



Congreso  
Agroprevención

# Arcos autodesplegables en dos dimensiones de forma fiable, instantánea y sin intervención del tractorista

Dr. Arana Navarro  
Prof. Ballesteros Egués  
Pamplona 18/06/2015

**upna**  
Universidad  
Pública de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

## **Siniestrabilidad agraria**

### **Vuelco del tractor**

-El Sector agrario tiene una gran siniestrabilidad y el vuelco del tractor es el mayor de los riesgos de accidente mortal

# Seguridad activa o pasiva

- ⦿ Como los sistemas de seguridad activa no solucionaron el problema del vuelco fue necesario optar por sistemas de seguridad pasiva que no evitan el vuelco pero minimizan sus consecuencias
- ⦿ Estructuras de protección al vuelco (ROPS)

## ROPS. Necesidad

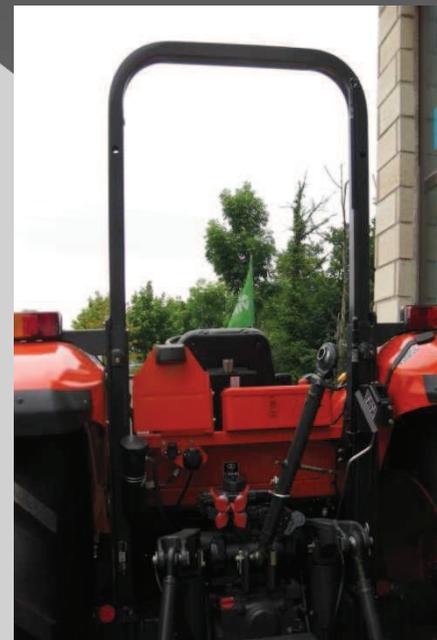
- ⦿ El profesor Moberg (años 50) vio que había muchos más vuelcos de automóviles que de coches y, sin embargo morían muchos mas tractoristas que conductores porque los coches tenían techo y los tractores no
- ⦿ A medida que esta situación se ha ido corrigiendo, las muertes en vuelco de tractor se han reducido drásticamente
- ⦿ La mayoría de los accidentes mortales por vuelco del tractor ocurren en tractores sin ROPS

# Tipos de ROPS

- ◉ Arcos de seguridad
- ◉ Bastidores de seguridad
- ◉ Cabinas de seguridad
- ◉ Todas las ROPS protegen la zona segura, aunque en el caso de los arcos de seguridad hay que tener en cuenta el criterio de exposición (zona de supervivencia)

# Arcos de seguridad

- Delanteros. Montados por delante del SIP
- Traseros. Montados por detrás del SIP



# Arcos de seguridad abatibles

- La mayoría de los arcos de seguridad son abatibles para facilitar el trabajo de los tractores estrechos en zonas de poco espacio libre superior como en plantaciones, invernaderos o establos.
- En algunos casos, los arcos de seguridad tienen anchura regulable para aumentar la zona protegida en caso de vuelco lateral (Sollberger y Wust. 1975)

# Arcos de seguridad abatibles

## Consecuencias

- En la mayoría de los casos los arcos se abaten pero no vuelven a colocarse en su posición operativa (segura)
- Un arco abatido no protege al tractorista en caso de vuelco
- Un tractor con el arco de seguridad abatido es un tractor sin ROPS
- En la mayoría de accidentes mortales en vuelco de tractor con tractores estrechos estos arcos estaban abatidos, en el momento del vuelco.

# Arcos de seguridad abatibles

## Necesidad de evitar muertes

- Es absolutamente necesario evitar las **muertes por inoperatividad** del arco de seguridad
- La experiencia ha acreditado que **no se puede dejar en manos del tractorista la decisión de elegir entre la posición** segura o insegura de una ROPS
- Si se hace así **seguirán muriendo** tractoristas

# Paso de posición abatida-segura



Groothuis et al. (2009)



Kubota M9540  
Low Profile

# Paso de posición abatida-segura



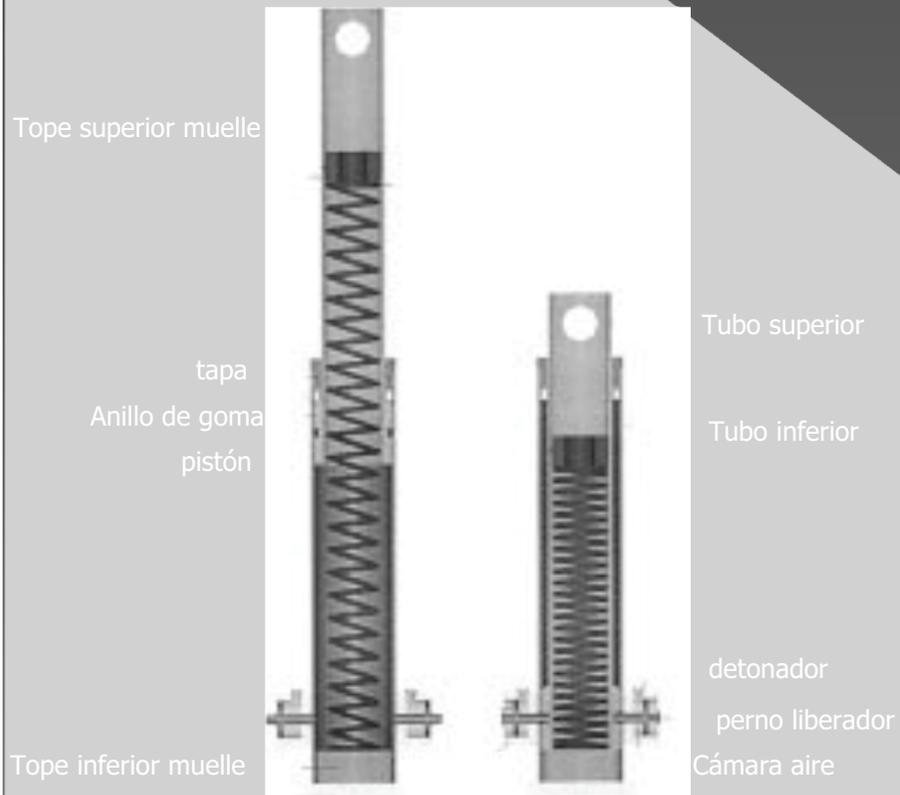
Construcciones Mecánicas D'Eusanio EIMA 2008

# Paso de posición abatida-segura

Shehaan (1992).

Manuel Rosales Touza. Comercial Vázquez (2001)

AutoROPS. NIOSH (2000-2004)



**A** DESPLEGADA **B** ENCOGIDA

# Paso de posición abatida-segura

Silleli et al. 2006-2008. Anchor mechanism



# Objetivos

## ○ General

- > Desarrollar arcos de seguridad desplegable automáticamente para sustituir ROPS tradicionales
- > La activación debe realizarse en caso de riesgo inminente de vuelco y sin intervención del tractorista
- > El despliegue de los arcos debe ser realizado mediante infladores de airbag porque es el método más fiable y contrastado
- > El despliegue debe ser en dos dimensiones (altura y anchura) para evitar la rodadura continua e incrementar la zona segura y la deformación admisible en caso de vuelco lateral (crítico).
- > El tiempo total de toma de decisión automática, activación, despliegue y bloqueo en posición operativa debe ser menor que el tiempo de vuelco (750 ms)

# INVESTIGACIÓN

- ◉ Financiado por Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra (INSL en el momento de la firma del contrato)
- ◉ Contrato de investigación
  - > INSL-UPNA
- ◉ 1 de febrero de 2012
- ◉ Investigador responsable
  - > J. Ignacio Arana Navarro

