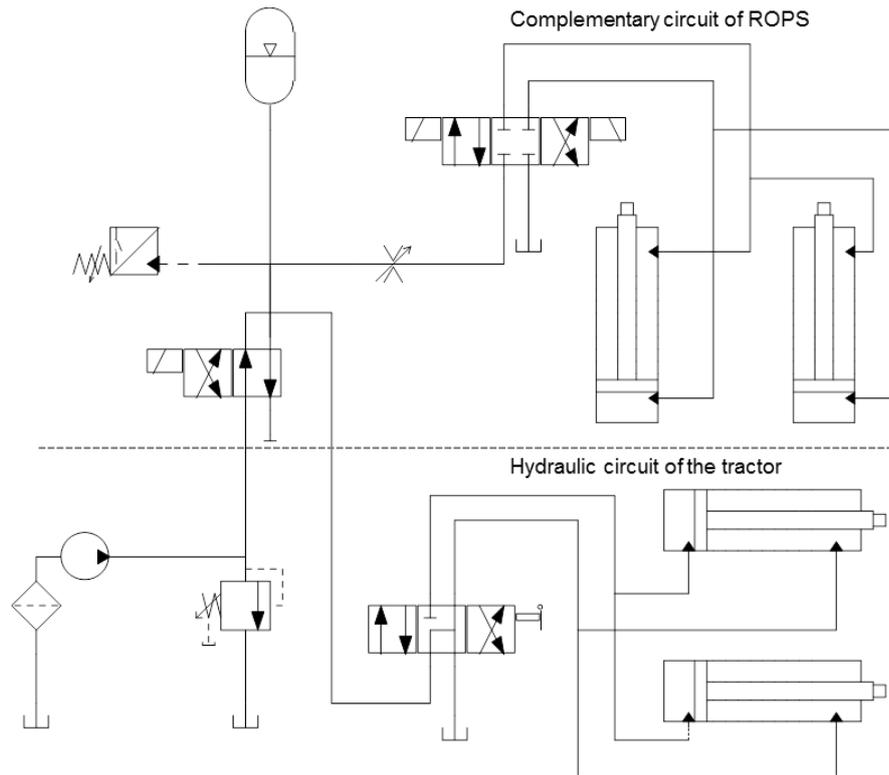


Figura 4. Circuito hidráulico de HydraROPS.

2.5. Evaluación económica

En la Fig. 5 se muestran los componentes hidráulicos y electrónicos del prototipo HydraROPS instalado en un tractor Case 2120V con estructura de protección homologada. En la Fig. 6 se muestra este tractor con la ROPS en posición plegada y en posición desplegada. El coste total de instalar HydraROPS en este tractor fue de 2176 €. Los componentes hidráulicos fueron los de mayor coste con 1016 € (47%), el coste de los componentes electrónicos fue de 522 € (24%). El coste de mano de obra de la instalación de los componentes hidráulicos y electrónicos fue de 636 € (29%). Este coste fue para el primer prototipo, ya que el dispositivo no es todavía comercial. Este coste será menor cuando la producción e instalación del dispositivo se realice a gran escala. Se espera disponer en poco tiempo del dispositivo comercial HydraROPS en formato de kit para tractores con arco de seguridad adelantado.

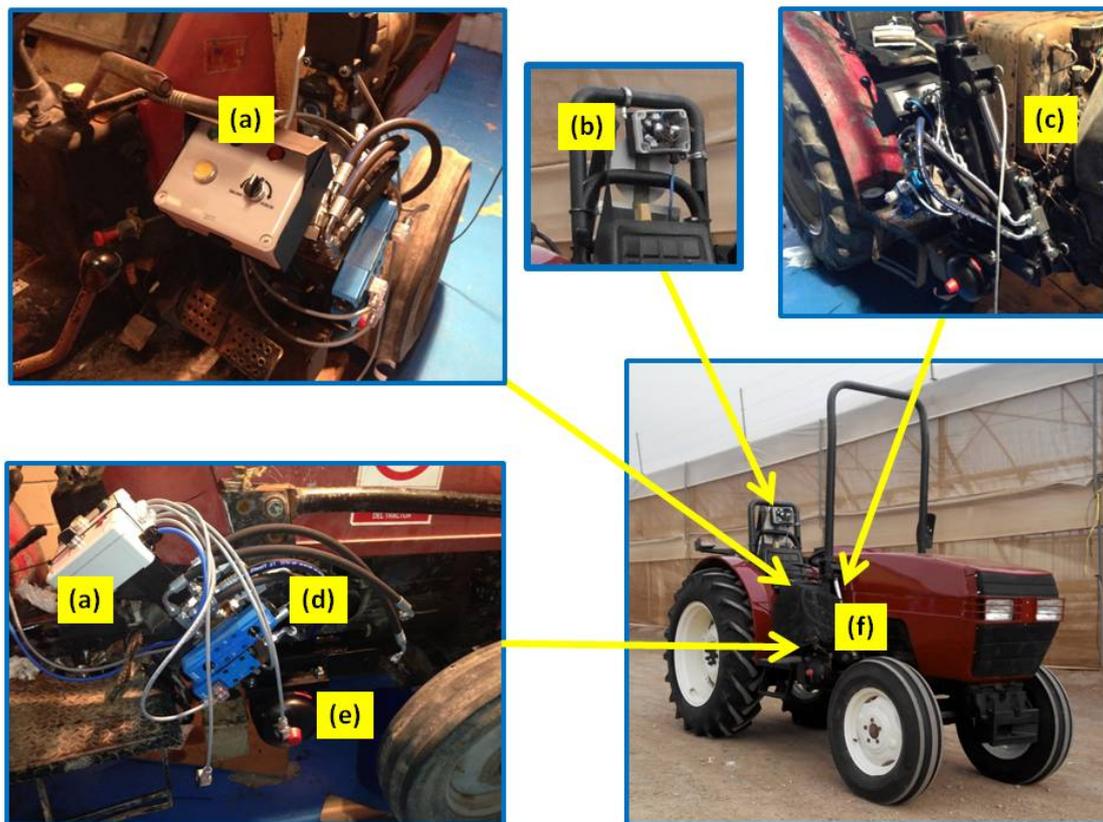


Figura 5. Componentes hidráulicos y electrónicos de HydraROPS instalados en un tractor Case 2120V. (a) panel de accionamiento manual, (b) caja electrónica, (c) cilindro hidráulico, (d) circuito electrohidráulico de HydraROPS, (e) acumulador de presión, (f) protección exterior.

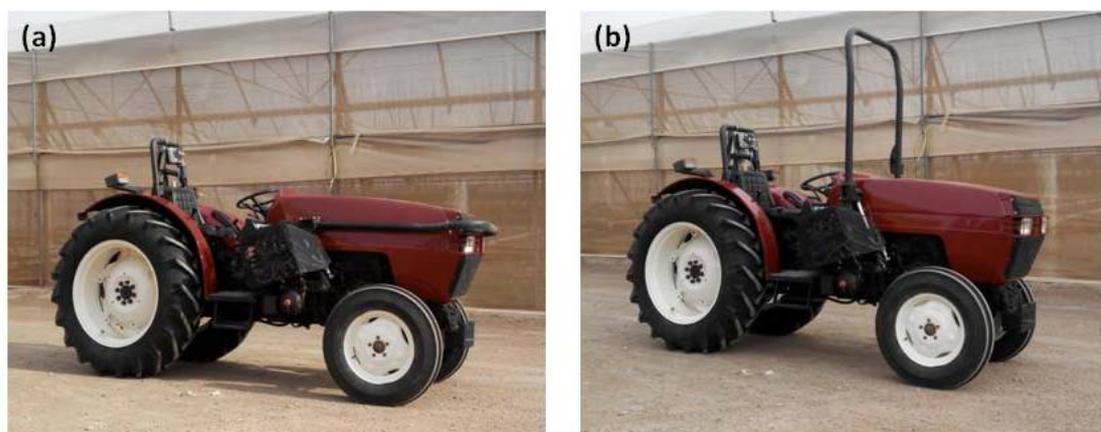


Figura 6. Tractor Case 2120V con prototipo HydraROPS instalado. (a) ROPS en posición retraída (b) ROPS en posición desplegada.

3. Evaluación de prototipo

3.1. Prueba de dispositivo electrónico en tractor a escala

La evaluación de los dispositivos electrónicos se realizó en un tractor con control remoto a escala (1:16) implementado con los componentes electrónicos del prototipo. El ancho de vía del tractor era de 127 mm, la altura del centro de gravedad era de 66 mm y la masa del tractor con los componentes electrónicos era de 1062,2 g. Los valores críticos de los ángulos de giro lateral y frontal se calcularon para utilizar el algoritmo de control. Estos parámetros físicos del tractor y los datos de los sensores se usaron para la implementación del algoritmo de control. La Fig. 7(a) muestra el tractor a escala con arco de seguridad en la posición de vertical. Se utilizó el programa informático Solidworks v. 2012 (Solidworks Corp., Massachusetts, EE. UU.) para diseñar el modelo tridimensional (3D) del arco de seguridad; que fue construido en acrílonitrilo-butadieno-estireno (ABS) usando una impresora 3D (Dimension BST 1200ES). Las dimensiones del arco de seguridad se calcularon de acuerdo con el Código 6 de la OCDE (2012) para respetar la zona libre de protección para el conductor. Se usó una bobina de solenoide para activar el resorte que despliega el arco de seguridad. El tractor a escala fue ensayado en una plataforma de ensayos con una pendiente ascendente en condiciones de laboratorio (Fig. 7(b)). La plataforma de pruebas tiene pendientes ascendentes y descendentes, y también pendientes laterales para probarlo en diferentes condiciones. Los datos medidos y calculados fueron transmitidos a un PC a través de una conexión USB para su posterior análisis.

3.2. Ensayos del tiempo despliegue de HydraROPS

Para determinar el tiempo requerido para extender la estructura se usó una cámara de alta velocidad (Faster Imaging Trouble Shooter TSHRMS, Artisan Technology Group, Champaign, IL, EE. UU.). El circuito hidráulico de HydraROPS (Fig. 4) se instaló en un tractor Case 2120V que se utilizó para esta prueba. Las pruebas se realizaron en dos series de cinco despliegues, cinco de ellas con el acumulador de presión desmontado y cinco de ellas con el acumulador de presión ensamblado. El tiempo de despliegue se midió con el tractor a la velocidad del motor de 989 rpm min^{-1} . Los datos se analizaron mediante ANOVA y las diferencias entre medias se determinaron con la prueba de rango múltiple de Fisher (LSD) usando

Statgraphics Plus, versión 5.1., STSC Inc., Rockville, MD, (USA). Las diferencias significativas se determinaron en el nivel de significancia de 0,05.

3.3. Ensayos del dispositivo electrónico en un tractor real

Después de probar el subsistema electrónico en el tractor a escala, éste fue probado en el tractor Case 2120V. Los ensayos se llevaron a cabo en la Estación Experimental Agroalimentaria de la Universidad Politécnica de Cartagena. Los ensayos se realizaron en un camino de 114 m de distancia con un ángulo de pendiente lateral máximo de $33,59^\circ$ y un ángulo de pendiente según la dirección de avance máximo de $25,65^\circ$.



Figura 7. (a) tractor a escala, (b) plataforma de ensayos.

4. Resultados y discusión

4.1. Ensayo del dispositivo electrónico en el tractor a escala

En el momento de decidir construir un tractor a escala se consideraron varios factores; el primero fue verificar el correcto funcionamiento del subsistema de control electrónico,

mientras que el segundo fue su uso para la formación en seguridad sobre tractores en jornadas de puertas abiertas para los alumnos de secundaria y de la Universidad Politécnica de Cartagena. El tractor a escala se ha utilizado para enseñar conocimientos básicos, tales como: explicar el papel que desempeña el centro de gravedad en los vuelcos de los tractores o explicar cómo protegerse durante el vuelco del tractor.

4.2. Ensayo del circuito hidráulico

La Tabla 1 muestra el tiempo de despliegue de HydraROPS en el tractor Case 2120V con el acumulador de presión activo y desconectado. Cuando el acumulador de presión estaba activo en el circuito hidráulico el tiempo de despliegue se redujo en un 71% respecto al ensayo con el acumulador desconectado. Este resultado muestra que cuando se usa la potencia hidráulica para desplegar el arco de seguridad es necesario incluir un acumulador de presión en el circuito hidráulico para que sea eficaz.

Tabla 1. Tiempo de despliegue del HydraROPS montado en el tractor Case 2120V.

Tipo de test	Tiempo (s)	
	Valor medio	Valor máximo
Acumulador de presión desconectado	2,575 a	2,599
Acumulador de presión conectado	0,733 b	0,743

Las diferentes letras muestran diferencias significativas según Fisher (LSD) en 95.0%.

El empleo del acumulador de presión en el circuito hidráulico de HydraROPS produjo una gran reducción del tiempo de despliegue (71%); sin embargo, con otras tecnologías, el tiempo para extender la ROPS fue menor que con este prototipo. En este sentido, el sistema de tipo resorte desarrollado por Etherton et al. (2002) permitió desplegar la estructura en 0,202 s, la estructura telescópica desarrollada por Silleli et al. (2008) se desplegaba en 0,160 s, y el sistema de aire comprimido desarrollado por Ballesteros et al. (2015) desplegó la estructura en 0,312 s. Por lo que actualmente se está trabajando en el desarrollo de nuevo circuito hidráulico para reducir aún más el tiempo de despliegue de HydraROPS, para alcanzar valores similares a los otros sistemas.

