

# Safety device for the automatic operation of roll over protective structure for agricultural tractors

## Dispositivo de seguridad para el accionamiento automático de un arco antivuelco en tractores

D. Ojados Gonzalez<sup>1\*</sup>, B. Martin-Gorriz<sup>2</sup>, I. Ibarra Berrocal<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 48, 30203 Cartagena, Spain.

\*lola.ojados@sait.upct.es

### **Abstract**

An inadequate use of the deployable Roll Over Protective Structure (ROPS) in agricultural tractors contributes to fatalities in rollover events. To resolve this problem, an automatically deployable ROPS was designed, constructed and tested. The prototype, HydraROPS, established two assistance levels, manual activation on the board and 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 SMS with the GPS location to contact emergencies. 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 and with the pressure accumulator were 2.599 s and 0.743 s respectively, reducing the deployment time of ROPS by 71%; HydraROPS can be installed on tractors equipped with a certified rollover protective structure.

**Keywords:** ROPS; tractor safety; overturn; Injury; emergency notification.

### **Resumen**

Un uso inadecuado de la estructura abatible de protección (ROPS) en los tractores agrícolas es la principal causa de accidentes por vuelco. Para resolver este problema, se ha diseñado, construido y ensayado un dispositivo de accionamiento automático del ROPS. El prototipo, HydraROPS, se basa en dos modos de actuación, uno manual y otro automático sin la intervención del conductor cuando el vuelco es inminente. En este modo, además se envía un SMS con la ubicación GPS para contactar con emergencias. Para el accionamiento de la estructura de protección se emplea el circuito hidráulico del tractor. Con el fin de aumentar la velocidad de activación del ROPS, se acopló un acumulador de presión en el circuito hidráulico. Los tiempos de despliegue del ROPS sin y con el acumulador de presión fueron 2,599 s y 0,743 s respectivamente reduciendo el tiempo de despliegue en un 71%; HydraROPS se puede instalar en tractores equipados con estructuras de protección homologadas.

**Palabras clave:** ROPS; seguridad del tractor; vuelco; lesión; notificación de emergencia.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los accidentes por vuelco de tractor son una de las principales causas de muerte en la agricultura [1]. Entre 2004 y 2008 se produjeron 272 accidentes mortales en España, un 70% de los relacionados con el uso de maquinaria agrícola. Desde 2005, el ISSL de la CARM realiza el registro y análisis de estos accidentes, con el objetivo de conocer su número y sus causas. Entre 2005 y 2017 se produjeron 60 accidentes en la Región de Murcia, en 34 de ellos el conductor falleció [2]. Aunque el tractor disponía de arco, en un 76,9% éste estaba abatido.

Los arcos antivuelco son manuales, el agricultor tiene que levantar y bajar el arco en función de las características del cultivo [3]. Una baja percepción del riesgo hace que se lleve el arco abatido con frecuencia. Existen otras soluciones para automatizar este sistema [4-6].

El accidente puede ocurrir en cualquier momento del día, se trata de un trabajo al aire libre, solitario y alejado de poblaciones pudiendo transcurrir varias horas desde el accidente hasta su descubrimiento.

El accidente más grave se produce cuando el vuelco es de más de 90° y el conductor queda atrapado. Hay dos tipos de vuelco: lateral (el más frecuente) y hacia atrás [7]. Los factores que influyen son: pendientes pronunciadas, trabajar cerca de cunetas, taludes o acequias, velocidad excesiva, especialmente en giros, manipular objetos que elevan el centro de gravedad del conjunto, utilizar puntos de anclaje altos.

Los objetivos han sido diseñar y construir, para tractores que disponen de arco de seguridad abatible, un sistema de accionamiento del arco que se active (i) automáticamente cuando el tractor supera un determinado ángulo de inclinación, (ii) a voluntad por el tractorista cuando perciba que se encuentra en una situación de riesgo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Requisitos de diseño

HydraROPS está formado por dos subsistemas: electrónico e hidráulico.