# El tractor John Deere 60 C

## Arco tradicional



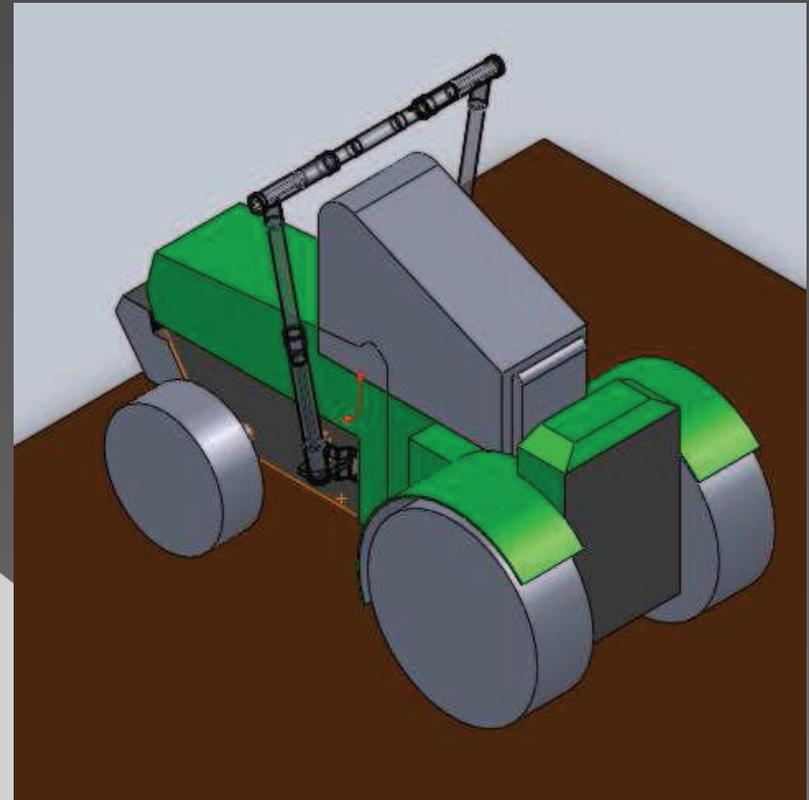
Masa en vacío  $M = 1845 \text{ kg}$

Altura de punto impacto  $H_6 = 2100 \text{ mm}$

# E2D-ROPS

- Construida con Acero S275JR
- Debe cumplir todos los requerimientos del código 6 y RD 1215/1997
  - > Estabilidad ( $38^\circ$ )
  - > Imposibilidad rodadura continua
  - > Superación secuencia ensayos (trasero, lateral, delantero y aplastamientos)

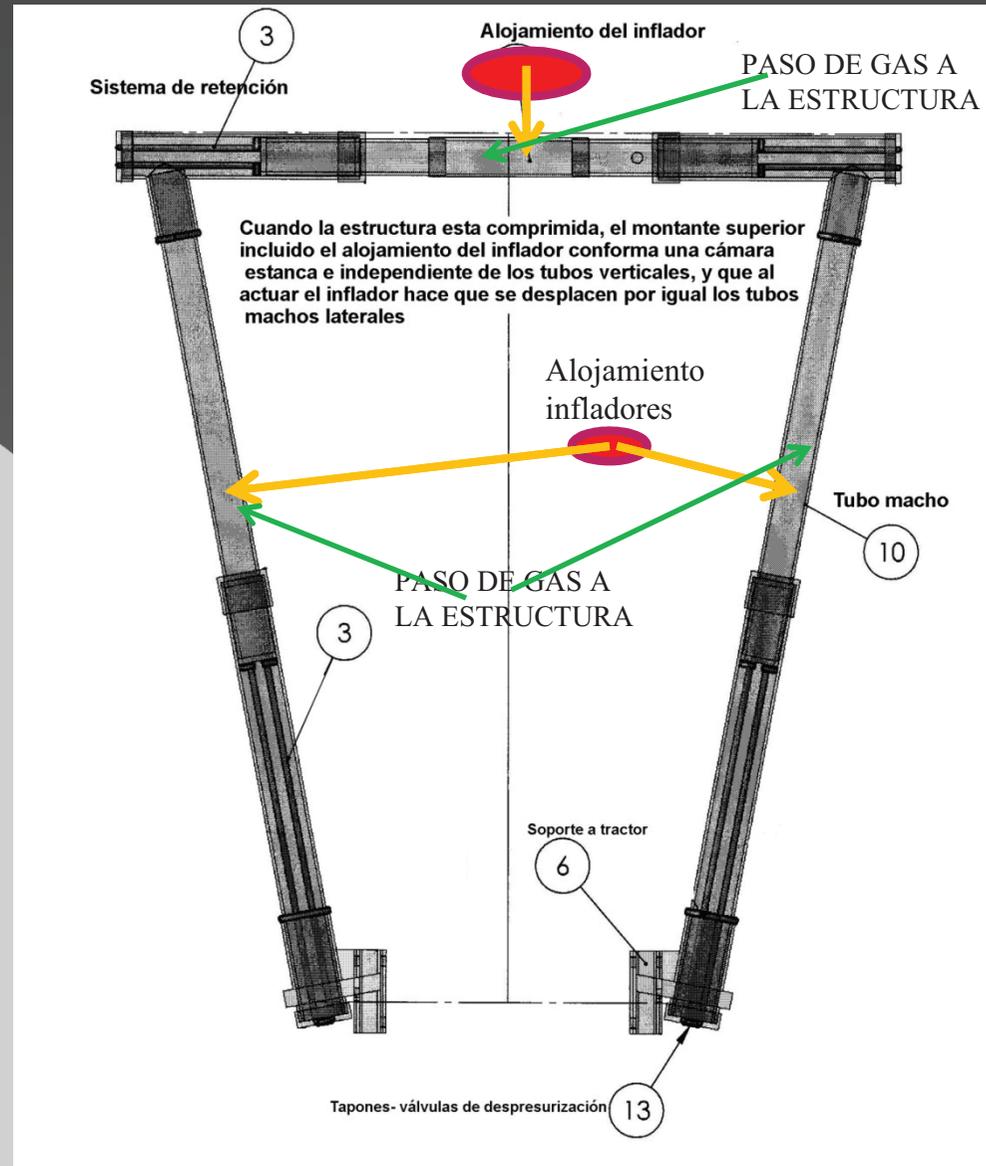
Se utiliza Solid Works" v. 2010  
"Ansys WorkBench" v. 14.0



Barras telescópicas de sección circular

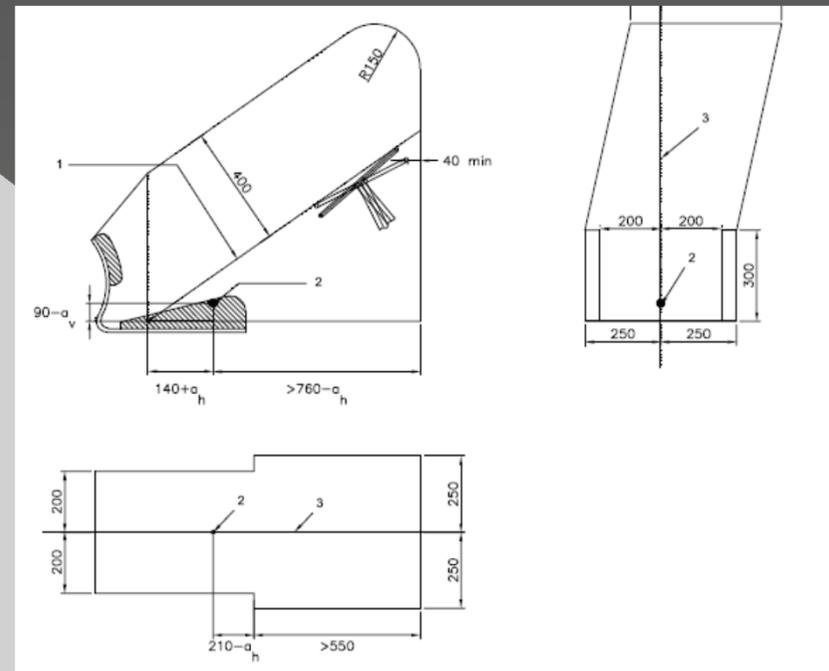
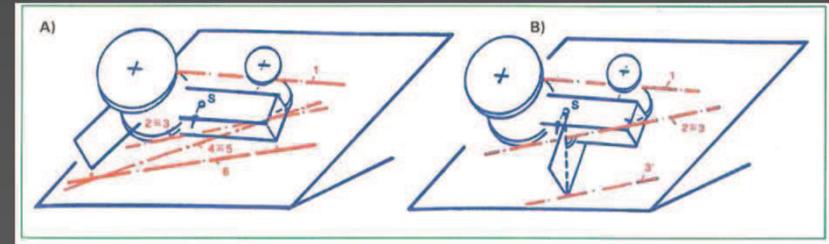
# E2D-ROPS. Accionamiento

- Estructura telescópica
- Posibilidad de colocar un inflador en barra transversal o dos en barras inclinadas
- El gas llena completa e instantáneamente el volumen hueco y empuja en las dos direcciones de cambio de geometría del arco:
  - > Altura
  - > Anchura
- El arco se bloquea en la posición operativa