Cabe señalar que según la bibliografía la duración del vuelco, está entre 0,750 s según Hathaway y Kuhar (1994) y 0,720 s según Silleli et al. (2008) Este tiempo de despliegue fue

aproximadamente el mismo que el tiempo requerido para desplegar el prototipo HydraROPS. Además, mediante el software es posible modificar el valor del índice de estabilidad para iniciar automáticamente el despliegue de HydraROPS con menos pendiente, y así ahorrar tiempo.

4.3. Ensayo del dispositivo electrónico en el tractor real

La figura 8 muestra el ángulo de giro frontal y el índice de estabilidad durante las pruebas de campo de vuelco hacia atrás, y la figura 9 muestra el ángulo de vuelco lateral y el índice de estabilidad durante las pruebas de campo. El criterio que se ha utilizado para el despliegue del arco de seguridad ha sido la Eq. (1), es decir que cuando el ángulo de vuelco frontal o el ángulo de vuelco lateral o ambos estén por encima del valor del ángulo crítico, se active el despliegue de arco de seguridad. Los resultados experimentales mostraron que el arco de seguridad se desplegó a 102 s desde el inicio de la ruta. En este momento, la combinación de ángulo de vuelco lateral ($23,48^\circ$) y ángulo de vuelco frontal ($13,25^\circ$) produjo un valor de índice de estabilidad por debajo de 20.

4.4 Tiempo de implementación de la ROPS

El prototipo de circuito hidráulico ha sido instalado y ensayado en un tractor CASE modelo 2010V (Fig. 5).

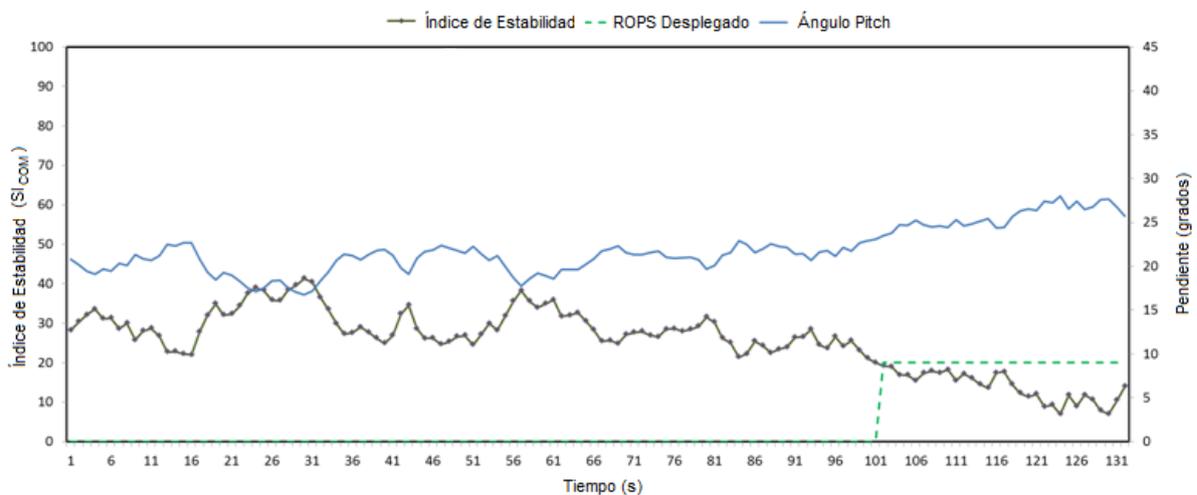


Figura 8. Ángulo de vuelco frontal e índice de estabilidad durante las pruebas de campo.

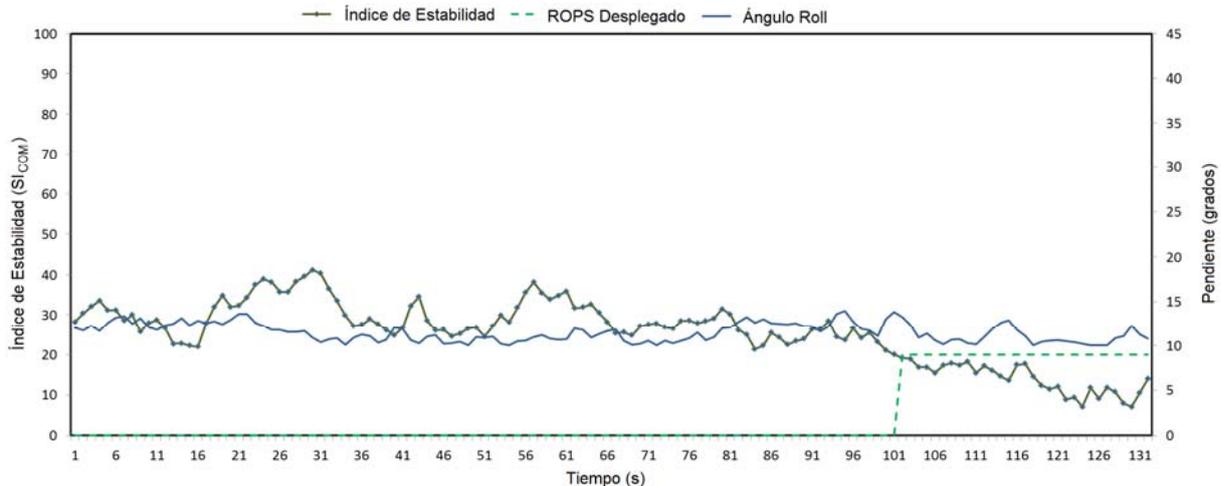


Figura 9. Ángulo de vuelco lateral e índice de estabilidad durante las prueba de campo.

5. Conclusiones

Ha sido diseñado, construido y probado un mecanismo de despliegue hidráulico para estructuras de protección, para ser utilizado en tractores agrícolas con arco de seguridad montado en la parte delantera. El tiempo de despliegue del mecanismo se probó usando el arco de seguridad de un tractor existente. Los resultados de la investigación muestran que el acumulador de presión del circuito hidráulico redujo el tiempo de despliegue del arco en un 71%. El tiempo de despliegue fue de 0.743 s. El sistema de control electrónico puede predecir correctamente el vuelco; en modo automático, cuando el valor del índice de estabilidad está por debajo de 40, se activa una señal de advertencia audible, y cuando el valor del índice de estabilidad está por debajo de 20, se despliega el arco de seguridad. El sistema envía las coordenadas geográficas de la ubicación del tractor al centro de llamadas de emergencia, y se registra la información relacionada con el movimiento del arco de seguridad. Esta información puede ser crítica para reconstruir el accidente y para salvar vidas.

HydraROPS está patentado (Ibarra Berrocal et al., 2015) y tiene la ventaja en comparación con otros dispositivos de despliegue automático de estructuras de protección que se puede instalar en tractores equipados con estructuras certificadas de protección contra vuelcos. La instalación de HydraROPS en un tractor no modifica la estructura de protección, por lo tanto, no es necesaria una nueva certificación de la estructura de protección.

Los resultados presentados aquí son para un dispositivo prototipo. El dispositivo aún no es comercializable. Los planes actuales son continuar desarrollando HydraROPS empleando un

nuevo circuito hidráulico para reducir aún más el tiempo de despliegue de la ROPS y mejorar el algoritmo de control utilizando el índice de estabilidad dinámica desarrollado por Liu y Ayers (1999).

Agradecimientos

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

BIBLIOGRAFÍA

Arana, I., Mangado, J., Arnal, P., Arazuri, S., Alfaro, J.R., Jarén, C., 2010. Evaluation of risk factors in fatal accidents in agriculture. *Span. J. Agric. Res.* 8 (3), 592-598.

Ballesteros, T., Arana, I., Pérez, A., Alfaro, J.R., 2013. E2D-ROPS: Development and tests of an automatically deployable, in height and width, front-mounted ROPS for narrow-track tractors. *Biosyst. Eng.* 116 (1), 1–14.

Ballesteros, T., Arana, I., Pérez, A., Alfaro, J.R., 2015. Development and validation of automatically deployable ROPS based on airbag inflator technology. *Biosyst. Eng.* 130, 92 - 105.

DTAEBT, 2015. Universal rollover risk warning device. <http://www.dtaebt.com>

Etherton, J., Cutlip, R., Harris, J., Ronaghi, M., Means, K., Howard, S., 2002. Dynamic performance of the mechanism of an automatically deployable ROPS. *J. Agric. Saf. Health* 8(1), 113–118.

Hathaway, L., Kuhar, J., 1994. Farm and ranch safety management. Moline, Il: Deere and Company Service Publications.

HOSTA, 2004. Tractor Stability. National safe tractor and machinery operation program. Task Sheet 4.12. The Pennsylvania State University, 1-4.

Hoy, R.M., 2009. Farm tractor rollover protection: why simply getting rollover protective structures installed on all tractors is not sufficient. *J. Agric. Saf. Health* 15(1), 3-4.

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. Spanish Patent ES2452489.

Liu, J., Ayers, P.D., 1998. Application of a tractor stability index for protective structure deployment. *J. Agric. Saf. Health Special Issue* 4(1), 171-181.

Liu, J., Ayers P.D., 1999. Off-road vehicle rollover and field testing of stability index. *J. Agric. Saf. Health* 5, 59-79.

Liu, B., Koc, A.B., 2013. SafeDriving: A mobile application for tractor rollover detection and emergency reporting. *Comput. Electron. Agric.* 98, 117-120.

Liu, B., Koc, A.B., 2015. Field tests of a tractor rollover detection and emergency notification system. *J. Agric. Saf. Health* 21(2), 113-127.

Martin-Gorriz, 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.

Nichol C. I., Sommer H. J., Murphy D. J., 2005. Simplified overturn stability monitoring of agricultural tractors. *J. Agric. Saf. Health*, 11(1), 99-108.

OECD Code 6, 2012. OECD Standard Code for the official testing of front mounted roll-over protective structures on narrow-track wheeled agricultural and forestry tractors. Paris: Organisation for the Economic Co-operation and Development.

Powers, J.R., Harris, J.R., Etherton, J.R., Snyder, K.A., Ronaghi, M., Newbraugh, B.H., 2001. Performance of an automatically deployable ROPS on ASAE tests. *J. Agric. Saf. Health* 7 (1), 51-61.

Silleli, H., Dayıoglu, M. A., Gultekin, A., Ekmekci, K., Yildiz, M. A., Akay, E., Saranlı G., 2007. Anchor mechanism to increase the operator clearance zone on narrow-track wheeled agricultural tractors: prototype and first tests. *Biosyst. Eng.* 97, 153-161.

Silleli, H., Dayıoglu, M.A., Gültekin, A., Saranlı, G., Yıldız, M.A., Akay, E., Ekmekçi, K., 2008. Anchor mechanism to increase the operator clearance zone on narrow-track wheeled agricultural tractors: Static and field upset test results. *Biosyst. Eng.* 99 (2), 196-204.

SWA, 2011. Fatalities due to working with tractors, Australia 2003-07. Government of Australia. <http://www.safeworkaustralia.gov.au> (access January 15th, 2015).

Capítulo 4.

Desarrollo y evaluación de un simulador de conducción de tractores basado en la realidad virtual inmersiva para entrenar y evitar riesgos laborales

D. Ojados González, B. Martín-Górriz, I. Ibarra Berrocal, A. Macián Morales, G. Adolfo Salcedo, B. Miguel Hernández. 2017 Development and assessment of a tractor driving simulator with immersive virtual reality for training to avoid occupational hazards. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143: 111-118.

1 Development and assessment of a tractor driving simulator with immersive
2 virtual reality for training to avoid occupational hazards

3

4 D. Ojados Gonzalez ¹, B. Martin-Gorriz ^{*2}, I. Ibarra Berrocal ¹, A. Macian Morales¹, G. Adolfo
5 Salcedo¹, B. Miguel Hernandez ³

6

7 ¹ Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica. Universidad Politécnica de Cartagena, Plaza
8 del Hospital s/n, 30202, Cartagena, Spain.

9 ² Dpto. de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola. Universidad Politécnica de
10 Cartagena Paseo Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Spain.

11 ³ Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Politécnica de Cartagena Paseo Alfonso
12 XIII, 52, 30203, Cartagena, Spain.

13

14 (*) Corresponding author. Telephone +34 968 32 59 04. Fax +34 968 32 54 33. Email:

15 b.martin@upct.es

16

17 **Abstract**

18 Tractor overturns are the leading cause of fatalities in the agricultural sector. When drivers
19 misuse the foldable roll over protective structure (ROPS) in tractors, it becomes highly
20 inefficient as a rollover protection system. To solve this problem, the purpose of the present
21 paper is to detail the development and assessment of a tractor driving simulator with immersive
22 virtual reality for training to minimize this risk. In the agricultural sector, tractor driving
23 simulators make it possible to train drivers in risk situations that are not feasible in the real field
24 due to the high risk of roll over. The simulator includes a motion platform for this particular

25 application. The findings of this study suggest that participants with safety knowledge make
26 fewer errors in deploying the ROPS. To reduce the consequences of tractor accidents in the
27 agricultural sector, the promotion of training courses is essential to avoid the misuse of the
28 ROPS. On the contrary, the perception of risk and safety increased after the tractor driving
29 simulator experience for all of the participants but increased significantly more so for non-
30 frequent users of tractors. All of the groups of participants reported that the use of the tractor
31 driving simulator was a positive experience because it can help them to drive more safely, and
32 they feel that they need more training programmes in occupational safety.