Los requisitos para el subsistema de control electrónico son los siguientes:

- El conductor podrá elevar el ROPS cuando reconozca una situación de riesgo.
- El arco se elevará sin intervención del conductor si el vuelco es inminente.
- A partir de condiciones de riesgo, el conductor será avisado con una señal audible.
- Si se produce un vuelco, el sistema enviará la localización a la central de emergencias.
- La información relacionada con cada accionamiento será registrada y grabada.

Los requisitos para el subsistema hidráulico son los siguientes:

- El tiempo de despliegue será el menor posible para evitar vuelcos superiores a 90°.
- El arco permanecerá en posición vertical cuando el tractor esté apagado.
- Además, HydraROPS debe ser lo más económico posible para promover su instalación por los agricultores en sus tractores.

Las ventajas de usar energía hidráulica son (1) la fuente de energía está en todos los tractores, reduciéndose el coste; (2) puede ser utilizado tantas veces como sea necesario, (3) ocupa poco espacio y no interfiere con otros usos.

### 2.2 Subsistema electrónico

Circuito del microcontrolador: El montaje de los componentes es modular. Se ha utilizado un microcontrolador Arduino ATmega2560. El software se programó en lenguaje C. La Fig. 1.a muestra el diagrama de flujo del algoritmo utilizado por el microcontrolador.

Unidad de medida inercial: La unidad de medición inercial PMU6050 (acelerómetro y giroscopio) detecta aceleraciones estáticas y dinámicas permitiendo calcular el ángulo en el que está el tractor. Con un filtro Kalman se eliminan los fenómenos de ruido. El filtro consiste en un conjunto de ecuaciones matemáticas para minimizar el error.

Módulo de comunicación: El módulo de comunicación SIM908 se utilizó para conectar a la red GSM y recibir GPS. Trabaja 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. Permite rastrear siempre que haya cobertura. Cuando se produce un vuelco, el módulo GSM/GPRS se activa y envía un mensaje corto (SMS) con las coordenadas geográficas de la ubicación del tractor consiguiéndose una rápida respuesta del personal de emergencias.

Tarjeta de memoria: Se ha utilizado la tarjeta de memoria Arduino microSD Shield para registrar los datos. Cuando HydraROPS se acciona, se registran los siguientes datos: tiempo, ángulos de pitch y de roll, coordenadas geográficas, posición del arco (horizontal o vertical) y modo de activación. Estos datos son útiles para reconstruir accidentes/incidentes.

Módulo de relé: Se utiliza para operar el subsistema hidráulico. Los contactos del relé se conectaron a una válvulas de solenoide que, cuando se activan, despliegan los cilindros hidráulicos del HydraROPS. Se utilizaron relés de estado sólido porque son más robustos.

### 2.3. Subsistema hidráulico

HydraROPS se ha acoplado con un arco desplegable frontal. La Fig. 1.b muestra el circuito hidráulico de HydraROPS. Dos cilindros hidráulicos (CHB 50/30 – 150, longitud de movimiento de 150 mm, diámetro exterior de 50 mm, pistón diámetro de varilla de 30 mm y presión máxima de operación de 20 MPa) uno a cada lado del arco, soportados en una estructura anclada al chasis del tractor. Para disminuir el tiempo de despliegue se incluyó un acumulador de presión vesical en el circuito hidráulico que además permite una activación con el tractor apagado.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se ha construido un dispositivo capaz de accionar el arco de modo manual y automático. Tras En las condiciones de motor a ralentí (888 rpm) y a altas revoluciones (1477) se han analizado imágenes filmadas a alta velocidad obteniéndose resultados muy semejantes ya que el tiempo de respuesta del sistema de control hidráulico-electrónico, una vez que se ha detectado el ángulo de consigna, varía entre 102 y 112 mili segundos en uno y otro caso.