# Altura del arco. Condicionantes

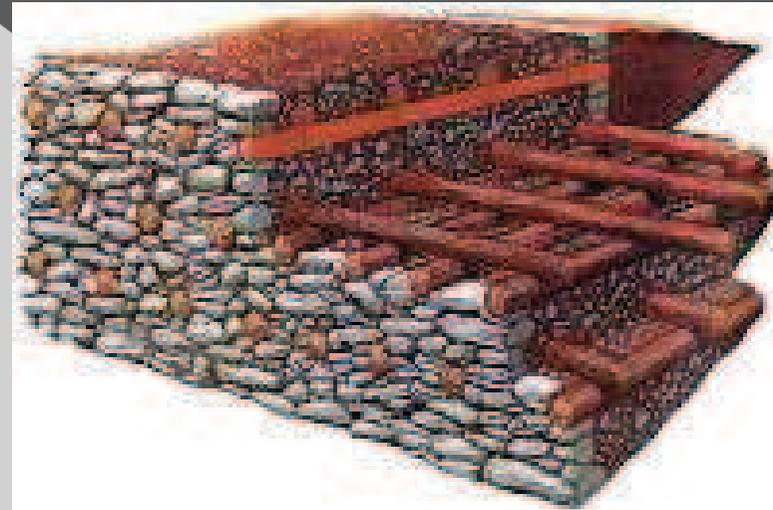
- Se diseña para evitar rodadura continua.
- Programa “vuelco3.xls” (Arana et al., 2008)
- La altura nunca puede ser tan pequeña que no proteja la zona de seguridad definida en el código 6.
- Se redujo la altura hasta este límite



# Dimensionado del arco

## Energía absorbida

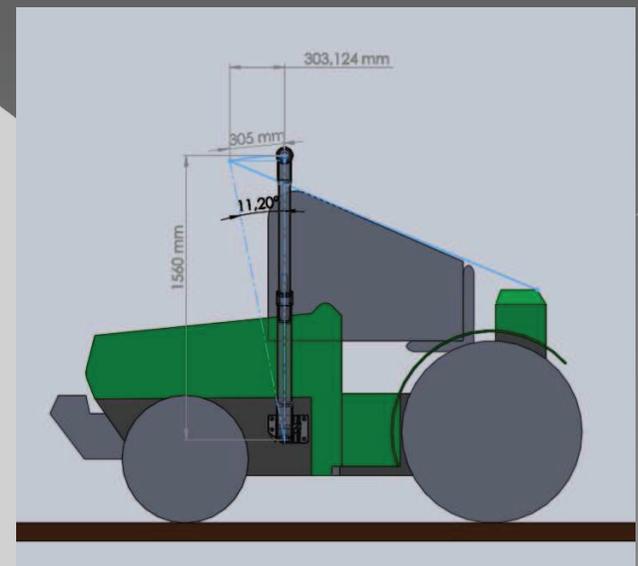
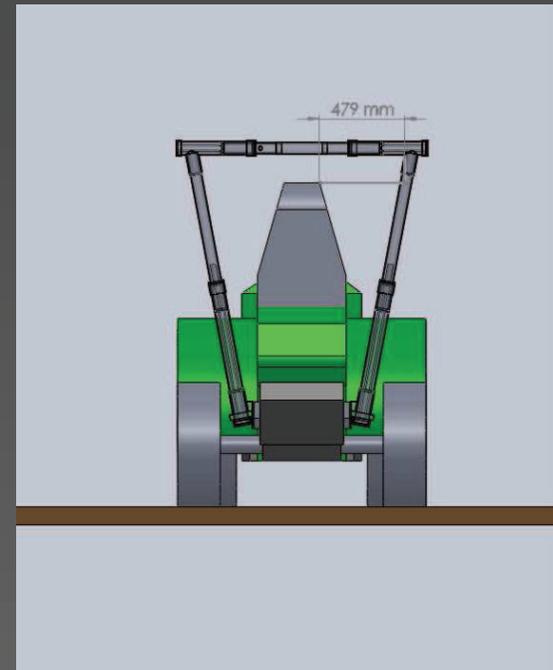
- No se deben diseñar ROPS excesivamente rígidas sino que permitan una deformación suficiente (comportamiento plástico) para maximizar la energía absorbida por ellas, durante el vuelco, que es el parámetro determinante y el que se determina los códigos de ensayo



Muralla gala

# Elección de las secciones de las barras del arco

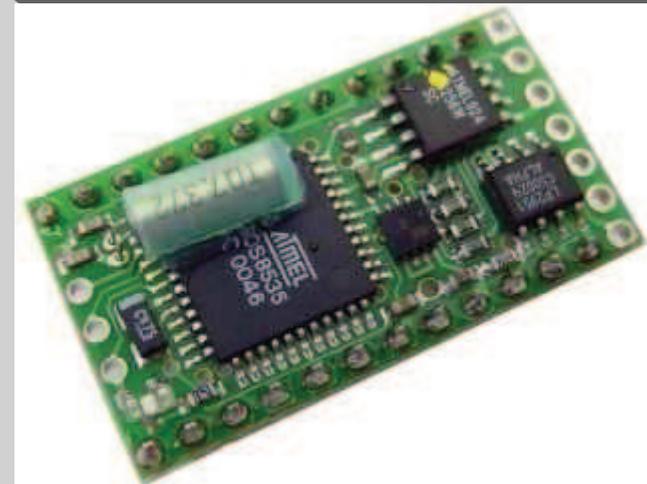
- Cálculo deformaciones en ensayos por elementos finitos.
- El arco no puede colapsar ni invadir la zona de seguridad
- Las deformaciones máximas admisibles dependen de la localización del asiento y de la forma y dimensiones del arco.
- Se eligieron las secciones telescópicas necesarias.
- Se comprobó que secciones mayores eran demasiado rígidas y el arco colapsaba



# Sistema de maniobra

## Activación inflador de airbag

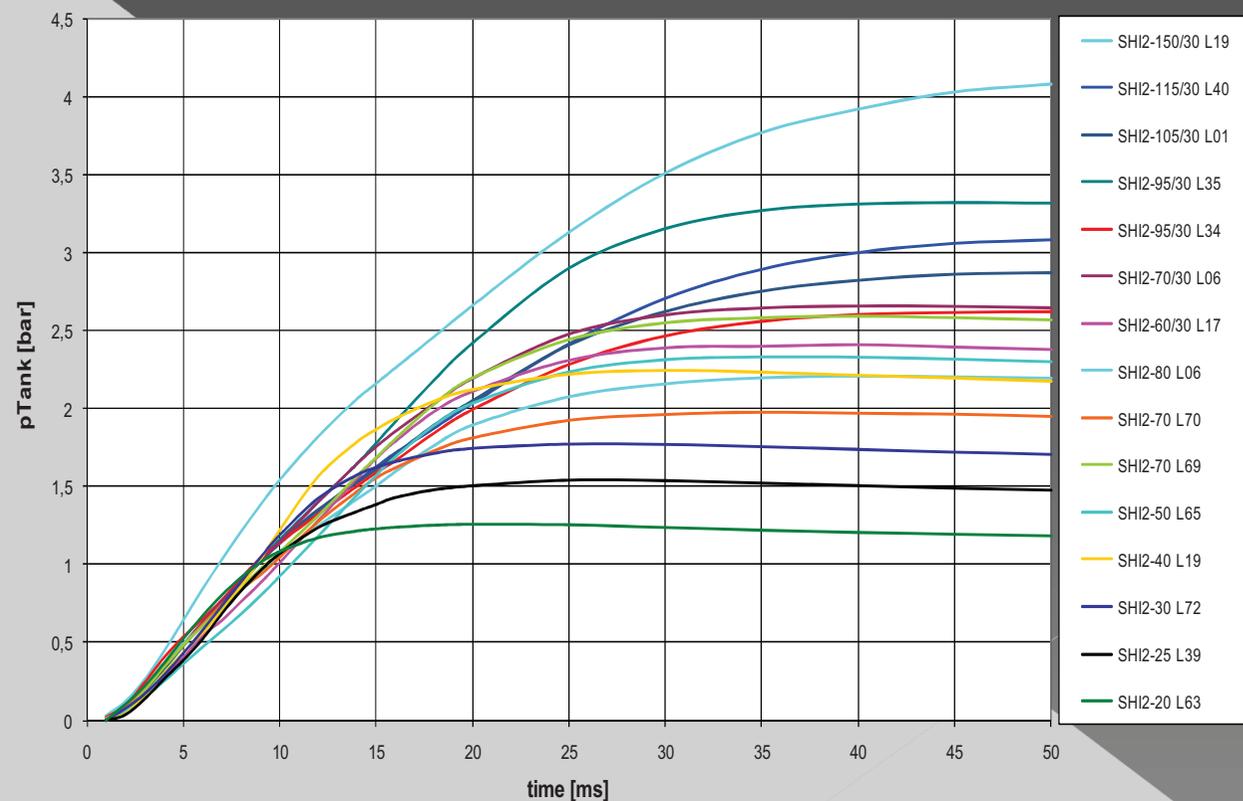
- ◉ El sistema se basa en un microcontrolador BX-24, de pequeño tamaño y fácil programación, al cual se le ha implementado el algoritmo de control, junto con los sensores de:
  - > Acelerómetro de dos ejes (detecta ángulos de hasta 90 grados)
  - > Sensor de cinturón de seguridad
  - > Llave de contacto