33

34 **Keywords:** Tractor safety; Overturn; ROPS; Injury; Safety devices

35

36 **1. Introduction**

37 Tractor overturns are the leading cause of fatalities in the agricultural sector. In the European
38 Union (EU), a survey conducted by the European Commission of EU member states revealed
39 that 40% of serious injuries and deaths during tractor overturns occurred when a foldable roll
40 over protective structure (ROPS) was not deployed into its protective position (Hoy, 2009). In
41 the Region of Murcia (Spain), over the 2005-2012 period, there were 44 accidents with tractors,
42 and in three of every four of those accidents, the ROPS was in the horizontal position (rest-
43 unsafe) (Martin-Gorriz et al., 2012). Narrow-track tractors and standard tractors equipped with
44 foldable ROPS are permitted in orchards and vineyards with the ROPS lowered. The tractor
45 driver alone is responsible for keeping the tractor safe. However, due to their complicated
46 ergonomics and the difficulty of handling by the operators, the ROPS tend to be left folded at all
47 times. The consequence is clear: a misuse of the ROPS makes it highly inefficient as a rollover
48 protection system.

49 New technologies offer favourable solutions to prevent the ROPS from being in its horizontal
50 position when the tractor overturns (Powers et al., 2001; Silleli et al. 2007; Ballesteros et al.
51 2015). In the same context, Ojados et al. (2016) developed and tested an automatically
52 deployable front-mounted ROPS for narrow tractors using hydraulic power. The safety device
53 allows the automatic deployment of the ROPS when the tractor exceeds a specific tilt angle. In
54 addition, the driver can deploy the ROPS when there is a risk of turning over. Following this
55 research topic, the purpose of the present paper is to show the development and assessment of a
56 tractor driving simulator with immersive virtual reality for training to minimize occupational
57 hazards.

58 Immersive virtual reality has been widely used to train professionals in domains as diverse as
59 firefighting (Cha et al., 2012), traffic (Backlund et al., 2007) and aviation safety (Chittaro and
60 Buttussi, 2015). In addition, it is increasingly being used as a tool for training workers in tasks
61 with risk, such as electric power network maintenance (Rosendo et al., 2011), or working in
62 confined environments, such as the mining industry (Grabowski and Jankowski, 2015). Certain
63 situations require motion platforms to simulate the real environment; typical examples of this are
64 cars, boats and flights. Immersive learning experiences, according to some studies, have 90%
65 retention of the knowledge in key messages compared to traditional training methods that
66 provide a return of between 10% and 20% (Ruiz, 2015). In the agricultural sector, tractor driving
67 simulators make it possible to train drivers in risk situations that are not feasible in the real field
68 due to the high risk of roll over (Ochoa et al., 2016).

69 In this context, we developed and assessed a tractor driving simulator with immersive virtual
70 reality for training in the prevention of this risk. The paper is organised as follows: Section 2.1
71 describes the tractor driving simulator focused on the appropriate use of the ROPS. Section 2.2
72 details the tests performed to achieve an assessment of our tractor driving simulator, and Section
73 2.3 describes the statistical analysis used. Section 3 provides an analysis of the results of the pilot

74 test of participants in the tractor driving simulator. Finally, in Section 4, we summarise the
75 primary conclusions drawn from our study and outline future work.

76 **2. Materials and Methods**

77 **2.1. Tractor driving simulator**

78 **2.1.1. Virtual tractor design**

79 The tractor model selected for the driving simulation was a CASE IH-2120 (CNH Industrial
80 N.V., London, UK) because that model was the first commercial tractor onto which the
81 automatic safety device was installed. This model is a narrow-type tractor designed specifically
82 for working in vineyards and orchards (Fig. 1a).

83 A full three-dimensional tractor design was executed with Solidworks2014 (Waltham,
84 Massachusetts, USA). The key components of the tractor were modelled, assembled and
85 parameterised according to the technical specifications of the tractor. Finally, texture and
86 rendering were applied to provide a realistic appearance (Fig. 1b). The next step was to calculate
87 the physical properties (mass, centre of gravity and moment of inertia) of the components to
88 ensure the real behaviour of the model. This process was conducted for the 45 key components
89 of the tractor, e.g., tyres, axles, seat and steering wheel (Fig. 2), as well as the components of the
90 deployable ROPS for manual and automatic activation (Fig. 3).

91 **[Figure 1. insert here]**

92 **Figure 1.** (left) real CASE IH-2120 tractor. (right) 3D model of CASE IH-2120 tractor.

93 **[Figure 2. insert here]**

94 **Figure 2.** 3D model of tractor components: a) rear axle with wheels; b) front axle; c) front
95 wheel.

96 **[Figure 3. insert here]**

97 **Figure 3.** 3D model of ROPS components. (left) up position, (right) down position.

98 **2.1.2. Virtual driving scenario design**

99 The software package used to create a virtual reality system was Unity 5 (Unity Technologies,
100 San Francisco, CA, USA). The version of Unity used for the development of the scene design
101 included basic features, a powerful physics engine by NVIDIA PhysX, 3D audio and the
102 possibility to add more than one user to interact with the created scenario. A route was designed
103 where the driver faced situations entailing a risk of overturning. The virtual road was constructed
104 using Unity road simulation software, which contained a large quantity of information on the
105 virtual roads. Effort was taken to increase the degree of accuracy of objects to extend the
106 authenticity of the scene. Additionally, a shed for the tractor and equipment, greenhouses,
107 orchards, hedgerows of trees, terrace cultivation, sloping roads and roads crossing were added to
108 the environment to create a more realistic and more informative driving environment simulation
109 platform. Finally, the virtual tractor design (3D model of CASE IH-2120) with the physical
110 properties described in the previous section was added to the scene design.

111 The route starts in the tractor shed, which has access to the main road. The route continues along
112 a secondary road to a farm, where there are orchards, hedgerows of trees, greenhouses and
113 terrace cultivation, which are accessed by driving up and down slopes. Along the route, the
114 driver goes through places where it is mandatory to move the ROPS into the vertical position to
115 guarantee the safety of the driver, e.g., driving on the main road or up and down slopes in terrace
116 cultivation. In other places of the route, there is no risk of overturning, and the ROPS can be
117 folded in order to avoid damaging the trees (Fig. 4).

118 **[Figure 4. insert here]**

119 **Figure 4.** Route plan in the virtual scene design.

120 Finally, in order to evaluate our tractor driving simulator, the following data were measured: (1)
121 total driving time; (2) total time stopped on route; (3) number of times that the driver had not
122 deployed the ROPS, despite being in places with a risk of overturning (8 times is the maximum
123 value on the route); and (4) route plan pointing to the places of the errors of item (3).

124 **2.1.3. Simulation motion platform**

125 The motion platform was a 3-DoF (Degrees of Freedom) powered by three electrical motors. The
126 platform can handle up to 200 kg and provides up to $\pm 12^\circ$ of pitch and roll motions and 100 mm
127 of vertical displacement (ARTEC research team; Institute on Robotics and Information
128 Technology and Communications, University of Valencia). The simulation motion platform was
129 composed of a screen (3.2 m x 2.4 m) with a rear-projection system, a 3-DoF motion platform
130 with a sensorised real-speed tractor on it, a passenger tractor seat, steering wheel and pedals (Fig.
131 5). As an auxiliary device, the motion platform has the ability to connect to virtual-reality
132 goggles for a single user or a rear-projector located to the front, which offers the possibility of
133 viewing the scene both by the driver, as well as by other viewers. Oculus Rift (Oculus VR,
134 Menlo Park, CA, USA) was used with a 110° horizontal field of view. Sound is also integrated
135 into the simulator in the form of a 5.1 surround-sound system. It should be noted that a safety
136 belt is incorporated in the platform for its mandatory use. The goal is to prevent the risk of
137 falling off the platform, and the use of safety belts is encouraged in addition to seat belt use in
138 tractors, since safety belts are currently not mandatory in Spain, but their use is advisable for
139 safer driving.

140 The visual system, the motion platform, the operator console and the sensorised interface are
141 controlled by a Workstation PC, with an Intel C612 processor, 2.1 GHz CPU, 16 MB of RAM,
142 8Gb of DDR3 memory and an NVIDIA M4000 graphics card with PhysX support. The OS is 64-
143 bit, Windows 7 Professional.

144 **[Figure 5. insert here]**

145 **Figure 5.** Motion platform. (left) front view, (right) side view.

146

147 **2.1.4. Integration of components**

148 Unity 5 enables the virtual tractor design (section 2.1.1) to be integrated with the virtual driving
149 scenario design (section 2.1.2) and the simulation motion platform (section 2.1.3). As a result, a
150 tractor driving simulator (TDS) with immersive virtual reality was developed and manufactured
151 for training tractor drivers in occupational risk prevention (Fig. 6).

152 A virtual driving scenario for tractors with foldable ROPS was developed. To begin the test, the
153 driver will rise to the tractor, buckle up the seat belt and begin driving. Along the route by the
154 farm, the road goes up and down slopes, and there is a risk of overturning. As the driver must
155 compulsorily pass through these areas with the ROPS in its vertical position, two possible
156 options are available: (1) manual deployment of the ROPS by pressing a button on the console
157 when the driver recognises a risk situation or (2) automatic deployment of the ROPS without the
158 intervention of the driver when the risk of overturning is imminent. The driver in option (1)
159 needs to stop the tractor to deploy the ROPS, and in option (2), the safety device automatically
160 deploys the ROPS when the tractor exceeds a specific tilt angle; it is not necessary for the tractor
161 to be stopped. As soon as the route is finished, the test results are projected onto the screen (Fig.
162 7).

163 **[Figure 6. insert here]**

164 **Figure 6.** Participant driving the simulation motion platform.

165 **[Figure 7. insert here]**

166 **Figure 7.** Screen with the results of a participant's test.

167 **2.2. User evaluation**

168 To evaluate the use of immersive virtual reality for training in the prevention of occupational
169 hazards, a sample of people were invited to test the tractor driving simulator (TDS) at two
170 places: (i) the technology park of Fuente Alamo in the *Universidad Politécnica de Cartagena*
171 building and (ii) a rural community fair in Torre Pacheco (FAME INNOWA 2017) in southeast
172 Spain. The TDS was used as an educational aid in master's degree courses (e.g., master's degree
173 in occupational risk prevention) and training courses concerning occupational safety and health
174 for farmers.

175 The research project was orally explained to participants. Before starting the test, each
176 participant was orally instructed regarding safe driving on tractors. In the TDS, two assistance
177 levels were established for the elevation of the foldable ROPS. In the first level, the driver
178 decides to change the ROPS' position, and this change is made using the manual activation on
179 board. In the second level, an automatic change to the operative position occurs in situations of
180 impending rollover without the driver's intervention. During testing, the researcher stood behind
181 the motion platform and communicated with the participant. Testing lasted approximately 10
182 minutes for each participant. When the test finished, a summary of the most important results
183 achieved by the participant appeared on the screen. These results were later discussed between
184 the researcher and the participant.

185 After the simulator tests concluded, participants were asked to complete a follow-up
186 questionnaire. The first section of the questionnaire contained several questions regarding
187 demographic information. The second section contained 10 questions regarding tractor
188 experience, size of the tractor most often operated, ROPS type of that tractor and how to use it,
189 tasks most often done with the tractor, how they learned to operate tractors, frequency of tractor
190 usage, and occupational safety and health knowledge. These questions were used for establishing
191 the statistical analysis. Finally, participants were asked to assess the activity (the perception of
192 the risk before and after the test), TDS evaluation and their opinion regarding the experience.

193 The participants were offered the option of submitting written comments after participating in
194 this research project. Participation was limited to individuals aged 16 years and above. Not all
195 participants answered all questions.

196 The participants (n = 127) were categorised into three groups according to safety knowledge and
197 their experience with tractors: Group 1 (n = 37), students with “safety training courses”; Group 2
198 (n = 39), farmers with “experience in driving tractors”; and Group 3 (n = 51), “without
199 experience in driving tractors”. Group 3 consisted of participants in the rural community fair
200 who could not be included in the two previous groups.

201 **2.3. Data analysis**

202 Statistical analyses of the data were performed with a standard analysis of variance (ANOVA)
203 using Statgraphics software (Statpoint Technologies Inc, Warrenton, VA, USA). Unless
204 otherwise noted, the results are given as the mean \pm SD. When a significant ($P < 0.05$) treatment
205 effect was observed, the mean values were compared using the Scheffe’s test ($P < 0.05$), and
206 significant differences ($P < 0.05$) within each group are indicated by different lower-case letters
207 (a, b). Only data for participants who had valid data for the dependent variables were analysed
208 and presented in this report. This procedure provided a sample size (n) of 127. However, not all
209 participants answered all the questions in the survey and, consequently, the sample size varied
210 for different analyses.

211

212 **3. Results and Discussion**

213 **3.1. Characteristics of participants**

214 One hundred twenty-seven subjects participated in this study. Participants ranged from 16 to 56
215 years old. Children under 16 years old were not allowed to participate in the test. In the three
216 groups, the most frequent age was between 22 and 24 years old (Table 1). The vast majority of

217 the total participants were male (73.23%), and by groups: 64.86% in group 1, 82.05% in group 2,
218 and 72.55% in group 3.