## **4. CONCLUSIONES**

El desarrollo facilita la utilización del arco de seguridad. La instalación del arco combinada con el uso del cinturón de seguridad evita el aplastamiento del conductor.

La activación del arco es automática cuando las condiciones son peligrosas, de esta forma la seguridad no depende del individuo. El dispositivo permite el accionamiento del arco a voluntad desde el asiento, de forma sencilla y cómoda, cuando el tractorista percibe que se encuentra en riesgo de vuelco.

El sistema de control envía un SMS con la ubicación en caso de vuelco gracias a la tecnología GPS. Se consigue así que se active de forma inmediata el protocolo de emergencias.

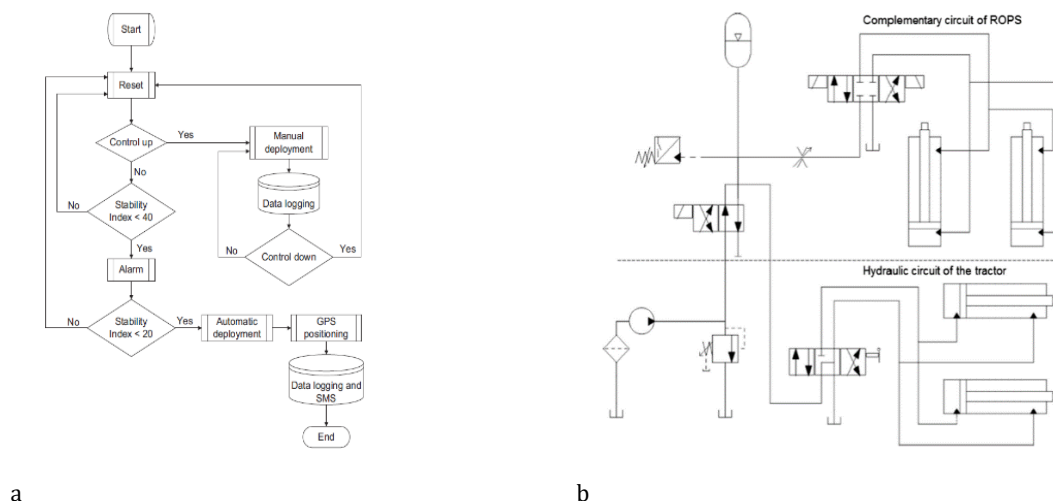
La respuesta del sistema ha sido satisfactoria, desplegándose el arco antes de finalizar el vuelco. El tiempo de despliegue en un tractor Massey Ferguson modelo 147 es inferior a 0,8 s.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Al ISSL de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia por la financiación del proyecto.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Arana I., Mangado J., Arnal P., Arazuri S., Alfaro J.R., Jarén C. 2010. Evaluation of risk factors in fatal accidents in agriculture. Spanish Journal of Agricultural Research, 8 (3), 592-598.
- [2] Martín 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.
- [3] Ponce de León J.L. 2008. Estructuras de protección para tractores agrícolas. Homologación y uso. Jornada de seguridad en el uso de los tractores y de la maquinaria agrícola. Lleida, 25 de septiembre de 2008.
- [4] Silleli H., Dayıoglu M.A., Gültekin A., Saranlı G., Yıldız M.A., Akay E., Ekmekçic K. 2008. Anchor mechanism to increase the operator clearance zone on narrow-track wheeled agricultural tractors: Static and field upset test results. Biosystems Engineering, 99 (2), 196-204.
- [5] 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. Biosystems Engineering, 116 (1), 1-14.
- [6] 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. Journal of Agricultural Safety and Health, 7(1), 51-61.
- [7] Hathaway L., Kuhar J. eds. 1994. Farm and ranch safety management. Moline, IL: Deere and Company Service Publications.



**Figura 1.** (a) Diagrama de flujo del algoritmo utilizado por el microcontrolador. (b) Circuito hidráulico de HydraROPS