# Sistema de impulsión en despliegue

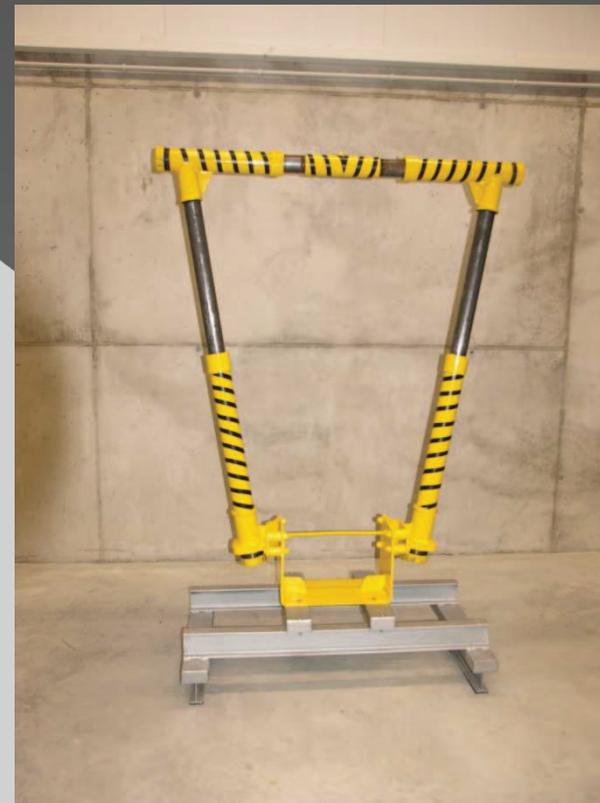
- Por inflador de airbag
- Elección del inflador
  - > Presión en 28,3 litros
  - > Volumen hueco
  - > 2 infladores
  - > 1 inflador

SHI2 Performance data  
28,3L tank



# Diseño y construcción prototipo E2D-ROPS

- Sección 80 x 70 mm / 65 x 55 mm
- Altura máxima montada 2000 mm
- Anchura máxima 1400 mm



# Ensayos con prototipo E2D-ROPS

- Ensayo con aire comprimido
  - > En posición vertical el prototipo se desplegó y bloqueó correctamente necesitando una presión de 4 bares, con dos entradas de aire y de 8 bares con una sola entrada



# Ensayos con prototipo E2D-ROPS

## Ensayo con inflador

- ⊙ Es fundamental la elección del inflador
- ⊙ Los parámetros más determinantes son:
  - > El volumen hueco del dispositivo en su posición no operativa (7 litros en nuestro caso).
  - > La presión que el inflador es capaz de proporcionar al llenar este volumen
  - > El inflador o los infladores deberían ser capaces de proporcionar una presión de unos 8 bares al volumen de 7 litros y de 2 bares al de 28 litros.

# Ensayos en prototipo E2D-ROPS con inflador de excesiva capacidad

- ◉ Video de ensayo con inflador Ford kuga



Duración 75 ms

# Ensayos con prototipo E2D-ROPS

## Ensayo con inflador. Conclusiones

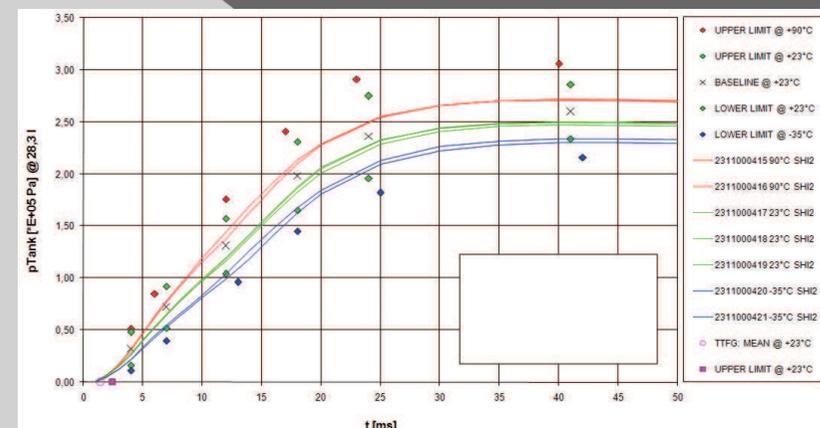
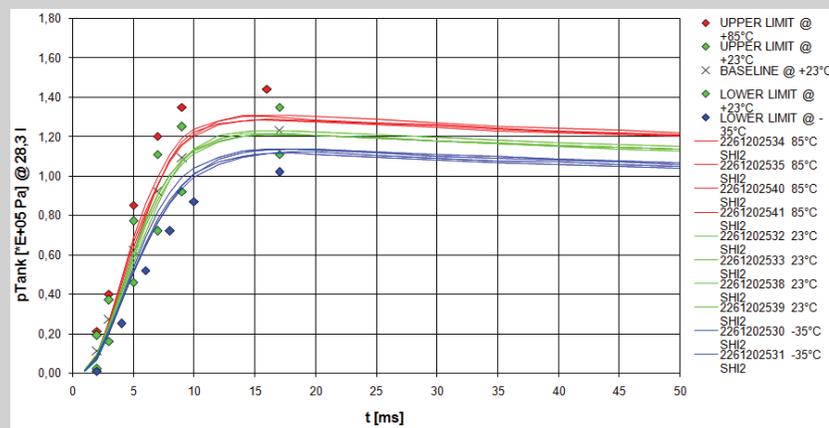
- El despliegue es prácticamente instantáneo (75 ms), diez veces más rápido de lo estrictamente necesario y cuatro veces más rápido que el desarrollado por el NIOSH y el montado en automóviles descapotables
- El despliegue se ha realizado correctamente
- Es conveniente utilizar infladores menores o un solo inflador para reducir la velocidad de despliegue , en los casos en que sea conveniente

# Ensayos con prototipo E2D-ROPS

## Ensayo con inflador

### Elección del inflador

- > A partir de los resultados de los ensayos anteriores podemos elegir cuatro posibilidades consistentes en la utilización de uno o dos infladores SHI2-20 V614 o SHI2-70 V714



# Ensayos con prototipo E2D-ROPS

## Ensayo con 2 infladores SHI2-20 V614

### Inclinómetro

Duración 112 ms



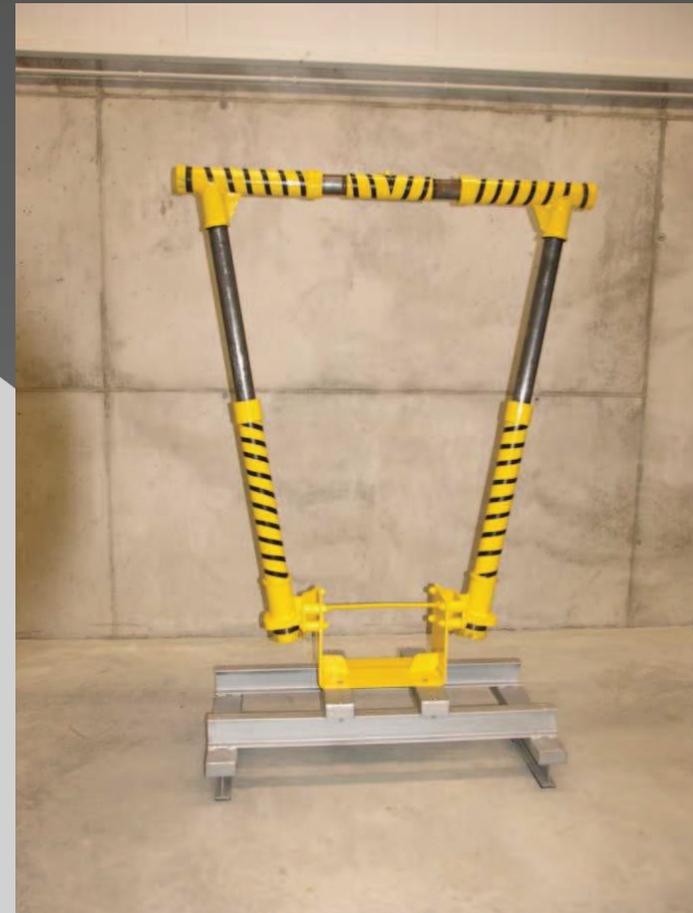
# Ensayos con prototipo E2D-ROPS

## Ensayo con inflador

- Ensayo de despliegue del arco usando 1 inflador SHI2-20 V614, colocado en el interior de la parte central de la barra transversal