219 Questions regarding the use of video games and having a driving license were asked to evaluate
220 their possible relationship with the results of the tests regarding the realism of the simulator in
221 general or of driving skills. Forty-three percent of the participants were regular users of video
222 games. The group without experience in driving tractors was the one that played more video
223 games (47%). With regard to the driving license, 85% of the total participants had one and hence
224 were accustomed to driving a car (steering wheel, throttle, reverse).

225 [Table 1. insert here]

226 **Table 1.** Characteristics of participants.

228 **3.2. Tractor driving simulator results**

229 The measurement of the total driving time of the test showed the driving ability of the
230 participants. The participants that commonly used video games completed the test in less time
231 than non-users (397.2 s and 428.1 s for video games users and not video games users,
232 respectively). There were no statistically significant differences among groups for the
233 participants who used video games (Table 2). Nevertheless, for the participants who were not
234 users of video games, the results showed that there were differences in the total time required to
235 complete the test among groups (P value= 0.0012). Group 1, “safety training courses”, needed
236 more time to do the test than the other two groups. There were no statistically significant
237 differences between group 2, “experience in driving tractors”, and group 3, “without experience
238 in driving tractors”. A possible explanation for this result was that the non-video game users
239 needed more time to become accustomed to the driving of the TDS. This result indicated that the
240 participants who were not accustomed to the use of new technologies required extra time to

241 perform the test. This factor should be taken into account in subsequent tests to avoid possible
242 masking of results.

243 **[Table 2. insert here]**

244 **Table 2.** Results of tractor driving simulator by groups.

245
246 A participant could make a maximum of eight errors in the test. An error was considered to be
247 when the ROPS was not deployed (safety position) in slope areas and on roads. Mean errors in
248 the test were 3.5 out of 8. This suggested that the participants understood the safety instructions
249 that the researchers had explained prior to starting the test. However, with 95% confidence, the
250 results showed that the group 1 students with “safety training courses” made fewer errors in
251 deploying the ROPS than the group with experience in driving tractors and the group without
252 experience in driving tractors (P value = 0.0045) (Fig. 8). A possible cause for groups 2 and 3
253 showing a higher value was that group 1, being safety students, were potentially more primed to
254 choose a safety response than were the other two groups. It is important to note that according to
255 Brahm and Singer (2013), training is effective in reducing accidents.

256

257 **[Figure 8. insert here]**

258 **Figure 8.** Errors in deploying the ROPS by groups. Bars are mean \pm Std. error. Different letters
259 indicate statistically significant differences (P < 0.05).

260

261 **3.3. Results regarding perception of the risk and safety**

262 After the simulator tests concluded, participants were asked to assess the activity. In relation to
263 question 1, regarding the increase in the perception of risk after this activity, the scores of groups
264 1 and 3 were very similar, being 84% and 86%, respectively. Thirty-one out of 37 participants in
265 group 1 and 44 out of 51 participants in group 3 said “yes.” Consequently, there were no

266 significant differences between groups 1 and 3 (Table 3). In group 2, “experience in driving
267 tractors”, the number of participants that increased their perception of risk after the test was 22 of
268 the 39 participants (56%). One possible interpretation of this result may be that the participants
269 with experience in driving tractors had already been aware of the risk.

270 In any case, this experience was highly positive, as a mean 76% of the participants increased
271 their perception of the risk after taking this activity. Similar results have been found by
272 Tillapaugh et al. (2010), suggesting that the use of driving simulators for tractors showed an
273 educational benefit because several participants indicated that they would probably reconsider
274 their safety while they were operating on steep slopes.

275 Regarding question 2, concerning working safely in the future, there were no significant
276 differences among groups (Table 3). After this experience, 101 of the 127 participants (80%)
277 stated that they will consider working more safely. This result supported the idea that training in
278 risk prevention is highly appreciated by the participants.

279 For question 3, “Do you feel that you need a training course in occupational safety?”, there were
280 no significant differences among the three groups. Nevertheless, group 1 presented the lowest
281 value compared with groups 2 and 3, which showed similar percentages. In group 1, 21 of the 37
282 participants said “yes” (57%), versus 28 of the 39 participants in group 2 (72%), and 38 of the 51
283 participants in group 3 (75%) (Table 3). The lowest value in group 1 could be observed because
284 this was a group of occupational safety students. To assess whether the economic cost of the
285 training course could be a handicap to do it, the participants who had responded positively to
286 question 3 were also asked if they would do a training course if it were free of cost. The answer
287 was positive for 100% in groups 1 and 3 and for 89% in group 2.

288 **[Table 3. insert here]**

289 **Table 3.** Results about perception of the risk and safety.

290
291 **3.4. Opinion regarding the experience**
292 At the end of the questionnaire, three general questions were asked to gather opinions about the
293 experience. Table 4 shows the results of the three questions that participants were asked. The
294 general opinion of the participants regarding the experience was very positive with mean scores
295 of 9.42 (enjoyable), 9.27 (useful) and 8.74 (learning) out of 10 points.

296 With regard to the first question (enjoyable experience), there were significant differences
297 between groups 3 and groups 1 and 2 (Table 4). For the participants of group 3, it was a more
298 enjoyable experience. One possible interpretation of this result may be that the age of the
299 participants of group 3 included younger people, and such people usually enjoy these
300 experiences more. Approximately 24.6% of participants in group 3 were under 30 years old
301 versus 18.25% and 19.84% in groups 1 and 2, respectively.

302 No significant differences were observed among groups with regard to the usefulness of the
303 experience (Question 2, Table 4). The simulator was a useful training tool with a mean score of
304 9.27 notes of 10 points.

305 Regarding the last opinion (Question 3) regarding the learning experience, the lowest score was
306 for group 2, “expert in driving tractors”. A comparison between group 2 and groups 1 and 3
307 demonstrated significant differences. Participants were offered the option to submit written
308 comments after participating in the experience. Several group 2 participants commented, “This is
309 my daily work”. This comment reinforced the lowest score for group 2.

310 **[Table 4. insert here]**
311 **Table 4.** Opinion regarding the experience.

312
313 **4. Conclusions**

314 A tractor driving simulator was developed and constructed with a particular focus on the
315 appropriate use of the ROPS. A sample of people was invited to a pilot test in order to evaluate
316 the use of this tractor driving simulator for training programmes to minimize occupational risk.

317 The following conclusions were drawn:

- 318 • Those participants who were students of training courses made fewer errors in deploying
319 the ROPS;
- 320 • The perception of risk and safety increased after the tractor driving simulator experience
321 for all of the participants but significantly more so for non-frequent users of tractors;
- 322 • In the opinion of the participants, the use of the tractor driving simulator can help them to
323 drive more safely; and
- 324 • All participants considered the training to be a very positive experience.

325 Future work on the TDS will be to design a virtual driving scenario with overturning experience
326 to raise awareness of risk. According to the comments made by the participants in the pilot test,
327 those that had experienced a real overturn with the tractor in the field never forgot it. However,
328 the major limitation to designing this future virtual driving scenario will be the slope degree
329 according to overturning. We are aware that a 12-degree slope is not sufficiently steep for
330 overturning a tractor in a real situation.

331 **Acknowledgements**

332 The authors would like to thank *Instituto de Seguridad y Salud Laboral de la Región de Murcia*
333 for financing the project of “New Safety Devices in Machinery.” The authors would also like to
334 thank all of the participants for their cooperation in this study.

335

336 **References**

337 Backlund, P., Engström, H., Johannesson, M., Lebram, M., 2007. Games and Traffic Safety - an
338 Experimental Study in a Game-Based Simulation Environment. 11th International Conference
339 Information Visualization - IV '07, pp. 908–916.
340

341 Ballesteros, T., Arana, I., Pérez, A., Alfaro, J.R., 2015. Development and validation of
342 automatically deployable ROPS based on airbag inflator technology. *Biosyst. Eng.* 130, 92–105.
343

344 Brahm, F., Singer, M., 2013. Is more engaging safety training always better in reducing
345 accidents? Evidence of self-selection from Chilean panel data. *J. Saf. Res.* 47, 85–92.
346

347 Cha, M., Han, S., Lee, J., Choi, B., 2012. A virtual reality based fire training simulator integrated
348 with fire dynamics data. *Fire Saf. J.* 50, 12–24.
349

350 Chittaro, L., Buttussi, F., 2015. Assessing knowledge retention of an immersive serious game vs.
351 a traditional education method in aviation safety. *Visualization and Computer Graphics, IEEE*
352 *Trans.* 21(4), 529–538.
353

354 Grabowski, A., Jankowski, J., 2015. Virtual Reality-based pilot training for underground coal
355 miners. *Saf. Sci.* 72, 310–314.
356

357 Hoy, R.M., 2009. Farm tractor rollover protection: why simply getting rollover protective
358 structures installed on all tractors is not sufficient. *J. Agric. Saf. Health* 15(1), 3–4.
359

360 Martin-Gorriz, B., Ibarra Berrocal, I., Mínguez Samper, A., Morente Sánchez, A., 2012.
361 Accidentes por vuelco de tractor de la Región de Murcia: propuestas para su reducción. Form.
362 Seg. Lab. 123, 70–71 [In Spanish].
363
364 Ochoa Lleras, N., Brennan, S., Murphy, D., Klena, M. J., Garvey, P.M., Sommer III, H.J.,
365 2016. Development of an open-source tractor driving simulator for tractor stability tests. J.
366 Agric. Saf. Health 22(4), 227-246.
367
368 Ojados, D., Martin-Gorriz, B., Ibarra, I., Miguel, B., Caro, F., Morales, P., 2016. Development of
369 an automatically deployable roll over protective structure for agricultural tractors: Prototype and
370 first tests. Comp. Elec. Agric. 124, 46–54.
371
372 Powers, J.R., Harris, J.R., Etherton, J.R., Snyder, K.A., Ronaghi, M., Newbraugh, B.H., 2001.
373 Performance of an automatically deployable ROPS on ASAE tests. J. Agric. Saf. Health 7 (1),
374 51–61.
375
376 Rosendo, M., Buriol, T., de Geus, K., Scheer, S., Felsky, C., 2011. Towards the development of
377 a 3d serious game for training in power network maintenance. In Games and Virtual Worlds for
378 Serious Applications (VS-GAMES), Third International Conference IEEE, 2011, pp. 16–23.
379
380 Ruiz, J., 2015. Oculus Rift: realidad virtual para el aprendizaje inmersivo en seguridad laboral.
381 [http://prevenblog.com/oculus-rift-realidad-virtual-para-el-aprendizaje-inmersivo-en-seguridad-](http://prevenblog.com/oculus-rift-realidad-virtual-para-el-aprendizaje-inmersivo-en-seguridad-laboral/)
382 [laboral/](http://prevenblog.com/oculus-rift-realidad-virtual-para-el-aprendizaje-inmersivo-en-seguridad-laboral/) [In Spanish] (Dec. 16, 2016).
383

384 Silileli, H., Dayıoglu, M. A., Gultekin, A., Ekmekci, K., Yildiz, M. A., Akay, E., Saranlı G.,
385 2007. Anchor mechanism to increase the operator clearance zone on narrow-track wheeled
386 agricultural tractors: prototype and first tests. *Biosyst. Eng.* 97, 153–161.

387

388 Tillapaugh, J. A., Murphy, D. J., Sommer III, H. J., Garvey, P. M., 2010. Operator assessment of
389 tractor roll angle with and without a tractor stability visual feedback device. *J. Agric. Saf. Health*
390 16(4), 249-264.



Figure 1. (left) real CASE IH-2120 tractor. (right) 3D model of CASE IH-2120 tractor.

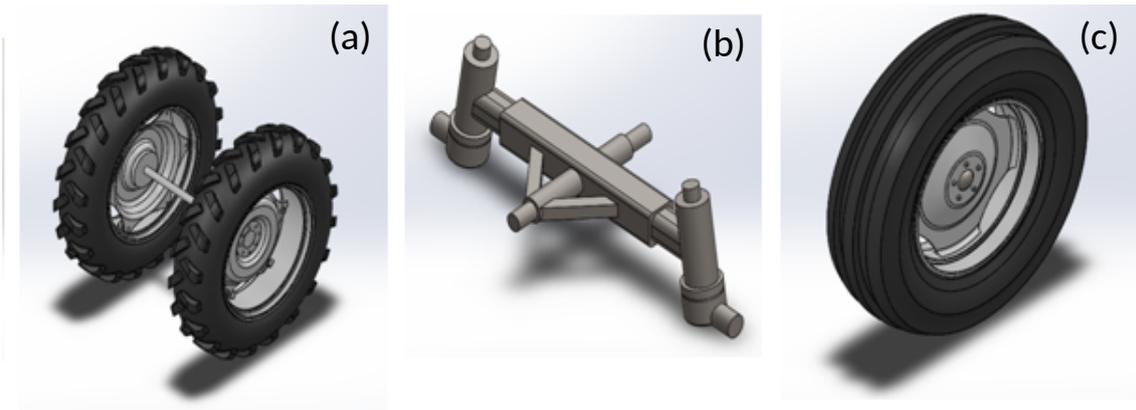


Figure 2. 3D model of tractor components: a) rear axle with wheels; b) front axle; c) front wheel.



Figure 3. 3D model of ROPS components. (left) up position, (right) down position.

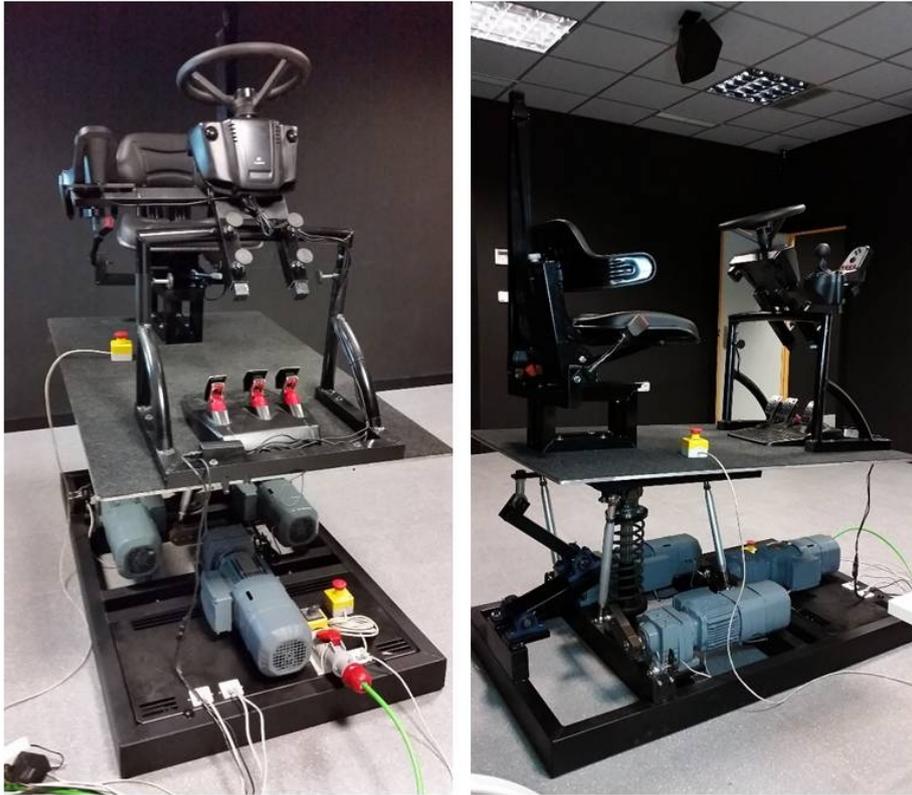


Figure 5. Motion platform. (left) front view, (right) side view.



Figure 6. Participant driving the simulation motion platform.



Figure 7. Screen with the results of a participant's test.

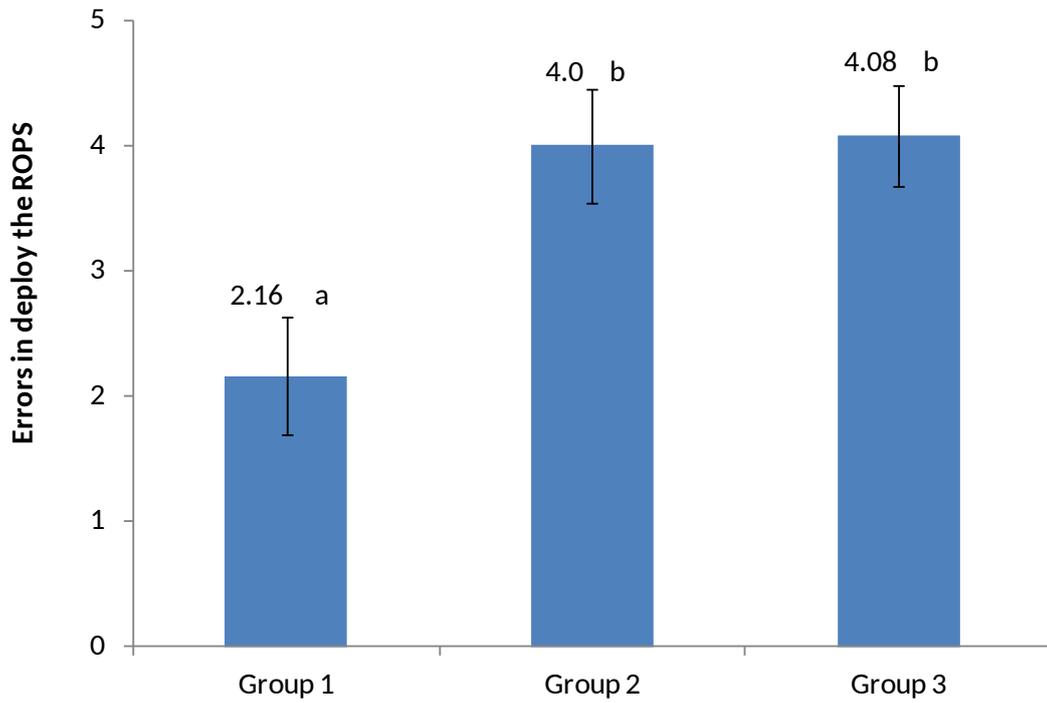


Figure 8. Errors in deploying the ROPS by groups. Bars are mean \pm Std. error. Different letters indicate statistically significant differences ($P < 0.05$).

Table 1. Characteristics of participants.

Items	Group 1. Safety training courses (n = 37)	Group 2. Experience in driving tractors (n = 39)	Group 3. Without experience in driving tractors (n = 51)	Total (n = 127)
Mean age (range)	31 (21-51)	28 (16-56)	29 (16-56)	30 (16-56)
Mode age	24	23	22	24
Gender (male/female)	24/13	32/7	37/14	93/34
Video games user (%)	32	46	47	43
Driver's license (%)	97	79	80	85

Table 2. Results of tractor driving simulator by groups.

Variable	Factors	Group 1. Safety training courses	Group 2. Experience in driving tractors	Group 3. Without experience in driving tractors	Mean	F Ratio	P Value
Total driving time (s)	Video games user	402.3 ± 27.4 a	422.1 ± 22.4 a	376.1 ± 19.4 a	397.2	1.23	0.3016
	No video games user	479.8 ± 17.5 b	419.0 ± 19.0 a	387.4 ± 16.8 a	428.1	7.43	0.0012

Mean ± Std. error. Mean values denoted by a different letter were significantly different at $p < 0.05$ level by ANOVA testing conducted with Scheffe's test.

Table 3. Results about perception of the risk and safety.

Questions	Group 1. Safety training courses (n = 37)	Group 2. Experience in driving tractors (n = 39)	Group 3. Without experience in driving tractors (n = 51)	Mean (n = 127)	F-Ratio	P-Value
1. Have you increased your perception of risk after this experience? (0 = no, 1 = yes)	0.84 ± 0.07 b	0.56 ± 0.06 a	0.86 ± 0.06 b	0.76	6.78	0.0016
2. Will you drive more safely after this experience? (0 = no, 1 = yes)	0.84 ± 0.06 a	0.67 ± 0.06 a	0.86 ± 0.06 a	0.80	2.97	0.0551
3. Do you think that you need a training course in occupational safety? (0 = no, 1 = yes)	0.57 ± 0.08 a	0.72 ± 0.07 a	0.75 ± 0.06 a	0.69	1.71	0.1845

Mean ± Std. error. Mean values denoted by a different letter were significantly different at $p < 0.05$ level by ANOVA testing conducted with Scheffe's test.

Table 4. Opinion regarding the experience.

Questions	Group 1. Safety training courses (n = 37)	Group 2. Experience in driving tractors (n = 39)	Group 3. Without experience in driving tractors (n = 51)	Mean (n = 127)	F-Ratio	P-Value
1. Did you have an enjoyable experience? (0 = very bad 10 = very much)	9.14 ± 0.13 a	9.26 ± 0.12 a	9.75 ± 0.11 b	9.42	7.96	0.0006
2. Do you consider the experience to be useful? (0 = very bad 10 = very much)	9.11 ± 0.13 a	9.13 ± 0.13 a	9.49 ± 0.11 a	9.27	3.42	0.0359
3. Do you feel that you have learned with the experience? (0 = very little 10 = very much)	8.97 ± 0.22 b	8.26 ± 0.21 a	8.94 ± 0.19 b	8.74	3.77	0.0259

Mean ± Std. error. Mean values denoted by a different letter were significantly different at $p < 0.05$ level by ANOVA testing conducted with Scheffe's test.

Desarrollo y evaluación de un simulador de conducción de tractores basado en la realidad virtual inmersiva para entrenar y evitar riesgos laborales

Dolores Ojados Gonzalez¹, Bernardo Martin-Gorriz², Isidro. Ibarra Berrocal¹, Alvaro Macian Morales¹, Gustavo Adolfo Salcedo¹, Beatriz Miguel Hernandez³

¹ Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica. Universidad Politécnica de Cartagena, Plaza del Hospital s/n, 30202, Cartagena, España. E-mail: lola.ojados@sait.upct.es; isidro.ibarra@sait.upct.es; alvmacian@gmail.com; gustavosalcedo12@gmail.com

² Dpto. de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola. Paseo Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, España. E-mail: b.martin@upct.es

³ Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental. Paseo Alfonso XIII, 52, 30203, Cartagena, España. E-mail: beatriz.miguel@upct.es

Resumen

Los accidentes por vuelco de tractor son la principal causa de muerte en el sector agrícola. Cuando los conductores hacen una mala utilización del arco antivuelco (ROPS), este se transforma en un dispositivo ineficiente como sistema de protección contra el vuelco. Para resolver este problema, la finalidad del presente trabajo es describir el desarrollo y evaluación de un simulador de conducción de tractores, utilizando para ello la realidad virtual inmersiva, destinado al entrenamiento de los conductores que permita minimizar este riesgo. En el sector agrícola, los simuladores de conducción de tractores pueden ser de utilidad para entrenar a los conductores en situaciones de riesgo que no son factibles de reproducir en un entorno real debido al alto riesgo de vuelco. El simulador incluye una plataforma de movimiento que se ha ajustado para esta aplicación en particular. Los resultados de este estudio permiten sugerir que los participantes con conocimientos sobre seguridad en el trabajo cometen menos errores en la utilización adecuada de la ROPS. Para reducir las consecuencias de los accidentes por vuelco de tractor en el sector agrícola, es esencial promover la realización de actividades formativas encaminadas a evitar una mala utilización de la ROPS. Después de la experiencia de conducción del tractor con el simulador, la percepción de riesgo y seguridad aumentó para todos los participantes, pero aumentó significativamente más para los usuarios no habituados a la conducción de tractores. El uso del simulador de conducción del tractor se describe como una experiencia positiva para todos los grupos de participantes estudiados ya que ella les puede ayudar a conducir con mayor seguridad, y sienten que necesitan más programas de formación en seguridad en el trabajo.

Palabras clave: Seguridad del tractor, vuelco, ROPS, daños, dispositivos de seguridad, prevención de accidentes.

1. Introducción

Los accidentes por vuelco de tractor son la principal causa de muerte en el sector agrícola. En la Unión Europea (UE), un estudio realizado por la Comisión de los Estados miembro reveló que el 40% de las lesiones graves y las muertes son debidos a que la estructura protectora (Rollover Protection System, ROPS) no se encontraba en la posición vertical de protección (Hoy, 2009). En la región de Murcia (España), en el periodo comprendido entre el los años 2005 a 2012, hubo 44 accidentes por vuelco de tractor, y en tres de cada cuatro de ellos, la ROPS estaba en la posición horizontal (insegura) (Martin-Gorriz et al., 2012). Para determinados tipos de tractores equipados con ROPS y para tareas concretas, debido a las condiciones de cultivos frutícolas o viñedos, está permitido el trabajo con la ROPS en posición horizontal. En esas condiciones la seguridad de trabajar con el tractor queda en manos del conductor. Sin embargo, debido a lo complicado desde el punto de vista de la ergonomía y a lo tedioso que es cambiarlo de posición, el agricultor tiende a dejarlo en posición horizontal en todo momento. La consecuencia es clara: el inadecuado diseño de la ROPS propicia su mala utilización lo que lo convierte en sistema altamente ineficiente para la protección contra vuelcos.

El desarrollo de las nuevas tecnologías ha favorecido que aparezcan soluciones adecuadas para evitar que la ROPS se encuentre en su posición horizontal en el caso de que se produzca un vuelco del tractor (Powers et al., 2001; Silleli et al., 2007; Ballesteros et al., 2015). En este mismo contexto y previamente a este trabajo, Ojados et al. (2016) se ha desarrollado y ensayado un sistema de accionamiento automático de una estructura ROPS de montaje adelantado basado en el uso de la potencia hidráulica que dispone el propio tractor. El dispositivo de seguridad tiene consignado el despliegue automático de la ROPS cuando el tractor excede un ángulo de inclinación específico. Además, el conductor puede decidir voluntariamente la activación de la ROPS cuando considere que existe riesgo de vuelco. Después de realizar este trabajo de investigación previo, el propósito de este nuevo trabajo ha sido desarrollar y evaluar un simulador de conducción de tractores basado en la realidad virtual inmersiva para entrenar y minimizar las situaciones de riesgo.