Duración 312 ms



# Conclusiones

- El E2D-ROPS diseñado compagina la operatividad en situaciones de escaso espacio con la seguridad al vuelco en todo momento
- El sistema de activación es seguro e independiente de la voluntad del tractorista
- El tiempo de activación y despliegue es menor que el del vuelco y puede elegirse entre 75 ms y 300 ms, según las necesidades o el criterio del fabricante
- El E2D-ROPS proporciona una zona segura mayor que los arcos tradicionales, en caso de vuelco lateral

# ROPS autodeplegables AD-ROPS

- Es posible aplicar la tecnología **AIR-ROPS** a otros tipos de vehículos como segadoras, dumpers, quads, etc.,
- Se pueden diseñar AD-ROPS para distintos tractores y vehículos
- El fin último de esta investigación podría ser el **cambio del arquetipo de diseño de las cabinas** de los tractores de forma que la **seguridad** fuese provista por **arcos autodesplegables** y las cabinas simplemente fueran diseñadas para proteger al tractorista de la intemperie, optimizando la ergonomía y la visión del exterior y liberándolas de su función protectora.

# Nuevas AD-ROPS – AIR-ROPS

1000 kg

500 kg

2500 kg



# Elección de los infladores

- ◉ Dos opciones
  - > SHI2-20V614
  - > SHI2-30V612

## Elección de infladores

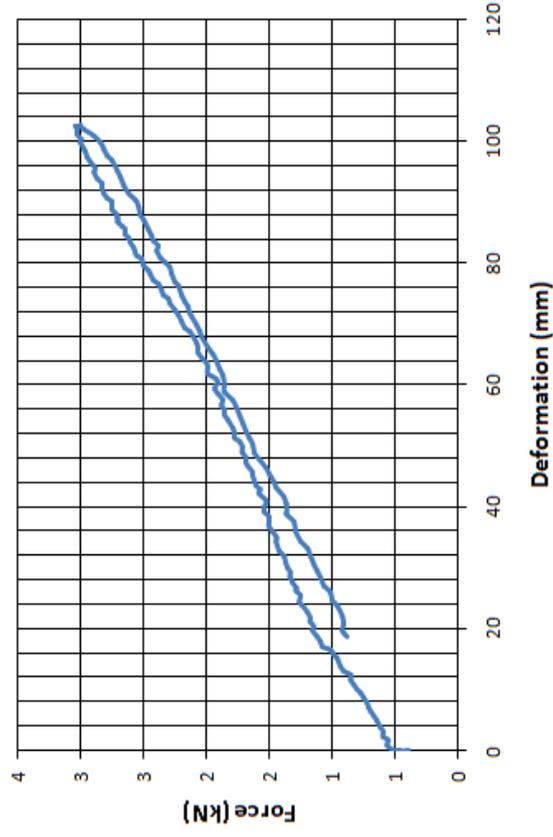
- La mejor opción es, en todos los casos, instalar dos infladores SHI2-30V612 en las tubos inclinados porque:
  - > Los infladores mayores consiguen desplegar los arcos en menor tiempo
  - > No suponen un aumento del coste
  - > En caso de fallo de uno de los infladores el arco se despliega satisfactoriamente y suficientemente rápido

# Ensayos en la Estación de Mecánica Agrícola (EMA)

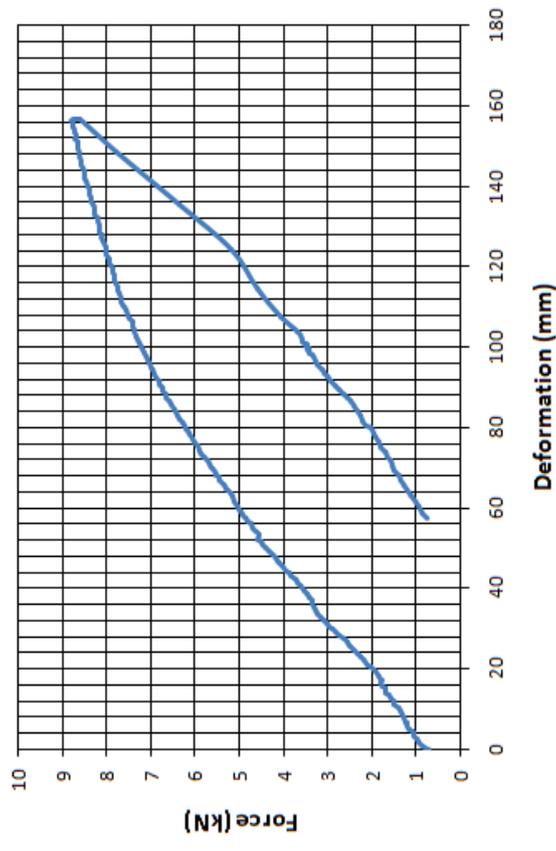


# Ensayos en la Estación de Mecánica Agrícola

Rear Longitudinal Loading

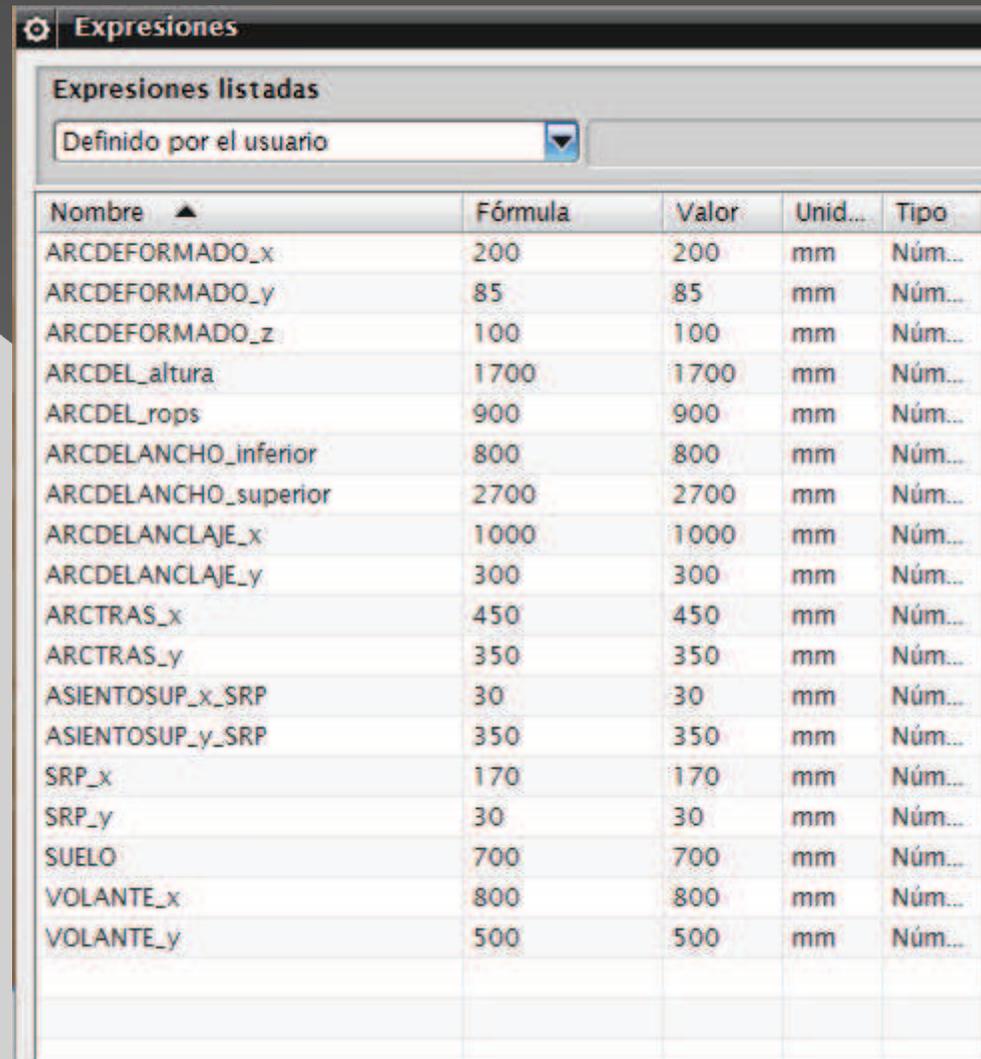


Side Loading



# PREDICCIÓN RESULTADO ENSAYOS

- Modelización de un tractor y un arco con sus parámetros básicos en un software en 3D para análisis de comportamiento en función del ensayo real

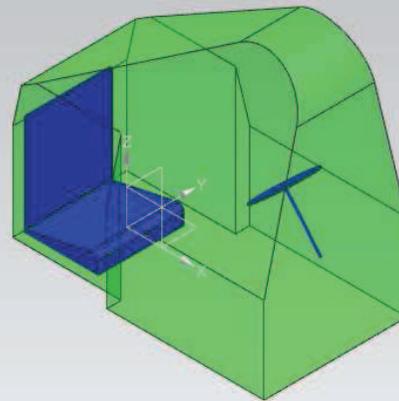


The screenshot shows a window titled "Expresiones" (Expressions) with a sub-header "Expresiones listadas" (Listed Expressions). A dropdown menu is set to "Definido por el usuario" (Defined by user). Below is a table with columns: Nombre (Name), Fórmula (Formula), Valor (Value), Unid... (Unit), and Tipo (Type). The table lists 18 parameters for a tractor model, all with units in millimeters (mm) and numerical values.