La Realidad Virtual Inmersiva ha sido ampliamente utilizada para entrenar a profesionales en campos tan diversos como la extinción de incendios (Cha et al., 2012), la seguridad vial (Backlund et al., 2007) y seguridad aérea (Chittaro y Buttussi, 2015). Además, se está extendiendo cada vez más su utilización como herramienta para la formación de los trabajadores en tareas que conllevan riesgos, como el mantenimiento de redes eléctricas (Rosendo et al., 2011), o para trabajos en ambientes confinados, como el sector de la minería extractiva (Grabowski y Jankowski, 2015). En algunos casos se requieren plataformas motorizadas que permitan simular el movimiento para recrear adecuadamente el escenario real; ejemplos típicos de esto son los simuladores de coches, barcos y aviones. Atendiendo a lo descrito en algunos estudios, las experiencias de aprendizaje inmersivas tienen un 90% de retención de los mensajes clave o necesarios frente a entre el 10 y el 20% que se consigue con los métodos de aprendizaje tradicionales (Ruiz, 2015). Dentro del sector agrícola, un simulador de conducción de tractores puede servir para entrenar a los conductores en situaciones peligrosas que no es posible reproducir en condiciones reales sin asumir un altísimo riesgo de vuelco.

2. Materiales y métodos

2.1. Simulador de conducción de tractor

2.1.1. Diseño del tractor virtual

El modelo de tractor seleccionado para la simulación de conducción fue un CASE IH-2120 (CNH industrial N.V., Londres, Reino Unido) porque ese modelo fue el primer tractor comercial en el cual se instaló el dispositivo de seguridad automático previamente desarrollado. Este modelo se caracteriza por ser un tractor estrecho diseñado específicamente para trabajar entre viñedos y frutales (Fig. 1a).



Figura 1.a. Tractor CASE IH-2120.



Figura 1.b. Modelo 3D del tractor CASE IH-2120.

Se ha realizado el diseño tridimensional completo del tractor utilizando Solidworks 2014 (Waltham, Massachusetts, EEUU). Se han modelado, ensamblado y parametrizado los componentes clave del tractor de acuerdo con sus especificaciones técnicas. Posteriormente se le aplicó la textura y se procedió a su renderizado para proporcionarle un aspecto realista (Fig. 1b). El siguiente paso fue calcular las propiedades físicas (masa, centro de gravedad y momento de inercia) de los componentes para asegurar que el comportamiento del modelo fuese semejante al verdadero. Este proceso se realizó para 45 componentes clave del tractor, incluyéndose entre otros, neumáticos, ejes, asiento y volante (Fig. 2), así como los componentes del sistema de accionamiento automático desarrollado para facilitar el despliegue de la ROPS de forma manual y automática (Fig. 3).

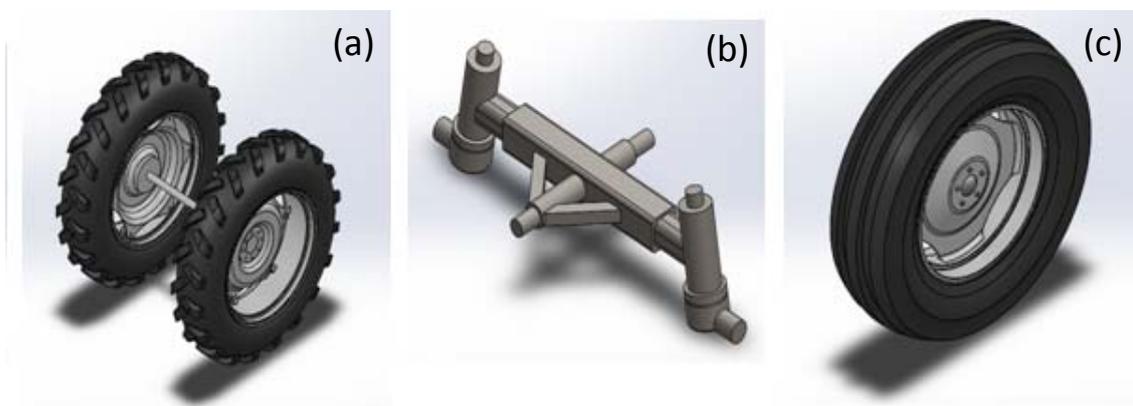


Figura 2. Modelado 3D de algunos componentes: a) eje trasero con ruedas; b) eje delantero; c) rueda delantera.



Figura 3. Modelo 3D de los componentes de la ROPS. (izquierda) posición vertical, (derecha) posición horizontal.

2.1.2. *Diseño del escenario para conducción virtual*

El programa informático elegido para crear un escenario de realidad virtual ha sido Unity 5 (Unity Technologies, San Francisco, CA, EEUU). La versión de Unity utilizada para el desarrollo del escenario previamente diseñado incluye, como características básicas, el potente motor de física de NVIDIA PhysX, audio en 3D y la posibilidad de agregar varios usuarios para interactuar simultáneamente dentro del escenario creado. Se diseñó una ruta donde se alternan entornos agrícolas en los que el conductor debe afrontar las típicas situaciones que implican el riesgo de vuelco. Para construir este recorrido virtual se utilizó el software de simulación Unity Road, que proporciona las herramientas para facilitar la construcción de los caminos y sus entornos virtuales. Con el fin de dar un aspecto realista del escenario, se hizo el esfuerzo de diseñar los objetos inmersos en ella con el grado de precisión adecuado. El escenario, además de las carreteras, incluye un cobertizo o casa de aperos para el tractor, un invernadero, viñedos, cultivos de arbolado en hilera, cultivos de arbolado en terrazas, cambios de pendiente y cruces de caminos. Todo ello fue añadido al escenario para crear el entorno más realista y más adecuado para reproducir en él la conducción empleando la plataforma de simulación. Para finalizar, se introdujo en este entorno el tractor virtual diseñado (modelo 3D del CASE IH-2120) cuyas propiedades físicas fueron descritas en el apartado anterior.

La ruta se inicia en el cobertizo en cuyo interior está el tractor, desde ahí se accede a una carretera principal. La ruta continúa a lo largo de una carretera secundaria hacia el interior de una gran área donde se encuentran los diferentes cultivos, comenzando por un cultivo compuesto por varias filas de naranjos que se comunica con un cultivo de vid en espaldera, a continuación, desde ahí se accede al interior de un invernadero para, al salir acceder a varios cultivos de naranjos en terrazas, lo que obliga a conducir primero hacia arriba y más tarde hacia abajo de las laderas. A lo largo de la ruta, el conductor se enfrenta con situaciones en las que es obligatorio mover la ROPS a la posición vertical para garantizar su propia seguridad, por ejemplo, cuando se encuentra conduciendo por la carretera principal o subiendo y bajando entre las laderas del cultivo en terraza. En otros lugares de la ruta, no hay riesgo de vuelco, y por el contrario es conveniente mantener la ROPS en posición horizontal para evitar dañar los árboles (Fig. 4).

Para finalizar con la descripción del escenario, con el fin de evaluar la utilidad del simulador de conducción del tractor, se programó para poder medir los siguientes datos en cada experiencia: (1) tiempo de conducción total; (2) tiempo total detenido durante la ruta; (3) número de veces que el conductor no colocó la ROPS en posición vertical, a pesar de estar en lugares con riesgo de vuelco (hay 8 situaciones parametrizadas en total en las que esto es necesario); y (4) Plano 2D de la ruta que muestra los lugares exactos en los que se han cometido errores en cuanto al uso de la ROPS descritos en el punto (3).

2.1.3. Plataforma de simulación de movimiento

La plataforma de simulación de movimiento se basa en la utilización de tres motores eléctricos de forma simultánea para conseguir un sistema de 3 grados de libertad. El diseño de la plataforma permite manejar hasta 200 kilogramos y proporciona hasta $\pm 12^\circ$ de movimientos de pitch (delante-atrás) y roll (izquierda-derecha) y 100 mm de desplazamiento vertical (grupo de investigación ARTEC; Instituto de Robótica y Tecnología de la Información y Comunicaciones, Universidad de Valencia).



Figura 4. Plano de la ruta diseñada dentro del escenario virtual.

El escenario de realidad virtual se consigue combinando una pantalla (3,2 m × 2,4 m) con un sistema de proyección posterior con la plataforma de simulación de movimiento de 3 grados de libertad que incluye el asiento del conductor del tractor, volante y pedales (Fig. 5). Una configuración alternativa permite reemplazar el sistema de proyección posterior por unas gafas de realidad virtual inmersiva para uso individual combinado con un proyector anterior situado por delante de la plataforma, que ofrece a otros espectadores la posibilidad de ver la escena tal cual es afrontada por el conductor. Se utilizaron las Oculus Rift (Oculus VR, Menlo Park, CA, EEUU) con un campo de visión horizontal de 110°. También se integró el sonido en el escenario simulado mediante un sistema de sonido envolvente 5.1. Cabe señalar que se incorporó en la plataforma un cinturón de seguridad de uso obligatorio. El objetivo es prevenir el riesgo de caída de la plataforma, y fomentar el uso del cinturón de seguridad que incorporan los tractores, puesto que, aunque los cinturones de seguridad no son actualmente obligatorios en España, su uso es muy recomendable para una conducción más segura combinada con la ROPS.

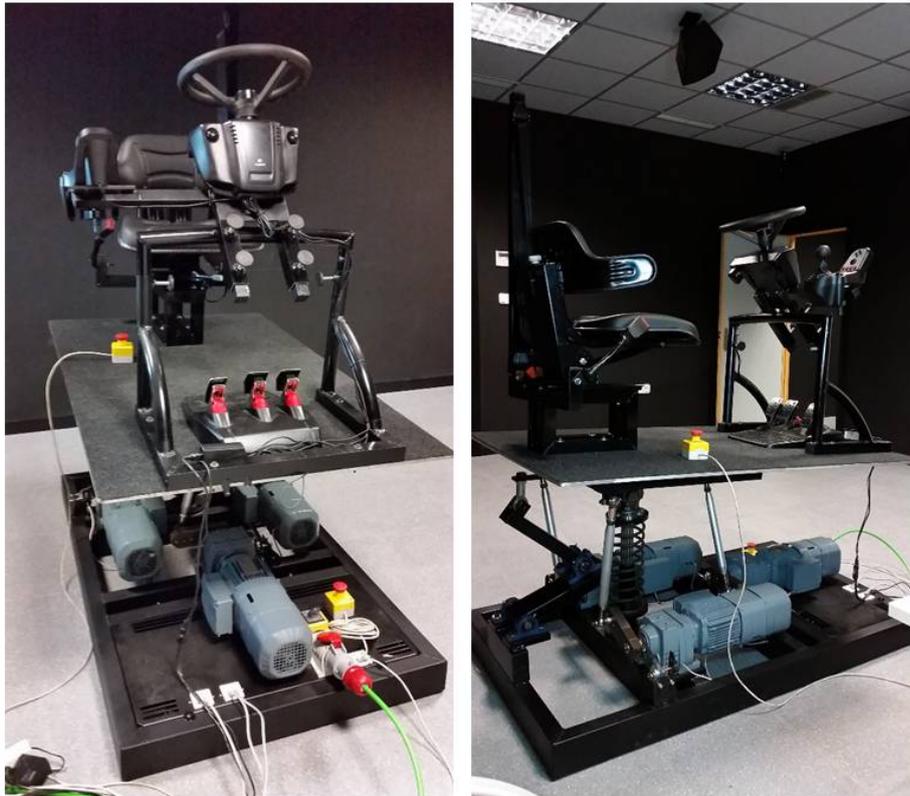


Figura 5. Plataforma de simulación. (izquierda) vista frontal, (derecha) vista lateral.

El sistema de visión, la plataforma de simulación, los mandos de control (volante, pedales, cambios, accionamiento del arco) y la interfaz de sensores del escenario de RV se controlan con una estación de trabajo consistente en un PC dotado con un Procesador Intel C612, 2,1 GHz CPU, 16 MB de RAM, 8GB de DDR3 de memoria y una tarjeta gráfica NVIDIA M4000 con soporte PhysX. El sistema operativo utilizado fue Windows 7 profesional 64-bit.

2.1.4. Integración de todos los componentes

Con el programa Unity 5 se ha conseguido integrar el tractor virtual diseñado (apartado 2.1.1) dentro del escenario de conducción virtual (apartado 2.1.2) y la plataforma de simulación de movimiento (apartado 2.1.3). El resultado conseguido ha sido el desarrollo y fabricación de un simulador de conducción de un tractor, su acrónimo en inglés es TDS (Tractor Driving Simulator), de Realidad Virtual Inmersiva para la formación de conductores de tractores para la prevención de los riesgos laborales derivados de su utilización en los entornos típicos de trabajo (Fig. 6).



Figura 6. Voluntario conduciendo la plataforma de simulación de movimiento.

Se ha desarrollado un escenario de conducción virtual para tractores equipados con ROPS abatible manual o automáticamente desde el asiento. Cada vez que se quiera comenzar una nueva experiencia, el conductor subirá al tractor, se abrochará el cinturón de seguridad y estará preparado para empezar a conducir. A lo largo de la ruta por la granja, durante el recorrido tendrá que subir y bajar cerca de las laderas, y existirá el riesgo de que se produzca un vuelco. Para completar el recorrido minimizando los riesgos, el conductor debería pasar obligatoriamente a través de estas áreas con la ROPS en su posición vertical, para ello existen dos opciones posibles disponibles: (1) despliegue manual de la ROPS presionando un botón programado en la consola cuando el conductor reconoce una situación de riesgo o 2) despliegue automático de la ROPS sin la intervención del conductor cuando el riesgo de vuelco es inminente. El controlador de la opción (1) implica una decisión del conductor que en la realidad conllevaría detener el tractor para desplegar la ROPS, y en la opción (2), el dispositivo de seguridad automáticamente despliega la ROPS cuando el tractor excede un ángulo de inclinación específico; no siendo necesario en este caso detener el tractor. Cuando se finaliza la ruta, se muestran los resultados de la prueba en la pantalla (Fig. 7).



Figura 7. Pantalla que se muestra al finalizar la prueba con los resultados obtenidos.

2.2. Evaluación de los usuarios

Para evaluar la utilización de la realidad virtual inmersiva para la formación en prevención de riesgos laborales, se seleccionó una muestra de personas y se les invitó a probar el simulador de conducción del tractor (TDS) en dos lugares: (i) la sala de realidad virtual inmersiva que tiene la Universidad Politécnica de Cartagena dentro del Centro de Desarrollo e Innovación Tecnológica situado en el Parque Tecnológico de Fuente Álamo y (II) una feria dedicada a las mejoras y avances en maquinaria e infraestructuras agrícolas que se celebró en Torre Pacheco (Fame INNOWA 2017) Murcia, sureste de España. El TDS se ha utilizado como herramienta formativa dentro de asignaturas de Máster de la UPCT (por ejemplo, en el Máster Interuniversitario en Prevención de Riesgos Laborales) y en cursos específicos de formación sobre seguridad y salud dirigidos a conductores de tractor.

En todos los casos, al inicio de la experiencia se explicaba en una corta sesión formativa el proyecto de investigación a los participantes. Antes de comenzar la prueba, cada participante era instruido con respecto a la conducción segura de tractores. En el TDS se establecieron dos niveles de asistencia para la elevación de la ROPS plegable. En el primer nivel, el conductor decide cambiar la posición de la ROPS, y este cambio se hace utilizando la

activación manual desde el puesto de conducción. En el segundo nivel, en situaciones de vuelco inminente se produce un cambio automático a la posición de seguridad sin la intervención del conductor. Durante cada una de las pruebas, el investigador se situaba siempre detrás de la plataforma de movimiento y se comunicaba con el voluntario. La duración aproximada de las pruebas fue de 10 minutos por cada participante. Cuando la prueba finalizaba, aparecía en la pantalla un resumen de los resultados más relevantes conseguidos. A continuación de cada experiencia, éstos resultados se comentaban y discutían entre el investigador y el participante.

Una vez concluida la prueba con el simulador, se pidió a cada uno de los participantes que completara un cuestionario de seguimiento. La primera parte del cuestionario contenía varias preguntas para recabar información demográfica. La segunda sección contenía 10 preguntas sobre la experiencia en el manejo y conducción de un tractor, el tamaño del tractor más a menudo utilizado, el tipo ROPS de ese tractor y cómo usarlo, las tareas más frecuentemente realizadas con el tractor, cómo aprendió a utilizar tractores, la frecuencia con que los utilizaba, y sus conocimientos sobre seguridad y salud en el trabajo. Estas preguntas eran necesarias para llevar a cabo el posterior análisis estadístico de los datos. Finalmente, se pidió a los participantes que evaluaran la actividad (la percepción del riesgo antes y después de la prueba), la evaluación del simulador (TDS) y su opinión sobre la experiencia. Para terminar, en el cuestionario se ofrecía a los participantes un espacio donde poder presentar otros comentarios por escrito después de su participación en este proyecto de investigación. La participación se limitó a los individuos de 16 años de edad en adelante. Algunos participantes dejaron algunas de las preguntas planteadas sin contestar.

Los participantes ($n = 127$) se categorizaron en tres grupos según los conocimientos de seguridad y su experiencia con los tractores: Grupo 1 ($n = 37$), estudiantes con "cursos de formación en seguridad"; Grupo 2 ($n = 39$), agricultores con "experiencia en la conducción de tractores"; y Grupo 3 ($n = 51$), "sin experiencia en la conducción de tractores". El Grupo 3 se formó gracias a los visitantes a la Feria de Maquinaria Agrícola de Torre Pacheco con asistentes que probaron el simulador y no pertenecían a ninguno de los dos grupos anteriores.

2.3. Análisis de datos

El análisis estadístico de los datos se ha realizado con un análisis estándar de varianza (ANOVA) utilizando el software Statgraphics (Statpoint Technologies Inc, Warrenton, VA, EEUU). Como norma general y salvo que se indique lo contrario, los resultados se presentan como media \pm SD. Cuando se quiso hacer una comparación para cada variable se eligió un nivel de significación ($p < 0,05$), los valores promedio se compararon mediante la prueba de Scheffe's ($p < 0,05$), y cuando se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) dentro de cada grupo se indicó mediante diferentes letras minúsculas (a, b). Sólo se analizaron los datos de los participantes que se consideraron válidos para las variables dependientes y son los que se presentan en este informe. Este modo de proceder proporcionó un tamaño de muestra (n) de 127. Sin embargo, al no responder todos los participantes a todas las preguntas de la encuesta, el tamaño de la muestra varió entre los diferentes análisis realizados.

3. Resultados y discusión

3.1. Características de los participantes

Ha participado un total de 127 sujetos en este estudio. Las edades de los participantes estaban comprendidas entre 16 y 56 años. No se permitió a los niños menores de 16 años participar en la prueba. En los tres grupos, la edad más frecuente fue de 22 a 24 años (Tabla 1). Atendiendo a la totalidad de la muestra, la mayoría de los participantes fueron varones (73,23%), y si se observa por grupos: el 64,86% en el grupo 1, un 82,05% en el grupo 2 y el 72,55% en el grupo 3. Se realizaron preguntas sobre el uso de videojuegos y sobre si se disponía del carnet de conducir con el fin de poder evaluar su posible relación con los resultados de las pruebas con respecto al realismo del simulador en general o de habilidades de conducción. El 43% de los participantes utilizaban videojuegos de forma regular. El grupo sin experiencia en la conducción de tractores fue en el que era más numeroso el perfil de usuario de videojuegos (47%). Con respecto al carnet de conducir, el 85% del total de participantes lo tenía y por lo tanto estaban acostumbrados a conducir un coche (volante, acelerador, marcha atrás).

Tabla 1. Características de los participantes.

Propiedad	Grupo 1 Conocimientos de seguridad (n=37)	Grupo 2 Experiencia en conducción de tractores (n=39)	Grupo 3 Sin experiencia en conducción de tractores (n=51)	Total (n=127)
Edad media (rango)	31 (21-51)	28 (16-56)	29 (16-56)	30 (16-56)
Edad moda	24	23	22	24
Género (masculino/femenino)	24/13	32/7	37/14	93/34
Usuarios de videojuegos (%)	32 97	46 79	47 80	43 85
Carnet de conducir (%)				

3.2. Resultados con el simulador de conducción de tractor

La habilidad de conducción de los participantes ha quedado demostrada con los resultados respecto al tiempo de conducción total. Los participantes habituados al uso de videojuegos necesitaron menos tiempo para completar la prueba que los no usuarios (397,2 s y 428,1 s para usuarios y no usuarios de videojuegos, respectivamente). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos para los participantes usuarios de videojuegos (Tabla 2). Sin embargo, entre los participantes que no eran usuarios de videojuegos, los resultados mostraron que había diferencias estadísticamente significativas en cuanto al tiempo total requerido para completar la prueba entre grupos (valor $P=0.0012$). El grupo 1, "conocimientos de seguridad", empleó más tiempo para realizar la prueba que los otros dos grupos. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre el grupo 2, "experiencia en conducción de tractores", y el grupo 3, "sin experiencia en conducción de tractores". Una explicación posible para este resultado era que los no usuarios de videojuegos necesitaron más tiempo para acostumbrarse a la conducción del TDS. Este resultado indicó que los participantes que no estaban acostumbrados al uso de nuevas tecnologías requirieron tiempo extra para realizar la prueba. Este factor debe tenerse en cuenta en las pruebas posteriores para evitar posibles enmascaramientos de los resultados.

Tabla 2. Resultados obtenidos en el simulador de conducción del tractor por grupos.

Variante	Factores	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Media	F-Ratio	Valor P
Tiempo de conducción (s)	Usuario de videojuegos	402.3 ± 27.4 a	422.1 ± 22.4 a	376.1 ± 19.4 a	397.2	1.23	0.3016
	No usuario de videojuegos	479.8 ± 17.5 b	419.0 ± 19.0 a	387.4 ± 16.8 a	428.1	7.43	0.0012

Media ± error estándar. La letra diferente que acompaña a los valores promedio significa que se obtuvieron diferencias significativas a $p < .05$ LEVEL mediante la prueba ANOVA realizada con el test de Scheffe.

Cada participante podría cometer un máximo de ocho errores en la prueba. Se consideró que se cometía un error cuando no se desplegaba la ROPS (posición de seguridad) en las zonas de pendiente y en las carreteras o caminos en los que no había arbolado. El promedio de errores en la prueba fue de 3,5 sobre 8. Esto sugiere que los participantes entendieron las instrucciones de seguridad que los investigadores habían explicado antes de comenzar la prueba. Sin embargo, con un 95% de confianza, los resultados mostraron que los estudiantes del grupo 1 con "cursos de formación en seguridad" cometieron menos errores en el despliegue de la ROPS que el grupo con experiencia en la conducción de tractores y el grupo sin experiencia en la conducción de tractores (valor $P = 0.0045$) (Fig. 8). La posible causa de que los grupos 2 y 3 dieran como resultado un valor más alto fue que el grupo 1, al tratarse de estudiantes de un Máster en Prevención de Riesgos Laborales, estaban potencialmente más preparados para tomar decisiones en cuanto a la seguridad que los otros dos grupos. Es importante hacer mención de que según Brahm y Singer (2013), la formación es efectiva en la reducción de accidentes.

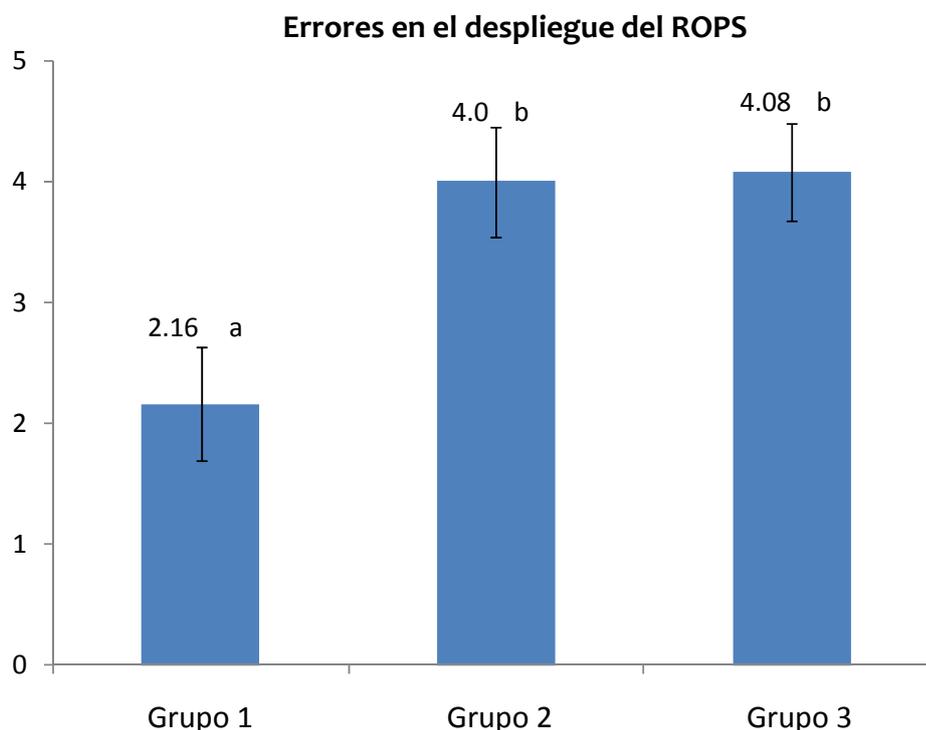


Figura 8. Número de errores en la activación del arco según grupo. Las barras representan la media ± desviación estándar. Las letras diferentes indican que existieron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

3.3. Resultados relativos a la percepción del riesgo y la seguridad

Como se comentó en el apartado 2.2, una vez concluidas las pruebas del simulador, se pidió a los participantes que evaluaran la actividad. En relación con la pregunta 1, respecto al aumento de la percepción del riesgo después de esta actividad, las puntuaciones de los grupos 1 y 3 fueron muy similares, siendo 84% y 86%, respectivamente. Treinta y uno de 37 participantes en el grupo 1 y 44 de 51 participantes en el grupo 3 dijeron "sí". En consecuencia, no hubo diferencias significativas entre los grupos 1 y 3 (cuadro 3). En el grupo 2, "experiencia en la conducción de tractores", el número de participantes que aumentaron su percepción de riesgo después de la prueba fue de 22 de los 39 participantes (56%). Una posible interpretación de este resultado puede ser que los participantes con experiencia en la conducción de tractores ya habían tenido la oportunidad de adquirir la conciencia del riesgo en su trabajo habitual.