Nombre ▲	Fórmula	Valor	Unid...	Tipo
ARCDEFORMADO_x	200	200	mm	Núm...
ARCDEFORMADO_y	85	85	mm	Núm...
ARCDEFORMADO_z	100	100	mm	Núm...
ARCDEL_altura	1700	1700	mm	Núm...
ARCDEL_rops	900	900	mm	Núm...
ARCDELANCHO_inferior	800	800	mm	Núm...
ARCDELANCHO_superior	2700	2700	mm	Núm...
ARCDELANCLAJE_x	1000	1000	mm	Núm...
ARCDELANCLAJE_y	300	300	mm	Núm...
ARCTRAS_x	450	450	mm	Núm...
ARCTRAS_y	350	350	mm	Núm...
ASIENTOSUP_x_SRP	30	30	mm	Núm...
ASIENTOSUP_y_SRP	350	350	mm	Núm...
SRP_x	170	170	mm	Núm...
SRP_y	30	30	mm	Núm...
SUELO	700	700	mm	Núm...
VOLANTE_x	800	800	mm	Núm...
VOLANTE_y	500	500	mm	Núm...

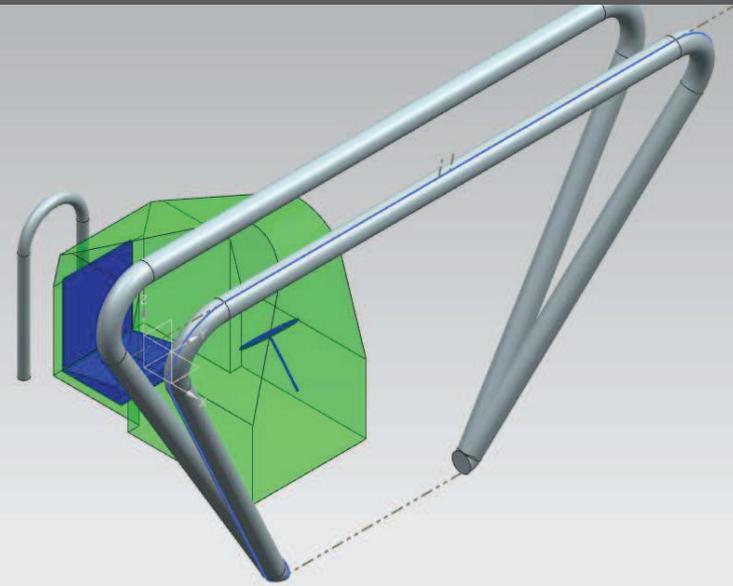
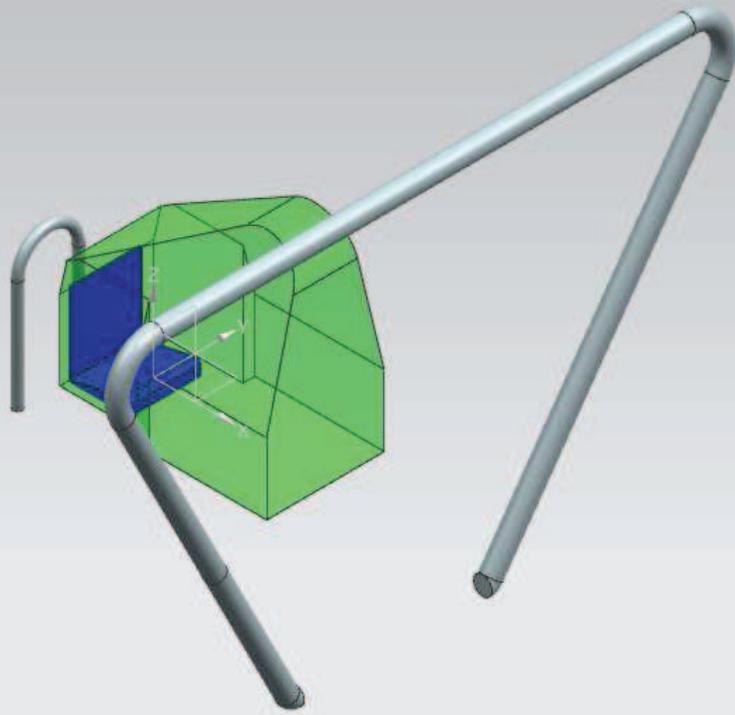
# PREDICCIÓN RESULTADO ENSAYOS