En cualquier caso, esta experiencia fue altamente positiva, ya que un promedio de 76% de los participantes aumentó su percepción del riesgo después de participar en la actividad. Se han encontrado resultados similares por Tillapaugh et al. (2010), lo que sugiere que el uso de simuladores de conducción para tractores se puede considerar una herramienta educativa de mejora porque varios participantes indicaron que probablemente reconsiderarían su percepción de la seguridad cuando tuvieran que trabajar o transitar por zonas de elevada pendiente. En cuanto a la pregunta 2, sobre el trabajo seguro en el futuro, no hubo diferencias significativas entre los grupos (Tabla 3). Después de esta experiencia, 101 de los 127 participantes (80%) indicaron que tendrían más en cuenta la seguridad cuando tuvieran que trabajar. Este resultado sirve para apoyar la idea de que este tipo de formación en prevención de riesgos es muy apreciada por los participantes.

Tabla 3. Resultados en relación con la percepción del riesgo y la seguridad.

Pregunta	Grupo 1 (n = 37)	Grupo 2 (n = 39)	Grupo 3 (n = 51)	Media (n = 127)	F-Ratio	Valor P
1. ¿Ha aumentado tu percepción de riesgo después de esta experiencia? (0 = no, 1 = sí)	0.84 ± 0.07 b	0.56 ± 0.06 a	0.86 ± 0.06 b	0.76	6.78	0.0016
2. ¿Conducirás de forma más segura después de esta experiencia? (0 = no, 1 = sí)	0.84 ± 0.06 a	0.67 ± 0.06 a	0.86 ± 0.06 a	0.80	2.97	0.0551
3. ¿Crees que necesitas un curso de formación en Prevención de riesgos laborales? (0 = no, 1 = sí)	0.57 ± 0.08 a	0.72 ± 0.07 a	0.75 ± 0.06 a	0.69	1.71	0.1845

Media ± error estándar. La letra diferente que acompaña a los valores promedio significa que se obtuvieron diferencias significativas a $p < .05$ LEVEL mediante la prueba ANOVA realizada con el test de Scheffe.

Respecto a la tercera pregunta, "¿crees que necesitas un curso de formación en prevención de riesgos laborales?", no hubo diferencias significativas entre los tres grupos. Sin embargo, el grupo 1 presentó el valor más bajo en comparación con los grupos 2 y 3, que mostraron porcentajes similares. En el grupo 1, 21 de los 37 participantes dijeron "sí" (57%), mientras que fueron 28 de los 39 participantes en el grupo 2 (72%) y 38 de los 51 participantes en el grupo 3 (75%) (Tabla 3). El valor más bajo en el grupo 1 podría observarse porque se trataba de un grupo de estudiantes del Master en Prevención de Riesgos Laborales. Para evaluar si el posible coste económico del curso de formación pudiera ser un obstáculo para hacerlo, también se les preguntó a los participantes que habían respondido positivamente a la pregunta 3 si estarían dispuestos a hacer un curso de formación de este tipo si les resultara gratuito. La respuesta fue afirmativa para el 100% en los grupos 1 y 3 y en el caso del grupo 2 un 89% contestó afirmativamente.

3.4. Opinión sobre la experiencia

Al final del cuestionario, se realizaron tres preguntas generales para recabar la opinión sobre la experiencia. En la Tabla 4 se muestran los resultados de las tres preguntas que se plantearon a los participantes. La opinión general de los participantes sobre la experiencia fue muy positiva con puntuaciones medias de 9,42 (agradable), 9,27 (útil) y 8,74 (aprendizaje) de 10 puntos. Con respecto a la primera pregunta (experiencia agradable), hubo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos 3 y los grupos 1 y 2 (Tabla 4). Los participantes del grupo 3 son los que describieron la experiencia como más agradable. Una interpretación posible de este resultado puede ser que la edad de los participantes del grupo 3 incluyó a personas más jóvenes, que suelen disfrutar de estas experiencias más. Aproximadamente el 24,6% de los participantes del grupo 3 eran menores de 30 años frente a un 18,25% y un 19,84% en los grupos 1 y 2, respectivamente. No se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos con respecto a la utilidad de la experiencia (ver pregunta 2 en Tabla 4). El simulador fue considerado como una herramienta útil de entrenamiento con una muy elevada puntuación media de 9,27 sobre 10 puntos.

En cuanto a la última opinión (pregunta 3) sobre la experiencia de aprendizaje, la puntuación más baja fue para el grupo 2, "experto en conducción de tractores". La comparación entre el grupo 2 y los grupos 1 y 3 dio como resultado diferencias estadísticamente significativas.

Como se describió en 2.2, se ofreció a los participantes la opción de aportar comentarios adicionales por escrito después de participar en la experiencia. Varios participantes del grupo 2 comentaron, "este es mi trabajo diario". Este comentario sirve de refuerzo para explicar la puntuación más baja para el grupo 2.

Tabla 4. Opiniones sobre la experiencia.

Pregunta	Grupo 1 (n = 37)	Grupo 2 (n = 39)	Grupo 3 (n = 51)	Media (n = 127)	F-Ratio	Valor P
1. ¿Te ha resultado agradable la experiencia? (0 = muy mala, 10 = si)	9.14 ± 0.13 a	9.26 ± 0.12 a	9.75 ± 0.11 b	9.42	7.96	0.0006
2. ¿Conducirás de forma más segura después de esta experiencia? (0 = no, 1 = si)	9.11 ± 0.13 a	9.13 ± 0.13 a	9.49 ± 0.11 a	9.27	3.42	0.0359
3. ¿Crees que necesitas un curso de formación en Prevención de riesgos laborales? (0 = no, 1 = si)	8.97 ± 0.22 b	8.26 ± 0.21 a	8.94 ± 0.19 b	8.74	3.77	0.0259

Media ± error estándar. La letra diferente que acompaña a los valores promedio significa que se obtuvieron diferencias significativas a $p < .05$ LEVEL mediante la prueba ANOVA realizada con el test de Scheffe.

4. Conclusiones

Se ha desarrollado y construido un simulador de conducción de tractor enfocado en particular a favorecer el uso apropiado de la ROPS. Se ha llevado a cabo una prueba piloto sobre una muestra representativa de personas con el fin de evaluar la utilidad de este simulador de conducción de tractor en programas de capacitación que sirvan para minimizar el riesgo en el trabajo con estos vehículos. Se pueden resumir las siguientes conclusiones:

- Los participantes que eran estudiantes del Master en PRL cometieron menos errores en el despliegue de la ROPS.
- La percepción del riesgo y la seguridad aumentó después de la experiencia con el simulador de conducción de tractor para todos los participantes pero lo hizo de forma más significativa para los que no eran usuarios frecuentes de tractores,
- En opinión de los participantes, el uso de este simulador de conducción del tractor puede ayudarlos a conducir con mayor seguridad.
- Todos los participantes consideraron que la formación/capacitación era una experiencia muy positiva.

Para el futuro, el trabajo con Simulador de Conducción de Tractores TDS será diseñar un escenario de conducción virtual que incluya la experiencia de vuelco para aumentar la concienciación sobre el riesgo. Según los comentarios realizados por los participantes en la prueba piloto, los que habían experimentado un vuelco real con el tractor en el campo nunca lo olvidaron. Sin embargo, la principal limitación para el diseño de este futuro escenario de conducción virtual es el grado de inclinación que se puede alcanzar en la plataforma respecto a un vuelco real. Se debe ser consciente de que una inclinación de 120 puede no ser suficiente en relación con lo que se produce cuando un tractor vuelca en una situación real.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de Seguridad y Salud Laboral de la Región de Murcia por la financiación del proyecto de "Nuevos Dispositivos de Seguridad en Máquinas". Los autores también agradecen a todos los participantes su colaboración en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Backlund, P., Engström, H., Johannesson, M., Lebram, M., 2007. Games and traffic safety - an experimental study in a game-based simulation environment. In: 11th International Conference Information Visualization – IV '07, pp. 908–916.

Ballesteros, T., Arana, I., Pérez, A., Alfaro, J.R., 2015. Development and validation of automatically deployable ROPS based on airbag inflator technology. *Biosys. Eng.* 130, 92–105.

Brahm, F., Singer, M., 2013. Is more engaging safety training always better in reducing accidents? Evidence of self-selection from Chilean panel data. *J. Saf. Res.* 47, 85–92.

Cha, M., Han, S., Lee, J., Choi, B., 2012. A virtual reality based fire training simulator integrated with fire dynamics data. *Fire Saf. J.* 50, 12–24.

Chittaro, L., Buttussi, F., 2015. Assessing knowledge retention of an immersive serious game vs. a traditional education method in aviation safety. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Trans.* 21(4), pp. 529–538.

Grabowski, A., Jankowski, J., 2015. Virtual reality-based pilot training for underground coal miners. *Saf. Sci.* 72, 310–314.

Hoy, R.M., 2009. Farm tractor rollover protection: why simply getting rollover protective structures installed on all tractors is not sufficient. *J. Agric. Saf. Health* 15 (1), 3–4.

- Martin-Gorriz, 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. *Form. Seg. Lab.* 123, 70–71 [In Spanish].
- Ochoa Lleras, N., Brennan, S., Murphy, D., Klena, M.J., Garvey, P.M., Sommer III, H.J., 2016. Development of an open-source tractor driving simulator for tractor stability tests. *J. Agric. Saf. Health* 22 (4), 227–246.
- Ojados, D., Martin-Gorriz, B., Ibarra, I., Miguel, B., Caro, F., Morales, P., 2016. Development of an automatically deployable roll over protective structure for agricultural tractors: Prototype and first tests. *Comp. Elec. Agric.* 124, 46–54.
- Powers, J.R., Harris, J.R., Etherton, J.R., Snyder, K.A., Ronaghi, M., Newbraugh, B.H., 2001. Performance of an automatically deployable ROPS on ASAE tests. *J. Agric. Saf. Health* 7 (1), 51–61.
- Rosendo, M., Buriol, T., de Geus, K., Scheer, S., Felsky, C., 2011. Towards the development of a 3d serious game for training in power network maintenance. In: *Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)*, Third International Conference IEEE, 2011, pp. 16–23.
- Ruiz, J., 2015. Oculus Rift: realidad virtual para el aprendizaje inmersivo en seguridad laboral. <http://prevenblog.com/oculus-rift-realidad-virtual-para-el-aprendizajeinmersivo-en-seguridad-laboral/> [In Spanish] (December 16, 2016).
- Silleli, H., Dayioglu, M.A., Gultekin, A., Ekmekci, K., Yildiz, M.A., Akay, E., Saranlı, G., 2007. Anchor mechanism to increase the operator clearance zone on narrow-track wheeled agricultural tractors: prototype and first tests. *Biosys. Eng.* 97, 153–161.
- Tillapaugh, J.A., Murphy, D.J., Sommer III, H.J., Garvey, P.M., 2010. Operator assessment of tractor roll angle with and without a tractor stability visual feedback device. *J. Agric. Saf. Health* 16 (4), 249–264.

Conclusiones

Las conclusiones alcanzadas como consecuencia del desarrollo de esta Tesis Doctoral se exponen a continuación:

1. Ha sido diseñado, construido y probado un mecanismo de despliegue hidráulico para estructuras de protección, para ser utilizado en tractores agrícolas con arco de seguridad montado en la parte delantera.
2. El tiempo de despliegue del mecanismo se probó usando el arco de seguridad de un tractor existente. Los resultados de la investigación muestran que el acumulador de presión del circuito hidráulico redujo el tiempo de despliegue del arco en un 71%. El tiempo de despliegue fue de 0,743s.
3. El sistema de control electrónico puede predecir correctamente el vuelco; en modo automático, cuando el valor del índice de estabilidad esté por debajo de 40, se activará una señal de advertencia audible, y cuando el valor del índice de estabilidad esté por debajo de 20, se desplegará el arco de seguridad.
4. El sistema envía las coordenadas geográficas de la ubicación del tractor en caso de accidente al centro de llamadas de emergencia, y se registra la información relacionada con el movimiento del arco de seguridad. Esta información puede ser crítica para reconstruir el accidente y para salvar vidas.
5. HydraROPS está patentado y tiene la ventaja en comparación con otros dispositivos de despliegue automático de estructuras de protección que se puede instalar en tractores equipados con estructuras certificadas de protección contra vuelcos. La instalación de HydraROPS en un tractor no modifica la estructura de protección, por lo tanto, no es necesaria una nueva certificación de la misma.
6. Los resultados presentados son para un dispositivo prototipo. El dispositivo aún no es comercializable.

7. Se ha continuado desarrollando HydraROPS empleando un nuevo circuito hidráulico que ha permitido reducir el tiempo de despliegue de ROPS por debajo de 0,400s y mejorar el algoritmo de control utilizando el índice de estabilidad dinámica desarrollado por Liu y Ayers (1999).
8. Se ha desarrollado y construido un simulador de conducción de tractor enfocado en particular a favorecer el uso apropiado de la ROPS.
9. Se ha llevado a cabo una prueba piloto sobre una muestra representativa de personas con el fin de evaluar la utilidad de este simulador de conducción de tractor en programas de capacitación que sirvan para minimizar el riesgo en el trabajo con estos vehículos.
10. La percepción del riesgo y la seguridad aumentó después de la experiencia con el simulador de conducción de tractor para todos los participantes pero lo hizo de forma más significativa para los que no eran usuarios frecuentes de tractores.
11. Todos los participantes consideraron que la formación/capacitación era una experiencia muy positiva.