- Zona de seguridad en función del SRP



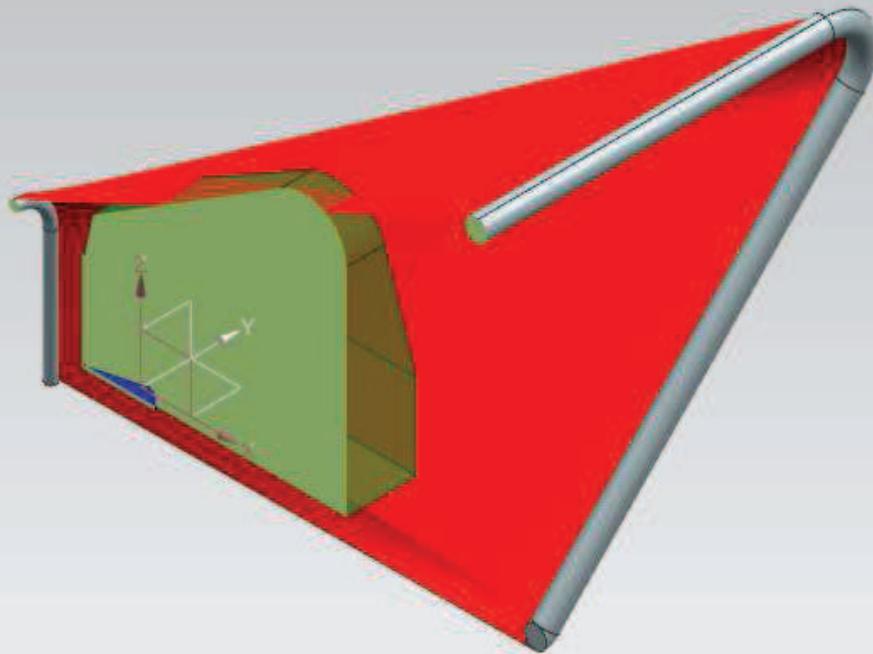
# PREDICCIÓN RESULTADO ENSAYOS

- Comparación arco tras deformación



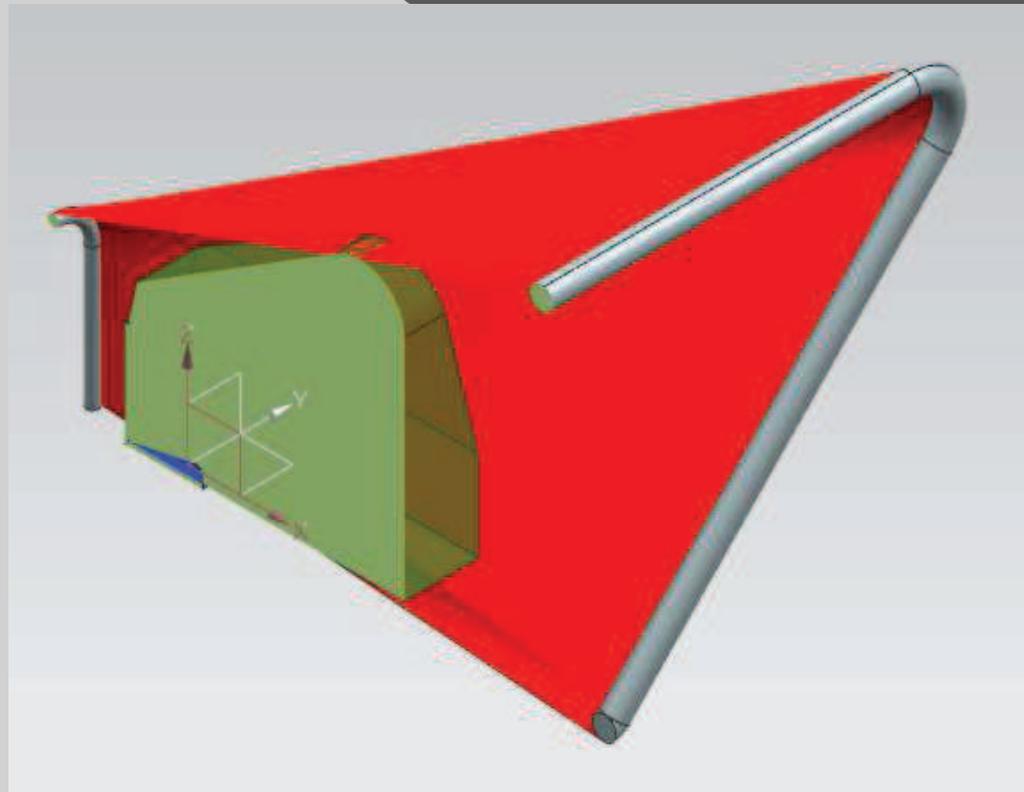
# PREDICCIÓN RESULTADO ENSAYOS

- Situación inicial. NO CUMPLE



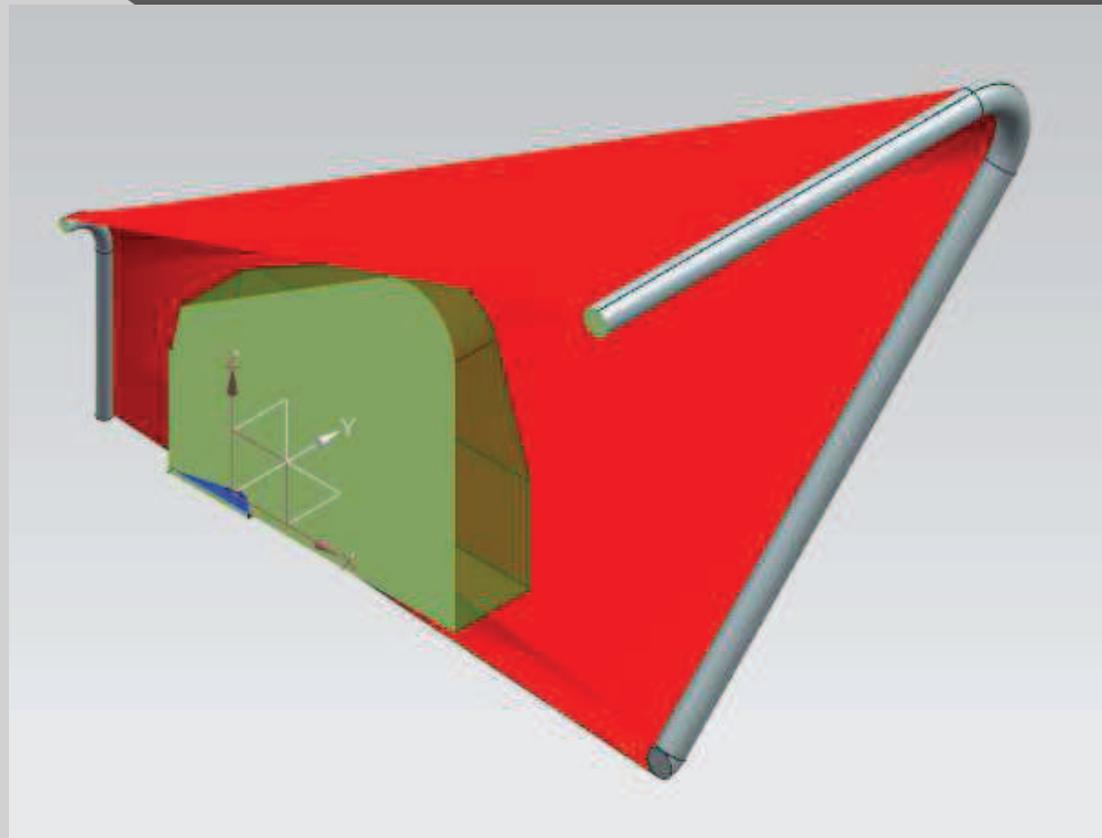
# PREDICCIÓN RESULTADO ENSAYOS

- Incremento de la altura del punto duro trasero. MEJORA PERO NO CUMPLE



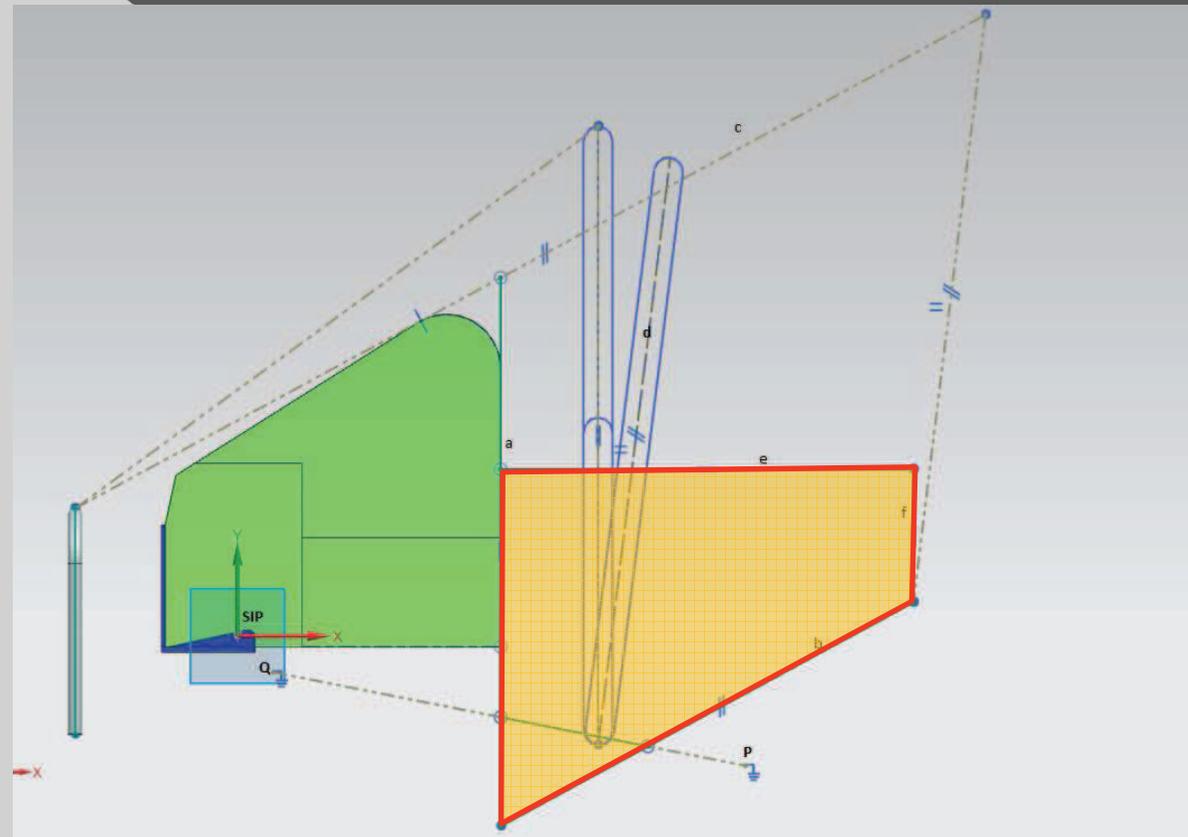
# PREDICCIÓN RESULTADO ENSAYOS

- Alejamiento del punto duro trasero.  
CUMPLE



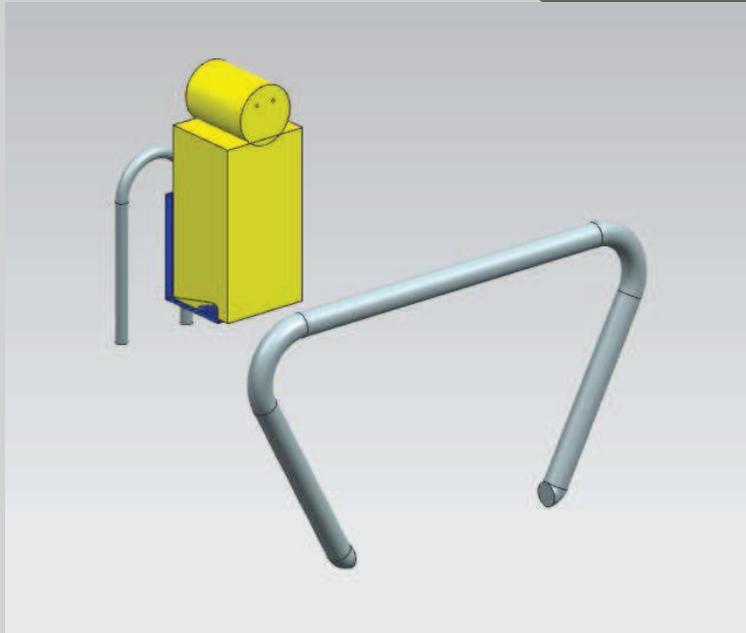
# PREDICCIÓN RESULTADO ENSAYOS

- Lugar geométrico de colocación del arco en 2D



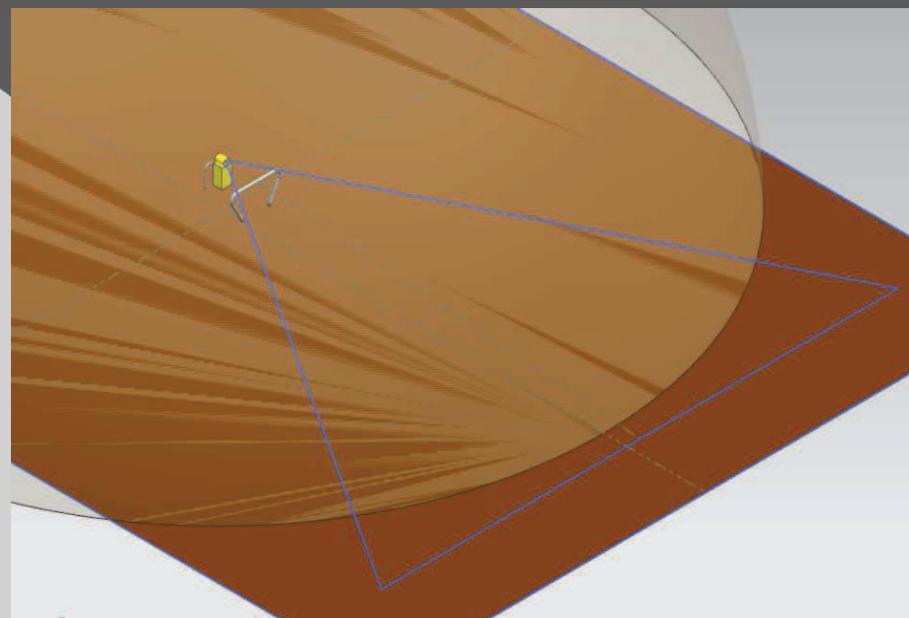
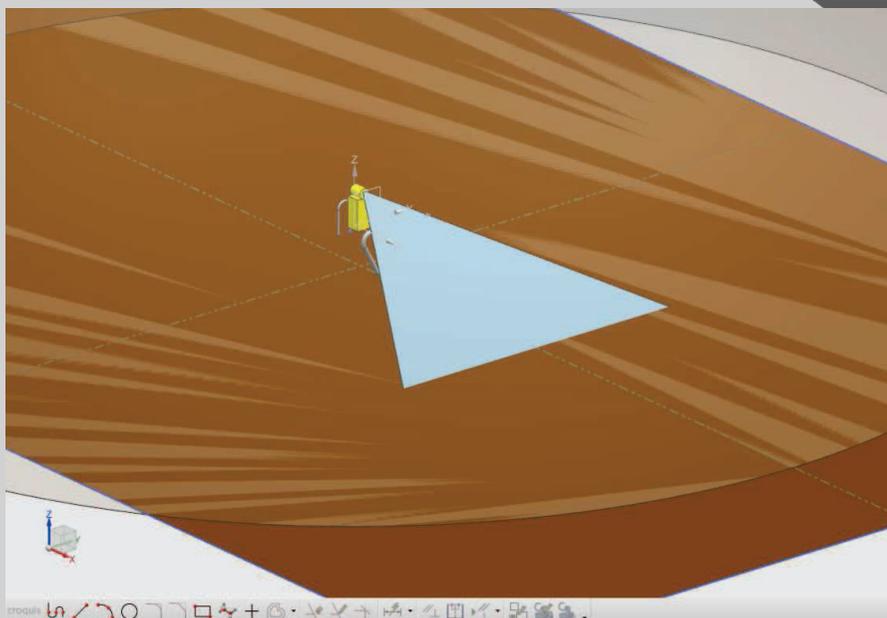
# ENMASCARAMIENTO VISUAL

- El arco plegado (posición de reposo) puede generar un efecto de enmascaramiento visual para lo cual hay que analizar este riesgo



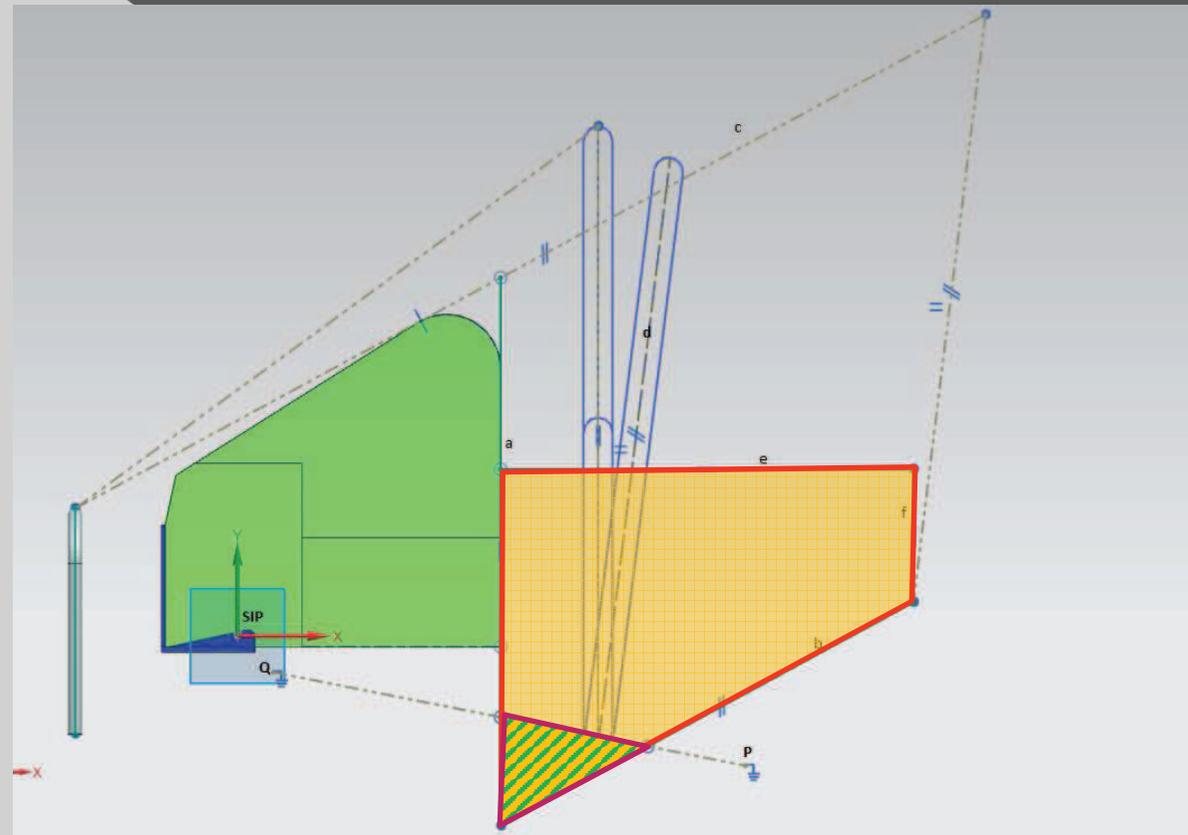
# ENMASCARAMIENTO VISUAL

- Enmascaramiento producido por arco recogido según altura del mismo



# PREDICCIÓN RESULTADO ENSAYOS

- Lugar geométrico de colocación del arco en 2D



# PREDICCIÓN RESULTADO ENSAYOS

- ⦿ Se observa que el arco cumplirá con los requisitos en función de:
  - > Localización punto duro trasero
  - > Localización arco
  - > Deformación arco
- ⦿ Una vez conocido el funcionamiento de un arco en un ensayo se podrá predecir su comportamiento, lo cual es la base de una futura estandarización



Gracias por  
su atención